

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

理性的狂欢

——技术革命与技术世界的形成

 **eBOOK**
网络资源 免费下载

创造文化生态 ——《人与自然》丛书总序 周光吕

打开人类的文明史册，人与自然是其中的基本主题，而文化是人类的特有创造，在自然与文化的互动之中，人类从亿万物种中突现出来，成为万物的灵长。

文化发展的历史也是人类进步的历史。在人与自然、人与人、人与自身这三大文化主线中，人与自然的关系更多影响和规定着人类的生存和发展。回溯远古荒蛮的天地之初，文明崛起时人类创造了听命自然的图腾文化。在漫长的农耕社会，人类创造了具有田园意趣，以自然启示人格和艺术的人文文化。那时的自然，既是外在于人类的物化世界，也是自然而然，率性而行的一种精神秉赋。那时的人类，对自然的世界充满敬畏和热爱之情，对自然的精神满怀眷恋和憧憬。在文化宝库中，中国古代的思想、文化、艺术无不浸润着浓郁的自然主义精神。

近代以来，发端于文明西域的文艺复兴以实验科学为肇始，开辟了科学革命的道路，从此，人类认识、理解和对待自然的方式发生了重大改变。在自然科学面前，自然的世界揭去了神秘的外纱，自然的生命精神悄然退隐。科学勾画了统一的世界图景，这个世界是物化的世界。自然变为纯粹物化的自然。自然成为人类意欲认识并按自己的愿望加以改造的物化对象。科学的理性精神强大地渗透到文化当中，人类以前所未有的尊严和智慧创造和进入了科学文化时代。

以认识自然为目的的科学和以改造自然为目的的技术是近代以来人类文明最为辉煌的成就。以自然科学为理性基础，以技术为表现形式的科学文化使得人类的思想方式、生活方式、行为方式出现了重大变化。科学技术赋予人类的精神文化、制度文化和物质文化以一种新的气质和构造。科学思想、科学方法和科学精神创造了全新的工具理性。科学文化以其逻辑化、数学化、实验化的特点成为突破地域特征的国际性文化。在现代社会，科学技术不仅是人类从野蛮蒙昧走向自由文明的桥梁，而且是发展经济，增强综合国力的主导力量。

但是，中性的科学技术在人类的手中，可以成为打开自然宝库的钥匙，也可以成为对自然肆意虐的工具。当人类的改造速度小于自然界的恢复速度时，科学技术便体现为正向的生产力；当人类的改造速度大于自然界的恢复速度时，科学技术便体现为负向的破坏力。科学技术的生产力创造了高度发达的物质文明，科学技术的破坏力引发了世界范围内的环境问题。这就迫使我们跳出传统的视野，重新研究人与自然的关系问题，重新选择和评估科学技术特别是高新技术，引入自然、人和价值的向度，创造文化生态，选择新的文化模式。

从人类文明、文化的历史和人类发展的未来出发，将自然文化、人文文化和科学文化整合为一，使得人与自然生态共荣，和谐发展，应当成为人类的价值理性、决策理性。

东北林业大学出版社和中央电视台“人与自然”栏目紧紧把握时代的脉搏，在国内率先组织一批富有学养的不同学科领域的代表性专家，以人与自然关系为基本视角，以人类文化演进为思想主线，深入而通俗的撰写“人与

自然”丛书，全景展现人与自然关系的壮丽画卷，探索性地提出了人类未来发展的几条可能之路，其眼光和意义十分深远。将学术创造和学术成果大众化贯通起来，也是一种值得倡导的文化生态。

走向天人合一——《人与自然丛书》总序

季羨林

人类自从成为人类以来，最重要的是要处理好三个关系：一，人与自然的的关系；二，人与人的关系，也就是社会关系；三，个人内心思想、感情的平衡与不平衡的关系。其中尤以第一个关系为最重要，而且就目前现状看来，是迫在眉睫的问题。

人之所赖以生存的衣食住行等无不是取自大自然，关键问题是取之之方。在这里东西双方，至少在思想上是不相同的。西方采取的是强硬的手段，要“征服自然”，而东方则主张采用和平的友好的手段，也就是“天人合一”。要先与自然做朋友，然后再伸手向自然索取人类生存所需要的一切。宋代大哲学家张载说：“民，吾同胞，物，吾与也”，最鲜明地表达了这种思想。

东西方手段之所以不同，我个人认为，其基础是思维模式的差异。西方主分析，以中国文化为代表的东方主综合。西方自古希腊以来，以分析的方法对待自然。到了近代产业革命，达到了登峰造极的地步，其结果是人所共睹的。他们取得了辉煌的成就，上天入地，腾空泛海，生光电化，无所不及。一直发展到核能开发、宇宙卫星等等，全世界人民无不蒙受其利。这一点是无法否认的。这是他们“征服自然”的结果。然而自然虽无人格或神格，如孔子说：“天何言哉！四时行焉，百物生焉，天何言哉！”然而它却是能报复的，能惩罚的。西方滥用科技产生的弊端至今已日益显著，比如大气污染、环境污染、生态平衡破坏、臭氧层破坏、新疾病丛生、自然资源匮乏、人口爆炸，如此等等，不一而足。这些弊端，如果其中的任何一个得不到控制，则人类前途实处危境。

这些弊端已经引起了全世界有识之士的深切关注。怎么办呢？我的看法是：人类必须悬崖勒马，正视弊端，痛改“征服自然”的思想，采用东方的“天人合一”的思想。这样一来，庶几乎可以改变这种危险局面。我把这种想法称为“东西文化互补论”。

现在我们不但正处在一个世纪末，而且是一个千纪末。世纪末与千纪末和年不同。年是自然现象，而世纪千纪则是人为现象。如果没有耶稣，哪来什么世纪千纪？但是人一旦承认了这种人为的东西，它似乎就能起作用。十九世纪的世纪末以及眼前的世纪末，整个世界在政治和意识形态领域内，都出现了一些不寻常的现象，理不应如此，事却竟然如此，个中原因值得参悟。

我们人类是有理智有感情的，借这个世纪末的契机，回顾一下，前瞻一下，让脑筋清醒一下，是有好处的，何况我们回顾与前瞻的问题是关系到人类前途的问题，切不可掉以轻心，等闲视之。这样做不但是一般人的任务，有远见卓识的政治家们更应如此。为此，东北林业大学出版社和中央电视台“人与自然”节目合作出版了这一套《人与自然》丛书，提出的都是新问题，供广大读者阅读、反思，这会有利于读者在即将来临的21世纪把工作做得更好，使人类前途更现光明。

是为序。

理性的狂欢

引 言

……关于人应使万物的自发过程成为其意愿活动的学说，同样是不合理的，因为人的所有活动无论怎样总是在于改变自然的自发过程，其有益的活动在于改进自然的自发过程。

——穆勒

科学、技术、人与自然

人类在上百万年的缓慢进化中，对自然的认识和作用是十分有限的。但是在近 200 年来，由于科学和技术的迅速发展，人类认识和改造自然的能力空前增强。到了 20 世纪后半叶，已呈现出公路纵横交错，高楼大厦鳞次栉比，汽车、火车、飞机日夜穿梭，彩电、冰箱、空调已成为家庭必备的物品，跨国、跨洲旅行的时间可以以小时计，消息可以瞬间传遍全球，人们的生活愈来愈富裕，人口数量大为增加，寿命大为延长。完全可以认为今天是人类历史上前所未有的繁荣时代，“电世界”、“原子能时代”、“信息时代”、“激光时代”、“空间时代”……似乎怎么称呼也不算过分。

人类赖以生存的地球表面，经过几十万年特别是近 200 余年的改造与重塑，已经成为适合人类生存繁衍的最佳场所。它与原来相比已是面目一新了，这就是我们创造的“人造自然”或“人工自然”。到目前人们所认识的在宇宙亿万星球中，只有地球是人类唯一可以生存的场所。

科学和技术的巨大威力已经为愈来愈多的人所认识，各种传媒及人们的日常谈论中，科学、技术已成为出现频率最高的词汇。然而人们对这两个术语的理解却很不一致，多是按自己的理解去使用它们的。

科学 (science) 一词源于拉丁语 *scientia*，原意指“知识”，是 17 世纪在欧洲随着近代自然科学的兴起而形成的，19 世纪开始取代沿用已久的“自然哲学”而得以普遍应用。今天，科学的涵义十分广泛。广义的科学包括自然科学、社会科学和思维科学。而狭义的则指自然科学，即人类认识自然的科学体系，包括物理学、化学、地学、天文学、生物学等基础自然科学和工学、农学、医学等应用自然科学。

技术 (technology) 一词源于希腊语 *τεχνη*，原意指技艺或技能。在现代，技术也有广义与狭义之分。广义的包括生产技术和非生产技术，狭义的也是我们经常用的指生产技术，即人类改造自然、创造人工自然的方法和手段。技术种类繁多，几乎遍及人类生产活动的各个领域。

19 世纪前，中国没有“科学”这一术语，它是 19 世纪末 20 世纪初康有为、梁启超翻译日文著作时引进来的，而在日本则是在 18 世纪初有人用日文汉字创造出“科学”一词与“science”对译而成的。对中国人来说，科学是个纯粹的外来语。

技术一词在中国古代已经使用，指的是一种专门的技艺、能力，唐朝后被日本人引入日本，后来很长的时间内，在中国很少被使用。在 19 世纪末 20 世纪初又从日本传回中国后，逐渐流行起来。

科学和技术是两个不同的概念，它反映了人类活动的不同领域。科学活动是人类的一种精神性活动，它与人类的思想状态有关，其目的在于认识自然；而技术活动是人类的一种生产性、实践性活动，它的目的是改造自然、

创造人工自然。作为科学活动的重要成果是“发现”。自然界本来就存在的事物，被人们首次认识了，就叫做发现；而作为技术活动的重要成果的“发明”，指的是自然界不存在的事物或物品，被人们首次创造出来的过程。万有引力定律是自然界的普遍规律，不管人类对其是否认识，它总是客观存在的，因此，不能说“牛顿发明了万有引力定律”，而应当说“牛顿发现了万有引力定律”。同样瓦特不是发现了而是发明了蒸汽机。

科学与技术又有十分密切的关系。技术总要以一定的技术原理为基础，而技术原理又离不开自然科学规律。许多机械中应用的是力学原理，材料技术中应用了化学规律，电子技术中则应用了电磁学、固体物理、量子力学等自然科学规律。技术的进步又会为自然科学的研究提出新的方向并提供新的研究手段。微观世界的研究离不开电子显微镜，而电子显微镜则是当代的重要技术成果。

古代的技术，是人类对自然规律的不自觉运用。例如，摩擦取火是对能量转化定律的不自觉运用，在摩擦取火的过程中，机械能转化为热能、光能，当时人类对此的认识还停留在知其然而不知其所以然的阶段。近代自然科学产生之后，许多技术成果是人类自觉地运用相应的自然规律的结果，而且许多新技术的实现主要得益于科学的指导，由此使科学与技术的关系更为密切。

当然，自然科学规律只指出了解决技术问题的可能性，而技术的发展方向、速度则取决于社会因素，即政治、经济、军事上的需要以及资金、政策、人才等方面的条件。

在封建社会里，由于自给自足的田园经济缺乏对技术进步的要求，因此无论是欧洲中世纪还是中国将近 2000 年的封建社会，技术进步都十分缓慢。中国的四大发明对中国经济、社会影响甚微，而这些发明传到正处于资本主义萌芽时期的欧洲后，竟成为新兴的市民阶级打垮封建贵族的重要武器。“火药把骑士阶层炸得粉碎、指南针打开了世界市场并建立了殖民地，而印刷术则变成新教的工具，总的来说变成了科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大杠杆。”

由于欧洲新兴的资产阶级为追求剩余价值而致力于新技术的应用，所以在近代以机器生产为主要特征、使用强大动力机的近代技术体系迅速建立起来，技术进步之迅速是史无前例的。技术的发展主要是由于人类的需求促成的，人类为了生存必须通过生产活动解决衣食住行的问题，这就是社会对技术的最基本需求，而生产活动又是以创立和运用技术手段为前提的，人类的物质和文化的需要，以及作为社会整体的公益事业、防卫设施等需求总在不断提高、更新，因此要求技术不断地发展。

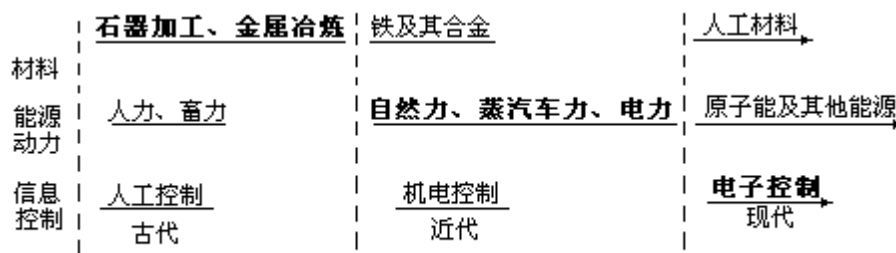
被现代技术手段武装起来的亿万人，其改造自然的力量是空前的。人类在不断地追求生活水平的提高，致力于经济的迅速发展，使得地球上的资源、能源被大量消耗掉。公元前 1 万年以前，全世界人口估计仅有 300 万，到了公元初增加到 2.5 亿，又过了不足 2000 年，人口增加了 20 倍达到 50 亿（1987 年）。300 年前，人类大多处于农业社会，生产力低下，自然环境被改造的程度不算高，原始森林覆盖率在 50% 以上。然而进入 18 世纪以来，工业技术迅速发展起来，大量的人口、大规模的工业、大批的城市成为现代社会的基本特征，而现代社会则是以大量消耗资源、能源以换得人们优裕的生活条件为前提的。

从科学革命到技术革命、产业革命

人类在漫长的历史进程中，在相当时期内对自然的认识是蒙昧的、神秘化的，至多也只会有一些零散的自然知识，还处于猜测性的思辩阶段。始于 16 世纪的近代科学革命，使人类对自然的认识开始系统化、条理化，经过 17、18 世纪对自然界的大量观察、收集材料，到 19 世纪，近代的关于自然界认识的经典自然科学体系得以形成。在这一过程中，首先形成的是研究机械运动的力学和研究热现象的热学，而电磁学和化学是在 19 世纪形成的。近代科学革命所提供的自然科学知识，为近代技术革命提供了科学依据。完全可以认为，近代科学上的重大突破性的变革，都将引起相应的新技术的出现，导致技术发展中的巨大变革，这也是近代技术与古代技术的质的区别。

技术发展的历史表明，人类对自然物加工以创造和改善自身生存条件的技术，其基本手段的进化大体经历了几大过程：简单工具—复杂工具—机器—自动化生产体系。这从构成技术的基本要素——材料、能源动力、控制等在不同历史阶段上所处的地位，可以更为清楚地说明（见图 1）。

社会总是在不断发展进步的，社会需求的内容和数量也在发生变化，因此作为满足社会需求手段的社会生产也必须随时发生变化。当已有的技术手段不能解决社会生产的新课题时，人们必须对原有的技术进行改革或创造全新



从技术结构上看主导技术的演进

的技术手段。尽管在不同的历史阶段，推动技术发展的动力从形式上看或有不同，但是归根结底是为了满足社会对物质财富和文化财富的需求。而在特殊历史时期，例如战争时期，还要满足特殊的社会需求。

任何技术都有其优点和不足的地方。人们对于世代相传的技术手段和方法进行各种改革，使其不断地丰富和发展，以满足社会发展中不断地出现的新的需要；同时，还要利用新的技术原理不断发明全新的技术手段和方法、设计全新的工艺程序、研制全新的原材料，使技术的发展进程呈现出渐进的、飞跃的发展阶段。

技术变革有三方面涵义：其一是指某一具体技术手段、门类的变革，例如照明技术中就出现过从煤气灯向电弧灯、白炽灯的变革过程，这类技术变革对整个社会的技术体系影响不大，因此称为具体技术手段的变革是恰当的；其二是指在某一历史时期，引起整个技术体系发生变革的、在新的技术体系中起主导作用的技术发明、应用过程；其三是指在社会生产中，决定某一时期生产力发展水平的技术基础的变革，这是第二种涵义上的技术变革在社会生产中广泛应用的结果。后二种涵义的技术变革是联系密切、互为因果

的，是我们经常讲的“技术革命”。

在人类历史中曾发生过几次重大的技术革命。例如古代的人工取火、石器技术、金属冶炼等；近代的技术革命发生了三次，第一次是与英国工业革命同时发生的，始于18世纪中叶，以蒸汽动力的改革和应用为特征，其后果是引起了社会生产的机械化；第二次发生在19世纪后半叶，以电力的广泛应用为特征，由此开始了社会生产与生活的电气化；第三次发生在第二次世界大战前后，一直延续至今，即西方所谓的“新技术革命”或“新产业革命”，这次技术革命引起了社会生产和管理的自动化。

技术革命是人类改造世界的技术手段的巨大变化，是在不同历史时期起主导作用的技术以及以主导技术为核心的技术群的更迭过程。近代的三次技术革命就是以蒸汽动力技术、电力技术和电子计算机技术作为主导技术的产生以及引起相应的在各历史时期的技术体系中，起主导作用的技术群的更迭过程。

产业革命是一个经济学术语，是恩格斯于1844年在《英国工人阶级的状况》一书中首次使用的，原指资本主义工场手工业向大机器生产过渡中，确立资本主义经济结构的过程。这次产业革命的特征，是以制造业为代表的工业取代以种植业为代表的农业而在产业结构中居于主导地位的过程，它使人类社会由农业社会转向工业社会，因此这次产业革命也称“工业革命”。

20世纪40年代，英国经济学家柯林·克拉克(C.G.Clark 1905)提出了三次产业的划分方案：

第一产业：以农业为主，包括林业、畜牧业、渔业、采掘业。

第二产业：以制造业(工业)为主，包括建筑、矿冶等。

第三产业：以服务业(信息业)为主，包括交通通讯、文教卫生、科研、医疗、金融、商业等。

同时他对产业结构的演变作了概括，他指出：“在这一领域里，有一个简单的但范围和影响深远的趋势，即随着时间的进展，作为朝更为经济的方向进步的结果是，在农业中就业人数相对于制造业中的就业人数趋于下降，接着制造业中相对于服务业的就业人数也趋于下降。”这就是经济学中著名的克拉克定律。这一定律从一些发达国家的经济变化中，已得到充分证明。

在漫长的农业社会里，在产业结构中居主导地位的是农业，其他的产业无不以农业为中心而存在，也无不随着农业的发展而发展。18世纪英国的产业革命，实质上是农业在产业结构中的主导地位让位给以制造业为代表的工业的过程，由此开始了人类历史上的工业化——工业社会的扩展进程。而近代的三次技术革命，构成了工业化的三个历史阶段的技术基础，促成了社会生产的机械化、电气化和自动化，使工业社会由初级阶段向高级阶段发展。

科学、技术活动中心的转移

日本科学史学家汤浅光朝在本世纪60年代通过对重大科学发明的统计分析，发现科学活动(兴盛)中心在世界范围内发生跨国性的转移，即由16世纪的意大利向17世纪的英国、18世纪的法国、19世纪的德国、20世纪的美国转移，这从各时期杰出科学家、重大科学发现的数量足以说明。科学活

动中心的形成与该国的社会思想、政治状况、经济基础息息相关，意大利的文艺复兴、英国资本主义的早期确立、法国 18 世纪的启蒙运动和大革命、德国 19 世纪的民族统一和哲学进步等与科学活动中心的转移是直接相关的。

近代以来，技术活动（兴盛）中心也出现转移现象。第一次技术革命是在英国发生的，绝大部分的机械发明（纺织机械、蒸汽机、机床、蒸汽机车、轮船）几乎都是英国工匠们发明的。英国凭借这些技术发明，在人类历史上最早创立了机械化的生产体系，使大英帝国成为当时最发达的国家。19 世纪中叶，德国在西门子、克虏伯、本茨等一批集工程师、科学家、企业家于一身的人物的努力下，成为继英国之后的第二个技术活动中心。电力技术、内燃技术和炼钢技术使德国在世界强国中的地位不断提高。19 世纪末，美国借助电力技术革命的成果，最早实现了本国的电气化，很快成为 20 世纪的技术、经济大国。在工业实力方面，世界工业强国的位次发生了如下变化：

1860 年——英国、法国、美国、德国

1870 年——英国、美国、法国、德国

1880 年——英国、美国、德国、法国

1890 年——美国、德国、英国、法国

由于科学是以认识自然为主要目的的，因此处于科学活动中心的国家，其经济不一定处于强盛中。而技术是以改造自然、创造人工自然为目的的，处于技术活动中心的国家往往是经济大国。英国和美国是得天独厚的同时处于科学活动中心与技术活动中心的国家。

近代科学革命兴起之后，科学活动中心很快移向英国，使近代自然科学在英国达到鼎盛时期，此后不久的产业革命和与之相伴的第一次技术革命，使英国在科学、技术、经济方面均取得极为辉煌的成果。20 世纪的美国，则是当代的科学活动（兴盛）中心和技术活动（兴盛）中心，其国力的强盛与这两个中心的并存是直接有关的。

技术文明的兴起 ——工业社会的形成

蒸汽和新的工具机把工场手工业变成了现代大工业，从而把资产阶级社会的整个基础革命化了，工场手工业时代的迟缓的发展过程变成了生产中的真正的狂飚时代。

——恩格斯

工场手工业时代的技术

工场手工业作坊

资本主义的生产方式早在封建社会末期就已经出现，这在英格兰、尼德兰等西欧各国的以农村家庭工业为代表的毛织业中可以见到。在这些家庭工业中，农民和木匠成长为单纯的商品生产者，他们经过竞争而分化为富农、小资本家和贫农、雇佣劳动者。随着国内、国际市场的不断扩展，这种以家庭生产为核心的零散的小规模的经营方式逐渐被工场手工业作坊所取代。

工场手工业作坊是以手工工具为主要技术手段的工作场所，自16世纪中叶起到18世纪末，以英国为中心在欧洲兴起，其特点是将劳动作业分解为分工合作的关系，它与传统的家庭手工业作坊不同，在家庭手工业作坊中，一件产品的制作自始至终往往由一个人去完成，是一种单纯性的生产劳动。

在工场手工业作坊中，将劳动作业分解为若干种基本工序，每个工人仅从事其中一个工序的生产，使生产过程变成由若干个从事基本工序的工人有机协作的生产活动。这种分工协作的生产方式成为尔后机器大生产中的基本生产方式。英国经济学家亚当·斯密（A. Smith 1723—1790）曾指出，在18世纪的一个制针的工场中，将工序分解为18种作业方式，这样，一个工人一天能生产4800根针，这比家庭手工业作坊中一个工匠完成全部工序的生产效率要提高很多。

毛纺织业是18世纪前数世纪中英国的重要产业，它的生产过程包括刷整、梳毛、纺纱、织布、缩绒、染整等工序。在英国的一家毛纺织工场中，雇佣工人达700多名，他们按各工序适当配置，使整个生产形成一种连续的、有序的、高效的过程。

在工场手工业作坊中，为了制造一种产品，将生产过程详细分解，劳动者的技能单一化，他们从事单调而重复的工作。工具也开始为单一目的而分解，单件工具的性能大为简化，其作用或工作效果却大为提高，这为后来工厂的机械化生产工艺思想奠定了基础。

随着工场手工业规模的扩展，工具和装备开始大型化，这一倾向在以卷扬机、粉碎机、高炉等大型机械与水车相结合的采矿冶金工场手工业中表现得极为显著。

采矿、冶金技术

16世纪以后，欧洲出版了大量技术书籍，如贝逊的《机械舞台》、拉麦里的《人造机械》、贝兰茨的《新机械》、布兰克的《机械》、庇林格其奥

尼德兰：相当于现在的荷兰、比利时、卢森堡和法国东北的一部分地区，意为低地，因这一带地势低平而得名——编者注。

的《火工术》和阿格里柯拉的《矿山学》等。

采矿、冶金技术是近代技术发展的基础，从上述的《火工术》和《矿山学》两部书中，可以看到当时欧洲采矿、冶金技术的发展状况。

当时的大炮，由于在制造中对其青铜成分控制不严，使炮在发射中常发生炮身破裂或变形而影响命中率。意大利人庇林格其奥（V.Biringuccio 1480—1512）的《火工术》（De la pirotechnica）出版于1540年，书中详细论述了青铜炮的铸造技术，记载了青铜的冶炼、浇注方法，提出生产应遵循一定的规则：他还研究了铸型用的粘土的种类、粘土揉制方法、铸型的增强方法及浇注方法，明确了青铜成分中铜与锡的比例为10 : 1。按照他提出的方法铸成的大炮强度和命中率都大为提高。

《矿山学》（De re metallica，又译《论冶金》）是德国人阿格里柯拉（G.Agricola 1494—1555）所著，1556年出版。阿格里柯拉是近代技术的先驱人物，早年到意大利学习医学、化学，归国途经波希米亚的矿山城约阿希姆斯塔尔时，开始对矿山产生兴趣。《矿山学》一书中，对当时的采矿、冶炼均有详细说明，记载了矿脉探查、坑道挖掘、坑道排水与换气、矿石提运、选矿、冶炼等一整套技术方法，还记载了抽水机、卷扬机、鼓风机、炼铁炉等矿山机械设备。

当时，矿山排水作业大量使用水车，在水车的轴上吊挂着许多水桶，靠这些桶把水提上来。此外也使用水泵，当水距离地面很深时则用几台水泵适当组合，驱动水泵的动力仍是水车或马匹。

16世纪，欧洲人已经发现将铸铁再进一步冶炼、脱碳后可以变为可锻铸铁。将矿石从炉顶放入、铁水从下部流出的高炉在欧洲开始普及。高炉的出现意味着一种间接炼铁技术，即用高炉将铁矿石炼成铸铁，再由铸铁进一步冶炼成可锻铸铁的技术已经形成。

此外，有色金属的冶炼也有了很大进步，例如从含银的铜矿石中提出银的工艺就已经很先进。首先制成含银的铜铅合金，将合金进一步加热，使铅与银结合而滴落下来，提取出银铅合金；然后再用巨大的灰吹炉将铅、银分离，提取出银。

自然力的应用

人类最早使用的动力主要是人力和畜力。到15世纪后，在欧洲随着工场手工业作坊的发展，自然力——水力和风力开始普及，并成为当时工场手工业作坊的主要动力。在采矿和冶金方面，开始大量使用水车，除了矿井抽水使用水车外，粉碎矿石也用水车作为动力，通过安装在水车轴上的凸起物将捣杆抬起，捣杆落下时将矿石击碎，粉碎后的矿石投入高炉中炼成铸铁。

在其他行业中水车的作用也大为增加，风车和水车在中世纪主要用于磨粉，尼德兰的大批风车用于抽水、排涝。到近代初期，风车和水车几乎成为工场手工业作坊的主要动力，在这些作坊中制造武器、农具、马具，还轧制酒。

由于水车必须在有水流的地方才能运行，河流、小溪边成为这些作坊选址的主要场所。一些大的矿山及加工作坊所在地逐渐发展成为新兴工业城市。

为了提高水车和风车的效率，这一时期对水车和风进行了各种改革。对水车的改革使水车可以利用不同落差的水流，上冲式、下冲式水车技术均已

成熟。对风车则设计出可以使其随风向变化的旋转装置，以使风翼始终对准风吹来的方向。为了传递水车、风车产生的动力，各类传递机构，如伞齿轮、蜗轮、蜗杆等均已被采用。

运河热的兴起

在近代工业发展过程中，随着交通工具的进步曾出现过几次交通建设热潮，这就是 18 世纪的运河热、19 世纪的铁路热、20 世纪的公路热。

欧洲 16 世纪后的世界范围内的殖民扩张，依靠的是海上运输，海运码头大量出现，港口与内地转运货物的道路开始被大量修筑。然而对大宗货物如煤、木材、棉花的运输，陆路运输价格十分昂贵，所以在 18 世纪开掘运河的热潮开始兴起。

英国政府当时对经济发展采取自由放任的态度，地方及有共同利益的大商人、企业家采取积极态度，进行运河工程建设。兰开夏郡是英国最早的工业中心，也成为第一个大型运河枢纽。从沃斯利到曼彻斯特的运河于 1761 年竣工。这条运河是布里奇沃特 (F.E. Bridgewater 1736—1803) 公爵倡导开凿的，因为是一条人工的水平的运河，而不需要航闸。它从深入到煤矿深处地下坑道开始，从一条 12 米高的水管桥上越过艾尔韦尔河到达曼彻斯特。当时被誉为世界第八奇观。没上过正规学校的工程师布林德利 (J. Brindly 1716—1772) 指挥了这一工程，由此使运费下降了 80%。此后运河工程大量展开，布里奇沃特公爵全力倡导这种工程。1767 年，在布林德利努力下，从曼彻斯特到默西河口的运河开通，利物浦至曼彻斯特间运费下降了一半。1772 年，利物浦至布里斯托尔的“大运河”也交付使用。

在不到 30 年的时间里，英国已拥有了四通八达的运河网。到 1842 年，运河总长达 3960 公里。新生的工业巨头对英国的运河计划全力支持，运河沟通了内陆与海上的联系，进一步促进了英国工商业、矿业及城市的发展。1776 年亚当·斯密指出：“由于水运的方便，对各种工业开辟了一个比单靠陆运所能开辟的更为广大的市场，所以各种工业都在海湾和通航河流沿岸开始专业的进一步划分和得到改进。”技术领域和工商业领域中的决定性的进步，都沿着这些河路传播出去。

