

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

共同走向科学：百名院士科技系列报告集

(下)



共同走向科学 百名院士科技系列报告集

中国科学的传统与未来

席泽宗

中国科学院自然科学史研究所

席泽宗 天文学史学家。1927年6月9日生于山西垣曲，1951年毕业于中山大学。曾任中科院自然科学史研究所所长，现任该所研究员、中国科技史学会理事长。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。国际科学史研究院院士。国际欧亚科学院院士。主要从事天文学史研究。

一、中国古代有没有科学？

中国最早的一份科学刊物，即今天周光召任主编、在上海出版的《科学》。它于1915年创刊时，创办人任鸿隽即在创刊号上发表了《说中国无科学的原因》，1922年哲学家冯友兰又在《国际伦理学杂志》上用英文发表《为什么中国没有科学？——对中国哲学的历史及其后果的一种解释》。在他们的影响下，外国人戴孝骞（H.H.Dubs，1929）等开始研究这一问题；1944年吴藻溪将德籍犹太历史学家魏特夫（Karl A.Wittfogel）的《中国为什么没有产生自然科学》译成中文之后，又引起了国人的讨论，此年竺可桢发表的文章题为：《中国古代为什么没有产生自然科学》，仍然认为中国古代没有自然科学。但这时陈立和钱宝琮的文章，观点已经开始变化，认为中国古代不是没有自然科学，而是不发达。其后，英国学者李约瑟开始研究中国科技史，他发现，中国古代科学不是不发达，而是很发达，从公元前1世纪到公元15世纪，在许多领域，远比西方领先，问题是：“为什么以伽利略为代表的近代科学——连同它对先进技术的一切影响，产生在欧洲，而不发生在中国？”这就是现在大家所谓的李约瑟难题。李约瑟认为，近代科学从方法上有别于古代的是将数学与实验结合起来。他分析伽利略方法的特点是：

1. 从所讨论的现象中，选择出几个可用数量表示的特点来；
2. 提出一个包括所观察各量之间的数学关系式在内的假说（模型）；
3. 从这个假说推出某些能够实际验证的结果；
4. 观察，然后改变条件，再观察——即进行实验（反复实验），尽可能把测量结果用数值表示出来；
5. 接受或否定第二步所作的假说；
6. 用已接受的假说作新的假说的起点，并让新的假说接受考验。

如果说，只有有意识地按照这样完整的六步进行的工作，才是科学研究的话，不但中国古代没有，西方也没有，就连文艺复兴时期的巨人列奥纳多·达·芬奇（1452—1519年）也还没有做到这一步。科学史这门学科的奠基者乔治·萨顿（G.Sarton）说：“直到14世纪末，东方人和西方人是在企图解决同样性质的问题时共同工作的。从16世纪开始，他们走上不同的道路。分歧的基本原因，是西方科学家领悟了实验的方法并加以应用，而东方的科学家却未领悟它”。任鸿隽、冯友兰、竺可桢说中国古代没有自然科学，实际上都是指的没有这套实验方法，并不是说中国古代没有科学成就。我们

今天理解，科学应该包括科学方法、科学成就和科学精神。

科学对社会的作用，是随着时间的前进，逐渐显露出来的。西方到了与伽利略同时代的弗兰西斯·培根（F. Bacon, 1561—1626）才预感到科学的发展将导致“一系列的发明，而它们将在一定程度上征服人类所感到的贫困和苦恼”，“知识即力量”就是他的著名格言。“科学是一种在历史上起推动作用的革命的力量”，这句话只有到了19世纪恩格斯才能说出来。在中国古代，科学的社会地位，并不像我们想象的那么坏。秦汉以来，那些稍微稳定和长久的朝代，都为科学的发展多多少少尽过力。就是焚书坑儒的秦始皇，也不烧“医药、卜筮、种树”之书，还组织300多人进行天文、气象观测。任何一位统治者，想要长治久安，想要持续发展，都不能不关心科学，秦始皇的迅速灭亡，并不是因为不重视科学，而是其他的问题。

说中国古代只有技术，没有科学，这是一种错觉。弗朗西斯·培根和马克思、恩格斯对造纸、印刷、火药和指南针的推崇，只是因为这几样东西适应了文艺复兴和资产阶级走上政治舞台的需要，并不是说中国只有四大发明。李约瑟为了证明中国传到西方的不只这四件东西，在他的《中国科学技术史》第一卷中用a, b, c, d, 排列，一口气写到“(z) 瓷器”。他说：“我写到这里用了句点，因为26个字母都已用完了，但还有许多例子，甚至重要的例子可以列举。”李约瑟在这一节里讲的是“技术的西传”，而且只是“少数有关机械和其他技术提前来叙述”，更不包括科学在内。

中国人是不是只讲求实用，而忽略了基础研究，事实上也并非如此。在数学方面，祖冲之（429年—500年）关于圆周率的计算，准确到小数点后七位，在世界上领先了1000年。他从圆内接正六边形开始，依次将边数加倍，求各正多边形的边长和面积，边数越多，正多边形的面积和圆的面积也就越接近，求得圆周率也越准确。他一直算到圆内接正24756边形。 $24756=6 \times 2^{12}$ ，也就是说，要把同一运算程序反复进行12次，每一运算程序又包含有对9位数进行加、减、乘、除和开方等11个步骤。就是今天，用笔来进行计算，也不是一件容易的事，更何况当时是用算筹摆来摆去呢，而这项研究并没有什么实用意义！

《墨经》中的光学部分，虽然只有8条，仅300余字，但次序安排合理，逻辑严密，堪称为世界上最早的几何光学著作。前5条，首论影的成因，次述光和影的关系，第三以针孔成像论证光的直线进行，接着又说明光的反射，最后讨论光、物、影三者的关系，这样，光学中的影论部分已基本具备了。后3条分别论述平面镜、凹面镜、凸面镜的成像规律，正是光学中像论部分的基本内容，8条合起来即为几何光学的基础，没有做过实验是写不出来，没有对实验的忠实纪录也是写不出来的。

在化学方面，西汉时的《淮南万毕术》中即发现了金属置换反应，将铁放在硫酸铜即胆矾溶液中，使胆矾中的铜离子被金属铁置换而成为单质铜沉淀下来的产铜方法，到宋代曾广泛应用于生产，是水法冶金技术的起源。东汉末年的《周易参同契》认识到了物质进行化学反应时的配方比例关系。东晋时的《抱朴子·内篇》发现了化学反应的可逆性。不少事实说明，中国的炼丹术比阿拉伯人更早地为原始形态的化学作出了贡献。

谈到生物学，不能不想起达尔文（1809年—1882年）。达尔文在《物种起源》里说：“如果以为选择原理是近代的发现，那就未免和事实相差太远，……在一部古代的中国百科全书中已经有关于选择原理的明确记述”。

其后，在他的《动物和植物在家养下的变异》（1868年）一书中，又引用了大量中国资料，作为他的学说的例证，我们的祖先不仅认识到变异的普遍性和它同环境、条件的关系，而且认识到可以利用变异为材料，通过人工选择来培育新品种。宋代王观在《扬州芍药谱》中说：“今洛阳之牡丹，维扬之芍药，受天地之气以生。而大小深浅，一随人力之工拙而移其天地所生之性，故异容异色间出于人间”。又说“花之颜色之深浅与叶蕊之繁盛，皆出于培壅剥削之力。”这把遗传和变异的关系，以及人工在变异中的作用说得一清二楚。所谓“天地所生之性”即遗传性。人工选择的方法，中国也有多种多样。在公元前1世纪的《汜胜之书》中就提出小麦的穗选法，说：“取麦种，候熟可获，择穗大强者，收割下来成束晒干，收藏好，顺时种之，则收常倍。”到了公元6世纪的《齐民要术》，关于人工选择的记载就更多了，在猪、羊、鸡、蚕和禾、粟、稌、秫等家养动物和栽培作物中，普遍地应用了人工选择的方法来选育新品种。

通过人工杂交形成的新品种，可以把两个或两个以上亲本的优良性能结合起来，成为一个具有更高生产性能和更能抵抗不良环境的新的生物类型。杂交分有性杂交和无性杂交两种，这两种在中国古代都有相当突出的例子。马和驴杂交产生的骡子是个典型的例子。骡结合了马和驴的特点，而胜于马和驴。它从马那里得到体大、力大、活泼等优点，又从驴那里得到稳健、不易激动、忍耐力强的优点。到目前为止，像骡子这样有用的种间杂交，也还是少见的。至于无性杂交的嫁接技术，在我国更是普遍。《齐民要术》就有利用不同种的树木进行嫁接，来提早果树结实和改良品质的记载。1688年陈扶摇在《花镜》中说：“凡木之必须接换，实有至理存焉。花小者可大，瓣单者可重，色红者可紫，实小者可巨，酸苦者可甜，臭恶者可馥，是人力可以回天，惟在接换之得其传耳。”正因为我国有丰富的关于遗传种的知识，才培育了许多动植物优良品种，创造了大量物质财富，以世界上7%的耕地面积，养活了世界上22%的人口，对世界文明做出了重要贡献。

中国人在天文学、地学和医药学方面的成就，那是有口皆碑，谁也抹杀不了的，就不用再说了。

二、中国古代科学是否只是辉煌的未来？

中国古老深厚的传统文化对当代科技发展有着重要的促进作用，可以归纳为四个方面。

一是中国系统思维在当代科技综合趋向中的启发作用。近代科学发展400年，建立了庞大的分析型学科体系，在很多方面较精确地研究了自然界。但它也有不足之处，发展综合、非线性、复杂性、开放系统的研究，已成为当代改变观念、推动科学发展的时代强音，而这类研究正是中国传统文化的优势，可以有启发作用。耗散结构理论的创建者，比利时科学家普里戈津（I. Prigogine）1979年说：“我们正向新的综合前进，向新的自然主义前进。这个新的自然主义将把西方传统连同它对实验的强调和定量的表述，同以自发的自组织世界的观点为中心的中国传统结合起来”。1986年他又在《探索复杂性》一书中说：“中国文化具有一种远非消极的整体和谐。这种整体和谐是各种对抗过程间的复杂平衡造成的”。四川水利工程都江堰历经2000年而不衰，渠首工程的鱼咀、飞沙堰、宝瓶口三者巧妙结合，分水、分沙的

合理性，工程维修的科学性和简单性，充满了中国古人治水的整体性和复杂性思想，对当今的水利工程建设有着丰富的启示。协同学（synergtics）的建立者，德国物理学家哈肯（H.Haken）说：“我认为协同学和中国古代思想在整体性观念上有很深的联系”。“虽然亚里斯多德也说过整体大于部分，但在西方，一到对具体问题进行分析研究时，就忘了这一点，而中医却成功地应用了整体性思维来研究人体和防治疾病，从这个意义上说中医比西医优越得多”。他说，西方的分析式思维和东方的整体性思维都是他建立协同学的基础。

二是古代的天人合一思想，强调人与自然的和谐关系，对当代的环境科学、区域开发和持续发展有明显的积极意义。《旧约全书》里说，上帝给人的训喻是：“你们要生养众多，遍满大地。凡地上的走兽和飞鸟，都必须惊恐，惧怕你们；地上的一切昆虫并海里一切鱼类，都交付你们的手。凡活着的动物都可以作你们的食物，这一切我都赐给你们，如同蔬菜一样。”和这种主张无限发展人口和无限掠夺自然的思想相反，中国在周朝就颁布了《野禁》和《四时之禁》，不准违背时令砍伐木材，割草烧灰，捕捉鸟兽鱼虾，设立了管理山林川泽的官员。战国时的韩非就认识到了人口膨胀带来的社会问题，他说：“今人有五子不为多，子又有五子，大父未死而有二十五孙，是以人民众而货财寡，事力劳而供养薄，故民争，虽倍赏累罚而不免于乱”（《韩非子·五蠹》）。这比马尔萨斯的人口论（1798年）早2000年多年。除了保护生态和节制生育外，更主要是发展生产。要持续发展，首先得解决农业问题，《吕氏春秋·审时》篇说：“夫稼，为之者人也，生之者地也，养之者天也”，把农业生产中天、地、人三者之间的关系看作彼此联结的一个有机的整体，主张顺天时，量地利（根据地区和土壤等条件进行种植），尽人力（精耕细作、间作套种等），这一套完整的农业思想，在现代的农业生产中，仍然闪闪发光。在防治水灾方面，也有人与自然的双重关系，古代即有“非河犯人，人自犯之”一句名言，现在高坝、大库修得很多，但水灾越来越严重，问题就是忘记这条教训，有的地方把开发区设在河滩内，水来了当然损失很大。搞系统工程的，只考虑对物和技术的重视是不够的，还要考虑“事”和人的因素，顾基发教授根据天人合一思想，最近提出了WSR系统工程方法论。此方法认为处理复杂问题时，即要知物理，又要明事理（考虑这些物如何更好地被运用的事的方面），最后还要通人理。

三是自然史料在现代科学研究中的应用。我国地域广大，历史悠久，对许多自然现象的观察时间之长，纪录之详，堪称世界之最。首先注意到中国天文纪录重要性的是法国大天文学家，大数学家拉普拉斯，1796年他在《宇宙体系论》里说：“法国图书馆所藏许多手稿里，有不少是还没有经人整理的观测，它们对于天文学可能有所阐发，特别是对于天体运行上的长期差。这一工作应引起熟悉东方语文的学者们的注意，因为认识宇宙体系里的大变化，并不比法国大革命（1789—1794年）更少趣味”。他是看了在华传授士宋君荣（A.Gaubil）写回的手稿说这番话的。宋君荣提供的中国关于黄赤交角的观测，为他的天体力学理论提供了佐证。二次世界大战以后，射电天文学的出现，使对超新星遗迹的认证工作显得重要起来，而在这方面中国纪录更能发挥作用，担任过美国原子能委员会主席的麻省理工学院教授韦斯科夫（V.F.Wisskopf）甚至这样说：“在人类历史上有两个7月4日，值得永远纪念。一个是1776年7月4日，成立了美利坚合众国。一个是1054年7月

4 日，中国天文学家纪录了金牛座超新星的爆发，这次爆发产生了蟹状星云。”蟹状星云是当今天文学的前沿阵地，担任过美国国立基特峰天文台台长的伯比奇（G.Burbidge）说，当今天文学的研究可以分为两部分：蟹状星云的研究和其他天体的研究。东方天文纪录的现代应用，现在已成为一个很受注意的课题，许多国家有人在做。

历史资料在地球科学研究工作中也很重要。竺可桢先生关于气候变迁的研究就是一例。从 1952 年开始，他不断地从经、史、子、集，以及笔记、小说、日记、地方志中收集有关天气变化、动植物分布、冰川进退、雪线升降、河流湖泊冻结等资料，加以整理，临终前于 1972 年发表《中国近五千年来气候的变迁的初步研究》，重建 5000 年气温变化史，受到全世界的关注。文章发表后立即被译成英、德、法、日和阿拉伯诸种文字，英国《自然》杂志发表评论说：“竺可桢的论点是特别有说服力的，着重说明了研究气候变迁的途径，西方气象学家无疑将为能获得这篇综合性研究文章感到高兴。”现在，研究全球性的气候变化，已成为一个重要课题，各国都在大量投资，计算机模拟等手段均用上，而竺可桢开创的历史方法仍不失为一条途径。

建国初期中国科学院组织的《中国地震资料年表》的编制及有关的研究工作，既是基础研究，又具有现实意义。地震预报十分困难，世界各国地震学家长期努力至今尚未研究出有效方法。我国地震台站解放前只有北京和南京两处，解放以后，虽逐年增设，但为数也不多，而为时又短，远远不能满足第 1 个五年计划建设的需要。第 1 个五年计划的主要任务是发展重工业。按照建厂的程序，在选择厂址时，首先需要知道建厂地点的地震烈度。地震烈度若会达到 7 度以上，基本建设就要加防固设备；地震烈度若会达到 10 度以上，则根本不能建厂，其他条件再好，也得放弃。在这种情况下，只有发挥我国历史纪录的优势，组织大量人员收集各地各代资料，总结选厂地点的地震状况。他们列出了 500 多个地点的地震烈度，绘出等震线，作出中国地震区域图，满足了当时经济建设的需要。此项工作在 1976 年唐山大地震以后更显得重要，中国社会科学院、中国科学院和国家地震局又联合起来，重新组织力量，再做更细致的工作，历时 5 年，完成《中国地震历史资料汇编》5 大卷。

类似于地震烈度研究对工程建设所起作用的史料工作最近还有水利科学院水利史研究室关于“三峡地区大型岩崩和滑坡历史及现状的考察研究”，这是为跨世纪的三峡工程所做的准备工作不可少的一部分。他们查阅了 1800 年的有关历史文献和地质勘测资料，先后 3 次去现场考察，在此基础上形成了相应的历史模型，进而提出了可行性方案。报告指出了过去近 2000 年间，大型岩崩滑坡集中在某几个河段；集中发生的周期和季节规律；最大规模只是短时间堵江，未形成经年的拦江堆石坝。报告还指出秭归、巴东境内的黄腊石和新滩两地岩崩规模最大，危害严重，应先期整治和预防，但不致制约三峡工程建设。从而，对三峡地区今后可能出现的类似地质灾害在地理分布，发生诱因、可能的规模和频率等方面，提供了一个实在的参考，成为预测它们对工程施工、今后的运行以及城镇和航运安全影响的依据。在这里，“历史模型”取得了地质理论分析和计算都难以做出的结果。

四是把传统科学作为目的基因转入现代科学中，使现代化科学得以有新的发展。在这方面最成功的一个例子便是吴文俊院士从事的几何定理的机器证明及其应用。

数学定理的机器证明是吴文俊院士继承我国古代数学传统开创的数学机械化工作的一部分。“机械化”是相对“公理化”而言的。公理化思想起源于古希腊，欧几里得《几何原本》就是这方面的代表作，它创造了一套用定义、公理、定理构成的逻辑演绎体系。我国的数学著作，自汉代的《九章算术》起则创造了另一种表达方式，它将 246 个应用问题，区分为 9 大部分（章），在每个部分的若干同类型的具体问题之后，总结出一般的算法。这种算法比较机械（刻板），每前进一步，都有有限多个确定的可供选择的下一步，这样沿着一条有规律的刻板的道路一直往前走就可以达到结论。而这种以算为主的刻板的做法正符合计算机的程序化。吴文俊先生利用我国宋元时期发展起来的增乘开方法与正负开方法，在 HP25 型袖珍计算器上，利用仅有的 8 个储存单位，编制一小程序，竟可以解高达 5 次的方程，而且可以达到任意预定的精度。

我国宋元时期数学发展的另一个特点，是把许多几何问题转化为代数方程与方程组的求解问题（后来 17 世纪法国的笛卡尔发明的解析几何也是这样做的）。与这相伴而生，又引进了相当于现代多项式的概念，建立了多项式的运算法则和消元法的有关代数工具。吴文俊先生以其深厚的几何学和拓朴学功底，吸收了宋元时期数学的这两大特点之后，将几何问题用代数方程表达，接着对代数方程组的求解提出一套完整可行的算法，用之于计算机。1977 年先在平面几何定理的机器证明方面取得成功；1978 年推广到微分几何；1983 年我国留美青年学者周咸青在全美定理机器证明学术会议上介绍了吴方法，并自编软件，一鼓作气证明了 500 多条难度颇高的几何定理，轰动了国际学术界。穆尔（J.S.Moore）认为，在吴文俊之前，机械化的几何定理证明处于黑暗时期，而吴文俊的工作给整个领域带来光明，一个突出的应用是由开普勒行星运动 3 定律自动推导出牛顿万有引力定律，这在任何意义下讲都应该说是一件了不起的事。然而吴文俊并未就此满足，他说：“继续发扬中国古代传统数学的机械化特色，对数学各个不同领域探索实现机械化的途径，建立机械化的数学，则是本世纪以至绵亘整个 21 世纪才能大体趋于完善的事。”

我于今年 8 月 26 日在汉城召开的第八届东亚科学史会议上将以上 4 点做了介绍以后，大家很受鼓舞，8 月 28 日《韩国经济新闻》以通栏大标题做了报道。有人觉得英国历史学家汤因比（A.J.Toynbee）临终前于 1973 年对池田大作说的话可能是对的。他说：

“我所预见的和平统一，一定是以地理和文化主轴为中心，不断结晶扩大起来的。我预感到这个主轴不是在美国、欧洲和苏联，而是在东亚。”

“中国人和东亚各民族合作，在被人们认为是不可缺少和不可避免的人类统一过程中，可能要发挥主要作用。”

三、中国传统文化的科学精神

什么是科学精神？有各种不同的说法，但又大同小异，这里采用竺可桢的说法。竺可桢于 1941 年在《科学之方法与精神》一文中分析了近代科学的先驱哥白尼、布鲁诺、伽利略、开普勒、牛顿和波义耳等 6 人的生平事迹，从他们身上总结出了 3 个特点，认为这即是文艺复兴以后的欧洲近代科学精神。这 3 点是：（1）不盲从，不附和，一切依理智为依归，如遇横逆之境，

则不屈不挠，只是问是非，不畏强暴，不计利害；（2）虚怀若谷，不武断，不专横；（3）专心一致，实事求是。后来，他在浙江大学的一次演讲中，又把这3点归纳成为两个字，即“求是”。他认为求是精神，就是追求真理，不盲从，不附和，不武断，不专横。而求是的途径则在儒家经典《中庸》中已说得很明白，曰：

“博学之，审问之，慎思之，明辨之，笃行之。”

即单靠读书和做实验是不够的，必须多审查研究，多提疑问，深思熟虑，明辨是非，把是非弄清楚了，认为是的就尽力实行，不计个人得失，不达目的不罢休。

在这里，竺可桢已把现代科学精神和中国传统文化联系起来，但没有更多的展开。事实上，科学精神属于精神文明的范围，它在追求真理和坚持真理这一点上，和人文精神是一致的。而人文精神在中国传统文化中有着丰富的遗产，仅以《论语》为例，我就觉得有许多论点和竺可桢所谈科学精神是一致的。

《论语·子罕》篇有：“子绝四：毋意，毋必，毋固，毋我”。这就是说，孔子在讨论问题的时候不主观、不武断、不固执、不唯我独尊。这不就是“无偏见性”和“虚怀若谷”吗？孔子主张“学而不思则罔，思而不学则怠”（《论语·为政》），这里的“思”是思考的意思，就是说，光读书不思考，不怀疑，就罔然无所解，光思考不学习，就殆然无所得，这又和“怀疑性”与“不盲从”是一致的。孔子反对附和，反对盲从，颜回虽是他的得意门生，但对“吾与回言终日，不违如愚”是不满意的，他说“回也，非助我者也，于吾言所不悦”（《论语·先进》）。相反，他却提倡“当仁不让于师”（《论语·卫灵公》）。对孔子来说，“仁”是人之所以为人的性质，即人道的最高真理，一旦掌握了这个真理，就是老师也不让，而且提倡“志士仁人，无求生以害仁，有杀身以成仁”（《论语·卫灵公》），也就是说，在真理与生命之间进行比较，真理更重要。布鲁诺为坚持日心说，被烧死在罗马鲜花广场上，宁死不屈，不正是这种精神的体现吗？

孔子这种坚持真理的精神，为中国历代的优秀知识分子所继承，孟子高扬“富贵不能淫，贫贱不能移，威武不能屈，（《孟子·滕文公》下）；陶渊明“不为五斗米折腰”；文天祥大义凛然，临刑前写下了气壮山河的《正气歌》。这些动人的事迹不但鼓舞了中国人民一百年来反帝反封建的英勇斗争，也成为中国科学家求实、献身思想的思想源泉，正如1989年3月王绶琯院士在中国天文学会第六次代表大会上的《祝辞》中所说：“我们中国的天文工作者，远溯张衡、祖冲之，近及张钰哲、戴文赛，虽然时代不同，成就不等，但始终贯串着一股‘富贵不能淫，贫贱不能移’的献身、求实精神。今天，让我们继承我们民族的优良传统，在社会主义建设的号角中，团结、奋斗、前进吧！”

任何传统都有精华和糟粕两个方面。问题是我们要善于保持和发扬精华，敢于淘汰那些糟粕。杨振宁最近在《近代科学进入中国的回顾与前瞻》一文中说：“儒家文化的保守性是中国三个世纪中抗拒西方科学思想的最大原因。但是这种抗拒在今天已完全消失了。取而代之的是对科技重要性的全民共识。”“儒家文化注重忠诚，注重家庭人伦关系，注重个人勤奋忍耐，重视子女教育。这些文化特征曾经而且将继续培养出一代又一代勤奋而有纪律的青年。与此相反，西方文化，尤其是当代美国文化，不幸太不看重纪律，

影响了青年教育，产生了严重的社会与经济问题。”

竺可桢、王绶琯和杨振宁，他们都是受过西方教育的有成就的科学家，他们深感中国传统文化中的科学精神对他们的培养之恩。那些轻视中国传统文化，认为中国传统文化妨碍科学发展的说法是站不住脚的。

四、中国科学的未来

杨振宁《近代科学进入中国的回顾与前瞻》一文的最后说：“到了 21 世纪中叶，中国极可能成为一个世界级的科技强国。”我同意他的这个结论。

中国人有没有能力从事近代科学？这个回答是肯定的。英国李约瑟本来是一位生物化学家，与中国毫无关系。1937 年在他的实验室里来了 3 位中国留学生（王应睐、鲁桂珍和沈诗章），其聪明才智使他大为震惊，他觉得能培养出这样学者的国度必然有高度的文化，于是他在 37 岁这年开始学中文，后来改行研究中国科学史。抗战末期，他在英国驻华大使馆担任科学参赞，并组建中英科学合作馆，后来把他记述抗战时期中国科学家工作的一本书取名《科学前哨》（Science Outpost）。他在序中说：“书名似乎应当稍加解释。并不是我们中英科学合作馆的英籍同事在中国，而以科学前哨自居。我所指的是我们全体，不论英国人或中国人，构成中国西部的前哨”。“这本书如有任何永久性的价值，一定是因为它提供一类纪录（虽然不甚充分），……看到中国这一代科学家们所具有的创造力、牺牲精神、坚韧、忠诚和希望。我们同他们深以为荣，今天的前哨就将成为明天的中心和司令部”。你看他对中国科学的未来是多么充满信心！这本书很值得一看，可惜目前还没有完整的中译本。

到 1995 年 7 月为止，美国国家科学院在世的 1672 名院士中，华人科学家有 30 位，占 0.18%；美国工程院 1348 名院士中，华人有 43 位，占 0.32%。这个比例虽然不高，但可以证明，在当代世界科技最强国的评估中，华人还是占有一席之地的。而且还要考虑到，1949 年以后，中国科学家有许多杰出的成就是保密的，如原子弹和导弹的研制等，外界很少知道，国际学术交流也中断了许多年，美国评选外籍院士，很少会考虑到这一部分中国学者。事实上，他们选举大陆学者为外籍院士，是从 1982 年才开始的，至今只有 6 人：华罗庚（1982 年，已故）、夏鼐（1984 年，已故）、谈家桢（1985 年）、冯德培（1986 年，已故）、周光召（1987 年）、贾兰坡（1994 年）。被选为工程院外籍院士的是王淀佐（1990 年）和郑哲敏（1993 年）。因此这只能是一个参考指标。

最能说明中国人能够自力更生、独立自主搞科学的是杨振宁搜集的 10 项产品的年代比照表，现在把这个表转录如下：

第一次制成	年份					
	美国	前苏联	英国	法国	日本	中国
反应堆	1942	1946	1947	1948	-	1956
原子弹	1945	1949	1952	1960	-	1964
氢弹	1952	1953	1957	1968	-	1967
人造卫星	1958	1957	-	1965	1970	1970
喷气机	1942	1945	1941	1946	-	1958
M2 飞机	1957	1957	1958	1959	-	1965
试制计算机	1946	1953	1949	-	1957	1958
计算机(商品)	1951	1958	1952	-	1959	1966
半导体原件	1952	1956	1953	-	1954	1960
集成电路	1958	1968	1957	-	1960	1969

从上表可以看出，我们的速度是很快的。从原子弹到氢弹，我们所花费的时间最少，法国 8 年，美国 7 年，英国 5 年，苏联 4 年，中国只有 3 年，爆炸在法国之前。还要注意一点，别的国家的科学家，是全力以赴搞科学，中国科学家要政治学习、劳动锻炼、下乡“四清”，至于文化大革命那样的干扰就不用提了。过去在时间很少的情况下，能做出如此巨大成绩，今后政治形势稳定，不再以阶级斗争为纲，不再搞运动，科学家用足够的时间钻研业务，肯定能出更多更好的成果。

发展科学要有人，这个人得有时间，还得有钱。再伟大的科学家也不能赤手空拳站在自然界面前，他要生活，他要获取别人的信息（图书、资料），他要有观测和实验的设备，这些都要钱。今天，我们科研经费仍然紧张，仍然需要加大投入，但和解放以前相比已有本质的不同。今天，政府择优支持，攀登计划等都属于这一类。以天文学来说，太阳物理经费相对来说就比较充足，原因是他们 80 年代研制出的太阳磁场望远镜，其功能比美国同样类型的两台仪器之和还大，能观测光球、色球两层中矢量磁场和速度场；90 年代发明的太阳九通道望远镜，使世界太阳界为之倾倒，日本、美国和欧洲等许多国家和地区，有的要买他们的仪器，有的正在积极采用他们的思路发展大型空间和地基太阳磁场和速度场系统。他们雄心勃勃，又准备立即将直径 80 厘米的望远镜用 20 万立方米的气球送入太空，并计划在 2002 年将直径 1 米的望远镜送入太空，进行观测。

“九五”期间那将要上马的国家大型工程“大天区面积多目标光纤光谱望远镜”，简称 LAMOST，又是一例。这项天文界经过 10 年酝酿，多次讨论，三易蓝图，到 1994 年才定型的计划，终于得到国家支持，拿出 1.7 亿元的经费来，给我们是多么大的鼓舞！

“工欲善其事，必先利其器”，回想 1912 年中央观象台成立时一架望远镜也没有；30 年代紫金山天文台建成，有了 60 厘米反射望远镜，但抗战军兴，几经搬迁，什么也没有做成。90 年代初我们有了上海天文台的 1.56 米望远镜，北京天文台的 2.16 米望远镜和 1.26 米红外望远镜，青海的 13.7 米毫米波射电望远镜……各项工作蒸蒸日上。我国现在每年发表的天文学论文都在 1,200 篇以上，1994 年高达 1464 篇，而 1911 年到 1948 年总共才 944 篇，只是这一年的 65%，可见其进步之大。今年 8 月 1—4 日，在香港举行

了 21 世纪中华天文学研讨会，到会 180 多人，其中来自内地的占 1/2，来自港台的占 1/4，来自海外的占有 1/4。大家满怀信心展望 21 世纪，一致认为：“中华民族有着悠久的天文观测传统，对世界天文学的发展曾经做出了独特而重要的贡献。现在，中国天文又在蓬勃兴起，进入 21 世纪，中华天文学家和天体物理学家将会有更辉煌的成就。”炎黄子孙遍布 7 大洲，振兴中华同此心。

在当代的各门自然科学中，天文学是花钱很多而经济效益又最少的一门小学科，就能有如此大的发展，其他学科的前景就更光明了。所以我是满怀信心地进入 21 世纪，21 世纪中国将成为科技强国。当然，这样说不是看不到问题，在前进的道路上总是会有困难和错误的，但根据 20 世纪发展的经验，困难总是会被克服的，错误总是会得到改正的。

从科学发展过程及研究规律看什么是真科学、伪科学

苗永瑞

中国科学院陕西天文台 中国科学院上海天文台

苗永瑞 天体测量及时间频率专家。1930年12月3日生于山东济南。1951年齐鲁大学毕业，中国科学院陕西天文台名誉台长、上海天文台研究员；国际天文协会会员，国际天文协会时间组织委员。1991年当选为中国科学院院士。主要从事天体测量和时间频率的研究。

一、前言

科学一词拉丁语是学问或知识的意思，英语是 natural sci-ence 的简称，对应的德文是包括一切有系统学问的意思，在汉语词典中说“科学”是反映自然、社会、思维等的客观规律的分科的知识体系，如物理学、数学、生物学、化学等等，是社会实践经验的总结，并在社会实践中得到检验和发展，是揭示事物发展的客观规律探求客观真理，成为人们改造世界的指南。恩格斯说：“科学是一种在历史上起推动作用的革命力量”，科学可以转化为直接生产力。离开了科学就不可能有现代化的生产，也不可能有社会的现代化。技术科学是根据科学原理和法则，创造实用技术方法，科学实验过程，设计研制仪器及器休；创造新的产品和技术路线等。小平同志说：“科学技术是第一生产力，这是十分正确的；党中央最近又提出科教兴国的战备方针，是非常英明和及时的。”

最近一些时期来，各地发生了各种迷信活动，相信命运，用易经算命，用特异功能预测未来事件，甚至水变油等伪科学甚嚣尘上不一而足，科学就是科学，伪科学不可成为科学，不可混淆是非。本文仅就科学发展过程及科学研究规律，从正面谈谈这方面的看法。本人非科学学专家，以下看法不一定正确，算是一孔之见吧。

二、科学发展的历史过程

科学技术的发展大致经历了三个历史过程，即古代科学，文艺复兴时代后的科学及近代科学（18世纪后的科学）。科学经过这三个时期的发展才臻于完善。

第一个时期，由于生产及生活的需要，发明了一些器具及测量方法，开始了科学技术的朦胧；在非直观的科学方面存在着很多假设和猜想，那时这些假设无异也受到迷信和神学色彩的影响，但假设和推理方法的建立打下了初步基础。在这一时期，特别对以后的科技发展产生奠基作用的是古希腊三位伟大科学家，即亚里士多德、欧几里德和阿几米德，这三人分别建立了归纳、演绎法及逻辑学，提出了定义、公理、公设，然后到定理，最后一位创立了实验科学。在那一时期古希腊的亚历山大里亚城出了很多科学家，后人称为亚历山大里亚学派。

第二个时期是从 16 世纪开始到 17 世纪，称为文艺复兴时代。从第一个时期到第二个时期经历了 1000 余年，科学技术发展非常缓慢。这主要是在公元前后世界上创立了三大宗教，虽然宗教对人类的精神文明建设有重要意义，有时对科学技术发展也有一定作用，但到中世纪，特别是在欧洲的天主教掌握了国家行政大权，教皇可以任免国王，自称是上帝的长子，教皇的教律严重阻碍了科技发展，很多大科学家甚至被教皇处死。一千余年的科技停顿不能说与宗教没有关系。

打破宗教枷锁把科学推向前进，在历史上应归功三大伟人。一位是开创这一时期的波兰人哥白尼（1473—1543），他建立了日心说，成为自然科学的独立宣言；另一位是英国人威廉·哈维（1578—1657），他的“论动物的产生”及万物皆来自“卵”的理论对生命科学产生了革命性变化，最后一位是 18 世纪英国人查理·达尔文（1809—1882）了，他的物种起源建立了进化论，恩格斯称赞这是“首先发现了我们星球上有机界的发展规律”。以上三位伟人不仅是伟大科学家，而且是人类进入科学时代开拓者和奠基人。自此以后，科学进入飞跃发展时期，从而产生了欧洲的工业革命，使物质生产一日千里，逐步进入高度发达的社会。

第三个时期是从 18 世纪开始的。这时的科学已进入系统化，即从理论到实践，然后到大量的采用这些理论与实验发展出大量的生产工具和产品。科学已进入学科阶段，出现大量的著名科学家及工程师。物理学从力学和机械学中产生了电磁学、电动力学等；化学从无机化学到有机化学，大分子化学等；生物学从分类学到生物化学、生物物理学等；天文学从天体测量天体力学到天体物理等；数学从几何代数到微分几何等……各种学科不断出现，分工愈来愈细，发展愈来愈快，水平愈来愈高。到本世纪初，又出现相对论和原子核物理及量子物理，在实践中产生了半导体，激光和高速计算机，以及原子能的应用。从而把科学又推向一个新阶段。估计量子力学及核物理的应用，目前还在初级阶段，到下世纪才能发挥出它的巨大功能。

上述科技发展过程是从西方科技方面论述的，中国的发展不太相同，因中国是非宗教国家，在公元前与西方大致相同，但我国在人文学方面发展比较突出，而科技理论没有出现像古希腊那样的大科学家。不过在宋朝以前，我国的科技水平还是比较高的，是稳步发展的，没有明显的起伏。但总的来讲发展比较缓慢。这主要是当权者重视人文学，而对科技认为是雕虫小技不予重视。自清朝起，中国已逐步沦为半殖民地，其科技水平就不言而喻了。

三、科学技术的规律

1. 科学实验的三条基本原则，真实的实验应不以人的意志为转移，其检验标准就要符合三性，即重复性、再现性和可比性。在一定条件下，这种实验总可以重复做，不能是一时可做，过一时就不能进行；而实验中根据客观规律，必定出现某种现象，不管做多少次，这种现象总会发生，称为再现性；现象的发生可以直接观察或间接观察，而且可以进行量化测量，此称为可比性。符合三性的实验称为真科学试验，否则就是不真实的，不是虚假的就是偶然的不能称谓规律。伪科学均不具备此三原则。

2. 科学研究的连续性和不断深入性。从历史上看科技发展过程是连续的和不断深入的。从物理中的力学研究来说明此问题。牛顿定律的创建不是牛

顿一个人的功劳，而是牛顿总结了伽利略、开普勒和胡克等人对力学的大量观察和实验加以概括和推理而得到的。伽利略在做斜板试验时，发现物体下滑速度愈来愈快，产生加速度，若把物体由下向上推一下，则情况正相反。因此他大胆认为把斜板放平，若板子没有磨擦力的话，将维持速度不变，这不就是牛顿第一定律吗？不过牛顿把惯性概念加进去就进入到高层次。牛顿的万有引力的发现，应当说来源于开普勒的行星运动三定律启发与概括。因此科研的重大成果是多人多年众多科学家研究的总合力的结果。是一个连续渐进的过程（包括推理过程是连续的），累积到一定程度，将产生出飞跃性的成果。就是量变到质变的规律。而伪科学则是另外一种样子。

3. 科学研究要有参考体或参考系。现就参考体在天文学研究的作用加以说明。用在地球上物质的光谱图与宇宙中天体的光谱进行比较就可知天体的元素成份，若没有地面上实验的标准光谱图（即参考体），说天体上有什么物质不就是伪科学了吗？

测定天体距离的方法有十余种，不同情况就用不同的方法，不管哪一种方法，均是与距离有关的关系式求得。关系式的得到还是用已知的天体的物理性质求得的。那么已知天体的距离是用地球公转时测量的视差而得。因此可以把视差法测得的天体距离的那些天体称为参考体。

在科学实验中，均需要测量仪器或工具，古人云：工欲善其事，必先利其器。所有的测量仪器，均需定标才能实用。这种定标工作也可以称谓参考体。总之科学实验是离不开参考体的。伪科学就没有像样的参考体。

总之科学发展是渐进地、连续地，有严格的推理及实验过程，是放之四海而皆准的。科学研究可以飞跃，但应是有基础的飞跃，有大量实践来验证的。而伪科学是似是而非的，真假混淆跨大其辞的。当今世界科技有巨大的魔力，有些不可能直观就能了解。在此情况下，我们一定要有清醒的头脑，千万要分清是非，走科学技术发展之路。

世界科技、经济中心的转移及留给我们的思考

程耿东

大连理工大学

程耿东 工程力学家。1941年9月22日生于江苏苏州。1964年毕业于北京大学。1968年大连工学院研究生毕业。1980年获丹麦技术大学博士学位。1995年任大连理工大学校长。1995年当选为中国科学院院士。主要从事工程力学和计算力学研究。

翻开世界科技成果发现、发明、创造和应用的历史史册，我们可以看到，在人类历史的发展进程中，世界的科技中心发生过多次转移，从古代的中国到意大利、英国、法国、德国，直到今天的美国。对科学中心转移现象进行系统的定量化研究的第一位学者，是日本的科学史家汤浅光朝，他得出的结论是，“从意大利到美国，科学中心已经发生了四次转移，每个国家的平均兴隆时期约为100年”。“科学兴隆时期比起每一个国家的历史要短得多”，每次科技中心的转移都引起世界经济中心的转移，每一次转移都有深刻的历史背景，反映了科教和社会和政治、经济、文化的密切关系，反映了科技是生产力的论断。分析世界科技中心转移的历程，可以看到很多规律性的现象，从中得到十分有益的启示。也可以看到，改革开放后的中国的政治经济条件，有可能使中国成为21世纪世界科技发展的新中心之一，进一步使中国成为世界经济的中心之一。同时，我们也可以看到摆在我们政府、科教界和企业家面前的一系列的迫切课题。只有切实解决这些问题，才能落实科技是第一生产力和科教兴国的战略方针，才能使这种可能转化为现实。

一、世界科技和经济中心的五次转移

1. 古老的中国曾经是古代世界科技和经济的中心

中国、巴比伦、埃及和印度被人们称为世界四大文明古国，其中中国是唯一保持完整文化传统的国家。如果说奴隶社会的科学文化高峰在古希腊罗马时期，那么封建时代的科学技术高峰则在中国。由于中国以农业为中心的科学技术取得世界领先地位，使得从公元前3世纪，即秦汉开始，古代世界的科教中心在相当长的一个时期是在中国；从秦汉直到中世纪，中国封建社会有过一段科教得到迅速发展的时期，在唐宋时期发展到一个顶峰，四大发明（火药、造纸、印刷、指南针）中的三大发明是在唐宋。中国“农、医、天、算”四大实用科学成就为我国古代农业社会和中华民族的繁荣发挥了巨大作用。古代的中国出现了一批优秀的科学家。如研究预报地震、发明地动仪的张衡；研究历法和圆周率的祖冲之；著有《梦溪笔谈》，对天文、律历和医药都有很多研究的北宋政治家、科学家沈括；著有《水经注》，研究治水的郦道元和对天文观测和编制新历很有成就的一行和尚。科技的发达，促进了经济的繁荣和社会的发展，历史上有名的“贞观之治”除了有政治因素外，也有当时的生产力和科教水平作为基础，而且政治因素在相当程度上也是适应了当时的生产力和科教水平。唐朝时中国的科学文化和经济繁荣的壮

观景象吸引了许多国家的学者来华，仅留学长安的日本留学生，唐代就多达五六百人，西方望尘莫及。从元代以来，中国多数封建朝廷对知识和知识分子不重视。例如，元代流传的说法是人分十等：一官、二吏、三僧、四道、五医、六工、七猎、八民、九儒、十丐。知识分子排在第九，只比要饭的高一等。历史上的中国封建统治者，从未给予科技足够的重视，从事科技活动的工匠和技师一直处于社会的最低层。长期实行的科举制度客观上影响了知识分子对自然科学和技术科学的重视，严重地束缚了人们的思想。儒家的一些道德观念，如中庸之道，影响人们的探索和创新。在这样的政治和社会舆论环境下，科学技术的发展速度慢慢地降下来，明清时期，虽然也出现过徐霞客、李时珍、宋应星等一些科学家，但总体来说科技和经济逐步衰落下来，并且很快被欧洲超过。

2. 意大利曾经是世界近代科技和经济的第一个中心

从公元5世纪到15世纪，欧洲上空弥漫着乌云，教会和骑士横行，人们愚昧无知，社会停滞不前，科学家被禁锢在牢笼里，科学的发现被说成是对上帝的诬蔑，史书上把这漫长的近1000年的历史称为黑暗时代。从13世纪开始，中国四大发明陆续传入欧洲，对欧洲的文艺复兴运动乃至资本主义社会的发展起了催生作用。马克思说：“火药、指南针、印刷术——这是预告资产阶级到来的三大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎，指南针打开了世界市场并建立了殖民地，而印刷术则变成新教的工具，总的来说变成科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆。”在这一段时期中，资本主义在欧洲地中海沿岸开始萌芽，西方以意大利为代表，新兴资产阶级掀起文艺复兴运动，反封建、反神学，出现思想解放高潮，并出现了一批号召人们从中世纪的精神桎梏中解放出来的思想家，如《神曲》的作者但丁。也出现了一批著名的科学家，他们强调通过实验和观察来认识自然、认识世界，反对片面地依靠逻辑推理来认识事物。例如，反对把地球看成是宇宙中心的哥白尼，开创实验科学的伽利略。东方的科技成果产生了西方近代科学，近代科技的第一个中心在意大利形成。科技的大发展推动了意大利的经济发展，当时意大利的商业和航运业都得到了迅速的发展，也成为世界的中心。

3. 英国成为近代世界科技的第二个中心

近代第二次科技中心的转移发生在17世纪初到1830年，世界科技中心从意大利转移到英国。这相当于我国明朝末年到清朝道光年间。16世纪末，先进的德国爆发内战，先进的意大利分裂为许多小国，为英国的发展创造了外部条件。16世纪末、17世纪初的英国思想家、哲学家弗兰西斯·培根在《伟大的复兴》中重点论述了知识的价值，提倡科学实验，提倡研究自然科学，在英国乃至欧洲产生了深远的影响。当时的英国政府重视科学技术，批准成立了皇家学会等学术活动中心。17世纪，出现了著名科学家牛顿，他作为一个“跨世纪人才”，发表了《自然哲学的数学原理》巨著（1687年），他的这部著作以科学实验和观察事实作基础，但明显受欧氏几何体系的影响。牛顿的科学思想成为英国科学革命理论的顶峰。牛顿发现的三大定律，使天体和地上物体的运动规律被统一在一个经典力学的框架中，上帝和天堂无容身之地。科学上的最新成就成为技术革命的先导，出现了专业化的和大机器生产，纺织业的发展要求纺织业的机械化，纺织业的机械化也带动了所有工业部门的机械化。英国政府鼓励人们从事工具机的发明和改进工作，出现了许

多发明，其中，特别是推动了蒸汽机的出现，瓦特在前人发明的基础上发明完善了高效蒸汽机，解决了一系列工艺问题和配套设备问题，将蒸汽机推进市场。纺织机械技术和蒸汽机技术引起了第一次工业革命，改变了整个生产和社会生活的面貌。英国的资本主义得到极大程度的发展，英国的经济进入了极度繁荣的时期，科学技术的发展也为英国的海外扩张创造了条件，开始了所谓的大英帝国“日不落”的历史。然而从19世纪末开始，英国的工业优势不断衰退，导致英国在科研开发的投入相对下降，再加上英国的学术界过分重视理论轻视应用、重视科学轻视技术的传统，英国在国际经济、科技等方面的地位不断下滑。

4. 近代科技的第三个中心是在法国

这个中心的形成开始在18世纪初，19世纪初进入高峰。这一阶段，英国的经济仍然处于繁荣的状态，法国则由于其特殊的政治情况成为激烈的大革命场所，以狄德罗为首的一批启蒙运动的哲学家形成了法国百科全书派，他们宣传自由平等和人道主义，提倡民主和科学，出现了一次思想大解放，彻底反封建。另一方面，在牛顿的学说的影响下，出现了一批科学家和科研成果，例如著名数学家及力学家拉格朗日，数学家和天文学家拉普拉斯，开创定量分析、创立燃烧氧化学说、推翻支配化学发展长达百年之久的燃素说的现代化学之父拉瓦锡，在这段时期还产生了公制度量衡、科学教学制度和公立中学。但是，法国的研究工作过分地学院式，教育制度培养的人才相当部分是科学家-数学家-哲学家类型，不善于将科学转化为生产力，再加上社会又过于动荡，影响了法国的经济发展。

5. 近代科技的第四个中心是在德国

在19世纪后期，1875年—1895年的20年间，世界科技中心转移到德国，世界的经济中心随之也转移到了德国。在1830年英国产业革命达到高潮时，德国仍然是个落后的农业国。德国人不甘落后，大批德国人去英国和法国留学并且学成回国。由于德国人重视理性、重视应用，德国政府重视知识，整顿教育制度，创办专科学院和大学，科教结合，聘请著名科学家和教育家主持柏林大学，开创教学、科研相统一的高教体系。1839年后，涌现了一大批著名的科学家，如世界著名的数学家雅可比、高斯，发现电学中的欧姆定律的物理学家欧姆，发展了农业急需的肥料技术和有机化学的 chemist 李比希，在柏林大学成立规模较大的有机化学实验室后在英国人 W.H. 柏金发明合成颜料的基础上，对香料、颜料和医药合成做出重要工作的李比希的学生霍夫曼。德国特别注意科学技术和工业的结合，出现一批善于应用科技成果于生产的企业家。例如，克虏伯将英国的炼钢法用来发展德国的钢铁和武器工业，还有西门子，既是发明家又是企业家。德国的煤和煤化学工业、钢铁工业、化学工业，特别是有机合成工业在世界上遥遥领先。德国还特别注意综合利用，出现了联合企业，成立了康采恩式的生产体制，当时德国的一些企业已经是世界上最大的企业，德国只用了40年就完成了英国100年才完成的工业化过程，德国的经济发展势头保持了相当长的一个时期。德国工业化的进程，充分地证明了科学技术是第一生产力的论断。一次和二次大战使德国的经济基础受到重创，人才和资金也受到严重的损失。

19世纪的欧洲大陆，法德两个中心带动了欧洲经济的普遍繁荣，在这一段时期，出现了很多重大的科研成果。英国的著名物理学家、化学家和物理化学家法拉第（1791—1867）发现了电磁感应现象，制成了世界上第一台电

动机，麦克斯威尔创立了完整的电磁理论并预言电磁波的存在，出现了第二次物理学理论的大综合，但是由英国科学家们浇灌的第二次科学革命之花，却在德国结出第二科技革命之果。这主要是德国发明家应用电磁理论，发明实用型的发电机，其意义和作用相当于瓦特的蒸汽机，由此导致以电气化为特征的第二次技术革命。德国科技和经济这时迅速超过英法，在一定程度上得益于德国造就了一批克虏伯、西门子、詹斯这样集科学家、工程师、企业家于一身的人才。19世纪还出现了三大发现，即生物进化论、细胞理论和能量守恒，科学已经走向成熟，基础科学的研究明显地走到了生产前面。

6. 世界科技的第五个中心在美国（20世纪）

美国在独立战争后的宪法中，明确了对科学技术的方针。美国的领袖人物和历任首脑人物都重视科学技术，有的人本身就是科学家，如本杰明·富兰克林和第三任总统杰弗逊。美国政府很早就明确以教育带动科研，对教育采取特殊优惠政策，赠予美国一批大学土地，每州至少建立一所传统农业和机械院校。在这样的环境下，出现了大发明家爱迪生，爱迪生在西门子发明电机、贝尔发明电话之后，发明了电灯，建立了世界上第一个发电厂，引起了世界乃至全世界的一场电力技术革命。一次大战和二次大战期间，美国又得到一个非常好的发展机会。美国采取拿来主义，采用移民政策大批吸收人才，一批著名科学家被吸引到美国，如提出相对论的爱因斯坦，著名物理学家费米。40年代末，美国留下了不少来自中国的科技人才，如杨振宁、李政道，钱学森经过很多努力才得以回国。人们曾经将美苏在二次大战后的做法归结成美国抢人，苏联抢机器，可见美国对人才的高度重视。美国政府利用战争中获得的资金大幅度地增加对科技的投入，研究开发经费投入每四年翻一番，二次大战期间，从1939年的一亿多美元增长到15亿美元。这一系列的措施导致了美国完成和完善了欧洲的钢铁、化工和电力三大技术，发展了汽车、飞机和无线电技术这三大文明，进一步领先进行了第三次技术革命，包括原子能（1942年）、计算机（1940年）、空间技术（1957年）、微电子技术（1970年）。高新技术的研究成果导致了高新技术产业群的形成和发展，美国1929—1969年的40年间技术进步对经济增长的贡献率达60%以上，表明战后科学技术越来越成为第一生产力。自70年代以来，以微电子技术和基因重组技术为特征，可以说，美国领导了一场世界范围的技术革命，形成了一个以信息技术为先导、生产技术为主导的包括新材料、新能源技术、航天技术和海洋技术为内容的高技术体系，并在80年代后期迅速地商业化和产业化，为美国赢得大量的利润。尽管70年代以来美国经济地位相对日本、西欧有所下降，但近几年信息技术的发展提供了产业结构调整的一个机会，推行“信息高速公路”带来了新的全球市场的形成和发展，推动了经济复苏，应该说，至今美国的经济仍是全世界经济活动中心之一。这种状况还将维持一个相当长的时间。

二、世界科技中心转移的规律和中国的机会

上面我们简要地回顾了科技和经济中心转移的历史，从中一是可以看到转移的规律，二是可以看出今天中国的机会和我们急需考虑和解决的问题。

1. 科技中心转移的条件和规律

对上述世界科技这些转移现象的分析，已经得到了定量统计结果的支持。从世界科技中心转移的前因后果，我们可以得到许多有益的启示。分析

世界上科技中心转移的情况，可以看出，科技中心转移的开始往往是，这个地区或国家由于战争或革命得到特殊的条件，人们的思想得到一个前所未有的解放，然后出现了大规模的先进科学技术和智力的引进，充分利用先进地区和国家的科技成果推动这个地区生产力的飞速发展，从而使整个社会和政府积累了大量的资金，能够对科教这一比较长远才能有效益的领域进行大规模的投资，能够为科学家创造一个宽松的政治和研究环境。在这种情况下，如果政府和社会能重视科教，重视人才，摆正应用和基础研究的关系，政府的政策和社会的观念推动科技人员和生产的结合，就有可能接着出现教育发展高潮和人才涌现高潮，本地区或本国的科教队伍和成果大批涌现，包括出现杰出的人才和划时代的重大科学发现，自身的科技成为自身的第一生产力，在这些重大的科技成果的基础上发展起被这一地区或国家垄断的产业，获取巨额利润，推动经济文化的全面腾飞，实现了世界科技中心的转移。在很多情况下，随之而来的是世界经济中心的转移。经济中心和科技中心的形成相互促进。

在分析这些中心的转移时，我们还可以看到，每一个成功的中心都在注意科教和经济结合的过程中，涌现出一批科学家-发明家-企业家集成或转化型的优秀人才，他们善于在“科学-技术-生产”转化链条中进行成果的转化工作。他们提出一项或多项重要的、有突破性的科学研究成果，这些科学研究成果转化为一批先进的、垄断的技术，进而转化为畅销的商品占领市场，这一技术或产品成为世界范围这个时期的特征，技术的发展导致经济的发展。

总之，要使一个地区或国家发展成为世界科技中心，除了外部条件，还要有政府和社会的支持和重视，全民的思想舆论的准备，优秀人才的聚集，充分的资金注入，宽松的政治和研究环境，正确的引导科技、教育和生产的结合的政策。

由于各种各样的内部外部因素，包括其它国家和地区得到了更好的机会或国际环境，本地区条件的缺乏，其中还有一个重要的可能是，为了长期保持科技的领先地位，需要长期投入大量的资金用来研究探索性的问题，而这是一件风险很大的投资，很可能维持不下去。历史说明，这些一度成为科技中心的地区的科技的发展会迟缓下来，经济又衰退下去，中心转移到新的地方。

2. 下一个世界科技中心在何处？

近代世界科技中心从 16 世纪下半叶以来，差不多平均 80 年左右就转移一个地区，美国自 1920 年成为世界科技中心到 2000 年正好 80 年，按照一般的规律，在本世纪末下世纪初应该发生中心的转移。但是，根据目前的情况来看，由于整个世界处于和平发展时期，短时期内不会发生战争，也由于科学发展存在着越来越大的惯性作用，再加上美国利用最近的国际形势的变化，获得了一大批的优秀人才和巨额利润，加强了科技力量的积累，美国还不可能马上退出科技中心的位置。但另一方面，根据欧洲、俄罗斯及亚太地区经济政治和科技的发展形势和过去的基础来看，在未来的 21 世纪，美国不再可能成为世界科技的唯一中心，德国、日本、欧洲和俄罗斯都有一定的基础和技术资金的储备，亚太地区的国家发展势头很好，21 世纪的科技中心和经济政治形势一样，可能呈现多中心或多极化的局面。

3. 中国成为世界科技中心之一的可能性和几个问题

改革开放使得我们的思想得到一次前所未有的大解放，我们敞开国门从国外引进一大批科学技术、发明、生产线和设备，极大地提高了生产力；改革开放使得我们有机会送出去一大批留学生，请进了一大批专家，中国的高等教育在提高自身的同时，为改革开放培养了一批优秀的人才，投身我国的经济建设和社会发展之中。我们的党和政府对教育科技的重视在中国历史上是空前的，在邓小平提出的科技是第一生产力的基础上，最近，党中央又提出了科教兴国的战略，“九五”开始，在高等教育战线上又提出了“211工程”，政府对科教的投入也在逐步地增长，在最近10年中先后成立了自然科学基金会，支持基础和应用基础的研究，建立了一批国家重点实验室，为科技人员提供了科研基地，为了跟踪世界高新技术的发展，实施了“863计划”。政府吸取先进国家在科技和经济结合方面的经验，科技体制正在向适应社会主义市场经济体制和科技自身发展规律的新体制转变，很多地方和部门实施了依靠科技振兴经济的发展战略，例如，辽宁省和大连市都确定了科教兴省、兴市的战略并正在实施。整个社会正在形成尊师重教的良好风尚。从总体上来看，我国已初步具备了支撑经济和社会发展参与国际竞争的科技实力，为加速全社会进步奠定了坚实的基础。这样的一个过程、环境及条件和很多新的世界科技中心的形成过程中的情况是非常相似的。应该说，迄今为止的中国改革开放的成果一方面充分证明了我们的一系列措施的成功，证明了科学技术是第一生产力，另一方面，也为我国科技和经济的进一步发展创造了条件，中国面临着成为世界科技中心的前所未有的机会。除此之外，华人的智力素质是世界公认的，现在在美国大学和科研院所中，高层的教授专家中，华人的比例很高；美国人流传一些说法，例如，金钱装在犹太人的口袋里，知识装在华人的脑袋里；再如，如果一个研究单位里没有华人学者工作，这个单位的水平就可想而知。

在我们看到有利的一面的同时，我们也应该看到存在的很多问题。我们总结了战后世界经济科技发展趋势，提出了科学技术是第一生产力的论断，但科学技术在我国还没有普遍变为现实的第一生产力。西方发达国家科技对经济增长的贡献已达到60%—70%，韩国也达到57%，而中国科技进步的贡献只有30%左右，如何创造条件使中国的科教得到较快的发展，并且以较快的速度转化为生产力，在中国加速产生效益，这是政府、企业和科学家面临的共同任务。

世界发展到今天，各国在发展自己的科技文化经济的过程中，都在不断地总结自身和他国成功的经验，随着历史经验的积累，近代科技中心的形成是一种更有目的、有组织、充满了竞争的政府行为。如果说，意大利成为世界科技中心完全是时势造英雄，而在21世纪前夕的世界，情况有了很大变化。重视科教，重视人才，争夺高新技术的制高点，争取成为世界科技的中心，进一步争取成为世界经济的中心，已经成为有目的、有组织的政府行为，是政府和政府之间的竞争。这种有目的、有组织的政府行为使得新的中心的形成在一定意义上更为困难。下面是几个重要的问题，应该予以研究。

(1) 引进问题

历史上科技中心的转移，一个国家一个地方经济建设的腾飞都以引进先进的科学技术为先导，在已有的科技成果的基础上发展自己的经济，当经济发展到一定阶段时，由于自身科技的发展再形成自己特有的、垄断的技术领域，推动经济得到高速的发展。但是，今天引进先进技术的代价是很高的，

这是我们的老祖宗把四大发明传播到欧洲时，帮助意大利形成世界第一个近代科技中心时并未想到的。这就使得依靠购买国外的科学技术来发展生产并积累资金的路和以前相比，困难得多。长期购买国外技术对我们这样一个大国来说，代价是很高的，是中国经济持续发展不可能承受的；而最核心最先进的技术可能是根本买不到的，买到时实质上已是落后的。如果说在改革开放的初期，大量引进是十分必要的措施，在改革开放 18 年后的今天，我们必须更加强调依靠中国自己的科技和开发成果。中国的科教应该成为中国的第一生产力。令人遗憾的是，迄今为止，在相当的一些领域和行业，中国自己的科学技术没有充分地发挥作用。

(2) 人才问题

历史上科技中心的转移都要依靠一批优秀人才，这些人才或靠自己培养或靠从国外引进，但在人才激烈的争夺战中，我国的大学、研究所和西方资本主义国家的大学、研究所相比，能为优秀人才提供的生活和工作条件有较大差距。更为严重的是我们在和香港、台湾地区、新加坡的大学研究所相比时也明显有差距。这些国家和地区现在有目的地和我们争夺在高新技术领域工作的高水平人才。由于 10 年文化大革命中我们几乎中断了高等教育，在文化大革命之后，又有接近 10 年的出国浪潮，我国优秀科学家和科技人才的接班是一个十分突出的问题；现在有的情况使人忧心忡忡，在一些部门一些领域，我们花了大价钱使外国的科学技术成为了中国的第一生产力，而我们花了大力气培养的中国的科教人才反而成了外国的第一生产力。

(3) 经费投入问题

科技和经济的结合，科技开放和科技成果转化为生产力，都需要资金。这个道理是十分明显的。但我国在科教投入上，总的来说还是不够的。在人才培养方面，我国教育经费占国民生产总值目前只略高于 2%，本世纪末，如果我国人均收入达到 1000 美元，则要达 4%；在中央政府财政支出中，教育经费所占比例，韩国达 20%，发达国家 15% 左右，我们国家只达 10%—11%。我国研究开发经费虽然在增长，但在国民生产总值所占比例却徘徊在 0.7% 左右，这两年又降低到 0.6%，韩国这个比例已提高到 2%，日本已达 3% 以上。将科研成果转化为技术乃至产品需要的经费数量比完成科研所需的经费大得多，据上海对科技成果转化的投入比例进行统计，上海的科研-中试-产业化经费投入比例为 1 : 1.01 : 10，而发达国家这个比例一般为 1 : 10 : 100，这一个巨大的差异在我们这儿并没有得到充分的理解。政府、企业和研究开发单位之间并没有取得足够的共识。很多科研成果得不到应用是因为缺乏风险投资，在很多科研单位和高校有一种很普遍的现象，一项新的成果因为没有试制成功的产品就没有用户，没有用户就没有可回收的资金，没有资金就没有办法试制产品。我们可以在发展中国家经常看到这种循环。产生这种现象的原因除了有认识上的问题，例如承担风险的意识，还有一点是我们的中央财政和大中型企业的财政情况。大规模引进外国技术后，得到的效益和巨额利润，应该有更多的部分投入到有风险的科技开发，现在的投入看来是不够的。这可能有多种原由造成，如部门、产业之间分配不平衡；消费与积累，发展和当前的福利之间的关系的处理。企业家、社会和国家都要重视科技开发、新产品开发，要舍得投入并承担风险。应该特别强调的是，企业应该成为科技开发的主体，企业家要舍得投入并承担风险。在这一方面，我们同先进国家差距很大，我国研究开发经费政府投入占 56%，而企业仅占 44

%，日本、韩国相反，科技投资中企业占 80%，而政府投资在 20% 以下。如果再注意到很多中国企业的科技投入并没有真正用在科技开发上，这个差别还要大。

（4）科技转化为生产力需要时间

科技和经济的结合、科技转化为生产力除了需要资金，需要人才，还必然需要时间，特别是一项重大的科学研究成就，要转化为生产力往往需要一个一批优秀人才组成的长链，长链中需要企业家、科学家、发明家，需要不同专业不同背景的一批人才。典型的例子是电力技术。电磁感应定律是英国实验科学家法拉第在 1831 年发现的，第二年法国人皮尔希使用永久磁铁研制成最早的发动机，但无法实用，德国发明家西门子又经过 10 年探索（1856—1866），发明了自激式直流发电机，宣告了电气化时代的到来，但是，真正的大规模的电力应用是在爱迪生在 19 世纪 80 年代的一系列发明之后，历时近 50 年，为此作出重大贡献的著名科学家就不下几十人。虽然由于科技开发型、转化型人才数量和质量的提高，科技投入强度加大，本世纪以来科技成果转化为生产力的周期缩短，转化速度加快，但科技转化为生产力还是需要一定耐心的。不了解这一规律，急于求成，就可能出现很多伪科学的发明、发现和新产品，就可能指望水变成油，这也是我们社会近年来的一个突出问题。说到底，没有优秀人才，缺少科技投入，指望科技立竿见影，搞无米之炊，恐怕是不成。

上面这几个问题应该说现在已是众所周知，但这里把它们联系在一起分析，可以看出世界科技中心的转移现在已经成为政府间、国家间的竞争，政府的政策、法规、舆论导向、投资决策对这场竞争有决定性的影响。科教兴国不仅是科教界的事。

三、科教工作者的思考

最近召开的全国人大八届四次会议通过了关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要，为了实现今后 15 年我们国家的奋斗目标，关键在于两个转变，这就是经济增长方式和经济体制的根本转变；要从计划经济体制向市场经济体制转变；经济增长方式从粗放型向集约型转变；转变经济增长方式归根到底要靠加快科技进步，提高劳动者素质，科技的重要性和人才的重要性成为大家都在谈的问题。

作为一个科技人员，我们的科研工作要更加自觉地瞄准国家目标；科技人员要把对科技的忧患意识提高到对国家的忧患意识上来，国家的物价问题、中央财政问题、国有大中型企业的困难，紧迫的农业问题，都摆在我们前面。我们要重视基础研究工作，也要加强应用和开发的研究，无论是应用还是基础研究都应该环绕国家目标。

作为一个教育工作者，改革教育体制，教育思想体系和方法，提高办学效益，特别是应该吸取先进国家通过科技推动经济发展的经验，适应科技发展综合化的趋势、适应自然科学和社会科学有更多的交叉的趋势，加强培养复合型转化型人才，培养善于将科技成果转化为生产力的人才，即集企业家-科学家-发明家于一体的人才。为了培养这样的人才，我们的教育需要进一步改革，要把人才的素质教育放在更重要的位置上。

我们广大科技工作者都有事业心和自信心、责任感和使命感。我们面临的问题很多，但是困难和挑战只能激励我们为中华民族重新崛起，屹立于世

界先进民族之林而奋斗。我们坚信，全国人民在中国共产党的领导下，坚持科技兴国的战略方针，按照邓小平同志提出的科技是第一生产力的思想，中国在实现第二步战略目标基础上，下世纪中叶第三步四个现代化目标也能够达到。四个现代化实现之日，就是中国成为科技和经济多极化世界一极之日。

非线性力学及其应用

白以龙

中国科学院力学研究所

白以龙 力学家。1940年12月22日生于云南祥云，1963年毕业于中国科技大学，1966年在中科院力学所研究生毕业。现任力学所学术委员会主任、非线性连续介质力学开放实验室主任，国家自然科学基金委员会数理科学部主任，《中国科学》与《科学通报》副主编。1991年当选为中国科学院院士。主要从事非线性连续介质力学的实验研究。

1939年底，冯·卡门在美国科学促进协会(American Association for the Advancement of Science)和美国数学学会(American Mathematical Society)做了题为“工程师与非线性问题拼搏”的讲演(The Engineer Grapples with Nonlinear Problems)。该文于次年发表于美国数学学会会报上。文中，他写道：“在许多情况下，工程师靠简化假设，就能将他的问题线性化，并且一本数学教材，就能容易地提供他所需的全部工具。但是，如果工程师遇到的是一个真正的非线性问题，也就是说，线性化使其变得毫无意义，此时，往往工程师就不得不靠自己与非线性拼搏了！”

卡门的讲演，真实地反映了当时的情景。

首先，经过200年的积累，通过对压杆失稳、非线性振动和三体问题等典型非线性问题的研究，非线性力学已积累了相当的认识和理论。例如，庞加莱从三体问题的研究，已认识到在非线性的系统中，一种我们觉察不到的起因可能产生一个显著的、我们决不会看不到的结果。

其次，当时的工业和生产，已提出大量重大问题，迫切希望解决。一是飞行跨越声障的问题，二是航空采用的薄壁构件的行为，三是新材料，如塑料、纤维等的出现和应用。这些需求都提出了大量的非线性力学问题。跨越声障要了解激波，采用薄壁构件要解决大变形屈曲，使用新材料要遇到非线性物性。这些问题，往往与线性化了的问题有根本性质上的不同，因此，不论是处理工具还是基本概念都要靠拼搏，去开拓、创新。

因此，在本世纪上半叶的物理学革命的大潮中，看起来处于旁观地位的力学，一方面开拓了航空等大型新兴工业，另一方面，继承着欧拉、庞加莱等人的传统，率先向非线性领域突进了。当时，大概几乎还没有人意识到，这个突进，在本世纪后半叶竟发展成了超越牛顿开始的机械论、又超越当时的物理学革命家们开创的还原论的一种新的自然观。

当前，社会和产业发展面临的迫切问题，或许可以概括为：可持续发展、国家在世界经济中的竞争力、重大工程寿命预测和自然灾害预报等。如何解决这些问题，除了社会因素之外，大家或许会想到先进的信息、材料和生命科学技术。但是，如果稍加注意便会发现，问题主要涉及的是宏观物质世界的运动，特别是它们的运动模式的变化。例如，我们之所以关心可持续发展战略，一个重要原因，是不希望生存环境的负荷超过某个临界状态，以便我们能生存于良性循环之中。又如，构成国家竞争力的要素固然很多，但突破

常规（可比拟为非线性外推）的硬软件工程技术，却依然是竞争力的核心。如在本世纪上半叶构成西方军力、生产力重要部分的航空业，就曾密切依赖于上面引述过的声障、薄壁件、新材料三方面的突破。因此，以宏观物质的多层次运动为主要研究对象的非线性力学及其应用，将会对我们的社会发展和生产起很大的作用。

举一些更具体的典型例子，也许会更形象。如：起飞重量为数百吨，机体尺寸为半个足球场大小的民航机，虽然乘客都能清楚看到机翼的明显颤动和位移，但它却在气体中安全地飞行。反面的例子，如大跨度的桥梁，在风载下坍塌是时有所闻的。1940 年全长 1.6 公里，列为当时世界第三的美国 Tacoma 大桥，在大风下激烈振荡，坍塌。其原因就是设计师不了解风和大桥的非线性相互作用，只按静载设计造成的。不幸的是，这类事故至今仍未完全消除。最近，美国一座数百米高的电视塔突然倒塌，就是一例。

面对未来，待解决的重要问题更多。重大工程，如水坝、机组运行了多年；或大型武器，如战略武器贮备了多年，它们还能安全可靠运行多久？什么时候到了临界状态，怎么预先测知？再如，空天飞机等新型飞行器，面临燃料在超声速流动状态下的混合和点火，对于流速超过了声速的流动，混合规律是什么呢？还有，对于自然灾害频繁的我国，我们能在多大的可靠程度上预报地震、台风、洪水等重大自然灾害，等等。这类社会和科学发展中的重大的、未解决的问题，不胜枚举。

归纳各种各样、大大小小的应用，典型化的非线性力学问题，或者可以举以下典型问题为例：1. 三体问题。1887 年瑞典国王奥斯卡二世（Oscar II）悬赏 2500 克朗，征求解答：太阳系是否是稳定的？例如某个星球是否会与太阳相撞。众所周知，太阳系有九大行星，问题是十分复杂的。其中所含的基本问题是，三个质点在万有引力作用下的运动，简称三体问题。其困难在于给定初始位置和速度，并不能像机械论判定的那样，确定以后任意瞬时的位置与速度，从而确定是否二个质点会相撞等。

2. 屈曲。1744 年欧拉研究过细杆在轴向力压缩下的变形。该细杆在轴向力较小时保持轴向变形，但当轴向载荷超过某一临界值后，压杆变形倾向于其一侧拱曲。这种现象被称为压杆屈曲或解的分叉。板、壳等一大类构件在受载时，均会发生这种偏离原对称平衡位置的不对称变形。因此，广义上它是弹性系统稳定性的问题。它的特点和难点在于，从一个对称平衡变形态中，怎么会又冒出另一个非对称的屈曲模态，屈曲以后，什么变形模态是最可能的。

3. 非线性振动。振动是极常见的现象。大家都熟悉简谐振动，特别是通过富氏分析，了解了基频振动和高频分量的作用。但到了非线性振动，一系列完全不同的新现象出现了。其中由负阻尼引起的自激振动——系统靠内部维持振动，和次谐波共振（分频）——系统外部强迫激励几分之一频率的振动，最引人注目。不断分频而导致混沌，把确定性动力系统和随机统计结合了起来。

4. 孤立子。上世纪 30 年代，J.R. Russell 在英国一条运河中，骑马追踪观察到一个突起的水峰能长时间维持其形状和运动速度，沿河道持续行进，被称为孤立波。二次大战后，费米等人计算非线性弹性弦，发现类似的现象。到 60 年代，Zabusky 和 Kruskal 才指出这是一类由非线性和色散的强耦合，形成的非常稳定的、即使碰撞也不改变形状的、像粒子一样的波结构，称为

孤立子。它表明在非线性（力学）现象中，除了分叉和不确定性解的另一个侧面，即非常有组织的结构。这个力学理论，在 20 年后，竟成了远距离光纤通讯的核心概念。

5. 激波或叫冲击波。在连续的流动中，当质点运动速度超过物质中的声速时，连续的流动会变成不连续的，也就是压力、速度、密度都会形成一个突跃。然而激波的出现不是预先给定的，它是强非线性造成的一个自由界面，飞行体在这种情况下遇到的麻烦就叫“声障”。二次大战期间，美国洛克希德公司新造的战斗机，当时速为 0.8 声速时，曾机毁人亡。事后检查，局部流速超过声速，激波不仅减弱升力，而且造成整机强烈振动而失去平衡。后来发现在固体中，甚至在交通车辆流中，激波也起着重要作用。

6. 湍流。湍流被称为是经典物理学中的最后的疑难。湍流问题难在哪里？其关键是，它是一个真正的“多体”问题。例如，其自由度可用雷诺数的 $9/4$ 次方估计，即使雷诺数为 10^4 ，其自由度已高达 10^9 ，相当目前计算机能力的上限。在湍流中，各种不同空间和时间尺度的大小旋涡相互嵌套着，能量在其间传输。强非线性相互作用，使得难以将看似有序的大尺度拟序结构与“混乱”的小尺度结构分割开来。湍流既是复杂流动向我们的挑战，也是长期以来，人们窥视复杂运动普遍规律的一个窗口。

7. 破坏。容易想象，固体破坏的物理本质，是从原子键的断开，到宏观固体的分离的全面展示。正因为如此，它跨越了从原子间距（ \AA ）到宏观工件（ $\text{mm} \sim \text{m}$ ）之间 $10^7 \sim 10^{10}$ 的跨度，因此，其间的复杂性，可与湍流相比。以至，钱学森把它列入连基本概念还不清楚的一类问题。有时候，忽略细节的宏观处理，如伽里略开始的强度理论，能提供一些可信的结果。然而，有时，一些微观细枝末节却又牵一发而动全身，造成“蝼蚁之穴，溃堤千里”的惊人效果。多层次的非线性相互作用，在这里布置了一座迷宫，我们尚未找到合适的通道。

上面所列的几个问题，决不是非线性力学的全部，而仅是几个示范例子，它表明的共同特征，目前可以概括为以下几点：

1. 局部之和不等于整体。因此不可能把对整体的认识，简单还原为对若干局部的认识；另一方面，大量单元按某些简单规律的多次重复，可能其总效应并不简单。

2. 不确定性。或者称确定性的随机行为，混沌即是一例。应该讲，在压杆屈曲中所显示的解的分叉，就是这种不确定性的原由之一。湍流则应是这方面一个活的沟通理论与实际的例子。

3. 组织性。强非线性耦合，还会造成与不确定性完全相反的一面，即坚不可摧的有组织的结构，孤立子是这方面的典型范例。

4. 复杂性。由上面几点合起来看，构成了现象谱的复杂性，而且不同特征或模式间的转换，由某种底蕴暗流所控制，表现上有突变性。

这些共性的根源可能来自三方面：非线性、非平衡、多层次。

因此，站在世纪之交的人们，面临着自然观，从机械论，进而到还原论，再进而到非线性演化的发展。周光召在 1995 年的科学大会上讲，我们“看到的将是与牛顿，爱因斯坦创建的确定性的、简单和谐的模式不同，而是一个演化的、开放的、复杂的世界，这是一幅更接近真实的世界图景。”在这样一种观察中，非线性力学，曾起过突进作用。半个世纪以前，冯·卡门的大声疾呼“工程师与非线性问题拼搏！”现在，已成为大批工程师和科学家，

从航空、航天到大型土木和海洋工程，从气象预报、地震预报到污染控制和生态环境保护领域的协同行动。但是，核心困难往往卡在强非线性耦合作用，及其引起的突变性问题上。显然，非线性力学是理论和实践，科学与工程的一个关键交汇点。因此，希望科研领导部门认识到，非线性力学的研究，是推动我国工程和科学发展的一种有长远影响的内在动力，予以重视和支持。

最后，应该强调，在近代史中，中国人只在少数学科，对近代科学有记入史册的贡献，非线性力学就是一个“中国人最有成就的学科”。（见钱伟长引林家翘语，《力学进展》1983.13.P117）。如周培源对一般湍流模式的研究，钱学森的跨声速流相似率和壳体非线性失稳理论，钱伟长的扁球壳跳跃变形理论，郭永怀的奇异摄动法（PLK 法——庞加莱，莱特希尔，郭永怀方法）等。因此，中国的非线性力学研究者，在国家和社会的需要提出如此重大的一些非线性力学问题的时候，在自然科学新观点又滋生于一大类非线性力学问题的时候，理应继承力学界前辈的传统，勇于创新，勇于开拓，做出符合时代要求的贡献。

核武器和核试验

吕敏

国防科工委系统工程研究所

吕敏 核物理学家。1931年4月20日生于江苏丹阳，1952年毕业于浙江大学，后到中科院近代物理所工作并读研究生，1959年至1962年在苏联杜布纳联合原子核所工作。现任国防科工委系统工程研究所研究员、中国核学会副理事长。1991年当选为中国科学院院士。在核试验的物理诊断领域长期从事系统的开创性工作。

一、核武器的作用和地位

自从1945年原子弹问世以来，由于核武器具有巨大威力，得到各国政府高度重视，在国际政治，军事，外交等各个方面起着重要的作用。

1. 军事上的作用 美国1945年原子弹研制成功以后，匆忙将仅有的两颗投向日本本土，炸毁了广岛、长崎两座城市，造成几十万人的伤亡。这是历史上核武器实战使用的唯一例子，它促使了日本提早投降。核武器的杀伤力是其他武器无法相比的，因此美国、苏联两个超级大国大力发展核力量，把它看作军事力量的主要支柱。其他有条件的国家也努力建立自己的核力量。

2. 威慑作用 第二次世界大战结束以来，还没有在实战中使用过核武器。但是美、苏曾多次威胁要使用核武器，企图迫使对方让步，他们实行核威慑战略，企图起到“不战而屈人之兵”的作用。冷战时期美苏双方都拥有庞大的核武库，但因为害怕对方报复而不敢发动战争。美国前国防部长麦克纳马拉曾宣称，只要命中约二百个氢弹就足以摧毁苏联这样的大国，使几千万人伤亡、工业损失二分之一、多数大城市被毁。而美苏各自的核武器数以万计，双方处于“确保相互摧毁”的“恐怖平衡”状态，这种状态持续了几十年。

3. 大国地位的象征 拥有核武器不但说明军事力量的水平，而且说明科学技术和工业水平的发达。现有的五个核国家正是安全理事会的五个常任理事国。拥有核武器已经成为大国地位的象征，它将大大提高一个国家在国际外交斗争中的发言权。

4. 核武器的前途 冷战结束以后，两极对立的军事、政治局面发生变化，核军备控制取得了进展，美俄两国已经开始裁减他们的核武库。美俄英法纷纷重新审查各自的核战略，核武器的战略作用有所下降，但是他们仍然把核武器当作他们军事力量的重要支柱。未来几十年内核武器仍将存在，仍将在国际政治、外交上起重要的作用。

5. 我国核武器的作用 我国发展核武器是被迫而为之，五六十年代我国曾几次受到美苏企图使用核武器的实际威胁。为了打破核垄断、核讹诈，我国发展了少量核武器，完全是为了自卫，纯属防御性质，假如某个大国要用核武器攻击我国，他也将遭到我们的报复。我国一贯主张全面禁止和彻底销毁核武器，承诺不首先使用核武器，不对无核国家和无核地区使用或威胁使用核武器。

我国拥有了核武器，在军事上对核大国起报复威慑的作用，在政治外交上提高了国际地位，大大鼓舞了全国人民的斗志。研制核武器的过程大大促进了我国科学技术的发展。当然，我们也为此投入了一定的财力和大量技术力量。

二、核武器的构成与分类

1. 核武器的构成

核武器由两大部分组成：核弹头和运载发射系统。

核弹头由核战斗部和壳体组成。核战斗部包括核爆炸装置和引爆控制系统，核装置是真正起战斗作用的组成部分，引爆后它将发生核反应，释放巨大的能量。核武器的威力决定于核装置的性能。

运载发射系统将核战斗部投射到预定的目标，实施攻击。运载发射系统种类很多，包括飞机、各种导弹。运载发射系统的能力将决定核武器的射程（打击距离）、命中精度、生存能力等许多重要的性能参数。

核武器系统还应该包括指挥控制系统。由于核武器的巨大威力和政治影响，核武器的使用必须非常谨慎，必须由国家最高领导决策，因此必须建立和保持严密的指挥控制系统。

2. 衡量核武器性能的主要参数

- 射程 能够实施打击的最大距离，为实施战略攻击，往往需要达到几千公里，甚至上万公里。

- 威力 核武器的爆炸威力可以从千吨 TNT 当量起直到几百万吨 TNT 当量。比威力，即核弹头的威力与质量之比，是衡量核武器性能的重要参数。

- 命中精度 为了打击加固的目标，需要准确命中，据称美国战略导弹命中的圆偏差 CEP 可达 100 米以内。

- 生存能力 核武器的生存能力，特别是在核攻击下的生存能力是十分重要的性能指标。它决定于核武器的隐蔽性能、机动性能、加固性能等。

- 突防能力 核武器必须突破对方的防御系统才能达到预定目标，突防能力决定于核弹头的隐身性能、机动能力、诱饵性能等。

核武器的性能将从综合以上各种能力获得。

3. 核武器的分类

从作战使用的目的可以划分为两大类：战略核武器和战术核武器。还有一类核武器用于防空和导弹防御。

战略核武器用于攻击对方战略目标，包括军事目标、经济目标或城市。一般需要有较大的威力和射程，由于各国战略地理位置不同，战略核武器并无明确的射程界限。根据运载发射方式的区别，战略核武器又可以分为三种：

- 远程或洲际导弹 核弹头由陆基多级导弹发射，弹头一般在地球引力作用下自由飞行，也称弹道导弹。远程或洲际导弹发射的核武器可以是单弹头，也可以是分导式多弹头。

- 潜射导弹 导弹由潜艇携带，作战时从海洋中发射。潜艇可以隐蔽在海洋中，可以获得较高的生存能力。潜射导弹可以用多弹头。

- 机载核武器 由远程轰炸机携带的核炸弹或核巡航导弹，可以用于攻击对方后方的战略目标。

美俄两个核大国都拥有三种战略核武器，被称为三位一体的战略核力量。

战术核武器用于战场作战，攻击对方的战术目标。战术核武器的威力相对较小，射程较短。战术核武器也有各种不同的发射方式，包括核航空炸弹、核导弹、核炮弹、核鱼雷、核地雷、核深水炸弹等。

三、核武器爆炸装置及其研究制造

核武器爆炸装置简称核装置，是核武器的关键部件。引爆后核装置中发生核反应，释放核能，引起爆炸。

1. 核装置分类及其原理

· 原子弹 原子弹核装置完全利用裂变能量。平时核装置中核材料处于次临界状态，引爆后周围的高能炸药向内聚爆，压缩裂变材料，使它们的密度显著增加，高密度的核材料达到超临界状态，此时注入中子点火，引起核裂变链式反应，发生核爆炸。

· 增强弹 在原子弹裂变材料中心放少量聚变材料氘和氚。当裂变材料发生链式反应，释放能量，利用裂变能量点燃聚变材料，聚变反应产生高能中子，高能中子又增强裂变反应。增强弹释放的主要是裂变能量，但有聚变反应增强，也称助爆弹。因为有聚变增强，高能炸药的用量可以减少，从而使核装置的重量和体积减小。为使少量的聚变材料发生聚变反应，需要创造高温高压的燃烧条件，这是一项很难的科学技术问题，要经过大量复杂、精确的理论计算，要经过多次试验，才能取得成功。

· 氢弹 氢弹由初级和次级组成。初级可以是原子弹或助爆弹，次级则包含裂变材料和氘化锂-6。初级发生核爆炸，释放巨大能量，核材料成为高温等离子体，发出大量 X 射线，X 射线传到次级，对次级进行压缩，此时锂核在中子作用下产生了氚，因此能够发生氘氚聚变反应，产生聚变能量并发出高能中子，而高能中子打在裂变材料上又发生裂变反应，因此氢弹有时也称为裂变-聚变-裂变三相弹。高能中子可以使铀-238 发生裂变反应，因此可以利用铀-238 作为部分氢弹的核材料。氢弹原理曾经是重要的军事机密，近年来，报刊文献中，特别是美国的报刊文献中陆续有所透露，但氢弹的具体构造仍然是保密的。

· 第三代核武器 采用特殊设计的核装置，使核武器爆炸时突出某一种效应，或实现效应定向，如增强中子、电磁脉冲、产生 X 射线激光等。希望把它们用于战略防御、战术应用等特殊场合。对第三代核武器的作用始终存在着分歧看法，在技术上又遇到很大困难，现在美国政府已经放弃了研制计划。

2. 核武器爆炸装置的研制

从核武器的工作原理可以看出，核武器的研制是一件极其复杂的科学技术任务。它涉及许多的物理学科：如裂变物理、聚变物理、高温高密度等离子体物理、中子物理、辐射输运、中子输运、爆轰物理、高压状态方程等等。在解决上述问题时不可避免要进行大量的数值计算，为解决复杂的高精度二维数值计算，必须使用最高速度、最大容量的计算机。由于问题极其复杂，理论计算和实验研究必须密切配合进行，需要进行实验室的各种分解实验；需要进行不发生核反应的外场爆轰实验，并进行爆轰时的闪光 X 射线照相，也称冷试验；最后在核试验场进行真实的国家试验，也称热试验。

除上述各种原理性问题需要解决以外，还有大量的工程技术问题需要解决。最重要的是需要各种高性能的材料，仅核材料就包括武器级钚、高浓铀、锂-6、氘、氚等，生产这些关键的核材料就将牵动整个的核工业系统。其他

像特种高能炸药，特种金属等的研究生产也要牵动许多工业部门。

上面我们只涉及到核装置本身有关的问题，除此外，核武器的战斗部还应该包括引爆控制系统，中子源等，它们将涉及许多重要的电子行业。

我们只讨论了核武器战斗部的研制工作，没有讨论有关核武器运载和发射设备的研制，它们将牵动另外一大批学科专业。

3. 我国核武器研制成功是全国上下齐心协力，大力协同的成果

我国许许多多的科研院所和工业厂矿参与了核武器研制的事业。许多有名望的科学家和众多的科学技术人员为此贡献了全部的聪明才智，甚至毕生的精力。

目前核试验虽然已经停止，但为使我国的核武器更加安全可靠、更具有威慑实力，还有很多的事情要做，还有很多科学技术的难关需要攻克。

四、核爆炸与核爆效应

1. 核爆炸分类

按爆炸的目的区分，有作战使用，核武器试验，和平利用等核爆炸。按爆炸方式区分，有大气层、地下、高空、水下等核爆炸。大气层爆炸包括空中爆炸和地面爆炸。不同方式的核爆炸其爆炸效应很不相同。作战使用时要根据不同的作战目的来选择爆炸方式。

2. 核爆炸效应

(1) 大气层核爆炸的效应 一旦发生核战争，对生命财产造成最大规模毁伤的是大气层核爆炸，它的毁伤因素主要有：冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染和电磁脉冲。

核爆炸瞬间释放出巨大的能量，使核装置物质变成高温高压等离子体，温度可达数千万度，压力可达 10^{15} 帕，它向外发射热辐射并猛烈地向外膨胀压缩周围空气，形成火球。火球压缩空气形成冲击波，向外辐射能量形成光辐射。火球膨胀、上升、冷却、成为烟云，烟云飘过时造成地面放射性沾染。伴随着核反应过程，产生大量的中子和射线，射线与空气作用，激励出很强的电磁脉冲。

· 冲击波 冲击波是造成人员，房屋，装备，工程设施破坏的主要因素。楼房的破坏阈值约 18 千帕，一个百万吨当量的氢弹爆炸，可以造成 7—8 公里范围内的楼房破坏

· 光辐射 光辐射可以烧伤人员的皮肤；可以引燃干燥的易燃物质，其阈值约 13—21 焦耳/厘米²。一个百万吨当量的氢弹爆炸可以使十几公里的易燃材料燃烧。

· 核辐射 核辐射可以造成人员伤亡和电子线路和器件的破坏。由于中子和射线在空气中传播距离较短，核辐射的破坏效应限于近距离。

· 放射性沾染 放射性沾染可以直接或间接对人员造成伤害，受到较大剂量时可引起放射病。爆炸高度较小，特别是地面爆炸时，会造成很大面积的放射性沾染，并且将存在很长时期。

· 电磁脉冲 电磁脉冲可以使未采取防护措施的电子、电力、通信系统受到破坏或干扰。

(2) 高空核爆炸效应 距地面几十公里以上的高空已接近为真空，核爆炸不再形成大气层那样的火球和冲击波，核爆炸的能量以 X 射线和核辐射的形式发出。在爆炸点附近，射线很强，可用于破坏近距离的目标。美俄都曾

研制成功以高空核爆炸效应为基础的反弹道导弹防御系统，现在莫斯科仍然部署着以核反核的弹道导弹防御系统。

高空核爆炸对地面的主要效应是核电磁脉冲。高空爆炸的射线射向地面时，在 20—30 公里高空的空气中打出电子流，激励出很强的、大范围的电磁脉冲。外国专家认为，在核战争初期，先实施高空核爆炸，可以造成对方几百甚至几千公里范围内的通信、指挥、控制系统失灵。

(3) 地下核爆炸效应 地下核爆炸主要用于核武器试验，它的主要效应是地震波。

(4) 水下核爆炸效应 水下核爆炸主要用于摧毁港口设施和水面、水下舰艇，它的效应主要是水中冲击波和巨浪。

五、核武器试验

1. 核试验的目的和试验方式

核试验的目的主要有两个方面：改进武器和研究它的破坏效应。为了改进武器，核试验中要安排较多的诊断测量项目，以便获取更多的实测数据，用于检验和改进理论设计。为了研究破坏效应，则需要安排许多效应物体，暴露在核爆炸破坏作用之下，研究各种破坏的阈值，为核战争中使用核武器及防护核攻击服务。另外还有一种核试验，其目的是研究和利用核爆炸的可能性。

有大气层试验和地下试验两种主要核试验方式。大气层核试验又包括地面、塔上、空中等爆炸方式。核国家早期都采用大气层核试验，它有利于研究核武器的破坏效应，也可以进行某些诊断测量。后来各国先后转而进行地下核试验，它可以避免放射性污染，又有利于诊断测量，可以把测量用的探测器对准核装置、布置在很靠近的地方。地下核试验可以采用竖井和平硐两种方式，平硐试验更有利于进行辐照效应实验。

2. 核武器试验中的诊断测量

为了改进核装置的设计，了解核装置的实际性能，需要通过核试验实际测量核装置爆炸的工作过程。在核试验中要进行两大类的诊断测量：实时物理诊断及放射化学分析诊断。

(1) 实时物理诊断 实时物理诊断主要测量核装置的核反应过程，例如：测量核反应的时间过程，包括核链式反应的增长速率，各种核反应发生和发展的时间关系等；测量聚变反应的温度；测量核反应活性区大小和形状；测量核反应产生的中子能谱等等。整个核装置爆炸过程仅持续微秒量级，因此实时物理诊断测量系统都应该具备纳秒、甚至亚纳秒的时间响应，需要使用最现代化的快速核电子学设备和技术。为了测量数据和测量设备安全，记录设备必须放在距爆心较远的地方，因此在物理诊断测量中还要解决快信号的远距离传输，核爆炸强电磁脉冲的干扰等问题，为此要研究高性能电缆和光缆等等。

核装置爆炸是一个瞬息即逝、不可重复的过程。物理诊断要在十分恶劣的环境条件中，精确测量中子、射线、X 射线的强度和它们随时间、空间的变化，并且测量要在无人操作、自动控制的条件下进行。瞬时诊断测量必须保证万无一失、一次成功，稍有疏忽就没有补救的余地。这是一项十分艰巨，而又充满吸引力的科学技术任务。

(2) 放射化学分析诊断 采取核爆炸后产生的有代表性的样品，用放化分析的方法分析测量，获取核装置爆炸过程中核材料发生变化的各种参数。爆炸后剩余的各种核材料、裂变产物、结构材料和大量的岩石混合在一起，要进行放化分析，首先要进行微量样品的精确定量化学分离和纯化，然后进行准确的物理测量，并扣除各种本底干扰。

通过放化分析可以获得许多重要的参数：如裂变当量，聚变当量，铀、钚、锂、氘的燃耗，铀和钚的同位素生成等等。在核装置的特定位置布放指示剂，通过放化分析可以获得该处的中子通量。测量氙和气体裂变产物也可以获得裂变和聚变的重要信息。

获取有代表性的样品是进行放化分析的先决条件，地下核试验中采用钻孔取样的方法获得爆后玻璃体样品。利用预先适当埋设的增强胶管可以获得爆后气体样品。

3. 核试验的试验技术

核试验是国家级的大型试验，实施核试验是一项巨大的系统工程。为了圆满完成一次核试验，除了核装置的设计制造、各种诊断测试的准备以外，还要做好核试验技术的准备。核试验技术，是指保证安全可靠地进行核试验所需要的技术。

为了保证试验安全，要进行安全设计和论证，包括试验场地的选择、爆心埋设深度的确定、竖井井筒或平硐坑道的堵塞方案、管道、电缆的密封措施等。要进行长期和短期的风速、风向、降水天气预报。地下核试验以后要监测放射性泄漏情况。

核试验控制要保证核装置解除保险、点火引爆、测试仪器等都按预定的时间顺序准确启动和关闭，核试验控制技术的特点是要求绝对可靠。

为了做好工程保障，必须提前做好地质勘探分析工作。为了获得满足核试验要求的井筒，要设计制造大断面深井硬岩钻机，断面要达到几个平方米，深度达几百米。要设计制造安放核装置的深水密封容器，要设计制造吊装塔架和吊装杆，要设计制造用于安放诊断探测器的测试钢架和安装调试塔，要掌握深井打筑混凝土塞和井筒回填技术，要掌握硬岩中定向钻孔取样技术等。

六、和平利用核爆炸

自世界上发生第一次核爆炸以后，就有许多科学家提出要将核爆炸用于非军事目的，并且进行了多方面的探索。几十年来，美国进行了 48 次和平利用核爆炸的核试验，苏联进行了 115 次和平利用的核爆炸，其中一部分已经有实际应用价值。

1. 几种和平利用核爆炸的途径

· 工业应用核爆炸 例如：大型挖掘工程，探索是否能利用核爆炸开挖运河等；刺激石油天然气生产；利用核爆炸产生的压力封闭油气井喷；建造地下洞库，如苏联已建成若干个天然气贮存库；利用核爆炸产生的地震波进行大范围地质研究。

科学研究方面的应用 利用核爆炸产生的强中子流和高温高压条件下进行（在实验室无法进行的）科学研究。已经进行过短寿命同位素的许多能级的中子截面测量；多重中子俘获后产生的超重元素的性质研究；特殊材料的高压状态方程测量等。

· 某些新概念设想 国内外学者还不断提出一些新的设想，如利用核爆炸发电、用核爆炸拦截向地球飞来的小行星、用核爆炸建筑拦江水坝、在喜马拉雅山用核爆炸凿洞引水等。但仅仅停留在概念设想上，都还没有达到进行可行性讨论的程度。

2. 和平利用核爆炸的前景

过去的研究和试验表明和平利用核爆炸有其优越性，70年代还举行过几次和平利用核爆炸的国际讨论会，但是和平利用核爆炸的前景并不乐观。主要有两方面的阻力：其一是公众对放射性的惧怕心理，使工业上的应用难于实际推广；另一方面是军备控制，为防止有的国家可能利用和平核爆炸进行核武器试验，最近通过的全面禁止核试验的条约中就把和平核爆炸也列为暂时禁止。

七、全面禁止核试验和核军备控制

1. 禁止核试验的谈判

早在50年代，美苏等国已经就限制和禁止核试验的问题展开讨论，并且签订了部分禁止核试验条约（LTBT）、限制核试验当量条约（TTBT）。他们没有就全面禁止核试验达成协议，因为他们都在努力改进各自的核武器，不能停止核试验。当他们的战略核武器已经发展到很高水平，改进的余地不大时，美国才主张全面禁试，开始积极推动全面禁止核试验条约（CTBT）的谈判。希望通过签订条约，防止出现新的核国家，并且限制其他国家（包括中国在内）继续改进核武器，以达到巩固自己的核优势的目的。目前CTBT的谈判已经告一段落，已经在联合国大会通过，我国已经签字。但是由于印度的反对，条约未能生效。虽然尚未生效，估计在若干年内几个核国家都不会再进行核试验。停止核试验意味着很难再发展新型号的核爆炸装置。但是核武器战斗部的非核部分仍然可以不断地发展改进，至于核武器的运载和发射部分的研究发展，则不会受到限制。

2. 核军备控制和发展与前景

随着冷战结束、苏联解体，核军备控制进展较快。美苏间的军备竞赛得到遏制，美俄之间签订了裁减核力量的条约 START 和 START ，开始裁减各自的核武器。1995年核不扩散条约得到无限期延长。CTBT也已有90多个国家签署。不久将就禁止核武器用的裂变材料的生产开始谈判。一旦达成协议，将有利于防止核扩散，也将对核国家增加核武器数量带来困难，但美俄等国已经积累了大量剩余的核材料，这项协议对它们将不会发生任何影响。

俄国尚未批准核裁军协议 START ，一旦得到批准并开始执行以后，美俄可能会推动包括我国在内的多边核裁军。美俄拥有最大量的核武器，即使在执行 START 以后，它们各自的核武器数量也将超过其他三个核国家拥有核武器之和。因此在美俄进一步裁减核力量以前，我们认为进行多边核裁军的谈判是不现实的。

虽然核不扩散条约已经无限期延长，核不扩散的危险仍然存在，印度等国仍不愿意放弃其核选择。

声学在现代科学技术中的作用

张淑仪

南京大学声学研究所

张淑仪（女）声学家。1935年12月7日生于浙江温州，1956年毕业于南京大学，1960年该校研究生毕业。现任南京大学声学研究所所长、中国声学学会常务理事、国际电气电子工程学会高级会员等职。1991年当选为中国科学院院士。对凝聚态物质（液体和固体）中多种模式的超声波传播规律进行了较深入仔细的实验与理论研究。

声学是一门研究声音的发生、传播、接收以及声波与物质相互作用的科学。随着科学技术的发展，声学进入了各个应用技术领域。在现代工业、国民经济、国防建设、科学研究和日常生活的各个领域，无不和声学发生联系。因此声学是一门渗透性很强的学科。

声学技术的广泛应用，首先要归功于声波的物理特性。声波是机械振动在物质（气体、液体和固体）中传播的结果，声波能穿透电磁波和光波所不能透过的介质。声波的振动频率范围很广，从1/1000赫到100万亿赫（ $10^{-4} \sim 10^{14}$ Hz）。频率在20赫到20千赫范围内的声波为人耳所能所见，属音频范围。20千赫至100兆赫为超声，100兆赫至100千兆赫为特超声，100千兆赫以上为热声子运动范围，20赫以下为次声。不同频率的声波有不同的激发和接收方式以及不同的应用领域。

下面就几个主要的领域加以简单介绍：

一、声学和物理学

声学是物理学的一个重要分支，也是物理学中最古老的分支之一。在物理学的发展中，声学有着卓越的贡献。首先，声学所研究的机械振动及其在各种物质中传播的属性是物理学的本质之一。Rayleigh于19世纪末最早提出声波动理论，对后来的各种波动传播理论的发展有重要作用。

在声与物质相互作用的研究过程中，到目前为止，虽然主要是研究物质的声速、声衰减及密度、弹性系数（粘滞系数）等宏观量，但通过宏观量的测量，可以揭示物质微观世界的本质。如分子声学从超声传播速度和衰减及其弛豫效应的测定，可以研究气体中分子的各种运动之间的能量转移以及分子间的能量转移、液体中的各种分子结构有关的动力学过程，以及固体物质的相变、缺陷、晶粒尺寸乃至微观的分子结构、半导体和超导体中的能隙及能级分布情况等。

当声波强度较强时，除了线性效应之外，还有非线性效应出现。早在本世纪二三十年代，就已发现高强声波在液体中产生空泡（因液体耐压而不耐拉），在空泡内聚能可达 10^{11} 巴（相当于 10^8 大气压），温度可升至 10^4 °K（即10000度）以上，因而导致发光等特殊现象，亦称“声致发光”。空泡中的超高温和超高压引起物理学家和化学家的重视，希望有可能引起核聚变等重要的物理和化学效应。近年来，发现非线性参量对不均匀结构及相变的响应比线性物理量更为敏感。此外，固体物质的非线性性质引起声波的非简

谐共振、混频、高次谐波产生等等，其机理均可归结为原子之间相互作用势的存在以及分子内平衡位置的改变等等。总之，高频声波的传播与声子-声子、声子-电子以及声子与其他激子间的相互作用相联系的。

至于非线性声学所研究的孤子、分岔与混沌的问题是自然界普遍存在并有重要应用前景的现象，是目前非线性动力学的一个重要主题之一。通过水波孤子和混沌的研究，可以直接观察到孤子的形成，多孤子相互作用及孤子和混沌之间的相互转化过程等，显示了物理现象的统一性，从而对揭示自然界的普遍规律有积极的意义。

在超低温条件下研究 He 超流的意义上来看，从第一声（即通常声波）到第五声的研究，可以探求在超低温下液氦的各种热力学参量，从而对超流微观结构的研究具有特殊的意义。

二、超声在工业上的应用

超声的工业应用是超声技术的重要应用领域之一，应用范围非常广泛，归纳起来主要有两大类：一是超声加工处理；二是超声检测。

1. 大功率超声的工业应用

利用大功率超声波作用于物质，可改变物质的性质和状态。例如，在含有烟雾粒子和灰尘的气体中发射大功率超声，不同尺度的粒子振动速度不同，则互相碰撞，从而可加速粒子的凝聚；在液体中发射大功率超声，会在液体中产生“空化现象”，即波动引起的稀疏过程使液体产生空泡，压缩过程使空泡破碎而在周围产生机械冲力。从而可实现清洗、乳化、脱气以及使固体粒子悬浮、或使高分子分解和聚合，促进化学反应等；在固体中发射大功率超声，可用于粉碎、研磨，切割、加工和焊接等等。

此外，利用固体中超声波的特殊波形，研制成超声马达，具有体积小、响应快、精度高和无电磁感应等特殊性能，适用于传真机、打印机等现代化办公设备中传送纸张。

2. 超声检测和无损评价

在当前高科技发展中，先进的材料及各种器件、设备的研究和发展越来越引起重视。相应地对无损评价技术的要求也越来越高。超声无损评价（或超声检测）与电磁波、X光及粒子探测技术并列为探索物质的四大技术。

超声波由于能穿透电磁波、光波等无法穿透的物质，同时又能在两种物质（两者的密度和声速显著不同）的界面上反射。如果某种物质内部存在不均匀性，如气泡、裂痕、夹杂、疏松、位错或脱粘等缺陷，就会引起超声波的反射。因此，利用超声波能探测物质内部的结构（缺陷和不均匀分布）等。目前，利用各种超声探伤仪可以对各种机械零部件，包括航空、航天飞机机壳及发动机零部件等进行无损检测，也可用于对装载核反应物质的容器、输油和输气管道以及锅炉等压力容器进行无损检测等。

另一方面，超声显微镜可用于微米量级的微观结构或缺陷的研究和探查，可以研究材料和微型器件的介观特性和结构。近年来，在电子显微镜、隧道显微镜及原子力显微镜基础上发展的电子声显微镜、隧道声显微镜及调制力显微镜等新型显微镜成像系统，更将声成像分辨率提高到纳米量级，从而有可能在原子尺度的量级上研究材料的表面和亚表面结构。

超声技术还可用于测量流体的流速、流量、粘度、温度及液位等。因此也是一种重要的测量技术。

近年来，由于激光技术的飞速发展，利用激光脉冲激发超声波成为当前的研究热点之一。激光脉冲可以非接触式地在凝聚态物质中激发超声波，从而可以实现遥感遥测的任务。同时，由于激光束可以聚焦，因而可以对小尺寸材料进行激光超声研究。

三、光声学与激光超声

当强度调制的激光束照射于物质（包括气体、液体和固体）时，物质吸收光能而产生热，周期性热流使周围的介质热胀冷缩而激发声波，这种将光能转化为声能的现象称为光声效应。其中间过程为热能的转换和传递的过程，因此亦称热波。

由于光声效应与物质的光学、热学、力学等性质以及几何结构有关，因此测定光声信号可以检测物质的宏观、介观乃至微观特性和结构等。利用光声效应研究、分析和检测物质的方法即为光声热波技术。通常有光声谱仪用于成分和能级结构分析，以及光声显微镜用于空间结构分布的检测。

另一方面，有关材料的光学、电学等性质的研究已有大量的工作，但有关热学性质的研究则为数甚少，原因主要是缺乏有效的测试手段。新型的热波技术正是有效地解决了这个问题，并且适合于测量小尺寸样品的热学性质，如热扩散系数、热传导等。对于某些利用其散热或抗热性能的材料，检测其热学性质是极为重要的。近十年来，随着近代光学（激光）技术、电子技术及声学技术的发展，光声技术（或称热波技术）也以不同的测试方法和多种形式发展起来。与红外照相（热像）技术相结合发展的热脉冲回波成像技术，适合于对航空、航天飞机、输气、输油管道等大型机件的非接触式大面积的无损检测，国外已在许多部门发挥作用。

随着脉冲激光技术的发展，利用脉冲激光激发超声波，便成为非接触式激发超声波的有效手段。为此相应地发展了多种非接触式检测振动和位移的新方法，其中最主要的要属光干涉法。将光激发和光检测相结合形成非接触式激发和检测声波的全光学方法，适用于在极端环境下（高温、高压、腐蚀及放射性等）对材料和设备进行分析和测试。近年来利用皮秒（ 10^{-12} 秒）或飞秒（ 10^{-15} 秒）量级的超短激光脉冲在凝聚态物质中激发 10^{11} 赫以上频段的特高频声子。即在固体中激发接近固体的晶格振动频率的特超声，可以直接研究固体中热声子、电子及其有关的量子力学意义上的效应。在液体中激发特超声，可以研究液体分子受激振荡及超快弛豫过程等。

由于光声效应反映的是物质吸收光能后产生热能及声能，因此与传统的光学方法相比，具有更高的灵敏度，并且对测试的样品没有特殊的要求，因此更为实用，成为传统光学技术的有力补充。

利用激光脉冲在水中激发声脉冲，可用于江、湖、河、海的水下目标及海洋地层结构探测或水下通信，也是当今水声学的研究课题之一。

四、声电子技术

声波历来是人类实现信息传递的主要媒介。随着现代科学技术的进步，信息交流日益频繁，并且逐渐发展为远距离通讯。因此对信息的优质传递提出更高的要求。最常用的信息传递载体是无线电波，近年来还利用光缆，即利用光波。但是，以声波为载体，并对信号进行加工处理有其特殊的优越性，因此是很重要的一个方面。声电子学就是研究以声波作为信息载体，在声波

的产生、传播和接收过程中，对信息进行加工处理的一个学科分支。

在 60 至 70 年代，曾经利用声波在固体内激发和传播的过程制作固体声器件，有滤波器、延迟线等等，以代替常用电阻、电容和电感组合的滤波器或用电缆实现信号延迟。因电磁波在电缆内的传播速度比固体中超声波的传播速度快 10^5 倍，如要实现相同的延迟时间，声波器件是 1 厘米时，电缆长度要 1 公里左右。因此利用声电子器件，可使无线电元器件小型化、固定化，并且性能稳定、制作方便。

70 年代初期，声表面波器件问世，它的优点是对换能器的形状可以任意设计，因此为器件的性能改进提供了极为方便的途径。其次是器件的制作只是利用与半导体集成电路工艺极为类似的生产程序，因此重复性好，性能稳定，体积更小型化，并可实现批量生产，为声电子器件开拓了广阔的应用领域，发展迅速。声表面波器件可对信号完成传递、延迟、滤波、展宽、压缩、移频、调制、解调、开关、放大、编码、解码、卷积相关、频谱分析、富氏变换及其他数学变换等信号处理功能。声表面波器件广泛应用于通讯、雷达、电子对抗、电视广播、光电子学以及传感控制等领域。目前主要是几十兆赫至几百兆赫频段。

随着移动电话的发展，声电子器件将向更高频、更精确、更小型化发展。向高频发展方面，目前工艺上可接受的声表面波器件高频限是 1GHz 左右。

另一方面，为超声电子技术进一步发展的需要，推动相应的理论基础同时发展起来。除有关声表面波的基础理论迅速发展之外，也推动声与半导体的载流子、声与声、声与光等相互作用的机理的研究和发展。作为声波的激发、传播和检测的基础，晶体物理与技术也相应地进一步向纵深发展起来。

五、生物医学超声

自第二次世界大战以来，先进的工程技术与生物医学相结合，逐步发展形成了一个新的科学技术分支，称为生物医学工程。20 世纪后半期，生物医学发展很快，将超声技术与生物医学相结合，即形成生物医学超声分支学科。

近年来，超声诊断在医院中已普遍推广，许多疾病都可由超声诊断仪器（如 A 型扫描仪，B 型超声断面显像仪，多普勒血流图等等）早期发现。超声多普勒成像系统可以对颅脑内血管及血流情况以彩色图形进行实时显示。甚至发展到对全身各部位的血流进行多普勒彩色图形显示。超声与 X 光、核磁共振成为医学三大诊断手段。

为了能更准确地诊断早期病灶，了解声波参量与生物组织的生理和病理状态之间的关系是至关重要的。因此，声波在生物器官和组织内的传播规律的研究引起很大重视，超声诊断仪器设备也在不断发展之中。最近，利用非线性参量成像，有别于上述的根据声速和衰减等线性参量成像的传统设备，对生物组织的病理现象更为敏感。

此外，还将多媒体技术用于超声诊断，建立图形档案与通讯系统，其特点是可以存储管理大量病人超声诊断图像信息，并进行三维组合形成立体信息。

大功率超声还可使人体局部加热，并且超声波的振动可进入人体，因此，热效应、振动效应以及由强振动引起的空化效应均可以用于治疗疾病，促进药物的扩散。甚至用于外科手术，如眼科手术、骨骼修复，肿瘤消除等等。

六、声化学和声空化

本世纪 20 年代,首次发现超声波有加速二甲基硫酸酯的水解和亚硫酸还原碘酸钾反应的作用,由于当时的超声技术处于较低水平,研究和应用都受到一定的限制,未引起化学家足够的重视。

近 20 年来,利用超声来加速化学反应,增加反应产率和引发新的化学反应等声化学研究有了突破性的结果,正在国际范围内引起声学 and 化学学术界的重视。声化学技术在生产上可望首先为合成塑料、洗涤剂、制药和化肥等化工工业方面带来重大变革,因此受到化工生产行业的极大关注。

近年来的研究表明,高功率超声在液体中产生的非线性现象引起声空化是声化学主要的物理过程。因为声空化是集中声场能量迅即释放的过程,在空化泡崩溃时,短时间内产生的高温、高压、强冲击波和射流,为一般条件下难以实现或不可能实现的化学反应提供了一种非常特殊的物理环境,开辟了新的化学反应通道。

为了进一步提高声化学反应的效率,声学界和化学界的科学家们对声化学产额与声学参数之间的关系进行了较系统深入的研究,如声化学反应器和换能器的结构、声场形式、辐照声强与声功率、辐照时间、频率效应及信号波形等,对产额的影响进行了大量的研究。

由于“声化学”与其相联系的“声致发光”同是令人感兴趣的两个过程,要求化学家和声学家密切合作,用空泡中微观物理本质来解释观察到的宏观现象。当前国际声化学界认为,化学研究应优先注意的尖端项目之一就是物质在超高温和超高压的极端条件下的化学行为,因其有助于了解化学效应,开辟新途径。可以肯定,声化学科学的发展必将有新的贡献。

七、语言信息处理

语言历来是信息传递的要素。研究语言的特征、识别和合成一直是声学工作者的重要任务,由此近 20 年来已形成了声学新分支——语言声学。语言声学主要研究语言特征谱,从而实现自动识别、人工合成和压缩编码等,对人民生活、国民经济和国防建设都是密切相关的。

随着信息科学的发展,信息技术的应用已深入到人类社会的各个方面,对社会进步产生重大的影响。语言声学的研究也由于信息技术和计算机科学的发展而取得了很大进展,并在某些方面有所突破。

1. 语言识别:

国际上,特定说话人和任意说话人的连续语言识别系统已经达到很高的识别率,这使语言识别系统朝实际应用方向迈进了一大步。因而旅行信息查询、飞机订票、城市查勘以及办公室管理等特殊应用场合的语言识别和语言理解系统都取得了较好的效果。国内在孤立音节和孤立词识别方面也已取得相当大的进展,识别率一般可达到 90%。相继研制中、小字表的声控电话查号系统、汉字语音输入系统、命令识别系统、电话数字语音识别系统等。汉语连续语音识别的研究也已起步。

但要使语音人机交互系统达到实际商用水平还有许多重要的科学问题需要解决,如处理背景噪声、信道噪声、应付陌生词、陌生用户和非预期的输入,系统必须具备多种层次的鲁棒性。

2. 语言合成:

由于计算机语言输入、输出可实现最为友好的语言合成，所以近年来得到了新的发展。当前语言合成系统可分为两大类：一类是利用数字化技术预先存储语言数据；另一类则是利用语言参数和发音规则产生语言，从而还可以实现文语转换系统。

这种人机交互语言应用前景很广泛。在国外许多电话公司已开始试用，如机场、车站等交通和其他商业部门也是重要的使用场合。此外，为残疾人提供朗读或助讲等等。

通常，语言和听觉常常是联系在一起的，而听觉研究的一大特点是心理-物理实验的成功。改变物理量听取受试者的反映，以估计出生理和心理的变化。20年来，已证明耳蜗结构模型的正确，近年来，更以现代通信系统的观点来分析人耳的结构，相当成功。但神经系统 and 大脑如何处理这些信息还在研究之中。听觉的研究也可能是研究大脑功能的重要途径，人们对此期望很大。

八、水声信号处理技术

海洋覆盖着地球表面的四分之三，蕴藏着丰富的能源、矿产和蛋白质资源，海洋和大气间的热交换，又在极大程度上影响着地球的气象和环境。因此，海洋的研究与开发利用，日益受到世界上各国科学界与政府部门的重视。

声波是唯一能在海水中有效地进行远距离信息传递的载体。蓝绿光在海水中衰减 123dB/Km。100Hz 超长电磁波在海水中衰减为 345dB/Km，但 100Hz 声波在海水中的衰减则仅为 0.0015dB/Km。声波能在水下传播很远距离，而光波和电磁波则在很短距离内就会被完全吸收。因此，所有的水下探测、通讯、导航、遥控等活动都离不开声学。但海水中声速低，高频声波在海水中的衰减增长迅速，海洋信道又属于不平整双界面随机不均匀介质信道，因而水声信号信息量小，传递过程中时变、空变及多途效应严重。要满足不同实际工作要求，需采用多种措施。应该说，水声技术是广泛领域的现代科学技术的高度结合。

至今，人类就多种海洋环境因素对声波传播的影响已有较系统深入的研究。美、俄等国水声考察范围遍及全球各大海域，并建立了较为完整的数据库。此外，全球海域气候的声监测计划是精确地测量全球范围内海洋的温度以提供全球气候变化的直接证据。

为了水声研究，水声换能器的研制成为重要的课题。因此也促进了研制水声换能器的压电材料和磁致伸缩材料的研究与制造。研制新型换能器的多元压电复合材料、高分子合成材料、光纤材料等也引起极大的重视，并出现换能器材料和换能器设计的专家系统。

水声信号处理是当前水声研究中十分活跃的领域。大规模高速芯片的发展和并行算法的开发，提供了十分有力的工具。我国在这一方面的工作也有着可喜的成就。

九、环境声学

环境科学是当今研究的前沿热点之一，其中环境声学由于人类生存条件的变化，也已引起很大的重视。

由于人类生活在充满声音的世界上，语言用于交流思想、表达感情，音乐丰富了人们的精神生活，给人以美的享受。但各种噪声却干扰了人们的工

作和生活环境。如何使需要听的声音听得清晰悦耳，而将不需要的噪声抑制，是近百年来声学研究的一个重要方向。

本世纪前半期，主要研究建筑物（如报告厅、音乐厅、剧院、体育馆等）内的声学效果。自 Sabine 提出混响的概念及混响时间的计算，开辟了建筑声学的研究领域，先后发展了室内声场理论及混响时间的测量方法。为了改善厅堂内音质及隔绝室外噪声，对吸声材料和隔声材料进行了理论和实验研究。在评价厅堂音质方面，有客观评价和主观评价两个方面，客观评价主要是从厅堂的物理特性来考虑，而主观评价则是以人的主观感受为准则，牵涉到人的生理和心理状态。因此主观评价和客观评价往往不一致。实际上对于传播语言为主的厅堂和以演奏音乐为主的厅堂要求也是不一样的。这就是建筑声学方面的复杂问题。

在本世纪中期，现代工业和交通飞速发展。伴随着出现大量的噪声问题，机器噪声（如纺织厂，机械厂，锯木厂等），交通噪声等等。噪声妨碍人的健康，影响人们的工作和生活，干扰精密仪器的运转。高强度噪声还会造成人们听力丧失，甚至损坏房屋建筑。因此在 60 年代前后，“噪声控制”作为一门独特的学科从建筑声学中分离出来，得到迅速发展。不少建筑声学家把研究方向转为研究噪声及其控制。包括噪声源的分析，噪声对人类的影响，噪声的治理等等。一般采取隔绝的方式，近年来则发展有源消噪和减振的方式，即人为地有目的地产生次级声振动信号去抵消原有噪声，从而达到消噪和除噪的目的。其特点是体积小，成本低，降噪效果好，特别适合于军事和国防方面的应用。

十、电声系统及其应用

近年来，由于高科技发展和人民生活水平的不断提高，对于电声系统提出了更高的要求。首先，由于通讯系统的飞速发展，作为通讯系统的关键元器件的传声器（话筒）和扬声器（喇叭），除音质好之外，对外形（如小型化）等也有特殊要求。此外，随着立体声技术的发展以及人们欣赏能力的提高，对扬声器和组合音响设备也有更高要求，特别是脉冲编码调制录音技术和数字音频唱片的出现，要求扬声器同时承受功率大、动态范围大、频响宽广平坦、失真小和瞬态响应良好等特性。

相应的电声系统的计算机辅助设计和测试的技术和理论以及电声系统的测试方法等均有很大的发展。

除上述有关方面之外，还有声光相互作用及其在系统控制和信号处理中的应用，超声在农业上的应用，音乐和乐器的研究，生理和心理声学，以及大气和地球中传播次声研究等等，都是直接对人类文明生活和生产有重要作用，由于篇幅所限，不能一一详细介绍。

总之，声学是一门与人类的生活、文明和生产息息相关的学科，必将在今后的科技发展中发挥更大的作用。

展望 21 世纪的 高分子化学与工业

冯新德

北京大学化学系

冯新德 高分子化学家。1915 年 10 月 12 日出生于江苏吴江。1937 年毕业于清华大学。1942 ~ 1945 年浙江大学化工系研究生。1948 年获美国诺脱丹大学博士学位。曾任清华大学化学系教授，兼辅仁大学教授。北京大学化学系教授、高分子化学教研室主任，兼任中国科学院化学研究所及感光化学研究所研究员。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事高分子化学的教学与科研。

所谓高分子，可以粗略地分为天然高分子与合成（人工）高分子。自古以来天然高分子对于人类的生活始终是密切相关的。无论是作为食物的蛋白质与淀粉还是作为织物的棉、毛与蚕丝都是天然高分子，此外，利用竹、棉、麻等纤维造纸是我国古代的天然高分子加工技术，再如，利用桐油与大漆作为油漆、涂料乃至漆制品又是我国古代的传统技术。

19 世纪中叶开始了对天然高分子的化学改性与应用，而后又发展到高分子的人工合成，笼统地说主要包括塑料、橡胶、纤维与油漆涂料等，可分述为下：

一是天然橡胶的利用开发与改性。在中美洲与南美洲，15 世纪左右当地人用天然橡胶球做游戏与生活用品如容器与雨具等，18 世纪法国人发现南美洲亚马孙河有野生橡胶树，橡胶一词当地印地安语即“木头流泪”的意思，割开橡树皮即流出乳液，后来叫天然橡胶乳，19 世纪中叶，英国人取种子种植在锡兰（斯里兰卡）成功，逐渐扩大到马来西亚与印尼等地，但是天然胶乳制成固体生胶后如何溶解与加工是一大问题。直到 19 世纪 40 年代美国人发现用松节油、硫黄与碳酸铅共热后得到不粘而有弹性制品即所谓硫化技术，因此，到 1920 年左右，亚洲地区天然橡胶出口量达 70 多万吨，与当时巴西的野生橡胶出口量相同。

二是天然纤维素的改性。19 世纪，德国人开始用硝酸溶解棉纤维结果可以纺丝或成膜，但易燃烧，最后制成所谓无烟炸药，如果加入樟脑，可以加工成塑料叫赛璐珞又能制作照相底片或电影胶片，但要着火，此外也用在汽车车身的喷漆工艺。稍后，英国人用氢氧化钠处理棉纤维得到丝光纤维，再用 CS_2 溶后纺丝成粘胶纤维，也可用木浆做帘子线与玻璃纸及人造丝等。但 80 年代后期因 CS_2 有污染问题故当另找它法，而工厂多半停产。此外，另有德国人用醋酐进行纤维素酯化成醋酸纤维，由于不易燃烧故多用于照相底片与电影胶片，以及飞机机身涂料或者重新纺丝制成人造丝织物。

三是最早的塑料。在 20 世纪初，美国人用苯酚与甲醛反应可得到用作电绝缘器材的酚醛树脂，这是最早的合成高分子，与此同时，俄国人用酒精制丁二烯，再用钠使之聚合成橡胶，二次大战后德国人与美国人又发展成一类十分重要的合成橡胶即丁二烯与苯乙烯共聚而得的丁苯橡胶。

尽管有以上几方面的重要成果并建立了工业，但当时对天然高分子与合成高分子的结构并不清楚，因此，对聚合反应历程也还不了解。

一、高分子化学的建立与发展

虽然当时已经确认淀粉具有 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 通式，水解后得葡萄糖，由于不知道它们之间如何连接，所以认为是葡萄糖或它的环状二聚体的缔合体。同样，天然橡胶裂解可得异戊二烯 (C_5H_8) ，也是不知它们之间为何连接以及它的末端结构，因此，也认为是二聚环状结构的缔合体。当时德国化学家 Staudinger (施陶西格) 首先提出淀粉与橡胶的大分子概念，并不是缔合，认为它们具有胶体状不等于它们是胶体，他进一步阐明它们的稀溶液粘度与分子量的定量关系，并在 1932 年出版了一部关于高分子有机化合物的论著，后来公认为这是高分子化学作为一门新兴学科的建立。

对大分子概念的一个有力证实就是 1935 年美国杜邦公司发表以己二胺与己二酸缩聚而成高分子聚酰胺，即尼龙 6-6，并于 1938 年工业化，即大家所熟知的尼龙袜，但是却不知当时二次大战后期美军使用的降落伞就是这尼龙 6—6 做的。

40 年代乙烯类单体的自由基引发聚合发展很快，实现工业化的包括聚氯乙烯 (PVC)，聚苯乙烯 (PS) 和有机玻璃 (PM-MA) 等，这是合成高分子蓬勃发展的时期。进入 50 年代，从石油裂解而得的 α -烯烃主要包括乙烯与丙烯，分别由德国人 Ziegler (齐格勒) 与意大利人 Natta (纳塔) 发明用金属络合催化剂聚合而成聚乙烯即低压聚乙烯与聚丙烯，前者 1952 年工业化，后者 1957 年工业化，这是高分子化学的历史性发展，因为可以由石油为原料而且又能建立年产 10 万吨的大厂，为此他们二人后来都获得了诺贝尔奖金。试问，这是只有 30 年历史的一门新兴学科如何能如此快速发展成一个大型工业？这是其它化学工业所没有过的，理由何在？

理由之一是高分子学科特征，广义的高分子化学包括高分子合成化学与高分子结构与性能的高分子物理两个方面，它们与高分子的加工应用共三个方面始终是互相交叉，互相配合，相辅相成。如果合成上有所突破，通过结构与性能研究就能较快地考虑加工应用，所以 1972 年获诺贝尔奖金的美国高分子科学家 Flory (费洛里) 说过，高分子化学是一门迅速发展的科学，它既是一门基础科学又是一门应用科学。显然这是高分子品种能较快地进入工业化的很有力的论证。

理由之二是高分子合成也就是聚合方法的特征，先以缩聚反应为例，它是来源于有机合成中的缩合反应，所不同的是前者为单功能团后者为双功能团：

缩合反应： $A - X + Y - B \rightleftharpoons A - B + X - Y$ 这是平衡反应，要使反应向右必需有一反应物 $A - X$ 或 $B - Y$ 大大过量，一般产量在 70 - 80% 已经不错了。

反应： $X - A - X + Y - B - Y \rightleftharpoons (AB)_n - n + nXY$ 也是平衡反应，要形成高分子即 $n \gg 1$ ，二个反应物的配比最好是 1 : 1，如果 2 : 1 根本不能成高分子只能如 $2X - A - X + Y - B - Y \rightleftharpoons X - A - B - A - X + 2XY$ ，以涤纶 PET 为例，配比与分子量的关系如下：

1 : 1.01 PET 分子量 ~ 10000

1 : 1.001 PET 分子量 ~ 20000

有应用价值的 PET 树脂，分子量要在 1-2 万之间，因此它们的配比差不

能 > 1% 只能在 0.1-1.0% 之间。可见与缩合反应大不相同，而且转化率还必需 > 99.5%，说明高分子合成中缩聚反应的技术要求远远高于一般的有机合成。

再以聚合反应为例，乙烯类单体的引发剂一般用过氧化物，由此产生自由基而引发聚合。但过氧化物极易爆炸，一般有机合成很少用它。再如乙烯或丙烯的络合催化聚合，所用催化剂（Ziegler - Natta 催化剂）都是金属有机化合物，例如 AlR_3 与 TiCl_3 怕水又怕氧与热，容易冒烟起火。但却要用作大工业生产的催化剂，这就要求高精技术。因此有人说做高分子合成中聚合反应必需有勇有谋，颇有道理。

60 年代，由于要飞往月球而出现耐高温高分子的研究热。耐高温的定义是在 N_2 中，500 能使用一个月，在空气中，300 能使用一个月。其结果主要分为两大类，一类是芳香聚酰胺例如间苯二胺与间苯二酰氯缩聚得到的高分子叫 Nomex，当时作为太空服原料。以如对苯二胺与对苯二酰氯缩聚得到高分子又叫 Kevlar，属于耐高温的高分子液晶，现在用于超音速飞机的复合材料中。另一类是杂环高分子，例如聚芳亚酰胺（PI）和作为高温粘合剂的聚苯并咪唑（Polybenzimidazole PBI）为现在的宇航飞行所需材料打下了基础。

二、80 年代以来的时代特征

这一二十年以来的特征有三：一是能源，由于石油资源的逐渐减少，人们在积极考虑其它能源，例如太阳能、氢能与原子能的开发，但也必需看到石油的主要用途是作为燃料，用于化学工业的仅占 7%，其中作为高分子原料的只有 5%，因此一般认为即使下世纪，高分子的主要原料仍可来自石油。另一方面，特种油田高分子用于二次或三次采油颇有成效，可见，很有助于石油能源开发。二是材料，高分子在材料领域中有它特殊的地位，特别是交通工具，可以替代比重较大的金属与陶瓷，以及木材及其它天然材料。例如汽车车身与车壳结构材料中已经有 50% 用高分子材料，下世纪将增至 70%-100%。再如宇航与航空机身与机翼，减轻重量可以大大省油，因此都用高分子复合材料，从 80 年代的 30—40% 总重量，至 90 年代的 50—60%，估计 21 世纪可达 70—80%。三是环保与保健，其中包括医用高分子，利用保健及环保的耐火、耐辐射、耐老化的高分子材料以及高分子包装材料的二次利用与自动降解。可以看到高分子对于这三个时代特征有不可忽视的关系。

三、80 年代以来的高分子工业

一是通用高分子及其发展：所谓高分子材料主要包括塑料、橡胶与纤维三大合成材料，其中塑料占总量的 80%。在塑料中占 80% 的量面宽的叫做通用高分子，包括高压聚乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯（PP）以及聚氯乙烯（PVC）与聚苯乙烯（PS）。在 1985 年的总产量为 6500 万吨到 1995 年为 1.2 亿吨，10 年间长了一倍，可见发展迅速，为人民生活所需要。同时值得注意的还有工程塑料与复合材料。

工程塑料的建立与发展，例如能耐高温 100 -160 的尼龙，聚碳酸酯（PC），聚酯（PET 与 PBT）及聚苯醚（PPO）。到了 90 年代又发展更高耐热 200 -240 的聚醚砜（PES），聚苯硫醚（PPS），聚醚醚酮（PEEK）及聚酰亚胺（PAI）的所谓耐高温工程塑料。与此同时还有复合材料的建立与发展，

例如开始用玻璃纤维的复合材料发展至用碳纤维甚至 Kevlar 液晶纤维的耐高温复合材料。

二是非结构高分子材料与功能高分子：80 年代以来高分子粘合剂与油漆涂料也都向耐高温方向发展，也就是高分子从结构材料向非结构材料方面发展。还有更重要的是功能高分子的多方面发展，例如利用吸附性能作为海水淡化及其它如离子交换树脂与分离膜的属于化学功能高分子；应用于光导纤维与光刻胶的属于光功能高分子；具有导电性能的电功能高分子及作为人工脏器与药物控释的医学功能高分子。因此功能高分子的兴起是 80 年代以来的十分重要的发展。

四、现代高分子工业的特征

一是精细高分子 (Fine Polymer) 或称高价 (附加) 高分子 (High Value Polymer)，指的是产量小，价格高的品种。兹将各大类高分子和价格与产量列下：

	价格 (美元/公斤)	产量 (相对)
通用高分子	~ 1	+++++
工程塑料	2	+++
有机玻璃	4	+++
精细高分子	> 10-100	+

精细高分子是包括功能高分子与含氟高分子及耐高温高分子的总称。

二是工业利润来源：从上表可见精细高分子的利润远远高于通用高分子，为此各国各大工业公司在 80 年代后竞相开发精细高分子。工业公司的利润有如下的变化，精细高分子的利润占公司总利润的百分率如下：

1986 年	美国 ~ 50 %	德国 ~ 53 %	日本 ~ 55 %
1990 年	美国 ~ > 50 %	德国 ~ 60 %	日本 ~ 60 %

可见，同样来自石油原料，加工不同的产品利润不同，总的如下：油品 < 化工品 < 一般高分子产品 < 精细高分子产品。因此工业部门安排精细高分子的 R/D (研究/发展) 对公司的兴旺发展十分重要。

三是精细高分子的 R/D 问题。首先必须要有远见，要从基础应用研究入手，例如日本东丽 (Toray) 公司为了开发医用高分子，在 70 年代先建立了基础研究所，主要是研究新产品的试制以及专利的申请，随后建立了工程研究所，对较有希望的项目进行放大及中试，因此，到 70、80 年代开始生产人工肾与血管导管，可见精细高分子必需要有自己的创新才能立足。例如日本三家最大的高分子纤维公司都生产人工肾，但每家的原料却不同，包括醋酸纤维、聚乙烯醇与聚甲基丙烯酸甲酯，这点是十分重要的。

四是工业公司研究部门的战略安排，无论是认为 R/D 或 R/D · M (M = Market) 为高分子现代工业的中心问题，但关键都在于人才，因此东丽公司明确告诉大家，“先要有优秀人才才能有优秀的产品”。产品要有特色，有竞争能力，有市场。一般而论他们招聘人才主要渠道是通过大学或研究院教授的推荐，然后面试。他们重视科学素质并不太考虑业务的专业对口，要有创造性，能出专利，这就必需有创造性的科学训练，而学校的基础研究往往

