

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

走向真与美的统一



走向真与美的统一

目 录

一、科技文化的孕育	1
传说中的真实 远古文明的曙光	3
悠悠钟声传万代 神秘的青铜时代	6
斯芬克斯之谜 古代文化奇观	11
宇宙、自然、生命 古神话中的科技文化萌芽	16
二、科技文化的源头	24
神奇的世界 世界组成的奥秘	28
数学中的艺术 数和形的奥秘	33
巧手夺天工 机械器物的应用	45
道可道，非常道 古哲人的睿智	53
三、从神的世界到人的世界	61
上帝创造一切 神学为基础的宇宙观	63
一山放出一山拦 中世纪的科技文化	68
西方不亮东方亮 四大发明与其它	72
冲出黎明前的黑暗 科技文化“蒙难”与“复兴”	79
以史为鉴 教训不应忘记	88
四、大发现带来大变革	91
蜘蛛、蚂蚁、蜜蜂 新的工具	95
果真是苹果的功劳吗 牛顿力学与经典物理	99
万丈高楼从地起 经典科学——数学与物理	103
为有源头活水来 经典科学——地学与生命科学	108
五、大发展带来大变革	113
开水壶中的秘密 工业革命与科技革命	115
科学使人变成巨人 多种动力的发现	119
比翼双飞 科学和技术展宏图	126
六、进化的科学和科学的进化	134
挪亚方舟中的宝物 生命科学新的活力	137
小人国的秘密 微观世界的探索	143
柳暗花明又一村 又一次科学革命	149
七、高科技和大科学时代	157
始识苍苍不是天 高科技王国——航天技术	159
罗伯特的艺术创造 高科技王国——计算机艺术	164
科学巨人的成长 科技文化知识体的演化	168
科技文化的“集体力” 系统的科学与科学的系统	175

总 序

多年来，青少年知识读物都是以学科来分类的，知识读物的作者大都按照学科有着自己的专业，有学物理的，有学历史的，所以知识读物也就形成了一个庞大的学科系统。再加上我国学校的课程以学科为主，到了高考之前还要文理分科，结果培养出了许多单学科的专门人才，学文的不懂理，学理的不知文，甚至学数学的都不懂物理……，这无疑是值得我们深入思考的一个重大问题。那么，我们应当编写什么样的知识读物呢？

今天，科学技术正在步步逼近自然界的各种“极限”：超高温、超低温、超真空、超导体、超强磁场、微重力……，在 21 世纪，人类将进入一个奇妙无比的“超级世界”。

科学技术发展到了今天，从形成一种新知识到把这种知识运用到生产中去的时间正在迅速地缩短，有的用不了几个年头，有的只用几个月。科学和技术融合在一起，出现了科学技术综合发展的趋势。未来的 21 世纪是科学和技术互相融合、交叉、综合发展的新世纪，科学技术的综合化，科学的深入发展，必然导致科学结构的改变，必然迫使我们从新认识人类的知识体系。

当人们想让计算机充当翻译时，计算机专家就必须熟悉两种以上的语言和文字；当人们研究社会发展中的重大问题时，不但要涉及自然科学和工程技术，还要涉及到人文社会科学，涉及到文学、艺术、政治、经济……。当代任何重大的科学技术问题、经济问题、社会发展问题、环境问题、文化问题都具有了高度的综合性质，不仅要求自然科学、工程技术和科学学的各主要部门进行多方面的广泛合作，综合运用多学科的知识和方法，而且要求把自然科学、工程技术、社会科学和文学艺术融合成一个创造性的综合体。当代人类面临的需要解决的难题，决定了当代自然科学、工程技术、社会科学和文学艺术高度结合，这是人类知识体系发展的新趋势和新特点。我们生存着的世界有着无限的层次，对某一层面的专门研究叫专门科学。有的课题处于两个层次的边缘部分，于是就进行交叉研究，这就出现了边缘科学。

在边缘科学和交叉科学发展的基础上，当代人类的科学文化正在走向整体化，出现了自然科学社会科学化，社会科学自然科学化的大趋势。也就是说，要求自然科学除了研究客观自然之外，还要研究人本身、人的思维、人的社会、人的情感……。

结合着新兴的交叉科学向青少年朋友介绍新的思维方法，让他们能突破传统思维方式，成为新世纪的主人，无疑是科技教育工作者和科学作家的天职。科学技术既是人类不断地发明创造精神的一种反映，也是人类智慧的一种结晶，它可以给青少年以思维上的启迪、创造发明的灵感以及博大坦荡胸襟的确立。《趣味交叉科学丛书》主要目的是想通过对一门门交叉学科的通俗有趣的介绍，激发起青少年朋友的学习兴趣，以利于他们将来积极地投身于科学和技术的探索研究工作，进而有所建树，推动人类的社会文明向前发展。我们热切期望，在《趣味交叉科学丛书》的读者当中，将来会出现世界一流的科学家（包括社会科学家），为祖国增光添彩。

《趣味交叉科学丛书》编委会

1996.1.

前 言

科学、技术、文化这几个词在今天已成了报刊上经常出现的词汇。正因为出现得太多了，人们反而不大过问它的含义是什么。现在摆在读者面前的这本书是以“科技文化”作为主题的，在书的开始则必须“开宗明义”，先把“科技文化”的内涵讲清楚。不过本书书名冠有“趣味”两个字，这表明它并不是本教科书，书的作者也不想板起面孔来向读者系统讲述“科技文化学”。

在这里，作者希望充当一名“导游”，带领读者去科技文化世界遨游、览胜、探秘。

旅游的导游各有各的风格，但是在介绍景点时，他们决不忘记介绍景点的名称和与名称相连的文化背景。比如：到西湖游“苏堤”和“白堤”，必要讲讲它们和苏东坡、白居易这两位大学士有什么关系；到了灵隐寺，面对文不对题的“云林寺”匾额又会讲康熙皇帝南巡，为灵隐寺题词的事。云和灵的繁体字全是雨字头，一个作“雲”，一个是“靈”。可康熙皇帝下笔不慎，把雨字头写得很大，下面再容不下三个“口”一个“巫”，于是为了难。一个老和尚见此情景，知道皇上“金口玉言”，下了笔就不能改，他灵机一动，用手指在旁划了几划。康熙原本智慧过人，一点就醒，把雨字头下加了个“云”，保持了字形的美观，第二个字改成了“林”，纳入了“灵隐”的谐音。于是皆大欢喜。这类介绍对旅游必不可少。

与上类似，在将读者引入科技文化世界之前，有必要先讲一讲“科技文化”这个名字是什么意思。“科技文化”是个复合词汇，首先看它的前一半——“科技”。科技是科学技术的简称，这词汇是个“舶来品”，它的含义要从外文字典中去寻求。先看科学，该词源于拉丁字“Sci-entia”，代表“学”或“知”。在现代英语中，它演化成“Science”，译音为“赛因斯”，所以五四运动时代被称作“赛先生”。英国《牛津字典》对这个词作如下解释：“系统化了的知识，特别是那些从观测事实和实验所取得的知识，以及为使他人相信这些知识所作的论证。”《当代美国标准词典》的解释说法不同，内涵却类似，译出为“由系统观测、资料分析和可验证的科学原则所确立的知识体系，以及它的各个分支”。概括点说，科学的来源是“经验事实（包括直接观察和专门设计的实验）”，并接受经验事实的检验。但科学不是经验事实的堆积，而是“系统化”的知识，并构成了各种学科体系。技术——techniology，在两本字典中均解释为科学知识的实际应用，但不是零散的应用，而是系统的应用。

“文化”这个词汉语中原本有，本意是以“文”治来教“化”人。在西方，“文化”一词源于耕种。以英文为例“文化”一词—culture 从“cultivate”而来，后者，原义是对土地的耕作。俄语中的“文化”——Ky b Typa 也有栽植、培育农作物之义。到当代，无论中外，广义的文化均代表人类创造的精神财富的总合。

综上所述，将科技与文化相连，无疑是说明科技是系统化的知识体系，在这体系中，不仅有人类对自然规律的认识，认识的实际应用，还包括支持这个知识体系和不断扩大它的科学方法。它的功能则是“耕耘”人类的“智慧”和“良知”，以达到教化的目的。

科技文化的知识体系并不是一成不变的。从古至今，这体系经历了巨大

的变化。为此，美国的一名“科学学”专家——李希特把科学定义为“一个过程、或一组相互关联的过程；通过‘这个’或‘这组’过程，我们获得了现代的、甚至是正在变化之中的关于自然世界（包括无生命的自然界、生命、人类和社会在内）的知识”。李希特强调：“通过这个过程获得的知识可以被称作‘科学’。”但他接着又说：“在某个时期被认为是科学的知识，很有可能在以后的日子里被认为是过时的。……从而被其他知识体系所替代。”

上面说的这个过程，很像是一条流淌了千年万代的江河。苏东坡的词中有这样的名句：“大江东去，浪淘尽千古风流人物。”科技文化的长河也是如此。在它的流淌中，会遇到暗礁险滩的阻挡，也会裹挟着种种泥沙，但无知和偏见的暗礁险滩挡不住大江东去，伪科学和谬误的泥沙终沉河底，人类智慧的洪流则继续向前，汇成越来越宽广的科技文化的大川。

游览一条河流的最佳途径是来到这河的源头，顺流而下。这本书所采取的就是这条旅游路线。不过先要说明一下，到科技文化世界中去揽胜、探秘有一点与一般旅游大不相同。通常的旅游最吃劲儿的是两条腿，科技文化世界中的揽胜、探秘则必须开动起自己的大脑。尽管如此，这两种旅游都有相同的意趣。

中国宋代文学家欧阳修的《醉翁亭记》一文中曾以酣畅的文笔形容了游览名胜之乐，最后归结出如下的话语：“四时之景不同，而乐亦无穷也。”科技文化世界中的揽胜，其景色也处处不同。从长川之源头经中游到下游，有时水流蜿蜒，有时一泻千里，有时惊涛拍岸，有时水平如镜，有峻奇之美、灵秀之美、恬淡之美、崇高之美。景虽不同，但也是其乐无穷。当然“其乐无穷”中并非没有“悲”。因为“美”是相对“丑”而存在的，“真理”是相对“谬误”而存在的，“美”与“丑”的对立、“真理”与“谬误”的斗争引出了世上的种种悲剧和喜剧，科学发展中也充满了戏剧性，值得欣慰的是科技文化的历史比人类的其他历史更具有“正义性”，因为自然规律本身既不屈服于权势、也不因金钱的诱惑而改变。

在讲述科技文化的发展时，当然只能介绍其中的重大事件和为构筑现代科技文化体系立下卓越功勋的伟大人物。不过请读者切不可忘记李斯《谏逐客书》一文中那两句名言：“泰山不让土壤，故能成其大，河海不择细流，故能就其深。”科技文化的长河所以能千年万载的流淌，而且越来越宽、越来越深，正是因为它不择细流，容纳了众人之智慧细流的缘故。

作者写下这段话的目的，是为了表达自己的一种希望：希望从这本书中获得了乐趣的读者，能从中获取某种力量。毫无疑问，名垂科技文化史册的人只是极少数，但能为科技文化长河贡献涓涓细流者，却没有有限制。而一个人若是能将自己的涓涓细流汇入无边的智慧之海，毫无疑问，是一种极大的幸福。希望这本书能激励你们去争取这种幸福，获得这种极不寻常的幸福。

一、科技文化的孕育

制造工具、应用工具使人异于兽，熟食使人脑更加发达；青铜器和语言文字的产生，是科技文化发展的最新成果，也是杰出的成果；而五彩缤纷的古代神话，则是幼年人类对宇宙万物之谜的思考。

任何事物都不是一蹴而就的，而是有个孕育过程。对不同类型的事物，它的孕育过程所需的长短是不同的。一般说来，越是高级和复杂的事物，其孕育的时间越长。这和生物界有点相仿：低级的原生动物几乎没有什么孕育期，能很快的一分为二、二分为四……人这万物之灵则要十月怀胎，等胎儿生下，也要到一岁上下才能下地走动。

人类文化本身就是十分复杂的事物，科技文化更是如此。作为人类在与自然界的斗争中（认识自然、征服自然、改造自然）所创造出的特殊文化，它的孕育经历了一个相当漫长的过程。

传说中的真实 远古文明的曙光

现在让我们回到那两、三百万年前的远古时代。那个时代被称作“石器时代”。因为在那时的人类之始祖——猿人，刚刚会制造最简单的工具——对石块进行简单的加工，做出“石斧”、“石刀”来砍、砸、刮、削。这种制造业在今人看来太粗糙、太原始了。可在当时，这的确是一种伟大的创造，因为地球上还没有任何生物（包括猿人的近亲——各种猿猴）能做到这点。可见制造石器的确可以称得上是一种“技术”。

石器时代有项重大发现是“取火、用火”。这发现使猿人从“茹毛饮血”转向“吃熟食”。在今人看来，吃熟食代表了“文明度”的大大提高。其实这只是一个很小的方面，吃熟食的意义远比这大得多。熟食既卫生，其营养又易于吸收，这一来猿人的身体越来越健康，大脑也越来越发达。前者延长了猿人的寿命，后者则提高了猿人的智商。总之，取火用火算得上是原始科技文化的一项重大成果，无怪乎中国古史中最古老的一位传说人物便是发现可以钻木取火的“燧人氏”，并常把他列为“三皇五帝”中三皇的第一位。

对火的运用古希腊有着不同的传说。在希腊神话中，火种是普罗米修斯从天上盗来的，为此普罗米修斯还受到了天帝宙斯的惩罚，这个传说表明原始人对火的认识部分来自自然之火。雷电交加有时会引起森林之火，而雷电是天空中的自然现象，人类认为火种来自天上，是很顺理成章的。宙斯惩罚普罗米修斯的传说，一点没有妨碍人对火的应用，相反，后世的人们却把普罗米修斯当作英雄人物歌颂。这也说明“取火、用火”这项原始科技成果的重大意义。

三皇中的第二皇是伏羲氏，传说中他是畜牧业的老祖宗。原始人以狩猎为生，从狩猎到驯养家畜则是一大进步。最早被驯养的是食草类牛和羊，后来又发展到食物结构稍复杂些的猪。驯养牛、羊、猪，要了解它们各自的习性，在杀猪、屠宰牛羊时又了解了这些牲畜的身体构造。这项科技成果意义也不小，无怪乎希腊神话中还有专门畜牧的“牧神”，而中国到了东周列国时期仍有喜欢喂牛牧牛的王公贵族。

这位喜欢喂牛牧牛的贵族是周庄王的儿子名叫子颓（tuí），他养牛数百头，不光亲自喂养，还给牛披上文绣作为装饰，并称它们为文兽。在战乱中他依然不肯舍弃这些“文兽”而是驱赶着它们一起出逃，这种逃命方式显然太慢，结果很快被敌人赶上，子颓也就此丧了命。这件事当然成了后代的笑柄，不过却成为一种“旁证”，证明畜牧技术的发展，在科技文化史中所具有的重要性。

神农氏是第三皇。传说中神农氏用木头制作农耕工具，教百姓从事农业生产，又曾尝百草寻找合适的药草为百姓治病。《封神演义》中还写了神农氏传“升麻”，这味草药在后世作“发表”之药，以治“痘症”。农耕生活使人类从游牧走向定居。春耕秋收的农业生活比游牧安定和有规律，减少了一些无谓的征战和杀戮，这些都有利于文化的发展。不仅如此，农耕季节性更强，更需要科技知识来指导。

和现代科技手段相比，远古时代应用的科学方法真是既原始又简单，全凭一双眼直接进行观察。不过，正像人在儿童时代，不仅幼稚好奇、又没有任何先入为主的成见束缚头脑，观察力非常敏锐，很易发现成人视而不见的现象，人类在它的儿童时代也是这样。

显然，早在远古时期，人类就注意到季节变化和它的种种表征。他们中有些“智者”开始仔细观察有关的天象，日和月的东升西没和夜间星空的变化，是他们首先注意到的现象。月亮的盈亏是最易观察到的现象，所以古代历法大都以此为据，中国的阴历就是如此。古巴比伦人也是这样，把月亮盈亏的一个周期当作一个月。直到现在，历法早已转为太阳历，可在中国，其单位仍称为月，西方一些语言中月亮和月份也有相同的词根，比如英文中月亮是“moon”，月份是“month”，德语中月亮是“Monat”，月份是“Monat”，这种有趣的语言现象，就是古代天文文化的遗迹。

季节变化要是依太阴历会出现些差错。古代罗马人开始依照太阳来制定历法，那时人们以为太阳绕着地球转，于是把太阳相继两次过春分点所经历的天数 365 天作为一年，这便是阳历的基础，严格说来，这时间比 365 天还多约四分之一天，这里就不多讲了。

其实，中国人很快就注意到阴历不能反映季节变化，所以很快就补充了节气，又设置了闰月。比如以北斗星（西方称大熊星）座的方位变化作为季节变化的依据，将它概括成下面这一简单规律。即在晚 10 时观看北斗星时，“斗柄东，为春分；斗柄西则为秋分。”

各地方的人处同一地球，对历法和季节的认识大同小异，不过一年从哪一天开始，却有千差万别。阳历年和阴历年相差有一个多月，这还算较小的差异。同在中国的傣族其传统历法和汉族历法便有很大差异，傣历可以上溯到周代，它把新年定在每年的谷雨（阳历 4 月 20 日或 21 日），即新的一年从此日开始，同时把这一天作为泼水节。伊斯兰人的日历更是有趣，本身就有太阳年和太阴年两种，各有各的用途。太阴年以月相为依据，月亮圆缺一次为一个月，伊斯兰教的一切宗教活动和历史纪年都依太阴年。太阳年历和现代阳历相似，每月天数从 29 到 32 日不等；31 日的有五个月，30 日的是四个月，29 日的两个月，还有一个月是 32 日。这样一年是 365 天，还有些闰月的规矩。这种历法供农耕活动应用。

上面这些现象表明，科技文化从它孕育时期开始，就具有民族特异性，这种特异性在科技文化发展的各个阶段均有所显现。上面的有些现象已包括了一些中古时期的事实，后面我们还会看到更多的事实。这种民族特异性决不会损伤科学的公正，但却使人类的科技文化更充满活力，也更加多姿多采。

悠悠钟声传万代 神秘的青铜时代

在当代，铁是应用最广的金属元素，特别是铁和碳的混合物——钢。钢的优越性，教科书上讲得十分清楚，这里用不着多说。值得一提的是，钢铁的冶炼、应用之技术比较复杂，所以人最早应用的金属是铜而不是铁。

人开始应用铜是有文字史之前的事，所以没有留下关于铜的发现的文字记载。不过为什么人会应用铜，这道理不难推测，因为自然界中存在铜。这种天然铜，略发红色，故而被称作“红铜”，红铜不够硬，不是作工具的理想材料。事实上一直到人类发现可以把铜和锡一起熔炼，形成铜锡合金，铜这种金属才得到较广泛的应用。这种合金是青（黑绿）色，从而被称作青铜。对青铜冶炼技术的发现与推广，同样缺乏可靠的历史记载，不过据当代历史学家分析，青铜器的制造约始于公元前3千年左右，换句话说，是5千多年前。它标志着科技文化发展的一个重要时代开始了，这个时代被后世称为“青铜器时代”。

青铜器时代对科技文化的重要贡献，不言而喻是青铜的使用。青铜制作的种种工具（铜刀、铜斧等等）当然比石器合用。中国有句古话是“工欲善其事必先利其器”，这里的器指的是工具，工具相对锐利了，加工其他物品自然方便多了。除工具外，青铜还可用来做各种器皿。青铜器经得起时间的“磨损”，所以当代出土的古文物中铜器的比重相当大，为今人留下了很多“文化奇迹。”

读者们一定听说过下面这个成语——“一言九鼎”，它的含义和“一诺千金”差不多，不过份量要更重些。这词是怎么来的呢？据说和大禹治水有关。说的是大禹治水之后，怕后代人不知道正确的治水之法，也担心后代的王公贵族以治水为名增加赋税，横征暴敛，为害百姓，所以浇铸了九个铜鼎把治水的正确方法铸在这九个鼎上。想想看，谁的一句话要是和这九个铜鼎相当，其份量可真够重的了。

夏禹究竟有没有铸鼎，现在已经无从考证了，但从商代（公元前17世纪到前11世纪）起铸铜技术相当高是毫无疑问了。彩图中有商代后期铸造的一个青铜方尊，据考古学家考证，它是商代后期的制品，出土时间为1938年，地点是湖南宁乡。这方尊四棱的中段各有一个羊头浮雕，整个尊体装饰有各式各样的花纹：蕉叶纹、龙文等等，艺术造型很美，花纹图案使用了变形的手法，既传神，又显现一种特殊的美，有人称为怪诞的美。这方尊可作为商周二代青铜器中的一个典型代表。这时期的青铜制品的造型和花纹大致与之类似。

说青铜时代神秘并不仅在于这样悠远的古代就有了如此高超的铸铜技术，更重要的是在这些青铜制品上留下了不少铭刻文字，而文字的发展对文化的发展而言，包括科技文化的发展是不可或缺的。人类的各种文化，要靠语言文字流传后世和传播四方，从而积累、传承并继续发展。从另一方面看，一个国家或民族的文字本身，也体现了该国家、民族的文化特征。

世界各民族的文字都从“象形文字”开始，尽管象形标记各不相同。此后，绝大多数文字，从象形走向以字母符号为单位的语言，汉字却独树一帜，从象形文字发展成“方块字”。此外，字要连成句才能表达完整的含意。西方语言和其它不少语言有较明确的构词法和种种语法规则（时态、动词变位、名词变格等等），而汉语和它们相比，遣词造句的自由度大得多。

语言由思维产生，语言习惯却又会反过来影响语言使用者的思维习惯。这不同的思维习惯又会影响不同国家科技文化的发展过程，有关事例后文会不断提到。

最明显的一个区别是西方语言的最小单位是字母，这些字母追根溯源也和象形符号有关。比如英文中第一个字母大写为“ A ”，据说来自羊头的象形，后来倒立过来，成了字母表的榜首。自此之后，既看不出原来的形状，也失去了原物的象形意义，成了纯粹的字母符号。这些字母只有拼成字时，才有具体含义。从小使用这种语言，对抽象符号十分习惯。在近代数理化等科学发展中，其优越性充分显示了出来。

中国的语言文字与上面说的大不相同，尽管造字规则中有转注、假借等方法，但其基础一直未脱离象形。这种文字的应用使人养成综合思维的习惯，会使中国的科技文化具有独特的风格。近代中国科技文化的落伍有种种社会原因，但语言文化的影响是个不可忽视的因素。到了当代，这种思维习惯的优越性逐渐显示出来，这些是后话，先把它放在一边，让我们去看在神秘的青铜时代中国文字吧！

中国最早的文字刻在龟甲和兽骨上，称为甲骨文，现在发现的甲骨文多为卜算凶吉祸福的“卜辞”。甲骨容量有限，又不易保存，今天仍流传的古文字，鼎文占了一大半。

首先看铭文中绘出的一些象形字：人、象、虎、鱼、山、鼎，真说得上是既古朴、又传神的绘画作品。其中有写实艺术，比如：人、鱼、鼎、象、山；有写意画，如：虎。象形字中以“雷”字最有趣。其中圆圈中加上“十”字，是车轮的象形，而这四个车轮并未连成四方形而是以拐来拐去的“之”字形相连，分明又是闪电的形象。雷和车轮有什么关连呢？后人考证是源于车轮滚滚会发出隆隆的响声；打雷时总先看到“闪电”，象形字居然把这两者结合起来，实在是妙不可言！

铭文中还有些更加复杂的字“亡”字加上“月”和“壬”构成了“望”字，表示“看”的意思，这是什么原因呢，钟鼎铭文告诉我们，它原来是代表一个人在看月亮。往昔的“昔”字为什么下面是个“日”字？上面的草头加横更让人费解。看了铭文才知道它从太阳落山、一天过去形变而来。这类构字虽然也有形象，但加上了另一条规则——“会意”。

接下去说两个更复杂的“会意字”，一个是饗（xiáng）字，一个是昶（chàng）字，前一字代表款待客人，现已用饷代替，也可用它的简体“飨”。在铭文中是主客相对，中间有个食具。昶字含义抽象一些，表示白昼时间很长。铭文中一边是日头，代表白昼，用流水代表时间的久远。

青铜乐钟是青铜时代的又一伟大文化创造。大家都知道，中国号称“礼仪之邦”，在古代“礼”和“乐”是并立的。古代的正宗音乐是所谓“雅乐”，即祭祀和庆典仪式等所用的音乐。在这类音乐中“钟”是最重要的乐器。本世纪70年代末，湖北省考古队发现了“曾侯乙墓”，曾国是春秋战国时期的小诸侯国，政治和文化主要受楚国影响。曾侯乙是曾国的一位君主，很可能他生前喜好音乐，或者是当时楚国习俗，在他墓中竟有各式各样的乐器：按音阶排列的排箫（共十三管）、横吹的箎（音chi，类笛，共八孔）和带竹簧片的笙这类管乐器；二十五弦瑟和五弦、十弦的弦乐器；建鼓、悬鼓等打击乐器等。其中最引人注目的还不是这些，而是沿墓室墙壁分层悬挂的“浩浩荡荡”六十四件编钟。

从曾侯乙的生活年代推算，这些钟铸于公元前 4 世纪到前 5 世纪之间，距今已有 2400 年，它是中国古代科技文化又一奇观。要知道铸钟比铸鼎还要难，因为钟不仅要求造型美观，还必须音色响亮悦耳。此外作为编钟，每个钟都要有确实的音高，整个一套编钟得合乎乐律。曾侯乙编钟正是如此，它音域跨了五个半八度，和一架钢琴的音域相匹敌，中心一钟的音高正是今日钢琴的中央 C。其中有三个半八度按完整的半音阶排列，因此这编钟可以较自由的转调，演奏复杂的乐曲。真可谓令人叹为观止。

曾侯乙墓中还发现了编磬，这编磬不是青铜制品，而是由名贵石料制作而成。它产生的年代有可能比编钟更早，出现于新石器时代末期。有的学者甚至认为磬是人类最早使用的乐器之一。

音乐是一种艺术形式，是人类文化的重要组成部分，乐器制造和对音乐声响规律——乐律的探讨与发现，则可纳入科技文化成果之中。尽管人们在历数古代文化奇观时通常把这方面忽略过去，但曾侯乙编钟无疑有资格立于世界古代文化奇观之林。

斯芬克斯之谜 古代文化奇观

考古学家常常被人看作是怪人，他们对当代风行的时髦衣饰、昂贵的室内装饰摆设视而不见，对舒适得当的城市生活不感兴趣，偏偏喜欢运动起双手和腿脚，去至某些已成为废墟的地方进行挖掘，挖掘的不是传说中海盗埋藏的财宝，而是些一般人看不明白的古物。可是，如果我们了解在地球上已发现了多少古代奇观，其中只有极个别的是偶然发现，大部分则与考古学家们的辛勤劳动有关；不仅如此，就是那些偶然发现，也要凭借考古学家们的细心研究，才会认识其真正的价值，我们不由得会把这不解化作由衷的钦佩。

考古的发现，不仅让我们知道古代有多少让今人惊叹不已的奇观，还使科学史家，把人类科技文化发展过程中的某些空白填补上。这一切会使现代人减少一点傲气，增加几分志气，并决心百尺竿头更进一步，让今人超过古人。

从考古的发掘我们了解到，古代的文化中心大都在水畔。有非洲尼罗河畔的古埃及文化，西亚底格里斯河和幼发拉底斯河两河流域文化（包括巴比伦文化、苏美尔文化、亚述文化）或称美索不达米亚文化，源于黄河之滨后延展到长江流域的华夏文化，以及临近地中海的希腊、罗马文化。

早在公元前 3100 年，经过长期的杀伐和征战，在非洲建立起统一的埃及王国。古埃及人能区分行星、恒星，对人体有了一定的认识，并发现保存尸体的特殊方法——制成不会腐烂的木乃伊。他们会丈量土地，会进行水利工程建设，利用尼罗河进行灌溉，但埃及文化最光辉的遗迹是金字塔，据说这伟大的古文化遗迹曾令不可一世的拿破仑为之折服。

直到今日，当人们看到那有点像汉字“金”字的锥形建筑（其中最大的那座——胡夫金字塔高近 150 米、底边 200 余米，由二百万块重 5 吨的巨石垒砌而成）仍会不由自主地产生一种敬畏之感。这并非是对上苍的敬畏，而是对人类自身智慧的折服。特别是当人们想到伴随着金字塔的人面狮身巨像时，这种敬畏感更增加了几分。这人面狮身怪兽叫斯芬克斯，它以一条听起来高深莫测的谜语横行一时。这条谜语是：“何物清晨四条腿，正午两条腿，黄昏时光三条腿。”答不出这谜语的行人都成了这怪兽的美餐。希腊英雄俄狄浦斯揭开了这谜语的谜底，悟出这里的清晨、正午、黄昏比喻的是人生的不同阶段，因此答案应是我们——人。斯芬克斯变为石像留在了大漠之上，和它一起留存人世的是这谜语的深层含意——人生之谜。

两河流域的巴比伦文化可追溯到公元前 3000 多年，其巅峰则在公元前 2000 年和公元前 6 世纪到前 13 世纪，主要的贡献在数学和天文学。巴比伦人这名称和中国人这名称有点相象，是多个民族的综合名称。对巴比伦文化贡献最大的是属于闪族的阿卡德文化，其中最具有代表性的是阿卡德人的楔形文字和楔形数字（后面图 2—3 中将列出其形状）。这种数字表达法不很完善，有些表示可以有不同的理解。但想想这种数字产生年代的久远，想想这数字中有分数、有平方、立方、平方根和立方根，为了计算某些问题（如天文）还引入了六十进制，不得不令今人为之叹服。

除了抽象的数学，巴比伦文化的另一奇迹是，新巴比伦王国国王尼布甲尼撒二世（公元前 630 ~ 前 562）为他的爱妃（米底籍人阿米蒂斯）修建的空中花园。这花园由重迭的土台垒成，土台基础是石块，上边复盖混凝土、砖和铅板，又种植一层花草树木。台中心是一空心柱，有唧筒将河水引向山顶，

形成人工溪流和瀑布，远远望去，有如凌空悬存的仙境。

现在这空中花园当然已不复存在，但本世纪初的考古发现，使考古学家相信巴比伦城（现巴格达城南面）内的一座遗址，就是这奇妙的世界奇观之一，空中花园。

希腊文化又称爱琴文化，因为希腊东临爱琴海。罗马（意大利半岛）和希腊、埃及可通过航海往来，后来征服了希腊并取代了希腊的文化中心地位。

以克里特和迈锡尼文化为其代表的爱琴文化，其年代在公元前3000年到1200年。克里特这个地名，凡熟悉希腊文化的读者对其都不陌生，它和希腊神话中最伟大的英雄赫拉克勒斯的名字连在一起。赫拉克勒斯完成的十大功绩之一，即是征服克里特岛上的牛怪。迈锡尼则和希腊神话中著名的特洛伊战争相连。特洛伊战争的敌方是希腊联军，其主帅亚加米农就是迈锡尼的国王。

考古学家们发现了代表克里特文化奇特风格的石器，用陶轮制造的彩绘陶瓶（这种陶瓶其壁之薄令人吃惊，和蛋壳的厚度相仿，上面的彩绘图案气韵十分生动），此外，还发现了一些房屋，房屋内有楼，四边墙壁上还有艺术水平相当高的壁画。

克里特人和迈锡尼人会种植谷类、栽培橄榄和葡萄；会用粘土和石块制造既实用、又具有一定艺术性的器皿；会制作金、银、青铜等金属手工艺品。由于四周临海，他们的航海术也很高超，这一切后来都融入世界科技文化之中。

出色的雕塑艺术是爱琴文化的真正奇观。在小亚细亚的以弗所（现今属于土耳其），曾有所大理石神庙，它建于公元前6世纪，这神庙祭拜的是女神阿尔忒弥斯（罗马神话中称其为狄安娜），在希腊神话中她是神王宙斯的女儿，是月神兼狩猎之神。据说建这神庙共费了120年的时光，它的最大特色是四周的柱廊，总共有130余根石柱，柱上精心雕刻着希腊的各种神话传说。

代表奥林匹克精神的奥林匹亚城拥有又一大世界奇观——希腊神话中神王宙斯的雕像。据传这像由乌木雕成，全身还镶嵌了黄金和象牙饰物，底座与乌木色调相配，由黑色大理石制作。宙斯是坐姿，左手紧握权杖，俨然一副万神之王的姿态；气势威严、气度高贵，令凡人望而生敬畏之心。这雕像的作者叫菲狄亚斯，据说这位雕塑家，花了8年时光才完成这巨作，可惜天公不作美，雕像完成1000余年后，即公元5世纪，一次天降之灾——巨大的地震将这八年之工毁于一旦。不幸中的大幸是当时奥林匹亚发行的钱币曾铸上这雕像的缩影，使今人仍能借助它引发自己的想象力，想象出这一奇观的大略面目。

中国地处亚洲，西有高山相阻，东为大海，古代和西方交往不多，其文化奇观未列入世界文化奇观几“最”之中。此外，中国地大物博，古代文化遗址也为数众多，遍布四方，以至当代，老百姓们除了尚能游玩的名胜古迹外，对什么古文化遗址并不在意，对此本书作者曾有过一次亲身体验。

数年前作者与几个研究工作者同道去河南郑州出差。郑州有商代的古城遗址，称作“商城”，搞研究的人知道了当然想看看这一古老的文化遗迹，谁料在大街上讯问民警及一般行人，竟都不晓得什么是商城，最后总算遇到一个七十来岁的“老百姓”（穿着打扮属于劳力者）知道这个地方，并给我们指了路。他指路后笑着对周围的人说：“他们要看的就是那个破庙！”言

下之意是我们几个人呆得很，郑州有这么多现代建筑不看，非要找个“破庙”去看。到了那里才知这位大爷所说是实，这建筑年久失修，无人过问，的确是破烂不堪，很难凭它勾画出当年商城的面貌。但这城的修筑距今已 3000 多年，再想到殷商甲骨文对中国文化的巨大贡献，又应承认这“破庙”具有深刻的科技文化内涵，其实也属于古代文化奇观。在中国大地上，这种文化奇观还有不少。

写到这，所讲的科技文化遗存的奇观，还只限于欧洲、亚洲、非洲，美洲是怎样的情况呢？难道在哥伦布发现新大陆之前，那里是一片文化荒原？当然不是。早在三四千年前那里就已有发展到相当高水平的文化，史学家称它为奥尔梅克文化。后来发展为玛雅文化。关于玛雅文化的文字材料非常稀少，当代人对这文化的了解主要依赖一座玛雅城市的考古挖掘。学者们认为，今天的墨西哥文化和其他南美国家文化中，依然有这种文化的印记。

玛雅地处中美洲，包括现今墨西哥、洪都拉斯、危地马拉的一些地区，尼加拉瓜的某些领土，可能也包括在当年玛雅文化范围之内。

玛雅文化中引人注目的奇观，是类似金字塔式的建筑群，不过建筑形状和埃及金字塔不同，绝大多数是平顶，即是“棱台”而不是“棱锥”。看来这些“金字塔”是祭台，所以顶部须是平台，以便祭司登上台顶向上天祭拜。由于是祭台，其尺度比埃及金字塔要小很多，比如墨西哥维拉克卡斯的金塔塔边长只 35 米左右（118 英尺），高是 24 米上下（80 英尺）。

在短短的一节中，概述全球所有的古代文化奇观是不可能的，这里有许多著名文化奇观未能加以介绍，如罗得岛的太阳神巨像，现今土耳其境内的摩索拉斯王陵墓等等。这些建筑即使利用现代技术建造，也有相当的难度，何况在那遥远的古代，基本靠人力来完成。讲到此，必须提及一些并不具“趣味性”的事。由于在原始公社时代，不可能有多余的劳力，从事这类非生产性的劳动；因而，古代的奇迹都出现在奴隶制时代，靠奴隶的血汗劳动来完成。比如建金字塔用工十万，这十万人全部是奴隶，与之相伴又有十分具有趣味性的事。据西方报导，70 年代末、80 年代初，美国、法国等科学家在大西洋洋底发现了一座塔底边长为 200 米的金字塔。众所周知，西方一直有古代有大西洲的传说，这大西洋底的金字塔和这已消失的大西洲至今仍是难解之谜。

残酷的奴隶制时代早成既往，海底金字塔之谜和与之相伴的许多古代奇观之谜，均有待今人和后人去揭开，你们，年轻读者们，是否愿为这作出自己的贡献呢？

宇宙、自然、生命 古神话中的科技文化萌芽

一直到今天，对宇宙、自然、生命的思考（起源、演化、衰亡及其间的规律）仍然是人类科技文化的重要组成部分。在蛮荒时期，它的重要性更为突出，这种思考是科技文化中理论探讨的源头所在。

回想一下自己的幼年时代，有谁不曾对日、月的东升西没，感到无限的惊讶？有谁不对天空这大棋盘上，如棋子般密密麻麻的星辰，发生巨大的兴趣？满天的星星乍一看好像散漫得一点也没有章法，很像一点不懂围棋规则的人，看别人下棋到终局时的棋盘一样，不知其所以然。可仔细揣摩这天上棋盘，又会觉得这些棋子的队形并不像第一眼望去那样散乱，它们好像各有自己的小集团，每个小集团的队列又大不相同，各自形成有趣的“花样”。

看着这一切你难道不会浮想联翩？太阳和月亮离我们有多远呢？究竟是太阳、月亮离我们近，还是外地某个城市离我们近呢？这后一个问题，今天的人已不会提出，但在古人说来，很让人迷惑不解，于是产生了那则有名的故事——两小儿争辩究竟是太阳距离自己近呢，还是外市（长安）离自己近呢？说太阳近有其理由，因为人能看见太阳，却看不见长安城；说长安近也很有理由，从来只听说有人从长安来，还没听说有太阳上的来客。

有的孩子还会想得更深一些，为什么白天只能看见太阳，而当夜幕降临时，太阳落了山，人们只能看见星星和月亮了？还有天上为什么有云霞、虹霓？为什么有时天晴，有时刮风下雨？为什么春天百花盛开、夏季赤日炎炎、秋季落叶飘零、冬天则会北风吹、雪花飘？我们居住的大地有多辽阔？天边之外是什么地方？人是从哪来的？月亮上有人吗？小孩子的这类问题常常把爸爸妈妈给难住了。