运河热首先在英国兴起，不久后欧洲大陆也开始出现开掘运河的高潮。

蒸汽动力技术革命

产业革命前的英国社会

近代技术革命及产业革命(工业革命)于 18 世纪中叶在英国兴起，这决不是偶然事件，而是英国的社会经济与科学技术发展的必然结果。

从近代史看，封建主义解体和资本主义生产关系最早产生于西欧。在欧洲，从 5 世纪到 11 世纪是封建主义形成时期，11 世纪到 15 世纪是封建主义鼎盛时期，16 世纪到 18 世纪是封建主义瓦解、资本主义形成时期。欧洲大陆很早就出现了资本主义萌芽，但当时欧洲各国大都处于松散的联邦状态，加之欧洲长年的宗教战争，缺乏和平稳定的社会发展环境，远离欧洲大陆的英国、受宗教战争的影响要小得多，社会较为稳定。

英国于 1688~1689 年经历了“光荣革命”后，成为一个君主立宪国，封建制度迅速解体，资产阶级在政治上获得了权力。国会很快废除了束缚手工

业和经济发展的各项条款，采取了保护私人财产、鼓励工商业发展、鼓励技术发明等一系列政策，极大地促进了英国资本主义的发展。文艺复兴以来的思想解放运动和以牛顿、胡克为代表的近代科学思想的传播，使 18 世纪的英国社会成为孕育新技术的最好土壤。

15 世纪到 16 世纪欧洲的海上探险和地理大发现，扩展了新兴的资产阶级的活动场所，欧洲经济中心从地中海和波罗的海沿岸移到大西洋沿岸各港口，英国海军舰队很快压倒了曾称霸一时的西班牙、葡萄牙和法国舰队，在世界范围内扩展殖民地。大英帝国为加强对殖民地的贸易和掠夺，16 世纪建立了东印度公司、非洲公司等特许公司，同时积极发展商船队，从 1545 年到 1629 年间，排水 100 吨以上的商船增长了 10 倍，后来虽因美国的独立使英国在北美洲损失了 13 个殖民地，但在亚洲和非洲的殖民贸易和掠夺成为英国的原始资本积累的重要来源，为资本主义机器大工业生产方式的确立奠定了经济基础。

早在 15 世纪，英国新兴的贵族为了发展羊毛贸易，占领农民土地扩大牧场，爆发了“圈地运动”。失去土地的农民大量涌进城镇，这不但为英国工业发展提供了大批雇佣劳力，而且由于他们脱离了自给自足的小农经济，需要社会为他们提供大量的粮食和衣物，因而也扩大了国内的消费市场，促进了农牧业和手工业的发展。16 世纪后，首批资本主义工场手工业是在纺织、采矿、冶金业中建立起来的。在工场手工业作坊中，劳动分工精细，工具专业化，在这里集中了当时最优秀的技术人员和技术手段。第一次技术革命中的许多重大技术发明和技术改革，就是在这里由这些手艺高超的工匠们完成的。

近代技术的一个重要特点是其科学性在不断增强，而经验因素在不断减少。

在近代科学革命过程中，由于伽利略、牛顿、胡克等人的努力，与机械技术有关的数学、力学首先得以完成。18 世纪后热学的基本知识得以阐明，科学上的一系列重大成果，为第一次技术革命中的许多技术发明提供了科学依据。

16 世纪末，英国新兴的资产阶级对科学技术非常重视，1650 年成立了英国皇家学会。英国哲学家、政治家弗兰西斯·培根（F. Bacon 1560—1626）提倡的重视科学实验的传统，对瓦特（J. Watt 1736—1819）等人的发明活动具有直接的影响。17 世纪钟表和磨坊技术的进步，为近代机械技术的发展提供了技术基础，在钟表和磨坊中发展而来的许多机构和机械原理，在后来的机械技术发明中得到直接应用。16 世纪欧洲大陆的宗教战争使许多新教徒流亡英国，英王伊丽莎白对移居英国的侨民提出准居的条件是，每名工匠必须为英国培养一名学徒。这一时期有数千名尼德兰人、法兰西人移居英国，其中许多人是具有熟练技术的工匠。

由于上述的优越条件，为英国产业革命（工业革命）奠定技术基础的近代第一次技术革命，就应运而生了。

纺织业的机械化

16 世纪以来，英国是欧洲重要的毛纺织业中心，“圈地运动”后畜牧业的发展及欧洲纺织工匠大量流入英国，使英国的毛纺织业有了空前进展，毛织品占英国出口总额的 1/3，畅销世界各地。随着东西方贸易的发展，印

度棉布大量输入英国，成为英国当时风行一时的畅销货。只要纺织仍以手工操作，英国人就无法与手艺精巧、工资又低的印度人竞争。英国为抵制印度棉织品的竞争，1700年国会通过议案严禁棉织品进口，国内对价格低廉的棉织品需求的增加引起了棉织品价格的飞涨。

英国的棉纺织业是在1665年由尼德兰的安特卫普移民传入的新兴工业，无论是纺纱还是织布都是作为家庭副业由农妇手工完成的，所使用的纺织机械是已应用了几百年的手工机械，效率极低，根本无法与毛纺织业竞争。

1733年，兰开夏的织布工约翰·凯伊（J.Kay1704—1764）发明了“飞梭”，一般认为，这一发明是英国产业革命的导火线。旧式的织布机的梭子是由织布工用手传递的，效率低而且布幅宽度也受限。凯伊将梭子固定在一个小滑车上，把小滑车置于水平滑槽中，滑槽两端有木制梭箱，两个梭箱由一个手柄的两条引绳牵引。织布工只要左右牵动引绳，使梭箱交替动作，就可以使梭子在经纱中穿插运行。这项发明使织布速度提高了一倍多，布幅宽度也不受限制了。但是这项发明并没能很快得到应用，当地织布工强烈反对他的这一发明，指责他在夺他们的饭碗，几次袭击他的住所，他被迫逃往曼彻斯特，藏在羊毛袋子里乘船逃亡法国，死于异乡。

后来凯伊发明的飞梭还是逐渐得到推广。1760年，他的儿子罗伯特·凯伊发明了上下梭箱，进一步提高了飞梭性能。此后飞梭在英国得到普及。

使用飞梭后，一个织工需有10个纺纱工提供棉纱，使纺纱与织布的比例失去平衡，织布速度加快，棉纱供不应求而造成“纱荒”。为此，英国政府大力奖励纺纱，甚至在监狱、孤儿院中动员纺纱。

1735年。木匠怀亚特（J.Waytt 1700—1766）和法国逃亡者的儿子保罗（L.Paul ?—1759）发明了利用快速旋转的纱筒与纺锤相配合进行纺纱的纺纱机。1741年由保罗出资在伯明翰建了一个小工厂，雇了10个女工照看着一台用两头驴子拉动的纺纱机。当时纺纱机是用木材制造的，强度有限，因此机件时常损坏，工厂第二年即告破产。1742年，这项专利被《绅士杂志》主编爱德华·凯普买去，在诺萨福担建立了一个安装有5台设备的工厂，雇佣了50名工人。但由于机器不完善，开工经验不足，工厂维持困难，后于1764年被阿克莱特买下。这个工厂是英国最早的工厂，是现代意义上的工厂的始祖。

棉纺织业中的矛盾一直延续到18世纪60年代，1761年“英国奖励工艺协会”悬赏发明一种能同时纺6根纱的并由一个人操纵、看管的机器。此间，在英国出现了几项重大的发明。木匠兼织布工哈格里夫斯（J.Hargreaves1745—1778）于1764年发明了“珍妮机”——多轴纺纱机。理发师阿克莱特（R. Arkwright 1732—1792）1768年在一位钟表匠的帮助下发明了机械纺纱机。由于它以水车力动力，所以也叫水力纺纱机。瓦特于1765年对蒸汽机进行了重大改革，发明了单设冷凝器的蒸汽机。1766年斯米顿（J. Smeaton 1724—1792）使用了高炉鼓风机。这些发明使纺织业、动力工业、冶金业发生了重大变革，同时也是一般认为英国产业革命开始于18世纪60年代的原因。

手摇纺纱车只有一个纱锭，是横装的。哈格里夫斯发明的珍妮机开始时有8个纱锭，是竖装的，并用棍条代替人工牵引纱线，后来增加到80个纱锭。哈格里夫斯也遭到了许多发明家同样的灾难，他的家被人捣毁，后来被迫迁居诺丁汉，在那里出售珍妮机。

珍妮机结构简单，造价低廉，即使最小型的也可抵得上七八个工人的劳动效率，因此很快取代了手工纺车而推广开来。哈格里夫斯死后 10 年，英国已拥有 2 万台珍妮机。这样一来，不但解决了长期的纱荒，而且降低了布匹价格，引起社会对布匹的使用量进一步加大。但是，至此为止的纺纱机和织布机主要还是以人力为动力的，这些发明只不过是提高了家庭作坊的工作效率而已。

阿克莱特制成水力纺纱机后，即于 1771 年利用德温特河的湍急水流为动力，在曼彻斯特的克罗姆福德开办了以水力为动力的纺纱厂，由此开创了“工厂”这样一种生产组织形式。1779 年，这个工厂拥有几千个纱锭并雇佣了 300 名工人。在历史上虽然一般认为阿克莱特是一个狡猾的善于剽取他人发明成果的商人，但是他所创办的工厂却是近代大工厂生产制的起点，18 世纪末和 19 世纪初兰开夏郡和德比郡的工厂都是按照他的工厂模式建立起来的。

阿克莱特的水力纺纱机纺出的纱很结实但较粗，多轴纺纱机纺出的纱虽然很细，但是强度不足。1785 年，兰开夏的一名工匠克朗普顿（S. Crompton 1753—1827）综合了上两种纺纱机的优点，发明了一种称做“骡机”（mule，走锭纺纱机）的纺纱机。这种纺纱机可以同时转动 300 到 400 个纱锭，能够纺出既纤细结实又均匀的纱来，这种机器无论是在纺纱速度上还是在纺纱质量上都是极为完善的。18 世纪 90 年代初，已经有 34 万人在新的机械纺纱厂中劳动，由此使织布业可以提供远比当时名噪世界的印度棉布更好的布来。1785 年，英国的棉布年产量已达到 5 万匹之多。

纺纱机的进步和织布业的相对落后又引起了纺织业的新的不平衡。这种状况一直到 1785 年由牛顿大学文学博士，一直在乡间研究医学和农学的牧师卡特赖特（E. Cartwright 1743—1823）发明了用水车带动的自动织布机，并经过多年改革后才算解决。这种织布机在 1804 年经拉德克利夫和赫拉克斯二人作了进一步的改革，并用钢铁结构取代了原来的木结构后，纺织业的改革才基本完成。

纺织业的机械化，引起了技术的一系列连锁反应，净棉机、梳棉机、漂白机、染整机先后被发明出来，而且棉纺织业的机械化很快即影响到毛纺、化工、染料、冶金、采煤、机械制造等部门。但是由于这些机器最初是由水车带动的，工厂只能建在远离城市的水源丰富、水流湍急的河流旁边。交通不便、运输困难、水轮机装置费用极高、地主借机哄抬地租、水流因季节又有变化等诸多因素都极大地影响到工厂的进一步发展，因此寻求一种新的不受上述条件制约的动力机，就成为当时一个急需解决的重大的技术课题。

蒸汽机的发明与改进

蒸汽机以及后来的许多热机的基本结构，是由法国物理学家巴本（D. Papin 1647—1712）受物理学家惠更斯（C. Huygens 1629—1695）指导后于 1698 年前后设计的。巴本是一位清教徒，因逃避政治迫害而流亡英国和德国。这种热机仅有汽缸和活塞，利用装在汽缸中火药的爆燃，或从外部加热汽缸中的水生成的蒸汽驱动活塞做功，然后利用蒸汽冷凝造成真空，借助大气压力使活塞降下来。由于当时缺少精密的机械加工工具，而且汽缸和锅炉兼用一个容器，因此虽然设计思想上是正确的，但却没能实际应用。17 世纪末 18 世纪初，英国在燃料方面正处于从木材向煤炭过渡的阶段。煤的开采量逐年增加，矿井愈挖愈深，地下水渗出也愈来愈严重。当时英国煤矿主

要是用马作为抽水动力，有的矿山竟有几百匹马，效率很低，费用昂贵，严重地阻碍了矿山的进一步发展，因此矿井排水就成为当时急需解决的一个问题。

1698年，英国陆军工程军官托马斯·塞维利（T.Savery 1650—1715）发明了一种叫做“矿山之友”的可以实际使用的蒸汽抽水机，但是它动作缓慢，输出功率不大，而且汽缸时常有爆炸危险，很难普及。后来经过铁匠纽可门（T.Newcomen 1663—1729）等人对蒸汽抽水机做了进一步改革之后，才开始应用于矿山抽水。这种蒸汽抽水机采用了活塞和汽缸结构，工作时打开汽缸与锅炉联通的阀门，向汽缸中充入蒸汽，把活塞顶起来，之后关闭阀门，向汽缸喷射冷水使汽缸中蒸汽凝结而形成真空，靠大气压力将活塞压下而做功。由于需要反复用蒸汽加热汽缸，再用冷水冷却汽缸，因此消耗燃料极大，费用也很昂贵。但是，它比使用马为动力抽水还是便宜得多。例如安装在考文垂附近的一台蒸汽抽水机，同50匹马做的功一样多，但费用与之相比只占1/6。这样一来，纽可门的蒸汽抽水机很快在英国、法国、德国的矿山普及开来，而经英国土木技师斯米顿（J.Smeaton 1724—1792）改进后的纽可门机，一直到18世纪末还在大量使用。

对蒸汽机进行了划时代改革的是瓦特，由于瓦特的努力，使蒸汽机成为一种万能的动力机械，因此导致了近代技术的全面变革，为早期工业化奠定了有力的技术基础。

瓦特对蒸汽机的改革和一系列发明，绝不是凭一时灵感，更不是传说中他看到了水在茶壶里沸腾而受到的启示。瓦特出身于建筑师家庭，他虽然没进过正规学校，但是勤奋好学。因发表《国富论》而闻名的亚当·斯密雇佣瓦特担任格拉斯哥大学仪器制造师，从此之后他便结识了几位著名科学家，并听过他们的课，还掌握了法语、意大利语和德语三门外语，研究过力学、化学、法学、美学。1763年，他在修理纽可门蒸汽机模型时，发现其效率很低，只运行二三个冲程就不动了；他运用物理学家布莱克（J.Black 1728—1799）关于“潜热”、“比热”的理论，认识到纽可门蒸汽机效率低的原因在于蒸汽冷凝时汽缸也要随之降温而浪费掉大量的热能。后来他经过仔细的计算，发现竟有4/5的蒸汽消耗在重新加热的汽缸上。1765年5月间，他制成了将冷凝器单独设置的蒸汽机模型，经计算其热效率可以提高4倍，并于1769年获得了专利。但是这种蒸汽机也存在着不少问题。首先，这仍然是一种直线往复式的机器，即由活塞连杆直接带动其他机构沿直线方向往复运动做功；其次，它仍然利用蒸汽冷凝形成的真空，借助大气压力完成活塞移动；此外，由于当时缺乏精密加工设备，因此活塞与汽缸尺寸误差很大，为防止漏汽而不得不用破布堵塞。

1765年以后，瓦特先后与企业家罗巴克（J.Robuck 1718—1794）博士及博尔登（M.Boulton 1728—1809）合作，致力于在工厂中生产蒸汽机。1775年以后，在瓦特等人的努力下，把仅供抽水用的往复蒸汽机改革成可以作为工厂动力源使用的万能动力机械。这几项改革是：1775年机械师威尔金森（J.Wilkinson 1728—1808）为了加工瓦特蒸汽机的汽缸而发明了镗床，使活塞与汽缸的误差缩小到2~3毫米，从而提高了蒸汽机的热效率。1782年瓦特发明了双向送汽蒸汽机，即将蒸汽从汽缸两侧交替送入推动活塞做功，而不再靠大气压力了；1784年又设计了行星齿轮结构，把蒸汽机的往复运动变为旋转运动；1788年瓦特将在风磨上早已使用的离心调速器应用到

蒸汽机上，保证了蒸汽机转速的稳定。自此以后，蒸汽机不再单纯用于矿井抽水而成为可以广泛应用的万能动力机了。

1783年，威尔金森工厂最早使用瓦特蒸汽机驱动蒸汽锤；1785年，纺织厂开始采用蒸汽机做动力，随后织布厂、磨粉厂、铁工厂、木工厂等大量应用了蒸汽机。到1800年，英国已拥有了321台蒸汽机。

1800年，瓦特专利到期以后，许多人对蒸汽机做了进一步改革。美国的伊万斯（O.Evans 1755—1819）和英国的特列维西克（R.Trevithick 1771—1833）发明了高压蒸汽机；1803年英国的沃尔夫（A.Wolff 1766—1837）又发明了多级膨胀型蒸汽机。这些发明使蒸汽机进一步缩小了体积，提高了热效率，拓展了蒸汽机应用范围。蒸汽机已经广泛地应用到纺织业、冶金业、机械制造业、酿造业等部门。

蒸汽机的发明和应用，引起技术发展的根本性变革。

它使社会生产的技术基础出现了质的飞跃，完成了人类基本生产手段由工具向机器的转变，正如恩格斯所说的：“17世纪和18世纪从事制造蒸汽机的人们，谁也没有料到，他们所创造的工具，比其他任何东西都更会使全世界的社会状况革命化……”

机械化生产体系

机器制造业的出现

在蒸汽机发明以前，几乎所有机器的基础构件都是用木材制造的，制造机器也完全由工匠们凭自己多年形成的经验和技巧。这些机器强度很低，而且由于单件生产，零部件根本没有互换性，也给维修带来了困难。蒸汽机出现后，这种木制构件根本承受不了蒸汽机的巨大震动和强大的动力作用，因而随着当时炼铁业的进步，人们开始用铁来制造机器。这样一来，无论是按加工精度还是按加工难度要求，铁制机器不可能再由工匠们手工来制造了。用机器制造机器正是近代工业的起点，正如马克思所说的：“大工业必须掌握它特有的生产资料，即机器本身，必须用机器来生产机器。这样，大工业才建立起与自己相适应的技术基础，才得以自立。”

18世纪末，各种工厂纷纷建立，迫切需要有大量生产蒸汽机、纺织机的工作母机。瓦特蒸汽机成功的关键在于汽缸与活塞的加工精度。虽然威尔金森将加工瓦特的蒸汽机汽缸的精度提高了，但是，尺寸和形状精确的活塞是需要用车床加工的。机械制造业中最关键的设备——车床，是1797年前后由工匠莫兹利（H.Maudslay 1771—1831）完成的。莫兹利年轻时受雇于锁匠、水洗便器的发明者布拉默（J.Bramah 1784—1814），在布拉默的工厂里秘密从事机床的改革工作。当时的车床很象现在的手工木旋床，工人用脚踏动脚踏板作为使工件旋转的动力，用手拿着车刀压在支架上进行切削作业。莫兹利首先将这种木结构的车床改为铸铁的，由此增加了床身的稳度和强度，并把脚踏板和弹簧摆改成皮带轮，用蒸汽机驱动。1797年，他发明了带有丝杠的溜板刀架车床，这种车床结构与今天的普通车床已经没有什么不同了，床身上装有导轨，刀架可以沿导轨纵向和横向进刀。不久后，莫兹利又把这

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1975年版，第18页。

《马克思恩格斯全集》第23卷，第421~422页。

种刀架与机器的转动相耦合，以保持与中心轴线平行地作直线运动。这样一来，在车床上转动的工件就能很容易地加工成一只精密的圆柱体了。这一溜板刀架的发明，使工人在切削加工时不必再用手持车刀凭经验去切削，由此极大地提高了切削速度和加工精度。莫兹利不但是个出色的机械发明家，而且经他培养的徒弟在机械制造业中都有许多发明创造。他的徒弟惠特沃思（J. Whitworth 1803—1887）1831年设计了可以自动切削螺纹的车床，内斯米斯（J. Nasmyth 1808—1890）制造出蒸汽锤和刨床。在19世纪40年代之前，机器制造业中的主要设备如车床、立式车床、钻床、铣床、刨床以及精确测量用的千分尺、卡尺、卡钳、环规、块规等都被发明出来，不少工厂还开始应用零部件互换原理，批量生产各种机械。

随着机器制造业的形成，各种机器、工具都可以精确、快速地被制造出来，不但满足了当时各工厂对大量生产纺织机、蒸汽机的需要，而且为近代生产的机械化奠定了坚实的技术基础。

一项重大的技术改革是为了满足社会在某一时期的需求而出现的，但是技术的存在和发展不是孤立的，正如日本技术评论家星野芳郎先生所说的：“一旦某种经济条件和技术条件成熟，在原有技术体系的某个重要领域引起新的原理性变化时，其结果便是立体地影响到整个技术体系。”

总结英国纺织业的发展过程，由于飞梭的发明，使织布机得到了改革，增大了对棉纱的需求，新式的纺织机开始被发明出来。由于将人力作为动力过于繁重，有必要采用某种自然动力。开始是水力，但水力对于需要稳定动力的工厂是不适宜的，骡机的出现更要求有新的动力机以满足开办工厂的需求，复动式旋转式的可以作为普遍使用的动力机——蒸汽机就被发明出来。为了大量精确地生产蒸汽机和纺织机，以车床为代表的机床又陆续被制造出来。这些技术的发展，需要大量的钢铁结构材料，促进了冶金业的进步，同时也引起了交通运输技术以及化工技术的变革。

焦炭炼铁

产业革命前，英国主要从瑞典和俄国输入生铁，当时炼铁的燃料是木炭。由于生铁需要量的不断增加，到18世纪初，英国的森林就被砍伐殆尽。1713年，英国炼铁业者达比（A. Darby 1677—1717）在伯明翰附近的铁工厂中曾尝试用烟煤和木炭用石灰混合炼铁，但由于煤中含的硫会与铁化合，使炼出的铁太脆而无法使用。达比的儿子经多年的试验研究，于1735年发明将煤先炼成焦炭，然后再利用焦炭炼铁的方法，并于1750年获得成功。这种方法发明后，自古以来在林区建立的炼铁厂开始迁到了矿区附近，矿区逐渐形成为工业区。1760年，小达比试验用纽可门蒸汽机驱动鼓风机炼铁。1776年以后，瓦特的蒸汽机很快就在炼铁业中用作鼓风机的动力机，极大地降低了燃料消耗，还可以吹掉硫及其他杂质。焦炭炼铁方法简便，降低了成本，生铁产量开始迅速增加。1740年英国生产生铁17 350吨，1788年增加到68 300吨，到1791年猛增到124 097吨。18世纪末，英国由一个生铁进口国一跃而成为生铁出口国，直到19世纪70年代，英国生铁产量一直占全世界生铁总产量的50%左右，南威尔士成为欧洲的冶铁中心。

钢的生产规模虽然在1740年因英国的亨茨曼（B. Huntsman 1704—

1776)发明了坩锅炼钢(铸钢)法之后有了扩大,但产量始终不多,生产后仅用于制造弹簧、刺刀及其他高级工具方面。1783年,英国炼铁业者考特(H.Cort1740—1800)的两个发明,才使炼钢业有了突破性进展。这两个发明是:将生铁放入反射炉中,用煤炭加热使之熔化成糊状,然后在炉内搅拌,从而获得精炼的铁块(1784年获专利);再用铁锤锻打铁块,除去矿渣后再加热,最后用轧辊压延机压延(1788年获专利)。用搅炼法生产的可锻铁(钢)有足够的强度又易于加工,而且生产方法简单,比旧法炼钢增加产量50倍之多,因此,钢的价格开始降低,大量用来制造蒸汽机、纺织机。同时,轧钢技术在18世纪80年代开始出现,1788年考特发明了用蒸汽机驱动的轧钢机,开始大量生产钢板、型钢和钢轨。19世纪上半叶在铁路、造船等方面已经大量应用钢材。

铁路热的兴起

技术革命引起了生产的发展,带来了商业的繁荣。随着工厂的增多,国内外市场的扩大,快速大量地运输原材料和产品成为当时社会的一个难题,运输系统的技术革新势在必行。英国产业革命时期在运输中发挥作用的主要是运河。到19世纪初,在英国内陆就形成了纵横交错的运河网。由于当时的陆路运输只有马车,公路路面很差,运费很高,因此公路建设也有了很大进步,1820年在公路建设中普遍采用了苏格兰工程师约翰·麦克亚当(J.L.McAdam 1756—1836)发明的碎石加固法。同时,由于河流交错,建桥技术也得到了发展。

英国为了加强海外贸易和殖民掠夺,大力发展远洋商船,1760年到1800年间,商船吨位增长了近4倍。1807年美国富尔顿(R.Fulton1765—1815)制造了世界上第一艘实用的蒸汽船“克莱蒙特”号后,英国于1811年开始仿造,1812年苏格兰开辟了欧洲第一条定期轮船航线,在内河和沿海贸易上,开始大量使用轮船。1840年,英国采用新发明的螺旋桨推进器,制成了第一艘全铁制的客轮“大不列颠号”,并于1843年7月从利物浦出发横渡大西洋,仅用了15天就到达纽约,航速比在这之前所用的叶桨轮推进器轮船有了很大的提高(1819年叶桨轮船“萨凡纳号”横渡大西洋用了26天)。随着英国海运业的发展,与航运有关的港口、堤岸、灯塔、船坞、起重设备逐步完善,造船业也成为独立的重要工业部门。

在陆路运输上,具有重要意义的变革是铁路的出现。早在18世纪初,在煤矿中运煤就采用了木制路轨。但木制路轨很不结实,又容易磨损,从1768年起改用铸铁路轨后,铁轨马车的运载量有了提高。一匹马可以拉动相当于土路50倍的重物,但是行驶速度还是很慢的。1790年这种铁轨马车还在城市里用来运送旅客。

蒸汽机发明后,一些人即试图用蒸汽机作为动力设计陆用车辆,1769年,法国炮兵军官居纽(N.J.Cugnot1726—1804年)制成一台以蒸汽机为动力的“汽车”,用于拉炮。由于其燃料及蒸汽机占用空间大,且自身过重,并未实用。1797年,英国牧师特列维西克开始研制高压蒸汽机和蒸汽机车,1802年获专利。二年后制成最早在铸铁路轨上行驶的蒸汽机车,有效载荷达17000公斤。由于传动机构不够合理及铸铁路轨易损坏而没能推广使用。

1814年,矿工出身的史蒂文森(G.Stephenson 1781—1848)开始研制蒸汽机车,后来几经改进于1829年完成了具有近代蒸汽机车基本形式的“火

箭”号机车，并在利物浦的列因希尔与其他型号的机车竞赛中取得优胜。早在这之前，史蒂文森担任了修建英格兰北部从斯托克顿到达林顿间的铁路的总工程师。在他的指挥下，这条铁路于1825年9月27日交付使用。这是世界上第一条铁路，首次运行的列车拖了由12节装有煤和谷物的货车以及20节客车混编成的列车，时速达18公里。1828年，史蒂文森又开始领导利物浦到曼彻斯特的铁路筑路工程，并于1830年完成。这条铁路很快成为运送兰开夏棉纺织业原材料及成品的重要工具。由于铁路利润率很高，许多资本家纷纷向铁路投资，英国国会在1825~1835年的10年中，通过了25条铁路修筑案。

在19世纪30年代，全世界的铁路总长不过332公里，到1850年达到了38443公里，1870年为207923公里。到19世纪末，世界铁路总长度达65万公里。铁路成为近代工业化过程中陆地运输的主要工具。

铁路的修筑也对德国产业革命产生了很大的促进作用，直接影响到机械技术的确立。铁路的发展也促使美国加速了西部的开发。同时，在这些国家电磁式电报机很快成为铁路上普遍使用的通讯技术。

蒸汽机车和蒸汽船的广泛使用，为扩大材料来源和商品市场提供了方便廉价的交通工具，促进了机器大生产体制的完善。同时，它也为将英国技术革命成果迅速地在世界范围内普及提供了条件。

技术进步的连锁反应

蒸汽机的发明、完善和应用推广，引起了技术发展的连锁反应，不但使采矿、冶金、铸造等传统技术得到改造，还出现了蒸汽抽水机、蒸汽鼓风机、蒸汽凿岩机、蒸汽锤等新机械，而且无论是纺织、机械制造、采矿冶金以及新交通工具，无一不是建之于蒸汽动力技术之上的。从18世纪末到19世纪初，以蒸汽动力技术为主导和核心的技术群已经形成，近代工业迅速建立起来，这为资本主义生产方式最终战胜封建主义生产方式奠定了基础。正如恩格斯所阐述的：“分工、水力，特别是蒸汽动力的利用，机器的应用，这就是18世纪中叶起工业用来摇撼旧世界基础的三个伟大的杠杆。”

在第一次技术革命中，虽然出现了一系列的技术发明，而且这些技术发明似乎是一环套一环地相互联系着的。但是，只要从技术发展的整个历史加以分析的话，不难看出，代表这一时期的技术发展趋势和主流的是蒸汽动力技术。正是由于蒸汽动力的发展变革，才使已经发展起来的纺织技术进一步发展，使采矿冶金技术获得改造，并推动了机械制造技术及交通运输技术的进步。而且如果没有蒸汽动力技术，近代的以机器生产为特点的工厂制是发展不起来的。

第一次技术革命的实质是用机器取代了人的部分体力劳动和手的部分机能，使社会生产开始步入机械化的轨道上，同时，第一次技术革命也为英国的产业革命奠定了技术基础，使制造业和加工业取代了农牧业而成为产业结构中的主导产业，由此开始了资本主义工业化，工业社会开始形成。