就是训练学生创造性的最好方式，因此可以说工业研究最需要的还是有创造性才能的有基础研究水平的应用研究人员，由此才能理解所谓应用研究的水平往往取决于基础研究的水平。那么工业研究部门与高等院校及科学院方面的合作研究又是如何，以美国 40 年代为例，当时工业部门研究能力较弱，高分子研究主要靠大学有关教授带研究生做，50 年代改为学校做基础研究，工业部门分做应用研究，由大学教授每月去公司一二次指导，可以保证保密问题。因此，学校对工业部门主要输送人才及技术，工业部门对学校教授主要提供科研经费。80 年代以来又一种合作方式是在学校开设属于公司的研究室，经费与人员都出自公司，这样有关教授可经常去学校的公司研究室指导工作，既有利研究进行又保证保密问题。目前，这种方式在美国与日本都有，总起来看，工业部门与学校的合作在于一方提供科研经费，另一方提供优秀人才，这是合理的渠道。学校本身仍然是进行基础研究和培养有创造能力人才的场所。

五、80 年代以来的高分子化学的特征

高分子化学中一个至关重要的环节是从低分子合成高分子的聚合反应，也就是单体与单体通过价键形成而得聚合物也就是高分子。

特征之一是聚合反应的优化，首先是反应控制，包括提高聚合速度和催化剂效率，例如聚丙烯用的高效催化剂，但是近年来还要求立构控制，要求聚合物具有一定立构，以及分子量与分子量分布的控制，由此才能做到高分子的分子设计。再以第四代聚丙烯高效催化剂而言，生成聚合物的等规度很高，达 96—98%，所以不需要去掉无定形部分，也不需要去掉催化剂，同时还不需要造粒，这是一大进步。最近 Himont 公司又提出柔性工程，意思是一个反应釜可以生产共聚、共混或高分子合金等，不同品种甚至不同立规的嵌段共聚物，例如：ipp - b-mpp，这是聚丙烯，而具有橡胶弹性，最近又发现用稀土催化剂聚合烯烃可以得到分子量分布很窄 $MWD \approx 1$ 的均匀聚合物。因此看来，烯烃的络合催化聚合还是能活性聚合，但不是用 Ziegler - Natta 催化剂，这的确打开一个新局面。

特征之二是聚合物的优质化，也就是结构改性与功能化，包括接枝共聚，嵌段共聚与共混及复合技术，也包括有机/无机杂交技术。

六、21 世纪高分子化学新时代

活性聚合是促使高分子化学走向新时代的基础。要进行活性聚合，引发速度要快，没有链转移与链终止，实验室测定活性聚合从三个方面下手，一是转化率与单体浓度 $[M]$ 成正比与催化剂浓度 $[C]$ 成反比，也就是 $\%$ 与 $[M]/[C]$ 作图可得一直线；二是高分子分子量与转化率或时间成正比；三是分子量分布要窄，约为 1.2 左右。目前，正离子活性聚合与负离子活性聚合都已展开，络合催化聚烯烃的活性聚合所用稀土催化剂已有端倪，只有自由活性聚合还未达到应用程度，估计成功亦在不远。总的说来通过上列的控制聚合 (Controlled Polymerization) 可以得到均匀高分子 (Uniform Polymer)。

有人说高分子化学是一门排队化学，排头要很快站出来，队员迅速排队，面向都一样，所有队员必需都排上队，结果是每排长短都一样，也就是分子量分布 1，转化率 100%。这就是高分子新时代的出现，有下列三个方面：

一是高分子的分子量概念将彻底改变，因为原来的高分子分子量都是各式各样的平均值，主要原因是因为长短不齐。

二是高分子概念也将彻底改变。高分子决不是不易控制的长短不齐的分子所组成，而是均匀高分子所组成。

三是高分子性能以及加工应用，都将因为是精密高分子而出现全新的数据、全新的性能与加工方法与用途。

这三个方面的突破就将是 21 世纪高分子化学发展成为一门新科学的新时代。

中国石化工业的现状与展望

侯祥麟

中国石油天然气总公司

侯祥麟 化学工程专家。1912年4月4日出生于广东汕头。1935年毕业于燕京大学，1948年获美国卡乃基理工学院博士学位。曾任石油工业部技术司副司长、石油科学研究院院长、石油工业部副部长，现任中国石油天然气总公司顾问、高级工程师。1955年被选聘为中国科学院院士（学部委员），1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事炼油新技术的研究和开发。

一、概况

石油化学工业是技术密集、资金密集的行业。在世界上发展最早的是美国，他们从30—40年代起步；其他发达国家，如德国、英国、法国、意大利和日本大都是在60—70年代蓬勃发展起来的。在这些国家中，石油化学工业在其国民经济中都占有重要地位。战后，美国的经济繁荣，西欧的经济复兴，日本的经济崛起，以及近年来韩国的经济起飞，都曾把石油化学工业作为支柱产业之一，其发展速度要高于同期国民生产总值增长速度。

我国的石油化学工业在50年代已经开始建设，但一直没有什么发展。70年代，北京燕山和上海金山两个石化企业的建设，才开始了我国石油化学工业的发展。

60年代大庆油田开发以后，我国石油炼制工业有了大规模的发展，到80年代初，原油加工能力已接近1亿吨。但炼油企业属于石油部，因无任务故不发展石油化学工业。需要塑料、橡胶和有机原料的化工部和需要合成纤维的纺织部为了解决所需，申请并建立了石化企业。他们没有炼油厂，所以原油不能很好综合利用。为了加快石油化学工业的发展，合理使用、综合利用好石油资源，党中央、国务院于1983年决定成立中国石油化工总公司，对重要的炼油、石油化工、化纤企业和部分化肥企业“集中领导、统筹规划、统一管理”。党中央、国务院把成立中国石化总公司作为国家经济体制改革的一件大事，并大力加以支持。此后十几年，石化工业有了很大的发展，生产能力和产品产量都持续稳定增长。1995年全国原油一次加工能力达到2亿吨，比1983年翻了一番。汽油、煤油、柴油、润滑油的总产量，从1983年的3658万吨增加到1995年的7140万吨，也增加了近一倍。乙烯生产能力从1983年的72万吨/年增加到1995年的300万吨/年，增加了3.2倍。塑料、合成橡胶和合成纤维单体的总产量，从1983年的156万吨增长到1995年的570万吨，增加了2.7倍。

在原油加工和乙烯生产能力、石油产品和乙烯产量等方面占有全国85%以上比重的中国石化总公司，1995年工业企业的销售总额为2000亿元，实现利税330亿元，其中利润105亿元。作为国有大中型企业的集团公司能取得这些成就说明国有企业可以大有作为。

二、技术进步

中国石化总公司成立以来能有较快的发展，同时保持着一定的经济效益，因素很多，重要的一个是依靠技术进步。这表现在技术的国产化和创新两个方面所取得的进展。

1. 国产化方面

我国炼油工业除在 50 年代得到前苏联援建兰州炼油厂外，60—70 年代依靠自己的技术力量，研究开发了流化催化裂化、铂重整、延迟焦化、尿素脱蜡以及有关催化剂、添加剂等炼油新技术，并在此后建设的炼油厂中普遍使用，因此炼油工业基本上是靠自己的技术力量建设起来的。80 年代以来，虽也引进了一些技术，但没有改变这种基本的局面。引进的渣油催化裂化技术由于国内研究开发同步进行，也开发了我国的技术。

石油化学工业从 70 年代开始发展以来，一直大量引进国外先进装置和技术，同时，也开展了对引进技术的消化、吸收和创新。通过多年的努力，从催化剂开始，逐步使一些重大工艺技术实现了国产化，包括高压加氢裂化、蒸汽裂解制乙烯、丙烯腈和聚丙烯等，技术指标一般和引进的装置相当。这些技术已经逐步在企业中应用，不但能大幅度节约投资，有的还提高了产品收率，在经济效益上成效显著。

(1) 渣油催化裂化技术

催化裂化是我国重质油深度加工的主要手段，它把减压馏分油转化成汽油、柴油和液化气。它所生产的汽油占我国汽油总量的三分之二，柴油约占三分之一。渣油催化裂化是以部分或全部渣油作为原料，把廉价的渣油转化成轻质油品，提高经济效益，当前掺炼一吨渣油，约可提高经济效益 650 元。70 年代，我国即进行了这项工艺技术和催化剂的研究开发。为了加速工业化进程，采取引进和自己开发并进的方针，成功地开发出自己的渣油催化裂化成套技术，包括工艺技术、催化剂和设备等。开发了再生器的内、外取热技术和渣油雾化技术、提升管出口快速分离技术以及适用于渣油裂化的新型催化剂与相应的旋风分离器等高效设备。整体技术水平和国际的相当。用自己开发的技术建设装置较成套引进可节约投资 1/3 以上。

(2) 蒸汽裂解制乙烯的裂解炉

乙烯是石化工业中的基本原料，而乙烯裂解炉则是生产装置的“龙头”。乙烯装置的技术水平在很大程度上取决于裂解技术水平。我国乙烯装置所采用的裂解炉过去基本依赖进口。多年来，科研、设计单位对裂解技术持续进行攻关，在消化引进技术的基础上进行创新，开发出自己的技术，1988 年，在辽阳化纤公司和上海高桥石化公司建成了工业试验炉。在试验成功后，又先后建成了齐鲁 4.5 万吨/年和吉化 3 万吨/年 CBL—I 炉。这些炉型符合当前高温、短停留时间和低烃分压发展趋势。齐鲁 CBL—I 炉经过改进完善已成为齐鲁乙烯装置生产的主力炉之一。吉化 CBL—I 炉一直运转正常，各项技术经济指标均比较先进，投资仅为引进装置的 70%。经改进的 4 万吨/年 CBL—II 型炉，在辽化的已于 1995 年 11 月 8 日建成投产，在抚顺的将于今年建成投产。目前，为适应我国石化工业发展的需要，正在开发规模更大、技术更为先进的 6 万吨/年 CBL—III 型炉。

2. 技术创新方面

我国石油化工科技队伍在国产化取得成效的基础上进行创新，开发成功了一批独具特色的先进技术，包括工艺流程、催化剂和工艺技术。

在工艺流程上，根据我国原油偏重和社会对轻质石油产品需求量大的特

点，合理地组合利用现有的生产装置，发展了一系列炼油组合工艺，包括催化裂化芳烃抽提组合工艺、催化裂化溶剂脱沥青组合工艺以及渣油热转化溶剂脱沥青组合工艺以提高轻质油收率。炼油厂根据其装置情况及产品需求，可采用适宜的组合工艺。如安庆石化厂采用催化裂化芳烃抽提组合工艺，没有增加设备，即可提高汽油和液化气收率各 2 个百分点，装置按 110 万吨/年加工能力计算，年增效 6000 万元。

在催化剂上经过科研人员的努力，在实现了立足于国内的基础上，近年来又开发出一些性能优异的催化剂，其中 RN—1 加氢脱氮催化剂已出口意大利并得到应用，MB—86 丙烯腈催化剂也与台湾签订了供货合同，首批催化剂已运往台湾。丙烯腈、环氧乙烷等催化剂，收率比进口的催化剂高几个百分点，经济效益十分显著。

在工艺技术上得到了一些创新成果，较为突出的是催化裂解及其衍生的一些技术，以及催化裂化干气制乙苯技术等。

(1) 干气制乙苯技术

乙烯与苯经烷基化制取乙苯的工业方法，国内外几乎都采用聚合级乙烯为原料。近年来，国外研究开发了利用炼油厂催化裂化干气中的乙烯作为制取乙苯原料的技术。但因为需要对干气进行脱硫及其它杂质，经济上不很有利。中科院大连化物所研究出一种干气不用脱硫即可进行烷基化的催化剂。为此中国石化总公司组织本系统的科研、设计、生产单位协同该所对此技术在抚顺石化公司进行开发。成功后，1993 年在该公司建成 3 万吨/年乙苯工业装置，制得的乙苯完全达到国家优级产品标准，催化剂再生周期达 110 天，年经济效益数千万元。

利用催化裂化干气中的乙烯制乙苯技术目前在国际上只有两套工业化的装置。国内这套装置原料干气不需深度精制，因而装置投资和能耗比原料需要深度精制的工艺低 1/3—2/3。已和国外公司签订了在世界范围内合作推广这项技术的协议。

(2) 催化裂解技术

石化工业发展需要大量的乙烯、丙烯等低碳烯烃，这些低碳烯烃国内外一般都是以轻质石油馏分为原料采用蒸汽裂解的方法来制取的。由于我国的原油馏分偏重，轻质石油馏分较少，需要开发能用重质油为原料来生产乙烯、丙烯和丁烯的新工艺。我们研究开发的催化裂解制取低碳烯烃技术(DCC)是通过有选择的催化反应，把重质原料裂解为丙烯等低碳烯烃的技术。这项技术的主要特点是：可适用于加工重质原料(减压馏分油)，在催化剂作用下，可使用较低的裂解温度(550 - 580)，所生产的烯烃主产品是丙烯，产率达 20%，同时副产丁烯和乙烯，是一项我国独创的以重质石油馏分为原料制取气体烯烃的新技术。

这项技术获多项国内外专利，已经实现了工业化。济南炼油厂加工能力 15 万吨/年、安庆石化总厂 40 万吨/年和大庆油田化学助剂厂 12 万吨/年三套装置已分别于 1994 年和 1995 年顺利投产，每年经济效益上亿元。

催化裂解技术已于 1994 年出口泰国，正在建设一套 75 万吨/年的生产装置。目前，还有一些著名的外国公司对该技术表现出兴趣，派人来我国了解情况。

这些国产化和创新技术的推广面逐年得到扩大，因之，经济效益也不断得到提高。

三、展望

我国国民经济的持续、快速、健康发展，对石化产品的需求日益增加。可以预计，石化工业在本世纪以至 2010 年前，都将保持较快发展速度。国家已经确定，要把石化工业建设成为国民经济的支柱产业。预计到 2000 年，原油年加工能力比现有的 2 亿吨只略有增加，而乙烯年生产能力则要达到 500 万吨左右。设想到 2010 年，原油年加工能力将达到 3—3.5 亿吨，乙烯年生产能力达到 800—1000 万吨，使石化工业有一个更大的发展。但这个速度，应该是在实现两个根本性转变基础上，在保证高质量高效益基础上的速度。

随着社会主义市场经济的建立和对外开放的扩大，加入世贸组织的临近和商品价格与国际逐渐接轨，石化工业正面临着国内外市场的激烈竞争，特别是国外一些大型石化公司，近年来在产品上、技术上都加紧进入中国市场，抢占地盘。因此，要实现上述目标，除要深化改革，加强经营管理外，必须有更大幅度的技术进步。特别在下列 5 个方面更应取得较大的进展。

1. 扩大已掌握的新技术的推广应用

石化工业有许多新技术已在工业生产上应用，并取得良好的经济效益。但还有许多新技术尚未被企业所采用。推广新技术是提高经济效益，增强市场竞争能力的捷径。

采用高效催化剂，一般不需要基建投资，最易见效。我国的丙烯腈、二甲苯异构化、甲苯歧化等催化剂，其质量优于进口催化剂，价格也比较低，扩大其应用可大大提高经济效益。

炼油的组合工艺，也是一般不用基建即可实现的。广州、安庆等炼油厂采用的结果，年增加效益都有几千万元。科研、设计单位应协助其它企业，结合具体情况，研究采用最优的组合工艺。

已经国产化的先进成套技术，如聚丙烯、丙烯腈和乙烯裂解炉等在基建中应要求节约投资。自己开发的先进技术，如干气制乙苯、催化裂解、中压加氢改质等，经济效益很高，应加速推广应用。

石油化工厂在原料的精制和优化选用方面有较大潜力。如齐鲁石化公司的乙烯装置，按原设计用胜利柴油作原料，乙烯收率只有 22% 左右。用胜利减压馏分油经过中压加氢改质，除获得轻质油外，60% 的尾油用作乙烯原料，乙烯收率可达 26%。可见推广中压加氢改质技术能取得很大的经济效益。

2. 通过技术改造扩大装置规模

为了实现 2000 年和 2010 年原油加工能力和乙烯生产能力的目标，必须拥有一批千万吨级能加工含硫原油的炼油装置、百万吨级乙烯生产及相应的下游装置。

建设加工能力 1000 万吨的炼油厂和年生产 100 万吨的乙烯装置面临着技术和投资两个难关。已有的生产装置，经过技术改造以扩大生产能力并提高技术经济指标，是节约投资的途径。燕山石化公司 30 万吨乙烯改造成 45 万吨。加上下游配套，只花 28 亿元，是一个好例子。最近中国石化总公司组织科研、设计、生产等方面的技术人员，审查镇海炼油厂制订的把炼油扩大到 1200 万吨/年的方案时，在“两个根本性转变”指引下，提出许多技术改造的可能性建议，增加老装置扩大规模的数目，减少需要新建的装置，比原方案可节约投资近 30%。这是多快好省的道路，中国石化总公司把这作为典型加以推广，号召各个企业学习，使“九五”投资能大幅度节省，以利于解决

资金问题。但要实现这个方案，必须在较短时间内解决若干技术问题。如改进常压蒸馏流程，采用和开发高效塔盘，提高重整催化剂和加氢裂化催化剂性能并改造关键设备，优化延迟焦化流程及参数，如温度、反应时间等。这对科研和设计部门无疑是个促进。

3. 研制开发高性能新产品

在市场竞争中，除价格外，主要是产品的品种和质量。没有优良的质量和适合需要的品种是很难站稳脚跟的。

在石油产品方面，除提高汽油辛烷值，普及 90 号以上汽油并加速其无铅化外，重点是提高润滑油的质量。国外汽油机油已普及 SG 级，柴油机油已普遍使用 CD、CE 级。相比之下，我国内燃机润滑油牌号落后了 2—4 档次。要大幅度提高质量水平，需从三个方面入手：一是改进现有工艺并开发高效新工艺，以提高润滑油基础油的质量；二是采用和开发高效添加剂，研究新的复合配方；三是加强马达评价手段，及时提出指导性意见。同时还必须密切结合国内汽车工业和机械工业发展，并跟踪国际发展趋势，掌握润滑油发展方向。

在石化产品方面，同样是大路货多，高性能、高附加值产品少，影响经济效益，如一吨洗衣机内筒用的聚丙烯，价格比普通聚丙烯要高 300—400 美元，我们不生产，而大量进口。近期，合成树脂要加快专用料的发展，在农用薄膜、家用电器、电线电缆、工业管道等方面有新突破。合成纤维在发展涤纶、腈纶的同时，适当发展锦纶和丙纶。在品种牌号上，要突出差别化、功能化和非服用纤维等新产品的开发。

研制开发高质量的专用料，应在交流、总结国内研究工作基础上，集中力量开发、推广有水平的成果，并确定进一步攻关的任务。应从基础性研究入手，搞清提高质量的关键所在，并结合塑料加工、纤维抽丝等应用研究，推动树脂质量的提高。只有研制出高质量的塑料制品、差别化等高质量纤维，才能推动合成技术、抽丝技术的提高。

在石油产品中的润滑油，石化产品中的塑料、合成纤维、合成橡胶等，必须选择销路较广、我国有一定优势的若干重要品种，集中有关科技力量，进行研制、开发，坚持不懈，不断提高，以创我国的名牌产品。

工程塑料和功能性高分子材料是有发展前途，并将是迫切需要的产品，急需大力支持其研究工作。

4. 研究开发新工艺技术及催化剂

催化剂是我国较有优势的技术领域，面临国际的激烈竞争，必须对应用面广的催化剂加强研究开发工作，不断提高催化剂的质量，同时还必须改进催化剂生产工艺，采用先进设备，大力降低成本，以保证在国际竞争中的优势。在提高现有催化剂水平的同时，还必须研究开发新型的烯烃聚合催化剂，如金属茂等；能代替硫酸、氟氢酸的高效无污染催化剂，如固体酸等；以及减少副产物的择形催化剂，以用于氧化、合成、裂化等反应过程。

在工艺技术方面，除已经掌握的工艺技术应不断改进提高和保持其水平之外，对尚未国产化的渣油加氢、连续重整、两步法腈纶等应进行研究开发，以求立足于国内。同时还应针对生产中的重大问题，如提高柴油的比例和提高催化裂化汽油的辛烷值问题、重质原油的轻质化问题等，研究开发在经济上有利的先进新技术。

(1) 在提高柴油与汽油生产的比例方面，1996 年国内需求要达到 1.5，

而现在只有 1.3。解决的途径主要依靠二次加工量最大的催化裂化技术的改进和新催化剂的开发。要因地制宜，根据不同的原油性质和装置的具体情况，在技术上有灵活的调节手段。还要研究开发低加工成本的新加氢裂化技术。

(2) 在重质原油轻质化方面，除了采用已有技术之外，应研究开发适度的渣油脱硫、脱氮和脱重金属技术，为催化裂化提供优质原料；改进焦化技术、优化工艺组合，提高轻质液体产品收率。

(3) 为了提高轻油收率和产品质量，须要通过脱碳或加氢以提高产品的氢碳比例。因此，生产廉价氢气，如从炼油干气制氢和氢提纯或提浓等技术，也是重要的配套技术，必须大力进行研究开发。

(4) 广泛采用计算机技术。与国际上发达国家相比，我国在计算机的应用与开发方面还存在很大的差距。在研究工作中，用计算机积累和整理数据，建立数据库，找出关联模型，开发工艺模拟软件，并与生产和设计相结合，逐步开发操作优化模拟软件。

5. 加强基础和探索性研究

基础性研究是新技术的源泉和后盾，但因不起直接作用，易被忽视。因此，必须强调企业给基础研究加大投入。探索性研究风险性大、成功率低，但总的经济效益是大的，因此企业必须舍得冒这个风险，以取得创新的技术。一些世界性的课题，如重质、超重质原油新的先进加工技术，以廉价原料如烷烃代替烯烃等高价原料，定向反应、定向合成，新的分离过程和反应工程，高性能催化材料以及质量好于纺织布和植物纤维纸的无纺布和塑料纸的新生产技术等，都是探索性的大课题。这类课题的突破有赖于打破旧框框，创出新途径。因此，应当提倡鼓励科技工作者解放思想，跳出传统概念，提出各种新构想，这样才能实现技术创新。

不久前有人提出“清洁生产”的口号，要求把生产末端的环保治理转移到生产的全过程每个环节，以实现三废的“零排放”，得到很好的反响，引发了许多科研工作者从多个角度进行探索。

还有人提出“分子管理”(Molecular Management)的口号。所谓分子管理，就是要对原油加工从观念上产生根本性的变化，即实行分子水平上的转移、重排和分离，转化的重点是使大分子定向断裂成气体烯烃和各种高质量的石油产品。这类新概念的提出对推动创新都是有益的。

全国人大八届四次会议通过的“九五”计划和 2010 年远景目标纲要对振兴我国石化工业提出了更加具体的要求。为实现我国石化工业的发展目标，还必须与有关各方面共同努力，提高技术水平，缩小同国外的差距，使我国的石化工业跻身于世界先进行列。

洁净煤技术

姚福生

机械工业部

姚福生 动力机械、汽轮机专家。1932年4月26日出生于上海。1955年毕业于上海交通大学，1962年毕业于波兰格但斯克工业大学并获博士学位。曾任机械工业部总工程师。现任机械工业部高级工程师、我国10所著名高校的兼职教授。兼任中国动力工程学会副理事长。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事汽轮机叶片（首创CAD软件）、叶栅以及汽轮机的旁路系统等工程技术工作。

国民经济的持续发展，离不开能源的支持。无论过去、现在，还是将来，能源的主角是煤炭。中国是当今世界上最大的产煤国和消费国，已探明的储量为9183亿吨，折合标准煤计算，占已探明的煤炭、石油、天然气及水电资源总储量的90%，1993年产煤11.5亿吨。在一次能源总消费中，煤炭占76%。煤产量的80%是直接用于燃烧，其中发电厂用煤量大于总产量的30%。由于今后相当长时期内煤炭作为主要的一次能源地位不会改变，预计2000年、2020年煤炭产量将分别达到14亿吨和21亿吨。

煤炭作为能源在国民经济发展中作出巨大贡献的同时，在其开发与利用过程中也带来了一系列环境污染问题，危及生态平衡与人类的生存。煤炭在开采中排放的甲烷（又称煤层瓦斯或煤层气）与CO₂，氯氟烷烃等气体在大气层中形成一层类似“温室玻璃”的气体层，阻碍地球有效散热，使地球气温升高，人称温室效应。甲烷虽是仅次于CO₂占第2位的重要温室气体，但其效能比CO₂大20—60倍。目前我国每年由煤炭生产而释放的甲烷达47亿立方米，其中通过抽放利用的仅3亿立方米，而煤层甲烷的储量约30—50万亿立方米。甲烷是一种短寿命的气体，在大气中滞留的时间只有8-12年，而CO₂则超过200年，所以与甲烷有关的气候变暖是在其散发后几十年内完成，而CO₂则在几百年内逐渐实现。大气中甲烷浓度的增加，导致平流层中臭氧(O₃)的减少。平流层O₃对地球的主要作用是防止有害的紫外线辐射到达地面。甲烷浓度的增加，通过与大气圈反应抑制对流层的OH，消耗大气圈的氧化势，削弱大气清除氢化含氯氟烃及有毒大气污染物的能力，从而破坏平流层的O₃。此外，甲烷到达平流层后被OH氧化，生成水汽，这种水汽是平流层中一种重要的温室气体。平流层中的水汽还有助于形成有极性的冰晶体，这也会消耗平流层中的O₃。平流层O₃的减少，使辐射到地球上的紫外线增加，诱发皮肤癌，使皮肤晒黑而老化、引起眼疾、雪盲等，危害人类身体健康。煤矿在开采过程中，还遗弃矸石，目前我国已积存矸石达16亿多吨，而且每年还以1亿多吨递增。矸石山占地4000ha，其中约有145座矸石山在自燃，对大气和环境造成严重污染，矸石淋水溶水对周围地表水、地下水也造成污染。煤矿开采时每年排出矿井水（分别为高矿化度、酸性、高悬浮物，有的还有放射元素）约17亿吨，年排放煤泥水2800多万吨，都对环境造成

了污染。

从煤炭中获取能量，主要是通过燃烧。与煤伴生的常见有害元素有硫、磷、氟、氯、汞、砷、铍、镉、硒、铅、铬、锰、铀、镍等，有的对工业生产有害，更多则是对生态环境保护方面有害。煤在燃烧时将不同的元素释放到大气中，计有未燃烧的碳、硫磺和氧化氮、二氧化碳、一氧化碳、微量部分燃烧了的碳氢化合物和其它微量元素。煤的无机部分在燃烧后成为灰保留下来，其中部分进入大气。

煤燃烧后进入大气的悬浮粒子总量包括灰粒子、微量金属和碳氢化合物、烟等，它是我国大气中最严重的空气污染物，对人的健康威胁最大。微粒的排放量是取决于煤的灰分含量、燃烧温度和锅炉烟道气压力。微粒浓度高会引起或促成慢性哮喘和其他呼吸道疾病的发生。粉尘和特细粉尘状悬浮粒子总量对健康的影响最大，它更易被吸入肺内，特细粉尘（ $< 10^{-6}$ 米）含有最多与煤燃烧有关的有毒元素或致癌元素，如氢离子、微量金属和有机化合物，目前的污染控制设备尚很难去除特细粉尘微粒，属世界性难题。据 1992 年环境公报公布，我国年排放烟尘达 1414 万吨，预测 2000 年将达 2392 万吨。

煤燃烧时排放的 SO_2 是大气污染的元凶，1993 年全国向空排放 SO_2 约达 1800 万吨，预测在 2000 年将达 2160 万吨。燃煤时排放的 SO_2 是由煤炭中的硫析出并氧化而成，排放量取决于煤的含硫量，煤在燃烧过程中大约有 90—95% 的硫被氧化成 SO_2 ，多数进入烟道，只有 5% 的硫与煤炭中含有少量碱土金属氧化物（ CaO ）反应生成硫酸盐进入灰渣。 SO_2 污染属于低浓度、长期污染的性质，对生态环境一般是一种慢性、叠加性的长期危害，对人体健康的影响主要是通过呼吸道系统进入人体，与呼吸器官作用，引起或加重呼吸器官的疾病，如鼻炎、咽喉炎、支气管炎、支气管哮喘、肺气肿、肺癌等。此外，植物对 SO_2 特别敏感，主要通过叶面气孔进入植物体，在细胞或细胞液中生成 SO_3^{2-} 或 HSO_3^- 和 H^+ 。如果其浓度和持续时间超过了本身自解机能（即阈值浓度）时，就会破坏植物正常生理机能，使光合作用降低，影响体内物质代谢和酶的活性，从而使叶细胞发生质壁分离，收缩或崩溃，叶绿素分解等。从表面看，叶片出现伤斑、发黄、枯卷、落叶、落果或生长缓慢，严重时则枯死，同时会使植物对病虫害的抵抗力降低，造成间接危害。

SO_2 的转化物硫酸雾对大气能见度的影响最大。当大气相对湿度大于 70% 时，对能见度的影响就比较突出。根据记载，1989 年在新疆乌鲁木齐市和陕西省西安市都出现过持续时间在 16 天以上的弥天烟雾天气。烟雾笼罩市区上空，严重影响空中和陆地交通运输。

SO_2 在大气中经催化氧化等过程形成酸雨，对森林、湖泊、农业生产、建筑及材料造成危害也极大。酸雨是跨界的污染问题，煤燃烧过程中排放出氧化硫和氧化氮主要是 SO_2 和 NO_2 。随着 SO_2 、 NO_2 在大气中滞留的时间增长，这些氧化物与氧结合形成硫酸盐和硝酸盐离子，如遇水雾就会形成酸雨和酸雾，酸化的程度用氢离子浓度指数 pH 值来表示，我国用天然降水的本底 pH 值 5.65 来表征，一般将 pH 值小于 5.6 的降水叫酸雨，小于 4 则表示严重酸化。酸雨被称为“空中死神”，在 1990—1995 年联合国系统中期环境方案中，酸雨被列为最重大的环保问题。

我国是一个典型的煤烟型污染国家，除 SO_2 和烟尘外，还有 NO_x 、 CO_2 及苯并 (a) 芘等，这些物质达到一定浓度就会对人体健康构成威胁和危害。

洁净煤技术是旨在使煤作为一种能源使其达到最大限度潜能的利用同时，实现释放污染物最少的目的。

洁净煤技术 (Clean Coal Technology-CCT) 一词来源于美国，1980 年列入了能源词汇。它是针对使用煤炭对环境造成污染所提出的技术对策。因此，洁净煤技术应包括煤炭使用各环节的净化和防治污染的技术，从以上分析可知，污染来自煤炭的废渣、废气 (燃烧所生的烟气) 及废水等诸方面。防治这种污染的洁净煤技术可分为：煤炭燃烧前的净化技术、燃烧中的净化技术、燃烧后的净化技术、煤炭的转换技术。

1. 煤炭燃烧前的净化技术的主要内容是“选煤”。选煤是合理利用煤炭资源、保护环境的最经济和有效的技术。选煤是应用物理、物理化学、化学或微生物等方法将原煤脱灰、降硫并加工成质量均匀、用途不同的各品种煤的加工技术；是使电站和工业燃煤大大减少烟尘和 SO_2 排放量的最经济和有效的途径；是煤炭深加工的前提；是国际公认的洁净煤技术重点。它直接关系到煤炭的合理利用、深加工、环保、节能、节运，以及产煤和用煤企业的经济效益、社会效益和环境效益。据统计每入洗 1 亿吨原煤，脱除其中大部分的黄铁矿硫，就可减少 SO_2 排放量 100 - 150 万吨，而其成本仅为洗涤烟气脱硫的 1/10，尚可回收和利用煤中有益的共伴生矿物。煤中共伴生的微量元素有铜、铍、锶、钡、氟、锰、硼、镓、锆、锡、铅、锌、铬、砷、镍、钴、钛、锆等。对于炼焦煤，如将选后精煤的灰份降低 1%，则焦炭灰份可降低 1.33%，燃料比可降低 2.66%，生铁产量可提高 3% 左右，焦炭硫份如降低 0.1%，燃料比可降低 1.5%，生铁产量可提高 2%，同时石灰石耗量和排渣量也随之降低，环境将随之改善。对于动力用煤 (指除去炼焦、造气用的原料煤外，用于直接燃烧生产动力和热能的燃烧煤) 选煤除灰也是十分迫切要解决的问题，我国动力煤的平均灰份高达 20%，有些资料估计我国动力煤实际灰份大致在 27% 左右，这就说明动力煤如不加洗选，要提高动力煤质量 (降低灰份，硫份) 是困难和没有保证的。高灰份的动力煤不但使电厂制粉电耗的增加，锅炉燃烧效率的降低，还造成排灰量增加，环境污染加剧。通过选煤还能排除大量矸石，是减少无效运输的重要措施。我国煤炭储量的 80% 集中在华北和西北，而 74% 的煤炭消耗在东南及沿海一带，因而有近 60% 的煤炭需要运输，占铁路货运量的 40%，公路货运量的 25% 和水运量的 20%，由于未经洗选的煤炭中含有大量矸石 (15% 左右)，在运输中造成大量的人力和物力的浪费。通过选煤如排除其中 10% 的矸石，以现有煤产量和平均运距 500 公里计算，则每年可节约运力 575 亿吨公里。

选煤技术可分为 4 类：筛分、物理选煤、化学选煤、细菌脱硫。筛分是把煤分成不同粒度。物理选煤方法有跳汰、重介质和浮选 3 种。跳汰选煤是在上下波动的变速脉动水流中，使相对密度不同的煤和矸石分开。重介质选煤是利用磁铁矿粉等配制的重介质悬浮液 (其相对密度介于煤和矸石之间) 将煤与矸石等杂质分开。浮选是利用煤和矸石表面湿润性的差异，洗选粒度小于 0.5 毫米的煤泥。物理选煤可除去 60% 以上的灰份和 50% 的黄铁矿硫。化学法和微生物脱硫可以脱除煤中 99% 的矿物硫及 90% 的全硫 (包括有机硫)。化学法脱硫多数针对脱煤中有机硫，主要利用不同的化学反应，包

括生物化学反应将煤中的硫转变为不同形态而使之分离，化学法脱硫有 10 几种不同方法，计有碱水液法、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 氧化法、 O_2 /空气氧化法、PETC 空气氧化法、 NO_2 选择氧化法、氯解法、微波法、超临界醇抽提法、熔融碱法、全氯乙烷重力浮沉与抽提法、高能辐射法、快速热解法、生物氧化还原反应法、重力法与碱熔相结合的碱液浮沉浸溶法等。相对而言，化学选煤法脱硫效率最高，而且还能去除有机硫，但其致命的弱点，一是多数化学法是在高温高压下进行，有的使用不同的氧化剂，操作费用和设备投资费用高昂，二是反应条件较为强烈，可能使煤质发生变化，使煤的发热量、结焦性和膨胀性遭到破坏，使净化后的产品用途受到限制。细菌脱硫技术的难度在于生物化学过程往往反应太慢，微生物要求温度又过于敏感，加上煤不溶于水，迫使煤粒直径要求非常细，增加能耗，否则界面反应很困难。

工业发达国家需要洗选的原煤早已全部入选。而我国原煤入选比例约为 20.5%。入选率低的主要原因是缺乏烧煤设备污染排放的环保和标准，煤炭品种比价不合理，动力煤洗选回收率低。

型煤加工也是煤炭燃前的洁净技术内容，型煤加工是用粉煤制成具有一定强度和形状的煤制品。可分为民用型煤和工业型煤两种。型煤加工一般需加粘结剂。寻求适应性强的廉价粘结剂是发展型煤的关键。年轻褐煤干燥后可直接冷压成型，不用粘结剂。高硫煤成型时加入适量的固硫剂，可大大减少 SO_2 排放。作为我国民用型煤主体的蜂窝煤，配以先进炉具，热效率比烧散煤高一倍，一般可节煤 20 - 30%；烟尘和 SO_2 减少 40 - 60%， CO_2 减少 80%。工业炉窑和蒸汽机车烧型煤与烧原煤相比，可节煤 15%，烟尘减少 50—60%， SO_2 减少 40—50%，民用型煤的节能率是所有洁净煤技术中最高的，相对环境效益也很高。

将煤制成水煤浆，也能使燃烧时烟尘和 SO_2 排放远低于烧原煤，由于水煤浆在燃烧时火焰中心温度比烧煤和烧油低，故 NO_x 生成量也较少。此外，水煤浆储运过程对环境的影响也比煤炭小得多。所以燃煤前制作水煤浆也是洁净煤技术的内容之一。水煤浆是 70 年代发展起来的一种以煤代油的新型燃料，它是将灰份小于 8%，硫份小于 0.5% 的挥发份高的原料煤，研磨成 250—300 微米的细煤粉，按煤 70%，水 30% 的比例，再加入 0.5—0.1% 的分散剂（保证其流动性）和 0.02—0.1% 的稳定剂，配制而成，水煤浆可以像燃料油一样运输、贮存和燃烧。燃烧时，水煤浆从喷嘴高速喷出，雾化成 50—70 微米的雾滴，在预热到 600—700 的炉膛内迅速蒸发，并伴随微爆，煤中挥发份析出而着火，其着火温度比干粉还低 100 。

2. 煤炭燃烧中的净化技术：采用先进的燃烧器是燃烧中净化技术的重要课题。先进燃烧器是通过改进电站锅炉、工业锅炉和炉窑的设计和燃烧技术，减少污染物排放，并提高效率。

国外除大力开发循环流化床锅炉和先进层燃工业锅炉外，还积极研制低 NO_x 燃烧器，其燃烧过程是燃料和空气逐渐混合，以降低火焰温度，从而减少 NO_x 生成，或者调节燃料与空气的混合比，提供只够燃料燃烧的氧，而不足以和氮结合生成 NO_x ，结合炉内喷钙（石灰石）降低 SO_2 排放量。研究比较成功的是美国 TRW 公司推出的排渣式多级煤燃烧器，它具有低 NO_x 排放、脱硫效率高、液态排渣、排烟含灰量小、燃烧器的容积热负荷高、负荷调节比大、

炭燃尽率高(达 99%以上)等特点。

我国正在开发的先进的层燃工业锅炉,热效率可提高 10%,原始排尘浓度降低 60%,SO₂减排 40%。

流化床燃烧技术是燃烧中洁净煤技术的更为注目的课题。流化床燃烧是把煤和吸附剂(石灰石)加入燃烧室的床层中,从炉底鼓风使床层悬浮,进行流化燃烧。流化形成湍流混合条件,从而提高燃烧效率,石灰石固硫减少 SO₂ 排放,较低的燃烧温度(830 - 900)使 NO_x 生成量大大减少。流化床分为鼓泡床和循环床两类,鼓泡床使煤保持在燃烧器中心,流化燃烧主要在床内进行。而循环床则通过高速空气夹带固体颗粒进入并返回燃烧器,进行辅助燃烧,促使煤粒沸腾燃尽。流化床燃烧又分为常压流化床燃烧和加压流化床燃烧两种,前者是在常压或接近常压的空气中流化燃烧,后者是在炉内增压至 8—16bar 条件下燃烧。

流化床燃烧与采用煤粉炉加烟道气净化装置的电站相比,SO₂ 和 NO_x 可减少 50%以上,无需烟气脱硫装置。当钙硫比为 2 时,鼓泡床脱硫率为 80%,循环流化床超过 90%;NO_x 排放浓度小于 200mg/m³。

煤的洁净燃烧技术方面,燃煤的燃气——蒸汽联合循环技术的发展是最令人瞩目,它有可能较大幅度地提高燃煤电厂的热效率,并使污染问题获得解决。它是高效的联合循环和洁净的燃煤技术相结合的一种先进发电系统。目前世界各国正在开发的先进燃煤联合循环发电系统有:整体煤气化联合循环(IGCC),流化床燃煤联合循环(PFBC—CC 和 AFBC—CC),外燃式燃煤联合循环(IFC),直接烧煤粉(或水煤浆)联合循环,整体煤气化燃料电池联合循环(IGFC)以及磁流体发电联合循环(MHD)等。从理论上分析,IGFC 和 MHD 是最先进的系统。燃料电池是通过氢氧之间的电化学反应发电;MHD 则是由高温离子化气体高速通过磁场获取电子而发电。两者热效率都可能超过 60%,而污染物排放量接近于零,但是其中付诸经济实用的技术尚要许多年后才能兑现。直接烧煤粉(或水煤浆)的联合循环系统简单、效率高,但高温除尘、透平叶片结垢、腐蚀与磨损等问题尚待解决,路程尚还长久。IFC 和 AFBC—CC 比较相似,都采用常压空气锅炉,前者为新型高温炉,后者采用常压流化床,它们已达到实用阶段,效率也可以,但大型化较难。最引人瞩目的是 IGCC 和 PFBC—CC。PFBC—CC 是采用增压流化床和燃气轮机代替煤粉锅炉,煤在高压条件下燃烧产生高温燃气,经除尘后,推动燃气轮机作功,锅炉内产生的蒸汽推动蒸汽轮机作功。它烧劣质煤的优势明显,即使烧含 7%硫量和 30%—40%灰份的煤,也能达到 97%—98%的燃烧效率和 85%以上的固硫率。与 AF—BC 相比,PFBC 的燃烧效率和固硫率更高、系统更紧凑。IGCC 是先将煤气化和净化处理后的可燃气体供燃气轮机燃用作功发电。一般,它是由煤气发生系统及净化系统、燃气轮机、汽轮机、发电机以及有关附属系统组成。IGCC 的关键是先进的气化工艺,目前煤的气化装置有三类:喷流床、流化床和固定床。早期只把气化炉、空分装置和联合循环等简单叠加(称为 GCC),效率较低,后来发展成为 IGCC,热效率已达 40%—46%,正在研究效率为 50—60%的系统(如 IGHAT),据美国资料,烧硫份为 3.5%的高硫煤的 IGCC 电站,SO₂ 排放量比煤粉炉加烟气脱硫装置少 70%,比 AFBC(常压循环流化床)少 50%;NO_x 分别减少 60%和 25%,固体废物分别减少 60%和 75%。IGCC 在国外已建、在建和拟建的电站有 24 个,我国也将与美国

政府合作在国内建一 IGCC 示范电站。IGCC 十分有可能是下一世纪的主要的发电方式。

3. 煤炭燃烧后的净化技术：已有的常规煤粉炉发电厂，可用烟气净化技术，减少 SO_2 和 NO_x 的排量。烟道气净化包括 SO_2 、 NO_x 和颗粒物控制。烟气脱硫 (FGD) 有干式和湿式两种方法。干法是用浆状石灰石喷雾，与烟气中的 SO_2 反应，生成硫酸钙，水份被蒸发，干燥颗粒用集尘器收集。湿法是用石灰水淋洗烟气， SO_2 变成亚硫酸钙或硫酸钙的浆状物。烟气脱氮有多种方法，日本等国已采用干式氨选择性催化剂还原法 (SCR)，烟气通过催化剂，在 300—400 °C 下加入氨，使 NO_x 分解成无害的氨和蒸汽。烟气除尘，目前已广泛采用静电除尘器，除尘效率已达 99% 以上。

湿式和干式 FGD，除硫率可达 90% 以上，采用 SCR， NO_x 排放量可减少 80% 以上。但装置的投资费用和运用费用都较昂贵。

4. 煤炭的转换技术：主要内容是煤炭气化和煤炭液化。煤炭气化是把经过适当处理的煤送入反应器，在一定温度和压力下，通过气化剂 (空气、氧、蒸汽) 以一定的流动方式 (移动床、流化床或携带床) 转化成气体。煤炭气化主要产生 CO 和 H_2 ，灰份形成废渣排出。其优点是在燃烧前脱除硫组份。

粗煤气中的硫化氢可在气体冷却后通过化学吸收或物理吸附脱除，高温下也可用金属氧化物吸附。这些工艺可脱硫 99%。还可在气化器中加石灰石固硫，这样也可脱硫 90%。煤炭液化分直接液化和间接液化两类。直接液化是把煤直接转化成液体产品。有氢溶剂法 (EDS)、氢-煤法，SRC 法。EDS 法是煤浆在循环的供氢溶剂中与氢混合，溶剂首先通过催化器，拾取氢原子，然后通过液化反应器，供出氢，使煤分解。氢煤法是直接加氢转化成液体燃料的工艺，采用流化床反应器。SRC 是将高灰份、高硫份的煤转化成接近无灰的低硫燃料的工艺，溶剂与煤粉制成煤浆，煤浆与氢混合后送入反应器。

间接液化是煤先气化生成原料气，经净化后进行调质反应，调整 H_2 与 CO 的比例。

直接液化，煤经加氢反应，所有异质原子 (N、S、O) 基本被脱除，也无颗粒物，回收的硫可制成元素硫，氮经过水处理变成氨。

间接液化，催化合成过程排放物也不多。未反应的尾气 (主要是 CO) 可在燃烧器中燃烧，排出的废气中 NO_x 和硫很少，无颗粒物。

洁净煤技术是一项多层次、多学科的技术，其中有常规技术、高新技术和某些尖端技术。洁净煤技术的开发也是一项跨部门的系统工程。洁净煤技术难度大，投入也要多，开发周期长；只有全面规划，通力合作才能取得进展。

节水农业的研究与实践

山仑

中国科学院、水利部水土保持研究所

山仑 作物生理学和作物栽培学专家。1933年1月19日生于山东龙口。1954年毕业于山东农业大学。1962年获前苏联科学院植物生理研究所生物学副博士学位。曾任中国科学院西北水土保持研究所副所长，现任该所学术委员会主任、研究员。1995年当选为中国工程院院士。主要从事旱地农业方面的研究。

一、节水农业在我国国民经济 持续发展中的地位

水资源紧缺已是一个全球性问题。我国年水资源总量约为2.8亿 M^3 ，居世界第6位，但人均、亩均水资源量仅为2730 M^3 /人和1870 M^3 /亩，分别为世界平均水平的25%和76%。我国不但水资源贫乏，而且分布很不平衡：81%的水资源集中分布在长江流域及其以南地区；长江以北地区人口占全国的45.3%，耕地占全国的64.1%，但水资源量仅占全国的19%，人均占有量为517 M^3 ，相当于全国人均量的1/5，世界人均量的1/20。因此，我国水资源问题主要在北方，该地区的供水危机正在变成一个比以往任何时候都更加现实的问题。联合国粮农组织最近也特别指出中国北方、印度南方和墨西哥部分地区缺水的严重性。

我国每年用水总量约5000亿 M^3 ，其中农业用水占到80%左右，而一些发达国家农业用水比例仅为50%左右，如北美和美洲中部农业用水占49%，一些欧洲国家农业用水仅占38%。

目前我国600多个城市中有300多个城市处于缺水状态，其中严重缺水城市110多个。80年代以来，全球气候变暖趋势明显，我国北方干旱加剧，农业受旱面积50年代年平均1.7亿亩，80年代扩大到3.5亿亩，90年代以来扩大到4亿亩。今后，随着工农业生产和城市的发展，将进一步加剧水的供需矛盾。如何解决这一问题？专家们一致的意见是：一是节水，二是调水，而节约利用和保护好水资源则应作为解决当前水资源紧张的首要途径。

农业是用水大户，农业用水主要消耗于灌溉。我国目前灌溉面积已达7.4亿亩，居世界首位，占全国耕地面积的48%，但灌溉水利用率很低，只有40%左右，一些发达国家可达到80%以上，说明浪费严重；另一方面，我国灌溉水利用效率也很低，每立方水生产粮食不足1公斤，不到发达国家的一半，说明远未做到科学用水。因此，推行节水农业是十分必要的，应视为解决我国当前用水紧张的主要出路。

发展节水型农业已是势在必行，但如何看待其所处地位和作用？我认为，在保持农业以正常速度增产的同时大幅度地节约农业用水应作为一个总的目标。所谓“大幅度”或“大规模”的节约农业用水，其主要着眼点是把农业用水总量、包括农业用水在整个用水中的比率降下来，譬如降到全国整个用水量的65%以下，而不仅仅局限于灌溉水利用率和利用效率的提高。要

做到这一点仅靠改进输水技术、灌溉技术及灌溉制度是不够的，而必须立足于系统科学技术的运用，整个农业用水制度的变革，乃至农业用水指导思想的转变。譬如，我国灌溉面积今后应尽量扩大、还是适度扩大？主要靠兴建新的灌溉工程来扩大、还是主要利用现有设施通过节水来扩大？以及新建灌溉工程基于什么原则、节水与增产如何有效结合等，都是需要加以认真探讨的，但不管采用哪种办法，都应以保持整个水资源的可持续利用，区域水资源平衡，以及农业、工业、生活用水的最佳组合为前提。随着工业和城市的发展，一个时期内压缩农业用水比例将是不可避免的，对此虽有不同看法，但客观上这毕竟是推行节水农业的后果之一。

如上所述，节水农业的推行不单是一个技术问题，也不限于解决农业问题本身，它对于缓解全社会水资源紧张状况，促进整个国民经济持续、稳定发展都将起到重要作用。因此，发展节水农业具有战略意义，它是我国农业发展具有长远意义的正确选择，故应作为一项长期坚持的政府方针。下面，仅从科学技术角度，就节水农业的有关问题作进一步的介绍和讨论。

二、节水农业研究状况和问题

（一）节水农业概念

节水农业系指充分利用自然降水和灌溉水的农业。节水农业研究要解决的中心问题是如何提高农业生产中水的利用率和利用效率，即：在灌溉农业中如何做到在节约大量灌溉用水的同时实现高产；在旱地农业中力求增加少量供水以达到显著增产。在此需要强调一点：节水农业非单指节水灌溉，而应理解为在农业生产过程中的全面节水；充分利用自然降水和节约灌溉水同样重要，对雨水未做到有效利用也是一种浪费。结合我国北方情况，节水农业包括以下三种类型：

1. 节水灌溉农业。一般指为节约水资源，尽量减少水库和灌溉水运输过程中的水分渗漏和蒸发，同时根据作物需水规律，不断改进灌溉技术，减少灌溉定额，以实现高产的一种灌溉农业类型。

2. 有限灌溉农业。在缺水地区利用灌溉仅能满足作物对水分部分需求的一种补充供水方法，被视为旱地栽培与有限供水结合的一种作物管理制度。

3. 旱作农业。在无补充灌溉条件的地区，高效利用自然降水（包括通过集水措施）以达到有限增产的农业，亦视为节水农业的范畴。

其中，有限灌溉农业是当前发展节水农业的一种新趋向，在科学技术不断进步的基础上，如能做到对灌溉水的定时定量精确控制，则有限灌溉将成为未来农业供水的一种主要方式。不管哪种节水农业类型，其共同的目标是提高水的利用效率。具体而言，是要最大限度地提高下述比率，即：土壤储水量/降水量（灌溉量），耗水量/土壤储水量，蒸腾量/耗水量，生物量/蒸腾量，经济产量/生物量。这几方面可以作为当前节水农业所面临的研究任务和要解决的实际问题。

（二）节水农业研究的若干问题

节水农业的基础和应用研究是当前国内外农业、环境、水利、气象、生物等学科的一个研究热点。目前，在我国国家科技攻关和重大自然科学基金中都列有节水农业方面的项目。许多省区也都根据本地区实际需要积极组织力量开展这方面的试验与示范。这说明，研究与推行节水农业已受到各级政府的重视，这一点是十分重要的。下面，在分析国内外节水农业基础和应用

研究已取得进展的基础上，就几个主要问题谈谈我们的认识。

1. 关于农田灌溉原则

在水分条件与产量形成的关系上，长期以来存在着两个观点：一种认为，任何时期、任何程度的水分亏缺都将造成作物产量降低，为要获得高产，整个生育时期都必须保持充足供水；另一种观点则认为，充分供水与适度控水交替对产量更为有利。在经历了 50 多年的研究与实践之后，这一问题已基本明确，即后一种看法是正确的、有利的。据已有资料，湿润与适度干旱交替的供水方法利于节水增产的生物学依据可简要归结为：（1）不同作物不同生育时期对干旱的敏感性不同，这为水的合理调配和选择关键供水期提供了根据；（2）水分亏缺对与产量密切有关的各个生理过程的影响程度和顺序不同，如：干旱对禾谷类作物不同生理过程影响的先后顺序为：生长-气孔-蒸腾-光合-运输，据此提供的参数，结合计算机和自动化控制技术的运用，使田间精确灌溉成为可能；（3）干旱缺水对作物的影响有一个从“适应”到“伤害”的过程，不超过适应范围的缺水，往往在复水后，由于产生了生理上的补偿效应，对以后的生长更为有利；（4）作物水分利用效率的高值往往是在中等供水条件下、而不是在充分供水条件下获得的。基于以上分析可以得出这样的认识：干旱不总是降低产量，一定生育阶段的有限水分亏缺反而对许多作物的经济产量增加有利。80 年代以来，这一认识在田间试验和生产实践上已不断得到验证。首先在果树栽培上，一项得到较广泛应用的技术是：通过在春季限制对果树的灌溉，使其营养生长受到抑制，冠层变小，利于密植，结果期提前，修剪量也下降；进入夏季后恢复供水，利于生殖期生长，促使果实迅速膨大。由于密植，且单株产量不降低，故总产量显著提高。在大田作物生产上也有不少成功的实例，如美国中西部大平原实施有限灌溉收到良好效果。在平均年降水量 480 毫米地区，在谷类作物授粉期和灌浆期进行每亩 100M^3 的有限灌溉，使产量提高 60%—120%，显著提高了灌溉水利用效率；同时还证明：在作物生长初期，中等水分亏缺只产生较小的副作用，可使产量达到充足灌溉的 85%—95%。中国农大在河北的一项试验表明，改冬小麦生育期灌三次水为春浇一次，合每亩少浇水 100M^3 ，亩产达到 400 公斤，他们认为其主要技术关键在于通过综合农业技术建立了将小麦生长期耗灌溉水为主转变为耗土壤水为主的新型耗水结构，从而更新了当地“头水早，二水赶，三水四水紧相连，一直浇到麦开镰”的小麦耗水观念。我们在年降水量 400 毫米年均气温 6.5 的宁夏固原的试验表明，春小麦拔节期每亩一次灌水 40M^3 ，为产量最高时灌水量的 30%，而产量达到最高产量的 75%（261 公斤），每立方水增产粮食达 2.8 公斤，这是一个很高的数值。兰州大学干旱生态实验室在甘肃定西的试验结果：正常降水年份每亩补灌 $50\text{-}60\text{M}^3$ ，可基本解除春小麦的水分胁迫，最高亩产达到 400 公斤。

以上提出的论点和实验、实践结果皆说明，姑且不论水在开发、调度、蓄存、输送中，以及田间流失、蒸发、渗漏中的浪费和损失，仅就农作物本身的实际需水而言，通常的供水量也过多了，现行的灌溉定额有可能大幅度地降下来。当然，灌溉原则的制定，包括灌溉工程建设和灌溉制度的确定，不仅取决于作物本身需水特性，也取决于其他许多因素，如环境、经济效益等，但这些因素的正面效应也往往体现在减少灌溉量上，因此，从节水增产目的出发重新评价和调整现行的灌溉规划和灌溉制度是有必要的。

2. 关于雨水利用潜力

不论是旱作农业还是灌溉农业，提高雨水（降水）的利用率和利用效率都是十分重要的，这是节水增产的基础。

在旱作低产条件下，一般对雨水的利用很不充分。在美国中西部大平原，30年代时亩产约74公斤，休闲期水分贮存率仅占降水的22%，到了80年代亩产180公斤，水分贮存率提高到40%，仍有潜力可挖。70年代我国北方典型旱区降水生产潜力开发程度不足40%，现在，一些地方已提高到55%左右，亩产达到180公斤左右。我们在宁夏南部山区多年定点观测结果：在年平均降水量450毫米条件下，春小麦亩产在50—150公斤范围内波动，而耗水量变化不大，保持在280毫米左右，相当于降水量的62%。以上情况说明，提高农田雨水利用率存在很大潜力，半干旱地区旱地粮食产量低下的主要原因不是降水不足，而是对雨水未能有效利用。为要提高对雨水的利用必须采取包括防止水土流失、抑制土面蒸发、增强对土壤深层储水利用以及提高作物水分利用效率（WUE）在内的综合技术途径。例如在黄土高原，兴建以水平梯田为主的基本农田，实施水土保持耕作，采用抗旱节水品种和增施肥料等都是提高雨水利用的有效措施。特别是增施化肥，是1980—1990十年间该地区旱地粮食增产一倍，即由低产接近中产的关键技术，在增产各因素中其作用占到一半，且在我国广大北方旱农地区得到广泛应用，并由此带动了水肥关系的深入研究，证明了低产条件下化肥在提高农田雨水利用率和利用效率的重要作用。

但是，运用上述以增施化肥为主的旱作技术体系所能达到的产量上限为中产，如对宁南地区春小麦来说是180公斤左右，为使产量继续提高，或避免在严重干旱年份大幅度下降，则必须寻求新的技术途径。这里有两条途径可供选择：一是着眼于提高作物水分利用效率（WUE），这方面仍有较大潜力（如通过培育抗旱节水品种，应用化学调控等），但难度大，短期内难以突破；二是着眼于雨水资源的进一步开发，即雨水不仅就地入渗利用，而且作为可开发利用的水资源看待，使雨水资源化，如在黄土高原地区利用地形地貌的有利条件发展集水农业进行补充灌溉即为一种成功的做法。所谓集水农业系指把有效的雨水通过工程措施富集起来，再运用节水农业措施加以高效作用。如宁南山区平均年降水量450毫米，全区雨水资源总量达87亿 M^3 ，是传统水资源总量5.38亿 M^3 的16.2倍，潜力巨大。近年来，他们通过发展窑窖农业——集水农业的一种形式，在需水关键时刻进行补充微灌，对抗旱增产起到重要作用。因此，通过集水农业的实施可使雨水利用潜力增大，并促进旱地农业步入一个新的发展阶段——旱作与有限补充供水相结合的阶段。

如上节所述，成功的灌溉农业也必须同时考虑对雨水资源的有效利用，即做到在最大限度利用雨水的基础上进行补充灌溉。我们的一项试验表明，随着灌水量的增加，作物对雨水的利用随之减少；另外，同样对春小麦补充灌溉40 M^3 /亩条件下，在需水临界期拔节期灌溉的处理，较其他时期灌溉的产量提高了23%—43%，对土壤储水的利用提高了62%—161%，灌溉水利用效率也显著提高，说明在科学用水的前提下可以同时做到减少灌溉量，增加对雨水的利用率，从而实现节水增产的双重目标。

3. 关于加强节水农业综合技术研究

节水农业技术包括工程、农业、生物等几个方面，必须综合利用才能收到大的成效。工程节水技术既可起到明显的宏观调水蓄水和传输节水作用，

也可以直接发挥其节水增产作用；农业节水技术与农业生产过程紧密联系在一起，投资少，易于推行，可以在较大范围内起作用；生物节水技术是按照作物需水规律制定的，其主要作用是提高蒸腾水的利用效率，同时也是采取相应工程和农业节水措施的依据。在节水农业的不同发展阶段上述技术的应用主次是不同的。工程节水技术虽然造价高，但由于技术规范，作用显著，不同国家开始推行农业节水阶段总是处于主导技术地位。例如，以色列在节水灌溉农业方面已取得举世公认的成就，经过 40 年的努力，农业总产值增长了 16 倍，灌溉水利用系数已接近 0.9，单方水生产效率达到 2.32 公斤/亩。他们认为取得这一成就的技术原因有三：第一，国家引水工程的建造；第二，灌溉设备的现代化，现全国实现了灌溉管道化，田间灌水 90% 以上采用滴灌和喷灌技术，并发展自动化灌溉系统和先进的环境保护耕作系统，自动化灌溉系统采用计算机控制，能在不同条件下按要求进行程序灌溉，以节约用水；第三，农业内部种植方式的变化，即相当面积大田作物转变成经济价值更高的园艺作物。目前，他们认为进一步提高灌溉水利用系数与大幅度增加蒸腾蒸发比率的潜力已很有限，今后节水的关键在于提高蒸腾水的利用效率，现已开始致力于这方面的研究。我国国情与以色列等国有很大不同，实施节水农业技术更应当注意综合。据统计，我国各地节水灌溉面积已有 2 亿亩，多数属于推行渠道防渗、管道输水、喷灌、滴灌等工程节水型的。由于成本高，短期内难以更大规模发展，故对于覆盖、水土保持耕作、调整作物布局、选用节水品种等农业节水技术也不应忽视，两者结合则可产生更大范围的实际效果。生物节水技术是进一步实现节水增产的潜力所在，现在起也要重视研究。总之，我们应当把节水农业作为一项系统工程进行综合研究，将工程、农业、生物技术结合起来，从水的开发、蓄存、输送、保持、直至高效利用，形成一个综合完整的体系，以推动我国节水农业技术向更高水平发展。

三、协调各方力量，以建立节水型农业体制为主要目标

诚然，节水农业研究是其实施的基础，但是，“实施”要比“研究”复杂得多。如上所述，节水农业是一项复杂的系统工程，综合性很强，它的实施不仅仅是一个科学技术问题，同时关系到一系列社会问题。

近年来，发展节水农业的呼声很高，但实际进展不是很快，目前正在全国推行 300 多个节水示范县，但多限于应用一些单项节水技术。另外，一些先进的节水技术，如喷灌、滴灌等，其推广应用除了受经济成本的限制以外，也与当前生产方式、生产关系之间不相协调，如农业用水投入报酬率低，管理水平低，经营规模小，以及农业结构没有作相应调整等，致使一些地方推广应用后也难以坚持下来。根据这一情况，要实现大规模、大幅度地降低农业用水的要求，在推行行之有效的实用技术的同时，必须致力于建立一个以提高水分利用效率为中心，以减少农业用水总量并保持正常增产速度为目标的节水型农业体制。现就建立这一体制的有关问题谈谈看法。

1. 所谓节水型农业体制主要包括：在进行农业水资源数量、质量、时空分布的调查和评价基础上制定农业节水区划；根据水资源状况进行农业结构和作物布局调整，确立节水型种植制度；大力推行各类节水技术并进行配套组装、明确关键技术；组织节水材料、机具的研制、生产、供应与维修；制定节水管理政策，建立、健全有关法规；加强水资源是一种有限资源的宣传

教育，增强人们的节水意识。

2.科技立项，组织攻关。针对上述问题组织各部门多学科力量进行联合科技攻关。我认为，科技攻关要以集成现有科技成果为基础，主要攻关目标是：肯定并新提出一批节水增产效果显著的关键技术；在不同类型区建立一批包括节水灌溉、有限灌溉和旱作农业在内的节水农业的实体；为国家全面推行节水农业提供决策依据。其中，最后一条应作为科技攻关要解决的主要问题。

3.科技攻关仅是建立节水型农业体制过程中的一个步骤，为使科技成果在大范围内应用，达到产业化和更新用水观念的目的，还必须与其他环节相衔接。节水农业推广的对象是千家万户，组织起来实施才会见大成效；节水农业体制的建立与多部门及整个农村工作有关，必须统一安排，紧密配合。因此，推行节水的关键是政府意志，开始时不宜过多强调市场导向。为此，建立推行节水农业的综合部门和研究中心是必要的。

4.建立节水型农业体制是农业生产与技术的一大变革，不是短时期能够实现的，必须长期坚持，建议通过科技经济一体化的道路加速这一进程。在科技经济一体化的框架下进行建立节水型农业体制的研究，可使研究与实施、科技与经济紧密结合起来，科研工作中存在的诸多问题，如研究工作的社会经济目标、成果转化、资金来源等也可以得到较好解决。

随着节水农业的兴起和节水型农业体制的建立，我国的农业生产将会出现一个可持续性增强的新局面，而北方地区水资源的紧缺问题也将得到相当程度的缓解。

我国农业生产的问题、潜力与对策

李振声

中国科学院

李振声 遗传学家。1931年2月25日生于山东淄博。1951年毕业于山东农学院。历任中国科学院西北植物研究所研究员、副所长、所长，中科院西安分院院长及陕西科学院院长、中科院副院长、第三世界科学院院士、中国遗传学会理事长、中国科协副主席。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事小麦遗传育种研究。

一、我国粮食生产发展的回顾与供求简析

（一）粮食生产发展的四个阶段

回顾44年我国粮食生产的增长过程，大致经过了四个阶段，跨上了三个半台阶，每个台阶粮食总产约增加2000亿斤。

1949年至1958年为第一个台阶，粮食总产由2264亿斤增加到4000亿斤，9年间增加了1736亿斤，年均增长193亿斤；单产由137.26斤增至218.96斤，增长59.5%。这一阶段的粮食总产和单产的增长，主要是由于扩大粮食播种面积（1949年16.4938亿亩，1958年为19.1426亿亩）、增施有机肥料和推广良种等取得的。

1958年到1978年为第二个台阶，粮食总产由4000亿斤增加到6095亿斤，20年增加了2095亿斤，年均增长105亿斤；单产由218.96斤增至336.96斤，增长54.1%。在这一时期内，粮食播种面积由19.142亿亩减少至18.0081亿亩，提高单产是粮食总产增加的主要原因。增产的措施主要是依靠扩大灌溉面积（灌溉农田占农田总面积由30.67%增长到45.24%）、增加化肥投入（由54.6万吨增至884万吨）等。

1978年至1984年为第三个台阶，粮食总产由6095亿斤增至8146亿斤，6年总产值增加2051亿斤，年均增长342亿斤；单产由336.96斤增至481.08斤，增长42.8%。粮食播种面积由18.0881亿亩减至16.9326亿亩，而粮食总产突破了八千亿斤大关。其主要原因是，家庭联产承包责任制极大地调动了农民的积极性，化肥投入的成倍增长（从800万吨增长到1739.8万吨）和推广了矮秆小麦和杂交水稻高产品种等。

1984年至1993年，粮食总产由8146亿斤增至9129亿斤，9年总产增加983亿斤，上了近半个台阶，年均增长109亿斤，单产由481.08斤增至551.27斤，增长14.6%，年均亩增粮7.8斤。此阶段粮食播种面积继续下降，由16.9326亿亩降至16.56亿亩，已接近解放初期的水平；此阶段化肥产量仍大幅度上升，由1739.8万吨（折纯）增至3156.3万吨，增长81%；而粮食只增长14.6%，化肥增产率锐减，粮食年增长速度变缓。

我国粮食供求关系的简析：为了弄清近十年粮食生产增长缓慢对供求关

系产生的影响，我们将粮食增长与人口增长联系起来，以 1984 年为基准，划分为前 35 年和后 9 年两个阶段进行供求关系比较，结果发现，前 35 年粮食增长速度大于人口增长速度（粮食年均增长 7.42%，人口年均增长 2.46%），后 9 年人口增长速度超过粮食增长速度（人口年均增长 1.51%，粮食年均增长 1.34%）。考虑到我国人口仍在继续增长，估计 40 年后将达到 16 亿，今后半个世纪农业生产发展缓慢、农产品供求紧张将始终是一个十分严峻的问题，必须认真研究，采取坚决而有效的措施，尽快努力扭转与解决。

（二）近十年内我国粮食增长缓慢的原因与后果

从上述分析可以看出，当我国粮食生产登上第一个台阶时，粮食年均增长为 193 亿斤；第二个台阶时，为 105 亿斤；第三个台阶时，为 342 亿斤；而到第四个台阶时，年均增长量下降到 109 亿斤，与“文革”期间的增长速度相近。其缓慢增长时间已延续十年之久，原因何在？为了查明近十年粮食增长缓慢的原因，通过 1949 年至 1993 年我国粮食生产的区域分布与变化，特别是 1978 年至 1984（我国粮食高速增长时期）和 1984 年至 1993 年（我国粮食缓慢增长时期）粮食增长与主要生产要素的动态变化研究，我们发现：

1. 南北对比，过去十年，我国粮食增长缓慢的地区主要在南方

为了便于分析与说明问题，我们按行政区划与自然区划相结合的原则，将我国 30 个省市（注：统计单位为 29 个，广东与海南未分开）划分为东北、华北、西北、西南和东南（包括长江中下游和东南沿海）五个地区，又将五个地区分成南、北两大片；对 1949 年至 1958 年（第一个台阶），1958 年至 1978 年（第二个台阶），1978 年至 1984 年（第三个台阶）和 1984 年至 1993 年（第四个台阶）的粮食增长情况进行了统计分析，发现前三个时期（台阶），南方片粮食增长占全国粮食增长总量的比例较大，分别为 58%，59.8% 和 59.5%，其增长率接近 60%；北方片增长的比例较小，分别为 42%，42.2% 和 40.5%，略高于 40%。因此，1984 年以前我国粮食地区间调节一直是南粮北调；而 1984 年以后却发生了转折性的变化，北方片的粮食总产猛增，占全国增量的 97.5%，南方片下降到 2.5%，并随之形成了北粮南运的新流向。

在南方片中，西南地区粮食增长幅度呈缓慢下降趋势；而东南地区则呈现出急剧下降态势，十年间粮食总量不但没有增长，反而减少了 79.7 亿斤。

2. 东南地区粮食总产下降原因有三

第一，耕地面积减少

从全国各地耕地面积增减统计分析可以看出：1984 年至 1993 年的九年间，东南地区的耕地面积减少 1809.5 万亩，为同期全国减少耕地面积的 43.8%，年均减少耕地 201.1 万亩。东南地区的复种指数平均为 210.5%，减少 1 亩耕地，等于减少了 2.1 亩的播种面积，因此耕地面积减少是东南地区粮食总产滑坡的主要原因。

第二，粮食播种面积急剧下降

从粮食播种面积及年度间区域增量分析看出，1984 年至 1993 年，东北、华北、西北和西南四个地区的粮食播种面积分别增加 272 万亩、1226 万亩、146 万亩和 608 万亩，而东南地区粮食播种面积减少 5383 万亩。按 1984 年粮食平均单产 592.2 斤计算，仅减少粮食播种面积一项就使东南地区粮食总产减少了 318.8 亿斤。

1984 年至 1993 年的九年间，东北、华北、西北和西南地区的耕地面积虽有不同程度的减少，但由于复种指数的提高，均扩大了粮食播种面积，因

而保证了粮食总产的持续增长。虽然东南地区也提高了复种指数（6.6%），但因其并未用于发展粮食生产，因此仍未扭转粮食播种面积剧减的状况。

第三，粮食单产增长幅度减小

从 1978 年至 1984（简称前六年）与 1984 年至 1993 年（简称后九年）年均粮食单产的增长量可以看出：后九年，各地区均呈下降趋势。其中东南地区下降幅度最大，前六年每亩年增产 28.4 斤，后九年每亩年增产 5.1 斤，相差 23.3 斤，因此该地区后九年累计每亩增长粮食仅 46.3 斤。由于粮食单产增长幅度的显著下降，因而使东南地区难于依靠提高单产来补偿粮食播种面积减少所造成的巨大损失。1993 年东南地区因单产提高而增加的粮食总产量（238.9 亿斤）低于粮食播种面积减少而造成的减产量（318.8 亿斤），因此该区粮食产量减少了 79.7 亿斤。

3. 粮食增长缓慢引起的后果

近九年来，由于粮食增长速度落后于人口增长速度，结果我国人均粮食占有量从 1984 年的 780.6 斤下降到 1993 年的 770.3 斤，减少了 10.3 斤。如果将 1978 年至 1984 年与 1984 年至 1993 年的情况相比，就更可看出问题的严重性，前六年人均粮食累计增加了 127.4 斤，而后九年却减少了 10.3 斤。

就全国五个地区的人均粮食的占有量而言，1993 年还有三个地区不足 800 斤（西北 716.2 斤、西南 661.3 斤、东南 734.4 斤），一个略高于 800 斤（华北 805.3 斤），仅东北地区人均粮食达到 1169.8 斤，按当地人均消耗粮食 800 斤计算，东北地区除当地消耗外，可以向其它地区调剂的粮食总量只有 378.6 亿斤。

二、新增 1000 亿斤粮食的潜力分析

（一）新增粮食潜力分析的依据

1987 年当我国粮食出现三年徘徊时，我们曾做过在 8000 亿斤基础上增产 1000 亿斤粮食的潜力预测。预测的依据是自然条件、生产水平、可能的投资强度与效益以及我院各试验基地的研究资料等；预测的指标是黄淮海地区可增产 500 亿斤，东北 300 亿斤，西部与南方各 100 亿斤。到 1993 年实现了增产粮食 1000 亿斤的目标后，我们将预测指标与实产数量进行比较，结果发现对黄淮海地区（京、津、冀、鲁、豫、苏、皖）的预测完全符合（504.8 亿斤），东北地区基本符合（233.4 亿斤），西北地区（陕、甘、宁、青、新）也基本符合（114.2 亿斤），而估计不足有两点：一是内蒙因扩大灌溉面积（扩灌 1074 万亩，占耕地 14.3%，总计灌溉面积达 33.9%）等增产 102.8 亿斤；二是南方地区因耕地与粮食播种的减少而减产。

为了提高在 9000 亿斤基础上再增 1000 亿斤粮食预测的准确性，我们在总结以往经验的基础上，调整了粮食预测的分区，增加了粮食增量的动态变化以及区域内粮食供求关系的分析等作为进行粮食预测的参数。

1. 粮食预测区域划分

以省（市）为统计单位，按自然条件的相似性，划分为东北（黑龙江、吉林、辽宁）、华北（北京、天津、河北、内蒙、山西、山东、河南）、西北（陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆）、西南（四川、贵州、云南、广西、西藏）和东南（上海、江苏、安徽、湖北、湖南、江西、浙江、福建、广东、海南）五地区。

2. 四个阶段、五个地区的粮食增量动态变化

四个阶段、五个地区的粮食增量动态变化如下表（单位：亿斤）：

3. 区域内粮食供求关系分析

考虑到地区间进行大量粮食调运的实际困难，三个人均粮食不足 800 斤的地区（西北、西南、东南）都必须尽力设法挖掘潜力提高本地区粮食自给率，其中特别是东南地区，1984 年人均粮食 861.5 斤，而到 1993 年下降到 739.4 斤，减少 127.1 斤。该地区人口总数为 4.4867 亿，如此大的人口数量和粮食缺口，如不在提高本地区粮食自给率上下功夫，而想依靠区间调运或到国际市场上购粮以弥补缺额是完全不现实的。

地区	1949 — 1958 (9 年)	1958 — 1978 (20 年)	1978 — 1984 (6 年)	1984 — 1993 (9 年)
东北地区	133.0	280.4	261.4	233.9
华北地区	361.8	630.0	414.0	589.4
西北地区	99.1	138.8	88.4	135.4
西南地区	256.8	374.2	253.4	104.5
东南地区	552.9	1053.0	867.9	-79.7

据世界观察研究所报告，自从 1980 年以来，世界粮食平均出口量为 2.03 亿吨（折合 4060 亿斤），还不到我国粮食总产量的一半。日本的粮食有 77% 靠进口，亚洲四小龙的进口数量也不小，我国的粮食进口曾达到过 300 多亿斤，世界粮食市场已经没有多大的余地了。

（二）新增粮食潜力分区预测结果

根据 44 年间的五个地区粮食增长量的动态变化趋势、各地区生产现状、自然与社会条件以及有关资料的分析，对本世纪末全国各地区粮食的增产总量预测如下：

1. 预计东北地区（包括黑、吉、辽）可增产 250 亿斤

主要根据是，1958 年至 1993 年的三个阶段粮食总产增长均稳定在 250 亿斤左右，因此预计下一个阶段仍可按 250 亿斤的数量增长。本区尚有中低产田 1.7 亿亩，宜农荒地 5500 万亩；目前化肥用量（播种面积每亩为 23 斤）低于全国平均水平（28.4 斤）；有效灌溉面积占耕地总面积的 19.9%，还有较大发展余地。因此，如加大投入，预计仍可保持较高的粮食增长速度。

2. 预计华北地区（包括冀、鲁、豫、晋、蒙、京、津）可增产 300 亿斤

该地区粮食增产潜力虽较大，但不稳定，过去四个阶段增产幅度变动在 361.8—630 亿斤之间。同时考虑到该地区是我国棉花的主产区，为了确保棉花生产的发展，对粮食播种面积与增产的幅度不宜期望过高。其粮食增产潜力主要在于改造中低产田、开垦宜农荒地、发展节水农业、提高化肥利用率，高产区采用平衡施肥等。

3. 预计西北地区（陕、甘、宁、青、新）可增产 100 亿斤

西北地区四个阶段粮食增量变动在 88.4—135 亿斤之间。通过改造中低产田、扩大灌溉面积（大柳树、河西走廊、宁夏、内蒙沿黄灌区等）、增施化肥和保持水土等综合措施，粮食增产还有潜力可挖。因此，增产 100 亿斤是有条件实现的。

4. 预计西南地区（川、黔、滇、桂、藏）可增产粮食 100 亿斤

1984 年以后粮食增长缓慢，但该地区水热条件好，在提高复种指数（1993 年复种指数 196.2%）和单产方面仍有潜力，如坡地改梯田、旱田改水田、

培肥改土、增施化肥和推广良种方法等。

5. 预计东南地区（沪、苏、皖、赣、浙、闽、粤、琼、鄂、湘）可增产粮食 250 亿斤

国务委员陈俊生同志在沿海发达地区粮食生产和适度规模经营座谈会的讲话指出“实现粮食供需平衡在沿海发达地区具有特殊的重要意义，必须牢固树立三个观念：沿海发达地区国民经济能否持续快速健康发展，主要取决于粮食供需平衡；全国粮食供需能否实现平衡，主要取决于沿海发达地区；全国市场粮价能否保持相对稳定，也主要取决于沿海发达地区”。这是完全正确的。该地区水热条件好，在提高复种指数方面尚有较大潜力（1993 年全地区复种指数为 210.5%，而江西省为 246%，高出 35.5%）；在提高粮食单位面积产量方面也有相当潜力（1993 年全区粮食平均亩产 638.5 斤，上海达到 771.1 斤，高出 132.6 斤），如果将以上两项的区域平均值提高到最高省（市）的平均水平，全地区尚有 1200 多亿斤的粮食增产潜力。但考虑到各省（市）经济与技术条件的基础与发展速度的差异，不可能同步发展，所以预计增产 250 亿斤是可能实现的。

综上所述，2000 年新增粮食潜力及供需状况的分区预测如下：

区域	1993 年粮食总产 (亿斤)	预计新增粮食产量 (亿斤)	预计 2000 年粮食总产 (亿斤)
东北区	1197.5	250	1447.5
华北区	2513.2	300	2813.2
西北区	598.4	100	698.4
西南区	1525.5	100	1625.5
东南区	3295.0	250	3545.0
合计	9129.6	1000	10129.6

从上表中看出，到 2000 年预计可增加 1000 亿斤粮食，使粮食总产达以 10129.6 亿斤。但据估计到 2000 年可能接近 13 亿人口，按每人 800 斤粮食计算仍有 270.4 亿斤的缺口。这说明必须严格控制人口增长外，还需在开辟食物来源上另寻出路。

三、粮食增产的主要对策

为了将上述粮食增产潜力变成为现实生产力，实现粮食增产的目标，我们提出以下六项对策建议。其中第一项属于政策建议，其余为科技与投资方面的建议。

（一）将保护耕地和稳定粮食播种面积放在农业政策首位

江泽民总书记不久前指出：发展我国农业的指导方针除坚持“三靠”外，还要加两条，就是“还要靠保护，靠工作”（《大公报》，1994 年 11 月 14 日，二版，社评）。我们认为这两条是完全正确的。要保护首先就要保护耕地，这是我国农业与国民经济持续发展的根本所在。

为什么要把保护耕地和稳定粮田播种面积放在首位呢？因为在研究我国各省（市）人均粮食占有量与人均粮田播种面积时发现，自解放初到现在出现了三种不同情况的转折：

1. 当我国粮食单产处于低水平时期（以 1958 年为例，粮食亩产 219 斤，

耕地亩产 311.3 斤)，人均粮食占有量与人均粮田播种面积成正比的相关关系（相关系数=0.6696，当 $r=0.1$ ， $N=29$ 时，相关系数临界值为 0.456）。即人均粮田越多，人均占有粮食越多。

2. 当我国粮食生产达到高速增长时期（以 1984 年为例，粮食亩产 481 斤，耕地亩产 709 斤）由于各省（市）间灌溉面积、化肥投入不平衡，粮食单产高低不等，拉开了差距，有的省人均耕地少，但粮食单产高，人均粮食占有量较多（浙江 1984 年人均耕地 0.68 亩，人均粮食 910.1 斤）；有的省人均耕地多，但粮食单产低，人均粮食也少（内蒙 1984 年人均耕 3.87 亩，人均粮食 559 斤），所以人均粮食占有量与人均粮田播种面积之间由正相关变为不相关（相关系数=0.2146）。

3. 当我国粮食进入缓慢增长时期（以 1993 年为例，粮食平均亩产 551 斤，耕地亩产 859.2 斤）由于灌溉面积、化肥施用量的不断增加和粮食单产水平的普遍提高，各省（市）之间粮食单产的差距逐渐缩小。此时人均粮田面积开始变为决定人均粮食占有量的主要因素，出现了人均耕地与粮田面积少粮食占有量也少（浙江 1993 年人均耕地 0.58 亩，人均粮食 673.3 斤），人均耕地多粮食占有量也多（内蒙 1993 年人均耕地 3.48 亩，人均粮食 993 斤）的新情况。两者在单产水平较高的基础上，又出现了正相关（相关系数=0.5696），这反映了在现有条件下，我国土地的粮食综合生产能力，已开始接近上限。当出现这种现象时，就必须认真研究找出影响产量提高的主要限制因素，并通过增加投入，改变生产条件或其它措施，从而打破这种限制，才能使粮食生产再登上一个新台阶。

鉴于上述，稳定并增加粮食播种面积，已成为当前实现我国粮食需求平衡的第一要素。因此我们认为，必须把保护耕地的方针放在农业政策的首位，认真从严执行。同时要大力宣传，使之形成保护耕地、珍惜寸土、人人有责的社会新风尚。

关于在有条件的地方进行适度规模经营的问题，国务院已有明确指示，我们完全拥护。

（二）继续实施中低产田治理与农业综合开发计划

在稳定耕地和粮食播种面积的基础上，加大中低产田改造力度，实行山、水、田、林、路综合治理，提高抗御自然灾害能力。过去六年，在国务院领导下，已经完成了两期工程，收到良好的经济、社会和生态效益。黄淮海平原和东北平原共治理中低产田 7575 万亩（黄淮海 5000 万亩，东北 2575 万亩），开荒 480 万亩（东北 380 万亩，黄淮海 100 万亩），新增粮食生产能力 200 亿斤（黄淮海 114 亿斤，东北 86 亿斤）。群众说，这是继联产承包责任制后，政府为农民办的第二件实事，也有人誉之为“第二次土地革命。”

（三）加速磷、钾肥生产的发展

在化肥施用水平较高的地区，尽快调整氮、磷、钾的施肥比例，推广平衡施肥技术。这可能是打破土地生产力上限的一项战略性措施，望有关部门予以足够的重视。据世界观察研究所报告：“世界粮食产量在 1950 年至 1984 年期间每年增长近 3%，而 1984 年以来，粮食增长率下降到 1%。这是因为即使增加化肥施用量，也不能再大大提高粮食产量”。

世界粮食发展动态与我国粮食发展动态基本相似，即 1984 年以后出现了粮食增长缓慢的情况。那么，随着我国化肥施量的提高，粮食单产发生了什么变化呢？我们分三个时期（化肥大量投入初期、中期与近期）、五个地区，

对每亩播种面积的化肥用量与每亩粮食单产的增长情况进行了分析：

1.在化肥大量投入初期（以 1978 年为代表，全国化肥投入总量为 884 万吨），五个地区粮食单产的变化均随化肥施用量的增加而增加，完全呈正相关。

2.在化肥大量投入中期（以 1984 年为代表，全国化肥投入总量达到 1739.8 万吨）；东北、西北、华北和西南地区的粮食单产，仍随化肥施用量增加而增加；而东南地区出现了较大的波动，已不完全随化肥使用量而增长。

3.在化肥大量投入的近期（以 1993 年为代表，全国化肥投入量达 3156.3 万吨）；在东南地区，已经明显地出现了世界观察研究所指出的增施化肥而单产不增加的趋势，除上海外，其它八省虽然化肥施用量不同，最低每亩折纯 21.9 斤（江西），最高每亩 45 斤（福建），相差一倍以上，但是各省的粮食单产却很相近（均变动在 600—700 斤之间）。其它地区，如东北仍保持着多施化肥多增产的趋势（注：东北地区的土壤有机质含量高，对作物需要的磷、钾等营养元素的补偿能力强），西北、华北和西南地区的多数省（市）也保持着多施化肥多增产的势头，但是其中少数省份已经出现了化肥增产效率下降的情况。

根据调查与试验结果认为，出现上述现象的主要原因，是由于我国生产与施用的氮磷钾肥比例不符合作物的需要，作物对各种营养元素是按一定比例吸收利用的，而且受其中的最小因素的制约，即当某种元素比例过低时就会影响其他元素的吸收利用。我国化肥的生产一直以氮肥为主，到 1992 年氮肥仍占肥料总量的 68.5%，氮磷钾比例为 1 : 0.31 : 0.12，而 1985 年世界销售的氮磷钾比例为 1 : 0.49 : 0.37，我国的磷钾肥比例明显偏低，在一些施肥水平较高的省（市）这已成为制约单产提高的重要因素。

我国北方土壤普遍缺磷，南方普遍缺钾，其中许多地方磷、钾都缺，因此我们建议，应尽早决策加速我国磷钾肥生产，以促进我国粮食生产再上一个新台阶。如北京市 1993 年的粮食亩产已达到 831.3 斤，除水利与机耕条件的配合外，重要的因素之一就是较普遍地施用了氮磷或氮磷钾复合肥。在南方地区，我院南京土壤研究所在太湖地区的试验表明，只要增施磷钾肥，适当供应氮肥（12 斤以上），双季早稻、双季晚稻、单季晚稻亩产均可达到 800 斤左右的水平。与此同时，还应大力提倡施用有机肥料，以改良土壤和补充磷钾等元素的不足。

此外，就全国大部分地区而言，在目前化肥供应比例的情况下，提高化肥施用水平，粮食单产仍有较大的增产潜力。

（四）改善和扩大灌溉面积，发展节水和生态农业

我国有效灌溉面积约占全国耕地面积的一半，其粮食产量占全国总产的 2/3。由于水资源不足或利用不合理，每年实际灌溉面积小于有效灌溉面积，据统计多年平均要小 15% 左右，相应减小的灌溉面积近 1 亿亩，加上非灌溉农田，每年近 60% 的农田无水灌溉，这也是制约我国粮食生产稳定和持续增长的重要因素。

解决我国缺水问题的途径除加强水利建设和跨流域调水外，还必须大力发展节水农业。据我院石家庄农业现代化所在河北省粮食高产地区的栾城试验站进行的地下水位观测，从 1990 年 1 月至 1994 年 1 月，地下水位累计下降了 12.02 米，1994 年春、夏干旱，因超采使地下水位下降 4.29 米，问题十分严峻。节水农业（特别是在北方地区）是缓解水资源不足的根本出路。

十分缺水的以色列，单方水的效益比我国高一倍以上。国内各地的实践经验，同样显示了节水的巨大潜力：在井灌区，采用管道灌溉一般可节水 30%，喷灌可节水 30~50%；在引水灌区，改大水漫灌为细流沟灌或小畦灌可节水 20%，采用渠道防渗和田间配套工程可节水 10%；在水源不足的北方地区，采用湿润灌溉法水稻田可节水 65%；滴灌可节水 80%。目前节水农业尚未大面积推广的原因，主要是缺乏投入和管理不善，建议国家有关部门，因地制宜地搞好规划，逐步付诸实施，仅此一举约可增产粮食 200 亿斤以上。

近几年来，生态农业发展很快，从生态户发展到生态村、生态县。其模式多种多样，有农牧结合、农果牧结合、农牧渔结合和农副结合等许多成功的经验。生态农业促进了土地资源、水资源和生物资源的合理利用，发展生产与保护环境相结合，以及社会效益、经济效益、生态效益协调发展的良性循环，是我国农业发展的成功之路。我国政府已作出要“继续搞好环境示范工程和生态试点”的决定，应当积极贯彻执行。

（五）加速优良品种培育与推广

生产条件的改善与品种的改良是相辅相成的。解放后，随着生产条件的不断改善，农作物品种多数已更新换代四次，每更新一次大约增产 10% 左右。在 2000 年前，“八五”期间所育成的高产、优质新品种，将发挥重要增产作用。近年来，在改良品质、提高抗病和抗逆性方面成绩卓著，其中谷类作物高产育种正处于攻坚阶段，望政府继续给予稳定支持，以期早日获得突破性进展。

此外，防治病害、虫害、鼠害，增加农业机械动力，加强田间管理，有条件的地方实行适度规模经营等都是实现粮食增产的重要保证条件，均需加强与落实。

（六）增加科技投入力度 稳定农业科技队伍

近十年来，粮食生产增长缓慢也与农业科技推广队伍不稳和农业科研队伍缺乏活力（青年人不愿学农，学农的也不愿干农）有关。最近几年，棉铃虫大发生与虾病大流行，同监测与防治的科技力量削弱和缺乏科技贮备有关。据统计，1993 年这两项灾害造成直接经济损失分别为 60 亿和 30 亿元，间接损失更大。因此，增加科技投入已十分紧迫。科技是投入产出比最大的投入，农业生产水平越高，创汇农业越发达，就越显示出科研投入的重要意义。以色列科技参赞在全国政协报告时说“我们的农业发展取得成功的重要原因之一，就是充分发挥了科技的作用。我们对科研与生产的安排顺序是：研究（Research），扩展或示范（Ex-tension），种植者或农民（Grower or Farmer）”。这个经验值得我们重视和借鉴。目前从事农业科研工作的科技人员中，中老年科技工作者居多数，急需加强对农业科技的支持力度，增加新生力量，培养跨世纪人才，以适应工作需要。

农业生产涉及的面很广，必须充分发挥多部门、多学科科技人员的积极性，组织跨部门的联合，分工协作，群策群力，共同奋斗，才能使科技兴农的工作在辽阔的祖国大地上蓬勃发展，充满活力，以迎接新的挑战。

四、面向全部国土广开食物来源

到 2030 年，我国人口将增加到 16 亿，即按人均粮食 800 斤计算，亦需要粮食 12800 亿斤。如何满足未来的食物需要，仅靠 14 亿亩耕地将难于支撑。因此从现在起，应着手制定计划并进行广开食物来源新途径的研究。

李鹏总理指出“要把发展农业从仅仅依靠现有耕地、搞好种植业的观念，转变到既重视现有耕地，又重视充分合理利用全部国土资源的观念上来，实行农林牧副渔全面发展……”。据国家统计局的报告，1993年我国总耕地面积为14.2652亿亩，而国土面积为144亿亩，耕地仅为国土面积的十分之一。此外，我国的海域面积为53.1亿亩（354万平方里）。耕地之外的国土和海洋，可为我们提供食物来源的广阔天地。

农田、草地和海洋被称为人类食物的三大来源。因此除粮食外，我们还对草食畜牧业与水产养殖业的增产潜力进行了预测。将这两项所能增产的肉类折算为粮食，大致相当于235亿斤。现分述如下：

（一）草食畜牧业的发展前景

我国有草地60亿亩。据统计，1993年全国牛羊肉总产74.18亿斤，其中产于北方牧区和南方草地的仅占33亿斤，平均每亩草地只产半斤肉，草地畜牧业仍处于极低水平，尚有极大的发展潜力。据有关资料表明，我国北方草甸草原的牧草生产力与北美的温带草地相似，而单位面积畜产品仅相当于北美的1/27。这是靠天养畜，掠夺式经营的结果。据统计，1949年至1988年，对草地的投入每亩仅2分钱，加之超载过牧，导致草场严重退化，致使载畜量日趋下降。因此，不加大草地投入，难以扭转这种局面。

在60亿亩草地中，条件较好的约10-11亿亩（其中北方6—7亿亩，南方2亿亩，沿海滩涂草地2亿亩），占草地总面积的17.5%-19.3%。据国家统计局1992年的资料，以草食畜牧业为主的六个省区（内蒙、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏）草场面积为41.31亿亩，总载畜量（包括农区）按羊单位计，为2.35亿只。据有关资料，在条件较好的典型草原和草甸草原地区，目前一般12—15亩地养一只羊。我院内蒙草原生态系统研究站，通过人工草地建设、改良退化草地和围栏集约放牧等措施，使典型草原区的12亩草地养一只羊，减少到6亩养一只羊，其载畜率提高一倍。1984年1月中央1号文件提出“到本世纪末，种草面积达到5亿亩”，如果这一计划实现的话，仅北方草甸草原和典型草原，则可增加5000万只羊，按胴体重34斤和出栏率40%计，可增产肉6.8亿斤，相当于省饲料粮34亿斤。加上南方草地和沿海滩涂的开发，大约共可节省饲料粮60多亿斤。

农区草食畜牧业也有很大潜力。目前，过腹还田秸秆利用率为20~30%，如提高到50%，则可多养牛3846万头，按出栏率14.1%和每头牛胴体重372斤计，可增产肉类19.5亿斤，相当于节省饲料粮97.6亿斤，扣除育肥期消耗饲料粮41.92亿斤，可净省粮55.7亿斤。山东禹城市在改造中低产田、提高了粮食单产的基础上，利用秸秆大力发展肉牛生产，1989年出栏量为10.6万头，1993年增长到20.4万头，1994年达到26万头。

到2000年，预计牧区与农区的草食性畜牧业所增产的肉类折合粮食115亿斤。

（二）水产养殖增产潜力预测

我国是世界内陆水域最多的国家之一，又是海洋大国。开发“两水”，发展水产业具有独特的资源优势和产业优势。

1. 淡水

我国有内陆水域面积2.66亿亩，其中可供养殖的面积8793万亩，现利用率约2/3，尚有3000多万亩亟待开发利用，其中尤以大中型湖泊水库为甚。如武汉东湖推广我院水生生物研究所的渔业增产及优化模式，该湖的渔业总

产量由 1971 年的 36.5 万公斤上升至 1993 年的 300 万公斤，净增 7.2 倍。到本世纪末，预计淡水水产品总产量达 1150 万吨，可新增 400 多万吨，按饵料鱼比 1.5 : 1 计，可节省饵料粮 60 多亿斤。

2. 海洋

我国东、南两面濒临辽阔的海洋，海域总面积 427.7 万平方公里，归我国管辖的海域面积为 354 万平方公里（53.1 亿亩），渔场面积 281 万平方公里（42.15 亿亩），负 15 米等深线的浅海和海滩涂面积分别为 1.86 亿亩和 3257 万亩，在目前技术条件下，可进行人工养殖的浅海和海滩涂各为 1000 万亩。部分渔场也有适合工人放流增殖的场所，特别是 69.3 万平方公里内海，更适于增殖放流。到本世纪末，预计海洋水产品可达到 1476 万吨，其中天然捕捞和人工养殖将比 1993 年分别增加 200 万吨左右。

淡水和海洋水产品增产，共可节省 120 多亿斤饵料粮，到 2000 年人均水产品估计可达 20 公斤，远远超过食物结构大纲人均 9 公斤的标准。

（三）木本粮油发展前景

我国山区林业用地近 40 亿亩，其中有些适于发展木本粮油。据林业部估计，如果以其中的 2 亿亩发展木本粮油，每年可增产木本粮食 300—400 亿斤。

五、响应党中央号召 为农业发展做新贡献

我院领导和广大科技人员十分关心我国农业发展的问題。从 50 年代起，就承担了我国农业资源的大规模综合考察任务，根据考察发现的问题，设立了有关研究机构和试验站，再加上应用基础性研究所，目前已有为大农业服务的研究所共 49 个。我院有各类试验站、观测站 66 个，分布在全国各地。为了支援农业，中国科学院先后派出科技副县长共千余名，为我国农业发展做出了实际贡献。

回顾 1987 年，当我国粮食生产出现连续三年徘徊时，我院曾急国家所急，主动与山东、河南、河北、安徽省政府分别协商讨论，根据中国科学院在黄淮海地区 20 多年治理盐碱地、沙荒地、涝洼地和砂姜黑土的研究成果，提出了“关于开展黄淮海地区大面积治理中低产田的报告”，向中央请战，并得到了国务院的重视。国务委员陈俊生同志，在亲自考察了中国科学院禹城综合试验区后，又陪同李鹏总理去禹城视察。视察后，李鹏总理指出“禹城的经验不仅适用于黄淮海地区，而且对全国其他地区的农业发展都有重要意义”。1988 年以来，在地方政府大力支持下，中国科学院兰州沙漠所的科技人员，发扬艰苦奋斗，勇于创新的精神，与当地干部群众一起把河南省延津县的贫瘠沙荒地建为林茂粮丰、瓜果飘香的绿洲，为该县的农业综合开发做出了突出的贡献。为此，河南省农业综合开发领导小组，于 1994 年 12 月 14 日做出了“开展向中国科学院兰州沙漠所延津试验站学习的决定”，号召全省在农业综合开发第一线的干部、群众向他们学习。他们是继中国科学院在黄淮海地区的三个老试区（禹城、封丘、南皮）之后，成长起来的新的农业综合开发样板。通过他们的工作，可以看出，在党和政府需要的时候，我院的科研队伍是能够为社会和经济发展做出贡献的。

根据上述对我国农业发展中的问题、潜力与对策的分析，我们初步提出了 2000 年前我院为农业发展做贡献的计划如下：

（一）继续坚持在黄淮海与其他地区进行中低产田治理与农业综合开发试验、示范与技术推广工作。

(二) 在近十年粮食单产徘徊不前的高产地区, 进一步加强试验研究与调查工作, 重点解决高产地区粮食增产的限制因子与打破这种限制的技术措施。

(三) 面向 144 亿亩国土和海洋, 继续为广开食物来源开展研究、示范与成果转化、推广工作。包括北方草地、山地、沙地、沼泽地、淡水与海水水域等。

(四) 加速科技成果的转化与示范推广工作, 我们从“八五”期间的科技成果中筛选了 10 多项适用技术, 分五个方面简述如下:

1. 新型肥料和施肥技术

(1) 长效碳酸氢铵: 是我院沈阳应用生态所研制的一种改性新氮肥, 与普通碳铵相比, 其氮素利用率提高 10%, 肥效期由 35 天延长到 90-110 天, 增产 13% 左右。已推广 350 余万亩, 新增产值 2800 万元, 创经济效益约 1.75 亿元。该项技术已获国家专利。目前已有 17 个小氮肥厂采用这项技术。化工部与科学院已联合组织了成果鉴定, 并拟在全国的几百个碳酸氢铵厂逐步推广, 预计可增产粮食 100 亿斤以上(现已被农业部列为十项推广成果之一)。

(2) 涂层尿素: 是一种新型的尿素氮肥, 与普通尿素相比, 氮素利用率提高 6~8%, 可增产 10~13%。1993 年河北省已推广 442 万亩, 增产粮食 3.04 亿斤, 皮棉 1004 万斤, 创效益 1.38 亿元。目前我国尿素年产量约 1200 万吨, 若改为涂层尿素, 相当于每年增产尿素 200 多万吨(此项成果首先由广州氮肥厂研制, 我院石家庄农业现代化研究所与广氮合作主持了在北方地区的试验推广并完善和改进了涂料配方)。本世纪末, 如果将尿素中的一半改为涂层尿素, 约可增 150 亿斤粮食。

(3) 专用肥料: 根据我国各地的土壤条件, 作物需肥特点, 南京土壤所完成了各类作物专用肥配方, 完善了生产工艺与技术。其中蔬菜专用肥可增产 26~40%; 菸草专用肥可增产 14.7%, 上等菸叶产量提高 30.7%, 已在黄淮海平原和西南地区推广应用。新研制的多功能复合肥, 花生增产 170~243%, 大豆增产 21~104%。

(4) 节氮施肥与计算机指导施肥技术: 我院封丘试区的研究, 将稻田传统有水层施肥法改为无水层混施法, 可减少氮肥损失 29~35%, 每公斤氮多增产稻谷 8 斤, 这项技术已在东北、黄淮海、南方和新疆等地区推广 214 万亩, 节省氮肥 100—200 万吨, 增产粮食 600—1200 万吨, 创效益近亿元。与此同时, 还建立了施肥咨询系统, 进行作物产量和利润估算, 它不受农业地区限制, 可指导全国各地合理施肥。

2. 新型地膜

(1) BDM 生物降解膜: 该膜降解性能好, 覆盖期可控制在 20 天至 75 天, 一年内完全降解, 不遗留残物, 不污染环境; 拉伸强度超过美国和接近英国同类产品; 断裂伸长率分别超过美国和英国的 1.8 倍和 1.2 倍。与普通地膜对比, 土豆、玉米分别增产 21.3~32.3% 和 12.1~37.0%, 棉花、葡萄分别增产 35.8% 和 68.0%。

(2) 超薄型光解聚乙烯地膜: 该膜的特点是超薄(5-8 μ), 比一般光解地膜(10-15 μ) 可节省 50% 的聚乙烯原材料; 且无公害, 可自动光敏降解, 裂成碎片, 继续被微生物降解。

(3) 光转换薄膜: 中国科学院化学研究所、生态环境研究中心离退休科技人员, 在青岛新桑达经济技术咨询有限公司组织下, 引进与改良了俄罗斯

的光转换膜技术，试制成功了将紫外光转化成红光的光转换膜，可提高蔬菜产量 20~40%。产品已经通过青岛市科委组织的鉴定，并开始投产。

3. 优质高产作物良种

1986 年以来，我院遗传研究所等 7 个研究所共育成 35 个作物新品种。近三年累计推广 4400 万亩，增产粮、棉、油 46 亿斤，新增产值 17 亿元。“八五”以来，又选育出棉花新品种“石远 321”，在黄河流域国家级区试名列前茅；大豆新品系“诱处 4 号”的亩产首次突破 600 斤大关；饲料玉米科多号亩产青饲料 12800 斤，粗蛋白 6.35%；H165 油菜，双低（低芥酸、低硫苷）达国际标准以及优质小麦品种等，将在“九五”期间推广。

4. 白对虾与全雌鲤

近十年来，我院海洋所继引种与繁殖海湾扇贝取得成功，在沿海各省推广取得巨大经济效益之后，最近又引种成功了南美白对虾，工厂化育苗技术已经成熟。白对虾是世界水产养殖业产量最高的三大虾种之一，具有繁殖季节长，对水环境的抗逆能力强，生长快，肉鲜美，病害发生率低等优点。最近已通过开发可行性论证。全雌鲤是我院水生生物研究所用生物工程技术育成的新鱼种，具有生长迅速，肌肉丰满和高产等优点。在同样饲养条件下，比普通品种增产 20% 以上。

5. 棉铃虫性诱剂

1993 年以来，我院在山东省汶上县、嘉祥县、高唐县、齐河县、济阳县等 5 个县，推广棉铃虫性诱杀剂 500 万支左右，按每支日均诱杀雄性棉铃虫 100 头计，则每天诱杀蛾量达 8.4 万斤。1994 年已推广 165 亩，节约药费 2000 万元，棉花增加产值超亿元。此外，还研制成功玉米螟和地老虎两种昆虫性信息素与其高效仿生诱芯，经北方几省试用，效果良好。

（五）组织一支农业宏观研究队伍，在以往国土资源考察、国情分析、全国粮食产量预测、科技扶贫以及各台站网络对各种农业资源动态观测的基础上，针对当前我国农业出现的新问题，进行跟踪研究，及时为国家提出咨询意见。

畜禽主要经济性状（肉、蛋、奶）的遗传改进与育种新技术

吴常信

中国农业大学动物科技学院

吴常信 动物遗传育种学家。1935年11月15日生，浙江鄞县人。1957年毕业于北京农业大学。1979—1981年在英国爱丁堡大学遗传系进修动物遗传育种。历任北京农业大学教授，畜牧系主任、动物科技学院院长。《遗传学报》副主编。1995年当选中国科学院院士。长期从事动物遗传与畜禽育种研究和教学工作。

提高肉蛋奶等畜禽经济性状可以从遗传育种、营养饲料、疾病防治、畜舍环境和经营管理等几个方面考虑。其中遗传育种是从遗传上改良畜种；疾病既有遗传因素（如易感性）也有环境因素（如病原体）；营养饲料与畜舍、设备等虽然是环境因素，但也存在着遗传与环境之间的相互作用。因此，经营者通过管理提高畜禽生产水平和经济效益是一项系统工程，不但要使各个环节都能有效运转，而且要使其达到最佳的协调与配合。

一、经济性状改进的遗传学基础

1. 数量遗传学基础

数量遗传学是遗传学原理与统计学方法相结合研究群体数量性状遗传规律的一门遗传学分支学科。半个世纪以来数量遗传学对肉蛋奶等可度量的经济性状即数量性状的提高起了极为重要的作用。与起始群体或未经改良的地方畜种相比，猪的瘦肉率提高了20—25%；肉鸡到达2公斤时的上市日龄提前了40—50天；鸡的产蛋数提高了100—120个；奶牛的泌乳期产奶量提高了3000—4000公斤。近50年来，肉蛋奶等主要经济性状的世代遗传改进见表1。

表1 近50年来肉、蛋、奶每世代的遗传改进

性状	纯种选育每世代的遗传改进
猪的瘦肉率（%）	0.5
肉鸡的上市日龄（天）	-1.0
鸡的产蛋数（个）	1.5
奶牛的产奶量（公斤）	300

肉蛋奶等经济性状的遗传基础是多基因，表现为连续变异，它的改进需要有生产性能的记录和遗传参数，把表型值转化为育种值，从而提高了选种的准确性。

2. 细胞遗传学基础

家畜家禽都是两性繁殖的高等动物，性状的遗传都要通过生殖细胞也就是精子和卵子来实现。人工授精和精液冷冻技术扩大了优秀公畜的遗传作用；超数排卵和卵细胞体外成熟技术扩大了优秀母畜的遗传作用；胚胎移植

或核移植技术则同时扩大了优秀公畜和母畜的作用，提供了大量遗传上优秀的后代；胚胎切割则是使遗传上优秀的个体通过“无性繁殖”进行复制或“克隆”。

细胞遗传学中的染色体畸变和染色体倍性化在畜禽育种中还不多见。罗伯逊易位在牛和猪中都有报道，但都还没有达到应用的程度；哺乳动物的多倍体和鸟类的孤雌生殖鲜有报道，但多属偶见，很少有人进行深入研究；使马和驴的精卵二倍化有可能产生能育的双二倍体骡子，但这一在 50 年代的设想至今也未能成为现实。

3. 分子遗传基础

目前对遗传物质的认识已进入分子水平，即去氧核糖核酸 (DNA) 和核糖核酸 (RNA)。自从 1909 年瑞典生物学家 H. 尼森·埃尔 (Nilsson-Ehle) 提出多基因假说 (Polygene hypothesis) 以来，数量性状的多基因一直是作为一个遗传整体用统计学方法加以研究和分析的，虽然对决定数量性状的多基因数目可以用统计学的方法作出估计，但不能确定单个基因以及它所在的染色体上的位置。现代分子生物技术的发展，使得从分子水平上研究数量性状基因 (Quantitative Trait Locus, QTL) 成为可能，这就要分离和克隆决定数量性状的基因、研究其结构和功能，最终达到从分子水平上改良数量性状的目的。

二、育种新技术

这里讨论的新技术有三层含义：一是近年来研究出的对从遗传上改良畜种有明显效果的技术（如用 DNA 多态检测猪应激综合症）；二是研究的方法和技术虽然不是最新的，但只是近年来才加以推广和应用的（如 BLUP 育种值）；三是从单项技术来看不是什么新技术，但重新组装后起到了前所未有的效果的（如“超级猪”、“节粮小型蛋鸡”）。本文只是通过一些例子加以说明，并没有包括所有的育种新技术。

1. 生物技术

(1) 数量性状主效基因的检测与利用

在过去的 20 年中，陆续发现有些数量性状不但受微效多基因控制，而且还受一个或少数几个主效基因 (Major gene) 的影响。例如绵羊中的布罗拉 (booroola) 基因，该基因座纯合子的母羊，产羔数比不带该基因的母羊平均多产羔 1.1-1.7 头；杂合子母羊也要多产 0.9-1.2 头。目前已将该基因定位到绵羊的第六号染色体上。又如猪的氟烷敏感基因，该基因的隐性纯合个体易产生应激综合症，在饥饿、咬斗、运输、驱赶等情况下容易发生突然死亡，而且肉的品质差。但带有这种基因的猪在生长速度和瘦肉率方面比不带该基因的猪有明显优势。由于氟烷测定方法对隐性纯合子的外显率并不完全，其范围在 50%—100%，而且外显率的高低受猪的月龄和性别的影响。这就是说，氟烷测定方法不但无法区别基因型 NN 和 Nn 的个体，因为它们的表现都是氟烷不敏感型，而且对基因型 nn 的个体也有相当一部分没有表现为敏感型。用 PCR-RFLP 方法可以清楚地得到三种不同基因型的 DNA 图谱，这给猪育种中检出携带氟烷敏感基因个体 (Nn, nn) 带来了极大方便。目前这一基因已被定位到猪的第六号染色体上的一个连锁群内 (Vogeli, 1994)。

(2) 数量性状的标记辅助选择

在数量遗传学研究中，把要改进的某个数量性状称为目标性状，因此对

决定这一性状的基因或基因组称为目标基因。目前对决定数量性状的多基因还不能准确定位，但如果能找到一个可以识别的基因或基因组的 DNA 多态，或是一个染色体片断与这一目标性状有密切的关联，就可以作为对目标性状选择的遗传标记。遗传标记还可应用于基因转移、基因定位和基因作图等研究。

除上述分子和细胞水平的遗传标记外，利用已知的主基因或单基因还可以从群体水平上对个体作出标记选择，如肉牛的双肌肉基因，绵羊的多羔基因，猪的应激敏感基因，鸡的小型化基因、快慢羽基因等。

(3) 杂种优势预测

通过血型因子、血浆蛋白多态、DNA 多态和实验动物模拟试验，可以对畜禽的杂种优势进行预测。例如能过 DNA 多态性可以识别种间、家系间、家系内个体间的遗传差异。用 Hinf I / 3' -HVR- 珠蛋白探针可获得猪、鸡、鸭等畜种多态性含量极高的 DNA 指纹带。这些多态性为分析系间亲缘关系的远近，杂交亲本的选配提供了很好的借鉴。用 DNA 多态性测定品种或系间的差异，并据此作出的遗传距离 (genetic distance) 要比根据其他指标稳定，因此用来预测杂种优势也更为准确。

2. 计算机技术

(1) 育种值的 BLUP 计算方法

BLUP (Best Linear Unbiased Prediction, 最佳线性无偏预测) 方法最早由美国 C.R. 汉特逊 (Henderson) 于 1973 年在纪念勒什 (Lush) 的学术讨论会上系统介绍，虽然他对线性模型的研究早在 50 年代初就已经完成。由于受当时计算工具的限制，这一方法在育种上的应用推迟了 20 年。

BLUP 育种值估计方法之所以能够提高选种的准确性是由于：(1) 充分利用了所有亲属的信息；(2) 能消除由于环境造成的偏差；(3) 能校正由于选配所造成的偏差；(4) 能考虑不同群体不同世代的遗传差异；(5) 当利用个体的多次记录时，可将由于淘汰所造成的偏差降到最低。

近年来由于计算机的普及和生物技术 in 动物育种中的应用，使 BLUP 育种值估计方法又有所发展，如从公畜模型发展为动物模型；单性状育种值估计发展为多性状育种值估计；常规繁育体系的育种值估计发展为有胚胎移植、胚胎切割等非常规繁育体系的育种值估计。

(2) 计算机图像分析应用于畜禽育种

计算机图像分析系统和图文数据库的建立，使育种数据、种质资源、形态特征、生态环境等与家畜育种有关的“数”和“形”联系起来，大到对群体行为，小到对染色体组型特征都可通过图像进行充分的观察和度量，从而可以从宏观和微观两方面提高育种效果。例如在对奶牛外形的线性评定中，15 项体型性状中已有 14 项可由计算机通过图像进行识别，仅 1 项 (乳用特征) 还需人机结合进行判断。利用 C 语言编写的计算机程序，从摄录、数字化、校正、识别、评分及综合等都由程序控制，基本实现了奶牛体型线性评定的自动化，有利于对产奶性状的选择与提高。又如通过计算机图像可分析超声波测定肉用家畜 (牛、猪) 的活体脂肪层和肌肉层的厚度以及眼肌面积，提高了对肉用动物选种的准确性。

(3) 地理信息系统 (GIS) 应用于畜禽遗传资源的保护和利用

保存畜禽品种的遗传多样性对今后肉蛋奶等数量性状的增产有重要意义。畜禽遗传资源的保护也是一项系统工程，它是生命科学中的“保护生物

学”和地球科学中“地理信息系统”两个学科的结合。建立畜禽品种资源地理信息系统，可以对现有的遗传资源有一个整体的、动态的认识，该系统能监视各个畜禽品种在相当长时间内的数量与地理分布、特性特征等信息的变化，以及建立数量濒危畜禽的报警系统。最近中国农业大学已完成了按畜禽品种名称或按省、市、自治区检索牛、羊、猪、禽等国内主要品种的外形（相片）、数量、分布、生产性能等计算机软件系统。

3. 系统工程技术

系统工程主要研究的是“系统”。系统是有组织的或是组织化了的总体，是由组成这个总体的各个部分（元素）和部分间的有机联系构成的。下面介绍的虽然是一些成熟技术的重新组装，但从系统论的思想出发，各类成熟技术间的有机联系产生了前所未有的新的效益。

（1）优化育种方案

以最大经济效益为目标的优化育种方案的制定，是现代畜禽育种的重要组成部分。例如在猪的优化育种方案中，结合生物学和经济学目标考虑，生长、胴体品质、繁殖力、饲料转化效率等应作为主要改进的目标性状。通过对性状边际效益的计算和各目标性状经济重要性的分析，可制定出遗传改进快、经济效益高的优化育种方案。对育种核心群的规模、群体结构、种畜利用年限、选种方法、饲养工艺、投入产出分析等在一个优化育种方案中也应予以考虑。

在肉鸡优化育种方案的研究中，本文作者曾提出缩短世代间隔的选择方法，父本品系和母本品系都达到每年 13 个世代。该育种方案与国内外现行的方案相比，还有以下优点：

1. 对母系体重的选择要有上下限。这一措施直接选择了增重的均匀度，间接选择了产蛋性能；
2. 对母系产蛋的选择。废除现行的自闭产蛋箱记录制度，改为按公鸡家系记录产蛋性能，再根据育种目标确定是否淘汰整个家系；
3. 对产蛋性能用“先留后选”的方法代替现行的“先选后留”方法，提高了选种的准确性。
4. 初选时间。改 6 周龄选种为 5 周龄选种，降低了选种后由于限制饲喂引起的应激作用。
5. 以入孵蛋的健雏率选择父系，全面提高了受精率、孵化率和雏鸡生活力。

（2）MOET 育种计划

MOET (Multiple Ovulation and Embryo Transfer) 育种计划是超数排卵和胚胎移植技术与核心群育种技术相结合的一项系统工程，主要应用于奶牛、肉牛等单胎动物。这一育种计划的实施不但可以提高母牛的繁殖力和增加优秀个体的数量，而且通过同胞测定可以缩短世代间隔。MOET 育种计划的成功与否很大程度上决定于是否能有一个高产母牛组成的核心群作为胚胎移植的供体，使优良的遗传种质能迅速扩大。我国在“八五”国家科技攻关项目中已立项开展奶牛 MOET 育种研究。

（3）“理想猪”和“超级猪”计划

从商品猪生产的要求来看，作为杂交亲本的父系和母系应具有不同的特点。对理想父系猪的要求是：配种能力强，四肢健壮，精液品质良好；生长速度和瘦肉率高，大量瘦肉分布在经济价值高的部位；显性白色纯合子；可

允许为氟烷敏感基因的杂合子 (Nn)。对理想母系猪的要求是：繁殖力高，母性强；食欲良好，适度的生长速度和瘦肉率；不携带氟烷敏感基因即要求基因型为 NN。

英国 J.魏柏 (Webb) 曾提出一个应用胚胎工程生产“超级稻”的计划。这个计划的目标是：1. 每年每头母猪提供 32 头商品猪；2. 100 天达到 100 公斤活重；3. 胴体瘦肉率 65%。在完成上述三项指标后，每头母猪年产瘦肉量为 1400 公斤。他建议的具体做法见图 1。

(4) 节粮小型蛋鸡的选育

节粮小型蛋鸡的选育是一项育种、营养、笼具、鸡舍环境、饲养工艺等改革和配套的系统工程。它的育成是利用了鸡性染色体上的一个矮性化基因 (dw)，这是一个生长激素受体基因的缺陷型，造成长骨变短、生长受阻，但产蛋等繁殖性状基本正常。目前对这一基因较为广泛应用的是在肉鸡中，父母代母本为矮小型，可节省饲料和提高饲养密度。矮小型母鸡与普通型杂交的后代，公母都是普通型，可用于正常的商品肉鸡生产的。法国伊沙公司的“明星鸡”就是采用这一制种方法生产的。中国农业大学动物科技学院自 1990 年起就开始把“明星鸡”中的 dw 基因引入“农大褐”中型褐壳蛋鸡，选育出有 90% 以上蛋鸡血统的节粮小型蛋鸡。用这种小型鸡作为父系与普通型褐壳鸡杂交，后代商品母鸡为矮小型褐壳蛋鸡；如与普通型白壳蛋鸡杂交，后代商品鸡为矮小型浅褐壳蛋鸡。这两种商品鸡比普通型蛋鸡的体重小 20—25%，可提高饲养密度 25—30%。虽然总蛋重要少 1.0—1.2 公斤，但可节省饲料 8—10 公斤。所以总的经济效益比普通蛋鸡高得多。特别是节粮 (料蛋比可达 2.0—2.2 : 1) 这一点，更加适合我国市场。如我国 15 亿只蛋鸡中有 1/3 改养小型蛋鸡，则可节省饲料 40—50 亿公斤。

植物生物学及其在 国民经济发展中的作用

匡廷云

中国科学院植物研究所

匡廷云(女) 植物生理学家。1934年12月29日生,四川资中人。1956年毕业于北京农业大学。1962年毕业于苏联国立莫斯科大学,获生物学副博士学位,1982年美国密执安州立大学授予她“卓越的研究访问学者”证书。历任中国科学院植物研究所研究员、副所长,中国植物生理学会副理事长,植物学报副主编,《Chinese J·Botany》副主编。1995年当选为中国科学院院士。主要从事植物生理生化、光学作用、叶绿体膜叶绿素蛋白复合体的结构与功能研究。

一、植物生物学研究的基本任务

植物科学研究的对象是从低等到高等整个植物界及其与自然环境的相互作用。它的基本任务是认识和揭示植物存在的各层次的生命活动的客观规律,从分子、膜层、细胞、器官到整体水平的结构与功能、生长发育的规律、进化与分布的规律以及与环境相互作用的规律等。揭示新的原理和探索新的技术,广泛应用植物科学的理论和方法去解决当今人类面临的粮食短缺、能源耗费、环境污染、生态系统退化及平衡失调等严重问题。

近20年来,生命科学研究的迅猛发展,植物学家不仅在宏观方面采用先进技术,进一步揭示了植物空间分布及演化的规律,在微观方面在分子水平上对植物生命活动的本质也有了更加深刻的认识。植物学各分支学科分工合作,协调发展,以前所未有的规模对植物界进行开发、改造和利用。汤佩松教授把这一时期称为“创新植物学”(Creative Botany)时期。在这一时期中,分子生物学的迅猛发展极大地丰富和充实了经典植物学,人们不断地以新的思路和技术来研究植物学中的重大问题,以求达到按人们的主观愿望去利用和改造植物界,使植物学的知识转化为强大的生产力,从而推动国民经济的发展。植物科学的发展对推动整个自然科学的发展、加速国民经济的发展、加速国民经济建设、提高全民族的文化素质具有十分重要的意义。植物科学是生物科学的一个十分重要组成部分。它的发展深刻地影响到当代自然科学和技术的进步。植物科学的规律可以概括为非生物体系的无机界物质运动的规律在植物体内复杂的生物系统的综合表现,植物界生物现象本质的阐明使物质运动的规律具有更普遍和深刻的意义。因此植物科学的发展将导致自然科学进入复杂性研究的新领域,对自然科学的发展具有非常重要的意义。植物科学在理论上的成就为利用植物和改造植物提供了必要的基础理论和基本知识。植物学是农业和不久将蓬勃发展的植物天然产品产业的理论基础。植物科学基础研究的重大突破将导致农业技术的革命。例如19世纪植物矿质营养理论的阐明,导致化肥的应用和化肥工业在20世纪的发展。光合生产效率理论研究成果创造了粮食生产技术中矮化品种的培育及密植的栽培技术,使粮食在20世纪中大幅度增产,被誉为“绿色革命”。植物科学通过对

植物区系、资源、植被（包括海洋植被）、珍稀濒危植物的调查、研究和预测，为国土整治、农业区划、资源开发、工业发展、城市建设、港口建设、交通运输、水利建设等规划提供了国家宏观决策的科学依据，从而促进社会经济的迅速发展，避免因违反自然规律而造成的失误。植物科学对完善人们的哲学观，陶冶人们的精神生活、文化修养和高尚情操也有着重大影响。

半个多世纪以来，尤其在新中国成立以后，我国植物生物学经历了艰苦创业的奠基阶段，逐步建立了植物生物学的各分支学科，并造就了一支 5000 余人，具有一定科研素质的科学队伍。在基本资料的累积，基础理论研究方面取得了一批宝贵成果，受到了国内外同行的好评，产生了较大的影响，同时还解决了许多生产实践中提出的实际问题，为社会主义建设和国民经济的发展作出了重要贡献。我们相信，植物生物学在为实现本世纪末我国国民经济产值翻两番的目标中将会作出更大的贡献。

二、植物生物学在国民经济发展中的作用

植物是生物圈的主要构成成分，植物种类繁多、数量浩瀚达 40 万种。植物对于整个生物界的贡献是巨大的。植物是自然界的第一生产力。通过植物所进行的光合作用是地球最大规模地把太阳能转变为化学能，把无机物合成为有机物，以糖、淀粉、脂肪、蛋白的形式加以贮存。植物是人类、动物及大多数微生物的最根本的食物来源，也是无数再生资源的源泉。光合作用放出的氧气是大气中氧气的主要来源，当今人类文明所需之燃料（如石油、煤、天然气等）也都是远古植物光合作用的产物。可见植物在自然界和人类生活中具有不可替代的作用。其次，植物在维护生态环境和地球上的物质环境的平衡中起着不可替代的作用。植物通过体内所进行的各种分解与合成的代谢过程，参与自然界生态环境中及生物圈中物质循环的维持。植物在调节气温、土壤和大气的水分以及在净化生物圈的大气和水质方面，亦起到重要作用。植物创造并维持着人类赖以生存的生活环境。植物体内存在着千千万万种天然有机化合物，是人类利用和开发植物资源的源泉。由于植物界在长期进化过程中形成的无数的遗传性状决定了植物在个体形态、生活习性、代谢类型、群体组成、地理分布以及生物之间的相互依存关系等方面都有着千差万别的多样性。由于长期进化过程中形成的千姿百态的植物界，是一个天然庞大的基因库，是自然界留给人类的宝贵财富。因此，植物学的研究对于农业生产，对于医药以及植物工业原料的开发利用，都有很大的意义。尤其是现在，整个世界面临着人口膨胀、粮食短缺、能源枯竭和环境污染等严重问题，这种意义亦就显得越来越明显了。

1. 我国地处亚洲东部，自热带到寒温带的广大、具有复杂地理环境的地区。拥有世界上最为复杂的植物区系，植物种质资源极为丰富（就高等植物而言，就约 3 万种）。我国是世界作物起源中心之一，起源于我国的原始种有谷类、薯类、蔬菜、果树、药材、香料、染料以及纤维等 170 多个品种，这为我国实现四个现代化建设提供了主要的物质基础。

至今我国已采集标本 1000 多万份，已编写出《中国植物志》50 卷，为我国植物资源的开发利用提供了最基本的资料。为了使植物种类达到永续利用、植物引种驯化、物种迁地保护我国已建立了 110 个植物园和树木园。同时还对物种进行就地保护，建立自然保护区近 763 个。编写了珍稀濒危植物《红皮书》，以告诫人们特别要保护《红皮书》上的每一种类。目前还着手

建立野生植物种质资源库。为了更合理地利用我国植被资源，我国植物生态学工作者通过多年的实地调查与研究，编写出版了《中国植被》一书。它不仅使人们对我国植被的类型和地理分布规律具有一个全面而深刻的了解，为我国植被的研究开创了一个新阶段，而且对我国农牧业生产的发展和战略布局，也具有很重要的宏观指导意义。此外我国的植物生态学家们还编著出版了许多省区植被专著，以及编制出版了 1:400 万的《中华人民共和国植被图》。为国民经济规划，国土的综合治理以及大农业发展战略等宏观决策提供了基本资料和科学依据。

古植物学的研究为寻找煤和石油以及有关金属矿物提供了科学依据。污染生态学的研究，筛选出百种以上对大气、水质污染反应敏感或具有抗性和净化环境作用的植物，为环境保护作出了一定贡献。

随着社会主义精神文明和物质文明的发展，了解植物资源的化学组成，是合理开发植物资源的重要前提。解放以来，我国植化工作者对约 3000 多种植物作了不同程度的化学成份分析，发现了 3000 多个新的化合物，其中有许多化合物具有药理活性，是医药工业的重要原料。现已开发利用的植物种类包括：淀粉植物、油脂植物、蛋白质植物、饮料植物、食品添加剂植物、芳香植物、胶用植物、纤维植物、木材植物、鞣料植物、农药植物、药用植物、经济昆虫寄生植物、绿化和美化保护环境植物等。资源植物的开发利用，推动了我国食品、医学、轻化及农化工业的发展，同时也为采油、冶金、纺织等工业做出了贡献。如田菁中提取的半乳甘露聚糖-田菁胶，代替了依赖进口的瓜尔胶，用于采油工业中的水基压裂液，不但节省了大量外汇而且大幅度提高原油产量。又如从野生青蒿（黄花蒿）中提取的青蒿素用于治疗抗氯喹凶险型疟疾。但对它们还远远没有达到充分开发和利用的程度。因此，对这些植物资源的进一步开发和利用，必将获得巨大的经济效益，为国民经济的发展作出贡献。

2. 解放后，随着植物生理学队伍的壮大，植物生理学在理论上的研究获得了一批具有较高水平，在国内外产生了较大影响的成果，如呼吸代谢的调节和控制、核穿壁物质运输、光合磷酸化高能态及光合膜结构与功能的研究等。同时对理论如何联系实际，植物生理学如何为经济与建设服务的认识也逐步深刻，逐步摸索出适合我国国情的基础学科参与解决生产实际问题的道路。植物生理学知识的应用对减少农业措施的盲目性，提高针对性起了极大作用。如氮、磷、钾及微量元素肥料的合理施用对提高作物产量起了极大作用，就是明显的例子。50 年代起植物生理学界对主要农作物发育规律及其与环境关系的探讨，为合理的农业措施提供了理论基础。例如水稻光、温物性的研究，棉花营养生长和生殖生长相关的研究，稻、麦旗叶对籽粒形成的贡献等都促进了农业科研和生产水平的提高。

植物生理学的几个分支部分如组织与器官培养，植物生长调节剂，采后生理等与生产实践关系密切，在我国受到了更多的重视，发展迅速。如植物生长调节剂，已在我国广泛应用，成为不可缺少的重要农业生产资料。赤霉素目前我国产量为世界之冠，仍感供不应求。赤霉素不仅广泛用于国外已应用的多种园艺植物生长、发育的调控，而且在中国独有的杂交水稻的制种中成为不可缺少的生长调长剂。在其他国家已大量生产并在农业中广泛应用的生长调节剂如 2,4-D、“矮壮素”（CCC）、乙烯利、缩节胺及除草剂等在我国起始时都是由植物生理学工作者倡导、引进和试验推广的。近年来，

随着农业改革的成功，鲜活园艺产品骤增，贮藏和运输中品质的保持成为突出的问题。部分植物生理学工作者多年坚持在果蔬贮藏保鲜这个领域进行了系统的研究，为这些问题的解决作出了重大贡献，取得了显著的经济效益和社会效益。

植物生理学在农业生产中可以发挥作用的方面还远远不止以上所列举的。随着植物生理和植物生化研究的进展，如在光合作用机理阐明的基础上调节和控制作物光能转化效率，将使作物大幅度增产。若加以仿生模拟研制高效光能转化器，将能开辟太阳能利用的新途径，并能为研制生物电子器件和生物芯片，促进信息科学的发展，为 21 世纪开辟新兴产业提供理论依据、方法和技术。模拟固氮酶在常温常压下固氮的机理，能深刻地改造现有的高温高压下合成氮的工业，特别是固氮基因及根瘤菌从豆科植物转移到非豆科植物的成功，将会大大推动自然界本身的固氮过程，将会对农业生产产生深远的影响。

3. 近 15 年来，正是国际上生物工程蓬勃兴起的时代，与此同时人类也面临着人口剧增、耕地面积减少、天然资源被破坏、生态环境恶化的严峻挑战。我国科学家们应用植物生物技术获得了许多重要的科研成果，对解决上述危机起到十分重要的作用。最为突出的是生物技术在农作物育种与品质改良上的应用，并将引起一场新的农业革命。我国在花药培养单倍体育种、体细胞无性系变异、突变体筛选及染色体工程的研究与应用方面处于国际先进行列。通过花药培养获得的水稻新品种花 8 号、9 号、10 号、11 号、12 号及 13 号，已累计推广面积超过 1000 万亩。小麦新品种京花 1 号、京花 3 号、冀花 555 及甘肃花培 764 等累积推广面积也已超过 1000 万亩。其他经济作物的花培新品种（系）如玉米、橡胶、苹果、柑桔等达 100 多个。通过无性系变异及突变体筛选技术也获得许多优良农艺性状的新品系，如具有高蛋白质含量、抗病、耐盐等特性。其重要的作物有小麦、小黑麦、水稻、甘蔗、芦苇及油菜等。其中具有低芥酸与低硫代葡萄糖苷特性的油菜新品种 H166、H165 已推广面积达 40 万亩。通过染色体工程获得的具有抗病、抗逆、适应性强及高产优质的小偃系列品种，15 年来已累计推广达 1 亿亩，增产小麦 60 亿公斤。茎尖培养及快速繁殖技术，我国已在 400 多种植物上获得成功。在“七五”期间我国已建立苹果、柑桔及葡萄无病毒母本园。香蕉的脱毒及试管苗生产已形成新兴的产业，年生产能力已达到 1000 万株苗以上。马铃薯无病毒原种场，全国脱毒种薯面积已近 400 万亩。在原生质体培养方面，我国在玉米、大豆、高粱、猕猴桃等 20 多种重要作物上首次获得再生植株成功。应用植物细胞大量培养技术生产有用次生代谢产物的研究，近 10 多年也已达到或接近国际先进水平，如新疆紫草、人参、紫杉等植物细胞的培养已进入中试阶段，我国已能研制较先进的气升或液升式生物反应器，“九五”期间可望实现植物细胞培养的工业化规模，使我国成为国际先进行列的一员。植物基因工程技术在我国已建立起一支较有实力的队伍，并取得了一批重要成果。如获得了具双抗（TMV + CMV）和单抗（TNV）的烤烟烟草，还获得了抗 TMV 的香型烟草。前者推广面积已达 50 万亩。此外还获得了抗除草剂（atragine）的大豆转基因植株，及通过苏云金芽孢杆菌的 BT 毒蛋白基因转化的水稻与棉花。“七五”期间还获得转基因抗虫杨树等。综上所述，经过从“六五”到“八五”的 15 年间，我国在植物生物工程的研究与应用方面建立了一支实力较强的队伍，取得了一系列重要成果，为国民经济的发展做出了重大贡献。

三、展望

恩格斯曾经预言：只有在物理学、化学及数学高度发展以后，人们才能真正认识生命运动的本质。事实正是这样。由于 19 世纪物理学和化学领域的许多新发现使人类认识生命运动的规律有了许多新的技术和手段。如电子显微术、超离心技术、放射性同位素、核磁共振波谱、光谱分析、色谱质谱联用及计算机技术等。由于这些技术的应用，推广了以研究核酸、蛋白质、酶等大分子结构与功能的生物化学的发展。植物学家们可以从分子水平上探索植物界的各种生命现象并揭示其规律，从而也推动了植物学各分支学科的发展，如系统与演化植物学、植物细胞生物学、植物细胞遗传学及植物分子遗传学等都赋予新的概念，充实了新的内容。一些新兴的学科迅速发展起来，如环境植物学、植物发育生物学、结构植物学与资源植物学等。在这些分支学科中又衍生了许多新的边缘学科，如数量生态学、遗传生态学、化学生态学、化学分类学、细胞分类学、分子系统学及生殖生物学等。总之，20 世纪是植物科学进入以分子生物学为率先发展的时期，同时也推动了植物细胞工程与基因工程高技术的发展。