小孩子提出的这种种问题，正是人类在自己的童年时期所思考的问题。那时没有高楼大厦遮挡人的视野，站在旷野上遥望四周，天像个大大的圆顶帐篷，它的边缘好像和大地接在一起。晴天时，空气是那样清冽（不像现在受污染），太阳落山后，星星和月亮都是那样明亮。那时没有电视机、收音机，劳作之后人们的一项重要娱乐，就是群体性的遐想，种种神话故事就由此产生了。

今人看古代神话很像成年人听小孩子讲自己的童趣幻想故事，一方面觉得它稚气十足，另一方面又觉得在这稚气中有不少是成年人反而不会想到的深刻内涵。这节中所以把神话称作科技文化的萌芽，正是这个道理。事实上，希腊、罗马神话中对宇宙的思考，比之中世纪教会的宇宙观，其内涵要丰富得多、深刻得多。中国也是如此，屈原借助楚地的神话，写出《天问》这一巨作，不仅文采盖世，对宇宙奥秘的思索也颇为深刻。用现代名词讲，这些神话中，都包含了“潜科学”，作为一本趣味读物，不必学究气十足给这名词下定义，读者不妨照着字面去理解，把它作为潜在的科技文化就是了。

全世界有许许多多的国家，因国情不同，神话的发展程度也各异，不过总是有下面几类故事：一是创世神话，讲宇宙是从哪里来的，生命又是怎样产生的。二是自然神话，讲日、月的升没、四季的变换、风雨雷电等自然现象的产生。三是天界和冥界，讲人死后的去处。四是半神半人的英雄，包括智力超群的英雄和体力超群的英雄。这里除了最后一方面内容，都属于科技文化的范畴，涉及的学科有天文学、气象学、宇宙论、人类学、生命科学等等。

先看创世神话。众所周知，中国流传的是“盘古开天地”的故事，这故事有不同的版本，下面是比较经典的一个。*据说，在十分久远的年代，天地混沌沌沌像个鸡蛋，盘古就生在其中，经过一万八千年，此后天地分开，属于阳清之物成为天，而阴浊之物则下沉为地；盘古在天地之中，一天九变化，天一天高出一丈，地一天厚出一丈，盘古一天也长出一丈。这样过了一万八千年之后，天很高，地很深，盘古也十分长。此后盘古死了，他的身体发生了变化，他的气化作风，声音变成雷霆。太阳是他左眼变的，月亮则是他右眼所变。他的四肢变成东、西、南、北四极，五体化作“五岳”，血流成为江河，筋脉成为地的脉理，肌肉化作田土，须发化作星辰，皮毛化作草木，齿骨则成为珠石，汗流则成为沼泽……，有趣的是他身上的小虫还化为一大群黎民百姓。

希腊神话中宇宙最先生出的也是混沌。音译则是开俄斯，此外还有该亚（该亚原意为胸脯宽大）——地母和地狱。混沌生出黑夜和黑暗，二者结合生出太空和白昼。地母则生出了天空（乌拉诺斯）和高山、大海。天空和大地的结合，生出了荷马史诗中的奥林匹斯山上的众神：日神阿波罗，月神阿尔忒弥斯，海神波塞冬，谷神得墨特尔，火神赫淮斯托斯，智慧女神雅典娜，信使赫尔墨斯，冥神哈得斯以及神王宙斯（雷神）和神后赫拉。这里包括了许多自然力和种种自然现象。

巴比伦神话中，同样有与混沌与秩序间的战斗相联的创世过程。此外，这里代表自然力的神只是天之神阿努、地与空气之神恩里尔、水之神伊亚。

总的看来，这些古代神话中的宇宙观，都认为宇宙的诞生与发展，是从无序（混沌）向有序的发展。令人惊讶的是这和当代的宇宙论思想在本质上非常相似，就连盘古开天地，从“蛋”开始向外扩大的创世过程，都和当代伽莫夫等的大爆炸理论有某种类似之处。这大爆炸理论的起始状态，是个头不大的“宇宙蛋”。当然，决不能把古代神话和当代科学相等同，但这一科技文化现象，却不能不使人觉得非常有趣。值得一提的是“混沌”一词和它的对应英文词 *cheos*（即前所说“开俄斯”）已正式成为科学术语。

不仅如此，希腊神话传说和荷马时代希腊人，对天文学和自然界物质的思考有紧密联系。至今，太阳行星的学名（地球除外）都是罗马神话中的有关天神，而罗马神话来源于希腊，均见于荷马的史诗《伊里亚特》和《奥德赛》。

比如，水星的学名是墨丘利，原本是希腊神话中神王宙斯的信使“赫耳墨斯”，他头戴插翅盔、手执盘蛇杖、足登带翼靴，行动迅捷，性格活泼。罗马神话中他的作用又发展了一步，成为商业和商人的庇护神。

上述这些神话并非绝无因由，事实上水星是太阳行星中最内圈的一个行星，绕太阳一周只有 80 多天，从地球上看在天上运行的速度，比其他行星快得多，中国人把它叫作水星与此有关，希腊人则派他作信使。金星在地球上仿佛蒙着一层面纱，今天，天文学研究说明，这面纱是硫酸云。古人不知道什么叫硫酸云，只是觉得它有一种朦胧之美，于是便成了希腊神话中的爱神。

读者多半知道，在西方古文物中有件稀世珍品“断臂维纳斯”，这维纳斯便是金星的拉丁（古罗马语）名称。断臂维纳斯给金星更增添几分神秘感，因为直到今日，全世界的雕刻大师，依然想不出这臂膀应是什么姿态，才能使这雕像达到最完美的境界。

与水星、金星不同，火星在夜空中总微微发红，带着几分杀气，因此它成了制造战火之神，罗马名字叫马尔斯（Mars）。

有关四季交替、风云变幻的神话也很有趣。希腊神话中的谷物女神叫得墨特尔，她因为爱女被冥王劫掠到地下十分忧伤，从此不问谷物的生长，使大地一片荒芜。最后，神王不得不出面干涉，说服冥王每年让妻子回“娘家”六个月。这样女儿回家的半年，得墨特尔心情愉快，大地回春披上绿妆，然后是果实成熟、谷物丰收。另外半年女儿到冥王所居的地下陪伴丈夫，得墨特尔思念爱女常常忧伤，于是秋叶飘零，大地飞雪，这种对四季的解释，今人看来当然十分幼稚。但成年人从不讥笑幼儿的天真稚气，今人对古人也是这样。因为在这种幼稚的思考中蕴藏着积极的求知精神——观察大自然中的各种现象，寻找其间的规律，并希望对它给出某种言之成理的解释。这正是科技文化产生并不断向前推进的基础。

自然地理条件不同的国家，神话面对的现象也不同，这会对神话的内容有不少影响。地处南方的半岛国希腊，雷雨是常见的天象，雷神宙斯登上了万神之王的宝座，海神波塞冬也颇有地位。埃及气候也很炎热，但地处干旱的沙漠，很自然把日神当作宇宙最高力量。更有趣的是在埃及日神有多个，清早时的太阳叫“克柏拉”，中天的阳光叫“拉”，黑夜的太阳是“奥西里斯”，还有太阳的灵魂——阿蒙。

有了天地、日、月、星辰，还要有生命，生命当然是神创的。人中间有的是神繁衍的后代，神的嫡系后代是超人，或能斩妖除怪，英勇过人，或是智慧过人，一般老百姓或是神造出来的，或是大劫难之后的幸存者之后裔。比如中国人是女娲用泥土作出来的，希伯来人则说上帝造了亚当，又用亚当的肋骨造了夏娃。他们还有挪亚方舟的传说：后世的希伯来人是洪水灾难之后，借方舟幸存的挪亚夫妇的子孙。这其实都是人类对自身是从哪里来的这一问题的思考。

光从事实的表象来看，很难理解为什么把这些离奇的神话，作为科技文化的萌芽。不过，要作进一步的理论说明，则又太枯燥了，失去了“趣味”二字的真谛，所以还是让我们用事实来说明吧。

众所周知，中国古代有个伟大的诗人名叫屈原，他生活在公元前340年到前218年。屈原的诗作中有部独特的作品叫《天问》。所谓“天问”实际上是“问天”。在这作品中屈原对宇宙、自然提了一百来个问题，问题中不少涉及有关的神话传说。一千多年后唐代思想家柳宗元（公元773~819）写了《天对》来回答《天问》，《天对》同样是四字一句，偶而加衬字，很像是文学著作，但大多数内容是柳宗元对自然现象的看法。

比如，中国古代神话中天像车轮一样转动，车轮的枢纽上有绳栓住，不让它下坠；还有八座大山顶天立地作为天柱。后来共工氏和颛顼（zhu nx）争夺帝位失败，一怒之下，以头触其中的东南天柱——不周山，不周山倒，共工也死了。此后，东南地势低下，所以江河东流。屈原的天问中据此发问*：“栓天轮的绳子其另一头系在哪里？天的边际是怎样加上去的？八根柱子撑在何处，东南之地区为什么亏损？”柳宗元的回答十分精采，他说：“天就在它本来所在的地方，哪里要等到缚上绳子才能固定住不致下坠。天没有边，它广大无际。要是要加上某种形体作为天的边极，天怎能算得上大。天既然广大无际而且运动不息，又哪里有栋梁和边极。天十分宏大，是彼此不相粘附的气体，何需依靠八根柱子？”

屈原还根据神话传说中太阳从汤谷（地名）升起，在蒙汜（sì）之地止息，问从天明到天黑太阳一共走了多少里呢？柳宗元的《天对》中所给的回答更加妙。他用车轮的车辐和轴作比方，说当旋转的车轮上某条车辐向南方旋转时，车的轮轴就处在了车辐的北方，太阳也是这样，哪里是它升起、落下，分明是你所在的地方相对太阳的方位在偏移。所以根本不能度量太阳一天走多远距离，这是不能用里数来计算的。

屈原问得好，柳宗元回答得妙，但最意味深长的是，这些问题的缘起不是任何一本学术著作，而是古代神话传说。

近年来科学学家们，开始重视科幻小说在科学理论形成中的作用，把它称作是科学认识的一种“新的开端”，它具有猜测性，又是科学理论研究的前奏。从前面的事实我们可以这样说，在古代，神话传说对当时的科学理论之形成所起的作用和科幻小说在现代和未来科学发展中的作用，可说是不相上下，都体现了想象力在科技文化发展中所起的巨大作用。凡尔纳的科幻小说出色地预见了许多未来的科学发展在推进科技文化中起了重要作用，这一事实已为世所公认。这里我们要说，神话对古代科技文化起了相类似的作用。

成年人不会像儿童那样喜欢看童话、神话，“成年”的人类也不像原始时代人类那样用神话来解释自然。但古代神话经过了数千年历史的冲刷，流传到今日，正是因为它的文化内涵超越了单纯的观察认识自然这一狭隘的内容，而有着更深层的内涵。

既然是以神话为主题的一节，这里还是以神话来结束吧。这两个神话都载于《山海经》，一则是《山海经·北山经》中精卫填海的故事。说炎帝的小女儿名叫女娃。她游东海时被淹死在海中，死后女娃变成了一只鸟，白喙赤足，被人称作精卫鸟，常常衔西山的木石投入海中，想把海填平。另一则记载在《山海经·海外西经》，讲的是刑天的故事。刑天和天帝争为神，被天帝将头砍下。这刑天却头断心不死，以乳为双目，以肚脐为口，舞动着兵器。陶渊明曾在《读山海经诗》中描写了精卫与刑天的精神，说：“精卫衔微木，将以填苍海。刑天舞干戚，猛志固常在。”

这是两则神话，代表了一种精神，在后面的章节中，我们将看到精卫和刑天的精神，在科技文化发展的重要转折期所起的作用。

二、科技文化的源头

在真与美长河的源头，百家争鸣，百舸争流。古代学者以其敏锐的观察，睿智的思考，探索着世界的本源；能工巧匠用灵巧的双手，创造出精巧的器械；逻辑推理也被引进科技文化之中。

屈原的天问启示我们，从编神话到探讨科学之间并没有一个明确的界限。这有点像从猿到人的过程，没有哪个人类学家能斩钉截铁地断言，猿和人应从某处分界。

对人类的发展，科学家们曾依据对化石的研究列出了一个年代表。

发展阶段	腊玛古猿	南方古猿	直立人
距今（万年）	1000—700	400—100	200—20

读者一眼便可看出，在这表中南方古猿的生活年代，和直立人的出现年代间有 100 万年的交叉。不仅如此，在南方古猿的发现地——东非，人类学家在与此种古猿生活年代相应的化石层中，发现了大量粗糙的石器。在其它地区的发掘，不像在东非那样幸运，但也找到了经过修整的木棒和形状适合于使用的石块。

人类自身发展是如此，人类文化发展过程也是这样，事实上从编写神话到探讨科学之间，也很难找到一条明确的分界线。

以古代文明的杰出代表——古希腊文明为例。希腊有着最优美、完整的神话，今天人们所看到的希腊神话，大多依据荷马的史诗。荷马生活的年代为公元前 9 世纪，希腊第一位科学家和哲学家泰勒斯的生卒年代，约是公元前 624 到前 54 年，其间只相差两百多年。在古希腊学者毕达哥拉斯（公元前 570～前 490）和德模克利特（公元前 460～前 361）积极探讨着种种科学问题时，希腊的戏剧舞台也空前繁荣，出现了三大悲剧作家：埃斯库罗斯（公元前 525～前 456）、索福克勒斯（公元前 496～前 406）、欧里庇德斯（公元前 484～前 406）。

希腊悲剧均取材于神话，为了增加戏剧的感染力，剧中的天神往往不直接从后台走出，而是借用简单机械——滑轮、杠杆从空中降下。滑轮、杠杆无疑是科技成果，其功能的一部分竟是渲染神力。反之，不少智者们在探讨自然的本源和人的智慧时，却常借助神。

柏拉图（公元前 427～前 347）无疑是希腊最负盛名的学者之一，他还曾创办亚加米德学园一类似后世科学院的学术研究机构。他本人在学术上确实有独到的见解，仅举一例：柏拉图非常重视名称的定义，他说：“当整个一类东西共同使用一个名字时，问题就来了，根据什么理由，它们可以归属到那同一个普通名字，所特指的那一客体中呢？”他认为“一切真实的科学都是在揭示了这些本质或形式之后形成的，而它们的存在，既不是概念化的，又不能降到对词的用法的一般理解”。这段话初读起来有点拗口和费解，但仔细想想并不难懂。人的认识和对事物的“定称”的确是紧密相联的。远的不必说，小孩子的最初期的知识积累，不就是靠区分这是花、那是草，花草树木是植物；而猫、狗、牛、羊都是动物等等吗？

与此同时，柏拉图又认为是造物主创造了我们这有生有灭、变化万千的世界。他相信人生活的世界是球形的，这结论非常正确，可他的出发点却非

常奇特并非依据事实，而是因为相信神创造的世界应该是非常完满的，而球形——这完全对称的形体——是最完善的形状。

上面所说的矛盾现象，并不仅仅从柏拉图一人身上可以看到，而是那个时期的普遍现象。比如中国古代哲学家孔子，是相信“天命”的，但对神却采取了一种奇特的态度，即“祭神如神在”，这一个“如”字十分微妙，貌似虔诚，却隐含着疑惑。另一位哲学家墨子与孔子相反。他明确地反对“天命”，可相信鬼魂的存在，并以他的重要科学方法“验”（以事实验证）来证明此事，对其举出了不少“历史事实”，其实是某些人在特定情况下的幻觉。东周列国志里就有这类的故事。比如郑庄公征讨许国时，公孙阏和颖考叔争勇，在征战中以暗箭射死了颖考叔，最后颖考叔鬼魂来索命。这里其实是公孙阏暗箭伤人心中有鬼，郑庄公召巫师作法诅咒时，更增加了他的心理压力，乃至神经错乱，认为颖考叔来纠缠。古时知识有限，便当作了真有鬼魂来报冤仇。直到现在，京剧舞台上还常演出以这故事为题材改编的武打戏，名叫《伐子都》。这里“子都”是公孙阏的号，“伐”指颖考叔的鬼魂来讨伐他。墨子证明鬼存在的实例，大都是这种类型。

对这类双重性有了充分的思想准备后，我们便可逆流而上，来到科技文化长河的源去欣赏其多姿多彩的盛景。

神奇的世界 世界组成的奥秘

学龄前的儿童最爱问的问题是：“这是什么？”“那是什么？”再大一点会发展一步，转而问“这是为什么？”“那又是为什么？”“幼年时代”的人类也是一样。前面说了屈原的《天问》，在这著作中屈原用了一系列的疑问词，诸如：何（什么）、曷（与“何”同意）、胡（为什么）、孰能（怎么能）、安得（怎么会）、焉得（与安得近似）……其中“何”字用得最多，约有一百来个。

在这些问题中，包含了有关世界组成的问题，如开头处的“阴阳三合，何本何化？”对“三合”一词，后人解说不一，有人认为“三”是阴阳的变化，有人则认为“三”同“参”，即阴阳参合交混。这些说法大同小异，代表了中国古代对世界组成的看法，认为世界源于阴和阳的交混、结合及变化。

和阴阳说相连的是“五行说”。五行说认为，自然由五种基本物质组成，这些物质是人们常见的水、火、木、金、土。到战国时代五行说相当盛行，人们不仅用它说明世间万物的组成，还认为它们之间彼此相生、相胜、相克。相生是“木生火、火生土、土生金、金生水、水生木”；相胜相克是“水可胜火、火可胜金、金可胜木、木可胜土、土可胜水”。这是一种循环论，在今人看来过于简单化了，但若设身处地作为古人来思考，确实有一定的事实，当然是以表象作为依据。从“相生”角度看，钻木能取火，火把许多物体烧成焦土；金属矿石则是从地下发掘出来的，在高温下金属会成为液态，即“水”，而树木总要有水灌溉方能成长。

相生是这样，相胜也有其说得通的理由。水能把火浇灭，火可把金属熔化，金属做的斧、锯可以砍伐树木，树木的幼芽能破土而出，用土筑的堤坝，可以限制水的流动。至于阴、阳的对立更是无处不在，人有男、女，动物有雌、雄，上有天，下有地，天上白天能看到太阳，晚上能看到月亮等等现象，数不胜数。

尽管“阴阳五行说”后来成为“算命先生”的工具之一（这也是前面讲的“双重性”的反映），但它有一定的事实作基础（虽然有些是表面现象），本身已形成了体系（尽管是循环往复的简单体系），因此，这种学说有资格作为科技文化源头的一股细流。

对世界组成思考得最多的，无疑要数古希腊学者^{*}。他们的看法五花八门，但绝不是信口开河，相反各有其言之成理的依据。从希腊文献记载看，年代最早的一位叫泰利士（也有的译作泰勒斯），他的生卒年代已无人知晓，人们只知道他的鼎盛年代（即学术上最活跃的年代）是公元前585年。泰利士没有留下自己的著作，是亚里士多德写下了他的看法——他认为万物之本原是“水”。亚里士多德推测，这可能是因为泰利士“观察到万物都以湿的东西为养料，热本身就是从湿气里产生，靠湿气维持的（万物从而产生的东西就是万物的本原）”。

阿那克西曼德（鼎盛年是公元前546～前545）认为万物源于“气”，气的凝聚和稀释构成了万物。比如气很稀薄便形成火，浓的时候便成了风与云，再浓便形成水。其他东西都由此产生。赫拉克里特（鼎盛年为公元前504～前501）与前二人的看法均不相同，把“火”作为万物的本原。他有一段名言：“这个世界对于一切存在物都一样。它不是任何神的创造，也不是任何人的创造。它过去、现在、未来永远是一团永恒的活火，在一定的分寸上燃

烧，在一定的分寸上熄灭。”不仅如此，他还认为“一切转为火，火又转为一切”。

恩培多克勒（鼎盛期为公元 444 ~ 443）不同意万物只有一个来源，与之相对，他提出了四个源头：照耀的宙斯，孕育的赫拉，爱多纽以及内斯蒂。这里宙斯、赫拉、爱多纽和内斯蒂都是希腊神话中的神，其中宙斯众所周知是雷神、神王；赫拉则是神后。恩培多克勒借用这些名字代表火、气、土、水，并说这四大元素势均力敌，各有不同的本性和作用，它们还能相互转化。于是从这些元素中生出去、现在、未来的一切事物，生出树木和男人、女人、飞禽、走兽以及水里的鱼，以至长生不死的尊神。

因为只有这四种元素，它们互相穿插变成了形形色色的事物。它们间相互混合造成的变化有多大啊！

有趣的是恩培多克勒承认有长生不死的尊神，却又认为世界并非神所创造；相反，神倒是火、气、土、水这些物质相互穿插混合产生的。

某些古希腊学者已有“原子论”的看法，认为世界是由原子构成的。持这种观点的主要学者为留基波（鼎盛年为公元前 440 年）和德莫克利特（鼎盛年比留基波晚 20 年）。德莫克利特认为，一切事物的本原是原子（成球形）和虚空。他说：“世界有无数个，它们是有生有灭的，没有一样东西是从无中来的，也没有一样东西在毁灭之后归于无。原子在大小和数量上都是无限的，它们在宇宙中处于涡旋运动之中，因此形成各种复合物：火、水、气、土。这些东西其实是某些原子集合而成的；原子由于坚固，是既不能毁坏，也不能改变的。”

恩格斯曾说古希腊人有“天才的直觉”，德莫克里特的论述中充分地显示了这点。尽管如此，德莫克里特依然相信“灵魂”的存在。在德莫克里特的著作中，灵魂也由他所说的原子组成，后来罗马的杰出哲学家和科学家卢克莱修（公元前 98 ~ 前 55）把“原子论”又推进了一步，他写了本题为《物性论》的专著，阐述了自己的思想。他说，物质是原子组成的，原子有形状、大小和位置的差别。不同的原子因结合的形式、位置和数量的不同，以及结合次序等特点的改变，形成不同的物质。他甚至猜想到了物质是守恒的，而且物质和运动不可分，并预见到“时间”是物质的特性之一，即没有独立于物质运动或静止之外的时间。这个看法已有了爱因斯坦相对论思想的萌芽。

卢克莱修是诗人，他的《物性论》是诗作，这里不妨引上一段，以说明卢克莱修思考的深刻。这段讲的是除了我们的世界之外，还有别的世界。他曾这样说：

“当物质很丰富
而随手可得，当空间多得很，也没有东西
或原因来延阻的时候，不足为奇地
事物必然会被推动进行并造成，——
事实上，如果种子的数量
是如此巨大以致生物一生一世
都不能把它们数尽……
并且如果它们的力量和本性总是一样，
总能够把事物的种子抛在一起
各得其所，正如这里种子被抛
在一道，在我们这个世界里，

那就必须承认在别的地方
仍有其他的世界，其他的人类，
和其他的野兽的种族。”

（重点为本书作者所加）

这些诗句，当今的研究宇宙学和外星生命的学者，读了定会惊叹不已！

和以实在的原子当作本原的观点相对的，是毕达哥拉斯学派的想法。毕达哥拉斯把抽象的“数目”当作万物的本原，认为“数目的元素就是万物的元素”，“整个天是一个和谐，一个数目”（转引自亚里斯多德《形而上学》一书）。

据后来的文献记载，毕达哥拉斯学派认为“万物的本原是一，从一产生出二，……从完满的一与不定的二中，产生出各种数目，从数中产生出点；从点中产生出线；从线产生出体；从体产生出感觉所及的一切形体，产生出四种元素：水、火、土、气。这四种元素以各种不同的方式互相转化，于是创造出有生命的、精神的、球形的世界，以地为中心，地也是球形的，在地面上住着人。”

这里最引人注目的是毕达哥拉斯学派竟已有了“地是球形”的看法，并指出因为是球形，还有和希腊相对的“对地”。他说：“在我们这里是下面的，在‘对地’上就是上面。”更有趣的是，这看法并不是根据观察所得，而是因为毕达哥拉斯学派相信世界应是圆满的，在种种立体中，球体当然是最为圆满的了，它无棱无角，而且各方向上的尺度全一样。人生活的世界，当然应是这种圆满的形状。初看起来，毕达哥拉斯学派追求圆满的观点，仿佛有些一相情愿，但事实证明，对既“真”又“美”的圆满性的追求，大大推动了科学的发展，这也是本书为什么以“走向真与美的统一”作为主标题的原因。

在毕达哥拉斯提出的“黄金分割数”中，对真与美相统一的圆满性的追求更为突出。这里“分割”一词，是指将一个线段分成两段，一段长、一段短，这种分割可以有无限多的方法，黄金分割是其中极特殊的一种，它要求短线段和长线段的比，正好等于长线段和全线段的比。用上一点代数知识就能求出这个比，它是个无穷小数，只取三位小数便是 0.618。毕达哥拉斯学派认为，这代表了“完美”，所以以最贵重的“黄金”来命名。希腊的神庙建筑中常应用这黄金分割数。因为不少书刊中提到过这种实例，本书中不再赘述。这里另给出一个图，让读者增点感性认识。

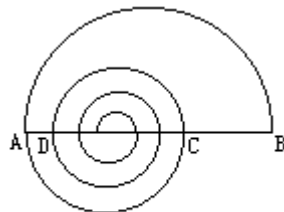


图2-2 黄金分割

首先画一个线段 AB，长度随意选，以 AB 为直径画一个半圆（在 AB 上方），对 AB 作黄金分割，令长段在左（即 AC），以 AC 为直径作半圆于下，再对 AC 作黄金分割，长段在右（即 CD），以 CD 为直径作半圆于下……就这样不断分割一左、一右，作半圆这次上，下次即在下，会得到一个螺旋线，它很像螺壳上的图案，可见大自然是很重视美的比例的。

毕达哥拉斯学派把对世界本源的探讨，引向了探讨数和形状比例，这样本书自然而然地进入了下一节。

数学中的艺术 数和形的奥秘

古希腊有一所以柏拉图命名的学院，在这学院的门口，立着一个警句：“不懂数学者免进。”从这可看出，古希腊学者对数学是多么重视。的确，在古代对数学贡献最大的毫无疑问应推希腊人。上面这警句证明，古希腊学者充分认识到数学这门科学在诸多科目中占有最重要的地位。不仅如此，直至今日，中学几何课本中的基本内容应主要归功于希腊人。当然，主要归功于并不等于全都归功于希腊人。各文明古国（中国自然在其中）对数学都作出了自己的贡献。

这里还要提醒一句，数学这门科学中，并不只研究“数”，还要研究“形”。当然，二者之中“数”是第一位的，因为不会计数的话，根本谈不上对“形”的描绘与探究。

“计数”是数学的基础之基础。现在全球统一应用 1、2、3、……这阿拉伯数字，倒退几千年，可不是这种状况。下面就让我们看看各文明古国的数字。

地球人不管住在哪个大洲，肤色是白、是黄、还是棕或红，全长着十个手指头，所以和前面所说的巴比伦人一样，计数系统全都是十进制。埃及数字，所用的十进制显然比巴比伦人还地道。前三个数字和巴比伦数字相似，也是个数的直接表达，形状却不大一样，巴比伦人用的是楔形，而埃及人用直棍，再往上则开始利用“代号”了。可见任何一种文明，一旦具有计数能力，便有了一定的抽象思维能力，不但能把实物和它的抽象性质——个数区别开，还能把数的符号和数（sh）数（shù）加以区分。

埃及人还会使用分数，不过分数的表达则相当复杂。首先他们设立了一个分数记号，称为 ro，形状像个长长的椭圆。这本来是谷物的计量单位，后来用它表示分数，怎样使用它呢？方法还挺复杂。下面举些例子。

比如，有些表示方法和当代分数表达的思路相近，如图中的 $1/5$ 、 $1/10$ 和 $1/15$ 。 $1/15$ 和前两个分数相比，构图有点变化，但无非是因为“十五”的数字表达太长了，ro 下面放不下，于是把“五”移到了右边。此外二分之一，并不是 ro 下面放个“二”，而是单独设了个符号；而看起来似乎应表示二分之一的符号，却成了三分之二。此外，“x”今天代表错号，埃及人却用来表示四分之一。这倒挺形象，一块饼照此切上两刀，不正好分成四份吗？

希腊人的数字有个发展过程。公元前 450 年的一块碑上，所刻的希腊数字是这样的：一到四以相应数目的直杠表示，五在希腊语中读作 penta，第一个字母是 π （读 pai），后来就用它表示五，以后改用 ρ ，十、百、千、万的表示都按照这个方法。 δ 、十（deta*）的第一个字母；H，百（hekaton）的第一个字母；X，千（chilioi）的第一个字母；M，万（myrior）的第一个字母。

后来，不知是什么原因，希腊人改用希腊字母来表示数字，头九个字母表示 1 到 9，第十至第十八个字母表示 10 到 90；第十九到第廿七个字母表示 100 到 900；表示大于 1000 的数，则循环重复使用这些符号，并在左方用一撇以避免混淆。此外，在上方面画一横杠，让人知道这是数字。

罗马数字不少钟表上均有应用，它的思路很简单，主要体现以手指记数的原则。前三个数字就是竖起一个、两个、三个手指，五则是一只手，共五个手指，只不过不全画出来，而只画出食指和拇指之间的图样。较大的数开

始使用加减法，小的数在右为加法，在左则成了减法，四是五减一，即 $4 = 5 - 1$ ，六是五加一，即 $6 = 5 + 1$ 等等。那时还没有负数，不用担心把六当成负四。

产生于公元前 3 世纪前后的印度数字进了一步。这种被称作 Brahmi 的符号，除一到三用的杠杠（和中国现代应用的一、二、三很像），其他全用了某种标号，形象挺像字母，但又和现代的印地语字母不一样。上面说过它的一、二、三与中国数字相像，仔细观察一下，又会发现其中的六和七又很像阿拉伯数字中的“6”、“7”。数学史家们认为，阿拉伯数字本来就和印度数字有渊源关系，印度数字在先，通过阿拉伯文化的继承、发展，又传播到全世界。

写到这，回头来看我们自己的数字还是挺有趣的，据钱宝琮先生的《中国数学史》一书中讲，和前面所说的甲骨文一样，迄今为止发现得最早的数字也出自殷墟，从一到四全是象形记数，比印度数字还彻底，此后充分运用了汉字中“假借”、“会意”这个造字方法。见图 2-3，其中“五”的符号，原是“午”字；六看起来像个门，其实是“人”字，古音与六相近；七是原始的“切”字，一切分成几块；八是互相以背相对的意思，这让人想到分别的“分”字上面是个八字头，下面是个刀字，还蛮形象，九字代表的是胳膊肘。这些数字造字应用的思维较为复杂，无疑产生的时代也较后。十字是一字立了起来，可百、千两个字从形象上很难想出个所以然来，当然也可作些联想。百字像个人头，有张嘴还戴个帽子，多半是普通老百姓；千字像个人站在高竿上；万字倒像有点来头，它的繁体字是萬，甲骨文中的形象像个蝎字，它后来发展成“蠹”字（简体字是蝥，音“chài”，代表的就是蝎子这类有毒动物，大约是因为这类毒虫大都有许多脚，称多足类，便用它来表示“大”数）。

几百、几千、几万的表示法，挺容易理解。值得注意的是，百的倍数（一、二、三……）在上，千和万的倍数（一、二、三……）在下，这挺符合美学原则。比如，千和万都有长长的下部，正好可以置放横道道。要是把这横道儿移至上方，数字符号就太狭长了。八千则不同，八立在千之上，像个装饰物，还挺美观。

至于壹、贰、叁、肆这些大写数字都是些假借字。如贰（二）原表示“怀有他心”的意思，“伍”则是古军队中建制的最小单位，由五人组成。

有“数”自然要有“算”，据数学史家们的研究，古埃及人在公元前三千多年就发展了一些计算方法，可惜的是，古埃及应用的是“草片纸”。这纸倒不是“草”作的，而是将木髓压榨成薄片再切成一块一块。木髓的压片一干就会裂开，最后变成粉末，所以留存下来的草叶书不太多。现存的草叶书分别存放在莫斯科和英国伦敦，前者称莫斯科草片书，后者称林德草片书或阿姆斯特草片书。林德是发现草片书的英国人的名字，阿姆斯特是这草片书的作者名，其年代大约为公元一千七百年前，前一书中有数学题和解答 25 题，后者有 85 题。

看了草片书中的一些题目会让人惊叹不已，想想却又觉得在意料之中。令人惊异的是，在四千来年前埃及人的数学就发展到这样高的水平，甚至有了“代数学”的雏形；但再一想，一个能制造金字塔和人面狮身像的智慧民族，能发现一些代数算法和几何定律不又是十分自然的事吗？口说无凭，还是让我们看些实例吧！

一个数，它的 $\frac{2}{3}$ ，它的 $\frac{1}{2}$ ，它的 $\frac{1}{7}$ 和它的全部加起来是 33，这个

数是多少？

从这个例子看，埃及人知道分数，还有了近似今天初中所学的初等代数的概念（当然还比较朦胧）。令这数为 x ，根据题意可列出代数式。

$$x + \frac{2}{3}x + \frac{1}{2}x + \frac{1}{7}x = 33$$

读者们不难得出这代数方程的解。这方程是最简单一元一次方程（只不过解不是整数）。草片书中还有简单的二元二次方程，如：

$$\begin{cases} y = \frac{3}{4}x \\ x^2 + y^2 = 100 \end{cases}$$

埃及人几何知识则充分体现在金字塔中。他们不光能建造金

字塔，还会计算棱锥和棱台的体积。很值得一提的是埃及人把自己的几何知识和天文学知识结合了起来。这些知识的应用，是让祭祀神品的各地的神庙建筑得合理。如有些神庙在一年中白昼最长的那天（即夏至）正午，阳光直接射入庙内，把某尊神像照亮；又如斯芬克斯（人面狮身像）面朝东等等。

对数和形的研究贡献最大的，当然是古希腊学者。至今，中学几何课本中的主要内容，要归功于希腊的欧几里得，这些课堂上已讲了不少，不过需强调一下的是，欧几里得几何本身的严密体系，对科技文化的贡献很大，它从几条简单的公设出发，一环又一环地推出了平面几何的一系列重要定理；又借助直尺和圆规两个最基本的绘图工具，解决了许许多多作图问题。前者称演绎推理，三段论是它的基本方法。

1. 大前提：凡金属均能导电。

2. 小前提：铜是金属。

有了上面两个前提，便可推出下面的结论。

3. 铜能导电。

仔细想想，在我们认识世界的过程中，不是反反复复在运用“三段论”吗？

《几何原本》的第 47 个命题，格外引人注目，这命题的表述为：“直角三角形，斜边上的正方形面积等于直角边上二正方形面积之和。”

显而易见，这就是著名的“勾股定理”，又称毕达哥拉斯定理。

有位名叫阿波罗尼乌斯（公元前 262 ~ 前 190）的希腊数学家，居然研究了椭圆、抛物线、双曲线这些复杂曲线，今天在《解析几何》中，才会讲述这类内容，阿波罗尼乌斯在两千多年前，就找出了它们的数学表示式。从外表看，这表示方法和今天课本上的不大一样，可完全可以“翻译”成今天的表达形式。

阿基米德这个名字，读者当然非常熟悉。他潜心于科学研究到了如痴如狂的程度。传说当他在洗澡时发现了浮力定律，竟忘乎所以，光着身子跳到大街上大叫：“我发现了，我发现了！”就连他的死也和科学研究连在了一起。当时罗马士兵已攻进他所在的地区——叙拉古，他却仍在一心一意研究画在沙地上的圆。他的最后一句话是：“不许动我的圆”。阿基米德死于士兵的长矛之下，但罗马军队的主将马塞罗斯很尊重他，他曾下令要保护阿基米德的生命，后来又为阿基米德建起了很好的陵墓，并树立起墓碑，碑上刻了阿基米德的发现。

阿基米德不只对物理做出了贡献，他的几何学研究也称得上是希腊数学的巅峰。他不光研究圆、椭圆、抛物线、旋转抛物体，还

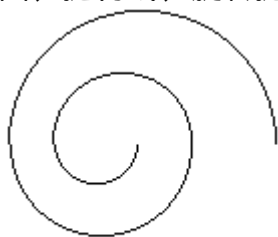


图2-5 阿基米德螺线

提出了一种特殊的螺旋线，这种螺旋线由两种运动形成，设想一个虫子站在匀速旋转的圆盘之上，从圆心沿某个半径向外爬行，它的影子会在天花板上绘出一条螺线。这螺线现在就叫阿基米德螺线。在解析几何教科书上，它的表示式是： $r = a\theta$ 。这里 r 是距极点的距离， θ 是与极径的夹角。顺便说一句，现在我们人类知道许多种更富美感的螺线，人们称它作玫瑰线。如图 2-6 所示，有三瓣的，四瓣的……等等，确实很像花朵，颇具美感。

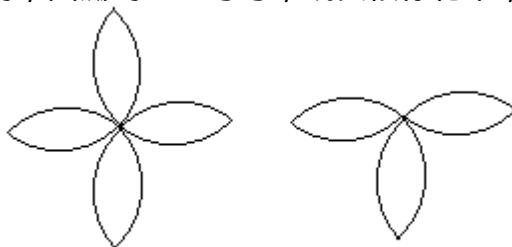


图2-6 玫瑰线

总之，在数和形的领域中，古希腊学者可谓游刃有余。特别是通过毕达哥拉斯派的努力，数学变成了一门“艺术”。在这门艺术中，数和形奇妙地结合在一起。比如：1, 3, 6, 10……这些数能排成正三角形，称为三角形数，并推出第 n 个三角形数：

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{(n+1) \cdot n}{2}$$

1, 4, 9, 16, ……这类数，则被称为正方形数，他们通过把这些数排成正方形，看出三角形数的和是正方形数，要用公式来表示就是：

$$1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) = n^2$$

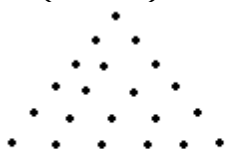


图2-7 三角形数

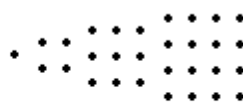


图2-8 正方形数

此外他们还设了多边形数，如：五边形数、六边形数等。

这些多边形数，实际上是级数。三角形数是最简单的一类级数，即等差级数；正方形数的通项是平方数： $1^2, 2^2, 3^2, \dots$ 。有趣的是相继两个三角形数的和是正方形数。

讲了半天，还没讲中国学者对数和形的研究，和希腊学者偏爱抽象思维不同，中国的学术传统是“务实”，对数和形的研究总和实际应用紧密相连。比如早在公元前一千年，中国人就会利用相似直角三角形进行测量。这种工具叫矩，载于《周髀》一书中，还知道勾三、股四、弦五这勾股定理的特例。此处三、四、五是边长，勾、股是两直角边，弦是斜边。《考工记》（战国