产业革命后，英国的工业得到迅速发展，主要工业的发展情况如表1所示。

蒸汽机应用数量的增加是极快的，1783年在工厂中应用了第一台蒸汽机，30年后英国各工厂使用的蒸汽机猛增到15 000台。纺织企业数从1796年的143个增加到1840年的1800多个。国民收入从1740年到1840年的100年间，由64万英镑增加到515万英镑，增长了近8倍。

表 1

年代	1700	1730	1750	1800	1840
工业生产指数	1.59	2.03	2.43	6.45	20.4
消费品工业	1.73	2.43	3.15	8.87	25.6
生产资料工业	0.73	0.93	1.14	2.93	11.3
煤炭工业	1.6	2.1	2.2	4.8	12.8
钢铁工业				0.9	7.8
棉 纱	0.05	0.067	0.104	2.4	21.1
棉织品	0.05	0.067	0.104	2.4	17

注：以1840年为100计。

英国完成产业革命后，成为当时世界上最强大的工业帝国。欧美各国的工业化主要是以英国为模式的。

完成了产业革命的国家，工业基础很快确立起来。城市迅速地发展，各城市、矿区工厂的烟囱林立，人口膨胀，资本主义从原始积累阶段进入了自由竞争阶段。

第一次技术革命的完成，使资本主义生产基础最终形成，欧洲社会从封建主义的农业社会进入到资本主义工业社会，生产力得到了极大的提高，正如《共产党宣言》中所阐述的：“资产阶级在它的不到一百年的阶级统治中所创造的生产力，比过去一切世代的全部生产力还要多、还要大。自然力的征服，机器的采用，化学在工业和农业中的应用，轮船的行驶，铁路的通行，电报的使用，整个整个大陆的开垦，河川的通航，仿佛用法术从地下唤出来的大量人口——过去哪一个世纪能够料想到有这样的生产力潜伏在社会劳动里呢？”

理性时代 ——工业社会的扩展

自由展翅的科学上升得越高，它的视野就越宽广，科学知识应用于生活实际的可能就越充分。正如我们大家都知道的那样，在自然里，没有什么比人脑更奇妙，没有什么比科学研究的成果更可贵。科学万岁！

——高尔基

欧洲大陆的工业化

英国产业革命的成功，极大地刺激了欧洲大陆的各资本主义国家，进入19世纪后，他们纷纷仿效英国，开始了本国的工业化。

比利时

比利时是欧洲大陆最先开始工业化的国家，在佛兰德，纺织业迅速兴起，其机械装备是英国人科克里尔制造的。1802年他在吕蒂希开办了一家纺织机械厂，其子约翰·科克里尔和几位英国机械师创办了制造蒸汽机的工厂。1820年又仿照英国建立了搅炼炉，用于生产钢铁，1823年建立了比利时第一座焦炭高炉。他的公司很快发展成一个包括机械厂、矿山、炼焦厂和轧钢厂的大型工业联合企业。1835年后又建立了欧洲大陆的第一家机床厂。

1830年，比利时从荷兰独立出来以后，工业化进一步加快。1834年，发布了铁路法，将铁路列为国家企业。1835年，布鲁塞尔—梅歇尔间铁路开通，一年后延长至安特卫普，到1870年通车里程已达3000公里，比利时成为欧洲各国中通车密度最大的国家。尽管比利时国土面积不大，但到19世纪中叶已成为欧洲大陆工业发展最充分的国家，拥有较高的技术水平和商贸能力，原材料大部分依靠进口，产成品则大部分出口。

瑞士

瑞土地少而多山，19世纪前农村即有发达的手工业，罗马语系地区以制造钟表著称，东部地区以毛麻纺为主。1801年，一位住在波尔多的瑞士人设法将纺织机械输入瑞士，创立了拥有26台纺纱机的公司。5年后，汉斯·卡斯佩尔·埃舍尔仿照英国开始生产纺纱机，很快使自己的埃舍尔-汉斯工厂成为享有国际盛誉的企业。除纺织机械外，还大量生产水泵、压力机、造纸机械、机床等，1836年开始制造汽船，1846年后制造蒸汽机车。

这一时期，瑞士的钟表业、针织业、纺织业、机械制造业得到迅速发展。到19世纪中叶，瑞士已拥有200多家纺织厂。印染业、编织业也发展起来。其高质量的产品主要用于出口。

瑞士钟表业一直享有盛名，其中95%以上用于出口。起初钟表业是在家庭工业中发展起来的，在专门制造各种零配件基础上的协作生产方式，形成了几家具有国际影响的大厂家。

瑞士地形复杂，铁路兴修虽然较晚，但在19世纪中叶后，铁路业迅速兴起，当然其造价要比在平坦地面上要高得多。

法国

法国早在大革命前，即从英国引进了纺织机械和瓦特蒸汽机，但由于大革命的影响，一直进展迟缓。然而长年的战争却促进了铸造业、兵工业的发展，铸炮厂由4家增加到30家。19世纪初纺织业得到迅速发展，1771年

引进了英国的珍妮机,80年代引进了阿克莱特的水力纺纱机,1778年引进了瓦特蒸汽机。1812年棉纺厂开始使用蒸汽机为动力,到1815年,几乎所有的纺织厂都采用了英国的先进技术。特别是法国机械师约瑟夫·雅卡尔(M.J.Jacquard1752—1834)发明利用穿孔卡片控制纬线的自动织机,为大量生产图案复杂的织物,开辟了崭新途径;1812年已有1.2万台,到1824年已有3.5万台这种织机在运转。

19世纪前,法国的蒸汽机应用范围很小,仅限于铸造、煤矿、磨粉,到1810年法国仅有200台蒸汽机在运转。1815年后,法国开始生产蒸汽机,到19世纪中叶已有近6000台蒸汽机在运转,其中有1/4用于纺织业。

1815年前,法国的炼铁业主要使用木炭,1815年后开始采用英国的先进的炼铁技术,一批用焦炭炼铁的工厂建立起来,但发展较慢。1840年后随着法国铁路热的兴起,使炼铁业得到迅速发展。19世纪中叶后,贝塞麦炼钢法传入法国,到70年代法国钢铁企业开始向大型化发展,出现了上万人的采矿冶炼联合企业,资本雄厚、技术先进,为法国工业化的发展奠定了基础。

1830年,机械师蒂蒙尼埃(B.Thimonnier)发明了缝纫机,使法国服装业很快确立起来,到第二帝国时期,专业化的服装工业的就业人数和销售额都超过了纺织工业,法国的服装在欧洲一直处于领先地位。

英国的铁路热在法国引起强烈反响,1832年将用马车牵引的短程矿用铁路线换用蒸汽机车(圣艾蒂安到卢瓦尔河),这成为法国第一条铁路。同年,里昂—纪埃河铁路线正式通车,这是欧洲大陆第一条正式铁路。1842年,法国制定了铁路法,这是介于比利时的铁路国有化和英国铁路私有化之间的折衷办法,由国家规划,私人和国家各分担机车、路轨和路面设施,由私人经营99年后收归国有。这样在法国很快兴起了兴建铁路的热潮,以巴黎为中心的铁路网不断扩展,1860年法国拥有铁路9525公里,到19世纪末达到4.3万公里。

到19世纪70年代,法国基本上完成了本国的工业化,并发展成为欧洲大陆的资本主义强国之一。

德 国

德国产业革命发生在英、法之后。虽然有许多经验、技术是可以借鉴和利用的,但是德国原是一些以“神圣罗马帝国”为名义的分散的小封建国家,直到1871年才统一。1815年维也纳会议上承认主权的小国家达到了8个,其中最大的是普鲁士。普鲁士在拿破仑体制影响下虽然进行了自上而下的资产阶级改革,但很不彻底,东部农场被容克地主所控制,1807年废除了世袭的隶民制,1810年强制性地废止行会。直到1830年(部分地区到1848年)才出现英法早已实现的情况:农民摆脱了世代奴役获得迁徙的自由、就业自由,并废止了行会特权。19世纪上半叶,德国各分裂的小国都不同程度地开始了农业改革,工商业也发展起来。与缓慢而不彻底的政治改革相比,在哲学家费希特(J.G.Fichte 1762—1814)人文主义思想影响下,使教育领域得到改革,小学教育得到整顿,中等教育也在努力改革中。1810年创设了柏林大学,费希特被任命为校长;1821年又设立了以技术教育为主的柏林实业学校,其影响很快遍布全国,各地纷纷设立中等技术教育学校。

教育制度改革的成果,到19世纪中叶就显现出来。在德国产业革命中起到先驱作用的柏林机械工业的核心人物玻尔西希(A.Borsig 1804—1854)就是这类学校培养出来的。一部分学校到19世纪后半叶成为高等工业学府,

卡尔斯鲁厄工业大学（1865年）、慕尼黑工业大学（1868年）、亚琛工业大学（1870年）、柏林工业大学（1879年）等都是这类学校。这些学校培养出一批具有近代科学技术素质的优秀人物，他们推动并完成了在第二次技术革命时期兴起的德国产业革命，使德国的经济迅速建立于这两次技术革命的基础之上。

德国的产业革命虽然晚于英国和法国，但欧洲大陆上第一家纺织厂早在1783年即于格廷根建立。它有一座五层楼的大厂房，里面满布纺纱机，这是德国也是欧洲大陆近代形式工厂的开始。

一般认为，德国产业革命开始于19世纪40年代，以铁路建设为开端全面展开。1825年英国斯托克顿到达林顿铁路通车后，引起德国政界和经济界的极大关注。1835年德国第一条铁路通车，使的是英国史蒂文森制造的“鹰”号机车，到1848年3月革命初，铁路总长达4300公里，超过了法国，到1875年达27795公里。与此同时，德国的钢铁工业在克虏伯（A.Krupp 1812—1887）引进贝塞麦的转炉炼钢法和西门子-马丁平炉炼钢法后，得到迅速发展，克虏伯工厂所在的埃森也成为闻名世界的钢铁城市。到1900年，德国生铁产量已超过英国，以电力机械的发明与制造著名的西门子·哈尔斯克公司于1847年成立。

19世纪40年代后，在德国出现了一批受过良好技术教育的工程师和企业家，他们之中有许多人是在英法留学后回国的，他们在近代技术的科学化方面作出了巨大贡献。到1870年德国产业革命结束时，其生产能力已超过法国。在1873年的世界性经济危机中，以德国为中心形成了资本主义垄断体制，“卡特尔”（联合企业）开始出现。

这样，德国仅用了40年时间，从一个以农业和手工业为主的国家变成一个工业强国。德国的工业化以英、法为榜样，利用自己工程技术人员的较高的科学文化素质，充分利用了第二次技术革命中的新兴技术，以产品的高质量而跻身于世界经济强国之列。

自然科学的新进展

电磁学

第一次技术革命后，社会生产力有了飞速发展。由于资本主义自由竞争的加剧，企业主为了竞争的需要，如饥似渴地在生产中采用新技术，不断地进行技术革新，鼓励技术发明。在这样一种社会背景下，近代技术自产生起就以加速的方式在发展。19世纪60年代之后，自由资本主义开始向垄断发展，资本和生产开始高度集中，不但工厂数量剧增，而且规模不断扩大，出现了上万人的大工厂。在这些工厂里，要用天轴、皮带、塔轮等笨重的机械传动机构来传递蒸汽机的动力，这种传递动力的方式不仅距离有限，效率低，而且在动力的分配上也极不合理，对机械的控制也很不方便。大工业生产体系的发展，迫切要求有更方便的动力机械及动力传递分配方式。由于当时电力技术已经出现，因此用电力取代蒸汽动力的革命——电力技术革命迅速展开。

19世纪下半叶，由于电力技术的出现而引起了近代技术发展的又一次飞跃进步，以电力技术为代表的新兴技术群逐渐取代了蒸汽动力技术群而在技术发展中居于主导地位，社会生产的技术基础在19世纪末开始发生变革。国

内外不少研究者认为第二次技术革命开始于 19 世纪 70 年代，其标志是直流电机的完成，实际上电力技术发展大体是经历了电力机械的早期发展、直流供电以及交流供电技术的形成这样三个阶段。电力技术在社会生产中的广泛应用，则是 19 世纪末 20 世纪初的事。

与第一次技术革命不同的是，电力技术完全是在电磁理论形成发展的基础上完成的，而且如果说在第一次技术革命中从事技术发明的是一批文化水平不高、个人技艺极强的工匠的话，那么在第二次技术革命中从事发明、为技术进步做出贡献的，大都是文化水平较高、有较好的科学文化素养的人，是一些集科学家、技术家、企业家于一身的人。

电现象是人类从很早以前就了解的一种自然现象，但是对它本质的认识却是近代自然科学产生以后的事。电磁学的发展大体经历了 19 世纪以前的“静电”研究阶段和 19 世纪以后的“动电”研究阶段，19 世纪前，在美国科学家富兰克林（B. Franklin 1706—1790）以及法国科学家库仑（C. A. Coulomb 1736—1806）、德国科学家韦伯（W. E. Weber 1804—1891）等人的努力下，区分了正电荷和负电荷、掌握了电荷间及磁极间作用力的规律（库仑定律）。在静电研究的基础上，1791 年，意大利解剖学家伽伐尼（L. Galvani 1737—1798）发表了论文《论电对肌肉的作用》，叙述了他对“动物电”的研究成果；1800 年，意大利物理学家伏打（A. Volta 1745—1827）受伽伐尼的启发而研究“电堆”，他并没有为伽伐尼提出的在蛙腿中存在着某种“动物电”的思想所束缚，成功地解释了金属的电化学作用，制成了电堆。他的这种电堆是在一块银片和一块锌片间夹上一层渍盐水的纸制成的，将若干个这种电堆合在一起，就可以制成具有一定电压的电池。这就是近代科技史上著名的“伏打电堆”。伏打电堆为“动电”的研究提供了能供应稳恒电流的电源，由此使电磁学发展到一个新的阶段。在此后的 80 余年内，电作为一种新的能源引起了近代技术发展中的第二次革命性发展。

电力技术的关键设备是电动机、发电机和变压器，它们的原理都涉及到电与磁的关系。电动机的原理是通电导体在磁场中受到磁力的作用而运动，这一原理于 1821 年由英国物理学家法拉第（M. Faraday 1791—1867）发现。他在一个装满水银的容器中插上一根磁棒，将两根与电池联接的导线两端放入水银中时，这两根导线就会旋转。这一装置当时被称为“旋转玩具”，而实质上是一个雏形的电动机。变压器和发电机的原理是根据 1831 年法拉第发现的电磁感应定律制成的。

1829 年，丹麦物理学家奥斯特（H. O. Oersted 1777—1851）发现了电流的磁效应，后来成为 1829 年美国科学家亨利（J. Henry 1799—1878）研制电磁铁以及它激式和自激式电机的科学根据。

关于电磁学的许多实验定律几乎都是在 19 世纪上半叶发现的。除了上述几个定律之外，1827 年德国物理学家欧姆（G. S. Ohm 1787—1854）发现了有关导体电压、电流与电阻关系的欧姆定律，1821 年德国物理学家塞贝格（T. J. Seebeck 1770—1831）发现了温差电现象（塞贝格效应），1824 年英国科学家焦耳（J. P. Joule 1818—1889）发现了电流的热效应，1830 年亨利根据切断通电线圈电流时产生电火花发现了电感现象，电压计、电流计等各种直流仪表也被发明出来。

电磁学的经典理论是英国的物理学家麦克斯韦（J. C. Maxwell 1831—1879）在法拉第思想基础上最后完成的，特别是他在用数学模型总结电磁学

规律时，预言了电磁波的存在。1884 年德国物理学家赫兹 (H. R. Hertz 1857—1894) 用实验对电磁波的证实，为 20 世纪无线电电子学的诞生奠定了基础。

当时，资本主义正处于上升阶段，在这样的环境中培养出来的科学家、技术家、工程师们，大都具有实业家的风度，对科学的新发现能很快地转化为技术发明，并迅速地在生产中推广应用。

热力学与能量守恒定律

热力学是在英国产业革命进展中，通过对蒸汽机的理论研究而形成的，但其理论体系基础的确立，却是由法国工程兵军官卡诺 (N.L.S. Carnot 1896—1832) 完成的。

卡诺创立了“卡诺循环”、“不可逆热机”这些热力学的基础概念，1824 年提出了关于热机效率的卡诺定理，即热机的最大效率与工作介质无关，仅与高温热源与低温热源的温度有关。卡诺的理论是建立在不可称量的假想物质“热素”的基础上的，1850 年德国物理学家克劳胥斯 (R.J. Clausius 1822—1888) 和 1851 年英国物理学家汤姆生 (W. Thomson 1824—1907) 抛开热素说将卡诺定理建之于热的运动说基础之上，作为热力学第二定律而构筑了热力学的独自的理论体系。1854 年克劳胥斯将第二定律解析化，由此推出了“熵”的概念。

在热力学的这一发展过程中，伴随着蒸汽机的进一步发展，科学界开始注重对气体，特别是水蒸气的热力学性质的实验研究，后来导致了麦克斯韦和克劳胥斯创立了气体分子运动论。1860 年麦克斯韦发现了分子运动的速度分布率，奥地利物理学家玻尔兹曼 (L. Boltzmann 1844—1906) 进而提出了统计力学。

19 世纪中叶，最伟大的发现是能量守恒定律。能量守恒定律不仅是对热力学第一定律的形式化，而实质上是揭示了自然界中关于能量守恒及形态可以相互转换的规律。

能量守恒定律几乎被几个人物从不同角度同时发现，1842 年焦耳对热功当量的测定和德国医生迈耳 (J.L. Meyer 1814—1878) 对人体血液在不同纬度颜色的研究，1847 年德国物理学家赫尔姆霍兹 (H.L.F. Helmholtz 1821—1894) 发表的“对力的守恒的物理学论述”等均涉及到能量守恒定律。

热力学的形成与发展，反映了 19 世纪中叶科学界对热机研究的关注，对动力机械在 19 世纪后的大发展提供了科学依据。

有机化学与农业化学

化学研究从无机向有机的转化是 19 世纪科学界的又一重大成果。

“有机化学”这一术语是瑞典化学家柏奇里乌斯 (J.J. Berzelius 1779—1848) 于 1806 年最早提出的。他的学生维勒 (F. Wohler 1800—1882) 在 1828 年认为，人的肾脏可以将无机物变成有机物尿素。有机化学经过柏奇里乌斯、维勒、李比希 (J. Liebig 1803—1873) 等人的努力，于 19 世纪 30 年代初步形成。到了 19 世纪 60 年代，经典的有机化学得以确定。

由于冶金业和煤气工业的发展，用煤制造焦炭和提炼煤气时产生了大量的副产物煤焦油，当时因不知其用途而被白白扔掉。1830 年英国的安德森 (W. Anderson) 对煤焦油进行了蒸馏，从中分离出易挥发成分。英国化学家珀金 (W.H. Perkin 1838—1907) 在研究从煤焦油提炼出的甲苯胺合成金鸡纳霜的过程中，发现发黑色苯胺染料，并于 1856 年取得专利，从此开始了苯

胺染料的工业生产。不久后以煤焦油为原料的合成染料工业迅速兴起。1865年，德国化学家凯库勒（F.A.Kekulé 1829—1896）研究了芳香族化合物的构造，提出了由6个碳原子呈环状结合的苯环结构，由此阐明了有机化合物的复杂结构。1868年，德国柏林工业大学的拜尔（J.F.A.Baeyer 1835—1917）同他的两个年轻学生格雷贝（K.Graebe 1841—1927）、黎贝尔曼（K.Lieberman 1842—1914）以从煤焦油中提取的蒽为原料，合成了茜素，1869年开始了茜素的工业生产。拜尔制成靛蓝，也进一步证实了有机物结构论的正确，使有机化学进入了一个新的发展阶段。到19世纪60年代，化学工业已与金属工业、机械工业并驾齐驱，作为近代工业的重要组成部分而发展起来。

19世纪初，在德国的吉森大学，一批来自世界各地的学生在李比希的指导下，在农业、医学领域从事应用有机化学的研究。1840年，李比希的《有机化学在农业及生理学方面的应用》出版，1842年又出版了《有机化学在生理学和病理学方面的应用》，由此促进了农业与医学的科学化。他发现了植物并不是由有机物而是由无机营养物氮、磷、钾培养起来的，动物的营养成分则是蛋白质、脂肪、碳水化合物和盐类（当时还不知道维生素类的存在），而且揭示了蛋白质对生命是一种极为重要的物质这一事实，为不久后蛋白质的合成提供了依据。

在李比希学说影响下，许多人开始研究天然矿物肥料的开发利用。1856年李比希用天然磷矿石作为原料制成过磷酸钙肥料。早在1809年，智利发现了硝酸钠矿，1825年后开始大量开采，称做智利硝石，在1850~1900年间，满足了世界氮肥用量的70%。后来智利硝石不仅用作肥料，也是生产硝酸、炸药的原料。1886年，利用炼钢废渣作为磷肥的托马斯磷肥（炼钢副产物）在欧洲农业生产中广为使用。随着农业生产的发展，19世纪后半叶，化肥工业迅速发展起来。

电力技术革命与电气化

电力技术的早期发展

电力技术、化工技术、钢铁技术是19世纪技术发展中的三大主要新兴技术，但是对技术发展产生重大影响，从而引起社会生产技术基础发生变革的，则是电力技术。

法拉第在1831年8月29日通过实验发现电感应现象后，又用了三个月的时间进行了深入的研究。第二年，皮克希（H.Pixii）根据电磁感应原理制成了雏型的手摇感应发电机，安装一个简单的机械整流器后制成永磁式的直流发电机。后来，为了提高发电机输出功率曾有不少科学家、工程师做了大量改革，并采用蒸汽机作原动机。

1821年法拉第发现了电动机原理并制成了最初的电动机——旋转玩具后，德国科学家雅可比（K.G.Jacobi 1804—1851）在亨利制成强力电磁铁的启示下，于1834年制成15瓦的电动机，并将20台这种电动机组合起来，作为一种动力机。由于当时的电源主要是化学电池，这种电动机因耗电大、费用高而未能在实际中使用。1837年英国的达维松（R.Davidson）和弗洛门（P.Froment 1815—1865）分别制成电动机，并于1842年在爱丁堡展览了用这种电动机驱动的制材机、车床、印刷机和机车。

但是，当时无论是电动机还是发电机，都是使用永久磁铁作为场磁铁。由于磁场强度有限加之高导磁率的矽钢片还没有发明出来，而且在结构上也存在不少问题，因此，不可能从根本上继续提高其输出功率。例如，一台输出功率几千瓦的发电机竟有两吨重。在 19 世纪前半叶，作为电能使用的各种化学电源（蓄电池），造价昂贵，应用极不普遍。在 1850 年的时候，电能比蒸汽能贵 25 倍。

19 世纪以来，人们将电首先用在电化学及通讯和照明方面，电用作动力是在 19 世纪 70 年代以后的事。

最早的电报机是慕尼黑的索默林（S.T.Sommering 1755—1830）发明的。这是一个利用电解作用来传递信息的装置。后来俄国化学家西林（C.P.Schilling 1786—1830）以及德国科学家高斯（J.C.F.Gauss 1771—1855）、韦伯（W.Weber 1804—1891）发明了电磁式有线电报机，但是实际使用的电报机是美国技术家莫尔斯（S.F.B.Morse 1791—1872）在亨利等人帮助下于 1835 年发明的。他在 1837 年发明了用点和划表示的莫尔斯电码，1838 年成功地在纽约进行了 16 公里的公开实验，1844 年美国即在华盛顿和巴尔的摩间架设了有线电报线路。由于当时正是西欧和北美“铁路热”时期，因此有线电报首先用在铁路上，电报和铁路的发展为商业贸易带来了空前的繁荣。

新兴的资产阶级为了扩大市场对电报业的发展极为重视，各国纷纷成立电报公司，在各大城市、厂矿间架设电报线路。1851 年，在英法间敷设了横跨英吉利海峡的海底电报电缆，随后，在地中海及黑海敷设了海底电缆。1866 年，在英国物理学家汤姆生的领导下，成功地敷设了横跨大西洋的海底电缆。这样一来，欧洲市场和美洲市场密切地结合起来。在 1854~1856 年间的克里米亚战争中，地中海的海底电缆起了非常重要的联络作用，由此进一步加强了各国政府对发展电报事业的重视。

直流电机与电照明

1808 年，英国化学家戴维（H.Davy 1778—1829）用 2000 个伏打电堆产生电弧之后，1840 年左右即出现了弧光灯，1850 年左右在灯塔照明中开始使用弧光灯，当时的电源是用蒸汽机带动的永磁式直流发电机。

在通讯、照明以及电化学的发展中，迫切希望有更为经济的电源，这一社会需求正是人们努力研究发电机的基本动力。真正实用的电机是德国技术发明家西门子（W.Siemens 1816—1892）自 1854 年起用了十余年时间完成的自激式发电机。他于 1867 年提出了《关于不用磁石而将机械能转化为电能的方法》的论文，为获得强大电流找到了理论依据。这种发电方式是使用了发电机自身产生的电流激磁的电磁铁作场磁铁，因此能够产生极强的磁场，使发电机的输出功率大为提高。为了发出均匀的电流，人们又做了大量的努力。继西门子之后，比利时电工学家格拉姆（Z.T.Gramme 1826—1901）于 1870 年发明了用多股环状铁线绕合成环状铁心的电枢，制成了环状电枢的自激式直流发电机，并进行了商业生产。德国电气技师赫夫纳-阿尔特涅克（Hefner-Alcencneck 1835—1904）于 1873 年又发明了鼓状电枢，这一系列的发明使直流发电技术达到了相当完善的地步，电机开始进入了实用阶段。

值得提出的是，与电气技术有关的许多重要发明和事件，几乎都集中在 1880 年前后，这是由电气技术本身的成熟和当时社会对新技术的强烈需求所决定的。这些发明和事件有：1876 年美国技术家贝尔（A.G.Bell 1847—

1922)发明了实用电话机,并于1880年开设了贝尔电话公司;西门子在1879年的柏林博览会上演示了电车,并于同一年在德国柏林到利希腾德尔之间建设了最早的电气铁路(1882年通车);1870年西门子发明了电炉炼钢;1886年美国冶金学家霍尔(C. M. Hall 1863—1916)和法国冶金工程师赫罗尔特(P. L. Heroult 1863—1914)发明了铝的电解法。当然意义最大的还是爱迪生(T. A. Edison 1847—1931)建立的中央发电站。

直流发电机发出的电并未立即用作工业动力,主要是用于照明。1876年,俄国的雅布洛契柯夫(P. N. Yablochikov 1847—1894)发明了一种结构简单实用的弧光灯,叫做“电烛”。这种弧光灯很快在英国和法国用来为街道、广场、商店和剧场提供照明,1878年在巴黎歌剧院周围安装了16只电烛供照明用,1881年已经有4000盏电烛在使用。但是,这种弧光灯光线太强,造价昂贵,不适用于一般室内照明,因此不少人对适合家庭使用的电光源做了研究。虽然在19世纪中叶已经对白炽灯做了研制,但是由于没有找到耐用的灯丝材料,因此一般因寿命太低而失败。一直到1879年英国化学家斯万(J. W. Swan 1828—1914)及美国发明家爱迪生用碳化纤维作灯丝后,才制成了较为耐用的白炽灯。

爱迪生完成了白炽灯的发明后,于1885年成立了“爱迪生电灯公司”并进而成立了“爱迪生机械公司”为推广使用白炽灯创造了条件。同时,他为了发展电灯事业,开始设计发电站以提供照明用电。1882年,爱迪生电气照明公司(创建于1878年)在伦敦建立了第一座发电站,安装了爱迪生于1880年研制的110伏自激直流发电机“巨汉”号。这种发电机可以为1500只白炽灯供电。同年9月4日,爱迪生在纽约珍珠街建立的“中央发电站”也投入运行,该电站装有6台“巨汉”发电机,对8000只白炽灯供电。14个月后,电灯数增加到112732只。爱迪生还发明了计量用电量的电表,还为许多工厂、商店、运动场建造了上百个小型发电站。但是,当时的供电技术还很不完善,很难无事故地连续供电。1882年,伦敦爱迪生电灯公司顾问弗莱明(J. A. Fleming 1849—1945)曾叹道:“如果有一天发电机能整天无故障地运行,不致因修理而停电,那一定是个奇迹。”

电力的传输

在19世纪80年代到90年代,电力技术在通信、照明、运输、动力等方面得到了广泛的应用,社会对电力需求开始急剧增大。由于当时的电力都是直流电,因此输送不远,限制了电力的应用。

早期的工程师们都致力于研究直流电,发电站供电范围有限,这实质上还是蒸汽时代一个工厂安一台蒸汽机思想的继续。

用直流输电,由于用户的电压不能太高,因此输送较远的距离要加大电流;而电流愈大,输电线路发热就愈严重,损失的功率就愈多,结果将降低用户电压。离发电站愈远的用户,所得到的电压也就越低。为了减少输送线路中的损失,只能采用高压。如果在发电站能将电压升高,到用户再降下来,就能解决低损耗远距离输电的问题。能够适应这种输电方式的唯有交流电。

关于电能的输送方式,即采用直流电还是交流电的问题,曾引起很大争论。爱迪生和英国物理学家开尔芬(即W. 汤姆生)都极力主张采用直流电,而美国发明家威斯汀豪斯(G. Westinghouse 1846—1914)和英国物理学家费郎蒂(S. Z. Ferrandi 1864—1930)则主张采用交流电。