那么，21 世纪植物科学发展的趋势和特点又如何呢？科学家们普遍认为在今后的若干年内，不仅植物学领域内的各分支学科，而且跨学科领域，如物理学、化学、数学、动物学、微生物学、气象学、地理学等将在更广阔的范围内实现学科之间的相互交叉与渗透。将运用最先进的技术手段，从而在更高层次上探索植物生命的奥秘和发生发展规律。此外，研究的空间尺度将从植物的分子、细胞、个体、群体直到全球范围。而时间尺度则从飞秒到皮秒、纳秒到微微秒到毫微秒到秒到分、到时、到日月年，直到世纪以上。

根据上述的发展趋势和特点，在 21 世纪，植物科学究竟能为人类做出什么贡献呢？在这里我们仍需花费一些笔墨，简要地谈一下当今世界的自然状况。在过去的 40 年里，人类活动已造成了大气层的变化，臭氧层变薄、全球性 CO₂ 浓度的增加。这些变化将会对人类自身的生存带来什么影响，科学家们尚不能作出准确的回答。此外，在过去的 40 年间，人类砍伐了约为 50 年代的 1/3 的森林而未能恢复，滥用了近五分之一的表土，使六分之一的耕地盐碱化或沙漠化。最为严重的是，人类的生活方式已经威胁 1/5 的植物、动物、真菌和微生物，它们在今后的几十年内可能会灭绝。人们正在消费、糟蹋着近 40% 的陆地净光合作用产物。尽管世界各国重视全球人口计划，但人口仍会继续增加至目前的 2 - 3 倍。对于人类赖以居住生存的地球来说，无疑已超过它的负载量。这些问题的产生和解决，可以说都与植物资源的合理利用、保护和改造有着直接间接的关系。为此，为在本世纪末实现我国国民经济总值翻两番的宏伟目标，植物学工作者的任务应是最大限度地、合理地开发、利用和改造我国的植物资源，特别要研究那些与生产发展密切相关的植物群体和个体，为国民经济的规划、资源的合理开发、国土整治及大农业发展的宏观战略决策提供基本资料和科学依据；在资料调查的基础上发掘出一批野生果树、药用植物、工业原料植物、名贵珍稀花卉，再通过引种驯化、组织培养、生物工程的方法加以改造，为农业、林业、畜牧业及植物原料工业作出更大的贡献；要努力推动各级自然保护区的建立，搞好植物园、定位站及实验站的建设，为保护物种，特别是珍稀、濒危植物的保护以及保持生态平衡，保护环境作出应有的贡献；组织各分支学科的交叉和结合，如组织

植物分类、植物地理、形态、细胞、生理生化及遗传等各方面的力量，结合研究栽培植物，野生近缘种的基因资源，为农业育种提供更多的原始材料，并采用传统常规方法与新兴生物工程技术相结合去改良现有的栽培植物，创造新品种，为农业粮食作物的增产作出重大贡献。为实现上述任务，必须要处理好经典学科与新兴学科的关系，传统技术与新兴技术的关系。两者不可偏废，而且应当密切地结合起来，才能使植物学的新成就尽快地转化为强大的生产力，强有力地促进我国国民经济的发展和社会的进步。

植物科学与未来农业

沈允钢

中国科学院上海植物生理研究所

沈允钢 植物生理学家。1927年12月2日生于浙江杭州。1951年毕业于浙江大学。历任中国科学院上海植物生理所研究员、所长。曾任中国植物生理学会理事长等职。1980年当选为中国科学院院士《学部委员》。主要从事光合作用机理研究。

在即将跨入21世纪之际，展望一下未来农业的前景是非常必要的。虽然大家都认为农业与人类生存、社会发展有密切关系，可是对其重要性却并不是都看得很清楚。这会影响人们对待它的态度。

一、人们对农业的需求将上升到新的高度

在古代，人们的吃穿用基本上都来自农业。近几百年来，随着工业的兴起，矿产资源的大量利用，社会发展很快。这使从事农业的人口在减少，农业在国民生产总值中的比重在下降。因而一些人产生错觉，以为农业的重要性降低了。其实我们必须看到，这样的历史进程同时也导致当今世界面临的人口、食物、能源、资源和环境等一系列问题日趋严重，而要解决这些问题和农业的关系非常密切。人口剧增带来的麻烦很多，其中最根本的问题就是如何养活那么多人口。“民以食为天”，而人们的食物直接或间接都是靠植物提供的。虽然现在科学技术进步很快，可是至今还没有人能设想得出如何从其它途径获得这么多大量适合人类需要的食物。因此，在可见的将来，要满足人们日益增长的食物需求，仍然只能依靠加强和改善农业。对于我国来说，这问题特别严峻，因为我国人均耕地远远低于世界平均水平。虽然通过多种努力，在1984年全国粮食产量达到了人均400公斤，初步满足了温饱的需要，可是人口在继续增加，耕地却因各种建设等原因大量改作它用而在不断减少。结果使得近十几年来人均粮食水平非但没能进一步提高，反而略为降低。今后我国人口总数还将增加。据估计，2030年左右其峰值要达到16亿。怎样保证日益增长的食物需要，实在是头等大事。

现在的物质文明是建筑在消耗大量能源的基础上的，可是石油、天然气和煤等化石能源在急剧减少，人们不得不考虑从各个方面寻找新能源。虽然有不少可开拓的途径，但都尚存在技术困难或数量有限等问题。其中，地球上植物每年固定的太阳能为人类每年消耗的全部能源的10倍，这当然使人设法通过农业来提供更多的可再生能源。现在，已经有一些实用的例子。例如，巴西在种植甘蔗生产酒精代替部分石油，欧洲在尝试从植物油脂制备生物柴油，我国不少地方在利用农业废物发酵生产沼气作燃料等。随着科学的进步和能源矛盾的尖锐化，这方面的应用必然会有更大的增加和发展。

目前农业已经在为纺织、造纸、建筑、橡胶、发酵和医药等许多工业提供大量原料。近几年来，其中不少已被一些石油化工产品所部分代替，如人造纤维、人造橡胶和许多种类的塑料制品。在矿产资源逐渐枯竭的情况下，人们在努力探索扩大从农业获得可再生资源的途径。人们可以直接由生物材料制成多种物品，也可以经过一些化学和物理处理，改变它们的性质，使其

更符合人类的需要。目前市场上常见的一些利用植物材料制成的化学纤维、人造板等就是已在开发应用的例子。

矿产资源的大量开采应用、工业生产废物的任意排放，以及农药化肥的乱施和森林的滥伐都在不断恶化自然环境，产生一系列严重后果，包括使农业减产，危害其持续发展。人们常常只注意环境污染直接对人类健康的影响，而不太想到污染对农业的损害。环境被污染时，植物的生长发育首当其冲地受到干扰和破坏。而且，不少对人类有害的污染物质常常是先由植物吸收再通过食物进入人体的。此外，由于大量使用化石燃料而造成大气中的二氧化碳浓度不断上升，它有温室效应会显著改变全球的气候，这将对农业生产有复杂的影响，使人们焦虑担心。

展望未来，人类前进的道路上已经明显地存在着许多严峻的困难和险阻，必须千方百计地寻求克服的办法，才能使今后的日子过得一代比一代幸福。其中，加强农业是根本。因为如上所述，社会发展对它依赖的深度和广度都在增加，要求它能在兼顾社会效益、经济效益和生态效益的前提下提供更多更好的食物、可再生能源和资源。这是不容易做到但又必须做到的。对于我们中国，任务更为艰巨。由于我国的经济在高速发展，各方面的矛盾更易突出起来。我国 1994 年遇到自然灾害，农业略有减产而粮食进口多了一些就引起了不少问题。我国现在已变成石油净进口国，而能源的需要尚在大幅度增加。至于环境污染的问题更是日益增多，许多地方出现的酸雨，这会使得农业受到长期的损害。如何能使我国农业保持持续发展实在很不容易。这需要多方面的共同努力，依靠科技兴农是其中的关键。

二、植物科学与农业的关系

科技兴农有许多方面，它们对农业可起多种多样的作用。农业是什么？在《辞海》“农业”条目中这样说：它是利用植物和动物的生活机能通过人工培育以取得农产品的社会生产部门。通常分为种植业和畜牧业两大部门。在中国农村中，习惯上分为农（农作物栽培）、林、牧、副、渔五业”。两种定义虽不尽相同，但其核心却很明确，是种植业，包括在耕地上培育作物和在地球其它表面上人们不同程度地干预着植物生长的各种活动。农产品直接或间接都是从种植业得到的，因为养殖业和多种捕捞业及加工业必须建立在种植业的基础上。种植业的对象是植物，因此研究植物生命活动的科学，是和农业的核心有着密切关系的学科。它的发展使人们对种植业的认识和实践都前进了一大步。人类在几千年的农业劳动中，对如何利用植物的生活机能来取得更多更好的农产品累积了不少宝贵的经验，但是对于植物究竟是靠什么长大的，并不很容易搞清楚。古希腊的著名哲学家亚里士多德凭直觉以为植物是靠从土壤中吸收养分长大的。我国明代的宋应星却想到人吃进去的食物（多半是植物来源的）量大，而排出物量少，其余的看来都变成气了。既然它们可变成气，因此他说“所食之物皆气所化”。这明确是很有见解的分析，可惜终究只是推测而已。通过植物生命科学的大量实验研究，如今人们已知道，植物体中的物质主要是它进行光合作用利用太阳能将二氧化碳气和水合成的有机物变成的，从土壤中吸收的无机养分只占很小一部分。植物所必需的元素已知有 17 种，即碳、氧、氢、氮、钾、钙、镁、磷、硫、铁、氯、锰、硼、锌、铜、钼、镍。其中碳、氧、氢来自二氧化碳和水，共占植物干重的百分之九十几，氮、钾、钙、镁、磷、硫来自土壤（其中豆科植物

的根瘤等可固定利用空气中的氮气)，共占植物干重的百分之几，称常量元素；其余八种元素也来自土壤，总共只占植物干重的千分之一都不到，称微量元素。这些元素虽然在植物中含量不同，却对其生命活动都是必需的，缺少了生长就不正常。现在已可将植物种在水里，加入上述无机营养，就可以在阳光下茁壮地成长。有了这样的知识，就可以使我看清楚，种植业的实质，就是人们采取多种措施来保证植物的生命活动使植物能进行旺盛的光合作用形成有机物，并且尽可能多地使之转化成我们所需要的农产品。

近几十年来的科学实验不仅使我们明白了许多植物生命活动的规律和机理，并且还找到了不少调控途径。它们有的已在生产实践中广泛应用，对于将传统农业推进到现代农业起了十分重要的作用。

例如，因为知道了植物需要从土壤里吸收哪些无机营养，而土壤中有的常常供应不足。于是就出现庞大的化肥工业来生产这些肥料，并且在农业生产中建立了各种施用化肥的技术，使种植业的产量成倍增加。人们了解到水分是进行光合作用的原料，但它占农业耗水的比例并不大，不到几百分之一，绝大部分都是蒸腾、蒸发和渗漏掉的。人们掌握了作物生长发育的特性，知道不同时期缺水对它生命活动的影响是不一样的，可以设法提高作物的用水效率，于是就发展出了多种形式的节水农业，使干旱地区也有较好的收成。

又如，为了使粮食作物在田间能较好地利用太阳能并将所形成的有机物尽可能多地变成人们所需要的农产品，科技工作者培育出了矮秆直立叶型的水稻、小麦和玉米等品种，矮秆可以提高作物的经济系数和减少倒伏的可能性，直立叶很重要的好处是使太阳光可在作物群体内较均匀地分布，适合叶片利用光能的特性，显著提高光合效率，从而使产量大幅度上升，这被称为一次“绿色革命”。

至于因为掌握了调节植物生长发育的一些途径而创造设计出来不少改善作物特性的办法，更是不胜枚举，这包括一系列育种技术和喷洒多种多样的生长调节物质及除草剂的措施。它们使人们在一定程度上可以控制植物的生命活动，让它朝着人们所需要的方向发展。现在的农业生产中，通过生长调节物质处理来影响作物和果树的株型、开花时期、数量和结实率等已成为常用的重要操作。这完全是从几十年植物科学研究成果发展出来的新型技术。

此外，由于了解了种子、果实等的生理特性，使人们可以用多种物理和化学的办法延长农产品的保鲜贮存时期，显著改善了它的运输、上市条件。这已成为现代农业中产加销一体化的基本环节。

这儿只是简要地谈了植物科学在农业中普遍应用的一些研究成果，有的已变成了常识，它们的确引起了农业的栽培管理方式和生产水平较之几十年前发生了巨大的变化。它们是使传统农业转化为现代农业的重要组成部分。

三、未来农业的展望

由于科学技术的飞速进步和社会的持续发展正面临严重问题而对农业提出更高的要求，未来农业将呈现出许多新的特点。从植物生命科学研究动向可以看到，以种植业为核心的各种类型的农业正在登上更高级的台阶。其主要特征是人们力求不是通过避免耗用更多的资源和引起更多的公害前提下，更好地依靠科技来促进生产增长。

1. 适应农业在今后相当长的一段时期内，大田农业生产还难于摆脱气候变动的影 响。这是因为种植业的基本过程是利用太阳光来合成有机物。太阳

光的确是非常巨大的能源，地球上所有植物一年中固定在合成的有机物内的能量还远远不到在这期间照射到这星体上的能量的千分之一。可是太阳光是分散地照射在整个地球表面的，人们要在大田中栽培作物来利用它就不得不让作物暴露于不断变化的大气环境中。虽然人们也可以通过灌溉等措施略加调节，但主要还得依靠控制作物的生长来适应变动的气候，因而收获难免时丰时歉。可是气象预测预报的精确度在日益改善，人们监测和调控作物生长动态的能力在不断提高，所以农业生产中有可能及早根据预知的当年气候状况和作物特性，通过应用计算机技术的数学模拟，对在预测气候情况下的作物生长动态制定出作物栽培的最佳计划。例如，通过选择合适的品种和恰当安排茬口，使稻麦等作物开花结实形成产量的关键时刻恰巧能和预测的良好天气相遇。在实际执行过程中观察到有不尽符合之处，可以采取多种措施进行微调，使作物生长与气候变动配合良好，从而保证获得高产、稳产。根据植物科学研究结果，在自然条件下植物利用太阳辐射形成有机物的最高能量转化效率为5%左右，大致相当于一年每亩收获5000斤谷物。实际上，由于气候、栽培条件和作物生育特性的限制，只有在作物的一个生长阶段可接近此理论效率。因此，我国近几年来有些地方出现的吨粮田，的确可以说是在气候正常及水肥充足的条件下达到相当高产的水平了。未来的适应农业，必须设法使更多的地区可以经济、有效、且每年较稳定地得到这样的高产，并且使收获物具有优良的品质。

2. 非耕地农业 耕地(包括林区和草场)上的土壤是岩石经长期自然风化和人工培育而成的非常宝贵的适于作物、树木和牧草栽培的基质。要满足人们未来对食物及可再生能源和资源的需要，不但要尽一切努力保护和改良耕地，并且必须应用植物科学研究成果千方百计地将地球其它表面上的太阳能也尽可能通过各种形式的栽培管理使植物生长而利用起来，为人们提供农副产品。耕地上种植作物是人们进行农业生产最行之有效的栽培方式，因此人们常常想通过开荒来弥补不断挪作它用而减少的耕地损失。可是，这必须慎重对待，因为轻率行动会使原有生态环境破坏而引起灾难性后果。国内外都发生过这样的事例。所以，应该尽可能因地制宜地设法利用，扩大农业的范畴。在荒漠等不毛之地种植高抗植物、在屋面无土栽培蔬菜、在水域大规模培养藻类植物等都是些开端事例。如在山区种植板栗等“木本庄稼”，在荒漠栽培有助于改良土壤和用途广阔的沙棘，在城市屋顶墙面见光插绿地以新技术栽培蔬菜，在水域大规模培养海带、紫菜和螺旋藻等。

3. 环控农业 现在的蔬菜、瓜果、花卉等栽培中，应用塑料大棚和玻璃温室等设施已相当普遍。今后还将扩大。我国现在至少已有几百万亩地采用这样的覆盖栽培了。随着城镇的进一步发展，为保证蔬菜的供应，其郊区必然会增加环控农业。它使作物的整个生长环境都处于密闭系统中，其作用远远不限于保暖。空气流通显著受影响，光照也变弱了。这增添了许多管理困难，但也使人们有可能用高新技术按照植物生长的需要较好地控制环境条件，将增产潜力更充分地发挥出来。因此，未来的环控农业将高度采用根据植物科学研究结果而发展出来的温度调节、溶液培养、光周期变更、二氧化碳施肥、生长发育和株型调控等设施和技术，使得到的收获比大田高数倍，并且能多品种常年均衡供应。

4. 工厂化农业 未来农业要很好地做到能兼顾社会效益、经济效益、生态效益。除了高产、优质、高效地搞好上述三种类型农业外，还必须发展精确

调控特殊作物代谢过程的生产车间和深度综合利用种植业所形成产物的工厂化农业。现在农村中发展的多种类型的试管苗生产和将养殖业、农副产品加工业和沼气站有机结合起来系列化企业在朝这个方向前进。今后将进一步采用高新技术（其中很多是由植物科学延伸而成的）使之形成一个有助于生物圈良性运转的高产出、高效益的完整体系，使农村真正成为利用太阳能生产人类所需要的食物、可再生能源及其它资源并且维护适宜生活环境的主要基地。

21 世纪的癌症与 肝癌研究的启迪

汤钊猷

上海医科大学

汤钊猷 肿瘤外科专家。1930 年 12 月 26 日出生。广东新会人。1954 年毕业于上海医科大学。曾任上海医科大学校长，现任上海医科大学肝癌研究所所长、教授，兼中华医学会副会长。1994 年当选为中国工程院院士。60 年代末从事肝癌研究，特别在肝癌临床诊治和相关基础研究方面成就显著。他最早系统进行了小肝癌研究。

我国是发展中国家，但疾病谱却很接近发达国家，特别是城市，癌症与心脑血管疾病已成为死亡的首要原因。因此，癌症的防治与研究在我国迈入 21 世纪之际，有十分重要的意义。1995 年卫生部的统计，肝癌已成为我国第二位癌症杀手，在农村仅次于胃癌，在城市则仅次于肺癌。为此，无论肺癌、胃癌或肝癌的研究均至关重要。

一、21 世纪的癌症

1994 年 10 月在印度新德里召开了第 16 届国际癌症大会，这是 4 年一度最大的癌症大会。由于会前发生的肺鼠疫问题而使与会人数减少一半以上。我代表中国连任国际抗癌联盟理事，并作为主席主持了肝癌分组会。总的来说，癌症的防治与研究进展不小，但问题也不少。在癌症的预防中，吸烟，饮食与病毒因素不容忽视；中晚期病人的姑息性治疗仍然是一个长时期的实际问题；癌症研究深入到分子水平是当前一个特征，但临床应用仍有不小的距离；癌症问题同样是一个社会与经济问题。

1. 未来全球癌症趋势：1985 年全球有 760 万新病人，500 万人死于癌症，其中发达国家与发展中国家各占 50%；预期 2000 年将有 1030 万新病人，有 710 万人死于癌症；至 2010 年的病例数——欧洲将增加 27%，北美增加 44%，拉美增加 101%，非洲增加 116%；发展中国家癌症增加比发达国家多，主要是污染工业向发展中国家转移的结果；1985—2000 年癌症病例的增加还与人口的增加有关，届时全球人口将由 49 亿增至 63 亿，此外还与人口老龄化有关，大于 65 岁的人口也将由 6%增至 6.8%。未来的癌症谱也有一定变化，上升的癌症包括肺，大肠，乳和前列腺癌。在男性中，肺癌将占 18%，胃癌 12%，大肠癌 9%；在女性中，乳癌占 19%，宫颈癌占 12%，大肠癌 9%。

2. 预测 21 世纪癌症的危险因素：(1) 与烟相关的癌约占 30%。包括口、咽、喉、肺、食道、胃、胰、肝、膀胱、尿道与宫颈癌等，尤其在发展中国家，无论是吸烟还是嚼烟均可引起癌症，已发现烟特异亚硝胺可能与口和气道癌症有关。(2) 与饮食相关的癌约占 35%。如高脂肪饮食与结肠癌，乳腺癌(？)，前列腺癌(？)有关；食物中纤维素少与结肠癌有关；盐是胃癌的促癌剂。(3) 与感染相关的癌亦占 10%以上。主要为病毒，如 EB 病毒

与淋巴瘤，鼻咽癌等有关；乙型和丙型肝炎病毒与肝癌有关；乳头状病毒则与宫颈癌，肛门生殖道癌，扁桃体癌有关。（4）其他：与生育有关者占6%；与职业有关者4%；酒3%，日光3%，污染2%，医源性1%，性相关1%，工业<1%，食品添加剂<1%，其他还有肥胖，运动，应激等。我国观察到肝癌发病与饮水污染有关，如蓝绿藻为水中促肝癌物。

发展中国家癌症的预防应采取价廉、实用、有效的办法。具体途径有：戒烟；饮食中提倡多食黄绿蔬菜，高胡萝卜素可降低癌的发病率，提倡“Carotene instead of nicotine”，“Prevention of cancer by one carrot a day”；此外，研制防癌疫苗也是一个方向，如乙型肝炎疫苗可用以预防肝炎从而降低肝癌的发病率。

3. 现代肿瘤学的特征是生物学与临床的结合：预期传统的外科手术，放射治疗和化学治疗仍为常规疗法，但如离开肿瘤生物学，其发展将受到极大的限制。抗癌药的研究由于分子生物学的进步而进入迅速发展的新阶段。一方面是旧药新用，如一种称为CSF的药，可减少化疗引起的白细胞下降，使化疗能用较大剂量；另一方面是近年的一些新发现，为抗癌药研究提供了新思路。如很多癌对化疗有耐药问题，已发现它与耐药基因有关，研究耐药基因的调变剂就是一条新路。生物治疗已成为继手术、放疗、化疗后癌症的第4大疗法。

4. 癌扩散的防治是当前肿瘤学的重要课题：癌侵袭与转移的生物学是当前一个研究热点。癌细胞要“过五关斩六将”才能转移到别处，它首先要失去粘附性才能侵犯邻近组织，然后要能够通过细胞外基质，进入血流后又耐机体免疫细胞的杀伤才能到达靶器官。现在对这一复杂过程的分子机理已有不少认识。对癌扩散的防治也有几套办法：如（1）旧药加大剂量，多药治疗。（2）新药探索，如旧药的同类物，生化调节剂，生物治疗剂（如干扰素，白介素），多药耐药基因修饰剂。（3）新的方向，如用“反义”的办法，控制某些癌基因的过度表达，抑制“抑癌基因”的失活。（4）新途径，如基因治疗（补充丢失基因，调节过度表达的基因，带基因抗体……），肿瘤免疫（如新型瘤苗），分化诱导治疗（如维甲酸有使癌细胞变为较正常细胞的作用）。

5. 基础研究：（1）研究“癌变”是一个主题。即各种致癌与促癌物通过什么环节使正常细胞变为癌细胞的。近年从细胞水平到分子水平都积累了不少资料。（2）“癌的生物学”是另一个突出主题。研究包括癌细胞膜与正常的有何不同，如“糖”的结构就有很大不同；正常细胞是如何由好变坏，癌细胞有无可能“改邪归正”；癌为什么能不受控制地分裂；癌细胞是通过什么办法侵犯正常细胞的（侵袭，转移）。在这些研究中，癌基因和生长因子的研究占相当地位。在与治疗相关的基础研究中提出了一个新的概念，即是否可能使癌细胞和正常细胞一样恢复“老死”，即诱导细胞凋亡（细胞的程序性死亡），所谓凋亡乃细胞主动的自身破坏。细胞凋亡的研究被认为是细胞生物学和肿瘤生物学的重要里程碑。实际上肿瘤的发生与“增殖-凋亡”失调有关。已发现一些癌基因和生长因子，放疗和化疗等可诱导凋亡；而另一些则可抑制凋亡。

有人认为，现代肿瘤学已进入一个新的阶段，其主要研究是“正常与癌细胞生物学的分子基础”，它包括恶性转化的多阶段，恶性生长的信息传递，治疗的分子目标，癌基因与抑癌基因的作用等。

6. 癌的社会-经济因素：资料表明，社会-经济差的阶层癌症发病率高，并以胃、肺、宫颈、肝、食道癌为多见；在发达国家中，低薪阶层也有同样现象；近年贫富悬殊加大，80年代贫富比为29倍，而90年代达93倍；然而，发达国家人口虽少，但癌症并不少于发展中国家。

二、肝癌临床研究的启迪

原发性肝癌（简称肝癌），是由肝细胞或肝内的胆管细胞演变而来，它与乙型和丙型肝炎感染，食物中有黄曲霉毒素，以及饮水污染等有关。肝癌历来被称为不治之症。肝癌自建立其科学基础以来已有百余年历史，但进展缓慢。50年代由于肝内解剖生理研究的进步使大肝癌可以较安全地切除，约使5%-10%的病人受益；60年代由于免疫学的进步导致肝移植问世；70年代血中甲胎蛋白检测用于普查，开辟了肝癌临床研究的一个新领域——小肝癌的研究，它使第二个5%-10%的病人受益；80年代医学影像学（如超声显像，X线电子计算机断层显像-CT，等）的突飞猛进，使1cm小肝癌已被检出；很多局部治疗方法问世，如经导管动脉化疗栓塞术，肿瘤内无水酒精注射等；局部治疗与综合治疗的进步导致“不能切除肝癌的缩小后切除”这一命题的出现，它可能在90年代使第三个5-10%的肝癌病人受益。概言之，肝癌的诊断已由“较难”变为“较易”，预后也由“不治”变为“部分可治”。

1. 获得肝癌长期生存者的途径：过去肝癌病人生存5年以上者极少，有人统计1905—1970年的65年间全球仅有45位肝癌病人生存5年，平均每年还不到1个病人。上海医科大学肝癌研究所至1994年底，已有212人生存5年以上，其中57人生存10年以上。此212位生存5年以上的病人中：小肝癌切除109人（51.4%），大肝癌切除74人（34.9%），不能切除肝癌的缩小后切除17人（8.0%），切除以外的外科治疗12人（5.7%）。为此，早期切除占最主要的地位。

2. 小肝癌研究的启迪：过去大肝癌切除，5年生存率仅20%左右，而我们所549例小肝癌切除则达62.9%。问题是这个结果是如何取得的。我们从事小肝癌研究20多年，经历了一系列变革。首先是变等病人为找病人，即到有肝病背景的高危人群中去普查，因为枣子大小的小肝癌，病人多数没有症状，因此坐在医院等是等不到小肝癌病人的；然后是更新诊断概念，以前靠四大症状和同位素扫描，发现的肝癌至少已有苹果大小，现靠对甲胎蛋白与影像学的分析，花生米大小的肝癌已不难查出；三是打破过去的常规，对有肝硬化的病人如采用教科书上的肝叶切除，则肿瘤固然被切除，而病人则常难以耐受巨量肝切除而死亡，我们破常规采用过去认为不正规的局部切除，结果不仅手术死亡率低，且提高了切除率和生存率；过去认为癌手术后一旦复发即没有希望，我们根据小肝癌的经验，在症状还未出现前即诊断出亚临床期复发，并积极进行再切除，使5年生存率在原有基础上又提高了10%—20%。

3. 小可变大，大能否变小？小肝癌有了办法，但占肝癌大多数的大肝癌仍然是一个极大的问题，尤其是不能切除者，意味着没有根治希望。从辩证法的角度，小可变大，大也应能变小。我们在70年代偶然观察到一个病人经治疗后肿瘤缩小，切除后居然生存得很好。从而提出“不能切除肝癌的缩小后切除”（或称二期切除）的命题。这个命题的关键是如何使肿瘤有效的缩小。我们又进行了两项变革：改单一治疗为综合治疗，研究导向治疗。我们

意想不到地发现，综合治疗如搭配得当，1+1可大于2。另外，经过10年的研究，证明导向治疗如同军事导弹一样，是一种能大量杀伤肿瘤的有力武器，但其单一应用，难以达到100%消灭癌细胞的目的。为此，当肿瘤缩小时，要用手术的方法加以切除。我们又没有想到，原先没有根治希望的不能切除大肝癌，经缩小后切除，其5年生存率竟能与小肝癌切除者相比美，我们用这个办法又救治了上百位病人。这样，整个肝癌的治疗又前进了一步。

4.新的难题又在前头：尽管小肝癌和大肝癌的缩小后切除均使肝癌的疗效提高了一步，但所有的肝癌切除后均遇到复发和转移的问题。我们又用分子生物学的办法研究了肝癌复发的来源，结果发现，复发既可来自切除时漏网的癌细胞，也可能是另外长出一个新的来。后者要采用病因预防的办法，前者则要研究癌的侵袭性。这将是比前两个任务更为艰巨的事情。于是我们又得从头做起，由于不能在病人身上做试验，我们很不容易用动物建立了一个转移模型，在分子水平研究了与癌细胞侵袭性有关的癌基因和生长因子，研究了在转移模型阻断转移的各种办法……也许这就是肝癌临床研究的第三个战役吧。人们认识自然和改造自然就像这样永无止境。

三、寄希望于年轻一代

中华人民共和国的成立意味着中国人民在政治上站起来，当前波澜壮阔的经济建设正预示着21世纪中国人民在经济上的崛起，但是中国人民要站立在世界民族之林，还要在科技文化上站到前面。记得1978年我第一次出席第12届国际癌症大会时，我们的报告很不被重视。时隔3年，主要由于小肝癌的研究，在1982年的国际会议上我们已开始得到重视，成为主席台上7人之一。1990年的15届国际癌症大会我当上肝癌分组会的共同主席，到16届国际癌症大会时，我已成为肝癌分组会的主席。而且我们还先后在1986、1991和1996年成功地举办了有500—600人出席的上海国际肝癌肝炎会议。但是要继续保持这个优势，需要新一代的努力。你们年轻人是跨世纪的一代，希望寄托在你们身上，希望大家增强信念，肩负历史重任，打好基本功，勇于创新，团结奋斗，以健康的体魄迎接21世纪的挑战。

生物技术在我国农业增产中的作用

郝水

东北师范大学遗传与细胞研究所

郝水 植物细胞生物学家。1926年10月4日生,内蒙古自治区通辽人。1949年毕业于东北大学,1959年苏联列宁格勒大学研究生毕业,获苏联“生物学副博士”学位。历任东北师范大学生物系教授、副系主任、副校长、校长,东北师范大学遗传与细胞研究所所长,曾兼任吉林省生物研究所所长,1993年当选中国科学院院士。主要从事染色体和染色质、植物染色体工程、植物细胞工程研究。

我国人口众多。农业,特别是粮食生产是一个重大问题。中央强调要把加强农业放在发展国民经济的首位。这一指导方针必须得到认真贯彻。中国的粮食问题不仅我们自己重视,而且受到国际上的关注。前些时美国世界观察所所长布朗(L.R.Brown)预测,中国人口增长高峰期2030年粮食将严重不足,甚至认为世界都将无法养活中国。最近我国许多专家从不同角度对中国农业的发展前景做了深入分析,一致认为我国农业生产的发展潜力是很大的,下世纪中国人能养活自己。其主要根据如下:

1.我国的耕地面积过去公布的是0.94亿公顷,现经多年核查确认为1.33亿公顷。

2.中低产田大约占我国耕地面积的70%。据测算,如果经过改良土壤,改善灌溉施肥条件,把低产田变为中产田,把中产田变为高产田,这项增产潜力可达1亿吨粮食。若把全部中低产田改造成高产田,则可增产2亿吨粮食。

3.提高单产水平是增加粮食的重要途径。近些年我国在应用综合的优化配套技术把高产田提高到亩产达1000公斤的吨粮田方面显示出粮食单位面积产量还有很大潜力。高产田如果有3亿亩建成吨粮田,就可生产粮食3000亿公斤。说明我国粮食增产潜力是巨大的。

4.我国除耕地外,尚有3.9亿多公顷草地,面积是现有农田的3倍多。其中生产条件较好的草地有8000万公顷。合理开发利用和改良这部分草原发展畜牧业潜力很大。它是改善我国人民食品结构,用肉蛋乳代替粮食消费的基础。

5.我国有200万公顷内陆水面,淡水养鱼年产已达700多万吨。我国海岸线很长。除远洋和近海捕捞外,建国以来海水养殖业发展很快,人工养殖海带、紫菜、贻贝、扇贝以及对虾和某些海鱼都收到可观的成效。现在年产量可达360万吨。计划2010年要达到1000万吨。淡水和海水将能提供越来越多的高蛋白食品。

综上所述可以认为即使到2030年人口高峰时我国的农业产品也可供养16亿人口,并达到较好消费水平。

以上分析是按当前的技术水平粗略测算的,尚未考虑生物技术等先进技

术的应用将给农业生产带来的巨大作用。下面我想对生物技术在种植业上的应用做一概论介绍，谈一些粗浅看法。

一、生物技术的基本概念

生物技术 (Biotechnology) 是近 30 年发展起来的新技术。它已经并正在不断地使与生物有关的生产过程发生革命性的变革。因此被列为现代高新技术的一部分。生物技术应用范围很广，在工农业生产上都有广泛用途。

生物技术在农业生产上的应用主要是两大技术：细胞工程和基因工程。它们在农、牧、渔业生产中都可发挥重要作用。细胞是构成动植物的基本单位。现代的细胞生物学研究证明，植物细胞具有全能性，即一个细胞在体外培养的条件下可以再生一个完整的植物。这一原理的揭示和各种有关技术的开发为作物品种改良和良种繁育开辟了一系列新技术。它们统称为细胞工程。

支配生物性状的遗传单位统称为“基因” (gene)，基因是 DNA 分子中的一个区段，具有特定的核苷酸序列。一条 DNA 大分子中存在大量不同的基因。把所需的目的基因由 DNA 切离，装在特定载体上，并使之增殖，最后把它转入要改良的经济动植物中，达到改良品种的目的。被转化 (改良) 的动植物分别称为转基因动物或转基因植物。

二、生物技术在种植业中的应用

与种植业有关的生物技术种类繁多，功用各异，分述如下：

1. 组织、细胞培养

单个细胞或由许多细胞构成的植物组织在体外培养情况下可以再生完整植株。利用植物细胞的这种全能性在生产上可以快速繁殖各种经济植物。这种细胞工程技术已广泛用于名贵花卉、蔬菜、果树的优良品种的快繁上。快繁技术可以比普通的营养繁殖提高效率几百乃至几千倍以上。现在国外利用这一技术已形成花卉工业和种苗种薯工业。

研究表明利用茎尖培养可以使再生的植物脱毒复壮。因此快繁和脱毒技术相结合在生产上可以取得巨大效益。国内在果树、花卉、蔬菜等方面已取得相当的成绩，如南方的香蕉、柑桔和北方的苹果，山东的葡萄都已开始建立试管苗工厂。特别是快繁脱毒技术相结合已使马铃薯的种薯生产技术发生了革命性的变化。脱毒的试管苗或微型薯的应用不仅可节约播种用种薯，而且解决了脱毒复壮问题，从而可以大幅度提高产量和产品质量。

我国应用组织和细胞培养技术建立的试管苗工厂与国外同类企业相比起步晚，规模小。目前尽管面向国际出口的产品还很少。同时还存在资金、管理、市场开发等诸多问题，但这一产业的前景和潜力都是毋庸置疑的。

细胞在体外培养过程中还可以人工诱发突变并在一定的逆境条件下进行选择，有目的地选育具某种抗性的突变体，从而为作物的抗性育种提供宝贵的材料。这方面的研究近 10 多年来取得许多进展，但在重要作物育种上的成功应用还很少。

2. 花药培养

植物花药中含有大量的花粉母细胞 (小孢子母细胞)，这种母细胞通过减数分裂染色体数目减半，产生单倍体花粉 (小孢子)，花粉经过细胞分裂和发育产生精子。花药在离体培养情况下其中的花粉能够再生出完整的植

株。此谓孤雄生殖。现在这一技术在常规的杂交育种中得到有效的利用。把杂种 F1 的花粉拿来培养，由花粉得到的再生植株因为是单倍体的，或者经过人工或自然加倍成为纯合二倍体，它们的表型都反映出其基因型，这样就克服了常规杂交育种中显性掩盖隐性难以有效选择的困难。并且因为都是纯合二倍体后代不再分离。因此利用花药培养技术可以对杂种 F1 后代进行早期选择，从而大大加快育种过程，缩短育种周期。

我国应用花培技术与常规杂交育种相结合，在“七五”和“八五”期间已经育成许多水稻、小麦和油菜新品种，在生产上发挥了重要作用，取得了显著经济和社会效益。

我国水稻和小麦花培技术在育种中的应用在国际上处于领先地位，但是从全国看迄今的成就还仅仅是开始，未来的发展潜力是很大的。

我国玉米增产的一个重要措施是利用杂种优势。选配优良的杂交组合必须有理想的自交系。传统的技术培养一个自交系（纯系）要花费 4—6 年的时间，且往往难以保证其纯合性。利用花药培养技术可以更快地得到更纯的自交系。我国利用花培技术已获得大量不同的自交系，在杂交组合的配制上发挥了一定作用。但是迄今用花培技术获得的优良自交系还不多，应用面也不够广，还有很大潜力。

3. 原生质体培养与体细胞杂交

脱去细胞壁的植物细胞称为原生质体。原生质体培养技术有各种用途。其一是可进行体细胞杂交。改良植物遗传基础的一个重要途径是远缘杂交。但由于生殖隔离机制远缘植物间的有性杂交难以成功。但是远缘植物的原生质体在体外培养中很容易融合，从而可以实现体细胞杂交。迄今通过这种体细胞杂交获得的远缘杂种在生产上的应用还处于探索阶段。由于体细胞杂交的目的是利用远缘植物的基因改良受体植物，所以获得不对称杂种（即受体细胞和供体细胞的部分遗传结构融合的杂种）是重要的，这方面的技术正在研究中。原生质体培养的另一途径是便于引入外源有用基因，实现植物基因工程的操作，以获得转基因植物。

4. 染色体工程

应用染色体工程改良作物已有很长的研究历史，对小麦改良取得的成果最显著。因为小麦和许多亲缘植物（黑麦、偃麦草、山羊草、簇毛麦等）容易杂交，从而把单倍的染色体组带给小麦，在这样的杂种和小麦回交的后代中可以得到附加一对异源染色体的材料，称之为异附加系。附加到小麦细胞中的异源染色体如果带有改良小麦所需要的有用基因，那么通过自然易位或人工诱发易位可以把带有该基因的异源染色体片段整合到小麦染色体上。这样的材料称为易位系。染色体工程就是通过这样的技术路线实现用远缘植物（不同种属的亲缘植物）的有用基因改良小麦。

我国的染色体工程研究起步较晚，但发展很快，迄今已育成一些高产、多抗和品质好的小麦新品种，有些品种推广面积很大，取得了明显的经济和社会效益。

5. 基因工程

这是潜力最大，用途最广，难度也最大的技术。应用这种技术可以把任何外源基因转移给要改良的作物。其基本过程是获得体外纯化的目的基因，把它组装到一定的载体上（通常用的是称作质粒的环状 DNA），然后采用一定技术（通过与根瘤农杆菌共培养，PEG 介导、电击法、基因枪法等）把带

有目的基因的载体导入原生质体、细胞或组织，培养转化的细胞进行筛选，使之再生完整植株。对所得的工程植株进行分析鉴定并筛选出稳定的株系。目前在抗除草剂、抗病毒和抗虫的基因工程植物的研究方面进展较快，在番茄、大豆、油菜、烟草、苜蓿和棉花等作物上已有一些成功的报道。国内在利用苏云金杆菌 (*Bacillus thuringensis*, BT) 毒蛋白基因转化玉米、棉花方面取得初步成功。正围绕生产应用开展进一步的工作。

通过基因工程改良作物遗传基础的难点主要是：

(1) 对改良主要作物可用的目的基因现在还很少，这是制约作物基因工程的重要因素。

(2) 目的基因在转化植物中的稳定表达，特别是遗传的稳定性还需进行深入研究。关于目的基因在受体细胞染色体上的整合过程和机理现在还几乎完全不清楚。

(3) 作物的大多数经济性状都是由多基因决定的，目前对这类性状的主效基因的识别、分离和纯化还要开展许多基础研究。

我国在基因工程的研究与技术开发上与发达国家相比还有相当大的差距。

三、关于发挥生物技术 在作物增产中的作用的意见

从上述可见各种生物技术对作物的增产具有十分重要的作用。这些技术有的已经成熟，有的接近成熟，有的还要做许多基础性和探索性的研究。面对这种状况应该采取什么战略让生物技术在我国作物增产中发挥应有的作用，这是关系到农业增长方式由粗放型向集约型转变的大问题。下面就此问题谈一些粗浅意见：

1. 让成熟的生物技术尽快应用于生产，转化为生产力。植物组织细胞培养技术已经在果树、蔬菜和各种花卉的生产中开始应用，但范围不大，数量不多。如何更快地发展这类产业要解决的问题很多。首先应鼓励创办农业生物技术企业，从税收、信贷等政策上给以优惠。因地制宜选好生产品种。例如在马铃薯产区生产脱毒的试管苗或微种薯，尽快使我国马铃薯无毒化。应用快繁技术生产优良果树品种的苗木，大幅度提高我国水果的产量和质量。

2. 大力推广粮食作物（水稻、小麦等）的花粉单倍体育种，使花培技术与常规育种相结合，以不断培育稻麦等粮食作物的高产、优质、抗逆新品种，以保证加快实施“种子工程”和品种的及时更新换代。为此，国家和省市均应加大投入。支持从事花培研究的科技人员和常规育种的农业科技人员互相结合，使我国育种工作提高到一个新水平。

3. 小麦染色体工程育种已证明是一条投资少、效益大的育种途径。应用这一技术不仅已经育出适于不同地区的高产、抗病和优质新品种，而且 15 年来按国家的攻关已经建立了大批双二倍体、异源八倍体、异附加系、异代换系和易位系等工程材料。为培育适于各地区的优异新品种奠定了坚实基础。因此建议国家和有关省区应把染色体工程育种作为小麦增产的重要途径给以大力支持。

4. 水稻杂交优势利用是我国水稻增产的重要措施。由于水稻等自花授粉植物去雄和人工授粉比较困难。因此必须有不育系、恢复系和保持系三系配套才能在生产上利用杂种优势。我国水稻最早用三系法实现了杂种优势利

用，走在国际前面。近些年又利用光敏核不育等材料实现了用两系法生产杂交稻，简便了制种程序。水稻杂种优势利用明显提高了稻米产量，在我国南方地区得到大面积推广。但用两系法生产杂交种仍然比较麻烦。所以现在正探索更简便的一系法。即试图固定杂种优势。为此许多单位正在探索开发无融合生殖技术。此外，我想也可探索应用生物技术解决这一问题。即用杂种F1进行茎尖培养无性扩繁。按体细胞胚胎发生途径不经过愈伤组织再生新的小植株（杂交稻幼苗）。这种植株未经过减数分裂，理论上应可保持杂种优势。这一制种路线也许成本要高些。但它适于工厂化生产，可以逐步探索降低成本。我认为这样生产杂交稻苗或人工种子，是一条值得探索的道路。

5. 用 BT 基因转化玉米防治玉米虫害是一条用基因工程改良玉米遗传基础，解决抗虫问题的重要途径。现在许多单位在开展此项研究。我们吉林省是玉米大省，也已把此项研究列入计划，并正在开展研究。这是我国用基因工程改良粮食作物的一项重要实验。它很有典型意义，从中可以总结一些重要经验。例如转化玉米后代的稳定遗传问题的解决将会为粮食作物的基因工程育种提供可以借鉴的经验。

6. 近 10 多年来我国在植物基因工程的应用基础研究方面取得很多进展，在受体植物的原生质体和细胞培养再生植株技术上取得很大成绩，特别是在禾本科和豆科植物方面接连取得突破。其次在把异源基因导入受体植物使之整合表达方面也开展了大量研究。总地看在这些方面已达国际水平。但是我国在有经济价值的目的基因的分离、纯化和克隆方面却成就甚微，和国外相比有很大差距。因此建议为建立我国植物基因工程的根基，应重视基因工程的基础材料建设。特别是有重要价值的目的基因的分离、克隆与保存。这样才有可能使我国的植物基因工程在培养作物新品种方面更快发挥实际作用。此项工作应该步子大些，加强投资力度。以便使我国的农业基因工程走上国际前列。

艾滋病（AIDS）和艾滋病毒的 现状及研究进展

曾 毅

中国预防医学科学院

曾 毅 肿瘤病毒学家，1929年3月8日生，广东揭西人，1952年毕业于上海第一医学院。历任中国医学科学院病毒学研究所研究员，副所长，所长，中国预防医学科学院副院长，院长，世界卫生组织全球卫生研究顾问委员会委员、肿瘤专家顾问委员会委员，国务院学位评审委员会成员，中华预防医学会副会长。1993年当选中国科学院院士，主要从事肿瘤病毒及艾滋病研究。

一、艾滋病流行趋势

1. 流行趋势

从1981年发现艾滋病，随后在世界各地迅速蔓延，病例数不断增加，而且来势十分凶猛，特别是在非洲和东南亚各国更为严重。由于到目前为止仍无有效的预防疫苗和根治艾滋病的药物，这将加速艾滋病的流行。根据1996年7月1日联合国艾滋病项目报告，截至1996年6月30日。

表 1 1996 年 7 月 1 日前全球 HIV/AIDS 情况

活着的 HIV/AIDS	成年人	21,000,000
	男	12,200,000
	女	8,800,000
	儿童	800,000
	总数	21,800,000
1995 年死于 AIDS 者	成年人	1,000,000
	男	600,000
	女	600,000
	儿童	300,000
	总数	1,300,000
累计 HIV 感染者	成年人	25,500,000
	男	14,900,000
	女	10,500,000
	儿童	2,400,000
	总数	27,900,000
累计 AIDS 病例	成年人	6,100,000
	男	3,500,000
	女	2,600,000
	儿童	1,600,000
	总数	7,700,000
累计 HIV/AIDS 死亡 病例	成年人	4,500,000
	男	2,600,000
	女	1,900,000
	儿童 1,300,000	
	总数	5,800,000

引自 UNAIDS 和 WHO1996 年 7 月 1 日

从 1970 年至 1996 年 6 月 30 日全球报告 AIDS 数目为 1,393,649 例，其中各洲比例为：美洲（不包括美国）占 13%，美国占 37%，欧洲占 12%，非洲占 36%，亚洲占 2%，大洋洲占 < 1%。但据统计 AIDS 病例达 7,700,000，比实际高 5.5 倍，即美洲占 6%，美国占 7%，欧洲占 3%，非洲 77%，亚洲占 7%，大洋洲 < 1%。其中非洲由报告病例占 36%，上升至 77%，亚洲由 2% 上升至 7%。

从 1970 年至 1996 年 6 月 30 日估计，全球 HIV 感染者达 27,000,000 例。其分布为北美 1,200,000 例，加勒比地区 330,000 例，拉丁美洲 1,600,000 例，西欧 640,000 例，北非和中东 220,000 例，撒哈拉南 19,000,000 例，东欧和中亚 31,000 例，东亚和太平洋地区 36,000 例，南亚和东南亚 5,000,000 例，澳大利亚 23,000 例。其中撒哈拉南地区及南亚和东南亚共有 18,800,000 例，占 86%。

从 1970 年至 1996 年 6 月 30 日，估计全球仍活着 HIV/AIDS 者，总计 21,800,000 例。其分布为北美 780,000 例，加勒比地区 270,000 例，拉丁美洲 1,300,000 例。西欧 470,000 例，北非和中东 200,000 例，撒哈拉南 14,000,000，东欧和中亚 30,000 例，东亚和太平洋地区 35,000 例，南

亚和东南亚 4,800,000 例, 澳大利亚 13,000 例。其中撒哈拉南地区及南亚和东南亚共有 18,800,000 例, 占 86%。

各地区成年人 HIV 感染率由低至高依次为: 东亚和太平洋地区 0.01%, 东欧和中亚 0.02%, 澳大利亚 0.1%, 北非和中东 0.1%, 西欧 0.2%, 南亚和东南亚 0.5%, 北美 0.5%, 拉丁美洲 0.5%, 加勒比地区 1.4%, 撒哈拉南 5.1%。

全球估计仍活着的 HIV 感染者 21,800,000 例, 按地区的百分比为: 非洲占 63%, 南亚和东南亚占 23%, 二者占 86%, 拉丁美洲占 6%, 北美占 3.7%, 西欧占 2.2%, 加勒比地区占 1.3%, 北非和中东占 0.9%, 东亚和太平洋地区占 0.2%, 东欧和中亚占 0.1%, 澳大利亚占 0.1%。

上述资料表明, 在非洲和亚洲累计的 HIV/AIDS 感染者和艾滋病人分别占 86% 和 84%。由此可见艾滋病人在这二个地区流行的严重性, 特别是到目前为止, 流行趋势仍在不断恶化。在泰国新兵 (21 岁) 的 HIV 感染率为 3.5%, 而泰国新来地区新兵的 HIV 阳性率竟高达 20%, 孕妇为 8%。

艾滋病毒传入我国较早, 我们从 1984 年开始在我国进行血清学检测, 发现 19 例血友病病人在 1984 年应用了美国 Amour 公司的 因子, 其中 4 人 HIV-1 抗体阳性, 他们用的是同一批 因子, 即应用了这批 因子的病人, 全部感染了 HIV-1。这表明 HIV-1 于 1984 年已传入我国。根据卫生部疾病控制司发布的截至 1984 年底的资料。HIV 感染者和艾滋病人总计 1774 例, 其中艾滋病人 65 例, 中国人 54 例、外国人 9 例和华侨 21 例。病例逐年增加, 特别是 1989 年发现云南边境地区 140 例静脉嗜毒者感染了 HIV-1, 1994 年与往年比较增加较多达 531 例, 其中艾滋病人 29 例, 26 例为我国公民。1985 年至 1994 年我国共筛选了 4,202,104 人, HIV-1 抗体阳性者 1774 例, 其中艾滋病人 65 例。以嗜毒者最多 1132 例 (34 例为艾滋病人), 占全部抗体阳性者的 63.8%, 其次为回国的中国人 151 例 (艾滋病人 7 例), 再其次为囚犯和华侨, 分别有 42 和 41 例。外国人抗体阳性者 288 例 (9 例艾滋病人), 检出率高达 16.2%。有意义的是检测了 108752 名妓女, 仅 12 例 (1 例艾滋病) HIV-1 抗体阳性占全部抗体阳性者的 0.68%, 嫖客 64491 人, 仅 5 例 (1 例艾滋病) 阳性。我国自 1978 年对外开放后, 资本主义国家性开放和性混乱的意识和行为带入我国, 暗娼和嫖客不断增加, 虽然他们现在的感染率很低, 但随时间的推移, 他们必将成为我国艾滋病感染和流行的重要因素。HIV-1 感染者和艾滋病人的地理分布以云南最多 1426 例, 占 80.3%, 以嗜毒者为主, 其次为广东 112 例 (5 例艾滋病)、北京 82 例 (11 例艾滋病)、上海 50 例 (1 例艾滋病)、和福建 24 例 (4 例艾滋病)。我国政府最近公布截止 1996 年 11 月 30 日, 全国艾滋病毒感染者已上升至 5157 例, 其中艾滋病人 133 例。估计我国艾滋病毒感染者可能已达 50,000-100,000 例。

从地理分布来看, 我国 HIV-1 的主要传染来源是: 1. 由泰国、印度、缅甸传入我国云南南方边境; 2. 由泰国传至广东、福建等; 3. 由非洲传入, 我国去非洲的劳务人员较多, 少数人通过性生活被 HIV-1 感染, 然后带入国内; 4. 其他来源传至各大城市, 如北京、上海等。HIV-1 最初及继续从外国传入, 但国内的 HIV-1 感染者已在国内散播, 将他们的 HIV-1 病毒通过性生活、输血等传给他人, 如在云南静脉嗜毒者已将他们的 HIV 病毒传给他们的妻子, 在 1990 年他们妻子的 HIV-1 感染率为 3%, 1992 年已上升至 9%。一些妓女感染了 HIV, 也将病毒传给嫖客。在云南静脉嗜毒者之间仍在继续传播。此

外，在供血者中已发现 HIV 抗体阳性者。随着艾滋病在我邻国的不断扩大流行，我国也不会例外，感染还将继续增加。目前仍是有利的时机，应尽早尽快地采取有力措施，以降低艾滋病的流行趋势。

2. 传播途径

已从血液、精液、阴道分泌液、眼泪、乳汁等分离到 HIV 病毒，但流行病学调查证明血液、精液和阴道分泌液能传播 HIV。已证明的传播途径有：

(1) 性传播。男性同性恋者之间及异性之间的性交，可从男性传给男性或女性，也可以从女性给男性，但从女性传给男性的机率较从男性传给女性低。为什么男性同性恋者中传播较严重？因为男性同性恋者的性生活较混乱，其性伴侣往往较多，可达数十人到数百人，这样 HIV 传播的机会就很大。带 HIV 者的精液中有大量病毒，每毫升精液可含 10^6 病毒，从解剖学上分析，肛门粘膜的上皮细胞为单层，易受损伤，病毒容易侵入。男同性恋者在艾滋病流行初期起了很不好的作用，极大地促进了艾滋病的流行。由于广泛宣传教育，在发达国家同性恋男人采取安全性行为的结果，男人之间性交传播已减至少数。异性间的传播已成为十分严重的问题，特别是在非洲和东南亚已成为主要的传播途径，据估计现在约占 75%，到 2000 年全球经性传播者将高达 90%。如果生殖器官有性病、溃疡等可以显著提高感染率。HIV 病毒的感染与毒株也有关，在巨噬细胞和郎格罕细胞繁殖较好的 E 亚型病毒较 B 亚型病毒容易经女性阴道传播，因此，预测到 2000 年 E 亚型和 C 亚型感染将显著增加。

(2) 血液传播。通过输血、血液制品或没消毒好的注射器传播 HIV-1。在流行初期很多通过血液制品感染，如血友病人用的 VIII 因子是由上千人的血浆混合制成，HIV-1 存在的机会较多，制备的方法又不能灭活 HIV-1，因此，很多血友病病人通过 VIII 因子而感染了 HIV-1。我国最早发现的 4 例 HIV-1 感染者，是由美国 Amour 公司生产的同一批 VIII 因子的于 1984 年感染的。血液是 HIV-1 的重要传染源，我国也已发现供血者有 HIV-1 阳性的。一些欧美国家较早期已将供血者的血液检测规定为法定项目，以避免将带 HIV 病毒的血液输给他人。现在大多数国家，包括我国已明文规定血液应经过 HIV-1 和 HIV-2 检测。制备 VIII 因子的方法也有改进，制备过程已将 HIV 灭活，即使原血液中有 HIV，由于已灭活，不成为危险的产品。

静脉嗜毒者极易感染，共用不经消毒的注射器和针头是重要的传播途径。传染的危险性与注射器使用的次数和时间长短有关。虽然多数报告是应用了海洛因注射而感染的，但也有应用可卡因或其它药物引起的。在我国云南边境静脉嗜毒者的感染者率可达 60% 以上，在东欧和俄罗斯的酒店也出现过因注射器消毒不好而传播 HIV-1 的。

(3) 母婴传播。HIV 可在胎儿期或围产期感染。由 HIV 感染者传播给婴儿的感染率在亚洲为 16%、美洲 25%、非洲 28%、非洲 40%。多数感染发生在怀孕的后三个月或产期。12% 的婴儿可经 HIV-1 感染母亲的乳汁传播，带高滴度病毒和 CD4 细胞数低的母亲容易将 HIV-1 传播给婴儿。

对照顾艾滋病人的医务工作者进行多年观察，证明他们被病人感染的机率是非常低的。有文献报告外科医生、护士及 HIV 实验室工作者被 HIV 感染的例子。他们是被 HIV 污染的针头、器械、或血液感染的。对艾滋病感染者和艾滋病人家属的调查研究表明，偶然接触唾液或眼泪不会被感染。一般的社交接触，包括握手、食物、水、空气、宾馆、礼节性接吻或昆虫（蚊子等）

叮咬是不会传染 HIV 的。有一些人对这些接触存在着恐怖情绪，这是没有必要的。

二、艾滋病毒

1. 病毒分类和形态结构

根据艾滋病毒的形态、基因结构、核酸序列分析，此病毒属慢病毒亚型（Lentivirus）。灵长类的逆转录病毒（人免疫缺陷病毒，猴免疫缺陷病毒）的特点是嗜 CD4T 淋巴细胞，而有蹄动物的慢病毒则无此特征。

成熟的病毒直径为 100-120nm，圆形，电镜下可见一密致的圆锥状蛋白的核心，内有病毒 RNA 分子和酶（逆转录酶、整合酶和蛋白酶），其外层有包膜，此为二层磷脂蛋白的膜，膜上为突起插入，约有 80 个突起，突起是由外部的糖蛋白 gp120 组成，它与跨膜蛋白 gp41 非共价连结。

艾滋病毒是在淋巴细胞浆膜表面上或在巨噬细胞的内胞浆空泡膜上组装成的。gag 蛋白是病毒芽生所必需的，但随后病毒的形态发生过程需要前驱蛋白 gp160，进一步切割成 gp120 和 gp41。

病毒的包膜内面为蛋白 P17/P18 构成的核壳。核壳内为蛋白 P24 包裹着核蛋白。核蛋白由 2 条 RNA 分子（35S）和 P6 及 P7 构成的。病毒 2 条 RNA 在 5 端相连，因此病毒的 RNA 为 70S。在 RNA 上有逆转录酶（P66）。

2. 病毒基因结构和复制

艾滋病毒有 HIV-1 和 HIV-2。HIV-1 的基因组长度为 9.3kb，HIV-2 为 9.7kb 左右。基因组的二侧有一个长末端重复序列（LTR），3 个结构基因（gag、pol、env）和只有 6 个调控基因（tat、rev、nef、vif、vpr、vpx）。

（1）病毒的复制

病毒吸附在细胞表面需病毒的包膜蛋白 gp120 及细胞表面的 CD4 受体。病毒穿入细胞，通常是由细胞浆膜与病毒的包膜融合而成的。感染的单位可以是病毒颗粒，也可以是单个感染细胞。在感染过程中，在感染病毒的细胞表面有病毒的糖蛋白，此糖蛋白参与病毒的芽生和感染细胞与感染细胞或非感染细胞的融合。病毒经细胞至细胞的传播需要将病毒的 RNA 转变成 DNA，用 AZT 抑制这种转变过程，也就抑制了病毒经细胞至细胞的传播。

逆转录. 逆转录过程是发生在细胞浆内。逆转录酶将病毒 RNA 拷贝成 DNA，核糖核酸酶 H 使病毒 RNA 拷贝成 DNA 后降解。有效地将 RNA 转变成全长的双链 DNA 需要细胞因子参与。所形成的 DNA 称前病毒（Provirus）。

整合. 在急性感染过程产生大量非整合的病毒 DNA，可以是线型的或环型的 DNA。DNA 在细胞浆合成后转运到细胞核内与宿主细胞 DNA 整合。病毒的整合过程是由病毒整合酶完成的，整合的位置是任意的，非固定位置。病毒 DNA 整合需要细胞的激活和分裂。整合是病毒基因表达所必需的。

转录. LTR 有启动子和增强子，此外，LTR 还有负调控区，位于增强子的 5 端。LTR 对很多宿主的细胞因子也起反应。宿主细胞的蛋白可直接作用于 HIV-1LTR，这些蛋白包括 SP1、NF- κ B 及 T 细胞的激活因子，如 phorbol ester、或植物凝集素等。

tat 系统-病毒转录的调控。tat 蛋白是从病毒 LTR 来的转录和病毒的感染性所必需的。tat 有 2 个外显子，一个在 vif 和 env 基因之间，另一个位于 env3 端。tat 蛋白 P14 是由二个分割的 mRNA 合成的。多数 tat 蛋白在细胞核内。HIV-2 的 LTR 能很好地被 HIV-1tat 所激活，但 HIV-2 的 tat 对

HIV-1LTR 的作用不强。与 tat 蛋白结合的序列称 TAR。tat 能与细胞来源的转录激活物如 NFK-B 和 SP1 起协同作用，促进转录的起始和延长转录物。

REV 系统一调节 mRNA 过程。Rev 基因与 Tat 基因是在同一区的，但其开放阅读框架不同。它是病毒复制的重要基因，控制 RNA 的切割和转运。HIV-2 和 SIV 也有此相应的 rev 基因，但其序列有差异。HIV env 基因上有序列，称 Rev 反应子 (RevResponsive element, RRE)，是 Rev 结合的部位，没有 Rev gag 和 env 不能表达。

Rev 系统在急性感染时促进病毒颗粒产生的同步化，在慢性感染时推迟病毒结构蛋白的表达，这有利于病毒在免疫系统作用下维持感染的存在。

(2) 病毒的蛋白和功能

表 2 总结了病毒蛋白和种类、功能、位置及比较了 HIV-1 和 HIV-2。

3. 病毒遗传和变异

表 2 HIV 蛋白的功能和位置

基因	功能	位置	HIV-1	HIV-2
gag	前驱		p55	
	基质	病毒粒子	p17	P18p16
	壳	病毒粒子：核	p24	p25p26
	核壳	病毒粒子：RNA	p9	
	不明	病毒粒子	p6	
pol	蛋白酶	病毒粒子	p10	
	逆转录酶		p66	
	(有 RnaseH)			
	逆转录酶		p51	
	整合酶		p34	p34
env	前驱		gp160	gp140
	包膜表面糖蛋白	病毒粒子：表面	gp120	gp125
		跨膜蛋白	gp41	gp36
vif	不明	感染细胞	p23	
vpr	不明	病毒粒子		
vpx	不明	病毒粒子	未发现	
tat	转录	感染细胞	p14	
	反式激活	核内		
rev	控制 RNA 的切割和运转		p19	
vpu	控制 CD4-env 的相互作用	感染细胞：表面	p15	
nef	调节 CD4 在表面表达	感染细胞：膜	p27	

HIV 很大的特点是有高度的遗传变异性，变异最大的是外层包膜的糖蛋白，其核酸序列的差异可达 30%，而 gag 和 pol 基因是比较保守的。gp120 有 5 个保守区 C1-C5，以及有 5 个可变区 V1-V5，V3 区的保守核苷酸序列少于 30%，它的改变影响病毒对细胞的亲和性和 gp120 的抗原性，V3 区与产生中和抗体有关。这种变异是由于核酸序列的变异即单个碱基的改变或序列的缺失和重复。突变是在复制过程中发生的，病毒的逆转录酶和细胞的聚合酶

都不能去除错误的核苷酸碱基对，病毒复制越多，突变也就越多。此外，突变发生是由于在免疫压力下选择的结果，这有利于病毒逃避机体抗病毒的免疫反应。

4. 病毒亚型

HIV - 1 的亚型，是根据 HIV-1 的 env 和 gag 的变异，目前将 HIV-1 分为 11 个亚型，即 A-J10 个亚型和 O 亚型。在非洲主要流行的是 A、C、D 和 E 亚型。在刚开始流行的地区如印度与最初在非洲发现的一样，为 A、C 和 E 亚型。在泰国特别是曼谷最初是 B 亚型，在泰国的北部主要是经性传播的 E 亚型。静脉嗜毒者主要是 B 亚型，预测在泰国 E 型将成为主要流行亚型。全球到 2000 年将以 C 和 E 亚型为主。在我国 1990-1993 年云南静脉嗜毒者主要为 B 亚型。1994-1995 年从静脉嗜毒者中已发现 20%-30% 为 C 亚型。有几例静脉嗜毒者有 B 和 C 亚型的双重感染。O 亚型是从喀麦隆分离到的，在加蓬和法国也分离到，但很少，其它国家未出现。

5. 融合 (SI) 与非融合变异毒株 (NSI)

根据 HIV-1 在人体外培养的特性可以分为慢-低毒株和快-高毒株。从艾滋病病人分离的毒株多为快-高毒株，即病毒繁殖快、逆转录酶活性高，能在传代的 T 肿瘤细胞复制，有致细胞病变作用，形成融合细胞。从无症状 HIV 感染者分离的毒株多是慢-低毒株，即繁殖慢，逆转录酶活性低，在传代 T 肿瘤细胞复制能力小，仅有一半的慢-低毒株能引起细胞融合。融合变异毒株出现后，疾病进程加快。HIV env 基因突变可使病毒从非融合型变成融合型，如 V3 氨基酸序列顶端的 11、24、25 和 32 氨基酸被取代后会从非融合型变成融合型。

6. 病毒的细胞嗜性和宿主范围

CD4 存在于很多 T 辅助细胞、单核巨噬细胞和一些其他细胞，如郎格罕细胞和树突状细胞等，CD4 是 HIV 吸附在细胞表面的受体。现在了解到除了 CD4 受体外，还需要辅助受体，嗜巨噬细胞的病毒（嗜 M 病毒）需要 CCR-5 辅助受体，嗜 T 淋巴细胞的病毒（嗜 T 病毒）要 fusin (XCR₄) 辅助受体。CCR-5 是 CD4 和 CD8 细胞分泌的化学促因子 MIP-1 和 MIP-2 的受体。在一些难于测出 CD4 蛋白及其 RNA 的细胞，如内皮细胞、神经胶质细胞、结肠细胞也能被 HIV 感染，因此，认为可能存在另外的受体或病毒进入机制。

HIV-1 和 HIV-2 的宿主范围很小。仅猩猩和长臂猿能被 HIV 感染，但主要的实验是用猩猩做的，用长臂猿做实验的不多。将感染 HIV 的细胞，或无细胞是流感染猩猩，或将感染猩猩的血液输给另外的猩猩都能感染成功，在连续 8 个月中很容易从感染猩猩分离到病毒，3-5 周可查到抗体，但不论是猩猩和长臂猿都不发生疾病。

7. 病毒的理化特性。

HIV 对 PH 敏感，PH2 能完全灭活病毒，但 HIV 耐碱，PH9 时，病毒滴度下降不多。60 30 分钟，可灭活 6 个对数的病毒；在室温（23-27℃）液体环境中病毒可存活 15 天以上。HIV 在干燥情况下，在数小时内病毒下降 90% -99%。

HIV 对消毒剂和去污剂等化学因素很敏感。50%-70%酒精、2%福马林、5%石炭酸、1%来苏尔、0.1%家用漂白粉、0.1%戊二醛、0.3%H₂O₂、0.25%丙内脂、0.1%次氯酸钠、1%NP-40 和 0.2%TritonX100 均可灭活病毒。标本经丙酮或甲醛处理，可使标本中的病毒灭活。

三、艾滋病的发病机理

HIV 通过血液或生殖器官感染进入人体，认为单核-巨噬细胞系统，包括郎格罕细胞和树突细胞等可能是最早被感染的细胞。病毒繁殖后再侵入到其它细胞，特别是 CD4T 淋巴细胞。从输血感染者观察到疾病发展的过程，HIV 感染后出现急性期，然后产生细胞免疫和特异性抗体。这一般为感染后 2-3 周至半年，甚至有的用 PCR 可以查到微量病毒，但没有抗体产生。从感染后无症状至发病，7-8 年间约 50% 发病。但有少数达 16 年以上仍未发病。婴儿从母亲感染后，潜伏期较短，而且多数在 5 年内死亡。

HIV 是通过多种途径破坏 CD4 淋巴细胞。HIV 感染 CD4T 淋巴细胞，在淋巴细胞内大量增殖、产生和释放从而破坏细胞；HIV 的 gp120 和细胞 CD4 受体结合，使淋巴细胞融合成多核巨细胞，从而破坏淋巴细胞；HIV 感染细胞，可与感染细胞或未感染细胞而融合，从而更大量地破坏细胞，特异性的 T8 细胞能识别感染细胞膜上的 gp120 和游离的 gp120 可以与 HIV 感染的 CD4 细胞，也可以与未感染的 CD4 细胞结合，这就成为 T8 细胞的攻击靶细胞，从而破坏 CD4 细胞；依赖抗体的细胞毒性反应也可以破坏 CD4 细胞，由此引起细胞免疫的缺损。

HIV 感染机体后，机体最先产生的免疫反应是特异的细胞免疫反应，它能清除大部分带 HIV 的细胞，随后出现特异性 HIV 中和抗体，进一步清除最早侵入机体的主要病毒。在感染病毒中可能已存在少数变异毒株，或在细胞免疫和特异抗体免疫压力下产生新的变异株。这些变异株可由原来融合毒株，而突变成非融合毒株，长期潜伏在体内。在较长的潜伏期中（1-16 年或更长），病毒仍在不断的发生变异，病毒可由非融合型变为融合型，这种改变与疾病的进程有关。

过去认为 HIV 感染后出现潜伏期，即在此期病毒处于静止状态。由于检测病毒的方法敏感性提高，即应用测定病毒 RNA 拷贝的方法，发现在潜伏期，机体仍每天产生大量的病毒，高达 10 亿病毒颗粒，破坏很多 CD4 细胞，机体也产生大量的 CD4 细胞以达到平衡状态。在急性感染后所检测到的 RNA 拷贝数，可以预测疾病的进程，即拷贝数高者容易发展成为艾滋病。

融合与非融合变异毒株及其与疾病进展的关系

一般从 HIV-1 感染者分离不到引起细胞融合的毒株（Syn-cytium Inducing, SI），而主要的是非细胞融合毒株（Non Syn-cytium Inducing, NSI），他们的无症状期是较长的，CD4 细胞总数的下降也较慢的。一些病人在感染后的过程中出现了 S1 毒株，因此，从艾滋病人较容易分离到 S1 毒株，此毒株为快-高毒株，即繁殖快和逆转录酶活性高。但是艾滋病人所有的病毒不是一个纯的高毒力的群体，而是带有各种变异毒株，包括毒力小的毒株，当艾滋病人的 HIV-1 病毒感染了正常人后，病毒在感染者体内复制，在病毒的刺激下，机体首先出现了特异性细胞免疫，随后出现特异性中和抗体等，可以去除高毒力的 S1 病毒，在此免疫压力下少数 NS1 毒株留下，或突变成 NS1 毒株。

艾滋病毒的表现型与艾滋病的疾病进展有关。Koot 等报告 188 例 HIV-1 抗体阳性者，30 个月后，70.8% 带 S1 毒株者发展成为艾滋病人，而对照组无 S1 毒株者，发展成为艾滋病的仅占 15.8%。在最初检测到有 S1 毒株者，其 CD4T 细胞下降速度较快，较带 NS1 毒者高 3.7 倍。其中有 22 人由原来的

NS1 毒株变为 S1 毒株。NS1 或 S1 毒株的存在与疾病过程有关，感染了 S1 病毒，在抗体阳转后往往查不到 S1 毒株，所查到的是嗜巨噬细胞的 NS1 毒株，但 NS1 毒株的遗传型还是与原来的 S1 同源。这可能是变异毒株更能选择性地穿透宿主的粘膜屏障，这种病毒是嗜巨噬细胞的，如上述 HIV-1E 亚型是较 B 亚型容易穿透宿主的粘膜，并在巨噬细胞或抗原递呈细胞繁殖。S1 毒株出现后疾病加快，这是由于两种病毒的特性所决定的，即他们的嗜细胞特性不同以及 S1 毒株复制很快。不是所有发展到艾滋病的病人都是带 S1 毒株的，也有一些艾滋病人是带有 NS1 毒株，虽然其复制速度不如 S1 毒株，但其复制速度是较快的。从病人连续分离的毒株比较，CD4 细胞的下降与病毒的复制速度呈正相关。

四、临床表现

随着 CD4 细胞的下降，机体的免疫力也下降，艾滋病的主要临床特征是发生条件性感染和肿瘤。这包括：1.肺部感染，常见的有卡氏肺包虫肺炎、弓形体、结核、巨细胞病毒肺炎等；2.肠炎，包括由巨细胞病毒、隐孢子虫、结核性肠炎；3.脑部病变，由 HIV、寄生虫、细菌或病毒相引起，出现痴呆、脑萎缩等。常见的肿瘤有 Kaposi 肉瘤、淋巴瘤等。在疾病发展过程中 CD4T 淋巴细胞数继续下降，T8 细胞逐步被不正常的 T8 细胞所取代。病人血液中的炎症细胞因子（IL-16，TNF-X）水平高，此可与衰竭征有关。

五、治疗

目前较有希望的是给孕妇在怀孕的后三个月开始应用 AZT 治疗，可以降低母婴传播率 70%。总的说来，目前尚无很有效的药物治疗艾滋病人。

叠氮脱氧胸苷（Zidovudine，AZT）能很有效地抑制 HIV 敏感株的复制。使血浆中的病毒 RNA 拷贝数迅速下降，但容易发生抗药性。分析 AZT 敏感病毒及抗药毒株的 RT 核酸序列，观察其变异发生的情况，抗 AZT 毒株的突变发生在 RT 基因 5 处，即氨基酸位置为 41、67、70、215、219，此为表现型的突变。无症状者经治疗后，突变的出现是有一定次序的，首先出现在密码子 70，但这是暂时的，然后为密码子 215，随后变异在密码子 41。在继续治疗后，又出现密码子 70 的突变，并有 67 和 219 处的突变，此为抗 AZT 毒株序列获得的 5 个变异点。AZT 能有效地抑制敏感毒株，抗药毒株能逃脱这种抑制，抗药毒株的出现是选择的结果，而不是由于治疗的结果。突变的依次出现是由于它们在 AZT 存在情况下增加复制的能力。这些是从治疗病人分离的毒株所获得的结果，不知其在没治疗时是否也出现这些突变毒株。因为在整个病毒群体中，突变毒株所占的比例是很少的，但有一研究组从未治疗的艾滋病人中分离到密码子 70 突变的毒株。在终止 AZT 治疗后，从抗药毒株中出现敏感毒株，这可能是一个很慢的过程。这种速度可能与治疗的时间，和病人体内的病毒群体的组成有关。研究工作发现在 AZT 治疗停止后 4-11 个月会出现 AZT 敏感的毒株，这表示在病毒群体中还有敏感的毒株存在。广泛研究了这种抗药毒株发生的机制，在体外对逆转录酶进行分析，敏感毒株和抗药毒株对三磷酸 AZT 是一样敏感的，虽然作了不少工作，但对其作用机制尚不清楚。

交叉抗药性，即对一种药有抗药性，对其它药也有抗药性，如病人接受了 ddI 治疗后密码子 74 突变能产生对 ddC 的抗药。相反的，有的病人用 AZT

治 12 个月后，HIV-1 产生一定的抗药性，当换成 DDI 后，发现一年内分离的病毒对 DDI 的敏感性下降，但对 AZT 的敏感性却增加。AZT 引起的抗药性突变在密码子 215，此突变株存在于 ddi 抗药病毒群体中，但对 AZT 的抗药性较小，ddi 引起的突变密码子 74，它的出现抑制了 215 突变的作用，因此提高病毒对 AZT 敏感性。在体外在氨基酸 69 位置上，蛋氨酸取代了天冬氨酸引起对 d4T (dideoxythymidine, stavudine) 的抗药性，也对 ddi 和 ddc 有交叉抗药性。

第 2 代抑制逆转录酶的核苷酸类似物，如 3TC (dideoxy thiacytidine, Lamivudine) 和 FTC (deoxyfluorothiacytidine)。在体内和体外已发现密码子 184 处发生突变，即蛋氨酸取代了缬氨酸或亮氨酸，产生对上述二种药物很强的抗药性。这种 3TC 和 FTC 抗药性的出现较其它核苷酸类似物抗药性出现早。3TC 的抗药性对 ddi 和 ddC 有低交叉作用，但对 AZT 则作用。抗 AZT 变异株的 184 蛋氨酸被缬氨酸取代后会恢复病毒对 AZT 的敏感性。

非核苷酸类抗逆转录药物 (Non - nucleoside RT inhibitors, NNRTI)，其作用机制与核苷类似物作用不同，它们与逆转录酶的特殊部位结合而抑制酶的功能。

对 NNRTI 的抗药性在体外或体内发生得很快，它们之间的抗药性有交叉作用。181 位置的半胱氨酸取代酪氨酸，产生对 Nevirapine 和其它 NNRTI 的抗药性。这种突变会恢复逆转录酶对 AZT 的敏感性。已知道一系列的氨基酸取代会引起对 NNRTI 的抗药性。

表 3 对核苷酸类似物和非核苷酸类似物的抗药性的突变位置归纳如下

药物	抗药性突变氨基酸位置
AZT	41, 67, 70, 215, 219
d4t/ddI/ddC	75
ddI/ddc	65, 69, 74
3TC/FTC/ddC/ddI	184
NNRTI	98, 100, 101, 103, 106, 108, 179, 181, 188, 190, 236, 238
能使 AZT 抗药性逆转	74, 100, 181, 184

蛋白酶抑制物

Ro-31-8959 是 HIV-1 和 HIV-2 蛋白酶的高度选择性抑制物。在体外实验，当增加 Ro-31-8959 浓度传代病毒时，发现其出现抗药性，常在蛋白酶的位置 48 处甘氨酸变成缬氨酸，在 90 位置处的亮氨酸变成蛋氨酸。这些位点在 HIV-1, HIV-2 和 SIV 病毒是较保守的。何大-和魏报告应用蛋白抑制剂 ABT-538 治疗艾滋病人，治疗前每立方毫米含 CD4T 淋巴细胞数自 36 至 409 个不等，每毫升血浆含病毒颗粒自 1.55 到 5.4×10^9 不等，治疗后，开始二周病毒量急速下降，这种下降与治疗前的病毒含量无关，下降从 11 到 275 倍，平均为 66 倍，CD4T 淋巴细胞数也明显上升。但治疗 14 天后病毒量不再下降，这是由于抗药毒株出现的结果。病毒的突变出现抗药株是目前治疗的主要问题。

由于现在研究的很多核苷酸类似物和非核苷酸类似物都能有效地抑制 HIV 的逆转录酶。但单个药应用容易产生变异的抗药性毒株，产生 NNRTI 的

抗药性毒株特别快。有的药使用后产生变异病毒，还能使原来的抗药性毒株中出现敏感株，因此，考虑到多种药物的联合使用或序贯使用问题。三种药物联合使用能增加药物的抗病毒活性，避免或减少毒性，预防或延迟抗药性的产生。现在临床上联合使用的有：AZT + ddI 或 ddC，AZT + NNR-TI，AZT + ddI + NNRTI，AZT + ddC + 蛋白抑制剂，AZT + 3TC 等。在选择药物时，要避免产生交叉抗药性，避免联合的有 AZT + ddC，或 Azt + d4T 等。在临床上联合使用可以见到显著效果，如增加抗病毒活性和增加细胞数等。血浆中的病毒 RNA 水平迅速下降，推迟抗药性毒株的出现，有的病人在联合用药治疗后一年仍未复发，为治疗的前景带来一线曙光，看是否能将致死性疾病变为慢性疾病，这是今后继续研究的重要问题。

六、预防

关于 HIV 疫苗的问题，研制出多种疫苗，包括病毒灭活，亚单位、重组等疫苗进行临床，期试验，但未见其效果，有的在疫苗免疫后仍感染 HIV。因此，美国宣布不再投入大量的人力财力进行疫苗研究。由于艾滋病在发展中国家仍在迅速地传播，单靠宣传教育及医疗上的措施，如消毒注射器，血液筛选是不能很快阻止艾滋病毒传播的，安全有效的疫苗广泛使用仍然是控制艾滋病的主要措施，即使现在尚未有有效的疫苗，仍应继续研究。有效疫苗的主要问题是病毒的变异问题。HIV-1 型病毒不单有 11 个亚型，而且同一亚型之间也缺乏明显的保护作用。这就是为什么大多数病人经长期潜伏后仍然发展至艾滋病。是否有可能获得有效的疫苗呢？（1）有 5% 左右的 HIV 感染者没有任何临床症状，能维持正常免疫状态达 10 年以上，称为 HIV 长期生存者。对这些人进行研究，发现其体内的病毒量少，毒力低，生长慢，虽然其 CD4 细胞并没能显示抗 HIV-1 的能力，但其 CD8T 淋巴细胞却有很强的抑制 HIV-1 复制的能力，而且有较高浓度中和 HIV-1 的抗体。（2）在非洲对妓女的追踪观察，发现一些妓女，虽经常与带 HIV-1 者发生性关系，查不到 HIV-1 抗体，也查不到病毒 DNA。但是她们有很强的细胞免疫，CD8 细胞能识别并杀伤 HIV-1 感染的细胞。（3）Essex 实验室报告感染了 HIV—2 型病毒者可能对 HIV-1 型病毒有保护作用。（4）少数儿童在他们出生时感染了 HIV，但后来他们清除了 HIV 病毒。（5）经遗传工程变异的活 SIV 病毒接种于猴子，能保护 SIV 野毒株的攻击。这些资料给人以希望，安全有效的疫苗不是不可能得到的。从现有资料看来特异性的细胞免疫是更为重要的。今后仍应加强疫苗的研究。

最有效的预防措施是广泛进行宣传教育，让广大人群了解艾滋病是如何传播和如何预防。同时应避免医源性的传播，如输血、注射等。性传播将成为主要的传播途径，因此，应严禁娼妓、嫖娼等非法活动。此外还应大力打击贩毒和吸毒等行为。

哺乳动物性别分化的调控

曾溢滔

上海市儿童医院

曾溢滔 医学遗传学专家。1939年5月27日出生。广东顺德人。1965年复旦大学遗传研究所研究生毕业。现任上海市儿童医院上海医学遗传研究所所长、研究员。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事基因工程和基因诊断方面的研究。

一、性别决定基因概念的形成

性别的形成取决于两个过程：性别决定和性别分化。性别决定是指选择向雄性或雌性途径分化的过程。50年代确立了哺乳动物性别决定的两条规则：第一，性腺分化成睾丸或卵巢决定了性别分化的其他方面；第二，Y染色体携带有决定雄性的遗传信息。第一条规则是在Jost及其同事的工作基础上建立起来的。他们在性腺明显发育之前摘除兔胚的生殖嵴（睾丸和卵巢均由生殖嵴发育而来），结果这些胚胎全部分化为雌性。Jost推测睾丸分泌了某些物质使胚胎产生雄性特征，证明了是睾酮（testosterone）在起作用。还正确地预言了抗缪勒管激素（anti-Mullerian hormone, AMH, 又名Mullerian inhibiting substance, MIS）也起作用。第二条规则是由于发现了仅有一条X染色体而没有Y染色体的女性和有多条X但只有一条Y染色体的男性。

综合这两条规则，人们得出一个概念：Y染色体上的一个或几个基因为睾丸形成所必需。这一假想的基因在人类命名为睾丸决定因子（testis determining factor, TDF），在小鼠命名为Y染色体睾丸决定基因（testis determining Y gene, Tdy）。TDF/Tdy位于Y染色体上，雌性所无，在这个意义上它就是性别决定基因。当然，常染色体和X染色体的许多其他基因也对睾丸形成有作用。

1990年，Sinclair等克隆到人Y染色体性别决定区基因（sex-determining region Y gene, SRY）和小鼠的相应基因Sry。1991年转基因小鼠实验证实Sry就是小鼠的Tdy，从而使SRY成为人TDF的最佳候选基因。这是哺乳动物性别决定研究的重大进展。

现已对圆虫（*Caenorhabditis elegans*）、果蝇（*Drosophila melanogaster*）、哺乳动物以及其他一些模式物种的性别决定作了研究。它们的性别决定机制各不相同。性别决定机制的这种多样性与其他许多基本发育事件不同，令人惊奇。这里，我们仅就哺乳动物性别分化调控的研究进展作一综述。

二、SRY 基因

人SRY基因位于Yp11.3，只含有一个外显子，没有内含子，转录单位长约1.1kb，编码一个204氨基酸的蛋白质。由于SRY蛋白含有一个典型的DNA结合结构域：高泳动类非组蛋白（high mobility group, HMG）盒基序，类似于已知的转录因子，所以推测SRY编码一个转录因子。SRY的HMG域以一

种序列特异的方式与 DNA 相结合，在双螺旋结构中引入一个尖锐的转折。有证据显示，性反转病人 HMG 域中的突变可分为两类：影响 DNA 结合和影响 DNA 弯曲的，提示这两种性质对于 SRY 蛋白行使转录调节功能来说都很重要。已发现 HMG 域在体外能以高亲和力与钙调素 (Calmodulin, CaM) 相结合。这一现象的功能意义不明，但提示 SRY 的活性可能受另一个层次的调控。

Sry 在成年小鼠生殖细胞中表达为一环状转录物，似乎不翻译，在发育中的小鼠性腺里则转录为一个长 4.8kb 的 RNA，所用的启动子也与成年鼠不同。Sry 于大约交配后 10.5-11 天 (days postcoitum, dpc) 的生殖嵴中专一开启，正好是两性间出现可观察的形态学差异之前；于 12.5dpc 左右关闭。因此 Sry 的功能是启动睾丸分化而不是维持睾丸存在。Lovell - Badge 认为 Sry 起一种感受态因子的作用。因为有些小鼠虽然有 Sry 的表达，但未能把细胞定型到雄性途径。相反，在完全没有 Sry 的情况下，有时卵巢组织也能逆转成睾丸。

已经在所有哺乳动物包括有袋目动物中发现了 SRY 基因。在不同的物种中，SRY 蛋白的 HMG 域高度保守，但是即使是在有亲缘关系的物种之间，SRY 蛋白的其余部分也并不同源。还不肯定这是否意味着 HMG 域是 SRY 蛋白中唯一功能上重要的区域。

三、哺乳动物性别分化的层次调控体系

果蝇和圆虫性别分化的完整的层次调控体系已经建立，但是对哺乳动物性别分化的分子本质还了解得很少。最近鉴定了一些被认为与性别决定有关的基因，但层次调控体系仍未建立。已知的参与哺乳动物性别分化调控的基因见图 1，现将它们分别介绍如下：

1. SRY

小鼠性腺最初的发育是 10dpc。左右原肾或中肾的增厚，12dpc 左右两性间开始出现形态学差异。哺乳动物性腺发育的基本途径是雌性的，但是这一途径在雄性体内被 SRY 的活动所掩盖。SRY 启动睾丸分化，然后由睾丸分泌的睾酮和 AMH 使胚胎完成发育成雄性的其余步骤。AMH 是转化生长因子 (trans-forming growth factor, TGF-) 家族的一个成员。

在小鼠生殖嵴的发育中，已明确与 Sry 活动有关的第一类细胞是足细胞 (Sertoli cells)。它们随后指导睾丸中其他类型细胞的分化。Sry 活动在发育上的时间进程是严格的。通常 Sry 对于决定睾丸是必要和充分的，但是调控产生这种效应的基因还一无所知。在有关人 XY 女性和 XX 男性研究的基础上，McElreavey 等认为 SRY 是睾丸发育负调节的抑制子。

2. SOX-9

常常与 XY 女性性反转相联系的一些侏儒症和 campomelic 发育异常 (一种重型侏儒症) 的基因已被克隆。这一基因所编码的蛋白质具有与 SRY 蛋白相似的 DNA 结合结构域，称为 SOX-9 (SRY box gene-9, SRY 盒基因-9)。病人的症状与 SOX-9 开放阅读框内的失活突变或者其上游 (17q24 - 25) 的易位有关。突变只存在于该基因的一个等位基因中，提示病人的性反转和 campomelic 发育异常可能与 SOX-9 基因产物的剂量有关。SOX-9 在性别分化的哪一个环节上起作用仍然未知。

3. DAX-1

Bardoni 等最近把一个参与性别决定的基因座 DSS (dosage-sensitive sexreversal , 剂量敏感性性反转基因) 定位于 Xp21。DSS 基因座长 160kb , 毗邻先天性肾上腺发育不全 (adrenal hy-poplasia congenita , AHC) 基因座。具有一个完整的 SRY 基因并且 Xp21-22 区有一个重复的病人具有女性表型。人们认为 DSS 编码一种女性特异的功能, 在男性中它正常地被 SRY 负调节。当 DSS 以双倍剂量存在于未失活的 X 染色体上时, SRY 的这种抑制作用失败。已经从这一区域中克隆到了一个编码细胞核激素受体超家族成员的基因。由于它与 AHC 有关, 命名为 DAX-1 (DSS-AHC critical region on the X chromosome , gene1 , X 染色体 DSS-AHC 决定区基因 1)。DAX-1 在 11.5dpc 的小鼠生殖嵴中表达, 是性别决定的角色之一。但是它在雄性和雌性小鼠中表达水平相当。如果它是雌性特异功能基因的候选者, 在雄性中被负调节, 那么这些负调节应当是转录后的。

4. SF-1

小鼠细胞核激素受体超家族的另一成员甾类生成因子 1 (steroidogenic factor1 , SF-1) 基因也与性腺发育有关, 可能还与性别决定有关。SF-1 基因最初鉴定为肾上腺皮质和性腺中调控甾类合成酶系的一个因子。然而敲除 SF-1 基因的小鼠没有性腺和肾上腺, 提示这一基因在 Sry 开启之前作用于这些器官的发育启动。SF-1 与繁殖关系密切。因为缺乏 SF-1 的小鼠不表达促性腺激素轴的许多标记, 并缺乏下丘脑腹中核 (ventromedial hypothalamic nucleus)。下后脑腹中核是一个与繁殖行为有关的区域。

SF-1 在性腺中的表达具有性别二态性。所有性别的早期小鼠胚胎中均有 SF1 转录, 但到了 12dpc 左右, 即两性间开始出现形态学差异时, 雌性小鼠的 SF-1 表达水平降低。因此 SF-1 可能与性别决定有关。SF-1 蛋白在体外能与 AMH 基因的上游序列相结合, 并且在共转染分析中活跃转录。Amh 是足细胞的标志之一。但由于 SF-1 表达很早, 又在所有性别中均表达, 因此不可能单独对 Amh 在 11.5dpc 的睾丸中的特异性表达负责。一些研究提示 Sry 不直接激活 Amh, 而是通过一个未知的因子起作用。

5. WT-1

wilms 瘤抑制基因 (Wilms ' tumor suppressor gene , WT-1) 编码一个与肾发育有关的转录因子。WT - 1 的突变导致 Denys-Drash 综合征。这种病人肾、性腺发育异常, 并常常在儿童期引起肿瘤。敲除 WT-1 基因的小鼠性腺也不发育, 但 WT-1 基因对性腺发育的影响可能属于一个依赖于 SF-1 的途径。

四、剂量补偿

剂量补偿是使 X 连锁的基因在两性间的表达水平达到平衡的过程。果蝇、圆虫和哺乳动物的剂量补偿机制各不相同, 真兽亚纲哺乳动物的剂量补偿机制是随机失活雌性动物两条 X 染色体中的一条。X 失活是与性别相关联的一种特殊形式的基因调控。虽然早就发现了 X 失活现象, 但是它的机制至今仍是一个谜。现在认为 X 失活单独由 X 染色体上的一个称为 X 染色体失活中心 (X inactivation center , XIC/Xic) 的顺式作用的开关区域控制。X 失活开始于 XIC, 然后扩展到整个染色体。人 XIC 定位于 Xq13, 小鼠 Xic 定位于 XD。这两个物种间的 XIC 基因座功能一致。最近已将 XIST/Xist [X (inactive) specific transcript , X 染色体 (失活的) 专一转录基因] 分别定位于 XIC/Xic 区。X 失活在胚胎发育的早期把一整条染色体给关闭了,

但是有一些 X 连锁的基因逃避了 X 失活。这些基因在失活和不失活的 X 上都表达，但 XIST/Xist 只在失活的 X 上表达，在不失活的 X 上不表达。这是迄今发现的唯一一个仅仅由失活的 X 表达的基因，因而成为 XIC/Xic 的强烈候选者。

小鼠 Xist 转录本长 15kb，其部分区域与人转录本同源，而且在 X 失活刚刚启动之前表达，因此可能参与 X 失活的启动过程。Brockdorff 等通过基因打靶构建了两条 X 中有一条的 Xist 基因转录起始端缺失 7kb 的 XX 胚胎干 (embryonic stem, ES) 细胞。XXES 细胞有两条活动的 X 染色体，在发育过程中随机失活一条。被打靶的 ES 细胞含有来自各种不同品系小鼠的 X 染色体，以利用多态性区分缺失和正常 X 染色体的基因的转录本，从而检定 X 染色体是否失活。结果显示被打靶的 ES 细胞随着胚胎发育分化成两群，其中一群选择正常的 X 染色体以失活，它们完成了正常的 X 失活；另一群选择了缺陷的 X 染色体以失活，它们的 X 失活失败提示 Xist 转录本对于失活 X 染色体上的基因来说是必要的，并且起顺式作用。

五、性染色体和 SRY 基因的进化

1. 性染色体的起源

有关性染色体进化的信息主要来源于对有袋目和单孔目动物的研究。这些动物的 X 染色体和 Y 染色体之间高度同源，支持性染色体由一对同源常染色体进化而来的假说。有袋动物只失活父源 X 染色体，这可能是真兽亚纲动物随机 X 失活在进化上的一种中间过渡状态。有袋目动物和人 X 染色体的长臂和短臂近端上有保守的基因座位，提示这一区域存在于祖先 X 染色体中。相反，在人 X 染色体短臂包括 X 和 Y 之间可以发生重组的拟常染色体区 (又称配对区) 中，定位了两个有袋目和单孔目的常染色体基因座簇，提示 X 染色体短臂是由一段常染色体附加到祖先 X 染色体上而形成的。

2. SRY 基因的起源

已经在有袋目动物 Y 染色体上发现了一个 SRY 同源序列，但是单孔目动物中迄今仍未发现类似序列。这说明 SRY 基因在进化上起源较晚。真兽亚纲动物的 SRY 基因只在性腺组织中专一表达，而有袋动物的 SRY 基因则在多种组织中表达，这可能反映了 SRY 祖先基因的表达状况。

SRY 的祖先基因可能是 SOX-3。已经在昆虫、爬行类、鸟类和后兽亚纲哺乳动物中发现了一系列 SRY 样基因，它们含有与 SRY 相似的 HMG 盒基序，命名为 SOX-1, SOX-2 等等。HMG 域的存在提示它们具有调节其他基因表达的功能。与 SRY 相接近的有 SOX-1, SOX-2 和 SOX-3，其中 SOX-3 在核苷酸序列上与 SRY 最接近，并且在有袋目和真兽亚纲哺乳动物中都是 X 连锁的，因而特别引起关注。但由于在生殖嵴中未检出 SOX-3 的表达，并已发现了 X 染色体缺失包含 SOX-3 在内的 5Mb 片段但是具有男性表型的病例，因此 SOX-3 可能并不直接参与性别决定。

地球的演变与海平面上升

马在田

同济大学

马在田 地球物理学家。1930年10月4日出生，辽宁法库人。1952年东北工学院（现东北大学）肄业，1957年毕业于前苏联列宁格勒矿业学院，获工程师学位。现任同济大学教授，曾任上海市科学技术协会副主席。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。用地震方法探测华北平原地下含油气盆地的先行者，是胜利油田发现者之一。

近年来谈论海平面上升的问题比较多，引起了人们，特别是沿海人民的重视。海平面的变化是全球变化的一部分，因此在讨论海平面变化时也谈谈有关地球的一些知识。在讨论地球的演变时，必然会涉及到太阳乃至宇宙。

一、地球的演变

1. 宇宙中的地球

地球是宇宙中一颗渺小的行星，它是太阳系中九个行星中的一个中等行星。太阳是银河系中1000亿颗恒星中的一个不太大的恒星。银河星系又是宇宙中10亿个星系之一。银河星系只不过是一个中等规模的星系，呈圆盘状。圆盘的直径长度达8万光年，其中心厚度为1.5万光年。一光年的长度约等于9.7万亿千米。宇宙是有限而无界的，今天的宇宙半径约150亿光年。由此可见，地球在宇宙中的地位。

地球从无到生成，从形成到今天一直在变化着。地球是在宇宙形成和发展的过程中生成和演变的。宇宙是如何形成的？有没有末日？经过几个世纪的争论与探索，今天已基本上取得比较一致的观点，即物质宇宙是由大爆炸产生的。并不像20世纪初和此前人们普遍认为那样，宇宙是永恒不变的观点。这首先应当归功于爱因斯坦的广义相对论（1915）和哈勃的星系红移现象的发现（1929）。在大爆炸的最初时刻，温度高达100亿K以上。此时不可能存在星系、恒星和行星，只有粒子和辐射。经过70万年之后温度降至3000K，基本粒子结合成稳定的原子。再过几十亿年在引力作用下原子逐渐凝聚成原始星云，星云逐渐形成星系。今天的物质宇宙仍在膨胀，今后的走势如何？一种观点认为，宇宙会永远膨胀下去。另一种观点认为，宇宙膨胀到一定程度后，在引力作用下变为收缩，最后坍缩成原来的一点上去。持后一种观点的人较多。无论是宇宙继续膨胀下去，还是坍缩成一个点，总之宇宙是在不停地变化着。既然宇宙在不停地变化着，我们的地球和太阳系也自然地在不断地变化着。今天的太阳已有50亿年的历史，它一直发生核聚变，会越来越热，以至变成红巨星，然后逐渐熄灭变成白矮星。从今天算起到它的衰亡预计还有50亿年左右。在太阳逐渐变热过程中地球上的温度会逐步达到和超过水的沸点。这时地球已不适合人类生存。那时的科学技术有可能使人迁移到其它有利于人类生存的星球上去。不仅宇宙在膨胀，太阳在燃烧，地球本身也在不停地变化着。海底在扩张，大陆在漂移，地幔在对流，地核在转动（对地幔），这些都是近几十年乃至最近被科学证实的现象。

2. 地球的圈层

从地球内部向外按物质性质划分为地核、地幔、地壳、水圈、气圈及处于地壳表层、水圈和气圈中的生物圈等。组成固体地球的内部结构可以用鸡蛋来比喻，地壳（0-30km）似蛋壳，地幔（30-2900km）似蛋白，地核（2900-6371km）似蛋黄。地球的形状和圈层是由各种引力和自转离心力决定的。地球的椭圆扁率为1/300。固体地球的重量为66万亿亿吨，体积为1.1万亿立方千米。地球的水圈是由海洋、河流、冰川和地壳表层岩石中的地下水组成。地球表面以上的空间为气圈。它又分为对流层（0-16km），雷雨发生在这层内。它的上面是平流层（16-60km）。60-1000km为电离层、1000km以上为磁层。臭氧层处于平流层内。

3. 地球的历史

地球经过漫长的演变才形成今天的状态。它也是由基本粒子凝聚而成，自转形成圈层。随着温度的降低，开始出现生命。但是，地球的历史不是平稳变化的。而是经常出现激烈的突变。首先地球的年龄有多大？根据放射性同位素半衰期年限是固定的规律，测定出地球的最古岩石已存在40亿年，而陨石的年龄为45-47亿年。因此，推算出地球的年龄不小于46亿年。

经过46亿年的演变，地球才形成今天这个样子，由各种圈层组成。在这46亿年中有40亿年地球上是无生命的。这40亿年称为隐生宙，又分太古代和远古代。出现生命后的6亿年称为显生宙。显生宙又分为古生代（3.75亿年），中生代（1.55亿年）和新生代（0.7亿年）。新生代又分为第三纪（0.68亿年）和第四纪（167万年）。人类出现在近200万年的历史中，在地球史中是非常短暂的。如果将地球的演变过程46亿年当做2小时的电影来看的话，则太古代和远古代为1小时48分钟，古生代为7.5分钟，中生代为3分钟，新生代为1分钟，人类出现不过2秒钟，中国历史5000年，不过1/200秒。可见，人类的历史是非常短的，而人类的文明史则更加短暂。

在46亿年中，地球的演变是巨大的。但是，前40亿年的演变过程，人类对它知之甚少，因为没有古生物化石可用来研究其变化。从6亿年以来地球的变迁也是巨大的。如古生代初期寒武纪的生物大爆发，中生代末爬行动物恐龙的灭绝，地球磁极已发现有253次的倒转，多次的冰期和大陆的张裂与漂移等。其中最使人惊奇的是大陆漂移。坚硬的大陆怎么会漂移呢？但是这个在30年代被地球物理学家否定的，50年代又被地球物理学家肯定的由德国气象学家提出的学说今天已被古生物、古地磁、海底地形和海底扩张等一系列现象证实。根据科学研究，2亿年前地球上的所有大陆都是联结在一起的，称为联合古陆。在1.8亿年前，北美和非洲开始裂开，出现北大西洋。1.2亿年前南美和非洲开始裂开。这时的印度、澳大利亚是和南极在一起的，远离欧亚大陆。以后印度、非洲与南极和澳大利亚分离，形成印度洋。5000万年以前，印度和澳大利亚先后向北漂移。印度撞在亚洲大陆边缘上，形成喜马拉雅山。从此形成了今天的大陆状态。不过，根据天文和卫星观测，各大陆仍在缓缓移动。至于大陆为什么会漂移，漂移的动力是什么，今天仍然不太清楚。这个问题是正在研究的地球动力学要回答的。

二、全球变化与环境

1992年6月联合国在巴西召开了环境与发展大会，会议通过了21世纪议程。这次会议是促进全球经济发展和保护环境的里程碑。本世纪以来随着

科技进步和社会生产力的提高加速了社会发展。但与此同时人口剧增，资源过度消耗，环境污染和生态破坏日益突出。因此，保护与改善人类生存环境，协调人与自然关系的综合研究具有战略地位。其研究对象是岩石圈、水圈、气圈和生物圈组成的地球系统及人类活动与影响。

全球变化包括：全球气候变化，全球海平面变化，全球生态与环境的变化，全球自然灾害及减灾，全球人口与资源问题等。以上各个方面是互相关联的。下面就涉及与海平面变化有关的几个地学现象加以介绍。

1. 冰期与间冰期

从海底沉积物质分析，从现在上溯 200 万年间出现有 20 次冰期，在冰期内地球的温度比现在低得多，这时欧洲和北美都覆盖着冰盖，冰盖厚度以千米计。冰川在陆地上扩伸与退缩为冰期与间冰期的特征。地球现在处于间冰期，故温度较高。现在地球上只剩下少数冰川在流动。大部分在高山。但是当年冰川活动的痕迹历历在目。当冰川流过加拿大时，它推走了挡着它的土壤。结果遂使加拿大中部的大部分地区变成了嶙峋多石的贫脊地，而美国中西部却获得了双倍巨厚的肥沃土壤。纽约的长岛也是冰川推出来的。北美的五大湖是冰川融化的水形成的。

关于冰期的形成，塞尔维亚物理学家米兰柯维奇于 20 年代做出了解释。他认为，由于地球有公转、自转、进动和章动，地球轨道变动引起温度变化，使地球的气候变化有三种相互重叠的周期，2 万年、4 万年和 10 万年。这 3 种周期在最近 70 多万年中每 10 万年结合起来产生综合影响，导致冰川出现。50 年代有人测定出海洋温度在一个千万年周期中温度变化幅度为华氏 10° F。

2. 厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO)

这是一个以 3—7 年为间隔的重复出现的异常的大气与海洋耦合现象。强烈的偏西风使赤道热海水冲向厄瓜多尔和秘鲁的海岸，抑制较冷的深水膨胀。卫星观测发现，它与南方涛动，即中心在印尼、澳大利亚一带东南太平洋的振荡变化的低气压头有关。强大的 ENSO 现象于 1982/83 年和 1990/91 年造成一些地区旱灾，一些地区洪水泛滥。ENSO 影响海洋变化，也影响气候变化，导致全球气象反常。

3. 温室效应

自然界中的温室气体，如二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化氮 (N₂O) 和氟氯碳 (CFC) 的浓度在本世纪以前的几千年中基本保持不变。它们的浓度上升始于全球工业化，特别是最近几十年增加更快。从南极和格陵兰的冰心中提取的二氧化碳和甲烷的含量与当时的温度存在正比关系。温室气体含量增高，气候变暖，生存环境也随之变化。因此，联合国发出警告：人类活动导致全球的气温以一万年以来最快的速度在升高。如果不控制温室气体的排放量后果堪忧。

从上世纪末至今全球气温增加了 0.3 -0.6 ，海平面上升 10-25 厘米。全球变暖对农业的潜在影响是举世关心的。全球变暖对农业有负面作用，也有正面作用。由于目前对全球气候变化的模拟还不够准确。现在还难以预测粮食产量的走势。有人预计到 2060 年世界粮食产量比现在下降 5%，第三世界国家大于这个比例。

三、海平面上升问题

海平面变化是全球变化的自然现象之一，已引起各国政府和科学家的广泛关注，特别是当前全球变暖使海洋平面上升加速，将会引起严重的社会经济后果。世界一半以上的人口居住在距海岸 50km 以内的沿海地区。如果海平面再上升一米，将使 500 万平方千米的土地，10 亿人口和 1/3 的耕地受到影响。我国海岸线长达 18000km，沿海地区是我国经济的重心。因此，海平面上升问题特别使人关注。

1. 全球海平面变化

全球海平面变化是指全球平均海平面的升降值。引起海平面变化的主要因素有以下四个方面。第一，大洋盆地容积的变化，主要是构造作用引起的。第二，大洋水体积的变化，主要是冰川的推进与收缩作用引起的。第三，大洋物质分布的变化引起的洋面的变化。第四，动力作用，如气象、水文、引力的变化引起的海面变化。5000 万年前由于印度、非洲板块与欧亚板块碰撞，陆地面积减小，洋面扩大，致使海洋平面下降了约 20 米。18000-6000 年前海平面呈持续上升趋势。6000 年以来全球海平面整体稳定，但局部有变化。近 100 年来，有实际的观测值作为全球海平面变化研究的依据。但是由于采用的统计方法不同，结果也不相同。根据联合国教科文组织发表的公告，全球海平面近百年的年平均上升值为 1.0-1.5mm/年。

对于下一世纪全球海平面上升的情况是大家所关心的。各个方面都对下世纪的全球海平面上升值做出了估计。都是在过去 100 年的平均增长率的基础上考虑到下一世纪的全球变暖的趋势。全球变暖将使南极冰盖碎裂速度加快。格陵兰气候较南极为暖，故会逐渐减小冰盖。关于全球气温上升较前 100 年要高的根据主要是人类活动，特别是工业中产生的温室气体，其中 60% 为二氧化碳的排放量造成的。但是研究表明，人们所产生的 CO_2 至少有三分之一被海洋吸收。海洋与大气之间的碳交换过程尚不清楚。有人认为，气温随大气中 CO_2 含量的升高是有一定限度的。过此限度 CO_2 再增加，温度不一定再上升。因此，南极冰盖的碎裂速度不会比现在快很多。同时，在过去 20 次的任何间冰期内南极的冰盖都未曾完全融化。因此，那种认为在未来 100 年内海平面会上升 1 米至几米的说法是不切实际的。下图是政府间气候变化委员会 (IPCC) 于 1992 年对下一世纪全球海平面上升值的估计曲线。其中的最佳值为，2030 年较现在上升 18 厘米 (cm)，2070 年为 44cm，2100 年为 66cm。1990-2030 年的年升率为 4.5mm/年，2031-2070 年为 6.5mm/年，2071-2100 年为 7.3mm/年。

2. 中国沿海地区的海平面变化

全球的海平面变化量并不反映世界某一地的实际海平面的升降值。世界某一地点的海平面变化量等于全球海平面的上升 (或下降) 值加上当地陆地上升 (或下降) 值之和，这就是该地区的相对海平面变化。相对海平面变化对人类社会的影响更有实际意义。世界一些大三角洲，包括长江和老黄河三角洲的地面沉降率均在 6-10mm/年，是目前全球海平面上升率的 10 倍以上。因此，研究某地的海平面变化必须包括海面和陆面的整体变化。

由于各种自然的和人为的因素不同，各处的相对海平面变化差异很大。我国的大地构造造成了海岸带的特点是三角洲皆在沉降带内。这些地区的相对海平面变化较大。而在非三角洲地区海平面上升率较小。我国沿海地区的地面沉降主要是由于过量抽取地下水所致，各处的沉降量也不相同。老黄河

三角洲内的天津新港港区，根据 1985 年-1986 年 10 月的实测地面沉降图，全港区 80% 地区的地面沉降量在 20mm 左右。长江三角洲一些地区，1985 - 1990 年沉降量在 12-16mm。这是一些观测点上的沉降值，全区的平均沉降值要小于此数。关于我国几个三角洲过去和未来的相对海平面上升情况用任美镔院士给出的数据作为参考，如表 1 所示。表中 2050 年的全球理论海平面的上升值采用 IPCC 的最佳估计。

在这个表中，现代黄河三角洲和珠江三角洲的地面沉降率主要为构造沉降，故 2050 年的数值与现在相同。老黄河三角洲与长江三角洲的地面沉降率包括了构造沉降、沉积物压实及地下水过量抽用引起的地面沉降。最近上海市和天津市都在努力采取各种措施，限制超采地下水，以减少地面沉降。上海市的目标是近期内把市中心区的地面沉降控制到 3mm/年。天津市的目标是控制到 10mm/年。要想实现这个目标是艰巨的。如上海浦东地区的地面沉降仍在 5—6mm/年以上。

3. 上海地区的海平面上升与对策

根据政府间气候委员会 (IPCC) 的最新估计，至 2050 年全球海平面上升 20—30 厘米左右。考虑上海地区的构造下降值为 1-2mm/年，地面沉降为 3-5mm/年。综合起来，估计上海地区到 2050 年海平面相对上升为 50-70 厘米，呈准线性变化。面对这个海平面相对上升的情况应当对它的影响做出估计，并采取相应的对策和措施。

A. 海平面上升对上海的影响

(1) 风暴潮威胁增加

长江三角洲是风暴潮较重地区之一。上海是我国工业、商业、金融和航运的中心。未来海平面上升使风暴潮增大，对上海的负面影响是不言而喻的。现在的黄浦江外滩的防洪墙高程认为是按千年一遇的标准修建的。如果相对海平面从现在水位上升 0.5 米，则堤防标准只能达到百年一遇的标准。

(2) 上海现有港区功能减退

上海老港区标高 5.8 米。海平面上升会造成风暴潮淹没港区的次数增加，吞吐能力会衰退。更难满足浦东开发的要求。海平面上升也将引起长江口河床演变，长江口拦门沙位置也会受到影响，对维护深水通海航道增加难度。

(3) 河口的海水入侵范围扩大

上海长江口内，由于海水潮汐的影响，枯水季节崇明岛长期为咸水包围，长达数月之久。海平面上升后，海水入侵范围还会进一步扩大。这对宝钢水库和陈行水库等取水工程增大难度。

(4) 城市的排涝、排污出现困难

上海市区地势低洼，近年暴雨季节经常出现街道积水，造成生产、交通和经济社会活动的困难。今后海平面上升，将使城市排涝更为困难，污水会长期回荡，甚至会影响饮用水的水源地。对河网地区的泄洪和排涝会有更大的影响。

B. 应采取的对策

(1) 统筹规划加强防潮、防洪工程

提高防潮防洪标准，确保上海及周边地区的经济发展带的安全。如在吴淞口建立黄浦江挡潮闸可能是一种有效措施。

（2）继续控制地区沉降

现在上海地面沉降的速度由于采取措施已经趋缓，但仍在下降。因此，今后仍须继续严格控制地下水开采。

（3）开展海平面上升及影响和对策的系统研究

海平面上升的机制比较复杂，其变化和走势也会随各种因素而变。因此，应当组织科技力量开展长期系统的综合分析研究，做出准确的长、中、短期预报，提出防灾减灾的对策。

为了对海平面的相对上升进行全面监测，我们必须保护和完善监测网。为研究海平面上升及影响和确定市政工程基础设计提供科学依据。

致谢：本人在准备此科普讲座稿过程中，汪品先院士、王惠中教授、李从先教授提供了有关资料和建议。在此表示感谢。在介绍海平面上升的问题上主要利用了中国科学院院士咨询报告——《海平面上升对中国三角洲地区的影响及对策》一书，许多材料和观点均取自该书，特向作者们表示感谢。

地球动力学及其与社会的关系

王仁

北京大学力学系

王仁 固体力学与地球动力学家。生于 1921 年 1 月 2 日。浙江吴兴人。1943 年毕业于西南联合大学。1953 年获美国布朗大学应用数学哲学博士。北京大学力学系教授。1986-1991 年任国家自然科学基金委员会副主任。1980 年当选为中国科学院院士(学部委员)。致力于固体力学和地球动力学研究。

一、引言：地球的运动及其动力学

地球在不断运动之中，它绕太阳的公转和绕地轴的自转，我们天天都可感知，而火山、地震告诉我们地球内部也在不断运动之中。还有一些缓慢的运动则是不易觉察到的。例如，我们脚下的地面由于日、月引潮力每天也有两次二三十厘米的潮汐起伏，称为固体潮，还有沧海桑田的变化就慢得多了，要经过多少年才能觉察出来。在地震震中邻近区域，地块上时常可以测得微小的变位，需要通过精密的仪器，现在依靠空间技术把它测出来，也就是说，地球像一个活的机体，它的整体、表面和内部是在不断运动之中的，有快有缓。

既然有物质的运动，必然有驱动力源，也必有动力学的关系。找出这些关系以及它们的规律，就能进行预测和减少自然灾害的危害性，得到防治灾害的主动权；也就能恢复先前运动的格局和变迁，对于寻求矿产能源将是很有指导意义的。

动力学就是要研究物体运动和作用力之间的关系，通常来说，地球指包括大气层、生物层、海洋水圈层、固体地球的整体，它们各自都有很复杂的运动及相互间的作用。本文所谓的地球动力学按一般理解是指固体地球部分，包括它内部物质的动力学。我们将暂时不考虑它和其它圈层的相互作用。

二、用于分析地球运动的各种力学模型

要进行动力学分析必须对分析对象给予描述，那就是要用一个最为恰当，计算起来最方便的模型来代表它。这要看我们想分析什么情况而定。如果我们要分析地球绕太阳的运行轨道。由于地球的尺寸与到太阳的距离比要小得很多，就可以将地球看成具有一定质量的一个点，可称之为质点模型。

如果要计算地球在月地系统中的角动量转移关系，则可把它考虑成刚体，在忽略太阳作用的情况下有：

$$I_e \omega_e + I_m \omega_m = \text{常数} \quad (1)$$

其中 I_e 和 I_m 分别是地球和月球的转动惯量， ω_e 和 ω_m 分别是它们的角速度，如果考虑太阳的影响，就成著名的三体问题，但地球仍可采用刚体球模型。

1765 年欧拉在分析地球自转轴在地球本体内围绕其惯性主轴作自由摆动时也曾采用刚体球模型，得到摆动周期为 305 天。1891 年张德勒 (Chandler) 分析了 1837—1891 年世界上 17 个天文台的实测结果得出 427

天的周期，两者相差较大。纽康（Newcomb）1896年将这个差别解释为1/4由海洋运动引起，其余部分由地球的弹性变形造成，也就是说这时需要考虑弹性体地球模型。它是一种变形体模型。

一般的弹性体模型指的是物体受力后的变形和作用力成比例（另外还有不按比例的非线性弹性）。当力消失时变形也消失，物体恢复原状。当分析地震波在地球内部的传播时，这种模型和实测结果一致。早期的全球动力分析都采取这种模型，如1872年泊桑对全球的振动分析，1855年艾雷的均衡分析，1883年达尔文关于固体潮，1885年瑞利关于表面波的分析等等都能和实测值有较好的符合。

不过，显然对地球表面的构造形迹不能采用弹性体模型。它们都是一些永久性变形的结果，从这些构造形迹还可以看出岩石在深部条件下是能够进行柔性变形的。1911年冯卡门（vonKarmán）在高围压下进行的岩石实验说明岩石是可以进行塑性变形（有永久变形）的，后来格利格斯等进行的高温、高围压的实验都说明岩石在地球内部条件下可以进行缓慢的持续变形，如同粘性流体一样，然而它们在快速变形条件下（如地震波传播等）仍表现为弹性，可称为粘弹性体。这些又统称为流变学模型是用来分析地球的构造变形和内部运动的，均属于变形体模型。

三、变形体力学的几个基本概念和基本方程

变形体（又称连续介质）力学将物体看成是一个由连续分布（不留空隙）的“质点”组成的。每个质点实际代表它周围一个小微团。质点的性质就是这个微团内各个微粒子，分子，原子的统计平均性质。对于这些微粒子而言，这个微团是很大的，包括了千千万万个微粒子，足以形成一个稳定的统计平均性质。然而对于所要分析的物体而言，这个微团又是很小的，可以看成一点。它不同于几何上的一个点，它具有代表那个微团的物理性质。

一个点和它的相邻点在任何条件下保持相对位置不变的是刚体，而相对位置能发生变化的就是变形体，它可以是由于温度变化引起的，也可以是由于作用力引起的。这些变化包括它和邻点之间距离的变化和与相邻点连线之间的夹角变化。若质点和它的相邻点之间没有这些变化则这个质点在进行刚体运动。

按上面所述，要描述一个质点（注意是代表一个微团）的变形状态就需要知道一点和它所有邻点相对距离的改变以及与相邻点连线角度的变化，需要无穷多个量，幸好连续介质的理论告诉我们，实际上只要有六个量就可以表示所有这些量，它们组成一个应变张量（距离变化以单位长度上的变化来表示）。注意，描述每一点的位移只要三个方向的分量，形成一个矢量（向量），而描述每一点和它邻域各点的相对位置变化则需要由六个分量组成的一个对称二阶张量 e_{ij} 表示。矢量与张量在数学运算上有很大的不同，需要注意区分。

另外一个基本概念就是物体内部各点与其邻点间内力的变化。物体内部各点本来是由一定的内力连接在一起的，可以视为处于稳定的平衡状态，使各点之间保持一定的距离。现在由于外界作用，点与点之间的距离发生了变化（处于一个应变状态），它们之间的内（部作用）力将因而发生变化，这个变化量可称为附加内力。

现考虑通过一点做一个面，在这个面的两侧由于这点与其邻点距离发生

了变化，这个面上就产生了附加内力。它在单位面积上的度量叫做这个面上的应力，是一个矢量。然而通过一点有无限多个面，由于它和无限多个邻点发生距离的变化，就引起了无限多个这些应力矢量，它们组成了一点的应力状态，它也可以由一个有六个分量的对称二阶应力张量 σ_{ij} 来表示，它与一点的应变状态对应。

以上是变形体力学最基本的几个概念，必须区别一点（理解为一个微团）的位移（矢量）和应变状态（表示相对位置变化，是张量）；以及作用在一个面上的内力变化（矢量）和一个点的应力状态（是张量）之间的区别。

在一维问题中，经过任何一点只有一个面，一点的邻点也只有在一个方向上，因此，沿这方向的距离变化可以只用一个量表示，内力变化也只沿这一个方向，也只用一个量表示。这时矢量和张量没有区别，因为一维问题已把方向问题确定了。然而二维问题就不同了，在一个面上的点在面内有无限多方向上的邻点可发生距离变化，可以通过无限个垂直面发生内力变化，这时，一点的位移有两个分量，而它的应变张量有三个分量，面上的附加内力有两个分量，而这点的应力张量也有三个分量。

变形体力学的基本方程可分为三组如下：

（1）运动方程

牛顿第二定律说明对变形体中每个质点（代表一个微团）上所受的合力与质点的加速度成比例（严格讲与动量变化率成比例），沿 i 方向的运动方程可简写成：

$$\sigma_{ij,j} + F_i = \rho \ddot{u}_i \quad i, j=1, 2, 3, \quad (2)$$

其中 \ddot{u}_i 是 i 方向位移，逗号后跟 j 表示对 j 方向的偏导数，上面一点表示对时间的一次导数， F_i 是作用在这质点上的体积力， ρ 是质点的（质量）密度。

（2）几何方程

它表示质点（代表一个微团）的运动与其邻域诸点运动的关系，要求在几何上保持为一个连续体：

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) + \text{非线性的高阶项} \quad (3)$$

（3）本构方程

表示微团的应力状态与应变状态之间的关系，

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij}, \tau_{ij}, T, q_k) \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

其中 $\dot{\epsilon}_{ij}$ 上一点表示它对时间的导数，为应变速率， T 为温度， q_k 是结构参数，将可随着变形而改变。

上面这三组方程中前二组对所有连续介质都适用，而第三组方程是随介质的特性而异的，有的介质很容易变形，有的则较难；有的性质随应变速率而异（如前所述，地球内部介质在应变速率快的情况下表现为弹性，而应变速率慢的情况下或温度很高的情况下表现为粘性），有的则不受影响。对于气体、流体有更不同的表达式。这一组方程代表介质在这一点变形特性，是由实验确定的。

以上讲的是连续介质情况，它假定介质变形可以无限制进行。实际上物质的变形能力都有一个限度，到了这个限度，就会破坏、断裂，因而与这一组方程相连的还可有一个破坏条件，表示这组方程有效性的限度，可用一个函数表示，它将由实验确定

$$f(\sigma_{ij}, \epsilon_{ij}) = K \quad (5)$$

另外，若有能量耗散的问题还有热力学方程，这里就不提了。

满足这三组方程的解有无穷多个，对于具体问题还需给定一些条件，才能确定那个问题的解，这些条件是：

(4) 边界条件，表明在物体全部边界上的几何约束，位移或作用着的外力，热源等等。

(5) 初始条件，即问题在施加边界位移，外力或热源以前所处的原始状态。也就是说，方程解出来的是这些施加位移、外力或热源作用下所产生的应变和应力的改变量，而物体所处的真实状态要在它们之上加原始状态。

四、地球动力学问题的建立，正演与反演

地球动力学的问题可用下列图示说明，从图中底部所示的构造、性质、驱动力加上初始条件可求解位移场和应力场，从而提供给顶部所需要的信息，这是正演问题，若知道位移场和应力场，希望求解底部所示的那些信息，那就成为反演问题。

对于地球动力学而言，我们可以在地表测得部分地区的位移场，速度场和应力场，并知道一些构造演化、盆地形成、地质和地震灾害的信息。根据各种地球物理和地质学的手段可以获得地球内部的结构，特别是较浅部的情况可以比较清楚。另外根据地球化学和岩石力学实验的分析，可以获得内部物质的力学、热学性能。若假设初始状态是从零开始，剩下的问题就是假设各种可能的驱动力，如重力、引潮力、公转和自转的离心惯性力、地球内部的热动力以及小行星撞击、电磁场作用等等，求解前述方程。对于构造运动而言，作用力应该在一个相当长的时间内保持方向不变，一般认为引潮力变化的周期太短，作用不大，小行星撞击的影响范围较为局部，电磁场的作用力很微小等等可以先不考虑，而现在认为最主要的力源是地球内部的热动力和重力。离心惯性力的作用使地球形状变成偏椭球。它在长时间内的加速或减速可以成为构造运动的驱动力，在数值上比前者较小。

地球内部特别是上地幔的热运动直接作用在地壳的底部，地幔物质在洋脊带上外溢，推动两侧造成新的地壳，它推动两侧的板块运动，当一个板块碰上另一板块时，发生碰撞或俯冲到它的下边去，这些都推动板块内的构造运动。人们现在认为是这些力连同俯冲部分向下的重力是造成板内构造运动、板缘地震的主要驱动力，可用它们进行计算。然而板内的地震，如在中国，则需算出板内的位移场、应力场，需要找出使板内运动的驱动力。

中国地区主要是受到印度板块的向北（或东北）推动力以及从东边太平洋板块和东南边菲律宾板块的驱动。但这些力是怎样分布的，有多少大小，在地壳底部作用的是驱动力还是阻力等等问题目前也还在继续研究中。这里反演的最大困难还在于对深部地壳和上地幔物质结构、力学性质等了解得不够，需要做更精细的探测。

五、地球动力学的一个重要目标是

寻求构造运动的驱动力

构造运动一般指的是地表上造山运动、断层错动以及造陆运动等。现在还包括整个板块的运动，它们的碰撞、俯冲等。人们现在通过空间技术等可

以较精确地测得地表的运动，而地球动力学的一个重要目标乃是寻求这些运动的驱动力，这是一个典型的反演问题。这些构造都是长期运动的结果，其中许多还在继续进行之中，它们关系到矿产资源的形成，地震、火山等灾害的发生，因而弄清楚它们的驱动力和演化过程是十分有意义的。

反演工作的成败关键在构造模型的选定和用以对反演结果进行检验的实测资料。由于地质构造十分复杂，不论是反演还是正演都要借助于数值计算。在力学计算中最成熟的是有限元方法，它把所要计算的区域划分为许多小块（有限单元），对不同块可以根据地质资料给予不同的力学性质。重点是要区分在反演的时间段内活动和不活动的地带、断层，对于活动的部分，还要从地质资料知道活动的速率，并由此可定出那里的力学性质。对于不活动的部分，则可取成大的弹性单元，从地震波速资料定出其力学性质。

对反演的计算结果做检验，最直接的是地形变测量，近代资料可用大地测量的结果，现在用空间技术可以测得相当高的精度。而过去的构造运动则主要依靠地质考察工作，如从构造形式可以估计出位移的方向、大小，并需设法定出运动的年代等。另一重要资料就是靠地应力测量，可得出不同地点的现代应力状态，不过它们是浅层的，而根据地震机制的分析，可推算出震源深处的应力状态。这些是检验计算结果好坏的重要判据。

从上述介绍可以看出，无论是选取区域的构造模型或是检验结果用的资料，都是建立在实际考察和测量结果的基础上，也就是说反演的好坏，关键在对实际资料的占有和它们的可靠程度。

至于计算方案当然也要发展，这里面有一个数学的问题，那就是在反复试算、检验、修改的过程中，如何选择修改的方向使得收敛得最快；又怎样从各个计算结果中选定何者为最优的结果，它的精度应该怎样确定等问题。

我们从 1983 年以来试用上述计算方案计算过东亚地区的区域应力场和各边界板块驱动力的相对大小和方向，最近对实际资料较多的北美板块也做了类似反演，说明方案可行，拟在掌握更多资料的基础上对东亚地区做进一步的计算。下节我们以计算华北地区 700 年地震序列的反演为例进一步介绍这里所说的应力场反演问题。

六、例：地震序列的应力场反演及预测

我们用这个例题说明对华北地区地震应力场的反演。

首先，我们用于检验反演结果好坏的是华北地区从 1303 年赵县 8 级地震到 1976 年唐山 7.8 级地震的一系列地震资料。

其次，根据地震地质专家认为的本地区活动断层并选定足够宽的边界，将地区划分成有限元网格，这些就是计算所用的构造骨架。

然后，根据本地区地震波速的资料，选定各单元介质的弹性模量，根据在东亚应力场计算中得到的在本地区边界上的应力状态作为边界条件，内部的应力分布可作为初始条件，从那里起算。

需要假设地震的破坏模式（相当于（5）式），我们选用了最简单的摩擦模式，即断层是依靠静态干摩擦系数保持断层两侧的联接，当摩擦系数下降到动摩擦系数时，断层发生错动（发震），引起周围应力场变化，断层面上的压力和剪切力会下降，于是断层在错动一个距离后，达到新的平衡位置而停止错动。从周围介质中的应力变化可算出减少了多少能量，可以将它和这次发震的震级进行比较，据此修改参数，使之和实测结果相符。断层错动的

距离也是可供比较的资料。由于发震断层错动而引起全区域内的应力重分布，有的地方增强了，地震危险性增加，有的地方消减了，地震危险性下降。可以要求地震危险性增加的地点与地震记录中的余震震中一致，而且增加得较大的地方，应该就在下一次大地震的震中位置。据此将区域内各断层上的参数进行调整，使得它们尽可能相符。然后在下一个震中的断层处降低摩擦系数，使之发震，重复上述过程。按照这个办法将 700 年来华北地区发生过的 7 级以上大震序列一个一个依次重现出来，直到最近的一次大震（唐山，滦县）以后，从所得的位移场和应力场就可得知此时整个地区地震危险性的分布和下次大震可能发生的一些地点。可以作为地震预报的一个依据。

上述模拟的好坏，关键在骨架的选取和资料、数据的正确性，它的缺点是还没有时间因素，不能报出地震可能发生的时间。要改进这一点，需要将模型改为粘弹性模型，需要调整的变形参数和破坏参数增多了，与实测做对比的因素也增加了，反演原理没有改变而计算则会复杂得多。

七、研究地球动力学的学术意义和社会意义

从学术上来讲，地球动力学不但帮助我们弄清楚地球表面构造的形成和演化以及地球内部的结构和运动，还将有助于整个地球以至太阳系的形成和演化过程的认识。

从社会意义来说，如上所说它帮助弄清楚地质构造运动的过程，它们也就是矿产、资源富集、贮存的构造条件。构造运动的驱动力同样也是矿液运行的动力，地下流体运动问题正是地球动力学研究的一个重要方面。

地震是地质构造运动中一幕，火山是地球内部运动的外部表现，它们都是严重的地质灾害。另外如青藏公路上的大型滑坡，实际上也是地质构造运动的表现。在大型工程建设项目中，如三峡工程的巨型边坡、大型地下厂房的修建都需要考虑那个地区现在作用着的地应力，在挖走原有的岩石以后，这些地应力将起什么作用等乃是工程人员十分关心的问题，把地质构造的动力学过程和正在进行的地质运动的驱动力弄清楚，将从基础上解决这些问题。

以上我们没有考虑固体地球和大气层、生物层、海洋圈层之间的相互作用，它们是环境科学十分关心的问题。地球动力学应该并且可以在这里发挥重要作用。

八、有待深入研究的一些问题

如上所述，地球动力学牵涉的面很广，要认真解决需要跨多门学科进行联合研究。以下仅从力学角度提出一些有待深入研究的问题，它们同样是需要和其它学科一起研究才能解决的。

1. 板块运动和构造运动的机制和驱动力。
2. 地球内部地幔运动及其与板块运动的关系。
3. 地壳中水平运动与垂直运动的关系。
4. 地球介质的流变性质、变形的传播及蠕变破坏。
5. 地震机制和地震预报。
6. 地球介质中的流体运行及其与成矿的关系。
7. 非线性反演理论及解的优化。

我国环境保护的基本思路 及首批跨世纪绿色工程

刘鸿亮

中国环境科学研究院

刘鸿亮 环境工程专家。1932年6月20日生于辽宁大连。1954年毕业于清华大学。历任清华大学土木与环境工程系副主任、中国环境科学研究院院长等职。现任中国环境科学研究院教授、中国环境科学学会常务理事。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事水环境及水治理等方面的教学与研究。

一、我国环境保护的基本思路

1996年7月份召开的第四次全国环境保护会议进一步明确了我国环境保护的基本思路，落实《国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》（以下简称纲要）提出的环保目标，促进我国经济和社会沿着可持续发展的道路迈向21世纪。

（一）实行可持续发展战略

“在社会主义现代化建设中，必须把贯彻实施可持续发展战略始终作为一件大事来抓。可持续发展的思想最早源于环境保护，现在已成为世界许多国家指导经济社会发展的战略”。“任何地方经济发展都要注重提高质量和效益，注重优化结构，都要坚持以生态环境的良性循环为基础，这样的发展才是健康和可持续的”。江泽民主席的这段话把发展与环境的关系已说得很清楚了，但是，中国的现实与江主席的要求还相差甚远，我国经济的发展基本上仍然沿用以大量消耗资源和粗放经营为特征的传统发展模式，这种模式不仅造成对环境的极大损害，而且使发展难以持续。“粗放式的经济增长方式是造成环境污染和生态破坏的根本原因”——李鹏。“那种以盲目扩大投资规模、乱铺摊子为基础的经济增长，增长速度越快，资源浪费就越大，环境污染和生态破坏就越严重，发展的持续能力就越低。这是不可取的”——江泽民。

国家领导对解决中国的环境与发展问题，其基本思路是非常清晰的，它与我国经济改革的基本思路是一致的，经济体制的转变有利于提高经济整体素质和生产要素的配置效率，引导产业结构优化和生产力合理布局，减轻和消除结构性污染和生态破坏；经济增长方式的转变有利于提高结构优化效益、规模经济效益和科技进步效益，提高能源资源利用效益，减少污染物排放量。经济改革中的两个转变，为我国在发展经济中保护好生态环境提供了可靠的保障。坚持可持续发展战略就要在环境保护工作中做到：

1. 坚持经济建设、城乡建设、环境建设同步规划、同步实施、同步发展的三同步方针；

2. 坚持环境与发展综合决策。“在制定重大经济和社会发展政策、规划重要资源开发和确定重要项目时，必须从促进发展与保护环境相统一的角度审视利弊，并提出相应对策。这样才能从源头上防止环境污染的生态破坏”

——江泽民。在制定区域开发，城市发展、行业发展规划或调整生产力布局、产业产品结构调整等重大决策中，必须充分考虑环境的承载力，加快建立环境与发展综合决策机制，逐步使之规范化和法制化；

3. 加强宏观调控增加环保投入

要遏制我国环境状况继续恶化的趋势，归根到底还得增加环保投入：

污染治理投入/国民生产总值=A，我国“八五”期间A=0.7%。

根据国际实践经验表明：A=1-1.5%可以控制污染；A=2-3%可以逐步改善环境状况。建议A值每年增加0.1个百分点，1995年至2000年A值可达1至1.5%；2000年至2010年可达到1.5至2.5%，我国要经过20—30年的努力，才能逐步改善环境面貌，使可持续发展战略得到成效。