时的著作)中还提到一些角度,如把直角称作“矩”,半矩(45°)称为一宣,一宣加半宣叫一(67°30′),一加半是一柯(101°15′)等等。这里宣、一等的角度并不精确,大体上宣、一代表大小不同的锐角,柯代表钝角。



图2-9 矩

《墨经》中也有和数学有关的内容,诸如:“平,同高也。”用高低相同定义“平”;“直,参也”,这里“参”即“三”,用三点共线来定义“直”;还有“一中同长”为圜(即圆),和四个角均为直角定义“方”。此外对点、等长等都给出了相应的定义。

在探索数和形的同时,必然会涉及到有限、无限这类有趣的问题。在这方面做出主要贡献的,有中国的“名家”(以惠施为代表)和希腊的厄里亚学派(以芝诺为代表)。惠施没有留下著作,现在人们所知道的惠施的看法,大都来自庄子的记载,庄子记下了惠施的两条有趣的论断,一条是:“一尺之捶(chuí,长木棍),日取其半,永世无竭。”另一条是:“镞(zú,箭头)矢之疾,有不行不止之时。”前一条是说,一根长一尺的木棍,每天取走它的一半,永远也取不尽,这相当求 $(1-1/2)^n$,尽管当 n 越来越大时,这个数越来越小,却总不为零。后一条是说,箭飞得快,在任何一个时刻看它,总是既不在走(因为它必须到达相应的某个位置),又不是停住不动(因为它不是呆在这个位置上,而是经过而已)。无独有偶,“飞箭不动”,是芝诺的著名命题之一。和“一尺之捶”相应的是芝诺的另一个重要命题——“对分”。他证明任何人不可能在有限的时间走完一段路程,因为在走完这段路之前,先要走完这距离的一半,而要走完这一半,又要走完一半的一半,以及一半的一半的一半,AB这路程上有无限多个二分点(即 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ ……点),在有限的时间内要越过这无限多个点是不可能的。

这类论断让人明知不对,又无法辩驳,常称作悖论(广义的)。芝诺的第二个悖论更加有名,是说希腊的神行太保阿基利斯,永远追不上爬行极慢的乌龟,只要在起跑时乌龟在前就行了,因为像图2-10中所示当阿基利斯赶了一半路程时,乌龟已向前进了一段,阿基利斯走了余程的一半,乌龟又向前了一小段。阿基利斯尽管越来越离乌龟越近,可乌龟总在他前面。其实芝诺玩的花招是把赛跑限制在阿基利斯追上乌龟那时刻之前。这类悖论表面上像是“无事生非”,其实不然。它让人注意到有限与无限、运动与静止这些科学中非常重要的问题,对它的探讨直到今天仍有很大意义,不仅如此,这种探讨给人以极大乐趣。

“一中同长”的圆,同样引起了古代学者的兴趣。人类很早就有了“车”,有车就有车轮,车轮当然是圆形。“圆形”最神秘之处是圆的直径和圆周长的关系,即“圆周率”(π),现在的学生都知道 $\pi = 3.14159265358979$ ……一般就用3.1416。可这是个无理数,让古代人求这无理数的值,确实是个大难题。

欧几里得当然求不出这圆周率，但他从圆的内接正六边形的边长和圆半径相等，看出圆周长要比三个直径多一些，这样“周三径一”便是最早的圆周率。我国在战国时期也有了“周三径一”的思想。据《考工记》记载，古人有种圆弧形的刀叫作“削”。如所示弧的圆心角是 60° ，刀长为圆的半径，六个刀可以拼成一个圆。在希腊，圆周率较精确的值是阿基米德求出的，其方法是作圆的内接正多边形和外切正多边形，让边数越来越多。用这个方法阿基米德算出圆周率在 $3\frac{10}{71}$ 和 $3\frac{1}{7}$ 之间，也就是 3.140845 和 3.142857 之间，这

可说是最早的精确到两位小数的圆周率。尽管后来祖冲之得出了 $\frac{355}{113}$ 约等于

3.1415929 的圆周率值，这当然比阿基米德的结果精确得多，但那已是公元 400 多年，比阿基米德的结果晚了 600 多年，所以至今圆周率的代号是 这个希腊字母。

当然，中国人应以祖冲之的圆周率结果为荣，因为欧洲人计算出这样精确的圆周率时，已经是 16 世纪，又比祖冲之晚了 1100 多年。在自豪的同时，也应看到中国在数与形的研究中的不足。中国学者不知是由于什么原因长于算法，而很少概括出定理或定律；即使是给出定律也常以形象的图解代替严格的证明。以勾股定律为例，其证明用的是典型的“图验法”从图 2-12 中可看出，其方法是作弦图，即以弦（直角三角形斜边）为边的正方形。在弦图中作四个相等的直角三角形，中间留下一个小正方形。令大正方形的边是 c ，勾股形的长短边分别是 a 和 b ，显然勾股形的面积是

$\frac{1}{2}ab$ ，而大正方形面积是 c^2 ，小正方形的面积是大正方形面积减去四个勾股

形的面积，也就是： $c^2 - 4 \cdot \frac{ab}{2} = c^2 - 2ab$ ；小正方形的边长是 $a - b$ ，这样它

的面积是 $(a - b)^2 = a^2 + b^2 - 2ab$ 。

写到这，读者一定会看出大正方形的面积既然是小正方形面积和四个勾股形面积的和，就应该有下面的等式：

$$c^2 = 4 \times \frac{1}{2}ab + (b - a)^2 = 2ab + (b - a)^2$$

大家当然记得：

$$(b - a)^2 = b^2 - 2ab + a^2$$

$2ab$ 和 $-2ab$ 一相抵消自然得出： $a^2 + b^2 = c^2$

这显然是个很聪明的证明。有趣的是这个图可以继续向外扩大，就是说把原来的大正方形，看成是中心的小正方形，又可在外作上四个勾股形。这样一重重加上去，便会形成个满不错的图案，读者不妨一试。

此外，在中国算学经典著作《九章算术》中，也有不少应用勾股定理的应用题。例如书中的第 6 题就挺典型。这题译成白话文是这样的：

有一边长为一丈的正方形水池，有芦苇生在水池中心，出水一尺，把芦苇向岸边拉，正好在到达岸边时，芦苇尖与岸相齐，问芦苇的长度是多少？

画个图就可看出，边长一丈的池子，半个边长 (a) 是五尺，所以依据勾股定理，水深 b 的平方应是芦苇长 (c) 平方和半个池宽平方的差。而 $c - b = 1$ 尺。利用勾股定理应该有：

$$b^2 + 5^2 = (b + 1)^2 \quad (b + 1 = c)$$

这题很容易算， $(b+1)^2 = b^2 + 2b + 1$

两边都有 b^2 相抵消，得到 $2b = 24$ ， $b = 12$ 尺，也就是池深 12 尺，芦苇长度得再加上 1 尺就是 13 尺。

《九章算术》中，这类题目还有不少。但有一点需要指出，这些题目全部是实际的应用问题。不仅是《九章算术》，在中国的各种算经中，只有勾股定理的应用题和图形表示，却始终没有看到它严格的数学表示，更未形成欧氏几何这样严密的学科体系。这一弱点在当时并不显得太突出，也很难发现它所产生的不良后果。但必须承认，这种过了头的“务实”态度，为中国后来的科技文化发展留下了“后遗症”，从今天看来，的确让人感到遗憾。

巧手夺天工 机械器物的应用

上面讲的对数和形的探索，代表了科技文化中比较抽象的那个方面；对机械、器物应用的探索则与之相反，既具体，又和实际应用紧密相联。不过对数和形的研究和对机械器物应用的探索之间，有着千丝万缕的联系。比如，古代学者对“圆”的兴趣，决非一时兴起，而是和运输工具的发展，特别是车轮的应用有关。以建筑金字塔为例，固然要有对锥形的了解，若没有简单机械帮忙，再多的人力也建造不起来。

谈到金字塔，还是让我们看看古埃及人用过什么机械吧！埃及人生活在尼罗河畔，是尼罗河哺育了他们，也哺育了埃及的光辉文明。不过尼罗河再慷慨，也不可能违背“水往低处流”的自然规律。除非等待河水泛滥，否则就要设法把低处的水引向高处，以灌溉田地。农田灌溉的需要促使埃及人开动起脑筋，并创造了两种灌溉工具。

第一种灌溉工具叫“沙杜夫”，这是古埃及语的译音，什么是沙杜夫呢？沙杜夫是一种提水器，建造它时，首先在较高处立起一个支架，支架上横起一条长杆，长杆的一端绑有重物，另一端挂着水桶，用以提水。现在读者已能想象这沙杜夫的提水方式了。当需要提水的时候，人往下拉提水的长绳，让水桶进入蓄水的沟渠中，把水灌满，接着人把手松开，重物的下坠会把水桶提起，这其实就是一种“杠杆”。

这种灌溉方式和中国古代应用的桔槔（jié gāo）原理差不多，只不过桔槔的尺度要小些罢了。

古埃及人使用的另一种灌溉工具，是借助大气的压力，将水从低处引向高处的虹吸管。埃及人对虹吸现象的认识相当早。在公元一千四百多年前建造的一座古墓中，就可看到这样的壁画：两个祭司合作使用虹吸管，把一个瓶子中的水吸到置在高处的另一瓶子中，这样的绘画不只在一处发现，可见当时虹吸管的应用已比较普遍。

谈到器物的发展，非得要提起下面两个学者：古希腊的阿基米德，中国先秦时代的墨翟。前面的章节中已可看到阿基米德是个了不起的数学家，其实他对力学的贡献可说更了不起。和侧重于抽象思维的希腊哲人不同，阿基米德很看重物理定律的实际应用。比如他注意到了螺旋可以省力，便制造了螺旋提水器，直到现在，这种古老的机械仍在埃及等地应用。又如，今天的建筑工地上，总有吊车来来往往，吊车上的最关键装置是滑轮——动滑轮、定滑轮，这些滑轮，阿基米德在 2000 多年前就能得心应手地应用，他曾借助滑轮完成一次伟大功绩——把一艘众多人力无法移动的大船轻而易举地拉入水中。

科学史上还记下了他的另一项发明——抛石机。当时没有大炮，抛石机可算是很有威力的重型武器了。罗马士兵围困叙拉古城长达三年，仍未攻破，就是为阿基米德的抛石机所阻。当然，最后强大的罗马军队还是攻下了叙拉古城，阿基米德也死于罗马士兵的长矛之下。

罗马人消灭了阿基米德的肉体，却消灭不了他的精神。罗马的科技文化成果中，处处显示出阿基米德的创造成果。比如罗马人非常重视水利工程，他们建造的引水道，被称作是古建筑史的丰碑。在这引水工程中，虹吸技术发挥了重要作用。罗马的宫殿、神庙等建筑，也为古建筑史写下光辉的篇章，特别是可容观众四千五百人斗兽场，足可与现代大型体育场相媲美，实际上

现代体育场的建筑样式，有不少是从罗马人那里因袭来的。当然，在这辉煌的创造中，还有另外一面。罗马人实行的是奴隶制，不仅这些宏伟建筑和古代奴隶国家的建筑一样，是奴隶的血汗劳动。罗马奴隶主还有他们自己的“创造”，他们在这斗兽场上“欣赏”奴隶和野兽相斗，并以这种残酷的“游戏”为乐。最后奴隶们终于忍无可忍，在斯巴达克斯领导下，举行了大规模的起义。起义以失败告终，罗马王国也从此走向衰败，只有人类智慧的创造——斗兽场留存至今。

墨翟的风格和阿基米德有些相似。他既注意对物理规律的探讨，又注意器物的应用价值。这一特点在《墨经》中充分体现了出来。这书中有辩证、认识论，有数学、力学、光学，也有简单机械。书中提到的器物，有利用杠杆原理的“秤”和运载云梯的輶(chuan)车；有各种镜(书中称)——平面镜、凹面镜、凸面镜的成像。阿基米德发明的守城机械，使罗马士兵受阻，墨子则用发明的守城工具说服楚王，让他打消借助公输般设计的云梯，攻打弱小的宋国。鲁迅先生的《故事新编》对墨子的形象和阻止楚王攻宋的事情，作了生动的描绘。

其实对公输般同样不应小看。公输般就是人们常提的鲁班，他不光发明了云梯，据说锯、刨、凿这些木工用具全是他发明的，所以至今木工还把鲁班尊为“祖师爷”。

最重要的器物当然不是战车、兵器，而是与生活有关的各种用具。比如交通车显然比战车更重要，在中国相传最早造车的人是夏代的奚仲，《荀子》一书中记载了奚仲造车之事，看来这事是真的，要是说这奚仲造车还有点传说的味道，商朝有供人乘坐和运物的车辆，则是比较有根据的。前面章节中讲到象形字中的车轮形作“雷”字就是明证。

春秋战国时马车已应用得很普遍，但规矩挺多，乘什么车用几匹马都有定制。车的设计也挺有艺术性。秦兵马俑中有铜车马(彩图)，从它的构造，可见当时工匠的技术是多么高超。

不光是中国，在西亚马车的出现，可追溯到4000多年前。像波斯王曾使用过一种两轮战车，它的造型很有特点，设计成马蹄形，车轴的两端装有大弯刀，当战车飞快驰骋于敌军中，这些弯刀便成为兵刃。

船的应用有可能比车还早，在大禹治水的传说中，就有他伐木制独木舟的故事，故事中还有些离奇的情节。据说大禹要砍伐的是棵直径一丈多的樟树，这樟树当然“年龄”不小了，以至成了精怪。树精化作童子，不让大禹砍伐，大禹为治水三过家门都不进去，还能让这树精给挡住。他怒斥树精，砍倒了大树做成木舟，在他辛勤治水的十数年中，乘的就是这独木舟。

上面这传说太离奇了，当然不足为据，不过树木能漂在水上，想到用木板作船并不是太难的事，木板船的诞生比车要早。此外，舟的象形字是木板形，这也算是一个旁证吧。

还有样重要的器物，有人可能已经想到了，这就是“灯”。是啊，太阳只有照耀白昼，不能使黑夜变得光明。夜晚有星星和月亮，光亮却比较微弱，特别是在阴历月初或月末，再赶上阴天，若没有照明工具，那可真是伸手不见五指，寸步难行了。

用火把照明，可算是灯的雏形，可火把算不上灯具，即使是蘸上树脂，火光更明亮的火把，仍不能叫“灯”。

到目前为止，人们所知道最早的一盏灯是考古学家在法国一个崖洞中发

现的油灯。这灯由石头制成，碗形，中间盛油。据考古学家考证，它是新石器时代的照明工具。它看起来十分简陋，但功能纯为了照明与取暖无关；也不用人手擎，可以放在任何需要光亮的地方。就这两个标准看，它已与火把“划清界限”，可算“灯”的老祖宗。

最后，还有两样重要器物，一是计时器，一是计算器，没有计时器，人过日子过得混混噩噩；没有计算器，不知道东西的数量，同样稀里糊涂。

计时器就是现代的钟表。没有钟表的时候，人类只能“日出而作，日没（mù）而息”。可春夏秋冬日出日没时间不同，再加上阴天下雨更让人弄不清时间，更不要说区分较短的时间间隔小时、分钟了。这一来，怎样设计出计时用具就成了古代“智者”们绞脑汁的一个内容。总的来说，不论哪个国家想的办法都差不多，仍是“看太阳”。汉字中时间的“时”字是“日”字旁，就是这个道理。

所谓“看太阳”，可不是傻呆呆睁大眼睛瞪着太阳看。这样看除了让眼睛冒金花外，什么结果也没有，计时要看的是太阳下长竿的影子。同一根长竿的影子，由于晨、午、昏各时，会从短到长，从长到短，方向也有变化，这一来，依据这些变化及其间的规律，就可以粗略的计时了。古埃及人早会用日影钟了，我们的祖先和希腊人也先后应用起类似的计时器。中国人管这种计时器叫日晷（gǐ），晷字原意为日影。这字看起来复杂，其实非常好记。上面是个扁扁的日头，中间是个“处”字，就是位于什么地方，下面这个口字可以看成是“日”字的影子。影子嘛当然模糊一点，中间的那道就丢掉了。合起来就是从“日”的影来看它位于什么地方。后来晷字和圭字同化，并出现了便携式的日圭。

以上这些器物的制造和应用都离不开开度量与计算，不光是这些器物，大到国家的财政管理、土地丈量、水利工程，小到家用开支、购物售物都要借助计算工具。计算是为了筹划，中国最早的计算器就叫“算筹”。这种计算器构造太简单了，就是一个小细棍。筹是竹字头，这是因为最早的算筹是竹制的，当然用什么做都一样能用来计算，所以后来有了各种制品：木制品、铁制品、骨制品，有钱人还置备了玉制品、象牙制品。当然要想计算，三五根算筹是不够的。古代人出门往往要带个算袋，用来装算筹。

算筹在《汉书》中已经提到，可见它是先秦时出现的。不过其计数法只能在晋代的数学书中找到，这里所记载的是不是原始的方法就不得而知了，晋代人说，算筹有纵写、横写两种形式：

横：一 二 三 四 五 六 七 八 九

纵：I II III IIII 上 下 七 八 九

计数时为了区别位数，算筹的排列纵横相间，零则用空位表示。比如‘942036’这个数用算筹排出来便是

上 IIII = () = 下

借助这种简单的便携式“计算器”，我国古算家解决了许多算术难题其中不少题目仍然是当代算术课本中的四则应用题。比如鸡兔同笼问题（题中鸡作雉），“今有雉（zhì）兔同笼，上有三十五头，下有九十四足，问雉兔各几何？”

书中给出了十分简练的解法，原文是“半其足，以头除足”。下面把这

话解释一下，要记住一头雉有两足，一只兔有四足。这样足数就相当于四倍兔数加两倍的雉数。半其足，就是足数的一半，相当于两倍的兔数加上雉数，这里是四十七，这两倍兔数加上一倍雉数减去兔子和雉数的和，当然是兔子数，有了兔子数，雉数也就出来了。结果是笼中有十二只兔子，二十三只雉。

该书中还有不少盈亏问题，又称盈不足问题。比如：

“今有人（共）买物，（每）人出八（钱）盈（余）三（钱），（每）人出七（钱），不足四（钱），问人数、物价。”括号中的字是加的，以便于理解。

解法和今天的算术书上一样，这里就不赘述了。结果是物价五十三钱，人数为七，读者们算算是不是能得出这个结果。

最值得一提的是，《孙子算经》中的物不知数问题，后世又叫“韩信点兵”或“鬼谷算”。原文为：“今有物不数，三三数之膳（即剩）二，五五数之膳三，七七数之膳二，问物几何？”答案是二十三^{*}。这类问题，欧洲到公元 801 年才由著名数学家高斯，通过系统研究给出了有关定理。19 世纪中叶，英国传教士把孙子算经中“物不知数”的解法传到欧洲，此后西方数学史承认这一成果，并称之为“中国的膳余定理”，这是中华儿女的骄傲。至于具体解法，还是留给读者自己去动脑筋吧！

本章的开头，讲到在科技文化的源头处，会看到一些科学、神话甚至迷信相交混的现象，这在《孙子算经》中也有所表现，这书中的最末一题就是明证。这题中讲：“今有孕妇行年二十九，难（指怀孕）九月，未知所生。”回答是生男。这分明是占卜，而不是算术，却列入算术书内。其实这事并不稀奇，汉字中计“算”和卜“算”中用的是同一“算”字，而算术之“术”字和占卜术之“术”，也一般无二。后来的一些算学家，不少是阴阳学家，这阴阳学中就有占卜，通常是借助八卦。从今人来看占卜自然是迷信，但对古人不能这样苛求，特别是阴阳学家眼中的占卜，决不能和无知的善男信女的烧香求签相提并论。后者是愚昧和盲信，前者则是对预测未来的一种尝试，方法的对与错则另说。

除此之外，那个时代，在一般人眼中，术和算是很深奥的，在欧洲直至中世纪，善算的人还被称作巫师或蛊术师。在我国战国时代，也有个精于术算的传说人物叫鬼谷子。孙子“物不知数”问题的别名，就是鬼谷算。在东周孙臆和庞涓斗智的故事中，鬼谷子是他们俩的师父，他还“算”出孙臆将有刖刑（砍掉双足）之苦，预先留下了救他的计策。想想看，山“谷”总是很深的，“谷”字上面再加上“鬼”字，则真是深不可测了！可见华夏祖先对术和算的敬畏。

术和算重要，算筹这算具自然也格外受到重视，所以不仅一些史书，如《汉书》、《晋书》中，都对它的使用有所记载，《说文解字》这古代词典中，也有相应的词条，直到算盘的普及，筹算才渐渐为珠算代替，这已经是魏晋南北朝以后的事了。

道可道，非常道 古哲人的睿智

哲人顾名思义是研究哲学的，这里讲的是科技文化，为什么常涉及哲人呢？道理前面已提到过。在古代，人类对世界的认识是综合的，科技文化并没有从哲学思考中独立出来，哲学中的不少内容属于现在说的“自然哲学”的范畴，就是说，它的研究对象是自然界，讲的是对自然的看法，以及对生命这一最神秘的自然现象的看法。2000多年过去了，这些论述中的智慧之光，依然令人感到耀眼。由于没有任何先人为主理论遮蔽他们的目光，这些哲人的思想如未加鞍辔(pèi)的马，能无拘无束地奔驰。大家都在探索之中，没有公认的“权威”，各学派间可以自由争论，百家争鸣。这些有利条件使得这时期的不少看法，比中世纪神学或礼教束缚下提出的见解透彻得多、高明得多。在前面的章节中已经介绍过古哲人对万物本原的看法，这里讲述他们所探讨的其它一些问题，诸如生命和自然的演化、知识论等。

谈到古哲人，首先要讲的自然是古希腊哲人，尽管近代科技史上很难见到希腊人的名字。谈古代科技文化不提希腊，核心部分就变得残缺不全。在古希腊哲人的论述中，上面提及的问题处处可见。

首先是生活在公元前610年至前546年的哲学家阿那克西曼德的几段话。第一段话：“万物由之产生的东西，万物又消灭而复归于它，这是命运规定的。”这话和下面的几段引语均为后人转述，因为阿那克西曼德著作已失传。他又说：“对立物包含在一个东西里面，并且借着分离作用，从这个东西里分离出来……万物是借分离而从混沌中产生出来。”

下面这段话更令人惊异，阿那克西曼德说：“人最初是从另一种动物产生的。”他的理由是“别的动物都很快能给自己寻找食物，而只有人需要很长的一段吃奶时期，如果人一起初就是像现在这个样子，那他是不会存留下来的”。看法奇特，理由更妙，从这话语中人们已能感受到“进化论”的气息了。阿那克西曼德十分强调水对生命的重要性，他认为最初的生命从湿气中产生，而人和鱼有着密切联系。这也符合生物进化过程，地球上最早的生物的确是水生动物，而生活在水中的鱼则是最古老的脊椎动物。

阿那克西曼德的学生阿那克萨戈拉(公元前500~约前428)又进了一步，他提出有“万物的种子”存在。他说这些种子带有各种形状、颜色和气味。人就是由这些种子组成。阿那克西曼德的“种子说”很有点后世“细胞论”的味道。只是似乎简单了些、机械了些，后来卢克莱修用诗的语言，对它进行了评介，并注入了新的思想。卢克莱修认为阿那克萨戈拉的“种子”是指：

“……骨头是由非常小的骨头构成，
小而又小的肉构成了一切的肉，
而血则是由血滴所造成。
认为黄金是黄金粒子的结集，
土是由许多小小土块所构成，
火由许多火苗，水由水，
对于所有其他的质料，
他也虚构了同样的情形。
但他却又不承认物里面有虚空，
也不承认物体的分割应有止境，

.....
既然食物壮大和滋养了人体，
你就应该知道我们的血管和血和骨肉
是许多与它们不同种类的粒子所构成。

.....
再者，如果一切从土地长出来的物体，
原先都是在土里面的东西，那末土地
就必定是许多不同的实体的复合，
它们能从土地里面涌出而盛开。

.....
如果火焰和烟和灰烬，
总是不可见地潜伏在木柴里面，
那它就是许多不同实体的复合，
这些东西能从木柴里面涌出来。”

这是多么生动的诗句。何等深刻的思考。卢克莱修强调：

“未有任何事物从无中生，

.....
每一个生命之来到这光之岸，（即在世上诞生）
乃是由它自己的原始物体（指原子）所构成。

.....
自然也把一切东西再分解
成为它们的原始物体，并且没有什么东西
曾彻底地消失。

.....
事实上，因为所有的东西
都是带着不朽的种子而存在，
所以自然不容任何东西灭亡或崩溃。”

这些诗句中已蕴含了现代物质不灭、能量守恒等思想，甚至隐含着宇宙无限的现代观念。

与希腊哲人不同，即使在百家争鸣的春秋战国，中国哲人多半还是关心社会、人伦等问题。尽管如此，那时还是有对科技文化作出巨大贡献的学派，主要是墨家、名家和道家。

墨家以墨翟为代表，后被尊为墨子，在对数和形的探讨一节中已提到过；名家代表是公孙龙，曾为战国著名四公子之一平原君的座上客，后被尊为公孙龙子；道家以老子为代表，他姓李名耳字聃（d n），后世均尊称为老子，本名反不大常用。

墨派的思想，今人较易理解，特别是他在认识论方面提出的几个概念，现已包含在现代科学方法论之中。

第一个概念是“知”字。墨派首先把它作为人生来就有的才具，称之为“知材”，定义是“所以知也而必知”，说白了是具有认识能力可以用它来认识事物必然能知。对此《墨经》中还打了个生动的比方，说它如人之双目之明。换句话说除非你是瞎子，才看不见东西，与之相应，人除非是生来痴呆，否则就有认识能力。但人是不是有了认识能力，就一定能认识事物的规律性呢？这可不一定。墨派指出首先要和事物接触，“知，接也。”并说明

这样可以借助“知”这认识能力，了解事物的外表，“过物而能貌之。”“貌”就是认识事物的外表，“过”指遇见这个事物。这些还不足以使人增长知识，要增长知识就得思索，《墨经》中称作“虑”；这种思索不一定马上就得出有用的结果，“虑也者，以其知有求也而不必得之”。思索中很重要的一个方法是推论。此外，传授也是获取知识的重要方法，《墨经》中把获取知识的方式分为闻、说、亲三类。“亲”是亲眼所见，《墨经》称“身观焉”（亲身去观察）；“闻”是传授而得，“传授之。”“说”的解释是“方不瘴(zhàng)”，这句文言文比较难解。墨学家们认为是方域不受障碍的意思，即可以据过去推将来，据此知彼，也就是今天所说的“类推”。

上面这些科学方法，在今人看来是理所当然的，但不要忘了那是 2000 多年前的事，能有这样系统、全面的概括，实在是了了不起。不过话又说回来，正因为是 2000 多年前，应如何正确应用这些方法，连墨派自己均未完全解决。最说明问题的一个实例是墨派承认“鬼魂”的存在，其原因和“迷信”毫无关联，完全是按照他们的科学原则，前面的科学方法中不是有“闻”这个途径吗？当时各种看到鬼的传说（如前所述的公孙闾见到颖考叔的鬼魂这类故事）全成为鬼的存在的证据。

墨家还有的论述，得和其他学派（主要是公孙龙子）代表的“名家”的言论对比着看。公孙龙子的生活年代在墨子之后，在墨派弟子撰写《墨经》之前。他代表的名家的许多论点和希腊的诡辩派异曲同工，很是有兴趣。最富代表性的两个论题是：“白马非马”论和“坚白石二”论。

先看“白马非马”论，顾名思义是白色的马不是马。管它是什么毛色，马就是马，这本来是天经地义的事，可公孙龙却对白马不是马，讲出几条在逻辑上似乎有理的理由。理由之一：马这概念的依据是其形体，而“白”要描绘的是颜色，描绘颜色的词不能称呼形体；理由之二：白马是马与白，即马加白，马加白当然不再等于马，大体都是这类的理由。

“坚白石二”论的理由和“白马非马”的逻辑相似。公孙龙子说，一块石头的颜色是白的，要靠视觉感知，视觉能区分出石头白不白，却不知道石头是不是坚硬；区分坚硬与否，得靠触觉，可触觉并不知道石头颜色白不白。既然是靠两种知觉才能知道这是坚硬和白色的石头，就不是一样东西而是两样东西。《墨经》对这论断的反驳简明扼要切中要害，只有“坚白不相外也”六个字。《墨经·经说》中又加了一笔“无所往而不得，得二”。意思为：说“坚”时指的是这石头，说“白色”时，指的也是这块石头，这石头处处白处处坚，处处兼有这两种特性。

这里要提醒大家，看名、墨两派的争论，切不可像幼儿园的小朋友看电影那样，动不动就问谁对、谁错、谁是好人、哪个是坏人。从结果来看，墨派把公孙龙子的论点驳倒非常重要，因为人类认识世界非要有逻辑推理相助，要是承认白马非马，连马类、动物类这种类聚都不能作到，更不用说进行类推了。这样一来还谈得上什么认识自然、发展科技文化呢？不过反过来说要没有公孙龙子这样的诡辩派出难题，学者们不会那么重视逻辑推理的重要性，更不要说发展出一整套方法了。不仅如此，在今天，在科技文化发展到了更高阶段时，再回顾那些诡辩派的言论时，还可以从中发掘出更宝贵的东西。

现在该讲道家了。一谈道家，不少人会联想到道士的八卦袍和会作法的张天师。的确，道士通常以老子为祖师爷，实际上从历史上看，老子和道教

之间并没有联系；道士们也有时从老子的著作《道德经》中找寻依据，可《道德经》中对科技文化作出贡献的部分，大都和它们无关。

事实上，《道德经》里最宝贵的内容是有关对立统一、对立面相互转化的辩证法的内容。有趣的是，当我们阅读老子的这部分论述时，会惊异地发现它与西半球的古希腊智者赫拉克利特的许多见解异曲同工。比如，老子说：“有无相生，难易相成，长短相形，高下相盈，音声相和，前后相随，恒也。”译意是：有和无互相生成，难和易互相完成，长和短互相形成，高和下互相包含，音和声互相和调，前和后互相随顺，这是永远如此的。

赫拉克利特也说了类似的话。他认为：“相反的东西结合在一起，不同的音调造成最美的和谐。”又说“自然追求对立的東西，它是用对立的東西制造出和谐，而不是用相同的東西。……艺术也是这样作的，显然是模仿自然。……音乐混合音域不同的高音和低音、长音和短音，造成一支和谐的曲调。”

赫拉克利特提出了“逻各斯”（希腊文译音）这个概念，指支配宇宙使宇宙具有特定的外在形式和运动规律。赫拉克利特说：“这逻各斯虽然万古长存，可是人们在听到它之前，以及刚刚听到它的时候，却对它理解不了。一切都遵循着这个逻各斯，而人们试图像我告诉他们的那样，对某些言语和行为，按本性加以分析，说出它们与道的关系时，却立刻显得毫无经验。”这马上让人想到老子《道德经》的开始处“道可道，非常道”这六个字。这里第一个“道”是具体的规律，第二个“道”是用言语表述的意思，而“常道”其实就是“逻各斯”，它是无法“道”出的，亦即无法用言语表述的。

别看我们是现代人，要理解这两位大哲学家的看法并不容易。在这节中，读者只需要从字义中看清赫拉克利特和老子这两位大哲人远隔万里，心却相通就行了。在科技文化史中常常会看到这种现象。

对比下面两段话也很有趣，赫拉克利特认为万物处在不息的变化中。他说“我们不能两次经过同一条河流”、“踏进同一条河的人，不断遇到新的水流”、“太阳每天都是新的，永远不断更新”。老子的《道德经》中也有万物“周行而不殆”的说法。尽管如此，细心的读者大约已发现“周行而不殆”的说法，和赫拉克利特的“一切皆流”的看法并不相同。“流”是流动向前，“周行”则是循环往复不仅如此，老子的思想特别重视“柔弱”的水。他说：“水善利万物而不争”。在鲁迅《故事新编·出关》一文中也曾专门引了老子对门人讲坚硬的牙齿会脱落，而软软的舌头能长存的比喻。赫拉克利特可不这样平和，他看重的是和水不相容的“火”，而且说“一切变成火，火烧上来执行审判和处罚”。这两位大智者关于水和火的论述，有相当多的内容超出了科技文化的范围。尽管如此，当下文讲述历史进入新阶段，科技文化举步维艰向前迈进时，再回顾这两位哲人的名言，会别有一种感受。

小说讲究悬念，讲历史同样会有悬念。小说的悬念是文学家人为设置的，历史中的悬念，讲历史的人可设置不了。历史事实自有它内在的规律与前因后果，科学文化的发展，脱离不了当时的历史环境并在人类历史中刻下深深的印记。而人类的历史，既记下了人类所经历、所创造的一切，同时又是人类的回忆和思考的结果。

三、从神的世界到人的世界

中世纪是科技文化发展史中的特殊年代，这时代的宗教文化与科技文化相交缠；这时代有黎明前的黑暗与冲破黑暗的黎明；这时代有英勇的科学探险，也有科学探险英雄的蒙难。中华民族的四大发明奉献于这个时代，但因科技文化结构的缺欠，为后来的落后留下伏笔。

关于历史有许多令人深思的名言。

英国喜剧作家肖伯纳说：“所有的历史，不过是处于天国和地狱两极端间的世界振动的记录而已。”德国诗人席勒说：“世界史，就是审判世界。”辩证法鼻祖黑格尔说：“世界历史是自由意识的进步。”一位法国学者马依内克说：“历史不过是文化史而已。”日本哲学家柳田谦十郎说：“可以说人类的历史，是与联系颇深的自然相对立、相斗争的历史。”德国哲学家拉萨尔说：“历史是与自然的斗争。”马克思、恩格斯的《共产党宣言》中则说：“迄今存在的一切历史，是阶级斗争的历史。”

这些名言，可谓色彩斑驳，但异曲同工。是的，人类历史归根结蒂是文化的历史，在文化史中，人与自然的斗争，占有重要的位置，但文化不能脱离社会发展而孤立存在着，科技文化也是这样。在科技文化发展中，不仅有人与自然的斗争，也反映着社会矛盾，甚至不同阶级、阶层、集团的斗争。在文化史中，有天国的光明，也有地狱的黑暗，但它的主流无疑是进步。上面说的这些规律，适于科技文化发展的各个阶段。不过，最能体现肖伯纳所说的“处于天堂和地狱两极端间的世界振动”这一描述的时代，是中古时期。

上帝创造一切 神学为基础的宇宙观

在科技文化中，天文文化是十分重要的一个分支，在古代和中世纪尤其如此。中国古典小说中，描写一个人非常有学问总要说他“上知天文、下知地理”。学者要通晓天文，老百姓也一样。水手出航夜间要观天上的星辰辨认方向；农民们也要注意某些星座的变化，以安排农时。比如天空中有个星团叫昴(m o)星团，是中国古代天文所指的廿八宿之一，我国有些神魔小说中“昴星官”是个不大不小的角色。古希腊人也挺重视这位星官，在它的“指挥”下安排农时，一位希腊诗人海西奥特这样写道：

“当昴星团在东方刚开始上升的时候，就该收割。

当昴星团隐没在西方的时刻，就该播种。

有四十昼夜在天上完全看不见昴星团，

等到新粮快要登场，它才又开始出现。

对那些住在海边上、山地里

和远离澎湃大海边的农民，

都是同一个规律。”

如前所述，我们的华夏祖先，更注意的不是昴星团，而是北斗星，依据斗柄的方向指的是东、南、西，还是北，来判别季节的变化。

非洲大陆上的古埃及人，注意的既不是昴星，也非北斗，他们的关注对象是天狼星。这是因为埃及人居住的地区有大片沙漠，他们只能在尼罗河泛滥造成的冲积平原上进行耕作。为此，埃及人需要知道尼罗河的泛滥期，经过观察，他们发现当日出前能看到天狼星在早霞中闪闪发光时，尼罗河水的汛期就要到了。在古埃及人心目中，这天狼星是他们的守护神，于是给它起名为大犬星。埃及一座庙宇的门上刻着这样的话：“伟大的大犬星在天上一放光，尼罗河便泛滥。”

罗马人也注意到了这颗星，在拉丁文中该星的读音为卡尼库拉。当这颗星在黎明时出现，罗马进入暑热时期，一般的工作均停了下来，人们开始休假。这段时期称卡尼库拉日。有趣的是，至今俄语中假期仍称卡尼库雷。因为假期不是一天，卡尼库拉的多数便是卡尼库雷。

观察星星就不得不想到天空、宇宙。人最初的认识，依赖于直观印象，在四面无遮拦的旷野之上，向周围眺望会觉得天像个大碗，或者说像个圆顶的大帐篷。我国古代便有了“天圆如帐盖，地方如棋局”的说法，古诗中也有“天如穹庐，覆盖四野”之句。这种天文文化还反映在汉字中。在古代篆书中，“天”字也好，“宇”字也好，都顶着个帐篷。

公元前4世纪，又有“浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如蛋中黄，……”的浑天说。持这浑天说的代表，是汉代的著名学者张衡（公元前2世纪人）。他把地看成球形，最初认为它浮在水上；后来又前进了一步，认为它浮在气上。张衡是中国科技史上不多见的手、脑并用的学者，他曾设计出测地震及其方位的“候风地动仪”。为了说明“浑天说”，他专门制作了“浑仪”和“浑象”两种仪器。此后，他又制造了一种借助水力推动的“浑天仪”来演示天象。

从科技文化的发展看，把大地看作球形，不仅是对宇宙认识的一大进步，还有其更深远的意义。“观察”是科学探索的最基本的一种方法，但人们观察受视觉能力的局限，会产生一些错觉，从而将认识导至“误区”。比如一

根棍子放入水中，水的折射会使人以为这棍子折断了；又如大气折射造成的海市蜃楼，在古代常使航海者误以为真。地球的确不是平面，但它的半径太大了，一般人怎么也不会发觉它竟然是球形。张衡这位两千多年前的学者，竟然能不受自己直观的蒙蔽，发现事物的本来面目，实在是了不起的一件事。但张衡并不是那时代唯一的一位把地球看成球形的学者，埃及亚历山大城的埃拉托色尼（约公元前 275 ~ 前 194）是该城的图书馆主任，也提出了地球是个球体的看法。这位亚历山大城的学者，继承了希腊人的科学传统，他不但注意观察，还进行测量，在测量的基础上，再作进一步的推理，这样他发现了地球并非是半径不变的正球体，而是个椭圆球。更令人惊讶的事还在后面。他借助立体几何方法，算出了地球的圆周长，以及太阳和地球的距离。他算出的地球周长是 38700 公里，地球和太阳的距离是 1.48 亿公里。现代的科学测量表明，这两个数值是 40000 公里和 14970 万公里。若是把当时测量工具，和今天的巨大差别考虑进去的话，埃拉托色尼的结果达到这样的精确性，的确让人太吃惊了！