伦敦和纽约的中央电站建立后,白炽灯很快压过了煤气灯和弧光灯。但

爱迪生的技术系统是以直流为出发点的，他创建的电站由于受输电距离所限，也只是些小型直流电站。爱迪生没有受过学校正规教育，因此虽具发明家、企业家的气质，但由于交流电涉及到复杂的理论计算，阻碍了他对交流电的理解，使他在这场供电方式的论争中，成为保守势力的代表人物。

当时，电力的应用从照明向动力方面扩展，加之大型电站的建立，迫切需要解决低损耗远距离输电的问题。许多科研工作者投入了大量精力进行这方面的理论和实验研究。费郎蒂用实验证明，采用交流高压输电方式是可以达到这一目的的。1888年，由费郎蒂设计的伦敦泰晤士河畔的交流电站开始使用。他用钢皮铜心电缆将1万伏的交流电，送往相距七英里的市区变电站，在这里又将电压降为2500伏，再分送各街区的二级变压器降为100伏供用户照明。但这还不是三相交流电，输送距离也不算远。

有关三相交流输电的理论，以出生于俄国奥德萨的工程师多利沃-多布罗沃尔斯基(Dolivo-Dobrowolsky|1862—1919)为中心，做了大量研究。他于1889年最先制作出功率为100瓦的三相交流异步电机，1890年研究了三相四线式配电方式。1891年，德国的通用电气公司在他的指导下，架设了178公里的远距离输电线路。这条线路采用三相制，用15~30千伏高压，将内卡河用水轮发电机发出的电能输送到法兰克福世界博览会会场，然后由变压器降到120伏和400伏，分别供照明和带动一台300马力的电动机用，输电效率达70%~80%，由此向全世界证实了三相高压交流输电方式的可行性。美国威斯汀豪斯的西屋电器公司，对交流电和变压器作了大量研究工作，该公司为推广高压交流输电方式，以击败爱迪生并取得对美国电力的垄断权，在不到一年的时间内设计制造了包括12部3相发电机在内的全套交流输电设备，并于1893年在哥伦比亚的世界博览会上，又一次成功地证实了高压交流输电方式的优越性。当时美国正在尼亚加拉建设水电站，但采用哪种供电方式尚未决定，由于威斯汀豪斯的胜利，该电站决定采用三相交流供电制，并决定使用西屋公司生产的发电供电设备。该电站于1896年投入运行，总容量达10万千瓦，在电站将发电机发出的5千伏电压升到1万1千伏，输送到40公里的巴伐罗市，由此击败了以爱迪生为代表的直流供电方式，使高压交流输电方式在全世界范围内迅速推广开来。

由于电灯只在每天的一部分时间内用电，因此早期的电站的平均负荷只是其峰值的10%左右。1910年随着电力牵引的动力用电增加，使这些不规律的用电趋于平衡，从而使电站开始有规律地运行。进入20世纪后，在全世界形成了电气化高潮。由于输电电压愈高，电能损失就愈少，因此输电电压在不断增高。1923年，美国建成了世界上最早的22万伏交流输电线路，1935年采用33万伏，60年代出现了40万伏供电线路。电力价格在30年间(1905~1935)下降了90%，发电量、电力网的长度都已成为衡量一个国家工业化的重要指标。

电气化与电世界

电力技术在19世纪末，随着供电方式的解决而迅速地得到推广应用，如果说第一次技术革命完成时出现的是星罗棋布的铁路和烟囱林立的工厂的话，那么进入20世纪后，则是到处林立的高压铁塔和星罗棋布如同蛛网般的电网，城市中马路两旁则布满了挂着密密麻麻电话线、电报线、电力线的电杆。

高压交流输电方式确立后，各国争先修建电站，发电量的增加极为迅速，

美国电站的输出功率在 1889 年仅为 26 万千瓦，1900 年时增至 244 万千瓦，1920 年猛增至 1943 万千瓦，到第二次世界大战前夕的 1939 年，达 49438 万千瓦，比 1889 年增加了近 200 倍。德国在 1894 年有 148 个电站，总装机容量为 3.8 万千瓦，而在第二次世界大战前的 1939 年达 2320 万千瓦，45 年间增长了 600 多倍。后起之秀的日本，在 1903 年装机总量为 4.4 万千瓦，第二次世界大战前增至 831 万千瓦，36 年增加了近 190 倍，到 1959 年时达 2117 万千瓦，比 1903 年增加了 500 多倍。

电力供应迅速增加，使产业革命以来的工业化进入了更高的发展阶段，对技术的发展产生了巨大的推动作用。

首先，它使传统技术得到改造而焕发了生机。在 19 世纪中叶前的蒸汽时代，虽然工厂发展很快，但它们的动力主要是蒸汽机，车间的所有设备都是由天轴皮带传动的，对机械的控制和加工速度、精度都有很大影响。电动机和机电控制装置的出现，促进了生产的初步自动化。电的应用使采矿冶金这一古老技术得到了改造，电梯、电铲、电拖斗、电照明、电泵彻底改变了矿井面貌，减轻了矿工劳动强度，提高了劳动生产率。电冶、电铸、电解的应用为制备优质的金属、非金属材料创造了条件。电照明又使工厂、街道以至于家庭都发生了很大变化。

其次，随着电力技术的发展，也现了一批新兴的技术，例如电解、电镀、电热、电焊、电冶等，同时围绕着电力技术的发展，又形成了一批新兴的工业部门，例如锅炉、汽轮机、水轮机、变压器、电线电缆、电器、电测、绝缘材料等。

而且，由于电力拖动的发展，出现了新型的交通工具。城市的地铁在 19 世纪中叶即出现，但由于使用蒸汽机车，黑烟滚滚，肮脏不堪，电力机车出现后，使地铁成为一种清洁便利的交通工具。在建筑中，随着电力卷扬机和升降机、电梯的发明，以及钢筋混凝土结构方式的采用，在 20 世纪前后出现了许多高层建筑，例如纽约在世纪之交有 29 座 55 米到 118 米的摩天大楼，1932 年建成的帝国大厦有 102 层、378 米高。

在强电技术发展的同时，弱电技术也随之发展。电信、电话、无线电以及后来的电视，都极大提高了信息的传播速度，促进了技术与经济的繁荣。随着电力技术的发展，以电力技术为主导的技术群开始成为社会生产的技术基础。

电力是由一次能源转换的二次能源，由于任何能源都可转化为电能，因此电力技术的出现，为人类广泛、合理地利用各种能源开辟了道路。电力技术革命的成果向社会生产转化，使电能成为一切工业技术的动力基础。从能源动力革命的角度看，它是蒸汽动力革命的继续，是能源动力革命的更高阶段。

电力技术革命使工业技术发展进入到一个新阶段，从而加速了各国工业化的速度，并缩短了工业化的过程，强化了以制造业为代表的工业在经济结构中的主导地位。

钢铁技术与新动力机械

炼钢技术

在第一次技术革命中，如果说主要构件材料是从木材向铁（生铁、熟铁）

的过渡，那么，第二次技术革命则是由铁向钢的过渡。

在焦炭炼钢法发明之初，每个高炉一昼夜生产 800 公斤生铁已经很可观了，到了 19 世纪初，一昼夜的产量已达到 7 吨，炉的高度也达到 20 米左右。19 世纪初用铁量最大的是铁路，英国在 1843~1848 年间铺设了约 5000 公里铁路，共用铁近 220 万吨，约占这 5 年中英国铁的总产量的 1/4。由于机械工业、铁路和船舶工业的发展，无论是从强度还是从韧性方面，生铁已经远远满足不了要求。当时英国的生铁产量为 300 万吨，而钢只有 4 万吨，价格为铁的 5 倍。进入 19 世纪中叶后，炼钢技术迅速得到发展。

英国发明家贝塞麦 (H. Bessemer 1813—1898) 在炮膛开设来复线的实验中，深感传统炼钢方法的困难而决心研制一种新的炼钢方法。他在炼制用于制造炮身的钢时发现，强化鼓风不仅可以提高炉温，还可以减少铁水中的杂质和含碳量。1856 年 8 月 16 日他在英国科学振兴会上发表了“不用燃料，只吹入空气就可以使铁水变为钢”的演说，提出了“贝塞麦转炉炼钢法”(也叫酸性转炉法)。这种方法是将生铁放入转炉内，吹入高压空气，从而烧掉或吹掉生铁中所含的硅、锰、碳、磷，并利用这些元素氧化时放出的热来炼钢，许多人担心不用焦炭只向铁水吹冷空气是否会使铁水凝固，但是实际情况表明，炉温不但没有降低，反而从 1350 度上升到 1600 度，结果不到半小时就可以炼出一炉钢水。这一发明极大地提高了炼钢效率，使炼钢费用降低了十倍。

酸性转炉法由于需要低磷矿石，因此在低磷矿石不多的英国发展并不顺利。按贝塞麦转炉法用含磷量高的矿石炼出来的钢，钢质变脆，根本不能使用。直到 1875 年伦敦法院书记员托马斯 (S. G. Thomas 1850—1885) 用碱性耐火材料代替了贝塞麦使用的酸性耐火材料，并在冶炼过程中加入石灰石，才取得了矿石脱磷成功，托马斯的这一方法在英国得到了发展。

几乎与此同时，西门子 (F. Siemens 1826—1904) 在伦敦发明了蓄热式加热炼钢法，1864 年前后在法国人马丁 (P. E. Martin 1824—1915) 的协助下，研制成功西门子-马丁炼钢法，即现在还在广泛使用的平炉法。这些方法的发明使 19 世纪钢的产量大为增加，全世界的粗钢产量 1870 年只有 51 万吨，到 1900 年增加到 2783 万吨，1955 年很快增加到 26000 万吨，在 85 年间增加了 510 倍还多。而且，还出现了各种用途的合金钢，特别是电炉炼钢法的出现，优质钢也开始大量生产了。

钢成为 19 世纪中叶以后的主要结构材料，建筑中的钢构件的制造、桥梁、铁路的路轨、轮船、车辆无一不是以钢为主要材料的。从 1856 年到 1876 年间，钢的价格下降了 50%，钢产量上升了 60%。钢轨寿命比铁轨长 20 倍。到 1863 年，第一艘钢结构轮船和第一台钢结构的机车都已问世。

化工与石油

在第一次技术革命中，化工技术主要是由于纺织工业发展，在漂白和染色工程中有所突破，无机化学工业在 19 世纪初已形成。第二次技术革命中以德国为中心的合成化学技术得到了发展。在 19 世纪末则建立了生产铜、铝、磷、钠、碳化钙、金刚石、人造石墨等材料的电化学工业。

石油技术自 1859 年美国钻井技师德莱克 (E. L. Drake 1819—1880) 在宾夕法尼亚打成第一口近现代化的油井以来，开始迅速发展起来。1870 年，美国成立了拥有百万美元资本的“石油托拉斯”——标准石油公司。铺设了使火车站与油井联结的石油管道，成为美国石油工业的先驱。1872 年俄国开始开

发巴库油田。由于 1900 年美国的帕卡 (H.C.Parke) 发明的旋转式钻机取代了冲击式的顿钻, 并于 1903 年在得克萨斯州的油田上试验成功, 使钻井深度逐年增加。1859 年德莱克钻的油井仅为 21 米左右, 1949 年达到 4700 米, 在 90 年内增加了 220 多倍。在采矿、炼油、石油化工方面也都形成了新的工业部门。特别是石油的炼制技术的进步, 直接导致了内燃机由煤油机向汽油机、柴油机的转化。内燃机已经成为现代交通工具 (汽车、船舶、机车、飞机) 的重要动力机, 同时也推动了农业机械化的发展, 并形成了发展速度和规模很快超过煤炭化工的一个新的化工行业——石油化工。染料、塑料、合成橡胶、油漆、溶剂、洗涤剂、药剂、炸药、杀虫剂、麻醉剂、合成纤维等许多产品都以石油为原料而大量生产, 石油已经成为 20 世纪以来的重要燃料、化工原料和战略物资。国外有人认为, 现代文明是建之于大量石油消耗基础之上的, 这是有一定道理的。

近代以来技术获得长足发展的重要行业是能源动力, 能源实现了从木材向煤炭、石油、天然气的过渡。进入 20 世纪中叶后, 又出现了更为高级的能源——原子能。

新的动力机械

在第二次技术革命中, 还出了许多其他新型的动力机械。19 世纪中叶, 蒸汽机虽然是一种比人力、畜力及自然力远为优越的动力机械, 但是体积太大, 又是以煤炭为燃料, 对于需要轻便动力机的交通运输工具以及水力丰富而煤炭运输不便的地区, 还是不适用的。因此, 技术家们对水轮机、汽轮机、内燃机作了大量研制工作, 取得了许多重要成果。

水轮机历史很悠久, 但一般效率都很低, 直到 18 世纪末一种新型水轮机出现后, 才有了改观。法国矿山学校的教授布尔丹 (C. Buruan 1790—1873) 给这种新型水轮机起名叫“涡轮机” (透平, Turbine)。1827 年, 他的学生富尔耐隆 (B.Fourneyron 1802—1867) 发明了反冲式水力涡轮机。在这之前的水轮机要在落差 100 米的瀑布下才能运转, 功率仅为 40 千瓦, 而富尔耐隆制造的这种水轮机可以在落差 5 米的情况下运行, 功率可以达到 150 千瓦以上。1850 年左右。英国人弗兰西斯 (J.B.Francis 1815—1892) 又发明了外侧安装固定叶片, 内侧安装旋转叶片的效率更高的新型涡轮机, 这种涡轮机优点很多, 在许多方面都适用, 直到现在还广泛用于水力发电站中。19 世纪末, 为了适应兴建水电站的需要, 美国人佩尔顿 (L.A.Pelton 1829—1908)、奥地利人卡普兰 (V.Kaplan 1876—1934) 等人均对水轮机作了改革, 使水轮机可以在水量不多但落差大以及水量少落差也小的各种情况下有效地运行。

汽轮机发明较晚, 1882 年瑞典科学家德拉沃尔 (DeLaval 1845—1913) 发明了勉强可以实用的冲击型汽轮机。稍后, 英国工厂主帕森斯 (C.A.Parsons 1854—1931) 为驱动发电机而发明了一种效率较高的汽轮机, 这是一种由带有许多叶片的圆筒型转子和固定叶片的外壳 (定子) 所组成的反冲型汽轮机, 蒸汽在叶片之间边通过、边膨胀而产生反冲作用, 驱动转子旋转。后来帕森斯还发明了将汽轮机与发电机联结在一起的装置, 叫做汽轮发电机。1896 年, 美国西屋公司买下了帕森斯这一专利, 并又进行了许多改革。由于汽轮机比蒸汽机热效率好得多, 因此进入 20 世纪后所有火力发电站都使用了这种汽轮机。

1894 年, 帕森斯设计了船用汽轮机, 并于 1897 年建造出世界上第一艘

以汽轮机为动力的轮船“达比尼亚号”。进入 20 世纪后，汽轮机成为商船和军舰的主要动力机。

无论是蒸汽机还是汽轮机，体积都很大，缺乏机动性，而内燃机的出现，恰好弥补了这一不足。

实用的内燃机是德国人奥托（N. A. Otto 1832—1891）制作的。在这之前，法国人雷诺（J. Lenoir 1822—1900）曾发明了一种用电发火的煤气发动机，尽管其效率很低，但由于当时社会对小型发动机需求的迫切，在 1865 年时法国生产了 400 台，英国也生产了近 100 台。奥托在雷诺发动机的启示下于 1867 年与朋友兰根（E. Langen 1833—1895）一同制作了自由活塞式内燃机，这种发动机由于采用了四冲程原理，因此效率很高，在 1867 年巴黎举办的世界博览会上获得了金质奖章。1872 年奥托与兰根一道创立了“德意志煤气发动机公司”，开始大量生产这种发动机，并于 1876 年制成现代内燃机的雏型四冲程内燃机。当时的内燃机是使用煤气的，因此也称为煤气发动机。

这一时期随着石油开采的进步，石油炼制工业兴起。当时的石油公司对于炼油中得到的汽油很伤脑筋，他们感到汽油易燃又易挥发，根本无法利用，只好小心翼翼地挖坑埋掉。

在奥托手下工作的技师戴姆勒（G. Daimler 1834—1900）得知这一情况后埋头研究使用汽油的发动机。1883 年终于成功地制造出高速汽油发动机。以前的内燃机最高转数为每分钟 200 转，戴姆勒研制的汽油内燃机为每分钟 800 转。他立即认识到这种小型高效率发动机在运输工具上的作用，1890 年成立了“戴姆勒发动机公司”，开始生产汽车。

德国发明家狄塞尔（R. Dissel 1858—1913）于 1898 年进一步研制出使用柴油的高效内燃机。这种内燃机又叫柴油机，燃料费用低、效率高，不用汽化器和点火装置，通过用活塞压缩空气产生高温，使喷入的柴油爆燃。20 世纪后广泛用于船舶、汽车、农业机械和发电方面。

汽油机也为飞机的研制提供了动力。美国发明家莱特兄弟（O. Wright 1871—1948；W. Wright 1867—1912）在前人研究滑翔机的基础上，制成安有自制的四缸汽油机的飞机，并于 1903 年 12 月 17 日试飞成功，这是人类第一次使用动力推进的飞行。飞机发明后其发展是极快的，第一次世界大战中飞机已经用于军事侦察和通信联络，到第二次世界大战前，使用活塞式汽油发动机的螺旋桨飞机已相当完善。但是这种飞机航速远小于音速，在战斗中容易为一般的炮火击落。第二次世界大战中研制成功的使用喷气发动机的飞机，很快即突破音速，使飞机进入了一个全新的喷气时代。

汽车与公路热的兴起

汽车的发明与公路的扩展是 20 世纪陆路运输的一个重要特征。人类在很早以前，就在设想、试制能够自动行驶的车辆。中国古代有一种风帆车，后来荷兰也在试验风帆车，但没有实用价值，因为风没有规律性。

蒸汽机发明后，有人以小型蒸汽机为动力研制蒸汽汽车，但是由于蒸汽机过于笨重，加之当时橡胶轮胎、轴承等均未发明出来，因此使用并不方便。

戴姆勒的汽油发动机研制成功后，即将自行车加以改装，制成了两轮摩托车，当时被称为“机动双轮车”。这种车时速 12 公里，由于车速低，道路又不平整，虽未能实际使用，但这正是后来摩托车的雏型，事实证明这种发动机很适合于机动车辆使用。不久后，戴姆勒让工匠制造一辆马车，把车上的辕改为驾驶杆来操纵方向，由发动机驱动后轮，时速近 20 公里。1889 年，

戴姆勒在巴黎国际博览会上展出了钢架实心橡胶轮的汽车，引起了企业界的注意。

1886年，德国发明家本茨（C. Benz 1844—1895）制成一种很实用的安装由他自制的四冲程汽油发动机的机动三轮车，并创办了制造汽车的“本茨公司”。当时，人们对汽车还是相当陌生的，当它被研制成功后，首先是在社会上通过各种办法加以宣传。在汽车最初生产的时候，由于采用的是单件生产方式，而且主要依靠手工制造，因此价格昂贵，修理和更换零部件又十分困难，只能是少数有钱人的奢侈品。

1888年后，欧洲研制汽车的消息传到美国，刺激了一直在研究“不用马的马车”的美国技术家们，到1895年美国已拥有3700辆汽车，其中蒸汽汽车2900台、电动车500台、汽油车300台。

在爱迪生电气公司担任主任技师的福特（H. Ford 1863—1947），敏锐地感到汽车只要能廉价而大量生产，肯定会成为一种普及性极强的运输工具，他于1896年制成第一台汽车后于1903年创办了福特汽车公司，专心致力于制造廉价的大众车。1908年他把汽车型号单一化，开始生产廉价的20马力的“T”型福特车。T型车的生产量大幅上升后，为满足社会的需求，福特在工厂内做了多次重大的技术改革，使许多加工机械实现了自动化。1914年，在发动机和底盘总装中采用了流水线生产方式。这一作业方式的核心是以产品单一化、零部件标准化和加工设备的专门化为基础的流水作业生产线。这种流水作业生产线将各种专用机器和工人联结成一个系统，在流水线的各道工序中都按最佳流程进行配置，每道工序都限定在由传送带的速度所决定的时间间隔内完成。这一生产方式的采用，显著地提高了生产效率。汽车底盘组装时间由原来的12小时8分钟减为1小时33分钟，汽车的制造成本迅速降低。

当时，许多工厂的劳动时间在10小时左右，福特汽车公司早就实行了8小时工作制。1908年的汽车售价为2000美元，到1913年降为850美元，1917年降为600美元，10年间车价下降了2/3；而且，福特汽车公司的工人的平均日工资为5美元，其他工厂仅为2.4美元左右。这样，福特汽车公司以劳动时间短、工资高而闻名于世。美国汽车产量由1900年的4000辆到1912年猛增到479000辆，在第二次世界大战开始时的1939年，美国已拥有3250万辆汽车。

这样一来，创始于美国的大量生产方式，在世界各国都得到推广，汽车已成为20世纪最为灵便的大众化运输工具。

随着汽车的大量生产，公路热在世界范围内迅速兴起。

工业化向美洲、亚洲的扩展

美 国

美国的独立战争自1775年起，到1783年结束，这场战争的本身已带有市民革命的性质。到19世纪前半叶，南方的奴隶种植园一直处于不断发展的英国棉纺工业的原料基地的地位，从属于英国的产业资本。美国的资产阶级革命在南北战争（1861～1865年）中，通过北方资产阶级的胜利才得以完成。

美国的产业革命始于19世纪初，1810～1820年北方新英格兰的农村家庭工业开始向近代工厂转化，1815年波士顿建立了近代纺织工厂。19

世纪初炼铁业的中心由宾夕法尼亚州转向俄亥俄州，形成了钢铁城市匹斯堡。

在北方产业革命进展中，产业资本迅速增加，但美国整体仍未脱离作为英国的原料市场和产成品销售市场的地位。独立战争后，美国虽然从英国殖民地中挣脱出来，但又卷入了英国的资本主义再生产结构中。

南北战争前，纽约等中部 5 个州与新英格兰的工业生产占全美国的 2/3，资本主义工业几乎全部在北方，形成了以北方的经济优势、南方的政治和军事优势为特征的两大地域集团。南方 1200 万人口中，黑人奴隶有 400 万，他们是种植园的主要劳动力：英国棉花需求的绝大部分依靠这里供给，棉花占美国出口额的 1/3 到 1/2，这与北方所要求的保护关税制不断产生矛盾。

在美国特有的西部开发中，北方产业资本家要求铺设铁路、架设通讯网以与东部市场相结合，这与南方奴隶制的外延扩张发生了正面冲突。南北战争中北方的胜利为美国资本主义的发展、产业革命的迅速完成扫清了道路，更广阔的国内市场得以开辟，近代工厂制及金融体制稳步地确立起来。

美国国土辽阔、资源丰富、人烟稀少、技术人员缺乏、劳动力不足，因此，生产中迫切要求推行机械化作业并尽可能采取自动化生产方式，简化工艺，以使非熟练工人也能较快地参与生产活动。在发展过程中，美国的工业化主要是以高度机械化生产的标准化产品，来满足日益扩展的市场需要为基础的。

怀特尼 (E. Whitney 1765—1825) 为政府制造步枪的生产中，首创了零部件互换的大量生产方式，这种生产方式在美国得到迅速推广。19 世纪中叶，美国的生产体系是围绕着生产线组成的，到 60 年代后，由于在缝纫机、机车、农机具、机床等生产方面采用了大量生产方式，其产量很快即超过了英国。

1862 年和 1864 年，美国国会通过了两项修筑横贯大陆的铁路的法律，在政府的直接资助下于 1869 年通车。1884 年，北太平洋铁路、南太平洋铁路和圣塔菲铁路通车，这些铁路的开通对于促进美国的经济发展和西部的开发起了巨大的推动作用。1868 年平炉炼钢法在美国普及，美国的钢铁产量开始超过了英国、德国和法国，成为世界上钢铁产量最多的国家。到 19 世纪 80 年代，美国在其产业革命基本结束时已经成为一个经济大国。

日 本

日本是亚洲最早完成产业革命的国家，在 19 世纪末已成为东方发展最快的工业强国。

早在 16 世纪，日本即开始了与欧洲的接触。1542 年一些葡萄牙人乘船从中国到了日本，耶稣会传教士弗兰西斯·沙维尔于 1549 年开始在日本传教，此后西班牙的多明我会修士、葡萄牙的耶稣会士和英国及荷兰的新教传教士在日本互相排挤，日本开始驱逐欧洲人。自 1638 年起，日本闭关锁国达 200 年之久。直到 1853 年，美国海军准将佩里率军舰进入江户湾后，日本在装备洋炮的蒸汽动力军舰的逼迫下，才被迫结束了因锁国而处于的社会停滞、孤立状态。

1868 年开始的明治维新，是日本近代化和产业革命的起点，其最大的成功在于确立了开放门户、富国强兵的策略。维新派的领导人物，大都具有敏锐的政治眼光、强烈的民族自尊心和远见卓识，不惜密访欧洲，学习西方的先进技术和社会治理经验。他们在“文明开化”、“殖产兴业”、“富国强

兵”的口号下，实行了强有力的全国动员，自上而下推行维新，鼓励国民学习西方的科学文化和技术，加速资本主义制度的确立。1871年废藩置县、废除封建的身份等级制度、土地改革等措施的实行，进一步瓦解了封建势力，促进了日本近代国家体制的确立。

日本是个单民族国家，除北方极少数毛发浓厚的虾夷人与欧洲诺迪克人有远缘关系外，其本土居民是属于蒙古利亚人种的“大和民族”，而且国土狭小、人口集中。千余年由于吸收中国儒教文化而形成了具有日本特色的独特的文化体系，一旦国家级组织化的政权建立，就会具有很强的社会动员力量。明治维新后，日本成功地将西方文化的主要特征纳入到传统结构中，创立了将雇员同企业联系的以终身雇佣制为基础的家长式的统治制度，由此形成了雇员向企业效忠，企业向国家效忠的有序的经济统制模式。

明治维新后，日本大力进行经济体制改革，鼓励私人资本的发展，用法令的形式逼迫历来靠奉禄生活的武士阶层投身于经济活动。1876年武士特权被废黜后，新兴的技术、产业工作成为吸引无业人员的重要领域，使日本与新兴产业有关的职业具有很强的进取精神。日本近代工业的兴起，使近代技术得到长足发展，随着国际市场及国内市场的开辟，使日本经济充满活力。在1888~1894年间，工厂数增加了4倍，工人增加了3倍。

日本政府极为重视国民文化素质的提高，1872年即公布了教育法，规定国民不分男女都要接受四年的义务教育。1900年左右，属于就学年龄的人口几乎全部入学，教育已完全社会化。在学生中，宣扬西方的价值观念和以日本式的家族观念为核心的国家思想。自19世纪70年代起，日本的教学课程设置中，与科学技术有关的内容比其他国家都要多。到19世纪80年代，受过科学技术训练的毕业生占全部毕业生的85%。

日本自明治维新开始大量引进西方技术，在电报、铁路、海运方面学习英国，在钢铁、兵器、化工方面学习德国，在大量聘请外国技术人员的同时，注重培育本国的技术力量。日本的近代技术发展也仿照西方各国工业化的模式，首先从轻工业特别是纺织工业入手，在明治维新后很短的时间内，即整套地引进西方技术，改造传统的生丝生产，并创立了全新的棉纺工业，同时，注重传统技术部门与引进技术的结合，在满足国内市场消费的同时，努力开辟国外市场。到明治末期，日本已经在工业化道路上迈出了一大步，在保留着许多日本传统的固有社会和文化特点的同时，在有组织的资本主义特定形式的支持下，近代工业体系迅速形成。

日本是东方封建落后的国家中在西方炮舰逼迫下，“主动”开放的典型，采取的是积极的进取性策略，并在很短时间内即从一个闭关锁国的封建岛国发展成为可以与西方列强抗衡的东方唯一的资本主义强国。

20 世纪的新技术革命 ——向信息社会的过渡

我们的时代产出许多天才人物，他们的发明可以使我们的生活大为快活自在。我们早已借助机器的力量横渡海洋，并且利用机械力可以最终把人类从各种单调繁琐的体力劳动中解放出来。我们学会了飞行，还通过电磁波从世界的一端到另一端方便地通讯。

——爱因斯坦

20 世纪的物理学革命

20 世纪以来，技术的发展往往直接取决于科学的进步，而且，从整体上看，科学发现转化为技术成果的时间在缩短。在第三次技术革命中涌现的许多技术发明，大多是与 19 世纪以来科学的进步直接有关的。科学和技术的门类愈分愈细，它们之间的关系愈来愈密切。某一科学或技术领域的突破，会很快地扩展到其他科学领域或技术部门，引起科学技术进步的连锁反应；某一国某一地区的科学技术成果也会很快地传播到其他国家和地区。

自 16 世纪以哥白尼 (N. Copernicus 1473—1543) 的天文学革命为标志的近代自然科学诞生以来，经历了 400 余年的发展，到 19 世纪末已经形成了较为完整的经典自然科学理论体系。物理学在近代自然科学中具有特殊的地位和意义，其他的科学门类及技术的发展也都往往受物理学发展的影响和制约。

经典物理学形成于 19 世纪末，经典力学、热力学和经典的电磁理论是经典物理学三大支柱，它们成为近代技术中机械技术、热机技术、电力技术和通信技术的科学基础。但是，经典的物理学理论在 19 世纪末遇到了“危机”。人们发现，经典物理学的理论不是普遍适用的，它有一定的适用界限，即仅适用于物体运动速度远小于光速的宏观系统。19 世纪末的一系列新发现（电子、X 射线、放射性）更加深了这场“危机”，而用经典辐射理论解释以太模型的困难，则成为现代物理学革命的直接诱因。