（二）遏制环境恶化趋势

应该看到，认识与现实有相当大的反差，我国国民生产总值，近十多年来以每年10%左右的速度持续增长，而环境保护的投入徘徊在0.7%左右，致使全国环境形势日趋严峻。以城市为中心的环境污染正在加剧并向农村蔓延，生态破坏的范围在扩大，程度在加重，局部地区的环境污染和生态破坏已成为制约当地经济发展，影响改革开放和社会稳定，威胁人民健康的重要因素，为了遏制环境恶化的趋势：

1. 国务院通过并发表的《关于环境保护若干问题的决定》要求到2000年全国所有的工业产业污染源排放污染物要达到国家和地方规定的标准。

2. 经过人大批准的“纲要”提出的《污染物排放总量控制计划》是确保实现“九五”环保目标的有力举措，“九五”期间先对那些环境危害大，经采取措施可以有效控制的重点污染物进行总量控制，即在达标排放条件下，所增加的污染物排放总量，要在本地企业或本地区等量削减，从而控制住本地区污染负荷的增加。

3. 拓宽环保资金渠道。在“九五”期间各省市要按照国务院《决定》的要求，切实增加环保投入，逐步提高A值，并建立相应的考核检查制度。其中基础设施由城市政府组织建设，设施运行费由污染者合理负担；工业污染防治资金按照“污染者付费”原则，主要由企业负担；按照“开发者保护、破坏者恢复”原则，生态破坏的恢复应由开发者和破坏者负担。要继续坚持并完善排污收费制度，切实做到依法、足额、全面征收排污费。要按照“高于污染治理成本”的原则，逐步提高现行排污收费标准。在实行污染物排放总量控制地区，要按照排污总量征收排污费。在部分地区开征二氧化硫排污费和生态环境补偿费。生活污水集中处理城市，向排污者合理收取污水处理费。

4. 实行环境质量行政领导负责制

国务院《决定》中的第一条就是实行环境行政领导负责制。要根据污染物排放总量控制和2000年工业污染源达标排放等要求制定本辖区切实控制污染、改善环境质量的具体目标和措施，并报上级备案。要将辖区环境质量作为考核政府主要领导人工作的重要内容。

5. 实施《跨世纪绿色工程规划》，在“九五”期间和下世纪初10年内分三期实施。第一期工程对3000多个项目筛选后确定重点治理“三河”（淮河、辽河、海河）、三湖（滇池、太湖、巢湖）的水污染及酸雨、二氧化硫控制区的大气污染，同时还包括各地区和有关行业确定的污染治理项目。要把上述项目纳入本地区“九五”国民经济和社会发展规划，在资金上优先安排。

二、我国环境状况

在“八五”期间中央批准《中国环境与发展十大对策》、国务院发布了《中国 21 世纪议程》，强调实施可持续发展战略，促使环保工作取得了较大进展。工业废水达标率 43%，工业废气消烟除尘率 64%，城市污水处理率 18%，城市垃圾处理率 33%，城市燃气化率 68%，城市绿化覆盖率 23.8%。但是，当前全国环境形势日趋严峻。

1. 大气污染日益加剧，全国 500 多座城市，大气质量达到一级标准的不到 1%，北京、沈阳、西安、上海、广州名列世界十大污染最严重的城市。二氧化硫年排放量约 2300 万吨，超过美国现在的水平（1600 万吨）。酸雨面积急剧扩大，已占国土面积 40%，由西南、华南蔓延至华中、华东、东北。

2. 水域污染问题突出。全国废水年排放量 360 亿吨，其中城市污水 80% 以上未经处理排入江河，城市河段水质超过了 3 类标准的已占 78%，湖泊、水库富营养化日趋严重，50% 以上的城市地下水受到污染，全国有七至八亿人饮用污染超标水。

3. 垃圾围城现象普遍。全国固体废弃物年产生约 6.2 亿吨，累积堆存量 60 亿吨，占地 30 多万亩。有毒、有害废物约占 5%，安全处置率很低，威胁性很大。生活垃圾年产生量 1.46 亿吨，大部分未经处理随意堆积。

4. 噪声污染普遍超标，全国有三分之一城市居民生活在噪声超标的环境中，城市交通大部分超过 70 分贝限值，生活噪声大部分超过 55 分贝限值。

5. 乡镇企业污染泛滥是我国环境继续恶化的一个重要根源。

根据上述污染现状预测到 2010 年我国主要污染物排放量为：

城市生活污水排放量到 2000 年为 420 亿吨，到 2010 年为 560 亿吨；城市垃圾年排放到 2000 年为 2.3 亿吨，到 2010 年为 6 亿吨；烟尘年排放量到 2000 年为 2200 万吨，到 2010 年为 3000 万吨；二氧化硫年排放量到 2000 年为 2700 万吨，2010 年为 3300 万吨。

计划到 2000 年环境目标为：全国所有工业污染源达标排放。工业废水处理率达到 84%，城市污水集中处理率达到 25%（英国为 100%，美国为 89%），二氧化硫控制在 2300 万吨，工业粉尘年排放量控制在 700 万吨，工业废气处理率达到 90%，工业固体废物综合利用率达到 50%，主要有害废物无害化处理率达到 20%，绿化覆盖达到 27%，森林覆盖率达到 15.5%。

三、《跨世纪绿色工程规划》中的首期重要工程

（一）淮河

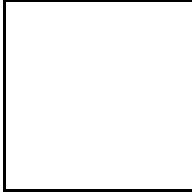
1. 淮河流域概况

淮河流域地跨河南、安徽、江苏、山东及湖北五省，所占面积依次为 87960、66940、50128、1163Km²。人口大于 20 万的城市有 24 个（郑州、徐州、淮南、开封、蚌埠、扬州、许昌等）。流域内总人口 1.5 亿人（1993 年）占全国 1/8。人口密度达 561 人/Km²，居七大流域之首。近十年来依托于农副产品加工的造纸、酿酒等轻工业发展十分迅速，而且以乡镇、村办企业为主，这些小造纸、小酿酒企业，工艺落后，管理水平低，经济效益差，耗水量大、排污量多，目前这两个行业的年废水量达 8.26 亿吨，约占全流域的 30%，年 COD 排放量达到 66 万吨，占全流域 44%，这种畸形的工业结构是造成淮河流域水污染的重要原因。

根据淮河流域水系特征，行政区划和保护目标，共划分七大控制区，各控制区的保护目标见表 1。

2. 污染现状

淮河流域水污染已成为一大公害，由水污染引起的饮水告急，人畜中毒、危害健康、死鱼死鸭、作物枯死、工厂停工等事件逐年增多，沿淮河 1.5 亿人口赖以生存的环境日益脆弱，造成惨重的经济损失和很大的社会不安定，并制约着该流域的经济发展。全流域自 1978 年至 1992 年发生较大的水污染事故有 160 起，造成直接经济损失 1.2 亿元以上，间接损失难以估计，居全国各大流域之首。



1) 淮河流域已有 2/3 河段无使用功能，即超过 V 类标准的水域为丧失使用功能水域。

2) 2000 多万人口的饮用水源遭到污染，河流两岸居民的饮水发生困难，一些地区癌症、肠胃病等发病率不断上升。

3) 跨省界断面水质 70% 属无使用功能，上下游污染十分严重。

4) 水污染对工农业生产造成严重损失，工厂设施腐蚀加速，产品质量下降，甚至迫使工厂停产。农田用河水灌溉农作物污染物含量严重超标，不少地区农作物因水质恶劣而减产，甚至绝收。

淮河流域水污染日趋严重的原因：

- 1) 乡镇企业发展迅猛，工艺技术设备落后；
- 2) 工业结构不合理，高污染低产出行业畸形发展；
- 3) 城市化速度较快，排污量过大；
- 4) 环境治理资金欠账大；
- 5) 季节性缺水严重；
- 6) 流域管理薄弱，跨省界断面难于管理。

3. 国家下决心治理淮河流域水污染

1994 年 5 月全国人大和国务院专门组织环保执法队伍到流域上游的河南省进行环保执法检查并在安徽蚌埠召开了会议，专门研究淮河流域水污染防治问题，宋健同志到会明确提出使淮河到 2000 年水质变清。为了实现国家提出的治理目标，拟采取的主要措施有：

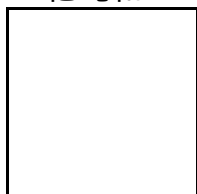
- 1) 强化淮河流域领导小组，加强流域水环境管理；
- 2) 制定《淮河流域水污染防治暂行条例》，对淮河流域工业污染源 1997 年全部达标排放，否则关停并转；
- 3) 编制淮河流域水污染防治规划，划定功能分区，制定省界断面水质标准，对全流域实行总量控制；
- 4) 要严格控制新上带有化学制浆的小造纸、小化工、小酿造、小制革、小电镀、小印染等五小企业，严格限制其它污染严重项目，对新扩改项目要加强环境评价，做到增产不增污，关闭 5000 吨以下小造纸厂化学制浆工段；
- 5) 通过严格执行产业政策和关停禁改转措施逐步调整现行不合理的经济结构，发展无污染、少污染节水工业；
- 6) 实施清洁生产战略，减少排污量；
- 7) 筛选一批工业污染源，通过限期治理 1997 年前先期达标排放；
- 8) 重点城市和一些中小县城建立污水处理厂；
- 9) 集中力

量通过打井和建立备用水源的办法，解决沿岸人民的饮水问题；10) 制定闸坝调控方案，通过闸坝合理调控，防止污水集中下泄，造成污染事故；11) 建立完善的环境监测系统，信息传递系统，事故应急反馈系统；12) 建立淮河流域地理信息系统。

上述措施的实施，通过估算，需要 275 亿元人民币。

4. 淮河流域 2000 年排污总量控制目标

经 1993 年的大规模实测入淮 593 个排放口的废水量和 COD 排放量分别为 36 亿吨和 150 万吨/年，平均浓度为 415mg/L，见表 2。



到 1997 年实现工业污染源达标排放，初步估算可削减 COD 约 60 万吨，所有新工业污染源均不得新增排污量，全流域允许排污总量为 89 万吨，见表 3。

根据淮河流域水污染防治计划最大允许排放总量分配到四省，由各省将排污指标分解到每一排放口，通过各排放口监测数据，制定污染物排放许可证的发放管理办法，建立检查核定制度。

淮河流域 2000 年排污总量控制以淮河流域水质还清为目标，确定枯水期干、支流不同使用功能下各河段的 COD 水质指标，取 90% 保证率最枯月平均流量为设计流量，计算不同水域的环境容量。根据接纳污水水域的环境容量确定全流域 COD 年最大允许排污总量 36.8 万吨，见表 4。我国现阶段污水处理厂建设费加的排水管网费，约 2500 元/吨水，按此基础测算，淮河流域 1100 吨/日污水全部进行处理，2000 年前需投资 275 亿元，才有可能建成所需要的污水处理厂。由于污染物去除费用随去除率的提高呈指数形式增长，因此，确定最佳削减率和优先项目，以便慎之又慎地使用投资。为此，应安排科技攻关。在建立水质监测系统、事故预警系统、闸坝调控系统的同时，制定淮河流域综合决策模型，总量控制审计技术，水质、水量、气象一体化模拟预测技术，污水团传输、演进模拟预测技术，遥感地理信息系统应用技术。同时，对淮河流域造纸、酿酒、化肥、制革等行业的污染有效处理技术；适合乡镇企业和预处理要求的实用技术；企业联片治理或与城市污水联合处理的各项技术等均需尽快解决。

5. 淮河流域优先控制小区的水污染防治备选项目

淮河水污染防治的优先目标是实现淮河干流枯水期地面水集中饮用水源地安全供水，防止平水期主要来自沙颍河的污水团形成危害，改善洪泽湖、南四湖和苏鲁边界的水质，为此共筛选出 32 个优先控制断面，确定了 32 个重点控制小区，位于这些控制小区的治理项目对解决淮河水污染问题的环境效益最突出，汇集可兴建的水污染防治项目共 114 项，作为优先备选项目，力争早日见效。

(二) 太湖及滇池

1. 太湖

太湖分属三省一市，其中江苏省占 53%，浙江省占 33.4%，上海市占 13.5%，安徽省占 0.1%。流域内有大中城市 38 座，总人口 3400 万左右，

人口密度 920 人/km²，是全国人口最密集地区之一，也是经济最发展地区之一。

太湖的主要环境为富营养化。总氮、总磷等营养物质含量已超过富营养化浓度（0.2mg/L 和 0.02mg/L），在适宜的气候和水动力学等条件下，使得水体中藻类大量繁殖，造成湖泊富营养化。“水华”频繁发生以及藻类疯长事件的发生，都表明太湖富营养化问题已十分严重。太湖富营养化已引起了污染事故，如 1990 年 7 月 5 日至 29 日历时 25 天，在无锡一侧的梅梁湖区大面积蓝藻暴发约 100km²，致使无锡市自来水日均减产 5 万吨，116 家工厂相继被迫停产和减产，直接经济损失 1.3 亿元，死鱼 8.9 万斤。太湖富营养化已成为影响区域人民生活和经济发展的主要环境。有关太湖的治理，在国家环保局的统一布署下，三省一市环保机构正在积极筹备中。

2. 滇池

滇池流域位于云贵高原中部，地处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带，流域面积 2920km²，滇池面积 300km²。

滇池污染比太湖严重，而滇池中的草海污染更为严重，水体超过五类水质，已失去水体功能。滇池草海的主要环境问题有：1. 有机污染及富营养化严重并仍呈发展趋势；2. 内源污染突出；3. 水葫芦疯长；4. 生物多样性丢失；5. 沼泽化加速；6. 草海是整个滇池生态系统中的脆弱带。

鉴于滇池水系是昆明市地区的唯一水源，草海的严重污染已波及到整个滇池的水质，因此，省市决心治理滇池，重点整治草海。

计划在“九五”期间使滇池治理初见成效，到 2010 年使滇池水质开始变清，总投资约 30 亿元人民币。

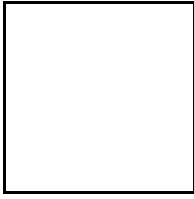
（三）酸雨问题

酸沉降，更为广泛采用的科学术语酸雨，它的危害是当前世界重大环境问题之一。近 20 年来已成为世界公众、科学工作者和政策决策人关注的焦点。在欧洲、北美和亚洲相继出现了酸雨区。

亚洲是工业发展较快的地区，特别是东亚，由于酸性气体的排放量迅速增加，一些地区出现了酸雨，其中除中国大陆和台湾外，日本、韩国、马来西亚、新加坡、泰国、印尼等相继也出现了程度不同的酸性降水。但亚洲的酸雨主要在中国。我国从“六五”“七五”“八五”的研究证实，酸性物质的沉降已经造成了很大的经济损失，并且证实我国酸雨是世界三大酸雨区中唯一的降水酸度仍在升高，酸雨面积迅速扩大的地区。

1. 我国酸雨状况及发展趋势

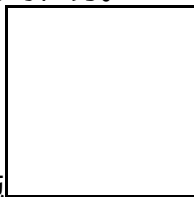
1993 年我国 271 个测站中选出 81 个分布在全国的代表性的测点同步观测得到的降水 pH 和电导率年均值进行分析，其结果是 81 个站中有 49 个站的降水属于酸性降水（pH < 5.6），占 61%，具体分布如表 5。从表 5 可知，pH 年增值小于 4.0 的严重酸性降雨区分布在长江以南，pH = 4.0 - 4.5 酸雨区已开始向长江以北发展，4.5 < pH < 5.6 一般酸雨区则扩展到华东、华北和东北广大地区，pH = 5.6 的等值线覆盖了全国约 40% 的面积，长江以南较重的酸雨区联成一片，西北和内蒙广大地区由于气候干旱，又是碱性土壤，那里的降水总量具有很高的 pH 值。



我国的酸雨面积，可以与欧洲和北美的酸雨区比拟，但欧洲 pH 值最低的只有一个点为 4.1，三个点为 4.2，我国则出现年均值小于 4.0 的一些地区，美国 pH 最低值为 4.2，也高于我国最低值，说明我国降水酸性最强地区的降水酸度高于美国，亚洲降水酸性比较强地区除中国外，还有日本，日本单个站点降水年均 pH 值最低为 4.5，此值比我国最低值高出 0.5 个 pH 单位以上，韩国酸雨的面积和降水酸度，在我国和日本之后，韩国降水 pH 值年均值却大于 5。

为了估计我国酸雨发展趋势，用线性模式初步估算了 SO_2 、 NO_x 与 NH_3 自 1950 年以来历年的排放量（见表 6），从表 6 可知，三种气体的年排放都在逐年增长（1960 年除外），但其增长速度各不相同，大气酸化发生的原因在于 $\text{SO}_2 + \text{NO}_x / \text{NH}_3$ 的比值不断增高，此比值代表了我国酸雨发展的趋势。

就全国而言，60 年代以前我国基本不存在酸性降水，最多也只限于个别的小地区轻度酸性降水，70 年代开始，川、黔、湘等某些地区出现了酸雨，根据 1986 年至 1993 年研究，我国降水 H^+ 浓度平均升高 3—10 倍，酸雨面积继续向西、向北扩大，1993 年比 1986 年全国酸雨面积扩大了约 100 万 km^2 ，目前年均降水 pH 值低于 5.6 酸雨临界值的地区已占全国面积的 40% 左右。随着我国未来社会经济发展与能源需求，我国因燃煤排放的 SO_2 量将急剧增加，据统计，1990 年全国煤炭消耗量 10.52 亿吨， SO_2 排放量为 1495 万吨（不含乡镇企业），到 1995 年煤炭消耗量增至 12.8 亿吨， SO_2 排放量已达 2341 万吨（含乡镇企业），超过欧洲和美洲，居世界首位。到 2000 年我国煤炭消耗量增长到 14.5 亿吨， SO_2 年排放量将达 2730 万吨，目前已有 62.3% 重点城市 SO_2 年平均浓度超过国家二级标准，如不采取重大措施，大幅度降低 SO_2 和 NO_x 排放量，我国未来的酸沉降污染将是极为严重的，因此控制酸雨污染是一项艰难而长期的任务。



2. 重大控制措施

为缓解并逐步控制日益严重的酸雨及 SO_2 污染，根据 1995 年通过的《中华人民共和国大气污染防治法》第 27 条规定，对已经产生、可能产生酸雨的地区或者其他二氧化硫污染严重的地区，划定为酸雨控制区或者 SO_2 污染控制区（简称两控区）。在两控区内切实采取严格控制 SO_2 排放的措施，同时规定必要的配套政策。

1) 两控区

酸雨控制区

划分的主要原则是：现状监测降水 pH 4.5，且沉降是超过临界负荷的区域，原则上以省为划分单元。

具体的是：上海、江苏、安徽、浙江、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西和贵州全境（约 158.6 万 km²），四川省的绵阳、德阳、成都、雅安、宜宾以东地区（约 22 万 km²，占全省面积 56 万 km² 的 39%）；云南省的楚雄黎族自治州、玉溪地区、红河哈尼族彝族自治州以东地区（大约 12.5 万 km²，占全省面积 38 万 km² 的 33%）。酸雨控制区面积约占国土面积的 20% 左右，包括 202 个城市，占全国 640 个城市的 31.6%。

二氧化硫污染控制区

划分主要原则是：将“八五”期间 SO₂ 年平均浓度超过国家二级标准的城市划为 SO₂ 污染控制区，以县级以上城市为基本划分单元，对 SO₂ 平均浓度超国家二级标准的地级以上城市数目占全省地级以上城市 70% 以上省份，将全省划分为 SO₂ 控制区。

具体的是：辽宁、河北、河南、山西、陕西、山东六省和北京、天津两市境内所有县级以上的城市，内蒙古自治区的呼和浩特市、包头市、赤峰市、乌海市、通辽市、集宁市、东胜市和临河市；吉林省的长春市、吉林市、白山市、延吉市、四平市和通化市；黑龙江省的双鸭市；甘肃省兰州市、白银市、金昌市、平凉市和张掖市；宁夏自治区的银川市和石嘴山市；新疆自治区乌鲁木齐市。

2) 政策与措施

在两控区内实行 SO₂ 排放总量控制，对 SO₂ 排放的单位实施 SO₂ 排放总量核定制度。

按照国函 [1996] 24 号文件规定，将 SO₂ 排污收费试点地区由两省九市扩大到两控区。达不到排放要求的按照国发 [1982] 21 号文件规定，加收 SO₂ 排污费。

在两控区对 SO₂ 排放可实行排污交易政策。

根据污染物排放总量控制要求划定煤炭的硫份、灰份限值。燃用超过限值煤炭的，必须采取有效措施控制 SO₂ 排放，并采用高效除尘器。

实施煤炭按所含灰份、硫份和热值定价，优质优价。

两控区内配套脱硫装置的火电厂，其脱硫成本摊入电价。

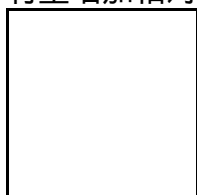
（四）汽车排气污染问题

交通带来的污染问题是环境问题之一，任何一个国家的发展过程中，交通运输条件是主要的基础设施，而支持这些基础设施的则是交通工业，尤其是汽车工业的发展。中国正大力发展汽车工业以适应经济社会发展的需要，由此将带来污染及一系列城市环境问题。

1. 汽车污染现状

1) 汽车保有量

自 80 年代以来，中国汽车保有量迅速增长，平均增长率达 13%，截至 1994 年，我国汽车保有量为 945 万辆，摩托车为 1500 万辆，见表 7，汽车保有量增加相对集中在一些大型和特大型城市。



到 1993 年，汽车保有量北京 72 万辆，上海 31 万辆，天津 40 万，广州 46 万辆。目前中国轿车保有量水平很低，平均每 1000 人 1.2 辆，处于世界最低水平，美国 1.5 人 1 辆，西欧平均 2 人 1 辆，日本平均 3.5 人一辆，巴西、墨西哥、韩国、马来西亚等国平均 10—20 人一辆，世界轿车保有量 5 亿辆，平均每 11 人一辆。

2) 油品消耗

油品消耗随着汽车保有量的增加也迅速增长，中国目前国产车油耗与国外尚有较大差距，如轻型载货汽车整车百公里油耗，国产车为 10—14 升，国外为 7—12 升，汽油油耗比国外多 23%，中型载货车整车百公里油耗是国外的 1.12—1.3 倍。1993 年我国汽车用汽油 2800 万吨，柴油车用柴油 700 万吨，共计汽车用油料 3500 万吨。

3) 污染现状

目前国产轿车的排气污染控制水平仅相当于国外 70 年代末期水平，约比目前日本生产的轿车的排放量高 10 - 20 倍，加之油耗较高，致使汽车污染问题严重。目前汽车 CO 排放量已接近 1000 万吨，NO_x 年排放量也达 100 万吨以上，由于大量汽车污染物集中在城市排放，以北京为例，CO 有 63% 来自于汽车污染，37% 来自于固定源污染，NO_x 有 22% 来自于汽车污染，78% 来自固定源污染，HC 有 73% 来自汽车污染，27% 来自固定源污染；广州市机动车的排放 CO 和 NO_x 分别占大气污染总量的 70% 和 43%。

在许多城市，交通干道和主要路口 CO 浓度超标，NO_x 浓度在某些城市也长期超标，某些城市还观测到高浓度臭氧，例如北京市 1988 年统计，三环路内 30 条街道中心和人行道大气中的 CO 均 100% 超标，夏季 69 天臭氧小时浓度超标达 530 次，最高浓度值为 394 微克/m³，大大超标，潜在着光化学烟雾发生的危险，表 8 中给出了北京市臭氧环境浓度超标历年发展情况，从表可知，1993 年臭氧的平均超标率已经远高于 1986 年和 1987 年。天津市交通干道上 CO 日均值全年超标，长沙市交通干道上中心点 CO 超标 4 倍，年超标率为 40%，深圳市的 NO_x 已成为首要大气污染物。

2. 汽车污染发展趋势

1) 汽车保有量

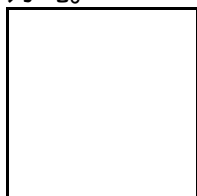
根据预测中国汽车保有量 2000 年约为 1800 - 2100 万辆，2010 年为 4400—5000 万辆，将位于世界前列，摩托车保有量 2000 年和 2010 年分别为 4500 万辆和 1 亿辆。

2) 油品消耗

根据估算，2000 年和 2010 年汽车耗油量分别为 5600 万吨和 1.05 亿吨。

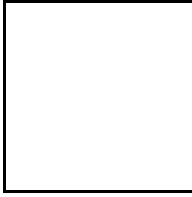
3) 汽车污染预测

根据预测，我国 2000 年及 2010 年汽车污染物排放量列于表 9 中，2000 年 NO_x、CO 排放量分别为 90 万吨和 874 万吨，2010 年分别为 150 万吨和 1140 万吨。



由于汽车保有量增长集中于城市，因此汽车污染物排放量将有更大幅度

增长，例如北京市见表 10。



所以从某些城市来看，随着汽车数量的增长和能源结构的调整，流动源污染将成为城市主要污染方式，如不及时加以控制，其污染增长速度不可遏制，尽管目前汽车保有量不多，但由于单车排放量高、路况差，使机动车总排放量仍保持较高水平。

3. 防治对策

- 1) 实施车辆定型、生产、进口、使用的全过程管理；
- 2) 建立实施国家机动车排放标准的装备监测网络，为防治机动车污染提出对策；
- 3) 通过制订严格的车辆排放标准，降低每一辆车的排放量，以控制总污染量的增长；
- 4) 提高油质量，尽快向无铅化、高标准化方向过渡；
- 5) 执行车辆报废制度，加速对旧车的淘汰，以改善环境质量；
- 6) 大力发展交通公路建设，改善城市交通拥挤状况，提高运输效率；
- 7) 完善立法工作，加大执法力度，严格实施环保法规。

可持续发展与 广东省的资源环境问题

孙大中

中国科学院广州地球化学研究所

孙大中 地质学家。1932年6月20日出生。山东威海人。1955年毕业于北京地质学院。中国科学院广州地球化学研究所研究员。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事前寒武纪地质、地球化学等研究。近几年来，结合社会经济发展需要，开展资源、环境的可持续发展方面的研究。

可持续发展是一种新的发展观。二次世界大战后，西方工业化国家经济迅猛发展，矿物资源和能源消耗量比战前增加了30倍，工业生产增长了50倍。这种单纯追求经济增长的发展战略导致了世界人口膨胀，资源日益匮乏、环境污染严重和生态系统失衡等恶果，威胁着人类的生存和发展。可持续发展的思想是80年代初提出来的。1987年《我们共同的未来》一书中将可持续发展概念阐述为：“科学技术向我们提供了更深刻认识自然系统的潜力，人们有能力使人类的事务同自然规律协调并在此过程中走向繁荣昌盛。人们可以期待一个经济发展新时代的到来，这一新时代必须建立在使资源环境条件得以持续和发展的基础上，既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害”。后来一些文章只引用其最后两句话来概括可持续发展概念是不够全面的。上述概念中，不但表达了可持续发展最本质的创新是改变过去人与自然相对立的关系为协调关系，同时还提出了资源环境的持续发展是可持续发展的基础；科学技术是发挥自然潜力和协调自然、社会、经济之间关系的重要支撑。

可持续发展的含义可以理解为：以保护自然为基础、发展经济为任务和提高人们生活质量的的社会进步为目的。自然、经济和社会可持续发展为三个子系统，三者相互关联协调构成一个巨系统。该系统是开放的、动态的和复杂的，也应该是可调的、增益的和趋于稳定的。在科学研究中常根据人口、资源、环境和发展，或人口、资源、环境、社会和经济等系统，建立一系列的指标体系，使用地理信息系统的手段来对系统进行评估和预测研究，以使可持续发展具有可操作性。

可持续发展的关键是资源的可持续性。资源是当今衡量国家和地区发展可持续性的重要标尺。广义的资源可以划分为自然资源（土地资源、水资源、矿产资源、能源、海洋资源和生物资源等）、经济资源（资金、原材料、机器、设施和交通等）和社会资源（人力、科技、文化、信息、管理、法规、道德等等），它们分别是前述自然、经济和社会可持续发展三个子系统的重要组成部分。考虑到近代的发展研究中强调人力资源的重要性，也有人将人力资源从社会资源中分出。有的国家地大物博、自然资源丰富，其发展的可持续性高（如加拿大、澳大利亚等）；也有的国家自然资源并不丰富，由于对人力资源和经济资源的高效开发和利用，同样也可以获得较好的可持续发

展效果（如日本和瑞士）。所以因地制宜地合理利用资源是可持续发展研究中的重要组成部分。此外，近年来人们逐渐认识到自然资源利用不合理是造成环境污染的重要祸根，因此，应当把资源和环境作为一个统一体来研究，逐步改变过去环境治理偏重于末端处理，治标不治本的状况，实现在生产和生活中使用资源从源头到末端的全过程控制，以达到最有效的利用资源和降低废物排放的目的。这实际上也是生产方式和生活方式的改变。从这些意义来讲，可持续发展就是要对资源和环境进行科学的管理，使资源的消耗和对环境的破坏控制在人类生态系统可持续的限度之内，从而使可持续发展的巨系统协调持续发展。

广东省资源环境条件在全国各省份中应该是较好的。但一些重要的资源人均量不足或分布不均、利用不好或人为破坏严重。根据 1993 年和 1994 年的资料，土地资源中耕地面积人均不足 0.6 亩，是全国人均量的 1/2，世界人均量的 1/10，加之水土流失和非农业占用使耕地减少，一定程度上影响了农业的发展。广东水资源占世界人均量的 2/3，且时空分布不均，东西两翼相对缺水，水质性缺水已初露端倪。林地资源人均 2.1 亩，高于全国水平，但成材林少，建设用木材靠外来供应。能源资源中，本省煤炭年产量不足全省能源消耗量的 5%；矿产资源比较丰富，其中黄铁矿、铅、金、银、铀和稀土居全国前列，但资源潜力不够清楚，开采浪费大。就海洋资源来说，广东是大省，海岸线长，港口多，盐业资源、油气资源、水产养殖等潜力大，但目前开发不够。总之，资源现状不够理想，有些资源如海洋资源和矿产资源等潜力还有待研究与开发。

改革开放以来，随着经济的高速增长，环境压力日趋严重。1993 年工业废水的处理率 < 60%，生活废水基本未处理排放，造成江河湖泊有较大范围的污染。全省工业废气排放总量增长，珠江三角洲酸雨频率达 50% 以上，机动车排放废气问题在广州、深圳等市相当严重。固体废弃物方面，仅全省城镇人均日产垃圾就近 1 公斤，且绝大部分未经处理。更为严重的是灾害频发，损失重大，仅 1994 年水、风、旱灾的经济损失就达 264 亿元。环境问题虽然已得到领导、群众和有关部门的关注，对环境污染的治理也有了安排，但任务仍然是相当艰巨的。因此，如何在生产和生活中节能降耗，实施清洁生产，全过程减少废物排放，更应引起高度重视。

应当看到，广东省“八五”期间 GDP 总量以年均 19% 的速度增长，预计今年可实现比改革开放前翻三番的目标。社会和经济的高速发展对实施可持续发展战略提供了十分有利的基本条件。广东省政府在“八五”初期就提出“经济要发展，环境要改善”，并相应制定了一些环境保护方面的法规，基本上避免了随着经济快速增长而出现环境进一步迅速恶化的状况。1995 年工业废水处理率和工业固体废弃物综合利用率也有所提高，城市环境治理取得了显著成绩。根据“九五”规划，到 2000 年环境保护主要指标控制在 90 年代初的水平，环境保护得到了应有的重视。从可持续发展巨系统的动态变化来看，由于广东的工业化和城市化发展迅猛，城市不断扩展，人口日增，人均资源减少，不可再生资源渐减，有的甚至趋于枯竭；可再生资源开发利用不尽合理也造成资源质量下降和资源功能退化。因此资源短缺的趋势应引起警惕，这很可能将是制约广东省社会经济发展的“瓶颈”，是可持续发展巨系统协调发展的难点所在。

解决广东省自然资源问题，除了严格控制人口增长率，适度限制城镇发

展规模等之外，可从以下三方面入手：一是依靠科技进步，挖掘资源潜力和不断开发新资源。重视资源-环境一体化研究，在资源开发利用的全过程注意资源的节约和综合利用，实行清洁生产，降低三废排放，减少环境污染，这实际上就是一种集约化生产；二是按照可持续发展概念转变“资源观”，改变自然资源低价或无价为资源（和环境）有偿使用和占用，以经济法则和有序管理防止资源的滥用及由此造成的环境破坏；三是从广东人口、资源和环境的实际出发，建立生产集约型 - 资源节约型经济体系，这将是争创发展新优势，促进社会经济持续发展的有效选择，其内容包括：建立节能、节约原材料、重效益的工业体系；建立节地、节水、节能、重效益的农业体系；建立节能、节时、重效益的综合运输体系；在保证人民生活质量的前提下，提倡适度消费、勤俭节约的生活方式和建立相应的服务体系；逐步实行分配合理、注重社会效益的社会保障体系。

总之，依靠科技进步，提高管理水平，发挥经济实力，挖掘资源潜力，运用市场机制、经济手段和改变生产方式及加速资源基础转换等促进资源合理和永续利用，建立生产集约型-资源节约型经济体系有益于广东省可持续发展战略的实施和现代化的早日实现。

青藏高原地质构造特点 和隆升机理

李廷栋

地质矿产部科技高咨中心

李廷栋 区域地质学家。1930年10月7日生于河北栾城。1953年毕业于北京地质学院。地质矿产部科学技术高级顾问，长春地质学院名誉院长，全国政协委员，国际岩石圈喜马拉雅协调委员会委员。1993年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事区域地质研究和地质编图，与同行一起在大兴安岭北部首次发现前震旦系热河动物群和得尔布干大断裂，建立了地层系统，总结了地质构造演化规律；总结了中国及亚洲地质特征；提出青藏高原“陆内俯冲-地壳分层加厚-重力均衡调整”的隆升模式，证实高原大幅度快速隆升始于第四纪。

青藏高原位于亚洲大陆的中南部，平均海拔高度4000米以上，是世界上最高的高原，素有“世界屋脊”之称。青藏高原的崛起是我们人类居住的这个星球晚近地质历史时期发生的一次重大的地质事件，可以说是这一时期自然界的一次伟大的地质创举。

青藏高原具有巨厚的地壳和复杂而独特的地质结构，记录了地球发展演化的历史和大陆裂解、漂移和拼合的丰富信息，是检验板块构造理论，解决某些全球性构造问题，产生地球科学新理论、新模式的关键地区。青藏高原蕴藏着丰富的矿产资源、水力资源及其他资源，铬、铜、金、铅锌、盐湖矿产、稀有金属、地热及某些非金属矿产尤为丰富，已发现若干大型、超大型矿床；石油、天然气、宝石矿产等亦具备良好的成矿条件；具有优越的找矿前景和资源开发潜力。青藏高原近几百万年以来的强烈隆升，对高原本身及毗邻地区的生态环境、气候及人类活动都产生了深刻的影响，记录了古环境、古气候变迁的丰富信息，是开展全球变化研究的理想地区之一。因此，长期持久地开展青藏高原地质及矿产资源的调查研究，具有重要的科学意义和实际意义。这就是世界许多科学家纷纷要求到青藏高原开展地学研究的重要原因之一。特别是青藏高原的主体在我国境内，是我国地质上的一大特色和一大优势，通过系统、精细的调查研究，不仅可以获得国际领先水平的科学成果，而且可以为我国、特别是西部地区经济、社会的持续发展提供丰富的自然资源和科学技术基础。

一、高原地质构造的主要特点

青藏高原的地质调查研究已经有150多年的历史，是世界上地质调查起步较早的地区之一。但是由于自然环境与社会条件诸原因，调查研究工作进展十分缓慢，其研究程度远远落后于欧洲的阿尔卑斯山、美洲的阿帕拉契山和我国东部地区。19世纪启蒙阶段的地质调查，主要由西方一些国家和印度等国地球科学家及探险家在高原西、南边缘开展地形测量及路线地质调查，初步进行了地层划分和构造研究，这一阶段的重要贡献是根据喜马拉雅

山的大地测量提出了均衡说。19 世纪末叶到本世纪 40 年代是地质学蓬勃发展时期，学术思想十分活跃，提出了各式各样的大地构造假说，青藏高原的地质研究也进入奠基阶段，除在西、南边缘进行详细调查研究，确定了地层系统，奠定了喜马拉雅山构造格局外，调查研究已深入到喀喇昆仑、藏东、川西、滇西及高原腹地部分地区，我国许多地质学家已开始介入高原的地质调查研究，提出许多颇具建树的学术观点和思想。青藏高原大规模的地质调查始于新中国建立之后。本世纪 50 年代到 70 年代是青藏高原地质调查研究的大发展阶段，调查地区已遍及整个高原，开展了大面积的中、小比例尺地质调查、路线地质调查、地球物理探测、航空磁测、矿产普查勘探、综合考察和地质科学研究。外国一些学者也在高原西部、南部边缘进行了地质、地球物理调查。80 年代以来，随着科学技术的蓬勃发展和我国改革开放政策的实施，青藏高原成为国际上发展地球科学的汇聚点和验证当代一些地球科学理论的试金石，国内外地球科学界研究探讨青藏高原的积极性空前高涨。这一阶段主要以岩石圈结构构造及其动力学以及高原隆升机制研究为主题，开展了高层次、多学科的综合研究，进行了多种形式的国际合作研究与交流，深化了对若干重大科学问题的认识。我们目前对青藏高原地质构造特点的认识可以概括为如下诸点。

1. 青藏高原是个相对独立的构造系统

青藏高原被夹持在土兰、塔里木、中朝、扬子、印度等几个刚性地块之间，不但在地形、地貌上构成一个统一的雄伟高原，而且在岩石圈结构、构造和若干地球物理场特征上也自成体系，形成一个相对独立的构造系统。其地壳厚度普遍较大，中间厚四周薄，腹地地区多为 70-80km，向周边地区逐渐减薄到 50-60km，形成地壳厚度陡变带。岩石圈南薄北厚，与地壳厚度呈同像关系。在重力、磁卫星、航空磁测图像上，青藏高原都表现与地理、地质轮廓相似的封闭异常区。在布格重力异常图、航磁异常图及磁卫星图上，表现为封闭的负异常区，被夹持于周围诸地块下异常区之间；自由空气重力异常则表现为一独立的正异常区；在高原周边均为重磁异常急剧变化的梯度带。

2. 高原岩石圈具有明显的层块结构

从地震波速和视电阻率特征以及其他地质、地球物理资料来看，青藏高原岩石圈具有明显的层块结构，垂向分层，横向分带、分块，显示了高原岩石圈物质组成及结构、构造纵横方向上的不均一性。这种不均一性，在岩石圈介质的波速、密度、磁性、电性及热结构上都得到较明显的显示。

岩石圈的层状结构首先表现在地震的多层速度结构上。从总体看，高原岩石圈可明显划分四个大的结构层：上地壳、中地壳、下地壳和上地幔。上地壳以分层清晰、速度结构复杂和横向变化较大为特点，南厚北薄，一般 25-35km，底部普遍出现一个低速高导层，厚度 3-6km。中地壳以厚度较大、速度较稳定和横向变化较小为特征，南薄北厚，大部地区厚 30-40km，喜马拉雅地区仅 10-20km，在安多以南埋深 50km 处出现第二个低速高导层。下地壳的特点是速度、厚度变化都较大，南厚北薄，中间厚两端薄，下部普遍存在厚度不一的“壳幔混合层”，在南部其底界面即莫霍面多有错断。上地幔厚度变化很大，总的变化趋势是北厚南薄，以唐古拉山、巴颜喀拉山地区最厚，可达 120km。

高原岩石圈的横向分带、分块特征，在多种地球物理场上都不同程度地

有所反映，在航磁异常、重力异常及电性结构方面，表现尤为突出。总体上表现为南北向分带和东西方向分块的特点。

3. 青藏高原是一块由多个地体拼合的大陆

地质、地球物理资料表明，青藏高原主体是由众多不同规模的地体和分割这些地体的缝合带或大型断裂带拼接镶嵌起来的一个地体集合体。它们各自具有不同的基底、地质建造组合、古生物群及地球物理场特征，反映了它们曾经分别隶属于不同的古大陆-劳亚古陆和冈瓦纳古陆。

地质建造、古生物区系和古地磁资料综合分析表明，古生代时这些地体均位于南半球中、低纬地带，晚古生代以东西向漂移为主，经三叠纪旋转运动后，自侏罗纪开始转为南北向为主的漂移。地体汇聚、拼合过程反映了欧亚板块不断增生并最终与印度板块拼接的过程。

4. 高原岩浆岩具有明显的时空演化规律

青藏高原发育有多条规模不等、性质不同的构造-岩浆岩带。这些构造-岩浆岩带都是在特定构造背景下生成的。根据岩浆岩特征及其形成的构造环境可以划分为俯冲期、碰撞期、走滑期、断块期四种类型的岩浆活动。同时，依据岩浆岩演化序列的差异划分出四个构造-岩浆岩区（带），即南喜马拉雅带、北喜马拉雅带、冈底斯带和青海高原带。南喜马拉雅带和北喜马拉雅带只经历了碰撞期构造-岩浆活动，产生碰撞型岩浆岩；冈底斯带则经历了俯冲期、碰撞期与走滑期三种类型的岩浆活动；青海高原带则在不同地区、不同时代叠加俯冲期、碰撞期、走滑期与断块期四种类型的岩浆作用，形成多期次、多类型叠加的一些岩浆岩带。

碰撞期岩浆活动范围较广，既包括有幔源型（I型）岩浆活动，又普遍出现壳源型（S型）岩浆活动。冈底斯火山-岩浆弧的岩浆岩并非都属于俯冲类型，一部分属碰撞型岩浆岩。

5. 高原地壳具有不同的变形特征

高原岩石圈变形有其动力学特征，表明高原经历了陆块裂解、地体汇聚、A型俯冲和伸展-走滑等四种不同性质的构造运动及变形过程。将高原主要断裂划分脆性剪切带、脆-韧性剪切带和韧性剪切带三大类，厘定出北喜马拉雅、康马、雅鲁藏布江、昆仑西大滩等四条韧性推覆剪切带，论述了它们存在的标志、变形特征、形成时代和演化。在高原地壳变形及构造应力场研究基础上，以喜马拉雅碰撞带为例，详细研究了高原伸展构造样式、形成机制及深部构造背景，提出了岩石圈深层热动力扩张的高原隆升的地球动力学模式，提出了喜马拉雅碰撞带的深部热构造作用-回流作用。研究工作表明，高原新生代变形表现为内部伸展、周缘逆冲-推覆，陆壳上部伸展、下部收缩，高原隆升具有在整体隆升基础上，不同地区差异隆升的特点。不同造山带具有不同的隆升机制和深部作用过程，据此将高原造山带划分为喜马拉雅型、冈底斯型、昆仑型等三种类型，分别总结了它们的岩石圈组构特征及其转化过程。

6. 组成高原的各地体具有一定的漂移规律

新获 27 个古地磁数据为高原地体划分及其运动规律提供了新的证据。研究表明：古生代时期，包括北昆仑地体在内的高原诸地体均位于南半球中-低纬度地区，古生代以后有大幅度纬向迁移；南、北昆仑地体与拉萨体三叠纪时曾发生数十度的顺时针旋转运动，到侏罗纪时又恢复到与古生代时相近的方向，而且拉萨地体与羌塘地体于侏罗纪时有大幅度北向迁移，其中羌

塘地体北迁约 20° ；白垩纪时，江孜地体曾发生大幅度北向迁移，从早白垩世的 29.9°S 迁移到晚白垩世的 9.1°S ，迁移幅度约 20° ，它与拉萨地体之间俯冲缩短的纬向距离约为 17.3° ；拉萨地体与羌塘地体的拼合时间在侏罗纪末期，两地体间俯冲缩短的纬向距离约为 13.7° 。已获新、老古地磁数据说明，随着地质时代的由老变新，各地体的古纬度由低变高，反映了地体从南向北逐步迁移的总规律。

7. 高原岩石圈热结构具有南北不均一性

总体表现为北低南高。北部的昆仑、巴颜喀拉和羌塘地区地表热流值介于 $40\text{--}47\text{mW}/\text{m}^2$ ，为趋于稳定的正常壳幔热结构；拉萨地体热流值位最高，一般 $100\text{--}300\text{mW}/\text{m}^2$ ，最高(羊应乡)达 $364\text{mW}/\text{m}^2$ ，拉萨北郊最低，为 $66\text{mW}/\text{m}^2$ ，为热壳热幔型异常热结构，以传导型和传导型及传导-对流型热流近距离内的交叉分布为特征；南部的江孜地体地表热流值也较高，为 $91\text{--}146\text{mW}/\text{m}^2$ ，为传导型热流，属热壳冷幔型特殊热结构。

地体综合构造热演化的动态模拟说明，高原并不是一个巨大的热壳，深部热活动强度并不像想象的那么大。控制地表热流分布的主要因素可能是莫霍面深度、地壳部分熔融、上地壳热源层和近地表水的热对流。壳内低速高导层，在南部可能是由滑脱作用磨擦生热导致地壳局部熔融引起的；北部地区似无热成因背景，可能是沿区域性大型构造滑脱带由于水溶液的贯入而引起的。

8. 高原岩石圈具有纵横方向不均一性

地震波速反映了高原岩石圈在纵、横方向上都呈现出不均一性。横向不均一性，在不同地体、不同构造交结地区和在断裂带两侧表现尤为明显，即不同地体、不同构造带各自具有不同的速度结构，反映了它们各自具有不同的地壳、上地幔结构。总体上看，北昆仑、南昆仑地体为“薄壳薄幔”结构；巴颜喀拉和羌塘地体呈现为“厚壳厚幔”结构；而拉萨及江孜地体则表现为“厚壳薄幔”结构。青藏高原大部分地区地壳平均速度为 $6.2\text{--}6.3\text{km}/\text{s}$ ，比一般大陆壳速度偏低；而上地幔顶部速度 ($8.1\text{--}8.2\text{km}/\text{s}$) 与正常大陆基本一致。

从纵向来看，上地壳结构复杂，速度变化大，底部普遍存在低速层；中地壳速度比较稳定，横向变化小，厚度较大，分层性差，在南部存在第二个低速层；下地壳波速多呈梯度变化，除喜马拉雅构造带外，都具有较高的速度。各地区具有不同的壳幔边界，喜马拉雅带壳幔边界清晰，莫霍面为一明显的速度界面，但多被错断；在冈底斯带及其以北，壳、幔之间不是一个简单的一级间断面，而表现为速度梯度层，即称之“壳幔混合层”。

9. 高原地壳具有一定的磁场特征

从磁异常图来看，高原总体上是一个磁场偏低和磁性变差很小的区域，主要表现为几个不同磁场背景及特点的大型磁性区块以及分割这些磁性区块的大型线性磁异常带或磁性分界的镶嵌。高原已经鉴别出几条大型线性磁异常带或磁性分界带，金沙江-红河磁性分界带最为醒目，东西两侧磁场特征迥异，标示了两侧壳结构的差异。

亚东-格尔木磁测剖面研究结果表明，以沱沱河-玉树断裂为界，以南磁性变化大，以北相对较平稳，显示了高原南北地壳结构及构造活动性的差异。雅鲁藏布江南北康马及羊八井各出现一片低磁区，可能反映深部存在局部熔融体。地壳磁性层顶界面埋深一般 $7\text{--}9\text{km}$ ，但巴颜喀拉地区深达 20km ，表明

变质基底埋藏很深。

10. 重力异常所反映的构造特征

在布格重力异常图上，青藏高原显示为一封闭的高负异常区，异常值变化范围一般 200 左右。高原内部异常值高达 $-500 \times 10^{-5} \sim -550 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，为重力异常缓变区；在高原周边多为 $-350 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，为重力异常高梯度带。重力异常的这种展布格局清楚地显示出青藏高原是一个相对封闭、独立的构造系统，重力异常的起伏反映了高原莫霍面的起伏变化。高原内部的高负布格异常起因于高原巨厚的地壳。

从均衡重力异常图来看，高原内部异常值一般不超过 $\pm 20 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，高原周边则出现不同强度的均衡异常，喜马拉雅地区为 $+60 \times 10^{-5} \sim +100 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，最高达 $+120 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，昆仑山、阿尔金一带为 $+40 \times 10^{-5} \sim +70 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，柴达木盆地出现 $-64.9 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的负均衡异常。这些资料表明，高原内部基本上已达到重力均衡状态，高原周边尚不同程度地处于重力均衡补偿不足状态。喜马拉雅地区的高正均衡异常尤其引人注目，说明喜马拉雅地区目前仍处于印度板块与欧亚板块强烈挤压之中，来自印度板块的强烈向北挤压，阻碍了该区地壳的均衡调整，使之继续处于隆升之中。

二、高原隆升的事实和证据

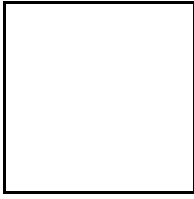
白垩纪晚期到始新世，新特提斯洋逐步关闭，印度板块与欧亚板块碰撞拼合，青藏高原开始了一个地壳缩短、加厚和不断隆升的新阶段。高原地壳的缩短和加厚，是通过印度洋的不断扩张，已经拼合的印度板块与欧亚板块强烈挤压、汇聚、变形而实现的。

青藏高原地壳缩短、加厚和隆升，至少有以下诸方面的事实和证据是值得加以考虑的。

1. 古地磁证据

根据古地磁资料，始新世时，喜马拉雅带定日的古纬度为 4.6°N ，现今纬度 28.8°N ，即始新世以来喜马拉雅构造带向北漂移 24.2° ，约 2700km。当时唐古拉构造带南缘东巧的古纬度为 29.5°N ，与定日之间相距 24.9° ，约 2800km，目前东巧与定日之间南北垂距约 400km。这就是说，始新世以来喜马拉雅构造带与唐古拉构造带之间地壳缩短约 2400km。又如，始新世时拉萨古纬度为 13.8°N ，与定日之间纬度差为 9.2° ，约相距 1000km，而目前定日与拉萨之间相距仅 120km，即始新世以来喜马拉雅构造带与冈底斯构造带之间地壳缩短约 800 余公里（表 1）。

P. Patriat 根据中印度洋磁条带异常，结合拉达克、西藏及泰国古地磁资料，再造了印度板块新生代时期向北漂移过程的框架。他认为自印度板块与欧亚板块碰撞以来，青藏高原地壳总共缩短 $2600 \pm 900 \text{km}$ ，其中雅鲁藏布缝合带以北的欧亚古大陆缩短 $1900 \pm 850 \text{km}$ ，喜马拉雅地区缩短 $700 \pm 300 \text{km}$ 。他给出的数据与我们计算出的数值基本一致，即自始新世印度板块与欧亚板块碰撞以来，由于印度洋的扩张和印度板块不断向欧亚板块推挤，使青藏高原地壳缩短了约 2500km，其中喜马拉雅构造带约缩短 800km。



2. 盆地沉积及建造

新生代时期，青藏高原发育一系列不同时代、不同类型的沉积盆地，它们记录了高原古地理的演化和隆升的过程。

晚白垩世晚期至渐新世，由于印度板块沿雅鲁藏布缝合带向北的俯冲，在仰冲板片前缘出现双磨拉石带：内磨拉石带（ $K_2^3-E_3$ ）展布于冈底斯带南缘，厚 2000-4000m；外磨拉石带（ E_2-E_3 ）分布于雅鲁藏布蛇绿岩带南侧，厚约 2000m。这些磨拉石沉积反映当时冈底斯带和雅鲁藏布蛇绿岩分布区已隆升为中低山区。

早第三纪到中新世，除高原北部和东部出现以贡觉盆地为代表的山间盆地型红色碎屑岩建造以外，高原内部大部分为河湖相细碎屑沉积和含煤、含油岩系，代表了温暖潮湿气候条件和比较稳定的沉积环境。地势高差不大，东北部高，山脉最高海拔不过 2000-3000m，西南部低平，山区海拔高度一般 500—1000m，未出现真正的磨拉石建造。

上新世开始，高原内部大部分盆地消失，在高原南北边缘却出现巨厚的上新世一早更新世磨拉石建造，显示了高原的强烈隆升。喜马拉雅山前以锡伐利克群为代表的磨拉石沉积东西延展 2000 余公里，厚度达 6000m；昆仑山前的阿图什组（ N_2 ）及西域组（ Q_1 ）磨拉石沉积共厚 4600m；祁连山前的疏勒河组（ N_2 ）和玉门组（ Q_1 ）磨拉石沉积厚 2000 余米。这些巨厚的磨拉石沉积标志了上新世一早更新世时期青藏高原曾经出现大幅度的抬升。

3. 动植物群时空分布

高原新生代各时期动、植物群的时空分布，既显示了高原各时期气候的状况，又间接指示着各时期地形高度的变迁。

在高原东部贡觉盆地、热鲁盆地及喜马拉雅地区和冈底斯山南缘的扎达盆地、昂仁盆地、柳区盆地及珠穆朗玛峰一带的始新世—渐新世沉积中，都发现有以棕榈科、榕属为主的植物群；在这些地区以及北部的伦坡拉盆地、布尔汗布达山南缘盆地及柴达木盆地，都发现有栎、松、杉、麻黄为主的孢粉组合和杨、柳、旱梅等温带落叶阔叶植物群化石。这些植物群面貌说明当时的青藏高原大部分地区处于热带-亚热带雨林环境，一些山区生长了温带植物群，推测海拔高度介于 500-1500m，东部山区较高，可能达 2000m 左右。

从已发现的古植物化石和孢粉组合来看，晚第三纪时青藏高原主要生长着常绿型高山栎类植物群，伴有针叶、阔叶植物，部分地区孢粉组合反映为草原-森林型植被面貌。在喜马拉雅北坡扎达盆地、古隆盆地，那曲布龙盆地，柴达木盆地和祁连山南麓，多处发现三趾马动物群。这些动物群显示，晚第三纪时青藏高原已处于温凉山地环境，地壳已有相当程度隆升，东部与北部某些山峰已达相当高度，但大部分地区海拔高度仍不超过 2000—3000m。

4. 河湖相沉积高程

喜马拉雅地区上新世-早更新世河湖相沉积顶面海拔高程多在 4200-4600m。希夏邦马北坡野博康加勒群海拔 5700-5900m，卓奥友峰东北部加布拉湖相沉积海拔 5900-6000m。依据有关古生物等证据，推断这些湖相沉积是

早更新世以后抬升到现在的的高度的。据陶君容报道，在西藏热久藏布河西岸 5000—5200m 的加布拉林附近中更新世湖相沉积中含曲枝柏 (*Sabinarecurva*) 化石。目前这种植物生长于喜马拉雅北坡 2700-3900m 高度，推测这种植物当时生长高度约 3000m。说明中更新世以来，这个地区抬升约 2000m。又在聂拉木亚里波曲河第一阶地(海拔 4300m) 的全新世石灰华中发现的植物印痕化石主要是生长于 3400 - 3800m 的高山灌木丛，说明聂拉木亚里地区全新世还抬升约 1000m。

三、高原隆升幅度和速率探讨

近年来，国内外学者采用热年代学方法以及 GPS、SLR、VLBI 及常规精密水准测量等方法，探测了高原隆升幅度与速率，依据这些数据可粗略概括出高原隆升的某些规律：一个是白垩纪末以来，高原隆升速率有愈来愈快趋势，从 60-40Ma 的 0.016-0.08/a 23-4Ma 的 0.09-0.75mm/a 到 2-0.5Ma 的 1.6-4.5mm/a 以及 0.5Ma 以来 > 4.5mm/a。上新世或中新世末，特别是中更新世以来，隆升速率突然加快。第二是上新世以来，高原隆升速率有自南西北逐渐变慢之势，例如，上新世以来，喜马拉雅区隆升速率可达几到十几毫米/年，而北部的阿尔金山则只有 0.42/a；近几年直接测量数据更为明显：珠穆朗玛峰地区 37mm/a，拉萨-邦达 10mm/a，狮泉河-萨嘎 8.9mm/a，喀喇昆仑山 6-9mm/a，到北部甘肃西部阿克塞地区减到数毫米/年到 5.2mm/a。这种隆升速率在时空上的变化规律，与上述地质、古地磁等所得结果基本一致。

四、高原隆升过程

印度板块与欧亚板块碰撞后，青藏高原地壳不断缩短、加厚，经历了一个抬升与侵蚀消长平衡、构造抬升与均衡隆升相互更叠、从缓慢抬升向快速隆升过渡的复杂的隆升过程。根据隆升性质、构造-热事件演化和地质建造特征，可以将高原隆升划分为 3 个阶段。

1. 俯冲碰撞隆升阶段 (K_2 - E_2)

这是高原开始隆升的时期。印度洋洋脊两侧条带异常及德干高原暗色岩古地磁及同位素测年数据都表明，自晚白垩纪末期以来，印度板块向北漂移速率逐渐降低，从开始时的 15-20cm/a 到始新世中期 ($48\text{Ma} \pm$) 急剧降低为 < 10cm/a，标志着新特提斯洋的完全封闭和印度板块与欧亚板块的碰撞焊接。

在此期间，由于印度板块的向北俯冲，使冈底斯带隆升并形成岛弧型火山-深成岩带，在其南麓形成下磨拉石带（“冈底斯磨拉石带”），即尹集祥等所称的内磨拉石带下部。同时，由于陆-陆碰撞及雅鲁藏布蛇绿岩仰冲，形成“印度期-雅鲁藏布希岭”，并于南、北两侧形成上磨拉石带，即尹集祥等所称内磨拉石带上部的恰布林组及外磨拉石带的柳区群。下磨拉石带代表了印度板块与欧亚板块初始碰撞的产物；上磨拉石带则标志着两板块全面碰撞后产生的双磨拉石带。这些事实说明，当时冈底斯已抬升到相当高度。但从所产的以棕榈科、榕属为主的植物群面貌看，其海拔高度不超过 1000-1500m。

老第三纪时，高原北部和东部处于隆起-剥蚀区，由于大规模走滑断裂产生一系列拉分盆地，堆积了巨厚的含膏盐的河湖相红色碎屑岩系，其中沱沱河盆地沉积厚度达 8000m，贡觉盆地红层 2600m，柴达木盆地整体沉降为大陆

湖盆地。根据植物群面貌，当时高原东北部地区海拔高数百米，山地可达2000m左右。

2. 汇聚挤压隆升阶段 (E_3-N_1)

始新世末期，印度板块与欧亚板块完全碰撞拼合，二者的聚敛速率下降为5cm/a左右，已经结合为一体的印度-澳大利亚板块的持续向北推移挤压和北部、东部刚性地块的阻挡，促使高原地区地壳大规模缩短、加厚，高原持续缓慢抬升，构造抬升与剥蚀作用处于动态平衡状态。

在喜马拉雅地区，渐新世时期处于隆开剥蚀期，构造活动相对平静。中新世时构造活动强烈，陆内汇聚作用加剧，形成大规模的冲断、推覆构造及滑脱系，主中央逆冲断裂（MCT）及主边缘逆冲断裂（MBT）相继活动，并产生多期淡色花岗岩侵入作用。由于喜马拉雅地区的快速隆升和剥蚀，在喜马拉雅山南缘形成一系列盆地，堆积了以穆里群和下锡伐利克群为代表的碎屑沉积；在孟加拉湾，深海冲积扇开始形成。当时喜马拉雅地区海拔高度约1000m左右，主峰带可能已达2000—3000m。

在青藏高原，由于强烈的陆内汇聚作用，地壳不断缩短、加厚并持续隆升，裂隙和逆冲-走滑作用产生一系列盆地，堆积了河湖相含煤、含油碎屑岩系及中基性火山岩喷发。在冈底斯带有中-中酸性火山岩喷发，在囊谦、八宿一带出现碱性火山岩，在可可西里出现以碱性为主的火山岩喷发。冈底斯山南木林乌龙组（ N_1 ）以高山栎为主的植物群、藏东茫康中新统桦木化石以及其他地区一些植物群的特征，均说明中新世末期青藏高原曾出现一准平原面，海拔高度1000-1500m，一些山地、山峰可达2000—3000m。

3. 均衡调整隆升阶段 (N_2-Q)

经过前一阶段的隆升和夷平作用，自上新世开始，青藏高原进入一个以大幅度整体隆升为主的新阶段，而且抬升速度有越来越快的趋势。上新世-早更新世仍以压应力为主，以构造抬升为主导；中更新世以来，以张应力为主，以整体均衡隆升为主导。

在喜马拉雅地区，由于强烈的褶皱、断裂和地壳隆升，产生区域变质、混合岩化和淡色花岗岩的侵入作用，在喜马拉雅山前形成著名的长达2000余公里的锡伐利克磨拉石带，厚度逾6000m。高山栎、三趾马动物群的出现，说明上新世-早更新世时期，喜马拉雅地区海拔高度约2000-3000m。抬升到目前的高度，是中更新世以来发生的地质事件。

在青藏高原，早期由于沿几条东西向断裂带发生陆内俯冲，导致一系列推覆构造群和地壳隆升，后期则由于均衡调整，产生大幅度快速隆升。在昆仑山前及祁连山北麓，都分布有巨厚的上新世-早更新世磨拉石；高原东部上新世-早更新世含温带针叶、阔叶混交林植物群的沉积，目前大多抬升到4000m以上分水岭垭口或山顶夷平面；在藏北、昆仑山及横断山区，在古夷平面上形成的岩溶、红土层（如革吉县库大溶洞），目前均已抬高到4000m以上的高山之上。此外，诸多河流的袭夺、改道，山麓冰川的发育，柴达木盆地的退缩以及植物群的变迁等，都说明中更新世以来，青藏高原曾出现大幅度快速整体隆升。

喜马拉雅山前、塔里木盆地南缘及祁连山北麓磨拉石沉积的反旋回特征，也标志着青藏高原自上新世以来经历了由缓慢抬升到快速隆升的过程。青藏高原自始新世以来到底隆升了多少？剥蚀了多少？需要进一步调查研

究，取得足够的定量数据予以阐明。但是，从高原周边磨拉石建造规模和厚度以及孟加拉湾深海冲积扇的巨大规模来看，其剥蚀量是相当可观的。

五、高原隆升机制

对青藏高原的形成、演化和隆升机制，国内外学者曾经提出过各式各样的模式。按力学机制这些模式可大体分为 3 类：一类是以印度板块挤压力为动力源的俯冲碰撞模式；第二类是以垂向负荷力为动力源的重力作用模式；第三类是以水平挤压和垂向负荷为力源的双挤压模式。我们认为，驱动高原隆升的动力源主要来自印度-澳大利亚板块持续向北的漂移挤压，同时受到亚洲大陆几个刚性地块的阻挡或相对向青藏高原的俯冲和挤压，而深部热动力也起了很大作用。总之，高原地区厚达 20000-30000m 的巨厚沉积层、火山岩层和不同层次侵位的侵入岩及上地幔物质向地壳的贯入，为高原地壳加厚提供了物质基础；组成高原地壳岩层的粘滞系数较低的柔性体块（ η 值为 10 - 100 帕·秒数量级，比全球平均值低 50% 以上），为高原地壳变形、缩短、加厚提供了内在条件；印度-澳大利亚板块向北推挤及高原周边刚性地块的围限，为高原陆内汇聚、地壳加厚及缩短提供了有利的边界条件。

地质和地球物理资料表明，青藏高原地壳的加厚、缩短，是在压应力作用下通过不同层次物质以不同的运动形式实现的：上地壳主要是通过岩层的褶皱、逆冲、推覆而导致一系列叠瓦状推覆构造使地壳重叠加厚，由于挤压造成不同层次的滑脱、拆离，产生局部熔融而导致岩浆的贯入和喷出，也是上地壳加厚的原因之一；中地壳波速比较稳定，一般为 6.3-6.6km/s，分层性差，反射能量较弱，少见速度界面，说明其物质组成比较均匀，它可能是通过塑性褶皱变形和深位韧性剪切作用使地壳缩短加厚；下地壳除塑性褶皱、韧性剪切作用以外，由于下地壳内部和下地壳与上地幔之间多层次的拆离、虚脱减压，使上地幔部分熔融，流体不断涌入下地壳，形成“壳幔混合层”，这可能也是造成下地壳加厚的重要原因之一。

总之，在印度-澳大利亚板块持续向北漂移推挤条件下，由于高原四周刚性地块的阻挡，产生强烈的陆内汇聚作用：在强烈的压应力作用下，一方面产生沿各构造带之间的古缝合带或断裂带产生陆内俯冲，另一方面产生多层次的拆离、滑脱，上、中下地壳以不同机制分层加厚、缩短，高原缓慢抬升，上地幔大幅度沉降，形成“高原山根”；上新世、特别是中更新世以来，随着高原整体漂移速度的变慢和各地质块体之间漂移速度差的减少，产生应力松弛，挤压作用大为减弱，在山根作用下，产生强烈的均衡调整，使高原大幅度整体快速隆升，形成目前这样高大的高原。我们把这种高原隆升的过程和机制概括为：“陆内汇聚-地壳分层加厚-重力均衡调整”的高原隆升模式。

我们只有一个地球

——人类社会的共同选择，走可持续发展之路

欧阳自远

中国科学院地球化学研究所

欧阳自远 天体化学与地球化学家。1935年10月生于江西吉安。1956年北京地质学院毕业，1960年中国科学院地质研究所研究生毕业。贵州省科学技术协会主席。中国科学院地球化学研究所研究员，贵州省人大常委会副主任。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。对我国地下核试验地质进行了综合研究，系统开展各类地外物质（陨石、宇宙尘、月岩）和比较行星学研究。

在现代化建设中必须把可持续发展作为一个重大战略。要把控制人口、节约资源、保护环境放到应有的位置，使人口增长与社会生产力的发展相适应，使经济建设与资源“环境相协调，实现良性循环。

必须切实保护资源和环境，不仅要安排好当前的发展，还要为子孙后代着想，决不能吃祖宗饭，断子孙路，走浪费资源和先污染、后治理的路。

——江泽民

一、概述

地球，太阳系的骄子，是现今人类知道的唯一具有生命繁衍和高度文明发展的天体，她始终以生机盎然、端庄秀丽的姿态遨游在浩瀚无际的宇宙中（附图）。

地球是由不同化学组成的星子堆积而成，自她诞生至今已经经历了45亿年漫长而复杂的演化历史，地球内部的分异、调整，形成了内核、外核、下地幔、地幔过渡带、上地幔和岩石圈的层圈结构。地球演化的早期，大面积剧烈的火山喷发，强烈的岩浆与构造活动，地球内部的脱气，逐渐形成了地球表面广泛分布的水体和笼罩整个地球的大气层。日地系统的相互作用形成了日地空间的特殊保护层——磁层。大陆漂移、海底扩张、板块运动、碰撞造山、沧海桑田，不断更新着地球表面的形貌与海陆分布。地球内部和表层的成矿过程，为人类提供了极其丰富的矿产资源。煤、石油、天然气等能源资源，既是大量生物残骸的堆积演化而成，也是地球历史中太阳能转化、积累的产物。地球为人类的诞生、进化与发展提供了极其丰富的物质基础和适宜的自然环境。

陨石中蕴藏着氨基酸等多种复杂的有机物，证明在地球形成前的太阳星云中，已经经历过无机的生命元素合成各种复杂有机化合物的前生期化学演化过程。在地球演化的早期，虽然地表的环境极其严酷，但这些构成生命链条的有机化合物终于形成了具有新陈代谢能力的最原始的生命。生命的诞生

是脆弱的，生命的演化是顽强的。古生物学提供了地球上生物进化里程的丰富证据，大气圈、水圈与生物圈的相互作用与相互制约，谱写了近 40 亿年波澜壮阔的生物演化史。地球永远呈现出一派生气勃勃的壮丽图景。

人类的诞生与进化，经历了至少 300 多万年的历史，在地球的历史长河中虽然只是一瞬间，却几经劫难，顽强生存。人类长期受到自然界的奴役和统治，在与自然界的长期斗争中，增强了征服自然的智慧与能力。随着生产力的发展，社会的进步和科学技术的昌盛，特别是工业革命以来，随着人口的增长和社会的发展，人类向自然界无限制地索取，导致自然支撑体系的失衡；资源不合理的开发和利用，某些矿产资源与化石能源的短缺与枯竭；土地的侵蚀与退化，耕地、森林与草场锐减，干旱化与沙漠化的扩大与蔓延；水体的污染与淡水资源的严重短缺；环境污染加剧、健康恶化、酸雨的威胁，灾害频发；大气中温室气体的加速增长，全球增温与海平面上升，臭氧空洞的扩大；生态恶化，生物多样性锐减；人类的生存环境和社会发展受到严重威胁。70 年代以来，人类认识到要协调人与自然的关系，人类社会与自然界必须协调发展，可持续发展是人类的生存与发展的必由之路。

二、地球——人类唯一的、美好的共同家园

在广漠无垠的太空里，一颗蔚蓝色的球形天体，表面海陆隐现，上空浓云密布，这是人类赖以生存与发展的家园——地球。地球是太阳系家族中一个独特的成员，是太阳系中唯一有生命发育和人类活动的行星，也是当今所知宇宙中唯一有生物演化和高度文明发展的天体（附图）。

太阳系的各个行星，体积大小不等，密度差异很大，距离太阳远近不同；它们既有自转也共同在黄道面附近绕太阳公转；它们内部都有核幔壳的结构，外部都有浓度不等、成分不同的大气层所笼罩。地球是一颗近球形的椭球形天体，赤道略鼓，两极稍扁，平均直径 6317km，自转周期为 23 小时 56.07 分，绕太阳公转的速度为 29.8km/s，周期为 365.3 天。地球属太阳系的一个普通成员，与其他行星相比，似乎毫无特色。为什么在太阳系中唯有地球得天独厚，成为一颗生气勃勃的行星？

以太阳系中的类地行星（水星、金星、地球、火星）及月球进行比较，地球的特殊性在于：

1. 与太阳的距离较适宜。距太阳最近的水星与金星，表面温度达到 300-430^oC，水只能以气态形式存在；距太阳比地球远的火星，夏季和冬季的平均温度分别为 -60^oC 和 -120^oC。火星表面几乎不含液态水，一般由于蒸发而成为水蒸气或冻结成冰。地球表面的温度为 -33^oC -47^oC，平均温度为 15^oC，较广泛适应生物生存的条件。地球表面被大面积的水体覆盖，水的气态、液态与固态常共存于地球表面。

2. 质量大小较适宜。行星的质量大小制约着大气层的浓度与厚度。地球的大气层设定为 1 个大气压，质量最小的类地行星水星的大气层极为稀薄，仅有 0.003 个大气压；质量比水星更小的月球，几乎没有大气层，月表呈现出高真空状态；质量比水星略大的火星，大气层仍很稀薄，为 0.005-0.007 个大气压；质量接近地球的金星，具有极其浓密的、以 CO₂ 为主以及 N₂O、SO₂ 等微量气体组成的大气层，约 99 个大气压。金星内部的脱气由于缺乏类似地球的海洋对气体的溶解与沉积作用和生物的吸收转化作用，致使大量的内部脱气残存于大气层中，并形成极强烈的酸雨。

大气层对行星表面气候的调节发挥着重要的作用。月球没有大气层，昼夜温度分别为 130 ~ 150 和 -180 ~ -160 ，成为一个无风、无水、无声响、冷热剧变、非常干旱、无生命的寂静世界。地球的 N₂-O₂ 大气层和海洋共同调节地面气候，与其他行星相比较，地球难以发生类似火星的全球性尘暴，也不似金星大气那样窒息和形成强酸雨，地球上显得气候多样、风调雨顺。

3. 自转轴的倾斜角度适宜。地球自转轴与垂直黄道面的夹角为 23° 27' ，使地球南北两半球各自四季分明，气候适宜；金星为 177° ，直立逆行，无春夏秋冬之分；天王星为 97° 55' ，躺着自转逆行，南北两半球的差异极大。

4. 唯有地球表面和深部含有液态水。水是生命之源，水是行星体内的血液，参与大气——海洋——生物界——地壳和地球内部的循环，水是改造地表形貌、促进地球内部运动的内外地质营力的主要介质。

5. 地球表面具有多层保护圈。地球外围的 N₂-O₂ 大气层、臭氧层、电离层和磁层，各司其职，是保护地表生物演化的多层屏障，也对地球高度文明的发展发挥了重要作用。

地球是太阳系的骄子，是生命的摇篮，是人类生存和发展的美好家园。

三、灾难深重的地球

300 多万年来，人类经历了野蛮时期、蒙昧时期之后，大约在 5000 - 6000 年前出现了书写符号，开始进入文明时期。长期受自然界统治和奴役的人类向大自然提出了挑战，他们开始播种和驯养动物，冶炼金属，建立城镇。随着社会的发展、科技的兴盛、工业革命的兴起，掌握了强大生产力的人类向自然界开发资源。这些自然资源似乎是取之不尽，用之不竭的，人类挥霍无度地消费这些自然资源的产品。

20 世纪后半叶，人类社会的进程超越了在此以前的几个世纪，在即将跨入 21 世纪之际，在新的科技革命的浪潮冲击之下，世界正发生着史无前例的变化。以微电子、信息、生物、航天、新能源、新材料等为代表的一大批高技术的蓬勃兴起，迅速改变人类的生产与生活方式，推动着社会生产力的飞速发展。但另一方面，人口的增长、资源的匮乏、生态恶化、环境污染和灾害的频发，产生了一系列人类生存的危机，人类社会与自然界的和谐与协调发展遭到了严重的破坏，人类居住的地球已不堪重负、灾难深重。

（一）人口激增

世界人口自 1950 年到 1987 年增长了一倍，达到 50 亿。1996 年 6 月底达到 57.7 亿，预计 1999 年将达到 60 亿，2050 年将超过 82 亿。随着城市化的扩大，居住在城市的人口骤增，1987 年世界城市人口占总人口的 42%，2050 年预计城市人口将占总人口的 60%。现今地球上每分钟增加 170 人，每年增加 9000 万人。占全球 80% 人口的发展中国家的人口继续以较高的速度增长，由于贫困、营养不良和粮食不足，有近 10 亿人挨饿，加之环境污染的加重，每年由于水污染而致死近千万人，人口的激增加剧了资源的消耗与生态环境的恶化。

（二）资源趋于枯竭

全球耕地面积锐减，土地退化和水土流失严重，每年地表土壤流失约 200 亿吨；盐碱化土地日益增多；沙漠化逐步扩大，威胁着全球 1/3 面积约 4800 万 km² 的土地和 8.5 亿人口的生存；森林面积减少，特别是热带森林减少速

度明显加快，1950 年以来，全球森林覆盖面积减少了一半，1978 年森林覆盖陆地面积的 1/5，估计到 2000 年将减少到 1/6；干旱地区 60%的草地荒漠化，过度放牧使草地日益退化；淡水资源危机已成为最为严重而紧迫的全球性问题，过去的 50 年来全球淡水用量增加近 4 倍。目前占全球陆地面积 60%的 43 个国家和地区缺水，约 20 亿人得不到良好的饮用水；世界化石燃料日趋枯竭，人类每年要燃烧 40 亿吨煤，25 亿吨石油，并以每年 3%的速度增长；多种金属矿产资源趋于匮乏甚至枯竭；世界各主要渔场的捕捞量均已达到或超过极限，太平洋、大西洋、黑海、地中海的所有渔场，鱼产量正在下降，海洋资源呈现明显的危机。

(三) 环境污染加剧 全球每年排放进入大气层的气体，二氧化碳(CO₂)为 57 亿吨，甲烷(CH₄)约 2 亿吨。排放有害金属铝 200 吨、砷 7.8 万吨、汞 1.1 万吨、镉 5500 吨，超出自然背景值的 20 - 300 倍。SO₂的排放，诱发酸雨的频度在增加，面积在扩大；空气质量严重下降，全球有 6.25 亿人生活在空气污染的城市中；江河湖海的污染日趋严重，淡水匮乏使 12 亿人口生活在缺水城市，14 亿人口在没有废水处理设施下生活；水质污染引发的疾病死亡率已成为人体健康最主要的危害；城市垃圾、污水、船舶废物、石油和工业污染、放射性废物等大量涌入海洋，每年有 200 亿吨污染物从河流进入海洋，约 500 万吨垃圾抛进海洋，在入海口处数万平方公里的缺氧层正在扩大。

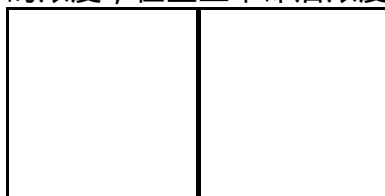
(四) 物种加速灭绝

全球确认的野生生物约 140 万种，实际上有 500—5000 万种，由于生物栖息环境的恶化，加上乱捕、滥杀，全球每天约有 100—150 种生物从地球上消失，每年约有 4 万种生物走向灭绝，到 2000 年从地球上灭绝的生物达到 50-100 万种。全球 12%的哺乳动物和 11%的鸟类濒临灭绝。生物多样性的世界正发生着严重的危机。

(五) 温室气体的增长与气候变暖

随着经济和社会的发展，人类活动排放的 CO₂、CH₄和 N₂O 等温室气体逐年增加，温室气体能无阻挡地让太阳的短波辐射射向地球，并部分吸收地球向外发射的长波辐射，使整个地球成为庞大的“温室”，使“温室”的气温上升。

根据 1958 - 1988 年 30 年中大气 CO₂ 的浓度的测定，CO₂ 浓度逐年增长，由 1958 年的 314ppm 增加到 1988 年的 349ppm。根据树轮所测定的近 2000 年来大气中 CO₂ 的浓度变化在工业革命后增长极为迅速。根据冰岩芯的记录，200 多年来 CO₂ 的浓度由工业革命前的 280 ± 10ppm 增加了 70ppm，年增长率为 0.4%，推算 2000 年将达到 380ppm；大气中甲烷的浓度，在工业革命前为 0.7ppm，现今增加到 1.8ppm，预计 2000 年将增加到 3.1ppm；大气中氟氯烃的浓度，在工业革命后浓度的增长极为迅速（表 1）。



根据近一个多世纪以来的全球陆地和海洋大约 100 多万个观察记录证明，全球平均气温确实变暖了，尤其是本世纪 80 年代以来，变暖的速度很快，全球平均气温增加了 0.5 。根据表 1 的测算，2000

年全球平均气温将上升 1.53 ，2030 年将上升 2.08 。由于全球变暖，1880—1980 年观察到的平均海平面上升了 14cm。以 1980 年海平面为基准，2050 年海平面将上升 30—50cm。气候变暖，海平面上升，将对全球的生态环境系统和人类社会的发展带来严重的影响：干旱区更为干旱，多雨区更多洪涝；海平面将以 6cm/10 年的速度上升，海水盐度变小，岛国难以生存，地势低洼的沿海区域将被淹没；海水污染淡水，地下水污染加剧；全球干旱频率增大，中纬度地区更为干旱、酷热，森林失火，湖泊干涸，水资源更为紧张；土壤盐渍化和沙漠化加剧。

（六）氟氯烃排放的增加与臭氧空洞的扩大

大气层中臭氧 (O_3) 的浓度随高度变化，平流层中距地面 20—25km 间的大气层臭氧浓度最大。工业革命前氟氯烃的浓度为 0，现今为 1ppb。人类活动排放的含氟氯烃的物质和氮氧化物在平流层中通过光化学反应将使臭氧减少。自本世纪 70 年代以来，北半球的臭氧减少了 3%—5.5%，出现臭氧空洞。南极臭氧空洞正以每年相当于一个美国陆地面积的速度增长，不仅在南极上空，最近发现在北极和西藏高原上空也出现了臭氧层减薄，甚至出现臭氧空洞。预计到 2014 年，臭氧将减少 53% 以上。臭氧层出现空洞，将使地面紫外线辐射增强，皮肤癌发病率上升，还将引起幼鱼死亡率和家畜瘟疫增加，谷物减产，气候变化等一系列的影响。

四、中国的人口、资源、生态、环境与灾害及生存与发展的双重压力

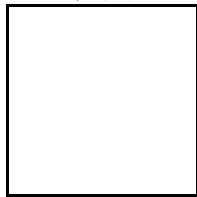
我国人口、资源、环境与灾害的态势令人堪忧。我国人口已超过 12 亿，基数大，增长速度快；国土负荷沉重，耕地减少、土地沙化与荒漠化、水土流失、植被面积缩小、水资源不足的矛盾日益尖锐；不可再生的矿产资源加速消耗与减少；许多资源面临短缺；生态恶化、环境污染总体上日益加剧；各种气候与地质灾害频度加快、范围增大。人口骤增及自然支撑体系的脆弱将长期制约我国经济与社会的发展，严重影响中华民族的生存与腾飞。

（一）人口基数大是制约我国经济与发展的长期因素

我国人口已超过 12 亿，80% 为农村人口。每年人口新增长约 1500 万，预计到 2000 年我国的人口总数将超过 13 亿。我国人口地域分布极不均衡，过剩人口多，老龄化速度加快，并开始进入老龄化社会。我国人口基数大，增长速度快，文化素质低，就业压力大。人口众多导致人均资源占有量不断减少，耕地锐减，水源匮乏，粮食不足，污染加剧，生态恶化，灾害频发，人口问题将长期制约我国经济与社会的发展。

（二）地大而物不博、自然资源有优势也有劣势

我国地域辽阔，陆地面积为 960 万 km^2 ，海岸线 1.8 万 km，6500 多个岛屿。我国资源总量大，是世界少有的几个资源大国之一，但资源空间分布不匹配、资源组合错位，人均占有量低于世界平均水平（表 2）。



1. 水资源的短缺与污染将是今后制约我国经济与社会发展最关键的因素

我国地表水及地下水资源总量为 28124.4 亿 M^3 ，人均占有量约 2400 M^3 /年，为世界人均占有量的 1/4，占世界第 84 位。我国水资源分布极不平衡，南多北少，近海多内陆少，山地多平原少，降雨量 < 500mm 的区域占国土面积的 50%，其中干旱区 (< 250mm) 占国土面积的 30.8%。长江以南区域，水资源约占全国的 80%，而耕地面积仅占全国耕地面积的 35.4%；长江以北区域，水资源严重匮乏，约占全国的 20%，而耕地面积占全国耕地面积的 64.6%。我国农业用水量每年约 4200 亿 M^3 ，全国工业用水约 500 亿 M^3 ，但利用率低、浪费严重。全国农业年缺水量约 300 亿 M^3 。每年污水灌溉已使 66 万公顷的耕地受污染，农村近 1 亿人饮水困难。工业废水排放约 300 亿 M^3 ，并使 3000 亿 M^3 淡水污染。全国 381 个城市中 260 个城市缺水，122 城市严重缺水，城市年缺水量约 58 亿 M^3 。地下水的超采形成大面积漏斗，甚至引起海水倒灌。许多湖泊面积缩小，甚至干涸。我国年平均缺水 500 亿 M^3 。全球气候增暖将使我国缺水的威胁更趋严重。

2. 矿产资源利用率低、浪费严重

我国矿产资源总量大，在 162 种矿种中有 20 种的储量居世界前列（如钨、锡、锑、钼、钒、钛、稀土元素等），但人均占有量少；品种齐全，利用率低；分布不均衡、不匹配；乱采滥挖，浪费严重；某些主要矿种（铁、铜）贫矿多、富矿少。我国矿产资源总回收率为 30%—50%，80% 的伴生矿没有回收，金属矿山采选综合回收率为 33%，非金属矿山总回收率为 20%—60%，煤炭矿井回采率为 34%。铝、铅、锌、金、银的再生利用率仅占总产量的 15% 以下，铜为 33%。铜、铝、铬、锰等金属还严重依赖进口。矿山固体废弃物大量堆存，占用大量土地，严重浪费资源。煤矸石、粉煤灰和尾矿渣年排放 5.5 亿吨，累积堆存 70 亿吨，占用土地 3.5 万公顷。

3. 土地退化、耕地锐减、植被覆盖率低

我国幅员辽阔，在 960 万 km^2 的陆地区域中，52.5% 属于干旱半干旱区，12.1% 沙漠戈壁，高原山地和丘陵占 65%，其中 4.8% 为石质山地，1.6% 为海拔 5000m 的高寒荒漠，0.5% 为冰川和永久积雪。我国土地资源分布不均匀，土地生产力区域差异大。我国东、南部的土地占全国总面积 48%，耕地占 86%，人口占 94%；而西部耕地和人口分别只占 14% 和 6%。

我国现有耕地近 20 亿亩，但有 2/3 为中低产田。由于水土流失、沙化、盐渍化、沼泽地、非农业占地，使耕地面积急剧减少。退化与沙化土地已有 90 万 km^2 ，每年以 6700 km^2 的速度在扩大。我国沙化土地面积已达 7.5 万 km^2 ，沙化速度为 2100 km^2 /年，预计 2000 年沙化土地将达到 43.3 万 km^2 。每年自然灾害损毁土地 200 万亩，每年矿山开发占用土地 50—70 万亩，交通和基础设施每年占用土地 100 多万亩。

我国土地的水土流失问题严峻，50 年代为 153 万 km^2 ，现在已达到 367 万 km^2 ，每年入海泥沙量约 21 亿吨。水土流失表土 50 亿吨，不仅土壤的流失率远远大于形成率，还带走大量磷、氮、钾等养分。

我国森林资源少、覆盖率低（12.9%）、分布不均，人均林地面积不足 2 亩。林地面积和森林蓄积量分别为 11528 万公顷和 102.6 亿 M^3 。林地生产力低，利用率低，残次林多，单位蓄积量少，生长率不高，因而可采的森林蓄积比重少。我国有草地 57 亿亩，但干旱与高寒草地占了一半。草场过载而退化严重，15 亿亩草场已沙化。

（三）环境质量恶化、自然灾害频发

我国人口基数大，经济增长较快，加之技术与管理水平较低，资源浪费、环境污染与生态破坏相当严重。我国的环境质量局部有所改善，但总体上仍在继续恶化。

我国大气污染主要来源于燃煤，形成了长期的 SO_2 和降尘的煤烟型污染。1995 年工业排放的 SO_2 约 1396 万吨，烟尘与粉尘排放量约 1475 万吨。全国 99% 以上的城市大气质量达不到国家一级标准，36 个代表性城市中，空气中的颗粒物和降尘普遍超标， SO_2 和氮氧化物超标日趋严重。大气中排放的酸物质日益增多，致使酸雨的频度增加，分布地区由西南扩展到东部各省区；华东地区酸雨污染最重，其中心区酸雨平均 pH 值低于 4.0，酸雨频率在 80% 以上；西南地区平均 pH 值低于 5.0，酸雨频率高于 80%；29% 的国土面积受到酸雨的威胁。煤烟型污染还使某些地区产生人群的氟中毒、砷中毒等地方病。

我国水污染日趋严重。我国的七大水系有一半以上的河段水质污染，主要污染指标为氨氮、高锰酸盐指数、挥发酚和生化需氧量，86% 的城市河段水质超标。我国大淡水湖泊总磷、总氮污染面广，富营养化严重。我国近海海域水质恶化日趋明显，重点河口、海湾、港口污染比较严重。全国 1/2 的水体不符合渔业水质，1/4 的水体不符合农灌的水质标准。农用化肥和农药的施用，点多面广的乡镇企业的三废排放，已成为我国农村的主要污染源，使我国 2/3 的河流和 1000 多万公顷的农田受到污染。

1995 年我国排放的污水总量约 400 亿吨，其中工业废水约 222.5 亿吨。我国工业的三废处理率极低，生活污水仅有 5% 经处理，工业废水约 20%—30%，工业废气为 50%—60%。全国工业固体废弃物年产生量为 6.5 亿吨。大量未经处理的工业废渣累积堆存量 66.4 亿吨，占地 5.5 万公顷，每年约有 8000 万吨的城市垃圾未经处理，城市垃圾量每年以 6%—7% 的速度增长，形成了重要的二次污染源。

我国城市环境噪声相当严重。城市道路、交通噪音的等效声级超过 70 分贝的路段占 70%，城区噪声超过 55 分贝的范围达 66%，城市工业噪声也相当严重。

1995 年耕地净减少 38.8 万公顷，历年来我国的耕地不仅面积日益减少，而且污染严重。水土流失危害约 150 万 km^2 的国土面积，影响的耕地占全国总耕地面积的 1/3，耕地总面积的 59% 缺磷、25% 缺钾、14% 磷钾俱缺。污水灌溉使每年受污染的耕地达 66 万公顷。

我国人口众多，气候、地理与地质条件复杂，生态环境脆弱，自然灾害频发，且自然灾害种类多、受害面积大、成灾率高。每年农作物受灾面积达 2000—4000 万公顷，减产粮食 200 多亿公斤，受灾人口 200—300 万。每年各种气象灾害（洪涝、干旱、暴雨、台风、冷冻、风暴等）直接经济损失约 500 亿元，每年海洋灾害与各种地质灾害（地震、泥石流、滑坡、地面沉降等）直接经济损失各达 100 亿元以上，每年病虫害等生物灾害造成直接损失上百亿元。据统计，全国各种自然灾害造成的经济损失，1990 年为 616 亿元，1991 年为 1216 亿元，1992 年为 853 亿元，1993 年为 993 亿元，1994 年为 1876 亿元。全国由各种自然灾害和生态破坏、环境污染所造成的经济损失约 2000 亿元/年。

（四）全球增暖、海平面上升对我国的影响

全球增暖、海平面上升对我国气候、生态、环境与灾害都将产生长期的持续影响。

由于全球增暖，预计我国雨量减少，蒸发量增加；将加重华北、西北的干旱，使土地沙化面积扩大，加速草原退化，加快湖泊干涸、冰川退缩与雪线上升；水土流失加剧，淡水更为短缺。

全球气温增高，我国的小麦、水稻可能增产 10%—15%，玉米、高粱等谷物增产 0—10%，却加重了我国北方、华中和南方农作物的病虫害，小麦锈病南下、稻瘟病北上、蝗灾加重，农田杂草丛生。

全球增暖与海平面上升，将对我国沿海经济带的发展带来一系列的不利因素和严重影响：东南沿海地区台风增多，加重了风灾与暴雨灾害；风暴潮灾害加剧，洪涝威胁加大，港口功能减弱，现有海堤和档潮闸等工程的抗灾能力降低。预计长江三角洲、珠江三角洲、黄河三角洲和天津地区，低地被淹没，洪涝威胁加大；风暴潮灾害加剧，港口功能衰退；城镇污水排放困难、甚至倒灌；河口海水入侵，盐水入侵上溯；淡水污染和海洋污染加重。

五、地外物体撞击地球诱发的剧烈灾变和生物灭绝——保卫地球文明

人类社会的进步与发展，由于不合理的生产和消费方式，即不可持续发展的方式，产生自然支撑系统的失衡，延生出上述一系列的气候变化、生态破坏、环境污染、资源不足和灾害频发。人类社会既要面对自己长期的过失而带来的危机，还要承担起抵御由于地外物体撞击地球诱发的气候环境灾变与生物灭绝、保卫地球现有文明的神圣使命。

太阳系中的小天体（小行星、彗星等）撞击行星与卫星，是自然界一种正常的现象。月球、火卫、木卫、水星、金星与火星的表面密布着千疮百孔的撞击坑，有些直径达到数百公里甚至 1000—2000km。地球曾遭受过频繁的小天体的撞击，形成巨大的撞击坑，诱发全球性的气候、生态、环境、地质灾变与生物灭绝事件。撞击作用也是地球和生物进化的重要营力。地球的表面，沧海桑田，绝大部分撞击坑被剥蚀、夷平或掩埋，但仍然找到了 150 多个证据确凿的撞击坑（坑群），这些坑的年龄范围从几千年到 20 亿年，如南非的伏利德佛坑（直径 140km，撞击年龄为 19.7 亿年）、世界最大的铜镍矿床——加拿大肖德贝里坑（直径 140km，撞击年龄 18.5 亿年）等。

通过对月球、水星和火星表面撞击坑密度、大小和年龄的研究与统计：对地球而言，平均 1 亿年有一次直径为 10—20km 的小天体撞击，形成直径大小 100 公里的撞击坑，诱发全球性剧烈的气候环境灾变与生物灭绝事件，1000 万年和百万年分别有一次 1—5km 和小于 1km 的小天体的撞击，形成全球性或大区域严重的气候环境灾变和生物灭绝事件。

人类历史上最为人熟知的撞击事件是 1994 年的彗木相撞和 1908 年发生的通古斯事件。1908 年 6 月 30 日早晨七点多钟，在西伯利亚上空突然出现了一个比太阳还亮的巨大火球，拖着长长的烟尾巴，发出隆隆的怪啸声。这位“天外来客”在空中猛烈爆炸了。一个巨大的火柱冲天而起，随即变成黑色的蘑菇状云。爆炸产生的冲击波，把方圆 2000km² 内的 1000 万棵树推倒，使 1500 头驯鹿死亡，地面出现了 122 个撞击小坑（其中最大的直径为 22m）。北半球上空出现了巨大的臭氧层空洞，一直持续达 4 年之久。观察记录表明，地磁场也发生了扰动。据估计，爆炸能量相当于 1000 万吨 TNT 炸药，约为

1945年8月投在日本广岛原子弹威力的500倍。

(一) 6500万年前地球遭受一次大劫难

6500万年前白垩纪末的恐龙灭绝事件，是一次小行星撞击地球诱发的气候、生态、环境灾变与全球性的生物灭绝事件。

在6500万年前的白垩纪末，一颗直径约10km的小行星撞击在墨西哥尤卡坦半岛海域。小行星以大于20km/s的速度首先闯入地球的大气层，陨星以高速与大气分子相撞击，压缩大气并产生具极高温度与压力的冲击波，释放出相当于近1000万亿吨黄色炸药爆炸产生的能量，是通古斯爆炸所释放能量的1亿倍，约为投入日本广岛原子弹威力的500亿倍。在墨西哥尤卡坦半岛顶端的“魔鬼之尾”发现6500年前由小行星撞击形成的直径为180公里的撞击坑。

强大的冲击波使撞击体本身气化、熔融、燃烧，它在大气层中爆炸并分裂成无数火球射向地表，强大的冲击波以及无数的火球点燃了地面一切可燃的物体，熊熊野火，迅速蔓延全球，产生大量烟尘、碳黑和二氧化碳弥散在大气层中。这些粒子所携带的陨石微量元素也将被均匀地分布在地球表面。这部分物质的贡献将使海洋中金属元素的浓度剧增，破坏了海洋中某些微量元素的地球化学平衡，尤其是有毒的金属元素如镍、铜、铅等。根据我们计算，撞击后海洋中镍的浓度增加330倍，从常规的120ng/kg增加到40μg/kg，远远地超出许多海洋生物所能忍受的浓度极限(2μg/kg)，部分海洋生物将会选择性中毒死亡。

强大的冲击波，使地面的岩石气化、熔融，形成大量熔融状液滴，并溅射至大气层中。液滴迅速冷凝并在全球沉降形成玻璃陨石与微玻璃陨石。冲击波挖掘撞击区域内的岩层，将200倍于冲击体的物质破碎成粉尘和碎块，抛向平流层与地面几百公里的区域内。高耸入云的大烟柱，直上云霄，弥散于平流层中。

强大的冲击波，使大面积的海水立即蒸发，大量的蒸气进入大气层。海水产生了强烈的震荡，可使许许多多的海洋生物丧失，包括海洋爬行类的鱼龙、蛇颈龙和软体动物(如菊石)。威力无比的海啸，使海水咆哮、海岩破坏，海底沉积物层序扰乱。

强大的冲击波，使坚硬的地壳产生深层断裂，导致地球内部物质运动的紊乱，地球磁场发生倒转。地磁倒转使地球在外层空间失去磁屏蔽，到达地表的宇宙射线通量将剧增，臭氧层的严重耗竭加剧了这一过程，使某些生物机体直接遭受宇宙射线的照射而死亡。地壳的深大断裂还可诱发深部岩浆上升和火山喷发，并产生强烈的大地震。

强大的冲击波使大气层的局部温度突然升高，使大气中的 N_2 形成NO和 NO_2 化合物，使动物暴露于氮氧化物气体之中窒息而亡；撞击地区因含有石灰岩($CaCO_3$)、白云岩[(CaMg) CO_3]和石膏($CaSO_4$)等地层，在冲击波作用下，将会发生分解作用，释放出 CO_2 和 SO_2 气体，进入大气层。一方面 NO_2 和 SO_2 云破坏了地球生物的保护伞-臭氧层，另一方面，与水蒸气结合，使大气层中含有大量的硫酸与硝酸，强烈的酸沉降使海水酸度增大，溶解海洋透光层中的碳酸钙物质，导致壳体成分为碳酸钙的海洋浮游生物绝灭。

弥散在平流层中浓密的尘埃、 CO_2 、 SO_2 、碳黑和水蒸气等屏蔽了太阳辐射，使地面急剧降温8—20℃，海水降温2—3℃，漫长的、寒冷的、黑暗的

冬天降临。地面的冰盖增大，海水退缩、盐度升高，导致部分海洋生物灭绝。地面植物的光合作用受到抑制，逐渐枯变成干柴，以植物为食物的动物由于食物链的瓦解而“断粮”。

平流层中的尘埃、气溶胶等颗粒将会缓慢沉降，阳光辐射逐渐得到恢复，但地表并不会因此而显著增温，相反，在“寒冷的冬天”里形成的雪被及冰盖，因高反射率对寒冷气候将产生巨大的正反馈作用，使降温进一步加剧。根据第三纪/白垩纪界线氧同位素突变的地质厚度计算，寒冷的冬天可持续几十万年。生态环境的恶化，气候的突变使大批生物难以躲过灾难，导致白垩纪末 60% - 80% 的生物种属从地球上消失。

近年来，我们在西藏岗巴的白垩纪/第三纪地层剖面中发现上述部分的地质地球化学记录，同时在全球各地 110 个地层剖面中找到了上述证据，表明这次撞击事件的影响是全球性的。

这场宇宙灾变是突发性的、全球性的大浩劫。这次事件结束了爬行动物最后的地质时代，开始进入与我们人类息息相关的哺乳动物时代（在地质学上称之为新生代），并最终导致人类地位的上升。

（二）新生代以来地球至少遭受到六次撞击灾变

除上述 6500 万年前以恐龙灭绝为代表的地球大劫难以外，根据我们的研究，相继在距今 3400 万年、2400 万年、1500 万年、110 万年前发生过直径为 1—5km 的地外物体撞击地球事件，但其撞击能量明显地小于白垩纪末的撞击。在各次撞击年代相对应的地层柱中找到了撞击作用存在的各种证据如铀异常、玻璃陨石和微玻璃陨石、撞击体残余物、冲击矿物等，同时也发现了各期撞击作用留下的撞击坑。地层的地球化学记录表明在各次撞击作用发生期间，地球表面的气候、生态、环境发生过剧烈灾变，产生了新的冰期与地磁极倒转，出现了不同程度的生物灭绝。距今最近的一次撞击作用发生在 70 万年前，大量的地层记录证明，撞击过程产生了目前分布于澳大利亚与亚洲广大区域内的玻璃陨石，在我国黄土地层和大洋深海钻孔中均发现微玻璃陨石与地磁极倒转。地球化学记录表明全球气温剧降，经历漫长的、黑暗而寒冷的“冬天”与冰期，出现一定程度的生物灭绝。70 万年前的地外物体撞击地球事件至今尚未发现同期形成的撞击坑。科学家推测，这次撞击可能是由一颗彗星瓦解后形成一群彗星碎片，高速冲入大气层，强大的冲击波撞击地面，地面的靶岩可能是较疏松、孔隙度较大并含有水分的黄土层，撞击过程的景象类似于白垩纪末的撞击，形成的撞击坑因直径较小且分散，难以保存。

（三）人类——地球的保护神

地外物体撞击地球是一种正常的自然过程，地球演化历史中曾发生过难以计数次的撞击作用，今后地球的演化历程中不可避免的仍会发生。较大撞击所释放的能量往往相当于世界核武器库爆炸能量的几万倍，并诱发气候、生物、环境剧烈灾变，对人类将造成极大的威胁。但是，地外物体撞击地球的几率极小。人类自诞生 300 多万年以来，经历过多次全球性的劫难，在对自然界抗衡的过程中已发展起高度的文明，人类已成为地球的保护神。当今科学技术的进步，已有可能抵御、控制和化解这种来自宇宙空间的突发性袭击。

世界的科学家早已关注和开展地外物体撞击地球的预报和应采取的紧急措施的研究，以保护我们地球文明的持续发展。现代科学技术已经能够实现邻近的行星际空间及近地空间具有公里级甚至更小的小天体进行精细的观

测与预报。1994年，苏梅克-列维9号彗星与木星撞击时间的准确预报是个极好的例证。目前，世界各国相互合作已建立了全球性的观测、监视和预报的自动网络体系，侧重于近地空间小天体的观测与预报，使人类有可能预先准备好应采取的紧急措施，拦截摧毁或使来袭的小天体偏离撞击轨道。现代科学技术已显示出具有化解小天体撞击灾变的能力，随着科学技术突飞猛进的发展，通过国际合作，人类完全能胜任地球保护神的角色，进一步推动地球文明的快速发展。

六、人类移居月球与邻近行星的希望

我们居住的地球已经是灾难深重、斑驳陆离、遍体鳞伤。人类始终向往着扩展自己的生存与发展空间，更换一个更为美好的环境，迁居月球和邻近行星一直是人类自古以来的梦想。

60年代以前，人们只能从地球上用各种工具对月球和行星进行观测，了解它们的形状、大小、运动规律、表面特征与相对年龄，从而编制了某些行星的外貌图和构造图。60年代以来，基于以下四方面的进展，对行星的认识取得了突飞猛进的发展：1.随着大气外观测技术的发展和一系列宇宙探测器对月球的观测，使人们对月球的地质和构造、磁场、宇宙辐射和太阳风对月表的影响有个初步了解，在此基础上实施了“阿波罗（Apollo）和“月球”（ ）探测和取样计划，九次登月取样，对月球的主要科学问题有了轮廓性的认识，实现了人类踏上月球，迈向宇宙的伟大创举。2.“水手号”、“金星号”、“先驱者”和“海盗”等一系列行星际空间探测器的发射和软着陆，对行星际空间特别是对类地行星的研究，获得了大量的科学资料。3.对于地球的研究，特别是一系列地球研究计划的开展和地球资源卫星所取得的丰富信息，对地球的物质组成、内部构造、动力学过程和演化历史的研究，取得了多方面的突破和进展。4.陨石学的研究，对太阳系不同部位形成的陨石物质的成分、有机组分、同位素组成与变异、年龄、热历史、宇宙成因核素等一系列的研究，为探讨太阳系的物质来源、行星的形成方式与过程、现代行星际空间的状况，提供了丰富的科学资料。进入90年代以来，美国、欧洲、日本等国正筹备与实施“重返月球”的宏伟计划。行星的探测正在积累资料，深化认识，下一世纪将是人类踏上行星的重要时期。

（一）月球表面环境

通过一系列月球探测器的发射，特别是“阿波罗”（Apollo）和“月球”（ ）计划登月取样的实施，对月球的空间环境、表面特征、岩石类型、地层划分、地质构造、内部结构和演化历史有了系统而综合的了解，编制了月球地貌图、地质图、构造图，为“重返月球”、开发利用月球能源与资源、建立半永久、永久性的“地球村”，奠定了重要的基础。

月球是地球唯一的卫星，基本上是一个圆球体，南北极稍扁，赤道处膨胀，形状似地球：平均半径为1738.09km，极半径约比赤道半径短500m；北极隆起，而南极地区则下洼约400m。

月球环绕地球运转的轨道不是正圆，而是一条稍有些扁的椭圆轨道。因此，地-月间距离变化较大，近地点为363300km，远地点是405500km，平均距离为384402km。月球的自转周期恰好等于它绕地球公转的周期，所以我们在地球上总是只能看到月球的同一半面（正月面）。然而，由于月球的天平动使我们稍能看到月球的另一半面（背月面）的一隅。

月球表面白天、黑夜时间各长达相当于地球的 14 天，昼夜温差变化很大，白天温度高达 130—150℃；而夜间可下降到零下 160—180℃，但表面温度差变化影响深度不超过 1m。月球实际上是一个无风、无水和大气、无风霜雨雪、无生命、无声响、冷热剧变、非常干旱的寂静的天体。

在夜间肉眼看到的月面暗色斑块，称为“月海”，主要是月球内部玄武岩的喷出物。月海实际上是宽广的平原，没有水的“海”。月海大多分布在正面。肉眼所见的月面洁白光莹部分，称为高地，是月球上最古老的月质单元。月球正面的月海约占正面表面积的一半，背面则极少。最大的月海是风暴洋。

整个月球表面地形可分为两大类型：低反照率地区（暗色）为月海，布满圆形和不规则形状的盆地，有些盆地宽数千公里，深达 6km。月海中反照率的差异主要是物质成分不同所致，这些物质是由几种不同化学成分的铁镁质玄武岩组成。高反照率地区（亮的）称为高地。高地地形高出月海约 1000m，在高地上分布着大量的负地形，这些负地形大部分是撞击坑（直径从数百米到数百公里，甚至上千公里）。

高地物质大部分是富含长石（斜长石）的深成岩，主要由斜长岩、辉长岩、斜长苏长岩及富钾、稀土和磷的玄武岩组成。

月壤主要是由于月表岩石受到外来物体或小天体冲击作用，粉碎沉积而成。其次，经几十亿年间月球表面昼夜的巨大温差（温差在 100℃以上）和太阳风、银河宇宙射线的作用，促进了月壤的形成。太阳辐射使矿物强度降低，晶格发生形变，温差变化加速了岩石的碎裂。因此月壤是太阳系中的小天体多次撞击，月表岩石的温差胀缩而破碎的岩石碎屑、粉末、角砾、冲击熔融玻璃组成的“土壤”覆盖在月表，结构松散。月海区月壤一般厚 4—5m。高地的月壤较厚，约 10m。月球周围没有磁场，太阳风直接入射月壤，因而月壤中富集太阳风的组分（H、He 等）。

（二）重返月球的科学目标

月球将可能成为人类未来的能源基地。月球既无磁场，又无大气，太阳风粒子能很容易地抵达月球表面，渗入月壤颗粒，形成一层约 10 μm 的覆盖层。因月表经过亿万年流星和微粒的轰击，月壤混杂，使表面蕴藏着丰富的氦-3。氦也通过太阳风注入而蕴藏在月壤之中。通过氘和氦-3 聚变反应可获得能源。在地球上，天然气矿床中已知的氦-3 资源只够维持一个 500 兆瓦规模发电厂数月的用量。而月球上，由于太阳风中大量的氦-3 伴随着其它易挥发物质在 40 亿年中不断地进入月球表土中，氦-3 的丰度可达 0.4—15ppb。初步估算，月壤中氦-3 所能产生的电能，相当于 1985 年美国发电量的 4 万倍。考虑到月壤的开采、排气、同位素分离和运回地球的成本，氦-3 的能源偿还比估计可达 250，这个偿还比和铀-225 生产核燃料（偿还比约 20）及地球上煤矿开采（偿还比约 16）相比，是相当有利的。同时从月壤中每提取一吨氦-3，还可以得到约 6300 吨的氢、700 吨的氮和 1600 吨的碳，这些副产品对维持月球永久基地来说，也是必要的。

月球拥有丰富的矿产资源与开发前景。月球上含有丰富的钛铁矿，尤其是月海玄武岩。根据阿波罗着陆点取回的样品分析来看，阿波罗-11 号的样品中 TiO₂ 含量为 9%—12%，阿波罗-17 号的样品含量高达 14.5%，比我国著名的攀枝花钒钛磁铁矿矿床的 TiO₂ 含量（平均 10.56%）还高。钛铁矿是铁、钛的来源，是生产氧的潜在来源；可以通过钛铁矿还原法生产维持生命

和火箭推进器所需的氧，所留下来的钛和铁是重要的金属。氧又可与氢合成获得水，这是人类未来在月球上赖以生存和开发及培植绿色植物的根本条件。

有待开发的太空微重力与高真空资源。月球上的引力只有地球的 $1/6$ ，而在宇宙空间，重力只有地球上的百万分之一，在这种微重力条件下，各种物资能够很好地融合，制造出特殊的材料，利用高真空资源可以在月球上进行高纯度、高质量的冶炼、焊接和培养人工晶体，还可以分离出一些地球上无法分解出的物质。

在月球上建立地球监测站，可更清楚地了解地球上所发生的各种自然现象，特别是自然灾害和环境恶化，将有助于认识地球上人类所面临的环境、资源、灾害等问题；在同这些自然灾害的斗争中，提高预报和防御能力有着极其重要的作用。

月球周围无大气、弱磁场、重力小、高真空等特点，是研究天体物理学、重力波物理学、中微子物理学、空间天文学等一代新学科的理想场所；有利于电磁波宽波段范围的高灵敏度测试和建立深空天文观测站的理想；有利于设备运输和安置探测器，建立多功能月球观测站和深空研究基地。

21 世纪，将是人类为实现在月球上定居和开发利用月球资源进行有效探索的重要时期。

（三）邻近行星的表面环境

太阳系包括九大行星、三十多个卫星、十多万彗星和无数小行星与陨石物质。根据行星的物理化学性质，与地球相似的行星，称为类地行星，如水星、金星、火星、冥王星（？）。与木星相似的行星，称为类木行星，如土星、天王星、海王星。在太阳系内，太阳的质量约为各行星系总质量的 150 倍，占全系统质量的 99% 以上，但太阳的角动量只占全系统角动量（ 3.155×10^{50} 克·厘米²/秒）的 2%。全部行星的质量总和虽小，而角动量却占全系统的 98% 以上。绝大部分行星绕太阳运行的方向和基自转方向相同，也和太阳自转的方向一致。行星运行的轨道都是偏率不大的椭圆，轨道平面与太阳赤道面很接近。类地行星一般质量小、密度大、体积小，主要含 Si、Mg、Fe 等元素，亲气元素含量少，类地行星的卫星很少；而类木星行星一般质量大、密度小、体积大，主要含 H、He 等亲气元素和 C、N、O 等冰物质，亲石元素与亲铁元素含量少，类木行星的卫星较多。

类地行星的大气层差异极大，唯有地球发育有水圈。水星有极稀薄的大气层，火星的大气层稀薄，而地球和金星具有浓密的大气层。看来行星大气层的厚度与密度主要决定于行星质量的大小。质量大的行星，具有大的逃逸速度，易于捕获内部排出的气体，组成浓密的大气层，反之亦然。

地球和金星质量相近，都具有复杂的大气层。金星由于没有水圈， CO_2 残留在大气层内，再加上金星表面温度达到 $650\text{—}750^\circ\text{K}$ ，产生温室效应，致使大气压达到 99。地球通过内部物质的熔融除气过程，大约共排出 1.7433×10^{24} 克的挥发分物质，其中 CO_2 约 1.218×10^{23} 克。若地球没有水圈，没有碳酸盐的沉积和植物光合作用，估计现今地球大气层中 CO_2 的分压将接近 20 大气压。地球内部的物质通过火山作用排出大量的 H_2 ， CO_2 ， CO ， S_2 ， Cl_2 ， H_2 ， N_2 ， Ar ， O_2 ， NH_4 等，形成初始的强酸性大气层，经过水蒸汽的凝结，逐渐在地面形成了强酸性水圈。海水的 pH 值在 25 亿年前，可能 4；元古代海

水的 pH 值可能为 4—5。因而在元古代的漫长历史中，考虑到 CO₂ 分压值较高的影响，CO₂ 在海水中的溶解度仍然较低，使大气层中积累了大量的 CO₂，地球形成了 CO₂ 大气圈。随着海水 pH 值的增加，CO₂ 的溶解度的增高，再加上碳酸盐的沉积增多，特别是古生代大量植物的出现，使大气层中的 CO₂ 分压迅速降低，使大气层演化为现今的氮-氧大气层。地球大气层是地球的特有条件并经过长期演化所形成的。

水星和火星由于表面气压低，液态水在行星表面要沸腾成气态；加之水星和火星质量小对气体的捕获能力小，因此水星和火星不可能产生水圈，只能形成极稀薄的大气层。总之，行星大气层的厚度、密度和成分受到行星质量、行星表面温度和水圈发育程度的影响。

水星表面很像月球，布满了环形坑，盆地、平原和延伸几百公里的悬崖峭壁。水星表面没有大气和水体的风化侵蚀痕迹。

金星表面被浓密的大气层所覆盖。金星上也分布有环形坑。金星表面的岩石有尖锐的棱角。金星 10 号着陆区布满着冷却的并风化成薄饼状的熔岩（可能是玄武岩）。

火星的大气层稀薄，使火星表面裸露在紫外辐射、宇宙辐射和陨石冲击作用下。火星大气层中的气体运动速度很高，当大尘暴发生时，CO₂ 气体在大气层内的运动速度达到 200 公里/小时，将火星表面的大量尘埃物质刮到火星表面几公里的高空，使浓密的尘埃笼罩着火星表面。风的吹扬作用使火星表面形成一些几百公里长甚至几千公里长、几十公里宽的断续的纹理。风的搬运、沉积作用，使火星表面的环形坑或低洼处被砂土所充填，形成分布广泛的沙丘。火星表面广泛分布着撞击环形坑和火山作用形成的地形以及延伸上千公里的大断层。火星土壤经“海盗”-1.2 号取样测定，80% 为富铁粘土并含有少量硫酸镁和碳酸盐，火星表面的岩石富含铁镁，估计没有大量的花岗岩物质。

地球邻近的行星与月球，表面环境极其严酷，远远不适宜人类的居住与生存。在月球上建立永久居住的“地球村”和在邻近行星上建立半永久或永久性的居住区是下一世纪探索的目标，在今后的几个世纪里不可能实现能减轻地球庞大人口压力的大批移民，无法从实质上更换地球是人类共同生活的唯一家园的地位。

我们只有一个地球，一个灾难深重的地球，人类必须自己拯救自己，人类社会发展的唯一选择——走可持续发展之路。

七、人类社会的共同选择，走可持续发展之路

（一）惨痛的教训、深刻的危机、人类的共识

在人与自然界漫长的斗争历程中，历尽劫难，由被自然统治和蹂躏的地位而逐渐成为自然界的主人，人类的聪明才智和辛勤劳动创造了巨大的社会财富，培育和发展了灿烂的文化，积累并掌握了丰富的科学技术知识与技能，推动着社会向更高级的阶段发展。特别是推动人类社会进入现代物质文明生产的工业革命以来，一些发达国家，随着工业的兴盛，科技的进步，经济的发展，肆意地过度消耗自然资源，致使出现了过高的物质享受和财富的高度集中。人类把自然界视为“取之不尽，用之不竭”的天然财富的宝库，肆意掠夺、索取和消耗，生态环境系统受到了严重的破坏，使自然界严重地失去

和谐的平衡，使地球的支撑系统伤痕累累，斑驳陆离。

工业革命以来，人类面临着两大失衡：一是随着经济的增长与文明的发展，生态环境却不断恶化，人口激增、空气污染、淡水短缺、资源不足、土地退化、土壤流失、森林减少、草地荒漠化、沙化漫延、物种锐减、气候异常、灾害频发，威胁着人类自身的生存与发展；另一是贫富两极分化，少数国家财富不断积累与集中，大多数国家贫困程度加剧。人们认识到形成人类社会的两大失衡愈演愈烈的恶性循环，起因于不可持续发展的生产方式和过度消耗自然资源的不可持续发展的消费方式。因此，不消除贫困和不发达，不摒弃不可持续发展的生产方式与消费方式，不走可持续发展的道路就不能根除人类生存环境的恶化。保护生态环境，促进持续发展，是当今人类面临的同一重大课题的两个方面。

1972年6月在斯德哥尔摩召开了“人类环境大会”。这次会议各国并没有取得实质性的共识，工业革命以来那种不顾地球生态环境的“高消耗、高投入、高污染、少数人高消费”的不可持续的生产方式与消费方式仍得以继续。生态和环境更为恶化，温室气体的大量排放，全球增暖趋势更为明显，臭氧层空洞在扩大，土地退化沙化和物种灭绝的速度在加剧；不发达国家的贫困程度在加深。人们认识到不能孤立地讨论环境保护，环境保护要与经济社会发展相协调。人类的生产、消费和发展要充分考虑资源与环境的支撑，而环境保护又必须建立在众多国家的经济发展和科技进步的基础上。

80年代初，联合国针对当代人类面临的三大热点问题，即南北关系、裁军与安全、环境与发展，发表了《共同的危机》、《共同的安全》和《共同的未来》三个文件，都共同地提出了为克服危机、保障安全和实现未来都必须实施“可持续发展战略”。1984年5月召开的“地球的未来”会议号召，经济社会的发展必须同资源和环境的保护相协调，在满足当代人需要的同时，不危及后代人满足其需要的能力。

1989年第44届联大第228号决议，是筹备和召开“联合国环境与发展大会”的政治与法律依据。决议强调环境与发展要结合起来，标志着对可持续发展的共识取得了重大的突破。会议决议强调，“严重关切环境状况继续恶化、全球生命维持系统产生退化，而目前趋势任其继续下去则可能破坏全球生态平衡，危害地球维持生命的特质，导致生态灾难”，“全球环境不断恶化的主要原因是不可持续的生产和消费方式，特别是发达国家的这种生产和消费方式”，“强调贫穷与环境退化息息相关”，“促进人力资源开发，尤其是发展中国家人力资源的开发，以保护和改善环境”；决议要求可持续发展的概念必须变为具体的政策和方案。

1989年5月第15届联合国环境署理事会通过了《关于可持续发展的声明》，对可持续发展作出了全面而权威的论述。《声明》认为：“可持续发展，系指满足当前需要而又不削弱子孙后代满足其需要之能力的发展，而且绝不包含侵犯国家主权的含义。……可持续发展意味着要有一种支援性的国际经济环境，……可持续发展还意味着维护、合理使用并且提高自然资源基础，……在发展计划和政策中纳入对环境的关注与考虑。”

1992年2月在里约热内卢召开了178个成员国参加的“联合国环境与发展大会”，102位国家元首出席了大会的“首脑级会议”。会议通过并签署了《关于环境与发展里约宣言》、《关于森林问题的原则声明》、《气候变化的框架条约》、《生物多样性公约》和《21世纪议程》。《21世纪议程》

由 40 章和 110 多个“项目方案领域”组成，包括了当前全球环境与发展的绝大部分问题，如人口，人类健康，山区农业与农村、居住区的可持续发展，贫困、森林的破坏、沙漠化及干旱的克服，大气层、生物多样性、海域大洋、淡水资源与水质的保护，加强对土地资源、生物技术的管理及有毒化学品、危险废物废料、固体废弃物及污水、放射性废料的环境无害管理等，分别制定了对各项目方案领域的行动依据、目标、活动和执行的手段。

走可持续发展之路，是人类社会的共同选择。经济发展必须与环境保护相协调，经济发展是人类自身生存和进步所必须，也是保护和改善地球环境的物质保证。当前保护生态环境，实现可持续发展，已成为全世界共同的紧迫而艰巨的任务。人类共居在一个地球上，某些环境问题已超越国家和地区的界限，解决全球环境问题是每个国家和地区的共同利益所在。

（二）中国为实施可持续发展所作的努力

中国是一个发展中国家，正面临着发展经济和控制人口、节约资源、保护生态环境的双重任务。从国情出发，中国在全面推进现代化建设的进程中，把计划生育控制人口和保护环境造福子孙后代作为基本国策，把科教兴国和可持续发展作为重大发展战略，在经济和社会发展中，实现两个具有全局意义的根本性转变——一是从传统的计划经济体制向社会主义市场经济转变；二是经济增长方式从粗放型向集约型转变。改革开放 18 年来，由于中国实行了上述两项基本国策、两大战略和两个根本性转变，国民生产总值以年均 10% 左右的速度持续增长，而人口得以合理控制，环境质量基本避免了相应的恶化。实践表明，中国实行的人口、资源、生态、环境和经济、社会协调发展的方针是有成效的。

中国现代化建设是在人口基数大，人均资源少，经济发展和科学技术水平都比较落后的条件下进行的。70 年代以来，随着中国人口的增长，经济的发展和人民消费水平的不断提高，使本来就短缺的资源和脆弱的环境面临越来越大的压力，选择可持续发展的道路，既是当代经济与社会保持快速、稳定、健康发展之必须，也是为子孙后代生存与发展息息相关的的重大决策。

中国政府十分重视人口增长和经济发展而出现的环境问题，把环境保护作为提高人民生活水平和生活质量的一个重要方面。为了促进经济、社会与资源、环境的协调发展，中国在 80 年代制定并实施了一系列符合可持续发展战略的方针、政策、法律和措施。

随着经济和社会的发展，防治环境污染和生态破坏以及合理开发利用自然资源，关系到国家的全局利益和长远发展，确立环境保护作为中国的一项基本国策；国家将环境保护纳入国民经济和社会发展规划；提出了制定经济建设、城乡建设和环境建设同步规划、同步实施、同步发展，实现经济效益、社会效益、环境效益相统一的指导方针；提高全民的环境保护和可持续发展的意识，加强可持续发展能力的建设；加速环境科学技术的进步，初步形成了环保科研体系；推进环境保护和可持续发展领域的国际合作，认真履行国际环保公约。

1992 年联合国环境与发展大会把可持续发展作为未来共同发展的战略。中国随即提出了中国环境与发展应采取的十大政策，明确提出可持续发展战略是加速我国经济发展、解决环境问题的正确选择，还对防治工业污染、治理城市“四害”、改善能源结构、加强生物多样性保护、推进环境保护科学技术进步、运用经济手段保护环境、提高全民环境意识、健全环境法制、

强化环境管理和制定我国“21世纪议程”等提出了相应的政策。

1994年3月，中国政府批准发布了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》，从我国国情出发，提出了中国可持续发展的总体战略。1996年3月，《中华人民共和国国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》得以批准实施，把实施可持续发展作为现代化建设的一项重大战略，紧密结合经济体制和经济增长方式的根本转变，实现可持续发展战略目标，促进经济与社会协调发展。

可持续发展是人类共同的选择和共同的利益所在。

我们只有一个地球，要爱护、珍惜这颗孕育一切生命和人类并为他们生存与发展无私奉献的行星，要把地球建设成为有高度文明发展的、与人类和谐协调、美丽富饶的大家园，让地球永远以她婀娜多姿的风采驰骋在浩瀚无际的宇宙中。

走向 21 世纪的地震学

陈运泰

国家地震局地球物理研究所

陈运泰 地球物理学家。1940 年 8 月生于福建厦门,原籍广东潮阳。1962 年北京大学毕业。1966 年中国科学院地球物理研究所研究生毕业。1991 年当选为中国科学院院士(学部委员)。现为国家地震局地球物理研究所所长、研究员。从事地震波和震源理论的研究。

一、地震及其成因

地震

我们脚下的大地并不是平静的。有时,地面会突然自动地晃动起来,振动持续一会儿后便渐渐地平静下来。这就是地震。如果地震引起的地面振动很强烈,便会造成房倒屋塌、山崩地裂,给生命和财产带来巨大的危害。

很多地震,在相当广阔区域内可同时感觉到,但最强烈的振动只限于某一较小的范围内,并且离这个范围愈远,振动变得愈弱,以致在很远的地方就感觉不到了。为什么?这是因为,在振动最强烈处的地下,发生了急剧的变动,由它产生的振动以波动形式向四面八方传播开来而震撼大地。这种波动称为地震波。所以我们说,地震即大地震动,是能量从地球内部某一有限区域内突然释放出来而引起的急剧变动,以及由此而产生的地震波现象。

作为一种自然现象,地震最引人注目的特点是它的突发性及破坏力。关于这点,我国古代人民从经验就已认识到。早在 2000 多年前,《诗经·小雅·十月之交》中就有关于地震突发性及其破坏力的记载:“烨烨震电,不宁不令。百川沸腾,山冢崒崩。高岸为谷,深谷为陵。”“不宁”是地不宁,即地动。“不令”是不预先通告给人们周知,突如其来。诗中惊叹地震突如其来,其势如闪电,其声如雷鸣,其力足以令山川变易。

地震的地理分布

地球上到处都会发生地震,但不是到处都会发生大地震;地球上每天都有地震,但不是每天都有大地震。有的地震强烈到可以震撼山岳,造成极大的破坏和损失;有的地震则极其轻微,以至单凭感官觉察不出。小地震分布有时规律不明显,但较强的地震,特别是破坏性的强震,在地理上常呈带状分布,称为地震带。

从全球范围看,大多数地震分布在三个地带,它们是:环太平洋地震带;欧亚地震带;海岭地震带。

环太平洋地震带 全球大多数地震都密集在太平洋周围。在太平洋周围,沿着大陆边缘,西起阿留申群岛,经千岛群岛、日本、琉球群岛、台湾岛、菲律宾群岛至新西兰,东起阿拉斯加,经北美、中美、南美西海岸直至安第斯山脉南端,是地球上地震活动最强烈的地带,叫做环太平洋地震带。全球约 80% 的地震能量的释放发生在这一地震带内。

欧亚地震带 另外许多地震则发生在横贯欧亚的地震带,叫做欧亚地震带。欧亚地震带从地中海北岸开始,沿着阿尔卑斯山脉和喜马拉雅山脉,经

意大利半岛、西西里岛、土耳其、伊朗、巴基斯坦、印度北部、中国青藏高原南部，并在印度东部与环太平洋地震带相连接。全球约 15% 的地震能量的释放发生在这一地震带内。欧亚地震带是与阿尔卑斯褶皱带紧密联系的，所以也叫做阿尔卑斯地震带；它始于地中海北岸，所以有时也叫做地中海地震带。

海岭地震带 在大西洋、印度洋、太平洋东部、北冰洋和南极洲周边的海洋中，成带地分布着许多中、小地震的震中。这一地震震中分布的条带绵亘 6 万多千米，与大洋中的海岭位置完全符合。它是全球最长的一条地震带，叫做海岭地震带。在这条地震带上，地震一般不超过 7 级。全球约 5% 的地震能量的释放发生在这条地震带中。

我国地处欧亚地震带和环太平洋地震带之间，地震活动频繁，地震灾害相当广泛。在我国，大地震主要分布在 5 个地区，即：台湾省及其附近海域；西南地区（西藏、云南、四川）；西北地区（新疆、甘肃、宁夏）；华北地区（北京、河北、山东、山西、陕西）；东南沿海地区（福建、广东、广西）。

在我国，除了吉林珲春、延吉一带有深源地震（震源深度 300 至 700 千米的震）外，其他各地区的震差不多都是发生在地壳内部的浅源地震（震源深度不到 70 千米的震）。我国地震活动亦呈带状分布，主要的震带有：南北地震带；华北地震带；郯城—庐江地震带；东南沿海地震带；天山地震带。

南北地震带是一条纵贯南北的中枢地震带，北起北山，经宁夏、甘肃东部、四川西部直至云南怒江、澜沧江流域，全长 2000 余千米。南北地震带涉及范围广泛，是我国最大的震带。

华北地震带在阴山以南、秦岭以北、贺兰山以东，横亘河北燕山山脉，经山西汾河流域和陕西渭河流域，全长 1500 余千米。地震活动比较频繁。

郯城—庐江地震带北起辽宁，经渤海、山东至安徽，全长 1000 多千米。

东南沿海地震带在我国东南福建、广东沿海，全长 1000 多千米。东南沿海地震带的震活动性一般很低，只在东南沿海闽粤海边有一系列震级大于 7 级的强震活动。在内陆，则有一些较小的震发生。虽然震中分布总的趋势是沿东南海边，但宽度较大，带状分布轮廓不甚分明。

天山地震带西起中亚细亚东部，经新疆北部，往东至贝加尔湖东北，长 1000 余千米。天山南北边缘，地震活动很强烈，多次发生过 8 级以上的特大地震。

板块大地构造

那么，为什么会发生震？为什么全球大多数震分布在上面提到的三条震带？这要从地球内部构造说起。早在本世纪初，地震学家就已经懂得如何根据地面上不同震中距离震波到达时间的观测，计算地下不同深度的震波传播速度。由震波传播速度的分布，辅以其他资料，可以知道地球内部的物质组成。地球内部按照其物质的不同，从地球表面至地心可以分成地壳、地幔和地核。地壳平均 35 千米厚。地幔又分成上地幔（深度自 35 千米至 660 千米）和下地幔（深度自 660 千米至 2889 千米）。地核又分成外核（深度自 2889 千米至 5154 千米）和内核（深度自 5154 千米至地心 6371 千米）。

地壳厚度，在大陆地区约 30 千米；在海洋地区约 6 千米；在青藏高原地

区厚达 70 - 80 千米。

地球的外核是流体，地震横波不能通过；内核是固体。内、外核之间有一过渡层，厚约几百千米。

地球内部可以分成地壳、地幔和地核的分层构造，是按照物质的不同（主要依据地震波的传播速度的分布）划分的。若是按照力学性质的不同，地壳和地幔这两部分又可分成三层，这就是：岩石层、软流层和中间层。

岩石层自地面至深度 80—100 多千米。在岩石层内，地震波速度较低、衰减很小，在地质年代（100 万-1 亿年左右）的载荷下不发生塑性形变。

岩石层的下方是软流层。在软流层内，地震波速度较低、衰减较大。软流层的厚度达数百千米。软流层粘滞性较小，易于流动。

软流层往下是难以流动、地震波速度高的中间层。

地球的岩石层并非完美无缺，而是被一些活动的构造如海岭、岛弧、水平大断层所割裂，形成若干个有限的称为板块的单元。

地球岩石层板块主要有 8 个大板块，它们是：欧亚板块（EU）、北美板块（NA）、南美板块（SA）、努比亚板块（NB）、太平洋板块（PA）、印度板块（IN）、澳洲板块（AU）和南极洲板块（AN）。在 8 大板块之间，还镶嵌着 14 个小板块，它们是：阿拉伯板块（AR）、婆罗洲板块（B）、加勒比板块（CA）、加罗林板块（CL）、可可斯板块（CO）、印度支那板块（I）、胡安·德·富卡板块（JF）、华北板块（NC）、纳兹卡板块（NZ）、鄂霍茨克板块（OK）、菲律宾板块（PH）、斯科舍板块（SC）、索马里板块（SM）和扬子板块（Y）。

8 大板块系一级板块，它们一般包括陆地，也包括海洋。例如：太平洋板块基本上包括太平洋水域，但还包括北美圣·安德列斯断层以西的陆地和加利福尼亚半岛；南美板块既包括南美洲大陆，也包括大西洋中脊以西的半个大西洋的南部；北美板块既包括北美洲大陆，也包括大西洋中脊以西的半个大西洋的北部以及西伯利亚最东端的楚科奇地区；等等。

小板块是次一级的板块，其作用不及大板块。虽然如此，小板块相对于邻接板块的运动还是相当显著的，在全球板块运动中具有不可忽视的作用。

地球表面被如上所述的厚度达 80-100 多千米的 22 个大小不等的、准稳定的、刚性的岩石层板块所覆盖，这些板块以每年数厘米至 10 余厘米的速率在厚度达数百千米的、低粘滞性的软流层上运动。

岩石层板块的强度很大，主要的变形只发生在其边缘部分。作为一级近似，板块基本上像刚体一样地彼此相对运动。然而板块的边缘既然受力，这个力必然向板块内部传递而使板块内部处于应力状态。各种大地构造活动（造山运动、地壳变动乃至地震）便是这些岩石层板块的相互作用的结果。

板块与板块相互接触的地方称为板块边界。板块边界的岩石由于受到板块之间相互作用力的巨大影响，不断地产生物理的甚至化学的变化，因而板块边界是地质上发生巨大的和根本性的变化的地方，这些地方便是各种活动构造带，如海岭、岛弧、水平大断层等等。

板块大地构造并不是永恒不变的，而是处于经常变化之中。来自软流层深部的炽热的熔岩不断地从洋中脊（如大西洋中部、环北冰洋、太平洋东南部以及印度洋中部的洋中脊）上涌，缓慢地流经地表，然后逐渐地冷却固结，在洋中脊两边形成新的洋底岩石层板块并使洋中脊扩张。由于软流层对流的带动，板块以均匀的速率像一条巨大的传送带一样由洋中脊向两边扩张和移

动，并在远离洋中脊的过程中，不断冷却和变化，在岛弧地区或活动的大陆边缘沉入软流层。下沉到软流层的岩石层板块随着深度的增加，温度和压力也都不断地增加，从而逐渐变化，直至被地球深处的岩石吞并、完成对流循环为止。因此，板块间发生的相对运动有三种：相互离开、相互靠近和相互错动。

板块间的三种运动，产生了四种类型的板块边界，分别称为发散边界、汇聚边界、走滑边界和碰撞边界。

在板块的发散边界，两块薄的板块以洋中脊为界相互离开，因此在其间产生空隙。来自软流层深部的炽热的熔岩上涌，缓慢地流经地表，逐渐地冷却固结，在洋中脊两边形成新的板块，填充了空隙并使洋中脊扩张。