不过，认识到地球是球形是一回事，发现地球绕着太阳转而不是日、月、星辰全绕着地球转，是另外一回事。浑天说是地心说，埃拉托色尼眼中，也没把太阳作为地球等行星运动所环绕的中心。地心说是古代绝大多数学者的看法。试想如果我们生活在古代，每天看着日、月东升西没，星空随着夜晚时间的推移，而慢慢由东向西移动，绝然不会想到这是“相对运动”造成的错觉，而是理所当然地认为整个星空在绕着地球旋转。

一般人只是随便想想罢了，研究自然现象的学者则不然，总要从找出规律，甚至要建立一套数学法或几何图形来描述这些规律。亚历山大城的希帕克在公元前 130 年左右，建立了一套描述星体运动的方法；罗马的托勒密把这工作推进了一步，建立了完善的地心说模型。

需要说明的是托勒密的地心说体系，在中世纪被用来作为维护教会统治的工具，教会借助它迫害了布鲁诺、哥白尼等一些具有革新思想（指学术方面）的学者，于是在有些人心目中，托勒密成了个反面人物，这是不公平的。小孩子看电影总要问谁是好人，谁是坏人？京戏舞台上，一个角色画上曹操的那种脸谱，人们就知道这位准是奸臣。在科技文化这个大舞台上，可没有这样简单的判断，不能因为哥白尼的学说取代了托勒密的学说，就把托勒密列入科学界的“反面角色”名单之中。不然的话，科学史上的“反面角色”可就多如牛毛了，因为很多有名的学者，都犯过学术上的错误，他们的错误观点，往往会被人用来反对正确的观点。

为托勒密辩白，还需有正面的理由。他建立地心说，不是信口开河或主观臆测，恰恰相反，他学说的基础是观测的结果，应用的方法是科学的推理。他建立的地心说模型，在一定程度上反映了观察到的行星运动规律，能对星空分布的变化进行描述，从而对航海等应用领域有不少帮助。当然，托勒密的模型有致命的弱点，这弱点与观察法的局限性紧密相联，即单靠观察很难分辨现象与本质。虽然有“眼见为实”一说，但事实上眼睛看到的有时只是表面现象或事物的局部。中国有句成语“一叶障目，不识泰山”，比喻的就是视觉的局限性。上文说过，人类开始总以为大地是个平面，就是受了双目的蒙蔽；同样，只依赖双目所见，是无法得知世界的中心不是地球的。

此外，中世纪教会应用的宇宙模型，虽然很像托勒密的宇宙模型，却不同於他的模型。了解托勒密宇宙模型，最后演化为基督教神学的世界模型

的过程，会给人以教益，一个小小的歧路，有时会把人引向进得去却难走出来的误区。宇宙体系最外圈的第一个名称是亚里士多德起的。亚里士多德是个哲学家，他考虑各种星球是如何运动起来的。星球运动要有推动力，最外圈的天层所起的便是这推动作用，这“原动天”有点“神学”的味道，但亚里士多德并没有设置一个偶像，来完成这项“推动”任务。

第二个图象，是托勒密给出的。托勒密是数学家、天文学家，他不满足於只画出一些天层，在他的宇宙模型中，有关於行星运动的规模的数学模型，托勒密称这最外圈为最高天，这样，亚里士多德图象中的神学气息便一扫而光。

到了中世纪，教会把托勒密的最高天，变成上帝居住的地方，即天堂的所在。在这之后，有些神学家又演绎出更为离奇的图象，他们给每一重天，分派了一位天使。这些天使十分辛苦，日以继夜，不眠不休地推动着天轮，让自己主管的那重天转个不停。有天堂还需有地狱，地狱自然在地下。

这一奇特的宇宙图象，把我们引入科技文化史上一个极特殊的时期——中世纪。

一山放出一山拦 中世纪的科技文化

看了古代各文明古国科技文化的高超水平，再看看中世纪，会让人有些迷惑不解：为什么科技文化，会从古代的光辉巅峰，一下跌入中世纪的黑暗深渊之中？仔细想想，从常理而言，任何事物的发展不可能直线上升，总是会遇到曲折的。不是有这样一首古诗吗：

“莫言下山便无难，赚得行人空喜欢。

正入万山圈子里，一山放出一山拦。”

这诗形容的是山路之崎岖，往往会出现这样的情况，行人费尽千辛万苦，翻过一道高高的山梁，原以为下山后便会是一马平川，谁料情况并非如此。前一座山刚刚把这行人放出去，迎面又是一道山梁把他拦住。

在科技文化发展中，“一山放出一山拦”的情况是经常遇到的。这拦路之山，有时是人自己堆出来的，在开辟科技文化前进的道路时，开山人挖通了这条道，却又用这开山挖出的土，堆成另一座拦路之山。此外还不应忘记，科技文化只是人类文化的一部分，它不能独立于人类的其他文化而存在，它和人类社会的发展有着密切的联系。前文曾讲过，在外文中“文化”和农作物的栽培、动物的养殖用的是同一个词。栽培、养殖要有适合的生态环境，文化的发展也是如此，要有良好的社会条件。

以创造了光辉的古代文明的希腊人来说，他们所处的社会环境，可说是得天独厚的。的确，希腊当时是奴隶制社会，但它的政治制度和当时其他奴隶制国家大不相同。在希腊城邦，工商业经济占重要地位。希腊人建立了一个“民主制”国家，今天西方的“民主”一词，就源出希腊语。在公元前594年和前509年，希腊先后进行了两次改革，确立了公民会议为其最高权力机关，各个等级的公民都有权参加这最高权力的机关。第二次改革后，贵族势力进一步削弱。此后各个等级的公民都有权当选为执政官。由于平民有权参加各种活动，带来了文学、艺术、科学、教育各方面的繁荣。

公元前336年，亚历山大当了希腊和马其顿的统治者。这位亚历山大大帝很喜好征战，他的大军东至小亚细亚、中亚和印度，南至腓尼基、埃及，并在尼罗河三角洲上建立了亚历山大城。不过，亚历山大大帝，并非只知武治，他当年从学于亚里士多德，所以对文功也很重视，亚历山大远征时带着一批随军学者，亚历山大城则成了学者云集的地方，现在军中常有随军记者。他死后，他的将领托勒密（请注意，这是另一位托勒密）称王。这位武将也是亚里士多德的学生，同样注意文功，他在亚历山大城设立了国家博物院，名为博物院，实际上是学府和研究机构。学府分文学、数学、天文学、医学四部分，院设动物园、植物园、解剖室、图书馆。图书馆藏书数十万册，在博物院工作的学者，由王室供养，免去一切赋税。

应该说，这个时期的科技文化发展已是强弩之末，罗马科技文化著作大都是洋洋洒洒数十卷，但没有什么新的智慧火花。罗马帝国灭亡后，欧洲的科技文化进入了低谷。

科技文化繁荣，有使其繁荣的生态环境；同样，科技文化的衰落，也有其衰落的因由。这因由并非单一，既有金戈铁马的“武”事冲击，又有不动刀枪的“文”攻。

先看“武”事冲击。我们的地球半径6370公里，表面积约有5.1亿平方公里，陆地占29%，也就是1.5亿平方公里。在这样广阔的土地上，文化发

展很不平衡。文明古国大都在水畔；草原上生活的游牧民族，主要以放牧和狩猎为生，这种马背上的生活，使他们能征善战。能征战就要向外扩张，在4世纪末，日耳曼人中重要的一支哥特人，以铁蹄催毁了罗马帝国。此后，其他支系——法兰克人、盎格鲁人、撒克逊人等，也陆续入侵欧洲，越过莱茵河、奥得河、维斯杜拉河，翻过阿尔卑斯山、喀尔巴阡山、比利牛斯山……。亚洲则有匈奴和突厥人的武装骚扰，铁蹄到处，城市被毁，科技文化也遭劫难。

金戈铁马的军事冲击，是喋血的冲击，那尸横千里的场面当然很可怕，但这和“诛心”的文攻相比，可说是小巫见大巫。中国的开国之君，都懂得要马上“得”天下，但不能在马上“治”天下，欧洲的君主，也通晓这统治之术。早在著名的法兰克国家——查理大帝帝国（公元8世纪）建立时，查理大帝为了报答支持他登上帝位，曾把罗马城周围的一片土地送给教皇，从而奠定了教皇辖地的疆域。10世纪时，日耳曼封建主奥托一世，应教皇请求进军意大利，压服反对教廷的罗马贵族，当上了“神圣罗马帝国”皇帝，由教皇为他加冕，以示君权是神权授予的。

此后，为了扩大权势和增加财富，教会还发动了一次十字军东征。这种征杀掀起了宗教的狂热，也为教会垄断文化推波助澜。但这时已非古代蛮荒时期，人类已经积累了不少科技知识，谁也不能抹煞得了。不过，神学家毕竟不同于无知的善男信女，他们很善于把科技文化纳入神学的框架中，这些人中最著名的一位，当推托马斯·阿奎那（1220~1279）。

托马斯·阿奎那是一个相当博学的人，他编纂了一部巨著——《神学大全》，书中囊括了当时的许多科技成果，将它们纳入神学的轨道。前面讲的把亚里士多德的宇宙模式与上帝、天使相结合，就是他的杰作之一。亚里士多德是个哲学家，他相信宇宙是永恒的，这可背离了上帝创造一切的宗教经典理论，托马斯·阿奎那毫不犹豫地把它抛在一边。托马斯·阿奎那注意到动物间常有捕食与被捕食的关系，于是在神学大全中，又有了一个理论，即上帝创造猫，就是为了吃老鼠；而创造老鼠的目的，则是为了让猫儿吃。这类理论现在有个学名叫“目的论”。

阿奎那的著作中，的确错误百出，不过从科技文化的角度看，《神学大全》是学术著作，而不是江湖术士的信口雌黄，他把当时已有的种种自然知识，纳入这大全中，当然，凡与“神创论”有矛盾的内容不在其内；他的论述体系完整，重视逻辑推理，尽管要说明的内容是错误的。这可不是为阿奎那辩护，只是希望本书的读者，对科技文化史中的一桩桩公案，能以辩证唯物主义和历史唯物主义的态度进行分析，切忌“脸谱化”。至于后来宗教裁判所把阿奎那的理论作为精神枷锁，甚至以违反此书中的教条论罪，将人送上火刑柱，这些罪行更不是阿奎那一人能承担的了。

在阿奎那精心编纂《神学大全》的前后，欧洲还发生了一件大事——历时近200年的十字军东征。十字军东征前后八次，波兰作家显克微支的小说《十字军骑士》对其作了生动的描述。这次远征举的是上帝的旗帜，出征者的衣服上均标有十字，以标榜这是场圣战。实际上，这是场地地道道的侵略战争。但是这场以宗教、盲信为动力的不义之战，对科技文化的传播却产生了积极影响。

十字军东征开始时，西欧的科技文化已经衰退，远远落后于东方。此外，不少古希腊和古罗马的学术著作，在欧洲已失传，却在东方阿拉伯国家的文

献中保存了下来。阿拉伯国家因其地理位置的优势，在其学术文献中，还记载了东方（印度、中国、波斯、埃及）各国的学术成就。十字军东征，使欧洲文化成果复归欧洲，又把亚洲甚至非洲的文化成果传播到欧洲。这些成果中，中国的四大发明也在其列。

这一节的题目是“一山放出一山拦”，讲的是科技文化在发展中会受到重重阻碍，尽管如此，若把科技文化比作流水，就恰如宋词中写的“青山遮不住，毕竟东流去”。人们将会看到科技文化的长河，是怎样冲破青山的阻拦，滔滔向东流去的。

西方不亮东方亮 四大发明与其它

今天人们常讲的一句话是：“这世界变小了。”此处“这世界”指的是人类居住的地球。有人会说，地球在生成过程中，的确有个收缩期，可地壳生成后，特别是人类出现后，大小从来就是这个样子，哪里会变小呢？这么提问题的话，可真有点咬文嚼字了。世界变小不过是个比喻。在古代，人类的行动靠两条腿，后来虽有舟、车代步，但速度都不很快，因此一说“千里之行”，就代表了很长很长的距离，以致于有“儿行千里母担忧”之语。千里之行都要担着心，更不要说“出国”旅行、飘洋跨海了。感到世界大还有个原因，是缺乏快速的信息传播手段。现在的信息传递可以借助无线电波。这无线电波的传播速度和光速一样，每秒30万公里。古时陆上信息传递靠快马。就算有不知疲倦的千里马，日行千里，夜走八百，所经之路是一马平川，和无线电波传递信息的速度也有天壤之别。

有人会说，古时不也有以光速传递信息的网络吗？这话一点不假，烽火台就是这样的信息网络。但不要忘记，这种信息传播手段的传播速度虽快，可信息量太少了，只代表“军情紧急”这四个字。具体的军情，接收信息的人无法知晓。

说了半天，科技文化的发展和世界大小、信息传播有什么关系呢？只要稍加思索就会明白，其间的联系非常紧密。在信息相互隔绝的世界中，某个国家或地区的科技文化发展，只能依靠本地区的智力，各地区的科技文化成果很难相互交流；信息畅通的世界则不然，某个国家或地区的科技成果（军事机密除外），会很快传播四方，为全人类所共享。

世界“小”有其好处，也有其不利的一面。信息社会有时会使人盲目追逐时尚，缺乏独立思考能力。以中国的科技文化发展而言，在中古时期，因为与西方不通信息，未受罗马教廷的干扰，发展起具有中华民族特色的科技文化，为世界作出了巨大贡献。到了近代，情况发生了变化，闭关锁国造成信息不通，使中国学者对先进的西方科技文化知之甚少，乃至科技落后，国力衰弱，沦为西方列强的俎（zǔ）上肉，吃尽了苦头。

在西方科技文化步入黑暗时期之时，中国正在发展自己独具特色的科技文化。中华民族历来以勤劳著称，这勤劳的传统，有一部分与中华民族的生存条件有关。中国号称地大物博，但地虽大，却地形复杂，气候多变。总之，沃土的比例并不算大，而各种自然灾害却常来侵扰，于是“与天奋斗”成了中华民族的经常性任务。其结果是中华民族对科技文化中“务实”的那面，作出了巨大贡献；至于像希腊学者那样，进行深入的抽象思维，则不是中华学者的正宗传统。

如若不信，可以想想中国的古代神话和希腊神话的差异。希腊神话中虽有盗火的普罗米修斯，但浪漫的恋爱故事占了极大比重。中国神话的情况恰好倒了过来，与天奋斗的故事占了相当大的比重，“女娲补天”，“精卫填海”，“大禹治水”，“后羿射日”，“愚公移山”等等都是。就连神话中的“反面”角色，都有种不服天命的气概。共工与天帝争位，战败后不是自刎，而是怒触擎天的“不周山”，以至天塌地陷；刑天被天帝砍了头，还要以乳为目，以脐为口，手舞干戚。陶渊明的诗中有“刑天舞干戚，猛志固长在”之句，这种特点，反映在科技文化中，则是“务实”精神。

正是务实精神，使中国的科技文化，在中世纪时独占鳌头。其原因很简

单，在科技文化发展中，科学和技术是相辅相成的，科学发展推动技术进步；而技术进步为科学研究提供了新工具，同时又对其提出新的问题。

古代由于技术低下，古希腊学者靠的是“天才的直觉”（见恩格斯《自然辩证法》），直觉在科技文化中能起“创意”的作用。不过光有“创意”是不够的，正像艺术创作不能单靠“创意”巧妙一样，接下来需要把巧妙的创意，化作完整的艺术作品，这就需要“务实”了。科技发展中的务实，就是在一定的科学思想指导下，发展当时生产力条件下能实现的技术。这后者正是中华民族的长处。

直到今天，中华儿女，仍以我们祖先脚踏实地的务实精神结出的硕果——四大发明感到无比自豪！这四大发明（指南针、火药、造纸术、印刷术）对世界科技文化的发展起了承前启后的作用。

先看指南针，指南针是现代“罗盘”的鼻祖，由磁化物（天然磁石或人工磁化体）制成。众所周知，地球本身是一个大磁体，由于不同磁体的南极与北极有同性相斥、异性相吸的特点，可借助能自由转动的磁石指示方向。据历史记载，战国末期便有了用磁石制成的司南，不知是什么原因，中国古代的仪器大多制作得很美观，这司南的外形也颇具艺术性。它被磨成勺形，勺体是光滑的曲面，放在同样十分光滑的圆盘之上，由于勺体和圆盘间摩擦力非常小，勺体可以自由转动，并停在勺柄指南的位置上。

勺形司南虽能指方向，但毕竟过于笨重，不便携带，也就不大实用。到了宋代，便被指南针和指南鱼所替代。指南鱼是将磁体制成鱼形置于水面；指南针则制成针状，磁针中心是支点，可自由转动。后面这两样已跳出天然磁石的框框，由人工磁化而成，不仅轻便，其磁性也比天然磁石强了许多。

中国人不仅发明制作了指南针，还发现了指南针所指的方向，并不是地理上的正南正北，而是偏转一个不大的角度。沈括在他的《梦溪笔谈》一书中，指出了这种指南针不真正指南的现象。欧洲人后来也注意到此现象，但已是400年后的事了。

顺便说一句，古人发现磁偏角时，以为地球的磁场和指南针的磁场结构差不多，而当代科学发展表明并非如此，地球磁场的结构，远比磁针或棒形磁铁结构复杂。这里涉及许多专门知识，就不多说了。总之，在公元11世纪，中国人已经可以不依赖日、月、星辰，而靠指南针定向了。

顺便提一下，中国历史上还有过指南车。传说黄帝与蚩尤大战时，蚩尤曾用妖法作雾困住黄帝，最后黄帝借助指南车辨清方向，大败蚩尤。这里蚩尤作雾当然是神话，但古代有指南车倒是事实，不过据科技史家考证，这指南车借助的不是“地磁学”而是“力学”。在这种车上立着一个木偶，无论车向哪个方向行走，车上的机械装置，能让木偶维持原状，手指依旧指南方。

火药的发明权也属于中国。有趣的是，它的产生并不与科学研究有关，相反倒是人类求仙修道所得到的副产品。

众所周知，人总是要死去的。不过古时人由于相信鬼神，总希望能找出一种长生不老术，比如炼出某种仙丹，使人永远不死，炼丹家的目的就在于此。他们的目标可说是荒诞不经，可炼丹所应用的方法，却有几分科学性，即应用了科学实验方法。实验来，实验去，仙丹始终没炼出来，却找到了一些治病的药物。不仅如此，还发现其中的某些药物，即硝石、硫磺放在一起加热，很易起火，甚至引起爆炸。这种能引火的药物便称为“火药”。中国

的炼丹术对国外也有一定的影响，主要地区是中东地区，阿拉伯、波斯（现伊朗）等地。至今这两种语言中仍将当年炼丹的金属，称作“中国金属”。

欧洲的情况与东方不同，人们似乎更看重财富。希腊神话中曾讲述了一位贪财的国王，他向天神请求，令其手触到的一切物品全部化为黄金。这位国王为此吃尽了苦头，尽管他有了无尽的财富，但他无法饮食，饮料食物一触及他的嘴唇便成了不能入口的黄金。甚至当他伤心落泪时，他的泪珠也化作金珠挂在脸上。他苦恼万分，他的爱女想用亲吻来安慰他，却化作了一尊金像。故事的结尾是国王翻然悔悟，周围的一切恢复了正常。可这寓意深刻的传说，并未打消心怀贪欲者的黄金梦。与之相应，炼丹术传入欧洲后引起的不是炼丹热，而是炼金热。

炼丹求长生与炼金求财富均未实现，却为后世的化学的发展，积累了不少经验知识。在唐代，孙思邈这位炼丹家已掌握了火药的科学配方，后来火药的威力被军事家们发现和利用。宋辽战争期间，宋朝已有专门制作火药和利用火药的武器工场。公元12世纪，金兵南渡，兵至采石矶，宋将虞允文借助火箭霹雳炮，以寡胜众，大败金兵。《水浒传》中一百单八将行列里，有通晓火药制作技术的轰天雷凌振；《说岳全传》中也写了韩世忠用火炮抗金，不料天不作美，半空霹雳打将下来，炮筒两边炸开，以至因雷震三山口、炮炸两狼关，丢了关隘。

火药后来也传至阿拉伯，并经阿拉伯传入欧洲。

造纸技术的发展有个过程，最初与中国的蚕丝业有关。早在西汉年间，人们在制丝绵的过程中，发现丝绵取下后，铺丝绵的席上，还留下一层很薄的丝纤维，待到它被晒干，便成了薄薄的纸，纸从丝字旁便是这个原因。数百年后，在东汉内廷主管尚方（宫廷御用手工作坊）造纸的蔡伦，改进了造纸技术，用种种纤维质的废物，如破布、麻线头、树皮等等作为原料，物美价廉的纸张由此而生。

此后，造纸技术远传四方，先向东传，经朝鲜传到日本；后又西进，从中亚传至阿拉伯，最后又是由阿拉伯人将这技术带到欧洲。造纸技术的发展，使文化传承成为可能，但真正实现文化传承，光有纸张是不够的，还要成书，最早的书是手抄本。手抄效率低，又易出错和漏抄，以至讹传讹，错误不断增加。印刷的发展，解决了这一问题。

印刷术在科技文化发展中的作用非常重要。要知道，文化传播在相当长的历史时期内，主要依赖于这种技术所制造的成品——书籍和报刊，它使人类的创造能跨越时空进行交流，通过这种交流，科技文化才能承前启后，不断发展。

早在唐代（公元7世纪至8世纪），中国就发展起了雕版印刷，这种印刷和刻图章盖大印相似，只不过版面要大得多。最早的雕版印刷品既非文学作品，也非科技、历史典籍，而是各种佛经和佛像。后来为了便于重复使用，从雕版变成“活字”（即一字一版），活字的制作材料不断改进，由胶泥（宋代毕昇使用）到木制（元代王桢），到铜活字（朝鲜）。

中国的活字印刷后经伊朗传至欧洲，德国的谷腾堡受此影响，创造出了铅活字。由于西方文字以字母为单位，字母个数不过二三十个，活字印刷比较便易，谷腾堡（1400~1468）利用这种便易，制造出印刷机，使印刷走向机械化。

关于谷腾堡发明印刷机，有段很有趣的故事。

据说，一天谷腾堡在他的印刷机旁工作到深夜，将头靠在机架上半休息半思考。忽然他听到从铅字那里传来两个人的谈话声。一个声音温和亲切：“幸福的人，继续作这工作吧，书马上会多起来，穷人也买得起。智者和贤者的话语可以印成书本传遍世界，愚昧的时代即将结束，约翰·谷腾堡的名字，将传遍世界。”

接着他又听到一个严厉的声音向他发出警告：“约翰·谷腾堡，要注意他所作的事，他的发明很可能是坏事。书会很多而且便宜，但其中会有坏书和下流的语言，它们传到千家万户，会毒害人们的思想，激起邪念，产生祸害。”

这后一个声音，使谷腾堡激动了起来，他禁不住想抄起一把铁锤把印刷机砸碎。就在这时，他似乎听到印刷机在对他讲话：“不要鲁莽，谷腾堡！印刷术造福人类的力量，将比它作坏事的力量大1000倍。”

这段轶事，并未载于史册，只是个传说，但它有着深刻的喻意。科技发展产生的种种副作用，现代人已深有体会。以四大发明而言，火药在助人开矿、修路的同时，又可作杀人武器；印刷术可以印好书启发人心智，又可印坏书毒害人心灵；指南针能帮助科学家探险、发现新大陆，又能给侵略者引路、进行侵略……尽管如此，科技文化的发展毕竟推动了人类生产力的进步，使人类社会不断向前。历史确实证明，它作好事的力量要比作坏事的力量大1000倍。在这个意义上，毕昇，王楫，谷腾堡功盖千秋！

在结束这一节之前，应补叙几项中国在这时期作出的科技贡献。一项属于化工，即中国的陶瓷技术。在英语中，中国一词(China)又作瓷器讲，足见中国陶瓷制品的世界声誉；另一项则有农有工，是种茶制茶技术。俄语中的茶发音为“查依”，和北方方言中的茶字类似。蒙古语、土耳其语、波斯语、希腊语中的茶字发音也与之类似。英语中茶为tea，茶在德语、法语中的发音(thé)也与之相似。看来这似与茶不沾边，但实际不然，这来自闽南方言。还有一项是养蚕缫丝制绸。尽管早在公元前，中国的蚕桑业就很发达，并东传朝鲜、日本；在汉代已有了通往中亚和罗马的“丝绸之路”。但广泛发生影响则是在唐代。在英语中，丝与丝绸是silk，其他西方语言发音类似，均以“si”音打头，这也是中国人通过科技文化，对世界语言文化所作的一点贡献吧！

冲出黎明前的黑暗 科技文化“蒙难”与“复兴”

在进入这一年代前，请读者先读陈毅的《冬夜杂咏》诗，这是陈老总于1960年12月中国处于困难时期所写，前五首如下：

第一首 青松

大雪压青松，青松挺且直。
要知松高洁，待到雪化时。

第二首 红梅

隆冬到来时，百花迹已绝。
红梅不屈服，树树立风雪。

第三首 秋菊

秋菊能傲霜，风霜重重恶。
本性能耐寒，风霜其奈何。

第四首 幽兰

幽兰在山谷，本自无人识。
只因馨香重，求者遍山隅。

第五首 含羞草

有草名含羞，人岂能无耻？
鲁连不帝秦，田横刎颈死。

这末一首诗中的鲁连，是战国时齐国人，全名为鲁仲连。他性情豪爽，常为人排忧解难。在秦兵恃强凌弱时，一些弱国君主十分畏惧，要尊秦为帝，鲁仲连闻知挺身而出，阻止了这件事。田横也是齐国人，秦灭齐国后，他起兵抗秦失败，逃亡海岛，汉高祖命他到洛阳称臣，他不愿臣服，于赴洛阳途中自杀，他留在海岛的部下约三百人，闻田横死讯，全部自杀。陈毅借一些历史人物，以古喻今，又以松、梅、菊兰、含羞草等比喻人应有的气节。诗作浩气凛然、掷地有声。

文学中古为今用、以古喻今是常用的笔法，这里引陈老总的诗，则是反其道而行之，即来一个“今为古用”，这些诗中吟诵的对象正好表现了中世纪那些为寻找科学真理，不畏艰难险阻，献出一切、甚至生命的先驱。

许多从事科学研究的人，常以为自己能超然于世界之外。的确，科技文化的发展有其自身内在的动力，如理论内部存在矛盾，新发现的事实与已有的科学理论存在矛盾等等。但切不可忘记，科技文化的长河，是人类整个文化巨川的一条支流，支流的流淌，必然受到文化大川的约束，特别是在水流的转折处。在中世纪，对科技文化影响最大的是宗教文化。

先说明一下，这里说的宗教文化和善男信女的求神拜佛不是一码事，尽管后者也是宗教文化的一部分，却是浮在最外层的表面部分。事实上“一种占统治地位的宗教，同时也是一种社会制度、一种思想体系、一种生活方式，即一种广义的文化思想系统”（《比较宗教学》，陈荣富著）。中世纪的欧洲，国王要由教皇来加冕，以体现君权神授。王权都要由教会支持，其他就更不必说了。当时教会把科学视作危险的异端思想，哲学成了神学的婢女，而科学则不复存在。与此同时，盲信被当作德行。

早在公元4世纪前后，在古代科技文化中心之一——亚历山大里亚，就发生了两件骇人听闻的暴行。公元390年，亚历山大里亚图书馆的一个分馆，

被德奥菲罗斯主教关闭毁坏；公元 415 年，亚历山大里亚最后一个数学家、天文学家塞翁的女儿希帕西亚，被基督教暴徒残酷杀害，其主谋据说是基督教教长西里耳。

基督教初创时，原来是被压迫者的运动，曾代表了犹太人反迫害的要求。教徒们曾诅咒为富不仁，要求互相帮助、平等、博爱。自基督教成为世界性宗教，特别是罗马教廷成立后，发展成了宗教专制主义。为了维护教廷的特权，罗马教廷站到了科学（特别是会影响宗教统治的科学发现）的对立面。

在种种学问中，对教廷统治威胁最大的是下面两门科学——宇宙科学和生命科学。宇宙科学将危及宗教的宇宙观——地球中心论；生命科学将危及上帝创世并创万物的神话。一些惊心动魄的场面由此而生。

十字军东征（公元 11 世纪至 13 世纪），原本是为了扩大基督教教会的势力。十字军骑士的服装上，均有十字标记，表示他们为被钉死在十字架上的救世主——耶稣基督而战。这些骑士们万万没有想到，在他们高举十字军战旗血染疆场时，却把东方文化（包括中国的四大发明）传播到欧洲；许多用阿拉伯文保存下来的古希腊、罗马著作，也在这时传入西欧。

意大利商人，在十字军远征中获利，随之而来的是城市工商业的发展和经济的繁荣。工商业的发展使市民感到知识的重要，城市中学校逐渐出现，欧洲一些著名大学——牛津大学、巴黎大学等，都是在中世纪末期建立的。文学、艺术（绘画、雕塑等）也空前繁荣。读者稍稍思考一下，就能举出这个时期的文学巨著和艺术精品——但丁（1265～1325）的《神曲》、拉斐尔（1483～1520）的绘画、米开朗基罗（1475～1564）的雕塑、莎士比亚（1564～1616）的戏剧……

这个时期常被称为文艺复兴时期，因为它是从对古希腊文化的重新发现开始的。但严格地说，“文艺复兴”这个“词”，远远不能概括这个时期的丰富内涵。有位思想家对这个时代的特点作了准确而生动的描述，这人就是恩格斯。他在《自然辩证法》一书中这样写到：“这是一次人类从来没有经历过的最伟大的、进步的变革；是一个需要巨人而且产生了巨人——在思维能力、热情和性格方面，在多才多艺和学识渊博方面的巨人的时代。”达·芬奇（1452～1519）的出现就是明证。

达·芬奇在科学和艺术上的巨大成就世所共知，毋庸赘述。单是《最后的晚餐》和《蒙娜丽莎》这两幅绘画巨作，就足以使他名垂千古。但更加可贵的是在宗教统治一切的年代里，达·芬奇坚信自然界事物服从着客观规律，真理不在宗教之中，而在科学之中。对科学研究，他强调“实践”的重要性。他说：“如果某种科学，不是从实践中产生的，并且是清晰的、实验证明的，那么这种科学是毫无用处的和荒谬的。”

下面这段饶有趣味的活话，很能代表达·芬奇思想之活跃程度。他居然用物理学，对《圣经》中诺亚方舟的故事，提出如下质疑：

“这里有一个疑问，那就是关于诺亚时代的大洪水是否是遍及全世界的？根据我们现在将要给出的理由，看起来并不像是事实。从《圣经》中我们知道，所谓大洪水是世界范围内四十昼夜连续不停的大雨造成的，还说雨水超过世界最高的山脉千肘之高！”

讲到这里，达·芬奇的言外之意已很清楚。再大的雨下四十昼夜，也不可能造成这种结果。可达·芬奇并未停止在这里，他着重谈的是洪水的消失的不可能。原因之一，因为水已覆盖全球，无处可流；原因之二，水被阳光

的热量蒸发掉是不可能的，因为如果雨水已超过世界最高山脉珠穆朗玛峰的话，则水深起码是珠穆朗玛峰的高度，应是 8848 米。读者可以大致估算一下，是多大水量？要把这么多水蒸发掉（假设长期不下雨），需要多少时间？躲在方舟中的挪亚夫妇，能不能在有生之年等到水退这一天？这一论证严谨而饶有风趣，可谓大手笔！

这个年代，还有一个名称，即“冒险的时代”。参与这冒险的，首先是一批航海家。发现新大陆的哥伦布；作环球旅行，证明大地是球形的麦哲伦和伽马；也产生了在科技文化海洋中勇敢探险的思想家。所以称之为冒险，是因为其中有许多危险。航海会遇到大风大浪，黎明前是漫漫长夜的黑暗。冲破这风浪和黑暗，要有超凡的勇气，为此，则需要本节所描绘的那些花草树木的高尚情操与气节。至于黑暗势力的代表，则是教皇为首脑的宗教裁判所。

单是宗教裁判所本身，就足以写几本厚书，被宗教法庭视为异端分子，被判刑甚至处决的人的故事，则更不是这里短短的几页所能概括的。被宗教法庭视为异端判刑甚至处决的人物，可谓五花八门，各式各样，并不只有不同宗教见解者。这些人中，有杰出的科学家和思想家、民族英雄、上流社会的名人，还有无知的童蒙、耄耋之年的老者，乃至狂热的信徒——圣殿骑士团成员，甚至连死人，教廷也不放过，要没收其继承人的财产。惩罚的方式也多种多样；从带耻辱标始分许多等，公开鞭笞，坐班房（一般监禁、戴镣铐监禁、苦牢），服苦役，乃至死刑。最为奇特的是，这裁判所还审判过 200 年前的死人，其惩罚方法，是没收其继承人的财产。

带领法国人民抗击入侵英军的女民族英雄冉·达克（有译作贞德）便死於宗教裁判所的火刑柱上。具有讽刺意义的是这位朴实的奥尔良地区的牧羊女本是虔诚的基督徒，当法国遭受英军侵略的危机关头，她挺身而出。对祖国的热爱和虔诚的信仰，使她自信是受命于上帝，并亲率一万法军与英军作殊死战斗。战争中她无比英勇，身先士卒，大败英军於奥尔良城下，最后却被宗教裁判所判作女巫处以火刑，死时（1431 年 5 月）年仅 19 岁。

西班牙的宗教裁判所成立虽晚，但在—位叫托马斯·拉克马达总宗教裁判员主持下，18 年内，有 10200 人被烧死，6800 余人被处死或缺席判处象征性火刑，受凌辱、开除公职和解除名誉职务者 97000 余人。其结果毁灭了共 11 万个家庭，被株连者尚不在其内。

下面要讲的是两位名留青史的科学殉道者，布鲁诺和伽里略。事件的起因是哥白尼的“日心说”，哥白尼其人和他的日心说已为众所周知；托勒密本人是学者，地心说与日心说本应是学术争论，不料却成了宗教裁判所历史上一大公案，这再次说明科技文化不可能超然于世外。

哥白尼（1473～1543）颇具文艺复兴时代学者的特色，他原本博学多才，在意大利生活期间受达·芬奇影响，后又从古希腊罗马著作的地动说中受到启发。但他意识到若否定地动说，会遇到怎样的阻力。为此，他仔细观测天体运动，反复思考分析。花费“几乎四个九年的时间”（哥白尼自己的话语），一直到身卧病床，命在旦夕时，才决心出版自己的《天体运行论》。幸运的是在弥留之际，他终于看到了样书，含笑与世长辞。哥白尼以死亡逃脱了法庭的迫害，但宗教裁判所的暴行，落到他的后继者布鲁诺（1548～1600）和伽里略（1564～1642）身上。

布鲁诺原本是神甫，但他思想活跃，曾以文学作品形式对修士进行嘲讽，

称其为“猎狗”、“迷信贪婪的化身”、“伪善的体现”。他对哥白尼学说十分赞赏，称《天体运行论》是“丰碑式的著作”，“在青春初显的年代，震撼我们的心灵”。布鲁诺这“不安份”的神职人员逐渐引起了宗教裁判所的关注，为了躲避迫害，他逃出了修道院，四处飘泊，著书立说。最后却被一位威尼斯贵族出卖，1593年被引渡到罗马教廷，布鲁诺在黑牢中蹲了近4年。与此同时，罗马教廷四处搜罗他的“罪证”，并在布鲁诺的囚室中安插奸细。1596年，宗教法庭正式开庭，审讯团由八名在宗教裁判所身居高位的红衣主教组成。酷刑和铁窗生涯没有将布鲁诺压倒，他断然否认自己有罪，并说对自己的思想不应也不愿放弃，因为他看不到抛弃的理由。他极镇静地听完最后判决后，对裁判员们说：“你们宣读判决时，可能比我听到它时更胆战心惊吧！”

1600年2月17日，布鲁诺被押往刑场——罗马百花广场，这位科学殉道者说的最后一句话是：“我自愿作为一个蒙难者死去！”

值得一提的是，这位科学蒙难者，有着惊人的科学远见，他并不是停留在日心说上，他已看到“每个恒星和太阳一样，巨大而炽热。这些恒星也成为一个个中心，有行星环绕它旋转”。

宗教法庭原想通过杀害布鲁诺阻止科学的前进，结果却事与愿违，反使不少科学家对这一领域发生了兴趣。在众多研究者中，伽里略是其中杰出代表。

伽里略曾被称作近代的阿基米德，这个称呼恰当地描述了伽里略的研究风格——注意观察实验，手与脑并用。对此有许多例证，比如，伽里略通过观察灯的摆动，发现了摆动的等时性，为钟表发明制作奠定了基础；他通过小球在斜面上滚动的实验，发现了匀加速运动定律、惯性定律，为牛顿三定律打开了通道。1608年，对伽里略的研究是极重要的一年，他从朋友信中获知，一名荷兰眼镜商能利用眼镜片看到人视力不能达到的远处的景物，便又忙了起来，制出了世界上第一台天文望远镜。用今天标准看，伽里略的望远镜当然非常粗糙，放大率只是32倍，但就是用这望远镜，伽里略作出了一系列重要发现：太阳有黑子，月亮上有环形山，木星有卫星，银河由许多恒星组成等等。天文观测使伽里略成为哥白尼学说的信徒，并写了《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书。这本书的观点和基督教教义相抵触，并将影响教廷统治。终于在1633年，伽里略被召到罗马受审，强迫他签字悔过，并放弃哥白尼学说。当时伽里略已是69岁高龄，这位老人签了字，但据说在签字之后他自言自语地说：“可是地球还在转啊！”

伽里略是否说过这话，现已无从考证，但地球的确还在转。宗教裁判所能把“异端分子”送上火刑柱，却无法使地球停止运转，更不能阻挡科技文化向前发展！1642年伽里略与世长辞，而他的思想却留传后世。在他逝世前，1619年德国科学家开普勒（1571~1630）在丹麦天文学家第谷·布拉赫（1546~1601）观测的基础上，推出了行星运动的基本定律，至此日心说有了严格的观测依据和具体的物理模型。换句话说，从一种合理的“假设”，上升为物理定律。