从 1900 年普朗克 (M. K. E. L. Planck 1858—1947) 量子假说出现到 1927 年量子力学的创立、爱因斯坦 (A. Einstein 1879—1955) 相对论的提出以及与此同时形成的原子结构理论，解决了这场危机。量子力学和相对论成为现代物理学的基本理论，而建之于现代物理学基础之上的固体物理学、无线电电子学、核物理以及高分子化学和分子生物学，则为第二次世界大战前后许多新技术的形成和发展提供了坚实的科学根据。科学发现与技术发明的关系已经十分密切，其中独居典型的是，某类技术发明只能是科学原理上的重大突破。

19 世纪，人们普遍认为原子是物质不可再分的最小微粒，是刚性的不可入的，经典物理学就是以此为基础建立起来的。1897 年，英国物理学家汤姆生 (J. J. Thomson 1856—1940) 通过实验发现电子后，突破了这一传统观念，认识到原子是有结构的。不久后，英国物理学家卢瑟福 (E. Rutherford 1871—1931) 于 1911 年发现了质子。1932 年卢瑟福的学生查德威克 (J. Chadwick 1891—1974) 发现了中子，由此使人们进一步认识到原子核也有其结构。1919 年卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核，第一次得到人工核蜕变生成的物质——氧-17 的原子核。1934 年，法国科学家约里奥·居里 (J. J. Curie 1897—1956)

用 粒子轰击铝原子，发现了放射性同位素磷-30。这些事实证明了原子核的结构在一定的情况下是可变的。

意大利物理学家费米（E. Fermi 1901—1954）考虑到中子不带电性，可以更好地接近被轰击的原子核，因此于1935年开始进行用中子轰击原子核的人工核反应实验。通过实验发现，当用石墨或水使中子减速后再去轰击原子核时，由于中子与原子核接近的时间较长，因此中子容易被原子核俘获而增大了核反应的可能性。

德国物理学家哈恩（O. Hahn 1879—1968）在分析费米用中子轰击铀产生的裂变物质时，发现了放射性的钡。但是在开始时由于没有能力分离出来，还错误地认为可能是镭或钋的同位素。哈恩把实验情况告诉了为逃避纳粹迫害而流亡在瑞典斯德哥尔摩的奥地利物理学家梅特纳（L. Meitner 1878—1968），梅特纳提出了“铀的稳定性很小，铀核俘获一个中子后会分裂成大致相等的两个原子核”的结论。不久后，梅特纳的侄子弗利施（O. R. Frisch 1904—）即用实验证明了铀核裂变后的这两部分是钡和氪。梅特纳和弗利施在细胞分裂的启示下，把这一反应称做“核裂变”。1939年1月，梅特纳和费利希在英国《自然》杂志上公布了这一发现和结论，并根据爱因斯坦1905年提出的质能关系式，预言了铀核裂变会放出大量的能量——原子能。

当时，流亡到美国的费米和丹麦物理学家波尔（N. H. D. Bohr 1885—1962）对这一发现立即进行了研究。费米于1939年提出了链式反应的设想，同时法国的约里奥·居里和美国的哈尔班（H. von Halban 1877—1947）等人又发现铀核分裂时，在释放出大量能量的同时，还会放出2~3个中子，由此确认了链式反应的可能性，为人类利用原子能开辟了道路。

当然，还不能认为20世纪出现的其他新技术都与科学有如此深刻的相互交融关系。但是一般说来，科学的发展对技术的促进作用是极大的，而且，技术的复杂化也往往需要有多门科学、多项技术的新突破、互相配合和综合运用。如果没有40年代以来控制论、信息论、决策论、博弈论、概率统计、系统论等新理论的出现，仅有电子计算机还不可能完成生产自动化和管理自动化的任务。同样，如果没有火箭技术、耐高温材料、遥控、遥测、遥感、电子计算机等技术的进步，航天技术也不可能有很大的发展。

互换式生产方式与管理科学化

互换式生产方式

互换式生产方式是18世纪末由美国的怀特尼创立的。1792年，怀特尼在耶鲁大学法律系毕业后，在去佐治亚州当教师的途中，得知盛产棉花的佐治亚州急需机械轧棉机以去掉棉籽，他于第二年即1793年就发明出轧棉机。怀特尼在组织生产轧棉机的过程中，由于缺少技术工人，因而设想出一种新的生产办法：把轧棉机分成若干个零件，一个工人只制作一种简单零件，把这样加工出来的零件再组装成成品轧棉机。但是他的这一设想还没能很好实现时，工厂就倒闭了。

1798年，怀特尼与政府签订了两年内生产1万5千只来复枪的合同。他在来复枪的生产中，采用了自己先前所设想的零部件互换式生产方式。他制作了各种模具和夹具，由于模具夹具能够正确地引导加工工具进行加工，无需再依赖工人的个人技能就能加工出合格的零件来，由此极其容易地解决了

大量生产来复枪的问题。他采用互换式生产方式在康涅狄格州建立的怀特尼工厂，成为后来在大量生产中著名的福特汽车工厂的雏形。

后来，美国发明家柯尔特（S. Colt 1814—1862），在生产自己发明的连发手枪的过程中，进一步发展了怀特尼互换式生产方式的思想。手枪零件全部实现了标准化，在同类零件中选用任何一个都可以装配。在实行互换生产方式之前，是谈不上什么机械零件的，一只来复枪、一台纺织机的个别机件一旦损坏，就只好送到铁匠那里去重新配制。互换式生产方式在马柯米克（C. Macomik 1809—1884）生产收割机以及辛格（I. M. Singer 1811—1875）生产缝纫机的工厂中也得到了应用，并很快地在世界范围内普及开来，使 19 世纪以后的生产出现了一个崭新面貌。

由于各种机器的大量生产和普及，出现了使产品规格化的趋势。

早在 1841 年，英国发明家惠特沃思即对螺纹尺寸作出规定，1841 年后，英国工业规格标定协会在此基础上确定了英制螺纹标准。美国企业家、发明家塞勒（W. Sellers 1824—1905）于 1864 年提出了由他设计的标准螺纹尺寸，规定螺纹剖面为正三角形，在螺纹面部和底部各 1/8 处切成平面，并进一步提出螺母和螺栓也要按标准尺寸制造。4 年后，美国政府将他的这一标准作为美国通用标准在美国普及开来。互换式生产方式及通用零件的标准化，为 20 世纪生产的自动化奠定了基础。

进入 20 世纪后，大批量生产的趋势更为加强。福特于 1914 年左右在汽车发动机和汽车底盘的生产装配线中采用的流水线生产方式，是大型复杂产品大批量生产方式的成功尝试，是对 19 世纪美国形成的互换式生产方式的发展和扩充。这种生产方式可以使生产处于高度组织化之中，从而极大地提高了生产效率。这种生产方式在其他行业如机械、造船、电子产品、军工部门得到了广泛的应用。

随着生产过程的复杂化、大型化、高速化和批量化、第一次技术革命时期沿用下来的那种简单的管理方式已经根本无法组织生产。

管理科学的出现

科学化的管理也是在本世纪初起源于美国的。19 世纪 80 至 90 年代，美国工程师泰勒（F. W. Taylor 1856—1915）着手研究工厂的科学管理，他经过多年的不懈努力和实验，提出了一套系统的管理方法，于 1911 年出版了《科学管理原理》一书，阐述了他的基本思想。

当时，美国工厂的生产是极为混乱的，工人采取消极怠工的办法以发泄对资本家的不满，工厂管理者对一个工人一天之内应当生产多少产品（即工作指标）没有系统研究，也没有研究工作指标与工作制度间的关系。泰勒认为这种低效的管理主要是只凭预感、经验、困袭的知识和无知行事，他希望工人和管理者能知道本身的工作要求，以及完成这些要求所产生的积极后果，他认为如果能这样，在管理者和工人间就会出现一种紧密的和谐关系。

泰勒为了确定工作指标（他以切削工作为研究对象）而做了一系列的研究。他对生产过程进行了所谓的时间研究，他把工人的操作分解为许多要素，用秒表测定完成每个要素所用的时间。他为了确定车床的切削速度标准，用了 26 年时间对刀具材料、刀具尺寸、切削速度作了持续研究，发明了新的高速钢。

泰勒本来是想科学地测定工人每项工作的具体标准，在提高经济效益的同时，按比例提高工资，但是他的这一愿望却适得其反，成为资本家剥削工

人的理论依据。

在泰勒思想影响下，许多人继续对科学的管理方法进行研究。例如美国工程师古尔雷恩对劳动基本动作的次序和方向做了分析，提出了建筑工人可以将垒外墙砖的动作由 18 个半减为 4 个半，工人采用他的方法后，生产效率可以提高 200%。泰勒的合作者亨利·甘特则提出了日工资加奖金的办法。按这一办法，工人不论完成工作指标否，都有基本的日工资作生活保证，而超额完成部分可以按比例增加奖金。经过这些人的努力，逐渐形成了一套效率较高的建之于科学研究基础之上的管理方法和理论。

列宁曾对泰勒的科学管理方法作了如下评价：“资本主义在这方面的最新发明——泰勒制，也同资本主义其他一切进步的东西一样，有两个方面，一方面是资产阶级剥削的最巧妙的残酷手段；另一方面是一系列最丰富的科学成就，即按科学来分析人在劳动中的机械动作，省去多余的笨拙的动作，制定最精确的工作方法，实行最完善的计算和监督制等等。”他要求“应该在俄国研究与传授泰勒制，有系统地试行这种制度并把它适应下来。”

现代的管理科学已经发展成一门涉及自然科学、工程学、经济学、心理学、人类学、社会学的综合性科学，是组织现代化大生产的基本理论。

电子技术的早期发展

第三次技术革命中的主导技术

第三次技术革命开始于本世纪中叶。正如第一次和第二次技术革命一样，由于技术革命是一个过程，而技术的发展又具有其连续性，因此很难人为地确定某一次技术革命开始或结束的具体时间。许多人认为第三次技术革命开始于第二次世界大战后期，其原因是因为这时出现了第一台电子计算机、原子弹、雷达、导弹以及开始研制出后来成为航天中重要运载工具的火箭发动机的缘故。

到目前为止，国内外对第三次技术革命的称呼很多，众说纷纭，莫衷一是，由于侧重面不同而有原子能革命、激光革命、空间技术革命、信息革命、生物学革命等不同提法，也有人认为应当以一个新兴技术群来表征。但是，任何一个技术时代，都会有许多新的技术发明出现，这些技术在整个技术的发展中，在技术体系中的作用、地位和影响并不等同，只有那种将引起整个社会生产技术基础发生质的变革的技术发明，才有可能导致一次技术革命。

进入 20 世纪后，电子技术向一切生产部门的广泛渗透，引起了社会生产的迅猛发展，加快了工业化的进程。由于机器和工程系统的日益复杂化、大型化、综合化和高速化，影响系统的因素愈来愈多，生产要求的精度和速度愈来愈高，仅靠传统的机电方式的控制手段对生产中个别机器动作、行程、转速，个别系统的温度、压力、电压、电流的控制，已经远远不能满足生产的要求。因此，当代技术发展基本趋势是在生产中努力采用现代信息控制手段，以实现生产过程的最优化和综合自动化。这种趋势是符合人类力图用最少的物质和能量，最少的时间生产最多最好的产品这一生产目的的。信息控制手段的核心技术是电子计算机，计算机的广泛应用不仅可以在越来越大的程度上自动控制生产过程，把人从繁重的脑力劳动和体力劳动中解脱出来，

也将模拟人的某些功能完成对社会生产和社会生活的某些组织管理工作。其他新技术，到目前为止还没有对社会生产技术产生根本性影响，以致有导致社会生产技术基础变革的迹象。因此，将第三次技术革命称做信息控制技术革命，即认为它所解决的中心技术课题是社会生产和管理的信息控制更为恰当。

电子技术与无线电

1888年，德国物理学家赫兹用实验发射和接收电磁波之后，俄国物理学家波波夫（A.S.Popov 1859—1905）和意大利发明家马可尼（M.G.Marconi 1874—1937）分别于1895年利用火花放电发出的电磁波和金属粉末检波器实现了无线电通讯。1901年12月12日，马可尼成功地在英国与加拿大之间进行了横贯大西洋的无线电通信，由此显示了利用电磁波通信的威力。

1904年，英国工程师约翰·弗莱明利用热电子发射效应（又叫爱迪生效应，是1883年爱迪生发现的），发明了真空二极管；1906年美国发明家德福列斯特（L.DeForest 1873—1961）为了提高检波效率，在二极管的板极和丝极之间插入了第三电极——栅极，发现三极管可以用来取代电火花装置和高频交流发电机产生电磁波。三极管发明后，各种其他形式的电子管和电子线路相继被研制出来，使电子技术和无线电技术飞跃到一个新的发展阶段。

1916年，美国工程师昆拉德（F.Conrad1874—1941）建立了业余无线电台，每周播送两次。1921年在匹兹堡建立的KDKA电台正式广播，到1924年美国已有无线电台600余家，1930年已经形成了一个全球性的无线电广播系统。

20世纪前半叶，电子管在电子技术中起着核心作用，但是随着电子技术的发展，却愈来愈暴露出它的许多不足：体积大、发热严重、消耗功率多、结构复杂。对这些缺点采用对中子管本身进行改进的方法去解决，已经无能为力。在这种情况下，许多科技工作者开始努力研究其他元器件。以量子力学为基础发展起来的固体物理（特别是半导体物理）为半导体器件的出现提供了理论依据。贝尔实验室的巴丁（J.Barden1908—）、肖克莱（W.B.Shockley1910—）和布拉坦（W.H.Brattain1902—）经过三年的研究，于1948年制成点接触型晶体三极管。1960年美国德克萨斯仪器公司又制成集成电路，使电子技术又发生了一次飞跃发展。特别是70年代以来，集成电路的集成度不断增加，可靠性不断提高，价格不断下降，因此固体元件开始有了广泛的应用，成为当代计算机技术、信息技术、自动控制技术、通信技术发展的基础。

电子技术的发展经历了真空电子技术、晶体管半导体技术、微电子技术三个发展阶段。当前，微电子技术正在引起电子工业的一场新的变革。

电子技术将人的神经系统的某些作用也引入了“机械化”。现代的电子装置提供了比人的器官更为优越的人造感觉器官，例如，光电摄像管、光电管等相当于某些装置的眼睛，各种听声器相当于装置的耳朵，热电偶和电阻应变计起着人的皮肤的温度感觉和压力感觉作用，各种流量、速度、振动等参数都可以用适当的电子装置测量，这样就构成了超过人的能力界限的一系列高级的机械式感觉器官，电子计算机就是处理来自这些感觉器官的信息的人造头脑。“电脑”一词即人们赋予“电子计算机”的一个美绰。

电 视

电视是传播活动图像的综合性电子技术。早在 1884 年德国的尼普科夫 (P.G.Nipkow 1860—1940) 就在研究用机械扫描方式进行图像传输的问题, 但电视的正式发展却是 20 世纪的事。

1907 年俄国的罗辛 (B.R.Rosing 1889—1933) 提出使用尼普科夫盘对景物进行扫描, 用阴极射线管进行远距离接收的电视方案, 按这方案阴极射线管的荧光屏上会出现原图案的黑白图像。1908 年苏格兰工程师斯温顿 (C.A.A.Swinton) 又提出了摄像管的设计方案。1920 年后机械扫描的电视开始问世。

1925 年, 英国的贝尔德 (J.L.Baird 1888—1946) 公开表演他设计的机械电视系统。他用一个带透镜的尼普科夫盘扫描图像, 每秒 5 帧, 每帧 80 条扫描线; 以后不断改进, 终于 1929 年获得英国广播公司允许, 开始公共电视广播, 扫描指标为每秒 12 帧、每帧 30 行。美国贝尔实验室的艾夫斯 (H.E.Ives 1882—1953) 于 1927 年在华盛顿与纽约间播送了指标为每秒 17.5 帧、每帧 50 行图像的机械电视。由于技术的不断改进, 到 1932 年美国无线电公司发射的图像指标已达每秒 24 帧、每帧 120 行。

30 年代初, 由美国无线电工程师兹渥里金 (v.K.Zwory-kin 1889—) 在 20 年代研制的利用板极调制、静电聚焦的电视显像管很快取代了机械式图像再现装置。同时, 他于 1933 年公开发表了对光电摄像管的研究成果, 后来又进一步研制成功更为灵敏的正析摄像管。1936 年, 贝尔德电视公司在英国正式开播黑白电视。

由于上述的技术进步, 图像分辨率有了显著提高。1935 年英国规定了每秒 50 帧、每帧 405 行的国家标准。美国于 1941 年开始正式的黑白电视广播, 采用了指标为每秒 30 帧、每帧 525 行的标准。

30 年代后期, 美国和英国都开展了对彩色电视的研究, 探索用高分辨率标准顺序的发射方法。

1940 年, 美国的戈德马克 (P.C.Goldmark 1906—) 研制成功逐场顺序传送的彩色电视系统 CBS 制, 1951 年美国试播了这一制式, 但它与黑白电视不能兼容, 其发展受到限制。美国国家电视委员会 (NISC) 致力于黑白与彩色兼容的电视系统, 1953 年获得成功。其原理是将彩色图像分解为两部分发送, 一部分是图像的亮度信息, 黑白电视机可以响应; 一部分是彩色信息, 黑白电视机对此无反应。

1954 年, 美国电视广播开始采用 NISC 制, 1960 年日本也采用了这个制式。1967 年, 英国和德国采用了对 NTSC 改进不大的 PAL 制, 即由德国的布鲁赫 (Bruch) 1962 年研究成功的“逐行倒相正交平衡调幅制”: 前苏联和法国则采用了对 NISC 改进较大的、1956 年法国的亨利·弗朗斯提出的“顺序传送彩色与存储制”, 后来称做 SECAM 制。这三种制式已成为世界公认的标准制式。

电视不仅用于大众传媒、家庭娱乐, 也广泛用于工业和科研。除广播电视外, 还有工业电视、红外电视、空间电视等多种用途的电视, 到 70 年代, 全世界已拥有 3 亿台电视机, 电视已成为普及率最高的电器之一。

第二次世界大战中的新技术

技术有其自身的发展逻辑, 这是对技术自身的发展过程而言的。某项具

体技术的发展或是某一时期的技术发展方向，社会因素起着巨大的作用。第二次世界大战是人类历史中规模最大、范围最广的一次现代立体战争。由于战争的特殊需要，一批需要集中大量的人力、财力和物力的技术如原子弹、电子计算机、雷达等在短时间内迅速研制成功。

劳兰（Loran，远程无线电导航系统）

20 世纪 20 ~ 30 年代，无线电路理论及电子管的发展成果，导致了第二次世界大战中劳兰、雷达及电子管兵器的发明。

使用电磁波确定目标位置的尝试，始于 1912 年奥地利的迈斯纳（A.Meissner 1883—1959）对无线电接收位置的确定。这一方法后来发展成旋转式无线电信标法，其中使用了无线电信标和方向探测器，由船舶或飞机向陆上的两个点发射信标电波，由方向探测器测定方位角，结合海图或航空图确定自己的位置，但这种方法精度还不算高。

1940 年 11 月，美国为了研制无线电导航和探测定位系统，在国防部指示下在麻省理工学院（MIT）设立了放射研究所。该所设立火炮、通讯、化学、物理 4 个研究部，专门研究开发劳兰、雷达和其他电子管兵器。

当时，美国的陆军、海军、贝尔公司、通用电气公司（GE）、威斯汀豪斯电气公司（WH）、美国无线电公司（RCA）等都在开发波长为 50 厘米的超短波技术。由于波长较长，用于无线电定位时精度不高。1941 年 MIT 放射研究所动员了 400 多名科学家以微波为中心，对相关的电子线路、伺服系统等进行了全力开发研究，很快研制成功宽频接收机，发射机的功率也大为提高，将发射电波波长缩短到 10 厘米，克服了使用频率为 3 兆赫时夜间电离层对电磁波的干扰。

劳兰技术实际上是英国无线电委员会的迪庇（R. J.Dippy）发明的，他命名为“gee”。美国 MIT 放射研究所对劳兰的研制，基本上是模仿“gee”。1941 年，劳兰开发成功后，立即在巴缪塔进行了试验，1942 年正式在战场上装备，由此克服了以前飞机的“盲航法”，使飞机可以正确地确定自己的位置。劳兰导航系统需在地面设立两个相距 1800 ~ 2200 公里的接收站，到第二次世界大战结束时，已经建立了 70 个劳兰导航基地，每个基地导航范围达 15000 平方公里，导航覆盖面已达地表面的 30%。

劳兰导航系统共花费了近 1.3 亿美元，战后这一技术与电子计算机相合，发展成自动探测器，广泛用于远距离定位、探测方面。

雷达（Radar，无线电探测与定位）

第二次世界大战中，无线电应用的另一重要成果是雷达。当时研制成功的雷达可以在 10^{-5} 秒内的极短时间里，发射微波并测定被目的物反射回来电波的时间，由此探测出远方目标的方位、速度和距离。

雷达的研究始于 1925 年美国的布里特（Bright）用无线电波进行了测量电离层高度的实验。早在 1897 年，波波夫在进行无线电实验时，就发现电磁波被船反射回来的现象。到 20 世纪 30 年代初，有人发现从地面发射的电磁波，会被空中飞行的飞机反射回来。

1934 年，英国皇家空军科学部长 E.H. 维布里斯向皇家物理研究所无线电部主任瓦特森-瓦特（R.A.waston-Watt 1892—1937）询问可否有一种能杀人的“死光”，瓦特森-瓦特讲不可能有死光，但可以用一种电磁波探测敌机。随后瓦特森-瓦特向皇家空军提交了一份题为“用雷达探测飞机”的报告。空军对此十分重视，将报告列为“绝密”，并于第二年开始研究雷达。

在雷达技术中不使用超短波（厘米波）就无法进行精确的测定，它涉及到超短波的产生、放大、检波及与此相应的电子线路等一系列技术问题。在英国，为了反对纳粹德国的战争威胁，卢瑟福的学生们全力以赴地开发了能够产生超短波的元件磁控管。在此基础上，皇家空军很快地研制成功使用波长为 1.5 厘米电磁波的雷达。1938 年在英国东海岸布署了防空雷达网，1940 年，英国已经研制成功投弹瞄准雷达 GH2S 系统，用于指挥飞机投弹，同时还研制成功了地面指挥截击雷达、夜间防空雷达、对空射击雷达等。

同一时期，美国的泰勒（A. H. Taylor 1879—1961）提出了使用连续波的雷达捕捉敌机飞行动向的方法（多普勒雷达）。这一方法很快被美国陆军开发成功，但并不实用，于是进而研究用脉冲波代替连续波的雷达，1936 年完成了 ISCR268 型雷达系统。1940 年美国得知英国已开发出起振波长 10 厘米、功率 20 千瓦的大功率磁控管，军部立即责令 MIT 的放射研究所全力对此进行研究，很快即完成了陆军用的 AI 型雷达、海军用的 SER520、SCR720 型防空雷达以及与高射炮连动的 SCR584 型雷达。

英美还联合研制成功了发射频率高达 1 万兆赫的 H2X 系统，可以发射更为细锐的电磁波射束，使瞄准更为精确。纳粹德国在 30 年代即开始研究船舶和飞机的探测系统，1939 年完成了对入侵飞机和船舶的报警系统，1944 年又开发成功了用于高射炮瞄准用的雷达。但由于德国致力于研究导弹，对雷达的研究投入经费严重不足，使战争期间使用的雷达系统远落后于同盟国。

战后雷达除了军用外，在民用如航空、海运、交通管制、地图绘制、天文观测、气象观测等众多领域得到应用。

导 弹

导弹是一种依靠控制系统制导使弹头能准确命中目标的高速飞行器，是纳粹德国在第二次世界大战期间全力开发的新式武器系统。

导弹的基础是尾部喷射出高温高压气体，靠反冲作用自动飞行的火箭技术。火箭是中国在宋朝发明的，当时已用于战争。近代火箭技术的奠基人是俄国的齐奥尔柯夫斯基（K. 1857—1935），他在 1903 年发表文章提出了齐奥尔柯夫斯基公式，并提出利用液氧为氧化剂、液氢为燃烧剂的液态燃料火箭的设想。真正将液体燃料火箭发射成功的是美国的戈达德（H. Goddard 1882—1945）。他于 1926 年 3 月 16 日发射了他研制的第一枚液体燃料火箭。这枚火箭用液氧和汽油为推进剂，在 2.5 秒内上升了 12.5 米，水平飞行 56 米。

德国在 30 年代后开始全力研制火箭技术，自 1933 年起在冯·布劳恩（Von Braun 1912—1977）的领导下，通过 A1～A5 火箭的研制和实验，在飞行力学、制导、发动机设计、弹道设计方面等取得大量经验，于 1942 年 10 月 3 日在德国的佩内明德成功地发射了惯性制导的 V—2 火箭。这实际上是弹道导弹的雏型。V—2 导弹重 13 吨，长 14 米，射程 320 公里，并采用带程序装置及计算机飞行速度仪器的自主式陀螺控制系统。1944 年 9 月后德国向英国发射了 4300 多枚 V—2 导弹，但命中率很低，仅有 50% 的导弹落入直径 10 公里范围内，可靠性也不高，有 2000 多枚在发射时或在空中爆炸。此外，德国还向英国发射了重 2.2 吨，射程 370 公里的用陀螺仪和高度计制导的地对地飞航式导弹 8000 多枚，其中仅有 2400 枚到达目的地。纳粹德国在战争中还使用无线电制导的 HS—293 和 HS—298 导弹，以及波束制导的地对空导弹。

纳粹德国投降后，美国和前苏联两国成为德国 V—2 导弹的继承者。美国俘获了以冯·布劳恩为首的 100 多名德国火箭专家，全部 V—2 资料及少量的 V—2 火箭零件；前苏联则俘获了一批二流专家和大量 V—2 火箭及设备。战后在东西方冷战形势下，各自争相研制导弹和火箭技术。由于战后核技术、电子技术、控制论及电子计算机技术的发展，极大地促进了导弹技术的进步。1957 年 11 月前苏联制造成功 SS—3 地对地中程战略导弹，射程达 1750 公里，不久又制造出射程达 12 000 公里的 SS—9 远程（洲际）战略导弹，这种导弹到 1970 年已制造出 1200 枚。美国在 1957 年已拥有“宇宙神”、“大力神”洲际导弹，1959 年研制成功第二代洲际导弹“民兵—1 型”、飞行速度为音速的 21 倍、射程达 13000 公里。在导弹竞争中，使导弹系统多样化，从射程上分为短程、中程和远程（洲际）；从品种上分为地地、地空、空空、地舰多种。在洲际导弹发展的基础上，还开发出可靠性更高的可以用于发射航天器的大型火箭系统，使战后的航天技术得以迅速发展起来。

原子弹

原子能技术的理论基础是爱因斯坦狭义相对论的重要推论，即质能关系式 $E = M \cdot C^2$ ，其中 C 为光速值。原子核物理的发展揭示了重核元素分裂为轻核元素，或者轻核元素聚合成重核元素时，会发生质量亏损的现象，即核反应后的全部质量小于反应前的全部质量，这时将伴随大量能量的释放。

轻核聚变需要巨大的能量引发，这在当时是无能为力的，但重核裂变反应却要容易些。1932 年中子发现后，到 1939 年初，约里奥·居里夫妇和匈牙利物理学家西拉德（L. Szilard 1898—1964）、费米即证实了链式反应的可能性，并证实铀核裂变的链式反应一旦产生，会在瞬间释放出巨大的能量。

原子核裂变的发现正值第二次世界大战爆发前夕，不少科学家预见到应用原子核的链式反应制成的武器威力是空前的。计算表明，1 克铀裂变释放出来的能量相当于燃烧 3 吨煤的能量，其爆炸力相当于 20 吨 TNT 炸药。为了抢在纳粹德国之前掌握核武器，1939 年 7 月流亡美国的西拉德及魏格纳（E. Wigner 1902—）建议爱因斯坦利用其社会威望给美国总统罗斯福写信，敦促美国抢先研制原子弹。1939 年 8 月 2 日爱因斯坦签署了给罗斯福的信，美国政府立即下令成立了铀顾问委员会，但军界还未能充分给予支持，仅在大学实验室进行研究。

1940 年英国向美国提出了他们如何分离铀 235，以及原子弹引爆、辐射后果、威力等的详细报告。由于战争进一步扩大，就在日本偷袭珍珠港的前一天（1941 年 12 月 6 日），美国政府通过了大量拨款和动员一切力量制造原子弹的决议，1942 年 6 月成立了军事政策顾问委员会，领导代号为“曼哈顿工程”的制造原子弹工程。逃亡到美国的大批科学家在费米的领导下参与了研制工作。

1942 年 12 月 2 日，研制者在芝加哥大学建成了一个 6 米高的核反应堆。由于功率仅有 200 瓦，生产的钚满足不了制造原子弹的需求量，1943 年又建成一座功率为 3000 瓦的增殖反应堆，每天可生产 1 克钚。制造以铀为原料的原子弹需要高纯度铀，为了争取时间，当年又在橡树岭按当时所知道的三种浓缩铀的方法（热扩散法、气体扩散法和电磁法）同时各建一座浓缩铀的工厂，投资达数亿美元。同时，科学家们还从理论上计算出了铀和钚的可维护链式反应的临界体积。