全球主要的发散边界有：将大西洋一分为二的大西洋中脊、东太平洋中脊、印度洋中脊等。它们是位于水下约 2500 米的海底山脉。

在板块汇聚边界，当厚度近似相等的两大板块汇聚时，一侧的板块俯冲到另一侧的板块下，这种现象称为俯冲，所以汇聚带又叫做俯冲带。板块俯冲下去的那部分称为板舌。当海洋板块与大陆板块汇聚时，由于海洋板块较薄，其密度比软流层大且位置又低，而大陆板块较厚，其密度小且位置又高，所以一般总是海洋板块俯冲到大陆板块下面。俯冲主要发生在太平洋周缘，如南美西海岸、阿留申岛弧、太平洋西部汤加——克马德克地区。因为这个缘故，俯冲边界也称为太平洋型汇聚边界。沿着汇聚边界，海洋板块下沉到软流层中。由于地球内部的温度和压力随深度的增加而增加，使下沉到软流层中的海洋板块逐渐潜没消亡于软流层之中，所以俯冲带又叫做消减带。

在板块的走滑边界，板块与板块沿边界的走向滑动。由于这种走向滑动边界的存在，使板块边界发生从发散边界到汇聚边界、从汇聚边界到汇聚边界的转换，所以这种类型的板块边界也称为转换断层。走向滑动边界发生于两个海洋板块之间或海洋板块与大陆板块之间。沿着大西洋中脊，可以看到洋中脊并不是连成一线，而是在多处被断裂带沿横向错开。被两段洋中脊所夹着的断裂带就是作为走向滑动边界的转换断层。在北美西部，有一系列相当长的转换断层，它们是太平洋板块和北美板块的边界，沿着这些断层，太平洋板块相对于美洲板块向西北运动。著名的加利福尼亚的圣·安德列斯断层就是这些断层中的一个。

板块相互离开、相互靠近和相互错动分别导致了发散边界、汇聚边界和走滑边界等三种类型的板块边界。除了这三种类型的板块边界外，还有一类由两个板块相互靠近产生的板块边界，叫做碰撞边界。

当两个大陆板块相互靠近发生碰撞时，因为两个板块都是密度较小、质量较轻、易飘浮的大陆板块，不可能发生一个板块俯冲到另一个板块下面的消减，而是发生板块内部大范围的变形，板块的相对运动绝大部分通过嵌入侧的板块内部的大范围变形得以维持，从而形成大规模的褶皱山脉和走向滑动断层，这种现象称为碰撞，相应的边界叫做碰撞边界。发生于喜马拉雅地区的印度板块与欧亚板块的碰撞及其所引起的大陆形变就是碰撞边界的典型例子。

那么，是什么机制驱动着板块不息地运动呢？现在我们知道，驱动板块的机制有三种，这就是：热对流、板块拖曳地幔以及洋中脊顶部的推挤作用。

软流层里的热对流是板块运动的一种驱动机制。软流层深部的局部加热作用使得软流层的温度增高，岩石发生了缓慢的塑性形变。岩石因体积膨胀、

密度减小，便缓慢地漂浮上升。随着岩石的上升，周围较重的岩石向着中心部分流向下方。软流层物质在岩石层板块下面作水平流动时逐渐冷却，密度逐渐变大，在俯冲带向下沉落，在深部形成闭合的对流环。因为粘滞性，软流层内的热对流带动了岩石层的底部，驱动了板块的运动。

驱动板块的第二种机制是板块拖曳地幔。在对流过程中，俯冲带、俯冲板块的重力拖曳作用使得板块边缘下沉到软流层中。由于冷却作用，沉下去的板块边缘密度增大，于是负的浮力沿着表面拖曳着板块离开洋中脊，而热的低密度物质则从洋中脊上升，填充被这两个板块拉开所产生的间隙。

驱动板块的第三种机制是洋中脊顶部的推挤作用。在洋中脊，由地幔上涌的新的、炽热的物质楔入两个板块之间，迫使它们分离，以这种方式推动着板块作水平运动。

热对流、拖曳和推挤三种机制各在一定程度上分担了驱动板块的作用。目前我们对这些全球性的力还不够了解，但我们已经知道，这些力是地球内部温度存在差异的结果，而地球内部的温度差异则是由于地球向空间辐射热量、同时又从岩石中的放射性物质的裂变获得热量所造成的。驱动板块的三种机制虽然不同，但都有一个共同点，这就是岩石层板块在洋中脊处逐渐地产生，而在海沟处下沉到软流层中，其边缘部分逐渐被软流层所吸收。也就是整个过程是一个循环过程，洋底永葆年青，其平均年龄大约是一亿年。

地震的基本成因

板块的相互作用是地震的基本成因。

在中等深度或较深处，岩石层板块的相对滑动比较均匀和连续。但是在浅处，例如从地面至 20—30 千米深的地方就不是如此。在浅处，岩石层板块的相对滑动是一种叫做粘滑的过程，即局部地区在经过一段时间的弹性应变积累之后突然滑动。这种突然滑动就是地震。浅源地震（震源深度 0 至 70 千米的地震）集中于板块的边缘，它们是板块相对运动的反映。

在发散边界（发散带）发生的地震是海底扩张、板块增长的结果和反映。由于发散边界是板块新增长的地方，板块较薄，所以地震较小，深度较浅，地震带较窄，地质构造较简单，震源表现出与海底扩张有关的性质，即张性的构造应力作用造成的正断层。在汇聚边界（汇聚带、消减带），一个板块俯冲到另一个板块下方，由于板块较厚，所以地震较大，有时深度也较深、地震带较宽，地质构造较复杂，震源表现出与板块俯冲有关的性质，即压性的构造应力作用造成的逆断层。在走滑边界（转换断层），板块虽较薄、深度也较浅，但有时因破裂长度较长，地震也可能很大，再加上震源较浅，而且有时发生在陆地上，因此仍颇具有破坏力。转换断层的应力主要是水平方向的，造成平移。在碰撞边界（碰撞带），两大板块相撞，板块内部发生大范围的变形，不但造成巍峨的褶皱山脉（如喜马拉雅山和地中海的阿尔卑斯山）和走向滑动断层，还会因应力向板块内部传递而使板块内部处于应力状态，发生地震。我国青藏高原及与青藏高原邻接的我国大陆地区的地震就是碰撞带地震的典型例子。

中源地震（震源深度 70 至 300 千米的地震）和深源地震（震源深度 300 至 700 千米的地震）也是发生于岩石层中。在俯冲带，岩石层板块从海沟附近向下弯曲，倾斜地延伸于岛弧之下。在板块向下运动的过程中，又发生新的形变。在岩石层板块俯冲入温度较高的软流层时，其内部的温度依然较低，仍然可以因形变而发生脆性的剪切破裂，这就是中、深源地震的成因。中源

地震和深源地震发生于从海沟内侧向大陆侧倾斜的、倾角约为 45° 的面内，这个面的深度达几百千米、但厚度只有几十千米、最薄的地方还不及 20 千米，叫做深源地震面。这个发生深源地震的面称为和达—本尼奥夫带。和达—本尼奥夫带是岩石层俯冲到软流层的结果。板块最终在 650—700 千米深处，或者被地球内部的岩石所吸收，或者其性质发生变化以至再也释放不出地震能量。

许多地震发生在相互作用的板块边缘而不是在板块之内，这些地震称为板间地震。板间地震包括：洋中脊、裂谷带地震；俯冲带地震；转换断层地震；碰撞带地震。

地震不但发生在板块边缘，也发生于板块之内。发生于板块内部的地震称为板内地震。板内地震是在板块相互作用的影响下，由比较局部的力系或由表层岩石的温度、深度和强度的变化引起的。

日本内陆的浅源地震、中国大陆内部的大多数地震均属板内地震。

综上所述，地震都发生在岩石层中。当岩石层因构造运动变形时，能量以弹性应变能的形式贮存在岩石中，直至在某一点累积的形变超过了岩石所能够承受的极限时就发生破裂，也即产生了地震断层。破裂时，断层面相对着的两盘各自回跳到其平衡位置，贮存在岩石中的弹性应变能便释放出来。释放出来的应变能一部分用于克服断层面间的摩擦，然后转化为热能；一部分用于使岩石破裂；还有一部分则转化为使大地震动的弹性波振动能。

二、地震预测

地球科学的焦点问题——地震预测

地震是一种会给人类社会带来巨大损失的自然现象。大地震常突如其来，令人猝不及防，特别具有破坏力。它不像台风和龙卷风——人们对台风和龙卷风可以跟踪监测；它也不像火山喷发——火山喷发之前在火山活动地区一般都可观测到微震活动、地面倾斜等地壳形变的系统性变化及小规模的前兆性喷发。迄今地震学家仍未探索出一种确定性的地震前兆——也就是说，尚未找到任何一种异常现象，可以在所有大地震之前必被无一例外地观测到；并且一旦出现这种异常现象，必无一例外地发生大地震。地震前兆的出现常因地而异，甚而在同一地区的不同地震发生之前，地震前兆现象也有很大差异。

地震预测是公认的世界性难题，是地球科学的一个宏伟的科学研究目标。如能同时准确地预测出未来大地震的地点、时间和强度，无疑可以拯救数以万计生活在地震危险区的人民的生命；并且，如果能预先采取适当的防范措施，就有可能最大限度地减轻地震对建筑物等设施的破坏、减少地震造成的经济损失和促进社会的稳定和经济的繁荣。

自 50 年代末、60 年代初以来，作为一个极富现实意义的科学问题，地震预测一直是世界各国地震学家深切关注的焦点。

早在日、美等国制订地震预测规划前 6 至 8 年，即 1956 年，傅承义和刘恢先在我国 12 年《科学长远规划》第 33 项“天然地震的灾害及其防御”中就已经提出了地震预测问题和解决这一问题的科学途径与具体措施。1963 年，傅承义进一步明确指出了实现地震预测的三大类方法，即地震地质方法、地震统计方法、地震前兆方法。30 多年来，地震预测研究工作基本上沿用这三大类方法至今，尽管各类方法的内涵有许多发展和变化。

1966年邢台地震是我国地震工作的重要转折点。邢台大地震使灾区人民生命财产蒙受了巨大损失，周恩来总理两次亲临地震现场视察、慰问，并向地震工作者提出了一定要搞好地震预测、预报的号召。从此，我国的地震工作进入了一个以探索地震短临预测方法并进行试验性预报的新阶段。30多年来，在以减轻地震灾害为目的的地震预测、预报实践中，我国的地震工作坚持面向社会、面向国民经济建设，坚持边观测、边研究、边预报，坚持以预防为主、专群结合、多路探索，取得了包括举世瞩目的1975年2月4日的海城7.3级地震预报成功在内的进展，也遇到了对1976年7月28日唐山7.8级地震未能作出短临预报的挫折。我国地震工作者从挫折中得到教训，越来越清楚地认识到地震现象的复杂性和地震预测的艰巨性。1980—1982年，国家地震局组织对海城、唐山、松潘、龙陵等大地震的震例进行了系统的总结。1983—1985年，又对地震学、大地形变、地倾斜、重力、水位、水化、地磁、地电、地应力等九种方法和综合预报方法预测地震的理论与观测基础及方法效能进行了清理，深化了对地震前兆的认识。

美国在1964年阿拉斯加8.5级大地震之前并不十分重视地震预测工作。阿拉斯加大地震后，美国开始重视并逐渐加强地震预测研究。1965年普雷斯（Press）等提出了地震预测和防止地震灾害研究10年计划。1977年美国国会通过了“减轻地震灾害法案”，把地震预测工作列为美国政府地震研究的正式目标。特别是在70年代，紧接着前苏联报道了地震波速比在地震之前降低之后，美国也报道在纽约兰山湖地区观测到了震前波速比异常，随之而来的大量有关震前波速异常、波速比异常等前兆现象的报道和膨胀-扩散模式、膨胀-失稳模式等有关前兆的物理机制的提出，在美国乃至世界范围内掀起了地震预测研究的热潮，一些科学家甚而乐观地认为不久可望对地震进行常规的预报。

日本在1962年提出了著名的“地震预知——现状及其推进计划”，即“兰图”。在“兰图”中，提出了日本地震学家所认为的实现地震预测的最佳途径，并为以后的地震预测工作定下了指导原则。从1965年开始实施第一个地震预测研究（4年）计划，接着是第二至第六个地震预测（5年）计划（1969—1994）。现在正在实施第七个（5年）计划（1995—1999）。需要特别指出的是，从第二个5年计划开始，去掉了“研究”二字，反映了在日本当时已把地震预测视为已达到实用化阶段，其地震预测工作肩负着研究和实用两种使命。

前苏联在1948年阿什哈巴德地震之后不久，在中亚细亚的加尔姆地区开始了地震前兆的研究，但从总体上说来，直到60年代，主要侧重对地震活动性本身的研究。1966年塔什干地震后，逐渐演变形成了地震预测计划，在更广阔的范围内进行了地震预测研究，建立了加尔姆-杜尚别、伏龙芝、塔什干、阿什哈巴德、阿拉木图、喀尔巴阡、堪察加等地震预测试验场。

这些国家或是在多震区建立地震预测试验场进行地震预测试验研究，如加尔姆等（前苏联）、帕克菲尔德（美）、北安纳托利亚（土耳其-德国合作）、滇西（中），或是在重点地区强化地震监测工作，以期实现短临预测预报地震的实际目的，如东海地区（日）、首都圈（中）。

地震预测的进展和水平

世界各国地震专家30多年的努力，积累了大量的前兆震例资料。随着研究工作的深入，愈来愈多的专家与公众认识与了解到地震预测远比原先知道

的困难，“发现”了原先没有发现的地震现象的复杂性。和 70 年代的情况不同，近几年地震预测不再是众多的学术会议的热门议题。尽管如此，它依然是地震学家、公众和政府十分关注的问题。

尽管地震预测问题迄今尚未解决，但是 30 多年来世界范围的努力，仍然取得了不少值得称道的进展。

在长期预测方面，一般认为最突出的成果之一是板块边界大地震空区的确认。在环太平洋地震带，几乎所有的大地震都发生在预先确定的空区中。板内地震空区的识别也有较系统的震例总结。

在中期预测方面，通过研究区域地震活动性得到的地震前兆如地震“平静”、“增加概率的时间”以及地震活动性迁移等都有一些成功的例子。

与中、长期预测的进展形成对照，短期和临震预测进展不大，以至有些专家对短、临预测能否实现极表怀疑。

1989—1990 年间，国际地震学和地球内部物理学协会（I - ASPEI）下属的地震预测分委员会，组织了一个由 13 名专家参加的工作小组，对各国专家提名的 28 种他们认为是有意义的地震前兆进行了较严格的评审。结果这个工作小组只评出三项，即：强余震之前的地震“平静”；中国海城地震的前震；日本伊豆-大岛近海 7.0 级地震（1978 年 1 月 14 日）前水氢含量减少。对于地应变、地倾斜、地壳运动（3 项）等 5 项则未能作出决定；而对于尾波（2 项）、表征地震波衰减性质的品质因数（Q 值）、横波分裂、潮汐应变振幅、震群、自然电位、地电阻率和地磁场、电磁辐射、应变对降水量的响应、高程变化、地面垂直运动、断层蠕动、地壳形变（海平面变化-地震）、干旱-地震等 20 项（以上只列出 15 项，属同一地震，同类方法的项已作了归并）则未予以通过认定。未予以通过认定并非说这些前兆方法一定毫无用处，但表明根据评审专家和工作小组的意见，该方法目前尚未成熟、对所提名的“地震前兆”是否真是前兆目前尚不能完全肯定。

地震预测不是指像“在某地最近要发生大地震”这类含糊的“预报”。如果不是对地震发生的地点、时间和大小（称为地震预测的三要素）加以适当限定的预测，就几乎没有什么价值。所以，地震学家把地震前兆明确地定义为“地震之前发生的、被认为是与该主震的孕震过程有关联的一种环境参数的、定量的、可测量的变化”，把地震预测明确地定义为“同时给出位置、大小、时间和概率四种参数，每种参数的误差小于、等于下列数值；

位置： $\pm 1/2$ 破裂长度；

大小： $\pm 1/2$ 破裂长度或 ± 0.5 级；

时间： $\pm 20\%$ 复发时间；

概率：预测正确次数 / （预测正确次数 + 预测失误次数）”。

上述情况表明，对于地震的发生及其预测，地震学家可谓知之甚多、不知之处亦甚多。从总体上说，地震预测的水平仍然是不高的。最近，我国对 1995 年 7 月 12 日云南孟连中缅边境 7.3 级地震取得了长、中、短、临预报成功；但对 1996 年 2 月 3 日云南丽江 7.0 级地震在有明确的中、短期预报的情况下，却未能做出临震预报。这些情况可以说是当前地震预测水平状况的真实写照。随着经济的发展，社会和公众对于提高地震预测能力、减轻地震灾害的要求愈益迫切。在美国、日本这样的经济实力雄厚、科学技术先进的发达国家的地震危险区内，地震监测台网密布，地震区的地质构造一般认为都研究得相当透彻，但是，在美国，1989 年 10 月 17 日加州北部洛马普列塔

(Loma Prieta) 6.9 级地震、1992 年 6 月 28 日兰德斯 (Landers) 7.2 级地震和 1994 年 1 月 17 日北岭 (Northridge) 6.9 级地震都不发生在地震学家“安排”好的主断层上, 而安排在加州中部帕克菲尔德地震试验场守候 6 级地震到来的“大限”已过, 大震仍杳无踪迹。在日本, 等候多年的“东海大地震”至今尚未发生, 而在 1995 年 1 月 17 日偏偏在日本地震学家未予关注的兵库县南部发生了 7.2 级地震。

地震预测的困难和对策

地震预测是公认的科学难题。那么, 它究竟难在哪里? 它的困难在于地震物理过程本身所具有的复杂性和地球内部的“不可入性”——人们不能深入到地球内部直接在震源内设置台站、安装观测仪器。迄今最深的钻井是前苏联科拉半岛的超深钻井, 达 10 千米; 正在德捷边境附近进行的“德国大陆深钻计划”预定钻探 15 千米。和地球半径 (6371 千米) 相比, 超深钻所达到的深度实在是“皮毛”, 况且这还解决不了直接对震源进行观测的问题。大地震的复发时间比人的寿命、比有现代仪器观测以来的时间长得多, 也限制了作为一门观测科学的地震学在对现象的观测和对经验规律的认知上的进展。地震学家只能利用在地球表面和距地球表面很浅的地球内部用仍属相当稀疏的观测台网进行观测获取的很不完整、很不充足、有时还是很精确的资料进行反演。解决这些困难的出路既不能单纯依靠经验性方法, 也不能置迫切的社会需要于不顾, 把看上去纷繁复杂、实际上丰富的前兆现象一概视为“噪声”, 翘首企盼几十年后的某一天基础研究的飞跃进展和重大突破。继续强化对地震前兆现象的监测、拓宽对地震前兆的探索范围, 并在可靠的和丰富的前兆现象基础上, 构制自由度较小的定量的物理模式进行模拟、反复验证, 可望逐渐地、然而实效上可能会是较快地阐明地震前兆与地震发生的内在联系, 实现地震预测。

地震是发生在地球内部的自然现象。一个 7 级大地震释放的应变能其数量级达 10^{15} 焦耳, 很难置信在如此巨大的应变能释放之前不出现任何“讯号”。已知的地震前兆包括直接与地震过程相联系和不十分直接与地震过程相联系的两大类。前者如地震活动性、地震空区、描述大小地震比例关系的 b 值、表征地震波衰减性质的品质因数 (Q 值)、地震波速与波速比等地震学前兆; 以及通过地倾斜、地应变、地应力、重力变化等形式表现出来的地形变、地应力和重力前兆, 后者如地磁、地电、地下水位、地下水化学和动物异常等。它们涉及地球物理、大地测量、地质、地球化学、生物等众多的学科和广阔的领域。高新技术 [如全球定位系统 (GPS)、甚长基线干涉术 (VLBI) 等空间大地测量技术等] 的引进和应用、多学科协作配合和相互渗透无疑是寻找发现和可靠地确定地震前兆的必不可少的手段。

地震既发生在板块边缘、也发生在板块内部, 地震前兆出现的复杂性和多变性可能与地震发生场所的地质环境的复杂性密切相关。因地制宜, 即在不同地震危险区采取不同的“战略”, 各有侧重地检验和发展不同的预测方法, 不但在科学上是合理的, 而且在财政上也是经济的。

在自然科学的许多领域中, 处理与浑沌和自组织临界性质有关的集体现象的新理论、新方法取得了相当大的成功。地震发生的场所——地壳的行为很值得借鉴这些新理论、新方法加以探索。从本质上说, 地震过程是高度非线性的, 将非线性理论应用于地震现象的研究可望有助于阐明地震前兆复杂性的本质和探索新的可靠的地震前兆。

三、地震学研究的最新进展

尽管通往地震预测之路漫长而艰难，尽管对地震预测前景“乐观论”与“悲观论”时有争论，世界各国地震学家对地震和地球内部的研究却从未懈怠。近年来，在地震学研究领域中仍然取得了许多可喜的进展，这些进展的取得是与观测技术水平的进步密切关联的。

数字地震学

地震学是一门观测的科学。地震仪对于地震学犹如望远镜对于天文学一样的重要。人类对地震和地球内部认识的发展与地震仪的发展密切关联。众所周知，我国东汉时期的张衡（公元 78-139 年）于公元 132 年发明了候风地动仪。公元 138 年设置于洛阳的候风地动仪检测到了一次发生于甘肃省内的地震。这是人类历史上第一次用地震仪器检测到远处发生的、但在仪器所在地无感的地震。

第一台近代地震仪是意大利人菲利普·切基（Filippo Cecchi）于 1875 年发明的，它可以记录两个分向（南-北分向与东-西分向）的地面运动。切基的摆式地震仪放大倍数为 3 倍，只能记录强震。

自 1875 年第一台近代地震仪诞生以来，地震学家使用它来对地震进行观测，并在这个基础上发展起了近代地震学。从 1875 年起到 1974 年的整整 100 年时间内，地震学家主要依靠的是模拟记录地震图。利用这些记录，地震学家对于地球内部结构和地震发生的时间、地点、地震的机制等等的了解都取得了堪称辉煌的成绩。近代地震仪可以记录到远至位于台站对跖点的、在震区无感的小地震。然而，这种地震仪实在太灵敏了，而动态范围又不大，遇到大地震就“出格”（超过量程）。地面振动的周期，长可达 10^4 秒（固体潮），短可达 10^{-2} 秒（极微震），跨越了 6 个数量级；而地面振动的加速度，小可到 $10^{-7}g$ （ g 是重力加速度），大可到 $1g$ 的数量级，跨越了 8 个数量级。长期以来，受仪器制作技术水平的限制，地震学家只好在远距离记录大地震的低频成份，或者是在近距离记录小地震的高频成分；而地震工程师则主要关注引起建筑物破坏的近场强地面运动，他们着重于在近距离用低放大倍数的强震仪记录 1—10 赫兹的强地面运动。

到了 70 年代中期，地震学家在克服地震仪器动态范围小以及频带窄等缺点方面取得了进展，制成了反馈式电磁地震仪，展宽了频带，扩大了动态范围。随着微电子技术的发展，从 70 年代起，地震观测系统中大量采用了将信号数字化的记录方式。由于数字记录地震仪具有记录频带宽、分辨率高、动态范围大以及易于与计算机联机处理等优点，所以自 70 年代中期以来，地震观测系统中大量采用了数字记录方式，从而使地震学的发展出现了一个新的飞跃，数字地震台站、台网和台阵的数量如雨后春笋般迅速增加，在这一基础上，产生了有时也被称作宽频带地震学的数字地震学。

数字地震观测系统对于地震监测、研究以及防震减灾的重要意义，很快就为人们所认识，世界各国有关部门，无不投入巨资，竞相发展数字地震观测系统。迄今，全世界已有大约 440 个数字地震台；属于国际性的数字地震台网联合会（FDSN）的数字地震台已达 150 多个。

1983 年 5 月，我国开始建设中国数字地震台网（CDSN）。该台网是与美国地质调查局（USGS）合作建设的，于 1987 年 10 月 22 日正式运作，当时有 9 个台。1993 年增设了拉萨台，1995 年增设了西安台，现共有 11 个台。中

国数字地震台网运作良好，产出了大量的、高质量的数字地震资料，资料可用率在 96% 以上，在国际上名列前茅。这些高质量的数字地震数据，在地震参数的测定、地震速报、对大地震的快速反应以及国内、国际地震科学研究中发挥了重要的作用。

实时地震学

高质量的数字地震资料的迅速积累和分析研究，正在改变着人类对地震和地球内部的认识，调整着人类与地球的关系。10 年前，美国哈佛大学研究集体只能在 5.5 级以上地震发生之后数月给出描述该地震震源机制的“矩心矩张量”，因为那时地震数据的传输是靠邮寄计算机磁带来实现的。现在，已经实现了准实时传输地震数据，在发生 5.8 级以上地震后几个小时即可向全世界发布“快速矩心矩张量震源机制解”。在日本东京大学地震研究所和美国地质调查局，也在开展同样的工作。预计在未来 5 年内，矩心矩张量的测定将达到实时。届时，矩心矩张量的测定对于全球地震应变释放的监测、地震危险性评定、大地震参数的速报以及对大地震的快速反应，从而对减轻地震灾害，将起到重要的作用。

地震层析成像

地壳、地幔和地核是一个相互联系的系统。地球的冷却、地幔的对流造成了崎岖不平的地形和气象万千的地貌，决定和影响了自然资源的分布。为了了解这个系统是如何运作的，必须探明自地球表面直至地心的地球内部结构。运用已获取的高质量的数字地震资料，现在已经可以对地壳、地幔和地核的三维结构层析成像，不过分辨率因方法和资料而有相当大的差异。目前，用地震反射法探测地壳浅层结构，其分辨率可达数米；用该方法探测地壳深部结构，分辨率则达百米。用地震折射法探测地壳和上地幔的地震波速度构造，其分辨率可达数千米至数 10 千米。用区域性地震台网记录的地方震可以反演地壳、上地幔结构，分辨率可达 5-10 千米；若用远震资料反演，分辨率则要低一些，对地幔结构的最佳分辨率是 30 千米，而用地震面波对下部地壳-上地幔结构层析成像，分辨率大约是 300—1000 千米。用地震体波对下地幔结构进行全球尺度的层析成像，在径向（深度方向）分辨率大约是 500 千米，而在水平方向，则只有 3000 千米。地震层析成像揭示了地球内部的非均匀性和各向异性，这些探测结果对于阐明山脉和高原的隆升、沉积盆地的沉降、成矿规律、下沉板舌附近的小尺度的边界层过程、洋中脊、核幔边界、以及矿物组合在地幔中部的转换，都具有重要的意义。

地震破裂物理学

宽频带、大动态范围和数字化地震观测系统的出现与迅速发展，给地震学以巨大的推动，正在迅速地改变着地震学的面貌。如：地震破裂时-空进程的成像，愈合脉冲的发现，通过观测发现了地震起始（“成核”）阶段证据，深源地震破裂特征地发现，等等。

地震破裂过程的复杂性 地震破裂物理过程的研究具有重要的理论和实际意义。既然地震是大地构造活动的一种主要的形式，那么，通过对地震破裂物理过程的研究将有助于了解地壳应力状态和地壳介质的强度，从而有助于对长、中、短、临地震前兆的探索，有助于对近震源强地面运动的预测、从而对抗震设防有重要的实际意义。从宽频带、大动态范围和数字化地震观测资料，地震学家现在已经可以反演出地震破裂的时-空进程，也就是对地震破裂时-空进程成像。通过对地震破裂时-空进程成像，发现了地震破裂过程

的复杂性，即地震破裂不但在空间上是非均匀的，而且在时间上也是错综变化的。

地震愈合脉冲 通过对地震破裂时-空进程成像，揭示出一个与传统的地震破裂模式极不一样的观测事实，即发生地震时，发生滑动的区域如同一个脉冲一样以小于横波的速度传播，在任何一个时刻，只有一小部分断层在滑动。这个滑动脉冲也称为愈合脉冲。愈合脉冲这个术语形象地描述了破裂面的前缘向前传播、愈合过程紧随其后发生的动态破裂图像。地震愈合脉冲的发现增进了对地壳应力和强度的认识，对困扰地震学家多年的地震断层带热流异常伴谬问题也提供了一种合理的解释。

地震的起始 运用高质量的近震源、大动态范围、宽频带的数字地震资料，证实了地震发生时，断层经历了从闭锁状态到破裂速度几千米/秒的快速破裂的过渡阶段，在过渡阶段，破裂速度只有几米/秒。这个阶段称为地震的起始阶段，亦称为地震的“成核”阶段。观测发现，地震愈大，其起始阶段的持续时间愈长。这一发现表明了地震的起始阶段对于紧接着发生的地震有着强烈的影响，对于地震预测具有重要意义。

深源地震的破裂特征 以往地震学家对深源地震的破裂过程和大的深源地震的余震的特性了解不多。一般都认为深源地震不会有多少余震，并且余震也不一定会发生于主震的断层面上。1994年3月9日发生的斐济7.6级深震及其83个余震以及1994年6月9日发生的玻利维亚8.3级深震及其余震的宽频带数字地震记录揭示了深源地震具有许多与浅源地震类似的破裂特征，如1994年3月9日斐济7.6级深震的余震震源位于主震的断层面，断层面面积不大（50千米×65千米）；1994年6月9日玻利维亚8.3级深震的断层面接近于水平面，面积也不大（30千米×50千米），破裂速度很低，约1-2千米/秒，全部破裂持续时间约45秒，在长达45秒的破裂过程中，震源机制没有发生变化，也没有明显的各向同性分量。这些观测事实表明控制深源地震破裂过程的应力状态是比较均匀的，对深源地震的成因和机制提供了约束，有助于阐明深源地震的成因和机制。

地球内核自转速率比地幔和地壳快

地球的固态内核体积只有月球的2/3。它像一个由紧密排列的铁原子构成的巨大的单晶体，其各向异性的对称轴与地球的旋转轴成 10.5° 。当地震波穿过各向异性的内核时，如果射线平行于对称轴，地震波的传播速度要比射线垂直于对称轴快。如果地球的固态内核的自转速率比地幔和地壳快，内核及其各向异性的对称轴就要相对于地幔和地壳旋转，对于某一固定的震源和某一固定的地震台站来说，落在内核的那段地震射线与对称轴的夹角便发生变化，从而导致了地震波走时的系统变化。通过对自1967至1995年近30年地震记录的分析，地震学家用地震学方法证实了地球内核确实比地幔和地壳转得快，大约快 $1.1^\circ/\text{年}$ 。这就是说，大约300—400年，内核就要比地幔和地壳多转一圈。在内核的赤道面，这个内核自转速率与地幔和地壳自转速率的差相当于数量级约为20千米/年的线速率，它要比板块运动的线速率的最大值（约20厘米/年）快10万倍。这一发现对于地球磁场的起源、倒转以及地球的演化等地球物理问题，有着重大的意义，是地震学对于地球科学的重大贡献。

四、结语

可以预料，在本世纪的最后几年里，随着数量空前的高质量地震数据的迅速积累、实时处理和广泛深入的研究，随着地震学研究与大 地测量以及其它地球物理观测、研究的交叉渗透，在地震学领域中对于地球内部（地壳、地幔直至地核）的构造、运动和动力演化，对于地震的发生、地震破裂物理过程的认识，必将取得重大的进展，从而进一步增强人类抵御和减轻地震灾害的能力。

我国的气候灾害特征、 成因及其预测研究

黄荣辉

中国科学院大气物理研究所

黄荣辉 大气物理学家。1942年8月出生，福建惠安人，1965年毕业于北京大学，1983年获日本东京大学理学博士学位，现任中国科学院大气物理研究所研究员、副所长，气候研究委员会秘书长，中国科学院地学部常委。1991年当选为中国科学院院士（学部委员），主要从事大气动力学研究。

我国是世界气候脆弱区之一。由于气候异常给我国带来的气候灾害比较严重，尤其是旱涝灾害，这些灾害每年造成上百亿公斤的粮食损失和近千亿元的经济损失，气候灾害的形成及预测已成为我国大气科学的前沿研究问题，我国大气科学界一直重视这个问题的研究。

一、气候灾害及其对国民经济的影响

习惯上，人们一般把气候灾害与天气灾害统称为气象灾害。不过，天气灾害与气候灾害还是有区别的，天气灾害是指局地性、短时间的强烈天气而带来的灾害，如每晚电视中播出局地地区所发生的台风、暴雨、冰雹、龙卷风等。由于这些灾害常伴随有强风和暴雨，对农作物生长有很大的毁坏作用；而气候灾害则指大范围、长时间的、持续性的气候异常所造成的灾害，如长时间气温偏高、偏低、或降水量偏多、偏少等就称为气候异常，这些气候异常往往会带来干旱、涝灾、低温、冷害等。当发生较严重的气候灾害时，就会对农业、工业、牧业、水利、交通等产生巨大影响，造成巨大经济损失。

本世纪90年代以来，我国因气象灾害而造成的经济损失每年平均在1000亿元以上，1991年夏淮河流域及长江中、下游地区发生的特大洪涝以及华南和河套地区的严重干旱约造成1200亿元的经济损失；而1994年江淮流域的严重干旱及华南与辽南地区严重洪涝造成的经济损失竟达到1800亿元。一般年份，气象灾害造成的经济损失可占到国民经济生产总值的3% - 6%，可见它影响巨大。气象灾害中，气候灾害造成的损失严重，而其中以干旱与雨涝两种气候灾害最为严重，约占气象灾害总损失的78%。因此，研究这些气候灾害的发生特征及规律，特别是对这些气候灾害的预测是当前一项重要的科学研究任务。

二、我国气候灾害的主要种类和分布特征

1. 我国气候灾害的主要种类

我国气候灾害主要有以下几种：

(1) 干旱：干旱是我国最常见、也是影响最大的气候灾害，每年因干旱造成的粮食减收和经济损失约占气象灾害造成的总损失的50%左右。全国一年四季各地均可发生干旱。平均每年因干旱受灾的耕地面积约3亿亩左右，

占我国耕地总面积约 1/6 左右。严重干旱年份降水量可比常年少 3 至 5 成，个别季度能比常年平均少 6 至 8 成。由于气候变化，我国华北地区在 1965 年以后，降水连年减少，80 年代的年平均降水量约比 50 年代年平均降水量减少了 1/3，造成了严重干旱。水资源缺乏致使华北地区人均水资源占有量只有全国平均的 1/6，耕地亩均水资源占有量只有全国平均的 1/10。干旱与水资源缺乏已严重影响华北地区的人民生活 and 工农业生产的可持续性发展。

(2) 雨涝：雨涝是我国另一种常见的气候灾害，它每年造成的粮食和经济损失约占所有气象灾害造成的总损失的 27.5% 左右，个别严重雨涝年，损失更严重，例如 1991 年，江淮地区发生洪涝，仅安徽、江苏两省粮食就减产 120 亿公斤。我国平均每年因雨涝受灾农田面积约 1 亿亩左右。雨涝主要发生在夏季，但春、秋季甚至冬季也时有发生，例如 1982 年-1983 年冬季，华南就发生了几十年不遇的洪涝灾害。

(3) 夏季低温：除了降雨量的多少可形成气候灾害外，气温长时间的偏低，也能造成灾害。东北地区是我国重要的粮食基地，一般说来，这里夏季温度适宜，雨水丰富，对一年一熟的作物适宜，但是，有的年份夏季出现低温就可能严重影响作物生长。因此，夏季低温是造成我国东北地区粮食减产最严重的气候灾害，1972 年和 1976 年东北地区因夏季低温冷害粮食减产分别为 63 亿公斤和 47.5 亿公斤。

(4) 霜冻：春、秋季的霜冻也是一种经常发生的气候灾害。因为秋季初霜日期提前，或者春季终霜日期推迟，都意味着气温的长时期变化，它将严重影响作物的生长与成熟，从而可严重影响作物产量。所以，虽然霜冻只是一种天气现象，但通常人们把它作为气候灾害来看待。一旦初霜日提前，秋季气温偏低，而终霜日推迟，则春季气温偏低。初霜日或终霜日早、晚能相差 20-30 天，造成严重的霜冰灾害，如 1953 年，由于终霜日推迟，出现倒春寒，致使北方冬麦区最低气温达 -1 ~ -3℃，冬小麦减产 30 亿公斤。

(5) 江南低温阴雨：对于我国南方地区，春季的低温阴雨也是严重的气候灾害。春季的低温阴雨主要影响早稻生产，从而造成烂秧和死苗。严重的春季低温阴雨年，烂秧率可达 30%-40%，重者可达 60%-70%，例如 1976 年长江中、下游地区日平均气温在 12℃ 以下的有 18 天，仅湖南、江西、湖北水稻就损失 3-4 亿公斤。1996 年春，我国江南又出现长达 20 天左右的低温阴雨天气，给小麦和水稻育秧带来很大不利。

(6) 华南寒害：秋季在寒露节气前后，华南地区晚稻正在抽穗扬花，这时若出现寒露风（日平均气温低于 22℃ 的低温），可使晚稻空壳或瘪粒，造成减产。一般在严重寒露风年，空壳率达 30%-40%，最高达 70% - 80%。此外，冬季寒潮也会给华南农作物生长带来很大的毁坏作用，如 1996 年春节前后连续爆发的寒潮使华南地区气温急速下降，有的地区甚至一天降温近 20℃，对于作物和淡水养殖带来严重毁坏作用，造成巨大的经济损失。

(7) 雪灾：雪灾与寒害是冬季的主要气候灾害。雪灾主要影响新疆、青海、西藏、内蒙等畜牧区。这些地区若冬半年积雪量过多，积雪持续不化，使草场部分或全部被雪掩埋，牲畜无法采食，加上雪后常出现剧烈降温，造成牲畜因冻饿而死亡，疾病的传染又会加剧其影响，例如，1967 年 11 月至 1968 年初春，内蒙古自治区雪深 30 厘米，局部达 70 厘米，一些地区积雪长达 119 天，牲畜死亡 150 万头以上。

除了以上几类主要的气候灾害外，还有台风也是影响我国社会经济发

展、严重危害人民生命财产的天气灾害。台风致灾主要由于台风带来的狂风、暴雨和风暴潮。如 1956 年 8 月 1 日在浙江象山登陆的台风，造成特大海潮，沿海各省约 7 千万亩农田受灾，220 万间房屋被毁，5017 人死亡。登陆我国的台风有很大的年际变化，1949-1992 年平均每年登陆 7 个，最多达 12 个（1971 年），最少 3 个（1950，1951 年）。

以上我国主要气候灾害从其发生机理看，可以分为三种类型：第一类是由于降水异常所造成，如干旱、雨涝、雪灾；第二类是气温异常所造成，如夏季低温、霜冻、寒害；第三类是气温与降水异常所造成，如春季连阴雨。

2. 我国主要气候灾害的发生和分布特征

我国由于处于东亚季风区，各种气候灾害出现的频率随季节和地理位置而变化。

干旱主要发生在我国西北和华北地区，西北地区由于年降水量很少，一年四季均发生干旱，属于干旱气候。我国华北降水量年际和季节变化很大，特别是黄淮海地区频繁发生干旱。虽然我国大部分地区干旱发生频率在 30% - 40%，即，对每个季节来讲均大约为三年一遇，但华北和西南地区干旱发生频率随季节变化较大。华北和西南地区春季干旱发生频率可达到 60%，为三年两遇；其次是长江、淮河流域夏季干旱也时常发生。

雨涝发生频率稍低，约为 10% - 20%，雨涝灾害主要发生在长江中、下游地区和东南沿海。夏季这些地区雨涝发生频率可达 30% 左右，为三年一遇，而且强度大、影响范围广。如 1954、1991 和 1980 年夏季，在长江流域发生了特大洪涝，造成了严重的经济损失。

夏季低温一般发生在我国东北（包括内蒙），我国东北地区的农业生产受夏季低温危害最大，近 40 年来，严重低温就有 1954，1957，1964，1969，1972，1976 和 1985 年，再加上一般低温冷害年，出现频率约达到四年一遇。其它地区夏季低温较少见。

特早初霜冻与特晚终霜冻出现频率各约十年一遇；偏早初霜冻与偏晚终霜冻的频率各约六至七年一遇；二者合在一起早初霜冻与晚终霜冻的出现频率各约四年一遇。春季终霜偏迟的高频区位于内蒙东部和华北西部，长江中、上游地区有次高区；而秋季初霜偏早的高频区位于华北西部和华南丘陵地区，特早初霜高频区位于内蒙东部和华北西部。

雪灾的高频区，冬季在内蒙古东部、青藏高原东部以及新疆的天山一带，春、秋季主要在高原东部，频率均在 20 - 30%，即约 3—5 年一遇，内蒙东部和天山一带春秋两季却下降到 10% 左右，即约十年一遇。

华南寒害，无论是冬季寒潮，春季低温还是秋季寒露风，其频率分布均是自南向北增加，海南岛南部无寒害，自南向北寒潮平均每年由 1 次增加到 4 次；春季低温也是由 1 次增加到 3 次，秋季寒露风也是由 1 次增加到 2 次。

每年在我国大陆登陆台风在近 44 年（1949 - 1992 年）期间达到 10 个以上有 1961、1967、1971、1974 和 1989 年。但是，受灾情况则不仅决定于登陆个数，而且还与登陆时间及地点有关。我国以东南沿海台风灾害最频繁，夏季高频期平均每年发生 5—10 次，高频中心位于福建省；秋季台风灾害次多；春季最少，平均每年约 1 次左右。

从上分析可以看到，我国气候灾害随季节变化很大，旱涝主要发生在春夏季；台风与低温主要发生在夏季；而寒露风和雪灾主要发生在冬季；霜冻灾害主要发生在春秋季。各种重大气候灾害发生的频率大部分均在三到四年

一遇。这样如果以季为单位，并且考虑到不同地区的影响，则全国每年可能发生重大气候灾害十几到二十次。有些年份气候条件差，各种气候灾害可同时发生，从而造成严重自然灾害；有些年份则相对气候条件较好，风调雨顺，粮食丰收。这些气候灾害还有很大的年代际变化。总的情况大体上是：50年代除雨涝灾害较多外，其它灾害不多；70年代气候灾害最频繁，干旱、雨涝、霜冻等重大灾害多发生在1969—1979年期间。80年代干旱发生频率增加，其它灾害频次低于70年代，但与60年代相当，仍远大于50年代。

从上所述可以看到，我国气候灾害发生频繁，给我国农业生产和国民经济带来很大损失。因此，我们不仅要分析各种气候灾害发生的频率，而且还要研究各种气候灾害的成因，以便做好气候灾害的预测和防御，从而减少气候灾害给农业生产和国民经济所造成的损失。

三、我国气候灾害成因与气候系统

从70年代起，人们在认识气候方面有了一个突破性的飞跃，人们认识到气候变化不仅仅由大气圈的内部热力、动力过程所产生，而是包括大气圈、水圈、冰雪圈和岩石圈所构成的地球气候系统中各圈层相互作用的结果。具体来说，气候变化与异常是地球大气、海洋、冰雪、陆地等它们之间相互作用的结果。最近，人们认识到气候变化还与生物圈、人类活动有很大关系。

1. 气候系统

如图2所示，气候系统是一个很复杂的系统。气候变化不仅是由于发生在大气内部的动力、热力过程所造成，更重要的是由于受海洋、冰雪圈（包括冰川、海冰和大陆上冰雪覆盖）、岩石圈（主要是山脉、陆面、土壤）、生物圈和人类活动影响。这些各不相同的“圈”之间的相互作用可以形成月-季度、年际、年代际以及100年以上时间尺度的气候变化。

（1）太阳辐射是驱动地球气候系统唯一重要的能源：由于大气对于太阳短波辐射是透明的，该辐射并不直接加热大气，而是加热地球表面（包括陆面和水面）。地表受热后再往大气辐射长波辐射。因为 CO_2 、 CH_4 等气体会吸收这种辐射，从而减少了长波往太空的辐射，因此这些所谓的温室气体在大气中浓度增加，就会使低层大气因此而升温。

（2）海洋是气候的调节器：海洋通过蒸发供给大气水汽，由于水汽凝结而释放出大量潜热；并且当海洋温度高于大气，将向大气输送感热；大气温度高于海表温度，则海洋从大气中吸收热量，因此海洋是气候的调节器又是气候的记忆器，此外，大气通过风应力驱动海流改变海洋温度的分布，并且海洋还吸收大气中的 CO_2 。

海洋和大气同是地球上的层结流体，由于同受重力和科氏力的作用，它们运动有许多共同点，因此，海-气耦合系统可以说是气候系统中最重要的一个子系统。

（3）地表面特征对气候的影响：地表面接受太阳的短波辐射而加热，同时又以长波形式往大气辐射，因此不仅海洋和陆面受热不同，而且陆面上各种植被覆盖、沙漠和冰雪，它们对太阳的反射、吸收很不一样，各种地表特性的改变对气候变化有很大影响。此外，土壤特性和温度对于气候变化也有一定影响。可以说陆-气耦合系统是气候系统中一个重要子系统。

（4）冰雪覆盖对于气候变化也有一定影响：极冰、海冰以及陆面上的冰

雪覆盖将影响对太阳辐射的反射与吸收，因此，冰雪圈的空间分布将对气候变化有一定影响。

(5) 生物圈对于气候变化的作用是很复杂的：生物圈通过碳循环的作用而对气候变化起到一定作用，植物能吸收 CO_2 ，有减少大气中 CO_2 的含量的作用，并且对地表的反照率，地表与大气之间的热量、水汽和能量的交换也有很大影响，因此，生物圈对于气候的变化是有很大影响。但是，由于涉及到生物过程，使得生物圈对于气候变化的影响是很复杂的，目前科学家对生物圈在气候系统中的作用仅能非常粗略估算，详细还需进一步研究。

(6) 人类活动对气候变化有很大影响：人类活动通过两种途径来影响温室气体 CO_2 ， CH_4 等，即，人类的工业生产和生活大量使用矿物燃料大量放出 CO_2 ，并且在农业生产中也大量产生 CH_4 ，导致大气中温室气体增加；另一方面，由于工农业生产和人类生活的需要又在大量毁林，致使吸收 CO_2 的过程减弱，从而在大气中温室气体不断增加。这种温室气体对于全球增暖起到关键作用。但是由于地球气候系统的不同子系统在不同时间尺度上有着复杂而且经常是混沌的相互作用，因此，人类活动所产生的温室气体究竟如何引起着全球增暖，这还是一个迄今没有搞清的问题，即使现在有许多研究，但这些研究结果都各不相同，有很大的不确定性。

从上面可以看到气候变化有两种不同的变化，一种是气候的自然变化，它是一种振荡 (Climate Variability)，这可能是气候系统各“圈”相互作用的结果；另一种是像全球增暖这样全球变化，它不是振荡，也很可能是一种变迁 (Climate Change)，但全球气候增暖对于气候短期振荡也有作用。

2. 我国灾害性气候的成因

为了提高旱涝等灾害气候预报的准确率，我们不仅要知道控制灾害气候发生过程的大气内动力过程 (Internal dynamical process)，而且还要知道大气下垫面的热力状况及其对大气的影响。从海洋向大气输送的感热与潜热是大气热量的主要来源，我们的大量研究表明，海表面的热力异常严重地影响东亚大气环流的异常，并且，陆地表面也向大气输送大量感热与潜热。为此，一方面，我们从观测资料研究了大气下垫面热力异常与季度及年际气候异常的关系，特别是分析了热源异常与旱涝的关系；另一方面，从理论及数值模式来探讨大气下垫面热力异常对大气环流影响的物理机制。

我们通过大量研究，分析了旱涝发生的环流条件和发生的历史、年代际，年际变化以及降水的季节内变化规律；研究了长江、黄河流域不同时间尺度旱涝空间分布的类型和变化特征，以及形成此两流域旱涝大尺度环流的持续性异常型；对此两流域旱涝成因进行各种诊断和分析，对于这两流域的旱涝形成原因提出有物理依据的看法，指出赤道太平洋的 ENSO 循环，热带西太平洋，特别是西太平洋暖池的热力状态与暖池上空的对流活动是影响这两流域旱涝主要原因之一。这些下垫面热力异常显然都可以用来作为预测旱涝灾害发生的前期信号。

(1) 埃尔尼诺和南方涛动 (ENSO) 循环

下垫面热力异常是引起大气环流异常的重要原因，也是旱涝发生的重要原因。经过许多地方多年的预报效果的调查，世界气象组织 (WMO) 确认了 ENSO 循环及其引起的遥相关在温带地区短期气候预测中具有重要地位，它是可以作为温带地区短期气候变化的强信号；并且确认了与 ENSO 循环有关的热

带地区低频振荡对热带地区降水预报具有重要作用。我国地处温带、副热带地区，ENSO 循环对我国东部的旱涝有着重要影响。然而，我们从观测资料分析结果发现，ENSO 循环的不同阶段对我国旱涝分布有着不同影响。

a. 在 ENSO 事件的发展阶段：如图 3a 所示，我国江淮流域的夏季降水异常与赤道东太平洋的海温异常有一个较大的正相关；而黄河流域、华北地区以及江南、华南地区的降水异常与赤道太平洋海温异常有一个较大的负相关区。也就是说，当 ENSO 事件处于发展阶段，在汛期之前，赤道东太平洋海温处于上升阶段，该年夏季我国江淮流域降水将会偏多，可能发生洪涝；而黄河流域、华北地区的降水往往偏少，可能发生干旱。

此外，从大量观测资料的分析统计表明，在 ENSO 事件的发展阶段，我国东北夏季往往发生低温。

b. 在 ENSO 事件的衰减阶段：如图 3b 所示，当 ENSO 事件处于恢复位相，即 ENSO 事件处于衰减阶段，我国发生旱涝的区域与在 ENSO 事件处于发展阶段的旱涝分布有明显的不同。江淮流域的降水异常与前期赤道东太平洋的海温异常有一较大的负相关区；而黄河流域的河套地区以及江南、华南地区的降水异常与赤道东太平洋海温异常有一个较大的正相关区。这就是说，当 ENSO 事件处于衰减阶段，我国夏季江淮流域的降水将会偏少而发生干旱；而黄河流域、华北地区及江南、华南地区的降水可能偏多。

上面所述的我国夏季降水与赤道东太平洋海温异常的关系经过多年在预报实践中的应用，证明了在 ENSO 循环的不同阶段，赤道东太平洋海温异常对我国旱涝有着不同影响。因此，ENSO 循环，特别是 ENSO 事件的发生与衰减可以作为我国夏季旱涝分布预测的强信号之一。

（2）西太平洋暖池次表层海温异常

西太平洋暖池是全球海洋温度最高的海域，全球大约 90% 暖海水集中在这里，它的热容量变化将对全球，特别是东亚的气候异常产生重大影响。但是，西太平洋暖池表面海温变化幅度较小，约在 1.0 之内，并且，表面海温的距平（SSTA）与东亚降水的相关也不好，故西太平洋暖池的 SSTA 并不能作为预测我国夏季旱涝分布的信号。然而，西太平洋暖池次表层的海温年际变化很大，在 150m 深的暖池次表层海温年际变化最大。通过分析我国夏季降水距平与西太平洋暖池沿 137° E 次表层海水热容量距平的相关，可以看到，我国长江流域和淮河流域夏季降水与前期暖池热状态有很好的反相关。这就是说，当西太平洋暖池次表层的海水热容量高时，淮河流域和长江中、下游地区夏季降水可能偏少，易发生干旱，而华南地区降水偏多，黄河流域与华北地区降水正常或偏多；相反，当西太平洋暖池次表层的海水热容量偏低时，江淮流域的降水偏多，往往发生洪涝，而黄河流域、华北地区降水偏少，往往发生干旱。

（3）菲律宾周围对流活动状况

与暖池热状况密切相关，在热带西太平洋，由于这里是 Walker 环流的上升支，低层气流的辐合使得大量的暖池洋面上蒸发的水汽在这里凝结，形成超大型云团，这些对流活动释放出大量潜热，使之形成大气中强大热源。它可以强迫出低频波，这些低频波可以从热带向副热带、中纬度地区传播，影响西太平洋副热带高压，从而影响东亚夏季风降水的强弱。统计表明，热带

太平洋地区的 OLR 变化最大方差位于菲律宾东部周围地区，这说明菲律宾周围对流活动的年际变化很大，它可以表征热带西太平洋海-气相互作用的情况。因此，菲律宾周围的对流活动状况可以反映热带西太平洋的海-气相互作用状况。

从图 4 (a) 和 (b) 可以看到，当西太平洋暖池的海温高时，从菲律宾周围经南海到中印半岛的对流活动强，则长江中、下游地区和淮河流域的降水偏少，往往发生干旱；相反，当西太平洋暖池的海温偏低时，从菲律宾周围经南海到中印半岛的对流活动弱，则长江中、下游地区和淮河流域的降水偏多，往往发生洪涝。因此，汛期前暖池的热状态与菲律宾周围对流活动的强弱可以作为夏季东亚旱涝预测信号之一。

上述暖池热状态及其上空对流活动对东亚夏季季风降水的年际变化与季节内变化的影响是与东亚/太平洋型遥相关有关见图 5。我们从观测事实、理论与数值模拟在国际上提出夏季从东南亚经东亚到北美西部的大气环流异常存在着一个遥相关型，即东亚/太平洋型（或东亚/北美型）遥相关（Teleconnection），指出这个遥相关型严重地影响着东亚地区夏季季风的异常；指出这个遥相关是由于菲律宾周围上空对流活动形成的强大热源强迫所产生的准定常行星波列传播所造成的。

上述这些可用于旱涝预测的海洋前期热状态，经过多年的预报实践，证明它们可以作为旱涝预测的强信号。

（4）青藏高原上空的热源异常

我们从观测事实和数值模拟研究了青藏高原上空热源异常，特别是冬春季异常雪盖对东亚季风降水的影响，揭示了异常雪盖不仅对当时高原冬春季的冷热源形成有重要作用，而且对夏季热源有长时效的影响；并且分析研究了青藏高原冬春雪盖对亚洲夏季风和东亚梅雨的影响，发现了青藏高原冬春雪盖与我国长江流域的南部汛期降水有明显的正相关关系。

（5）环流型

研究表明，大气环流的异常不仅与外源强迫有关，特别是与下垫面的热力异常有关，而且与基本气流也有关，这就是说，即使同样发生 ENSO 事件，但由于基本气流不同，其引起大气环流异常型也不同，如 1972 年冬季北半球基本气流分布不同于一般 ENSO 年份基本气流的分布，这一年冬季北半球高纬度西风比一般 ENSO 年份的西风强，使得准定常行星波的传播特性改变，从而使热带太平洋海温异常强迫所产生的北半球定常扰动分布并不是 PNA 型，因此，在利用海洋前期强信号作旱涝预报时，必须注意前期环流条件。

从 1951-1991 年的环流统计表明，前冬和春季的环流异常对于夏季风的异常有十分重要的影响，当前冬在我国东北、朝鲜半岛、日本上空 500hPa 高度场是正距平，则夏季我国江淮流域往往发生洪涝；相反，当前冬季在我国东北、朝鲜半岛、日本上空 500hPa 距平是负距平，则夏季我国江淮流域往往发生干旱。而春季环流对夏季江淮流域的旱涝影响正好与冬季相反。当春季 3、4 月份包括我国东北、俄罗斯的滨海地区和堪察加东北亚地区上空 500hPa 是负距平，则夏季我国江淮流域出现涝；相反，当春季 3、4 月份在东北亚上空 500hPa 出现正距平，则夏季江淮流域出现旱。

对于江淮流域的旱与涝，北半球夏季有不同的环流型。这包括极涡的位

置、乌拉尔的高压脊、西太平洋副热带高压与澳大利亚高压的位置与强度，研究表明，当乌拉尔脊发展，它有利于东亚上空冷空气的活动，有利于江淮流域的降水。此外，当澳大利亚高压较强，跨赤道气流就较强，从而大量水汽输送到江淮流域，使江淮流域降水偏多。

四、灾害气候预测研究

灾害气候的预测是一项既重要又很艰巨的研究课题，也是全世界大气科学的热门研究课题。旱涝给世界各地带来严重的灾害，我国东部由于受东亚季风年际变异的影响，经常发生旱涝灾害，特别是在我国长江、黄河流域频繁发生干旱与洪涝灾害。这两流域的干旱与洪涝灾害以及东北夏季低温是我国自然灾害中造成经济损失最严重的气候灾害，每年造成大量的粮食损失，并严重影响工农业生产，因此，开展旱涝等气候灾害预测的研究具有很重要的意义。然而，由于引起旱涝的异常气候的成因是很复杂的，它既受到大气内动力学的作用，又受到大气下垫面热力异常的作用，并且，它既是每天天气过程的统计平均，又有自己的变化规律，因此，旱涝预测目前还是一项十分困难的研究课题，预报的准确率一直不高。虽然目前旱涝预报方法有多种多样，如时间序列、周期分析、韵律分析、聚类分析等等，但大部分方法一般都是根据自回归原则，这种原则最大的弱点就是把大气看成是一个绝热系统，并且把这种具有正常或异常变化的过程看成一种统计平均的现象。最近大量研究表明短期气候变化过程是一种非绝热过程，大气下垫面的热力强迫作用与动力强迫作用对这种过程起了非常重要的作用。

经过半个多世纪的努力，人们可以利用各种数值模式成功地预报 1-10 天的天气，因此，目前许多气象学家试图利用这种预报短期或中期天气变化的数值模式来作气候预报。

利用大气环流模式或海-气-陆耦合模式作旱涝等灾害气候预测可以认为是一种有物理基础的方法，它可以考虑引起旱涝异常气候的各种动力、热力过程，但在预测中还存在着可预报性问题。研究表明，行星尺度扰动的可预报性明显大于天气尺度扰动的可预报性；并且表明，预报时效愈长，下垫面的热状况的影响愈占主导地位，例如海温异常、海冰、陆面雪盖的异常对于预报时效愈起重要作用。Shukla 研究表明之所以能够利用大气环流模式来作短期气候预测是由于下垫面热力异常有一定的持续性。虽然这是指固定下垫面热力异常的大气环流模式而言，目前正在发展的完善海-陆-气耦合的气候模式可以预报下垫面的热力变化，这从理论上可以大大延长预报时效，然而，由于耦合的计算方案等一系列问题引起的误差，在大气环流模式和海洋环流模式耦合过程的计算中不断增大，致使耦合模式的预报时效也受到限制。

我们利用 IAP 两层大气环流数值模式 (IAP-L2AGCM)，并考虑到行星尺度系统的可预报时效较长，对大气初始场和初始海温场进行滤波，即只保留行星波而滤去天气波，并在模式积分过程中每隔 5 天进行一次滤波，利用上述滤波方案对 1991-1995 年夏季我国旱涝的分布进行预报试验，并与没有采用滤波的预报结果相比较。预报试验表明，采用滤波方案能够较好地预报我国东部地区的夏季旱涝分布，特别在东部地区旱涝明显的夏季，采用滤波方案，其旱涝季度的预测准确率有一定提高，东部地区旱涝平均预报准确率达 59%，在旱涝明显的年份 (1991, 1993 和 1994 年)，其平均预报准确率可达 68%，比 IAP 两层大气环流模式在 1980-1989 年 10 年夏季降水预报平均

准确率有一定提高。

正如上面所阐述，目前旱涝预测还有很大困难，利用大气环流模式或海-气耦合模式来作月平均环流预报虽取得很大进展，但旱涝预测的对象是月降水量距平，目前，国际上许多大气环流模式还没有进行大量预测降水距平的试验，实际上在模式中计算降水距平也是比较困难的；并且，有的模式虽然也能预报出降水距平来，但比实况要偏少。物理统计方法，它可以考虑旱涝等灾害气候发生的规律及成因，特别是可以考虑前期的信号，因此，我们在对旱涝规律与成因研究的基础上提出了综合旱涝预报方法及其改进，此方法是由一个 IAP 二层大气环流数值模式加滤波方案，大气环流变化的物理相关分析、环流型、气候要素变化的时间序列与回归分析等的综合。在多年旱涝预测试验实践中，证明它是一种预测旱涝分布较有效的方法。但它一般只能定性地预报旱涝分布，为此，我们认为在利用大气环流模式或海—气耦合模式作旱涝季度或超季度预测还处于研究阶段，利用物理相关与动力数值模式相结合是一种改进旱涝预测的可能途径。

我们所提出的旱涝预测方法不仅可以考虑前期的强信号，如 ENSO 事件，暖池的热状态及其上空的对流活动情况以及前期大气环流的状态，而且还参考了利用大气环流数值模式或海—气耦合模式所预测的结果。经过多年的预报试验，证明这种方法是一种有发展前景、行之有效的旱涝方法。例如，如图 7a 所示，1991 年夏在东亚发生了严重的气候异常，造成了严重的旱涝灾害，在淮河流域、长江中、下游地区降水偏多约 100% 左右，发生了历史上罕见的特大洪涝灾害，而在华南、江南地区以及黄河流域降水偏少约 20% - 50% 左右，发生了旱灾，利用我们所提出的方法比较成功地把这严重旱涝区域预报出来（见图 7b）。这说明物理相关与数值模式相结合的旱涝预测方法对于严重旱涝还是有一定预报效果。

五、讨论

如上所述，发生在我国的灾害气候是很复杂的，要搞清这些灾害气候发生的规律与成因主要是通过大量的全球气候系统各子系统的观测资料分析、诊断研究；利用当今数学、物理学最新成就把气候系统的各圈相互作用及其物理、化学、水文和生物过程用数值模式来描述；并利用巨型计算机来模拟气候系统的年际、年代际变化，以便能够利用这样的数值模式预测这种变化，它主要包括了以下几个方面的研究：

1. 气候系统的性质、变化的时空特征的研究

实际的气候变化是由气候自然变化叠加在人类活动和其它外部作用因子引起的变化所组成。由于气候系统中各构成部分的相互作用，使得气候变化呈现出不同时间尺度的变化特征，并使得在某一阶段上在一定的气候状态的振荡，但在某一短暂时期，由于气候系统的非线性相互作用产生气候状态的不连续的“跳跃”（Climate jump），从而使气候的变化产生突发性的转变，而达到新的气候状态。

在目前，除继续搞清月-季度气候变化规律外，更多要研究年际和年代际时间尺度的气候自然变化规律以及气候变化的阶段性与突变。

2. 气候系统的物理过程的研究

要弄清不同时空气候变化特征的成因，就必须搞清气候系统中各“圈”相互作用的热力、动力过程。如由大气动力、热力驱动的气候系统，它自然变化的时间尺度一般不超过一个月，因此，大气本身几乎不可能提供季和更长时间尺度的气候变化的能量。陆—气耦合的气候系统，它的自然变化的时间尺度可达到季的时间尺度。海—气耦合的气候系统，它的自然变化的时间尺度具有季、年际和年代甚至更长时间尺度，如只考虑固定洋面的海温作用，一般变化时间尺度是季；而考虑到海洋混合层的海温变化，这样海-气耦合变化时间尺度是年际，如 ENSO 循环的时间尺度是 2—7 年；若考虑到深海的作用，这样海—气耦合系统，其自然变化的时间尺度是年代际以上，因此，为了搞清不同时间尺度气候变化的特征，就必须搞清气候系统中的子系统变化的物理特征和物理过程。

3. 气候系统的数值模式和数值模拟研究

由于计算机计算速度和容量的迅速发展，以及卫星遥感技术的发展，并且由于人们对大气、海洋、陆面的动力特性认识的提高，人们已有可能把气候系统中一部分子系统用较详细的数学模型来描述，并把它变成数值模式，从而在某种程度上来描述季度、年际的气候变化以及温室气体增加的气候效应。随着 80 年代以后所实行的世界气候研究计划 (WCRP) (主要是热带海洋与全球大气研究计划 (TOGA)，地圈、生物圈研究计划 (IGBP)，90 年代后半期将要实施的全球能量水分循环研究计划 (GEWEX) 以及正在酝酿的气候变率及其可预报性研究计划 (CLIVAR)，人们有可能构造一个较完善的海-气-陆耦合模式来模拟年际和年代的气候变化以及模拟物理气候系统对外界强迫因子 (温室气体和气溶胶浓度) 的响应；并且有可能对气候系统和生物圈相互作用更深入地了解。因此，有可能把气候系统、生物圈、人类活动因素作为一整体利用数学模型来描述，从而更深入理解控制气候变化的各子系统相互作用及其与生物圈、人类活动相互作用的物理、水文、化学和生物过程。

就以气候变化研究来说，这样的气候模式已是极其复杂的，而人类活动所产生的温室气体和像臭氧等痕量气体在大气中输运及其光化学过程也是相当重要的。因此利用数值模式来研究温室气体、痕量气体在大气中的输运动力学及其光化学过程也是一项重要的研究。

4. 气候变化的预测研究

由于计算机的急速发展和大气环流模式的发达，人们已有可能预测 10 天以下的天气的演变，但是目前还不能利用有效的方法来预报月以上时间尺度气候变化，因此，研究气候变化在什么时间尺度，什么空间尺度是可预报，这是当务之急的研究课题；并且发展动力过程和热力过程协调一致的全球大气-海洋-冰面-陆面-生态系耦合模式，定期或准业务预测季度-几年，空间尺度从区域到全球的气候变化是一项具有重要科学价值的研究，预计下个世纪初月-季度时间尺度的气候变化的预测有可能获得突破，并有可能对于 ENSO 循环所影响的气候年际变化作出较准确的预报。

关于矿产资源的几个问题

程裕淇

地质矿产部

程裕淇 地质学家。1912年10月生，浙江嘉善人。1933年毕业于清华大学。1938年获英国利物浦大学博士学位，1988年获名誉科学博士学位。1955年被选聘为中国科学院院士（学部委员）。1982年当选伦敦地质学会荣誉会员。中国地质科学院研究员。发现川西丹巴递进变质带；找到昆明富磷矿，突破中国沉积磷矿床的发现。长期从事和领导中国铁矿的研究和勘查与早前寒武系的研究。

人口、资源、环境是当今世界面临的三大问题。矿产资源是自然资源的一部分，是大自然赋予人类的宝贵财富，是我国社会主义现代化建设的重要物质基础，是制约一个国家经济、社会发展的重要因素，从而也是体现一个国家国力大小的重要标志之一。当前和近期内，我国社会生产所需的80%左右的原材料和96%左右的能源来自矿产资源，而其需求量还将不断增长。看来，如何正确认识矿产资源的一些基本特征，充分了解我国矿产资源的形势和问题，进一步合理开展矿产勘查以及最大限度地合理开发利用矿产资源，是涉及保证我国在社会主义市场经济条件下，走可持续发展道路在矿产资源方面的一些重要问题。

一、矿产资源的基本认识

矿产是在目前科技和经济条件下，可供人类开发利用的矿物（矿物质）或其结集体——岩石。可以有不同的宏观分类。按其基本属性而言，它可以是无机物质，也可以是有机物质。前者如金、银、铜、铁、磷等等，绝大部分为固体矿产；后者如煤、石油和天然气，其中有相当比例的流体（液体和气体）矿产，当然一部分油、气也可能是无机成因的。也可采用另一原则而划分为金属和非金属两类矿产。再从它所具可资利用的特性而言，我还曾提出（1982年）划分为这样两类：1）利用其物质组分的矿产，这构成现代矿产中的大部分，在整个矿产的产值中占有主要比例，如铁、铜、煤、石油、硫、磷等；除了以自然元素产出的几种矿产以外，一般都需经过冶炼或提取，才能为人类所利用。2）直接利用其物理（物理化学）性质的矿产，如云母、压电石英、石棉、宝石、耐火材料矿物等，建筑石材也应属此类，也包括了现代尖端工业所利用具有特殊性能的矿产，就今所知，绝大部分为非金属矿产，而且还是固体；随着科学技术和工业的发展，预期还将增加不少新的矿产种类（包括原有矿产新用途的发现，和包含新材料在内的新矿种的发现）；

在后面讲到的矿床形成演化和矿床成矿系列研究中，对于下述第一类矿产来讲，既需考虑形成矿床的具体地质条件，更重要的是要探讨有无足够的形成矿床的物质来源；而对于第二类矿产来讲，往往是具体的生成条件比诸物质来源有着更为重要的意义，因而这种分类在矿床形成研究方面具有更为明显的科学意义。

现在对于这类矿产的重视程度，总的来说还是不够的，亟待加强。此外，也可根据矿产的用途来进行分类，并提出不同的方案。

可供人类利用的矿物(矿物质)或岩石，即矿产，需具有一定的规模(即数量的要求)和物质组分(即质量的指标和要求，一般称为“品位”)，才能开采利用。它们占有一定的空间，构成不同形态的矿体。对于一部分矿体来讲，形态清晰，边界明确，可称为有形矿体；有一些矿体的界限，是根据所采样品中有益物质含量(即品位)变化而(在图件上)圈定的，实际上难以辨别其宏观边界，可称为无形矿体。流体矿产的分布范围常有变化，因而没有固定的矿体形态。从矿体中开采出来的矿产品一般称为矿石，但这主要是指固体矿产而言的。

矿产产出于地壳的地表和地下不同深度不同性质的岩石(岩层或岩体中)或尚未固结的松散泥、砂、砾石层中，甚至河、湖、海水中，是在不同地质历史时期、经过不同的地质作用、并在一定的时间内形成的，在地质学上称为矿床。“矿床”不仅是地质学范畴的一个概念性的抽象名词，更重要的是具有实质性的物质内容，即可供开发利用的矿体(矿层)。

对于固体矿产来讲，它的矿体大多由不同数量的一种或多种有用矿物(矿物质)组成，并含有数量不等没有经济价值的其他矿物(矿物质)，因而只是一种特殊的岩石类型。它的特殊性，也就是它同共生岩石的差别，主要决定于在一定科技和经济条件下它可供开采利用的这种特殊属性。因而实际上，它在三度空间可以开采利用的范围，是随着这两方面条件的变更而有变化的；同时，科学技术的发展也可以增加一些矿产可供利用储量。其实它同其他所有普通岩石一样，大多分别主要形成于三大岩类(沉积岩、火成岩、变质岩)的地质环境中，尽管还可能经历了地质历史中不同地质作用的影响而使其形成演化过程极为复杂，但其形成演化和空间分布仍是遵循一定客观规律的，而其规律是可以和可能被认识的。通过有关的地质工作和科学研究，如我和其他同事所提出的矿床的成矿系列的研究，就可不断加深这方面的认识，作为指导矿产勘查的理论依据，而通过勘查的实践和验证，又可深化对有关矿产生成演化规律的认识，用以指导进一步的矿产勘查，这将在本文讨论的第三个问题中有更多的阐述。

同其他自然资源相比，矿产资源(除了少数利用其物理性质的非金属矿物可以人工合成以外)的最大特点是，在人类短暂的历史中，基本上是不能有再生的。它的可能达到的利用程度，虽可通过人们的努力和科学技术的发展而有所提高，但面对社会持续发展对矿产资源需求不断增多的现实，仍难以基本改变其供应量的有限性；同时，在可以预见的将来，可供选用的代用品，还有较大的局限性。可见最大限度地合理开发利用有限的矿产是十分必要的，这将在本文的第四个问题中作进一步的论述。

二、我国矿产资源的基本情况

我国幅员辽阔，已知资源条件较好。新中国成立40多年来，特别是改革开放以来，矿产勘查成就斐然，不仅说明我国是世界上矿产资源比较丰富、矿种比较齐全的少数国家之一，同时也基本上摸清资源现状和潜力，明确了

如降低矿产品中有益物质含量(即其品位)的指标，使原来不能加工利用的贫矿也可开采销售获利，因而增加了矿产的储量。

近期存在的问题。已发现的矿产有 168 种，其中有探明储量的 152 种，已开发利用的 132 种，已发现矿床、矿化点（地）20 多万处，其中探明的油气田 400 处以上，有勘查储量的固体矿产区 1.5 万多个。探明储量的潜在价值居世界第三位，但按人均拥有量约为世界人均水平的 1/3，位居世界第 80 位，不到美国的 1/10，前苏联的 1/7。

根据 45 种主要矿产探明储量同世界比较，具有优势的有 24 种，其中钨、锑、钼、稀土、汞、钒、钛、石棉、菱镁矿等储量居世界前列；储量相对不足的有银、铁、铅、铜、金、硼、镍、铀、油气等；储量短缺的为钾盐、铂、铬、金刚石等。

由于我国人口众多，经济建设规模巨大，因而已探明储量的矿种中，不少还满足不了当前建设的需求，有的缺口很大，而且随着建设的发展，难以满足需求的矿种将不断增多。如果近期内在矿产勘查工作中没有新矿床、新产地的重大发现，预计到 2010 年，在所述 45 种矿产中，约有一半不能满足需要，在这以后，关系到国计民生的大宗矿产的保证程度越来越差，特别如石油、天然气、铜、铁、铬、硫、钾盐等矿产的供给短缺情况很可能愈趋严重。在严重短缺的情况下，有些矿种虽然可以通过国际购买来解决，但我国是人口众多大国，需用量往往相当巨大，如大量进口，不仅将刺激其价格的不断上涨，造成国家沉重的经济负担，还会受到国际政治、经济风云突变的影响。出国进行矿产勘查，争取进口急需资源，当然也是可行的，但具有一定的风险，也同样存在资金和国际风云的问题。看来这些矿产和矿产品的供应，还需主要立足于国内。因而进一步进行合理而有效的勘查，力争继续为经济建设和社会发展提供必要的各种矿产资源。仍是今后我国地质矿产工作的重要任务。

通过 40 多年全国范围的大量地质矿产工作，对我国矿产资源的总体地质特征已有基本的了解。其主要特点为：1) 单一矿种的矿床较少，多数是多种有用组分伴生在同一矿体中（可称为伴生矿床），或两种以上的矿产（矿种）共生在同一地质建造或地质体中（可称为共生矿床）。如包头的白云鄂博铁矿伴生了稀土和一些稀有元素；四川攀枝花铁矿伴生了钒、钛等 10 种以上元素；湖南柿竹园矿产中有钨、锡、钼、铋相互伴生；不少磷矿有稀土伴生等等。又如含煤地层中，还共生有耐火粘土、铝土矿、黄铁矿、建筑材料等；广东大降坪地区有铁和黄铁矿的共生等。2) 我国一些用量大的矿产如铁、铜、锰、磷等，还有富矿少、组分复杂和综合利用存在问题较多等特点。3) 同一矿体或同一地区的矿床往往前后经历多次成矿的地质作用（即成矿作用），使有用矿物富集或增加更多的有益组分，同时也使有用矿物和组分的组成更为复杂，增加了综合利用的难度。

三、合理而有效的矿产勘查

矿产勘查是地质工作的重要组成部分，在本质上属于对自然（矿产资源及其反映的地质特征和现象）进行调查并取得科学技术资料、数据的科学技术工作范畴。通过这项工作可以发现客观存在的矿产，或对已知矿产（矿化点或矿床）作出初步综合评价，乃至进行进一步的综合评价，并提供有经济价值的矿产（矿床）的基本地质矿产资料，作为提出开采利用设计的必要依据。

它一般是在区域性地质（矿产）工作（即不同比例尺的区域地质调查和

地质图的测制)基础上进行的,经历了一定的工作过程。对矿化点和矿床作出初步综合评价及以前的工作是初级阶段,称为矿产普查或矿产资源普查,简称普查(或普查找矿);在普查基础上的进一步的综合评价工作,即完成提供矿产开发设计所需地质矿产资料(包括矿产储量)的过程,是其高级阶段,称为矿床勘探。迄今对矿产勘查的阶段划分,在地质界还没有取得完全一致的意见。如对煤田勘查往往划分为预查、普查、详查、精查4个阶段,又如对油气勘查,泛称油气勘探,又大致分为区域普查、油气详查、预探、详探等4个阶段。即对这两类矿产勘查的普查和勘探阶段,大致再各自划分为两个阶段。1986年公布的我国矿产资源法有关条例中,采用了和上述涵义基本相同的名词。

在一般情况下,矿产勘查是按先普查后勘探的顺序开展的。即以往所谓勘查程序的原则,对单独矿体来讲更是如此。但在一个地区或矿区内,或一个大矿体的不同部位,也可同时进行不同阶段的工作,以便及早开始矿产的开采利用。这可说是矿产勘查灵活性和合理性的一个方面。

在矿产勘查中,一般还要贯彻实施综合勘查和综合评价,采用综合方法,与布置勘查工程先地表后地下、由稀而密、与由浅而深等方针。这就是说,在找矿目标和评价对象方面,除明确主要矿种(矿组)以外,还要根据区域地质特征,尽可能涉及更多的其他矿种,以取得最大限度的找矿和勘查效果;在勘查方法和手段上虽以地质科学技术为主,也有可能综合使用物探、化探、坑探(地面或地下)、钻探等技术方法;对部分出露于地表的矿床,勘查工程的布置先从地表开始;坑探、钻探等工程间距的施工要由稀而密、由浅而深。但在总体上掌握这些原则的前提下,不宜机械执行,而要根据工作地区的地质矿产特征和已经进行的工作程度等具体情况的不同而具体对待,有所灵活地开展工作,也就是说要有辩证的观点和方法,这是体现矿产勘查合理性的另一方面。

此外,在一定地区内进行矿产勘查的合理性,也体现在工作过程中一定要野外和室内相结合与点、面相结合。这是因为矿产勘查同其他地质工作一样,都要重视野外实地工作,但也须不失时机地对野外取得的资料和标本、样品进行必要的室内鉴定、测试、研究,并对所有室内、野外资料开展综合研究,从而加深对矿床形成、演化、分布规律和矿床与矿石各方面特征的认识,以便以此为依据,有可能更合理地布置下一阶段的勘查工作。而在一定地区内常存在着一定数量的矿化点或矿床,必须在充分了解全区地质成矿特征的基础上,才能更好地深入了解这些“点”的地质和成矿特征,进行合理勘查,同时,积累了一些点的详细工作所取得的新资料、新认识,方可加深对全区总体地质成矿条件的认识,进行区域成矿规律和矿床成矿系列的研究,从而有可能发现新的矿床。

鉴于我国多数矿产组分复杂,一般在普查开始时就要认真研究和掌握其化学和矿物(矿物质)组成的特征,取得较为系统的科技资料,随着普查工作的进展,需及时进行加工利用(如选矿性能、矿石物理性质)等试验,取得相应的数据。进入勘探阶段后,还要及早开展预计开采区包括水文、工程地质条件在内的开采条件的研究和论证;所提出的以地质矿床特征为重要内容的勘探报告,还应涉及开采技术经济条件方面一定评述。这是体现矿产勘查工作合理性的又一方面。

进行合理的矿产勘查,应该也必然是有效的,可以多快好省地完成其两

个阶段的任务，并有可能在工作地区或附近发现新的矿床，扩大矿产储量。在开发矿产过程中，有关企业还要从事必要的矿产勘查，既为矿业生产服务，也有可能扩大矿区深部的储量，乃至发现新矿床。

总的来讲，开展对自然资源矿产的勘查，也可说是人类为了征服自然在科学技术工作范畴所进行的伟大战争，其过程是从认识自然（地质和矿床）入手，通过在区域地质调查基础上的矿产普查（战役）、矿床勘探（战斗）而服务于利用自然（矿产开发），还可为改造自然、保护自然作出贡献。正因为是一场“战争”，必须随时了解“敌情”（通过勘查所获得地质及矿床特征等方面的信息），分析研究“敌情”，以便研究下一步工作的部署，并对原有工作计划作必要的补充和修改，争取能更多快好省地完成勘查的任务（达到消灭敌人）的目的。为此，坚持辩证唯物（矿床实体）的观点和方法从事矿产勘查，必然是合理而有效的。也可说，应用辩证唯物的观点和方法开展矿产勘查，是使其能合理有效的基本保证。

以往在计划经济体制下，我国的矿产勘查工作，全部由国家投资，虽分别由不同的部门分别组织实施，但既有全国的长期和较长期规划，也有国家的年度计划。在由计划经济逐步转变为社会主义市场经济以后，矿产勘查中的勘探工作势必绝大部分或全部转入市场经济范畴，国家不再直接投资；普查工作的一部分、大部分或绝大部分也将由有关企业投资进行。但作为社会主义市场经济条件下的地质矿产工作，看来除由国家投资规划和开展基础性、公益性工作如区域地质调查、有关的科学研究等工作以外，大面积区域性的综合普查或专门矿种、矿组的普查工作（尤其是重要成矿区带的），以及一部分特定地区或矿种、矿组的甚至特定条件下的矿床勘探，也仍应由国家有关部门全面规划和组织实施，这也将是我国实现两个根本转变以后，在工作部署上继续开展合理的矿产勘查的基本措施的重要方面。

四、矿产资源最大限度的合理开发利用

鉴于上述矿产资源的不可再生性本质，扩大原有矿种储量和发现新的矿产种类与选用代用品的局限性，以及社会发展对矿产品需求不断增加情况，最大限度地合理开发利用矿产资源，应是我国关于矿产资源问题方面的一项基本国策。

实际情况是，我国单一矿种的矿床较少，共生矿床、尤其是伴生矿床、组分复杂的矿床较多，用量大的矿产贫多而富矿少；而新中国成立后长期以来，除国家抓的少数几个大矿山（如金川、白云鄂博、攀枝花等）和少数其他矿区以外，对伴生矿床的综合利用大多重视不够、效益不明显或存在问题较多，甚至根本没有开展这方面的生产工作，不仅浪费了资源，也往往污染了环境；同时，四十多年来的矿山企业，基本上实行的是不同工业部门（多达7个）按矿种（矿组）分别开采管理的体制，对一定地区的共生矿产分别开采或只开采一部分，因而造成资源的难以挽回损失和浪费，有时也增加了开采的成本和产生环境的污染，这种情况世界上是少有的。

其次是矿产回采率和利用率方面的问题。在许多矿山，更有采富弃贫、采厚弃薄、采易弃难和厚矿层（如煤）只部分开采等情况。总的来讲，总的回采率大致在1/3到1/2之间，较许多工业发达国家为低或低得很多。产生这方面问题的原因很多，其中包括了管理方面的，技术方面的和技术措施方面的。在乡镇企业大规模发展地区，并一度在“有水快流”主张的影响下，

大量涌现的民营和地方矿山不仅回采率和利用率更低，同时不同方式的破坏资源的情况十分严重，往往造成了矿产的更大浪费和更为严重的环境恶化。

再次是矿产利用的科技方面的问题。建国以来，在矿产综合利用的研究和实际生产方面虽有重要的成就。却仍有不少疑难问题尚未解决，致使一些由于品位偏低或组分复杂等不同原因而迄今划为储量平衡表的“表外矿石”，还未利用。同时，对一些非金属矿产的物理性能和利用研究与有关的基础研究，较为薄弱或起步较晚，也影响到有些矿产能否及早地合理利用的问题。

此外，以往由于原矿石售价低，对出口矿产的高级产品研究和生产重视不够，对某些矿产品的一些临时性经济措施制定不当，以及对建立新矿山设计的可行性研究不够等等原因，也曾影响到有关矿产的充分和合理利用所达到的程度。

针对上述矿产资源综合开发利用中存在的问题，结合 1996 年 8 月 29 日八届人大常委会第 21 次会议通过的修改后的《中华人民共和国矿产资源法》有关内容（主要是第四章第三十条），现提出如下建议，作为促使我国矿产资源有可能得到最大限度的合理开发利用的重要措施。

1. 主管单位审查、批准新申报的公有、共管矿山许可证时，根据该法第三十条的有关规定，要以是否对具有工业价值的共生和伴生矿产有综合开采、综合利用、防止浪费等的合理方案，作为发放许可证的重要条件之一。发放外商投资和合资开采矿山许可证的条例应参照制订。有关单位审查集体矿山企业和个体采矿的采矿权时，也应根据具体情况，考虑这方面的可能性和现实条件。

对有工业价值的共生和伴生矿产还未（或还未规划）进行综合开采或综合利用的矿山，有关主管部门或其上级单位，要针对不同情况，积极采取有所不同的措施及早促其实现。

2. 有关主管和上级单位，要进一步把降低矿山企业矿产资源的开采和利用中的损失作为重要任务来抓；要把“开采损失率”“采矿贫化率”“选矿回收率”以及矿产品的质量指标等，作为衡量矿山采、选经营优劣的主要标志，加以考核。与此同时，采取加强科学管理和改进技术方法与措施相结合的办法，来提高矿石回采率。

3. 有关的实验研究单位，加强不同矿种（矿组）的不同矿石类型开发利用中选冶难题和油气资源提炼利用中难题的实验研究和工业规模的试验，并有计划、有步骤地开展有关的基础研究，以不断扩大目前还难以有效利用的潜在矿产资源。

4. 有关的实验研究单位狠抓非金属矿产 的利用研究和矿物物理性质的应用基础研究与有关的基础研究，以不断扩大已知非金属矿产的用途，并发现新的矿产资源（新材料）。

5. 对于我国某些优势矿产（见本文第二问题），有关主管和上级部门要积极采取措施，尽量减少原矿和初级产品的出口，扶植建立一定规模生产相应系列高级矿产品的企业，力争大量出口，换取更多外汇，以供购买进口矿产品之用，这也应是充分合理利用我国矿产资源的一种措施。

总的来讲，实现合理而有效的矿产勘查，可以多快好省地对已知矿产作出综合评价，提交可供设计开发的矿产储量和有关资料，并找到地面以下一

定空间内客观存在的矿产和有潜在价值的矿产，供我国经济和社会持续发展对矿产品的需求；做到矿产资源的最大限度的合理开发利用，不仅提高了矿产的使用价值和矿业开发的经济效益，同时还减少了环境污染，产生了巨大的社会效益和环境效益，而通过有关的实验研究，还可发现原有矿产的新用途和新的矿产资源，供我国今后经济和社会发展的需要。这都将为我国经济和社会可持续发展作出相应的贡献。

作者在撰写第二、三问题时，曾参考了朱裕生同志的手稿，在此表示感谢。

出版系统的研究开发和产业化

王选

北京大学

王选 计算机应用技术专家。生于 1937 年 2 月 5 日，江苏无锡人。1958 年毕业于北京大学，现任北京大学教授，计算机研究所所长，文字信息处理技术国家重点实验室主任。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事计算机逻辑设计，体系结构和高级语言编译等方面的研究。

机遇偏爱有准备的头脑

1961 年我从北大数学系计算数学专业毕业已三年，主持过电子管计算机逻辑设计和整机调试工作，也参与过部分电路设计工作，一直在硬件第一线上跌打滚爬，在紧张工作的同时，也阅读国外文献。50 年代国外有名的计算机体系结构使我赞叹不已，当时我反复询问自己，为什么别人想得出这些好的设计，而我却想不出，只能欣赏别人的佳作？慢慢地我悟出了一个道理：因为我不通晓应用程序，也不熟悉系统程序，不知道计算机的使用（即程序）会对计算机硬件的性能和体系结构提出什么新要求，因此缺乏创造的源泉。于是 1961 年作了我一生中最重要的一个决定：深入软件领域（尽管当时“软件” Software 这个名称在英文中尚未出现），作硬件和软件相结合的研究。我阅读的关于编译系统方面的第一本书是苏联叶尔晓夫（后成了苏联科学院院士）写的《编制程序的程序》。后来又仔细阅读了 ALGOL60 的正式报告以及一系列叙述编译系统原理的文章。当时有一种“茅塞顿开”的感觉，原来我以为自己懂得计算机的，此时才发现只有了解软件，才真正懂得计算机。高级语言、汇编语言（和机器语言）以及微程序语言是三个不同级别的语言，贯通这三者，必然会在体系结构上有创新的构思。为了这一目的，1964 年承担了当时正在进行硬件设计的 DJS21 机的 ALGOL60 编译系统，这一系统是与另外三位同志合作完成的，后来在几十个用户中得到了推广。60 年代的那些日子里，我用 90% 的时间从事 ALGOL60 编译系统的研制，另外 10% 的时间探讨适合高级语言的计算机体系。我主张寻找编译和目的程序运行中的瓶颈，依靠灵巧的硬件设计显著地提高效率。下标变量的处理是个瓶颈，子程序调用（尤其是递归调用）又是一个瓶颈。由于我有硬件实践经验，所以很容易想出硬件上的方法来克服这些瓶颈。这时我感到似乎找到了创造的源泉，并相信一旦有了这种源泉，中国人有可能和外国人同时或更早提出某些新的思想，这种信心，以及软硬件两方面的知识和实践是我后来能够承担激光照排系统研制的决定性因素。

一个人的一生中会碰到很多机会，但机遇只偏爱有准备的头脑。多方面的知识和实践经验，对社会需求（包括未来需求）的敏感，对技术发展方向的正确判断，一丝不苟和锲而不舍的精神，都有助于把握机遇，取得成功。1975 年，研制精密照排系统的机遇降临到我们头上，当时打听到，国家有一个七四八工程，即汉字信息处理系统工程，分三个子项目：汉字通信、汉字情报检索和汉字精密照排。对这三个子项目，我独钟情精密照排系统，因为

它的价值和难度吸引了我。我当时病休在家，可以做自己想做的任何事情。这一事例也说明可能的条件下让年轻人自己选题，做自己喜欢做的事情，才能激发创造的欲望。

按照过去养成的习惯，首先要了解清楚国外的研究现状和发展动向，短期内我阅读了大量的资料，从而于 1975 年得出下述结论：数字式存储将占统治地位；光学机械二代照排机，尤其是汉字二代机难度很大，但没有前途；字模管式三代机和飞点扫描式三代机正在走下坡路，很快将被数字存储的 CRT 三代所淘汰。1975 年时，先于北大，国内已有五家在从事汉字照排系统的研制，可惜的是，其中两家选择了二代机的方案，另外三家分别选择了飞点扫描、字模管和全息模拟存储的技术途径。由于我是数学系毕业，所以很容易想到信息压缩，即用轮廓描述和参数描述结合的方法描述字形，并于 1976 年设计出一套把轮廓快速复原成点阵的算法。但当时用常规计算机上的软件来复原点阵，进度是很慢的，因此一个懂得数学和软件的人可能会就此却步。由于我有多年的硬件经验，并懂得微程序，软、硬件两方面的经验使我能够判断哪些操作可由软件来做，哪些操作属于时间要求很严的，必须由专门硬件配合微程序，从而使速度提高几十倍。

1976 年时国外尚无激光照排机的商品，但国内在高精度传真机研制方面已积累了多年经验，激光扫描分辨率高和幅面宽等突出优点强烈地吸引了我，但逐线扫描，不能改变光点直径和扫描时不能停顿的特点又使控制器的设计难度大。“需要”和“矛盾”正好促使新方法的产生，逐线形成点阵、逐段缓冲、四路平行输出等方案就是被逼出来的。这些困难找到了解决办法后，才于 1976 年夏决定跳过二代机、三代机，直接研制第四代激光照排系统。

很幸运的是，80 年代中期，轮廓描述西文字形在国外大为流行，当然已由向量轮廓发展成三次曲线轮廓；1985 年后激光照排机在国外开始流行，并于 80 年代末淘汰了第三代 CRT 照排机，而国外的二代机则早已于 70 年代末就被彻底淘汰了。中国内地没有经历二代和三代，直接跳到了第四代，现在约有 3000 多套激光照排系统，用于编排书刊、杂志和报纸等正式出版物；曾经进口了六七套日本的第三代照排机，大部分已被方正系统淘汰；我们在港、台、马来西亚等地也淘汰了一批日本的第三代照排机。

不满足于获奖，努力为国民经济作出实际贡献

北京大学从事激光照排的科研集体有“求实”的传统。尽管北大负责研制的系统被评为 1985 年中国十大科技成就之一，1986 年又获日内瓦国际发明展览金牌，1987 年获国家科技进步一等奖，但我们始终有很强的“负债”心理，觉得系统推广得很不够，国家投资尚未收回，因而并不觉得有什么贡献，这种负债心理促使我们不断前进。后来尽管在国内推广了，取得了显著经济效益，但又感到海外市场销售还很差。当海外华文报业市场取得很大进展后，又感到我们目前还只能在中文出版领域内称雄，在其它文种领域内还很差，在图像处理方面与国际先进水平相比也有差距。只有不断提出新的目标，永不满足，才能保持市场竞争能力。在当前激烈的国际竞争中，我们始终有危机感，可以说是战战兢兢，丝毫不敢懈怠。

今天北大方正似乎很红火，被人称为“既有名，又有利”，致力于“开创性研究和商品化”的顶天立地模式也得到肯定，但 1978-1984 年这段期间

内，风向并不是这样的。搞理论、写文章很时兴，因为提职主要靠论文，致力于商品化则很不容易被接受。由于我们以“对社会的实际贡献”为目标，所以坚信自己的道路，顶风渡过了这段困难的时期。

不断更新技术并开拓新领域

技术上只有不断更新才能保住市场。出版系统中有一个核心硬件——栅格图像处理器（RIP），北京大学研制这一设备已达 21 年之久。1979 年研制成样机 TC79，1985 年 TC 83 投入生产性使用，1988 年含有专用芯片的 TC 88 开始大量推广，1991 年集成度更高的 TC 91 投放市场，1993 年方正 PostScript RIP 成为商品，1995 年含有两块协处理器加速芯片的 PostScript RIP 问世，加快了彩色图像处理速度。国际上 PostScript RIP 竞争十分激烈，不少外国公司败下阵来，北大方正必须不断前进，才能保持 RIP 的国际一流水平。

在前端排版软件方面也是如此，从批处理发展到交互式，从 DOS 发展到 Windows 和面向对象技术，从文字处理为主发展到图形图像处理，从黑白发展到彩色。开发方面的任何停顿都会丢失未来市场，开发者要经常思考，用什么新招来压倒当前和未来的竞争对手。现在汉字早已不是抵御外国软件商品的屏障，无论是办公套件还是高档的彩色专业排版领域，今后我们的主要竞争者将是国外软件。

利用已有的市场占有率，在此基础上不断开拓新领域，是十分重要的，而且取得成功的机会较高。1991 年我国主要报社已装备了国产照排系统，基本上告别了铅与火，我们及时推出了照排局域网，使照排车间避免了使用软盘传递文件。1992 年初澳门日报用方正彩色出版系统取代电分机编排彩色报纸取得成功，接着国内科技日报也用这一新技术出彩色版，从而掀起了一场彩色热潮。三年多时间内国内 100 多家报社，海外几十家华文报社纷纷购买了彩色出版系统；国内很多报纸已经每周出一两次彩色版，还有一些报纸，如深圳商报、沈阳日报、羊城晚报、厦门日报、姑苏晚报、苏州日报等已经天天出彩版。先进的彩色出版技术不仅巩固了我们已有的市场，并且使原来采用其它系统的报社从黑白升级到彩色时纷纷转向方正系统，扩大了市场占有率。1993 年底我们研制成方正高档彩色出版系统，制作高档彩色印品的质量可与电分机媲美，1995 年又完成了彩色照片调频挂网加速芯片，可以生产高保真度彩色印品，质量超过电分机；这一新技术在日本两个最大的印刷厂尚未投入使用，而在我国新华彩印厂和其它单位则已用于生产。利用这一优势，我们正在大力发展包装装潢的软件系统。国产照排系统本来只占领了我国黑白文字排版市场，而彩色制版领域则完全是外国电分机厂商的天下，现在我们进入了这一新领域，开拓了彩色书刊、画刊、广告业和包装业的新市场，同时巩固了已有的市场份额。

1992 年我们与人民日报社合作，实现了卫星远程传版，使全国主要城市的读者每天早晨能看到人民日报。这一技术很快被全国各地的许多报社采用，新民晚报和扬子晚报由于远传至华东各地，显著增加了发行量。1994 年初起，我们在海外远传 PostScript 格式的彩色版取得成功，中央日报从台北传至美国洛杉矶，在洛杉矶看到的中央日报印刷质量甚至优于台北。随着国内报纸彩版的增加，远传彩色版也将在中国内地逐步推广。

1994 年深圳晚报首先采用方正新闻采编流程管理系统，全部版面都由编

辑组版，不再有电脑操作员，开始了“告别纸与笔”的历程。1995年更加先进的、采用客户机/服务器体系结构的新系统在羊城晚报和光明日报的密切合作下投入使用。编辑部的全部流程都纳入电脑管理，而报社编辑、记者熟悉和使用电脑，将使信息获得充分利用，从而把报业的技术革命推上一个新阶段。

1993年分类广告管理和制作系统首先在澳门日报使用，1995年更为先进的系统在深圳特区报投入使用，各种广告的管理和制作均在电脑和数据库的控制下，大大提高了生产效率和管理水平。预计今后三年内，由采编流程管理系统、广告管理和制作系统、新闻资料检索系统、发行系统、照排系统和远程传版系统组成的新闻综合业务网将在我国和海外华文报社中普及。新闻综合网与Internet电子发送组成的高度一体化的系统，将使未来的电子报纸比现在的方式功能强得多，自动化程度高得多，将开辟一个崭新的应用领域。我国的报业技术从单纯的黑白照排发展出上述许多新领域，并很快占领了新的市场，我们的技术水平大概比日本同行领先两年。正是依靠技术上不断创新和开拓，才使国外厂商及其国内代理很难进入中国和海外华文报业市场。

1996年初北大方正推出了面向出版社编辑使用的多媒体出版制作工具。中国的出版社大多是方正系统的用户，他们将逐渐进入多媒体光盘出版的新领域。我们提供的多媒体制作工具除了要做到好学好用和功能强之外，还要做到：能接受已经流行的方正和华光系统的小样和大样文件，从而使新的光盘出版物可以直接利用过去的纸上出版物的某些内容；在完成CDROM出版物的同时，能方便地产生对应的纸上出版物，以适应没有PC机的读者的需要。这一策略又是利用已有的市场占有率，取得新领域的竞争优势。

从上面例子可以看出，只有创新的技术才有可能成为有竞争力的商品，并进入市场；而在占领市场后又不断用新技术培育和引导新的市场。

扶植优秀的年轻人才

计算机这类新兴学科，技术发展和知识更新太快，年轻人具有明显的优势。所以我们应该重点支持尚未成名的、有才华、有潜力的小人物。北京大学计算机研究所和方正集团近年来采取了一些措施，使优秀的年轻人能够及早挑起重任。除了提供住房和较好的收入外，更重要的是委以重任，使他们有事业主人的感觉，并且创造适当的条件和环境，以便充分发挥他们的创造才能。在为年轻人创造条件的同时，也应对他们提出严格要求，要强调献身精神和爱国心，反对一味追求金钱；要培养年轻人懂得尊重别人、善于团结人，听得进不同意见。现在北大方正技术研究院两位30多岁的副院长已承担起技术领导的责任，研究室主任、副主任也绝大多数小于35岁。正是依靠这支充满朝气的年轻队伍，北大方正开始赢得了海外市场，当然这只是走向世界的第一步，也是很小的一步。对于事业心很强的优秀人才，不能只靠高工资吸引，而应创造条件，使他们取得对我国经济产生明显影响的成就。

我们在21年的艰苦奋斗过程中得到了邓小平、江泽民等领导人的直接关怀，得到了计委、科委、教委、前经委、电子部、新闻出版署等领导部门的大力支持；这一成果也是在协作单位的共同努力下，在用户密切配合下取得的。

发展微电子产业 促进社会信息化

王阳元

北京大学

王阳元 微电子学家。1935 年出生于浙江宁波。1958 年毕业于北京大学。现任北京大学微电子学研究所所长。中国电子学会常务理事，世界无线电联盟半导体委员会中国委员会主席，IEEE 高级会员。1995 年当选为中国科学院院士。主要从事大规模集成电路新工艺、新器件和新结构电路及其应用基础理论研究。

纵观人类社会发展的文明史，一切生产方式的重大变革都是由于新的科学发明和新技术的产生而引发的，科学技术作为革命的力量，推动着社会向前发展。史前的摩擦生火、驯养动物、栽培植物等科学发现和技术革命，使生产工具从石器发展到铁器，导致农业、畜牧业的发展，可以认为是农业社会（Hand）中科学技术对生产力发生影响的最初例子。18 世纪 60 年代到 19 世纪 40 年代，以伽利略自由落体定律、开普勒行星运动三大定律和牛顿在《自然哲学和数学原理》中建立的完整力学体系为科学准备，由纺织机改革引起的动力需求，导致 1774 年美国格拉斯哥大学修理工瓦特发明蒸汽机，从而触发第一次产业革命，产生了近代纺织业和机械制造业，使人类进入利用机器延伸和发展人类体力劳动（power）的时代，所引起的社会生产力的发展为资本主义战胜封建主义创造了条件。19 世纪 70 年代到 20 世纪 20 年代，以奥斯特 1820 年的电磁现象（电动机原理）、法拉第 1831 年电磁感应定律（发电机原理）和麦克斯韦 1864 年电磁波理论为理论准备，1866 年德国科学家西门子用电磁铁制成了实用的发电机并于 1875 年应用于工业，标志着电气化时代的来临，以电气化为代表的第二次技术革命引起的生产力飞速发展，使列宁提出了“共产主义是苏维埃加电气化”的论断。现代物理学的一系列发现（它包括 1895 年德国科学家伦琴的 X 射线的发现，1896 年贝克勒尔的放射性发现，1897 年英国科学家汤姆逊发现电子，1898 年居里和居里夫人镭的发明，1900 年普朗克量子论的建立和 1905 年爱因斯坦的狭义相对论、1915 年的广义相对论的提出）揭示了微观世界物理的基本规律，使海森堡、薛定谔形成了量子力学的体系。30 年代建立的现代物理学成为现代电子信息技术革命的理论基础，也是微电子技术发展的理论基础。

一、微电子技术与社会信息化

1. 微电子技术是推进社会信息化的革命力量

当前，我们正在经历新的技术革命时期，虽然它包含了新材料、新能源、生物工程、海洋工程、航空航天技术和电子信息技术等等，但是影响最大，渗透性最强，最具有新技术革命代表性的乃是以微电子技术为核心的电子信息技术。

自然界和人类社会的一切活动都在产生信息，信息是客观事物状态和运

动特征的一种普通形式，它是为了维持人类的社会、经济活动所需的第三种资源（材料、能源和信息）。社会信息化的基础结构，是使社会的各个部分通过计算机网络系统，连结成为一个整体。在这个信息系统中由通讯卫星和高速大容量光纤通讯将各个信息交换站联结，快速、多路地传输各种信息。在各信息交换站中，有多个信息处理中心，例如图形图像处理中心、文字处理中心等等；有若干信息系统，例如企事业单位信息系统，工厂和办公室自动化系统，军队连队信息系统等等；在处理中心或信息系统中还包含有许多终端，这些终端直接与办公室、车间、连队的班排、家庭和个人相联系。像人的神经系统运行于人体一样，信息网络系统把社会各个部分连结在信息网中，从而使社会信息化。海湾战争中，以美国为首的多国部队的通讯和指挥系统基本上也是这样一个网络结构，它的终端是直接武装到班的膝上（legtop）计算机，今后将发展到个人携带的 PDA（Personal Date Assistant）。

实现社会信息化的关键部件是各种计算机和通讯机，但是它的基础都是微电子。当 1946 年 2 月在美国莫尔学院研制成功第一台名为电子数值积分器和计算机（Electronic Numerical Integrator and Computer）即 ENIAC 问世的时候，是一个庞然大物，由 18000 个电子管组成，占地 150 平方米，重 30 吨，耗电 140KW，足以发动一辆机车，然而不仅运行速度只有每秒 5000 次，存储容量只有千位，而且平均稳定运行时间才 7 分钟。试设想一下，这样的计算机能够进入办公室、企业车间和连队吗？所以当时曾有人认为，全世界只要有 4 台 ENIAC 就够了。可是现在全世界计算机不包括微机在内就有几百万台。造成这个巨大变革的技术基础是微电子技术，只有在 1948 年 Bell 实验室的科学家们发明了晶体管（这可以认为是微电子技术发展史上的第一个里程碑），特别是 1959 年硅平面工艺的发展和集成电路的发明（这可以认为是微电子技术第二个里程碑），才出现了今天这样的以集成电路技术为基础的电子信息技术和产业。而 1971 年微机的问世（这可以认为是微电子技术第三个里程碑），使全世界微机现在的拥有率达到 3.7%，在美国每年由计算机完成的工作量超过 4000 亿人年的手工工作量。美国欧特泰克公司总裁认为：微处理器、宽频道连接和智能软件将是下世纪改变人类社会和经济的三大技术创新。

当前，微电子技术发展已进入“System on Chip”的时代，不仅可以将一个电子子系统或整个电子系统“集成”在一个硅芯片上，完成信息加工与处理的功能，而且随着微电子技术的成熟与延拓，可以将各种物理的、化学的传感器（执行信息获取的功能）和执行器与信息处理系统“集成”在一起，从而完成信息获取、处理与执行的系统功能，一般称这种系统为微机电系统（MEMS：Micro Electronics Machinery System），可以认为这是微电子技术又一次革命性变革。集成化芯片不仅具有“系统”功能，并且可以以低成本、高效率的大批量生产，可靠性好，耗能少，从而使电子技术广泛地应用于国民经济、国防建设乃至家庭生活的各个方面。在日本每个家庭平均约有 100 个芯片，它已如同细胞组成人体一样，成为现代工农业、国防装备和家庭耐用消费品的细胞。集成电路产业产值以年增长率 13%，在技术上，集成度年增长率 46% 的速率持续发展，世界上还没有一个产业能以这样高的速度持续地增长。1990 年日本以微电子为基础的电子工业产值已超过号称为第一产业的汽车工业而成为第一大产业。2000 年电子信息产业，将成为世界

第一产业。集成电路的原料主要是硅，是地球上除氧以外含量最丰富的元素，这样一块黑褐色小片，肉眼看上去，没有任何令人注意的地方，却在改变着社会生产方式和人们的生活方式，也在改变着战争的模式，不仅成为当今科学技术的真正基础，而且正在创造着代表信息时代的硅文化（silicon culture）。因此有人认为，1968 年以后人类继石器、铁器时代之后进入到硅石时代（Silicon age）。

2. 微电子产业是推进国民经济发展的战略性产业

历史的发展总是不平衡的，没有一个国家或民族可以永远居于首列。在新的技术革命孕育的时期，既是一个挑战，又是一个历史的机遇。某些国家，如果抓住了机遇，充分利用科学技术这一“第一生产力”，采取正确的战略，就有可能后来居上。这样的事例很多。如果说英国曾是第一次产业革命的发源地，那么 19 世纪下半叶的德国，虽然工业化比英国晚一个半世纪，但抓住钢铁工业和重化学工业，异军突起，进入世界发达国家的前列。美国则可以认为是抓住了电子工业的发展，从而在 20 世纪保持了领先地位。二次大战后的日本，目前的韩国、新加坡，包括我国的台湾省、香港地区都在电子信息产业的发展中抓住了机遇而赢得了或正在赢得经济发展的优势。而西欧则在总结 20 世纪中叶没能及时抓紧电子信息技术发展，特别是微电子的发展，从而影响了整个经济和科学技术发展的教训，正在加强对电子信息特别是微电子技术发展的投入，力争重操主动权。

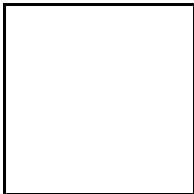
微电子产业对国民经济的战略作用首先表现在当代食物链关系上，现代经济发展数据表明，电子工业每增长 10 元产值，国民经济每增长 100-300 元生产总值，需要大约 1 元集成电路产品的支撑。又据有关资料测算，集成电路对国民经济的贡献率远远高于其他门类产品，如以单位质量钢筋对 GNP 的贡献率为 1，则小轿车为 5，彩电为 30，计算机为 1000，而集成电路的贡献率高达 2000。所以日本人认为：“控制了超大规模集成电路（VLSI）技术，就控制了世界产业。”英国人则认为：“如果这个国家不掌握半导体技术，他就会立刻加入不发达国家行列。”美国、日本、韩国的经济增长都有这样一条规律，即集成电路工业产值的增长率高于电子工业产值的增长率，而电子工业产值的增长率又高于 GNP 的增长率。可以说这是当前信息时代发展经济的一条重要经验。相比之下，我国情况却不是如此，集成电路产业发展的滞后，不能不制约我国国民经济的发展，使我国经济仍处于粗放型的阶段。

以微电子为基础的信息化产业发展，必将引起社会结构的变化。据报道，1982 年美国就业人口中第一产业（农业）仅占 3%，第二产业（工业）占 33%，而以信息业为主的第三产业却占 66%，预计到 2000 年第三产业将上升到 75%，按类同的统计方法，我国现在仅为 10% 左右。

21 世纪是信息化的世纪。现代经济是信息经济，目前发达国家信息产业产值已占国民经济总产值的 40%-60%，国民经济总产值增长部分的 65% 与微电子有关。微电子产业的发展规模和科学技术水平已成为衡量一个国家综合实力的重要标志。有人提出以半导体产值占工农业总产值的 0.5% 作为进入信息化社会的判据。因此以集成电路产业为主要内容的微电子产业已成为促进国民经济持续发展和保证国家安全的战略性的基础产业。

我国是一个经济大国，又是经济穷国。大国，是指传统产业物质总产量居于世界前列。谷物、棉布、水泥和煤居世界第一位，化纤、电力和化肥第二位，钢也已跃居第二位，石油第五位。穷国，一是指我们的人均国民生

产总值只及世界平均值的 1/10，只及发达国家的 1/50；二是指我们的单位产值能耗过高，如以生产 1 美元产值所需能耗折成标准煤(kg)计，我国为 2.31，美国为 0.8，日本为 0.37。因此，我们的物质生产所得，是以高于发达国家 5-6 倍的资金投入，10 多倍的劳动力付出和 4-5 倍的单位产值能耗为代价的。可以说，我国国民经济尚在低技术的轨道上运行。就电力而言，我国现在的发电能力与用电容量之比为 1 : 2.9，电力缺口为 800 亿度。因为缺电，造成了 1/3 的生产能力不能充分发挥。到 2000 年，如果仍仅靠从数量上发展传统产业，靠外延传统产业的规模来实现我国国民经济翻两番的战略目标，则能源总缺口将在 30% 以上。在能源消费构成中，发达国家与我国的比例列于下表。



由上表可见，工业过多的能耗抑制了农业、运输、商业和民用的能源消费，成为商品经济和活跃市场的极大障碍。沉重的能耗严重地影响了国民经济的腾飞，不改造占 80% 能耗的传统产业（其中煤炭 25%，电力 20%，石油 20%，机械 7%，化工 5%，冶金 3%）就没有能力再顾及国民经济中其他产业的发展。

以微电子技术改造传统产业是解决上述问题的有效途径。为了说明这个问题我们可以举一些例子：

能源：火电厂的锅炉给水泵、送风机、引风机占了电厂全部能耗的 72.43%，而全国各行业的风机、水泵的耗电总和占了全国发电量的 36%，仅对风机、水泵采用变频调速等电子技术进行改造，即可年节电 659 亿度，相当于近 3 个葛洲坝电站的发电量；

冶金：采用电子技术对轧钢传统系统改造后，平均轧制每吨钢材可节电 40 度，如按全国轧钢能力 5000 万吨计，一年可节电 20 亿度；

交通：“八五”期间，预计年平均增加内燃机车 1800 台和电力机车 1700 台，采用交流传动改造后，电力机车可节电 20%-40%，内燃机车可节油 12%-14%；

民用：一个 18W 的高效节能灯的照明效果与 100W 的白炽灯相当，如果推广应用 6000 万只（约为全国白炽灯总产量的 1/18）所节省的发电能力，相当于新建三座大亚湾核电站。

“七五”和“八五”期间，我国在利用电子技术改造传统产业方面已经开展了部分试点和试验工作，进行了有益的实践。

(1) 建材、冶金、化工、机械等行业中的工业炉窑大多实现计算机控制；水泥行业 70% 以上的机立窑采用计算机控制，玻璃行业 70% 企业用了计算机配料技术。鞍钢采用微电子技术改造窑炉 129 座，平均节能 10%，减小钢材烧损 0.19%，提高成材率 0.12%，年创效益 2860 万元。全国 20% 县以上的水泥企业应用了计算机控制技术后，每年节电 54 万度，节煤 75.6 万吨，提高产量 540 万吨。现在全国有机立窑水泥生产线 3000 条，70% 改造后，每年可新增水泥产量 1000 万吨，新增值 15 亿元，节能 550 万吨标准煤。

(2) 利用电子技术改造化肥生产线，仅应用自动调节氢氮比一项技术即

增产化肥 13.2%，节能 13.8%；

(3) 有色金属行业 80% 铝电解槽实行电子信息控制，每年可节电 1.2 亿度；

(4) 全国 50% 以上中等城市自来水公司不同程度地在管网自动监测和生产调度中使用计算机控制技术后，供水管网自来水流失率降低 50%，按 1993 年统计，每年可减少 16 亿吨自来水损失，相当少建 44 个水厂的水量，节约投资 35 亿元。

微电子技术不仅在节能、节材方面使传统产业的面貌有所改观，而且还有可能利用电子技术使得传统产业的产品在结构方面产生质的飞跃。例如当采用微机统一控制的一轴一电机装置替代传统的涡轮、蜗杆、齿轮传动时，汽车将不再是单纯的机械产品，汽车的电子化将导致汽车工业的革命。彼时，在旧传统产业的基础上，将竖立起新传统产业的大旗。

上述分析表明，要想摆脱落后困境，就必须依靠科技进步。广泛采用以微电子为基础的信息技术，提高产品附加值，提高劳动生产率，走集约化的道路，这是实现我国四个现代化的必由之路。

二、关于发展我国微电子产业的 若干战略和策略问题的讨论

1. 我国和世界集成电路发展现状、预测和市场分析

根据预测世界 GNP 将从 1995 年的 17 万亿美元到 2000 年达到 20 万亿美元，平均增长率为 3.3%；世界电子市场 1995 年为 7528 亿美元，到 2000 年将增长到 13000 亿美元，平均增长率为 11.6%；而世界集成电路销售额据 WSTS 调查及预测将从 1995 年的 1276 亿美元到 2000 年为 3000 亿美元，平均增长率为 18.6%。（这意味着每年将约增加 25 条 IC 生产线，而其中 50% 以上将建设在亚洲和环太平洋地区）。从上述数据可以看到集成电路销售额的增长率为电子工业的 2 倍左右，而电子工业销售额的增长率又是 GNP 增长率的 3 倍左右。我国据“九五”计划和 2010 年纲要报道，GNP 从 1995 年的 57600 亿元到 2000 年增长到 85000 亿元，平均增长率为 8%；电子工业产值则从 2457 亿元增长到 7000 亿元，平均增长率为 23.3%；而集成电路产量从 3.1 亿块增长到 25 亿块，销售额则从近 30 亿元增长到约 250 亿元，二者的平均增长率均为 52%，虽然增长率已符合 2 倍和 3 倍的规律，然而我国集成电路产业总体还十分弱小，对国民经济的支撑力度远远跟不上需要。这一方面表现在我国电子工业总产值在全国工业总产值的比例在 5% 以下，1990 年到 1995 年所占比例分别为 4.9%，3.1%，2.2%，3.5% 和 4.4%；1995 年电子工业增加值在 GNP 中的比例只有 0.73%，而美、日、德等国在 1990 年已分别达到 4.17%、5.4% 和 13.32%。另一方面我国集成电路销售额只占世界集成电路市场总额的 0.3%，与我社会主义大国地位十分不相称。我国集成电路产业和科学技术水平大致还停留在 80 年代初中期中后期的水平。

我国集成电路发展历史，从 1965 年研究成功硅数字集成电路算起已经历了 30 年曲折而艰难的发展历程，经过“七五”和“八五”的产业结构调整，已具备了一定的基础，出现了良好的转机。形成了以华晶、华越、贝岭等为代表的 5 个芯片生产的主干企业，10 几个专业配套厂和以北京集成电路设计中心为代表的 20 几个设计公司。5 个主干企业的销售额已占全行业的 80% 以上。全行业利税率超过 15%。1.2 微米技术已进入工业生产，0.8 微米技术

生产线即将投入运行。最近决定兴建的 0.5 微米 8 英寸生产项目也已启动。但是微电子产业的发展远远落后于我国国民经济和国防建设的需要，制约着我国社会信息化的进程。据有关部门不完全统计，1995 年我国需求集成电路 40-50 亿支，2000 年将翻一番，需求的营业额将超过 100 亿美元，成为亚洲最主要的市场之一。但 1995 年我国集成电路生产量只占市场需求量的 10% 左右，按现有发展速度预测，到 2000 年也只占我国市场需求量的 20%-25% 左右。集成电路的品种全球约为 4 万多种，我国需求约 1 万种，但自行开发的也只占国内需求量的 20%，而且多数属于低档产品。一些有关国民经济的关键产品，例如计算机的核心电路和高档的彩色电视机电路都还不能自行生产和设计。虽然我们号称是电视机生产第一大国，但核心集成电路如不能自行设计和生产，特别是不能自行设计，那么第一生产大国的地位是不巩固的。更不用说国防上将会受制于人。因此加速发展我国微电子产业是刻不容缓的战略任务。

有资料介绍 1993-2000 年世界集成电路市场按线宽划分的情况，其中 $0.25 < 0.35 \mu\text{m}$ 的主要产品类别是 DRAM 和 CPU， $0.35-0.5 \mu\text{m}$ 、 $> 0.5 < 0.75 \mu\text{m}$ 和 $> 0.75 < 1.0 \mu\text{m}$ 主要产品的类别则有 $\mu\text{PC}+\text{E}2\text{PROM}$ 电路，Flash memory，IC 卡电路，数据压缩解压缩电路和各种 ASIC 电路， $> 1.0 < 1.5 \mu\text{m}$ 主要产品类别是各种彩色电视机电路，部分电话机电路，和各种双极、BICMOS 模拟与模数混合电路等。当然这样说不是绝对的，各种类别电路都有不同技术档次（相应有不同的特征线宽）产品同时存在。当前，我们主要开发与生产的产品，主要应为上述 $0.35-0.5 \mu\text{m}$ 、 $> 0.5 < 0.75 \mu\text{m}$ 、 $> 0.75 < 1.0 \mu\text{m}$ 和 $> 1.0 < 1.5 \mu\text{m}$ 等技术的档次。

市场是重要的资源，是需要通过国家意志加以保护的，世界上不论是发达国家还是发展中国家都一样，美、日半导体之战，就是市场份额之争，就是倾销反倾销的斗争。例如各种 IC 卡电路，如能有适当政策保护，基于我国有 12 亿人口，这将是一个巨大的市场，将有利于我国微电子产业的发展。

2. 集成电路的产业结构和加强与系统整机的结合，建设微电子设计业

微电子产业从根本上讲是技术导向型产业，微电子产业的发展是市场牵引和技术推动的结果。不同的产业发展阶段，产业结构可以有不同的形式。由于设计技术和硅平面工艺技术的日益成熟，90 年代微电子的产业结构特点是设计、芯片制造和封装三业并举，相对独立。与市场和应用相结合，相对分散设计；以标准工艺为基础，相对集中加工形成 Foundary（标准工艺加工线）。

集成电路本身不是最终产品，它的活力和效益是在广泛的应用中得到体现的。据统计，集成电路在整机设备产值中所占比例已由 1980 年的 3.9% 上升到 1990 年的 13.2% 集成电路在某些军事装备中的价值比例已超过 70%。进入 90 年代以来，特别是面向 21 世纪，将是“System on Chip”的时代，在 10^2mm^2 大小量级的芯片上将集成一个系统或子系统，其集成度将达到 10^9-10^{10} 元件/Chip。其相应的产业加工特征尺寸将是 $0.35-0.5 \mu\text{m}$ ，21 世纪将面对 $0.15 \sim 0.18$ 微米特征尺寸的生产问题。这向微电子设计业提出了新的科学技术问题和产业建设问题。

70—80 年代之交是第一代 ICCAD 技术，以版图输入、图形编辑和设计检查为特点，80 年代中期，出现了以网表输入、仿真验证、自动布局布线、单

元电路库为特点是第二代 ICAD 技术,90 年代以来,进入第三代 ICAD 技术,实现自顶向下(top - to - down)的设计模式,以高层行为描述、行为仿真和综合优化为特点。目前正在大力发展系统行为描述的设计工具。这使一个系统工程师不必深入了解器件物理和加工工艺的详细过程,就能胜任集成电路设计工程师的工作。当然进入到这一阶段以后,集成电路设计还有一系列新课题,例如深亚微米器件模型与模拟,超大规模集成电路的互连设计以及功耗设计等问题。

集成电路产品是设计工作的目标,是成果的体现,也是与市场的接口。集成电路设计技术和加工技术的进步最终将体现在性能/价格比更加优越的集成电路产品上。“System on Chip”不仅增加了设计的难度,而且要求系统设计者与电路设计者更加紧密的结合。这一科学规律体现在产业建设上就要求我们在建设微电子设计业时必须强调与整机、系统企业密切的结合,并在建设设计公司时要尽可能地靠近客户。然后将设计结果用卫星或数据交换网传送到相对集中的掩膜版制造中心或 Foundary。

随着社会信息化程度的推进,集成电路的应用领域将越来越广泛,而且应用的程度将越来越深入,这一方面将越来越多的信息处理功能集成于芯片上,而在另一方面将发展使信息采集、传输和随动作用功能也“系统地”集成于芯片上。这是发展的必然趋势。必将推动集成电路科学技术特别是设计技术和设计业的发展。这是整整一个历史阶段,不是一朝一夕的事。这个历史阶段多长还不好预测,但可以肯定地说“21 世纪”整个世纪将是蓬勃发展的时期。

我国发展微电子设计业的任务更为迫切,这不仅是因为我国开发的电路品种只有需求量的 20%,而且还由于我国信息化的程度还很低,制约了集成电路品种的开发。反过来,加强集成电路品种的开发也就是加强市场的开拓和孕育。对于我国的集成电路市场,必须注意到已被世界许多大公司以整机的形式瓜分了的事实,要想占领与开拓市场,必须强调创新的精神,只有强调创新才能有性能/价格比更好的产品,才能开辟自己的市场。

3. 集中有限资金与力量,逐步建设规模经济的集成电路芯片制造业和封装业

集成电路迅速发展的经济与技术原因就是因为它能被高效率、大批量、低成本、高可靠地生产出来。因此芯片制造业建设的一个基本要求就是必须达到规模经济,只有这样它才有效益。目前 0.5 微米特征尺寸、8 英寸硅片的芯片制造厂,其规模经济要求它的月投片量为 20000 片。这要求资金投入的阈值接近 10 亿美元。有人预计 0.18 微米特征尺寸 12 英寸硅片芯片加工厂的投入要有数量级的增加,这必然要求集中建设。对于我国资金较为有限的情况,只能量力而行,先建设 1—2 条,随着市场的发展和盈利逐步增加。

要发挥规模经济的生产线作用,必须共同利用它的资源,因此除生产像 DRAM 等类的通用产品的生产线以外,建设可多方面吸收加工客户的 Foundary 不失为一个好的决策。但建设 Foundary 也有它的自身发展规律,其基本特点是两个方面:第一,它的工艺必须有多种标准化的工艺,一般应包括 CMOS, Flash Memory 或 E2 PROM, BICMOS 或 Bipolar 等工艺,可以提供基于标准工艺的单元库,与加工的接口可以用 PCM 图形来检测等等。第二,与客户的接口必须是多进多出的。所谓“多进”就是可以从客户那儿接收不同层次的设计:行为级、逻辑级、物理级等,有相应的设计队伍和固定协作的相对独立

的制版中心；所谓“多出”就是可以以晶片或芯片形式出售，也可以以封装好的成品出售，这就要求有技术上相适应的协作配套的封装厂。否则“吃不进”、“吐不出”，也就无法发挥 Foundary 的功能。

由于为提供更有竞争力的高性能/价格比的产品的需求和技术的进步，使特征加工尺寸越来越缩小，晶片面积越来越大，现在主流产品的加工特征尺寸为 0.5—0.35 微米，21 世纪初将面临 0.15—0.18 微米、12 英寸硅片的大生产问题，这表明加工尺寸越来越接近物理极限。加工特征尺寸往往作为生产水平和科学技术水平的最主要标志而被人们提出来，但正是由于这一点，也往往导致人们一个误解，认为既然是接近了物理极限，所以发展也就到了尽头。当然任何事物都有发生、发展和消亡的阶段，但现在说硅技术已是“夕阳”却为时太早。相反有部分科学家认为从 1968 年就已进入了“硅石时代”，它将像石器时代、铁器时代一样，持久逾千年。对此说法，我们当然也还需要研究。但有两点是肯定的。一是微处理器的发现使硅技术进入一个新的阶段，以它为基础，智能化的芯片发展仅仅只是开始，还方兴未艾，有着旺盛的生命力；二是虽然主流 CMOS 加工技术已进入深亚微米阶段，但是成熟的微米级平面加工技术正在日益开拓新的发展领域，例如最近发展起来的微机电系统（MEMS）就是一个例子，将平面工艺引入机电加工领域并与光学加工技术相结合，将导致新的一场革命。从这两点看硅技术仍处于“朝阳”阶段。

在设计、芯片制造、封装三业之中，相对来说封装业起步可以较快。三业中资金投入比往往有 1:100:10 的关系，也较易积累资金。这也是为什么许多发展中国家和地区先发展封装业，积累资金，逐步发展芯片制造业和设计业的原因。

但封装业也必须采用规模经济，而且技术品种必须全面、先进，例如无引线陶瓷芯片载体（LCCC）、塑封芯片载体（PLCC）、小外形封装（SOT、SOIC）、插针阵列（PGA）、焊角阵列（LGA）、四边引线扁平封装（OFP）等，同时要具有表面安装技术（SMT）、多芯片组件（MCM）技术等，才能取得好的效益。而我国的芯片制造业目前还不发达，因此，建设封装业必须面向国际和国内市场。

4. 科研与生产关系——关键在于“机制”问题

人才培养和科学研究是民族产业的“根”。高技术产业的竞争是科学技术的竞争，而归根到底是人才的竞争。一个产业要有后劲，必须有科学研究和高质量人才培养的支持。一个民族产业要能立足于世界之林也必须有这个“根”。所以，我们在规划发展我国微电子产业的时候，必须规划人才培养和科学研究。反之，如果没有强大的民族工业的支持和对人才与科研成果的需求，那么，不管是燕园（北大）、还是清华园的微电子专业都只能是出国预备部。

引进是为了提高我们工作的起点，如果只有引进，没有自己的科学研究工作和人才培养，没有相应的消化、吸收、创新，那么只能走“代代引进”的道路，永远受制于人。

微电子的科学研究要针对实际需要，开展系统研究工作，才能创新，“创新是民族之魂”。要解决好科学研究与产业关系，在“科学技术面向经济建设，经济建设依靠科学技术”的方针下，与产业建设一样，关键在于解决好机制问题。主要内容有两条，一是要有真正的风险投资体制，支持科研成果

转化为生产力；二是要解决好股份制问题，要使科技人员有技术股份，使技术、管理和从事市场开发的人员都有“incentive”。当然两个问题的解决都会受到市场机制的成熟程度的制约。但是如果不解决这方面机制，不仅企业不能搞活，而且科研成果向生产力的转化不能形成“流”，科研与生产的两张皮问题最终难以解决。

当前正在启动的 909 工程和正在筹建的北方微电子开发研究基地，就应当以股份制方法来筹建。909 工程和其他微电子产业要以股份方式投入北方微电子开发研究基地，并通过组成的董事会对北方微电子的研究与开发课题进行“导向”，要以主要精力开展 $0.5\mu\text{m}$ 和 $0.35\mu\text{m}$ 工业化技术的研究，直接为 909 工程和其他企业服务，开发相应的适应市场需求的产品，使北方基地的研究工作成为我国工业生产的技术来源之一。但科学研究是需要储备的，因此，必须有一部分力量开展深亚微米 ($< 0.35\mu\text{m}$) 技术、新工艺、新器件和新结构电路与新材料的研究工作，为下一代的工业生产作准备。同时培养高质量的人才。

有了好的机制，资金问题就可以多渠道筹措，就不致于成为我们发展微电子产业的制约因素。要利用我们的市场优势和人才优势，吸引外资为我所用，而不是相反。集成电路产业发展必须遵循市场规律，但也必须体现国家意志。在开放条件仍要制订对微电子等高新产业的优惠政策，并对国内市场有适度的保护，使民族工业能在与外资公司竞争中发展。

近代科技和信息化

邓锡铭

中国科学院上海光学精密机械研究所

邓锡铭 光学、激光专家。生于 1930 年 10 月 29 日，籍贯广东东莞。1952 年毕业于北京大学。历任中国科学院长春光学精密机械研究所研究部副主任、上海光学精密机械研究所副所长，现为该所研究员。高功率激光物理国家实验室主任。1993 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事光学、激光领域的科研工作。

今年是邓小平提出“科技是第一生产力”20 周年，同时又是执行高科技 863 计划 10 周年，在这个时候，大力宣传科教兴国的方针，大力普及科学知识，破除迷信是非常有意义的。

对科学普及的兴趣，因人而异，有人兴趣甚浓，有人认为枯燥无味，不如看一场时装表演。我是从小就对科普入迷的人，“少年爱迪生”、“伟人爱迪生”两部电影对我后来的科研究生涯起了决定性影响。电影“居里夫人”我看过多次，电影里居里夫妇发现镭元素的那一时刻深深感染了我。今天我不打算像电视科技节目那样阐明一项新技术发明的原理及其应用，而是要追踪一项科学成就的背景，并且作历史对比，探讨它对社会发展的近期及远期影响；还要反过来讲社会的需求对一项新科技出现的强大促进作用。我想只有综合成百上千科技发展及其对社会影响的事例，才能自觉理解邓小平提出的“科技是第一生产力”这样一个伟大的诊断。

一、什么是近代科技？近代科技是从什么时候开始的？

如果把几千年的人类文明史和近代科技史作比较，就可看出，近代科学技术的兴起，只占很短的一段历史，按照诺贝尔奖金获得者杨振宁的划分，真正称得上近代科学技术的起点是从 300 多年前牛顿的《数学原理》一书开始的。为什么用一本书的出版来划分呢？为什么不以瓦特发明蒸汽机来划分呢？或者以中国发明造纸术来划分呢？我赞成杨振宁的划分。因为这种划分是以现代科学思想体系的确立为界限的。确立这个由全人类共享的科学思想体系是至关重要的，如果没有它，也许今天我们仍处在中世纪的愚昧时代。当时多少代人在黑暗中去探索“点石成金”术而均以失败而告终，多少代帝王去追求“长生不老”术而得到的却是皇帝的短寿。即使在今天，离开近代科学思想体系去盲目探索，还大有人在。这就是“隐身术”一类的巫术和封建迷信的活动。当然，在牛顿之前不是没有科学技术。火药、指南针等都是中国古代的重大科技成果。“一尺木棒，日取其半，万世不竭”。就是中国古代的微积分学的萌芽。但是，还不能称之为“体系”，还没有形成严密的综合和演绎的思想方法并接受科学实验来检验的科学思维体系。自文艺复兴之后，这个思想体系的框架经过许多伟大的哲学家、科学家的努力，直至牛顿才最后形成了。从此科学和技术就以已往不可比拟的速度向前发展。由此

可见，这个思想体系的确立要比一项单独的发现或发明更为本质、更为重要。因此杨振宁就把牛顿的“数学原理”一书作为近代科学与古代科学的分水岭，这是很有道理的。它是近代科学文明的一个伟大里程碑。

建立近代科学思想体系不是一帆风顺的，其中包含了许多激烈的甚至是残酷的斗争，因为它触犯了当时宗教的教义以及各种保守势力。哥白尼的地球绕太阳运动的学说直至他临终前才敢拿出来出版；教会还对伟大的物理学家伽利略宣判罪名，这个案子维持了三四百年，直至前几年才由教会宣布平反。没有这批坚持科学真理的科学家的斗争，就没有今天的科技繁荣。他们伟大的科学成就和崇高的人格是值得后人永远尊敬的。

二、科技和社会的双向影响

这里说的双向影响是指：一方面，科技发展推动着社会生产力和社会文明的发展；另一方面，社会的需求是科技发展的最重要的动力。三四百年以来，这种相互影响是渐进的，但是是加速发展的。特别是二次世界大战以来的50年，这种相互促进呈现急剧加速的态势，用科学家的语言来描写，叫做指数曲线上升的趋势。正是由于这种态势的出现，使得许多国家把加速科技发展列为各自的国策，视作综合国力竞争的一个重要组成部分。这就是今天“科教兴国”方针的客观成因。半个世纪以来科技、社会双向影响的加深大致可综合为以下几方面：

1. 劳动生产率由于采用新科技成果得到成倍、成十倍的提高；今天，工业先进国家国民经济的发展主要依赖引用新科学技术

例如：上海宝钢目前人均钢产量等于50年代鞍钢的10倍以上；50年代长春汽车厂每人每年生产一辆汽车，当今最先进的汽车企业1人2—3周就生产一辆汽车；在高速公路上行驶的集装箱卡车司机的运力是普通公路5吨卡车司机运力的20倍。钟表行业宝石轴承穿孔效率由于采用激光新工艺比传统的电火花工艺提高了1000倍以上。这些例子不胜枚举。