这段历史的概貌，对相当多的读者来说并不陌生。作者之所以详尽地介绍其间的种种细节，是因为它在科技文化发展中具有典型性。从认识过程而言，日心说的建立，包括实验观察、提出假说、建立较严密的物理模型、再利用实验观察，进行检验这一完整的认知进程。从科学方法而言，这里有不

同模型的对比与选择，有借助同时代的物理定律（万有引力定律）进行定量计算，还有对未知事物的预测和证实（天王星、海王星、冥王星的发现）等等。

此外，学说被社会承认的过程，也很有典型意义。经历了“大雪压青松”的蒙难，“青松挺且直”的抗争，最后是“待到雪化时”的昭雪。值得回味的是伽里略受审近 300 年后，即 1928 年，罗马教皇才在公开集会上承认对伽里略的审判是错误的，但布鲁诺的著作却仍在教廷禁书之列。1948 年教规法典中又公布了一次禁书单，不仅布鲁诺的著作仍在其内，与之相伴还有一批哲学名著：卢梭、狄德罗、斯宾诺莎、爱尔维修、康德、缪勒等的著作以及雨果、斯汤达、海涅、密茨凯维支、福楼拜等著名作家的文学巨著。事实上那时这类禁令非但无效，相反，却起了比出版广告更有效的宣传作用，为这些作品吸引来更多的读者。终于在 1966 年，梵蒂冈宗教裁判所委员会本身在教会内部高级神职人员反对下被取消，从此，禁书目录也被判“死刑”，留给世人的是深刻的历史教训。

宗教裁判所对科学镇压的另一大案与生命科学有关，当事人是西班牙学者塞尔维特，他的专业为医学和化学。塞尔维特曾在巴黎大学与比利时教授维萨留斯一起工作。维萨留斯已注意到人体中血液的流动，塞尔维特更进了一步，认为血流是从右心室进入肺部，经过空气净化，又从肺部流入左心室。这个图象已相当接近现代已知的血液循环过程。

初看起来，血液循环现象和教会有什么冲突呢？原来血液循环现象使塞尔维特产生了下面的看法：生命的活力依赖于血液的流淌，人们常说的灵魂也与此相连，人一死亡，血液不再流动，依附于肉体的灵魂，自然随之而消亡。这一见解很明显与基督教所说的“灵魂永生”发生冲突，因此，他于 1553 年因异端罪被处以火刑。这又一次的“大雪压青松”仍然以冰消雪化而告终。维萨留斯血液循环的观点，被英王御医哈维继承发展。他还通过动物解剖和流量计算，对血液循环过程，进行了细微的研究，写出《动物心血运动的解剖研究》一书。后来马尔比基（1628 ~ 1694）和列文虎克（1632 ~ 1723）等科学家，在显微镜下观察到了动脉和静脉之间有毛细血管。至此，血液循环被科学证实，与之相关的新陈代谢过程，也得到系统研究，由此产生了一门新的学科——生理学。

以史为鉴 教训不应忘记

写到此，这一节已近尾声，在即将结束本节之前，必须回顾一下同时期的中国科技文化发展状况。在中国从未有什么宗教裁判所和与之相联的黑暗时期，但现代科学并未在四大发明的产生地中国萌芽。中国曾有过比西方同时期先进得多的机械——记里鼓车、指南车、水碓（duì）磨、连弩箭，却没有从中引发出现代力学；我国的药学、蚕桑业居世界之首，却未从中产生现代生物学；我国的《算经》中有许多精妙的算法，包括几何和高等代数中一些难题的具体解法，却未发展为系统的代数学和几何学；我国的天文仪器也曾居世界先列，郭守敬的简仪，比第谷的同类仪器早 300 多年，却未从这些仪器的观测中产生现代天文学……凡此种种，都十分令人深思。

现代科学为什么未在中国诞生，有许多原因，如封建制度下的重农轻工，以经学为本的科举制，所谓“天子重英豪，文章教儿曹”以及半封闭状态的保守社会等等。对此已有过很多专论，本书不必赘述，这里只想就科技文化在其萌发阶段的内部结构，与其后发展进化的联系，作点补充说明。通常人们把科学当作对自然规律的认识，却不大注意在这认识之上，还应有个形容词——“系统的”认识。在现代，多数学者已达到这样的共识：科学不是零散的知识，而是系统化的知识的总和。不仅如此，科学还应包括产生知识的“动态”过程。正由于科学的系统性和变化性，不同的知识系统的发展变化很不相同，有的有较强的生长能力，有的则不然。

西方科学继承了希腊传统，注意知识的体系化，包括将观察到的现象系统化，并纳入到某个理论模型中。这样的知识有很强的生长能力，一切新的事实均是它的生长素，或者使原有知识体系更加茁壮，或者打破原有的知识体系，代之以更优化的体系。无论是哪种情况，都会使科学前进。比如从托勒密的宇宙模型到哥白尼的宇宙模型，或是从认为“力”是物体运动的原因进化到把“力”看作是物体“加速”的原因，还有从欧氏几何到非欧的几何等。

中国古代的科技文化却不是这样，着重于实用和具体问题的解决，而很少注意到将知识体系化，只有《墨经》是罕见的例外，但也仅在春秋战国百家争鸣时期“红火”了一阵，成为显学。此后，罢黜百家独尊儒术，加上以八股文为基础的科举制度，使科技被视作末流。在这之后，在科学上作出成就的人，不是科场不得志，便是生逢乱世，以思考科技问题作为遁世的手段，就这样还常常遭人攻击。如沈括就被理学家朱熹诬蔑为“作人不堪好耳”。不过沈括也没有摆脱中国风格，他的《梦溪笔谈》纳入了大量观察事实，但并未系统化。几何学和代数学也有同样的问题，在具体问题的解法上有很高水平，却未形成系统的知识体系。系统化的过程，也是抽象出科学概念并建立概念间联系的过程，中国有许多算经，其算法均很精妙，但《墨经》中“圆，一中同长”、“平，同高”，这类具有抽象性的论断，可称是凤毛麟角。

以上这些缺欠，和汉字的文化特异性也有一定的联系。众所周知，汉字是世界上唯一一种不以字母为最小单位的文字系统。就连和汉语同属一语系的藏语，也只是因为藏语单音节词占多数，有声调、量词很多以及词序和虚词是表示语法的主要手段这些特点和汉语一致而已。实际上藏文也属于拼音文字，它有 34 个符号，其中 30 个是辅音，4 个是元音。

汉语有其优长，比如它造就了古代丰富的诗歌作品，汉字书法成为一种

独特的艺术形式，学习汉字有利于培养综合思维能力等等。但汉字的单位是字，字字有义，句法规则很不严密。前者不利于凭借符号进行抽象思维，后者不利于逻辑推理，而这两者都是现代科学发展所应用的重要方法。科技文化体系内部本来就存在缺欠，再加上外部社会条件的种种不利因素（诸如罢黜百家、独尊儒术、夜郎自大、封闭保守等等），中国的科技文化一步步从先进转向落后。

中国人发明了指南针，却没有利用它越洋探险，发现新大陆。徐福（公元前 219 年）奉秦始皇之命出海远航，目的是为了寻找长生不老的仙药；三保太监郑和（1371 ~ 1435）下西洋七次远航，主要是为扩大政治影响，和经济开发无关。中国人发明了造纸术、印刷术，并未利用它传播信息，普及文化。四大发明的另一项成果火药，曾用于军事，却未用于开矿、筑路。

西欧黑暗时期，西方不亮东方亮；现代科学如雨后春笋，在欧洲和美洲破土而出之时，中国的科技文化却停滞不前，乃至渐渐落伍。五四时代“科学救国”的口号固然不实际，但科技落后就要挨打已为中国历史所证明。科技成果最终会越过国界，为全人类所共享，但这要经历一个相当长的过程，而国家的兴旺、社会的进步与科技文化发展有着紧密的联系。前事不忘，后世之师，愿中华儿女永记这历史的教训。

四、大发现带来大变革

这是个大发现的时代，也是科技文化大变革的时代。科学工具的变革、科学思想的发展是这时代的特点。经典科学的许多基本学科在这时期建立，对变量的研究和计算方法的建立也在这个时代，这个时代科学思想的缺欠是把运动归为物质。

对时代的变革，每个人都有一些体会。不过人的生命是有限的，即使是高寿者，所经历的变化也不过是百年之内的风风雨雨。科学文化前进的道路很曲折，不少发现，从起步到成功经历的时期超过了人的寿命，对社会的影响也是如此。但有些文学作品，却借助想象力写出了这一变化。马克·吐温（美国著名作家）的小说《在亚瑟王朝的美国人》一书，就是其中的佼佼者。

这本小说讲述了一个离奇的故事，一个18世纪的美国人，不知怎地来到英国中世纪的亚瑟王朝，以现代科学知识于王朝中法力高强的巫士默林斗法。这位美国人并不是知识渊博的学者，而是个平民百姓，光是对日蚀的了解，就把默林弄得威风扫地。他安装了秘密发报机传递信息，出版报纸等等，使得亚瑟王手下的人折服。马克·吐温的写作手法本来就幽默，再加上现代科技发展和中世纪英国社会（国王、骑士、贵妇、巫士等上层社会组成及宫廷生活等等）的强烈对比，使这书更加妙趣横生。

当然，马克·吐温的创作意图决不是为了表现本章的主题——大发现带来大变革。他的笔锋部分指向现代社会和科学发展后产生的弊病。的确，科学发展是个两刃剑，大变革中的“变”不全是变好，也会演变出种种弊端，本章同样要给予评述。

马克·吐温设想的是现代人回到中世纪会如何，这里反过来设想一下，假如中世纪人，甚至更古老年代的学者，来到科学大发现的近代（且不说现代或当代），他们又会怎样呢？无比惊讶自不必说，还可能会困惑不解。

他们会遇到一大批科学新名词：速度、加速度、质量、动量、能量、波动、折射、反射、原子、分子、元素、细胞、乃至物种等等。即使是阿基米德或德莫克里特也会感叹，他们曾用过的名词和思考过的问题在后世有了多么惊人的推进；布鲁诺和塞尔维特则会为自己并非白白献出了生命而欣慰；至于墨翟和欧几里得会高兴地看到当代的几何学，乃至知识体系的结构，比他们原来所设想得更为复杂、更加多彩。

现在就让我们从古代学者的视角来观察一下，这大发现年代的研究思想、研究方法和研究条件有了哪些变化。

蜘蛛、蚂蚁、蜜蜂 新的工具

中国古语中，有这样一句话：“工欲善其事，必先利其器。”说得白一些就是：要想活干得好，首先得把工具磨锋利。这话中的“器”实实在在的工具，诸如木匠的斧子、锯子、刨子等等。这“利”可以广义，作便利合用讲，工具也可以将含义扩大，从仪器仪表、各种实验设备，一直到思维方法——具体的逻辑推理，乃至抽象的哲学探讨。

通常一讲哲学，就让人觉得挺玄的，事实上科技文化从来离不开某种哲学思想，不是借助“好”的哲学飞腾向前，就是受某种蹩脚哲学的束缚，成为“井底之蛙”。事实上为现代科学开路的不是科学家，而是哲学家，他的名字叫弗朗西斯·培根（1561~1626）。

早在13世纪，就出过一个培根——罗吉尔·培根（1214~1294），这位培根，曾在牛津大学就学和任教。他继承了希腊传统，并抨击当时统治学界的经院哲学。他把数学放在很高的地位，认为数学是研究的基础；与此同时，他十分重视观察和实验，认为这是证明真理的唯一方法。罗吉尔·培根自己也作过不少实验，观察光的反射、折射，并考虑它的实际应用；论述过应用火药制作兵器的可能性，甚至还幻想过自动的交通工具——地上跑的车，行驶在水上的船和在天上飞行的机器等等。罗吉尔·培根的探究并未和宗教直接发生冲突，还一度受到教皇克力门四世的支持。他的学术著作也是在这位教皇要求下写出来的。但在宗教裁判所气焰很盛的年代，依旧是“在劫难逃”。随着那位教皇的去世，罗吉尔·培根便失去了保护人，被教会监禁了近20年。

现在再看弗朗西斯·培根，他出身在贵族家庭，父亲是英国最著名的女王之一——伊丽莎白女王的掌玺大臣，母亲是语言专家和神学家，外祖父曾任英王爱德华六世的首席教师，可以想见培根家庭是怎样一种文化氛围。不过他18岁时父亲便去世，从此走上了曲折的人生之路。培根曾因负债而入狱，出狱后靠才华出众又得高升，作过法官，也掌过印玺。60岁时，有人指控他接受钱财，这原本是官场惯例，他却被关入伦敦塔中，但未过两天获释。就连培根的死，也很富戏剧性。当时培根已是65岁高龄，却仍在思考科学问题。他想知道是否能够通过冷冻防止肉类腐败，决定用实验来判断，于是买了只鸡，将其杀死，再把死鸡腹中塞满雪。他的实验是在伦敦去海格特的路上进行的，以至受了风寒一病不起。由于无法回家，他被送到一位朋友的家中，于1626年4月9日去世，其绝笔是：“这次实验……相当成功。”

培根的代表作是《新工具论》。“工具”二字是说科学思维方法是发展科学的工具，加个“新”字，表示这思想并非培根所创。2000年前，古希腊的亚里士多德就曾探讨过这个问题，并写了《工具论》一书，在这本书中，亚里士多德把形式逻辑当作探求知识的工具，并建立了一些基本概念与方法，如判断、演绎法、三段论等等。培根的《新工具论》的确有所发展。“演绎法”是从一般到特殊，《新工具论》中提出了“归纳法”，即如何从特殊到一般，培根制定了归纳法的系统步骤，并强调认识应以事实为依据，却又不应该停留在表面事实上，应该进行认真的观察或设计一些实验，将观察和实验的结果，进行分析、比较、整理、归纳，最后从事实上升到一般理论。

培根又是个散文家，就连他的科学作品也常以优美的随笔形式来阐述自己的观点。比如，为了说明“读书”与“求知”的关系，他写过一篇《谈读

书》的随笔。开笔便道：“读书足以怡情，足以博彩，足以长才。其怡情也，最见于独取幽居之时；其博彩也，最见于高谈阔论之中；其长才也，最见于处世判事之际。……读书补天然之不足，经验又补读书之不足，盖天生才干，犹如自然花草，读书然后知如何修剪移接；而书中所示，如不以经验范之，则又大而无当。

$$\begin{array}{c} 1+2+3+4+5 = \frac{(1+5)5}{2} \\ \Downarrow \\ 1+2+3+\cdots+n \\ = \frac{(1+n)n}{2} \end{array}$$

……读史使人明智，读诗使人灵秀，数学使人周密，科学使人深刻，伦理学使人庄重，逻辑修辞之学使人善辩；凡有所学，皆成性格……”（王佐良译）

虽然我们这里只能引译文，但读者已可体味到培根的风格；文采与睿智互增光辉。在论述科学认知所应用的方法时，他再一次显示了自己的文学才华，他巧妙地应用蜘蛛、蚂蚁和蜜蜂这三种昆虫作比方。这里的喻意非常深刻，比喻之物也很生动形象。

蜘蛛自己吐出长长的蛛丝，蚂蚁四处奔跑寻找现成的食物，搬回自己的巢穴，这都不是正确的求知之道。求知要像蜜蜂那样，先是辛勤劳作，往来奔忙采集花蜜，然后回到巢中，辛勤酿造，最后制出又香又甜的蜂蜜。

最值得一提的是培根对科学的提倡，他提出了一个响亮的口号——“知识就是力量”。而科学真正目标，是用新的发现和发明，使人类的生活得到改善。甚至英国皇家学会的成立也和培根有关，因为培根认为，应该把有科学才能的人组织起来，而他自己愿作一个摇铃人，把他们召唤在一起。

亚里士多德若从地下醒来，会对《新工具论》的出现而惊异，却不会因培根的强调点和他不不同而恼火；因为在追求知识的力量和寻找科学的工具这一点上，他和培根思想是共同的，所不同的是生活年代。

应该说，是资产阶级革命的历史环境造就了培根这样的学者，同样的原因，在法国产生了笛卡儿（1596~1650）这位杰出的哲学家和科学家。笛卡儿这名字，读者应不陌生，因为我们经常用的直角坐标系，就是笛卡儿创立的，因此又叫笛卡儿坐标系。

和培根一样，笛卡儿既是科学家（主攻数学），又是哲学家。在笛卡儿那里，宗教和科学间有了明确的界限，上帝则只是宇宙原动力的代名词。换句话说，上帝通过创世时所制定的规律来控制宇宙，当宇宙已被创造出来时，便成了一部依照规律（当时只知道力学规律）自行运转的机器，不再受神的干涉了。

现在，我们已看到近代科学方法论的两个源头，一个来自培根，强调实验和归纳法；另一来自笛卡儿，强调哲学和演绎法的作用。二者的汇合，产生了近代物理学、天文学、化学、生物学。这些学科的奠基人，诸如牛顿、哈维、林耐、波义耳早为人所共知。下面偏重介绍在研究工具与科学发现之间的紧密联系。

最典型例证是牛顿的发现。在有些科学史中，甚至用牛顿来标志一个时

代。如果说古代的学者常有目的论的倾向，牛顿则大大前进了一步，把“因果关系”引入科技文化领域，并在此基础上建立起经典物理学。

果真是苹果的功劳吗 牛顿力学与经典物理

关于牛顿的重要发现——万有引力——有个流传非常广的故事。据说在秋季的一天，牛顿坐在苹果树下思考问题，这时一个熟透的苹果突然从树上落下，掉在牛顿的身旁，“是什么使苹果掉了下来呢？”牛顿问自己。“因为苹果的蒂离开了树枝，这样苹果便不能再挂在树上了。”这是他的第一个答案。“不过，为什么苹果不向其它方向运动，而偏偏向下降落呢？”牛顿提出了新的问题，对此，他想了很久，终于发现了万有引力。

牛顿发现万有引力，曾受到“苹果落地”这一现象的启发，这大约是事实。但从苹果落地只能推出“地心吸力”，而不可能证明存在着“万有引力”，更无法总结出万有引力的定量特性。事实上，万有引力定律的提出运用了许多科学方法，它的基础是观测数据。在推理过程中，分析、综合直至归纳法，都起了不小的作用，最后又应用了数学这定量工具。

让我们还是沿着牛顿的思路走上一圈，亲身体味一下在科技文化发展中科学方法所起的巨大作用吧！

让我们来到牛顿时代，看看那时人们在力学等方面已经具有哪些知识。首先，日心说已为人公认，不仅如此，开普勒已在行星观测基础上，建立起著名的行星运动三定律。一是行星轨道是个椭圆形，太阳所在位置是这轨道椭圆的一个焦点。此即椭圆路径定律。二是行星和太阳中心的连线在相同的时间内扫过相等的面积。此即等面积定律。三是行星绕日运动一周的时间(T)的平方和行星轨道的半径(R)的立方成正比。此称谐和定律。

其次，伽里略已总结出了自由落体定律：自由下落的物体，其速度和速度变化均与物体的质量无关；下落的速度和下落时间成正比，下落的距离则与下落时间的平方成正比。伽里略还把自由落体的起始点推到月球的高度，推算出物体若从月球高度落下。（当然不会考虑空气阻力），需经3小时22分4秒方能落至地面。

但伽里略并未在这里止步。他又探讨了向水平方向抛出的物体在地球引力下运动的轨迹，以及这轨道与平抛速度之间的关系，也就是说，伽里略的思想中也有这样的看法：一个物体绕地球运动，是因为一方面受指向圆心的力的作用，另一方面又有切线方向的速度。

另一个启发来自笛卡儿的研究。早在1644年，笛卡儿在他的《哲学原理》一书中，就提出了“运动不灭原理”。他指出：“物质的运动有个固定量，这个量从来是既不增加，也不减少的，虽然在物质的某些部分中，有时会有所增减。就是这个缘故，当一部分物质，以二倍于另一部分物质的速度运动，而这另一部分物质，是前一部分物质的二倍时，我们应该认为，这两部分物质具有等量的运动，并且认为，每当一部分的运动减少时，另一部分的运动，就相应的增加。”这段话相当拗口，援引原文的译文，无非是让读者一睹先哲的当初表述。事实上，多读上几遍，即可看出这里讲的物质是“质量”的意思，而运动是“速度”的意思，全文表述的是动量($m \times v$)和动量守恒。

在前人这些发现的基础之上，牛顿开始了自己的工作。首先他从伽里略自由下落物体运动的这种特殊运动出发，提出“重力”的存在，并指出重力是“中心力”，即指向地心的力。不仅如此，由于一切自由落体（不计空气阻力）尽管其质量各不相同，所受重力大小亦不同，而下坠的时间（从同一高度）却相等。牛顿由此得出重力应与物体的质量成正比。

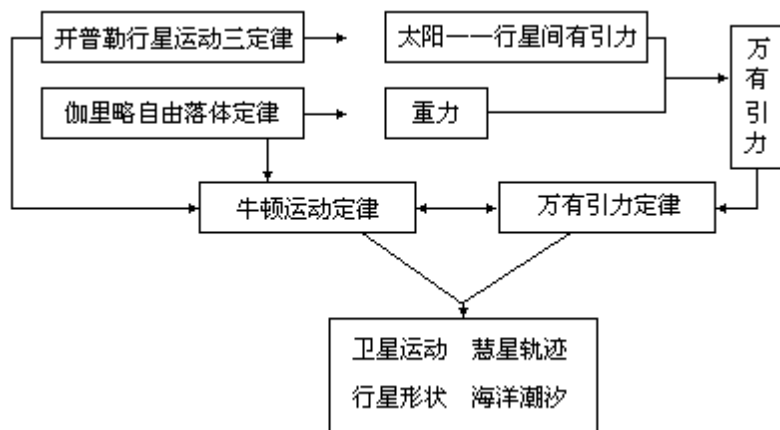


图 4—5 牛顿力学的建立

牛顿到此仍不满足，他从地心引力（即地球对重物有指向地心的吸引力）推断其它天体也具有这种吸引力。他看出解决这个问题的线索是太阳系的行星绕日运动，换句话说，他认为应从开普勒的行星运动三定律中，寻找运动和力的关系。

开普勒定律告诉人们，太阳在行星运动轨道椭圆的一个焦点上，这恰恰说明太阳与行星之间具有相互吸引之力。从不同行星的轨道，可以推出这个力与行星和太阳中心的距离的平方成反比；由这关系又可计算出运动周期。计算结果恰好符合开普勒第三定律。用数学表示，则是

万有引力 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，其中 m_1 、 m_2 是相互吸引的物体的质量， r 为二者之

距离， G 是引力常数，它是个很小的量，等于 6.6732×10^{-8} 厘米/克³·秒²。这是个很小的量，所以不用担心周围的物体会相互吸在一起，只在天体运动中才要考虑。

从牛顿的论证中，读者可以看出逻辑推理在科技文化发展中所起的重要作用。经验只能告诉我们一个个现象，是逻辑推理帮助我们把这一个个现象连系起来，上升为规律，使人类的认识向前推进。对此，牛顿本人是很清楚的，他在论证万有引力定律之前，首先建立了以下四个推理法则。

法则 1：除了那些真实的、且足以说明有关现象的原因之外，无须再去寻求这自然界事物的其它原因。

法则 2：为此，对于自然界中同一类之结果，应尽可能归之于同一种原因。

法则 3：物体的某种属性，凡既不能增强，也不能减弱者，又为实验所能及的范围内的一切物体所具有，应视为所有物体的普遍属性。

法则 4：在实验哲学中，必须把从各种现象中运用一般归纳而导出的命题，看作是完全正确的，或者是非常接近于正确的；即使可以想出与之相反的假说，但只要未出现足以使之更为正确的其它现象和出现例外之前，仍应如此对待。

牛顿正是应用一般归纳得出万有引力定律，又用演绎法，借助万有引力定律和运动定律，解释行星运动以外的现象：卫星（月球、土卫、木卫）运动、彗星运动、海洋潮汐等等。他还提出行星不是正球形，由于行星的自转，使行星有一点点“扁”，也就是说，极轴比赤道面的直径要小，这些都得到了观测的证实。在一个世纪后，万有引力被英国人卡文迪许（1731～1810）

用扭摆实验所证实。此外，万有引力定律又引导天文学家发现了海王星、冥王星。

至此，我们看到了牛顿发现的全过程，这是科技文化史的一个伟大里程碑。它或许起始于牛顿坐在苹果树下，但其后的过程比这开始要重要得多。

万丈高楼从地起 经典科学——数学与物理

牛顿代表了一个时代——现代经典科学奠基和发展的时代。这时代的成果，会使古人万分惊讶，却为当代人所熟知，因为它们已成为教科书中的基本内容。不过，熟悉它是一回事，理解它则是另外一回事。熟悉它，只需了解它的现状，要真正理解它，还需知道它发展的历史。本书开端，曾把科技文化比作一条长河，这长河是由人类认知的涓涓细流汇集而成；这节的题目又把经典科学比作一座大厦，大厦是知识的一砖一瓦垒砌而成。只有知道涓涓细流如何汇成长河，才能真正了解这条长河；同样，只有知道一砖一瓦的垒砌过程，才会深入了解这座大厦。而了解了这些之后，我们便会懂得大发现如何和大变革连在了一起。

经典科学内容丰富，这节中讲的是数、理、化。先看物理学，经典物理学的基础之一是经典力学，也称牛顿力学。牛顿在探讨万有引力定律的同时，也为经典力学大厦奠定了三块基石——牛顿力学三定律。这三个定律想必读者们背得出来，但是，是不是理解它的历史作用了呢？或者说理解它在现代科学大厦建立中所起的作用呢？恐怕未必，现在就让我们来看看这些作用吧！

牛顿第一定律和第二定律，讲的是力和运动的关系，古代学者早已看到力与运动之间有密切的联系，不过，由于当时各种工具均很简陋，人们所看到的情况是要让物体动起来就得使力气。换句话说，人们很自然地认为力是物体运动的原因。研究墨子的人，常引用《墨经》中“力，刑（形的异体字）之所以奋也”一句，将“奋”字解释成“加速度”，从而认为《墨经》中早已有了牛顿第二定律。《墨经》一书的确是中华儿女的骄傲，但把这句话与牛顿第二定律之间划等号，恐怕有点武断。因为“奋”字，至多能解释为“动起来”，和不断地获得“加速度”是两码事。

牛顿提出他的三大力学定律，是经过深入的思考、分析的。他通过观察、实验（包括前人，如伽里略的有关实验，认识到力和运动之间究竟有什么关系），并应用科学的语言，对这种关系（包括其量值间的关系）进行了描述。牛顿第三定律，还指出力是一种相互作用，作用力和反作用力同时存在。

牛顿的发现，意义十分重大。力学的发展，不仅帮助人类认识太阳系行星、卫星运动变化，以及潮汐运动等自然现象，还推动了人类的技术进步。牛顿逝世后不久，英国开始进行工业革命，其主要表现是蒸汽机的使用。蒸汽机是热机，牛顿并未对它的发明作出直接贡献，但从科技文化发展的长河看，它是牛顿智慧之流的延续。当100多年后，瓦特（1642~1727）从观察水蒸汽冲起壶盖中得到启发，最后发明蒸汽机时，他首先探讨的不也是某个表面现象背后的原因吗？只不过瓦特更注意的是“应用”的一面罢了。蒸汽机是英国工业革命的主角，工业革命意义的深远众所周知，可见科技所具有的巨大力量。从牛顿力学到工业革命，体现了科技文化深远影响的外在的一面；更重要的是其内在的一面，即牛顿力学对科学思想的深刻影响——推动人们去注意在种种现象背后所隐含的原因，换句话说，去寻找种种因果关系。

寻找因果关系，在某种程度上继承了古希腊的科技文化传统，但又超越了它，将这传统推陈出新。从前面的章节中读者已知道，希腊学者已注意到应寻找自然现象背后的原因，但他们比较注意所谓“目的因”。这在某种程度上，阻碍人们进一步探讨隐藏在表面现象背后的“动因”。从“目的论”

到“因果论”是科技文化的一大飞跃；但后来的科技文化发展证明，因果论也有其局限性，因为这只承认“必然性”，而世间一切事物，无不表现出必然性和偶然性的对立统一。恩格斯在他的《自然辩证法》一书中，借助“一个豌豆荚中会有几粒豌豆”这件事，作了生动的论证。恩格斯指出，要是否定偶然性的话，那么必然会产生下面的结果。

“这一个豌豆荚中，有五粒豌豆，而不是四粒或六粒；这条狗的尾巴，是五英寸长，不长一丝一毫，也不短一丝一毫；这一朵苜蓿花，今年已由蜜蜂授粉，而那一朵却没有，而且这一朵还是由这只特定的蜜蜂，在这一特定的时间内授粉的；这一粒特定的被风吹来的蒲公英种子发了芽，而那一粒却没有；今天早上4点钟一只跳蚤咬了我一口，而不是3点钟或5点钟，而且是咬在右肩上，而不是咬在左腿上——这一切都是由一种不可变动的因果连锁，由一种坚定不移的必然性所引起的事实，而且产生太阳系的气团早就构造得使这些事情只能这样发生，而不能按另外的方式发生。”

有点普通常识的人，一看便会知道上面的情况是荒谬的。恩格斯则一针见血地指出：“承认这种必然性，我们也还是没有从神学的自然观走出来。”这样“偶然性在这里并没有从必然性得到说明，而倒是把必然性降低为纯粹偶然的事物”，而且“在必然的联系失效的地方，科学便完结了”，最后只能归结为“上帝的永恒的意旨”或者是“天数”。

在牛顿力学奠基之时，近代化学也开始萌芽。化学现象比机械运动更为复杂，所以尽管人类早已应用化学方法发展炼丹术、炼金术，会制造陶瓷，会冶铁炼铜，也会制造药物，但在17世纪时，化学这门科学仍处在“孕育”阶段。对化学的孕育作出巨大贡献的人，首先要推波义耳。波义耳（1627～1691）这个名字读者大半很熟悉，但通常是从气体温压密关系的定律与他相识的。在固定温度条件下，一定质量的气体的压力和其体积成反比，这一重要定律就是波义耳发现的，并以他的名字命名。他作过不少物理实验和化学实验，对化学的贡献比对物理的贡献更大，甚至可以称他是近代化学科学的奠基人之一。

在波义耳生活的年代，古希腊的四元素说，依然流行于欧洲，即认为水、土、火、气是构成物质本原的四个元素。此外还有种观点，认为物质的本质应该从盐、硫、汞等“原质”或者“要素”中寻找。波义耳独具慧眼，对这些看法进行了分析。他写了本书，名为《怀疑派化学家》，给化学元素下了一个比较精确的科学定义：“元素应是那些不由其它物质所组构而成的、原始的和简单的物质，或完全纯净的物质。”又说“它们应该是无法用化学方法进行再分解使之更加简单的物质”。这个定义与现代的元素概念相当接近，不过由于当时的化学实验方法还很有限，波义耳无法确定哪些物质是元素，哪些不是。比如他仍认为水、火和空气是元素，把火看成是实在之物，是具有重量的微粒。燃烧过程是火的微粒散失到空气中的过程，于是只留下灰烬；金属加热气化的过程相反，是吸收了火的微粒。

把运动归为物质是这时代的特点。燃烧是火的微粒——燃素的散失，热的传递则是“热质”的流动；光是微小的物质粒子，或者是以太（Ether，一种假想的无所不在、无质量、绝对静止的物质）的波动。从今人看来，这是机械论，但从科技文化的发展进程看，这是一大进步，它体现了科学正从哲学中独立出来，在寻找自己的立脚点和前进道路。

科学的独立，不能只靠推理，还必须探讨各种数量关系，这就需要发展

新的数学概念和数学工具。古代数学家至多研究到随序数变化的量——数列（又称级数），比如等比数列、等差数列等等。近代科学的发展，却需要描述连续变化的函数及其变化率，比如研究物体的运动，要讨论速度（位置的变化率）和加速度（速度的变化率）；研究波动，要讨论波动的传播等等。为此，牛顿和莱布尼兹（1646~1716）先后提出了“微分”（牛顿称为流分）的概念，并各自设计了相应的运算符号。数学的特点是有正运算就有反运算，比如有加便有减，有乘便有除，有乘方便有开方……所以有了微分工具后，又发展了它的反运算工具“积分”。很多量的变化有多个因子在起作用，于是又有了多变量的运算：偏微分、重积分。描述力和运动这类物理现象，不光要描述它的大小，还要研究它的变化，这样又提出了矢量（或称向量）的概念，以及矢量的合成法则（平行四边形法则）等等。

谈到研究变量，牛顿和莱布尼兹间还有段扯不清的公案，即究竟谁是微分运算的鼻祖。事实上，在近代科学的发展中，这类公案有多起，有时甚至产生了些不愉快的事，这其中有不少人为因素。其实，某种现象在同一时期由互不相识的学者所发现是很自然的事。中国有句成语叫“水到渠成”。它正好可以说明这种现象。科学发现是科技文化长河“水到渠成”的结果，牛顿和莱布尼兹提出微分概念也是如此。当时科技文化长河的流淌使其一切条件皆已具备，只待有识之士将水引到渠中，牛顿和莱布尼兹便是这方面的有识之士。

为有源头活水来 经典科学——地学与生命科学

人类生活在地球上，地球自然是科学家所关注的对象。人类是地球上最高等的生物——智能生物，生命的奥秘对研究者来说，也极富吸引力。

谈到生命科学大厦的奠基，有位科学家必须提及，这就是瑞典科学家林耐（1707~1778）。在科学家群体中，林耐可算个幸运儿。他虽出身贫寒，父亲是个穷牧师，但他的学习机遇很不错，不断遇到好老师。

在中学里，他遇到了多特曼老师。多特曼发现林耐勤奋好学，喜欢采集植物标本，便让他住到自己家中，对他的学业进行专门辅导。

由于学习成绩优秀，林耐进入了瑞典的著名大学，乌普萨拉大学，又受到了医学教授路德比克的赏识，大学期间就曾代替这位教授讲授植物学。25岁时，他由大学资助，到瑞典北部拉普兰地区进行考察，收集各种植物标本。在荷兰进修医学时，很快便脱颖而出，他的《自然系统》一文由格乌博士资助出版，后又受布尔曼博士之聘，经营植物园，使他有了很好的研究条件。他确实不负众望，研究工作硕果累累，不久便功成名就。1738年，林耐重返瑞典，被选为斯德哥尔摩科学院院长，1740年他被母校乌普萨拉大学所聘，成为该校教授。

林耐的确机遇不坏，但更重要的是他的勤奋。比如他在瑞典拉普兰地区考察时，不畏辛劳旅行近3000公里，收集的新植物达百余种，并编写成《拉普兰植物志》。这些考察工作使林耐眼界大开，他下决心要把植物的知识总结、归纳和系统化，换句话说，在看起来一片混乱的生物界，建立起秩序。他认为要作到这点，首先要对生物进行分类。

林耐首先对植物进行分类，分类的层次是纲、目、属、种。这与现代分类法已很接近，只不过未将“纲”归入“门”，“目”和“属”之间少一层“科”。后来他又对动物分了类，共分六大类：四足类、鸟类、两栖类、鱼类、昆虫类、蠕虫类。显然这种分类过于人为，但仍不失为一种科学的探索。

从科学方法来说，根据研究对象的特征将其归类，是认识对象的重要一步。不过显然这里有件两头为难的事，科学上称作“两难命题”。要使分类合理，自然应抓住各种类别的本质特性；但是连应该如何分类都不了解，又怎样知道那些特点代表某一类的基本特征呢？所以在实践中，分类往往是逐步完成的，林耐的分类法是一次极有意义的尝试。在林耐之前，曾有人提出以生殖器的特点作为分类标准，林耐继承了这个方法，把植物分成了24个纲，在他的《植物种志》中有5938种植物纳入了他的体系。

林耐的分类法除了“人为性”太强这一弱点外，还忽略了物种之间的相互联系。事实上林耐认为造物主开始创造了多少物种，现在就存在多少物种，亦即“物种不变”。以机械观看待自然现象，是这个时代科技文化的共性。用恩格斯的话来说就是“这时代的自然科学在知识上，甚至在材料的整理上，高过了希腊时代，但是，它在理论地掌握这些材料上，在一般的自然观上，却低于希腊时代”。

这个时代，对生命科学作出贡献的，还有几位值得一提的人物。一位是英国人，名叫哈维，他曾为英王詹姆斯一世的御医。这位忠于王室的政治保守派，在科学上却是个“革命派”。前面曾讲过塞尔维特为研究血液循环被宗教裁判所送上了火刑柱，哈维则把塞尔维特的思想向前推进了一步。他不仅彻底清除了盖仑学说的影响，确立了血液循环论，在研究中，还应用了科

学实验方法——解剖。他先后解剖了 80 多种动物，并采取水力学方法估算血液流量。他通过计算证明，血液流量和人类全身的血液量是相同的，而这个结果只能由血液在人体中往复循环来得到满意的解释。后来，意大利医学家、解剖学家马尔比基（1628～1694）和荷兰显微镜专家列文虎克通过显微镜观察到动、静脉间有毛细血管存在，最后证实了血液循环论。

研究地球上的生命，当然离不开对地球自身的研究，但这一研究显然难度很大。事实上人类对星空的研究比对大地的研究早得多，有关的研究论文数量也大得多。古希腊喜剧作家阿里斯多芬曾把这现象作为一个笑料写入自己的作品，他描写一位科学家，一个劲往天上看，却未发现脚下有洞，竟跌了下去。

近代科技文化的发展，同样从研究“天”——宇宙开始，不过，由于认识到地球本身是宇宙中太阳系的一个行星，加上工业发展对矿物原料需要大大增加，对“地”的研究渐渐多了起来。前面讲过科学史中，有人把文艺复兴时期称作“冒险的时代”，从对地球研究的角度看，17 世纪和 18 世纪，特别是 18 世纪，倒真应称作“冒险的时代”。在这个时期，出现了不少与航海、探险相连的文学作品，如笛福的《鲁滨逊漂流记》、斯威福特的《格列佛游记》等。在真实世界中，库克船长（1728～1778）被英国皇家学会派往南太平洋去进行天文观测——观测金星凌日，他航行路线已十分接近南极洲。

探险家们当然不会单为猎奇而冒险远航，他们的探险大半与探矿、收集化石，以及对地球的构造与生成的研究连在一起，英国地质学家赫顿（1726～1797）曾提出“火成说”，认为地表的岩石是由于地壳内部岩浆通过火山爆发喷出冷却后形成；德国地质学家维尔纳（1750～1817）则建立了水成说学派，认为地球早期为原始海洋所淹没，岩层由结晶和沉积或沉淀形成后来英国地质学家史密斯（1769～1839）在赫顿研究基础上，用化石对岩层的形成年代进行分类。如今地层学已成为历史地质学（简称地史学）的一个重要分支。