原子弹的具体设计和试制工作，是在加利福尼亚大学的理论物理学家奥

本海默 (J. R. Oppenheimer 1904—1967) 领导下进行的。1945 年 7 月 16 日, 在新墨西哥州离阿拉莫戈多 96 公里的荒漠上试爆了第一颗原子弹 (铀弹)、爆炸力相当于 2 万吨 TNT 炸药, 爆炸后在半径 400 米范围内砂石熔化, 在半径 1600 米范围内, 所有生物均死亡。

原子弹试爆成功后纳粹德国已投降, 西拉德、爱因斯坦等 60 多名科学家向美国政府呼吁反对在战争中使用原子弹。当时罗斯福已去世, 在杜鲁门的指令下, 1945 年 8 月 6 日在广岛上空投下一颗铀弹, 7 万多人当场死亡, 6.8 万人受伤; 3 天后又在长崎投下一颗钚弹, 3.5 万人死亡, 6 万多人受伤, 两个城市大部分建筑物被毁。

美国在实施曼哈顿工程计划中, 共动员了 50 多万人参与, 其中科技人员达 15 万, 耗资 22 亿美元, 占用了全国 1/3 的电力。为了争取主动, 采用多种研制方案齐头并进的方法, 投入这样巨大的人力、财力、物力如果不是战争的特殊需要, 是任何国家也办不到的。

电子计算机

电子计算机一般指电子数字存储程序计算机。这种计算机具有自行控制、自动调整、自行操作的能力, 还可以大量存储信息并对信息进行加工, 在预定的程序下进行逻辑推理和判断。

第二次世界大战中, 由于武器的进步、战争的大型化和复杂化, 特别是喷气飞机和导弹在战争中的大量使用, 出现了许多在极短时间内需要完成的大量的复杂计算工作。原有的机械式防空测量、测算系统已远不能满足这一需求, 对高速飞机和导弹的控制和导航、地面防空系统对敌机的火力布署和弹道计算, 都需要一种快速、准确的计算工具。当时美国陆军每天需要编制 6 张火力表, 每张表要计算几百条弹道, 这一工作就是让最熟练的计算机员日夜不停地计算, 也要花上二三个月。因此, 当时研制电子计算机的主要目的是解决快速准确的计算问题。

用机械方式代替人的手工计算的思想由来已久。1645 年, 法国 22 岁的数学家帕斯卡 (B. Pascal 1623—1662) 即制成一台机械式的加减法器, 并能自动控制逢 10 进位, 这是为减轻他父亲繁忙的计算工作而设计的。德国数学家莱布尼兹 (G.W. Leibnitz 1646—1716) 在帕斯卡的启发下, 于 1673 年研制成一台可以进行四则运算的计算机, 但均不够实用。但他提出的二进制运算法则, 成了后来计算机的计算基础。最早实用的可大量制造的计算机是保险商卡尔·托马斯 (C. Thomas 1785—1870) 在 1820 年制成的, 这种计算机 18 秒可以算出两个 16 位数的积。但这些计算机还都是机械式的, 是用手摇曲柄来驱动的。

19 世纪初, 法国织布工雅卡尔发明了利用穿孔卡片控制纬线的自动织机后, 英国数学家巴贝奇 (C. Babbage 1792—1871) 很快利用这种穿孔卡片方法提出一种带有运算器、程序控制器和存储器的计算机的设想, 他的这一思想于 1890 年被美国统计局工程师霍勒利 (H. Hollerith 1860—1920) 所接受, 于 1890 年制成为美国进行人口普查的统计机。

进入 20 世纪后, 德国工程师祖泽 (K. Zuse 1910—); 及哈佛大学的艾肯 (H. Aiken 1900—1973) 分别于 1941 年和 1944 年研制成使用大量继电器的程序控制计算机。但是这种计算机由于其运算速度慢, 加之 30 年代电子技术的兴起, 很快即被电子计算机所取代, 但它为电子计算机的研制积累了经验。

为了解决第二次世界大战中火力表中弹道计算问题，美国的曼希利（J.W.Manchry 1907—1980）于1942年8月提出一份题为“高速电子计算装置的使用”的报告，这就是第一台电子计算机的初始方案。太平洋战争爆发后，美国决心倾注力量研制电子计算机，曼希利的报告于1943年4月得到批准，宾夕法尼亚大学的莫尔学院和美国陆军阿伯丁弹道研究实验室共同承担了研制任务。他们组织了一大批优秀的数学家、物理学家、电子学家、逻辑学家和工程师，经两年多努力，其间修改方案20次，经费总额48万美元，并于1945年底将这台具有划时代意义的巨型机完成了总装和调试工作，1946年2月15日进行了首次表演。这台计算机于1947年运往阿伯丁弹道研究实验室，专门用于弹道计算，后经多次改进而成为能进行各种计算的通用计算机。

这台计算机被命名为“电子数值积分计算机”，简称ENIAC。使用电子管18800个，继电器1500个，耗电达150千瓦，重130吨，占地170平方米。加算速度为200微秒，乘算速度2.8毫秒，除算速度6毫秒。

ENIAC存储量太小，而且由于其程序是外接的，使用不方便，它采用10进制，因此运算速度较慢。在与ENIAC研制的同时，在数学家冯·诺依曼（J.L.von Neumann 1903—1957）领导下，提出了一种全新的存储程序通用的电子计算机方案“离散变量自动电子计算机”，简称EDVAC，它采用了二进制和程序存储。1952年，EDVAC制造成功，其设计方案为现代计算机的发展奠定了基础。

战后的新技术革命

第二次世界大战后，各国为了医治战争的创伤，各资本主义国家的垄断组织为了在竞争中取得有利地位，都竞相发展科学技术，努力将新技术从军用转向民用以提高经济效益，几乎所有的垄断企业都拥有规模庞大的研究开发机构和研究队伍。用于科学研究的经费和人力不断增加，因此使战后的新技术如雨后春笋一般，迅速发展起来。这一时期的新兴技术主要有电子计算机、原子能、航天、生物工程、新材料、海洋工程、激光、光纤通信等。

电子计算机技术

第一台电子计算机在1945年制成后，很快即转入科研和生产方面，它的发展随着电子元器件的进步而经历了四代，这是美国国际商用机器公司（IBM）给电子计算机分类的称呼。

第一代电子计算机以电子管为主要元件，开始于1946年。这一阶段，完成了可以大量存储信息的内存储器，并在第一台电子计算机基础上增加了运算器和控制器，使电子计算机可以实行自动控制、自动调节和自动操作。这一阶段的电子计算机主要用于火箭的控制、制导等科学计算以及雷达预警系统。由于电子计算机体积庞大、价格昂贵，还不能普及。

第二代电子计算机以晶体管为主要元件。晶体管在1948年被研制成功后，前苏联在1957年即用于电子计算机制造，但第一台全晶体管电子计算机（IBM7090）是美国国际商用机器公司于1959年推向市场的。晶体管具有体积小、寿命长、耗电省等优点，它使计算机的可靠性和运算速度都远远超过电子管，到1964年就出现运算速度达二三百万次的大型晶体管计算机。第二代电子计算机可以通过程序设计语言进行计算，因此除科研计算外，还广泛

用于工业自动控制、数据处理和企业事业管理等方面。

第三代电子计算机是以集成电路为主要元件的。它于 1965 年投放市场，首批是美国国际商用机器公司生产的 IBW—360 机。集成电路是 1956 年由英国皇家雷达研究所开发成功的。这一代电子计算机仍以存贮器为中心，引入了终端概念，并与通信线路相联结成网络。一台电子计算机可以联结大量的终端，分散在各地的用户可以同时使用同一台计算机。从 60 年代后期，由电子计算机、通信网络和大量远程终端组成的各种管理自动化系统，如生产管理自动化系统、运输管理自动化系统、银行业务自动化系统等开始大量出现。

第四代电子计算机采用了集成度更高的大规模集成电路，开始于 70 年代。这一时期，制成了微处理器。微处理器的出现，使电子计算机真正进入了普及应用阶段。自从 1971 年美国英特尔公司制成第一块微处理器以来，采用微处理器的各种类型的机器人、数控机床、自动照相机、电话机和家用电器大量出现。对促进社会生产和社会生活的进步起了划时代的作用。

电子计算机问世后，其发展速度是极为迅速的。有人估算，大约每 5~8 年运算速度提高十倍，可靠性提高十倍，体积缩小十倍，成本降低十倍。例如，1971 年制成的微型机与第一台电子计算机相比，体积不到它的三万分之一，造价降低为该机的万分之一，运算能力提高了 20 倍。作为微电子技术核心元件的集成电路成为当今世界上最有活力、最引人注目的一个新兴技术领域，一个国家开发集成电路的速度和水平反映了这个国家科学技术水平和工业管理能力。电子计算机正沿着自动化、小型化、高速大容量化方向发展。为适应大型复杂系统如天气预报、航天技术、核反应堆设计及控制、社会经济系统的计算、模拟以及其他社会活动的需要，已经研制出巨型机、微型机、计算机网络和智能机器人等多种形式的电子计算机。

原子能技术

原子能在战后沿着军用和民用两个方向发展。在军用方面，美国、前苏联、法国、英国以及我国等一些经济实力较强的国家，都先后进行了原子弹实验和氢弹实验，各国在运载方式、控制方式、弹型方面都有不少新进展，出现了战略核武器和战术核武器；在民用方面，则向着作为新的一次能源利用方向发展。1954 年前苏联在列宁格勒（现彼得堡）的奥布宁斯克建成了世界上第一座实验核电站后，英国、美国、法国、德国、意大利、印度、加拿大等许多国家都相继建成了核电站。在反应堆形式上则有天然铀石墨气冷堆、高温气冷堆、沸腾水堆、压水堆等多种。在冷却剂方面则有金属（主要是钠）、熔盐、气冷、轻水等多种形式。其中快中子增殖堆。由于既可以用铀 235，也可以用铀 238 为燃料，因此效率是相当高的，是目前较为理想的一种堆型。

此外，使用小型反应堆的核动力则用在船舶及航天方面。1954 年美国建成第一艘核动力潜艇“鸚鵡螺号”1959 年前苏联大型核动力破冰船“列宁号”、美国大型商船“塞万号”相继下水。现在许多国家都拥有大量的核动力潜艇。

除了利用重核的裂变能之外，各国还在研究如何利用轻核的聚变能。氢弹就是一种非可控的热核反应，它放出的能量远远大于重核裂变、但是要用于和平方面，反应必须是可控的。美国以及前苏联等国都投入很大力量进行这一研究，但是目前距实用阶段还很远。不过人类一旦突破了这一难关，能源将有一次彻底的革命，因为热核反应所用的原料主要是氢及其同位素，而

海水中含有的氢是相当丰富的。

航天技术

航天技术也叫空间技术，是一门综合性极强的技术。它包括运载工具（火箭技术）、控制和制导技术以及遥测、遥感等技术、是新材料、新能源（核能、新型太阳能光电池）、新工艺的综合成果。自从1957年10月4日前苏联发射第一颗人造卫星以来，经8年努力，1969年7月20日美国的阿波罗计划实现了人类登月。阿波罗计划中美国使用的“土星”5号火箭，长达110米，直径10米，加足燃料重3000吨，有效载荷达50吨。1981年4月12日，美国的“哥伦比亚”号航天飞机又试飞成功，这是一种可多次往返使用的空间运载工具。这一时期，还向土星、水星、金星、木星、天王星、海王星等星球发射了探测器。目前发射航天器的国家除了前苏联和美国外，还有日本、英国、法国、中国、印度等十多个国家，发射的航天器包括通信卫星、气象卫星、地球资源卫星、测量卫星以及用于军事、科研目的卫星、空间站等。人们利用这些航天器，不但对各类天体、地球、月球有了进一步认识，开阔了视野，增长了关于宇宙的知识，而且在通信、地球资源调查、气象预测等方面都有很大用途。

生物技术

生物技术是以生命科学的最新成就为基础的综合性技术，生物技术包括基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程等四大方面。

基因工程是采用类似工程设计的方法，按照人类需要将具有遗传信息的目的基因，在离开生物体的情况下进行剪切、组合、拼装，然后把经过人工重组的基因转入宿主细胞内进行大量复制，使遗传信息在新的宿主细胞或个体中高速繁殖，以创造人工新生物的一种技术。1973年首次实现了遗传基因的人工剪接和重组，人类按自己的需要定向地创造具有特定功能、特定品性的新物种的愿望即将实现。

细胞工程指将细胞在离开生物体情况下进行培养、繁殖，使细胞的某些特性发生改变以创造新品种或提取某些物质的过程。包括细胞及组织培养、细胞融合、体细胞杂交、细胞器移植、染色体工程等。

酶工程是利用酶所具有某些特殊催化功能，用生物反应器或工艺方法生产人类所需要的生物产品的方法和过程。包括酶制剂的开发和生产、固化技术、酶分子的化学修饰、酶反应装置的研究与设计以及酶的分离提纯等。

发酵工程也叫微生物工程，这是一种利用微生物的某些特定功能，通过现代工程技术手段产生有用物质或直接把微生物应用于工业生产的技术与过程。包括培育优良菌种、发酵生产某些代谢产物、生产微生物菌体、改造某些天然物质等。

生物技术是一项投资少、效益高的技术，它建立在生物资源的可再生性基础上，可以把高温高压下进行的生产过程，改变成在常温常压下进行的生物反应过程，在工农业生产上有着广阔的应用前景。

新材料技术

材料是技术发展的基础，有不少新兴技术是直接取决于新材料的进步的。没有半导体材料的发展，就谈不上半导体技术的进步，也更谈不上微电子技术、微处理器的进步。据统计，制造一台彩色电视机要用1618种材料。

新材料包括信息材料、能源新材料、特殊条件下使用的结构材料和新型功能材料三大类。现在已经实用或正在研制的材料除了半导体单晶硅、氧化

物半导体材料、光导纤维外，还有高温结构陶瓷、非晶体材料、高密度储能材料、超导材料、高性能结构复合材料、高性能复合塑料、分离膜、新型合金等材料。

新材料是新技术革命的重要支柱，是开发新能源、发展空间技术和微电子技术的根本保证。目前新材料技术的发展趋势是，新材料将愈来愈多地取代传统的金属材料，材料种类不断多样化，现有材料的性能将不断得到提高和改善，不断地在“分子水平”上设计制造新的具有特定性能的材料。

海洋工程

随着人类活动空间的扩展以及潜水、海底勘探技术的进步，海洋这个巨大的宝库正在引起人们越来越大的关注。海洋资源比陆地资源丰富得多，海水中含铀 40 亿吨，相当于陆地储量的 4000 倍；含金 600 万吨，相当于陆地储量的 170 倍。目前，依靠海洋提供的矿物中，锆占 100%，钛占 80%，镁占 60%，锡占 40%，石油占 25%。世界海洋经济总产值 1696 年为 130 多亿美元，1980 年增长到 2800 亿美元，增长了 22 倍。许多国家除了进行海底采矿（如石油、天然气、锰以及其他金属）、海水加工（如提取盐、铀、重氢等）、海洋捕捞外，还致力于海水养殖，发展海洋农牧业，从海洋生物中提取各种药品。此外，还在努力研究利用海洋空间的“海下工厂”、“海上村庄”。海洋能源的开发也日益受到重视，海洋能源包括潮汐能、波浪能、海流能、温差能、盐度差能等，是一种蕴藏量大、可再生、无污染的能源，但由于能量密度低、不稳定，又给人类利用带来了困难。70 年代后，由于空间遥感技术在海洋方面的应用，提高了对海洋状态、资源的普查效率、为人类进一步开发海洋提供了条件。

激光技术

激光技术是本世纪 60 年代发展起来的一门新兴技术。激光也是一种光，它是利用光照、加热、放电等手段在谐振腔作用下，使物质发生受激辐射的振荡过程而产生的一种光。这种光除具有一般光的特性外，还具有极好的相干性、单色性、方向性和极高的亮度，在工业、农业、国防、医学、科研等领域有广泛的应用。已研究成功的各种激光器广泛用于焊接微型元件、玻璃及金属、切割高熔点金属和非金属材料，以及激光武器、全息摄影、彩色电视、高速摄影、农业育种、核聚变、测距等方面。

光纤通信技术

光纤通信指用光纤维制成光缆，代替传统的金属电缆；用程序控制的数字交换代替传统的机电交换；用数字通信代替模拟通信。由于信息容量大、交换快、传输质量高、抗干扰能力强、能够节省能源和金属，因而是一种很理想的有线通信手段。它使计算机技术与通信技术和半导体激光技术相结合，产生了能够处理和传递电报、电话、图像、数据的新的信息系统。光纤通信的研究始于 60 年代激光器的发明，经 20 余年的研究与发展，到 80 年代已转向生产与应用。

许多国家的通信系统都改为光纤通信电路，而不再使用电缆电路。由于光纤的传输损耗少，因此中继距离长，在相同容量下，光缆直径只有电缆的 1% 到 1%。价格便宜，可靠性好，一年只需停机 30 秒，而且每公里可节约铜 3.7 吨。

70 年代以来，微电子技术、计算机技术、光纤通信技术、卫星通信技术以及软件技术的综合发展，使整个信息技术成为新技术革命中最活跃的、影

响最大的领域。同时围绕信息的产生、收集、传递、保存、加工、处理而形成一个个全新的产业，国外对这种产业叫做“信息产业”这种产业在各国经济发展中的地位愈来愈重要。

如果说工业化时代的经济，主要是以大量使用和消耗材料、能源为基础的，那么新的技术革命则主要是如何利用先进的信息控制手段，使生产过程最优化，即用最少的材料、能量和时间，生产出最多的最好的产品来。

自动化技术的进展

生产自动化

进入 20 世纪中叶以后，自动化的步伐加快了。

所谓自动化，是 1948 年福特汽车公司的副经理哈达为新设的研究自动机械部门起的名字，他把“自动地作业 (Automatic operation)”这两个词加以压缩而创造了“自动化 (automation)”这一新词。自动化一词一经提出，很快在全世界范围内广泛流行起来。

自动化包括底特律自动化、工序自动化和管理自动化，前两者也叫生产自动化。自动化的核心是自动控制。第一次技术革命时期，怀特尼于 18 世纪末创立的互换式生产方式以及 20 世纪初福特在汽车的大量生产中创立的流水作业线，是自动化得以发展的前提。

以福特在底特律的汽车工厂中实行的流水作业线为标志的早期自动化，由于只适用于大批量单一部件的生产，装备费用高，设备更换困难，因此不适宜产品的改型和小批量多品种的生产。

随着社会的发展，用户日益要求解决小批量多品种的生产问题。50 年代，美国曾研制出一种叫做 Flexomatic 的原始的柔性生产系统。该系统将许多数控机床安装在同一条传送带的两旁，当工件由传送带一端传到另一端时，预定的加工内容即全部完成。这种系统需用的设备较多、投资大、程序由人工控制，效率也很低，因此无论是在技术上还是在经济上都不算成功。

60 年代初，由于数控机床的发展以及电子技术的进步，制成了第一台数控加工中心。这个中心可以在同一根轴上完成研磨、钻孔、开槽、镗孔等各项加工工序，并配有工具自动更换装置，全部机器由一台电子计算机控制。

60 年代末，英国的威廉斯设计了一种系统——Molins—24 系统，这个系统设想把工件夹在平板架上，把整套工具装在工具盒里，然后由计算机控制装入贮藏库。系统工作时，按计算机指令可以随时从贮存库取出装有工件的平板架和所需的工具箱，送到机床上按程序加工工件，加工程序也由计算机直接指令数控机床。工作结束后，加工好的工件、平板架和工具箱自动返回指定地点。这种系统原计划 70 年代末投入使用，但因成本过高而中途夭折。

70 年代末到 80 年代初，柔性制造系统 (FMS) 在各工业发达国家中发展很快。这种系统的主要部分是由无人驾驶运输车、数控机床和机器人组成。数控机床组成加工中心，工件由无人驾驶运输车从仓库自动运到加工中心，机器人把工件装到数控机床上，工件加工完后，机器人又取下工件，装上无人驾驶的运输车送回仓库。工作可以昼夜进行。这种系统使 90% 以上的机械加工实现了自动化。但是装配工作还有 35% 左右要由人工去完成。

在使用柔性制造系统的基础上，近年来又根据相关图表理论发展起计算

机辅助设计和计算机辅助制造系统 (CAD/CAM)，为小批量多品种生产提供了方便。这种系统借助于计算机可以在研制新产品时，最大限度地利用原有的系列规则，可以方便准确地完成设计方案并对新产品作出估价；还可以为机器人编制程序，自动地安排生产计划及检测。设计人员可以把对产品的各种改进要求、经验输入到系统中，使产品系列在研制、设计和生产过程中不断地得到改进和更新。因此，这个系统对于小批量多品种的生产是非常有利的。

当前，由于易于改变程序的无人驾驶车、机器人和数控机床的进步，小批量多品种的生产系统发展很快。在化学工业中特别是在石油化学工业中，由于测量仪器和调节仪器的自动化，很早即实现从原料到成品全部生产过程的自动控制作业。这种自动化叫做工序自动化。

在实现了工序自动化的炼油厂里，将原油从工厂的一方输入，通过管道输送到精馏塔。石油在高温高压下裂解为汽油、煤油及其他产品，从工厂的另一方取出或自动地注入成品罐中。各工序的温度及压力均由自动调节器进行适当控制，而不再需要人工直接去照料。这种自动化方式在发电站及炼钢厂、轧钢厂中也得到应用。

管理自动化

随着生产自动化的进展，设备投资增大，企业如果没有相当的计划性以及准确地掌握各种行情，就会使生产陷入混乱，而且由于设备、产品淘汰率加快，因此必须加快巨额资本的周转，尽快收集和整理经营上的信息，并合理地加以处理。由于应用电子计算机（特别是微处理器）已经可以制造出电子式的办公自动化机械，如电传打字机、电传印刷机、穿孔机、分类机、制表机等，使企业管理、库存管理、工资计算以及其他事务性工作也逐渐实现了自动化，即管理自动化。但是这种管理自动化是有一定的前提条件的，这就是 20 世纪以来发展起来的新的管理技术如质量管理、运筹学、销售学以及泰勒的科学管理原理等。

起源于 18 世纪的互换式生产方式，要求所加工的零件达到一定的标准，否则会在装配中因误差过大而带来困难。这样，就开始了对产品的质量检验，一开始是对各种加工出来的零件进行检验，后来对进厂的原材料的性能等各方面也都开始了检验。在 20 世纪初的大量生产过程中，由于对所有零件都去逐个地进行人工检验，需要花费大量的时间、人力和财力，因此质量检验成为当时生产中的一个难题。1924 年美国休哈特 (W.A. Shewhart 1891—) 研究的统计管理技术，解决了这一问题。这种管理技术统计规律，预先测出质量偏差，再通过适当抽样来鉴定产品质量。基本原理是按照生产过程特点绘制出产品质量偏差的管理图表，如果所抽查的样品都是在这个管理图表的公差范围之内，就证明全部产品都合格，否则就可以根据偏差种类找出发生问题的原因以便排除。第二次世界大战后，这一统计质量管理技术已经渗透到世界各国的生产管理中。

运筹学起源于第二次世界大战中，是一种利用定量模型来求问题最优解的方法。最初是用于飞机对海上警戒、雷达对空戒以及城市防空等方面，后来又推广到战略作战计划中。战后，运筹学被用于市场调查、生产管理以及各种行政管理方面，其内容包括排队论、线性规划、博弈论和优选法等，它将企业的整个生产过程和流通过程作为管理对象，因此可以为企业领导人及时提供决策意见。目前这一方法在世界各国的大企业中得到了普遍的应用。

销售学产生于 1914 年，第二次世界大战后日趋成熟。销售学是指广义的

销售管理而言，是对销售、广告、产品质量、成本、设计以及消费者购买力进行研究，以满足消费者最大的购买可能性，从而可以大量推销商品的一门学问。

上述理论的综合运用再加上办公自动化机械的大量出现，为战后管理自动化的发展提供了条件。

社会生产技术在机械化、电气化基础上向自动化的发展，已经使战后的经济与社会生活发生了巨大的变化。1956年，美国的白领工人（职员）人数开始超过蓝领工人（产业工人）；1979年，从事农业生产的劳动人数占总劳动力的3%，从事制造业的劳动人数占总劳动力的25%，而从事服务和信息工作的已经占总劳动力的72%。1980年，在美国的国民生产总值中，服务业的总值开始超过产品生产总值，以微电子技术为基础的与信息有关的部门，正在形成一个有别于农业（第一产业）、工业（第二产业）的类别繁多的新产业群——信息产业，这一新产业大有取代传统工业，而成为在国民经济的产业结构中占主导产业地位的趋势，使社会生产出现了可以与英国产业革命相媲美的巨大变革。

从微观到宏观

由于近代技术的迅速发展，进入20世纪后，利用先进的技术手段制成的各种用于科学研究的新的仪器、装备，使人类对自然界有了更为深入的认识，自然界的奥秘不断被揭示，人在自然、宇宙中的自我定位更为清晰。

基本粒子

人类从很早以前，就在追寻构成世界万物的本原问题，由此使科学思维与哲学思维相结合，在古希腊、中国 古代及古印度均出现了探讨世界本原的学问——自然哲学。19世纪初，英国化学家道尔顿（J. Dalton 1766—1844）创立了近代原子论，此后近100年间，在科学界都认为组成物质的不可再分的基本粒子是原子。19世纪末由于电子的发现、放射性的发现动摇了这一学说。20世纪初，科学家对原子结构、原子核结构的研究，揭示出原子本身亦有复杂结构，或者说原子也是由更小的粒子组成的。30年代前，科学界普遍认为原子是由质子、中子和电子组成的，这三种粒子再加上光子，共有四种基本粒子。30年代后，随着实验技术的不断提高，又发现了各种新的粒子，使人们认识的基本粒子数量、种类不断增加，由此形成了研究微观世界各种粒子性质、运动规律的新学科——高能物理。

1929年，英国物理学家狄拉克（P.A.M. Dirac 1902— ）建立相对论电子波动方程时，发现除了有两个解对应于已知的电子正能态外，还有两个对应于电子负能态的解，进一步研究后于1931年提出应当存在“反电子”并指出与质子相对应还应当有“反质子”存在。1932年，美国物理学家安德森（C.D. Anderson 1905—）在宇宙射线中，发现了这种反电子，命名为“正电子”。次年，法国物理学家齐保德（J. Thibaud 1901—1960）和约里奥·居里夫妇发现正负电子相遇会共同湮灭而产生光子的现象。正电子的发现揭示出微观物质世界具有对称性，1955年后又发现了反质子和反中子，进一步证实了这一结论。

1931年，奥地利物理学家泡利（W. Pauli 1900—1958）在研究 衰变的能量守恒过程时，认为有少量能量被不知名的粒子带走，费米于1933年提

出 衰变理论，他将这不知名的粒子命名为中微子，并认为在 衰变中中子转变为质子、电子和中微子，质子在适当条件下也会转变为中子、正电子和中微子。由于中微子与其他粒子的作用极为微弱，一直到 1955 年才被实验所探知，并发现了反中微子。这样，在自然界中除了已知的电磁力、万有引力外，又发现了粒子间的弱相互作用力。

1932 年，德国物理学家海森堡 (W. K. Heisen berg 1901—1976) 为了说明质子与中子结合力产生的原因，提出了交换力的概念。他认为质子与中子间因不断交换 1 个电子，才使二者紧密结合在一起的。1934 年，日本物理学家汤川秀树 (1907—1981) 发展了这一思想，认为所交换的不是电子而是“介子”，介子是传递核力的媒介粒子，其质量介于电子与质子之间，大约是电子的 200 倍，创立了介子场论，由此预言了自然界第四种力，即强相互作用力的存在。

1937 年安德森等人在宇宙射线中发现了类似汤川预言的介子后，介子理论引起了科学界的重视，1947 年汤川预言的介子被发现。

到 1947 年，已知的基本粒子有光子 (γ)，电子及反电子 (e, e^+)，质子及反质子 (p, \bar{p})，中子及反中子 (n, \bar{n})，中微子及反中微子 ($\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$)，传递核力的介子 (π^+, π^0, π^-) 及宇宙射线介子及反介子 (μ^+, μ^-)。

由于同步加速器、泡箱及雾室技术的发展。自 1947 年后又发现了许多新粒子，一类比质子、中子重，称为超子 ($\Sigma, \Xi, \Lambda, \dots$)，一类比介子重，称为 K 介子及其反粒子，它们产生的快但衰变慢，所以又叫做奇异粒子。

各种基本粒子在一定条件下可以互相转化，在转化中遵循一定的对称性 (宇称) 和守恒规律。这些粒子在电磁相互作用和强相互作用下，宇称守恒，在弱相互作用下宇称不守恒 (杨振宁、李政道于 1956 年提出)

基本粒子是否存在结构，许多科学家对此进行了多年探讨。1964 年美国的盖尔曼 (M. Gellmann 1929—) 发现只要引入三种基础粒子就可以对基本粒子的组成作统一解释。他认为所有参与强相互作用的粒子 (质子、电子、超子) 都是由 u, d, s 及其反粒子 $\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}$ 组成的。他将 u, d, s 称为“夸克”。夸克带分数电荷，分别为 $2/3e, -1/3e, 1/3e$ 。这一模型称为“夸克模型”。

60~70 年代，许多实验都证明夸克是存在的，但至今尚未能探测到自由夸克。对此，有人认为夸克将永远被囚禁在强子之中，称为夸克幽禁，也有人认为现有的高能加速器的能量不足以产生出自由夸克。