2. 出现了高科技产业群和大批高科技产品

这些产品的性能和功效与50年前相比都有成十倍、百倍甚至成万倍的提高，有的更是过去难以想象的。

例如：当今巨型喷气客机的运力是40年代客机的30倍，安全性能提高了100倍。一座500万千瓦的核电站可省去一条专供运煤的铁路。50年代开始普遍使用的抗生素救了数以亿计的生命。合成纤维的出现解决了世界几十亿人的穿衣问题，结束了解放初期家家户户补袜子的年代。一块与CD光盘同样大小的只读光盘（CD-ROM）可以储存建国40多年来的人民日报的全部文字；几万人可通过一根比头发还细的光纤同时通话；今天同样规模的电子计算机比30年前的功能提高了万倍以上。一个小小的全球定位系统的定位精度达到1米。在战争技术方面，由于使用了核能使炸弹爆炸能力提高了100万倍，常规炸弹装上激光导引头，使得高空投弹的命中半径由百米提高到近1米，实际达到百发百中，使得武器装备进入了精确武器时代，大大减轻了后勤系统。所有这些，在半个世纪以前是难以想象的。但今天已经是看得见摸得着享受得到的现实。但是，三五十年后反过来看今天的惊人成就，又会像今天看到蒸汽机火车头，电子管收音机，爱迪生发明的第一台留声机那样笨拙，像个“傻、大、黑、粗”的玩艺儿。

3. 由于科技进步，产品更新换代周期越来越短，新性能产品层出不穷

最典型的例子莫过于计算机，从 286 个人计算机到 586 奔腾，短短 10 年间已更换了三代。电视领域即将迎来数字化高清晰度电视的新时代，电视屏也面临新的革新。刚刚问世的 VCD（紧凑的激光视盘）估计也只有几年寿命而将被清晰度更高、容量更大的 DVD 所代替。

4. 对科学研究、高技术开发的投入空前提高

处在当今高科技急剧发展的年代，为了企业自身的生存和保持世界市场占有率，世界各高科技产业大集团公司都不惜投入巨资来发展、开发高科技产品，每年投入的经费高达其产值的 5%—10% 或更高，即把利润的大部分都用于研究与发展。例如：日本松下电器公司每年投入的研究、开发的费用比中国科学院全年的科研经费还要高几倍。改革开放以来，人们逐渐懂得，要把科学研究成果真正转化为生产力，转化为市场销售商品所需的开发费用，要比取得科研成果本身所付出的经费平均高 10 倍。而在计划经济年代，这些开发费用又要由政府负担，这就是过去国内科研成果转化为生产力的比例很低的根本原因。只有出现财力雄厚的高科技集团公司才能够并乐意支付庞大的科研开发费用并建立起自己的技术发展中心。只有形成了这种局面之后，才能真正实现由来料加工、组装过渡到自主开发的阶段。

5. 第一、第二、第三产业队伍的大调整

著名学者钱学森早在五六十年代就指出，由于科技迅猛发展，生产效率成倍增长，社会上白领阶层的人数终有一天超过蓝领阶层。世界近二三十年的发展证实了他的预言。这一方面由于劳动生产率空前提高，若仍保持 50 年代前的工农业生产的庞大队伍，就会出现全社会产品供过于求，故必须把大批第一、第二产业的劳动力转移到第三产业。另一方面，由于生产设备自动化程度的提高，要求增加掌握先进设备的专业人员，减少蓝领操作人员。例如：当今美国从事田间耕作的人口还不到总人口的 5%，大批第一产业队伍转向第三产业和支撑农业的第二产业（肥料，农药，饲料，农产品加工）。再如大亚湾核电站的运行人员几乎都是白领阶层，在百万千瓦发电机组的巨大厂房内见不到几个人。所以，由于科技进步所导致的第一、第二产业队伍向第三产业转移是一个必然的趋势。

6. 资源配置的大变动

市场经济的最重要的功能是实现资源的最佳配置，这里所说的资源包含人力资源。近几十年来为什么会出现四小龙？为什么近年来每年有几百亿美元外资流入中国？其中一个重要原因是优化配置人力资源。之所以能够实现这样巨大的复杂的国际分工和出现跨国集团，除了政治因素、经济因素之外，还有一个科技现代化因素。试想，如果没有现代化的通信手段、信息手段，能够把一个产品分解到许多国家和地区生产吗？现在运输手段也是一个重要条件。IBM（世界最大的计算机企业）的大部分产品都是依靠航空运输的。总之，实现当今世界资源配置的大变动，达到最优化配置，科技现代化是一个必要的重要条件。

以上讲了 50 年来由于科技的突飞猛进，触及社会发展的六个方面。当然，不能什么都归结为科技进步。管理体制的改革，上层建筑的进步也给社会的发展带来重大的推动。但科技是第一生产力这个基本点是极为重要的。

现在让我们回过头来展望一下明天，要预测明天的社会发展，明天的生活方式，不是一件容易的事情。即使您具有最丰富的想象力，也难于准确预测。在神话小说《封神榜》中，古代的千里眼、顺风耳，已成为今天的生活

现实，现在能准确预测的一点是：我们将要进入信息化社会，在说明信息化社会之前，我举一个例子，在不久将来，您可通过电视购物，不需到百货公司，各种服装在荧光屏上让您挑选，同时还能把您的头像在荧屏上和服装合在一起；更奇妙的是：您可以通过虚拟现实技术，能感觉到衣料的手感。这就是未来信息社会给您带来的好处之一。

信息社会的基础设施是一个具有极大容量的信息传递网络。或者把它俗称为信息高速公路。下面就我个人对当今信息技术与信息产业的理理解谈一点粗略的认识。

在报章上经常看到，世界发达国家正在从工业化社会进入信息化社会。社会的发展为什么会走向信息化？信息技术与信息产业的物质基础是什么？这是人们所关心的问题。只有信息化需求，而无信息化手段，等于空喊口号；只有信息化的手段而缺少信息化的需求，信息技术和产业就没有它的市场，也不会得到大发展。一个最明显的例子就是：“八五”期间我国电话装机容量的发展突飞猛进，为什么？因为市场经济对信息化的需求不知要比已往的计划经济大多少倍。另一方面，信息技术的每一次的革新，都会扩大信息产业的市场。全球的、区域性的计算机网络、电子邮件的开通、光纤通讯的实现、传真机的普及和信息显示技术的革新又会反过来大大扩大信息产业的市场。所以，近 10 年来由于世界信息技术以空前的速度与规模向前发展，加上我国国民经济由计划经济向市场经济转型的推动，就出现了信息产业猛烈发展的局面。

什么是信息化的物质技术基础？应该从不同层次、不同的侧面来回答这个问题。先从最基础的科学层次来看：20 世纪有三项最伟大的发现，这就是物理学方面的相对论和量子论，生物学方面的 DNA 结构的发现。相对论是原子能利用的理论基础；DNA 结构及其理论是生物工程的理论基础；那么什么样的重大技术的理论基础是量子论呢？原来，以芯片（集成电路）为核心的计算机技术和以激光为核心的光电子技术的理论基础正是 20 世纪三大伟大发现之一的量子论。

之所以要从最基础的科学层次提一下这个问题，是要提醒人们不要“忘本”，不要轻视基础科学的研究，不要把基础科研看作是可有可无、浪费人力物力的事情。试想，假如今天还没有发现量子论，就绝对造不出集成电路，也就不可能有现代的计算机技术及由此发展起来的现代信息产业。同时，没有量子论，就绝对不可能发明激光，没有激光就不可能有光纤通讯，不可能有光盘技术，不可能有以光二极管为基础的信息显示技术等等。

因此，一方面不要忘记今天的信息技术与近一个世纪前开始发现的量子论之间的关系；另一方面也不要忘记，现代信息技术赖以生存和完善的两个最基本的技术——集成电路与激光，缺少当中的哪一个都形成不了完整的信息化技术。所谓信息高速公路就是一个大容量、高速度的信息传递网络及其配套技术设施，而当中的“公路”就是以光纤连接成功的。有“公路”就需要有“车子”去搬运信息，运信息的“车子”即信息的载体不是别的，正是激光。

现在从技术这个层次来看。从技术角度来划分，信息技术大致可分信息载体、信息传递、信息储存、信息处理、信息显示等几个方面。电磁波是信息传递的主要载体，由于最主要的激光源的频率均处在极高的光波波段，从而决定了它是超大容量的最理想的信息载体。单一频道的激光就可同时载送

几十路电视或十几万路电话，因此，激光是最重要的信息载体。要发展信息技术和产业，就必须发展高质量的激光器，特别是半导体激光器及其产业。

与此相连，当今最有效的、容量最大的信息传递手段是通讯卫星微波传递和激光通过光纤传递。所以光纤工业是信息产业的重要组成部分。

信息存储的手段，以往都是用磁盘与磁带。但近 10 年来，由于光盘技术的日趋完善，以及可擦除光盘技术的出现，CD—ROM 光盘与计算机的结合，使得在许多场合光盘已经或将要取代磁盘，因为光盘容量达几百兆字节，同时检索方便，几十年的人民日报可以储存在一张几英寸的小光盘上。不看到光盘的发展势头就会重犯只搞磁带唱机不搞光盘唱机一样的错误。

信息处理的主要手段是计算机，这方面已为人们所熟识，不再多说。

信息显示技术的发展也是日新月异。其中，液晶和激光技术扮演了最重要的角色，计算机输出的机械打印质量是无法与近 10 年发展起来的激光打印相比的；各种机械式显示牌（例如机场信息显示）已被光二极管显示牌所取代。世界每年光二极管的产量（个数）达到了天文数字。

通观信息技术的几个组成部分就可看出：以激光为核心的光电子技术占有多么大的比重，若再展望一下即将到来的光纤进入家庭的时代，信息技术的广泛应用又将更上一层楼。

以上是从基础科学层次、技术层次来看现代信息技术。当然，还可以从产品开发层次（即所谓 R&D）来看，从市场及经济层次来看。

从产品开发层次来看，一项新技术能否开发成功，要着重看它的工程可行性和性能价格比。举几个激光开发项目为例：由于波长可调激光的出现，立即就想到它在化学工业上的应用，人们把激光称作一把“剪刀”，可以按您的需求去“剪断”某一个分子键，实验也证实是可行的，可以用来合成新物质，一时在世界上掀起了一阵“激光分子剪裁风”。但很快就发现技术上的可行性不等于就有市场，因为产生一个激光光子价格如此昂贵，由此合成的物质的价格是市场难以接受的。最后市场能接受的只剩下激光同位素分离或本身就极为昂贵的药物。激光通信的发展也是很曲折的，为了克服云雾对激光通信的障碍，早期在美国贝尔实验室进行过在一个金属圆筒内形成“气体透镜”以传输载有大容量信息的激光束，结果因工程上的不适宜而失败，而最后成功的却是人们难以想象的让激光束穿透几十公里厚的玻璃。也就是今天大家所熟识的光纤通信。光纤通信之所以成功，是由于它的许多工程上的功能都是极为优越的：容量大，损耗小，成本低，寿命长，无干扰，易保密等多种功能同时具备。走通了这条路之后 20 年，光纤一跃成为信息高速公路的“主干线”。

最后，从市场及经济层次去看，当中就不仅涉及科学、技术问题，还涉及许多经济战略、竞争策略甚至政治因素。

市场经济的基本功能是促进资源配置的优化。这里所指的资源含人力资源。近二三十年，发达国家纷纷到第三世界国家投资设厂就是优化劳力资源和土地资源的一种战略。当中固然涉及多种因素，但是一个世界范围内的信息大系统的形成以及各种先进信息手段的出现无疑是实现这种战略的重要的物质技术基础。就从信息产业内部来看，发达国家把最核心的芯片企业和激光企业及其研究开发中心都设在本土上，虽然芯片或激光器的产值只占计算机产业、光电子产业产值的 5%—15%，但它是这些产业的核心部分，是推动整个信息行业更新换代的“龙头”，是高科技产业和技术的制高点。

只要掌握信息领域高科技的核心，即使形成了国外所形容的“空心企业”，也不会失去对市场的控制。反过来说，我们国家也必须掌握了这些核心高科技，才能说得上真正的自主开发，占领市场。

展望 21 世纪，将是信息化、生物工程化和广泛应用原子核聚变能的世纪，社会生产力以此为依托将要提高到前所未有的高度。信息技术和信息产业的发展

朱高峰

中国工程院

朱高峰 邮电通信技术与专家。1935 年 5 月 27 日生于上海。1951 年 9 月至 1952 年 8 月就读于清华大学，1958 年毕业于原苏联列宁格勒电信工程学院，获工程师学位。历任邮电部邮电科学研究院工程师，邮电部第六研究所总工程师、邮电部副部长、主任高级工程师等职。1994 年被选聘为中国工程院院士，同时被选为中国工程院常务副院长。先后参与、主持了大量通信载波传输系统的总体设计与研制工作。

一、基本概念和发展过程

1. 基本概念

当代社会中越来越多的人已认识到，信息和物质（材料）、能源一起构成社会赖以生存的三大要素，随着科学技术的发展，信息已渗透到社会的各个角落，起着越来越重要的作用。

尽管如此，当代信息技术由于发展的历史比较短，也由于其涉及的广泛性和复杂性，至今，并没有一个统一的定义。有人收集过各种不同来源的信息定义就达数十种之多，就其提到的用词如消息、情报、信号、数据、指令等，就各有不同的含义，看来在短期内还难以达到统一。例如：信息是客观存在的，还是经人收集后才产生的，信息是对人有用的还是任何消息（包括有害的、中性的）都可称为信息，信息是自然形态存在还是必须经加工成一定的形式后才形成等。有些不同看法是由于各人所处的位置不同，看问题的角度不同而产生。从信息生产、信息流通过程和信息消费的不同角度出发就会存在各种不同的看法。理论工作者和实际操作者也会有不同的见解。但这些区别，差异并不影响信息技术和产业的蓬勃发展。

2. 发展过程

信息广泛存在于自然界之中，自有人类以来，人与人之间就有了信息的交流，人们就已经开始采集和使用信息了。

历史上曾有过辉煌的信息技术发明。如：语言、文字的形成，印刷术的发明，为最基本的信息交流奠定了基础。烽火台、邮驿等为生产力低下时代的信息传递创造了当时最先进的方式。算盘成为信息处理的重要工具，在当时就促进了科学和社会经济的发展。这些技术中，相当大部分为我们的祖先所创造。

到了近代，电报的发明使快速远距离传递信息成为现实，电话则提供了双向直接（实时）通信的可能、机械式计算器至机电计算机使人的计算能力

大大提高，无线电的发明不但提供了全球性的通信手段，并且构成了快速的面向全社会的大众传播媒介——广播。这些发明大大缩短了人与人之间的距离，加快了社会各种活动的节奏，提高了人们工作、生产的效率，使信息的作用逐渐为人们所认识。

二次大战后，当代信息技术以电子计算机和高速大容量通信方式的出现为标志，讲入了一个新的阶段。自 1946 年出现第一台以真空管为基础的电子计算机以来，经历了飞速的发展，其功能从数值计算，发展到数据处理，控制管理，并产生了大容量存储技术。新的通信传输和交换手段不断出现，同轴电缆和卫星通信使大容量全球通信成为可能，局用数字程控交换机的诞生则构成了快速大容量自动通信的基础，一个全球自动电话网形成了。这些都建立在当代计算机、通信和微电子技术基础之上。进入 80—90 年代，光电子技术又开始得到了广泛应用，光纤通信已逐渐成为通信传输的主要手段，光计算机和光交换机正在开发中。千百万甚至数亿人在同一个通信网通信，每秒千万亿次速度巨型计算机、千百万台计算机联网运行的时代已经来到，人类正在进入信息时代。

3. 信息系统组成

信息作为社会一种基本资源，有着从产生到使用的过程。整个流程可以用下图表示：

图中每两个环节之间，都有传递。采集加工等环节则可以根据广度和深度区分不同层次反复进行，在各个环节包括传递中可能需要短时的或长时的存储。

在商品经济中，信息作为一种基础商品，从经济关系上看，同样有着生产、交换、分配和消费的过程。因此在图中，在生产和消费之间，还存在交换、分配的关系。但这种和信息自然形态上的交换（如电话交换）和分配（如有线电视的分配）是不同范畴的概念。

在现代信息系统中，采集和加工大多是由电子计算机来完成，当然采集还需要有传感器等终端设施。传递则由通信系统完成。根据不同场合的不同需求，有各种不同的计算机和通信系统。存储有磁、电、光等各种存储设备。至于信息源可能是人产生的各种信号，如：语音、文字、著作、绘画等，也可能是自然界或社会中各种设施和过程的一些物理量。使用可能是人脑的判断，也可能是对自然和社会设施的控制信号指令等。

因此，当代信息系统是以各种不同的计算机和通信系统为主组成的，完成从信息源采集信息予以加工到需要的程度，并在需要的时间内传递到使用所需要的地点加以使用的系统。根据不同的信息内容和需求，信息系统可大可小，可以从一个单独的主机，一直到全世界范围的复杂网络。

4. 信息的特征

信息除了具有一般物理现象和社会现象的共性外，主要具有下列特征：

(1) 社会性：尽管信息尚无确切的定义，但信息一开始就直接联系于社会应用。与物质、能源在其原始状态就可以被应用不同，信息只有在经过人类加工，经过取舍、组合、转换，采取一定的表现形式后才真正具有使用价值。因此真正意义上的信息离不开社会。

(2) 非物质性：信息本身只是一些抽象的符号，并不是以实体形态出现。当然这里讲的非物质性是物理学上的概念，而并非哲学意义上的。这样信息

必须要有表现形式，如：语言、音乐、文字、图形、图像、数据等，主要是声、光等物理量。这些形式又要内含于一定的物体之中，比如：在书信、报刊、影视、磁盘存储、光电存储器内，这些物体即称为载体，这些表示形式和载体又被称为媒体。媒体概念的范畴更宽一些。

(3) 可传播性：信息可以广泛地传播，利用现代光电手段，其传播范围实际上是无限的。传播方式有的是定向的，即有明确固定对象的，有些则是不定向的甚至全向的。不管人们愿不愿意，每天都会收到大量的信息，其渠道可能是空中电波或视野中形象，也可能是家庭邮箱等。

(4) 不灭性：这是信息的最特殊的一点，即信息并不因为被使用而消失。信息可被广泛使用，多重使用。这也就导致其传播的广泛性，当然信息的载体可能在使用中被磨损而逐渐失效，有的甚至是一次性的，但信息本身并不因此而消失，它可以被大量复制、保存、永远使用。直至其本身价值失效为止。

5. 信息内涵

信息内涵大体可分为自然信息、社会信息和人本身的信息。自然信息大至宇宙，小至基本粒子，上至天文、气象，下至地理、地质。社会信息包括政治、经济、军事、文化、教育科技等社会的各个方面。人的信息包括生理和精神两个方面，人类大量创造信息，各种文艺作品、科学论著等等均是人类创造的信息。

二、信息在现代社会中的地位和作用

1. 信息的作用

(1) 认知作用。

教育过程是信息在教师和学生间传递的过程或者学习者从书本中汲取知识（信息）的过程。

大众传播：各种报刊，声像广播广泛传播各种消息（信息）给全社会。

科学研究很大程度上是要弄清和掌握天文、地理、自然界的各种情况，亦即获取某种信息，有的是直接从自然界取得，有的是通过实验来取得。例如：地质勘探就是用科技手段采集信息的过程。

(2) 管理作用：大至国家，小至一个地方、一个企业内部，管理都需要信息。从国家管理来说，政治、经济、军事、社会管理，下情上达、上情下达，在现代社会里离开先进的信息系统已不可想象了。一个现代企业内部人财物、产供销管理也必须要信息系统，进一步要实现综合管理系统。

从管理过程来说，从掌握情况、分析、决策、执行、反馈，每个环节都离不开信息，整个管理过程也是一个信息流动的过程。

(3) 控制作用：主要是指生产、工作流程中的控制。生产过程自动化，已广泛用于各个产业，如：冶金、化工、电力等。但控制作用已不仅限于工业而已渗透到第三产业，如电子数据交换（EDI）应用于外贸中，产生了无纸贸易。

管理与控制的区别：在于控制是对生产过程本身的控制，完全是生产力的范畴，而管理则是既有生产力，又含有生产关系和上层建筑。当然在一个具体企业中两者有时密切交织在一起。

(4) 交流：主要指社会成员个人之间的联系。无论是信件或是电话、传真直至电子信函，都是人与人之间思想、观点、感情的交流或事务的商洽。

随着技术进步和人民生活水平的提高，人员流动范围更大、交流更为频繁。现在外出人员给家庭打电话报平安、作交谈在发达国家已经是不可缺少的事，在我国也越来越普及。

(5) 娱乐：电影、广播、电视等早已深入人民生活。各种新的声像传播方式的出现，在声像质量越来越高、越逼真的同时，可选择性、智能型的种种娱乐层出不穷，琳琅满目。

(6) 其它：在某些行业中，信息的作用还超出了上述作用。如金融业中的信息，就已超出一般管理控制的范畴，电子货币本身已是一种信息，信息已经成为生产流程的基本内容。

2. 信息在社会中的地位

首先是促进传统产业的改造，包括一、二、三产业。各个具体产业的技术进步，包括生产流程的更为精确、自动化程度的提高、劳动生产率的提高、管理更为科学，以至某些产品使用性能的提高等都离不开采用现代信息技术。在制造技术中，从数控机床到自动加工中心，柔性生产系统。连续过程生产（冶金、化工、电力等）中的自动控制，运输业中对运输工具的自动控制和运输系统的自动调度、军事技术中的 C³I 等。可以说各个产业改造升级相当大部分是其固有技术与信息技术的结合。

其次是信息产业本身发展壮大，在国民经济中的所占比重越来越大。

再次是信息产业发展带动其它产业的发展，如材料、装备等，如果说应用于传统产业改造是信息产业的下游，则这里说到的是其上游。

一段时期内在美国有人提出朝阳产业、夕阳产业之说，并且把风刮到中国，造成了较大影响。当时很多有识之士就不同意这种说法。当然产业发展速度不同，某些新兴产业由于社会需求大，发展很快，所占比重在上升。但不是说其它产业都要消亡。从大的产业划分来说，社会历史发展中还没有哪个产业已经消亡，最明显的例子就是农业。尽管农业在发达国家所占比重已很小，在我国比重也在不断下降。但农业本身仍在发展，并且其国民经济基础的地位不但没有动摇，而且越来越突出。因此信息产业的发展不是要替代其它产业，而是渗透、支撑、服务于国民经济和社会各产业，是促进和带动的关系。尤其在我们这样人口众多的发展中国家，物质和能源还是非常缺乏，信息技术的推广和信息产业的成长应该促进物质和能源产业的进一步发展，提高效率而健康成长。

三、信息技术及其发展趋势

1. 计算机

从 1946 年世界上第一部数字电子计算机诞生至今，已过去了半个世纪。50 年间，计算机已经历了四代。其发展方向主要是：

- (1) 提高速率、增大容量；
- (2) 减小体积、降低能耗；
- (3) 从语言到软件系统的高级化；
- (4) 从单机到多机联网；
- (5) 从增加功能到智能化。

四代计算机基本上是按其基础元件作为主要标志划分的，即电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路。随着元件的革命性进步，上述各项发展方向得到了各自的体现。但下一代计算机究竟是什么，目前仍有不同看法，

有人认为是光计算机（仍以器件为标志）；有人认为是智能计算机（以功能为标志）。

到今天，计算机的单处理器运算速度已达到 10 亿次/秒，内存容量已达到几百兆字节。而体积则为早期机器的千分之一。曾占用大房子的庞然大物其功能已被今天掌上计算机所超过。

计算机从第一代以后就逐渐分为大型机，中型机和小型机，随着技术和应用的进步又逐渐产生了微型机。嗣后，计算机就向两极发展，一方面大型机向超大容量超高速的巨型机发展，另一方面微型机向进入办公室、家庭发展。前者追求速度快，存储容量大，可以解决过去人类难以设想的计算课题。例如：天气预报、地质勘探中的极复杂问题，上万个联立方程的题。当然其体积和能耗也在不断缩小，否则就不可设想。而微型机发展则追求小巧方便、从桌面型到笔记本型，当然其速度、容量和功能也在不断发展，而介乎两者之间的中小型机则在不断提升其功能。其划分标志也在不断变化。今天的小型机其功能已远远超过初期的大型机了。

计算机的用途除了开始时的数值计算功能越来越强外，还逐渐发展了数据处理和控制管理。现在后两点的使用范围已经丝毫不亚于计算功能。例如文字处理、报表处理已广泛在办公自动化中应用。而控制功能则广泛应用于生产自动化中，并且已经渗透到各种机械装置和家用设备中。现代汽车、机床、音响设备、家电等等都已大量采用微处理器控制（这还未包括在上述各类计算机中）。信息技术也就是这样才渗透到各行各业中，到社会的各个角落。

当前计算机发展方向大体如下：

（1）大型机的发展已从单纯靠元器件提高速度缩小体积，发展到同时改变设计思路、方法，改变机器内部结构。现在一致公认，多处理器并行处理是大型机的发展方向。这样对单个处理器的速度要求可以不再提高。当然并行处理有复杂的结构和连接接口问题并会有一定损耗，要从设计技术上来解决。目前已做出有上千个处理器并行工作的计算机，其速度达到数千亿次/秒。近年内预期可研制出万亿次/秒 MPP 机。

（2）微机在发达国家中已大量进入家庭。如美国 100 户家庭中已有微机 30—40 台，但离完全普及还有距离。其它国家、发展中国家当然还会有相当时日。微机的发展也有两种趋向，一是充分发挥技术优势增强微机功能使其用途更为广泛。另一种认为家庭中使用的微机不能太复杂、应简化其功能，降低价格，以较快的速度广泛进入家庭。看来两种意见各有道理，可能会同时发展。近年有些公司提出网络计算机的设想，即把微机本身大大简化，大量的功能通过网络来提供，这样可降低本身造价，这与前述趋向有所不同，至今也还有争议。

（3）随着计算机数量越来越大，及微机广泛应用，网络化是个大趋势。一种是专业管理网络。国家的管理部门或者大企业集团有大量的机构要连成一体。如美国的 NASA 有上万台计算机联成网络。当然一个单位一幢大楼内的局域网就更多了。另一种是社会公用网络把各个计算机或计算机网连接起来达到资源共享。（包括存储的信息资源和计算机的运算功能资源、软件资源），这方面最典型的的就是 Internet 网，目前已有几万个网、几千万用户与之相连接。

（4）软件早已成为一个独立的产业。其产值已超过硬件。首先是语言从

最初枯燥无味的机器语言发展为高级语言并且越来越向人类自然语言靠近。软件系统中由于联网兼容的需要基础软件越来越标准化。目前微软公司的视窗软件（Windows）系列的地位愈显突出。至于应用软件则随着应用领域的不断扩展。呈现琳琅满目，一派繁荣景象。从事开发的人员、机构越来越多。例如各行各业的 CAD 软件就非常繁多、数量难以说清。

（5）人机界面越来越友好。所谓友好，就是使用越来越方便。相当时期内计算机由于使用的复杂性只能由专业人员来操作，这就大大影响了其普及程度。随着办公自动化的发展一般白领人员都要直接操作，因此使用方便是个关键问题。目前从键盘输入到鼠标到触摸式、书写式的发展，从依次查询到菜单式到多层菜单的查询都已大大简化了使用程序。对于家用计算机，这一点尤为重要。

2. 通信技术

1837 年莫尔斯发明电报标志着现代电信的开始，一个半世纪以来，电信有了极大的发展。到本世纪 80 年代世界自动电话网形成，标志着发达国家中基础电信的大体完成，其发展方向主要是：

（1）从单向延迟的文字传递的电报到双向实时语言交流的电话。1876 年贝尔发明电话后电话很快占了优势，相当一段时间内电话与电报并存，直到本世纪下半期，电报逐渐消亡。

（2）本世纪上半期，在发达国家电话逐渐普及，目前美国和北欧国家电话机普及率已接近百分之百，主线普及率也达 60%-70% 以上，一个家庭一部以上电话机已很普遍。

（3）本世纪上半期，本地电话逐渐由人工变为自动，下半期长途电话逐渐转向自动，到 70 年代末 80 年代初，形成了全球自动电话网。

（4）随着电话容量的增长。传输技术不断发展，传输媒介由架空明线、对称电缆、同轴电缆发展到光纤光缆，一对线上传输容量已从明线的几个、十几个话路发展到上万路（同轴电缆、光纤）以至十万个话路（光纤）。同时无线传输由短波发展到超短波到微波。微波通信方式有地面微波接力和卫星通信两种方式，一个波道容量也已达几千路。但是我们接到用户话机的用户线却一直是对称铜线，尽管线型有些变化，绝缘材料由纸变成塑料，曾用过加感，后又去感等变化，但对称铜线的本质却没有变。

（5）电话一发展就需要交换，交换技术从人工磁石式到人工共电式。本世纪初出现了机电式自动交换机，漫长几十年中，纵横制交换机已发展到完善。随着计算机的出现，用程序控制的纵横制交换机在 60-70 年代曾在一些国家得到较大量使用。纵横制交换机的容量也从几千门、上万门，直到几万门。现在不少发达国家仍使用着部分纵横交换机。到 70 年代出现了数字式程控交换机、体现了速度快、容量大、功能强、体积小的优越性。近 20 年中数字程控机已占了绝对优势。

（6）电话发展的同时，电报、传真、数据等通信手段也在同时发展，电报由单向公众电报发展为交互式拨号交换的用户电报。目前发达国家已经没有公众电报业务，用户电报也逐渐被数据通信替代，规模不断下降。传真也从公众传真向用户传真发展。数据通信主要是计算机之间的通信，其速率在不断提高，方式在不断更新。经历了从电话网上拨号，专用数据线到公用分组交换再到帧中继交换的过程。目前根据数据量和速率的要求各种方式均有应用范围。传送活动图像的可视电话、电视会议也有了一定的发展。到目前，

这些通信的物理传输网基本上是与电话网共用的。

(7) 广播技术的发展一是频段扩展, 声音广播。由短波向超短波立体声发展, 电视由 VHF 向 UHF 发展, 以扩大容量、提高质量; 二是增大发射功率、提高接收机灵敏度以扩展播送范围, 三是采用卫星已从根本上解决覆盖面的问题。至于台站之间的中继则是采用常规通信手段, 如微波、光纤, 以至卫星通信。

截至 1996 年 5 月, 全世界电话主线约 7 亿线, 电话机约有 10 亿部, 移动电话机超过 1 亿部, 这些通信设施中大部分集中在发达国家, 广大发展中国家只占了很小的比例, 全世界有一半以上的人还从来没有用过电话, 最不发达国家中有些电话普及率低于 0.1%, 呈现出极大的不平衡性。

当前通信技术仍在快速发展, 其主要趋势如下:

1) 传输在向高速大容量长距离发展, 光纤传输速率越来越高, 波长从 $1.3\mu\text{m}$ 发展到 $1.55\mu\text{m}$ 并已大量采用。一个波长段上用多个信道的波分复用技术已进入实用阶段; 光放大器代替光电转换中继器已经实用; 相干光通信, 光孤子通信已取得重大进展。这将使无中继距离延长到几百甚至几千公里。无线传输包括微波接力和卫星通信已由 4/6GHz 的 C 频段发展到 11/14GHz 的 Ku 频段, 并且向 20/30GHz 的 Ka 频段甚至更高发展, 不但扩充了可用频段, 并且大大增加了容量。传输复用采用同步数字系列 SDH 使各国复用系列得到统一, 上下电路更为灵活, 同时采用数字交叉连接设备 DXC 使传输网上具有电路群交换功能, 大大便利了组网, 并提高了网的效率和可靠性。

2) 交换技术发展趋势: 一个是增大单个交换机的容量, 目前技术上已达到几十万线; 二是实行分散化和采用模块技术, 使之更接近用户以缩短用户线。模块的功能也在不断提高。从技术上来看更多采用计算机技术, 如总线技术、并行技术等, 使交换机结构上更为合理。另一个趋势是为了适应传递宽带信号的要求发展宽带交换。目前以快速分组交换为原理的异步转移模式 ATM 作为宽带交换技术基础已成为定论。

3) 数据网的速率越来越高, 数字数据专线 DDN 已可达 140Mb/S, 同时随着传输质量的提高、误码率的减少、分组网的规程可以简化, 出现了帧中继方式。另外随着美国的 Internet 计算机通讯网向国际发展, TCP/IP 协议的应用范围越来越广, 各种服务器、路由器也层出不穷, 得到大量应用。

4) 为了克服每种业务(电报、电话、数据、图像)建单独网的缺陷, 更好地满足用户多种业务的需要, 通信网在向综合业务网发展。目前以两个话路带宽加一个信令通道(2B+D, 144Kb/S 带宽)为单元的窄带综合业务网已在使用, 在发达国家已达到电话用户的 1%-5%。宽带综合网正在大力开发中。

5) 随着通信接续的自动化, 原来由话务员、报务员操作的功能都由用户自己来操作。同时通信的使用越来越复杂, 随着技术的发展通信网可提供更多的功能。因此把由用户来判断、操作的相当部分功能交还给网络来进行, 使通信网具有人工智能就是一个方向。目前已有一批智能业务, 使用最广泛的如被叫集中付费、转移呼叫、电话卡、语音信箱等业务, 目前主要解决用户付费方便和被叫用户选择接收时间、地点等问题。随着需求和技术的发展, 还将有更多的智能业务被开发。

6) 随着人的流动性增加, 移动通信使用越来越广泛, 技术发展也非常快。从无绳电话、寻呼到蜂窝式移动电话。现在蜂窝式移动电话正在实现从模拟

向数字的发展。下一步发展目标是实现个人化，即一个人在任何地方均可以用同一号码实现主叫和被叫通信，这样号码就不是分配给固定地点的固定终端，而是分配给特定的人。为了实现更大覆盖，除了地面手段外，卫星移动通信正在取得进展。在业务上除了电话外、移动数据也在发展。

7) 由于综合业务尤其是宽带业务的发展，用户接入就成为突出的问题，概念上已从用户线发展为接入网。目前已有采用原电话对称铜线提高使用频率，原电缆电视的同轴与光纤混合，使用全光纤、无线接入等多种方式。这是一个正在蓬勃发展的领域。

3. 信息采集技术和终端

1) 各种测量技术正在现代化。测量的领域非常广，上至天文、气象，下至地质勘探，中间地面上各种地形地物定位、各种信号测定等本质上都是获取、采集信息。测量方法除了直接机械测量外，基本上是声（机械波）、电（电磁波）、光信号，随着技术发展，直接采样的传感器、仪器灵敏度、精确度越来越高，抗干扰能力越来越强，测到的范围越来越宽。从电磁波来说，使用频带也越来越宽。

2)、在通信业务综合化和计算机图像快速发展的同时，信息终端在向多媒体终端发展。多媒体是个含义很广的概念，但体现在终端上就是多媒体终端，在一个终端上可同时完成话音、数据、图形和图像。

3)、终端的另一个趋势是小型化，直至微型化，计算机终端已有手掌型的。计算器已有手表、钢笔型的。至于传感器等则有更小的。目前纳米技术和纳米装置已在逐步走向实用。

4. 基础元器件

1) 集成电路的集成度越来越高，其发展速度大体上是三年增加四倍。随之其加工的线越来越细。目前 0.3—0.5 微米的线条的电路已大量采用。一块电路上可有上亿个晶体管的 0.1-0.2 微米线条电路正在开发中。

2) 随着密度增大，对集成电路的速度要求越来越高，硅电路已不能完全满足要求，新材料如砷化钾集成电路在大力开发并已得到使用。

3) 在通用集成电路发展的同时，面向各种不同用途的专用集成电路也在大量发展，由于集成电路设计的高度计算机化（自动化），即使批量较小，但能达到使用性能的专用集成电路已成为经济上可行，ASIC 技术得到很快发展。

4) 随着光通信大量采用，光电器件有了很快的发展，固体激光器、发光二极管、雪崩二极管等器件性能有了很大提高，随着计算机的研究开发，光电集成以至光集成电路将会很快发展。随着卫星等无线技术发展，固体微波器件也有很大提高。

5. 总体发展趋势

从以上各个方面综合来看，信息技术有一些共同的发展趋势。

1) 高速大容量。速度和容量是紧密联系的，随着要传递和处理的信息量越来越大，高速大容量是必然趋势。因此从器件到系统，从处理、存储到传递，从传输到交换无不向高速大容量的要求发展。

2) 综合集成。社会对信息的多方面需求，要求信息业提供更丰富的产品和服务。因此采集、处理、存储与传递的结合，信息生产与信息使用的结合，各种媒体的结合，各种业务的综合都体现了综合集成的要求。

3) 网络化。通信本身就是网络，其广度和深度在不断发展，计算机也越

来越网络化。各个使用终端或使用者都被组织到统一的网络中，国际电联的口号“一个世界，一个网络”。虽然绝对了一些，但其方向是正确的。

4)智能化。信息技术本来就是减轻或替代人脑的劳动的，随着社会进步，已从替代人脑的简单劳动（如四则运算）逐渐向复杂劳动（分析、判断、处理等）发展，技术上说无论是计算机还是通信都在逐渐智能化。

5)上述各种技术趋势发展必须要有经济上、管理上的相应变化。因此各国在信息政策、法规等方面都在作出各种变化，例如引入竞争、取消限制等。但同时又在加强立法、严格管理，防止信息犯罪、信息渗透和信息腐蚀等负面作用。

四、信息产业

1. 信息产业的规模

1) 信息产业的内容

信息产业从性质上大体可分为装备制造业和信息服务业。其中，装备制造业主要涉及：计算机（硬件、软件），通信设备（包括传输设备、交换设备、网络设备等），终端设备（包括信息采集、提供设备如传感器、计算机终端显示、通信终端），娱乐设备（也称消费类产品，包括收音机、电视机、摄录放机等）。

信息服务业涉及：通信业，包括传统通信、电话、电报、传真、数据、邮政和增值通信；计算机应用和咨询业，包括信息提供、数据库、计算机组网；传播业，包括报刊、广播、电视；娱乐业，包括电影、广播、电视、电子游戏（用同样的手段、仅内容不同，一为传播，一为娱乐）。

本文把信息产业从内容上分为通信服务业、设备制造业（含计算机软件和服务）、娱乐传播和新兴产业。

2) 信息产业规模和比例

进入 90 年代以来，全球信息产业发展迅速，信息产业的增长率几乎是其他经济的 2 倍。ITU 在《1995 年世界电信发展报告》中估计，全球信息产业的规模 1994 年已经达到 14250 亿美元，相当于全世界国民生产总值的 5.9%。这里信息产业包括：电信服务和设备；计算机软件、服务和设备；声音与电视广播和设备；声像娱乐。

信息产业对于经济的影响是难以计量的，从全球来看信息产品和信息服务的贸易正逐年扩大，信息产业对于全球经济的贡献也越来越大。以美国为例，1994 年信息产业总收入约为 8060 亿美元，占 GDP 的 12%，其中：

通信为 2572 亿	占 32%	
计算机为 1670 亿	占 20.7%	
印刷出版为 1770 亿	占 22%	
信息服务为 1359 亿	占 16.9%	
娱乐（含 CATV）为 625 亿	占 7.8%	
在通信中	服务为 1930 亿	占 75%
	设备（含雷达导航）642 亿	占 25%
计算机中	设备为 660 亿	占 40%
	软件与系统集成 1010 亿	占 60%

欧共体 18 国 1993 年数据共为 4140 亿（欧洲货币单位）

其中通信 33%、计算机 26%、出版 22%、家电 5%、声像服务 10%

通信中业务占 82% 设备占 18%
计算机中设备占 42% 软件服务占 58%

由上可见，在整个信息产业中，根据 ITU 统计通信占 46%，美国和欧盟约占 1/3，而根据 ITU 的统计，计算机占信息产业的 33%，美国和欧盟占 1/4 到 1/5。造成这种统计结果的原因主要是由于统计方法的不同，即 ITU 在统计中来包括印刷和出版业，而美国和欧盟在统计中则包括了印刷和出版业。另外，考虑到近几年来通信发展速度高于计算机发展速度，两者间的比例在一定时期内不会逆转。无论在通信中还是计算机中业务服务均大于设备制造，通信中业务约占 80%（美国为 75%，但考虑到信息服务有一部分为增值通信业务，故大体也在 80%甚至要多些），计算机中软件和服务约占 60%。

另外有一种说法是美国从事信息产业的人数已占整个社会就业人数的一半以上，对此种说法要进行分析。由于信息技术对各产业的渗透，其它产业中从事信息的人员已占相当大的比重。例如现代化的冶金企业中计算机控制人员可能比炉前工要多。金融系统中多数人从事的实质上是信息工作。宏观上来说现代社会中白领人员基本上从事信息工作。因此上述说法实际上就是白领人员已超过蓝领人员的另一种反映。

2. 通信服务

进入 90 年代以来，世界电信业始终保持不衰势头，无论从总产值还是从增长率来看，电信业都是世界上发展最快的产业之一。1995 年岁末，欧洲视听和电信研究所 (IDATE) 同《Re - seaux & Telecoms》杂志联合推出了一年一度的全球电信 100 强排行榜，表 1、表 2、表 3 分别表示了世界前 20 名电信运营公司、电信设备制造厂商和计算机网络公司的排行榜。

近年来，尽管电信服务领域竞争加剧，费率下滑，但世界电信业整体上依然保持较高的利润。当前，全球电信业务（通信服务）市场的发展主要呈现以下特点：一是自由化，即开放市场；二是私有化；三是国际化。市场开放主要涉及欧洲的一些国家和大量的发展中国家，他们市场的开放有力地促进了全世界电信业务的繁荣。而私有化只产生有限的影响，对电信业务的发展所起的作用也不明显；虽然私有化可提高劳动生产率，但它却伴随着诸如大量裁员等这样的痛苦改革过程。国际化主要是指世界上一些大公司为应付国际竞争而进行的战略联盟，如以 AT & T 为首的 World Partners 集团、MCI 和 BT 结成的 Concert 集团和 Phoenix 集团等。

表 1 1994 年世界前 20 名电信运营公司经营状况一览表

名次	公司	国家	电信产值 (百万美元)	总产值 (百万美元)	电信产值/ 总产值(%)	纯收入 (百万美元)	员工 人数
1	NTT	日本	71183	71183	100	768	/
2	AT & T	美国	50160	75094	66.8	4710	304500
3	德国电信	德国	37708	37708	100	794	225000
4	法国电信	法国	25682	25682	100	1785	167882
5	英国电信	英国	21607	21607	100	4188	137500
6	意大利电信	意大利	18048	18048	100	899	96705
7	南贝尔	美国	16845	16845	100	2160	92121
8	GTE	美国	15905	19944	79.7	2451	111000
9	大西洋贝尔	美国	13791	13791	100	-755	72300
10	MCI	美国	13338	13338	100	795	40667
11	Nynex	美国	13307	13307	100	793	70600
12	Sprint	美国	12662	12662	100	891	51600
13	Ameritech	美国	12569	12569	100	-1064	63594
14	Telefonica	西班牙	11768	11768	100	841	72207
15	SBC 通信公司	美国	11619	11619	100	1649	58800
16	USWest	美国	10953	10953	100	1426	61505
17	Telebras	巴西	10038	10038	100	660	95600
18	Telstra	澳大利亚	9254	9254	100	1177	/
19	PacificTelesis	美国	9235	9235	100	1159	51590
20	Telmex	墨西哥	7806	7806	100	2856	48810

注：中国邮电部列第 25 位

这里还要特别指出，电信业务市场的自由化和私有化本质上不是一回事，但是实际上这两方面又是结合在一起进行的。过去，世界上大多数国家的电信运营公司是国家拥有，市场是垄断经营；随着市场开放，一些私营企业参与了电信业务经营，同时外资的进入，使一些国家国有的电信运营公司股份化，这种变化在各国产生了两方面的影响：正面的影响是随着自由化和私有化的进程，各电信公司可不断提高效率、提高服务质量、降低成本，同时外资的引入也可加快基础设施建设的速度。但这也带来一些问题，如一些发展中国家逐渐丧失了对电信经营公司的控制，重复建设，浪费资源，大量裁员等。在这个过程中，尽管发展中国家也在不断地相互渗透，但更主要的是发达国家向发展中国家渗透。这些发达国家一方面要获取最大利润，更主要的是他们想通过这种办法逐步达到控制发展中国家电信业的目的。目前许多发展中国家已认清了形势，拒绝放弃主权，这就是到目前上述国际联盟还没有真正发挥作用的原因。

从地域上来看，北美地区无论公司数还是总产值都在电信运营公司的前 20 名中（前 50 名也是如此）占有最大比重，但除长途电信公司外，本地电信公司的发展速度大都明显放慢（其中赢利较好的子公司，如移动电话和有线电视，纷纷脱离母公司是一个重要原因）；欧洲电信业务市场由于受到一批正推动电信现代化进程的国家的带动，情况一直较好；而亚太和拉美地区近几年一直是发展最快、最繁荣、最被电信界看好的市场，特别是中国其电

信产值的增长速度始终在世界前列（1995年，中国电话网络的规模已列世界第三位，收入进入世界前20位）。

3. 设备制造业

尽管电信设备制造市场的平均利润水平逐年降低，但近年来电信设备制造公司的产值增长率一直高于电信运营公司的产值增长率。一些名牌大公司仍在这个市场中占据主导地位。见表2。

从世界前20名的电信设备制造厂商的数量和产值来看，欧、美几乎旗鼓相当，但由于美国在移动通信和网络产品方面的优势（这两方面是目前全球通信业发展最快的两个领域），美国公司的发展势头会好于欧洲。其它地区，如亚洲由于公司实力弱小主要是面向内部市场；虽然日本的电信设备制造公司的终端出口量很大，但由于标准等原因，其基础设施的出口仍受到极大限制。

然而，亚洲作为潜在的电信消费市场，容量却是巨大的，仅中国在本世纪末的未来几年内，就有超过6000万线的交换机需求量；其他如印度、印尼、巴基斯坦、马来西亚、泰国、越南等国也都有使网络现代化的意愿。因此，世界上众多厂商纷纷涌向亚洲，而且围绕技术选择彼此之间不断地进行着激烈的角逐。

表2 1994年世界前20名电信设备制造厂商经营状况一览表

名次	公司	国家	电信产值 (百万美元)	总产值 (百万美元)	电信产值/ 总产值(%)	纯收入 (百万美元)	员工 人数
1	AT & T	美国	15234	75094	20.3	4710	304500
2	Motorola	美国	14980	22245	67.3	1560	132000
3	阿尔卡特	法国	14037	30195	46.5	652	197000
4	西门子	德国	11707	52124	22.5	1228	382000
5	NEC	日本	10337	37933	27.2	355	151069
6	爱立信	瑞典	10139	10699	94.8	512	76144
7	北方电讯	加拿大	8874	8874	100	408	57054
8	IBM	美国	5500	64052	8.6	3021	219839
9	富士通	日本	5039	32784	15.4	453	164364
10	GTE	美国	4039	19944	20.3	2451	111000
11	Bosch	德国	3412	21243	16.1	315	153794
12	诺基亚	芬兰	3371	5777	58.3	700	28000
13	松下	日本	2350	69924	3.4	911	265397
14	三星电子	韩国	2251	14064	16.0	1176	/

名次	公司	国家	电信产值 (百万美元)	总产值 (百万美元)	电信产值/ 总产值(%)	纯收入 (百万美元)	员工 人数
15	飞利浦	荷兰	2033	33504	6.1	1168	253032
16	Novell	美国	1998	1998	100	207	8457
17	东芝	日本	1860	48213	3.9	450	190000
18	OKI	日本	1736	6612	26.3	325	/
19	通用仪表	美国	1720	2036	84.5	247	/
20	GEC	英国	1697	16065	10.6	877	82251

设备制造业的另一大类就是计算机制造业，计算机产业包括硬件（网络和终端等）和软件。表 3 是 ITU 1995 年底公布的 1994 年世界 20 大计算机公司的排行榜。

随着计算机产业的飞速发展，国际计算机市场也空前活跃，竞争异常激烈。为了在市场中站稳脚跟，世界各大计算机厂商在计算机零部件、计算机整机的销售、服务等各个方面都展开了全力角逐，力图缩小厂商与用户需求之间的差距，以获得更大利益。

在计算机运算速度越来越快、容量越来越大、体积越来越小的今天，各厂商都在积极推出功能更加强大、可靠性更高的计算机产品。如主要用于金融业的大规模容错计算机，多功能、多媒体微机等。此外，为更好地满足用户的需要，方便用户使用，各厂商还在计算机上增加了各种附加功能，如用电视接收卡提供看电视和看录像的功能；用传真卡提供收发传真和数据通信的功能；用防病毒卡增加了抗病毒的功能；用视频解压缩卡增加了卡拉 OK 及播放 VCD 的功能；用声卡、音箱和话筒增加了音效功能；此外各种随机软件的出现也丰富了计算机应用的内容。

表3 1994年世界前20名计算机网络厂商经营状况一览表

名次	公司	国家	网络总产值 (百万美元)	增长率 (%)	计算机网络产值 /总产值(%)	公司纯收入 (百万美元)	员工人数 (千)
1	IBM	美国	64052	2.1	100	3021	220
2	HP	美国	25350	22.0	100	1599	98
3	富士通	日本	20943	-14.6	68	369	164
4	NEC	日本	17430	-0.4	50	246	148
5	DEC	美国	13451	-6.4	100	2156	78
6	日立	日本	13150	7.1	18	1115	332
7	Compaq	美国	10866	51.1	100	867	14
8	Apple	美国	9189	15.2	100	310	11
9	Canon	日本	9099	8.3	48	304	67
10	东芝	日本	8600	9.2	18	437	190
11	Unisys	美国	7400	-4.4	100	101	46
12	西门子	德国	7191	-2.1	13	1228	382
13	AT & T	美国	7026	15.0	9	4710	305
14	EDS	美国	6413	23.7	64	822	8
15	松下	日本	5832	-6.1	9	240	254
16	Olivetti	意大利	5629	5.4	100	421	34
17	Bull	法国	5388	5.9	100	353	28
18	Sun	美国	4690	8.8	100	196	13
19	Microsoft	美国	4649	23.9	100	1146	15
20	NTTData	日本	4455	5.0	100	48	/

随着计算机产业的竞争向更高层次发展,计算机产业本身也逐渐分成“三个产业”。“第一产业”是指以制造业为核心,包括计算机零部件、网络产品、整机制造厂商以及相应的销售商。这部分厂商主要围绕计算机硬件提供产品。“第二产业”是指与软件相关的部分,包括软件制造商、软件销售商、信息制造商和出版商,他们主要围绕计算机软件和信息服务提供产品。“第三产业”是指本身虽不生产任何计算机软硬件产品,但他们却是保证计算机充分发挥作用的行业,它们主要包括一些提供技术咨询和方案咨询的公司以及提供网络设计建设和维修服务、信息服务的公司。未来,随着计算机的普及,咨询和服务将是特别有前途的行业。

这里还要指出,由于历史的原因,现在一些大的跨国公司已集服务、制造(硬件、软件、咨询)于一身,同时加紧向发展中国家进行渗透,以获取更大利润。

4. 娱乐、传播业

当今社会,信息已经深入到人们生活和工作的每一个角落。今后的信息社会的发展趋势是计算机技术、通信技术和消费产品技术相互融合,形成所谓的3C(Computer、Communication和Consumer)局面,目前国外一些新的词汇,如Teleputer(电视计算机)、Comvision(计算机电视)等的出现已预示这种融合时代将要到来。因此,娱乐、传播业(包括视像、家电、电子出版等)已经成为信息产业的一个重要组成部分。国际电联(ITU-T)在

其《1995年世界电信发展报告》一书中，也将广播、电视单独列出叙述。表4表示了一些国家娱乐、传播业的发展情况。表5是ITU1995年的统计。

表4 1995年几个主要发达国家家庭信息电子装置的普及率

国家	家庭总数 (百万户)	普及率 (%)			
		PC机	有线电视	卫星接收装置	游戏机
美国	97	35	65	4	42
德国	26	17	51	19	9
英国	22	17	4	11	19
法国	22	12	9	2	20

表5 1995年ITU统计资料

地区	电视 (千台)	家庭拥有比 (%)	家用卫星天线 (千个)	家庭拥有比 (%)	CATV	家庭拥有比 (%)
全球	1205429	21.7	36835	6.0	172972	23.6
非洲	26024	4.0	31.5	0.1	304	/
美洲	320226	42.3	4123.2	3.8	76516	42.2
亚洲	540614	16.3	9879.5	2.8	57208	14.8
欧洲	307114	38.9	22800.7	14.8	38936	24.7
大洋洲	11372	40.9	0.1	0.2	7	/

5. 新兴产业

随着信息产业的飞速发展，一些新兴产业如雨后春笋般蓬勃发展起来，特别是信息服务、信息咨询业发展。信息服务咨询业是近年来国际上新兴的产业，并已逐渐发展成为一个国际化的独立行业，有人称之为第四产业。它不仅在本国的经济发展中起着日益重要的作用，而且在国际经济与贸易中也逐渐成为不可缺少的一个方面。现在，据称国际信息服务咨询市场的年营业额已达百亿美元数量级，且正以每年25%—30%的增长速度发展，专家预计，未来的10—15年内，世界上一些最主要的咨询公司的力量和影响将大幅度增长，信息咨询公司的革新能力、创造精神以及认识问题和解决问题的能力将会在世界经济市场竞争中起着越来越重要的作用。

总之，全球信息产业的发展非常迅速，国际化的趋势日趋明显，特别是在制造业中（因服务领域大多要涉及主权问题）。发达国家正在想方设法利用发展中国家的廉价劳动力资源，以达到降低成本，提高竞争能力的目的。对这一点我们有一个清醒的认识。

五、中国情况

历史上来看，旧中国经济技术十分落后，信息业当然也不例外。建国以前，计算机当时还没有，通信也十分落后。1949年全国电话机只有26万部，绝大多数是人工的。信息制造业基本上没有，仅有可怜的设备也绝大部分是洋货，建国后很快建立起来了自己的信息和电子工业，开发制造了大量信息通信设备。发展了通信业，建立并逐步充实了全国通信网。改革开放以来，信息技术和信息产业更是得到飞速发展。

1. 通信

从建国到改革开放之初，近 30 年时间，我国建立起了一个全国电话网，到 1978 年全国有电话话机 368 万部，长途电路 1.9 万路。与建国时比分别增长了 14 倍和 6.6 倍。由于建国后实行计划经济体制、经济发展对通信要求不迫切，当时的通信网主要是为党政军指挥系统服务的，因此电话普及率低（为每百人 0.37 部），发展速度滞后于国民经济。从技术水平上看，当时大城市市内电话是机电式自动的，主要是步进制，部分中等城市、小城市和农村大量还是人工的。传输全国以明线为主，少量干线路由上有同轴电缆和对称电缆。全国建了一个省以上微波网，只传电视不传电话。同时建立了全国电报网。

改革开放十多年来，由于向市场经济转制，对信息需求急速增长，也由于各级政府政策上的支持，使通信业能按经济规律运行。同时对外开放又有可能引进国外先进技术。通信得到了空前的发展。到 1996 年 8 月，全国局用电话交换机的总容量已达 8080 万门，用户电话交换机容量达 1473 万门，电话机总数达到 6320 万部，长途电话电路达 90 万路；电话机普及率达到 5.47%，主线普及率为 3.9%，电话网的规模在世界上为第 3 位。“八五”期间电信年均增长率为 50% 左右。

电话网的技术水平有了质的提高，全国绝大部分的市内电话已是自动。包括农村在内，全国本地电话交换机中近 99% 为自动，其中 98% 为数字程控交换机，“八五”期间全国建了数万公里长的 22 条干线光缆，通达除拉萨外的所有省会城市和大多数地区所在地。微波和卫星通信也有了很大的发展。

在电话网大发展的同时，其它电信业务有了更大的发展，截至 1996 年 8 月，无线寻呼用户达到了近 2500 万户，蜂窝移动通信 1986 年开始使用以来每年翻一番以上，已达 560 多万用户，其中数字蜂窝移动用户为 89 万。数据通信开通了全国分组交换网，数字数据网（用户数分别达到 4.7 万户和 3.6 万户）；全国性电视电话会议已于 1994 年开通；电子信箱、可视图文、电子数据交换、传真存储转发、Internet 接入服务等增值业务均有所发展；用户传真发展也很快；只有公众电报业务已大量被电话和数据所代替，呈现不断下降趋势。

通信设备也有了很大发展，80 年代大量引进了国外先进的程控交换和传输设备。90 年代以来我国已有自行开发研制的 4 种大型程控交换机在网上应用，加上引进生产线中已掌握了大部分技术的 S—1240 型，已在网上占了优势。传输设备中我们自己研制开发了从 2、8、34、140、565Mb/s 的 PDH 数字光纤系列，并已在网上大量使用。最近已自行研制了发达国家也是近年才开始使用的 622Mb/s. SDH 全套数字光纤设备并已上线路试用。在数据通信等方面也已开发了一系列设备。

网络的建设和运行技术也有了很大提高，包括组网技术、网管技术、自动监控和维护技术、工程设计技术、施工技术等等。

2. 计算机

建国后我国 1958 年设计制造出第一台 103/104 型计算机。当时处于国际上中等水平，比日本先进，由于基础元器件水平跟不上，也由于国民经济发展对信息要求不高，我国计算机主要用于国防技术和某些自然科学研究中，与经济和社会发展有一定距离。因此相当长时期内发展速度不快，到改革开放之初我国自行研制 103/104 等小型机和其它机型，共生产了数千台。

改革开放以来，计算机的发展速度加快。1983年我国研制了银河 I 型亿次机，标志我国的计算机业迈入了巨型机的行列。后来经过努力，又于 1992 年研制了 10 亿次银河 II 型机，与之同时曙光机也在 1993 年研制成功，1995 年又研制成了曙光 1000 型并行处理机，运行速度可达到 25 亿次/秒。

在微型机方面，在 1984 年我国研制了与 IBM PC/XT 兼容的长城 0520B 型机，于 1986 年又研制了与 PC/AT 兼容的长城 0520 系列型机。由于进口微型机的冲击，后来大量是从国外购买散件组装的机器。但近年来，在汉化方面根据我国特有的优势，联想集团开发了系列机和汉卡，在国内市场上占有一定的地位，并已出口到不少使用汉字的国家。

1993 年我国生产计算机共计是大中型机 4 台，小型机和工作站 1210 台，微机约 64 万台，其中 46 万台为学习和游戏机，占 72%。

软件方面在通用基础软件领域，世界上已有几大系列，我国难以与之抗衡。在应用软件中，我国科技人员在各自领域中做了大量工作，取得了一定成就。如各行各业的 CAD 都有相当成果，但总的来看比较分散，没有形成力量。因此至今软件并未形成规模产业。

在汉字输入方面，已有几百种方案，真正得到应用的并不多。矛盾在于速度和普及。不需要大量记忆，一般人都能使用的方法速度都较慢；速度快的需要有熟练的操作水平，基本上由专门人员使用。这也大大影响了我国计算机的普及和信息化的进程。

3. 基础元器件和其它

我国在 1956 年做出了第一个晶体三级管，在 1965 年做出了第一块集成电路，但由于各方面的原因，发展速度不快。改革开放以来通过引进国外设备和技术，我国科技人员经过努力，目前 $3\mu\text{m}$ 线条已可批量生产， $1 - 2\mu\text{m}$ 的有试验线。在材料、生产设备、封装等方面都与国际先进水平有相当差距。近年来我国在集成电路设计水平上有较大提高，也引进了不少先进的设计工具，因此 ASIC 有相当发展。

在终端设备方面，一些较简单的终端如电话机等发展很快，不但占领了国内市场并已打到国际上，占领了一定的市场比例。较高级的终端设备则受集成电路限制较大，基本上是进口或组装。

在娱乐设备方面，我国引进了大量的录音机和电视机生产线，经过十多年的发展目前产量已占世界前列，质量提高也很快，录像机及高级音响设备还处于进口器件组装阶段，至于广播电视发射设备水平较高的还是依靠进口。

4. 今后发展

通信领域已有明确规划，到本世纪末，全国电话达到 1 亿部以上，城市中达到平均每户一部，电话普及率为 30%—40%。到下个世纪 20—30 年代达到全国平均每户一部电话，即全国普及率为 30%—40%。届时我国将建成世界上最大的电话网。网络的技术层次也将相应提高，将成为能传递多种业务的具有智能的网络。高速宽带大容量的各种传输和交换技术将得到广泛应用。有线和无线技术将相互结合，固定和移动通信将构成一体。

在语音、数据、图像业务的基础上，各种增值业务将得到大发展。其中相当部分将带有智能性，信息传递将和信息采集处理、信息使用更紧密地综合起来。

我国计算机的发展在继续开发各种规模的机型硬件的同时将充分发挥我

国优势，大力发展软件逐步形成产业。在应用软件和系统集成方面可能达到相当的规模。在计算机网络产品方面将从引进到逐步自行开发，并占有一定市场比例。计算机将渗透到各行各业，计算机应用日益广泛，并逐步进入家庭。

在正确决策下，集成电路将会有较大突破，建立起自己的集成电路产业，并在国际竞争中站稳脚跟，逐步发展。各种娱乐型系统和终端将很快增长。

5. 当前存在问题

1) 集成电路制约了信息产业各部分的发展，不得不大量依靠从国外引进整机或主要元器件组装，难以形成独立制造业。

2) 信息应用服务业仍处在传统阶段，信息技术向传统行业渗透还受到各种条件的制约，包括观念上的陈旧，人员素质上的不适应和一些已形成的利益格局的限制。

3) 信息业各个领域之间的综合还未真正提上日程，部门管理的限制也是个重要的因素。

4) 人才的缺乏，尤其是通信和计算机复合人才，计算机和应用（熟悉各个产业领域业务）的复合人才。

6. 应采取的措施

1) 要提高全社会首先是政府官员和企业经营者的认识，对信息的作用要有个正确的理解。下决心改变现有的一些制约因素。

2) 要建立和完善法制，包括法规和理顺管理体制。

3) 要有鼓励发展，特别是鼓励各个环节结合的政策。

4) 要研制制定集成电路和计算机的发展策略，采取战略性措施集中力量搞上去。

5) 要培养人才，尤其是复合型人才，在学校培养同时，更要强调在实践中锻炼。

6) 要全面看问题，看到信息犯罪、信息污染、信息侵略等方面问题，采取措施防止和尽量减少负面作用。

国际电信技术发展趋势 (1996)

孙 玉

电子工业部第 54 研究所

孙 玉 通信技术专家。1936 年 4 月生于黑龙江肇东。1962 年毕业于清华大学。历任电子部 54 所副总工程师、副所长、研究员、所科技委主任，国家科委“863”通信主题专家组副组长。1995 年当选为中国工程院院士。长期从事战略兵器试验系统及军事战略通信系统研制工作。

一、引言

近 30 年间，国际电信技术处于高速发展时期。在此期间，国际电信技术标准研究是在国际电信联盟 (ITU) 所属电报电话咨询委员会 (CCITT)、无线电咨询委员会 (CCIR) 以及 1994 年改组后的国际电联标准局 (ITU—T) 领导下进行的。由于电信技术与设备只有符合上述机构推荐的建议才能得到工程应用，所以国际电联标准局领导的研究方向，实际上就成了具有实际意义的国际电信技术发展的主流。

在最近的 24 年间，国际电信技术发展主流曾经出现过两个重大转折点。其一是 1972 年 CCITT 通过 G.711 (话音频率的脉冲编码调制—PCM) 和 G.712 (PCM 信道音频四线接口间的性能特征) 等有关话音信号编码的建议。从此之后的 24 年间，以数字化为基础，以综合化为核心的电信网技术主流得到高速发展。与此同时，计算机网技术和电视网技术也得到了迅速发展。其二是 1996 年 ITU—T 提出 IGII—PF (全球信息基础设施的原则和框架结构) 和 I.GII—SCEN.METH (全球信息基础设施总体构思方法) 等建议草案。这表明，ITU—T 的研究重点将从电信网技术/标准研究转向由电信网、计算机网和电视网融合而成的信息网技术/标准研究方面。

本文将着重介绍，在 1972—1996 年这两个重大转折点之间的 24 年中，国际电信技术发展概况；此外也想谈谈国际电联 GII 研究框架的提出，对我国电信技术研究及信息网建设可能产生的影响。

二、电信网基本概念

为了能简明地说清国际电信技术的发展进程，有必要对几个电信网基本概念加以说明。因为在近 30 年间，电信技术有了多方面的重大发展，这些技术发展之积累导致了网络体制的变革，进而引起了一些基本电信概念的演变，甚至有的电信概念至今尚来不及重新修订。

1. 电信定义

通信 (Communication)

在 CCITT 兰皮书 (1988) 中，可以找到四种通信定义 (E.600、F.710、Q.9 和 I.112)。其中 I.112 中定义：通信是按照一致同意的协定进行消息的传递。

电信 (Telecommunication)

在 CCITT 兰皮书 (1988) 中，可以找到三种电信定义 (G.701/M.60、Q.9

和 F.710)。其中 G.701 中定义：电信是利用有线、无线、光或其它电磁系统来传递代表符号、书写件、影像、声音或其它消息的信号。简而言之，电信就是利用电磁系统传递信号。

近年在中国电信界出现了多媒体通信一词，而在 ITU—T 术语定义（1991）中却找不到相应定义。但是这个名词却引发了对电信定义的推敲：如果把符号、书写件、影像和声音理解为消息的类别，那么对电信的定义无可非议；如果把符号、书写件、影像和声音理解为承载消息的媒体（Media），那么电信的定义就应当加以修改：电信是利用有线、无线、光或其它电磁系统来传递代表由符号、书写件、影像、声音或其它媒体所承载的消息的信号。此外，这个名词还引起了通信与电信这两个名词之间的混淆：通信是传递消息，电信是传递信号。这是两个不同的概念。但是在中国电信界，通常说的通信，实质上指的却是电信。如果这样理解认识妥当的话，就可以把多媒体通信理解为：利用多种媒体同时承载一种消息的电信。回过头来，就可以把传统的电信理解为：利用一种媒体承载一种消息的电信，即单媒体通信。

异步传递方式（Asynchronous Transfer Mode-ATM）

既然电信是传递信号，那么就存在传递方式问题。显然传递方式是电信网技术中的高层次定义。在 ITU—T 建议 I.113（1991）中定义：ATM 是指把信息编组成信元的一种传递方式；因为包含来自用户信息的信元不是周期性出现的，所以称异步方式。

看来这个定义仍有值得推敲之处：其一，电信是传递信号，那么 ATM 应当是把信号编组成信元的一种传递方式；其二，在电话网的传递方式中，单路数字信号是连续传递的，只是因为采取时分复用，才使得单路连续的数字信号在复接信号中呈周期性出现。其实，在分组数据网中久已存在两种传递方式：把连续传递称为同步传递；把不连续传递称为异步传递。只是未引入整个电信网而已。因此，可以把信号的不连续传递方式称为广义的异步传递方式。而在 ITU—T 建议 I.113：宽带 ISDN 术语汇编中定义的 ATM 则是指符合 I 系列建议规定的狭义的异步传递方式。回过头来，似乎应当把连续传递信号的方式称为同步传递方式。这与建议 I.113 同步传递方式（Synchronous Transfer Mode-STM）定义（周期地向每个连接提供固定长度字的一种传递方式）含意是一致的。

2. 电信网络结构

电信网（Telecommunication Network）是指在两个或多个规定的点间提供连接，以便在这些点间建立电信业务的节点与链路的集合。其中，链路（Link）是指两点之间具有规定特性的传输手段。这种传输手段是由传输系统与复接设备串接而成的；节点（Node）是指链路的互连点。这种互连点通常是交换机、交叉连接设备或者就是复接器本身。一个电信网络通常总是以特定的连接形式来提供电信业务。这种连接（Connection）是指承担特定电信业务的节点与链路之串接。通常就是交换机、复接器及传输系统的串接。

构造电信网络的基本考虑是，尽可能经济地连接各个用户；尽可能灵活地适应各种应用环境；保证各种可能的连接尽可能满足传输性能要求。所以电信网的结构与用户分布，用户环境及服务规定密切相关。早期的电话网结构，划分为长途网和市话网。随着应用及技术发展，电信网结构近年更改划分为基干网和接入网（参见图 1）。

其中，基干网具有明确的分层结构，而且这种结构是相对稳定的；多年

来，接入网都是一成不变地采取市话电缆分级结构，但是近年却酝酿着重大演变。究其原因，除了电信技术迅速发展之外，计算机本地网和有线电视网的介入与竞争也是重要原因。这些多种技术及多种业务向用户拥入，使得接入网结构捉摸不定，因此有可能把现存的接入网进一步分解为接入网和用户网。

3. 电信网社会环境

电信网与其它任何事物一样，都是在一定的社会环境下生存与发展的。社会环境涉及到多个方面及多种因素。

社会经济基础方面：发达的社会经济、发展中的社会经济与落后的社会经济，给电信网提供的是完全不同的生存与发展基础。国家政策方面：开放改革的国家政策与封闭保守的国家政策，加给电信网以完全不同的生存与发展空间。这两个方面是电信网生存与发展的决定性基础。在此基础上，以下三个方面将对电信网产生重要影响

- 经营方面：资金投入、经济效益及国家控制方式，例如：是否引入竞争机制；是否允许外资直接经营等；
- 业务方面：业务需求、服务质量及国家政策，例如：国家对电信网的税收政策、电信网对用户的收费规定等；
- 技术方面：社会科技对电信网的支持能力及电信网对电信产业的支持能力等。

上述经济基础和国家政策等决定性因素以及经营、业务及技术等重大影响因素，就决定了电信网络的萎缩、停滞或发展状况。近年来，一些经济发达国家和发展中国家，普遍采取有利于电信发展的国家政策，特别是普遍引入竞争机制，形成了经营上的高投入与高效益；业务上的广泛需求和满意服务；技术上的广泛支持与相应的回报，使得国际电信在激烈的竞争中高速发展。

三、电信网技术发展进程

本章介绍 1972—1996 年间电信网技术的发展轮廓。由于 1996 年以前的接入网技术比较单一且相对稳定，故此介绍的主要是基于网技术演变。此间技术发展是以数字化为基础的，而且网络总体技术研究直到 1994 年都是由 CCITT 第 18 研究组（数字网组）负责的，故此期常常把电信网称为数字网，而且在此期间形成的各种网络形态都称为某种数字网络：综合数字网（IDN）、综合业务数字网（ISDN）和宽带综合业务数字网（B-ISDN）。故本章介绍是以数字网为基础。

1. 数字网技术分类

数字网提供电信业务的基本形态是数字连接。因此，可以从数字连接着手分析归纳数字网的技术分类（参见图 2）。

如果把信号传递方向称为纵向，那么与之垂直的方向即可称为横向。纵向硬技术分类和横向软技术分类（参见表 1）。

表 1 电信网技术分类

技术分类		基本功能
硬技术（纵向）	终端 用户环 交换机 复接器 传输系统	用户规约接口 本地信号传递 信号交换 信号复用 远程信号传递
软技术（横向）	网同步 信令 网管 信号编码 损伤控制 标准接口	网络工作协调 网络状态控制 网络维护/运行管理 适配传递 保障传递质量 统一连接界面

纵向硬技术与横向软技术正交列表，就形成了电信网中各项具体技术分类（参见表 2）。

表 2 电信网具体技术分类

纵向技术 \ 横向技术	终端	用户环	交换	复接	传输
网同步	编码同步	传输同步	交换同步	复接同步	传输同步
信令	终端信令	用户信令	局间信令		
网络管理	终端管理	用户环管理	交换管理	复接管理	传输管理
信号编码	信源编码	传输编码	信源编码		传输编码
损伤控制	编码损伤	传输损伤	交换损伤	复接损伤	传输损伤
接口标准	终端接口	用户环接口	交换接口	复接接口	传输接口

2. IDN 发展阶段（1972—1980）

1972 年 CCITT 通过了建议 G.711 和 G.712，统一了话音编码方式 64kb/sPCM。有了共同基础，电信网技术数字化进程加快了。随后顺利地完成了系列模拟/数字单项技术替代：用数字传输系统替代模拟传输系统；用数字复接器替代载波机；用数字存贮程序控制交换机替代模拟布线逻辑控制机电式交换机。但是用户环数字化遇到困难：构成用户环的市话电缆造价几乎占整个电信网的 1/2，因而不容废弃。但是当时尚未找到在模拟二线上双向传递 64kb/sPCM 数字信号的适用技术。因此，作为阶段性结果，CCITT 把采用数字传输、数字复接、数字交换及模拟用户环路技术的网络形态，称做综合数字网（IDN）。

总体而言，这八年数字化进程是相当迅速的。究其所以，主要是因为所有这些技术替代都是在原有模拟电话网网络体制之上进行的，而原有模拟电话网的网络体制是相当完善的。IDN 较之原来的模拟电话网（PSTN），明显地改善了网络性能并降低了网络成本，但是并未给用户提供新的业务能力。

由于基干网络主要设备都是对应替代，而接入网仍然保持不变，所以，从模拟电话网向 IDN 过渡是自然顺畅的。

在这 8 年期间另一重要事件是出现分组交换公用数据网 (PSPDN)。本来原有的 PSTN 就能够支持电话业务和低速数据业务。事实上已经存在电路交换公用数据网 (CSPDN)。PSTN 中的电路交换方式支持电话或数据业务的过程都要分成两个阶段：建立连接和实施传递。对电话业务而言，假定用三秒钟建立连接，通三分钟电话，这样效率是令人满意的。对数据业务而言，假定用三秒建立连接，而通数据只需半秒钟，那么这样效率就嫌低了。就是因为这种效率问题，出现了不存在建立连接过程，只有传递过程的无连接分组交换方式，这就是 PSPDN。ITU 为这种交换方式研究制订了完整的建议系列 (X 系列建议)。最后要说明的是，这种 PSPDN 网络形态仍然采用 PSTN 或 IDN 的远程传输系统、复接设备和模拟用户环路。自己独立建设的仅仅是分组交换设备和用户数据终端。

3. ISDN 发展阶段 (1980—1988)

电路交换电话网与分组交换数据网络并存，给电信网络经营者带来额外负担，给用户带来使用不便，于是提出了统一电信网络问题。目标是建设统一的网络，使之既能支持电话业务又能支持数据业务。显然，这个目标对经营者对用户都有益。由于 PSPDN 本来就利用 PSTN 或 IDN 的远程传输系统、复接设备和用户环路，因此统一两种网络形态，其实就是统一两种交换设备，技术上就是统一电路和分组交换方式。

可惜，ITU 经过八年努力研究，并未找到这种统一的交换方式。作为阶段性的结果，把电路交换模块和分组交换模块组装在一个机箱之内，分别支持两种电信业务；在用户面，用户终端通过用户线接入交换机，首先进入业务识别单元，如果属电话业务就转入电路交换模块；如果是数据业务就转入分组交换模块。在网络面，电路交换模块直接接入 PSTN 或 IDN 网络；分组交换模块直接接入 PSPDN 网络。

在此期间，国际电信技术的一个重大突破是，在原有模拟二线用户线上，把双向数字传输技术推进到用户终端。这就是著名的 2B+D 数字用户环路技术。即在原有的一条二线用户线上，同时双向建立两条 B 通路 ($64\text{kb/s} \times 2$) 和一条 D 通路 ($16\text{kb/s} \times 1$)。这样就可以同时开通两条标准 (64kb/s) 数字电话和一条高速 (16kb/s) 数据。

CCITT 把这种具有电路交换功能、分组交换功能和 2B+D 数字用户环路功能的交换机称为 ISDN 交换机。与形成 ISDN 交换的同时，CCITT 把 IDN 所有的软/硬技术标准，根据电话业务、数据业务及其它窄带业务的要求，做了全面的修订，形成了更为完善的建议体系。根据上述硬技术和软技术所形成的网络形态，就是现在的综合业务数字网 (ISDN)。

4. B—ISDN 发展阶段 (1988—1996)

1985 年在 ITU 文献中出现了这样的文字：“Broadband aspects of ISDN-B-ISDN”。原意是在 ISDN 建议体系中解决一下有关宽带领域的一些问题。直到 1988 年才逐渐明确，后续目标是寻求一种能够支持所有窄带和宽带业务的全新统一的交换机制。进而形成一种适应所有电信业务的网络形态，即宽带综合业务数字网 (B-ISDN)。

1988 年 CCITT 通过建议 I.121、宽带 ISDN 的概貌。其中规定：ATM 将是解决实施 B—ISDN 的目标传递方式。于是引发了全世界对 ATM 技术的研究与

试验。

最初的 ATM，是在光传输基础之上，吸收电路交换和分组交换两者优点并避免两者缺点，作为一种具体的交换技术提出来的。在一个完整的呼叫过程中，划分为建立连接和实施传递两个阶段：建立连接与电路交换是一样的，这样做可以简化控制并减少延时，但是 ATM 建立的是虚连接，因而可以充分利用网络资源；实施传递与分组交换是一样的，这样做可以提高用户接入的灵活性，但是 ATM 的基本信元是固定长度的而且简化了纠错操作，这就简化了控制；由于简化了控制，并且把所有高速控制交由高速硬件执行，这就使得 ATM 能够支持高速业务。这样做确实达到了在原理上能够支持所有电信业务的目的：只要把各种不同的电信业务信号适配成统一的信元，就可以在 ATM 交换机中一视同仁地实施交换。但是这种适配要付出相应代价。对于适配数量较少的高速非实时数据来说，这种适配可能比较便宜；对于适配数量较大的低速实时数据而言，这种适配可能比较昂贵。综合多种业务而言，ATM 可能比较便宜，仅对低速数据业务而言，可能比分组交换设备昂贵；仅对实时话音业务而言，可能比电路交换设备昂贵甚至性能也欠佳。

至今，ITU-T 已为 B-ISDN 及 ATM 研究制订了大体完善的建议。ATM 的优越性能已被公认。问题是如何经济地工程应用。即如何实现图像、数据和话音业务的高性能和低成本地适配接入。目前，这些接入技术都有了良好的进展。例如：市场上已经出现图像编码与信元适配合一的通用卡，模拟图像信号通过这种卡就可以直接进入 ATM 设备；在计算机网络中也出现了一种工作组交换机设备。计算机或数据库可以采用原有的规约以星形方式接入工作组交换机形成本地网，这样就大大提高了本地网有效传输速率；工作组交换机的中继接口有 ATM 适配功能，可以直接与 ATM 网络互联。这种设备不但改善了互联功能并降低了互联成本。

值得特别说明的是 ATM 如何良好地经济地支持电话业务。把新研制的 ATM 交换设备与原有的 STM 交换设备组合应用，可能是良好、经济且现实的解决方案（参见图 3）。采用这种组合方案，电话用户仍然接入原有的 STM 交换机，仍保其原有的低延时和经济性；STM 交换机通过中继群适配接入 ATM 交换机，这种高速适配不会引起延时和经济上明显的损失；这种电话中继群以 ATM 信元形式，经固定虚连接通路进入中继节点，这就改善了局间传输效率；在中继节点通过中继 ATM 进入中继 STM 交换机，重新定向组群传往目的地；或者进入中继 ATM 直接在其中的话音服务器里分解并重新定向组群。这种组合交换机在网络/用户面（NUI）可以分别接入各种用户业务；在网络/网络面（NNI）可以分别连接各种电信网络。可见这种组合交换机具有相当灵活的支持多种业务的能力和相当强的适应多种网络环境的能力。这种交换机在相当长的时期内可能是 B-ISDN 实用交换方式。

5. 回顾与展望（1996—）

回顾 24 年来，电信基干网技术经历了 IDN、ISDN 和 B-ISDN 等网络形态，正沿着数字化、综合化、宽带化和智能化继续发展；移动电话网技术经历了模拟网、数字网等网络形态，正在朝着综合化、全球化和个人化方向发展；数据网技术经历了 PSPDN 和现代 PSDN 等网络形态，正在朝着综合化和全球化方向发展；电视网技术经历了共用天线和有线电视等网络形态，正在朝着数字化和综合化方向发展。这些网络技术发展之汇集，形成了国际信息网络技

术史无前例的持续高速发展浪潮（参见图 4）。

在此国际电信发展历程之中，国际电联功不可没，但是也不无失误。1996年初 ITU-T 负责人已经承认，国际电联标准研究工作偏离了市场方向。其实，在电信专家们因广泛采用 ITU 建议而受益的同时，早已感到某些困惑。例如：在 ITU 重点研究 ISDN 有关建议之时，移动电话却在全世界普及开来。而移动电话因无统一标准而形成春秋战国局面；例如：在 ITU 重点研究 B-ISDN 有关建议之时，规约更简单的 Internet 却在全世界普及开来。尽管如此，ITU 在国际电信高速发展的几十年间，基本上掌握住了发展主流。而且，经过反思之后，ITU 很快地针对国际电信市场做了研究方向调整，及时地提出了国际信息基础设施（GII）研究框架。这表明，ITU 的研究方向从追求网络和技术的完整性转到追求工程和应用的现实性。即把现实存在的 PSTN、PSDN、ISDN、B-ISDN 及其它网络资源结合起来，融合成真实适用的覆盖全球的信息网络，造福于现代人类社会。

四、结语

ITU-T 建议 I.GII-PF 中明确指出，国际信息基础设施的网络设施将由综合业务数字网（ISDN）、宽带综合业务数字网（B-ISDN）、公用交换数据网（PSDN）、电缆电视网（CATV）及其它现存网络组成。利用现代技术对这些现存网络施加合理的融合，使之成为能良好地为全球用户服务的无缝网络。大概这种网络才是名副其实的全球信息网络。不难看出这种多种网络的融合，实质上是电信网、计算机网及电视网三类不同网络间的结合（参见图 5）。

如果分析一下三类网络的结构，这种三网结合，可以分解为：三类基干网的结合和三类接入网的结合。其中，三类基干网的结合，在电信网的基础上可以比较容易地得到解决。其实这也正是 B-ISDN 目前正在重点解决的课题。而三种接入网的结合则超出了电信网的技术范畴。纳入 GI1 之中解决显然是合适的。这与 ITU-T 建议草案 I.GII-应用示例中列举的十种可能的接入方案是一致的。

我国目前也面临着类似的问题：电信网、计算机网及电视网分立，存在重复/盲目建设问题。这也是国家特别关注的重大的经济问题。但是我国存在这类问题的主要原因并不是技术问题而是国家管理体制问题。国家主管部门正在努力解决这个问题。如果国家管理体制问题不能解决，有关 GI1 或 NI1（国家信息基础设施）的支持技术是毫无实际意义的；如果国家管理体制得到解决，那么 GI1/NI1 支持技术准备就成了当务之急。出于中国传统的有备无患考虑，我国信息技术研究，首先是国家“863”研究计划应做相应调整：其一，在目前进行的电信网基干网有关研究中，不应再限于电信网方面，应当从三网的角度一起考虑，这种扩展大体上不会带来新的技术困难；其二，在适当的时候，应当把包含三网在内的信息网接入技术研究纳入计划。考虑到接入网现存基础的复杂性、应用环境的多样性以及对经济性的苛求，这方面的研究将是相当困难的。但是这方面的研究肯定是极其重要的。

机械学科人才培养的构思与实践

阮雪榆

上海交通大学

阮雪榆 塑性成形专家。1933年1月6日生于上海。1953年毕业于上海交通大学。现任国家模具CAD工程研究中心主任、上海交通大学塑性成形系主任、教授。兼任中国模具工业协会副理事长和上海工业协会副理事长。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事塑性加工和模具CAD技术研究。

现代化的人才培养需要树立一个新的概念，同时要创造一个良好的培育人才的环境。约在15年前，世界银行第一次向上海交通大学贷款，有几个学科得到了上百万美元的贷款，而我们的学科只得到了约合18万人民币的款额，那时我们学科的固定资产总共加起来仅合人民币60万（含18万贷款），这种条件下如何培养现代化人才，这是我们当时面临的重大问题之一。因此，不拿出好办法、机制不改变、不探索一条新的路，我们就不能建设我们新的教学基地。到底大学里培养什么样的人才，是面宽的还是面窄的，当时是存在不少争论的。但我的思路始终是：在大学中淡化专业的趋势不可逆转，特别是重点大学。重点大学培养人的目标，从专业水平上讲有两个方面：一是打好基础（工程学科的学生打好工程技术的基础，当然也包括必须掌握的其它基础）；二是对大学本科生来讲，主要培养他的学习能力（向老师学习、向书本学习、向文献学习、向工人学习、向社会学习），特别重要的是自我更新知识的能力；对研究生来讲，在基础进一步扎实和扩展的同时，学习能力继续提高，更重要的是掌握导师指导他的研究方法；对博士生来讲，除了有更宽厚的基础外，更要能够掌握有较好系统的研究能力和一定的领导科学研究的能力。这就是我们的目标，但达到这个目标没有一个新的概念和适合培养新人的环境的构思是不可能做到的。

为此，十四五年前，我们就开始了一个试验和实践：首先我们的思路是应该建立一个新型的机械学科人才教育基地。我们这个系属于机械学院，如果从纯专业角度上看，全部融到机械学院的话，就谈不上淡化专业的问题，也谈不上系统试验的工作了。因此，我就提出我们系必须培养机械、电子和材料一体化的人才，当然机械是我们的核心，也就是说机械设计技术、机械工艺技术和有关的管理技术等是我们的核心，材料（是基础）和信息（是手段）为机械服务。这里特别要强调的是机械、电子和材料三者不是平行的关系，否则将培养出三不像的“人才”。经过十几年的努力，我们取得了一些成绩，如本科生，国家教委领导看了我们系本科生的工作以后说，你们的毕业生很多单位都要抢的。结果去年的情况表明果然如此！原定要其他系毕业生的单位，也转过来要我们系的学生；国务院学位委员会对我们的硕士和博士点评估时，全部为A；另外，我们系又是博士后的流动站。在这里我特别感到建立一个体系是十分重要的，如对研究生，我们要交给他的的是一个工程化的能力，怎么使他学到的技术变为生产力，这是一个关键。上个星期我收到一位德国斯图加特大学著名教授的来信，他在看了我们做的工作（指教学

体系和研究体系)后认为：“你们是模具技术和金属塑性成形教学的王国，在世界范围内，我还没有看到如此好的一个学术、科技与工业的完美结合”。这是全世界的一大难题，从我们的工作看，应该说在一定程度上解决了这个问题，而且还是解决得比较好的。现在我们的教学和试验室的建设等工作，不但得到了国家教委和计委的支持，而且更直接地得到国内工业界的支持。如：我们和上海汽车工业总公司（1995年总产值居上海市第二位）在一年前建立了CAD的联合研究室，500万人民币的投资全部由总公司支付，财产是他们的，但我们来管理（前提是全部做他们的项目），这样我们的学生也可以随时进去练习和实践。通过合作我们建设了有6台工作站，6套进口的大型软件和10台HP微机（包括整个机房的建设），并配了6位年轻人（均为本科生以上）工作，5年内将得到总公司250万人民币的支持。像这样的联合研究室我系现在一共有11个，计算机工作站共20台（校内12台，校外8台），486和586计算机共60多套，并拥有全国最精密的坐标磨床一台（50万美元）。仅从设备能力上讲，我们系可能超过了我们学校的机械系、精密仪器系和计算机系，已经初步建立了一个比较现代化的教学基地，同时为人才的培养（在教学上和研究上）打下了一个良好的基础。目前，我们系从十多年前的60万人民币的教学设备到现在我们自己筹集到的、并已安装的设备（包括研究设备）价值达2000万；最近，国家计委已批准在我系的教学和研究的基础上建立国家模具计算机辅助设计和辅助制造的工程研究中心，总投资7000万；另外，我们的横向合同资金已超过1000万。所以，在“九五”期间我们所筹集的资金和设备将超过了一个亿，这样对我们一个每年招收几十名本科生、二十多名硕士生和博士生的系来说，已经进入了良性循环和持续发展的阶段，也完全达到“211”工程的要求。总之，在整个试验和实践的工作过程中虽然我们不断地改进我们存在的不足，但对于我们的方针：随着社会的发展，学科的互补、相互渗透乃至淡化专业的趋势不可逆转，具体地讲我们以机械为中心，加强信息和材料的结合的做法，是绝不会改变的。我们是怎么走到这一步的呢？我们的做法是正确处理好下列十一个关系：

一、基础和专 业

虽然现在我们的系被称为塑性成形工程系，但实际我们走的是机电、材料一体化的教学道路。当前许多大学里机械电子系不少，但怎么能把机和电真正的结合起来呢？我们有一些体会。如果我们提出把专业取消，无疑有很多人会反对，在这个问题上我们动了一些脑筋并专门做了点试验和实践，得出的结论是：只要基础扎实了，专业的互相渗透和柔性转化应该是不难解决的。

二、基础与能力培养

我们的目的是培养人，人是万物之灵，我们就是要把他们的基础打好和能力培养好，而不是培养他们成为“机器”。下面就举几个例子：

我们提出学机械专业的人搞软件行不行？学自动控制（没有任何机械背景的）的搞机械行不行？通过试验和实践，我们收获很大，即：1. 让一学自动控制的大学生（21岁）做一个机械CAD的工作，这个工作是和瑞士合作的项目，结果他完成了这个工作并得到了瑞士方面的好评，同时，瑞方认为他的成绩超过了一位机械学科本身的硕士生水平；2. 让机械学科的人负责开发

一个日本项目的软件，结果得到了日本公司的“感谢状”；3.我们在上海有一个与日本合资公司叫沙迪克软件公司，这个公司的负责人既不是博士，也不是硕士，而是上海交通大学精密仪器系的本科生（在我们模具中心工作了七八年），他和生产部长（是一位机械背景的硕士生），共同开发了神经网络模糊控制逻辑的软件，这完全是90年代的产品，这种机床在最近三年中完成了最新版本的软件，在世界上销售了400余台。由于这个公司成就比较突出，日本公司把原来在日本本土的软件的大部分移到上海来开发了，现在在这个公司的日本朋友只有一位（负责技术），其他全是25岁左右原模具中心的人；4.我们在外省某非重点大学要了三位大学生，他们在大学期间没有碰过计算机键盘，1995年8月来报到，1995年10月份，让他们为飞利浦公司演示了他做的一个项目，结果该公司的工程师看了以后非常满意。

上述情况表明如果单位用人不当，则有能力的人就会被埋没；反之，即使大学期间培养人不够理想或大学条件有限，但用人单位能对他继续再培养的话，这个人还是大有希望的。因此，在基础和能力的培养上，我认为不但在大学阶段是一个培养，而且在我们现有的工业企业中也完全应该是一个培养阶段，即：重新培养人、继续培养人、重新塑造人等。21世纪的人才培养是高等学校机关和教师的责任，同时也是社会的责任。

三、学科前沿与工程应用

作为一个工科学科的大学教授不搞学科前沿和不搞学术研究是肯定不行的。现在大学、研究所以及部委科技公司（局）等部门的领导，面临的不仅是学科前沿的问题，而且是怎么将科技成果转化为生产力的问题。这几年，我们也在探索一条路，特别是在最近高新技术的迅速发展，这条路在国外也不一定搞得好，德国的一位教授曾写信给我说：意大利也在探索这个机制，如厂矿企业中买了很高水平的计算机和软件，不能全部用上；1996年元旦期间，新加坡国立大学的教授告诉我，新加坡的工厂用计算机和软件的效率远远低于国立大学的水平。现在国内引进的计算机和软件不知花了多少个亿美元，但实际用得怎么样？因此如何转化为生产力是一个难得多的大问题。我们在这方面应该说得到了工业企业界的支持并取得了一定的经验。

四、研究与开发（R&D）、 技术转移（TT）与系统集成（SI）

国家科委和上海工业部门给科研部门下达的研究项目大部分属研究与开发（R&D）类的，我们也在R&D方面做了一些工作，但我们注意到国际上除R&D外，出现了技术转移（Technical transfer 或 TT）的潮流。这给我们一个很大的启示：如果你的技术成果不转移成生产力，即便你得了许多奖也是图有虚名，所以说技术转移是工业大学对企业支持的一个重要方面，我们有责任去做好这项工作。最近10年中，我们约有40%的力量投入在R&D的方面，R&D有两个内容：一是学术上的，我们就交给硕士和博士研究生去做，商品化的软件不给他们做，因为他们毕业后将离开，这会造成文档管理不完善；二是实用化，实用化的软件由我们的工作人员完成。我们约有60%的力量是投入在技术转移的工作上，主要服务对象是上海的汽车工业、家用电器工业和民营企业（个体企业）。交给民营企业CAD的技术时，我们不是当场签约的，而是要对他的产业进行一段时间的考验后，再决定是否签约，这样

做的目的主要考虑到我们的 CAD 技术转移出去后必须有成效。

现在世界上高新技术的发展的一个重要方向是系统集成 (SI)，这个概念对我们搞教育工作的人很重要，并有责任将这个新概念传授给我们的学生（当然不是具体的方法）。实际上，我们的老祖宗早就开始用了，中医开药方就是一个典型的系统集成的例子，如药方中有黄连，四川省的最好，那么我们就拿过来用，不能自己再去种了，但现在我们有很多的科学研究观点：这黄连必须自己种出来，不能到外面买！全世界这么多的高技术、新技术、先进技术和实用技术，我们恐怕一时难以做出来。我们要借助信息事业的发达，很快就可以通过合理合法的手段得到我们要的东西，并根据需要进行系统集成。这个系统集成的含金量就不是单项技术的含金量的概念。目前，世界上有两大重要的系统集成公司：一是美国 EDS 公司；二是日本 NTT DATA 公司，他们实行的就是“高科技外的高科技”。因此，系统集成技术的出现，使我们的水平又向前跨了一大步。

五、人才的系统集成与人才的柔性转换

人才的系统集成就是依据不同的需要，对有关人才的特点进行综合、优化而达到一个目标：研究-设计-技术转移-产品，加之灵活的人才柔性转换使新产品的诞生周期更短、质量更可靠和价格更具有竞争力等。实践表明，我们已初步取得了一些成绩。

六、科研与教学

作为从事工程教育的人来讲，一方面要做好教学工作，另一方面要搞好科研等工作，同时应该把上述第四点提到的新思维、新方法和新的观点潜移默化地并在一种熏陶的气氛中教给我们的学生，使学生既打好基础，又拓宽自己的思路，引导他们在今后走上工作岗位时，具有创新的能力和独到之处。

七、国际合作与国内合作 及其对教学质量的影响

作为工科大学，我们有责任帮助（或称合作）国有大中型企业、集体企业、乡镇企业、民营企业（个体企业）和合资企业等进行技术改造、技术进步。但如果我们的技术水平达不到世界水平，又如何去帮助他们。所以工科大学应该要有一个层次高和有效的国际合作。9年前，我们开始了这种国际合作，如我们学校与日本松下电工合作建立了一个联合研究室；与瑞士的斯勒思公司合作建立一个联合研究室。建立联合研究室的原则是外方公司提供工作站、软件以及工作间的其他设备，财产是他们的，使用权是我们的，我们首先为你服务并建立 Internet 网，你传给我，我帮你做，余下的时间我们学生用。由于我们有信誉和出色的工作，使外方的投资公司互相攀比，以至他们拿出最好的设备、软件以及更多的钱。9年来我们相继与日本的三菱、沙迪克公司、美国的 EDS 公司和英国的雷尼修公司等进行了合作，国外同行对我们的成绩也感到非常惊讶。在国际合作中我们得到了很多，重要的不是钱（当然他们的钱和设备我们是要的），而是得到国际上最新的科技信息。如机械工程人工智能在前 7—8 年热了一段，后来走了下坡路，大家说没有发展前途，但通过我们的合作渠道得知有一个成熟的智能化软件在美国已出现。我们有了这个平台就可以上去，因此这科技信息对我们来说就非常重要

了。另外，在确定计算机的型号时，我们没有买当时的热门型号，因为我们有信息知道它马上将过时。现在我们有 8 个国家的 11 套不同种类的大、小软件，这样为我们做系统集成、提高我们的研究水平等奠定了雄厚的基础。当我们的水平达到了世界水平之后，我们就有资格帮助国内工业企业；有了这些条件，我们的学生就可以享受这些先进的设备和软件，同时也为他们提供了良好的教学素材，无疑教学质量会得到提高。

八、纵向支持与横向支持

我们感到纵向的部委和省市课题是不可少的，但全部依靠部委的课题和省市的课题，而不去开辟横向课题是不符合社会主义市场经济的规律的。我们认为纵向和横向的课题是同样重要的，否则就没有我们今天这样的效果。国际合作和国内合作是相辅相成的。到目前为止，我们没有三角债，我们从 Internet 接到任务后，钱便到位。这样我们就可以用来武装我们的教学装备，提高我们的教学质量，培养出高水平的学生。

九、机电一体化中的“机”与“电”

机电一体化中的“机”和“电”的关系不是平行关系，作为机械学院，应以机械为基础：1. 设计技术（包括基础）；2. 工艺技术（包括基础）；3. 管理技术（包括基础）。我们国家在 50 年代，劳模搞高速切削等，做出了成绩；90 年代在国际上高速切削成为热门话题，但与 50 年代完全不同。现在的高速切削的概念是加工机床的计算机软件化（编程），高速切削刀具要重新研究其强度和刚度，加工而成的加工面为镜面状（光洁度）。由此可见，机电一体化，机械为主，计算机是工具，材料是基础，处理好这个关系就不至于被当成多一点机械多一点计算机就是机电一体化。现在机械工业 CIMS 的题目比较热，但现在我们 CAD 还没有完全过关，CNC 的机床用的情况怎么样，在这个问题上，我认为应先抓好 CNC、CAD/CAM/CAE 的技术。在此基础上，有条件的可以研究如何最有效地推广 CIMS 的问题，这一项先进技术是应该有条件地加以推广的。

十、校内培养与校后培养

我认为刚从大学毕业的人至少应是该单位的科技骨干力量的预备队，你要他设计一个东西，肯定不如在工厂工作 2—3 年的中专生，但将来大学生将从事的工作单位领导要心中有数，千万不要把他们当作中专生、大专生去用。要发挥他们的潜在能力，特别是研究生。由于我们国家目前对校后的培养没有一个比较完整的体系，或者说比较薄弱，跨世纪的人才培养不仅仅是在大学，尤其是校后的培养，所以我要特别地呼吁有关部门给予高度的重视。从当前的情况看，除了校后的培养，还有就是教师队伍的知识更新，他们同样需要跟上时代的步伐：掌握高新技术改造传统技术，进行工程化的学习（现在很多单位缺少工程化的概念）。由此，无论对校后的培养，还是教师本身的知识更新都是当前的紧迫的而又艰巨的任务，一个完整的体系必须建立。

十一、研究生、本科生、大专生和中专生的培养

关于研究生和本科生在前面我已发表过观点，这里我想提一下大专生的

培养需进一步加强；技校的培养也应是一个方向，但目前技校的培养都是车、刨、铣的传统方式。我们怎么使大专生和中专生的培养适应高技术、新技术、先进技术和实用技术的使用需要，这是摆在我们面前的（也可以说是亟待解决的）课题。

发展高技术及高技术产业 提高湖南经济增长的质量和效益

何继善

中南工业大学

何继善 应用地球物理学家。1934年9月11日生于湖南浏阳。1960年毕业于长春地质学院。历任中南工业大学地质系教授、副系主任、系主任、副校长、校长。先后任中国地球物理学会副理事长，中国仪器仪表学会电法仪器专业委员会主任。1994年当选为中国工程院院士。主要从事勘探地球物理的理论、方法和仪器在工程领域里的研究。

一、高技术发展情况介绍

（一）国外发达国家实施高技术概述

80年代以来，许多发达国家或集团为了争夺在世界经济乃至军事上的主动地位，都把发展高技术和高技术产业当作自己立国之本和新的国策，竞相制订和实施投资大、耗时长的高技术研究发展计划，一些新兴工业国家及地区，为了在这场新的世界范围内的竞争中寻找新的机会，也在纷纷思考、制订新的发展计划。美国的“战略防御计划”、西欧的“尤里卡计划”、日本的“人类新领域研究计划”、经互会的“2000年科技进步综合纲要”的相继出笼，就是世界上这种高技术和高技术产业竞争到白热化的重要标志。这几项计划几乎囊括了当代所有高技术和前沿学科，也表明了以发展高技术为中心内容的新技术革命日益向纵深发展，从而对世界的经济、技术、社会、政治和军事等方面产生巨大而深刻的影响。

1.美国的“战略防御计划”计划又称“星球大战”计划，它是美国于1983年3月率先提出的，是一项以近地外层空间为主要基地，以激光等非核武器为主要作战武器的多层次的太空综合战略防御体系。该计划实质上是一项以高技术为中心，带动国民经济、科学技术和国防全面发展，并凭借技术优势来谋求其战略和政治目的的全面性计划。特别是与“星球大战”计划密切相关的若干尖端技术的重大突破，为建立这一新的战略防御系统展示了较为现实的前景，主要体现在以下五个方面：激光技术、非核拦截技术、信息处理技术、航天技术、探测技术。克林顿政府上台后，认为在今后相当一段时间内，美国已有足够的实力控制世界的局面，即放弃“星球大战”计划，提出“信息高速公路”设想，兴起了世界各国建设“信息高速公路”的热潮。

2.日本的“人类新领域研究计划”，是一项同美国的战备防御计划和欧洲的尤里卡计划相类似的高技术发展规划，计划的宗旨是从本质上弄清生物体的各种机能，以便人工利用这些机能。该计划是一个庞大的针对生物工程的研究计划。该计划的实施，对今后世界上农业、医药、食品和化工技术无疑是一项创举。

3.西欧的“尤里卡计划”是1985年7月由欧洲17个国家和欧洲共同体委员会成员国倡议的，随后发展到19个西欧的国家。尤里卡计划的目的是，在高技术领域，通过企业和研究所加强合作，提高欧洲工业和国民经济生

产率以及在世界市场上的竞争能力，从而进一步巩固其持久繁荣的基础，使欧洲能掌握和利用对其前途具有重要意义的技术。通过实施该项计划，达到进一步加强和促进工业、科学和技术方面的合作，并为这种广泛合作提供方便，发展具有能打入国际市场的产品、系统设备与服务项目。尤里卡计划涉及到：信息和通信技术、机器人技术、材料技术、加工技术、生物技术、海洋技术、激光技术以及环境保护和交通技术等高技术领域。

4. 经互会的“2000年的科学技术进步综合纲要”又称“东方尤里卡”计划，是经互会成员国于1985年12月签署的《经互会成员国到2000年科学技术进步综合纲要》，提出了将在五个优先领域内组织密切、全面的合作，以便研究和采用崭新技术和工艺。这五个领域是：国民经济电子化、综合自动化、原子能动力工业、新材料及其生产与加工工艺、生物工艺。

（二）世界六大高技术群

发达国家高技术争夺战是以下述6大技术群为核心展开的：

1. 信息技术群，是新兴技术群的核心和先导，是未来世界的中枢神经系统。

2. 新材料技术群，是新兴产业和新兴军事武器的物质基础，是高技术发展的骨骼和肌体组织。

3. 新能源技术群，是替代传统的石油和煤等燃料能源的新途径，是未来社会物质运作的动力源泉，相当于心血管系统。

4. 生物技术群，是前沿中的前沿，直接或间接利用生物体及其组织和功能的全新领域，开发前景令人震惊。

5. 海洋技术群，是更好地开发和利用占地球表面积71%的海洋和海底资源的现代手段。

6. 空间技术群，是当今科技发展的“伟大”象征，是探索地球、太阳系、银河系以至整个宇宙的新起点，今天已经大大更新了人类开拓和利用太空资源的先进手段。

（三）我国高技术发展状况

面对世界高新技术革命浪潮的冲击，对我们来讲，既是严峻挑战，又是发展科学技术、振兴国家的良好机遇。党和政府对此高度重视，明确指出“要组织精干力量不失时机地开展高技术研究”，从1986年3月，我国组织知名专家对高技术的发展战略进行了全面论证并从此开始组织实施我国的“高技术研究发展计划”（即“863”计划）。

“863”计划有7个研究领域：它们分别是生物、航天、信息、激光、自动化、能源和新材料。实施“863”计划的总目标是：

1. 在几个最重要的高技术领域，跟踪国际水平，缩小同国外的差距，并力争在我们有优势的领域有所突破，为本世纪末特别是下世纪初的经济发展和国防安全创造条件；

2. 培养新一代高水平的科技人才；

3. 通过伞型辐射，带动相关方面的科学技术进步；

4. 把阶段性研究成果同其它推广应用计划密切衔接，迅速地转化为生产力，发挥经济效益。

我国实施高技术计划的主要成就：

1. 形成了我国高技术发展的总体布局

（1）确立了重点发展领域的部署。为了保证计划全面实施，在组织科学

家进行全国范围的调查研究后,将7个领域115个主题分解成1400余个研究课题,组织600余个有技术优势的单位投入到任务中来,逐步确立了我国高技术发展的主要领域,做到了战略目标明确、项目和课题部署层次分明,为我国的高技术研究打下了良好基础。

(2)组织了一支高水平的研究队伍。通过计划的实施,组织起一支学科齐全、精干的研究队伍。计划实施实行专家委员会和首席科学家负责制。参加研究的科技人员1万多人,不仅稳定了全国高技术研究的队伍,吸引一批海外学者、尤其是年轻科学家投身到计划工作中。

(3)建成一批高技术基地。经专家的反复论证,在国家有关部门的协助和共同努力下,组建了一批工程研究中心,这些中心逐步建设成为我国高技术研究 and 攻关的人才培训、对外交流与合作、单元技术实验和集成以及开发目标产品的基地,为科技的进一步发展创造了很好的条件。

2.取得了一批重要成果

“863计划”的执行在我国高技术发展中起了带头和核心的作用,为国民经济的发展和社会进步作出了直接的贡献。实施以来,共取得研究成果400多项,其中达到国际80年代中、后期水平的成果52项。有20余项阶段成果已进入中试阶段,正向产业化过渡。

(1)生物技术为农业持续增产提供了新途径。我国人口不断增加,耕地逐年减少,因此解决众多人口的食物问题是十分紧迫的。两系法杂交水稻育种技术研制成功是水稻史上的一个重要突破。具有高效固氮能力的大豆根瘤菌株,推广15万亩,平均每亩增产大豆10.8公斤。水稻玉米根际联合固氮的菌株,平均增产7.5%。我国已掌握了稳定有效生产“试管”牛犊的技术,居国际领先地位。还获得了转基因的快速生长的工程鱼。这些情况表明,运用生物高技术振兴我国农业已见到成效。

(2)新药研制为提高人民健康水平提供了新方法。乙型肝炎疫苗的研究和开发取得了重大的进展。如我国肝炎带毒者1亿多人,5年以前,肝炎疫苗要靠从美国进口。由于“863计划”成功地突破了关键技术,建立了发酵的分离纯化新工艺,为我国乙型肝炎的预防工作发挥了决定性的作用。现在,不仅能批量生产满足国内需要,还有一定的出口能力。

(3)为产业的技术改造和现代化提供了技术支撑。高技术可以为传统产业的现代化和技术改造提供有效手段。然而,高技术的投资大、风险也大,常常使一般企业望而却步。由国家实施高技术研究发展计划,进行“超前”研究,有利于企业选择适合的技术。在更新原有产品、改造落后设备、改革传统工艺、促进科学管理等方面,“863计划”中各个领域研究的新材料、新器件、新工艺、新设备、新能源等对企业的改造都起着带头和引路的作用。

(4)提高了我国高技术水平和国际声望。10年来,“863计划”的实施使我国高技术的水平有了明显的提高。不仅缩小了同国外的差距,增强了我国的实力,而且开拓了中国独特的研究领域,提高了我国在高技术领域的国际地位。

二、高技术的特点及其产业化的影响因素

(一)高技术的特点

单纯从技术范畴来定义,高技术是尖端技术,也是新技术,它体现了人类的智能集中度,是人类最新科学成就。高技术产业是以高技术为核心,通

过各种生产要素的引入、改进、组合与创新形成的。与传统技术比较，高技术有许多特点。正是这些特点决定了高技术能够影响产业结构以及产业结构变革方向。高技术的特点主要体现在以下五个方面：

1. 高效益 高技术具有显著的经济效益和社会效益。如美国是目前世界上计算机装备水平最高的国家，据统计，计算机每年完成的工作量相当于4000亿人的工作量，为美国现有人口工作量的2000多倍。另外还有许多高技术的效益是潜在的。例如遗传工程技术，到目前为止，投入仍大于产出，但可以预计，一旦技术取得突破，将会带来农业、医药、食品、林业、渔业、能源、化工、矿产等部门翻天覆地的革命。其经济和社会效益是难以衡量的。

2. 高渗透 高技术的可移植性很强，随着高技术的发展，高技术产业迅速向人类社会生活的各个领域渗透，包括国家政治、军事、经济、文化等众多方面，从整体上提高了社会的智能化水平。高技术的渗透性还广泛地体现在它促使传统产业实现现代化的社会功能上，使传统产业高技术应用中获得新生，得到发展。汽车工业是传统工业的代表之一，计算机技术对它的渗透性非常显著。在美国，汽车工业中大约50~60%以上的设计绘图是由计算机完成的。

3. 高要求 高技术发展要求广泛而多层次的技术支撑。通常是“丰富的科技资源、商业化的资源配置渠道、充足的风险资本、完善的辅助工业生产服务体系、有力的政府政策支持、良好的自然环境以及有效的信息传播网络。”国内外高技术产业发展的历史充分证明了这些技术支撑的重要性。

4. 高投入 对高技术进行研究和开发以形成高技术产业，必须投入高额资金和能力。由于技术等级高，因而高技术产业的设备投资额巨大，而高技术的快速更新，又给设备更新造成巨大压力。另外，由于高技术产业产品换代周期短，企业为尽快形成经济规模，以优价垄断市场，一般总是争取尽早地转入批量生产，因此必然快速、大量投资。此外，还要付给研究人员高额报酬。如日本用于高技术的投资1973年占国民生产总值的2.3%，而1983年占国民生产总值的3.25%，高达423亿美元。

5. 高风险 在传统产业中，风险来自两个方面。一是源于技术开发与创新中对未知的探索，即技术风险；二是开拓产品市场，占有市场的可能性，即市场风险。高技术产业除了这两层风险外，更主要的风险还在于本身更新快与可能不成熟的特征。这就使得高技术产业对技术风险的抵抗力比较薄弱。另外，与一般技术相比，高技术产品换代周期短、时效性强、更新快，这就使得高技术产业的风险性更大。

（二）影响我国高技术产业化的因素

从科研到产业有4个环节，即科研、开发、中试和产业化。这四个环节在循环中受到诸多因素的影响。其中主要有：技术成熟度、研究与开发方式、技术配套水平、决策结构与立项准则、利益分配、产权关系、投资方式、产业化环境、资金、信息沟通、组织与管理 and 政策法规等因素。

这些因素有着明显的层次性，每个层次的作用方式又各不相同。其中技术成熟度、利益分配和产业化环境为直接影响因素，这3个因素解决得好与坏，是高技术产业化能否顺利实现的标志，研究与开发、技术配套水平、产权关系、资金、信息沟通是影响产业化的深层原因，其中研究与开发方式、产权关系、资金是影响和制约高技术产业化的关键因素，能否加快高技术产业化，很大程度上取决于这3个因素的状况。决策结构与立项准则、投资方

式、组织与管理、政策法规是政府作用的主要方面，是上述这些因素中可控的部分。

高技术成果的转化是需要有一定的环境作为支撑的，其中资金和信息的沟通，为高技术企业提供优惠的政策和法律保证至关重要。政府、企业与金融界是高技术产业发展最重要的资金来源。对高技术应全面考虑现有技术水平、工艺条件和市场需求，那些实际证明不能按预期设想实现的项目应及时终止，以节约资金和人力。同时改变投资方式，吸引企业、金融机构及外商投资，变完全由国家承担经费和风险为经费、风险分担。

（三）高科技产业的实例

1. 航空工业

航空工业是一个典型的高技术产业的例子。首先航空工业是国防力量的基础产业。海湾战争证明，未来战争是以飞机和战术导弹为主要进攻武器的高技术战争。如果没有强大的航空工业就不可能应付现代战争，就不可能有巩固的国防。

其次，航空工业是国民经济发展的先导产业。当代先进的航空器高度集中了大量先进技术，它的发展必然带动我国有色金属、高温合金、橡胶工业以及石化、轻工、电子、机械等工业部门的发展技术水平的提高。如为使航空动力有更大的推重比，推动了轻质合金、复合材料的发展。由于航空高技术是综合性技术，它不仅带动了其它产业的发展，还导致新兴产业的形成，从而推动了工业技术的发展。

再次，航空工业是高附加值、高创汇率的重要产业。据日本资料介绍，按单位重量价值比较，如轮船为 1，则小轿车为 9，电子计算机为 300，喷气式民用飞机为 800，航空发动机为 1400；按附加值率计算，航空产品为 44%，钢铁为 29%，汽车仅为 25%。如美国出口一架波音 747 客机，可以弥补进口 12000 辆小轿车所创造的逆差，从我国的实际情况看，出口一架歼七飞机的价格等于 2~3 万台双缸洗衣机出口价格的总和。

同时，随着我国国民经济的发展，对民用飞机的需求日益增长。据统计，截至 1993 底中国民航及各地方航空公司拥有各型运输飞机 373 架，其中进口 7 个国家 32 种型号飞机 310 架，占机队总数的 83%；国产飞机仅有 63 架，占机队总数的 17%。据英国宇航预测：1991 年至 2010 年，中国需订购支线飞机 449 架，欧洲空中客车公司估计：未来 20 年中国外购飞机价格总额将达 400 亿美元。

2. 高技术产品的例子

广东风华高新科技股份有限公司是一家以新型片式电子元件、电子材料及电子专用设备为龙头产品的外向型高新技术企业集团。该公司 12 年前只是一个单纯依靠引进外国设备起步生产独居石电容器的百人小厂，销售收入不足百万元。多年来坚持走引进、消化、吸收、创新、“产、学、研”相结合的路子，通过高新技术的产业化，在短时期内高新技术含量得到了大提高，企业规模得到了大发展，经营效益得到大腾飞。实现企业的销售收入、利润及出口创汇连续八年翻番的惊人成绩。成为我国具有较大技术领先和规模优势的高新技术微电子基础产品的科研、生产、出口基地。从该企业我们得到了几点较深刻的启示：

（1）企业需要高技术

该公司在引进初期，依赖外国的原材料，受到外国公司提高价格和供货

限制，制约了生产的发展和产品的升级换代，使产品总落后于世界先进水平，在国际市场竞争中处于被动地位。虽然不断努力，力求有所突破，但苦于技术力量单薄，一直未见有大的成效。后来进行了我国高技术“高性能低温烧结 MLC”的转化，使企业产品成本大幅度下降，产品性能大大提高，技术指标迅速达到世界先进水平。优良的性能价格比使目前的 MLC 市场容量迅速增长，填补了国内空白，完全取代了进口，MLC 产品质量也随之显著提高，部分产品出口美国。

（2）高技术需要企业

“科技是第一生产力”关键体现在产业化，高技术也只有通过企业转化，才能变化为现实生产力，才能走向市场，才能真正取得效益。只有企业才具备在激烈的市场竞争中把重大科研成果迅速转化为现实生产力，增强市场竞争能力的迫切要求和投放实力。该企业之所以在短时间内就能把高技术成功转化，首先，因为企业拥有资料国产化研究的基础，已有一批长期从事该领域开发研究并积累了丰富经验的工程技术人员，已有必要的试验设备；第二，企业看到了这个项目的发展前景和国际市场的巨大潜力，舍得大力投入，为该项目的转化购买了必要的先进测试手段和一条完整的中试生产线；第三，企业可迅速直接地把成果推向市场，推向国际并不断从市场的快速信息反馈中获得对技术发展的需要，“需要”就是科技再开发的原动力。企业的发展需要及市场需求又对高技术不断提出了新的要求和课题时。因此，要把高技术转化的重点放在企业。

（3）高技术成果转化关键在于人

高技术项目的转化必须发挥一批既有现代化科技意识，又懂经营会管理的综合型人才的优势，使企业的决策始终站在市场的前面。还要为科技人员塑造一个人尽其才、才尽其用的社会氛围和企业氛围。风华发扬了创新、进取、敬业和敢于参与国际竞争的精神，与大学院所密切配合，在较短时间内通过艰苦的努力，才使成果转化取得巨大成功。

三、“高技术”界定方法

高技术及其产业发展已被众多国家视为本国经济实力增长最强劲的推动力。制定发展高技术产业政策的前提是对“高技术”进行界定。目前，西方国家大致有两类比较典型的方式描述高技术产业的发展，一种基于产业的方式（Industry-based method）即界定高技术产业（行业），一种是基于产品的方式（Products-based method），即划分产业（行业）高技术产品类别。通常以下列三个指标作为界定高技术产业和产品的依据。

1. R&D 密集度，如 R&D 经费支出占制造业总产出（按增加值计算）或总销售额的比重。

2. 科技人员比重，如从事研究开发人员占职工总数的比重。

3. 产品可见的技术复杂程度，如产品的技术水平、产品生产的设备、工艺水平等。

通常，用上述一个或几个指标的组合作为界定和划分高技术产业和产品类别的标准。基于产业的界定方法，是从产业层次入手，试图从宏观上反映高技术产业的规模和结构。但在一个产业中，并非所有的产品都是高技术产品，因此，这种宏观的方法有可能高估某个高技术产业规模；反之，某些产业从全行业的角度尚不能成为高技术产业（行业），但也有一定比重的高技

术产品，因此，也有可能低估其高技术的总规模。

基于产品的划分方法，其优势在于将非高技术产品排除在外，即它是高技术产业所生产的。同时，这种微观的方法为贸易和政策分析提供了更为详细的信息。但由于目前尚未形成一套产品分类的国际标准，这种方法只能依据国际贸易中使用的以产品为基础分类的《海洋统计商品目录》进行，因此，对高技术产品的分类主要在分析高技术产品的国际竞争力中使用。

（一）关于高技术产业的界定方法

OECD（经济合作与发展组织）把 R & D 密集度（R & D 经费占工业增加值的比重）作为界定高技术产业的标准。1996 年，OECD 将对于其他制造业而言具有较高 R & D 密集度的计算，大产业界定为高技术产业（见下表）。R & D 密集度的计算，以 13 个 OECD 成员国的 22 个制造业行业 1980 年的数据为基础，产业分类采用 ISIC（国际标准产业分类）。1992 年 OECD 重新审定了上述定义，其界定结果仍未改变。由于对 R & D 经费的统计已有国际规范，易于操作，同时 R & D 密集度又体现了高技术的特点，OECD 的高技术产业界定方法以及由此得出的高技术产业的分类，在国际比较中被广泛采用。

OECD 确定的高技术产业	R & D 密集度
飞机、航空器制造业	22.7
办公及计算机设备制造业	17.5
通讯设备制造业	10.4
医药品制造业	4.8
科学仪器制造业	4.8
电气设备制造业	4.4

但“高技术”本身是一种范围较广、涉及问题较多，且随时代发展不断变化的概念，因此对高技术产业的界定至今尚无国际公认的方法和标准，也有一些国家根据本国的经济、产业发展的特点，采用不同的界定方法和标准来划分本国的高技术产业。

1982 年，美国商务部（DOC）以各产业 R & D 经费支出占工业增加值的比重以及科学家与工程师、工程技术人员占整个产业职工数的比重来界定高技术产业。据此，化工产品制造业、非电气机械制造业、电气机械制造业（包括电子设备）、运输设备制造业（包括导弹、火箭）和仪器、仪表制造业共五大产业归属于高技术产业。

《1994 欧盟科学技术指标报告》把有很高经济增长率和国际竞争能力，有较大就业潜力，同时 R & D 投入高于所有部门平均水平的航空航天制造业、化工产品制造业、医药品制造业、电气设备制造业、电子设备制造业、数字处理办公设备制造业、汽车及零部件制造业、科学仪器制造业共 8 大产业作为技术密集型或先导型产业。

但从国际比较的角度看，包括美国在内的几乎所有发达国家都应用 OECD 的方法进行国际比较。

从以上可以得出几点结论：

1. OECD 关于高技术产业界定是从产业层次入手界定的高技术产业，试图从宏观上反映各高技术产业的整体水平；

2. OECD 对上述方法的使用目前仅限于制造业范围；
3. OECD 划分的高技术产业分类已在国际比较中广泛应用。

(二) 关于我国高技术产业的界定

由于统计资料的来源等方面的问题，目前我国尚不具备采用国外类似方法测算、确定自己的高技术产业的基础，又考虑到进行国际比较的重要性，我们暂时借用 OECD 确定的高技术产业分类和与之对应的我国高技术产业分类。

OECD 确定的高技术产业	我国对应的高技术产业
飞机、航空器制造业	航空、航天器制造飞机修理业
办公及计算机设备制造	电子计算机制造
	电子计算器制造
	复印机制造
	打字机及油印机制造
	其它文化、办公用机构制造
通讯设备制造	电子及通信设备制造（不包括其修理业，以及电子计算机制造）电子工业专用设备制造
医药品制造	医药品制造
科学仪器制造	光学玻璃制造医疗器械
——其它专业	
科学测量和控制设备制造	畜牧兽医医疗器械
——照相及光学器材制造	仪器仪表制造（不包括复印机及油印机、其他文化、办公用机械制造和修理业）
电气设备制造	电气设备及器材制造
（不包括通讯设备制造）	

(三) 高技术产品分类方法

界定什么是高技术产品有多种方法，但目前被 OECD（经济合作与发展组织）采用，并较为广泛应用的是美国商务部制定的高技术产品分类。

早在 1971 年，美国商务部就依据某类产品销售额中 R&D 支出的比重和科学家、工程师、技术工人占全部职工的比重均大于 10% 为标准，结合本国的《工业标准分类》SIC（Standard Industrial Classification）确定了高技术产品目录，该分类方法称 DOC1。

1977 年，由于《国际标准贸易分类（SITC）》的出现，美国为分析技术创新对国际贸易产生的影响，在 DOC1 的基础上进一步完善，并考虑了 SITC 的分类，改进了原有的高技术产业目录，称为 DOC2。1982 年，美国在高技术产品分类方法上的研究进一步深入，提出确定高技术产品不仅要依据最终产品用于 R&D 经费的多少，同时还要考虑中间产品（即最终产品的零部件）所支出的 R&D 经费。把某类 R&D 支出大大超出其它产品，确定为高技术产品，即称为 DOC3 的方法，依据该方法确定的 12 大类产品为：

SIC（Standard Industrial Classification）

376 导弹以及航空器

365 无线电及电视接收设备

366 通讯设备
367 电子元器件
372 飞机及零部件
357 办公设备及计算、会计仪器
348 军械用品
283 医药制品
281 工业用无机化工制品
38 专用设备及科学仪器
351 发动机及涡轮机
282 塑料材料及其合成制品，合成纤维及其他人造纤维（不包括玻璃制品）

1989 年以前，美国商务部利用上述方法对高技术产品的进出口状况进行统计和分析。随着美国商务部所使用的国际贸易分类的变化，目前高技术产品分类从原以《国际标准贸易分类（SITC）》为基础，改为以海关合作理事会制定的《商品名称及编码协调制度（HS）》为基础的进出口商品统计分类。在以往对高技术产品定义和分类进行研究的基础上，又增加了定性分析，对高技术产品进一步筛选，把满足以下两个条件的产品定义为高技术产品：

1. 产品的主导技术必须属于所确定的高技术领域；
2. 产品的主导技术必须包括高技术领域中处于技术前沿的工艺或技术突破（breakthroughs）。

所确定的高技术领域包括 10 大领域：（1）生物技术，（2）生命科学技术，（3）光电技术，（4）计算机及通信技术，（5）电子技术，（6）计算机集成制造技术，（7）材料设计技术，（8）航天技术，（9）武器技术，（10）核技术。据此，依据 HS 前 6 位代码所划分的高技术产品共有 222 类。由于 HS 前 6 位代码为国际通用代码，按照美国的这种方法进行国际对比是非常方便的。

目前 OECD 组织对于高技术产品的划分尚无形成具体的标准，该组织在进行国际比较时一直采用美国的高技术产品目录。从 1990 年开始，参照美国的分类方法从我国的“海关统计商品目录”中分离出高技术产品，并据此以对我国的高技术产品进出口情况进行统计分析。

目前，采用的高技术产品分类就是上述 10 大高技术领域的 222 类产品。按照该分类，1994 年我国高技术产品进出口总额达 269.37 亿美元，占全国商品进出口总额的 11.4%，具体情况如下：

1994年全国高技术产品进出口情况

单位：亿美元

	进出口总额	进口总额	出口总额	贸易逆差
1993 全部商品 (A)	1957.13	1039.50	917.63	-121.87
工业制成品 (B)	1648.22	897.35	750.87	-146.48
高技术产品 (C)	205.85	159.09	46.76	-112.33
CA (%)	10.5	15.3	5.1	
CB (%)	12.5	17.7	6.2	
1994 全部商品 (A)	2367.31	1156.93	1210.38	+53.45
工业制成品 (B)	1055.55	992.24	1013.31	+21.07
高技术产品 (C)	269.37	205.95	63.42	-142.53
CA (%)	11.4	17.8	5.2	
CB (%)	13.4	20.8	6.3	

四、湖南省高技术产业现状与趋势

湖南省高科技产业的发展，80年代后期开始起步。随着改革开放的日益深化，社会主义市场经济体制的逐步建立，加上我省的区位和资源优势，较雄厚的工农业基础，迅速发展的外向型经济和第三产业，为高科技产业的发展提供了良好的政策、社会经济环境和难得的机遇。科技实力不断增强，为高科技产业化奠定了一定的基础。

(一) 高科技产业崭露头角

省内的高科技产业，自1988年起，已进入有专项计划、有组织发展的新阶段。据统计，1992年我省高技术产业实现产值55.29亿元，占全省工业总值的(983.83亿元)的5.62%，创利税5.746亿元，利税率为10.39%。

指导高科技产业发展的火炬计划顺利实施。1988~1993年，累计实施国家级和省级火炬计划项目158项(其中国家级32项)，投入3.645亿元。全部完成后，可实现年产值19.7795亿元、利税7.965亿元，创节外汇1.518亿美元。一批优秀项目，已形成规模经济效益，有的产品进入国际市场。年产值1000万元以上的一氧合成分散染料及中间体、铁铝酸盐水泥等8项，500万元以上的有电子天平、钢结硬质合金等15项。

五大领域高科技研究和产业开发初见成效。超硬材料、新材料、家用电脑及其软件、基因工程水稻、数控磨床系列等18大技术优势，有的已形成年产值上亿元的大产业。

1. 新材料具有资源和技术优势，在科研、生产、教学、实验手段诸方面属国内先进水平或居领先地位。一批研究成果令人瞩目。耐高温、耐腐蚀、稀土等合金新材料，陆续在国防、电子仪表、机械等行业推广应用。不锈钢纤维、碳化硅纤维、金刚石薄膜、人造金刚石、高温超导材料、热喷涂合金、磁屏蔽材料、精细陶瓷器件、非晶态材料等成果，达到世界先进水平。新材料工业化开发已有长足的进步，具有五大优势：一是超硬材料。已形成年产值达4亿元的产业群，湖南成为全国第二大超硬材料中心。二是粉末冶金材料。中南工大研制的粉末冶金新材料居全国领先水平，已广泛应用于航空、航天、坦克、火箭等国防工业。三是硬质合金材料，已形成年产值达4亿元的产业。四是高效低毒新农药。全省原药年生产2万多吨，仅次于江苏。五

是染料、颜料系列新产品。已形成年产值达 8000 多万元的规模效益。

2. 生物技术领域的农业、医药与医学等方面具有明显的优势。农业生物工程方面，两系法杂交稻和遗传工程稻、两系法杂交小麦、鱼类细胞工程和经济真菌细胞工程等项研究，居国内领先水平。医学基因工程技术方面，湖南医科大学的人体癌基因在染色体的基因定位、异常株蛋白分子链的一级结构分析、分子杂交法基因病毒产前诊断技术等研究，均处于国内先进水平。人类高分辨染色体技术达国际先进水平。自体、导体试管婴儿已培育成功，使省内人类生殖科研进入世界先进行列。同时，研制出一批基因工程和细胞工程产品。

3. 电子与信息技术在国内具有较大的优势。磁盘驱动器、机器人视觉系统与行走装置、无人小车、计算机汉字信息技术与模式识别、模糊逻辑计算装置、办公系统等研究成果，居全国前列。国防科大的银河 K 亿次和银河 K 10 亿次计算机系统，属国内仅有，达世界先进水平。

4. 机电一体化产业，通过技术引进、技术改革和科学攻关，有了明显的进步。已有 33 个企业 225 个单项采用计算机辅助测试和辅助管理，能耗、材料明显降低，装备条件得到改善，工艺水平得到提高。通过产品结构调整，高技术、高附加值产品开发也得到很大的发展，机电一体化产品品种率已从大到 3% 增加到 8%。其中 108 吨和 154 吨电动自卸车、50 吨全路面汽车起重机、电力机车、双金属带锯条、集装箱起重运输车、电子天平等产品，达国际 80 年代末先进水平，居国内领先地位，并开始进入国际市场。

5. 新能源、高效节能和环境资源保护新技术领域研究开发，取得一批重要成果。全省的能源建设，经过几十年的努力，至 1992 年底，发电装机容量达 652.4 万千瓦，其中水电 331.3 万千瓦，火电 321.1 万千瓦，全年发电量 227.35 亿千瓦时，但仍缺电 25—30 亿千瓦时。能源短缺是制约我省经济发展的重要因素之一。长期以来，黑色和有色金属冶炼、化工、化肥等工业只能季节性生产，生产能力得不到充分发挥。能源开发利用上，做了大量工作，农村沼气资源的开发新技术在全国处于先进水平。太阳能、地热能、风能的利用，也有一些阶段性成果。还推广了一批高新节能技术。但总体来说，与国内先进省（市）相比，还存在较大差距。

（二）高新技术产业开发区建设进展较快

长沙、株洲两个国家级和湘潭、岳阳、衡阳三个省级高新技术产业开发区，软环境逐步改善，硬环境建设进展情况良好，为全省高科技产业的发展起了示范和龙头作用。

（三）发展高技术和高技术产业，提高湖南经济增长的质量和效益

杨正午同志指出：“要重点开发、推广新材料、生物技术、电子与信息、机电一体化、新能源与环保新技术等五个领域的科技成果，并使其逐步形成产品优势和产业优势。”

湖南省高科技产业发展领导小组于 1994 年 7 月制定的《湖南省 1994 年～2000 年高科技产业发展实施计划》中提出了发展湖南高科技产业的八条措施：1. 提高认识、统一思想；2. 落实组织，加强管理；3. 明确政策，优化环境；4. 广辟财源，增加投资；5. 开拓市场，促进营销；6. 发挥优势，转化成果；7. 强化基础，增大后劲；8. 培育人才，开发智力。

我省现状和发展趋势的分析说明，我省发展高技术及科技产业是领导重视，群众积极，组织落实，措施得力，基础扎实，成效显著。高科技产业完

全可能成为一个重要的经济增长点，在实现提前翻两番、跻身全国十强的战略目标中发挥重大作用。但发展中面临着一些困难和问题，如：投资强度太低，远远满足不了高科技形成产业的要求；有关政策不够完善、配套，软环境有待进一步改善；传统经济模式形成的部门分割、地区分割的管理体制与发展不相适应，运行机制不够灵活。科技力量分散，缺乏产业化的经营管理人才等。

这里我谈谈一些片面的不成熟的关于发展高技术及其产业的想法：

1. 政府要引导研究和开发有湖南特色和资源优势的高技术。湖南是闻名的鱼米之乡和有色金属之乡，这是特色和优势；全国研究鱼和研究米的院士在湖南，我国有色金属的最好的高等院校在湖南，这是优势；我省有全国唯一的国家粉末冶金工程研究中心和国家粉末冶金重点实验室，这是优势；我省有一些在全国乃至世界都有影响的科技成果，如银河亿次计算机，这又是优势；我省有许多技术水平、管理水平和设备条件等都很不错的大中型企业，这也是优势。因此，我省有能力研究和开发具有湖南特色和优势的高技术。政府可以根据有关发展规划，通过项目带动，组织攻关，积极引导，使这种研究和开发与我省经济发展紧密联系在一起，并保持某些领域行业（产业）处于领先的地位。这种研究和开发比起引进高技术，应该说更是有战略意义，对促进持续提高我省经济增长的质量和效益具有深远的意义。

2. 政府要鼓励企业成为科技投入的主体。党和国家实施科教兴国的战略，是把“科技是第一生产力”的伟大论断上升为国家意志，但并不是全体公民都认识这一道理，科教兴国的全国意识还未形成。由于历史原因，一方面高等院校科研院所缺乏研究开发经费，或研究内容远离经济建设；另一方面企业严重缺乏研究开发队伍，苦于没有科技成果用于产品更新换代或技术改造，从而造成科技与经济脱节。改革开放以来，政府就此做了不少努力，取得显著效果，但由于旧观念的影响，个别企业领导的短期行为，配套改革没有到位等原因，科技与经济脱节的状况没有根本改变。因此，有必要：一是加强科教兴国的宣传；二是鼓励企业成为科技投入的主体，包括科研经费的投入，开发经费的投入、中试经费的投入和产业化所需经费的投入；三是促进“产、学、研”联合体开展实质性的联合。

3. 高等院校科研院所要树立科技工作面向经济建设主战场的思想，鼓励科技人员到企业、到生产第一线找课题，找经费，乃至兼职，把发展高新技术与我省经济和社会发展紧密结合起来。