在地层学的建立中，还有一段不大不小的插曲。有的读者或许知道在不同的地层中动植物的化石是不同的。比如在寒武纪（5 亿多年前）看到的化石主要是无脊椎动物，如三叶虫、低等腕足类动物等，还有藻类；四亿多年前的志留纪则出现了笔石、珊瑚；侏罗纪时（1 亿多年前），恐龙十分活跃，出现了裸子植物银杏等，有了原始鸟；哺乳类出现在新生代第二纪，即 6000 多万年前，人类出现于地质历史的最后一纪——第四纪，距今 250 万年。

居维叶把这种不连续性和地球历史上的巨大灾变联系起来。地球历史上的确有过数次激烈变化，这是地层学的基础。但居维叶从这真理向前迈出了一步，把最后一次灾变硬是定在 6000 年前，为了和圣经上洪水和挪亚方舟的故事对上口径，这故事说，6000 年前，上帝降洪水惩罚人类，只有敬神的挪亚预先得到上帝的启示，造了方舟躲避洪水以脱此难。现在的生命均是方舟中的幸存者。这一来，真理成了谬误。这事实再次表明，宗教文化对科技文化的影响。

和居维叶灾变论相对的是均变说，但这一理论的成熟，已是 19 世纪的事了。

五、大发展带来大变革

这是动力革命的时代，这是社会革命的时代、思想变革的时代。理想模型方法在这时代确立，许多经典定律都产生于这个时代，这个时代充分显示了科技的巨大力量。

科学发展当然不会依照公历纪年来划分其阶段。事实上，从科技文化的角度看，17世纪起，直至19世纪和20世纪之交，大体上属于同一阶段。现代的经典科学数学、物理、化学、天文学、地球科学、生命科学在这一期间形成体系。科学发现推动了技术进步，现代生活离不开的电灯、电话、电报以及汽车、火车、轮船等交通工具，也都出自这个时代。前面讲的马克·吐温小说中那位亚瑟王朝的美国人，曾在王朝所辖地区开设了电信局，他和巫士默林斗法，所靠的多半是这类现代信息工具。

这一大变革并不始于实验室，而是始于工厂，它的带头人有不少是匠人或技师，这些事实应在意料之中。而本书叫作趣味“科技”文化，就是想说明科学与技术密不可分，在特定的历史阶段，本章中所讲述的年代更是如此。它正像恩格斯的《自然辩证法》（167页）所说的那样：“如果说，在中世纪的黑夜之后，科学以意想不到的力量一下子重新兴起，并且以神奇的速度发展起来，那么，我们要再次把这个奇迹归功于生产。”

开水壶中的秘密 工业革命与科技革命

现在让我们看看历史事实吧！众所周知，工业革命从应用蒸汽机开始。蒸汽机发明之前，有一系列的技术革新，主要发生在当时最发达的工业——纺织业，有关革新者和发明家都是工匠。纺织机械革新的前奏是织布飞梭的发明（1733年），发明者是钟表匠凯佳。接着是用一个轮子带动多个纱锭的珍妮纺织机的出现（1764年），发明者是纺织工人哈格里沃斯，珍妮是这位匠人的爱女之名。改进纺纱机技术的也是匠人，一位是钟表匠阿克莱（1769年），另一位是纺纱工克伦普顿（1779年）。

纺织机的革新是工业革命的序曲，蒸汽机的发明才是主旋律，因为无论什么机器都要有原动力，蒸汽机的使用，使机械获得前所未有的驱动力。把蒸汽机推向可应用阶段的人——詹姆斯·瓦特（1736~1819）是个工人出身的工程师。

和牛顿发现地心引力一样，关于瓦特发明蒸机也有个流传很广的故事，这故事发生在瓦特的孩提时代。

瓦特从小就对周围的事物很感兴趣，他心中总是充满着种种疑问，想找出它们的答案。有一次他坐在祖母的厨房里，看着壁炉中燃烧着的火焰，忍不住问道：“奶奶，是什么东西让火着起来呢？”和以前一样，他的问题让祖母无法回答，所以祖母并不答理他。

这时，悬在火上的茶壶里的水沸腾了起来，壶嘴中突突地冒出了水蒸气，壶盖被冲得格格作响。瓦特觉得非常奇怪，他弯下身来，一个劲地往壶盖下看，可什么也没看见，只有水在翻滚。他忍不住又向奶奶发问了。

“奶奶，壶里有什么呀？”瓦特说。奶奶告诉他，壶里只有水，可瓦特不相信，他分明看见壶盖在动。他又问奶奶：“怎么会呢？我觉得这里有别的东西把壶盖顶了起来，让它格格拉拉直响。”奶奶笑了起来说：“那是水蒸气，你瞧，它从壶底下喷出来，然后从壶嘴冒出去。”“可你不是说壶里没有别的东西吗？那水蒸气又是从哪里出来的呢？”奶奶让小瓦特给难住了，她只好含糊地说：“它是从热水里冒出来的。”小瓦特打开壶盖看了又看，除了看见水在冒泡外，的确别的什么也找不着，就连蒸气也只有在水面才能看见。他看看水壶，水壶并不大，奶奶告诉他这里的水一公斤都不到。

瓦特惊讶地想：“要是这么点水产生的水蒸气力量就如此大，那好多水产生的水蒸气力量会大得多。为什么不用它来干事情呢？比如，用它推动车子。”他把这问题向奶奶提了出来，奶奶当然听不懂小瓦特的问题，甚至觉得这孩子的话奇奇怪怪没什么用处，只是让人纳闷和为难罢了。可瓦特却把这童年往事牢记在心底，长大成人后，他又把这蒸气的力量和机器动力联在了一起。就这样，从研究一把开水壶中的现象开始，引出了一系列的有用的发明。

当然，蒸汽机的发明，并不那么简单，从意识到蒸气的巨大力量，到真正把蒸气作为机器动力经历了相当长的一段过程。不过，的确是瓦特把蒸汽机推进到可以实际应用的阶段，并取得了蒸汽机冷凝器的专利权，这时他已经33岁了。

和任何新事物一样，早期的蒸汽机车的情况并不美妙。这辆由法国人居尼奥（一位炮兵军官）于1769年研制的蒸汽机车烧的是煤，走起来冒着浓浓的黑烟，喘着粗气，速度和马车差不了多少。一直到19世纪20年代，经过

斯蒂芬逊（1781~1848）的改进，才把蒸汽机车推向实用。所以通常人们说火车是斯蒂芬逊发明的。

蒸汽机能推动车当然也能推动船。蒸汽轮船的出现，事实上比火车还早。在瓦特发明蒸汽机后不久，在1787年，美国一位发明家菲奇就造了一艘汽轮，可惜的是这位发明家把这发明用到了投机生意上。投机失败，发明家也默默无闻地死去，为后人所知的是美国工程师富尔顿（1765~1815）的名字。

上述种种事实说明，蒸汽机可说是继发现用火后，人类在驯服自然力方面所取得的最大胜利。有趣的是，它同样与火联在了一起，只不过现在不是直接应用火，而是把火产生的热化为了动力，从而激发了一场动力革命。参与这革命的不光是蒸汽机，还有内燃机。这场动力革命的结果，则是工业革命，这一切充分体现出科学发现和技术进步、生产力发展之间的密切关系。也正是在这个意义上，马克思、恩格斯都把科学作为一种生产力。比如马克思在《机器，自然力和科学的应用》（人民出版社1978年版，第206页）一文中说，在这个时期资本主义生产方式“第一次使自然科学为直接的生产过程服务”，而科学变成了“直接的生产力”。

上面这段话，还说明科学革命和社会革命紧密相联。工业革命时期，资产阶级革命席卷了欧洲和美洲。有趣的是，这时代不少革命思想家和科技结下了不解之缘。早在18世纪，启蒙运动的代表诸如法国的伏尔泰（1694~1778）和狄德罗（1713~1784）就十分关心科技文化。伏尔泰是牛顿思想的热情宣传者，狄德罗则是法国百科全书派的代表，又是《百科全书》的主编，这《百科全书》共35卷，集当时科学知识之大全。

18世纪至19世纪在法国革命政府中任军政要职的也有不少是学术成就显著的科学家人士。比如，法国著名数学家拉格朗日（1736~1813），数学家、力学家兼天文学家拉普拉斯（1749~1827）和画法几何创立者蒙日（1746~1818）都曾参加法国政府组织的专门委员会，完成统一度量衡的工作。当代国际通用的度量衡制，就是这个委员会制定的。拉普拉斯曾在拿破仑政府中当财政部长，蒙日则任海军大臣，还曾随拿破仑到过埃及，在那里创立了开罗研究院，这研究院依照的是法兰西研究院的模式。

这里有一段插曲，在法国大革命的特殊时期——1793年前后，亦即雨果的小说《九三年》所描述的时代，革命政府曾把著名化学家拉瓦锡（1743~1794）以及巴伊（1736~1793）和库辛送上了断头台；孔多塞侯爵（哲学家、数学家1743~1794）被迫自杀，并且将科学院关闭。但不久革命政府就意识到科学的重要。1795年科学院重开，纳入了法兰西学院。革命推动了社会，社会发展进程又推动了科学教育的发展。法国等西欧国家的高等学校中，科学课程大大加强。

这里值得一提的是，法国大革命时代的风云人物——拿破仑。拿破仑的历史功过，自有历史学家们评说。在拿破仑执政期间，法国科学迅速发展，步入世界前列，在某些方面超过了英国，这是历史事实；科学家在政府中任要职，发生在拿破仑时代；是拿破仑建立了法国的科学奖制度，以鼓励发明创造；法国的教育制度改革也与拿破仑有关；后面要讲的法国科学家，不少便出自教育改革后建立的法兰西多种工艺学院。不过最引人注目的是下面这段轶事，这轶事发生在拿破仑和拉普拉斯之间。事情是这样的：

一天拿破仑对拉普拉斯说：“拉普拉斯先生，有人告诉我，你写了本关于宇宙的著作，但这书中从未提到它的创造者。”（这里创造者指上帝）拉

普拉斯听后，毫不犹豫地回答：“我用不着那样的假设。”

拉普拉斯的回答代表了当时科技文化的发展潮流。尽管在日常生活中，人们依旧在星期天上教堂作礼拜，但宗教文化已与科技文化脱离，不再干预科技文化的进程。拉普拉斯则干脆把上帝称作是一种假设，并认为自己的理论中无须这假设，拿破仑则对这说法未作任何回应，表示默认。

科学使人变成巨人 多种动力的发现

蒸汽机和内燃机的出现，具有十分重要的意义。首先，它标志着人类借助科学找到了一种巨大的动力，希腊神话中有力大无比的巨人安泰，《格列佛游记》中也有巨人国，蒸汽动力所蕴含的力量足可与这些巨人相匹敌。前苏联著名科普作家伊林写过一本关于近代科学发展的少儿读物，就以“人怎样变成巨人”为题，篇首诗的起始两句是：“世界上有巨人，这巨人就是人。”

不过，若再仔细想一想则会发现，工业革命时代，科技成果的价值决不限于找到了可利用的巨大动力，其意义远比这大得多。

首先，让我们再回顾一下古代人的发现。古代人已会应用现代物理课本中所说的简单机械杠杆、滑轮等等，这些机械有的能省力，有的能传动，但说来说去，还是在力学（或机械运动）中绕圈子。蒸汽机的出现告诉人们，机械运动可以由其他运动形式所驱动，用现代科学的语言表述就是：不同运动形式间，可以相互转化。这种转化当然不是乱变一气，而是有它自己的规律。

这里用购物、售物打比方。古代曾有以物易物的时代，逐渐人们发现这种交换方式很难作到既便利又公平。随便举个例子：张三养鸡，李四养鸭，鸡小鸭大，当然不能一对一，假定四只鸡能换三只鸭，那么张三只想要两只鸭时怎么办？李四的鸭瘦，张三的鸡特别肥又怎么办？为了解决这个问题，一种中介物——货币应运而生，各种货物均有其价格。比如一斤鸡是三元，一斤鸭是四元（可别和市场价比，这里只是个比方），那么张三想吃鸭，手头没钱，则只需上街按鸡的市场价，把养的鸡卖掉，再用这钱去李四那里买只重量合适的鸭。货物的价格相当于物与钱的变换率。一种运动转化成另一种运动，也有一个变换率，只不过和物、钱变换率随时会变不同，运动间的变化率是定常的。

人类从以物易物到以货币作为交换手段，经历了不短的过程；同样，认识运动间的转化与守恒，也经过了相当长的历程。

这里第一个要提的人是法国的卡诺（1796～1832），前面曾提到法国大革命后很重视科学，并建立了一些新式学府，卡诺便是由其中的多种工艺学院培养出来的。他和当时的其他物理学家一样，不满足于只观察物理过程，总想从看起来错综复杂的变化过程背后，找出其中的简单规律。卡诺的研究方法，也是当时很典型的，即建立“理想的物理模型”。

理想模型法，是这时期科技文化中重要组成部分，这里必须多说上几句。事实上，牛顿力学的建立，就应用了理想模型，比如研究太阳系行星的公转与太阳对各行星引力间的关系这一问题。太阳的半径足有139万公里，地球是个扁球体，其半径赤道上是6378公里，极轴半径是6357公里，要直接算日地引力，即把太阳各部分和地球各部分间的引力迭加，非常繁琐。理想模型方法，使计算大大简化，而结果又足够精确，使研究者抓住了关系的本质。

应用什么样的理想模型呢？这模型叫“质点”模型。从上面的数字看，太阳和地球的尺度虽然很大，但和日地距离14960万公里这个数字来比，可就是小巫见大巫了，所以在研究中，可以把它们的大小忽略，当作一个“质点”，即全部质量集中在球心。这种模型撇开了那些不影响研究对象本质的特点，而使事物中心突出。牛顿力学建立过程中，不断应用“质点”这理想模型。

卡诺所研究的问题——蒸汽机等热机的工作效率，显然比力学问题复杂，但同样可以借助理想模型的方法。卡诺设想了一台理想的热机，这热机在工作中各零件间没有任何摩擦力，热量一点也不会传导乃至散去，换句话说，这热机工作后，仍然完全回复到原初状态。这种理想的热机之效率，就应是实际热机所能达到的效率的极值。通过对这理想热机的研究，卡诺建立了热与功之间的联系——某个数量的热能在没有损耗的理想条件下，应能作多少功，这就是今天物理书中的“热功当量”，热与功的联系实际上是“热能”与“动能”间的转化关系。这一关系的建立，为普遍意义上的能量转化与守恒定律的诞生吹响了前奏曲，也为热力学的发展奠定了基础。

遗憾的是，卡诺于 36 岁时因霍乱而死，使他未最终完成热力学学科的建立，尽管如此，他的名字和“卡诺循环”一起留在了当代物理学教科书的热学部分。

现在连初中学生都知道能量转化与守恒定律，但这定律的完成分数个阶段，跨越了两个世纪，涉及的科学家也有一大批，这充分体现了科技文化的发展，如同奔腾不息的长河。下面我们分阶段来看这定律的完成所经历的过程。

首先是对不同运动形式之间的联系地发现。

早在 18 世纪初，法国人拉瓦锡（1743 ~ 1794）发现化学反应和热量的变化之间有一定的联系。有些化学反应会生热，也有些化学变化必须通过加热才能实现。从美国移居欧洲的伦福德伯爵（1753 ~ 1814）在钻造炮筒时发现，机械功能转化为热。此后德国的迈尔（1814 ~ 1878）估算了热与功相互转化的定量关系。1842 年，英国的格罗夫（1811 ~ 1896）发表了有关能量转化的讲演，后来又出版了《物理力的相互关系》一书，阐述能量的守恒与转化的原理。

应该说最关键的一步应归功于英国科学家焦耳（1818 ~ 1889）。前面曾说过，真正建立能量的守恒与转化定律，必须有定量的实验；而要进行定量的实验，又必须对有关物理量建立科学的量度方法，在这点上，焦耳的功劳很大。是焦耳发现电流通过导线会产生热，而这热的大小和电流、导线的电阻有关（和电流强度的平方成正比，和电阻大小成正比），所以后来这个定律被冠以这位科学家的名字，电流产生的热也被称作焦耳热。此外，焦耳还成了“功”的单位。

焦耳把能量转化的研究定量化，而定量化本身是经典科学大厦建立的基础，所以科学史家理所当然地把焦耳作为发现能量守恒定律的代表人物。不过，认识到“电”可以转化为“热”，不等于认识了“电”的本质，更不等于认识了能量转化与守恒的普遍形式。认识电的本质，最终确立能量守恒定律，经历了不少戏剧性的场面。光是电磁学发展本身，就充满了传奇色彩。

雷电是人类早已注意到的现象。希腊神话中众神之主宙斯便是雷神；中国神话中有雷公、电母，不少人认为恶人会遭雷劈，连盟誓中也常以“若背誓言，便遭天打雷劈”为最重的誓言。中国大诗人屈原所作《九歌·山鬼》一节，用“雷填填（填填为雷声）兮雨冥冥”来衬托气氛，白居易的《长恨歌》一诗中也有“排空驭气奔如电”之句，以形容运动之迅疾。

神的时代过去之后，雷电现象依然引起人们的注意，有的魔术师还发现了用毛皮摩擦玻璃棒会生电的现象。但他们并不知道这是什么“电”，只知道这样一来，玻璃棒便可以吸引像纸屑一样轻的东西，并把这种表演纳入自

己的节目中。到了本章所讨论的年代，这些神秘现象自然吸引了那些探究科学的人。首先是从实验的角度，荷兰的马森布洛尔教授（1692~1765）在玻璃瓶中装上水，造成绝缘的环境，用来储存摩擦所生的电。后来人们又在瓶外贴上金属箔，造成电屏蔽，储电性能进一步提高。这种瓶子，今天的中学实验室中仍能看得到。由于上面说的那位教授在著名的莱顿大学执教，后来这瓶便以该大学的名字命名，即称作“莱顿瓶”。

莱顿瓶放电时会产生火花，还劈里啪啦作响，让人联想到大自然中的闪电。不少科学家产生了“捕捉闪电”的想法，美国的富兰克林（1706~1790）是其中最著名的一个。他的方法十分巧妙，借助儿童玩具风筝，把天上的雷电“捉住”，储存进了莱顿瓶。富兰克林还想出了避免“雷公”劈死人的方法，制造了避雷针。

这当中有段小小插曲。富兰克林的政治思想和科学思想一样走在时代的前面。他是美国独立战争中一位叱咤风云的人物，他的文笔很好，参加了独立宣言的起草，当时的英王乔治三世因此对富兰克林怀恨在心，对他的发明也大大排斥。可笑的是这位皇上不仅禁止在英国境内使用避雷针，还荒谬地提出必须以“圆球状”的金属物代替，与富兰克林“针锋相对”。气象学会会长据理力争，立即丢官罢职。不过皇上只能罢人的官，却不能指挥风雨雷电，也阻挡不了科技文化的进程。富兰克林的发明和发现名垂千古，而这位皇上的愚昧荒唐，则成为后人的笑柄。

接下来要讲的事实，当代人应该说大多略知一二。比如说电压的单位是伏特，这是为了纪念意大利科学家伏打（1745~1827），因为是他发明了用化学方法来产生电流。电阻的单位是“欧姆”，因为是德国科学家欧姆（1787~1850）发现了电流、电压和导电体的导电特性之间的关系。这关系被称作欧姆定律，而导电特性——电阻的单位，也以这位科学家的名字命名。电流强度的单位，用的是法国物理学家安培（1775~1836）的名字，因为他发明了测量电流大小的方法，这种仪器后来叫作安培计或安培表。安培还对两个电流间的磁力作用进行了定量描述，这就是今人所说的“安培定律”。

顺便说一下，安培是个小神童，他9岁时就掌握了当时已有的各种数学知识，26岁就当上物理和化学教授。不过天才必须加上勤奋才能成功，安培研究科学的入迷劲儿，也是举世闻名的。他有一段有趣的轶事。

一次安培外出，在门上挂了“安培不在家”的牌子。在回家途中，他一直在思考科学问题，以至入了迷，走到家门口看到自己挂的牌子，竟未意识到自己是这里的主人，安培就是他自己的名字。他想：既然主人没在家，还是离去吧！于是又转身走开了。后来安培怎么回的家，这故事没讲，由此可以想见，安培思考科学问题有多痴迷。

电流的单位是人名——安培，磁场强度的单位奥斯特也是人名，他是丹麦科学家（1777~1851），是他发现通电导线可造成磁场，并引起磁针偏转。他的研究推动了电磁理论的发展。

奥斯特发现“电”能生“磁”，后来法拉第（1791~1867）发现了磁能生电。对这位自学成才的工人科学家，这里想多讲上几句。

法拉第和前面说的一些科学家不同，他的专长是实验，而科学实验是现代科学发展的必不可少的支柱，他的成长道路很有特色。

法拉第出身在铁道家庭，由于家境贫寒，13岁上就在书店当学徒，学习装订手艺。很多人在这种环境下，会消极地听从命运的安排，法拉第却不是

这样，他充分利用书店的条件，开始了自学的的生活。他不光读书，还常去听科普报告。书店的一位老主顾为法拉弟的好学精神所感动，帮他去皇家学院听化学家戴维教授的报告。

1812年，法拉弟学徒期满，在戴维身边得到一份实验员的工作。看来戴维对这位好学的青年也很赏识，在他到欧洲大陆旅行讲学时，也把法拉弟带在身边。

功夫不负苦心人，1824年法拉弟被选为伦敦皇家学会会员，戴维去世后，戴维的职务便由法拉弟接替。这位著名科学家曾这样说：“我对科学的最大发现是发现了法拉弟。”而法拉弟的名字，则留在了他自己的发现中，是法拉弟通过实验发现磁场变化能在导线中引起电流，是法拉弟用实验证明了磁会对光的偏振产生效应（磁—光效应）；他还证明了电能使一些化合物分解，而电解释放的物质，总量和电流成正比。前一效应称法拉弟效应，而在后一现象的研究中，“法拉弟”是电化学作用两个定律的名称，也是电化学研究中的度量单位；电容的单位也和他的名字有关，只不过去掉了末位的辅音，即叫“法拉”。

现在电磁学的发展进入了一个关键阶段，它从研究天上的雷电现象开始，如今将逐步进入人类的生活之中。

比翼双飞 科学和技术展宏图

奥斯特发现电能生磁，法拉第发现磁能生电，他们的成就和伽里略在经典力学中的建树相类似，为物理学的重要分支（此处是电磁学）奠定了实验基础。力学发展光有伽里略不行，还要有牛顿，就是说，科学发展需要有人将实验事实上升为科学理论。在这个意义上，麦克斯韦（1831~1879）可称作是电磁学中的牛顿，是他把法拉第、奥斯特发现的各种现象囊括进四个物理方程之中，这四个方程现在被称作麦克斯韦电动力学方程组。这个方程组内容很全面，有两个方程，分别描述“电”和“磁”的特性，其他两个，则描述电、磁二者之间的关联，换句话说，告诉人们电的变化和磁的变化之间有什么数量上的关系。

麦克斯韦在讨论“电”和“磁”的效应中引进了一个新的概念——“场”。在外文中电场磁场的“场”字和“田野”、“场地”是同一个字，可见它代表的是一个“空间”。田野里总是布满了植物，即使只是些荒草；“物理场”在麦克斯韦看来也不应是空无一物，于是他提出了一种特殊的物质——以太。对此现代科学家有不同的看法，不过这是后话了。

实验事实上升为理论，这只是科技发展的“半”个环节，要完成整个环节，还要用理论来指挥实践——技术发展。在力学发展中，我们讲过两位实践家，更确切地说是发明家瓦特和斯蒂文逊。电学发展中也有两位发明家，这就是上面讲过的法拉第和下面要讲的爱迪生。

爱迪生（1847~1931）是举世闻名的发明大王，他从未受过正规的教育，却享有一千多项发明专利，在他的发明中最著名的有白炽灯、留声机、用碳粒构成的声电信号转换器（后来应用到贝尔电话的听筒和话筒上，推动了电话的改进）、电影放映机等等，人们都把爱迪生称作天才，而爱迪生自己却说，他的成功主要是靠勤奋而来。“天才就是百分之一的灵感加上百分之九十九的汗水”是这位多产发明家留给后人的名言。

爱迪生还有一项创举，这就是把科学家组织起来，将实验室办成“发明工厂”，作为这“发明工厂”的头头，爱迪生给科学家分派任务，成果则共同分享。

不过智者千虑必有一失，这位发明家虽有丰富的实践经验，知识的基础却显得薄弱了点，这有时影响了他的判断力，最典型的一例是与交流电失之交臂。当时，科学家们已发现了交流电，并将它应用到远距离的输电中。爱迪生由于知识的欠缺，未能很好地理解交流电的长处，从而判断失误，依然坚持直流输电。

爱迪生的成功和后期的某些失误，在科技文化发展史上具有一定的典型性，很值得后人借鉴。历史证明，在科技文化的发展中，理论家和发明家都非常重要。科学理论只有通过发明家才能转化为生产力，但又必须看到，发明若没有科学理论作后盾，则必然是“短视”的。在爱迪生的时代是这样，在半个多世纪之后的今天依旧是这样，或者说更加是这样。

科技文化发展中，还常看到这样的现象，对某门学科作出重大贡献的人是别的一门学科的专家。电学的发展就是这样，化学家曾为之立下汗马功劳。

现代的化学课上，必讲道尔顿（1766~1844）和门捷列耶夫（1834~1907），会介绍道尔顿如何首创“原子说”，门捷列耶夫如何提出元素周期律。原子论、元素周期律的确是化学科学的重要成就，但它同时为人类了解

“电”的本质奠定了基础。这两位科学家的研究领域，如今有个集“化学”与“电”二词于一身的称呼——“电化学”。

谈到“原子论”，读者立即会想到本书开始的章节中提及的古希腊学者德莫克利特等人。为了与现代原子论相区别，我们可把希腊学者的思想称作是“哲学的”原子说。因为他们对“原子”的论述，基本属于“哲学猜测”。现代原子论与之不同，是通过一定的科学方法推演出来的。

首先让我们看道尔顿的思想。在道尔顿之前，人们通过化学定量分析已了解到化学反应中反应物间的比例有固定的关系。有的科学家，如法国的费歇尔（1754~1831）还综合种种结果，列出了某些酸、碱或氧化物互相反应的重量比例表^{*}。化学反应有固定的比例，说明化合物的组成是确定的，这种定比关系，逐渐为人所公认。1799年法国化学家普鲁斯特（1755~1826）以科学的语言阐述了这个定律。如何解释这种比例关系呢？道尔顿提出了以下的看法：物质并不是可以无限分割的，而是有其最小的、不可再分的单元，道尔顿以德莫克利特的术语“原子”称呼这最小单元。不同物质的原子重量不同，道尔顿自然而然地想到用最轻的原子重量作为度量单位。这最轻的原子是氢原子，用它的重量作为度量单位就是把这重量当作“1”。由于是初创，道尔顿还不能区分原子和分子，所以遇到了一些麻烦，后来阿伏伽德罗（1776~1856）这位意大利科学家，把原子和分子区分开，指出分子是具有物质特性的最小单位，分子由原子组成。

说了半天原子论，究竟它是怎样和“电”挂上钩的呢？这里还有一个弯子要绕。前面谈到“电化学”这个词，所以有这个词儿，是因为有些化学过程可以在“电”的帮助下完成。比如在食盐溶液中放进正负炭极，通上电，把正、负炭极放到食盐溶液中，阴极那头会出来氢气，极旁边产生氢氧化钠，又叫苛性钠；阳极那边放出氯气。食盐和水原本不带电，可分离出的氢气、氯气却被不同的电极吸附，可见它们有了电，这电是从哪来的呢？为了解释这现象，科学家们引进了“离子”概念。

“离子”在英语中叫“ion”，这也和希腊有联系，“离子”一词的形容词“离子的”，在英语中是“ionic”，它还有一个解释是“爱奥尼亚的”。爱奥尼亚文明是古希腊文明的重要组成部分，西方古建筑中常有高大的石柱，石柱上方以旋涡形的花纹装饰，这种石柱常被称作爱奥尼亚石柱。

在电化学过程中，有的离子向正极那边跑，有的则相反，往负极那边奔，可见这两种离子带电情况不同。根据同性相斥、异性相吸的原理，往负极奔的离子是正离子，而向正极跑的离子，带的则是负电。同是离子却分正负，这现象用当时的科学知识很难加以解释。现在又一位化学家加入了这问题的研究行列，他就是俄国科学家门捷列耶夫。门捷列耶夫不是什么世家子弟，他父亲是个普通教员，生活在天寒地冻的西伯利亚。门捷列耶夫继承父业，进了彼得堡师范学院自然科学教育系，毕业后，当了中学教员，不过好学上进的门捷列耶夫并不满足，他常用业余时间从事研究，将探索的结果写成论文发表。功夫不负苦心人，23岁时门捷列耶夫便受聘于著名的彼得堡大学，在化学教研室任副教授，还有机会去德国深造和去法国、比利时等国家考察。

坚实的基础加上好学深思，为门捷列耶夫后来的发现铺平了道路。

当时已有个名叫纽兰兹（1837~1898）的英国化学家注意到，若是依原子量大小将元素排列起来，它们的性质有按周期重复的现象。音乐中有1、2、3、4、5、6、7、i八个音，元素的重复周期也是八，纽兰兹将这称作“八音

律”。不过那时，人类所知道的元素很不完全，纽兰兹并未意识到这点，没有给未知元素留下空位，于是这八音表中便出现了一些矛盾。和其他很多新生事物一样，纽兰兹的八音律，得到的多半是讽刺而非鼓励。

门捷列耶夫并不了解这位英国科学家的的工作，但他相信有这么多元素存在，其间一定有它的规律性，于是他开始了自己艰苦的探索。他的工作很有系统，先从最基本的资料工作起步。门捷列耶夫给当时已经知道的 63 个元素一一作了卡片，卡片上记下该元素的原子量和主要性质，反复排列进行比较，寻找其中的联系，渐渐发现元素的性质有周期性。门捷列耶夫比纽兰兹高一筹之处在于，他不认为现在已经知道的元素是地球上存在的全部元素；也不认为当时所知的各元素的原子量全都准确无误；与此相反，他坚信元素的组成具有规律性。不仅如此，门捷列耶夫还主张不应让知识的空缺遮蔽住目光，将事物的规律性否定，而应借助对规律的认识来填补知识的空缺，修正认识中的谬误。

对门捷列耶夫完成周期表的过程有一个传说。据说这位科学家为研究周期表终日苦思冥想，三天三夜不眠、十分劳累，最后终于在工作室中睡着了，在睡梦中，他看到各种元素井然有序地排列起来，形成一个表，门捷列耶夫在惊喜中醒来，立即伏案工作，把梦中所见写在一张纸上仔细研究，进行了一些修正，终于完成了这一化学研究中的创举。

在梦中完成自己发现的，并不止门捷列耶夫一人，发现苯环结构的德国化学家凯库勒（1820~1895）也有类似的经历。

从无机化学到有机化学的发展中，出现了一个复杂情况——同分异构。就是说，相同的化学成份有可能组成不同的结构。为此，对有机化合物，不仅要了解它的分子式，还需了解它的分子结构式。凯库勒面对的是苯的结构，苯的分子式是 C_6H_6 ，碳是 4 价，氢是 1 价，6 个碳原子和 6 个氢原子应如何结合在一起呢？凯库勒开始苦思冥想。后来这位科学家对自己的思索过程进行了如下的描述：

“我把坐椅转向炉边，进入半睡眠状态。原子在我眼前排列成长长的队伍，变化多姿，靠近了，连接起来了。一个个扭动着、回转着，像蛇一样。看，那是什么？一条蛇咬住了自己的尾巴，在眼前轻蔑地旋转，我如从电掣中惊醒，那晚我为这假说工作了一整夜。”

就这样，借助蛇咬自己尾巴的形象，凯库勒将 C_6H_6 排成下面的圈圈。

这两个事例说明，科技文化的前进并不只依赖严格的推理，想象力在其中同样起着重要作用，当然这种想象不是空想。以为可以不花力气，靠作梦就能完成伟大发明的人，非但不会有任何巨大发现，恐怕连一般的工作也完成不了，最后一事无成。

不是有这样一个民间故事吗？有个农家女顶了一篮鸡蛋到市场去卖。她一边走一边作起了白日梦。她想到自己卖了鸡蛋后会得到不少钱，可以买更高价的东西，这样翻来翻去自己便成了一位阔小姐。那时会有许多又漂亮又阔气的年青人向自己求婚，她则要“端起架子”表示拒绝。这位农家女越想越得意，在想到端起架子表示拒绝时，竟忘乎所以，不记得自己头上有装满鸡蛋的篮子，她把头一个劲乱摇，头上的篮子翻倒在地，鸡蛋也全都摔得粉碎，最后两手空空回了家。科学工作也是如此，想要不费力气完成伟大发现，只能是鸡飞蛋打一场空。

现在还是回到元素周期表，元素周期表这科学成果，是建筑于电化学中

的电解等技术成果基础之上的；反过来，与电有关的各种技术成就——电灯、电话、电报等，又无一不和电磁学的理论研究密切相关。比如电话、电报均是把电磁运动转化为机械运动（声讯号或电报长短码）。最早的通讯是有线通讯，这种方式，对远距离通讯很不方便。能不能进行无线通讯呢？麦克斯韦对电磁运动的理论研究，为无线通讯的实现吹响了前奏曲，因为他的研究表明存在电磁波。1888年德国科学家赫兹（1857~1894）通过实验证明了电磁波理论。和上面提到的不少科学家一样，他的名字也成了物理单位，每秒振动一次就叫作一“赫兹”。

1894年，即赫兹去世的那年，一位名叫马可尼（1874~1937）的意大利人从讣告中了解了电磁波这成果，就这样一浪推一浪，电磁学的理论研究成果，通过马可尼的技术实践，化作了现代通讯手段。电磁波是直线传播，按理不能绕到地球的另一面进行远距离通讯，但事实却打破了这个界限。1901年，马可尼在英国建立的发射塔所发射的讯号，居然传到了大西洋彼岸。要实现这点，只有一种可能，即高空中存在能反射电磁波的介质，即导电介质。1902年肯内利和亥维赛提出导电层的存在。1924年，英国的阿普尔顿通过向高空发射变换频率的无线电波，对这看法进行了验证。大气能导电，只有一种可能，即在这区域中的气体为部分电离或完全电离。后来这区域被命名为电离层。电离层的发现不仅使通讯事业迅速发展，也对地球科学和行星科学的理论研究有很大促进，它再一次说明科学和技术二者是不可分割的。

六、进化的科学和科学的进化

这是进化论产生的年代，也是科学文化进化形成体系的年代。这个年代证明科技文化永远不会停止不前，而科技文化的创造者们不但在科学方法上高于常人，在灵魂的净化方面也应高于常人。

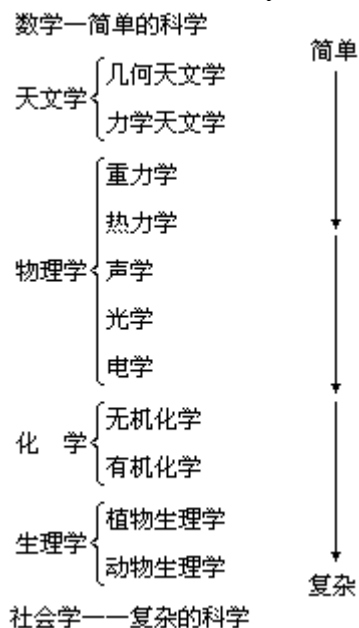
科技文化发展的重要表现是科学知识体系的形成与扩展。如前所述，在古代，科学家这个“行当”并不存在，因为科学本身尚未形成体系。那时科学被包容在哲学中，科学研究自然也就由哲学家代劳了。一直到 15 世纪至 16 世纪时，科学才渐渐从哲学中分离出来。

首先是英国的培根和法国百科全书派*的学者们，这些学者们认为，人类理性有三种能力：记忆、判断、想象，与此相应则有三类科学。

记忆性的科学	历史等
想象的科学	诗歌，艺术等
判断性的科学	上帝的哲学
	人的哲学
自然的哲学	(自然科学)
	物理学
	数学
	气象学
	植物学
	化学
	冶金学

显然这个划分还很初步，不过自然的哲学（自然科学）已经明确地独立了出来。

18 世纪时进了一步。由于生产发展和技术进步，学科间的分工逐渐明确，于是法国的圣西门（1760~1825）和孔德（1798~1857）、德国的黑格尔（1770~1831）提出应把自然科学作更全面的概括，于是有了如下的分划（所列为圣西门的分划）。



19 世纪中叶，自然科学的发展进入了新的阶段，当代高中乃至大学理工科学生所学自然科学课程，所涵盖的知识体系开始形成。在这过程中，科技文化再一次显示其不满足于现状，不停息地探索新路的特性。

要革新必然会遇到阻力。19 世纪至 20 世纪的人，不会再用野蛮的火刑或无人道的监禁，来对抗科学的前进。不过无形的阻力，有时并不比有形的狱墙容易突破，但从事科技文化探究的乐趣不也正在于此吗。

挪亚方舟中的宝物 生命科学新的活力

近代科学从研究无机自然界起步，而今要向有机自然界进军了。这有机自然界的图象，比无机自然界更为复杂，不过复杂归复杂，依旧有规律可循，特别是人类在研究无机自然界时，不仅积累了不少知识，也发展了许多研究方法，已有一定能力面对更加复杂的科学问题。

人类在对无机自然界的研究中得到两个重要结果：一是无机物有其内部结构，无论是元素，还是化合物，都由分子组成，而分子又由原子（相同的或不同的）构成。二是世上多种多样的元素也并非无规律可循，它们在元素周期表上各有其位。那么有机自然界又如何呢？有机物是否也有其基本组成单位？世界上千变万化的物种，是不是也有一定的排列表？生命科学就从探讨这些问题起步，揭开了这门学科的新的一页。有趣的是下面这个事实对无生命世界的研究的起步与天文望远镜的应用有关，而生命科学的发展也与光学仪器的应用有一定联系，不过用的是另一种仪器——显微镜。