70 年代初，有人提出描述强相互作用的新理论——量子色动力学。这种理论认为与电磁场相对应的是胶子场，电磁场的作用量子是光子，胶子场的作用量子是胶子，胶子与电子的静止质量都为 0，光子不带电荷但胶子带有色荷，有 8 种不同色荷的胶子把夸克牢牢地粘合在一起。介子由一个夸克和反夸克组成，正反夸克颜色互相抵消；重子由红、绿、蓝三色夸克组合，合为无色。因此夸克虽然带色，但介子、重子无色，并把人们看不到带色的自由夸克和胶子称为色禁闭。1979 年丁肇中小组的实验首次提供了找到胶子存在的证据。

人类对微观世界的认识正在不断深入，由于粒子加速器是研究基本粒子的强有力的手段，加速器的发展极为迅速。1976 年，由欧洲核研究中心在瑞士、法国边界建成的世界上最大的加速器，直径为 2.2 公里，磁铁重 1.1 万

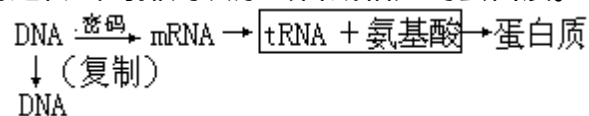
吨，励磁功率达 1.3 万伏安。它的建成为人类进一步研究基本粒子提供了条件。

细 胞

17 世纪后期，英国物理学家胡克（R.Hooke1635—1703）用自制的显微镜观察软木切片时，将软木蜂窝状的小空穴命名为细胞。19 世纪中叶，德国生物学家施旺（J.Schwann1810—1882）和施莱登（M.J.Schleiden1804—1839）建立了细胞学说。1895 年，英国化学家奥韦顿（C.E.Overton1865—1933）证明了细胞核的存在。到 20 世纪初，一般都认为细胞是由细胞膜、细胞质和细胞核组成的。20 世纪后，人们对细胞的认识迅速深化。1934 年，英国解剖学家本斯利（R.R.Bensley1867—1956）对 19 世纪未发现的线粒体形状、化学成分和所含的酶进行研究，发现线粒体与琥珀酸氧化酶及细胞色素氧化酶相结合，在细胞内具有呼吸器官的作用。进而发现线粒体是细胞能量的转换中心，与磷酸化偶联合成 ATP（三磷酸腺苷）。1947 年，美国生物学家波特（K.R.Porter1912—）发现了细胞内质网。1952 年，美国的帕拉德（G.E.Palade1912—）用电子显微镜发现线粒体有内外两层膜结构，1956 年又进一步证明线粒体是由内外膜、内外室、嵴及基质组成，具有与 ATP 合成有关的氧化磷酸化作用等多种功能。

1953 年，帕拉德发现内质网上 1.5×10^{-8} 米左右的核糖体，弄清了核糖体参与合成蛋白质的作用。1957 年，生物学界根据细胞内有无明确的细胞核将细胞分为原核细胞和真核细胞两类，前者（如细菌、藻类）没有定形的细胞核，脱氧核糖核酸（DNA）呈环状散布在细胞质里；后者有固定的细胞核，主要成分是由 DNA 和组蛋白缠绕而成的染色质（1882 年，W. Flemmin 将细胞核中易于被碱性染料着色的部分称为染色质）。

1924 ~ 1944 年间，科学界已证明染色质系由 DNA、RNA（核糖核酸）及蛋白质组成。1953 年 DNA 双螺旋分子结构和其上的遗传密码的解读，弄清了基因的功能单位是 DNA 大分子上一段多核苷酸序列，而突变和重组是核苷酸碱基对上的变化。60 年代基本揭示了蛋白质生物合成的过程，即 DNA 将信息传给 mRNA（多核苷酸链），mRNA 通过中间受体 tRNA（转移核糖核酸）用信息指导氨基酸进行蛋白质合成。这是因为 tRNA 分子中含有相当于某种氨基酸的反密码子，因碱基配对关系而具有识别 mRNA 链上遗传密码的能力，使氨基酸按 mRNA 链上的遗传密码排列次序去合成相应的蛋白质。



DNA 合成蛋白质过程

1953 年，经电子显微镜观测，弄清了高尔基体是由双层膜的扁平池、大小泡组成。1961 年帕拉德提出高尔基体参与初生的蛋白质的释放运输过程。20 世纪下半叶，人们对细胞膜的结构和功能有了更深入的认识。1959 年发现多数膜具有蛋白-磷脂-蛋白三层结构，确立了细胞外周膜除具有将细胞与外界隔离作用外，还具有物质运输、能量转换、信息传递、细胞识别等多种功能，并弄清了 ATP 提供的能量是由膜主动输送的。60 年代后，进一步证实了遗传密码的机理，弄清了神经和激素对细胞代谢的调节作用，从而认识到细胞本身具有遗传信息和代谢信息的储存和传递功能、合成复杂高分子及核酸和蛋白质的功能，是一个既有内部能量交换又保持整体动态平衡的复杂系

统。

地 球

近代技术为地球观测和研究提供了大量的新设备，特别是探空火箭、资源卫星、深海钻探、同位素地质年代测量及电子计算机技术的进步，使人类对地球有了较全面而深入的认识。

在 20 世纪初关于地球面貌的形成问题（即大地的基本结构），德国地理学家魏格纳（A.L.Wegener 1880—1930）提出了著名的大陆漂移说。他认为在古生代（距今 5.1—1.8 亿年间），全球只有一个大陆，称为联合古陆，中生代（距今 1.8~1 亿年间）联合古陆开始分裂、漂移，逐渐形成现在的几个大陆与岛屿、海洋。这一新思想受到了传统的大陆固定说学派的反对，争论在 1919~1928 年间达到高峰。魏格纳为了寻找大陆漂移说的直接证据，两次去格陵兰荒漠探险，在他 50 岁生日那天遇难（1930 年 11 月 1 日）。他去世后大陆漂移学暂时被压抑下来。

50 年代后，由于地球物理学及地质学的进展，开始对海洋洋底进行探测，利用声纳及海洋重力、地磁地热测量仪等先进探测设备、开展了大规模的海洋考察活动，如“国际地球物理年”（1957~1958 年）、“上地幔计划”（1961~1971 年）、“深海钻探计划”（1968 年）等，使人们掌握的海底资料大为丰富起来。

在 50 年代末已弄清了大西洋海底中洋脊、深海沟、断错带和海底平山（顶部被海水侵蚀变平的海底古火山堆）等大洋底地貌及其分布，认识到深海沟是海底地壳的下沉消减带，而中洋脊是海底地壳的上升带。中洋脊周围不断发生小地震，大西洋中洋脊与后来发现的印度洋和北冰洋的中洋脊相互连接。

美国地质学家赫斯（H.H.Hess 1906— ）和迪茨（R.S.Dietz 1914— ）分别于 1961 年和 1962 年提出了海底扩张说。根据这一学说，地幔中存在岩浆的对流，地幔物质从地壳裂缝处上升形成中洋脊，并不断生成新的地壳。海洋地壳碰到大陆地壳就下沉钻进地幔中。由于海洋地壳不断地更新，海底没有比中生代更老的地层。这一理论已被实测所证实。

英国物理学家布莱克特（P. S. Plackett 1897—1974）在 40 年代即提出了太阳及地球磁场的成因论，并研制成精度达 10^{-7} 高斯的地磁仪。1957 年，布莱克特和朗康（S. K. Runcon 1922— ）发现在不同的地质时期，地磁极不同，并认为在某个地质时期欧美大陆是连在一起的，大西洋并不存在，否则就无法解释他们通过对岩石磁化方向测定发现的地磁极移动偏差。

60 年代末，美国的勒·皮雄（X. Le Pichon）和摩尔根（W. J. Morgan 1935— ）、英国的麦肯齐（D. P. McKenzie）在大陆漂移、地幔对流、海底扩张说的基础上，创立了板块构造说。按这一学说，地球岩石圈的基本构造是板块，板块的边界是中洋脊、转换断层、俯冲带和地缝合线，由于地幔对流、板块在中洋脊发生分离和扩张，在俯冲带和地缝合线处消减。全球共分为欧洲、美洲、非洲、太平洋、澳洲和南极六大板块，板块边缘是板块构造最剧烈的地方，通常表现为地震带。

按这一学说推论，大西洋在不断扩大，太平洋在不断缩小，红海、东非裂谷和加利福尼亚湾不断开裂，有可能形成新的海洋。西藏高原是由两个大陆板块相撞挤压，印度板块被挤入欧亚板块下面形成的等等。

板块构造说是在对海洋地壳与大陆地壳相结合研究的基础上提出的一个

地壳运动模式，它揭示了大陆与海洋的演进变化过程与原因，开创了人类对地球认识的新阶段。这一学说在研究地形地貌的成因、地震、矿脉分布、生物演化、气候变化中有重要作用。

宇宙

20 世纪，人们借助先进的光学及射电望远镜，对宇宙进行了探讨。特别是 20 世纪中叶各种航天器的应用，对宇宙的认识有了突飞猛进的发展。

1912 年，美国天文学家莱维特 (H. S. Leavitt, 1868—1921) 发现小麦哲伦星系有许多造父变星，提出了造父变星光变周期与亮度的周光关系。1918 年，美国天文学家夏普利 (H. Shapley 1885—1972) 利用这一关系计算出银河系直径达 8 万光年 (光年指光在 1 年的时间内走过的距离，光速为 30 万公里/秒，1 光年相当于 94 608 亿公里)，厚度 3000 ~ 6000 光年，太阳系不在银河中心，而是在距中心 3 万光年处。

1913 年，美国天文学家罗素 (H.N. Russell 1871—1957) 发现了恒星光度在光谱等级图上分布在从左上方到右下方的序列上，他将这个序列称为主星序。在此基础上，他提出了恒星演化过程。认为恒星起初是体积大密度小的红巨星，随着自身的收缩密度加大，温度上升，颜色变白，当因收缩放出的热不足以抵消辐射能的消耗时温度开始下降，恒星沿主星序向右下方演化。由此确立了恒星演化理论。英国天文学家爱丁顿 (A.S. Eddington 1882—1944) 于 1924 年进一步发现，星球质量愈大光度愈大，质量小光度也小。他将恒星分为红巨星、主序列星及白矮星三类。

由于美国天文学家霍尔 (G. E. Hale 1868—1938) 1917 年在威尔逊上建成 2.5 米的反射天文望远镜、1968 年在帕洛马山又建成观测距离为 50 亿光年的 5 米反射天文望远镜，使天文观测很快扩展到银河系以外的星系世界。

1924 年美国天文学家哈勃 (E.P.Hubble 1889—1953) 利用威尔逊山 2.5 米望远镜在仙女座星云、三角座漩涡星云及人马座 MGC6822 中发现了造父变星，估计距离为 90 万光年 (后来用 5 米望远镜观测，订正为 220 万光年) 这三个星云不属于银河系，而是与银河系范围差不多的河外独立星系。1929 年哈勃进一步确定了星系红移 (退行速度) 与距离间的关系： $\text{光速} \times \text{红移量} = \text{哈勃常数} \times \text{距离}$ ，即著名的哈勃定律。爱丁顿很快将之与 1917 年荷兰天文学家德·西特 (W.DeSitter 1892—1934) 提出的宇宙膨胀论联系起来，认为这是对宇宙膨胀论的证实。1932 年，比利时天文学家勒梅特 (G.Lemaitre 1894—1966) 以宇宙膨胀论为基础，提出大爆炸宇宙论学说，认为原始宇宙处于一个“原始原子”之中，因发生爆炸，碎片散开形成了今天的宇宙。

1940 年，美国无线电学家雷珀 (G.Reber 1911—) 制成射电天文望远镜，观测银河中的射电源，英国的赖尔 (M.Ryle 1918—) 制成了更大的射电天文望远镜，观测了宇宙中射电源的分布状态，发现 100 亿光年以外的射电源以光速的 95% 的速度向外逃逸。1949 年，前苏联天文学家伽莫夫 (G.Damow 1904—) 对此作了解释，他认为宇宙始于温度高达几十亿度的高密度的“原始火球”，球内充满辐射和各种粒子，球内基本粒子发生热核反应引起爆炸而向外膨胀，之后开始冷却，这些粒子形成了今天所知的各种元素，由此完善了关于宇宙起源的大爆炸宇宙论。

1964 年，美国的彭齐亚斯 (A. A. Penzias 1933—) 和威尔逊 (P. W. Wilson 1936—) 利用贝尔实验室新建的一座极为灵敏

的天线接收通讯卫星信号时，发现有一种消除不掉的各向同性的噪声辐射，相当于绝对温度 3.5 度，确定为是一种宇宙微波背景辐射。1965 年他们与普林斯顿大学研究“原始火球”遗迹的小组共同研究后确信，这正是“原始火球”遗迹。后来科学家对此又进一步用实验加以证实，由此关于宇宙起源的大爆炸宇宙论广为科学界所接受。

50 年代后，由于美国天文学家勒温（R. Levee 1925— ）等人的努力，对恒星在主星序前的演化过程有了认识。恒星起源于星胚，它是由弥漫稀薄的星际物质经引力塌缩凝聚而形成的高密度尘埃和气体。在塌缩过程中，星胚中心密度不断增大，内核温度升高而发光发热。当星胚核心温度达到 1000 万度时，氢核聚变开始，恒星由此形成并进入主星序。一个质量象太阳的恒星，星前阶段约几百万年，质量比太阳大 5 倍的恒星则仅用几十万年，而恒星在主星序阶段可长达几十乃至上百亿年，与之相比星前阶段是极为短暂的。

主星序阶段后的恒星，核心部分的氢大部分已聚变为氦，氢聚变反应开始终止，星球在引力作用下塌缩，结果温度升高、密度增大，核心处氢聚变反应开始发生，在核心区外因温度增高而发生氢聚变推动外壳膨胀，恒星体积增大表面温度降低而变为红巨星。这期间恒星会抛失物质甚至象超新星那样大爆发。

恒星演化末期因恒星质量不同而变为白矮星（密度为 10^6 克/厘米³）、中子星（即脉冲星，密度为 10^{14} 克/厘米³）和黑洞。

恒星在核能耗尽后，如果质量小于 1.25 个太阳质量，将成为白矮星，它是一种密度极高、表面温度极高，但亮度极低的恒星遗骸。目前已发现 1000 多个白矮星，例如天狼星伴星其质量与太阳差不多，但直径仅为太阳的 $1/50$ ，密度为太阳的 50^3 倍，而亮度仅为太阳的 2%。

恒星在核能耗尽后，如果质量在 1.25 ~ 2 个太阳质量之间，会变为中子星。中子星的直径只有几十公里，密度比白矮星还要高 1 亿倍以上。在中子星中，电子同质子结合为中子，星内物质已被压缩到原子核的密度。1967 年，英国剑桥大学的休伊施（A. Hewish 1924—）发现了蟹状星云内的一颗快速自转的发射快速稳定的脉冲信号的中子星，目前发现了 330 多颗中子星。

恒星在核能耗尽后，若其质量大于 2 个太阳质量，则将不断收缩、密度愈来愈大以至于其引力大到使一切辐射和物质都不能外逸，而成为黑洞。目前已找到了几个可能的黑洞，如天鹅座 - 1、天琴座 及御夫座 等。20 世纪 60 年代后，根据宇宙飞船、行星探测器的观测，人们对太阳系各行星及其卫星有了较为深入的了解，探明这些行星上均不存在产生生物的环境和条件，进一步确认只有地球是生物与人类唯一可以生存的场所。

工业化道路的选择 ——欠发达国家的工业化

不能把发展简单地等同于增加社会物质产品的生产及消费的增加。

——阿尼尔·阿加瓦尔

工业化的发展阶段

工业化是一个历史性概念，它泛指一国从农业社会向工业社会的转化，以及工业社会自身的发展过程。在这个过程中，产业结构逐渐从以农业为主体转化为以工业为主体，以制造业为代表的第二产业，无论是产值还是就业人数都将超过第一产业，传统的工场手工业被以机器生产为特征的工厂制大工业所取代。

美国社会学家丹尼尔·贝尔（D.Bell 1919—）将人类社会分为前工业社会、工业社会和后工业社会，现在更为流行的说法是农业社会、工业社会和信息社会。工业社会开始于18世纪英国的产业革命，因此工业化亦应以此为起点。自英国产业革命之后，人类社会开始进入工业社会，此后的200余年的历史，即为工业化的历史。那些最先完成产业革命（工业革命）的国家，如西欧各国、美国、日本等，凭借科学技术的进步和国内经济结构的变化，努力提高社会生产力，一直走在工业化的最前列。许多后进国则努力引进在这些最先实行工业化的国家里成熟起来的技术，加速本国产业结构的变革。虽然世界各国的国情极不相同，没有一个国家的经济发展进程完全和走在前面的国家一样，但是，各个国家的发展阶段却可以连结成为一个合乎逻辑的必然链条，在不同的国家之间有其类似之处，这种类似之处的核心或基础，即是社会生产的技术基础。

近代以来的技术发展，大体经历了三次技术革命，因此自然地形成了近代技术发展的三个历史阶段，这三个历史阶段的社会生产的技术基础，是沿着机械化、电气化、生产与管理的自动化方向变化的。

工业化是一个综合性的经济学术语，按历史唯物主义观点，任何社会建制都是经济基础决定上层建筑，而经济基础的发展主要取决于社会生产，特别是社会生产的技术基础的变革。因此，近200余年工业化的进展完全可以对应于三次技术革命所带来的对技术的影响，划分为机械化、电气化和自动化（信息化）三个阶段，其时间与由三次技术革命而划分的近代技术发展的三个历史阶段相对应或稍有滞后。

下面，对工业化的这三个阶段的特征简要分析。

工业化的第一阶段，大约从18世纪中叶到19世纪中叶，历时一百余年。这一时期，是近代技术体系的形成时期，其标志是机械代替人的手工劳动，在生产的组织形式上则是工场手工业作坊向以机器生产为特征的工厂制的过渡。

19世纪中叶后，由于电力技术革命的进展，使工业化进入了第二阶段，即电气化阶段。这一阶段的技术与第一阶段以轻纺工业为中心的纺织机械、蒸汽机等技术不同，它是以重工业为中心，以电的广泛应用为特征的。在经济体制上，则出现了资本主义各国国内资本的垄断集中，以及国际上的帝国主义对世界市场的第二次瓜分。

工业化发展的第三阶段开始于第二次世界大战之后，其特点是生产过程的自动化和管理过程的自动化。自动化虽然历史悠久，但在生产过程中真正成为—种趋势，还是第二次世界大战后，工业化第一、第二阶段的生产机械化和电气化，为生产过程的自动化奠定了巩固的技术基础；第二次世界大战后的电子技术及电子计算机技术的迅速进展，出现了利用电子计算机控制的机械、机器人及高度自动化的生产系统，使自动化进入了一个新的发展阶段。社会产品的需求趋势开始向多品种、小批量、高质量、高性能、低成本的方向发展，历来的大批量生产方式开始让位于柔性生产系统。利用计算机进行辅助设计和辅助生产系统，以及办公自动化机械的大量应用，人的脑力劳动开始大为解脱，劳动生产率得到进一步的提高。

工业化的这三个阶段是历史发展的必然趋势，它符合人类力图用最少的投入以取得最大产出这一基本生产要求。这三个阶段的前—阶段是后—阶段得以发展的基础，没有机械化的进展，电气化就很难实行，因为电机、变压器等各种电力设施都是机械化生产的产物，而且机械化的程度也会影响到电气化的进展速度和水平；同样，没有较强的机械化和电气化为基础，自动化只能是一句空话，因为现代的自动化是离不开电的，也更需要各种机械设备的技巧和工艺上的合理。因此，这些都是工业化或—国现代化不可逾越的发展阶段，在那些机械化水平很低，缺电少电的地区是很难通过推广以电子计算机为代表的现代信息控制手段来提高生产率的。

在工业化的不同发展阶段，对各种社会建制的要求亦有不同，例如，从机械化到自动化的发展进程中，要求的人才素质是不同的、如果说在机械化阶段还不需要工人有多高文化水平的话，那么在自动化阶段则要求工人有较高的科学文化知识，发达国家“白领工人”相对于“蓝领工人”的不断増加现象就是个很好的例子。此外，工业化的这三个阶段内容在现代又是不能截然分开的，它们是互相联系互相促进的。

工业化的模式

工业化的模式不是先验的或预先为某些人所规定的，而是通过对已经实行工业化的国家进行分析、归纳出来的，它对于后进国的工业化会有借鉴作用。

工业化模式大体可以分为两类，即优先发展消费资料的生产及优先发展生产资料的生产，也可以叫做以轻工业为主导型或以重工业为主导型，这主要是由于工业化的发动者是私人还是国家的不同而造成的。到 19 世纪末，英、法、美等资本主义国家的工业化均属于前者，前苏联及第二次世界大战后兴起的社会主义国家的工业化则属于后者，因此这两种模式也称为资本主义工业化和社会主义工业化。

资本主义工业化

资本主义工业化一般开始于轻工业部门、特别是纺织业。因为轻工业投资少、回收资本较快、资金周转容易并利于扩大再生产，而且轻工业产品容易开辟用户市场，这对于私人资本不大的情况下，发展轻工业是较为容易的。

英国的工业化是资本主义工业化的典型、有人认为，英国工业化的历史也就是资本主义发展史。英国进行工业化得益于五个方面，即资本积累已达到—定程度、失去独立生活手段的工人阶级的存在、工业技术的不断进步、

国内及国际市场的不断扩大。英国自 16 世纪后半叶，开始具备了这些条件，到 19 世纪 30 年代产业革命的完成，工业化进入了迅速发展时期。当时英国在资源开发、人口相对规模、资本积累、殖民地贸易及工业技术方面，都居于世界领先地位。如前所述，英国工业化首先开始于纺织业的机械化，在此基础上导致了蒸汽动力技术和用机器制造机器的机械制造业的形成与发展；采掘业、炼铁业和运输业取得相关性进步，形成了机械化的生产体系。英国凭借这一先进的生产体系，成为当时的“世界性工厂”，原材料源源不断地从世界各地运进英国，而制成品又源源不断地输向世界各地。1855 年后，由于贝塞麦炼钢法的改革使钢铁工业得到飞速发展，钢产量从 1868 年到 1880 年增加了近 13 倍，造船业、机械制造业也都成为世界首屈一指的产业。

美国的工业化也是以棉纺织工业为中心开始的，不同的是由于它经历了独立战争（1775～1783 年）和南北战争（1861～1865 年），从而将封建势力清除得比较彻底，使工业发展有较大的自由，因此虽然起步较晚，但到 19 世纪 80 年代即从农业国转入工业国，并开始了以重化工业为重点的工业化。其他西欧各国的工业化均有类似之处。

资本主义工业化的开始阶段，一般是由私人资本发动的，国家干预较少，而且往往采取保护、鼓励政策，以使本国工业化顺利进行。当消费品生产达到一定程度，资本有了积累，社会对生产资料有了新的需求时，工业化的重点即转向了重化工业。资本主义各国在工业化的资本积累方面，绝大多数是依靠掠夺和剥削海外殖民地完成的，其掠夺和剥削的残酷，在资本积累之初是令人发指的。20 世纪中叶后，虽然这些殖民地相继独立，但那些最先实行工业化的国家的技术经济已经达到相当水平，以此为基础，完全可以使本国工业化向更高阶段发展，以致达到“发达国家”的水平。

资本主义工业化存在着的生产的社会化、国际化与生产资料私人占有的矛盾，周期性经济危机以及为争夺国际市场而产生的贸易摩擦，都会影响到工业化的进程，当前国际性、地域性经济的一体化、集团化对此有了一定的克服。各发达工业国工业化过程中所采取的掠夺性货币政策、不等价交换、保护主义以及向第三世界转嫁危机等政策，都严重地危害了欠发达国家的利益，使南北矛盾加剧。

社会主义工业化

社会主义工业化是在无产阶级专政条件下进行的，可以有计划按比例地发展用近代技术装备起来的大工业，采取优先发展重化工业即生产资料生产的政策，在较短时间内奠定社会主义工业化的物质技术基础。由于社会主义革命一般是在较为落后的国家中完成的，而且社会性质不允许掠夺殖民地和剥削本国劳动人民、因此在工业化的资金方面只能依靠国内生产的积累。在初期资金不够充足的情况下，资源也只能立足本国。

前苏联是社会主义工业化的典型，其政府采取的工业化方针，是通过国家有计划有意识地优先发展生产资料的生产，并对农业实行强制性的集体化，以此筹集资金发展工业。同时，通过农业集体化还可以将多余的农村劳动力转向工业。自 1929 年到 1932 年末，有 2/3 的农民参加了集体农庄，工业劳动力年平均增长率达 9.4%。

但是，由于政府采取了压抑农业发展工业的政策，因此造成了工农业发展的不平衡，自 1928 年到 1955 年间，工业生产增长了 20 倍，而农业生产仅增长了 1.5 倍；工业部门本身也出现了严重的不平衡，消费资料生产发展缓

慢，严重地影响了人民生活水平的提高。

第二次世界大战后，新生的东欧及中国、朝鲜、越南等社会主义国家都模仿了前苏联的工业化模式，优先发展重化工业，而对消费资料的生产 and 农业均有忽视。

这些国家在实行社会主义工业化的几十年中，忽视或者完全排斥了市场经济，仅从事于单一的计划经济，对农产品实行统购统销，出现了人民日常生活品极为缺乏的所谓的“短缺经济”现象，生产缺乏动力和活力，体制僵化而无力自拔。20世纪80年代后，前苏联及东欧各国放弃了社会主义政治制度，而中国则依据本国的具体国情，制定并实行了改革开放的政策，致力于寻求具有本国特色的工业化路线，经济开始长足发展。

由于许多社会主义国家是由落后的农业国直接经过革命夺取国家政权进入社会主义的，并不是马克思主义创始人所设想的在资本主义高度发达的基础上建成的社会主义，因此，在从事社会主义工业化的过程中，封建主义残余、落后的经济结构和技术，以及小生产的观念直接制约着工业化的方向和速度。

许多欠发达国家工业化的模式则是介于二者之间，一些国家获得独立后，采取了由国家统一规划的工业化政策，一些资源丰富的国家以本国资源换取国外先进设备和技术来加速本国的工业化。

近代以来，任何国家都在努力实行社会生产的机械化、电气化和自动化，以发展社会生产力。这是工业社会的基本趋势，是不因社会制度而转移的。与工业化相适应的经济体制是市场经济，这也是工业化的重要历史前提之一。市场经济要求在法制指导下的自由竞争，在经济发展到一定程度时，国家的干预、规范是必要的。各发达工业国的国家干预正在加强，也就是说，资本主义国家的经济发展也有其计划性，只是方式不同而已，例如日本、韩国、印度均制定过一些发展经济和技术的五年计划、十年规划等。

无论是优先发展生产资料的生产还是优先发展消费资料的生产，最终要求生产资料的生产 and 消费资料的生产的平衡，否则将影响工业化的进展和人民生活水平的提高。资本主义工业化由于是私人资本发动的，政府干预较少，因此其经济的平衡全靠市场的反馈调节，企业较有活力，发展速度一般是比较高的。传统的社会主义工业化由于实行集权制的指令计划经济，往往统得过死而且违背经济发展的规律，容易造成体制及管理上的僵化，而不能及时地调节国民经济的平衡；特别是农业和轻工业的发展往往受到压抑，领导决策的科学化程度也直接影响到计划的正确与否，因此只有不断地进行体制改革，变保守为开放、努力引进世界先进的技术和管理方法，才可以避免这些弊病而顺利地进行工业化。

工业化发展的不平衡性与南北差距

当代世界各国的工业化程度是极不平衡的，有的国家已经完成了工业化进入了信息化时代（后工业社会），有的接近于工业化的完成阶段，大多数国家则处于工业化的中级及初级阶段。

目前，国际上公认已经进入后工业化的国家是美国。其特征是：由于农业已经彻底实行了机械化、化学化，因此农业劳动人口剧减，但农产品生产率却极高，其农业就业人口不足总就业人口的3%，其粮食产量却与具有8亿农民的中国不相上下。农产品不但可以满足国内的需要，还可以大量出口。工人的简单的体力劳动已基本消失，即使较为复杂的技巧性劳动也被机械所

取代，办公室人员的日常脑力劳动也逐渐实现了机械化和信息化。各项工作不再是呆板的重复，需要人们具有较高的科学文化修养和训练，以适应生产自动化和管理自动化的要求。传统工业已趋近饱和，成为所谓的夕阳工业；以科学为基础的高技术产业发展迅速，产品更新加快；第三产业中的通讯、教育、科研及生活服务方面的发展已居社会经济的核心地位。科学研究中心也开始转移到用于提高生活质量和社会质量，如环境、城市、生物、社会学及服务业方面。

许多发达国家及东欧各国则处于工业化的较高阶段，机械化和电气化水平较高，居民大部分已经城市化，城市人口比例远高于农村人口。脑力劳动与体力劳动的差别、城市与乡村的差别以及工人与农民的差别正在逐渐消失，第三产业有了相当的发展，但其经济重心仍停留在传统的基础工业和消费品工业上，高技术产业的发展或受资金、设施、人才的限制或受国力的限制，缺乏国际市场竞争力。农业和传统工业仍相当重要，许多传统产品和技术仍占主体，在这些部门中耗费其大部分人力和物力。

在发达国家中日本和瑞士等国有特殊之处。它们国土面积相对狭小，自然资源贫乏。日本人口密度很高，但人均 GNP（国民生产总值）增长极为迅速，传统产业实力雄厚，高技术产业发展极快，具有高附加值的民用产品如汽车、家用电器等在国际市场上有很强的竞争力。由于其人口众多，其国内市场亦十分可观。瑞士是个山区小国，是个典型的内陆国家，但其经济增长在欧洲是最快的，其经济发展以银行业、国际贸易及钟表业、仪表业和电机业为主，近年又利用其境内的阿尔卑斯山发展旅游业。其国内市场并不大，但其产品的高质量却在国际市场上占有相当地位。