4. 发展高技术和高技术产业必须对有限的目标突出重点，集中力量解决制约我省经济发展的关键领域。目前我省财力、物力有限，不可能在高新技术及其产业领域全面铺开。因此，要进行科学规划，选准项目，把各种力量组织起来，将财力、物力适当集中，将我省的科技优势充分发挥出来，就能干成几件大事。

5. 发展高技术及其产业必须要为老企业的技术改造服务。目前我省有相当一部分是传统产业，它们是我省经济的主体，其大部分设备工艺落后，产品技术含量不高，企业经济效益不好，需要进行技术改造。技术改造要有高起点，要瞄准大市场，要与发展高技术产业结合起来，促进我省经济整体素质提高。

6. 发展高技术及其产业必须要为产业结构调整服务。产业结构是国民经济整体与各个部门之间、各部门彼此之间以及各部门内部各个组成之间的相

互联系和对比关系。产业的划分一般是：农牧业为第一产业，工业建筑业为第二产业，交通运输、商业、信息以及各种服务行业为第三产业。一般认为产业结构的形成与变化受自然资源条件、生产需求、生活水平、劳动力和资本拥有情况、生产技术体系、国际贸易、国际分工结构等因素的影响，但最主要的因素是科学技术进步。高技术强烈影响着产业结构的调整。

7.发展高新技术产业必须抓好人才培养和使用工作。发展高新技术产业关键是人才，特别是跨世纪的优秀人才。不仅需要一大批有能力为发展经济和市场需要而从事研究开发的科技人才，而且要努力造就一大批既懂科技又懂经济，会经营、善管理、富有事业心的企业家，同时还要培养一大批熟练的技术工人。现在很多企业经济效益不高的重要原因之一不是技术因素，而是由于企业管理、工艺操作等方面的非技术因素造成的。

8.发展高技术及其产业，要加强知识产权的保护力度。既要用法律保护自己的知识产权，又要尊重他人的知识产权。现在有一些企业的产品质量好、知名度高，在市场上很有竞争力，但忽视了商标注册，结果自己反而成为被告；或者被大量的假冒产品挤垮了。这样的情况在我省也有不少例子。另一方面，有些企业利用高等院校科研院所的试验室成果进行中试成功后，就甩掉成果拥有者，严重地打击了科技人员的积极性，这种情况在我省也有所出现。因此，要加强知识产权的保护力度。

高温超导材料研究进展

周廉

中国有色金属工业总公司西北有色金属研究院

周廉，超导及稀有金属专家。1940年3月11日出生于吉林省舒兰县。1963年毕业于东北大学。现任西北有色金属研究院常务副院长、教授、国家超导专家委员会首席专家。兼任中国材料研究学会副理事长。1994年被选聘为中国工程院首批院士。主要从事超导材料及稀有金属材料的研究，并取得多项重要成果。

一、超导材料研究发展回顾

1986年 J.G.Bednorz & K.M.Muller 发现氧化物高温超导体，是最近几十年来在物理学和材料科学领域中的重大突破之一。十年来，它在全世界范围引起公众、政府的极大关注，各国众多科学工作者参与了超导研究与发展工作，人们期望着高温超导体的发现与应用最终会给社会带来巨大的技术与变革。

自 1911 年发现超导体以来，人们一直在努力寻找更高临界温度的超导体。图 1 中给出了最高 T_c 值随年代的变化情况，在

高温超导体出现以前的 75 年间，最高 T_c 值约以每年 0.25K 的平均速度平缓升高。总体来说，超导材料的发展经历了一个从简单到复杂，即由一元系到二元系、三元系以至多元系的过程。在 1911 ~ 1932 年间，以研究元素超导体为主，除 Hg 外，又发现了 Pd、Sn、In、Ta、Nb、Ti 等众多的元素超导体。现在已知，在元素周期表中有 50 多种元素具有超导电性。在 1932 ~ 1953 年间，则发现了许多具有超导电性的合金、以及过渡金属碳化物和氮化物， T_c 得到了进一步的提高。随后，在 1953 ~ 1973 年间，发现了一系列 A15 型（如： Nb_3Sn ， V_3Ga ， Nb_3Ge ）超导体，使 T_c 值上升到 23.2K（高温超导体发现以前的最高 T_c 值）。1986 年以后发现的多元系氧化物超导体使 T_c 值在 10 年的时间里提高到了 160K。在高温超导体出现以前，使用在液氮温度下的低温超导材料经过二十余年研究与发展获得了成功。以 NbTi、 Nb_3Sn 为代表的实用超导材料已实现了商品化，在核磁共振人体成像、超导磁体及大型加速器磁体等多个领域获得了应用。SQUID 作为超导体弱电应用的典范已在微弱电磁信号测量方面起到了重要作用，其灵敏度是其它任何非超导的装置无法达到的。但是，由于常规低温超导体的临界温度太低，必须在昂贵复杂的液氮（4.2K）系统中使用，因而严重地限制了低温超导应用的发展。

高温氧化物超导体的出现，突破了温度壁垒，把超导应用的温度从液氮提高到了液氮（77K）温区。同液氮相比，液氮是一种非常经济的冷媒，并且具有较高的热容量，给工程应用带来了极大的方便。另外，高温超导体都具有相当高的上临界场（ H_{c2} （4K）> 50T），能够用来产生 20T 以上的强磁场，这正好克服了常规低温超导材料的不足之处。正因为这些由本征特性 T_c 、 H_{c2}

所带来的在经济和技术上的巨大潜在能力，吸引了大量的科学工作者采用最先进的技术装备，对高 T_c 超导机制、材料的物理特性、化学性质、合成工艺及显微组织进行了广泛和深入的研究。高温氧化物超导体是非常复杂的多元体系，在研究过程中遇到了涉及多种领域的重要问题，这些领域包括凝聚态物理、晶体化学、工艺技术及微结构分析等。一些材料科学研究领域最新的技术和手段，如：非晶技术、纳米粉技术、磁光技术、隧道显微技术及场离子显微技术等都被用来研究高温超导体，其中许多研究工作都涉及到了材料科学的前沿问题。高温超导材料的研究工作已在单晶、薄膜、体材料、线材和应用等多方面取得了重要进展。

超导电性的实际应用对实用超导材料有几方面的要求。首先，在超导性能方面要有尽可能高的 $T_c(H, J)$ 、 $H_{c2}(T, J)$ 和临界电流密度 $J_c(T, H)$ ($> 10^4 A/cm^2, 1T$)，较低的交流损耗，以及较好的热力学和磁学稳定性；其次，超导线材的长度以及价格应满足实用的要求。

从本征特性来看，高温超导材料最大优势是具有较高的 T_c 和 H_{c2} ，但材料本身为层状结构，具有极短的相干长度，超导性能和热力学特征都呈现很强的各向异性。另外，在这类复杂的多元体系氧化物超导体中存在着复杂的相转变问题，如在 YBCO 体系超导体中，由于氧的作用会发生四方-正交相变。在 BSC-CO 体系超导体中，工艺参数的微小改变就会导致 2223 相、2212 相及 2201 相的转化，因而在这类材料中，多相共生的现象普遍存在。这些特征，使得具有高角度晶界的多晶高温超导材料呈现严重的颗粒性及弱连接现象，导致极低的 J_c ，并且使 J_c 值随外磁场的增加呈指数下降。影响 J_c 的另一个主要因素是高温超导材料在液氮 (N_2) 温区的磁通钉扎力较弱，导致较低的不可逆场和严重的磁通蠕变等。从成材角度而言，高温超导材料作为多元体系的氧化物陶瓷，在制造技术方面存在着较大的困难，必须克服来自加工脆性、氧的进出及与基体反应等问题。近年来，从事超导研究的科学家进行了大量的材料基础研究，深入了解了高温超导体的物理及化学特征，另一方面针对存在的制造技术方面的问题，发展了许多特种制造工艺技术，利用织构化技术已在很大程度上改善了各向异性的影响，采用熔化工艺及外延生长技术已能够克服颗粒性及弱连接，并且通过引入高密度的晶体缺陷作为有效的磁通钉扎中心，获得了高 J_c 值。但是，把这些成功的手段应用于成材技术中制备出满足工程应用要求的实用高温超导线（带）方面，还需要进一步努力。近年来发展起来的熔化工艺已把 Y 系超导块材的 J_c 值提高到 $10^5 A/cm^2$ ($77K, 1T$)。在线（带）材方面，1994 年来，千米长的 Bi 系带材的 J_c 已超过 $10^4 A/cm^2$ ($77K, 0T$)，用这类带材绕制的磁体已产生了 4T ($4.2K$) 的磁场。制备出的高质量薄膜已达到了实用的要求，用它制成的高温 SQUID 已达商品化。另外，在大电流引线、贮能、限流器、电缆和电机等方面的应用也取得了很大的进展。

总之，10 年的时间在科学发展史上只是短暂的一段，但高温超导研究却取得了飞速的发展。本文以下将着重介绍 10 年来在高温超导材料及其应用领域取得的重要进展。

二、高温超导材料进展

1. 单晶

为了揭示氧化物超导体的超导机制和寻求更高 T_c 的新材料, 需要对这些氧化物进行精确的物理测量, 由于至今所发现的氧化物材料具有复杂的原子结构和强的各向异性, 所以要获得高度可信的数据就必须使用高质量的单晶, 这种高质量单晶应满足几个条件: 大尺寸, 好的表面形貌, 高的纯度, 很好的均匀性和低的晶体缺陷。此外, 高质量大尺寸氧化物超导单晶是优质的高温超导薄膜基底, 大尺寸氧化物超导单晶制造技术的发展促进了超导器件的开发。

由于氧化物超导体是由多种元素(至少四种)组成的化合物, 再者因为 YBCO 体系相关关系的复杂性, 这些因素使得直接从 YBCO 组份的液相中得到 YBCO 单晶变得十分困难。因此, 直到现在 YBCO 单晶的生长主要是通过各种类型的助溶剂, 如 $PbO - B_2O_3$, $KCl - NaCl$ 来实现的。但是用这些助溶剂要获得高质量的单晶却十分困难。在多数情况下一般采用 $BaO - CuO$ 做自助溶剂。但这种方法有许多缺点: 首先, $BaO - CuO$ 几乎和任何类型的坩埚都发生反应, 从而使单晶受到坩埚材料的污染, 所以难以获得高质量的单晶。其次, 由于 YBCO 与 $BaO - CuO$ 熔液的化学性质几乎一致。所以从 $BaO - CuO$ 熔剂中分离 YBCO 单晶十分困难。此外, 因为控制 YBCO 成核十分不易, 因此用助溶剂法很难合成大尺寸的单晶。

最近发展了一种叫作 SRL—CP (溶质富液相晶体提拉) 法能够制备出 $15 \times 15 \times 15mm^3$ 的大尺寸 YBCO 单晶。晶体沿 C 轴方向以 $0.06 \sim 0.09mm/h$ 速度生长。ab 面及 C 轴方向的 T_c 均为 90K, 这是很有效的制备大尺寸 YBCO 单晶的方法, 它将给薄膜器件的研制、物性研究及揭示高温超导机制带来很大便利, 用这种大尺寸 YBCO 单晶做基底成功地制备了高质量的 YBCO 薄膜。

对 Bi 系和 $TlBaCaCuO$ 体系 (TI 系) 超导体来说由于它们比 Y 系有更多的元素组份, 更复杂的结构和更强的各向异性, 所以要获得大尺寸高质量的单晶更加困难, 大多数晶体都是 C 方向很薄的片状晶。在 Bi 系超导体中, 通过助溶剂法、移动溶剂浮区法 (TSFZ) 和顶部籽晶生长法均能得到 2212 单晶, 1993 年用 TSFZ 法制备了 ab 面为 $20 \times 5.5mm^2$ 和 C 轴 1.5mm 厚的 Bi—2212 单晶, 但至今尚没有报道 Bi—2223 单晶的结果。

尽管现在可以稳定制备较大尺寸的 YBCO 单晶, 但为了尽快推动超导器件的发展, 还需要合成更大尺寸, 更高质量的单晶, 此外, 还需要加快单晶的生长速率。

2. 高温超导块材

经过十年的发展, 高 T_c 氧化物超导块材取得了很大的进展。首先表现在 J_c 值的提高。这方面的工作主要是围绕着 Y 系材料展开的。固态反应法是制备氧化物材料的传统方法。但是人们发现, 无论怎样调整工艺参数, 也不能使 J_c 突破 $103A/cm^2$ ($77K, 0T$) 的量级, 并且 J_c 值随磁场很快衰减, 其 $J_c - B$ 特性类似于约瑟夫森结。人们很快发现, 这是由于超导晶粒间的“弱连接”造成的, 产生“弱连接”的主要原因是超导体具有很强的各向异性和极短的相干长度。克服“弱连接”必须使晶粒沿 Cu-O 面取向排列, 并且晶粒间必须很好的连接。1988 年, 熔融织构 (MTG) 工艺 (美国 AT & T Bell 实验室) 首先在这方面取得了突破, 随后又相继发展出液相处理法 (LPP, 美国 Houston 大学)、淬火熔融生长 (QMG, 日本 ISTE 超导中心) 和粉末熔化处理 (PMP, 中国西北有色金属研究院) 等熔化工艺, 使 J_c 值超过了 $10^4A/cm^2$ ($77K, 1T$)。PMP 工艺采用 211 与 $BaCuO_2$ 及 CuO 为初始粉末, 在超导体中引入了弥散分布

的细小 211 粒子，这种细小 211 粒子一方面提供了钉扎力，另一方面又抑制了微裂纹的产生。另外，在 123 相晶体中引入了高密度的层错和位错作为有效的磁通钉扎中心，使 J_c 值大幅度提高。YBCO 超导块材的性能提高见图 2，由图可见 PMP 法制备的材料 J_c 达到 $1.4 \times 10^5 \text{A/cm}^2$ (77K, 1T)，处于国际领先水平。

研究 YBCO 超导块材的目标之一是利用由于它在超导态下的迈斯纳效应及磁通钉扎特性导致的磁悬浮力，试图应用于超导轴承、贮能以及磁浮列车等。目前 YBCO 体系块材在提高磁悬浮力方面也取得了较大的进展。日本钢铁公司最近制得的 $\phi 80\text{mm}$ 的一个样品，与永久磁体间的相互作用力达 580N，平均每平方厘米达 8.3N，制造的 $\phi 48\text{mm}$ 的 YBCO 单晶样品，可悬起 22kg 的重物，平均每平方厘米悬起约 1.5kg 的重物。已接近实用化水平。我国北京有色院、西北有色院制备的 YBCO 块材磁悬力达到 10N/cm^2 (77K)。

YBCO 大块亦可用于捕获磁通，作为永久磁体用。我们现在所用的永久磁体，最高磁场不能超过 1T。要得到大于 1T 的磁场，就必须用超导材料。在这十年内，YBCO 超导体的捕获磁通已取得了很大的进展。日本 ISTEK 制造的 $\phi 20 \times 30\text{mm}$ 的 YBCO 块能捕获 7.4T (76.5K) 8.34T (59K) 的磁场，美国 Houston 大学制造的 YBCO 块能捕获 3.1T (77K)，这些说明，YBCO 块材有着很大开发和应用潜力。

3. 高温超导线（带）材

高温超导体在强电方面众多的潜在应用（如：磁体、电缆、限流器、电机等）都需要研究和开发高 J_c 的长线（带）材（约 1 千米长度量级）。所以，人们先后在 YBCO、BSCCO 及 TlBa-CaCuO 等 T_c 高于液氮温度的体系的线材化方面做了大量的工作。目前已在 Bi 系 Ag 基复合带（线）材和柔性金属基 Y 系带材方面取得了很大进展。

A. Bi 系超导线材

BSCCO 超导体晶粒的层化结构使得人们能够利用机械变形和热处理来获得具有较好晶体取向的 Bi 系线（带），另外，热处理时液相的存在能够促进材料致密化，并且弥合在变形加工中所产生的裂痕，从而改善晶粒间的连接性。这种优点，使得人们利用粉末套管法（PIT），即把 Bi (Pb)-Sr-Ca-Cu-O 粉装入金属管（Ag 或 Ag 合金）中进行加工和热处理的方法，制备 Bi 系长线（带）材取得了成功，1994 年美国超导公司率先制备出长度达 1000 米、 J_c 达 $1 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ (77K, 0T) 的 BSCCO/Ag 带材。目前所制备的 Bi - 2223/Ag 带的最高 J_c 值已接近 10^5A/cm^2 (77K, 0T)。近几年来，随着对该类超导体的结构形成机理、显微结构特征以及超导性能的深入研究，不断改善工艺技术，使 J_c 和带材的均匀性逐年提高。图 3 归纳了近年来人们在 J_c 方面已取得的进展。1996 年，美国超导公司（ASC）和日本住友公司制备的 1200 米带材的 J_c 值均超过 $1.2 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ (77K, 0T)，并且能够稳定生产。这种带材已成功用来绕制小型超导磁体及超导电缆试制等。根据目前的研究结果，人们认为通过进一步改善工艺参数，提高带材的密度和晶粒的结构、改善晶粒间的连接性以及引入有效的磁通钉扎中心，Bi 系带材的 J_c 值将还会有较大幅度的提高。另外在通过多芯化和基体材料的合金化来改善 Bi 系线（带）材的机械强度方面，也已取得了明显进展。

B. 柔性金属基 YBCO 带材进展

YBCO 超导体在液氮温区有较强的本征钉扎特性，但它的晶粒很难通过常规的加工技术来实现取向，所以用 PIT 法及在普通金属基带上涂层后热处理的方法虽然能够制备出长线(带)材，但其 J_c 值均小于 $10^3\text{A}/\text{cm}^2$ (77K, 0T)，并且，随磁场的增加迅速下降。受在单晶基体上通过外延生长制备高 J_c YBCO 薄膜的启发，最近人们发展了“离子束辅助沉积”(IBAD, 美国 LANL)和“轧制辅助双轴织构”(RABiTS, 美国 ORNL)这两种柔性基带，并在这种基带上生长 YBCO 膜取得了成功，获得了高 J_c 的带材。这两种基带都是在柔性金属带(如: Ag, Ni 等)上沉积一层取向生长的钇稳定的氧化锆(YSZ)，由于 YSZ 与 YBCO 的晶格点阵非常接近，并且具有良好的化学稳定性，它一方面可以诱导 YBCO 晶体取向生长，另一方面又作为阻隔层防止 YBCO 与金属基带反应。目前利用脉冲激光沉积(PLD)和 MOCVD 方法在 IBAD 及 RABiTS 带上制备的 YBCO 超导体在 65K 强磁场中的 J_c 值均已超过低温实用超导体 NbTi 和 Nb₃Sn 在 4.2K 的 J_c 值。如 美国 LANL 制备的 IBAD 样品 J_c 最高达到 $10^6\text{A}/\text{cm}^2$ (75K, 0T)，ORNL 的 RABiTS 带的 J_c 也已达到 $7 \times 10^5\text{A}/\text{cm}^2$ (77K, 0T)、 $3 \times 10^5\text{A}/\text{cm}^2$ (77K, 1T)。虽然从目前的研究现状来看，制备长带还存在着一定的技术难度，但这种方法所带来的高 J_c 性能给高温超导体在 77K 温区实现强电应用展示了美好的前景，人们已把它称为继 PIT 法 BSCCO 带后的第二代高温超导带材，并且投入较大的人力和物力进行开发研究。

4. 薄膜

自从高温超导体发现以来，人们对高温超导薄膜的制备与研究都给予了极大的重视，特别是液氮温度以上的高温超导体的发现，使人们看到了广泛利用超导电子器件优良性能的可能性，科学家们预计，高温超导体将使超导电子学发生一个根本的变革，超导体的临界温度 T_c 高于 77K，大大简化了超导电子器件的使用条件，从而扩大了它的使用范围。

要想得到性能优良的高温超导器件就必须有质量很好的薄膜，但由于高温超导体是由多种元素(至少四种)组成的化合物，而且高温超导体往往还有几个不同的相，此外，高温超导体具有高度的各向异性，这些因素使制备高质量高 T_c 超导薄膜具有相当大的困难，尽管如此，通过各国科学家十年来坚持不懈的努力，已取得了很大的进展，高质量的外延 YBCO 薄膜的 T_c 在 90K 以上，零磁场下 77K 时，临界电流密度 J_c 已超过 $1 \times 10^6\text{A}/\text{cm}^2$ ，工艺已基本成熟，并有了一批高温超导薄膜电子器件问世。

三、高温超导材料的应用

超导电性的实际应用从根本上取决于超导材料的性能。与实用低温超导材料相比，高温超导材料的最大优势在于它可能应用于液氮温区。目前在强电方面，接近实用要求并已开始商业开发的高温超导材料主要是 PIT 法 Bi 系线(带)材。它在 77K、自场条件下的无阻载流能力是普通导体的 100 倍，但随外磁场的增加衰减很快，所以目前它仅适合于低磁场条件下的应用，如超导输电电缆、超导限流器等，而不具备在 77K 下应用于其它需要较高磁场的强电应用项目，如：电动机、发电机和超导磁能贮存系统等。被认为第二代的 IBAD 和 RABiTS 带材，如果研究开发成功，则可能在 77K 下实现以上应用。但 Bi 系线(带)材在低于 30K 温度下优越的高场性能，可以使它在该温

区用于某些强电应用，并可用微型致冷机来进行系统的冷却。在弱电应用方面，由于已获得高质量的薄膜材料，所以 SQUID 等高温超导器件已商品化，但其在使用过程中的稳定性还需进一步改善。以下将概述近年来在高温超导材料应用研究方面取得的主要进展。

1. 电流引线：

在给低温环境下工作的超导磁体和电力设备供电时，由低温到高温之间的电流引线会消耗许多液氦，一直是工程应用中的一个难题。高温超导体由于 T_c 高，热导率低，作为由低温区到高温区的过渡，可以在超导态下给磁体供电，从而把热漏减少到了极小的程度。目前用作电流引线的材料主要有 Bi-2212 及 Bi-2223 的棒、管和带材、以及熔化法 YBCO 棒材。根据应用的环境不同，引线的临界电流在 1000-5000A 之间。目前电流引线已成功用于微型致冷机冷却的 NbTi 及 Nb₃Sn 磁体系统，第一次实现了不用液氦的超导磁体应用。

2. 磁体：

Bi-2223/Ag 长带绕制线圈和磁体是目前研究的重点之一。Bi-2223 具有较高的临界温度，用这种材料绕制的磁体具有高的稳定性和可靠性，因此，这种磁体能够在广阔的范围内得到应用。

最近，住友电工的 K.Sato 报道了他们的 61 芯 Bi-2223 带材，采用先反应后绕 (R&W) 技术制备了一个内径为 60mm，外径为 180mm，总匝数为 2600 匝的磁体，在 4.2K 和 20K，可分别产生 4T 和 3T 磁场，为目前高 T_c 超导磁体的最高记录。美国 ASC 在 94 年报道了一个利用机械致冷机冷却的高温超导磁体，在 27K 零外场下能产生 2.16T 的磁场，最近又报道了一个在 4.2K 下，产生 3.4T 磁场的磁体。

与低温常规超导体相比，BSCCO 体系的优越性是它的 J_c 值在液氦温区 (~ 4.2K) 强磁场中随磁场的增加而降低很少，所以可以制成中心磁体插入常规磁体中，产生 20T 以上的强磁场。最近，日本住友电工将 Bi-2223/Ag 多芯带绕制的四双饼高温超导磁体插入 NbTi 及 Nb₃Sn 组合磁体中，在 4.2K 产生了 24T 的磁场，已能满足 1GHz 核磁共振磁体要求，这是目前世界上超导磁体在 4.2K 产生的最高磁场。而如果只用常规低温超导体，这一高磁场值是无法实现的。

3. 输电电缆：

输电电缆由于在低磁场 (0.1T) 下运行。因而被认为是实现高温超导应用的最有希望的领域。高 T_c 超导电缆同低温超导电缆和常规地下电缆相比具有明显的优越性，从而有可能替代目前使用的地下电缆。美国、日本、欧洲在这方面已取得一定的进展。

美国 ASC 已开发出 30 米长 3KA 的 Bi-2223 导体，并计划与电力研究所、LANL 和 ORNL 等合作，在 4 年内进行三相 115K，30m 电缆的试验。

日本的东京电力、住友电工、古河电工等联合开发输电电缆，已制成 50 米长、3KA 的电缆。1995 年夏，英国的 BICC 及其意大利子公司及 LEAT 和 CAVI，使用美国 IGC 的线材，已制成 1 米长，在 20K 下输电 11KA 的电缆。1995 年 10 月，美国能源部提出一项新的电缆计划，由 IGC 提供线材，ORNL 和 SC 制备及测试一个 1 米长，2KA 的交流电缆。专家们预测，到 2010 年左右，高温超导输电电缆可能实现商品化。

4. 故障限流器：

在电厂，高压输电、低压配电等电力系统中，有时会因闪电轰击，设备故障等引起短路，对 50Hz 的电力系统而言，一旦发生短路，不可避免会产生很大的故障电流，为此电路上总配有限流装置，常规的故障限流器是非超导的。随着高温超导体的出现及材料工艺的不断改进，在世界范围内掀起了研究高温超导限流器的热潮，美国、日本、德国、法国等都在从事高 T_c 故障限流器的开发，并取得了较大进展。高 T_c 限流器所用材料有两种：一种是直径为 1 米通过离心熔铸法制成的 Bi-2212 管，一种是 Bi-2223/Ag 线材。

目前，正在研究和开发的其它高温超导材料强电应用项目还有超导电机、超导储能轴承、磁浮列车、超导变压器等等。

5. 高温超导器件应用：

高温氧化物超导体的出现，无疑给超导电子学带来了更为广阔的应用前景。常规超导电子器件早已显示出巨大的优越性，超导量子干涉器件(SQUID)用于测量微弱磁场，灵敏度可比常规仪器高 1-2 个数量级，这使得它在生物磁性测量、寻找矿藏等领域发挥了巨大的作用，超导隧道效应使微波接收机的灵敏度大大提高，超导薄膜数字电路可用来制造高速、超小体积的大型计算机，但由于常规超导器件工作在液氮温区(4.2K)或致冷机所能达到的温度(10-20K)下，这个温区的获得和维持成本相当高，技术也复杂，因而使用常规超导器件的应用范围受到了很大的限制。

高温超导体的临界温度已突破液氮温区(77K)，由它所制成的器件可在这个温区下正常地工作，这就打破了常规超导器件的局限性，使超导器件可在更大的范围内发挥作用，而且高温超导体的工作温度和一些半导体器件重合，二者结合起来，就可发展出更多的有用器件。

总之，用高温超导薄膜已制成各种超导器件，但其工作性能仍要进一步提高，同时随着薄膜质量的改善将有更多的高温超导器件问世。

四、高温超导材料的展望

高温超导材料经过十年的发展，在各个方面都取得了令人振奋的成绩。在线材制造方面，已能制备出 1 公里级长度的高 J_c ($> 10^4 A/cm^2$, 77K, 自场) 的 BSCCO 带材。用这种带材已制备出可在 77K 运行的超导输电电缆原型，Bi 系磁体也已在 G-M 制冷机冷却下产生了 3T 的磁场 (20K)。在块材方面，用 PMP 法制备的 YBCO 超导体的 J_c 高达 $1.4 \times 10^5 A/cm^2$ (77K, 1T)。大尺寸单晶和 YBCO 体系大块材料的磁悬浮性能，及捕获磁通的能力已接近实用水平。具有上千安培的高温超导电流引线已经实现商品化。第二代导体 IBAD 和 RDBiTS 带材的出现，给液氮温区的强电应用展示了美好的前景。高质量 YBCO 薄膜材料的制造工艺业已成熟，用它制作的可用于液氮温度的 SQUID 器件已商品化。

尽管高温超导研究已取得很大进展，但仍存在许多困难，对高温超导体在高温高场下钉扎机制的认识还远远不够，钉扎中心与磁通线的相互作用有待于进一步阐明，对不可逆线的性质，起源和理论解释还需要进一步研究。此外，对高 T_c 超导体的成相机理和磁通动力学特性等还缺乏足够的理解，这些问题的解决将会对高 J_c 超导材料的发展提供重要的依据。

从超导技术发展的历程来看，新的更高 T_c 材料的发现和制造工艺技术突破都有可能。目前高温超导材料正从研究阶段向应用发展阶段转变，未来的十年可能会是市场发展和高 T_c 材料产业化的十年。目前世界上已形成每年约

20 亿美元的超导产业市场，主要是低温超导材料。据近几年国际超导工业高峰会议预测，到 2000 年及 2010 年世界超导工业市场将分别达到 76 亿美元及 370 亿美元/年。从历史的眼光来看，十年在科技领域并不是一个很长的时期，但在过去的十年中高温超导研究进展步伐是非常巨大的。在过去 20 年里美国、日本、欧洲以及中国对超导研究与发展都投入了相当的人力和物力，美、日两国每年用于超导的研究与开发经费都在 2 亿美元左右。人们有理由相信，再过 15 年，即超导体发现 100 年的时候，将会在高温超导机制，更高 T_c 超导体探索以及高温超导应用等方面取得重大进展。

尽管中国有一支超导物理、材料及应用的研究队伍，也有一批科研成果，亦有十分丰富的稀土市场，甚至中国本身就可能有巨大的市场，但中国是否会在 2010 年实现超导应用走向市场？无疑，未来 10 年、20 年，中国的超导研究面临着机遇和挑战。但无论如何，中国应该在超导的研究与发展的历史进程中有所作为。

硼中子俘获疗法的若干技术关键

周永茂

中国原子能科学研究院

周永茂 核反应堆工程专家。1931年5月15日生于浙江镇海。1955年毕业于上海国立交通大学。1958年毕业于前苏联莫斯科动力学院进修班。历任核工业部反应堆工程研究所、四川909基地高通量堆工程副总工程师兼设计室主任。中国原子能科学研究院反应堆工程设计研究所副所长兼总工程师、微堆设计室主任。中原对外工程公司总工程师，871工程驻阿尔及利亚堆址代表处总工程师，公司科技顾问。1995年当选为中国工程院院士。长期在核反应堆工程第一线从事设计、研究和建设工作。

一、前言

硼中子俘获疗法 (BNCT) 是用能与肿瘤作特异性结合的 ^{10}B 化合物注入人体，经中子束照射使集积在肿瘤上的 ^{10}B 与热中子起核反应，凭借反应生成物 ^7Li 与 α 粒子的高能量线性传输 (LET) 特性，在细胞范围内杀伤癌瘤。目前该法主要用于重度脑胶质瘤，取得了外科手术、化疗、常规放疗等难以比拟的疗效。BNCT 涉及多种新兴学科，采用多种高技术，具有极强的综合性与复杂性。迄今，虽在脑胶质瘤与黑色素瘤的治疗中取得一定进展，对深层次的认识无论机理或是临床技术都仍处于不断探究中。尤其对输送核反应靶元素进入肿瘤的化合物，提供照射的中子束及其能域，以及体现综合疗效的体内辐射剂量分布等课题都是影响 BNCT 成败的关键要素。仍需世界规模的科技界的共同努力与创新，促使及早成熟与完善。

二、硼化合物

1. 原始的硼化合物

50年代 BNCT 在美国独家应用是一种无机水溶化合物 Paracarboxylphenyl boric acid，属硼酸脂类与一般硼笼化合物。对 18 例脑胶质母细胞瘤病人治疗后，平均存活期不到半年。由于照射技术不成熟， ^{10}B 在肿瘤与血液中浓度比 (T/B) 为 0.5-0.8。在中子照射下，大量集积在血管内皮细胞中 ^{10}B 由核反应造成血管纤维化而导致脑坏死。这种原始硼化合物随临床治疗失败于 1961 年即遭淘汰。

2. 改进的硼化合物

当时改进着眼于提高 T/B 比值。60 年代美国麻省总医院发展了一种 T/B 比为 1-2 的 BSH，即 $\text{Na}_2\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$ 含 ^{10}B 的有机化合物。后经日本外科医生重新合成，并潜心改进医疗技术与方案，通过与外科手术相结合，创造了 BNCT 治疗重度脑胶质瘤病例 5 年存活率达到 33.3% 空前水平 (当时常规疗法约为 5.7%)。其中一例 62 岁患者，经 BNCT，消除了术前在动作与语言上的障碍，还健康地存活十余年 (截至发稿)。这种 ^{10}B 标记的巯基化合物，即 Disodium mercaptododecarboranyl sulphhydryl，开始由美国杜邦公司炼制，现由日本希诺基化学公司和美国卡莱利化学公司供货。为当前唯一用作 NCT 的指定化

合物。其毒理学特性已由美国联邦药物局作为研制中药物加以认定。

3. 新的化合物

BNCT 在脑胶质瘤病例上突破后，医药界一方面优化现用的化合物，如提高其生物半寿期达“天”级水平，增加 T/B 10。另一方面，把它的特异性结合扩大到其他肿瘤。因 BSH 只与脑胶质细胞瘤作特异结合，不与非神经源的肿瘤相结合，必须研制新的含 ^{10}B 化合物。

这样就出现了硼标记的生物分子类同物，使其通过代谢作用产生选择性结合，并在肿瘤中较长时间高度集积。研究中的这类化合物包括 ^{10}B 标记的氯丙嗪 (CPZ)、卟啉 (TPPS)、硫脲嘧啶 (TU)、氨基酸类、核苷以及类固醇等。

70 年代中期又涌现出导向药物，即 ^{10}B 与特异性较高的单克隆抗体相连接，以单克隆抗体为载体，把 ^{10}B 定向送到预定的肿瘤细胞作特异性结合。

值得注意的是人们在深入研制、使用硼化合物的实践中，对以前某些朴素与狭窄的观念与做法提出了挑战。例如高的 T/B 比在过去假设的认识上是绝对的，以致在研制新化合物时提出了 T/B > 100 的高指标。又如“至少达 $50\mu\text{g}^{10}\text{B}/\text{g}$ 肿瘤才能摧毁它”的传统信条等，都被越来越多的临床实践所动摇。最明显的证据就是前述那位 BNCT 存活最长的老年患者，治疗中测得的 T/B 比仅为 0.5，并未发现任何神经系创伤。因而近年内国际论坛明确提出：合格的硼化合物并非必须具有高的肿瘤与健康组织的摄取比值。那些新的硼化合物是否满足 BNCT 要求以及多大好处，只能对其辐射生物学性质作出研究结论才能给予最终评定。

三、中子束

在肿瘤细胞上实现 $^{10}\text{B}(\text{ , })\text{Li}$ 核反应的中子能量都在热能范围，提供这种中子的源现在都用核反应堆。主要有二种方式，一种是从研究堆热柱引出热化中子直接照射脑部，称热中子束照射。另一种是堆内引出超热中子，经在脑中慢化为热中子，称超热中子束照射，两者比较如下：

1. 热中子束照射

热化中子可达脑部 4-5cm 深度（从头皮起），实际有效深度约 3cm。

入射中子束含高线性能量转换 (LET) 的快中子与 射线沾污的成份相对小，因对正常组织的辐射损伤很小。热中子束内大部分低 LET 成份的沾污来自脑组织本身含氢的核反应。这种低 LET 的沾污对脑组织的损害易于恢复，因而允许较长时间的照射治疗。一气呵成，无需多次间断照射。

治疗时必须作开颅手术，但为神经外科医生提供直观患部的可能性，而且便于切除近脑表部的肿瘤，实现 BNCT 与外科手术的结合疗法。

可在脑表部设置中子探测器作中子注量的实体探测，以及照射前的活体组织硼浓度的快速测量。

二十多年来日本利用 BNCT 专用的低功率研究堆提供中子束，依靠较为成熟的测量分析技术治疗了百余例胶质瘤患者，成效显著。

2. 超热中子束照射

一般能域 1ev-30kev，超热中子束可渗透脑部 6-7cm。实际有效深度为 3-4cm。

可保持完整的头皮与脑壳，照射治疗不必作开颅手术。

堆内经过过滤引出的超热中子束仍含有较高的 LET 成份沾污，对正常脑

组织损害较大，从而限制了照射时间，必须进行间断的分次照射，才能达到较高 RBE（相对生物效应）的治疗效果。

位于脑部中线附近的肿瘤，可通过从平行而相反的两方面注入中子场加以治疗。

无法作患部中子注量的实际监测，需制作精细的仿真头实验与编制全模拟的蒙特卡罗计算程序评估辐射剂量的微结构效应。

一般需要有高、中通量堆来提供超热中子束。也可利用较低功率甚至临界装置上经特殊设计加设快中子增殖靶件加以实现。

为了达到较深的治疗深度，很多国家包括一些新开展 BNCT 的国家都专注于超热中子束方法，力求一步到位。几十年对其作用机理、束的设计、脑内微剂量分布以及治疗技术等作了大量试验研究，迄今尚在不断进行中，总体来说还处于大动物实验与临床试验阶段。

3. 两种束的权衡

美国高通量堆多、科研经费充足，能源部顾问专家小组认定“无损头皮和脑壳的超热中子束治疗更可接受”。作为 BNCT 的发源地，又在有关领域取得大量研究成果的美国观点，影响很多国家的科技人员。在美国进修过 BNCT 的日本神经外科医生小组则认为跑到遥远的地方去做听人摆布而又不成熟的超热中子试验，不如改造一个低功率堆得心应手地从事热中子束治疗收效更快。日本一方面加紧发展微型热中子同步探测系统、ppm 级体内 ^{10}B 浓度微型分析系统、细胞水平的辐射剂量模型计算、脑水汽化研究以及多门径照射方法等改进和提高热中子束照射的疗效。同时又适当利用现成的脉冲堆、快中子模式堆等开展超热中子束的设计研究，跟踪国际动向。

两种束的差异不仅在治疗方法上，实际上发展成为争论的焦点。正如美国学者一针见血地评论“这种争端在于要么用一种保持完整无损的头皮达到 3-4cm 实际深度的超热中子束，要么用一条重新开颅有效深度为 3cm 的热中子束。

问题远不在是否开颅与加深 1cm 的有效深度。近年来有些美英科研人员发现超热中子束 BNCT 在体内呈现非预期的高 RBE，其可推测值高出常规中子辐射疗法允值的 2-3 倍。强烈呼吁设计超热中子束的过滤器必须把 RBE 限于 3.5-5.0。因大部入射超热中子的动能与脑氢作弹性散射时被转化为反冲质子。一粒 70keV 质子的最大 LET 约 100keV/ μm ，此时对哺乳动物细胞的 RBE 约为 3.5。伊朗学者凭借模拟仿真头实验，配以理论计算，指出脑部深度达 3.5cm 的超热中子束必须具备 497keV-1MeV（3 群中子）的能域。这种估价若获验证，则那种高 LET 成份的沾污造成的高 RBE 是人脑无法忍受的。

这些讯息，应引起人们高度警觉。

四、辐射剂量分布

不论采用哪种治疗技术，包括什么样的硼化合物与什么能量的中子束，判定疗效可行的尺度在于加到肿瘤上的辐射剂量增量一定要超过正常组织。因而辐射剂量分布的研究是带根本性的。

近年来辐射剂量研究领域举例如下：

入射中子能量与肿瘤内深度的关系。

超热中子在脑内诱发的反冲质子生物学效应。

^{10}B 、 ^{157}Gd 等靶元素在肿瘤内的浓集度（ $\mu\text{g/g}$ ）及其与正常组织交界面

处辐射剂量分布效应。

蒙特卡罗计算程序的精细化及其在血管内皮细胞内外的微剂量学计算。

能观察病人解剖学结构件附近精确三维剂量布的 BNCT 治疗计划系统-SBNCT 计划系统的研制开发。

五、结语

BNCT 为根治癌症开辟了一条光辉途径。假如现在朴质的临床成就能刺激核物理和硼化学或免疫化学的深入研究，特别是超热中子束与导向抗体技术一旦被临床应用，BNCT 预期可把脑胶质瘤的 5 年存活率提高到 80%左右，而且从近体表的肿瘤部位过渡到诸如胰癌那种深部肿瘤的治疗。

诚然，作为一种医疗方法，BNCT 治疗病种尚较狭窄，且其发病率尚属低位，如脑瘤一般为 10-20/20 万，中国约为 1-2/10 万。但这种方法耗资巨大、技术结构较为庞大与复杂。因此发展中国家开展 BNCT 似应估量自身技术基础与经济实力，慎重对待。这方面日本的道路值得研究，日本的经验无疑可予借鉴。

软件技术与软件产业

杨芙清

北京大学计算机科学技术系

杨芙清(女) 计算机软件专家。1932年11月6日生于江苏无锡。1958年北京大学数学系计算数学专业研究生毕业。1957至1959年到前苏联学院和莫斯科大学数学力学系学习。现任北京大学教授、计算机科学技术系主任、博士生导师。中国计算机学会副理事长。IEEE高级会员。1991年当选为中国科学院院士(学部委员)。现从事软件工程开发环境的标准化与实用化的研究。

一、前言

以微电子、计算机、通讯技术为主导的信息技术革命正在迅猛地改变我们生存的社会,人类开始从工业社会进入信息时代。信息技术在世界新技术革命中不仅作为一项独立的技术而存在,还广泛渗透于各个高技术领域以及生产、经营、管理等过程,成为它们发展的基本依据和重要手段。信息化正从整体上引导着世界经济和社会发展的进程,信息技术已成为经济发展的关键因素和倍增器,随之而兴起的信息产业将成为经济发展的主导产业。据预测,到2000年,信息产品市场将达9000亿美元,成为世界第一大领域。

信息技术中,微电子是基础,计算机硬件及通讯设施是载体,而计算机软件技术是核心。软件是计算机的灵魂,没有软件就没有计算机应用,也就没有信息化。信息社会需要众多各种各样、千变万化的软件系统,软件产业顺应时代的需求,面临发展的机遇,正成为一门独立的产业,成为信息产业中的支柱产业。据预测,到2000年,软件和信息服务将达到5400亿美元,占信息产品市场的半数以上。

软件的重要性已成为发达国家的共识,被视为国家关键技术。“先进软件的发展在新一代军事与商业系统的推广及可靠性方面越来越成为一项重要的制约因素。”(《美国国家关键技术报告》)软件技术的研究和软件产业的发展是当今发达国家竞相扶持的重点,将成为国家间相互竞争的重要武器。一些发展中国家如印度、巴西等也在积极发展自己的软件产业,试图抓住机遇,迎头赶上。

置于世纪之交、时代变迁之际,我国面临良好的发展机遇。在软件技术研究方面我们具有很好的基础和优势,发展软件产业将是我们主要的突破口之一。本文将回顾软件技术发展的历史,总结软件技术发展现状及我们已经取得的成就,进而探讨我国发展软件技术和软件产业的方向和对策。

二、历史回顾

从1946年第一台计算机诞生至今,其发展已历50年,计算机已在几乎所有的领域得到广泛应用。但是,考察计算机硬件,其飞速的发展主要表现在运算速度、集成规模等方面,计算机体系结构一直沿袭未变。造成计算机

应用领域扩展的主要因素是软件技术的进步。

软件是指计算机系统上的程序及相关文档，程序是对计算任务的处理对象和处理规则的描述，文档则是为了便于了解程序而给出的阐明性资料。计算任务的完成是通过程序在硬件载体上的执行。软件一词用于描述计算机中的非硬件成分（特指计算机程序）出现于 50 年代，1960 年前后才广为流传。

早期（1946 - 1956）的计算机功能简单，应用领域较窄，主要用于科学计算，处理数值数据。程序设计只能使用机器语言和汇编语言，编程工作复杂、烦琐、费时、易错，主要考虑时间和空间效益，强调编程技巧。

1956 年，高级语言和操作系统开始出现。

50 年代中期出现的 FORTRAN 语言是第一个被广为接受并使用的高级语言，目的仍是解决科学及工程计算问题，它使程序员能以自然的方式书写表达式和算法，大大减轻了编程负担。随着使用计算机的需求增长，除科学计算继续发展外，出现了大量的非数值数据处理问题，从而带来了高级语言的蓬勃发展期。出现了面向算法处理的语言 ALGOL60（1960）、面向商业数据处理的语言 COBOL（50 年代中期）、面向人工智能应用的语言 LISP（1960）、交互式语言 BASIC（1964）、机床控制语言 APT（1956）、仿真语言 SIMULA（1967）以及通用性语言 PL/1（1960）、ALGOL68（1968）等。其中 ALGOL 语言对程序语言及编译技术的研究起到了有力的推动作用，随之诞生了著名的 BACKUS 范式（BNF）。在 70 年代，又有 PASCAL、FP、ADA、SMALLTALK 等语言问世。高级语言的流行使计算机应用领域得到较大扩展，促进了软件技术作为独立学科的形成和发展。

操作系统的出现对高级语言编程提供了良好支持，它使程序员透明于硬件及外设管理，从而拥有更方便、高效的工作平台。其中典型的工作有批操作系统 OS/360（60 年代中期）、实时操作系统 SABRE（1963）、分时操作系统 CTSS（1963）等。70 年代早期，交互式操作系统 UNIX 问世，并很快被广泛使用，对操作系统理论及技术的发展起到了积极的推动作用。

60 年代后期，由于软件系统复杂度迅速提高，研制周期变长，正确性难以保证，出现了所谓“软件危机”。为克服这一危机，开始考虑将工程化方法引入软件开发过程中。1968 年，提出了软件工程。软件工程将计算机科学、数学及管理科学等原理应用于软件开发过程，借鉴传统工程的原则、方法，以提高软件质量，降低成本。其中，计算机科学、数学用于构造模型和算法，工程科学用于制定规范、设计范型、评估成本及确定权衡，管理科学用于计划、资源、质量、成本等管理。这是一门交叉性学科，主要研究软件开发模型、软件开发方法、开发过程管理、开发支持工具等。软件工程的研究深化了软件技术研究，使软件开发从无序走向有序，从技巧走向工程，从个体走向协作，为满足日益增长的软件需求，为形成软件产业奠定了基础。

70 年代软件技术的另一重要进展是数据处理。这是管理、操作大量数据的技术，具有广泛的应用范围。数据库技术，特别是数据库管理系统（DBMS）的出现，使计算机应用进入了一个崭新的领域。网络方法（1964）、层次方法（1965）和关系方法（1970）是数据库理论研究的三个主要流派，这些方法各有优劣，但最终被广为接受并进入实用的是关系型数据库管理系统。

我国计算机事业起步于 50 年代，虽然和国际水平相比有一些差距，但通过广大科技工作者的努力工作，取得了丰富成果。在软件技术研究方面，系统程序设计语言 XCY（1984）、基于时序逻辑的程序设计语言 XYZ（1981）均

是具有国际水平的成果，DJS11 机（150 机）操作系统（1973）是我国第一个自主开发的操作系统，DJS240 机操作系统（1984）是国际上最先使用高级语言（XCY）书写的操作系统，具有开创性意义，其层次管程结构、多道程序管理具有当时国际先进水平。

三、国际软件技术发展现状

80 年代是软件技术突飞猛进的时期。计算机在越来越多的领域得到应用，特别是由 IBM 公布 PC 机结构所带来的 PC 浪潮，使计算机普及到社会的各行各业，甚至进入家庭。众多的应用要求形成了巨大的软件市场，促使了软件企业的飞速发展，从而使软件产业作为一个新兴产业应运而生。

软件的重要性日益为更多的人所认识，而事实上在许多领域（如高性能计算），软件投资已开始超过硬件投资。日益增大的对软件的需求，更加加深了软件危机，但同时也促进了旨在解决软件危机的软件技术的进步和发展。

近十几年来，软件技术出现了一系列重要突破。

在程序设计语言方面，传统程序设计语言由于 VON NEU-MANN 体系结构的局限而呈现的种种缺陷逐步为人们所认识且不可容忍，从而出现了试图摆脱传统 VON NEUMANN 体系结构的束缚，探索新型程序设计语言的种种努力，形成了一股新范型、新风格程序设计语言的研究热潮，其中典型的代表有函数式程序设计语言、逻辑式程序设计语言和面向对象程序设计语言。函数式语言具有良好的数学基础、简明的操作语义和指称语义、本质上的并行性；逻辑式语言以 HORN 子句为基础，语义简明、具有很强的逻辑推理能力。这两种语言均为说明型语言，只需描述“做什么”，而不考虑“怎么做”。函数式、逻辑式语言已在人工智能领域得到很好应用，其研究正在深入进行中。面向对象语言的兴起以 SMALLTALK80 语言的出现为标志，是近十几年来最重要的软件技术进展之一，被誉为“90 年代的主流软件技术”。面向对象以拟人化的观点来看待客观世界，认为客观世界由一组对象构成，对象间的交互构成了客观世界的运行。采用面向对象的观点，可以使问题空间和解空间在一致的模型框架内得到统一，从而实现了现实世界系统到软件系统的直接映射。面向对象语言如 C++、SMALLTALK 等已成为当今的主流语言，由面向对象语言的出现而引起的面向对象技术浪潮已深入软件技术的各个方面，出现了面向对象的软件开发方法、面向对象数据库、面向对象操作系统等新概念和新技术。随着面向对象技术的日益流行，国际上众多软件企业纷纷涉足，为此还成立了专门的组织 OMG 来协调相关标准的建立，CORBA 便是该组织推出的关于对象模型和对象操作的标准，微软公司也推出了相应的构件对象模型 OLE-COM。近几年，程序设计语言发展的另一热点是旨在提高用户编程友善性的可视化程序设计技术研究，通过提供给用户使用图符、图形编程的手段来提高编程的效率和正确性。

在操作系统方面，由 UNIX 而引发的开放潮流大力促进了操作系统的进步，诞生了 POSIX 国际标准；由于计算机网络的发展又使网络操作系统和分布式操作系统得到较快发展；个人机市场的扩展使 DOS 系统得以流行；对用户友善性的考虑促进了窗口（WINDOW）系统的兴起。开放性、标准化、友善性和支持网络分布成为当今操作系统发展的主要趋势。在技术上，微内核技术成为新一代操作系统的核心技术，正在逐步进入实用；面向对象操作系统

的研究亦是主要热点。

在数据处理领域，关系型数据库技术的成熟及实用为信息处理领域的蓬勃兴旺奠定了基础。在各类应用软件系统中，基于数据库的信息管理、处理及决策支持占据了很大比例，数据库及其管理系统已成为绝大多数应用系统不可缺少的部件。随着信息处理需求的不断增大，人们已不再满足于从单一的数据库中获取数据，而是希望从分布在不同地点的不同数据库中获取综合信息，实现信息共享，从而出现了网络数据库和分布式数据库。近年来，数据库领域又出现了一个众所瞩目的概念，即数据仓库技术。数据仓库将分布在企业网络中不同信息源上的数据搜集到一起，存储在一个单一的集成关系型数据库中，通过这种信息集合，方便用户对信息的访问，更可使决策人员对很长一段时间内的历史数据进行分析，确定事物的发展走势。数据仓库技术被视为在信息社会中企业获得竞争优势的关键因素。面向对象数据库的研究是另一个热点，当前的主要做法是在关系型数据库之上加上面向对象的接口，真正的面向对象数据库离实用尚有一定距离。

在支撑软件方面，软件需求的增大，伴随软件系统复杂度的增加，使得对软件开发效率、软件系统质量的要求成为至关重要的因素。传统的手工作坊式的软件开发方式已不再能满足软件发展的需要，成为软件产业发展的制约因素，软件开发手段的变革已成为势在必行的趋势。80年代是软件工程蓬勃发展的时期，软件工程思想和技术得到更多的普及和认同，学术界的研究成果和产业界的成功实践共同标志着软件生产方式变革时期的到来。主要的成就可总结为如下几个方面：（1）70年代的研究成果得到了成功的应用，如结构化方法学在众多信息系统建设中发挥了巨大作用；（2）计算机辅助软件工程（CASE）技术飞速发展并开始受到重视，出现了众多的CASE工具、平台和环境，具有里程碑意义的是NIST和ECMA共同推出的CASE环境参考模型、欧共体的PCTE和我国的青鸟系统（JADE BIRD），CASE环境在开放性和标准化方面已获初步成功；（3）面向对象技术的引入使软件开发方法学产生了一场变革，出现了面向对象软件开发方法学，从而为软件开发效率和软件质量的提高奠定了良好理论基础；（4）软件复用技术由于面向对象技术的出现再次成为研究热点并被视为解决软件危机、实现软件工程化、工业化生产的一条切实可行的途径，构件软件技术、设计模式、软件体系结构的研究正逐步深入；（5）软件过程开始受到重视，软件过程管理被视为成功开发软件的关键因素，出现了关于软件过程的IEEE标准；（6）软件工程作为一门学科派生出许多热点分支，如旨在解决软件系统需求阶段问题的需求工程，支持现行软件系统的演化、维护、理解的逆向工程和再次工程，以及解决领域知识获取、分析的领域工程等。

在人机交互方面，围绕如何更好地提供有效的人机交互接口和手段，使更多的人能方便地掌握和操纵计算机而出现了一系列先进技术，包括图形用户界面、多媒体技术、可视化技术和虚拟现实技术等。图形用户界面已成为任何软件系统的必备成分，为系统的使用者提供在色彩、布局、操作等方面的舒适观感，使用户易于学习、易于使用并乐于使用；多媒体技术集图、文、声、动画、影像的处理于一体，为系统用户提供逼真、舒适的使用、工作环境，同时，使计算机能管理、处理更多的信息，远程会议、计算机游戏、数字电影等无不体现了多媒体技术的应用；可视化技术考虑将计算机处理的东西，包括过程、结果以图形的方式显示给用户，使用户更好地理解、掌握并

决策，如可将科学及工程计算的过程及结果以图形的方式显示出来，使科学家或工程师能自然、直观、准确的分析计算过程和结果，作出正确的决策；虚拟现实技术通过给用户同时提供诸如视、听、说、触等直观自然的实时感知交互手段，最大限度地方便用户操作，远程医疗服务、航天航空仿真训练、虚拟旅游等均是虚拟现实技术的用武之地。

在网络、分布系统领域，CLIENT/SERVER 技术、并行处理技术及 INTERNET 技术是近几年的主要热点。CLIENT/SERVER 技术通过采用硬、软件结构上的 CLIENT/SERVER 结构模式，实现计算任务的分布，达到资源、服务的共享，并使系统具有灵活的可伸缩性，这已成为当前绝大多数应用系统采用的结构模式；基于网络或多机系统的并行处理技术已取得很大进展，特别是围绕高性能计算任务的需求，并行计算领域出现了并行虚拟机（PVM）、消息传递接口（MPI）以及机群计算（CLUSTER COMPUTING）等新概念和新技术，这在较大程度上解决了并行计算的一些关键问题；INTERNET 在近几年中呈几何级数的增长使其成为举世瞩目的焦点，它作为一种新的通讯设施，缩短了世界各地的距离，建立起了一个没有边界的“信息社会”。INTERNET 的发展对软件技术的发展提出了新的要求，也带来了更多的机遇，JAVA 的兴起便是一个典型例子。INTERNET 是一个巨大的舞台，也是一个巨大的市场，软件技术在其中扮演着极其重要的角色。

在人工智能及知识处理领域，专家系统已得到实际的应用，使人类专家知识在计算机系统中得到重现。近几年在分布式人工智能研究中出现的 AGENT 概念及技术也引起软件技术其他领域的高度重视，被使用在许多应用软件系统中。从发展趋势看，随着人类对自身了解的不断深入，人工智能技术将会越来越深入地发展，被越来越广泛地应用到更多的领域。

四、我国软件技术的发展

我国软件技术的发展和国际水平相比存在着一定差距，但在国家的关心和扶持下，经过广大科技工作者的不懈努力，也取得了长足的发展和进步，为我国软件产业的形成和发展奠定了必备的技术基础，同时也造就和培养了一批软件技术人才。

我国的软件产业起步于 80 年代，创业伊始，除了支持必需的软件技术基础研究外，国家根据具体国情，选择若干关键技术进行攻关，为我国软件产业的基础建设打下了良好基础。主要成果体现在如下几方面：

系统软件技术：系统软件是和计算机硬件直接交互的软件，是应用软件赖以运行的基础平台，也是计算机系统安全性的基本屏障。因此，拥有自主知识产权的操作系统至关重要。在国家攻关计划支持下，中软总公司牵头承担了国产操作系统的研制工作，推出了符合 POSIX 标准的操作系统 COSIX，同时推出了运行其上的数据库管理系统。填补了我国在这方面的空白，具有非常重要的意义。当前，COSIX 系统的实用推广工作正在进行中，基于微内核技术的新一代操作系统也在研制中。

中文处理技术：软件具有较强的民族性和文化性，外来软件的本地化及对民族文字的计算机处理技术均是非常重要的。我国在中文信息处理技术方面经过“七五”、“八五”的努力已有了长足进步，以国标 GB2321 字符集为基础的中文输入、汉字字形生成与输出、中文文字处理与电子排版印刷、操作系统及软件汉化等方面成果斐然。特别在电子出版领域，已形成良好的产

业基础，北大方正、华光等企业已占有全部国内市场，在台、港、澳、新加坡及东南亚地区占有很大市场份额。当前，中文信息处理技术的发展主要朝向对中文句子、篇章的理解，实现自然语言的自动处理，特别是大规模真实文本的自动处理。

支撑软件技术：任何一个产业的发展都离不开工程化、工业化的生产手段，正如机械工业离不开先进的机床、生产线，计算机硬件产业离不开微电子、芯片加工一样，软件产业的发展同样离不开必要的基础生产设施。手工作坊式、小分队式的软件开发方式已远远不能满足软件产业发展的需要，只有拥有先进的工程化、工业化生产技术和手段，才能够提高软件生产率和软件产品质量，增强企业自身的综合竞争力，在激烈的市场竞争中立于不败之地。很难想象，赤手空拳如何能够和现代化的装备去竞争。为此，在国家支持下，以北京大学为首的攻关集体以建立我国软件产业的基础，推行软件工程化、工业化生产技术和模式为目标，承接国家重点科技攻关计划，实施青鸟工程，为我国软件企业提供必要的工业化生产手段和装备（软件生产），为形成软件产业的规模经济培养人才，增加科技储备，加强产品开发的能力和实力，经过“六五”、“七五”和“八五”十余年攻关，取得了丰硕成果：

制定了青鸟标准规范，研制了大型软件开发环境青鸟系统，推出了青鸟系统系列产品，应用于大型软件系统开发，提交了一批理论成果。

“九五”期间，青鸟工程的目标是：制定软件工业化生产标准，进一步推行软件工业化生产方式，促进形成软件产业的规模经济。技术目标是：强化采用面向对象技术，支持以软件复用为基线的，基于“构件-构架”模式的软件工业化生产技术。

五、展望

世界软件技术正处于突飞猛进的发展时期，我国要赶上时代发展的步伐，将面临严峻而激烈的挑战，同时这也是极好的发展机遇。未来世界，谁掌握最新软件技术，谁就可在激烈的国际竞争掌握主动权，占据优势。我国的软件技术和软件产业经过 10 余年的发展，已打下了良好基础，在此关键时刻，不进则退，稍有迟疑或决策不当，就会失去良机，失去进入信息社会的入场券。

当前，发展我国软件产业，必须要有国家政策的扶持。一方面要面向经济建设的需要，选择关键技术组织攻关，以解决国民经济建设和产业建设中的重大、综合、关键、迫切的技术问题；另一方面制定有利于发展软件产业的政策，造就软件产业发展的良好环境。

1. 选择关键技术，集中力量攻关

系统软件技术、中文处理技术和支撑软件技术应该成为攻克的重点。系统软件事关国家信息安全，必须掌握并积极发展；中文处理技术是我国的优势所在，不可丢失阵地；支撑软件技术是发展软件产业的关键因素，先进的装备是我们的竞争力之所在。先进的装备是不可能买来的，只能依靠自己开发。

2. 建立合理的产业结构框架，形成产业规模

建立基础研究与应用技术研究、模型研究与原型开发、产品开发与商品化及市场服务四个层次的产业结构框架，形成研究、开发、产品和市场的良性循环。统一规划、通力合作、重点建设若干软件产业基地和龙头企业，使

研究开发、产品开发、质量评测三位一体。根据地方、行业情况，合理分布企业，进行优势力量组合，以形成综合效应和规模经济。

3. 重视人才培养，加强队伍建设

软件企业是智力密集型、技术密集型企业，人才是关键，是财富，高水平的稳定的骨干队伍至关重要。软件技术发展较快，及时的知识更新十分必要，必须重视人才的培养和再培养。要重视软件营销人才培养，经销、管理队伍建设，建立一支高级复合型人才队伍。

4. 改变投资观念

信息产业的竞争归根结底是技术竞争和产品竞争。大型信息工程的核心是软件，因而，在信息工程实施中，要抓住软件，采用“软件牵引，设备租赁”的政策，建立软件是固定资产的观念。

5. 开展国际合作，开拓国际市场

加强国际合作，积极参与国际竞争，在竞争中发展软件产业，在竞争中推动技术进步。立足国内，面向国际。

软件技术和软件产业的发展是我国社会经济信息化的关键。软件技术和软件产业相辅相存，互相促进。软件产业的发展必须以软件技术为基础，另一方面，软件产业又是软件技术发展的依托。随着软件技术与软件产业的飞速发展，二者的结合将更加紧密。

核能利用的现状与展望

杨裕生

中国人民解放军防化研究院

杨裕生 核试验技术、分析化学科学家。1932年9月6日生于江苏如皋。1952年毕业于浙江大学。1958-1960年在苏联科学院地球与分析化学所进修。历任国防科学技术工业委员会核试验基地研究员、科技委主任，中国人民解放军防化研究院研究员，中国核学会理事。1995年当选为中国工程院院士。主要从事核武器试验技术和超铀元素化学研究。

一、核能

原子核由统称为核子的质子和中子所组成。质子带一个正电荷，中子不带电荷。原子核内的质子数就是原子核的电荷数，也叫原子序数（ Z ），原子核的核子数就是该核的质量数（ A ）。 Z 相同而 A 不相同的各种核称为同位素核。原子核内的中子数目与质子数目满足一定比值时，这类原子核是稳定核；质子过多或中子过多的核都是不稳定核或放射性核，它们会自发地以发射不同射线的方式释放出能量而转变为稳定核，此现象称为核衰变。

用中子、质子、氦核（含一个质子和一个中子）或其它更重的核轰击一种原子核，均可能发生核反应而产生另一种原子核，同时常会释放出巨大能量。核衰变与核反应过程中放出的能量统称为核能。

一个质量数大的重原子核（如铀、钚核等）分裂成两个较轻的原子核（称裂变碎片或裂变产物核）称为裂变反应，此时释放的核能称为裂变能；两个质量数很小的核（如 $H-2$ 与 $H-3$ 核或称氘核与氚核）聚合为一个较重的核（如氦核）称为聚变，此时释放的核能称为聚变能。1000克铀原子核全部裂变，可释放出 8.19×10^{13} 焦耳的裂变能，相当于2700吨标准煤的燃烧热，1000克轻原子核的聚变能更是此值的3倍。

二、核裂变燃料和裂变能释放

裂变燃料是能发生裂变反应并释放出巨大核能的物质，主要指易被低能中子作用而裂变的核素铀-235、钚-239和铀-233，后二者是分别由天然的铀-238和钍-232在核反应堆中用中子照射并经两次衰变而生成的。天然铀广泛分布在岩石和海水中，但含量很低；铀矿石中含铀则可达1%-4%，但铀矿不多。天然铀含有三个同位素，铀-238占99.28%，铀-235占0.714%，铀-234占0.00548%，其中铀-235在低能中子作用下主要发生裂变反应，同时放出2-3个中子——裂变中子，和射线，而产生铀-236俘获反应的比例不到15%。入射中子的能量越低，引发铀-235核裂变的机率越大，即铀-235的裂变截面越大。铀-238在低能中子作用下只发生俘获反应而生成铀-239，只有快中子才能使它发生裂变。

一个铀-235原子核发生裂变时平均放出2.5个中子（钚-239可达3个中子），一部分中子飞出核燃料，一部分消耗于该核燃料中的（包括杂质的）各种俘获反应，还有一部分可引发另外的铀-235核裂变，如果最后的这一部

分达到一个中子，则此核燃料中就可持续进行链式裂变反应，不断地释放出核能，此时称倍增系数（ K ）等于 1。当 $K < 1$ 时裂变反应次数将逐渐减少而最终停止，当 $K > 1$ 时裂变反应次数将增加，单位时间内释放的能量也越来越多。显然，为了使一个核燃料系统中的 K 值能够达到 1 或大于 1，核燃料必须有很高的纯度和一定的质量。在一定条件下能够实现自持的链式裂变反应所需的核裂变燃料的最小质量称为临界质量。利用链式裂变反应原理释放裂变的核裂变反应堆和原子弹，其中的裂变燃料的总装量均大于（或能改变条件使大于）临界质量。

在核裂变反应堆中要求平稳地、持续地释放能量，因而必须用吸收中子能力很强的物质做成的控制棒，来控制核裂变燃料系统中的链式裂变反应过程，使该系统的 $K=1$ 。在原子弹中，平时要确保核裂变燃料处于次临界状态（即 $K < 1$ ），不释放能量，而在需要爆炸时设法使裂变燃料迅速变为深超临界状态，并适时提供中子进行“点火”，通过快速增殖的链式裂变反应（过程约 1 微秒，增殖几十代），达到瞬间释放巨大的能量。

三、原子弹

又称裂变弹，是利用高浓铀-235（丰度大于 90%）或钚等易裂变重核的裂变反应在瞬间释放出巨大核能产生爆炸作用并有大规模杀伤破坏效应的武器，它是核武器中最基本的一个品种。有两种方法将平时处于次临界状态的裂变燃料在瞬间达到超临界状态。枪法，是将两块分散放置且均低于临界质量的裂变燃料，在化学炸药爆炸的高压力推动下迅速拼合为一体而达超临界状态。美国于 1945 年 8 月 6 日投到广岛的原子弹（代号“小男孩”）就是一颗总量约 50 公斤浓缩铀-235（丰度高于 90%）的枪法铀弹。该弹重 4.1 吨，爆炸威力不足 2 万吨梯恩梯当量。枪法中核裂变燃料的利用效率（能耗）很低（约 2%），故此法不常用，而多用内爆法。内爆法是用球壳形的化学炸药爆炸产生的内聚冲击波和高压力，将球壳内原处于松散的、次临界状态的裂变燃料迅速压缩，急剧提升其密度，使之达到超临界状态。此法所需核裂变燃料少，且能耗较高。美国 1945 年 8 月 9 日投到长崎的原子弹（代号“胖子”）就是这种类型的钚弹，重 4.5 吨，威力约 2 万吨梯恩梯当量，即在爆炸时裂变了约一公斤钚。

浓缩铀-235 是从铀-238 占绝大部分的天然铀中分离出来的，由于它们的性质极为相似，所以无论是电磁法，气体扩散法，离心法，激光法，或是化学交换法，分离过程都是极为复杂的，是核工业发展中经久不衰的研究课题。钚在核反应堆中由铀-238 生成后，要经过核化工厂的“后处理”从“乏燃料”中提取出来，这种强放射性物料的化工提取过程也是高技术密集型的生产工艺。

四、核聚变燃料和聚变能的释放

聚变燃料有氘、氚、锂-6 和氦化锂-6 等。氘是氢的稳定同位素，天然水中氘的丰度为 0.015%，就全球而言，其存量极其巨大，可谓取之不尽，用之不竭。为了使之与占 99.985% 的氢分离，可用电解、蒸馏或化学交换等方法制取。氚是氢的放射性同位素，半衰期为 12.33 年，系用金属锂-6 或其合金在核反应堆中经中子反应而生成。天然锂中锂-7 的丰度为 92.5%，锂-6 只占 7.5%，通常经过汞齐法将锂-6 浓缩到 90% 以上。

由于原子核均带正电，当它们靠近时相互间存在很强的库伦斥力，即使是单电荷的氢或其同位素的核，在通常条件下也很难发生聚合，只有当原子核具备了足够的动能，才能克服库伦斥力彼此靠近，从而增加发生聚变反应的机率。在加速器或中子管中加速轻核再使之轰击其它轻核的靶子可以实现聚变反应，但加速轻核所投入的能量远高于靶上聚变反应所释放的能量，核反应的规模也很小。大量释放核聚变能的可行方法是将聚变材料“加热”到很高的温度，使其原子核获得足够的动能。氘核和氚核在几百万开（尔温）即能发生明显的聚变反应，即氘-氘聚变和氘-氚聚变反应；温度更高，则更有利于聚变反应的进行。最能引起兴趣的是氘-氚聚变产生氦-4 和中子的反应，速率快，释放的能量高。每次聚变放出的 17.6MeV 能量中有 14.1MeV 的能量为中子所带走，即生成的是高能中子。

但是，人工造成几百万开以上的高温是非常困难的。利用原子弹爆炸提供的条件，已实现了大规模的氢同位素的聚变反应，从而发明了氢弹。通过人工控制的持续的聚变反应建成聚变反应堆，实现聚变能的和平利用，是一种美好的理想。这种反应堆所用的燃料储量极为丰富，放射性废物少，安全性好。不过要实现这个理想，尚有很长的研究路程。

五、氢弹和中子弹

氢弹又称热核弹或热核武器，它是利用原子弹爆炸的能量做为“扳机”，将聚变燃料加热至几千万开以上，使之发生自持的聚变反应，在瞬间释放出巨大的能量。其威力在几十万至几千万吨梯恩梯当量。

最初美国曾于 1952 年 11 月 1 日用液态的氘做燃料，做成一个重 65 吨的热核装置，虽然爆炸威力超过 1000 万吨梯恩梯当量，但不实用。1953 年 8 月 1 日苏联试验了用氘化锂-6 作热核装料的氢弹，重量小得多。氘化锂是固态化合物，化学性质相当稳定。尤其巧妙的是它的反应过程，首先将原来裂变反应堆中进行的锂-6 吸收中子造氘反应，直接“挪”到弹中进行，由扳机来的中子造出的氘立即与其近旁的氘进行核聚变反应；氘氘聚变产生的中子，或者很快与锂-6 反应造出氘来，或者引发外壳的铀-238 裂变既释放能量又产生近三个中子反回一部分来造氘；如此反复而一代一代的循环，使氘与锂-6 同步消耗而能达到很高的燃耗。每燃烧一公斤氘化锂-6 可释放 4-5 万吨梯恩梯当量，由于氘化锂-6 没有临界质量的限制，可在弹中“无限制”地装入，从而可使氢弹的威力大为提高。

反映氢弹水平的重要指标之一是比威力（威力与其重量之比）。

中子弹是以氘和氚为燃料、威力为千吨级梯恩梯当量的小型氢弹，以中子剂量为主要杀伤因素，又称增强辐射弹。

我国已建立起一支精干、有效的核自卫力量；我国发展少量核武器，是在特定历史条件下被迫而为的，完全是为了防御，为了维护国家的独立、主权和领土完整，也是为了打破核大国的核垄断和核讹诈，防止核战争，最终消灭核武器。我国政府并一再宣布，承担不首先使用核武器的义务。1996 年 7 月 30 日又宣布暂停核试验，这是为了推动核裁军而采取的一项实际行动。

六、核裂变反应堆

核裂变反应堆，也称原子反应堆或核反应堆，是能使核裂变的链式反应在人工控制下持续进行的装置。反应堆的核心部分是堆芯，堆芯由燃料组件

和控制棒组件组成。燃料组件由若干根燃料元件按一定方式排列而成。根据反应堆的设计要求，燃料元件中的核裂变燃料可以是不同丰度的低浓铀或其化合物。元件的外表是用锆合金或其它耐热耐蚀的材料制成的密封外壳。控制棒由驱动机构进行升降，以控制链式反应的速率，达到开堆、停堆和调节反应堆功率的目的。反应堆中通常以水、重水、或石墨作为中子慢化剂，以水、重水或氦气为载热剂，分别组成所谓沸水堆，压水堆、重水堆、高温气冷堆等各种类型的反应堆。

核反应堆按用途或功能可以分为：以提供中子和射线进行科学研究为主要目的的研究堆，以制备钚、氙为主要目的的生产堆，以供热为主要目的的供热堆，以提供高压蒸汽或高温氦气为主要目的动力堆。有的堆可以兼有一种以上的用途。

由于反应堆的元件用的是低丰度的铀，又是分散布置且不可能像原子弹的装料那样能聚拢压紧，堆芯还有吸引中子能力很强的控制棒，所以反应堆不可能发生核爆炸。此外，反应堆在设计时就要求具有“负温度反应系数”，即当核能释放过快或载热剂未能起到足够的冷却作用致使堆芯温度上升太高时，链式裂变反应将自行减弱。

七、核动力和核能发电

发电是核能的主要利用方式。核电站由核岛和常规岛组成。以最常用的压水堆为例，核岛又称一回路系统，其作用相当于普通火力发电厂的高压蒸汽锅炉，核心是一个封装在钢壁厚 200 毫米压力壳中的反应堆。主泵将高压冷却剂（一回路水）送入反应堆，带出核燃料释放的热能；冷却剂由反应堆进入蒸发器，将热量传给管外的二回路水，使之沸腾为蒸汽。流过蒸发器的冷却剂再由主泵送回反应堆循环使用。上述部件全部安装在内衬钢板的预应力钢筋混凝土厚墙厂房——安全壳——中。常规岛又称二回路系统，与普通火力发电厂利用蒸汽发电的汽轮发电机系统基本相同，包括汽轮机、发电机、凝汽器、给水泵及冷却水系统。

一座 90 万千瓦的压水堆核电站约装 80 吨二氧化铀，每年换料约三分之一，换入元件中铀-235 的丰度为 3%，即每年需要补充的燃料元件只约 30 吨重，“烧”掉的铀-235 约重 1 吨。与同等功率的火力发电厂每年需燃煤 270 万吨相比，运输量上形成非常鲜明的对照。

核能发电 40 年来发展很快，至 1995 年底全世界已有 30 个国家 431 个机组在运行，总净电功率达 34255.4 万千瓦，发电量占世界总发电量的 17%。核电容量超过 700 万千瓦的有 11 个国家：

国家	机组数	净电功率, 万千瓦
美国	109	9967.3
法国	55	5737.3
日本	50	3965.5
德国	21	2281.1
俄国	25	1979.9
加拿大	22	1543.9
英国	35	1272.8
乌克兰	14	1209.5
瑞典	12	1007.5
韩国	10	817.0
西班牙	9	710.1

1995年,法国的核电在总发电量中的比例为76%,乌克兰为36.7%,韩国为36.2%,美国为22.5%。比例最高的国家是立陶宛,达87.5%,全年核电产量为118.24亿度,其中约20%售给了俄罗斯和白俄罗斯。目前,全世界还有64个核电机组正在建设中,总净电功率为5596.8万千瓦,平均单机容量高于现有水平。

核电发展如此迅速的原因,在于其突出的优点:(1)有力地弥补碳氢燃料及水力资源的不足。(2)价格普遍低于火电15%-40%。(3)核电站对环境污染和危害远小于燃煤的火电站。

动力堆提供的蒸汽可以作为舰船的动力。在原子破冰船,原子客轮、核动力航空母舰,核潜艇等舰船中,以潜艇使用核动力优点最突出:它一次装料可持续40万海里以上,是常规潜艇40倍;单次潜航距离可达4万海里,是使用蓄电池的常规潜艇的100倍;此外,航速可提高约一倍,机动性和隐蔽性大为改善。全世界共建造过400余艘核动力潜艇,正在服役的约300艘。此外,反应堆也可作为取暖或工业上低温热源。这种供热堆不需发生高压蒸汽,故建造价格低得多。

八、我国的核能发电

我国1995年共有9个核电机组运行,总净功率698.4万千瓦,在世界上列第12位;其中3个机组在内地(另6个在台湾岛)。秦山核电站一期的一个机组的电功率为30万千瓦,大亚湾核电站为2套90万千瓦机组,均采用国际上技术最为成熟的压水式反应堆。

秦山核电站由我国自行设计和制造,是我国建造核动力潜艇后在核动力利用方面又一重大突破,其1995年的发电量占浙江省的6%。现在这种型号的电站已出口巴基斯坦,预计1999年建成发电。大亚湾核电站是引进法国技术与香港合资建设的,我国人员参加了建设,参与了管理。该电站1995年的发电量约占广东省的20%左右,其中70%售给香港。这两个电站的建成发电,为我国核电事业的发展打下了良好基础。

我国能源的资源 and 消费的分布很不均衡。煤炭主要集中在陕西、山西、内蒙古西部,水力资源主要分布在西南地区,石油天然气储量不丰且又大部分在三北。而经济发达、耗能较多的华东、中南等省份能源资源十分贫乏,

其所需能源有近一半要从外地调入，铁路运煤不堪重负。同时烧煤还引起 SO_2 、 NO_x 和粉尘的污染，以及 CO_2 的温室效应。这些问题随着经济的发展还将进一步严重。因此在我国东部省份发展核电是十分必要而迫切的举措。“九五”期间计划开工的有秦山二期（ 2×60 万千瓦），秦山三期（ 2×70 万千瓦，从加拿大引进压力式重水堆电站），广东岭澳核电站一期（ 2×100 万千瓦）和江苏核电站一期（ 2×100 万千瓦，从俄罗斯引进），八台机组总装机容量 660 万千瓦，将于 21 世纪最初几年内建成发电。此外，福建、山东、辽宁、江西等省的核电项目已通过了初步可行性研究的审查，提出了首选厂址，正在申请立项中，湖南、武汉等省市正在进行前期准备。根据各方面专家的预测和建议，我国以热中子堆为主的核电装机容量到 2010 年将达到 2000 万千瓦，2020 年到 4000 万千瓦，相当于当时所需发电能力的 3.4% 及 5%，这个比例还是很低的。加速核电发展涉及的问题很多。我国大规模建设核电必须走自主设计和设备国产化的道路，这是作为一个国家应该和完全能够做到的。如果做不到这一条，姑且不说其它问题，即使想利用外资引进设备，其要价也会居高不下（如大亚湾核电站花 40 亿美元，每千瓦装机合 2000 美元）。因而我国必须在核电科技、设备生产、核燃料供应、人才培养等各方面给与足够的投入，使之配套协调发展，还要为核电站的建设资金创造良好的筹集机制。由此可见，上述预测的指标是要经过很大的努力才能达到的。

但是，以目前中等发达国家水平的每人 1 千瓦装机计，下世纪三四十年代我国的发电能力应达到 15 亿千瓦，即使那时充分开发了水电（约 3 亿千瓦）风能（2 亿千瓦）等可再生能源，并继续增加传统的火力发电，仍可能有上亿千瓦乃至更多的电力缺口指望核能来弥补，这有赖于核电科技与工程的发展。

九、核辐射和同位素的利用

各种放射性同位素以不同的半衰期（每衰变一半所需的时间）自发地衰变时，衰变能除了由 α 或 β 或 γ 射线携带外，大部分情况下还能发射 X 射线。利用放射性同位素发射各种射线这一特点，已经开发出许多令人拍手称奇的用途，并且渗透到工业、农业、医学、环境、科研等各个领域。

利用半衰期 5.27 年的钴-60（或铯-137，半衰期 30.17 年）强放射源的射线，对许多物品进行各种目的的辐射加工，（连同加速器的电子束辐射加工）已形成了一个新兴的产业，包括辐射化工，植物辐射育种，医疗用品的灭菌消毒，皮革、羊毛和干果的防霉灭虫，食品水果保鲜，大蒜、土豆、洋葱的抑制发芽以及废物无害化处理等，全世界每年的产值已超过百亿美元。我国已有 28 个省、市、自治区建成了各种辐射装置共约 120 个，总装源量约 1000 万居里，辐射加工年产值数亿元。下面是几个值得特别一提的例子。有机高分子材料经辐射改性，可以制出许多性能特异的高分子膜、粉和热收缩管，用途十分广阔。害虫（如玉米螟、柑桔大实蝇）的辐射不育是防治农业害虫的有效方法，而且没有农药的残留污染问题。近年兴起用于治疗脑瘤的 γ 刀，是一种放射治疗的新技术，可代替危险的脑瘤外科手术。我国用辐射育成的各类作物突变品种数百个，占全世界的四分之一而居首位，为粮棉油麻菜的增产作出重大贡献。

利用各种较弱的放射源（从亚微居里至毫居里级），制成感烟式火灾报警器、射线测厚仪、黄金成色仪、静电消除器、固体或液体料位计、 γ 射线

探伤机等仪器设备，被许多行业采用，是辐射能利用的良好事例。

我国已能生产和供应 800 多种同位素制品，其中大部分是放射性的。示踪原子技术，以利用放射性同位素为主，通过探测其射线来辨认含有该同位素的物质的运动和变化规律。例如，磷-32（半衰期 14.3 天）是农业上用以研究合理施用磷肥（施肥时间、数量、深度以及肥料成分与土壤的关系）的有力工具。近些年研究稀土微肥，也使用放射性示踪技术。冶金工业、化学工业及科研部门也都广泛使用这项技术，取得良好的经济效益和社会效益。将放射性同位素制成各种标记药物，在医疗上的用途日益广泛，一是将放射性药物注入人体内，不同药物在不同脏器有特定的富集和分布，因而通过体外的射线测量可以对体内几乎所有脏器进行显像和功能检查；二是取少量血液或尿液作放射免疫分析，可作出高灵敏性、强特效性的体外诊断；三是制成“药物导弹”，对特定部位的肿瘤进行放疗从而减少对其它器官的损伤。相信，随着科学技术的进步和国民经济水平的提高，核医学与核药学的发展前途不可限量，核能必将更好地服务于人民的健康。

十、核电科技工程的展望

核电站技术发展的核心在于核岛。当前全世界核电站广泛采用热中子引发裂变的堆型，无论是压水堆，沸水堆或重水堆，都已相当成熟；美国（另有法德联合）正开发单堆功率 60 万千瓦的第二代动力堆，仍是这种堆型，只是通过充分利用被动安全性和简化设计，进一步提高安全性和降低建设成本。可以认为，以水为载热剂的热中子堆在今后二三十年乃至更长时间内仍将在核电中占重要地位。但是这种堆型有两大问题，一是燃烧的主要是一部分铀-235，资源有限，铀利用率却又很低，即使将乏燃料循环浓缩与钚一起再作燃料，总利用率也只有 1% 左右。二是产生的大量高毒性长寿命裂变产物和“非钚超铀元素”，难以处置。

为解决这些问题，已开发研究新的堆型。快中子增殖堆用贫铀与钚作混合装料（钚占 15%）以液态金属钠为载热剂。这种堆中的裂变谱中子（平均能量为 2MeV）基本上未经慢化而引发铀-钚裂变，与热中子堆中铀-235 燃烧为主相比，有几点有利情况（1）每次裂变的二次中子数多于 2.5（接近 3.0）。（2）消耗于无益俘获反应的中子所占的比例较小。（3）铀-238 裂变的份额增加。（4）非钚超铀元素在快中子作用下，也可用作燃料，用量可达钚的 15%—30%。此种堆中铀-238 转成钚-239 的量大于同时期燃烧掉的钚-239 量，形成了“增殖”。快堆的乏燃料还可经循环处理除去废料（主要是较短寿命的裂变产物），提取出 U-Pu 再燃烧，这样铀的总利用率可提高到 70%。全世界建成过 22 座快堆，目前有 10 座在运行，其中能发电的有 8 座，均属于原型性或经济验证性，尚未进入商用阶段。随着铀富矿开采渐尽而铀价升高，热堆难以为继，以及快堆技术进一步完善、建堆成本下降，可以预期快堆发电必将进入商业化。我国已着手建造一座 6.5 万千瓦热功率/2.5 万千瓦电功率的实验性快堆电站，预计 20 年后应可进行商业开发，下世纪 20 年代起将逐渐依靠快堆为主来增加我国的核能发电。

高温气冷堆是另一类安全性高和用途广泛的热中子堆型，可以允许建在城市附近。它以氦气为载热剂，石墨为慢化剂，燃料除用低浓铀外，还可使用铀-钍混合装料。堆芯氦气出口温度最高可达 950℃，既可推动燃气轮机发电或作为高温热源，也可通过发生蒸汽发电供热。我国 1 万千瓦实验型高温

气冷堆的建造已于 1995 年开始，预计 1999 年建成，届时可发电 3000 千瓦。

最近两年，国际、国内核科技界热烈探讨“放射性洁净核能”问题，中心议题是“加速器驱动的核电站”的新概念，其基本思想是：用中能加速器提供 1000—1500MeV 的毫安级质子束，打到放在次临界快堆中心的重金属（如铅）上使之发生散裂反应，每个质子产生 20—30 个左右、平均能量十几 MeV 的中子，形成一个强中子源。这些高能中子使次临界堆的核燃料裂变，并使中子倍增至约 20 倍，形成稳定的高通量密度；堆中的铀-238 或钍-232 除增殖成钚-239 或铀-233 外，稳定地释放大量裂变能。电站发生的电量小部分回供给加速器，大部分可以上网。这种装置具有快堆电站所有优点（包括长寿命放射性废物的嬗变），而安全性更优于快堆。这是因为加速器可根据安全的需要在微秒内完全切断质子束流，驱动反应堆运转的中子源因而立即停止产生中子，堆中裂变反应随即停止。当然，从概念论证到工程实施，有很长的攀登路程，研究费用也很巨大，目前我国已酝酿开展相关的理论研究及计算机模拟，具体的技术跟踪也将逐渐起步。

聚变堆虽有无比丰富的燃料资源，一旦成功，确实可从根本上解决人类的能源问题，但因难关太多，据预测要到 2050 年才能投入商业运行。对于具有如此重大意义的工作，我国也已量力而行地开展了磁约束聚变和惯性约束聚变等基础科研，并取得了可喜的进步。等到时机成熟，我国一定会迎头赶上。

信息高速公路与高速光纤通信网

张煦

上海交通大学

张煦 通信工程学家。1913年11月6日生于江苏无锡。1934年毕业于交通大学。1937年获美国哈佛大学科学硕士,1940年获科学博士学位。上海交通大学电子工程系教授。1980年当选为中国科学院院士(学部委员)。长期从事通信工程方面的教学和技术研究工作。

一、现代通信的新名词

1. NII——一个国家发展“信息高速公路”的实际行动,就是兴建国家信息基础结构(National Information Infrastructure, 简写 NII)。显然,一个国家的信息基础结构是十分庞大而范围广泛的。其中的骨干将是全国性的通信网基础结构(Telecommunication Network Infrastructure)。本文的讨论将着重于通信与广播。包括音频(audio)、数据(data)、视频(video)信息和多媒体(multimedia),有线和无线传输,固定和移动通信等等。

2. ISDN/B-ISDN——国家通信网基础结构将把音频、数据、视频所有信息业务一律变成二进制数字信号,以 bit 为单位(数字速率 b/s),让它们在通信网中综合一起传输和交换,构成综合业务数字网(Integrated Services Digital Network, 简写 IS-DN)。不久的将来,电视要大发展,宽带电视信号也要参加一同实行数字传输和交换,构成宽带综合业务数字网(Broadband IS-DN, 即 B-ISDN)。“信息高速公路”的国家通信网将以实现 B-ISDN 为目标。

3. V·I·P——V 指 Video(视频), I 指 Intelligent(智能), P 指 Personal(个人)。这三者简洁地表示“信息高速公路”的通信网现在就准备瞄准重点发展的方向。前段提到 B-ISDN 宽带,就是着重于电视的视频,也就是说,数字电视是三个重点发展之一。

4. IN/AIN——通信网的所有交换局内都有计算机,它们将大大地加多配备各种计算机软件,完成智能化服务功能,使通信网成为智能网(Intelligent Network, 简称 IN),甚至进一步成为高级智能网(Advanced IN, AIN)。

5. PCS/PCN——市内、长途、国际通信不再局限于固定地点间的相互通信,而是要扩大业务范围,容许任何随身携带袖珍通信机的个人,能够在任何地点、任何时间得以与全球范围的任何对方个人立即取得通信联系,称之为个人通信业务(Personal Communication Service, 简称 PCS),相应的通信网称为个人通信网(Personal Communication Network, 简称 PCN)。显然,这样的个人通信与移动通信有关,需要利用无线接入(wireless access)。

二、高速通信对传输与交换的要求

从“信息高速公路”名词可以一眼看出,未来的信息业务越来越繁忙,需要以高速率接通才能胜任,就是说需要高速通信。怎样以数量来表示高速

通信呢？由于未来的通信主要优先依靠以 bit 为单位的二进制数字信号，那么高速通信意味着数字速率 (bit rate) 很高，即每秒接通的 bit 数很多。一般认为，高速通信的数字速率数量级应在 GB/s 级以上，即每秒接通千兆 (10^9) bit 或更多。随着时间的推移，信息业务迅速增长，估计下个世纪的数字速率数量级可能达到 Tb/s 级以上，即每秒接通兆兆 (10^{12}) bit 或更多，这确实是很高速率的通信，是史无前例的。

对于实现高数字速率，GB/s、Tb/s 级的通信，首先要问什么样的传输媒介有足够大的潜在带宽容量能够胜任呢？讲到通信的传输媒介，不禁回忆起有线和无线两类传输线路，而有线传输又分铜线电缆和光纤光缆，无线传输分微波接力线路和同步卫星线路。在模拟通信时代，中同轴电缆 10800 路载波电话是大容量宽带传输的最高峰，但当时带宽仅为 60MHz，现在看来是很小的。后来进入数字通信时代，电缆的容量显得对数字速率有限制，而光纤被发现有很大的潜在容量，尤其是单模光纤在零色散波长 $1.3\ \mu\text{m}$ 和低损耗波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 两个窗口，潜在容量居然大到 20THz，比电缆的容量大 5 个数量级。因此以有线传输而言，高速通信的传输干线非单模光纤莫属。至于无线传输，现行的数字微波接力线路或同步卫星线路，实际传输的数字速率约为 140Mb/s 或稍高，卫星通信的数字速率如要达到 Gb/s 级还需要特殊努力才能成功。应该说，卫星通信的优越性在于能够很快开通线路，使相隔遥远的两地直接通信。在这样全面考虑后得出结论：真的要实现高速通信，传输媒介只有利用有线、单模光纤的光波通信。而对于数字速率目前较低的个人通信，传输媒介除了必然依靠无线接入外，可以灵活使用卫星的微波通信。总的来说，“信息高速公路”的高速通信传输线路必然依靠光纤光缆，用户分配线路可能利用同轴电缆，有些专用通信网的线路可能利用对绞铜线电缆；而个人通信由无线接入进网后，可能或是通过固定的光纤通信网，或是灵活利用卫星通信线路。这意味着，“信息高速公路”虽是由高速通信网承担大量的信息业务，但也应包括目前看来暂是低速的全球个人通信；所以通信传输的整体，将是有线与无线并存，光纤与卫星都需要，光波与微波兼用，而有线部分将是光缆与电缆结合，既发挥各自的作用，又符合经济节约的原则。

高速通信的交换方式与设备，当然和现行一般速率通信的交换方式与设备有所不同。现在高速通信承担大量信息业务，包括很低数字速率的数据信息及控制信号，也包括数字速率较高的宽带信息，特别是电视和将来的高清晰电视 (HDTV)，它们虽经压缩编码，每路仍需 $10\sim 30\text{Mb/s}$ 。这些不同信息，在性质上又各不相同，电话和电视就需要实时通信，而数据和控制信号则往往是突发性的。这样，高速通信的交换须承担数字速率和性质都相差很大的各种信息，对它们实行复接和交换，在方式上和设备上都与过去的交换不相同。传统的电话交换机是利用电路交换 (circuit switching) 方式，双方接通后，挂机前，不管通话或不通话，都一直占用这条电路，效率低微。其后，数据通信业务兴起，采用分组交换 (packet switching)，曾经显出一定效果。到了现在高速数字通信，也许要利用快速分组交换 (FPS)。近年建议的异步转移模式 (Asynchronous Transfer Mode，简称 ATM)，实行异步复接和信元交换 (cell switching)。未来 B-IS-DN 的交换方式将采用 ATM，相应地，交换局中分布式计算机系统将提供高运行速率和大存储容量。

三、光纤、光子器件与光波传输系统

光纤自从发明至今将近 30 年，已历经几代革新。现在大家有了共识：光纤在通信领域，尤其在高速数字通信，单模光纤（single mode fiber，简写 SMF）起着主力作用，而且是工作于两个波长窗口，即 $1.3\ \mu\text{m}$ 和 $1.55\ \mu\text{m}$ ，后一波长的光纤损耗最小， 0.2dB/km 。常规单模光纤（conventional SMF）的标志是零色散波长位于 $1.3\ \mu\text{m}$ ，此波长的光纤损耗约为 0.4dB/km ，而最低损耗波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 的色散约为 $20\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 。一般地说，光纤色散越低，则光纤的带宽容量越大。为了尽量提高光纤在最低损耗波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 的带宽容量，特地研制一种色散移位光纤（Dispersion Shifted SMF，简称 DSF），使零色散波长从 $1.3\ \mu\text{m}$ 移位至 $1.55\ \mu\text{m}$ 。这样，单模光纤在波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 兼有低损耗和大带宽容量两大优点， $1.55\ \mu\text{m}$ 成为高速光纤通信最主要的工作波长。尤其是在 $1.55\ \mu\text{m}$ 窗口运用的光纤放大器首先研制成实用产品，在短短几年期间证明确实非常有用，而工作于 $1.3\ \mu\text{m}$ 窗口的光纤放大器仍处于实验室阶段，使波长 $1.3\ \mu\text{m}$ 的应用前景相形见绌。因此，人们对高速光纤通信寄托于重点开发波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 。不久前，为了更有效地挖掘光纤潜在的巨大容量，开始在同一光纤上同时传输不同波长但间隔很近的多路光载波，即波分多路，使总的传输数字速率相应地增为每一路数字速率的多倍。但是，在研究试验的过程中，遇到光纤非线性特性引起路际串扰的麻烦，有必要重新彻底考虑光纤色散特性的影响，力求色散特性能抵消非线性特性的不良影响。所谓“色散管理”和“色散补偿”，就是最近设想和试验的一些具体措施。研制负色散单模光纤，与原已敷设的常规正色散单模光纤互相配合使用，而使零色散波长不是准确位于 $1.55\ \mu\text{m}$ ，却是位于其它更适宜的波长，有可能消除光纤非线性特性的不良影响。

光纤通信所用半导体光子有源器件，最基本的有四种：光源器件的发光管（Light Emitting Diode，简写 LED）和激光管（Laser Diode，简写 LD），光检测器件的光电管（Photo Diode，简写 PD，或称 PIN）和雪崩管（Avalanche PD，简写 APD）它们都用 III-V 族化合物，短波长 $0.85\ \mu\text{m}$ ，光源用 GaAlAs/GaAs，长波长光源和光检测都用 InGaAsP/InP（仅短波长光检测用 Si）。这是从光纤通信开始使用一直如此，现阶段单模光纤系统以 LD 和 PIN 使用最多，将来高速光纤通信仍将如此。尤其是单频激光管（single frequency laser），可以说是光纤通信系统中最关键、最精密，也是成本最贵和最易损坏的光子器件，它的性能决定传输系统能力和总体质量。因此，它们的结构工艺在近年仍继续不断改进，层出不穷。主要是追求输出线谱窄、线性区域大、门限电流低、噪声小、输出功率大等。在结构上利用光栅的分布反馈（Distributed Feedback，简写 DFB 或 Distributed Bragg Reflector，简写 DBR），以及激活区利用多量子阱（Multi-ple Quantum Well，简写 MQW），已成为必然趋势。高速数字通信单模光纤的工作波长既然决定使用 $1.55\ \mu\text{m}$ ，则单频激光管的重点必将放在波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 。激光管本来可以使用直接的光强调制（IM），但如调制信号的数字速率较高，则为了避免发生频率扫动（chirp），宜于加装外部调制器（external modulator）。至于 $1.3\ \mu\text{m}$ DFB 激光管，因为能够做到线性区域较大和输出功率较大，所以光纤多路模拟电视在目前仍倾向于使用波长 $1.3\ \mu\text{m}$ 。

仅在 5 年前研制成功的掺铒石英光纤放大器（Erbium-doped Fiber Amplifier，简写 EDFA），在波长 $0.98\ \mu\text{m}$ 或 $1.48\ \mu\text{m}$ 半导体激光二极管足够大输出功率的抽引（pump）下，能够对波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 窗口不小的带宽范围

内提供稳定可靠和不太小的有用增益。这被公认为光纤通信技术近年的重大突破。在光纤光缆线路中间每隔一定距离设置这种光纤放大器，以淘汰传统再生中继机的光/电和电/光转换，使线路成为全光传输系统。这种光纤放大器还可以在线路发送端用作激光管输出功率放大器，也可以在线路接收端用作光检测管输入接收预行放大器，起很大作用。对于波长 $1.3\ \mu\text{m}$ 正在实验室研制掺镨氟化物光纤放大器 (Praseodymium - doped Fluoride glass Fiber Amplifier, 简称 PDFA)，因光纤强度等问题，尚未能保证制成实用产品。

适合于高速光纤通信的新一代光波传输系统，正是利用上述的单模光纤 (工作波长 $1.55\ \mu\text{m}$)、DFB 激光管、EDFA 光纤放大器，再加上波分多路 WDM。由于微电子集成片的限度，每一光载波载荷的数字信号速率目前最快只能是 10Gb/s ，而光纤的潜在容量远大于此数，这就引起上面提到的波长划分的多路光载波同时传输方式，常称波分多路 (Wave length Division Multiplex, 简写 WDM)。例如 n 路 WDM 光纤传输的总速率将为每一光载波传输速率的 n 倍，例如 $n \times 10\text{Gb/s}$ 。路数较多，如 $n = 20$ ，就为密集的 WDM，此例中总速率达 200Gb/s 。WDM 系统在发送端有多路不同波长的激光管输出经过由光纤制成的合波器 (multiplexer)，由一根光纤输出。接收端有一根光纤输入，经过分波器 (demultiplexer) 分别接至多路光检测管及预放大器的输入。对这样的系统，光电子集成 (optoelectronic integrated circuit, 简写 OEIC) 或光子集成 (photonic integrated circuit, 简写 PIC) 是必需的。发送端 n 路不同波长的激光管应该排成阵列，合用同一温度控制，用一只合波器和一只光纤放大器，最后同一封装，一根光纤输出。相应地，接收端一根光纤输入，一只分波器后， n 路光检测管及预放大器排成阵列，也是同一封装。另外，发送端必须做到精确调谐每一路激光管的发射波长和精密控制各路波长的间隔。而在接收端，必须做到精确选择各路波长，包括滤波器和放大器。其它如波长路由器 (router)，交叉连接 (cross-connect) 以及波长转换器 (converter)，都要做到有可调谐和可选择波长能力。

四、同步光纤传输网与异步转移模式

为了适应高速数字通信的趋向，现已开始推行国际标准的同步数字系列 (synchronous digital hierarchy, 简写 SDH)，即按数字群速率 155Mb/s 、 622Mb/s 、 2.5Gb/s 、 10Gb/s 等的系列，以替代传统的准同步数字系列 (PDH) 的 2Mb/s 、 8Mb/s 、 34Mb/s 、 140Mb/s 、 565Mb/s 等的系列。这说是说，制造厂商现已开始供应 SDH 有关的产品，速率比前提高了。相应地，一个国家的全国性公用通信网将是同步光纤传输网 (synchronous optical network, 简写 SONET)，以实现宽带综合业务数字网的同步传输 (transmission) 功能。上节所讲单模光纤 (波长 $1.55\ \mu\text{m}$) 和利用 EDFA、WDM 等新技术的光波传输系统，就是利用 SDH 数字系列和用于 SONET 的每条光缆线路的。

宽带综合业务数字网使用的交换方式，前面曾提到，国际上已肯定采用异步转移模式和信元交换。就是说，实行异步复接和交换 (multiplexing & switching)。虽然 ATM 迄今还没有国际标准，各研究单位采用的制式大致相同。例如信元，就是固定长度的短分组，53 个字节 (byte)，包括标头和信息。这种方式的优点，在于它容许很低数字速率的信息与很高数字速率的信息，速率相差 3~4 个数量级，仍能一起复接，而且容许实时信息和突发数据一起复接，非常灵活。ATM 的产品和设备，成本比较低廉，深受各方欢迎。

五、各种不同用途通信网的互连和组合

大家熟知的和使用最多的通信网是公用通信网，包括市内电话网和长途电话网，任何用户可以利用自己单位里或家里安装的，按月付费的电话机，或街道按次付费或投币电话机，与市内或国内、国际各地对方用户通话。随着信息时代的来临，人们越来越多地使用信息，而计算机技术和设备不断革新，于是企业、事业和行政管理单位都在各自的大楼或地区范围内加强信息和通信设施以提高办事效率，原来设置的用户电话小交换机（PBX/PABX）不能满足需求了。首先增建的是计算机通信网。在本单位各部门的计算机之间互相实现数据通信，甚至扩充为音频、视频综合业务通信和多媒体通信。这种通信网就属于各单位自己拥有的专用通信网。在单位自己一幢大楼或一个地区的专用网，称为局部区域网，简称“局域网”（Local Area Network，简写 LAN）。如果单位厂房占有较大地区范围，甚至跨越城市街道，则专用网称为“城域网”（Metropolitan Area Network，简写 MAN）。如果是全国性企业机构，需要其总部与各地分支单位随时执行直接业务通信，专用网就成为“广域网”（Wide Area Network，简写 WAN）。目前有这样三类覆盖面积由小到大的区域网，即专用通信网。其中 LAN 是从低速 10Mb/s 开始，逐渐加快至 100Mb/s、155Mb/s、甚至更高速率的容量，它们所用的传输线路，从同轴电缆和对绞电缆开始，很快发展至光纤光缆，将来还有可能利用无线移动通信。MAN 的传输线路可能以光纤光缆居多，也结合使用电缆。WAN 则将更多地利用 VSAT 卫星通信，结合使用光缆和电缆。不管是哪一类专用通信网，它们虽然主要是频繁的单位内部之间点与点、点与多点、或多点与点的直接通信，但也需要与公用通信网沟通，这是肯定的。可以看到未来的趋向：在一个国家公用通信网越来越发达的同时，专用通信网的数量和业务将迅速普遍增长。这种现象在过去是没有的，现在却应重视考虑和充分估计，而且要尽量鼓励各单位建设和发展专用网。这是形成“信息高速公路”的特点：不仅公用网发达，而且专用网广泛加快发展。随之而来的问题，将是专用网与公用网的网间互连（network interconnection）和接口（interface）的分别设计和装置，这是复杂而重要的工作，必须十分重视研究开发，予以妥善解决。在国内各地城市，市内电话普遍发展的同时，有线电视（CATV）在近年也迅速兴起，每家每户不仅想装电话机，而且都要收看有线电视。到了 B-ISDN 时期，用户终端不仅有电话机，还有计算机及显示器，市内通信不仅提供电话业务，还要提供数据和宽带视频信息业务。而有有线电视不仅提供多路电视广播业务，还要提供按用户需要收看电视或电影（Video On Demand，简写 VOD）业务，后者类似于交互通信业务。市内通信和有线电视的传输线路和分配线路，都要利用光纤光缆和同轴及对绞电缆，这就有必要统筹规划它们两者通信网的统一组合，达到经济合理的目的和避免重复敷设线路造成浪费。

上面讲的都是固定通信网，实际上还应该考虑移动通信网，它在将来必然会大发展。移动通信的特点，在于设置许多蜂窝区的无线电基台（base station 或 cell site），甚至微区（microcell）小电台，让个人用户的移动机或袖珍机经过无线接入。这些无线接入，虽然目前暂时是低数字速率，但也应包括在全国通信网基础设施之内。这许多无线电基台各自直接连接移动通信蜂窝网的交换中心（Mobile Telephone Switching Center，简写

MTSC)，再由它连接市内通信网的交换局（Central Office，简写 CO）。或者，许多微区小电台经过基台连接市内网的 CO，即进入固定的市内网，简称进网。这些连接都是依靠有线线路，很可能是光纤光缆。由此，必须妥善考虑或筹划这些移动通信网的线路成为市内通信网线路的一部分。或者，让市内通信网和移动通信网统一组合，达到有条不紊和经济合理的目的。

六、跨世纪通信网的前景

从本文的粗浅介绍，希望能够得出一些初步的共同认识。首先，对于世界范围，特别是工业发达国家提出的“信息高速公路”倡议，我国必须在原则上坚决地迎接挑战，但绝不是笼统地说要大搞特搞所有信息设施，也不能一哄而上，写出不顾国情的宏伟规划，要装这样装那样，不管设备从哪里来，甚至全部向外国购买，外国人出什么，我们就买什么，既不怕耗费劳动人民血汗，也不管能否发挥效益。这样的做法显然是不妥当的。我们必须周密考虑，分清轻重缓急，排列先后次序。在开始阶段，有关信息设备可以适当向外国选购，或者中外合资经营制造工业，不仅考虑近期怎样对国家有利，还应想到远期怎样立足于自己。有些急迫需要的措施，应当毫不犹豫地尽快落实，不失时机，所以也不能笼统地说国内的响应要降温。

“信息高速公路”的国家信息基础结构 NII，在很大程度上依靠通信网基础结构。这主要是建立全国性骨干通信网，它必然是高速数字通信网，其传输将依靠光纤光缆线路的光波通信。所以说高速光纤通信网是“信息高速公路”的基石是合乎事实的，在可预见的将来，即跨世纪通信网的发展前景也是如此。跨世纪通信网将是宽带综合业务数字网 B-ISDN，高速光纤通信网正是用来逐步实现这个目标。所有信息业务都要转换为数字信号，综合一起传输和交换，高速数字通信就是指大量数据和宽带电视的数字信号以高速率 Gb/s 级传输和交换。跨世纪通信网的发展重点，明确标出为 V·I·P，分别表示电视信息普遍利用，交换机构提高智能化和个人通信在全球实现。详细地说，在跨世纪通信网，电视信息促使多媒体通信更加丰富多采，数字电视经过压缩编码，促使通信与广播（CATV）结合，交互通信适用于电视（VOD），现行广播质量电视进展至高清晰电视。宽带数字通信网既使用同步数字系列和同步传输网（SONET），又使用异步转移模式（ATM），即异步复接与交换。交换局内增多利用计算机软件，逐步达到高级智能网。个人通信业务需要无线接入，遥远距离将充分利用卫星通信的优越性，增加无线电传输的分量。所以，从全球个人通信业务的观点，无线通信大有可为，不是光纤通信一统天下，在国家通信网基础结构中必须明确计及无线接入和无线通信，无线必将与有线并存。PCS 在开始时仅是通过电话和传送低速数据，没有高速信息，但其重要性却不可低估。因此可以这样说：名为“信息高速公路”和高速通信网，并不意味着什么都是高速，事实上它包含的某些重要部分仍为低速，要看实际需要情况而定。同时，也应十分强调，通信网技术的进展，确实体现在高数字速率、宽带信息大容量数据。本文有一节专门叙述光纤、光子器件和光波传输系统的迅速发展过程，已经描绘出光子与光波的优越特征正在实际应用中显露锋芒。为了高速、宽带和大容量，电子技术正在引伸至光子技术，电波正在延伸至高光波。事实上，另一种起逻辑开关作用的光子器件，正在积极研究试验，这就是自电光效应器件（Self Electro-optic Effect Device，简写 SEED），现已从对称式（Symmetric SEED）改进为场效应晶体

管式 (FET-SEED) 的阵列, 都采用多量子阱结构, 开关速率提高, 性能改善显著。这种光有源器件, 连同其它光无源器件, 将促使光开关、光计算和光交换等技术加速发展。加上优良的光纤传输, 可以构成崭新的全光通信网 (all optic network)。这应该说是跨世纪通信网发展前景的一个重要方面。也可以说, 电子学向光子学引伸 (electronics-photonics), 微米技术向纳米技术进化 (micrometer-nanometer technologies), 正是科学随时代前进发展规律的必然趋向。

信息高速公路与现代社会

张景中

中国科学院成都计算机应用研究所

张景中 理论计算机科学家。1936年12月30日生于河南汝南。1959年毕业于北京大学。现任中国科学院成都计算机应用研究所研究员。1995年当选为中国科学院院士。主要从事计算机科学领域的研究工作和教学工作。

一、信息高速公路计划的提出

什么叫高速公路？大家已经很熟悉了，我们成都到重庆就有高速公路，原来坐火车要8个小时，现在高速公路4个小时就到了。信息也不是什么新名词，这些年各种媒介，如报刊、科普书籍都提到信息。信息在现代社会当然非常重要。信息高速公路是什么意思呢？高速公路跑汽车，信息高速公路是传信息的，这个路就是线。原来是电话线、电报线，多是金属的，现在走信息的通道主要是光缆。

信息高速公路这个说法，是1993年美国克林顿在一份向美国国会提交的报告中提出来的。它的意思是指一套四通八达的能向人们提供丰富多彩的信息的电子通讯网络。什么是网络？大家知道电话线路组成一个网络，把全世界联系在一起。网络把信息传递变得更快，更方便，内容更丰富，服务的对象更广泛。信息高速公路计划，提出要在90年代中增加20亿美元的经费，确保美国在1997年建成信息高速公路。它正式的名称叫做国家信息基础设施。克林顿报告中说，信息高速公路一旦建成，由通讯线路、计算机、数据库及日用电子产品组成的完备的网络，它能使所有美国人享用信息，并在任何的时间和地点通过声音、图像、文表相互传递信息。这个计划提出后，在全世界引起很大反响。

二、信息高速公路对社会生活的影响

最近几年，计算机技术有了更快的发展。又便宜、功能又强的586级芯片问世了，容量超过1000张普通软盘的只读光盘和驱动器的价格大大下降了，硬盘、内存条这些关键设备的性能提高而价格在降低。这些发展使计算机更便宜，功能更强大，能够更好地支持多媒体技术和网络通讯技术。信息高速公路计划，就在这技术背景下应运而生。

那么，有了信息高速公路，生活会是什么样子呢？

下面讲的是信息高速公路在几个方面应用的例子。

1. 电子通讯，也叫电子信箱。在地球上转一圈是8万里，送一封快信到美国也要好几天。打电话虽快，花钱就多了。但只要计算机联了网，世界上任何一个地方，只要你知道对方的电子信箱地址，按一下按钮，这封信几秒钟就收到了，费用比电话便宜得多。这种服务我国许多城市都有，不新鲜。信息高速公路建成后，电子信箱会更普及，不仅能传信，还能传声音，传图像。现在其实也能传，只是传的人一多线路就拥挤。价格也贵。

2. 家庭娱乐，是多选择的，交互式的。多选择的，是按自己的喜爱来选

择，发送信息然后就可享受自己选择的节目；交互式的，是既可听可看，又可表演，能传送给别人看。

3. 很多科学家认为，信息高速公路建成后，给人类带来最大的好处，是远程教育、开放式的电子大学。我国现在青年人上大学的比例只有百分之几，普及高等教育看来是遥远的事。利用信息高速公路办电子大学，学生可在家里计算机前听课、做作业和参加模拟考试。这样还可选最好的老师来讲课。计算机多媒体声情并茂，学生如身临其境。将书籍写入光盘，放在网络上，形成电子图书馆，你在新疆就能阅读北京图书馆的书。一张小小的光盘能存上千册书，便于旅行时翻看，而且电子图书能发出声音，上面的图像能活动。利用计算机虚拟现实的技术，可在计算机上做实验。利用信息高速公路办教育，有人估计可节省 40% 的时间，花的钱节省 30%，学生学习的內容至少提高 30%，从而使更多的人能够享受高等教育。

4. 有了信息高速公路，科学家、艺术家、各种专业技术人员可以和世界各国的同行随时联系交流，讨论问题，查询文献资料，复制软件。这对科学文化的发展有很大的促进作用。

5. 信息高速公路在医疗卫生方面也有很大用处。在计算机前就可以挂号求医，作健康咨询，办医疗保险，买药。最近在报刊上看到，北京有个大学生得了一种怪病，医生束手无策。他的一位同学就通过计算机在国际电子网络上说明症状，向世界的医生们求助。很快有了回音，说这可能是铊中毒，应如何如何处理。医生如法治疗，结果就好了。将来有了信息高速公路，这类事会很多，不再是新闻。

6. 电子商业，就是通过计算机订货、买货，能减少差错，不用那么多采购员、推销员到处跑，也不用那么多广告、定单和文件，可节约大量的开支。香港统计，如果实行计算机贸易，可加快进度 80%，文件成本降低 44%，竞争力提高 34%。美国通用器材公司运用电子网络，一年的经济效益就有 312.5 亿美元。东芝公司运用此网络，文件处理费用节省了 1/4。新加坡海关过关量很大，运用网络，每年节省 6 亿美元。

7. 电子金融，即是信用卡的大量使用，不用或少用现金。不但方便，也比较安全。印钞票、点钞票的费用大大减少，还解决了假钞票的问题。

8. 有了信息高速公路，很多单位可实行或部分实行居家办公。很多会议可在网络上开。这可以节约办公场地开支，缓解交通拥挤，减少空气污染。

9. 美国还提出电子政府的概念。例如：政府公开的文件大家都很容易在网络上查阅。政府可通过计算机在网络上收税或办理其它公务。公安部门利用网络和违法分子斗争。

10. 各国人民之间的信息交流，有助于增强相互的了解和友谊，有利于和平与发展。

总之，信息高速公路的实现，会引起社会生活巨大的变革，能产生巨大的经济、社会效益。

三、一些国家和地区的信息高速公路计划

美国在 1992 年 12 月提出高性能计算机通讯计划，是为信息高速公路作准备的。到 1993 年，基本实现了科技、教育、企业的联网。1994 年白宫进入了信息网。下一步实现家庭的联网。

欧共体 1993 年 12 月提出，今后 5 年投入 330 亿法郎，在已经建立了科

学教育网的基础上，准备在今后 10 年内建成信息高速公路。法国总统 1994 年 2 月提出了信息高速公路计划；1994 年 2 月英国电信局宣布投资 100 亿英镑，今后 10 年投资 380 亿英镑建设信息高速公路。

日本从 1993 年 6 月开始提出有关信息高速公路的一系列计划。

加拿大 1994 年设立了信息高速公路顾问委员会，政府计划到 2000 年投资 8 亿美元。

新加坡则更早，在 1980 年就提出建立信息化的社会，1992 年开始实施信息高速公路计划，国家已经铺设了 16000 公里的光缆，可能是世界上第一批建成信息高速公路的国家之一。

韩国 1994 年 3 月决定要建设超高速信息通讯网，准备到 2015 年建成，总投资 550 亿美元。

中国的台湾省 1994 年 3—5 月成立了通讯建设研究计划小组，当局准备每年投 1000 亿台币，合 30 多亿美元，把信息高速公路作为经济建设的重点。

俄国准备在 10 年之内在 50 个城市之间铺设 50000 公里的光缆，总投资 400 亿美元，它是和美、法、德合作搞的。

德国人认为，他们已经建成了信息高速公路。德国电信局已经给所有的用户提供了光缆服务，在世界上名列前茅。

你可以看到，这是个全球的浪潮。发达国家都参加了，谁也不肯落后。

四、与信息高速公路有关的科学技术

信息高速公路都涉及到什么技术呢？

信息高速公路的特点，是要对多样化的信息进行高速度的传输，大容量的储存和智能化的管理。这涉及多种高技术，涉及多门科学。

先谈谈高速度地传送信息。打电话，一秒钟也就说十几个字。把电话线通过调制解调器和计算机连起来，一秒钟能传送 14K，即 14000 比特的信息，差不多 2000 个字。用一种特殊的 T—1 电话线，一秒能传到一张普通软盘，即 100 多万比特，一二十万字的信息。高速的光缆能达到一秒钟 100 万张软盘的信息。而且是很多路信息在一条光缆上传送。这不仅对光缆的材料和制造工艺有很高的要求，传送和接收都是高技术。公路上的汽车，随路形和车的多少不同，时快时慢。用线路传送文件，时快时慢不要紧。传送音乐和电影，时快时慢就要失真。为解决多媒体信息的快速传送中的问题，发展了多种新技术：DSVD（数字同时声音数据）、ISDN（集成服务数字网络）、ATM（异步传输）等。

汽车和货物不能光在公路上跑，在发车和停车的地方必须有停车场和仓库。信息高速公路上的信息，也要有储存的地方。人类最早储存信息，是记在脑子里，一代一代口传下去。后来会用文字和图画，刻在石头、竹片、甲骨、泥版、金属上。中国人发明了造纸、印刷，是信息储存技术的大进步。近代发明了留声机，录音机，录像机，能储存声音和活动的图像。把文字、声音和图像都转换成数字存在磁带、磁盘或光盘上，是现代科技的一大成就。信息的储存可不简单，要在同一块地方尽可能多存，要保证迅速地查找到并能提取出所要的信息，还要能长期保存不失真，这里不但有材料、工艺问题，还有数学、理化的理论问题。

计算机科技的发展，现在有两大特点。就是多媒体化和智能化。媒体指的是传播信息的媒介。只用文字传播，是一种媒体，可以说是单媒体，不过

大家不这么说。用文字、声音、图像甚至活动的影像等多种媒介来传播信息就叫多媒体。这多种多样的大量信息在信息高速公路上跑，有来有往，又存又取，同时满足成千上万人的需要，管理起来很不简单。这就要靠计算机，进行智能化的管理。比如，你想看电视，计算机可以帮你选择，它会了解你的需要，替你安排你爱看的节目。还要把各种功能统一在一起管理，如电话、计算机、电视、传真机就全管了，这个并不需新发明，现在的计算机就能全管。现在成都有了光纤电视，以后这光纤可以通电话、传数据、取软件等，一条线路多用。你可以收信息也可以传信息，这叫交互。我们现在的电视都是由电视台管理，你有什么要求要另外打电话，将来可以是用户驱动的，你从节目单上调就是了。信息、软件、硬件、管理人员组成了复杂的信息高速公路系统，为用户服务的业务是系统的最低层，中间是线路，中心是管理机构。涉及的技术有各个方面的，计算机科学、光纤通讯、数字通讯、个人通讯、信号处理、光电子、半导体技术、存储、网络技术、多媒体技术、信息安全，等等。使用起来非常方便，做起来却需非常复杂的高技术。就是这样，你用得越方便，做的人就越要动脑筋。举个简单的例子，你在信息高速公路上发布一则广告，人家怎么确定是你发的，不是冒名顶替呢？有人见了广告要和你做生意，通过信息高速公路和你联系买卖，这是商业秘密，怎么才能保密，不让别人抢你的生意呢？这就是密码学的问题，是数学问题。数学家早已有了解决这个问题的办法。在技术上的实现，则是精益求精，无止境。

信息高速公路涉及到很多门高科技，这是很好的机遇。哪个企业看准了，干得好，会有很大的收益。我们成都有个“鼎天”公司，看准了光盘要流行，就早走一步，生产VCD卡，销路好，这个公司就发了。前几年在报上看到，成都电子科大发明了一种可写可擦的新型磁光盘，这个技术估价为几千万元，在深圳成立了公司来生产。我不知道后来成功没有。但这个方向是对的。光盘、VCD卡是硬件。信息高速公路发展了，对软件的需求更大。有了路不能老是跑空车，要有货。就像有了电影技术，还要有写剧本的，有好的导演和演员，才有好片子。就拿中国的教育软件来说，刚刚起步。我国有上亿的学生，还有大量的业余培训班，参加自学高考的成年人，有了计算机却买不到好的教育软件。从小学、初中到大学，各科连教学带复习，据估计需要1000多种教育软件。真是大有可为。教育只是一方面，各行各业用起计算机来都需要软件，这个市场很大，很多外国公司要进来，我们不能不管。这不但是发展民族产业的问题，也涉及发扬民族文化的问题。

五、中国怎么办？

搞信息高速公路用很多钱。中国还穷，干不干呢？看来，干比不干好，早干比晚干好。尽管我们钱少，还是要拿出一部分钱来干这件事，就像成都，光纤还是装起来了，启动了。

为什么要干？

第一，这是国际竞争的需要，在这方面，谁落后、赶不上潮流，就要吃大亏。我国在50—70年代20年间，没赶上计算机科技的第一次发展浪潮，吃了大亏。50年代计算机刚出来不久，大学里没有计算机系。用的是手摇计算机，袖珍计算器还没有。我们起步晚，但那时国外也差不多，差距不大。但我们搞反右、大跃进，接着就是文化大革命，一直没有把这事摆到议事日程，就大大落后了。当然，计算机科学技术有今天这样子，当初许多科学家

也想不到。开始，为了造原子弹，美国就做了一台计算机。那时的科学家说运算得这么快，全世界有几台就够用了。没想到后来有这么大的需求。过了十几年，计算机做得小了，可放在桌上了，有的科学家还预计，计算机不会进入家庭。现在不同，大家都说，计算机要进入每一个家庭。在五六十年代，看出了这个趋势的公司就投资，找人研究，发展起来。美国的比尔·盖茨，当时上大二，看到这个趋势，他就休学，办软件公司，搞软件，后来成了大公司。现在是各大企业、很多国家的政府都看出来了，信息高速公路一定会发展起来。这竞争就更激烈，不能再耽误了。发展信息科技，信息产业，不但是经济的需要，和政治、文化、军事都有密切关系。这是提高综合国力的需要。

第二个原因：是科教兴国的需要。科技是第一生产力。经济由粗放到效益型，离不开科技。而信息科学技术是现代科学技术的龙头。同样的产值，我们的能耗比发达国家要多3—5倍，能源利用率只有30%，全员劳动生产率只有发达国家的5%。为什么我们的工资比发达国家低，主要因为我们生产率低，没有生产那么多东西。要提高工业产品的质量，降低成本；要搞集约化的农业，改良品种，提高单位面积产量，都要科技，有的还是高科技。信息公路有关的技术和高科技有密切的联系，这方面的发展对高科技有很大的促进。如果国家有意识地来扶持，就能推动产业的发展，推动高科技产业的积累。我国现在的高科技市场，电视机市场日本占得多，计算机美国占得多，中国只占了百分之几。信息高速公路的启动，一方面为科技发展提供资金，一方面又是为发展教育，提高全民族文化水平提供先进的工具和手段。

第三，这也是社会发展的需要。我们是社会主义国家，宏观调控很重要。要宏观调控，首先必须掌握信息。所以我们国家搞“金桥工程”，就是用电子网络把全国各大企业、地方、中央有关机构联系在一起，掌握信息，才能搞好宏观调控。社会主义要使大家共同富裕，一方有难，八方支援。有了信息高速公路，有关方面就能更及时、准确地了解灾情，组织救助。信息高速公路还有助于下情上达，上情下达，健全社会主义法制，发扬社会主义民主，建设社会主义精神文明。

改革开放15年来，我国的通讯事业有大发展。全国长途电话线路增加了15倍，电信业务翻了5番。技术也提高了。现在我知道的，中国已有了两个电子通讯网。还搞了个四金工程，就是金桥、金关、金卡、金税这4个项目。“金桥”就是搞国家经济信息网络；“金关”是海关贸易信息网；“金卡”是银行的联网，像牡丹、长城卡等，不建网就不能很好保证资金的安全；“金税”就是用网络技术管理国家的税务。我们有优越的社会主义制度，有国家的统筹安排，有改革开放以来经济发展所形成的基础，广大科技人员和各有关部门、企业的积极性都很高。我国计划在2000年前建成主干网，把发达地区联起来，到2020年，建成全国高速网。西方发达国家，大部分要在15年内建起信息高速公路，我们要晚一点，25年。中国的这个计划，许多外国企业都想往里挤，从中抢一块。那就要看我们自己能保住多少生意。我国有几个公司干得不错，联想、长城、北大方正，这些民族企业在成长起来。虽然资金不能与国外公司比，但我们也有优势，人多，基础教育质量高，有人才。只要充分发挥社会制度的优越性和人力优势，后来居上并非不可能。印度是软件出口大国，就是靠人的优势。中国今后在软件领域应当会超过印度。硬件方面中国有一个优势，国家可以集中力量攀登高科技的高峰，再来推广。

所以对我国的信息高速公路的前景应当有信心。

但是，与发达国家比，我们毕竟底子差，规模小，技术较落后，差距大。我们在前进，人家进步更快。国家搞了“863工程”，是要缩短高技术领域我们和国际先进水平的差距。技术还只是一方面。另一方面的问题是，我国社会信息资源质低量少，还有假信息。在报上看到，一个地方号召种苹果，有些区乡干部就多报，种15亩报20亩，到后来根据这个数收税，一亩收1200元，到农民那儿就2400元了。农民不服，告上去，只好再报受灾要求减税。这样一来，信息又错了。有了信息高速公路，里面传什么信息很重要。假信息还不如没信息。信息资源的开发和管理与信息高速公路的建设是相互促进的。

任何新技术的出现和发展，总会有点反面的效果。一是用得不好就变成坏事。青霉素能治病，也会有过敏，弄不好要死人。汽车带来方便，但也会出交通事故。一是坏人也可以用新技术干坏事。武器在公安人员手里是保护人民的，在犯罪分子手里就用来作案。信息高速公路也是一样的。比如银行用上计算机、电子网络，工作效率提高了，差错少了，是好事。但有的营业部计算机一出故障就不办公了，甚至把账丢了，这时还不如手工。在一些发达国家，信息高速公路已经带来一些问题。像黄色信息在电子网络上的流传，影响少年儿童身心健康，引起教师、家长广泛的抗议；计算机病毒的传播，计算机经济犯罪，造成巨大的财产损失；美国国防部的一个数据库的密码，被新西兰的一个少年计算机迷破译了，说明计算机数据安全问题是很严重的；有人在电子网络上教人制作炸弹、从事犯罪；不少中小学生学习电子游戏入了迷，影响学习和健康，等等。对信息高速公路带来的好处，也不能估计过高。目前用电子网络的人还少，用起来速度较快，很方便。如果用户迅速增多，线路拥挤，就会很慢。就是在发达国家，现在的信息高速公路系统，也远不能达到有些书上（如流行的《未来之路》，比尔·盖茨著）所描写的那样美好。

我们既要充分重视信息高速公路的建设，重视它的积极的方面，又要尽可能防止它的消极影响。电子网络上的种种不健康的東西，只靠技术手段是堵不住的。只有提高人的素质，加强精神文明建设，才能从根本上解决问题。科技总是要往前发展的，不能因为有飞机失事而把飞机都停了。高科技是给大家带来方便和好处，但并不是每时每刻都带来好处。有次大数学家陈省身教授在北京讲学，他说高科技有时带来不方便，我在美国，如果没有高科技我就不来中国讲学，坐在家舒舒服服的，有了高科技，买张飞机票就能来，不好不来。总的来说，高科技提高了生产力，给大家带来了便利，但在局部上有些缺点和问题，关键是我们怎么来减少消极因素。这个问题与成都也有密切关系，成都订了“九五”规划、2010年远景规划，都提到了信息建设，而且成都在全国比较起来，发展还是快的，走在前面。在成都实行科教兴市，建立了公众信息网，960服务，只要用计算机拨960，就能得到网上服务。有一台386，一部市内电话就行了，没有入网不入网的问题。这和我们每个人都有关系，并且每个人也都会在今后的信息高速公路中发挥作用。

研制先进的液氧/煤油火箭
发动机是提高我国航天技术
水平、加速运载火箭产业
化进程的有效途径

张贵田

中国航天工业总公司

张贵田 液体火箭发动机专家。1931年12月20日出生于河北藁城。1961年毕业于原苏联莫斯科航空学院并获工程师职称。曾任中国航天工业总公司067基地主任。现任该基地科技委主任、研究员。兼任中国宇航学会常务理事。1995年当选中国工程院院士。他在我国液体火箭推进技术方面作出较为系统的、创造性的成就和重要贡献。

航天技术是现代科学技术中发展最快的尖端技术之一，是一个国家科学技术水平和国民经济实力的综合反映，是一个国家科学技术水平的重要标志，亦是综合国力的象征。航天技术高度综合集中了许多基础科学和新技术，如数学、近代力学、自动控制、电子计算机、真空与低温技术等，它的发展促进了一大批基础科学和现代技术的发展，如新材料、空间物理、航天医学、生命科学等。航天技术的发展、宇宙环境的应用导致了一系列出乎意料的技术革新。当今，一些发达国家正在以大空间概念设计国民经济未来发展的蓝图，把航天技术产业作为未来发展的一个战略重点，认为它是发展各类高新技术产业的领头技术，它能带动一大批高新技术产业及其它基础产业的发展，推动和促进新工艺、新材料、新能源等技术的进步，航天技术对国民经济的发展将起到“加速器”和“倍增器”的作用。

航天科技工业的发展对推动解决我国面临的人口与资源、环境与灾害、通信与交通、教育与文化等重大社会问题起到了其它任何技术和产品不可替代的作用。同时，航天技术对国家的国防建设具有极其重要的意义，这一点已得到共识。目前战略战术导弹、卫星导航定位、军事测绘侦察、作战指挥和通信等方面广泛应用于国家建设，并取得了显著效果。宇宙空间是现代军事竞争的制高点，航天技术与防御技术已很难分开，这在战略威慑和现代化战争中表现得尤为显著。

航天技术能够产生巨大社会效益和经济效益的主要途径是通过应用卫星来实现的，而运载火箭扮演着极其重要的角色。在近40年的发展过程中，我国航天科技工业依靠自己的力量，研制成功了长征系列运载火箭，达到了全型谱的运载能力，并已成功将我国自行研制的通信卫星、返回式遥感卫星、气象卫星等应用卫星送到静止轨道、近地轨道和太阳同步轨道等不同的轨道，而且先后成功地为西德、法国、澳大利亚、瑞典、法国、美国等国家发射卫星或其它有效载荷。我国的长征火箭成为世界发射市场的主要运载工具之一，昂首阔步地进行国际商业发射市场，使中国航天在国际航天界占有一席之地，并享有较高声誉，显示了社会主义中国的综合实力。

虽然我国航天技术取得了巨大成就，引起了世人的瞩目，但是应该清醒

地认识到我们的不足。目前，我国现有的长征系列运载火箭是在战略武器的基础上演变沿用而来的，其推进剂(偏二甲肼/四氧化二氮)毒性大、污染严重、价格高、性能低，其不足是很明显的。美国、法国、前苏联等航天大国对于推进剂的毒性和污染问题高度重视。美国从1970年就禁止在本土上生产偏二甲肼，法国阿里安火箭所用的偏二甲肼一直从前苏联购买，而且不在本土上发射(在法属圭亚那库鲁航天发射中心发射)；原苏联解体之前曾下令禁止使用偏二甲肼。随着全世界对环境保护的日益重视，很可能在不久的将来全世界禁止生产使用偏二甲肼作为火箭推进剂。因为偏二甲肼毒性较大，损害人体的肝脏。尤其是四氧化二氮/偏二甲肼的燃烧产物，对人体损害更大，并较为严重地污染环境。从事使用该种推进剂发动机试验的工作人员中60%有不同程度的肝病，普遍转氨酶高。在组织火箭发射时，由于 N_2O_4 泄漏已引起几次伤亡事故，后果比较严重。长征运载火箭是当今世界可靠性、技术稳定性最好的运载火箭之一，但是近几年来，长征火箭发射时有失利，并造成了不同程度的人员伤亡，其推进剂毒性大和污染严重问题已引起了我国各级领导的高度重视，也增加了参试人员的恐惧感。虽然发射失利未引起十分严重后果，但参试人员“死里逃生”、“后怕”的感觉仍然十分强烈。这给组织发射带来了一定的困难。同时，由于推进剂价格偏高，增加发射成本，进而使得长征火箭在国际发射市场中价格竞争力不甚明显，也是一个比较突出的问题。如何提高运载火箭可靠性，降低发射成本，增强竞争力，是加速我国运载火箭产业化进程的关键所在。

要想有先进的运载火箭，首先必须要有先进的动力系统-火箭发动机。火箭发动机是运载火箭的心脏，它的先进性突出表现在低成本、无污染、高可靠、高性能、使用安全、操作方便。液氧/煤油火箭发动机作为运载动力装置的优越性在于：一是煤油作为常温推进剂，使用极为方便，安全性好，而甲烷、丙烷、液氢为低温推进剂，不好贮存，运输、加注和操作都不方便，泄漏后易起火爆炸，特别是液氢很容易泄漏。二是煤油价格便宜，每千克煤油的价格只有液氢的1/100和偏二甲肼的1/30，可以较大幅度地降低发动机的研制成本和运载火箭的发射费用。发射一颗20T低轨道的有效载荷，如用液氢/液氧和四氧化二氮/偏二甲肼组成的二级半方案推进剂费需3000万元，而用全液氧/煤油方案只需推剂费100万元。三是液氧/煤油组合密度比冲高，是理想的下面级(助推级和芯一级)发动机，稍作改进之后亦可作为比较理想的上面级发动机。四是我国煤油资源丰富，贮量极大，可满足长远的需要。我国克拉玛依油田开采的煤油是低凝点环烷基中质原油，完全符合火箭推进剂用煤油标准，现已查明贮量在5亿吨以上，按每年200万吨开采量计算，可连续开采50年以上，同时我国黑虎山、辽河、胜利等油田符合要求的原油贮量也是丰富的。经各种研究试验和两次液氧/煤油发动机热试车的成功，充分说明了国产煤油能完全满足使用要求。五是使用液氧/煤油发动机可完全消除四氧化二氮/偏二甲肼有毒且污染环境的严重不足。六是液氧/煤油发动机可实现运载火箭模块化积木式设计，可用不同组合完成不同载荷的发射任务，能形成我国新一代运载火箭系列。上述诸优点体现了先进动力系统的要求和研制方向。