早在 1590 年，荷兰的光学家詹森（1580？~1638）就发明了一种光学仪器，可以观察肉眼看不到的“小东西”。这种光学透镜的组合，可以把微细之物显示出来，所以在汉语中称作显微镜。现在为了和电子显微镜相区别，詹森的发明加上了“光学”二字。1665 年的一天，英国科学家罗伯特·胡克（弹性定律又称胡克定律的发现者）利用显微镜来观察软木塞片，他发现这木塞竟密密麻麻布满了小格子。胡克觉得它很像一格格的小房间，便用“cell”（小房间）来称呼它，后来“cell”便成了细胞的学名。当时胡克看到的实际上是细胞壁。在同一时期，詹森的同胞和半同行（磨镜专家）列文虎克（1632~1723）用自制放大率为 200 倍的显微镜，观察毛细管血液循环和肌肉、毛发等。他借助自己的仪器发现了红血球，看到细菌、滴虫等动物的细胞，并观察了单细胞动物。

在科学史中，常遇到这样的事，有些人“看到”了某种现象，但并未“理解”这一现象，列文虎克也是如此。他通过观察积累了大量与细胞有关的资料，但并没有真正认识到细胞的本质及其重要性，这时哲学家的作用便体现了出来。原子论的提出者是哲学家；首先意识到细胞的重要性的人，也是哲学家——德国的奥肯（1779~1851）。奥肯把细胞称作“原胞”，认为各种生物均由“原胞”组成。不过从另一方面说，哲学家的论断，并不能代替科学的证明，细胞学的最终完成靠的是科学家——德国植物学家施莱登（1804~1881）和动物学家施旺（1810~1882）。前者提出细胞是一切植物结构的最基本单位，后者把这一看法扩展到动物界，最后得出生命的共性是细胞。

细胞学的最大贡献在于在微观层面上揭示了生命之奥秘，打破了动、植物间，低等生物和高等生物间的壁垒。现在需要作的是把研究推向宏观层面，在不同物种间建立起桥梁。这座桥梁——进化论，同样是由数个科学家共同架起的。

这里有法国人罗比耐（1735~1820），这位先行者已经提出生物的物种构成阶梯的看法，并认为物种从低到高不断上升。德国学者梅克文（1781~1833）通过解剖各种动物，加以比较（即比较解剖学）的方法，得出一个物种可由另一物种进化而来的设想。法国科学家拉马克（1744~1829）则进了一步，他不仅明确提出了关于生物从低级到高级逐渐发展的进化观，还提出了两条进化原则，这两条原则，一条是“用进废退”，就是说经常使用的器

官会更发达；而不常用的，则会渐渐退化。“长颈鹿”的长脖子是吃高处树叶产生的结果，就是拉马克学说的一个重要论据。拉马克还依据进化思想，对生物进行了划分，分成高低不同的等级阶梯。在拉马克研究的基础上，达尔文（1809~1882）开始了自己关于物种进化的有关研究。

达尔文学说创始人罗伯特·达尔文，出身于一个科学世家。他的祖父伊拉兹马斯·达尔文（1731~1802）是个博物学家、哲学家。老达尔文兴趣很广，他在研究思考的同时，还从医、作诗。当时已有些哲学家注意到物种的变化，老达尔文也对这问题发生了兴趣，并有了外界环境能改变动物形态的想法。他曾说：“动物的变形，如由蝌蚪到蛙的变化……人工造成的改变，如人工培育的马、狗、羊的新品种……气候与季节条件造成的改变，……一切温血动物结构的基本一致，使我们不能不断定，它们都是从一种同样的生命纤维产生出来的。”达尔文的父亲是一名能干的乡村医生。

关于罗伯特·达尔文的经历。特别是他以博物学家身份乘“贝格尔号”环球旅行，进行考察的经历，以及这段经历对他提出进化论所产生的影响，已是众所周知的事实，此处不再赘述。本节想谈谈达尔文创建进化论时所应用的科学方法，要知道科技文化的发展，一时一刻也离不开科学方法的正确应用。

达尔文应用的方法，主要有以下两个：一是有目的的观察，二是类比推理。

观察，是对现象在自然条件下进行考察，是搜集科学事实获取感性知识的基本途径，也是发展和检验科学理论的基础。什么叫在“自然条件”下呢？这是指人对自然现象不加任何控制，比如考察自然界的动物，而不是动物园中的动物。但这种考察不是盲目的行动，而是把视觉积极地调动起来“观”，让思维积极活动起来“察”，观其特点，察其同、异，目的是发现其中具普遍性的现象以及现象间的联系，最后为理论研究提供有关的事实基础。

那么达尔文实际是怎样做的呢？达尔文自己是这样说的：“我以为，在对待容易逃脱人们注意的事实上和细心观察事物上，我要比一般人高明些。”的确是如此，达尔文不仅具有观察的才能，他的勤奋和细心，也是世间少有的。这使他在航行期间，收集到大量有关物种进化的事实，比如，南美洲动植物的地理分布；动植物自然分布区的扩展方式；古代哺乳动物化石与现有物种的亲缘关系；以及已绝灭的物种和现存的与之有关的物种在地理上的分布等等。只观察以上所列问题中的一项，就要付出很大劳动，可以想见，在搜集事实方面，这位进化论创始人究竟花了多大功夫。

观察是有目的的，那么达尔文的目的是什么呢？达尔文自己曾这样说：“我从小就有一种强烈的要求，想要理解或解释我所观察到的事实——就是说把所有的事实，综合在一般的法则之下。”

完全重复达尔文的思考是不可能的，这里只想介绍其中的要点。达尔文所用的方法，主要是比较法和归纳法。用比较法分析事实，用归纳法概括其规律。达尔文在比较上下的功夫，不比在观察上用的少。

达尔文首先比较现存物种分布的地域差异，对他他选了南美大陆和距其950公里的加拉帕戈斯群岛（又称科隆群岛）。达尔文发现在这群岛上生活的物种与南美的物种有明显的联系，但又有许多差异。比如在岛上出现了不少新的鸟类、爬行类、软体动物类品种，也发现不少新的植物。此外，即使是同一岛上同属的物种，由于生活地域的不同，形态、习性虽有共同特征，

但差异也很大。比如群岛上地雀十几种，雄鸟的嘴都是深黑色，尺寸却很不相同，大的比燕雀嘴还大，小的则只有黄莺嘴那么一点。体型大小，羽毛色彩，甚至尾巴的形状也千差万别。

以上，是同时性的比较。达尔文还借助生物化石，对物种的历史性变化进行比较，并分析古生物及现存物种间的亲缘关系。比较不能光收罗事实，还要用心思考。生物同一种群的个体差异就不小，加上观察材料有的是化石，有的则是实物，如何将这两类材料合在一起也非易事。在解决这一问题中，我们再次看到“理想化模型”的作用。在生物世界中，运用理想化模型，当然比物理世界中更为复杂，达尔文却成功地完成了这个任务。他把生物种群随时间的演化综合在一个树枝状的图象中，纵坐标是时间，用地层年代表示，横坐标则代表物种分化的过程。

除时空比较外，达尔文对人工培养下生物的变异（比如家鸽的变异）也作了分析。此外，达尔文还注意到胚胎发育过程中部分地显现了进化的图象，并把它作为自己理论的证据。

那么进化机制是什么呢？达尔文提出了“物竞天择”（或生存竞争、自然选择）这两条原则。这原则和马尔萨斯（1766~1834）的“人口论”有一定联系。我国在“人口论”问题上有争论，也有些人误以为是马尔萨斯错误地把达尔文发现的动物世界的规律搬到人类世界；事实恰恰相反，是达尔文从马尔萨斯人口理论中得到启发。所以并不是马尔萨斯把真理变作谬误，而是达尔文从马尔萨斯的片面理论中找出了真理。后世有人利用达尔文树马尔萨斯，这责任不应由达尔文来承担。

进化论的发展中，还有这么一段插曲。在达尔文《物种起源》一书即将完成时，另一位英国人毕莱士（1823~1913）通过考察马来半岛，也产生了进化论的思想，并于1858年将论文寄给了达尔文。前面讲过，科学史上不乏类似的情况，两个或两个以上的科学家，同时发现了一种新现象（或新定律），为此常会发生点不愉快的事，达尔文在此，却表现出真正科学家所应有的大度。为了避免争进化论的发现权，他在好友赖尔帮助下，先将毕莱士的论文和自己1844年就已完成的有关著作的提纲一起发表，次年（1859年）11月发表进化论的巨著《物种起源》的全书。

今天生物学家认识到，头部的形成，对生物进化起着十分重要的作用，图6—1是大脑进化的具体图象。

进化论学说对宗教、对形而上学的世界观，都是有利的打击。日心说的提出“解除”了上帝与天使推动太阳系行星运行的职务，进化论则使上帝创造生命与人的神话无立足之地。不仅如此，它证明科学的推理不只适用于简单的科学，在研究复杂的科学时同样重要。

小人国的秘密 微观世界的探索

科技文化的发展，从探究无际的星空开始，面对的是“宇观世界”，然后转向人类周围，现一般称“宏观世界”。研究继续向纵深发展，人们逐渐发现宏观世界中的科学规律往往不能从宏观层面上得到解释，细胞的发现就是明证。周期律的存在以及电器的应用，使科学家意识到无机世界的构造并不能在原子层面上得到完满的解释。就这样，向“微观世界”或者说是向“小人国”的进军开始了，这一进军是在两条战线——有机和无机世界里同时进行的。

在向有机世界进军的行列里，先要谈法国的路易·巴斯德(1822~1895)。巴斯德出身十分贫寒，祖上不是种田、就是作工，父亲是个穷皮匠，母亲是工人家的女儿。不过路易的父亲很有志气，自己省吃俭用，把血汗钱省下，供路易上学，那时路易已9岁，小路易的许多阔同学反不及他幸运，因为这位皮匠父亲，不但时常鼓励自己的儿子，还常常在灯下陪伴儿子一起学习。路易长大后，父亲把他送到柏桑宋的皇家学校深造。

路易·巴斯德没有辜负父母的苦心，他学习成绩非常好，不久便基本上自立了。他为学校工作，当数学物理助教，这样他的膳宿由学校包下，还能得到300法郎的薪俸。经过不断的努力，巴斯德进入了当时法国颇有声誉的巴黎高等师范学校，在那里的学习生活，为巴斯德后来的科学发现奠定了基础。

巴斯德学习十分刻苦，但决非“两耳不闻天下事”。在法国革命浪潮汹涌的1848年，巴斯德拿起了枪，为自由而战，并把自己的积蓄统统捐给了共和军。就在这前后，他的研究也在飞快进展。他对酒石酸的旋光性（偏振光通过酒石酸振动面会发生旋转的现象）进行了系统的研究，并提出同样化学成份的有机物，由于分子结构不同，有不同的旋光性。这一现象的发现，给巴斯德带来了荣誉。他被提为教授，获得英国皇家学会的奖励，还被授于法国骑士勋章。不仅如此，这一研究还把巴斯德带入微观世界中。

巴斯德高于同代人之处，在于他很重视实际应用，这使他能从实践中获得新的思路。一次，一位酒厂老板向他求助，希望他帮助自己解决葡萄酒、啤酒长期存放变质问题，巴斯德接受了这个任务。他通过实验证明，有机质的液体中会产生微生物，这一结果否定了当时流行的“微生物是自然产生的”这错误看法。

巴斯德有这样一句名言：“当你做成功一件事，千万不要等待着享受荣誉，应该再作那些需要作的事。”当别人因为他取得的成功而尊崇他时，他谦虚和真诚地说：“你们应该尊重的是科学。”对科学研究他非常认真，他说：“直到事实无可怀疑为止，否则，你自己总是要怀疑的。”他从不取巧或碰运气，而是坚信：“所谓好机会，只能存在于有准备的心里。”

巴斯德的研究成果，再一次证明，科学对“造福人类”能作出何等的贡献。他通过研究发现，将较少的细菌注入人体，会使人增强对这种病菌的抵抗力，从而使他培养出狂犬病疫苗。光是1886年，巴斯德救治了近2671个病人，死亡率只有0.94%，即不到百分之一。他发现了抵抗羊的炭疽病、猪的丹毒病和鸡瘟的各种注射剂，对养蚕业也作出了贡献。他的学生则发现了白喉抗毒素。

和巴斯德的研究成果同样伟大的是巴斯德的人格。他从未因自己获得的

荣誉而骄傲，他曾说：“你所尊敬的应是科学。”他也从来不躺在自己成绩上享乐，因为在他看来，“一个真正的科学家，他所作的各种工作，都不应该为了自己的享受。”下面这段话更能体现出巴斯德的人格，这话是对他父亲说的。

“哦！我亲爱的爸爸！你的生活，正像你的工作那样简陋；但你的精神高尚，却超过了你的身份。你曾经告诉我，在一种工作中长期忍耐着才能够得出成绩来，那种好处实在是说不完的。”

巴斯德和施莱登、施旺、微耳等探索着生命王国中的微观世界；物理学家、化学家们则向无机王国中的微观世界进军。这里的许多事件，教科书上讲了不少，本书着重介绍的依然是有关科学方法，或者说是“进军路线”。

从道尔顿建立“原子论”后，很多化学家感到不大满足，总觉着应找出些办法，把原子分割开。他们绞尽脑汁，使出了各种解数，加热、蒸馏、蒸发、熔化、冷却等等，可是原子“巍然不动”，依旧如故。化学家们费了九牛二虎之力，没干成的事，却被一种“物理仪器”——放电管给完成了。

这是在 19 世纪中叶，英国有位物理学家兼化学家名叫克鲁克斯（1832 ~ 1919），他发现放电管中，有一股从阴极流向阳极的“粒子流”。带电体同性相斥，异性相吸，这是众所周知的常识，这粒子流离开阴极飞往阳极，说明这些粒子带电，而且携的是“负电”。因为还搞不清这到底是什么粒子，只好以它的出发点“阴极”命名，称它作“阴极射线”。不少科学家开始注意这阴极射线，化了三十年时光研究它。其中最有一个是汤姆生，读者应该注意，科技文化史上有几个汤姆生，这里讲的是约瑟夫·约翰·汤姆生爵士（1886 ~ 1940），他当时在著名的卡文迪许研究所工作。约瑟夫·约翰·汤姆生应用力学方法计算这种粒子的质量，发现它质量很小，还不到原子质量的千分之一，后来经实验证明，是氢原子质量的一千八百三十七分之一。

克鲁克斯创造真空放电管时，还曾发现这种放电管会产生一种“不可见光”，人肉眼看不见它，照相底片却能因其照射而感光。克鲁克斯并没有多加思考，德国科学家伦琴（1845 ~ 1923）却对它进行了认真的探究。他反复进行实验，证明这决非一种偶然现象，但把它称作什么呢？代数中总用“X”称呼未知数，伦琴就仿此把这人们尚不清楚的不可见光，称作“X 射线”。后来科学界把它称作伦琴射线，以纪念这位“X 射线”的发现者。

数学家们总要千方百计求出方程中“X”的大小，“X 射线”究竟是什么呢？这问题引起了物理学家和化学家的密切注意。在研究中，人们发现能使底片感光的不仅是 X 射线，法国的柏克勒耳（1852 ~ 1918）发现有些盐类（如铀盐）同样能产生感光效应。这种现象被称作“放射性”，而能产生“放射性”的物质，被称作“放射性物质”。

谈到放射性物质，必要讲居里夫妇——比埃尔·居里（1859 ~ 1906）和玛丽·斯多罗夫斯卡·居里（1867—1934），后者人们常称为居里夫人。由于她在放射性研究中做出了巨大贡献，她成为世界上第一个获得诺贝尔奖金的女性，也是第一个两次获得诺贝尔奖金的科学家。她先后获得 8 种不同奖金、16 种奖章、19 个荣誉博士，有 23 个国家的 83 个科学部门授予她荣誉称号。

居里夫人不是平白无故地获得这么多荣誉的，她命运坎坷，经历过许多苦难。求学时，她因长期的贫困生活，造成严重贫血以至晕倒；发现镭的研

究，经历了十二个寒暑；工作室是小小的棚屋；生活中间又经丧夫之痛（居里先生因车祸而去世）。尽管如此，她却顽强地奋斗，勇敢地探索。用她自己的话说：“我天性中勇气占了优势。”居里夫人为研究放射性，献出了自己的一切，她死于严重贫血，这是镭的放射性长期作用的结果。所幸的是居里夫人后继有人，她的女儿伊伦·居里（1897~1956）和女婿约里奥·居里（1900~1958）把她的研究继续了下去。他们发现了人工放射性，并于1935年共获诺贝尔奖金。

现在轮到卢瑟福（1871~1937）出场了。居里夫人的研究为科学家解开原子构造之谜提供了一把“金钥匙”，但钥匙要有人用，谜底要人来揭开，这个人便是英国物理学家卢瑟福。科学家中贫家子弟居多，卢瑟福是其中之一。他生于新西兰一个偏僻农村，他学习非常刻苦，靠奖学金进高中，又在校长鼓励下参加大学奖学金考试，进入新西兰大学坎特伯富学院深造。1895年获得去英国学习的奖学金，进入世界闻名的剑桥大学卡文迪许实验室（卡文迪许是著名科学家，氢的发现者）。

良好的学习环境和个人的奋发努力，使卢瑟福在科学研究中具有敏锐的目光。他注意到居里夫妇的发现，但却另辟蹊径，不是研究放射性元素，而是研究放射性产生的射线。他经过细致的观察，发现铀的射线有两种：一种穿透力很弱，连0.02毫米的铝片都穿不过；另一种与之相反，能穿过0.5毫米左右的铝片。他给这两种射线起了名字，用的是希腊字母表上打头的两个：（阿发）、（贝他）。后来他又发现还有第三种射线：（伽马）射线，这射线穿透力更强。卢瑟福并没有就此止步，他和一位叫索迪（1877~1956）的英国科学家一起，合作研究发现原子放射、射线后，性质完全变了，变作另一种元素。这时，卢瑟福以其科学家的远见提出了几个大胆的看法：放射性现象不同于一般的化学反应；原子是可以分割的；原子的结构十分复杂。

这些看法只能是假说，需要用实验和基于实验的推理来证明它。可原子本身就小，既看不见，又摸不到，更不必说“观察”原子内部结构了。这就要靠巧妙的科学方法了。卢瑟福想了个办法，用射线作“炮弹”来轰击。这里炮轰只是个比方，意思是说让高速运动的射线穿过金属片，看看这射线的运动路线会是什么样的。结果是大多数射线直穿而过，也有少数粒子偏转很大的角度，甚至会反弹回来，这说明什么呢？卢瑟福提出了自己的看法。他认为原子结构很像太阳系，只不过有带电成份。原子的“太阳”是原子核，带正电，原子质量主要集中在这一带，“行星”——带负电的电子绕着原子核转。原子核尺度比原子小得多，因而才出现上面的结果。

卢瑟福不仅在科学上有巨大成就，在合作研究方面，也作出了榜样。现代科研越来越需要群体的力量，卢瑟福走在了前面。他本人是物理学家，他手下高手云集，不仅有物理学家，还有对研究原子论很重要的化学家——索迪，卢瑟福和索迪二人相得益彰。卢瑟福于1908年获诺贝尔化学奖，索迪则于13年后受此殊荣。卢瑟福周围能人云集；这里有盖革计数器的发明者德国物理学家盖革（1882~1945）；发明云室以显现粒子运动轨迹的威尔逊（1869~1959，获诺贝尔1927年物理奖）；有对量子论作出重大贡献的丹麦物理学家玻尔（1885~1962）；有以建立X射线光谱，并提出原子序数概念而闻名的英国学者莫斯莱（1887~1915）；还有因发现中子而获1935年诺贝尔物理奖的英国物理学家查德威克（1891~1974）；发明质谱仪（分析同位素的仪器）

获 1922 年诺贝尔化学奖的阿斯頓 (1877 ~ 1945) 和发现铀裂变获 1944 年诺贝尔化学奖的德国化学家哈恩 (1879 ~ 1968) 。现在时机已经成熟，一场科技文化革命即将来临。

柳暗花明又一村 又一次科学革命

读者应记得，是牛顿对万有引力的研究宣告了近代科学的诞生。在培根《新工具论》的基础上，牛顿以“因果律”代替古希腊学者的“目的论”，这标志着科技文化思想的深刻变化。到 19 世纪末，因果律解释了自然界的许多现象：行星运动、能量转化、生物进化等等；科学家似乎已掌握了揭开一切自然奥秘的“金钥匙”。现在卢瑟福等人的研究却似当头一棒，它告诉人们，情况并非如此。

首先，卢瑟福的研究打破了“原子不可分割”的观念，就是说，存在比原子更小的粒子，一般称“基本粒子”。到这节为止，人们已知道了电子、中子、质子，是不是还有其它基本粒子呢？这是有待进一步探讨的问题。其次，在牛顿的物理世界中，有两个重要的坐标，一是时间坐标，一是空间坐标。这两个坐标相互独立，只有神话中才有“洞中方一日，世上已千年”的奇事。在研究基本粒子的蜕变时间（或者说寿命）时，却发现问题并不这样简单，就连牛顿物理世界中分得清清楚楚的概念，物质粒子和波动运动，也变得模糊起来。加速器中运动速度非常高的粒子，寿命会变长，而光波在干涉、衍射等现象中，表现出波动性，在能量的吸收、释放时，却不像波那样连续，而是一份份的，像粒子。就像传说中的人鱼，说它是人，它有鱼尾，说它是鱼，却是人身。

不过神话传说可以随心所欲地编，在科学世界中可不是这样，在爱因斯坦的相对论（狭义）中，运动速度 v 和时间 t 之间有着固定的数量关系：

$$t = \frac{t' + \frac{u}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

这里 c 是光速， $t'x'$ 是静止坐标系中的时空坐标， t, x 为相对其以 v 速度运动的坐标系中的时空坐标，即高速运动的坐标系中，时钟会变慢，以近光速运动的旅客，会像神话中的“洞中客”那样。

不但钟会变慢，尺还会缩（公式就不写了）。要是有人看见一个旅客以近光速运动从自己身边经过，一定会觉得他长得很怪，因为这旅客，像《爱丽丝漫游奇境记》中的爱丽丝，看到的像是纸牌那样的扁片。

此外，在牛顿时代，相互不搭界的质量（ m ）和能量（ E ）在爱因斯坦那里联系了起来，并有明确的数量关系 $E = mc^2$ 。这初听起来不可思议，但核能的应用不就是依照这个规律？核反应中，每消耗掉一克物质，能换来 9×10^{13} 焦耳，即 9000 亿焦耳的能量。至于量子世界中的“美人鱼”，也有

其确定的物理特性。频率为 ν 的光，它的质量是 $\frac{h \times \nu}{c^2}$ 。这里 c 是真空中光速

299792.46 公里/秒，通常就算 30 万公里/秒； h 则是个常数，数量很小，约为 6.6×10^{-27} 尔格秒，这数值是德国科学家普朗克提出来的，后人称之为普朗克常数， ν 则是光的频率。

普朗克全名为马克斯·普朗克（1858~1947），他对物理学做出了很大贡献，普朗克常数的提出只是其中之一。为了纪念他，德国国家科学院称作马克斯·普朗克协会，这协会在全球享有盛名。

时间和空间联在一起，波动和粒子联在了一起，这已经够奇特的了；但仍不足以说明这又一次科学革命的全貌。更让人惊异的是，由德国物理学家海森堡（1901~1976）提出的“测不准”关系。定位、测速这是最基本的测量了，大致地对空导弹的准确性，依赖于测量；小到森林或野外打猎，也要对位置、速度进行估算。可海森堡发现，对微观粒子要是大致确定了它的位置，它的运动速度的不确定度就很大；运动速度越确定，位置就愈不确定；总之位置和动量永远是相互影响的，虽然都可以测量，但不可能同时得出精确值。这两个量的测不准程度的乘积，不会小于 $mh/2$ 。这里 h 还是普朗克常数， π 是圆周率。有人会说 h 才 10^{-27} 的量级，微观粒子的质量也极小，这测不准的程度，可说是微不足道。有这种想法的人，可别忘了这是在“小人国”中啊！打个比方，射箭比赛，箭箭射中十环的圈中，可称是“神射手”了。但要是把靶心放上个《格列佛游记》中的小人国国民，除非是一箭射中靶心才会使他受伤，其它的“十环”箭，都是射得不准的。

《格列佛游记》的“小人国”中，只有王公、贵族、平民的区分。这种区分，只是社会地位高下不同，但人种是相同的。微观世界这“小人国”中可大不一样。从上世纪末汤姆逊发现电子起，科学家们发现了许许多多种粒子，乍一看，真把人搞得眼花缭乱。不过人类的科技文化，不就是在寻找“自然界”的秩序中前进的吗？尽管到今天为止，人类不能说已经把微观世界的状况搞得一清二楚，但可以说，已理出了一定的头绪。

“物质小人国”中的成员，有个学名叫基本粒子，科学家们用这个名字称呼那些比“原子”还小的粒子。带负电的电子和带正电的质子，是最先为人类所发现的基本粒子。不久科学家们发现，各种元素的原子核重量都比原子核中质子的总重量高出近 1 倍，据此推论，还应有质量与质子相同的基本粒子存在。这种粒子应不带电，这样原子才能是电中性。居里夫妇的女儿伊伦·居里、女婿约里奥·居里以及卢瑟福的学生查德威克，先后通过用 α 粒子轰击铍的实验证明了这种电中性粒子——中子的存在。

照理说，中子发现后，微观世界的结构已清楚了，但科学家们却仍不满意，他们的眼光比一般人敏锐。科学家们的想法是质子和电子由“电力”结合在一起十分自然，可中子不带电，万有引力比电的异性相吸力弱得多，中子靠什么力量和质子一起挤在小小的原子核中呢？这个问题不是一下子能解决的，而是下面一系列发现的结果。参与其中的有现代乃至当代许多著名科学家。量子力学创始人有德国物理学家海森堡（1901~1970）和英国物理学家狄拉克（1902~?），他们主要从理论的角度进行探讨；有美国物理学家劳伦斯（1901~1958）、麦克米伦（1907~?）和前苏联物理学家维克斯列尔（1907~?），他们的重点放在发展和应用回旋加速器这种实验手段，以制造极高速的“小人国”炮弹（质子炮弹或 α 粒子炮弹）轰击原子核，看看到底能轰出什么样的粒子。还有些科学家，直接观测地球高空的高能粒子。这些粒子来自外空，是“宇宙来客”，所以称之为“宇宙线”。英国物理学家鲍威尔（1903~1969）在宇宙线中发现了一种新的粒子，质量是电子的 273 倍。和电子一样，这种粒子的存在也已有人从理论的角度作出了预测，它质量比电子大，比质子小，被命名为介子。介子同样不只一种，有的以希腊字母命名，如 π 介子， μ （读作 miu）介子， K 介子等等，最重的要数超子，质量是电子的 2230 倍，已接近质子。 K 介子质量是电子的 980 倍， μ 介子和 π 介子则更轻，只有电子质量的 200 多倍和 273 倍。

自从发现了正电子，科学家们又想发现其他的“反”粒子，即与已知的某种粒子除一种特性相反，其它特性均相同的粒子。反粒子的研究很不容易，因为既然人们直接观测不到这类粒子，可见它在正常条件下并不存在，需要制造一种很特殊的实验条件——高能量的粒子加速器。它的原理有点像掷链球，链球运动员拉着链子的一端飞快转圈，在转得最快时，把球甩出去，这种高能加速器，靠的也是转圈、加速、最后甩出去。当然“甩出去”的粒子的速度比链球的速度高得多。

平时我们只能观察到电子、质子、中子，看不到正电子、带负电的反质子和自旋方向与中子相反的反中子；K 介子和超子也观察不到；原因是这些粒子在地球条件下产生很难，而产生后“寿命”又极短，不过科学家们还是想出了相应的方法。发现电子的英国物理学家汤姆孙（1856~1940）设计了一种现被称为“质谱仪”的测量仪器。这是个真空管，装有电极；阴极 C，阳极 A，开有小缝；开缝的薄板 B，粒子束很细；绝缘片分别连接在高电压电池的正负两极上，以产生强电场。整个仪器置于强电磁体的两极之间。如果没有强电场和强磁场，高速带电粒子会一直向前，射中 P 点；可有了那些附加装置，射线会发生偏转，射中 P 附近的 p' 点。至于 P' 偏离 P 多少，和粒子的特性密切相关，粒子速度越大，质量越大，显然惯性大；P' 对 P 的偏离较小，反之，则偏离较大。而电荷 e 的大小，决定了所受电场力的大小，e 越大电场力大，则偏离较大。由于质点速度的变化不大，所以质谱仪，实际上测的是电荷 e 和质量 m 之间的比数 e/m，简称荷质比。换句话说，当带电粒子高速飞过质谱仪的那一瞬间，便把自己的身份浅露了出来。

中国古语说得好，“工欲善其事，必先利其器。”要想活干得好，得有好工具。这里的工具，有培根《工具论》中的“工具”——科学方法，也有实实在在的工具——科学仪器。质谱仪这类仪器的出现，证实了这点。比如，科学家们用质谱仪对 α 、 β 、 γ 这些射线进行了识别， α 粒子带正电，质量是氢原子的 4 倍，应是氦离子； β 射线带负电，质量很小，是电子射线（不过这种电子射线的速度，比电流自然高，也比阴极射线大许多）等等。质谱仪还帮助科学家作出一些重大发现，同位素的发现，就是其中之一。在此以前，化学家们就发现，有些元素的原子量不是整数。比如氦原子量是 20.2，氯的原子量是 35.5，这让人无法理解；因为原子量是按氢的原子量的倍数算的，不会出现“点几倍”，而应是整数。质谱仪的分析，揭开了这个秘密。原来氦有两种，氯也有两种。其原子量不同（中子数有差异）。比如，氯有原子量为 35 的，有原子量为 37 的，两种氯比例不一样，为四与一之比，一算就知道，原子量应是 36.5。这两种氯原子量不同，化学性质一样，在周期表上占据同一个位置，所以起了个名字叫作“同位素”。

同位素的发现，为经典化学及其重要成果周期律画了完满的句号，又为这之后的文章开辟了新的一节。它把科学家的注意力引向原子以下的层面——基本粒子，到底有多少类基本粒子呢？在基本粒子的世界中，有没有一定的秩序呢？到本世纪 70 年代，已发现了 300 多种基本粒子，的确有寻找其规律性的必要了。

从经典科学发展中，科学家已学会了下面这些方法：要从看起来很混乱的事实中找出其间的秩序（变化特点，特征物理量，有没有能量、动量这类守恒量？……）。

物理特性中，最重要的是相互作用。人类已经知道的万有引力和电磁力

作用范围延伸到无限远，把中子、质子维系在小小的原子核中的力却不同，强度比重力、电磁力大得多（100 倍至 1000 倍），称之强相互作用力。这种力虽强，作用范围则比原子核直径（ 10^{-12} 至 10^{-13} ）还小一个量级。还有一种力与之相反，称之弱相互作用力，其作用强度比电磁力弱得多，只有其千分之一，作用范围比强作用力还要小。基本粒子就依据传递作用来划分。

传递电磁作用为一类的是射线，包括光（光子流）、 γ 射线。第二类，粒子间的相互作用是电磁作用和弱相互作用，这里包括电子、中微子、 μ 介子。第三类粒子间强、弱相互作用都有，也存在电磁作用，称作强子。强子占了基本粒子的绝大部分，而且有类似化学元素周期律这样的规律性。

元素周期表证明，元素有内部结构；强子的周期律说明，强子下面有更基本的结构。美国物理学家盖尔曼（1929 ~ ）于 1961 年为强子建立了周期表，并提出强子由夸克组成。盖尔曼还指出夸克有三种，每种夸克都有它的“反夸克”，它带电也并非整数，而是分数。

微观粒子运动变化也比宏观世界更复杂，不过无论多复杂，粒子的产生和衰变都要遵循一定的规律，比如轻子数和夸克数守恒等等。此外还有一种特殊的不变量，这种不变量叫“宇称”，它反映微观粒子运动变化规律的左右对称性。《墨经》中有“上下左右谓之宇”，这种左右对称性，便称之为“宇称”，某个物理过程左右对称，在此过程的前后“宇称”不变，便称之为“宇称守恒”。

这节结束前，要强调一下华人学者对探索微观世界作出的贡献。随着我国经济的发展，我国的高能物理也于 60 年代初迅速发展起来；不仅成功地爆炸了第一颗原子弹，还建立了高能物理（即基本粒子物理）研究所，1965 年，我国科技工作者，独立提出了强子的组成，与盖尔曼的结论一致，只不过将其称作层子和反层子。

1974 年，美籍华人物理学家丁肇中和美国物理学家里希特（1931 ~ ）同时发现了一种新粒子，证实了第四种夸克的存在，丁肇中将其命名为 J 粒子，里希特则称其为 ψ 粒子，最后这粒子被称作 J/ ψ 粒子，丁肇中和里希特二人，则共获 1976 年诺贝尔物理奖。

有关宇称守恒问题，也是由华人科学家推进的。1956 年，美籍华人物理学家杨振宁和李政道，发现在弱相互作用中宇称守恒并不成立，他们提出了检验这种不守恒性的实验方法。美籍华人女物理学家吴健雄，通过实验进行检验，证实了这种设想。杨振宁、李政道因此同获 1957 年诺贝尔物理奖。

七、高科技和大科学时代

高科技是当代常见的名词，但是不是大家都知道它包括哪些内容？大科学是人们不大熟悉的术语，它具有哪些特点？在高科技和大科学时代，有许多新奇的事物，但这时代的科技文化最根本的特点可用一句话来概括，这就是本书的主题曲——走向真与美的统一。

“横看成岭竖成峰，远近高低皆不同。
不识庐山真面目，只缘身在此山中。”

这首诵庐山的古诗，想必不少读者早已熟悉。该诗直接描述的是庐山，内中所蕴含的深意却在庐山之外。世上由于身在其中因而不识其真面目的事实在太多了，不用说别的，本书的读者衣、食、住、行和工作、学习、娱乐、休息，都离不开现代科技成果；但若问起本世纪科技文化与上世纪相比有什么特点，即便是知识阶层中的成员，能回答出些道道来的，恐怕也不会太多，原因就在于“身在此山中”。

要想认识今日科技文化之山的真面目，不能盲目地在山中转来转去。那怎么办呢？要像孙猴子那样一个跟头翻上云端，睁大火眼金睛，向四面八方远眺近望，把科技文化之山的全貌一览无余。这时定会得出两个结论：此山真高，真大。用当代术语来说，高指“高科技”，大指“大科学”。

始识苍苍不是天 高科技王国——航天技术

“高科技”这个词，如今已进入日常用语中，报刊、杂志、公司招牌、广播电视、日常对话等处经常用到。但高科技究竟包括哪些方面呢？对此，相当多的人并不很清楚。此外，高科技常常带个“新”字，“高”、“新”是相对的。时代不断前进，原本是“高”的，会在更高的科技面前“相形见绌”，“新”的则渐渐落伍，被更新的科技替代。不过无论如何，在某个历史阶段，高科技领域总有个基本范围，国内有关专家，曾用下面所示的图框概括。

介绍如此庞大的“王国”，需要写一本厚厚的专著。这里只介绍两个相对于科技文化发展影响较大的领域。本节介绍的是“航天技术”。

“航天技术”的有关成果，近年来报导得相当多。阿波罗飞船首次登月成功的消息，曾震惊全球。当飞船的船长，美国著名宇航员阿姆斯特朗，迈步踏上月球时，曾自豪地说：“这是一个人的一小步，但却是人类的一大步。”这一名言为人们所熟知，但仔细想想这句话，究竟包含怎样的深意呢？航天在科技文化的发展中，起了什么作用呢？对这些更深层的东西，很少有人注意。

前面的章节中，不只一次提到探索宇宙的奥秘是科技文化的一个重要方面，灿烂又神秘的星空，曾是神话的主题，是文人墨客吟咏的对象，也是哲学家思考的中心，科学家研究的焦点。不少科学先驱者为此献出青春，甚至关入黑牢，失去生命。而今人类对太阳系，以及太阳系外的其它星系，都有了不少了解，但并未感到满足，因为人类始终有这样一个愿望——飞出地球去。

这种飞出地球的愿望，早已进入了文学作品。在中国古代神话中，有“嫦娥奔月”的故事，讲嫦娥吞下了仙药，身体变得很轻，于是飞上了天，进入月亮上的广寒宫。希腊神话中，则有借助蜡翅飞上太空的能工巧匠代代罗斯和他的儿子伊卡罗斯。这两个神话都留下了一点遗憾。嫦娥孤单地留在月宫中，只有玉兔桂树为伴，像诗人写的那样：“嫦娥应悔偷灵药，碧海青天夜夜心。”代代罗斯和伊卡罗斯虽然飞出了地球，但伊卡罗斯为太阳的灿烂所吸引，飞得离太阳越来越近，以至蜡翅融化，坠海而死。

这些悲剧性的传说，丝毫不影响人类对太空的向往，也未使科学家们放弃航天的愿望。航天先驱俄国的齐奥尔科夫斯基（1857~1935）曾留下这样的名言：“人生活在地球上，地球是人类的摇篮，但人类不会停留在这摇篮里，他将小心翼翼地飞出大气层，然后飞向宇宙空间。”

飞出地球，并不是件容易事，牛顿在苹果树下的发现——地心引力，把人类牢牢束缚在地球上，不过牛顿力学，并不仅仅指出飞出地球有什么困难，也告诉人们飞出地球的方法。

要进行宇宙航行，必须跨越三个台阶。

第一个台阶，飞行速度达到 7.9 公里/秒，这时飞船可以不返回地球上，但也摆脱不了地球的束缚，而是成为像月球那样的星星，确切点讲，是人造地球卫星。

第二个台阶，飞行速度达到 11.2 公里/秒。这时飞船可以摆脱地心引力的束缚，去太阳系其它行星旅行。

第三个台阶，飞行速度达到 14.6 公里/秒。飞船可以摆脱太阳引力的束

缚，飞出太阳系，向深空远航。

三个台阶是一个比喻，学名是第一、第二、第三宇宙速度。

爬这三个台阶的困难可想而知。不光是速度高，还有动力问题。在天空中飞行一般靠浮力，航天最终要进入空气稀薄、甚至近乎真空的区域，没有空气，又哪里谈得上浮力呢！航天先驱者们于是想到了中国的爆竹，即借助牛顿力学中的反作用力，火箭由此而生。

说到火箭的发展，必须提到一位德国人——冯·布劳恩（1912~1977）。当阿波罗登月成功时，美国航天中心地面指挥中心负责人情不自禁地高呼：“这是冯·布劳恩的足迹。”

早在幼年时期，冯·布劳恩就对天上的星星入了迷，母亲给了他一架望远镜，临睡前，他能对着星空看上几个钟头，并幻想有朝一日，能坐上他自己设计的飞行器，到太空去探险。不久他因为放焰火闯了祸，被关在书房中，书房中恰恰有本火箭专家奥伯特写的书，书名是《通向星际空间之路》，书中的宇宙航行远景，把布劳恩吸引住了，从那时起，他便立志把宇宙航行作为自己的毕生事业。

1930年，布劳恩进入柏林的沙洛滕堡工学校，得以结识奥伯特教授，从此，开始了自己对空间飞行的探索。他在自建的“土”火箭飞行场上搞实验；他把自行车改装成离心机，让小白鼠承受超重作用试验，以致惊动了女房东，说要是再继续这种胡闹行为，就马上把他赶出去。

命运给布劳恩安排了一条不平坦的道路。他不愿让德国的火箭发展落于人后，试制成了射程远达250公里的A₄火箭，却又不愿把它发展成战争武器。有人把此事密告盖世太保，冯·布劳恩被纳粹逮捕。尽管如此，A₄火箭仍然被用来发射V-2导弹，1944年，V-2导弹投入战争，受害最大的城市是伦敦，它受到1200多枚导弹的轰击。

领导德国人民进行反法西斯斗争的台尔曼（1886~1944）曾有这样的名言：“法西斯来了又去了，但德国人民永远长在。”事实的确如此，A₄火箭没能挽救法西斯的命运，但德国科学家的创造却开辟了一个航天时代。

开辟一个时代，说起来容易做起来难。牛顿力学为航天指出了方向，告诉人们航天会遇到什么困难。科学计算表明，要是只用一节火箭，不论这火箭个头多大，连第一阶台阶也上不去，更不用说飞出地球了。因为速度要高，装的推进剂就得多，而要装的推进剂多，火箭的份量就大，于是需要更多的推进剂。

这看起来似乎是转不出去的死胡同，但并没有把航天设计师难倒，他们想出了边前进、边轻装的方法，即制造多级火箭或加火箭助推器。这类火箭在上升过程中，把燃料烧完的那一节火箭（或助推器）及时甩掉，速度自然就高了上去，最后只剩下人造卫星或宇宙飞船，飘游于天宇了。

从前苏联1957年发射第一颗人造卫星算起，已过了近40年时光，借助航天技术，人类对太阳系的了解比哥白尼、开普勒时代大大前进了一步。宇航员们曾多次拜访月球，并去到人类从未看到过的月亮的“背面”。行星探测器，则对太阳系其他行星，进行了探测。人们知道了金星的“面纱”是什么成份？火星为什么发红？木星、土星的光环是怎样的结构等等。

人们最关心的一个问题是地球是否是太阳系中唯一有生命的星球，并把与地球条件相近的火星作为重点搜索对象，特别是当天文学家在望远镜中看

到火星上有像河道般的条纹后，对火星人的期望值更高了，科幻小说中，甚至有人类与火星人大战的惊险情节。空间飞行器的搜索，给这一愿望浇了一大盆冷水。那些条纹不过是些沟坎，火星则是一片沙漠。总之，不要说人，就连最低等生物的踪迹都未发现。

当然，人类仍未放弃寻找外星生命的愿望。航天专家们甚至用“多媒体”这类手段，制作了一张“太空名片”。名片上有人类的图象，有地球上的各种声响：婴啼、鸟鸣、水流潺潺、火车轰鸣乃至各种风格的世界名曲——从贝多芬到中国古曲。中国古曲选的是《高山流水》，当初余伯牙以《高山流水》的琴曲找到了“知音”好友钟子期。人类期望《高山流水》一曲，能为自己在太空中找到能共语的智能生物。

航天设计师的另一项宏伟计划，是为人类制造能永久居住的太空港。当代新闻中常常报导空间站与航天器的对接。表面看来，这种对接就像列车车厢搭钩，实际上对接比搭钩要难得多。火车只能在车轨上移动，位置一下子便对准了；太空中的对接则不然，得有很高的技巧。这种对接，决不是玩什么游戏，而是为悬浮于太空的空间站提供后勤服务（供给食品、饮水和其他给养以及航天员的换班、航天器的维修等），也为今后建立更大规模的太空城市积累了经验。

对接固然要很高的定向技术和自控技术，但这还不是空间飞行中最困难的方面。空间运输要求飞行器能飞上太空，又能安全返回地面。而且不是一个来回就大功告成，而是来来往往多次运行。这种飞行器，必须能在低空、高空和外空间均能飞行，航天飞机就是这类飞行器。

中国的航天事业，起步比美国、前苏联、西欧晚些，但在第三世界中高居首位；是世界上第五个能发射空间飞行器的国家。我国古代先人曾以四大发明为世界科技文化作出巨大贡献，相信在不久的将来，我国在航天技术方面，也会做出新的贡献。

罗伯特的艺术创造 高科技王国——计算机艺术

谈到宇宙飞船的飞行控制和对接，又涉及到一种高技术——信息技术。信息技术的主体是计算机技术。现在不少人把计算机称作“电脑”，这个称呼听起来很形象，但决不可作为“学名”。因为计算机固然是一种具有一定“智能”的机器，但在目前的技术水平上，以“脑”来称呼它，还差得太远；虽然称呼它为“脑”不大合适，计算机专家和从事人工智能研究的学者，正在努力提高它的智力水平，并设法让它从事一些在地球上只有人类才能完成的工作——艺术创造。

用计算机求出复杂的数学方程的数值解，或用计算机控制机器，不少读者已很熟悉。以解方程而言，无非是把要计算机完成的数值运算工作用计算机语言表达出来，换句话说，编成计算机能懂的程序。将这程序输入计算机，同时输进有关的条件和数据，计算机便会依程序办事，高速度地将运算工作完成。

求数学方程的数值解，人类觉得很复杂，因为计算步骤很繁琐，对计算机而言却并不吃力。要知道进行数值运算，无论是加、减、乘、除、乘方、开方，甚至微分、积分、逻辑运算，都属于计算机的特长，即使是求数值解时要反反复复地循环，同样的计算要作上百遍、上千遍、上万遍，计算机决不会厌烦，也不会中间出个差错，导致最后结果全错的是感染了病毒的计算机。

艺术创造却大不一样，人的艺术感受是综合性的。以画竹为例，中国成语中有“胸有成竹”一词，就是说画竹需仔细观察竹的特点，把眼前竹化作胸中（亦即心中）之竹。胸中竹是整体性的综合形象，依其作画，又把这胸中竹化作笔下之竹。计算机的工作方式是分析型的，它依照人编的程序办事，一步一步地来，尽管如此，人类还是想出一些办法，在这分析与综合之间架起一座桥梁。

仍以画竹来说明，人依然需要“胸有成竹”，首先要设置一些“图元”——不同类型的竹叶与竹枝；再想好画面的布排——哪里疏、哪里密、哪里淡、哪里浓……若是要着色，还要构想好色调及其变化。这些构想，计算机不可能直接理解并加以执行，而要借助特别设计的软件，把人的构想化为数字符号输入计算机，这一步有个专有名词叫“模-数转换”。而把计算机作画（在屏幕或绘画板上）的过程反了过来，需要把数字符号化为“画中竹”，这一步的学名叫“数-模转换”。

计算机音乐的原理与绘画类似，只不过这里的“模”，不是绘画中的要素，而是音乐艺术的要素。代替图元的是音高、音色；这里不是安排画面，而是要安排音的长短和次序。绘画中有光线的明暗，音乐中则有声音的强弱。

也许有人会说，画竹有了构思之后便可一挥而就，即使是如郑板桥那样精心画竹，乃至“日间挥手夜间思，……画到生时是熟时”，绘起竹来，也比这“模-数转换”，“数-模转换”颠来倒去便当得多。计算机音乐也是如此，本来一吹一拉一弹一唱便可产生的音响，如今要用一串数学计算才能实现。这分明是舍近而求远，何苦来呢？一种新事物的诞生与存在，总有它自己的道理。计算机绘画自然不至于模仿原有的画种，计算机音乐的主攻方向也不是模仿传统乐器。前者应绘出人力无法绘出的画图，后者则应奏出普通乐器（无论是吹、拉、弹、击）均产生不出的音响。计算机艺术家运用自己

的才智作到了这点。

彩图中有一幅是计算机创造的奇妙图案，这图案色彩斑斓，结构多变化，一层套一层。有些部分非常精细。总之技法高超、风格独特。这类画即使是吴道子在世、米开朗基罗复生，也描画不出。而计算机艺术家，却借助当代最新科学的分支——分形科学将其创造了出来。

计算机音乐则突破了原有的音响世界，无论是铜管、木管的吹奏、弹拨乐器还是拉弦乐器，或是钢琴、风琴等键盘乐器，以及借助人自身声带的各种唱法（洋唱法、民歌唱法、戏曲行腔），其音色都由发声器的振动规律所控制；计算机音乐的音响，却由数字讯号合成，它的天地要广阔得多。

早在 70 年代，国外的计算机音乐家就创造出了许多奇特的音响。比如乐器的音高由发声体（管弦、声带）振动的基频决定，计算机却能创造出基频不断降低、人听到的音高却不断升高的音响。又如，古人常用“余音绕梁”一词来形容音乐之美，就是说，由于这音乐太动听了，乃至音乐中止之后，其余音仍在听者的耳边回响。近代计算机音乐家借助数字合成技术和相应的音响设备，的确创造出了“余音绕梁”的音响效果。听众坐在音乐厅中，真的感到“余音袅袅，不绝如缕”，使人沉醉。

正如一位计算机音乐先驱所说，计算机能创造这世界上一切可能的音响，只要人的想象力能想象得出来。不过他也指出了其中的困难，产生这音响所需的机时会很长，甚至可能不是有限的。

应该说，中国人在发展计算机艺术上很有点优越性，中国的传统音乐很重视音色，以音色的变化来表现乐思。音色变化恰恰也是计算机音乐的特长；中国画很强调写意，这写意也恰恰是计算机美术的追求。所以尽管计算机音乐与美术均非源于中国，但它的发扬光大却很需要中国艺术传统的滋养。

航天技术一节中，提到了“多媒体”，这其实也是计算机艺术的一种形式。顾名思义，多媒体指传媒的“非单一性”，也就是说“模-数转换”，“数-模转换”中的模，既有声音讯号，又有图象讯号。可以设想未来的一部“古今中外乐器介绍”多媒体，人们可以通过它看到各种乐器的外形及构造；与此同时，也能听到每种乐器的音响，有了这样的设备，乐器学这门课会变得既便当又有声有色。

高科技王国中的奇妙景象，还不只这一些。本书的读者，大半读过《爱丽丝漫游奇境记》这本名著。书中的小爱丽丝在梦中坠入了兔洞，见到许许多多怪事，一会儿变大、一会儿变小，还遇到了扑克牌王国的国王、王后、王子、士兵。如今借助高科技手段，无需作梦，便可进入一个虚幻的世界。

这种高科技手段叫“虚拟的真实”，说得更艺术一点，可称为“灵（之）境”。你只要戴上一副特殊的眼镜，再套上一副“数码手套”，便感到自己“离开”了原来所处的空间，“进入”由计算机所创造的灵境中。在这有可能是一个计算机“产生”的房间里，你转动身体，房间中的景象随你的视角而变；你伸出手来，可以触摸到这房间中的各种“物体”，并将它自由移动，只不过感觉不到它的重量。换一个程序，你有可能进入一辆汽车，或骑上一辆摩托，周围则是街道、房屋，你可以将车驶来驶去，所见的景象也随之变化。你甚至可以在这世界中，和一个看不见的对手，玩羽毛球、乒乓球或网球。

这被称作“虚拟的真实”的高科技手段，还只在美国的某些高科技实验室中存在，但它蕴育着巨大的潜力。也许本书的读者中会有人参与这项工作，

创造出更奇妙的计算机中的虚拟的世界。

科学巨人的成长 科技文化知识体的演化

“大科学”一词，对多数读者来说有点陌生，“大”和前面的“高”一样，都是在比较中存在的。还是以《格列佛游记》为例，格列佛游历了大人国和小人国，在小人国中他被当成“大人”；而到了大人国，便成了可怜的“小人”。大科学之“大”字，也一样是相对“小”科学而言。大人、小人的名称，依据的是“身材”，大科学、小科学之说，根据的则是其“知识体”的容量。

“知识体”是一个新名词，通俗点说，就是科技文化的知识体系。科技文化的发展，实际上是整个知识体系的变化。作为体系就不是简单的事物，也不是事物的堆积。每个体系有它的内部结构，各组成部分之间，也有着紧密的联系，内部结构的特点、组成部分联系的不同，又会影响到整个科技文化系统的演化。一部科技文化史，其实就是科技文化知识系统的演化史。

在古代，尽管各种知识都被包罗在哲学之中，但有些哲学家已开始对当时的知识体进行分析，想从中理出个头绪。其中亚里士多德的分类，是当时最有影响的。他以人的活动，作为分类的标准，把纯认识活动的有关学问，称之为理论的哲学；把研究人的行为的学问，称为实践的哲学；还有一种学问是创造的哲学，这里面包括创作、艺术活动、讲演等等。

到了弗·培根时代，各种具体知识，先后从哲学中分化了出来。培根和法国的百科全书派，主张应从人类理性出发来对科学分类，具体的分类前节已列出。此后随着自然科学知识体的扩大，又有了前节中圣西门、孔德、黑格尔等人的分类体系。

这分类体系，将当时的知识体，较全面地概括了进去；但其基础有一严重缺欠。如恩格斯所说的那样，黑格尔的思想是头足倒置的，他的科学发展体系也是这样。黑格尔把“绝对精神”当作源，在绝对精神的推演中，各门科学依次出现。首先是关于辩证思维的科学，随后外化为自然界。开始是机械运动的世界，这世界中存在时间和空间，相应的科学是数学和力学；接着是实在的、有质的规定性的物体，这就是无机自然界，同时有研究无机自然界不同现象与过程的科学——物理和化学；再进一步，外化出现有机世界，产生了生命，也出现了研究生命的科学——植物学和动物学，外加与生命前提有关的地质学；动物的最高阶段是人，绝对精神在这阶段上，进入精神哲学阶段，与之相应依次出现了人文科学的各种学科。

黑格尔“头足倒置”，把“绝对精神”当作源，因此其科学分类也有相当大的人为性，尽管如此，他对各学科间的联系的分析有相当的合理性。换句话说，只要去掉那虚幻的“绝对精神”，把倒置的头足颠倒过来，便能建立“科学的”科学分类。

前一节讲了自然科学中的“大发现”带来了科技文化的大变化，这种变化最明显的标志是发现了自然界各种现象之间有着密切联系。物理世界中不同的能量（动能、位能、热能……）能相互转化，但总能量守恒；化学世界中，不同的物质能相互转化，但物质守恒；生命世界中有生物的进化、遗传与变异，地质学中揭示了地球的演化，天文科学则揭示了宇宙的演化。另一标志则是发现了物质结构的多层面性，包括生命的最小单位细胞和原子的内部结构。这些科学事实说明两点，自然界各种过程间有区别，但又有联系；对这些过程的研究，自然也有密切的联系。恩格斯借助辩证唯物论这一有力

的思想武器，分析了各门科学的内在联系，批判地继承了历史上各种分类中合理的部分，将黑格尔头足倒置的观点正了过来。他提出运动形式有以下五类：机械的、物理的、化学的、生物的和社会的。对这不同运动形态的研究成果，构成了不同的知识体。

中国的演义小说中，最常用的一句话是“话说天下大事，合久必分，分久必合”。天下大事是不是这样，自有历史学家去评说，科技文化的发展，倒的确经历了分与合的变化。前面讲的从亚里士多德的分类到恩格斯的分类，体现了知识体的从合到分，从现代到当代则知识体开始从分到合。这“合”倒也并非全聚成一大团，它的主要表现是，出现了许多交叉科学，打个形象的比方，很像大火车站不同铁路线的交叉，十分错综复杂。下面举几个例子。

对元素性质的研究，原本是化学家的任务，但发现元素放射性的是物理学家卢瑟福，他为此获得诺贝尔奖，不是物理奖而是化学奖。此后对元素放射性的研究称“放射化学”，这实际上是物理与化学相交叉的科学。

又如生物学是研究生命运动的科学。为了探索生命的奥秘，特别是生物遗传与变异，当代科学家认为，光在细胞小人国中研究不行，还需进入更微观的层面——分子层面。为此物理学家和生物学家通力合作，在分子层面上进行探索，并建立起“分子生物学”，这又是一门交叉科学。

人类居住在地球上，地球自然是人类研究的对象，不过人类最早注意的是地球蕴含的矿藏，从而有了地质学；到了近代，地质学家认识到矿藏的分布和地球内部的力学过程密切相关，这样便出现了地质学和力学相交叉的科学——地质力学；地质力学还不足以概括地球本体的物理现象，于是更进了一步，有了“地球物理学”。这种地球物理学研究地球的本体，特别是固体部分，因此叫固体地球物理学。对海洋中物理现象的研究，则称海洋物理学。广义的地球物理学，还要研究地球大气、高层大气、外空间，于是又有了大气物理、高层大气物理、日地空间物理……从地球物理到日地空间物理，无一不是交叉科学。

交叉科学的出现表明，在现代科学发展过程中，学科的分化是在一定历史条件下进行的。分化的原则依据的是各学科所面对的运动形态，这当然是合理的；但运动尽管有多种形态，其间并不存在着鸿沟，而是有着千丝万缕的联系。科学越向前发展，这种联系也越来越清晰地表现出来。

不仅如此，经典科学方法论的基础是决定论。读者不会忘记那位理直气壮地把上帝当成“假设”，并向拿破仑声明自己用不着这假设的拉普拉斯，他把“决定论”放在至高无上的地位。他曾这样写道：“智慧，如果能在某一瞬间知道鼓动着自然的一切力量，知道大自然所有组成部分的相对位置；再者，如果它是如此浩瀚，足以分析这些材料，并能把上至庞大的天体，下至微小的原子的所有运动，统统包括在一个公式中，那么，对于它来说，就再也没有什么是不可靠的了。在它的面前，无论是过去或是将来，一切都将昭然若揭。”

这看起来是一种极乐观的态度，细思量一下，就会发现这是一种“宿命论”，所以一些学者称其为“宇宙宿命论”。有人还以通俗的语言打了个比方，讲若已知某甲生于1901年4月25日辰时，把这条件代入宇宙方程，便可预知此人定于1945年9月8日寅时丧命，甚至死因也是确定的，命丧于刀下，而决不能是其它任何一种死法。这可真像是地下有个阎王爷，掌握着一本“生死簿”，他叫你半夜死，就不能拖延到五更天。

这种决定论思想，在微观世界中遇到了严重的挑战。早在瓦特坐在开水壶边观察蒸气出现时，“热”是什么这问题就产生了。但发明蒸汽机的瓦特和研究热机中能量循环的卡诺所注意的，是热能产生的力量，即“作功”、“能量变化”这些肉眼能直接观察到的“宏观性”的问题。

“热”究竟是什么呢？物理学家都承认热是大量分子的无规则运动。分子运动越激烈，分子碰撞的强度越大，温度就越高。但想用牛顿定律和拉普拉斯的决定论来描述分子热运动，却遇到了无法克服的困难。科学家们发现，要解决这个困难，必须引进非决定性（或称偶然性）。因果律和体现偶然性的或然律是对立的统一。恩格斯在《自然辩证法》中，以豌豆荚为例，对它进行了生动的说明。恩格斯说正常生长的豌豆荚中，会结豌豆这是必然的；但究竟结几粒豌豆，却是不固定的。

对或然性的数学研究（数理统计学），比上面的哲学推断又进了一步。它告诉尽管分子运动的速度、豆荚中豌豆的粒数不固定，但它们的分布情况和平均状态却有规律可循，它背后也隐藏着一定的原因。现代生物学有一个重要分支——细胞遗传学，遗传是否有规律可循呢？奥地利生物学家孟德尔（1822~1884）曾通过豌豆杂交实验，来寻找遗传的规律，并提出了遗传有显性（在下一代直接表现出来）和隐性（下一代这种特性隐而不见，到其后代却会表现出来）的特征。无论显性还是隐性，遗传都有随机性，就个体而言，没有人能预言它会表现出什么特征。比如圆形种子、黄色子叶的豌豆和皱皮种子、绿色子叶的豌豆杂交后，第一代的杂种豌豆全部是圆形种子和黄色子叶，皱皮种子和绿色子叶这两个性状要到第二代才显示出来。这第二代有四种类型：圆形黄色，皱皮黄色，圆形绿色，皱皮绿色。具体到某一株豌豆是哪一种类型，谁也不能预言，只晓得这四种之间的比例，依上面的顺序为少 9 3 3 1。

此外，小科学时代科技文化的成熟度，往往以“量化水平”作为标志。化学的发展靠的是定量分析，经典物理学中，牛顿力学方程、电动力学方程、质量、能量守恒等定律，都是高度精确的定量规律。这些科学成就，使不少人产生了一种误解，认为精确性就代表了科学性。

进入大科学时代后，科技工作者才逐渐认识到，精确性和科学性并不是“同义语”，模糊现象到处可见。比如对一个人健康状况、道德高下、业务能力的评价，都很难作精确的描述，这在日常生活中，并没有什么关系，你的好朋友无论他胖点、瘦点，穿什么服装，或者脸上让虫叮出个小红点儿，你都不会认他不出。但有些情况下，却会成为严重问题。比如，现代战争中反导弹系统，要是识别有误，不是误伤无辜，就是自己被毁，而导弹识别就属于模糊问题。

为解决各式各样的模糊问题，产生了一门新的科学“模糊数学”。

不过大科学知识体的支柱还不是上面说的这些，而是系统的方法，它把我们引到了下一节中。

科技文化的“集体力” 系统的科学与科学的系统

真正将大科学和小科学区别开来的是“系统”的思想。一般系统的理论是由一位奥地利生物学家贝塔朗菲提出来的，但“系统”的思想，在马克思的著作中已见端倪。马克思的巨著《资本论》（写于1867年）曾提出了“集体力”的概念，这种“集体力”与力学中的“合力”不同。马克思这样写道：“一个骑兵营的攻势力，和该营骑兵一个一个展开的攻势力的总和，是本质上不同的；一个步兵团的攻势力，和该团步兵一个一个展开的攻势力的总和，也是本质上不同的；同样，劳动者一个一个发挥的机械力的总和，也和多数劳动者同时在一部分的操作上共同劳动时发出的社会力能，是本质上不同的。”马克思说劳动者这种结合劳动的结果，完全不能由个别的劳动得到，其原因是“这里不仅因协作提高了个人的生产力，而且是创造了一种生产力，……”马克思称之为“集体力”。这“集体力”的概念，已包含系统论中某些基本思想。

本世纪初叶，一些科学家，开始对经典科学中通行的“机械分割论”进行反思。1968年，贝塔朗菲完成了《一般系统论：基础、发展、应用》一书，全面地阐述了系统论的思想，把系统方法引入科学知识体中。

系统比前面讲的由进行无规则运动的分子群（科学家称之为“系综”）产生热更为复杂；系综的温度高低，由分子热运动的平均情况决定，而平均情况可由算术和推出。系统与之不同，它的组成要素间有很强的相互作用，因此一个系统中某个特性参数就不再等于各要素作用的简单相加。

系统论专家，常用下面两句中国谚语作比，一是“三个臭皮匠，顶个诸葛亮”。另一是“一个和尚挑水吃，两个和尚抬水吃，三个和尚没水吃”。三个皮匠一起思考，要比三人各自闭门单独思考出的主意加起来要好得多。因为一起思考，会相互启发，产生新的智慧火花，最好再集思广益，往往能有很妙的主意。三个和尚没水吃的情况恰恰相反，这是因为他们三人互相依赖，你推我，我推你，相互作用是“负数”，最后竟没得水吃。如果是另外一种系统，来了个严厉又公道的大和尚，相互作用变了，不但有水吃，也许还会种瓜果蔬菜，生活大大改善。

大和尚管小和尚，这就有了层级，层级性也是系统的特性。无生命物质世界，已有了从夸克到基本粒子，到原子到化合物大分子的层级结构；有生命世界更为复杂，由大分子组成细胞，细胞又组成各种器官。层级性和现实中的梯子不同，梯子每上一级不过是高度增高几寸，系统每上升一个层次，会产生新的突生特性，否则，细胞下面的层级是无生命的，那生命又从何而来呢？

无论是庙中和尚有没有水喝，还是细胞或器官的功能，都不是由单个成员（一个和尚，某种原子）决定的，而是系统中各种力量共同作用的结果。这种作用是内部力量，所以称作“自组织”。

一切事物都是在与其它事物的联系中存在的，热学中建立的“孤立体系”不过是一种理想模型，并非全封闭，自组织也包括与外界作用的结果。比如达尔文进化论中，遗传、变异正是生物系统内部自组织的以及和外界作用的结果。社会系统更是如此，比如在十分重视佛教的朝代，和尚有可能不必自己挑水，并有高级斋饭吃；而遇上了毁寺灭僧的年代，和尚连庙都没了，生活自然失去了保障，为了生计，只有另谋出路。

系统有各式各样的系统，系统的发展也有各种类型。比较简单的系统，叫“协同系统”，这种系统中的各个要素，没有什么高下，通过协同作用，使群体事物有序化。激光系统属于这类，在这系统中，原子被激活。当外界输入的能量足够强时，激活原子的振荡“步伐一致”，频率、方向、位相全相同，强度变得很大。

低级生物所具有的反馈控制系统较之复杂了一步。这种系统的要素，分成不同的集团：消化器官、循环器官、生殖器官等等。各种器官彼此间的信息、能量、物质相互交流，输出的信息会得到一定的反响。其结果是逐渐演化出一些控制中心，来协调各种器官。

再进一步是“自适应系统”，具有大脑的高等生物系统属于这一类。由于能自行适应，这种高等生物系统的生活能力比低等动物强得多。

更高级的系统是“创造型系统”，即人类思维活动系统。它具有前述几种系统的功能，可协同，可反馈，能自适应，但更重要的是能改造自然、进行创造，创造更有利于人类的生态。

科学的知识体，也是一种系统。每一门学科，有它自身的层级结构和形成过程，整个科学体系，也有它的层级结构和形成过程。

前面介绍过整个科学知识体的变化，每门科学的产生，也有一个过程，对这过程，不同的学者有自己的说法。下面是一种较为普遍说法，即从准科学到前科学，到常规科学，到后科学。

“准科学”的概念是萨顿于1952年提出的，“准”在科学中常表示“接近”。比如“准平衡态”是指事物处于很接近平衡的状态，但又不是真正平衡；而准科学则表示某种即将成为科技文化一部分，但又未完全成熟的科学思想。接着是“前科学”，“前”当然比“准”进了一步，即已来到“大发现”的“前夕”。这时已经建立起了许多概念，也开始对概念进行综合，许多科学家，先后从不同的角度，对同一现象进行观察，甚至发现了一些经验规律。

尽管如此，前科学既冠以“前”字，就表明这时尚处在发现的前夕，这时往往有许多看法并存，各有其道理，百家争鸣，无法统一。

前科学之后，便是“常规科学”，在这个阶段上，知识增长很大，使这门科学进入成熟阶段。这阶段又被认为是科技文化的“当采”时期，当采是以开矿作比。矿的当采时期，产矿量最大；一门学科处于当采阶段时期，成果最多。回顾科技文化的发展，当采科学从简单向复杂，从宏观向微观，从具体向抽象方面转移：16世纪到17世纪是力学，17世纪到18世纪是热学，19世纪是化学，19世纪末到20世纪上半叶是电磁学，20世纪中期是核科学，当代则是信息科学。

当采的科学矿藏采得差不多了，“后科学”的阶段便到来了。后科学阶段并不是没有科研成果，在这阶段，科学理论更系统化，形式也趋于完美。但与此同时，这个科学矿也进入了“老年”。

还有两种科学在这演化系统之外，一是“超科学”，一是“伪科学”。超科学是超出当采科学很远的科学，从螺旋上升的观点看，它既在后科学之后，又处于前科学之前。由于它思想超前，成熟度却不高，常混在伪科学之中。当代有些科学学家主张，应把超科学和伪科学放在“潜科学”的领域中。

所谓潜科学，顾名思义，是孕育中的科学，像鸡崽一样，羽翼未丰，有待生长成熟，破壳而出。鲁迅先生曾说：歌唱家在出生时的第一声啼哭也不

会是一首歌。某种科学思想要由不成熟向成熟发展是很自然的。在这种情况下，对科学发现的判断尽量少犯主观非常重要。有位西方学者对此提出了一个很不错的方法，它可以用图 7 - 7 表达。图中有根细棍，棍上穿着一个小圆珠，它的位置代表人对某种科学看法的信任程度。棍的左端标零，代表对此见解全然不信；右端标 1，与之相反，代表百分之百地相信。从左至右，代表相信程度逐渐增加。这位外国学者的忠告是，你可以根据你对某学说的相信程度，把珠子移到 0 与 1 间的任何位置上，甚至可以十分靠近端点，但是绝对不可将珠置于端点处。因为只要未放在两头处，你都可以依据科技文化的发展，调整这认识之珠的位置，但一旦进入两端，或是绝对不信 0，或绝然不疑 1，它都会落入偏见的无限深渊。这之后，无论有多少可靠的新证据与你原来的方法相左，你也无法自拔而跳出这个深渊，只能一错到底。

是的，“偏见往往比无知更可怕。”上面那明智的忠告把本书引向尾声。

“科学越来越艺术化，艺术越来越科学化，两者在山麓分手，有朝一日将在山顶重逢。”法国作家福楼拜的这一预言，现在已为文化的发展所证实。福楼拜形容他所在的年代，是在转折处的黑暗的夹道，人们正在摸索、寻找道路，现在这道路已经找到，这就是走向真与美的统一。

真与美是古代智者的一致追求。在华达哥拉斯那里，在达·芬奇那里，真与美都结合在一起。一直到中世纪，西方仍延续希腊文化传统，把音乐、诗歌、数学、天文学、医药、建筑等总称为“九艺”。法国哲学家狄德罗（1743～1784）曾说：“真、善、美是些十分相近的品质。在前面的两种品质之上，加以一些难得而出色的情状，真就显得美，善也显得美。”

在近代，由于社会分工越来越细，科学分科也是如此，成了小科学，人的全面发展，受到很大影响。不少艺术家常把“自己是科盲”挂在嘴边，从不认为这是一种缺欠；在科学界中，尽管不乏喜爱艺术的人，但多数科学工作者对艺术作为一种文化现象缺乏了解，有些人，甚至对自己专业以外的学科，也知之甚少。

尽管如此，文化的发展并不受社会分工的限制。本书一开始就曾谈到在西方语言中“文化”一词与“植物栽培”一词同源。植物群落中百花齐放，各种草木并存，由一定的生态关系连接、构成一个整体；文化园地也是如此。小科学时代的不少科学成果，已用到了艺术中；光学的发展，有助于绘画中的色彩的应用；声学的发展，则对近代音乐和声学及交响乐配器的发展，有很大的促进。音乐声学，是声学中一个重要分支，它的奠基者是举世闻名的德国物理学家、生理学家赫姆霍茨（1821～1894）。这种应用具有“小科学”本身的特点，重点在与之有关的某个或几个物理定律上。

当代文化百花园中，真与美的统一“更上一层楼”。不仅许多科学家把具有“科学美”作为“科学定律”的一条判据，还开辟了一个新的研究领域——“科学美学”。这门科学，并非无源之水，无本之木。追求真与美的统一，是近代许多大科学家的不懈追求。

法国数学家彭加勒（1854～1912）曾写过《科学与方法》一书，在这书中，他说科学家研究自然，是由于自然之美引起的愉悦；他们之所以如此醉心于科学研究，是由于对“此种特殊的美，以及宇宙和谐的寻求”。爱因斯坦也认为“人们总想以最适当的方式，来画出一幅简化的和易领悟的世界图象”。这种渴望，是学者“无穷毅力和耐心的源泉”。不仅如此，科学家对真与美的追求会执着而强烈，以至于可称之为“宇宙宗教感情”。

这种追求并非无本之木、无源之水，真与美之间的紧密联系是一种客观存在。正因为如此，在不少自然科学定律的建立中，对美的追求发挥了一定的作用。

开普勒行星运动三定律，在科技文化史中有着重要意义。这定律中，有个有名的公式： $T^2 = D^3$ （ T 是行星绕日公转运动的周期， D 是太阳与此行星的平均距离），这公式的基础，当然是大量的观测资料；但是，由于观测总会有误差，从资料的统计中，不易得到这样齐整的公式。而开普勒相信科学定律应有一种“简洁之美”，这帮助开普勒从杂乱的观测数据中理出头绪，得出了上述这具有简洁美的公式。

爱因斯坦则把简洁性作为科学的伟大目标，“人们总想以最适当的方式，来画出一幅简化的和易领悟的世界图象。”他把科学家对宇宙和谐美的追求，称之为一种“宇宙宗教感情”。他钟慢尺缩的“相对论”公式，在简洁性之外，还具有对称之美。

在麦克斯韦的电动力学方程的建立过程中，他对“对称美”的追求，也起着相当的作用。基于法拉第实验研究的理论方程是：

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0$$

这是电场 \vec{E} 和磁场 \vec{B} 的方程，右半边大不相同，麦克斯韦觉得这违反了对称美的原则，深信右边应有 $\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ 这一项，后来这个猜测，为实验所证实。不仅如此，这公式一共是四个，上下左右都有一定的对称性。

微分形式

积分形式

$$\nabla \cdot \vec{E} = 4\pi\rho$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 4\pi Q$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = -\frac{1}{c} \iint \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0 \quad \text{或}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{4\pi}{c} \vec{j}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} \vec{I}$$

上标 \rightarrow 表示向量，即有方向的量。

不熟悉高等数学的读者，看到这公式既不明白其意义，也很难体会这里面的“美”，这也不难，可以把这里的数学符号，换成图案： ∇ ，可以画作心形 \heartsuit ； \times ，可以变风车；英文字母可以用美术字体来表达，这一来会看到一幅颇具特色的图案。这图案既有对称美，又具有并非完全调和的奇异性。

在音乐中，在合谐之外，总有些不合谐的因素。一幅风景画，半边挤得很满，半边空白，当然观之不美；但对称整齐四平八稳，便毫无生气。戏剧欣赏时，观众希望剧情既在情理之中，又出乎自己的意料之外，合谐性与奇异性的对立统一也具有这种特性。

谈到此，读者会认为，科技文化正随着真与美的统一走向完美无缺的终点，要是这样想，可说是天大的误会。古人云：“生也有涯，知也无涯。”与知之无涯相伴的是科技文化的不断发展。

此处不想列举专业性很强的研究课题，只想列举些看起来很古怪的命题。这类命题与芝诺这样的古希腊学者的传统一脉相承，即看起来有点悖于常理，自相矛盾，所以被称为“悖论”。既是悖于常理，又如何对科技文化

作出贡献呢？还是让我们先看些例子。

最古老的一个悖论是在公元前6世纪时一位克里特岛人提出的，这人叫艾比曼尼迪斯，在《圣经》及其它文献中，他被尊为“先知”。这位先知说过这么一句话：“克里特岛人，都是说谎者。”这给人们出了个大难题。人们应不应相信这话呢？相信这话，则这位艾比曼尼迪斯本人便是说谎者，那么则不应相信此话；可不相信此话，则反而证明了这话为真。可说是两头为难。

到了近代，罗素把悖论作为研究对象，并提出了一个举世闻名的“理发师悖论”。这悖论说：

萨维尔村里有个理发匠，他给自己立了一条店规，他只给村子里自己不刮脸的人刮脸。请问：这位理发匠应不应给自己刮脸？同样，这位理发匠无论给不给自己刮脸，都违反自己定的店规，将自己装进了一个进退两难的怪圈之中。

讨论这个怪圈，不是一两句话能解决的，这里只是想说明，对现代科学作出巨大贡献的形式逻辑看起来十分完备，实际上却并不完备；这使得科技文化更加多姿多采。更为有趣的是，这种不完备性，又为“美”的创造，特别是“喜剧美”的创造，提供了有力的工具。请看下面两则笑话：

笑话一：“世界上没有绝对的东西，你说对不对？”

“对，这话绝对正确。”

笑话二：“年轻人，我活了一辈子，总算得出一个经验，不要相信任何人！”

“请问先生，您这话，我该不该相信呢？”

读了这两则笑话，人们会不由得发笑，但在笑的同时，也应仔细想一想其中的深刻含意。

是的，人类的认识永远向前发展；科技文化的长河永不停息地流淌，未来的科技文化将向哪个方向发展呢？写到这儿，笔者不由得又想起福楼拜的那段名言：“艺术愈来愈科学化，而科学愈来愈艺术化。”正如他所预言的那样，艺术和科学二者正在相互靠拢，但是我们现在是否已走出这拥挤的过道？是否已不在黑暗中摸索？没有人能对此下断语。不过我们相信：科技文化将继续剷除路上的荆棘，排开眼前的迷雾，向更真、更美的境界行进；曾以四大发明为世界科技文化作出巨大贡献的中华民族，定会为真与美的交响曲献上更动听、更醉人的旋律。

让我们共同努力吧！

书 名：走向真与美的统一
——趣味科技文化

作 者：资民筠

出 版：江西教育出版社（南昌市老贡院 8 号）

发 行：各地新华书店

印 刷：南昌市印刷四厂

开 本：850 × 1168mm 1/32

印 张：6.25

版 次：1996 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

定 价：11.70 元

书 号：ISBN7 5392—2631 5/G · 2593

邮政编码：330003

（赣教版图书凡属印刷、装订错误请随时向承印厂调换）

资民筠 湖南耒阳人，1938年生，在北京大学地球物理系任教近三十年，其间曾赴西欧、北欧诸国访问（访问学者两年，及参加有关国际学术会议），1988年转入中国艺术研究院艺术科技室，现为该院比较艺术中心研究员，系中国空间科学学会和中国地球物理学会会员，《艺术科技》杂志特约编委及特邀撰稿人，发表论文（包括英文）五十余篇，并获国家教委科技进步奖，与海内外华人学者共著《空间物理进展》一书，获第五届全国优秀科技图书特别奖。此外著有《航天器史》、《舞蹈生态学》、《走向空间》、《科学发现及其所包含的科学方法》、《音乐与自然》、《真与美的长河》等书（其中部分为合著）。还写有科学幻想小说、科学小说、科学童话、科学小品等。其中科幻小说《伊甸城的毁灭》曾获科幻小说银河奖。