经过近10年关于大型运载火箭和天地往返运输系统动力系统的技术论证、研究及关键技术攻关，国家决定研制液氧/煤油高压补燃发动机，并已列入“863”计划。这无疑是提高我国航天技术水平的重大举措，更是加速我国

运载火箭产业化进程的英明之举。

近几年，我一直参加并负责大型运载火箭和天地往返运输系统动力系统的论证工作，以及“863”液氧/煤油发动机的预行研究和关键技术攻关工作。从近几年的工作进展情况来看，液氧/煤油高压补燃发动机在技术上十分先进，代表当今液体火箭发动机领域的最高水平，其先进性体现在以下几个方面：

1. 先进的闭式循环系统。该系统能充分利用燃料的化学潜能。补燃发动机也称为分级燃烧发动机，该系统先把推进剂的一组元在预燃室中进行富氧（或富燃）燃烧，生成低温大流量的燃气驱动涡轮，然后将工作过的燃气引入燃烧室进行完全燃烧。它避免了开式循环系统涡轮排气的能量损失。闭式循环发动机可较大幅度提高燃烧室压力，进而提高燃烧效率，仅采用闭式循环系统就能提高比冲 6% 以上。对二级半火箭来说，当起飞质量相同时，有效载荷能提高 30% 以上；假若有效载荷相同，运载火箭起飞重量可降低 20%。使发射 1Kg 有效载荷的全寿命周期费用降低约 16%。用这种发动机的试验机，于 1995 年 12 月 ~ 1996 年 1 月进行两次全系统高压补燃发动机试车，其真空推力为 85T，真空比冲为 3500m/s，混合比 K 在 2.34—2.6 之间。

2. 先进的燃烧室混合喷注器。在补燃循环系统中，氧化剂全部在预燃室气化后，再进入燃烧室进行燃烧，这样就实现了气液两组燃烧，气液燃烧大大改善了发动机的燃烧稳定性。为了进一步提高燃烧稳定性，用不同长度的喷咀把喷注器分隔成数个区域，气液喷咀为同轴内混合式，其长度为 1/4 波长，形成几百个小声腔，能够有效地衰减振荡；另外在燃烧室上游设置了整流装置，把不规则的涡轮排气进行整流后引入燃烧室。高压补燃循环系统不仅有利于解决技术关键不稳定燃烧问题，而且还较大幅度地提高了燃烧效率。我们对喷注器进行了混合雾化试验，并对发动机进行了热试车，试验结果表明：高压补燃循环系统的燃烧效率高达 0.98。

3. 先进而巧妙的燃烧室冷却措施。几十年来争论不休的用煤油作为冷却剂问题，以过大量的传热试验及计算分析后表明：采取适当的措施是完全可以解决的。用克拉玛依煤油作燃料进行了工作时间分别为 10 秒、50 秒的两次试车后燃烧室完好无损，光洁如初，说明用煤油作发动机冷却剂是完全可行的，效果是相当理想的。在燃烧室的冷却结构设计上采取了一系列措施：一是在喉部以前设置了三条冷却带，其流量为推进剂总流量的 2~3%，煤油进入燃烧室是贴壁向上旋转式；二是燃烧室喷管从膨胀比为 8 的截面至圆柱段，用螺旋式冷却槽，并且喉部附近的冷却槽加工成波浪形，以便提高其冷却效果，这样可使内壁温度降低 40℃ 左右；三是低温煤油从收敛段进入冷却槽，首先冷却热流最大的喉部区域，这一举措可得到 40℃ 温差的好处。除上述措施外，还在内壁上镀镍铬防热层可使气壁温降低 30~40℃，以及选取热传导性能好的内壁材料等。上述措施经过热试车，证明非常有效。

4. 可靠的多样密封。发动机各部件要承受 -200 ~ 3500℃ 低温环境，压力为 150 ~ 500 个大气压，在强烈的振动环境下，发动机的密封问题是一个致命问题。必须因地制宜地设计相应的密封结构。过去我们采用的是法兰盘间加不同材料的垫片或“O”型圈结构，对于中、小直径的管路接头大多用球头喇叭口结构。这种落后的密封结构远远不能满足高可靠、高性能先进发动机的要求。为此，我们进行了多种密封结构的研究、试验。低温液氧的密封用“K”和“O”型环，高温燃气密封采用了碟型垫，高压的液体和气体密封采

用球头加导向，并在球头上开槽，加不同材料的“O”型圈，还有适用于低温的碟型垫的密封，其密封压力达到600个大气压也不泄漏。涡轮泵的密封更重要，为适应发动机多次工作，防止磨擦生热减少磨损而采用了脱开式密封。涡轮不转动时，为静密封，当涡轮泵转速达到预定值时，控制压力使密封处脱开，这种先进的密封形式大大地提高了可靠性及其寿命。

5. 先进的预压涡轮泵。要使主涡轮正常工作，避免发生气蚀，必须保证泵的入口有一定的压力。如果泵入口压力要求高，则火箭贮箱压力必须提高，这样就会增加运载火箭的贮箱结构重量。为了降低火箭结构重量、提高运载能力，必须尽量降低泵入口压力。为此在主泵前设置了一套预压涡轮泵。从主涡轮后抽取一股富氧燃气作为氧化剂的预压涡轮泵工质驱动涡轮，然后排入氧化剂主流中，从主煤油泵后引出的一股高压煤油作为煤油预压涡轮泵的工质吹动涡轮，然后排入预压泵后的主流中。这种预压涡轮泵系统设计思路新颖、结构巧妙，尤其是富氧的燃气工作后又进入液氧的主流中，这种设计构思非常大胆，也十分巧妙。目前，预压涡轮泵已经进行了大量液流冷试，并且成功地进行了发动机的热试车，采用预压泵结构可提高主泵前压力6个大气压，而箱压仅为2个大气压。

6. 先进的弹性支承。发动机是整个运载火箭的主要振源。工作时发动机各零部件都承受着强烈的振动，有高频，也有低频，有些部位加速度高达几十个g甚至几百个g。因此，各零部件的连接和固定形式是一个十分关键的问题。如一个质量较大的阀门与直径几毫米或十几毫米的导管连接，要承受激烈的振动，在设计上必须要有科学的方法。用完全紧固定支承的办法防振效果不好，而采用适当的弹性支承，不仅降低了振动量级，而且还有利于解决零部件和发动机的共振问题。另外，为抗振防松，在拧紧各紧固件时，要涂胶。尤其在天地往返运输系统及载人运载器上，由于运载器可靠性要求极高，抗振防松问题事关重大，必须确保万无一失。为此，我们已进行了大量研究试验。

为什么选用煤油作为运载火箭推进剂？在50年代，苏联、美国、英国就开始研究以煤油作推进剂。虽然美国也研制了一些以煤油作为燃料的开式循环火箭发动机，如宇宙神用的MA—2发动机，土星1、1B用的H—1发动机，土星V用的F—1发动机等，但由于采取的措施欠缺，不好解决煤油作为冷却剂带来的一系列问题，加之解决不稳定燃烧问题困难和低混合比燃气驱动涡轮积碳严重等原因，该类型火箭发动机没有得到充分的利用。随着航天事业的发展和各航天大国对空间资源开发利用的愿望不断增强，各国都在积极研制低成本、无毒、无污染、高可靠、性能好、安全可靠的运载火箭。前苏联首先以高压补燃循环系统和先进的冷却措施解决了煤油使用中的技术关键，并在70年代到80年代期间研制成功了高性能的RD—170、RD—120及RD—8等型号高压补燃液氧/煤油发动机。这些型号是代表世界最高水平的液氧/煤油发动机，已用于天顶号、能源号/暴风雪号等型号运载器。俄罗斯打算在液氧/煤油高压补燃发动机的基础上研制一台液氧/煤油/液氢三组元发动机，与原先研制成功的发动机一起组成新一代运载火箭系列。苏联解体后，美国、法国都在积极引进俄国有关技术，美国已购买了俄罗斯的RD—120、RD—170、RD—171和NK—33发动机，并且已进行了点火试验。我国已从1989年起与独联体国家就此项技术进行学术技术交流，目前已在许多重要领域取得实质性的进展。世界航天大国都在努力寻求突破液氧/煤油高压补燃发动机技

术的途径，并对此表示出了极其浓厚的兴趣，都试图尽快占领航天技术发展的制高点，最大程度建立在宇宙空间的无形国界，以适应国家的战略需要和现实需求。

我国液氧/煤油高压补燃发动机研究工作已获批准并已列入国家“863”计划。近几年来重点进行了技术方案论证和关键技术研究，并于1995年12月~1996年1月用试验型发动机进行了两次热试车，进一步研究并初步掌握了该种发动机的起动、关机程序、预冷、吹除及试车后的中和清洗技术。独联体国家把液氧/煤油发动机热试车后中和清洗技术视作“Know How”（技术诀窍），要买此项技术需上百万美元。我们经多次研究、论证、试验，摸索出一套适合我们实际情况的中和清洗程序，经两次发动机热试车验证，证明我们的方法是完全正确的。随着工作的深入，试验技术及试验设施也都有了不同程度的掌握。总之，几年来的关键技术研究，为今后研制高压补燃液氧/煤油发动机打下了一个良好的基础。这种发动机的研制成功，将使我国液体火箭发动机技术登上一个新台阶，将为我国大型运载火箭和天地往返运输系统，载人航天提供先进的动力系统。在此基础上，进而可研制更先进的液氧/煤油/液氢三组元火箭发动机，实现单级入轨，赶上世界先进水平。研制成功先进的液氧/煤油火箭发动机，可提高我国航天技术水平，进一步扩大卫星发射市场，为加速运载火箭产业化进程提供强有力的支撑。

能源新技术

陈学俊

西安交通大学

陈学俊 热动力工程学家。1919年3月5日生于安徽滁县。1939年毕业于前中央大学机械系。1946年毕业于美国普渡大学研究生院，获机械工程硕士学位。曾任西安交通大学副校长。现任西安交大工程热物理研究所所长，动力工程多相流国家重点实验室主任。1980年当选为中国科学院院士(学部委员)。长期从事热动力工程方面的教学、科研及培养研究生工作。

能源是经济和社会发展的重要的物质基础，也是实现四个现代化以提高我国人民生活水平的先决条件。现代社会生产的不断发展，随着机械化、电气化、自动化程度的不断提高，生产上对能源的需求量也就越来越大。一般说来，一个国家的国民生产总值和它的能源消费量大致是成正比的。在现代化生产中，能源是主要动力来源，一些发达国家之所以能够在短短几十年的时间里实现现代化，其中一个重要原因，就是它们都致力于大规模地开发和利用能源。能源的消费量越大，产品的产量就越多，整个社会也就越富裕。例如，美国、苏联、日本、西德、英国、法国、意大利等工业发达国家的人口总和只占世界人口的 $1/5$ ，而能源消费量却占了世界能源总消费量的 $2/3$ 。

能源和人民的衣、食、住、行等密切相关。为了解决吃、穿问题，要大力发展农业生产，实现农业的机械化、电气化、水利化和化学化，这些都需要消耗大量的能源。在一定程度上可以说粮食和棉花是用能源换来的。现在市场上已出现了许多色彩鲜艳的合成纤维制品，这些也都是用能源（煤炭、石油、天然气）作为原料和动力制造出来的。至于居住方面，房屋用的木材本身，就是一种能源，其他砖瓦、玻璃、钢材和水泥等建筑材料，在生产过程中都要用掉不少能源。为了保持适宜的室内温度，冬季需要取暖，夏季需要降温；为了学习和工作，室内需要照明，这些都需要消耗能源。至于现代化的家庭设备，如空调、电冰箱、洗衣机、电灶、微波炉等更离不开能源。此外，为了活跃人们的文化娱乐生活，如看电视、电影、收听广播、录像、音响等，无一不需要能源。关于行的问题，除了步行以外，都离不开能源。汽车、电车、火车、轮船、飞机等等，一旦没有能源，则将寸步难行。

能源与国防的关系至为密切，不仅在生产各种武器上需用大量能源，而且在使用各种武器时也离不开能源，如空中飞机、陆地坦克、海上舰船、海下潜艇以及中远程导弹、原子弹等。如能源不足，国家安全将得不到可靠保障，经济建设也不能正常进行。

总之，能源问题直接关系到国民经济的发展、社会的进步和人民生活水平的提高。社会总是不断前进，生产也总是要继续增长，人们则需要更高的物质文明和精神文明，因此，对于我国正在致力于四个现代化建设来说，能源就显得格外重要，必须把解决好能源问题当作发展国民经济、提高人民生活水平、稳定社会秩序和保障国家安全等方面的头等大事。为了实现“九五”计划和2010年跨世纪宏伟纲领，实现两个根本转变，建设有中国特色的社会

主义，更要充分认识到能源的开发、利用与发展的重要性。

从能源系统角度来看，能源新技术包括系统所涉及的各种能源资源从开采到最终使用各个环节的先进技术。

1. 洁净煤技术

煤炭是我国分布最广、储量最多的能源资源，预计到下个世纪中叶，我国的能源消费结构中煤炭仍将占主要地位。

但是，煤炭直接燃烧造成严重的环境污染。全国二氧化硫（ SO_2 ）排放量及烟尘排放量中烧煤排放估计分别占 90% 和 70%，还有 NO_x 的污染问题。西南和华南已出现大面积酸雨区，并有扩大趋势。作为世界最大的煤炭消费国，烧煤排放的二氧化碳（ CO_2 ）可能导致全球变暖的问题更是国际社会普遍关注的一个热点。因此，发展洁净煤技术，减少污染物排放，提高煤炭利用效率已成为我国，也是世界的一项重要战略任务。

（1）先进燃烧和污染处理技术

洁净煤技术可用于燃烧前、中、后的任一阶段。

燃烧前的处理和净化技术

1) 洗选处理。这是除去或减少原煤中所含的灰粉、矸石、硫等杂质，并按不同煤种、灰分、热值和粒度分成不同品种等级，以满足不同用户需要的方法。

1991 年我国原煤洗选仅 18.1%，洗选效率为 85%，而发达国家原煤已全部洗选，洗选效率 95% 以上。

2) 型煤加工。这是用机械方法将粉煤和低品位煤制成具有一定粒度和形状的煤制品。高硫煤成型时可加入适量固硫剂，大大减少 SO_2 排放。我国民用型煤比烧散煤热效率可提高一倍，一般可节煤 20 - 30%，烟尘和 SO_2 减少 40—60%， CO 减少 80%。在工业炉窑中使用可节煤 15%，烟尘减少 50—60%， SO_2 减少 40 - 50%， NO_x 减少 20—30%。

3) 水煤浆。这是 70 年代发展起来的一种以煤代油的新燃料。它是把灰分很低而挥发成分高的煤，研磨成 250—300 微米的微细煤粉，按煤约 70%、水约 30% 的比例，加入 0.5—1.0% 的分散剂和 0.02—0.1% 的稳定剂配制而成的，水煤浆可以像燃料油一样运输、储存和燃烧。我国制浆工艺已达国际水平，并已建成商业性示范工程。

燃烧中净化

1) 先进的燃烧器。先进的燃烧器是通过改进电站锅炉以及工业锅炉和窑炉的设计和燃烧技术，以减少污染物排放，并提高燃烧效率。

国外已商业应用的有低 NO_x 燃烧器，其燃烧过程是燃料和空气逐渐混合，以降低火焰温度，从而减少 NO_x 生成；或者调节燃料与空气的混合比，提供只够燃料燃烧的氧，而不足以和氮结合成 NO_x 。

我国已开发出新型小容量（热功率 1 兆瓦以上）煤粉燃烧器，燃烧效率达 95% 以上，在 50% 负荷条件下仍能稳定燃烧，且煤种适应性广，脱硫装置正在进一步开发。2) 流化床（沸腾炉）燃烧。流化床燃烧是把煤和吸附剂（石灰石）加入燃烧室的床层中，从炉底鼓风使床层悬浮，进入流化燃烧。流化形成湍流混合条件，从而提高燃烧效率；石灰石固硫，减少 SO_2 排放；较低的燃烧温度（830—900）使 NO_x 生成量大大减少。

流化床有鼓泡床和循环床两类。鼓泡床使煤保持在燃烧中心，流化燃烧主要在床内进行。循环床通过高速空气夹带固体颗粒进入并返回燃烧室，进行辅助燃烧，促使煤粒沸腾燃尽。我国已出口巴基斯坦 5 万千瓦机组的沸腾炉。煤含硫 6%，正在引进配 12.5 万千瓦机组的循环流化床。

燃烧后净化-烟气净化，包括 SO_2 、 NO_x 和颗粒物的控制。

烟气脱硫有湿式和干式两种方法。湿法一般是用石灰水淋洗烟尘， SO_2 变成亚硫酸钙浆状物。干法是用浆状脱硫剂（石灰石）喷雾，与烟气中的 SO_2 反应，生成硫酸钙，水分被蒸发，干燥颗粒用集尘器收集。这两种方法脱硫效率达 90%。

烟气除尘，目前大型电站一般采用静电除尘器，除尘效率可达 99% 以上。

国外目前正在研究开发先进的脱硫工艺，以及可以同时脱除 90% 以上 SO_2 和 NO_x 的烟气净化新技术。

我国电站烟气净化尚处于初级阶段。90% 的火电站装了除尘器，平均除尘效率 90%，其中静电除尘仅占总数的 12%，除尘效率 96%。新建大型电站靠高烟囱（210 米以上）扩散，扩散效果虽不差，可减轻城市空气污染，但不能解决地区的污染问题。

（2）煤的气化与液化

1) 煤炭气化。煤炭气化是把经过适当处理的煤送入反应器，在一定的温度和压力下通过气化剂（空气或氧和蒸汽），以一定的流动方式转化成气体。气化技术可将各类煤转化成各种气体产品，包括城市民用和工业用燃料气、发电燃料气、化工燃料气等。

煤的气化主要产生 CO 与 H_2 ，灰分形成废渣排出。煤气化的好处是可在燃烧前脱除气态硫和氮组分。

1990 年，我国煤制气消费量为 235.9 亿立方米。目前采用常压水煤气工艺、常压固体床——段气化工工艺等。正在开发常压循环流化床和常压固体床两段气化工工艺。

国外正开发多种煤气化新工艺，目的是扩大气化煤种，提高处理能力和转换效率，减少污染物排放。还有地下煤层气化技术已引起各国重视，也有发展前途，值得研究。

2) 燃气——蒸汽联合循环发电。以煤气化生产燃料气，驱动燃气轮机发电，余气再用来烧锅炉，生产蒸汽驱动汽轮机发电。煤气经净化处理，可在燃烧前脱除硫和氮；联合循环可提高系统热效率。新一代煤气化联合循环发电的供电效率可达 43—46%。

目前，国外已进入示范阶段的煤气化联合循环发电主要有三个方案：整体煤气化联合循环发电方案；增压流化床联合循环方案；第二代增压流化床煤气化联合循环发电方案。目前，在建和拟建的煤气化联合循环发电示范厂共 24 个。单套容量已达 250—600 兆瓦。

我国引进几套燃油联合循环机组，可供开发煤气化联合循环发电的借鉴。另正在引进和开发高精煤燃气蒸汽联合循环发电技术。关于增压流化床燃气——蒸汽联合循环发电技术，我国已研究开发，取得了阶段性成果。

3) 燃煤磁流体发电技术。亦称等离子体发电。是使极高温并高度电离的气体高速流经强磁场直接发电的新型发电厂。当燃煤得到的 2600K 以上的

高温等离子气体以高速流过强磁场时，气体中的电子受磁力作用和气化中活化金属粒子（钾、铯）的相互碰撞，沿着与磁力线成垂直的方位流向电极而发出直流电，经交、直流交换装置可送入电网。从磁流体出来的气体可送往常规锅炉，加热水产出蒸汽，驱动汽轮机发电，组成高效率的联合循环，总的热效率可达 50—60%。由于磁流体发电所用的钾盐可有效地脱硫和可以用控制燃烧的方法来有效控制 NO_x 的产生，故它又是一种低污染燃烧发电技术。

4) 煤炭液化。煤炭液化分间接液化和直接液化两类。间接液化是煤先气化，生产原料气，经净化后再进行调质反应，调整 H_2 与 CO 的比例。

直接液化是把煤直接转化成液体产品。已完成中试的工艺主要有供氢溶剂法（EDS），氢-煤法，SRC 法。

80 年代开发出第三代两段催化加氢液化新工艺和煤-油共炼工艺，提高了煤液化的经济性。

我国 1980 年重新开展煤炭直接液化研究，从国外引进了小型试验装置，迄今已对多种煤进行了液化性能和工艺条件试验，以及直接液化和煤-油共炼试验。

在间接液化方面，我国对煤制甲醇做了大量工作。甲醇是用含 H_2 和 CO 的原料气制造的，可用作化工原料、溶剂和燃料。甲醇用作汽车燃料，可在汽油中掺入 5%，15%，25%（M-15，M-25），或用纯甲醇（M-100）；甲醇和异丁烯合成甲基叔丁基醚（MTBE），用作无铅汽油辛烷值添加剂；或直接合成低碳混合醇（甲醇 70%，低碳醇 30%），用作汽油辛烷值添加剂。甲醇还可制取合成汽油。目前，我国甲醇年生产能力超过 60 万吨，其中约 20% 用作燃料。煤制燃料甲醇已有成熟技术。

2. 核能新技术

（1）新一代压水堆核电站

具有固有安全性的核电站反应堆。核反应堆在任何事故条件下都能自动停止运行，而且在最严重的假想事故条件下，停堆后的堆芯剩余热能依靠自然循环机理，导出堆外，保持堆内芯部和燃料元件的完整，从根本上排除堆芯深地、放射性逸出的可能，这种特性称为固有安全性，如改进压水堆、模块式高温气冷堆等。

（2）核燃料的增殖-快中子增殖反应堆。热中子反应堆主要是利用天然铀内的少量铀-235，以及在反应堆内生成少量钚-239。因此热中子堆仅利用天然铀中 2% 左右的铀，世界上探明的铀资源难以保证核能的长期大规模利用。由快中子来产生和维持链式裂变反应的反应堆——快中子堆，才有可能实现核燃料的增殖。快中子堆以钚-239 为裂变燃料，由铀-238 为增殖原料，铀-238 俘获快中子后又可生成钚-239。由于一个钚-239 原子核裂变放出的中子数平均值比一个铀-235 核裂变放出的中子数为多，而且新生的钚-239 有可能比消耗的钚-239 还多，这样就可以实现核燃料的增殖。1951 年，美国建成世界上第一座按上述原理工作的新型核反应堆-快中子增殖堆。到 70 年代末，快中子堆示范电站输出电功率已达 3 万千瓦，开始进入实用阶段。我国“863”计划已计划建造快中子实验堆。快中子堆在理论上可以利用全部铀资源，但实际上由于各种损失，约可利用铀资源达到 60% 以上。

（3）新的供热资源——低温核供热堆和高温气冷堆

低温核供热堆是压水堆型的热中子堆，但它的参数远低于核电站用的压水堆，其压力约为 15 巴，温度 200 左右。由于参数低，设备造价低，在经济上有竞争力，世界上如原苏联、加拿大、德国、瑞典、瑞士、法国等国都有发展低温核供热的计划。我国开展低温核供热堆已有多多年，第一个 5000 千瓦的低温核供热试验堆已于 1990 年投入运行。

高温气冷堆是采用石墨作慢化剂和惰性气体氦气作冷却剂的热中子堆。由于石墨耐高温，所以反应堆出口的氦气温度可以高达 950 。远远高于核电站压水堆的出口水温 300-350 。现在设计的模块型高温气冷堆不仅可以高温供热，高效发电，而且有很好的固有安全性能。德国和美国在 60 年代就有实验堆和示范堆运行，目前日本正在建造 3 万千瓦热功率的高温气冷实验堆，我国“863”计划也决定在本世纪内建造 1 万千瓦热功率的实验堆。

(4) 受控热核聚变能

1) 聚变反应。核聚变是两个或两个以上的较轻原子核【如氢 (H) 的两种同位素：氘 (D) 和氚 (T)】，在超高温等特定条件下聚合成一个较重的原子核，同时释放出巨大能量。因为这种反应必须在极高的温度 (1-5 亿) 下进行，所以叫热核反应。据计算，1 公斤热核聚变燃料放出的能量为核裂变的 4 倍。

2) 核聚变原料主要是氢、氘和氚。氘也称重氢，氚也称超重氢，1 公斤海水中含有 0.034 克氘，故地球上汪洋大海里有 23.4 万亿吨氘，足够人类使用几十亿年，是一项无穷无尽的持久能源。

聚变能目前尚处于研究阶段，离实用还有相当差距。但基于其取之不尽的资源和优越的性能，能量大，且没有像裂变堆那样产生大量放射性废物，故其远景是很好的。预计在下世纪中叶可望能商用。目前也有人考虑在其商用以前开展聚变-裂变混合堆的研究，其原理是用聚变反应产生的中子来增殖裂变燃料，充分利用裂变铀、钍核资源。我国也正在研究中。

3. 新能源技术

(1) 太阳能新技术

太阳能是一种巨大且对环境无污染的能源。

太阳能的转换和利用方式有：光-热转换、光-电转换和光-化学转换。

1) 太阳能热利用和热发电技术。太阳能热利用是太阳辐射能量通过各种集热部件转变成热能后被直接利用，它可分低温 (100—300)：工业用热、制冷、空调、烹调等；高温 (300 以上)：热发电、材料高温处理等。

太阳能节能建筑分主动式或被动式两种。前者与常规能源采暖系统基本相同，仅以太阳能集热器作为热源代替传统锅炉。后者是利用建筑本身的结构，吸收和储存太阳能，达到取暖的目的。

太阳能热发电技术是利用太阳能产生热能，再转换成机械能的发电过程。发电系统主要由集热系统、热传输系统、蓄热器、热交换器以及汽轮发电机系统等组成。美国 Luz 公司已建了 9 个电站，总装机容量为 35 万千瓦，平均效率达 14%，电价约 8 美分/千瓦时。太阳能热发电技术涉及光学、传热学、材料科学、自动化等学科，是一门综合性交叉性很强的高新技术，也是太阳能开发和研究领域的难点。太阳能热发电技术的关键问题是太阳能的光辐射吸收和高效传热技术。

2) 太阳能光电转换技术。太阳电池类型很多，如单晶硅电池、多晶硅电池、非晶硅电池、硫化镉电池、砷化镉电池等。美国、德国、日本都将太阳

能光电技术列为新能源首位，制造和发电成本已在特殊应用场合有一定竞争能力。当前发展的主要障碍是光电池成本高。我国已能生产，年产达 1000 千瓦，能量转换率达 14%。多晶硅电池采用熔化浇铸，定向凝固方法制造，有可能在现有基础上降低成本 30%，向实用化推进一步，但要使呈数量级下降，需改变制造工艺，制造硅膜太阳能电池和发电系统，需大力加强基础研究。

3) 光化学转换技术。光化学是研究光和物质相互作用引起的化学反应的一个化学分支。光化学电池是利用光照射半导体和电解液界面，发生化学反应，在电解液内形成电流，并使水电离直接产生氢的电池。

我国据 1991 年不完全统计，已推广太阳能热水器 180 万平方米，被动太阳能节能房 30 万平方米，太阳能农用温室 33 万公顷，太阳灶 12 万台。我国光伏电池已有 4.5 兆瓦生产能力。高效电池、非晶硅电池的实验室水平与国外相差不大，但在向生产力转化和应用领域方面差距很大，有待开拓。

(2) 风能技术

我国风能总储量估计为 1.6×10^9 千瓦，在世界各国排列第三，可开发利用的约为 2/10，即约 3 亿千瓦。可以有效利用的风速范围为 3—20 米/秒。

目前全世界风力机用于发电的超过总量的 2/3。

风力机可分为微型(1 千瓦以下)、小型(1—10 千瓦)、中型(10—100 千瓦)、大型(100 千瓦以上)。目前世界上最大的风力发电机在美国夏威夷，为 3200 千瓦。

到 1992 年，全世界风力发电装机达 2700 万千瓦。主导产品是 150—250 千瓦机组，300—500 千瓦机组开始小批量生产。

我国风力发电装机容量为 20 万千瓦左右，有小型风力发电机 12 万台，中、小型风力发电厂 9 个。小型风力机年产 3 万台，55 千瓦、120 千瓦、200 千瓦风力发电机的研制和生产正在进行中。风力发电技术关键是大型风力机的叶片设计、制造和安全性技术，二是优化运行控制方案与控制系统。

美国目前每千瓦时风电价约 6—7 美分，到 2000 年可能降至 4 美分。

(3) 生物质能利用新技术

生物质能是绿色植物通过叶绿素将太阳能转化为化学能而储存在生物质内部的能量。生物质能通常包括木材和森林工业废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市与工业有机废弃物和动物粪便等。目前发展的生物质能利用技术有：

1) 热化学转化技术。是将固体生物质转换成可燃气体、焦油、木炭等品位高的能源产品。

2) 生物化学转换技术。主要指生物质在微生物的发酵作用下生成沼气、酒精等能源产品。沼气是有机物质在一定温度、湿度、酸碱度和厌氧条件下经各种微生物发酵及分解作用而产生的一种混合可燃气体。

3) 生物质压块细密成型技术。是把粉碎烘干的生物质加入成型挤压机，在一定温度和压力下，形成较高密度的固体燃料，密度约为 1.2—1.3 克/厘米³，热值在 20 兆焦/公斤左右。

4) 化学转换技术。

1990 年，我国消费生物质能约 2.64 亿吨标准煤，大部分是直接燃烧的。目前，我国已研制成功小型气化炉，气化率达 70% 以上。高效生物质燃烧炉，热效率达 85%。

(4) 波浪能和潮汐能

这两项海洋能源我国约有 4-5 亿千瓦,已建成 1280 万千瓦时平潭幸福洋潮汐电站。我国波力发电极有特色,在基础研究方面已进入世界前沿,在实用上已有 10 千瓦级的岸式或漂浮式波力发电装置,并装备了航标灯。海洋能的开发应着重两个方面,其一是基础研究,如海洋能的收集与聚能,最佳转换方式和转换机械,随机、间断、不稳定转换技术等;其二是多能互补,与海湾、海岛、入海口其他新能源多能并举多能互补。

(5) 氢能利用技术

从 70 年代初开始将氢应用于发电以及各种机动车和飞行器的燃料,已有不少试验装置在运行。氢作为能源使用时,无污染物产生,燃烧产物是水,而生产氢的原料也是水。氢的热值高,每克液氢可达 120 千焦,是汽油的 2.8 倍。

1) 氢气制备。可以用电解法、热化学法、光电化学法或等离子体化学法制氢。

2) 氢的储存。氢的储存可以用压缩、低温液化和贮氢金属吸存。

3) 氢的利用。可作燃料,用于导航、机动车等;可用氢燃料电池通过电化学反应直接转换成电能;可用作各种能源的转换介质或中间载体。

作为人类长远的战略能源,氢可与其他一次能源结合发展各种氢能系统,特别是太阳能-氢能综合能源系统有很好发展前途。国际上认为氢能将是 21 世纪中后期最理想的能源。

4. 节能新技术

我国的一些高耗能产品的能耗水平与国际水平比较,差距仍很大,除一般节能方法和采取的节能措施外,尚须采取节能新措施,新方法。

(1) 余热回收利用技术

对于低品位余热利用,需研究强化传热的机理,研制包括热管在内的各种高效换热元件和紧凑换热器,是低品位热动力开发和发展热泵技术的重要储备;换热器小型化和降低成本是低品位余热动力回收装置提高经济上竞争性的主要技术关键。

1) 热泵技术。是以消耗一部分高质能(机械能、电能)为补偿,使热量从低温热源向高温热源传递。热泵可以用消耗少量高质能,获得较多的热能。

2) 热管技术。热管是一种具有很高传热性能的元件。它利用封闭在管壳内的工作液体的相变(沸腾、凝结)来传递热量。当蒸汽流向冷凝段,冷凝段由于受到冷却使蒸汽凝结成液体,液体再沿多孔材料借助毛细管的作用流回蒸发段,如此循环不已。作为一种传热新技术,广泛用于电子工业、空间技术和工业余热回收等方面。

(2) 电子电力技术

电子电力技术在工业、交通运输、通信、家用电器等领域有广泛的前途。电子电力技术是节能的利器,例如:风机、水泵的阀门调节改为交流调速控制,可节电 30—40%;直传动改为可关断晶体管变频传动,可节电 1/3 以上;采用电子变频器和新型荧光粉的高效荧光灯,节电率可达 80%。

据估计,全国推广应用电子电力技术,每年可节电 400 亿千瓦时,应用电子电力技术的各种节能产品,节材率达 40—90%。

(3) 高效电动机

采用新材料、改进设计、具有低损耗、高功率因素的电动机。电动机占

我国总用电量的 60%，高效电动机的效率比一般标准电动机高 2—7%，永磁电动机可提高效率 4—10%。

（4）高效节能照明技术

采用高频整流器降低灯的耗电率，采用稀土荧光粉吸收紫外线并变为可见光，提高发光效率。例如用节能灯代替白炽灯可提高效率 50—80%。

（5）远红外线加热技术

是利用远红外辐射元件发出的远红外线，使被加热物体吸收，直接转变成热能的一种加热方式。远红外辐射电暖器就是一例。

（6）电热膜加热技术

是将电子电热膜直接制作在被加热体的表面上，当通电加热时，热量会很快传给被加热体。因此，电热膜加热效率达 85%，而普通电热丝加热效率仅 40%。电热膜是一种导电薄膜，它可用于电热杯、电淋浴器、电吹风、电暖气等电热器具。电热膜加热功率在 100—2000 瓦范围内，使用寿命高于 2000 小时。

当前世界各国都十分重视节能，国际能源界也有将节能称为第五能源，与煤、石油及天然气、水电、核电四大能源并列。鉴于节能对合理利用自然资源和保护环境的重要意义，各国对推动节能新技术都采取了各种政策措施，例如，采取补贴的政策等。我国已公布淘汰和停止生产高耗能产品，优先发展高效节能设备的政策。

总之，能源的开发利用与发展是直接关系到国民经济发展、社会进步和人民生活的重大事情。要坚持开发利用与节约并举，要重视发展清洁与可再生能源，保护环境；要依靠科技进步，加大技术改造力度，合理配置，提高能源利用效率；要加强能源开发与环境保护的基础与应用研究，使能源工业与经济、社会、环境协调发展，促进国民经济持续、快速、健康发展和社会全面进步。

未来电力技术的发展趋势浅析

郑健超

电力科学研究院

郑健超 电力专家。1939年10月6日生，广东中山人。1963年2月清华大学毕业，1965年9月该校研究生毕业，历任电力科学研究院高电压研究所所长、副院长、院长，现任名誉院长，中国电机工程学会常务理事，中国仪器仪表学会常务理事，《电机工程学报》总编，1995年5月当选为中国工程院院士，长期从事高电压技术的科研工作。

一、前言

在跨入 21 世纪之际，人类面临着实现经济和社会可持续发展（sustainable development）的重大挑战。在有限资源和环保严格要求的制约下发展经济已成为全球最重要的话题。所谓“可持续发展”是指当代的发展应以不损害子孙后代的环境权益和生活质量为前提。由于人类的活动造成的全球气候变化便是当今世界关注的焦点。根据大量的研究和观测，由于化石燃料利用产生的二氧化碳等温室效应气体引起的全球变暖的趋势还在发展。近年来自然灾害大幅度增加、地表平均气温升高、冰川溶化便是证据。另一方面，人口增长和工业发展使能源需求不断增加。据国际能源协会（IEA）统计，1971~1991年期间全世界一次能源需求量每年平均增长 2.4%，电力年平均增长 4.1%。预计，1991-2010年间，全球一次能源需求量年平均增长 2.1%，发展中国家由于人口快速增长，工业化进程和城市化进程等因素，对能源需求的增长更快。目前发展中国家有 70%人口（20 亿）缺电，今后这些地区的能源短缺将更严重。为了维持当代的发展，化石燃料利用的势头不减。

我国人口众多，又处在经济高速增长阶段，能源供需矛盾突出。此外，化石燃料在一次能源中占很大比例。为实现可持续发展，必须实施新的能源发展战略，采用新技术。舍此别无他途。

本文将分析 21 世纪我国电力工业面临的挑战，实现可持续发展需要的新技术，下世纪可能出现的技术突破，在此基础上，介绍几项电力新技术的发展现状和前景。

二、我国电力工业面临的挑战

1. 电力供需矛盾难以根本缓解

按照统计分析，每个国家的人均 GDP（国民生产总值）与人均的能耗有十分密切的相关关系。我国要在下世纪中叶达到中等发达国家的水平，人均用电水平的增长是不可避免的。人口增长和现代化进程使我国对电力需求不断增加。按照规划，2050 年我国发电装机应超过 15 亿千瓦，比现有的装机净增 13 亿千瓦以上。按常规的发展模式几乎不可能达到这个目标。除非寻求新的发展途径。

2. 有限资源的制约日趋严重

我国去年已成为石油进口国，不能指望靠石油发电。水电可开发容量不

足 3.7 亿千瓦，在相当长的时期内煤炭仍是主要的一次能源。但燃煤产生的环境污染的治理是一个极为困难的问题。此外，煤炭基地水资源短缺是我国发展火电的又一重要制约因素。

3. 治理环境的任务艰巨

更为严峻的问题是环境保护。我国是煤炭生产和消费大国，电力的构成中约有 80% 是煤电。一座 240 万千瓦的火电站，如不加以控制，每小时排放的 SO_2 达 7—12 吨，灰达 70—80 吨，渣为 150 吨，各类废水 100 吨，数字相当可观。中国许多城市的酸雨已成为关注的焦点。中国大气 SO_2 的平均浓度为 0.03ppm，比日本高 3 倍，个别地区达到 15ppm。酸雨引起森林和农作物破坏、水变质、土壤退化，已成为十分严重的问题。

以燃煤发电为主的发电构成短期内不可能改变，因此，治理燃煤产生的污染已成为电力工业所面临的极重要的任务。电力部已将发展洁净煤发电技术列为下世纪电力科技发展的战略目标之一。

4. 对电网可靠性和电能质量要求不断提高

20 世纪电力系统发展的特征常以“大机组、大电网、高电压”来描述。近一二十年的世界各国的经验表明，在下世纪，这个趋势不会再继续下去。研究表明，机组的单机容量和交流输电电压等级的发展已出现饱和趋势，单机容量 1200MW 和电压等级 800KV 似已达到由电网可靠性决定的极限。尽管现代电网的设计运行技术近年取得了长足发展，但仍不能完全避免大电网的瓦解事故发生。近几年内，世界上的大电网事故仍时有发生，有时还造成了灾难性的后果。1996 年发生的美国西部大停电、马来西亚全国大停电就是例子。另一方面，随着社会现代化的进程，对电力供应的可靠性要求日益提高。因此，输电和配电系统的可靠性已成为规划、设计、运行应考虑的首要因素。

电网发展的另一个重要趋势是：独立发电者（IPP）日益增多，在电力管理体制上进行重大改革，在发电环节引入竞争机制，实施所谓“放松规制”（Deregulation），在电网管理方面实行所谓第三方介入（Third Part Access）和电力托送（Power Wheeling）等等。这似已成为一些国家的潮流。这就要求电网变得更加开放和灵活。

综上所述，对现代电网的要求可以概括为“可靠、高效、灵活、开放”。用它描述未来电网的特征似更恰当。

过去，由于我国对电网的投资强度偏低，电网结构相对薄弱，建设电网的任务更加艰巨。今后一段时间靠外延发展电网仍是主要的，发展电网的策略与西方发达国家不尽相同。但是，在确定网架结构、输电方式、电压等级以及制订电网技术发展战略时都必须考虑这一总的发展趋势。

根据我国“九五”规划和 2010 年发展目标，我国电力工业还会有很大的发展，将继续维持较高的增长速度。但从长远看，要实现可持续发展，继续按常规模式将难以为继。根本出路在于进一步依靠科技进步，大幅度增加可再生能源发电的比例，实现能源的高效利用，发展与环境兼容的能源利用技术，发展新型输配电技术及电能质量控制技术。

三、电力技术发展趋势预测

1. 新型发电技术预计会有重大突破

21 世纪被称为可再生能源的世纪，预计可再生能源利用技术、新型发电技术将会有重大突破，其工业应用规模将有大幅度提高。据权威专家估计，

到下世纪中叶，如果实施强化可再生能源的发展战略，可再生能源可占世界电力市场的 3/5，燃料市场的 2/5。据预测，太阳能发电，特别是光伏发电（PV）、风力发电、生物质能发电和燃料电池（Fuel Cell）发电技术，最有希望成为大规模应用的新型发电方式。

2. 核电可能东山再起并占据重要份额

由于公众对核泄漏的担心等原因，全球核电的发展目前处于低潮。规划和在建的核电站都已大幅度下降，在运行核电站的数量不再增加。但是，核电是一种清洁的发电方式，只要提高安全性，还是有很大吸引力。据规划预计，1991年至2010年全球核电仍将以1.3%的年平均增长率增加。随着新型反应堆，即固有安全堆的实用化和造价降低，以及快中子增殖堆的商业化，核电技术在下世纪有可能东山再起。可控热核聚变在2050年以后，有可能取得突破。到那时可能最终解决人类能源供应问题。

3. 能源的高效利用技术将广泛应用

据统计，全世界有66%的能源被白白浪费掉。节能技术将是下世纪的重要技术。这些技术包括：联合循环，热电联产，热泵（Heat Pump），高效节能灯，建筑节能技术，电力电子学（Power Electronics）应用于节能技术，需求侧管理（DSM）技术，能源效益审计（Energy Auditing and Accounting）等等。这些技术的广泛应用对节约资源和能源会产生巨大作用。

4. 蓄能技术会有长足进展

由于大量分布式的电源（燃料电池，太阳能电池）的应用以及提高电网可靠性和调峰的需要，分散的蓄能系统的重要性日益增加。这种分散的蓄能系统由于近年来电动汽车（EV）的大规模研究而得到飞速发展。最有希望的是电池蓄能系统（BESS）、飞轮蓄能系统（FWESS）和超导蓄能系统（SMESS）

5. 与环境兼容的能源利用技术日显重要

洁净煤技术（CCT），作为21世纪能源领域最关键技术之一将会得到长足发展。洁净煤技术可分为洁净煤处理技术（如煤的洗、选，预脱灰处理，型煤，煤的气化、液化，水煤浆）和洁净煤燃烧（发电）技术（如烟净化技术，循环流化床，增压循环流化床，整体煤气化联合循环，电子束、短脉冲脱硫脱硝技术等）。

此外，温室效应气体液化及储存利用技术，降低高压输电线路环境影响的技术，核废料的分离处理及储存技术也会有重要发展。

6. 电网新技术的应用将引起电网的重要变革

电网运行管理体制近年发生的重要变革和现代社会对电网可靠性的高要求，迫切需要发展新的电网技术。随着电力电子器件（即大功率的电子器件）的开断能力大幅度提高，这些器件用于电力系统已成为现实。电力电子技术和现代控制理论在电力系统中的应用将导致下世纪电力系统的重大变革。

未来的电网新技术包括：灵活的交流输电技术（FACTS）和新一代直流输电技术，更加有效的电网状态测定和控制技术，现代化大都市供电新技术等等。

四、若干关键技术简介

1. 太阳能发电技术

太阳能是取之不尽的可再生能源，可利用量巨大。一年的太阳辐射能，依纬度的不同，可达870—3400KWh/m²。按转换效率0.20计算，在一般地区，

10 平方米的面积的太阳能电池全年可提供 3000 - 5000KWh 的电能，足够一般家庭使用。太阳能发电技术主要包括光伏发电 (PV) 技术和太阳热发电技术。

光伏发电 (PV) 技术，即用太阳能电池将太阳光能直接转变为电能的技术，被认为是下世纪最有希望达到工业规模应用的可再生能源利用技术之一。目前，全球光伏发电规模尚小。但太阳能电池的产量增长很快，约每 3—4 年翻一番。到下世纪中叶，光伏发电装置容量将很可观。光伏发电技术大规模应用的关键是其价格。由于近年光伏电池研究的进展，光伏发电的价格预计到 2000 年左右便可与常规发电技术竞争。

2. 燃料电池发电技术

燃料电池 (FC) 是直接燃料的化学能转变为电能的装置。燃料电池发电效率极高，可达 60% 以上，如果高温燃料电池配合联合循环，效率可达 85%。而且，效率受燃料电池规模和负荷大小影响不大。燃料电池发电出力能快速跟踪负荷变化，速度可达每秒变化全负荷的 50%，调峰能力极强。

FC 发电的重要优点是对环境污染很小，由于没有燃烧过程，可以实现实际的零排放。燃料电池另一大优点是省水。这对水资源缺乏的我国而言极为重要。此外，燃料电池发电尚有适合分布式供电，节省输电投资，模块结构，便于扩建等等优点。

早期的燃料电池是碱性燃料电池，曾用于宇航。现在商用的多为磷酸燃料电池 (PAFC)。正在开发研究熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC)，固体氧化物燃料电池 (SOFC) 和质子交换薄膜燃料电池，被认为是最有希望取得大规模应用的新型燃料电池。固体氧化物燃料电池是高温燃料电池，燃料的重组过程就在电池内进行，不需外加燃料重组器。煤的气化装置与固体氧化物燃料电池组合将构成未来以煤为燃料的清洁高效的新型发电设备。

现在全球已有 100 座以上的 FC 发电厂在运行，主要是磷酸燃料电池。容量最大为 11MW，装在东京。美国西屋公司正在设计一座 20MW 的固体氧化物燃料电池，占地仅 0.135 公顷，造价可低到 1100 美元/KW。预计到 2010 年全球燃料电池总容量可达 60000MW。

3. 灵活的交流输电技术

灵活的交流输电系统 (FACTS) 是 80 年代后期出现的新技术，近年来在世界上发展迅速。专家们预计，未来这项技术将在电力输送和分配方面将引起重大变革，对于充分利用现有电网资源和实现电能的高效利用，将会发挥重要作用。

所谓“灵活的交流输电技术”是指：采用大功率电子器件作为大功率高压开关，与其他电力设备组成 FACTS 设备，以实现电力系统的参数，如线路阻抗、相位角、功率潮流的连续调节控制，从而大幅度提高输电线路输送能力和提高电力系统稳定水平，降低输电损耗。

世界上第一台 500KV 的全可控的串联补偿装置 (TCSC) 已于 1994 年 12 月在美国开始商业化运行。

目前，美国以及中国、法国、日本、德国、巴西、印度等国的电业部门均在积极研究在超高压输电工程中应用 TCSC 及其他 FACTS 技术的可行性和具体实施方案。

4. 电能储存技术

电能储存是实现电能高效利用的重要途径。除了抽水蓄能方式以外，实用的储能系统要数电池储能系统 (BESS)。它的核心部件是蓄电池和 GTO —

类的器件组成的交直流变换器。电池蓄能系统既可作为旋转备用，也可作为调峰和调频电源，或直接安装在重要用户内，作为大型的不间断电源。同时，BESS 还具有无功调节的功能。目前，全世界已有近 20 个 BESS 在系统中运行。例如，美国加州 Chino 变电站安装有 10MW 的 BESS，在洛杉矶的 Vernon 安装有 5MW 的 BESS。最近在波多黎各各有一座 20MW 的 BESS 投运，用于旋转备用和调频。BESS 在电力系统中大规模应用的主要技术关键是提高蓄电池的储能密度，降低价格以及延长寿命。目前的蓄电池储能密度达到 100 - 200Wh/kg，寿命为 8 ~ 10 年，BESS 的总体造价约为 1000 美元/KW。镍- 锌电池、钠-硫电池、聚合物薄膜电池、锌 - 空气电池等等新型电池正在研究之中，倘若研究取得重大突破，则不仅对电动汽车的实用化有重大意义，对于电能的高效利用来说也将产生重要的影响。

此外，超导储能 (SMES)，飞轮储能 (FWES) 也在积极研究和试验之中。

5. 电能质量控制技术

电能的高效利用的一个重要内容是向用户提供可靠的、优质的电能供应。现代社会的发展对提高供电的可靠性，改善电能质量提出了越来越高的要求。在现代企业中，由于变频调速驱动器、机器人、自动生产线、精密的加工工具的采用，由于可编程控制器、计算机信息系统的日益广泛使用，对电能质量的控制提出了严格的要求。这些设备对电源的波动和各种干扰十分敏感，任何供电质量的恶化可能会造成产品质量的下降，从而产生重大损失。

电网的扰动和污染主要包括：

电压降落 (Voltage Sag)，闪变 (Flicker)、脉冲 (Impulse)、暂态升高 (Swell)、谐波 (Harmonics) 以及断电 (Outage)。标准化部门已经制定了适用于不同用户的电能质量的标准。例如，对计算机用户而言，持续时间为 0.1 秒的 40% 的电压降落是不允许的。

随着电力电子技术的发展，电力电子设备已开始进入配电系统并为解决电能质量控制提供了技术手段。近年来，国外提出了“用户电力技术”(Custom Power Technology) 的概念，即使用电力电子技术提高供电可靠性和实现电能质量严格控制。目前，已经开发出用于配电网的电力电子装置，例如固态高压开关 (Solid - State Circuit Breaker)。与常规的机械开关相比，固态开关能在一个工频半波以内完成由故障供电线路向健全的供电线路的切换。这是一般机械开关无法比拟的。

另一关键设备是动态电压恢复器 (Dynamic Voltage Restorer)，它由直流储能电路、变换器和级次串联在供电线路中的变压器构成。变换器的控制系统，根据检测到的线路的电压波形，产生补偿电压，使合成的电压动态保持恒定。无论是短时的电压低落或过电压，通过 DVR 均可以使负载上的电压保持动态恒定。

6. 现代化大都市供电技术

现代化的社会要求更高的供电可靠性和电能质量。由于现代化大都市供电负荷密度大，供电方式复杂，可靠性要求高，还要求考虑更大的发展灵活性，以适应供电负荷不断增加和供电网升格的需要，建设现代的供电网需要更加复杂的技术。例如：配电网紧凑化技术，包括新型 GIS 设备，配电设备的集成技术，配电网保护监控设备的集成技术；配电线路地下化技术，如新型电缆的研制和应用、火灾不蔓延设备、新型的地理图形及设备管理系统；高压直流配电技术 (HVDC Distribution)，即以高压直流电缆为骨干网架，

采用自变流技术 (Self-commutated Conversion) , 以高频、工频或直流向最终用户供电的新技术。

五、结束语

1. 我国由于人口众多、工业化进程和城市化等因素, 对能源需求的增长很快。在相当长的时期内, 电力供需矛盾难以根本缓解。为实现可持续发展, 必须依靠科技进步, 实施新的能源发展战略, 尽快实现电力新技术规模应用, 大幅度增加可再生能源发电的比例, 实现能源的高效利用, 发展与环境兼容的能源利用技术, 发展新型输配电技术及电能质量控制技术;

2. 在可再生能源发电和清洁发电领域, 光伏发电、燃料电池发电、生物质能发电、风力发电等可望取得重大技术突破和大规模应用。核电作为一种清洁的发电方式仍有很大吸引力。随着固有安全堆实用化和造价降低, 以及快中子增殖堆的商业化, 核电技术在下世纪有可能重新占据重要位置。我国应不失时机地开展这些新技术的研究并实现其规模应用和设备的国产化;

3. 我国一次能源构成中, 煤炭为主的格局难以改变, 因此, 研究并应用适合我国国情的各种清洁煤发电技术将成为实现可持续发展能源战略的关键组成部分;

4. 电网在电能的输送和全局优化配置中起着举足轻重的作用。我们应吸取过去的经验教训, 大力加强电网建设, 采用电网新技术, 建设一个可靠、高效、灵活、开放的全国互联电网;

5. 可靠、优质的供电是现代化大都市的重要标志。为此目的, 需要采用相当复杂的技术。其难度往往不亚于超高压输电技术。过去, 对配电系统的发展未给以应有的重视, 欠帐甚多。研究采用配电新技术, 提高供电的可靠性和电能质量已是十分紧迫的任务。

中国表面工程的发展

徐滨士

中国人民解放军装甲兵工程学院

徐滨士 维修工程、表面工程专家。1931年3月12日生于黑龙江哈尔滨。1954年毕业于哈尔滨工业大学。曾任中国人民解放军装甲兵工程学院副院长。现任该学院教授。兼任中国设备管理协会副会长。1995年当选为中国工程院院士。他在倡导和建立维修工程和表面工程新学科，推动设备维修工程技术的发展方面作出了重要贡献。

一、表面工程的发展日新月异

表面工程，是经表面预处理后，通过表面涂覆、表面改性或多种表面技术复合处理，改变固体金属表面或非金属表面的形态、化学成分和组织结构，以获得所需要表面性能的系统工程。表面工程学科发展的重要标志是1983年英国伯明翰大学沃福森表面工程研究所的建立和1985《表面工程》国际刊物的发行。鉴于此，国际热处理联合会也改名为国际热处理及表面工程联合会。中国机械工程学会1987年建立了学会性质的表面工程研究所，1988年出版了第一本《表面工程》杂志，已出版了30期，1989年召开了第一届全国表面工程学术交流会，1991年召开了第二届全国表面工程学术会，同时举办了首届中日表面工程学术研讨会，1993年在日本召开第二届中日表面工程学术会议，1993年成立了中国机械工程学会表面工程分会，1995年在北京召开了国际表面科学与工程学术会议，1996年7月在厦门召开了第三届全国表面工程学术会，同年8月在秦皇岛召开了'96全国表面科学与工程研讨会。近年来，表面工程发展异常迅速，作为体现表面工程学科重要组成部分的表面技术，已成为当今世界的关键技术之一。

工业现代化的发展，对各种设备零部件表面性能的要求越来越高，特别是在高速度、高温、高压、重载、腐蚀介质等条件下工作的零件，其材料的破坏往往自表面开始，诸如磨损、腐蚀、高温氧化等，表面的局部损坏又往往造成整个零件失效，最终导致设备停产。因此，改善材料的表面性能，会有效地延长其使用寿命，节约资源，提高生产力、减少环境污染。表面工程的最大优势是能够以多种方法制备出优于本体材料性能的表面功能薄层，其厚度一般为几微米到几毫米，仅为结构尺寸的几百分之一到几十分之一，却使零件具有了比本体材料更高的耐磨性、抗腐蚀性和耐高温等能力，采用表面工程技术的平均效益高达5—20倍以上。表面工程能直接针对许多贵重零部件的失效原因，实行局部表面强化、修复、预保护以达到延长使用寿命或重新恢复使用价值的目的。若再考虑在能源、原材料和停机等方面的节约费用，其经济效益和社会效益是显而易见的。我国自第六个五年计划以来，通过在设备维修领域和制造领域推广应用表面工程已取得了几百亿元的经济效益。表面工程具备了先进制造技术最基本的特征，即：优质、高效、低耗。因此它本身不仅属于先进制造技术，而且其研究、推广和应用将为先进制造技术的发展提供必要的工艺支持。在国家的节能节材“九五”规划中拟建议

将发展表面工程作为重大措施之一，并列为节能、节材示范项目。国家计委拟建立国家表面工程研究中心。材料表面改性作为传统材料性能优化的基础研究也被列入国家自然科学基金“九五”优先资助领域。

二、表面工程学科体系与特色

1. 表面工程的形成与发展

根据英国与德国的统计资料，目前，表面工程研究在摩擦学各个领域中的地位已上升到第一、二位。

表面工程的形成和发展，是与其在生产中的作用分不开的。可以概括为以下五个方面：首先，它是发展生产，提高产品质量和经济效益的需要。第二，它为高新技术提供了特殊的材料。第三，它是设备技术改造与维修的有效手段。第四，它是节约能源和资源的重要途径。第五，它还是装饰与美化人民生活的得力措施。正是由于这些重要作用，使表面工程已被许多传统学科（如材料学、摩擦学、冶金学、固体力学等）列为重要研究方向，成为学科的组成部分，一些大专院校的相关专业已把表面工程列为本科生、研究生的教学内容，表面工程的教材和学术专著不断问世，以表面工程为主题的学术活动得到各行各业专家及工程技术人员的支持与参与，一个独立的表面工程学科体系正在逐步形成，表面工程学科成为令人瞩目的新领域。

2. 表面工程的学科特色

表面工程是由多个学科交叉、综合、发展起来的新兴学科，它以“表面”为研究核心，在有关的学科理论的基础上，根据零件表面的失效机制，以应用各种表面技术及其复合为特色，逐步形成了与其它学科密切相关的表面工程基础理论，主要是：表面层失效分析理论、表面摩擦与磨损理论；表面腐蚀与防护理论；表面（界面）结合与复合理论等。表面工程的发展不仅在学术上丰富了材料科学、冶金学、机械学、电子学等学科，而且开辟了新的研究领域，如高能束冶金学、等离子体物理学、动态金属学、摩擦化学、微观摩擦学等。表面工程的学科体系概括为图 1。

3. 表面工程的技术特色

表面工程是多种表面技术的复合所形成的表面高新技术。由于固有局限性，应用单一的表面技术所获得的材料表面性能往往不能满足日益苛刻的工况条件的要求。随着科学技术和设备的进步，发展出了综合运用两种或多种表面技术的复合表面技术，或称为第二代的表面技术。实践证明，这种复合表面技术通过最佳协同效应解决了一系列高新技术发展中特殊的工程技术问题。

表面技术分为表面改性技术、表面涂层技术及复合表面技术。

常用的表面技术有：堆焊技术、熔结技术（低真空熔结、激光熔敷等）、电镀、电刷镀及化学镀技术、非金属镀技术、热喷涂技术（火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂、爆炸喷涂、超音速喷涂、低压等离子喷涂等）、塑料喷涂技术、粘涂技术、涂装技术、物理与化学气相沉积（真空蒸镀、离子溅射、离子镀等）、化学热处理、激光相变硬化、激光非晶化、激光合金化、电子束相变硬化、离子注入等。

目前，表面复合技术的研究和应用已取得了重大进展，如热喷涂与激光重熔的复合、热喷涂与刷镀的复合、化学热处理与电镀的复合、表面强化与固体润滑层的复合、多层薄膜技术的复合、金属材料基体与非金属材料涂层

的复合等等，复合技术使本体材料的表面薄层具有了更加卓越的性能。

4. 表面工程的技术设计

为了更有效地发挥表面工程的潜力，在采用某种表面技术之前，必须进行必要的“表面工程技术设计”，这包括表面技术与涂层材料的合理选用，表面层成分、组织结构及机械性能的确定，工艺参数的确定，以及各种表面层的性能检测方法。表面工程人员要能进行零件失效分析以及熟悉各种表面技术与材料的磨损、腐蚀与断裂性能。表面工程的技术设计体系可由图 2 所示。

三、表面工程与维修表面技术

随着先进制造技术及设备工程学的不断发展，制造与维修将越来越趋于统一。未来的制造与维修工程将是一个考虑设备和零部件的设计、制造和运行的全过程，以优质、高效、节能、节材为目标的系统工程。制造技术将统筹考虑整个设备寿命周期内的维修策略，而维修技术也将渗透到产品的制造工艺中。“维修”已被赋予了更广泛的含义，1984 年美国“技术评论”提倡旧品翻新或再生，并称为“重新制造”。在重新制造中大量采用各种维修技术，它把因损坏、磨损或腐蚀等而失效的可维修的机械零件翻新如初，从而大量地节省了因购置新品、库存备件和管理以及停机等所造成的对能源、原材料和经费的浪费，并极大地减少了环境污染及废物的处理。为此，在日本已提出了“再生工厂技术”的概念。重新制造所需能源约为制造新品的 20%—60%，而价格却只有旧品的 40%—60%。许多采用表面技术处理过的旧零部件，其性能要优于新品。比如，1994 年美国的 Mid-Atlantic 联合有限公司曾对一个变速箱的输出法兰盘采用超音速火焰喷涂（HAOF）维修的情况进行了调查，结果表明，经 HVOF 修复过的零件的使用寿命是新零件使用寿命的 2.26 倍。在国内采用表面工程解决设备零部件失效难题并取得重大经济效益的实例也不胜枚举。如中国设备管理协会技术委员会应用电弧喷涂技术成功地修复了长江三峡工程中挖泥船的发动机曲轴，当时如从日本购买新轴，加上运费和进口关税等需人民币 120 万元，从订购到交货需三个月以上，其停产损失更为可观，而采用电弧喷涂技术修复，总费用仅 3.5 万元，不足曲轴价格的 3%，其经济效益是十分明显的。装甲兵工程学院采用电刷镀技术修复或改造大型、重型、精密设备，尤其是进口设备，取得了十分突出的成效。北京首钢从比利时引进的二手连铸设备，以废钢价格廉价购进，其中有三百多件大轴承座和轧辊，经刷镀修复或改造已正常投入使用。唐山水泥机械厂由德国进口的 6.3 米立式车床、天津石油化纤公司由日本进口的 5.7 米连续缩聚搅拌釜主轴、齐鲁石化公司由日本进口的 328 块汇流铜排、燕山石化公司由日本进口的聚丙烯造粒机主减速箱、平圩电厂由美国进口的 60 万千瓦汽轮机等大型进口设备的修复或技术改造都是采用刷镀技术完成的，不仅解决了国家重点工程的急需，而且节约了大量的外汇。1994—1995 年期间，全军装备维修表面工程研究中心为铁道部大桥工程局施工的汕头海湾大桥和西陵长江大桥悬索鞍座进行了防腐和减摩表面处理，解决了施工中的关键问题，具有国际先进水平。在对军队装备的维修方面，该中心已采用电弧喷涂技术对多艘主战舰进行了防腐综合治理，预计防腐寿命均在 15 年以上，大大

提高了舰艇的在航率和战备机动性。1995年该中心在海军新建造的油污水监测处理船上采用电弧喷涂技术进行了防腐综合治理，将热喷涂工艺直接运用于新船建造上，这在我国的造船史上尚属首次。另外，清华大学和北京机电研究院采用激光固态相变硬化技术成功地对邮票打孔器进行了表面强化处理，过去用进口打孔器印刷150万张，用国产打孔器印刷50万张后就需要磨刃或报废，现在经激光处理后的打孔器印刷邮票1000万张仍可使用。

表面工程在节能、节材、降耗和提高经济效益上的作用是巨大的，仅国家重点推广的热喷涂和刷镀两项表面技术在“六五”和“七五”期间已创经济效益32亿元以上。

四、表面工程与高新技术

表面工程是随着高新技术的出现而发展起来的一项工程技术，不仅被用于一般设备零部件的防护、强化和修复，而且还为高新技术的发展提供了工艺及材料支持。在电子信息技术中表面工程可为其提供关键的薄膜材料及功能器件。如在大规模集成电路中以 SiO_2 为基的绝缘衬底上生长Si的薄膜技术。制作超大规模集成电路中最理想的功能材料是采用化学气相沉积的金刚石薄膜，它具有极为优异的导热性、高介电性和半导体性能。表面工程在制备新型材料方面具有特殊的效应。非晶态金属或合金具有优异的耐蚀性、耐磨性、高导磁性、高强韧性、低膨胀性等。采用气相沉积、电镀、刷镀、激光等表面技术可以获得非晶态薄膜或涂层。作为太阳能转换材料，非晶硅薄膜具有优良的光吸收能力，而且可以大面积涂敷，成本也比较低，是理想的光电转换材料。在超导材料研究方面，日本已开发了用激光制备高性能超导材料的技术，可制成超导带材料。国外已采用热喷涂技术制备超导层。另外，在生物医疗方面已采用等离子喷涂技术在不锈钢人工骨骼表面喷涂氧化物陶瓷层制造人工骨骼，解决了陶瓷层与人体肌肉生物相容性的难题。已采用在Co-Cr-Mo合金上喷涂羟基磷灰石涂层制备人造关节。用等离子喷涂法制造人工齿根的技术也已得到了应用。

五、开拓表面工程 发展先进制造技术

目前，许多发达国家都在研究和应用各种提高零件表面性能的新技术、新工艺，使得诸多表面技术不仅成为了现代制造技术中的重要工艺方法，而且在设备的技术改造和维修方面发挥了重要作用。我国的表面工程在过去的十几年中，已获得了重大的发展，在国民经济中发挥了重要作用，在研究水平与规模方面，可与国际水平相比，并有自己的独创和特色，在重大工程中的部分应用已达到国际先进水平。为了发展表面工程，推动先进制造技术发展，现提出如下建议：

加强表面工程学科的建设，深入开展表面工程基础理论的研究。

重点研究和发​​展复合表面技术，充分发挥各种工艺和材料的综合优势。

大力开展维修表面技术的应用及研究，为其在设计新设备和制造新产品过程中的应用积累经验。

加强表面工程在设备制造和新产品过程中的应用与研究，特别在提高产品的质量、品种、性能、效益等方面发挥作用。

逐步建立表面工程技术设计，全面、系统、综合应用、优化各种表面

技术，以提高产品质量和效益为中心，进行产品的表面工程技术设计。

重视表面工程设备的研制工作，不断提高表面工程的装备水平。

建立国家表面工程研究中心、产学研中心，以加强表面工程的研究开发与推广应用，加速实验室技术向工业应用的转化，为企业提供表面工程方面的技术、设备及建议等。

努力办好中国的《表面工程》杂志，开展表面工程的学术交流，积极开拓表面工程的国际交流。

表面工程在制造业中的应用及发展方兴未艾、前景广阔。相信在我国表面工程专家及工程技术人员共同努力下，随着表面工程学科及技术的发展及其向现实生产力的转化，各种表面技术将促进我国先进制造技术的发展，并有力地推动产品制造和设备维修技术的进步，从而全面提高我国经济增长质量和我国产品在国际市场上的竞争能力，并建立起具有我国特色的表面工程学科体系。

21 世纪高等工程教育的展望

翁史烈

上海交通大学

翁史烈 热力涡轮机专家。1932 年 5 月 21 日生于浙江宁波。1952 年毕业于上海交通大学。1962 年前苏联列宁格勒造船学院研究生毕业获科学技术副博士学位。先后获日本横滨国立大学名誉博士学位，日本昭和女子大学、日本拓殖大学名誉博士学位，俄罗斯圣彼得堡国家海洋技术大学名誉博士学位，乌克兰工程控制科学院院士称号。历任上海交通大学动力机械工程系教授、博士生导师，上海交通大学校长。国务院学位委员会委员、国家发明奖评审委员会特邀审查员。1995 年当选为中国工程院院士。主要从事大型航空涡轮风扇发动机的多用途改型研制工作，燃气轮机设计工作。

临近世纪之交，高等工程教育界都在以高度的使命感、紧迫感和跨世纪意识，预测着下个世纪科技、经济、社会的变化，以及它们对工程教育的影响，以便采取相应的对策。

一、对工程教育影响最大的五个趋势及对策

根据目前已经显示的迹象和人们的预测，对工程教育影响最大的有五个趋势，相应地需要考虑五个方向的对策。

（一）工程教育与科学研究、工业生产的一体化趋势及对策

在相当长的历史时期内，教育、科研、生产作为知识传播、知识发现、知识物化的三大社会活动是相互独立的。然而，到了现代，三者又出现了向一体化回归的势头，现代化大企业无一不是产学研紧密结合的综合体。一体化趋势的原因是：

第一，现代科学转化为技术、技术物化为产品的周期大大缩短（例如，从电动原理的发现到电动机的应用，隔了 56 年；而太阳能电池从原理到应用只用了 2 年时间），使生产技术和产品的更新空前加快，从而增强了生产对于科技研究和工程教育的依赖。

第二，古代的生产是人类对于自然物的浅层利用和变革，是凭借工匠们的直觉和经验来进行的。即使是 18 世纪问世的蒸汽机，它的原理也是来自工匠们对自然的直观，它的改进（如加密封圈以减少漏气；注润滑油以减少摩擦）也可以凭工匠的直觉和经验来实现。那时的生产技艺是同科学不相干的。到了 19 世纪，电机、内燃机的广泛应用，使科学进入了生产，科学与技术逐渐结合成一个整体。特别是本世纪 40 年代后崛起的高技术产业群，标志着人类对于自然界的深层采掘和深度加工。以四大技术为例，信息技术的发展迅猛，有人称之为信息“爆炸”。信息的物质载体——大规模集成电路和各种存贮器，从材料制备到微细加工，都离不开固体物理和表面物理所揭示的有关晶体结构和电子层运动的原理。核能作为新能源的代表，从铀和氦气的纯化，到裂变聚变反应的进行，应用的则是原子核内部亚核粒子作用的原理，各种新材料的出现标志着人类不再依赖自然界的恩赐，进入了在分子和电子

水平上设计与制备新材料的时代，生物工程的问世有可能突破自然物种的局限，通过细胞融合和基因重组，使人类成为创造新生命的“造物主”。上述种种，无一不是直接应用了分子、原子乃至亚原子层次物质运动的原理。所有这些在 $10^{-13} \sim 10^{-6}$ 米微观空间中进行的深层变革只能在科学研究、工程教育和工业生产三者的紧密结合中实现，从而使科学研究和工程教育不再外在于生产，而是成了现代生产过程中的必要环节。

科、教、产一体化的趋势，必然要在政治、经济、文化诸方面反映出来。对教育来说，工程教育与科研、生产既然不可分割，那么工科院校，特别是研究型理工大学的社会职能就必须扩展，除培养人才、发展科技外，还应成为高新技术的孵化器和辐射源，介入新产品的开发和新产业的形成。相应地，在学校内部则要建立起从基础科学、技术科学到工程技术的学科体系和从基础研究、应用研究到技术开发的成果转化通道。在学校外部则要大力发展同企业界的联合办学和产学研联合体，并力争成为新兴的科学工业园区的智力依托。

（二）科学技术的综合化趋势及对策

客观世界是个整体，仅仅因为人类认识能力的局限，才把它支解为不同学科的对象，从物理的、化学的、生理的不同角度来把握，而且越分越细，仅自然科学就形成了 4162 门学科。本世纪 40 年代后，分化为主的趋势逐渐为综合为主的趋势所取代，反映了“分则深、深则通、通则合”的规律。现在已经可以看到：先进的物质变革和能量转换过程中，生产人员不再直接面对机器操作，而是利用一切可能的技术手段：机械的、电子的、化学的乃至生物的手段，自动化地、智能化地、远程化地驾驭着过程的优化发展，生产过程和产品的技术集成度大大提高。下个世纪，科技的综合化会愈益明显。科学技术综合化的趋势要求大大拓宽工程教育的专业面，发展通用的综合技术教育。当前淡化专业，按系甚至按一级学科招生，设置第二学科或第二学位，培养复合型人才等措施，就顺应了这一趋势。相应地，在学科建设上，不仅仅要拓宽学校学科的覆盖面，而且要建立矩阵式的学科结构：不仅有按分化序列分级的学科体系，还要有按工程领域和对象综合的学科群（或工程研究中心），后者应跟随工程领域和对象的变化，有重组的活力。10 年前，上海交大鉴于科学技术整体化集成化的趋势，撤销教研室，建立学科组，允许跨系聘教师，促进了学科的分化和重组，形成了一批以支柱产业为服务对象的工程中心和研究院，其中国家模具 CAD 工程中心和上海市先进制造技术中心，就是十几门技术的集成。国外研究型大学如麻省理工学院等，这类跨学科机构有几十个之多。

（三）社会理性化发展趋势及对策

以自然物为对象的工程技术，不能不考虑人类对自然的关系。

人类对自然的关系，已经历过两个历史阶段：先是“恐惧与崇拜”的阶段，石油文明后进入“掠夺与征服”的阶段，把地球看成是可以无限制地索取的对象，把 GNP 的增长当成现代化的唯一指标，用高能耗高物耗高污染的方式从事生产，导致土壤退化、江河污染、天降酸雨、森林破坏、物种灭绝、矿藏锐减。不仅殃及子孙后代，连当代人自身的健康也受到损害。从这个意义上讲，20 世纪仍然可以看成是人类不够文明的“史前期”。新的世纪中，人类与自然的关系将按照理性化原则来处理。工程技术人员将从人类与自然和睦相处的角度规范自己的行为，采取高效低耗少污染以至无污染的生产技

术，包括生物方法和绿色技术来满足人们的需要，从根本上实现经济增长方式的转变和可持续发展的目标，使地球成了资源及能源可以再生、生态环境宜人的居所，即所谓用“生态文明”来取代“石油文明”。

为了社会的理性化发展，工程技术在生态、资源等领域深深地介入了社会，从而“工程”一词也从原有的“数学和自然科学方法在工、农业生产中应用”经典定义向社会领域外延，增强了工程教育的人文性和社会性。

处在这种背景下的工程院校，将不仅是物质文明的建设者，还将是具有高度精神文明的理性社会的塑造者。处在这样一种背景下的理工大学，将越来越多地参与国家和地区的决策，在发展经济、推动社会进步上成为高层领导的思想库和智囊团。相应地，工程教育的培养目标，也将由单纯的“技术工作者”变为“技术人文主义者”。他们有对全人类负责的高度责任心，有足够的人文社会科学素质，有把工程问题置于整个社会系统中，进行政治的、经济的、法律的、生态的、心理的以至于伦理的综合考虑的能力。其中一部分毕业生经过工程和社会两方面的锻炼，将成为地区乃至国家的领导人。

（四）国际化趋势及对策

交通和通信工具的发展，使地球成了一个村落（Global Village）。国际交往空前频繁，资源、能源、信息共享，国与国之间既互相竞争，又互相依存。这就要求高等教育在培养人才、发展科技和提供社会服务上有明确的“全球意识”，关注全球问题，大大发展跨国界的合作教育与科研，培养“世界上通用的人才”，融东西方文化于一体，集各国文明之所长。

（五）工程教育的终身化趋势及对策

生活条件的改善和医疗技术的进步，使人的寿命和就业期限不断延长。“人生七十古来稀”，现在成了“八十、九十不稀奇”。日本人在中年与老年之间加一个“实年”，意思是55—65岁这个年龄段还可以收获到果实，作出成就。另一方面，科学技术的加速发展使工程技术人员在他们的就业期内要面对越来越频繁的知识老化和技术更新。这样，到了下个世纪，在职工程技术人员继续教育在规模上将接近甚至超过学龄期的工程教育，从而出现两种工程教育体系并存的局面。在这种情况下，工科高校必然要拿出相当大的一部分力量来承担继续教育的任务。与此同时，学龄期工程教育的内容将进一步基础化，着眼于给工学士以获取知识、更新知识、适应生产技术和生活方式变化的能力和素质。

科学技术的发展既使终身教育成为必要，又为终身教育提供了可能。一是随着劳动生产率的提高，从事第一、第二产业的人数进一步减少，用于学习的闲暇时间有可能超过生产劳动的时间；二是随着信息技术在教学中的普及，继续教育将以更加灵活方便的方式而为广大在职工程技术人员所接受。21世纪必将成为名副其实的“学习的社会”，学习、休闲和创造性劳动的和谐结合，将使人类生活得更加美好。

二、21世纪高等工程教育发展战略的几个要点

以上分析了社会发展中的五大趋势，并一般地讨论对策，如果把这些对策集中起来，是不是能勾画出21世纪工程教育的概貌？概貌的形成，不仅要考虑科技和社会发展的趋势，而且还要研究教育自身，包括历史使命、社会功能和发展规律。当然，正如牛顿未能预见登月，达尔文未能预见基因工程一样，我们也难以对几十年后的事情有着清晰的勾画，但是在上述对策和教

育自身规律结合的基础上还是可以作大体的预测，在它的上面建立起我们工程教育的发展战略，其中几个要点值得强调指出：

（一）高等教育的历史使命

在社会发展中高等教育起什么作用？笼统地说，那就是百年大计，教育为本。但具体地说二者的联系如何体现？1990年哈佛大学校长 Bok 在他的“Universities and the Future of America”一书中指出了美国社会存在的许多问题，包括中小学的问题、政府的低效率、贫穷现象的持续存在、失业、文盲、犯罪、家庭离异等等。不解决这些问题，经济即使一时好转，也不可能取得长时期的、稳定的繁荣，更为重要的是社会不可能变为真正有人情的文明社会。表面看来，高等教育对这些问题解决没有直接作用，但是分析了管理、工程、法律、公共行政等教育领域后，他有力地指出：高等教育对这些问题的解决，从而对经济的繁荣、社会的进步会产生意义巨大的作用。事实上，他还没有考虑到“生态文明”中工程教育的重大作用。所以许多有识之士都强调：对国家来说它要做的最重要的事情是增强研究和教育的投入以保持它在知识的前沿，从而确保经济的持续繁荣。

中国经济的迅猛发展，中外人士有口皆碑，但是在社会主义市场经济体制形成的过程中，无论是社会生活、经济发展还是生态环境中都存在着大量的性质严重的问题。对于这些与经济持续发展有关的问题的解决，中国高等教育有着不可推卸的历史责任。高等教育工作者必须有崇高的历史责任感，否则我们将不可能高屋建瓴地规划我们 21 世纪的教育发展。

（二）青年一代的素质

中国的青年一代朝气蓬勃，对未来充满着信心和希望。青年人的种种优点使我们深受鼓舞，激发了我们广大教师辛勤耕耘的积极性。然而，如何使青年了解社会、懂得生活、热爱事业、不怕艰难困苦、乐于无私奉献等方面我们还需要做大量的工作。综合国内外在 20 世纪所积累的经验，有两个方面的工作应该在 21 世纪的教育规划中继承发扬。

1. 加强教师与学生之间的沟通，言传身教。

世界著名大学不仅有很加强的研究力量，有开创性的科研成果，而且他们都非常重视教育，尤其是本科生教育。麻省理工学院有一年级的研讨会（Freshman seminar），斯坦福大学有二年级的研讨会（sophomore seminar），都是由资深教授出面组织，倡导学生与著名教授直接接触，启发学生对科学技术的兴趣，帮助学生处理学习（如选课、选系）和生活上的问题。三年级之后每 30—40 名学生也有相应的指导教师，实际上，这是一个言传身教的过程，教授们的学风、思路、道德风貌将对学生的成长起深刻的影响。我国大学在教书育人上也有许多好的经验。

2. 加强人文科学教育

在大学知识的传授中，强调通过人文科学的学习来促进学生尤其是工程学生的世界观、人生观、价值观的形成。

麻省理工学院在四个不同的历史时期成功地实现了四个转折，使自己不仅紧紧地跟上时代的步伐，而且还领导着工程教育发展的新潮流。其中第 10 任校长詹姆士·雷恩·基里安的贡献就是倡导在工程技术教育中，卓有成效地实施人文科学和社会科学教育，使成功的工程教育为创造更合理更美好的社会服务。事实上，加强工科学生的人文素质也有利于他们迎接社会化、综合化、一体化等发展趋势的挑战。

（三）工程教育的产学研结合

从国际范围看产学研结合的方向未必得到共识，有些外国大学校长认为：产学研结合是 mixed blessing。一方面它导致学校的专利成倍增长，另一方面它使基础研究的学术气氛面临破坏的危机。他认为：现在要说清楚产学研结合的净效益，为时过早！当然迄今为止的报告还未证实学术气氛面临破坏的担心。但是，学校经常被迫接受与企业之间的有问题的安排，这是难以承受的。

另一方面，从 80 年代以来，美国工程教育界在美国国家科学基金会、美国教育部、美国工程师学会等支持下，根据经济发展的状况，对高等工程教育进行了长期的调查、研究和讨论，提出了许多改革建议，其中一个重要的动向是所谓的回归工程，如果说在 40~50 年代尤其是苏联人造卫星上天后，美国工程教育的改革经历着由工程实践向工程科学过渡的话，那么在 90 年代许多著名大学都提出了工程教育要从工程科学回归到工程实践。例如，MIT 工学院院长乔尔·莫西斯提出了该学院 1994—1998 年长期规划《大工程观与工程集成教育》，并解释说“大工程观的术语是对为工程实际服务的工程教育的一种回归。而与研究导向的工程科学观相对立”。为了实现回归工程，许多学校采取了有力的措施，其中最重要的措施之一，就是产、学、研结合。以哈维·马德学院为例，在学生在校期间，安排一年时间跨度的真刀真枪的毕业设计，设计项目完全是直接为公司解决实际问题（每个公司提供 3.4 万美元的经费，最后得到的知识产权可能价值几百万元。三年级学生开始做四年级学生的助手，到四年级就正式进入课题组参与研究设计），都有产学研联合的五年一贯制的学士硕士学位混合计划。尽管国际上对产学研结合的观点未必统一，但是从三大社会实践一体化发展趋势以及我们本身的实际体会来看，21 世纪产、学、研更紧密的结合是毫无疑问的。从现在起要创造条件促进结合，发展办学的新模式。当然由此产生的负面效应，要引进足够的注意。

（四）学校管理体制改革

国家范围的办学体制改革，包括中央与地方的关系，教委与其它部委的关系，已在北京、上海、四川、杭州等地逐步推开，总体上看其方向是符合上述五大趋势的需要的。至于学校内部的管理体制改革好像已经是老生常谈，不足挂齿了。其实并非如此！与过去相比学校的情况已经发生了极其明显的变化，而且还要继续变化。现有的已经改革的管理体制远远不能满足新情况的需要！学校已经从一个封闭体系中解脱出来，成为一个与社会各界有着千丝万缕联系的开放式的办学实体。从上海交大的情况来看：

1. 与国内外的企业、研究单位、政府部门、高等学校建立起合作、合资办学的关系（例如欧共体的中欧国际工商学院，电力部的电力学院，安泰保险公司的交大安泰管理学院，GM 公司的发动机研究所，有数十个校外单位参加的董事会组织，IBM 公司的网络显示中心，Sun 公司的制造业仿真实验中心，德国巴符州的先进制造工程技术培训中心，与上海汽车总公司的合作，上海市先进制造工程技术研究中心等等）；

2. 校办产业与国内著名企业建立的合资关系，社会股民们更以直接投资参与了学校控股的股份有限公司的经营活动和权益分配；

3. 基础研究、应用研究的成果到生产前沿开始有了新的转化通道（例如国家工程研究中心，上海市的工程研究中心，企业合建的工程研究中心）；

4. 一体化、综合化、社会化的发展趋势已经引进学科重组，系所重组；

5. 学校内部的信息流、能量流、资金流、数据流、指令流，无论从数量上，还是从性质上都起了重大的变化。

在这样的情况下，学校已有的管理体系要驾驭、调控，处处显得力不从心，非常被动，如不进一步改革，后果会是非常严重！

下一步管理体制改革的重点将是信息管理、资金筹措、公共关系、系科重组等。

21 世纪的中国高等教育有着宽阔的前景，但是需要集思广益，全面规划，希望上述一孔之见能引起讨论，得到大家批评指正！

关于先进制造技术

路甬祥

中国科学院

路甬祥 流体传动及控制专家。1942年4月28日生于浙江慈溪。1964年毕业于浙江大学，1981年在德国亚琛大学获博士学位。曾任浙江大学校长。现任中国科学院常务副院长、教授。1991年当选为中国科学院院士（学部委员），1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事流体传动与控制领域的工作。

“创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达不竭的动力。”“一个没有创新能力的民族，难以屹立于世界民族之林。”江泽民主席在科学大会上对于“创新”意义的高度概括，振聋发聩。

创新（Innovation）与发现（Discover）不同，它主要不是对自然现象新的发现和认识，而是人们有目的的一种创造行为。包括文化艺术创新，科学思想、方法的创新，技术与工业创新，经营与管理创新，政治、军事与经济战略创新等等。

迄今为止，人类所拥有的物质和精神文明都是人类创新成果的历史沉淀和发展。在世界范围内，永不止息的创新活动正创造着人类现代文明和更加灿烂的明天。

本文着重讨论与当代经济发展关系最为直接，影响也最为广泛和深远的现代技术与工业创新之典范——先进制造技术。

先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology）这一概念是美国于80年代后期首先提出的。然而其概念的进化和创新技术要素的形成、集成和发展是渐进的。

对历史作一简要回顾将有助于我们对先进制造技术本质和特点的理解，有助于对其发展趋势和基本要素的把握，有助于制订和实施符合实际的发展战略和策略。

一、历史的回顾

制造技术为满足社会需求服务，而又依赖于社会需求和生产力发展的水平，依赖于科学技术发展的整体水平。

在石器时代，人类利用天然石料和动植物骨骼、纤维、枝杆制作简单工具，生产方式以采集和利用自然为主。到了青铜器和铁器时代，人们开始采矿、冶金、铸锻工具、纺织成衣，打造工具与车船，采取作坊式手工生产方式，满足以农业为主的自然经济。

1765年瓦特发明蒸汽机，为机器大生产提供了动力，纺织业、机器制造业取得革命性的变化——引发了一场工业革命。由于航海业的发展，市场也扩大了，需求刺激了工业创新的浪潮。英国成了当时世界纺织、造纸和印刷、煤炭和钢铁生产的中心。制造业也得到了发展，焦煤炼铁、蒸汽锻锯、切削机床相继问世。近代制造业初步形成。

19 世纪电磁效应的发现，法拉第电磁感应定律和麦克斯韦尔电磁场理论的建立，为电机的发明奠定了科学基础。1866 年德国的维尔纳-西门子发明了自激发电机，1878 年爱迪生发明白炽灯，1882 年在纽约建立了世界上第一座商业性发电站，电气化的时代来到了。电力与电机改变了机器结构，开拓了机电制造业的新时代。

19 世纪末，20 世纪初内燃机发明（1876 年德国工程师奥托发明四冲程煤气内燃机，1883 年戴姆勒发明了汽油机），汽车开始进入欧美家庭，引起了制造业新的革命，自动机床、自动线相继问世，工业制造泰勒制管理理论应运而生，并为二次大战期间的大规模军工生产制造准备了技术条件和管理经验。二战后人类很快迎来了电子和信息时代。通讯的普及，电子技术的发展，计算机的发展和应用，半导体集成电路的出现，市场需求的多元化和商业竞争的激烈，引起了产品结构和产品制造的一场革命，机电一体化（Mechatronics），NC，CAD/CAM 的时代到来了。适应多品种生产的柔性制造系统（FMS）出现了。日本汽车制造业就是依靠小型化、省油设计及能灵活满足用户多样化需求的 FMS 制造技术超越了汽车大国美国。

借助计算机为核心实现信息、物流、工艺集成为特点的计算机辅助集成制造系统（CIMS）技术出现了，进而又出现了平行工程（Concurrent Engineering）、敏捷制造系统（Agile Manufacturing）、清洁生产（Clean Production）等概念。

如果我们将制造技术发展阶段和社会经济发展阶段互相对照，便可发现：

在资源经济时代，社会需求主流为温饱型，产品粗放，品质单一，生产技术相对落后，手工生产辅以简单机械化设备，以机械替代繁重体力的近代工业制造方式。

在能源经济时代，社会需求主流转为小康型，产品质量要求提高，数量激增，但在款式、造型等方面的要求尚处次要，采取电气机械自动化，刚性生产线为特征，机器不但替代繁重体力劳动，提高生产效率，而且在保证质量一致性方面发挥着重要作用。制造业进入现代工业生产方式。市场仍是卖方主导方式。

社会进入信息时代，社会需求主流转向富裕型，商品需求多样化要求上升，质量、款式、交货期、品质价格比成为市场竞争的决定性因素，产品和制造过程的环保、物耗、能耗要求更加严苛。制造技术进入后现代化方式。生产过程要求以灵捷、清洁、高效、优质、廉价以赢得市场。社会已转为买方市场。

对应三个经济时代的制造技术，对于全世界而言，按发达国家的状态可比较清晰地分辨出转换期，但对不同国家和地区而言，其过渡和重叠期可延续相当长的历史时期。

我国从整体上看，尚处在相应能源时代的制造水平，但在某些行业和先进企业恰已采用了适应信息时代的先进制造技术。国际化的剧烈经济竞争，要求我们尽早采用具有中国特点和行业特点的先进制造技术。

二、先进制造技术的特征和技术要素

制造业是国民经济的基础产业，凡是制造物质产品的行业均可称为制造业。制造业不仅生产消费类产品满足市场需求，为产业部门提供生产设备，

为农业与公共工程提供工程设施，为第三产业提供技术装备与服务设施，为交通运输部门提供汽车、船舶和飞机及相关的道路、机场、港口设备，为科学研究部门提供科研设备和仪器，为医疗、环保部门提供诊断、治疗、检查和治理设备，为国防提供武器和装备。制造技术的水平和制造业的实力反映一个国家的生产力水平、国防能力，决定着国家的经济竞争力和综合国力的强弱。决定一个国家的产品质量、竞争能力，决定人民的生活水平、质量。

表 1 近代世界的经济特征和制造技术特点

资源经济时代 1760 年- 手工及机械化制造方式	能源经济时代 1950 年-	信息经济时代 1980-
温饱型需求	小康型需求	富裕型需求
满足功能、耐用、价廉	品质、价廉，充分供应	款式、品质、交货期、价格比
物耗、能耗较大	节能、省料	节能、节料、清洁生产
手工式 + 机械化	电气自动化	机电一体化、智能化、集成化
多品种、少量、定制	少品种、大批量、规格化	多品种单件、小批量、定制、商品寿命短 周期
产品 + 维修服务	产品 + 易损件更换	产品 - 售后软件服务
劳动力、原料成本大	制造设备折旧和原料成本	商品开发成本、技术设备成本、行销成本
	卖方主宰市场	买方主宰市场

*先进制造技术是制造技术的最新发展，其概念超越了传统的制造技术和工厂和车间的边界。包容了从市场需求、创新设计、工艺技术、生产过程组织与监控、市场信息反馈在内的工程系统。是以先进制造工艺技术、计算机应用技术为核心的信息、设计方法、工艺技术、物流工程及相应的管理工程集成的现代制造工程，是不断更新发展的高技术体系。

*先进制造技术依托迄今为止的材料、器件、设计理论与方法、制造工艺、企业管理、市场营销、计算机技术、讯息技术等技术进展，是先进技术的工程集成。

*先进制造技术通过技术和管理的优化组合，期望通过产品品质、成本、交货期、性能价格比的优化，取得最佳市场竞争力。

*先进制造技术既面向市场，又面向产品和行业的生产特点。如对于汽车工业、电子工业、纺织工业、食品工业等显然既有共性又各有特点的产业。

先进制造技术是不断吸取机械设计、工艺技术、电子、信息、材料、能源及现代化管理等方面的科技成果，系统地应用于市场分析、产品设计、制造工程、检测监控，生产管理和质量保证、售后服务等设计制造的全过程，实现优质、高效、低耗、清洁、灵捷生产，取得具有市场竞争能力的经济技术综合效果的现代制造技术。

其本质是：信息 + 制造工艺技术 + 物流技术 + 现代管理技术之集合。

近 30 年来先进制造技术大体经历了 4 个发展阶段：

- 1) 以数控机床、加工中心和工业机器人为代表的柔性制造单元阶段 (CAM) (60—70 年代)。
- 2) 以柔性制造单元加自动或半自动物流输送组合而成的柔性制造系统 (FMS)，仍以分布式生产过程控制为特点。(70-80 年代)。

3) 信息、工艺、物流、计算机集成控制为特点的集成阶段 (CIMS) (80—90 年代)。

4) 以设计智能化、单元加工过程智能化和系统整体管理智能化为特征的智能集成制造系统阶段。

在发达国家第一、第二阶段,技术已经成熟并实现了产业化,第三阶段也尚在开发完善阶段,智能化集成制造技术尚在研究探索中。有人将计算机智能集成制造技术称为 21 世纪的先进制造技术。

先进制造技术要素与前沿:

——现代设计理论与方法

先进的设计是决定产品品质、环境相容性、经济性、适应需求的基础,设计的水平、质量和效率是决定产品自主开发能力和市场竞争能力的首要环节。现代设计理论与方法表现为功能结构和价格、安全性、环境相容性、工业造型等的综合优化设计;表现为设计过程、开发过程与生产过程的紧密结合趋势;表现为计算机辅助设计工具和包容丰富的数据库支持体系在内的 CAD 技术。出现了:

*并行工程 (CE) 概念

即将产品的市场分析、设计、工艺设计、生产计划与加工、质量保证和检测等同步规划,实现产品设计开发过程的并行实施,缩短产品开发周期。

*虚拟制造技术 (Virtual Manufacturing)

以计算机三维虚拟现实和多媒体技术实现建模、仿真,虚拟产品造型、结构、功能及工艺过程,从而压缩或甚至取消制作原型机的过程或原型机的制造系统,从而缩短设计-制造周期,降低投资和开发成本。

——先进制造工艺

先进制造工艺与设备是先进制造系统的装备与工艺基础,是实现优质、高效、低耗、清洁生产的基础,是保证产品质量和市场竞争的基础。因此,先进的制造工艺和设备是计算机集成制造技术的另一根支柱。

*少无余量精密成型技术

金属超塑性的发现,金属精密铸锻冲压工艺的进步,已可实现不经切削加工或极少加工余量即可成形装配,这是实现高效清洁生产的关键技术。涉及合金材料、模具、成型工艺及设备等技术。

*精密、超精密加工技术

大致可分 3 个层次,一是用于汽车、飞机、精密机械的微米级 (μm) 精密加工;二是用于磁盘磁鼓制造的亚微米级 ($0.01\ \mu\text{m}$) 精密加工;三是用于超精密光电子器件的毫微米级 ($0.001\ \mu\text{m}$) 精密加工。

*新型材料的成型与加工技术

如高分子材料、复合材料、工程陶瓷、超硬材料的成型和加工。新型材料的采用,不仅改变产品结构和性能,而且使工艺发生了革命,成本显著下降。

*构件或材料之间的联接技术

在复合材料式精密零件之间的粘接、精密焊接、铆接等联接技术。

*表面新技术

表面的改性、修饰、涂层技术 (外延、溅射、原子沉积、离子注入、光刻等)。

——自动控制技术

*传感及控制技术

工业用传感器、反馈执行单元，无损、非接触在线检测技术。

*测量及检验技术

数字化接触及非接触式精密尺寸、轮廓测量仪、检验软件。

*焊接、搬运、装配机器人

有视觉或传感功能的焊接装配机器人，及快速、准确定位的气动、液动、电动搬运系统。

*环保技术

清洁生产，废弃物控制与回收。

——信息技术和综合自动化

在数据库技术，接口与通讯，集成框架软件工程，人工智能专家系统和神经网络，决策支持系统，系统监督与诊断等基础信息技术的基础上，实现将企业内外市场、技术、生产、经营有机集成，实行统一控制与协调的 CIMS。并在此基础上引入智能技术，使 CIMS 具有自动监测、补偿、优化、保护等功能，进一步提高系统的质量、效率和可靠性，即智能制造系统（IMS）。

——管理技术

包括数据标准、工艺标准、质量标准、生产计划与控制、质量管理、市场分析、用户与员工培训等先进管理基础要素。

最终形成

*精益生产或敏捷制造技术

前者以准时生产（JIT）、成组技术（GT）和全面质量管理（TQM）为支柱，并引入并行工程和整体优化概念。在空间上和时间上合理配置和利用生产要素，发挥以人为核心的整体制造系统效益。后者以柔性生产技术和动态组织结构为特点以高素质协同良好的工作人员为核心，实行企业间网络集成，形成快速响应市场的社会化制造体系。

表 2、3 分别列出美国的先进制造技术计划（AMT），韩国高级先进技术国家计划（G—7）和日本的智能制造技术计划（IMS）。

（1）美国的先进制造技术（AMT）计划

AMT 计划是美国联邦政府科学、工程和技术协调委员会（SCCSET）的六大科研和开发计划之一，于 1992 年 6 月获批准实施。其目的是加速先进制造技术的发展与应用，提高制造业的能力，以满足国家的需要。

AMT 计划 1994 年度财政预算为 13.85 亿美元，有商业部、国防部、能源部、内务部、农业部、环保局、宇航局及国家科学基金会等 8 个联邦政府机构介入，各机构结合本部门的情况制定了具体的专项计划。1995 年教育部、劳动部、运输部等 5 个机构加入了该计划。

（2）韩国 G7 计划中的先进制造系统专项计划

韩国于 1991 年 8 月正式提出实施“高级先进技术国家计划”，即著名的 G7 计划。

G7 制成品技术开发计划中的“先进制造系统”项目是一个将市场需求、设计、车间制造和分销集成在一起的系统，旨在改进产品质量，提高生产率，增强国际竞争力，使韩国的制造技术达到世界一流水平。

该项目由韩国工商部主管，投资总额为 5.95 亿美元，其中政府资助 2.77 亿美元，企业筹集 3.18 亿美元。

（3）日本的智能制造系统（IMS）计划

日本在优先发展先进制造技术的三个“振兴法”的基础上，于 1990 年提出了智能制造系统（IMS）计划，其目的是要把日本的制造技术同美国软件技术和西欧的精密仪表等特长结合起来，创造出先进的智能制造系统，1993 年 3 月，日、美等国家在东京建立了一个世界级的制造中心，并对全功能通用控制系统、加工过程的无污染制造、全球集成制造、全局并行工程、设计制造知识库、快速成型技术等 6 个项目开发研究，投资 10 亿美元。这 6 个项目共有来自各参加国的 73 个企业和 67 个大学、研究机构参加，经过近两年的实施，均获得了成功。该计划经过 5 年调研和可行性试验，决定于 1995 年 1 月正式启动，为期 10 年，总投资为 40 亿美元。

综观各国先进制造技术计划的制定和实施情况，可以看到，先进制造技术发展有其深刻的国际经济竞争的背景，与其它技术计划不同之处在于，它提出时即以提高国际竞争力、促进经济增长和提高国家综合实力为目标，既注重技术的超前性、创新性但更注重来自产业界的实际需求，尤其是汽车工业、电子工业等支柱产业的发展需求；在技术选择上注重系统集成技术与工艺装备研究开发并重，通过信息技术和自动化技术的引入使传统工艺装备升级，并将现代化管理放在应有的位置上；同时，也可看到各国在发展先进制造技术的过程中，政府通过若干计划的实施起到了关键的引导和调控作用，并形成了一套有效的研究开发及推广应用的管理机制。

表 2 美国 AMT 计划项目分类

<p>设计技术</p> <ul style="list-style-type: none"> · 产品、工艺过程和工厂设计 计算机辅助设计 (CAD) 适于加工和装配的设计 工艺过程建模和仿真 工艺规程设计 系统工程和集成 工作环境设计 · 快速原型制造 · 并行工程 · 其他技术 	<ul style="list-style-type: none"> · 连接和装配 连接 (焊接、铆接等) 装配 (机械的、电子的) 电子封装 · 测量及检验技术 测量技术 检验规程编制 · 环保技术 减少废弃物 闭环回收 能量转换 · 维修技术 · 其他技术 	<ul style="list-style-type: none"> · 机器与工具技术 机器技术 工具技术 自动材料搬运技术 机械手 计量技术 · 传感器及控制技术 单机、加工单元及过程控制 执行机构 传感器与传感器组合 生产作业计划 · 其他辅助技术
<p>制造工艺</p> <ul style="list-style-type: none"> · 材料生产工艺 金属 电子材料 陶瓷 聚合物 化学材料(无机、药用材料等) 食品、纤维及农用材料 生物材料 多相/混合物 	<ul style="list-style-type: none"> · 其他技术 设施和设备 设备维护 喷涂及表面精整 包装技术 (非电子的) 	<p>制造基础设施</p> <ul style="list-style-type: none"> · 质量管理 全面质量管理 持续改善 用户满意方面
<ul style="list-style-type: none"> · 加工工艺 切削加工 铸造、锻造、制模 	<p>辅助设计</p> <ul style="list-style-type: none"> · 信息技术 接口和通信 数据库技术 集成框架 软件工程 人工智能、专家系统和神经网络 	<ul style="list-style-type: none"> · 用户/供应商交互作用 · 劳动力培训与教育 技术培训 继续教育 大学生的教育 培训技术
<p>成型加工</p> <ul style="list-style-type: none"> 热处理 表面涂层及改性 电子工业工艺 (制版印刷、光刻/淀积、离子注入) 复合材料工艺 (预浸修理、纤维卷绕、树脂转换模塑、纤维束置放等) 	<ul style="list-style-type: none"> 决策支持系统 · 标准和框架 数据标准 产品定义标准 工艺标准 检验标准 接口框架 	<ul style="list-style-type: none"> · 全局监督和基准评测 战略全局监控 基准评测及性能评价 技术获取及应用 · 其他基础设施

表 3 韩国 G7 计划先进制造系统项目分类

系统	领域	项目
系统 1： 共性基础技术	开放式集成系统	关键单元软件 设计自动化 并行工程 网络系统 物料搬运系统 系统仿真 管理软件 系统开发 系统集成
	标准和性能评价	关于 IMS 战略（智能制造系统） 标准化 性能评价 产出评价和运营战略
系统 2： 下一代加工系统	加工设备开发	5 轴加工中心 高精度、高生产率加工中心 超精非球面加工中心 CNC 磨削中心 CNC 滚球丝杠磨床
	机械技术	高精度加工和测量 高性能主轴 柔性外围设备 主轴和伺服电机及驱动器 CNC 控制器
	运营技术	智能生产计划和控制 数据库和技术信息管理 系统监督和诊断
	集成技术	CAD/CAM/CAE 智能 CAPP 物料搬运系统 系统集成

系统	领域	项目
系统 3： 电子产品的装配 和检验系统	下一代印刷线路版装配 和检验系统	电子元件插装表面安装 COBTABB 附件 印刷线路版 高速精密线路测量
	用于装配和制造系统的高性能机械机构	柔性装配的外围设备 装配用高性能机器人技术 图像检测系统
	先进装配用的基本技术	高密度印刷线路版的设计和制造 高精密装配 无纤料的组合 清洁技术
	系统运行和集成	自动诊断和运行控制 自动装载和卸载 生产计划和控制 生产信息和动作的数据库 系统集成

三、我国先进制造技术发展之管见

*市场经济发展为先进制造技术的发展提供了广阔的市场，提出了前所未有的需求。市场竞争对产品质量、成本、款式和交货期提出了越来越高的要求。经济的发展使中国经济迅速增长，人民生活水平不断提高，社会需求和人民消费呈前所未有的多样化并迅速发展的趋势。至本世纪末，下世纪初，中国将成为世界上最大的经济实体之一。12 亿人口的巨大国内市场呼唤中国的先进制造技术，也为其发展提供了前所未有的环境和条件。

*我国对外贸易不断增长，中国复关已势在必行，我国经济已逐步融入世界经济合作与竞争环境之中。至下世纪中叶，中国将完成小平同志为我国设计的第三步目标——达到中等国家的水平，并在此基础上继续前进。剧烈的国际竞争，更要求我国制造业迅速地接近和达到国际上先进制造技术的水平。否则，中国的产品很难在国际市场上竞争，甚至我国的国内市场也可能在国际竞争中被挤占和瓜分。

面对剧烈的国际竞争，我国先进制造技术的发展已刻不容缓。

*现代科学技术为先进制造技术的发展提供了技术基础。

70 年代以后由于微电子、计算机技术的发展，为设计、制造、行销过程的信息管理与计算机辅助设计制造创造了前所未有的条件；近代制造技术及其自动化的发展，为先进制造技术积累了现代工艺和管理文明；运筹学、专家系统、仿真技术、人工智能等发展为制造技术走向智能化创造了技术前提；先进的工艺如精密成型、超精密加工、精细焊接、表面技术、在线检测等技术的发展为制造技术提供了新的工艺基础。至 80 年代世界先进制造技术，已走过了起步、发展与成熟期，进入了以人机一体智能化为特征的后发展时期。

*我国虽然是一个发展中国家，但经过四十多年的发展，制造技术有相当基础。尤其是近 16 年来，实行开放政策，经引进技术、攻关、“863”等科技计划研究开发，在现代制造技术的核心技术（NC、CAD、CAM、CAT、MIS）

等已有相当基础，并建立了 CIMS 工程技术研究中心、机器人国家研究中心，建立了一批 CIMS 工厂示范工程。大学已普遍改进机器制造教育课程，引入了现代制造技术的有关内容，为现代制造技术人才培养作了一定准备。

我国是一个后发展国家，我们应该正视机遇和挑战，制定正确战略，走自主、开放、吸收、创新，迎头赶上之路。

我国是一个人口众多，而人均资源相对短缺的国家。实现第三阶段战略目标达到中等发达国家水平，必须建设起优质高效、低消耗、清洁的能灵活适应和满足社会需求和国际竞争需要的先进制造业。但我国，技改投入相对不足，原有技术基础和研究开发能力还比较薄弱，技术设备和生产管理和市场经营还相对落后。我们应该在自力更生的基础上，广泛吸收世界各国的经验，走一条具有自身特色，适合我国国情的道路：

*扎扎实实发展机械制造共性基础技术，提高整个机器制造工业的素质与水平。不断更新和提高机械设计理论和方法，推广普及 CAD 技术，更新设计规范 and 准则，建立和完善现代机械设计数据库和设计工作平台和开发工具。提高制造工艺技术水平，尤其是高效、节能、精细、清洁的加工工艺，如金刚石切削精密加工、激光加工、精密切削刀具、精密模具、精密铸锻、自动保护焊接技术、在线测量技术、伺服传动、工业控制等。

*踏踏实实提高制造业现代化管理水平。

现代制造技术是在建筑在制造业现代化管理基础之上，又接受其保证的。因此必须踏踏实实地提高我国制造业管理水平。现代管理的核心是信息管理和物流管理、质量管理、生产过程和市场信息管理，其宗旨在于保证生产和流通过程和品质、效率。应踏踏实实建立符合现代要求，与国际接轨的科学管理模式和计算机辅助管理体系，不但是提高制造业水平和效益的有效措施，也是实施现代先进制造技术的基础。为此，应着力抓好生产模式和生产组织体制的改革和管理软件的研究开发，加强企业管理人才的教育培养与训练。全面提高我国制造业的现代文明水平，实现优质、高效、低耗、清洁、柔性生产。为先进制造技术的发展奠定良好与坚实的基础。

*政府、企业与社会积极鼓励创新精神，促进设计、制造工艺管理经营、市场行销等方面的创新意识和工业创新行为。

*集中力量有计划、有重点、有选择地组织引进、消化、吸收、开发和革新，建立发展起自主的现代制造自动化单元技术，发展符合我国国情特点的以人为核心的人机一体化制造自动化系统技术。

应集中力量增加投入，建立与发展我国自主的 CAD、NC、CAM、CAT、MIS、加工中心、工业机器人、数字测量仪等制造自动化单元技术。引进平行工程、敏捷制造、精益 (LP) 生产等概念，发展经济有效的以人为核心的人机一体型 FMS、CIMS 系统技术。不盲目地追求所谓“全盘自动化”，重视人的智慧劳动，致力发展以人为核心，人机协调，优势互补，智能高效的现代制造系统。

*选择部署若干制造业的基础、共性技术和关键技术的研究发展中心，选择建设若干具有行业制造特点的先进制造技术示范型工厂。采用国家扶持，面向市场，自主开发，滚动发展模式。

当前特别需要打破行业界线，择优选择研究开发基地、示范工厂，选一批产品市场大、效益好、管理水平较高又具有行业特点的厂家试点，例如：汽车、轻工、家电、建筑机械、电子、纺织、通讯行业等，并适当考虑地区

布局以求带动一片。

***完善并实施有效政策**

政府应在促进制造业现代化方面起主导作用，引导扶持激励技术进步的主体——企业的自觉行为。在市场经济条件下，国家仍应制订科学的制造产业发展规划和制造技术进步总体规划和相应政策。

对于基础共性技术和关键性技术的引进消化创新，国家要增加支持强度，实行择优支持政策；对技术转移和推广应尊重和保护知识产权，实行激励技术进步、鼓励技术创新政策。即使在市场经济条件下，一些先进技术推广和技术改造仍需国家扶持，日本、德国、韩国都有过成功的先例。应采取税收优惠、快速折旧、信贷、融资、风险投资等有效经济和法规手段推动和鼓励。当前正值发达国家制造业加速向第三世界转移的时期，我们应抓住机遇，在开放中求发展，但对引进外资，建立合资企业和国际合作，应进行有利于我国制造技术进步，有利行业整体布局，有利于提高我国制造业在国际市场的竞争能力为目标的政策引导，提高我国制造业国际合作的水平、层次和整体效益。

***建立和完善国内和国际市场及技术信息网与数据库。**

先进制造技术是以市场为面向，又以社会为生产依托的，它是一开放的生产体系。我们应建立国内和国际市场的技术信息网和数据库。为先进制造技术的产品设计创意、生产组织经营、技术选优集成、行销服务、反馈提供必要的信息环境和发展平台。建议在北京、上海等中心城市，或选机械、电子、轻工等典型行业建立信息中心，并实行信息共享。

***强化教育与培训**

发展和推广先进制造技术关键在人才，不仅需要设计研究开发人才，需要工艺和设备工程师、经营管理人才，还需要大批高素质的技师和技工。

应在全国依托若干高校或制造技术工程技术研究与发展中心，更新教育内容与方法，加强高级人才的培养和继续工程教育，培养一支高素质的了解和掌握制造技术发展前沿的工程技术、经营管理和研究开发骨干队伍，提高我国制造技术创新能力和加速制造新技术推广传播的速率。同时应通过职业教育培训一大批有较高职业素养的技师和技工，使先进制造技术的发展建筑在人才保证之上。

差分 GPS 与广域 GPS 增强

魏子卿

总参谋部测绘研究所

魏子卿 测绘专家。1937 年 4 月 15 日生于河南睢县。1960 年毕业于中国人民解放军测绘学院。现任中国人民解放军总参谋部测绘研究员。1995 年当选为中国工程院院士。先后主持和参与了海上大气折光修正、长测程气体激光测距仪研制、卫星摄影定位、卫星多普勒定位系统 (GPS) 等研究项目。

一、背景

大约 6000 年以前,人类已经创造了到远地航行的导航方法,古代波里尼西亚人 (Polynesians) 和近代海员导航使用自然恒星的角度测量。近代随着无线电的发展,诞生了无线电导航,开始用地基发射机,如无线电信标、VOL、Loran 和 Omega 等,后来又发展到使用人造卫星技术,即用更精确的视线无线电导航。卫星导航出现在 60 年代,美国海军导航卫星系统(称为 Transit)是第一个运行的导航卫星系统,接着又有前苏联的 Ci-cada 系统。这两个系统的概念类似,均基于多普勒原理。Transit 卫星为圆极轨道,高度为 1075 公里,绕地球一周 107 分钟。每个卫星是一个自主的导航信标,发射 150 和 400MHz 信号、时标和导航电文。卫星过地平线以上时,用户有机会得到他的水平坐标,两次定位之间的平均时间间隔,从 35 到 100 分钟,依纬度和星座的卫星数而定。Transit 卫星系统不具备连续导航的能力。

全球定位系统 (GPS) 美国国防部主持研制的第二代卫星导航系统,1973 年开始研制,1994 年正式投入运行。系统星座由 24 颗卫星组成。GPS 卫星用两个频率发射单向测距信号,即 L1 频率 1575.42MHz 和 L2 频率 1227.6MHz,还广播卫星的估计位置。用户同时测量到 4 颗卫星的距离,即可解出四个未知数,它们通常是纬度、经度、高程和用户钟的改正数。如果高程或时间已知,用的卫星数可以减少。GPS 提供两种定位服务,即基于精码 (P 码) 的精密定位服务 (PPS) 和基于粗码 (C/A) 的标准定位服务 (SPS)。PPS 信号被加密,非授权用户不能使用,大部分民间用户只能依赖 C/A 码或 SPS。

尽管 GPS 是一个较好的导航定位系统,但是它为民间用户提供的标准定位服务 (SPS) 不能完全满足导航在精度、可用性和完好性方面的要求。首先说精度。美国实行选择可用性 (Selective Availability) 措施,引入卫星钟抖动和广播星历误差人为地降低了 C/A 信号的精度。测距误差典型地为 20 米,导致水平位置精度达 100 米 (2drms),垂直位置精度达 156 米 (2drms),这种精度仅满足飞机航路导航和非精密进近以及在海洋船只导航的要求,而不能满足诸如飞机 I 类精密进近、舰船进港靠泊、海图测量以及许多陆地应用的需要。船只进港和靠泊要求水平精度 8—20 米 (2drms),I 类精密进近要求水平精度 17.1 米 (2drms),垂直精度 4.1 米 (2drms),而 I 类精密进近着陆要求水平精度 4.1 米 (2drms),垂直精度 0.6 米 (2drms)。海图测量要求的定位精度好于 10 米 (2drms)。

再说可用性。可用性为以百分数表示的系统服务为导航者提供的可用时

间。高速公路行驶的汽车时间可用性要求为 99.7%，某些铁路应用可用性要求达 100%。飞机非精密进近可用性要求为 99.999%，I 类精密进近要求为 99.75%。用 25 颗卫星的 GPS 星座的模拟计算表明，在航路可用性为 98.58%，不可用 (outage) 时间为 35 分钟，在终端可用性为 96.53%，不可用时间达 70 分钟，非精密进近可用性为 67.26%，不可用时间达 295 分钟。单纯 GPS 不能满足许多应用的可用性要求，看来 GPS 和 GLONASS 组合是必要的。

完好性是导航性能的另一项重要指标。完好性指示当系统不能用时系统向用户提供实时而有效的报警之能力。完好性的风险是未检测出导致丧失规定精度的故障的概率。航空用户组和某些陆地用户组对完好性有很高的要求。系统故障到通知给用户的时间 (告警时间)，对于飞机航路和非精密进近阶段要求分别为 30 秒和 10 秒；对于精密进近要求 6 秒，完好性风险要求为 $1-3.3 \times 10^{-7}$ 。对于某些陆地运输应用，告警时间要求则高达 1 秒。

GPS 系统结构违反了实现高完好性要求的两个原则：第一、没有在线的独立的系统性能监测器。当前仅有的监测器是地面跟踪站和控制站，当系统存在超差状态时系统没有任何自动反应。卫星未受到监测的时间达到 1 小时以上。甚至主控站检测出问题之后，在采取改正措施之前可能有 30 分钟之久。也就是说，卫星发生故障到地面控制站采取校正动作可能达到 1~1.5 小时。第二、同一个主控站系统既用来监测卫星的健康状况又用来发射改正数，在主控站还可能发生不可检测的共同性故障。

综上所述，GPS 系统本身的导航性能有明显的缺陷。为了改善其导航性能，通过地面监测系统和一定形式的数据链对 GPS 进行增强是十分必要的，因此随着 GPS 技术的产生和发展，不同的 GPS 增强技术也应运而生。最基本的技术是差分 GPS (DGPS)，它又分局部差分 GPS (LADGPS) 和广域差分 GPS (WADGPS)。近年在广域差分基础上又发展起来一种广域增强技术。这些增强技术各有一定的最佳应用场合。由于不同应用的要求差异很大，单一系统不可能满足所有应用的需要。不同应用可能要求多少不同的增强技术。一部分应用 (如舰船进港) 可能仅要求中等精度的局部差分 GPS，而另一部分应用 (如飞机、I 类精密进场) 则可能要求高精度局部差分 GPS (通常要求动态 OTF 算法)。为了满足大范围多种应用要求，必定需要多种形式的增强系统的组合。一个广域系统尽管不可代替大范围各种局部系统，但它确实可以覆盖诸如舰船进港、飞机空中航行直至 I 类精密进近和陆地车辆交通管理等相当大一部分应用。因此建立广域增强系统对一个地区甚至一个国家确实具有重要意义。

二、差分 GPS

差分 GPS 是伴随 GPS 产生而产生的用于局部区域改进导航精度的一种技术。一个在已知测量位置的 GPS 接收机，将其 GPS 测量导出的解与其测量位置比较，得到改正项，将改正项发送至用户，使用户改进他自己的位置解。一般说来，存在两种差分 GPS 概念：

1. 接收机置于已知位置，测量由 GPS 导出的位置解误差 (x, y, z)，这一信息然后发射到携带主接收机的载体，加到用户估计的坐标中。用这种技术，位置改正数仅当两个接收机使用同一组卫星时才是有效的。

2. 接收机置于已知位置，确定到所有可见卫星的伪距的误差，并发射至用户。用户在确定其民航解之前从其测量的伪距中减去此项误差改正。用

这种技术，用户和地面接收机不一定使用一组卫星。

还有一种伪卫星概念。地面站起着伪卫星的作用，计算所有卫星的伪距偏差，将其与导航数据电文一起发射给用户。用户采集这些信息，作为正常导航电文的一部分，来改正他的位置解。

DGPS 可以将用户的三维定位精度改进至 5 米水平。DGPS 所以能够提高用户定位精度是基于用户与参考点所蒙受的误差相关这一假设。事实上，用户星历误差、电离层和对流层延迟影响不能被差分改正完全抵销。随着用户至参考站距离的增加，误差相关退化，以致用户定位精度降低。

DGPS 的部分误差是由于下述事实引起的，即星历误差在用户-卫星视线上的投影不再与参考站-卫星的视线上的投影相同。另外，如果两个接收机相距很远，穿过电离层的视线也很不同，导致所观测的电离层延迟不同。对流层延迟的情况类似，但影响较小。

超过 100 公里，距离误差改正就不足以精确至实现 DGPS 的全部潜力。因而 DGPS 仅限于局部应用。覆盖像我国这样大的国家需要几百个参考站才能实现单站差分 GPS。

差分技术需要在地面参考点和用户之间的数据链，常用的通信链路有视线（例如 VHF，L 波段，微波）；地波（例如 LF，MF，无线电信标）；FM 副载波。由于其视线和传播问题，数据链也成为 DGPS 的作用范围的限制因素。

DGPS 的典型例子是美国海岸警卫队（USCG）在沿美国海岸和内河建立 DGPS 系统，该系统主要用于港口靠泊和进港引导，水文测量，监测和控制港口交通等，包括一个由 61 个点组成的广播点网和两个控制站。每一广播实际上是一个局部差分系统（LADGPS），包括两个参考站、两个完好性监测站和无线电信标机组成，整个系统由参考站、广播发射机、控制站、监测站和船上设备组成。参考站为其覆盖区域的用户产生伪距改正，它装备有高质量的 GPS 接收机，具有产生 RTCM 广播电文和同远方控制系统通信的能力。它进行 GPS 卫星的完好性检查，也接收完好性监测站来的警戒信号，还准备在失去监测时或者受完好性监测站命令广播完好性警告。广播发射机包括一个海上无线电信标，实时 DGPS 改正数据被输入到 RTCMSC—104 格式，广播至所有的用户。由两个计算机控制的控制站，一个位于东海岸，一个位于西海岸，每一个用数据通信网连接到在其区域所有的监测站和所有的参考/广播站。控制站进行系统监测、数据通信网和各地设备的控制。在紧急情况下，每一站能够处理整个网的事务。完好性监测站包括一个 MSK 接收机，一个 DGPS 接收机和计算机。计算机检核 GPS 广播，DGPS 改正数据和 MSK 广播信号。每一个参考/广播点将有一个完好性监测站。完好性监测站用实时数据链连到 GPS 参考接收机，将连续地把在其覆盖地区看到的广播状态通知参考接收机。船上装备必须有 MSK/无线电信标接收机，一个 DGPS 接收机和电子图显示器。整个 DGPS 计划包括 DGPS 参考站、发射机、监测站和控制站的设计、制作、安装、运作和维持。系统组建计划投资 1700 万美元，运作和维持每年 500 万美元。

USCG 的 DGPS 系统覆盖海岸和主要河流，在内陆留下一些空隙，特别是西部。美国工程兵部队也计划用 USCG 的标准和频率建立一些无线电台。另外，为了使这一系统用于铁路交通控制，联邦铁路局（FRA）计划将 LADGPS 扩展到 48 州的全国覆盖，需要增加 20 到 25 个站。

加拿大海岸警卫队也正在其沿岸和港口地区与大湖区执行 DGPS 计划，计划到 1998 年提供 25 个站信标 DGPS 服务。

三、广域差分 GPS

与局部差分不同，广域差分概念基于由多参考站导出的改正数确定 DPGS 位置。现在有一类广域差分系统，概念类似于局部差分，主要不同点是增设多个参考站，利用多参考站得到差分改正，用这些数据连同用户的 GPS 接收机的原始距离数据计算用户位置。所有计算在用户位置完成，包括电离层和对流层影响模型化。Accpoint/Cue、DCI、Fugro Starfix、JECA Omnistar 和 Racal SkyFix 等公司建立的地区或全球 WADGPS 系统为这类系统的代表，其中 Omnistar 的虚拟基站概念似乎别具特色。它的输出好像一个随用户系统移动的基站，为得到精确的差分改正不必测量基站的位置，在差分改正数中顾及了每个基站每个卫星的对流层和电离层误差，减小了 GPS 误差空间去相关的影响和参考站的噪声和残余多路径影响。在计算加到参考站的改正数的权时使用了至卫星的高度角和方位角，从每站的外插改正数加权平均得到最后最佳改正数，权为到参考站的距离和用户端或参考站到卫星的高度角的函数。最佳化的改正数供给任何能够接收标准 RTCM 格式的 GPS 接收机。

商业性的广域系统的差分改正以 RTCM—104 格式播发，最常用的广播媒介为地球同步卫星和 FM 副载波。接收天线为高增益、方向天线或低增益、全方向天线，在用高增益的碟式天线时（大多为沿海、海洋应用），改正数从静态天线通过无线电遥测设备向本地用户广播。接收机通常为传呼接收机或专门研制的接收机（如 OMNISTAR 6300/7000 接收机）。私人公司的广域系统未见有系统故障报警能力，着重于改进定位精度（一般卫星轨道误差改正有限），主要用于沿岸或陆地实时定位。

在另一类比较规范的 WADGPS 中，主要误差源被向量化，即分解为卫星星历误差，卫星钟误差和电离层误差，它们被分别加以模型化。向大范围用户提供误差改正，不再是像 DGPS 那样为每一卫星的标量距离改正，而是包括卫星星历误差改正、含 SA 影响的卫星钟误差改正以及电离层时间延迟改正的向量。差分改正的精度在所监测的区域内大致是一致的，在其边缘地带精度可能略有降低。广域差分的优点是可以较少数目的参考站向广大地区的用户提供几米的导航和定位精度。

这类 WADGPS 由一个地面监测网和一个通信链组成。监测网包括一个（或两个）主站和若干参考站。每一参考站配备一个高质量的时钟，一台可以跟踪视野内所有卫星的双频 GPS 接收机。在每一参考站所得到的 GPS 测量被发送到主站。主站根据从参考站采集的信息作出 GPS 系统完好性判断，并结合已知的参考站位置计算误差改正向量，包括卫星星历误差，卫星钟误差（包含 SA 影响），以及电离层延迟误差。完好性告警信息和计算的误差改正经过任何方便的通信链发射给用户。WADGPS 的数据流程可以归结为：

- 1) 在已知位置的参考站采集视野内所有卫星的 GPS 伪距和载波相位。
- 2) 在参考站所得到的所有测量被送到主站。
- 3) 主站计算误差改正向量和判断系统完好性。
- 4) 误差改正向量和完好性信息被发射到用户。
- 5) 用户接收完好性告警信息，用误差改正数改进导航精度。

四、广域增强系统

通常的广域差分 GPS 系统，改进了 GPS 系统的精度和完好性，并未改进

其可用性。增强型的广域系统，则可以改善 GPS 的所有三个缺陷。增强型的广域系统，通常称为广域增强系统 (WAAS)。在 WAAS 中，携带有导航转发器的地球静止卫星为数据链的一部分，它除了广播完好性信息和矢量改正数以外，还广播类似 GPS 信号的测距信号，测距信号能够被稍微修改的 GPS 接收机所接收。类似 GPS 信号改善了卫星导航的可用性。

导航转发器工作在 GPS 的 L1 频率 (1575.42MHz)，并被调制以完好性数据，差分改正数，以及伪随机码测距信号。发射测距码的作用是使地球静止卫星被当作一个 GPS 卫星用，测距码能使 GPS 用户可测量至同步卫星的伪距，因而改善了 GPS 导航的几何，提高了导航的精度。并以此增强 GPS 的通用性和服务的连续性。

INMARSAT—3 卫星是第一个携带 WAAS 导航转发器的卫星。它们按下式广播 WAAS 信号： $s(t) = \sqrt{2C}X(t)D(t)\cos(2\pi f_{L1}t + \phi)$ 式中 C 为信号的功率， ϕ 为载波相位， $f_{L1} = 1575.42 \times 10^6 \text{Hz}$ 为载波频率，与 GPS L1 一样。WAAS 信号用数据 D(t) 调制，D(t) 携带完好性警告和矢量改正数。另外，每一信号还调制扩频码 X(t)。像 GPS C/A 码一样，这个码是码元率为 1.023MHz 的 ± 1 伪随机码序列。

扩频调制对于 WAAS 的作用与其对于 GPS 的作用相同。它能够在即使有噪声、反射信号和干扰信号时进行精密测距。它也许可 WAAS 同 GPS 信号共享 GPS L1 频率。WAAS 信号不会干扰现有 GPS 接收机或不是设计为接收 WAAS 信号的其他 GPS 接收机接收 GPS 信号。接收机用分离 GPS 信号同样的扩频机制，能够将 WAAS 信号与 GPS 信号区分开来。事实上，WAAS 码是从 GPS C/A 码同一码族中选出来的。在 1025 个可能性的这一码族中 GPS 仅用 36 个码，所以为 WAAS 剩余很多码。另外，WAAS (C) 接收的功率将比 GPS 信号的规定接收功率稍微弱些。

WAAS 的码和载波与 GPS 同步，所以 WAAS 提供附加的距离测量。这一距离测量将改进航空的卫星导航的连续性和时间可用性。

WAAS 信号将不会引起 GPS 接收机的设计有大的变化。信号工作在 GPS L1 频率，用同样的扩频码，用二进制相移键控携带数据。所以，对接收机的最重要变化是对于施加在 WAAS 电文所载的数据。

为了为所有飞行阶段的导航服务提供对基本 GPS SPS 所必要的增强，美国联邦航空局 (FAA) 正在发展 WAAS 系统。该系统覆盖美国、加拿大、波多黎各和太平洋、大西洋沿岸。项目的目标是支持在直到 类精密进近的所有飞行阶段用作主要导航手段的航空要求。项目从 1992 年开始执行，分四期完成，1997 年将实现初步运行能力，2001 年实现最终运行能力。1992 年开始建立试验网阶段 () 期，截至 1994 年，一个包括 8 个参考站的 WAAS 样网已通过可行性试验。100 多次精密进近的飞行试验结果表明，在 95% 的时间，垂直精度好于 6.9 米，告警时间为 5.9 秒。1996 年进入 期，建立职能验证系统，此时该系统将包括 2 个主站，5 个参考站，2 个地面地球站，一个对地静止卫星导航转发器。该期的任务是试验和验证执行与布设程序，以及验证实际执行和布设前的 WAAS 硬件和软件。1997 年执行 期，即初始 WAAS 期，届时系统将包括 2 个主站，24 个参考站，3 个对地球静止卫星和 6 个地面地球站。 期结束将能提供直至非精密进近的所有飞行阶段的 WAAS 服务。1998 年进入 期，即终态 WAAS，在这一期，将执行 WAAS 合同的选项，足够的附加主站，参考站，对地静止卫星和地面地球站使得能够在服务范围的任何地

方都可提供 类精密进近服务。WAAS 系统兼有增强 GPS 和 GLONASS 的双重功能。

欧盟、欧洲空间局和欧洲安全航行组织正在执行一个基于 INMARST-3 导航转发器的旨在增强 GPS 和 GLONASS 的欧洲地对静止卫星导航重叠服务 (EGNOS) 项目, EGNOS 将同在邻近地区正在执行的类似系统衔接以使得可得到一个无缝的世界范围的服务。EGNOS 计划 1999 年达到初步运行能力(IOC), 2002 年达到全站运行能力(FOC)。在其初步运行能力阶段, 包括一个主控站, 13 个测距和完好性监测站, 2 个导航地面地球站加至少一个热备份, 2 个对地静止导航转发器, 4 个对地静止测距站(每个转发器 2 个)。这样一个结构主要限于航空上的补充手段应用。在全部运行能力阶段, 还加下列成分: 1 个地球静止导航转发器, 为每个转发器提供一个多余的导航地面地球站, 1 个主控站, 7 个测距和完好性监测站, 2 个地球静止测距站。这一扩展的系统在技术上能够作为到 类精密进近的唯一手段使用。

国际海事卫星组织在通向民用的全球导航卫星系统 (GNSS) 的努力中, 计划在 1997 年发射的卫星 Inmarsat—3 上将携带 L 波段导航转发器, 它将向用户转发地面导出的 GPS 和 GLONASS 完善性信息, 提供附加的测距信号增加 GPS 在世界范围的可用性, 帮助用户进行他们自己的完好性监测, 通过转发广域电离层校正和对 GPS 和 GLONASS 的差分改正提高定位精度(从非增强的 100 米水平到 20 米)

五、建立我国的广域增强系统

建立我国广域增强系统的目的在于增强基本 GPS 信号的导航和定位能力, 以便为我国 GPS 用户提供更好的陆、海、空导航定位服务。

我国广域增强系统的主要应用范围包括陆地交通运输和交通管理, 资源调查; 海岸探油作业, 海道测量, 舰船进港; 飞机至 类精密进近所有飞行阶段的导航等。

建立我国广域增强系统应与推行新航行系统的要求相协调, 应考虑国际接轨和国际兼容的可能, 应最大限度地利用商用差分接收机。我国广域系统的长远目标应当是 GPS/GLONASS 的广域增强系统。

我国广域增强系统将包括地面部分和空中部分。地面部分包括参考站网、主站、地面地球站和用户站。空中部分包括载有导航转发器的地球静止卫星。各成分的主要职能和配置如下:

参考站(约 20 个): 每一站装备 GPS 双频接收机, 铯钟, 微机, 气象仪器, 通信设备。参考站网集 GPS 数据和当地气象数据。这些数据通过地面通信网或地球静止卫星传递给主站。

主站(1 或 2 个): 装备工作站, 微机, 通信设备。主站接收参考站传来的数据, 计算 GPS 卫星轨道误差改正, 卫星钟差(包括 SA 抖动) 改正和电离层延迟参数, 判断系统的完好性。并将这些信息传递给地面地球站。

地面地球站: 装备卫星通信设备。接收主站传来的差分改正参数和完好性信息, 并将它们上行装入地球静止卫星。

地球静止卫星(3 个): 建议在近期发射的地球静止卫星上搭载导航转发器, 该导航转发器以 L 波段频率发射类似 GPS 测距信号, 广播差分改正信息, 完好性信息。电文格式采用 RTCASC—159 和 RTCM SC—104。

用户机: 尽可能利用现有商用差分接收机。根据需要研制专用接收终端,

进行数据格式标准化，输出至商用差分接收机，以便最后给出导航定位结果。

建立广域增强系统，是一项复杂的科学工程，也是一项重大的科研课题。涉及导航、定位、自动化、电子、通信和空间技术等诸多领域。建立广域增强系统，需要统一规划协调，发挥部门间的协作优势。系统的长期维持和运行也需要备加重视。编后记

在开始举办百名院士科技系列报告活动一周年之际，《共同走向科学——百名院士科技系列报告集》正式与广大读者见面了。在此，编委会向两院院士和对本书出版给予支持的部门及同志们致以诚挚的谢意！

为贯彻党中央、国务院关于加速科技进步的决定和加强科普工作若干意见的精神，实施“科教兴国”战略和可持续发展战略，努力完成全国科技大会和全国科普工作会议提出的提高全民族科技意识和科技素质的任务，一年前，中国科协、中国科学院和中国工程院联合发起，会同中央、国务院有关部委和十几个省市共同组织了面向社会，主要是面向各级领导干部的百名院士科技系列报告活动。一年来，据不完全统计有140多名院士作了近200场报告，听众达10余万人次。我们深深感到有责任使院士们的报告产生更久远的广泛影响，使没有直接听到院士们报告的广大干部和群众也能受益。为此，我们将收集到的报告文稿汇集成册，以奉献社会。

由于时间所限等原因，尽管我们未能将院士们的全部报告收录在书中，全书业已达到140万字，内容极其丰富。为了报告集的完整性，有些院士的报告文稿虽然在正式出版物上已公开发表，我们仍然收在本书中，希望有关出版社予以理解。在编辑本书时，是以收到稿件的时间为序，分为上、中、下三册。每册中均含综合性报告及自然科学、技术科学、工程技术各学科领域的报告。在每一册中，学科相近的文章略为集中，并以作者姓氏笔画为序编排。本书属科普性报告集，并非研究论文，又因文字量较大，故未要求作者列出参考文献、插图及索引，编辑部在此代表本书的各位作者一并向有关学者、专家和读者致歉，并请谅解。

在本书编辑过程中，得到广大院士和新华出版社等出版部门的热情支持，每篇稿件都经过了院士本人和编辑、出版部门的多次审核，尽了最大努力。但是，由于我们的科学知识和编辑水平所限，又为了使本书早日与读者见面，从报告文稿的收集到正式出版时间极为紧张，书中定会有不够规范或错误之处，我们诚挚地欢迎批评指正，提出宝贵意见！

参加本书编辑工作的还有：艾新元、申倚敏、刘卫卫、刘鲁生、孙卫国、李仁涵、林宏侠、胡筠、袁牧红、钱莹洁、高中琪、唐海英、梁晓捷、谢冰玉，特此表示感谢。

本书编委会
1997年3月