有半数以上的第三世界国家处于工业化的初级阶段，其特点是以本国的资源及农产品换取发达国家的先进生产设备和中间产品，以及特种材料。这些国家的农业由于生产率低，因此农业劳动人口比重较大，机械化、电气化程度较低，社会劳动生产率不高。例如 1989 年中国的人口是美国的 4.5 倍，但其国内生产总值仅力美国的 8% 左右（中国 4178 亿美元，美国 51 564 亿美元）。国民正处于从农业性的勤奋向工业性的勤奋的过渡阶段。处于这一阶段的国家，虽然不必进行大量独创性的研究，但对引进的技术必须具有相当的研究吸收能力，才能取得技术引进的成功。在这些国家里，在人口、粮食、环境、教育、卫生等方面存在着许多亟待解决的问题，以及体制、习惯、价值观的转变问题。因此为了加速工业化的进程，各国政府努力在各方面都作出相应的对策，为工业化的进行创造环境和条件。

由于工业化在全球范围内发展的不平衡，使南北差距在不断加大，少数人营养过剩，多数人营养不良，全世界 50 多亿人口中，有 9.6 亿人是文盲；极贫人口达 10 亿，他们每天的生活费不到 1 美元，这是西欧和美国 200 年前就达到的生活标准。在低收入国，出生时的预期寿命仅 40~50 岁，而在高收入国，出生时的预期寿命已在 75 岁以上。低收入国家人口剧增，其国民还处于为维持基本生存条件而奔波的地位，资源浪费、环境破坏严重；而少数高收入国家的人口增长率极低，甚至达到零增长或负增长，其国民追求的是不断提高生活的质量，这些国家注重环境保护和生态质量，劳动强度低收入却很高。

从世界银行 1982~1990 年的《世界发展报告》中公布的人均 GNP 足可以看出南北差距的增大情况。

1982年，人均GNP1 000美元以下的国家有56个，人口为27.7亿；人均GNP10000美元以上的国家13个，人口5.6亿。其中最低的是乍得，人均GNP仅80美元，最高的是瑞士，人均GNP17010美元。

1990年，人均GNP不足1000美元的国家为54个，人口增为32.2亿；人均GNP10000美元以上的国家增为22个，人口为8亿。其中最低的是莫桑比克，人均GNP仅80美元，最高的瑞士高达32680美元。

表2 不同国家人均GNP增长情况 (美元)

国家类别	1982年	1990年	增加量	百分比(%)
低收入国	280	350	70	25
中等收入国	1 520	2 220	700	46
上中等收入国	2 490	3 410	920	37
高收入国	11 070	17 590	8 520	78

欠发达国家作出巨大的努力以加快其发展速度，期望有可能赶上发达国家，即使追赶时间很长，也希望能逐步缩小差距。国际社会对此也作出了重大的努力，联合国的几个“发展十年”计划，也是为了缩短这一差距，然而发达国家由于财力充足、人才济济、技术开发能力强而具有很强的发展优势。由于其人均GNP基数大，即使略有增长，其增长的绝对值也会远大于欠发达国家的人均GNP翻几番的值。

从另一方面看，发展需要国际国内政治的稳定，种族冲突、内战、国际冲突和自然灾害对欠发达国家的脆弱的发展基础产生着巨大的破坏作用。第二次世界大战以来，战争已造成至少2000万人死亡，其中欠发达国家内战中死亡人数达1200万。这也是欠发达国家经济发展迟缓的一个重要原因。

欠发达国家工业化战略的选择

20世纪工业化浪潮席卷全球，许多欠发达国家仿效已经工业化的国家所走过的道路，但均以不成功而告终。第二次世界大战后，世界格局发生了根本性的变化，绝大多数的欠发达国家获得了政治和经济的独立，使他们有可能对发展的历史进行全面的反思。50年代后，在欠发达国家工业化过程中形成了两种较为典型的发展战略，这就是进口替代型和出口导向型发展战略。前者是既可以减少外汇支出又可以满足国内市场对进口产品的需求而采取的工业化战略，后者是为了增加外汇储备以满足国外市场对本国产品的需求而采取的工业化战略，经常表现为利用国外的技术和国内廉价劳动力和资源生产出国际中场所需要产品。当然，这两种战略并不是互相排斥的，经常是两者并存，或以其中一种作为某一时期的重点。

无论是进口替代型还是出口导向型的工业化战略，其本质仍是以仿效传统工业化国家的经历而形成的，是许多国家普遍采用的通常称之为传统发展战略的两个组成部分，其目标正如前所述，就是最大限度地提高国民生产总值的增长率。

实现国民生产总值的迅速增长，唯有采用大规模的生产方式。由于这一生产方式已相当成熟，使许多欠发达国家奉行一种对此采取鼓励和促进的政

策，强调产品的大批量生产，追求的是采用集中的生产技术，创办大的工厂和产销集团，追求高附加值的工业制成品，特别是家用电器、汽车、化工产品之类的具有广阔市场的产品。

传统发展战略有三个相互关联的前提：（1）假定资源是可以无限制地提供的；（2）大规模或大批量生产设备是获得规模效率和规模经济的基本手段；（3）经济增长与居民收入是成正比的，而实施的基础则是资金、人才和技术。

欠发达国家实行工业化的技术主要依靠发达国家提供，一项技术的引进往往会引起本国相关条件的变化，甚至引入一种新的生活方式，与发达国家形成一种新的依赖关系。当从替代进口型转向出口导向型工业化战略时，欠发达国家会进入由发达国家所控制的世界市场中，而且被纳入跨国公司的经济轨道上去。

欠发达国家工业化初期大体经历了三个阶段。在初期阶段，欠发达国家还处于不发达的农业社会阶段，为换取外汇以获得本国工业化的设备和技术，不得不以出口本国资源为主，而能获得的技术和资金却十分有限，造成出口收入与进口需要之间的差距，唯一出路是从富国谋求借贷与援助。

到第二阶段，欠发达国家的某些产品的出口潜力已得到发展，如机械化的原材料开采、农产品及工艺品等，这就增加了出口与赚取外汇的能力。由于大部分出口产品集中在少数的几种材料和产品上，国际市场的波动会使出口收入发生很大的波动，由此会直接影响到国家的发展目标。进入第三阶段，欠发达国家一般不仅能生产供出口的本国传统产品，而且还可以生产初级的进口产品，有可能实施进口替代工业化战略。

单纯的进口替代型工业化道路并不成功，它虽然能在短期内节约本国用于进口的外汇，但极易造成体制的僵化，许多欠发达国家都建立了一些没有政府的保障、政策的扶植、巨额的投入就不能生存的无效或低效的工业部门。这些部门结构庞大、设施的利用率低，采用的大多是资本密集型的技术，而且大多起始于消费品的生产部门。但是，由于最高关税集中在消费品的进口方面，实际上保护的是并不重要的消费品工业，导致市场发育的不完善，违反了具有相对优势的资源有效分配原则，也容易造成经济发展的不平衡。而且，从发达国家引进技术，由于本国缺乏吸收革新能力，将不可避免地使这些技术以低水平蔓延。

进口替代工业化战略造成一种“内向型”的发展道路，但它对外资和国外技术又具有很大的依赖性。

出口导向型战略是一种“外向型”的发展战略，许多欠发达国家是在 60 年代中期后开始向这方面转变的。最迅速增长的部门是电器和日用品。很多年的进展，按出口构成已经大体形成了四个主要地区：（1）东亚国家和地区（韩国、香港、台湾等），它们资源有限，出口产品多集中在服装、电子产品方面，制造业产品占总出口产品的 80% 以上，韩国的汽车出口也在逐年增加；（2）较发达的拉丁美洲国家（巴西、墨西哥等），这些国家有较强的工业基础和基本工业部门，出口产品主要集中在机械、交通工具方面，制造业产品占总出口产品的 30%；（3）东南亚国家联盟（新加坡、马来西亚、泰国等），其制造业产品在总出口中的比例增长迅速，至少在 30% 以上，制造业部门不太复杂，主要出口产品是电子产品；（4）印度次大陆（印度、巴基斯坦），主要出口产品集中在服装及纺织品方

面，制造业产品占总出口产品的一半左右。

欠发达国家工业化的进展，引起其经济结构的变化，农业在国民生产总值中的比重在下降，而工业和服务业所占的比重在上升，这几乎是一切工业化国家的共同特征。

表3 欠发达国家产业结构的变化 (%)

国家类别	农业		工业		服务业	
	1960	1978	1960	1978	1960	1978
低收入国	50	38	17	37	33	38
中等收入国	22	16	31	34	47	50

注：低收入国指 1978 年人均 GNP 低于 360 美元的 38 个国家；

中等收入国指 1978 年人均 GNP 高于 360 美元的 52 个国家。

从全球的经济趋势可以看出，无论是发达国家还是欠发达国家，无一不是以追求经济增长作为本国经济发展的首要目标，而按人均国民生产总值的增长率已经成为各国普遍认可的一种衡量发展的指标。

值得注意的是，流行已久的经济增长是以大量消耗资源和能源为前提的，即侧重于物质消耗。占世界总人口 6% 的美国，其本国资源并不丰富，却消耗着世界资源总消耗量的 40%。假如欠发达国家按美国资源消耗量的 50% 计算，所需的资源年消耗量将是目前世界资源年消耗量的 4 倍以上，地球资源能够支撑这种发展模式吗？或者说，欠发达国家的人均物质生产和消费水平经过若干年的努力能够达到发达国家的水平吗？如果能达到，又能维持多久呢？

对中国早期工业化的反思

中国近代科学技术落后的原因

埃及的尼罗河流域、西亚的幼发拉底河及底格里斯河流域、印度河流域、中国的黄河流域号称古代四大文明发祥地。前三个文明在欧洲中世纪前即已衰落，唯有在黄河流域兴起的中华文明一直兴而不衰，延续了几千年。当西方处于黑暗的中世纪的时候，中华文明却绽出灿烂的古代高度文明之花，政治、经济、科学技术及文化都达到古代世界之巅峰。然而，当西方近代文明兴起之后，中国却每况愈下，到 19 世纪末沦为西方列强半殖民地的悲惨地步。

中国近代科技落后的原因一直是国内外学术界普遍关心的问题。这一问题实际上包含了两层涵义，其一是什么近代的科学技术未能在中国产生；其二是西方的科学技术产生后为什么没能很快在中国移植成功。

日本京都大学藪内清博士对此有过深入的研究。

对于前一问题，藪内先生在《中国的科学文明》一书中，把中国与欧洲做了对比。他认为，清政府在鸦片战争中失败的最大原因，是以军事为中心的科学技术落后所造成的。“一个曾威震四海的世界帝国，构筑了灿烂文明并有许多发明的国家，仅在英国舰队的攻击下就失败了。沉溺于长期和平生活中的中国社会的颓废，是失败的原因之一，可是更根本的是欧洲产生了

近代科学、而中国却未产生。欧洲从黑暗的中世纪中得以复苏，既有其自身原因，也是接受了经伊斯兰各国继承下来的希腊文明遗产，吸取了更为遥远的印度和中国的发明和发现的结果。特别不容忽视的是动摇中世纪社会、开拓近代社会道路的中国四大发明的作用。火药及火器动摇了欧洲的社会基础。欧洲向海处的扩展，之所以能航行到美洲，则是中国首先发明的指南针的作用。欧洲的海外扩张，将财富运回本土，奠定了作为近代资本主义国家发展的基础。如果说没有中国的发明，欧洲的近代社会就不会出现，也并非过言。与此相反的是，进入中国的外来文明是极为贫乏的，即使是明末清初输入的欧洲文明也没能动摇中国的社会。过去的中国，几乎一切东西都是在本国制造的，具有5000年历史的汉民族，几乎完全依靠自己的力量创造了高度的文明。但是，自己的力量毕竟是有限的，这一独特文明具有一种传统的强制力而妨碍了社会的变革。就此而言。欧洲实在是得天独厚的。”

从更深层次上，蕲内先生对比了古希腊与中国古代科学技术的特点，他认为自然哲学因文明形态的不同而完全不一样，“在中国，自然哲学的基础是阴阳说及由此派生出来的五行说，用这二元论或五行说去说明自然现象”，这与建之于欧氏几何学以定义与公理为基础的希腊科学是完全不同的，以顺应自然而生存作为理想的中国人，把从天中寻求自然原理作为基本信条，把天置于政治观念中心，“对捉摸不定的‘天’持绝对尊崇的中国人，不能确信自然规律的存在，因而也就不可能产生追求科学真理的激情。”这与希腊民族最早确信自然界存在着规律，并努力去掌握这些规律是完全不同的。中国人认为掌握自然规律是超越人的能力的，天的规律存之于神秘而不可思议的变化之中，这一思想被儒教吸收，作为一种传统的权威而长期居于统治地位。这种不相信人类有能力掌握自然规律的思想，成为科学发展的巨大障碍，它使得中国的科学不是从统一的规律出发去说明现象，而是停留在对现象的单纯记述上，虽然中国人承认自然的变化，“生生之谓易”，但用“易”那种神秘方法去把握自然变化，“理性精神就没有介入的余地了”。

他还发现，研究中国科学技术史的时候，总令人沉痛地感到传统势力的顽固。传统顽强地持续下来，意味着以此为基础的社会不会发生大的变化，固守于传统，常会导致于学术上的停滞不前。虽然科学还会有发展的余地，但是技术却经常限于制作奇技淫巧的玩物，割断了与产业的联系，并进而分析了封建专制与科举制对中国古代科学技术发展的束缚。

对于后一个问题，蕲内先生指出，具有很高文明传统的中国的近代化道路，是相当残酷的，“在与西方文明的冲突中蒙受到列强的侵略而长期处于苦难之中”。他在《明清时代的科学技术史》一书中进一步指出：“鸦片战争以后，列强对中国实行的殖民地化，是阻碍中国向近代道路发展的最大原因。”

早在研究隋唐历法史时期，通过对《九执历》的分析，他发现在唐朝时已经传入了包括阿拉伯数字在内的印度数学及希腊的正弦函数，然而这些知

蕲内清：《中国的科学文明》，岩波书店，1970年版。

蕲内清《中国的科学文明》，岩波书店，1970年版。

蕲内清《中国中世纪科学技术史研究》，角川书店，1967年版。

蕲内清、吉田光邦：《明清时代科学技术史》，京都大学人文科学研究所，1970年版。

识并没有被中国学者所接受，由此深感“中国人对外来文化抵制的强烈程度”。在《中国的科学》一书中，薮内先生强调了文化转移与汇合的重要性，而中国“在三方被山脉和沙漠隔开，与外部在地理上被隔绝的自然环境，妨碍了外来文化的传入”，同时，“高度发达的中华文明也对外来文明的进入发生障碍”。

对清廷从早期开放到闭关，薮内先生分析其原因时指出：“中国刚刚接触欧洲文明，就中断了摄取它的机会，其原因既有保守派官僚的策动，也有基督教派本身的责任。”即使在“康乾盛世”，中西科学文化的差距也在拉大：“经过康熙、乾隆时代的长期和平，清朝的儒学达到极高水平。与之并行的天文学和数学，与明末清初传进的欧洲天文学和数学掺杂在一起，但研究中心很快转向了中国古代历算学方向，复古的色彩益加浓厚，在自然科学领域中，中国的孤立化倾向更为强烈了。在盛行对传统学问的研究中，与欧洲科学的差距随着时间的推移而愈来愈大。”薮内先生还比较了日本的明治维新与中国的洋务运动，指出幻想以旧政治体制为基础，利用西方科学技术想达到富国强兵，是导致洋务运动失败的根本原因。

薮内先生对中国近代科学技术落后原因的分析是全面而深刻的，是积数十年对中国科学文化研究的重要反思。

作为对薮内先生研究的补充，以下原因似乎也是不能忽视的。

中国的科学缺乏实验传统，更缺乏数学，因此很难发展成为精密的自然科学。虽然炼丹术经历过长期的试错法，作为其意外成果发明了火药，但是严密的科学实验是不存在的。用汉字书写的数字是无法进行象偏微分方程这类的数学运算的，数学的符号化在中国并不成功，因此限制了数学在科学研究中的应用，科学与技术研究更不可能用数学方式加以概括。

中国历代统治者不重视技术，认为技术是登不上大雅之堂的，仅是作为“下里巴人”的工匠世代相传的技艺，加之自给自足的自然经济状况更是缺乏促进技术发展改革的动力。技术在几千年中的发展是极为缓慢的，甚至在19世纪还残存有不少石器时代的技术。

中国在封闭的地域中形成了一种超稳定的政治、经济和文化结构，缺乏社会变革的动力。统一的中华帝国在几千年中，社会发展十分缓慢。农民起义胜利了，农民领袖当了皇帝就立即恢复旧制。开国皇帝由于来自农民，一开始总算个开明君主，到了在宫廷里培养起来的儿皇帝、孙皇帝、孙孙皇帝，经常因施行苛政导致民不聊生，贫苦农民又揭杆而起，这样周而复始。农民起义胜利只是社会矛盾的暂时缓和，而不会使社会发生质的变化。即使外族入侵，一旦征服了汉族，也会迅速被汉化而维护旧制。

中国自隋代以来，文官当政、科举取仕，这样的统治集团根本不懂技术、不懂经济，他们擅长的是中国传统的儒学，精通的是“人事关系”，维护的是传统的旧文化体制。虽然在宋末、明末清初出现过资本主义萌芽，甚至有过上万人的工场手工业作坊，但在上述条件下是很难发展成可以与传统抗衡的政治力量的。

当西方开始了文艺复兴、宗教改革、民族国家兴起以及大航海、地理大发现、全球殖民扩张、法国大革命和工业革命的几百年的变革时，中国仍处

薮内清 《中国的科学》，中央公论社，1975年版。

薮内清 《从科学史看中国文明》，NHK广播出版协会，1982年版。

于席卷世界的社会变革浪潮之外，结果到 19 世纪在物质文化、科学技术、政治经济各方面落到了西方后面。这种落后主要体现在西方的迅速崛起，社会处于加速发展之中，而中国仍处于延续已久的缓慢发展和稳定之中，使中西方间差距迅速加大。

中国早期工业化的历史前提与背景

从中国几千年的传统文化、体制、偏好及自我表达方式上，可以看出象西方那样的近代科学技术很难在中国产生，那么，西方科学技术产生后，中国为什么没能象日本那样迅速引进而错过了历史机遇呢，这需要进一步从当时的社会状况中去寻找答案。

政治方面。19 世纪 60 年代的中国，由于太平军、捻军及白莲教等农民起义相继被镇压下去，进入了所谓的“同治中兴”时期，但是清政府的中央集权制已十分脆弱。面对国内的经济萧条和西方列强与日俱增的侵略野心，在李鸿章、左宗棠等人的建议下，咸丰皇帝决心学习、引进西方的先进技术，由此开始了以创办近代军需工业为开端的洋务运动。但是在清政府上层领导中，改革与保守势力间明争暗斗，使洋务运动从一开始即缺乏强有力的政治纲领和目标。同治帝死后，慈禧进一步加紧对清廷的控制，反对改革，顽固维持其封建统治。虽然由于洋务运动的主要领导人物及新办企业的努力，在向西方学习、引进西方技术方面取得了一定的进展，但是从整体看来，缺乏自上而下的统一动员，更没有形成近代技术得以成长的社会条件。清朝末期的政治结构主要是延续传统的依靠由学者（秀才、举人）官吏组成的上层社会，他们大部分分布在乡村，血族关系乃至地方势力随着清末中央集权的衰落而逐渐占支配地位，而且，清朝统治者一直采取一种盲目的权威主义和排外的治世态度。“戊戌变法”（1898 年）是中国向近代国家转变的一次极有希望的时机，然而由于封建势力的顽固和强大而以失败告终。1911 年的辛亥革命，从形式上结束了清王朝的封建统治，但由于中国资产阶级力量的薄弱，加之清末中央集权的削弱和地方封建势力的加强，使中国陷入了一场封建军阀的割据战之中，作为现代国家标志的统一的政权长期未能确立，对外来文化和技术的引进缺乏总体目标和规划。

经济方面。19 世纪后半叶，中国的封建经济由于连年的内乱和外强的入侵，已达到崩溃的边缘。内地及农村的封建经济与新兴的资本主义经济相比，占有主要地位，沿海地区则主要是外国在华的殖民地经济，这一状况一直延续到 1949 年新中国的建立。中国近代经济发展十分缓慢，晚清的传统产业仍是分散的农业和手工业，生产工具与 800 年前的宋朝相比无甚变化。清政府及尔后的民国及各地方政府，一直都将经济置于政治权益之下，不是通过发展经济来巩固政治统治。在现代社会中，政治与经济具有相互制约与促进的作用，而中国社会却更多的是人为地去注重政权的巩固，结果却常是适得其反。洋务运动的领导人物大都是开明的封建地主代表，一生固守于狭小的封建上层社会之中，这与日本明治维新的领导人物化装成平民远涉重洋去欧洲实地考察形成了鲜明的对照，他们发展近代资本主义经济的彻底性是令人怀疑的，中国近代经济最终陷入半封建、半殖民地的困苦境地也就不难理解了。正因为如此，中国近代社会的经济体制缺乏吸收西方先进技术的能力与条件，“引进”是被动的，而不是本国市场发挥作用的结果。引进的西方技术与传统技术之间互相独立，“土”、“洋”两张皮的现象十分严重。

文化教育方面。中国历代封建统治者为了维护既得的权益，都推崇儒教。儒教与西方的基督教和阿拉伯世界的伊斯兰教不同，它不是宗教而是一种政治、文化传统或模式，它左右着中国封建社会的伦理道德与秩序。维系儒教文化的教育制度是科举制，到 19 世纪中叶，科举制已有 1200 多年的历史。科举制是为文官政权培养人才的，但上百万取得低级身份（生员、监生）的人中，能取得中级身份（举人）的，不足 2%，取得高级身份（进士）的仅占 20%左右，而能人仕作官的就更少了。大部分知识分子或成为地方上的士绅，或散居民间从事初等教育（私塾），这些人成为儒教文化的传播者和社会基础。视“圣贤”之书为圣旨的儒教文化知识分子，对外来文化具有强烈的抵触情绪。19 世纪 60 年代后，随着西方列强的入侵，中西文化产生了尖锐的冲突。当时，作为对待中西文化关系准则的“中学为体，西学为用”口号，反映了中国传统文化的排外情绪，然而这一准则也仅限于少数沿海地区及文化中心城市。这种状况一直延续至 20 世纪初期，清政府在内困外扰之中才不得不进行教育制度的改革。光绪皇帝在谕文中分析当时的弊病时指出：“我中国之弱，在于习气太深，文法太密。庸俗之吏多，豪杰之士少。文法者庸人借为藏身之固，而胥吏倚牟利之符。公事以文牒往来而毫无实际，人才以资格相限制，而日见消磨。”1905 年废科举创办新学堂，并鼓励出国留学。然而，中学与西学、东方文化与西方文化的争论一直延续到 20 世纪中叶，清政府倒台后，这种争论随着地方封建军阀的割据，助长了教育与文化的混乱，对于吸收西方科学技术产生了恶劣影响。“天不变道亦不变”、“知足常乐”的传统思想，使社会变革、吸收外来文化成为社会生活中多余的甚至是反动的东西。

国际环境方面。19 世纪中叶，中国处于西方列强的侵略和包围之中，中国的“地大物博”及清政府的愚昧腐败，使中国很快成为西方，以及后来日本和沙俄的侵掠之地。19 世纪，中国在西方列强的进逼之下，开始彻底崩溃和衰落。国门被强行开放，通商口岸从 1842 年的 5 个增加到 1911 年的 50 个，这些通商口岸的主权在丧失，近代型的文教卫生事业又大都为外国传教士所把持，中国在国际社会中已处于西方列强及日本、沙俄的附庸国地位。辛亥革命后，各地方军阀为扩张自己的势力又分别投靠西方列强和日俄，在这样的国际环境中，近代中国的工业化过程一直是被动的、畸形发展的。特别是早期工业化资金不但十分短缺，还大量向侵华列强“赔款”，如广州和约（1841 年）向英国赔款 630 万银元；南京条约（1842 年）向英国赔款 2100 万银元；天津条约（1858 年）向英国赔白银 400 万两，向法国赔白银 200 万两；北京条约（1860 年）又增为向英法各赔白银 800 万两；马关条约（1895 年）向日本赔白银 20 000 万两。

引进技术在中国的发展

中国近代技术体系与许多欠发达国家一样，包括传统技术和引进技术两部分，传统技术发展迟缓，并不断受到引进技术的渗透和改造而失去其本来面目。

19 世纪 60 年代的洋务运动，开始了中国近代史上有计划的引进西方先进技术。自 1861 年曾国藩创安庆军械局生产枪炮后不久，洋务运动即由早期

费正清：《剑桥中国晚清史》上卷，中国社会科学出版社，1990 年版，第 16 页。

《大清德宗实录》第 476 卷，第 9 页。

的单纯军火生产，转向了兼顾民用技术方面，洋务运动领导人物的思想也有了一定的转变。李鸿章提出的“臣以为古今之国势必先富而后强，尤以必富民生而国本乃可益固。”就是这一转变的代表性言论。这样，从19世纪70年代到90年代，以“官督商办”或“官商合办”的形式，开办了与民生有关的采矿、冶金、交通、纺织、通讯等方面的企业。在这些企业中，大都引进了当时西方的先进技术，并请“洋匠”负责主持。其技术引进的方式大体为：

全套设备引进。例如，1893年，上海租界工商局以6.61万两白银买进了新申电气公司的全套设备，兴建了裴伦路发电厂。

买进机床，自己加工制造。如曾国藩反对总税务司英国人赫德购买外国舰船的建议，派容闳到美国购买机器，在上海创设江南制造局，雇洋匠制造舰船，而后用这些机床又生产枪炮、机车、农机等。

允许外国人在华办企业。例如青岛四方车辆厂为德国人所创办，上海鸿源纺织公司为美商创办。1840年至1893年，外商在中国设立船厂有67家，至甲午战争前，外商在中国投资总额为1424万美元。

在传统企业中引进西方技术，聘请外国专家指导传统企业的改造。基隆煤矿是请英国矿师翟萨指导勘探的，汉冶萍公司请德国技师赖伦为总工程师，开采锰矿，用西方技术在萍乡采煤。

华侨归国创办企业。张裕葡萄酒厂系华侨张弼在烟台创建的，维昌缫丝厂系侨商陈启源在海南创办的。

这些企业的创办，对中国近代技术的发展起了很大的推动作用。从工业化的角度，可以将洋务运动看作是中国工业化和近代化的起点。对于洋务运动最终失败的原因，费正清在《剑桥中国晚清史》中归结为三点：（1）既无政策上的配合，又没有统一的原则；（2）省级官员调来调去，新建的公司因失去新接任的官员支持而失败；（3）重商业轻工业只图个人的短期效益。

洋务运动的开展，各类企业在中国的创立，使西方许多应用性的技术传入中国。辛亥革命前，已建成9000多公里的铁路，京沈、京汉、津浦等几条主要铁路干线均已通车；汉冶萍公司的钢铁冶炼技术在当时世界上是相当先进的。此外，机械制造、造船、印刷、化工、纺织以及一些与民生直接有关的如火柴、皮革、机米、机磨、自来水、煤气、电报等技术，在19世纪末以前即已传入中国。到20世纪30年代，蒸汽机（1876年）、电动机（1923年）、内燃机（1910年）等动力机械；车床（1877年）、铣床（1920年）、刨床（1925年）等机床；自动织布机（1923年）、轧棉机（1877年）、织袜机（1923年）等纺织机械；造纸机（1926年）、卷烟机（1901年）、印刷机（1900年）等轻工机械均已国产化。

还值得提及的是，近代两次向国外派遣留学生和近代教育在中国的兴起。

清末有两次向国外派遣留学生的高潮，一次是洋务运动中向欧美，一次是20世纪初向日本。19世纪70年代，在李鸿章、曾国藩、容闳等人的努力下，派出120名青少年赴美学习。1881年赴美留学使团被撤消后，开始向西欧派留学生。戊戌变法失败后，清政府为维持其统治不得不作出些改革姿态，他们以日本为楷模，仿照日本方式实施改革，20世纪前，掀起去日本留学的风潮，到1905年，赴日留学生在万人以上，请进来的日本教习有500多人。

随着西方先进技术的引进，传统教育体制受到严峻冲击。早在 1862 年，总理衙门已创办了一所新型学校——京师同文馆，培养外交、翻译人才。1864 年又创办上海同文馆及广州同文馆，开设近代科学技术方面的课程。1867 年开办培养工程技术人员的福州船政学堂。但当时教育主体仍是科举制，直到 1901 年，清政府才开始了以废除科举制、创办西式学堂、鼓励出国留学为内容的教育改革。中国近代教育改革为时已晚，加之教育本身的滞后效应，严重地影响了中国早期工业化的进程。

日俄战争（1905 年）中日本的胜利，刺激了中国人的民族意识，展开了回收利权运动。设立了银行团，收回了一些为外国资本垄断的工矿业，促进了民族工业的发展，但是这些工业因缺乏中国科学的基础，加之封建割据思想在地方势力中的蔓延，一切以维持眼前既得利益为出发点，缺乏全国性的动员，既没有能形成促进新技术发展的市场机制，更缺乏应有的法制以杜绝不法人物借新旧体制交替之机出现的混乱局面而大肆贪赃枉法，因此中国早期工业化是十分艰难的，发展速度及规模也是相当有限的。

鉴于上述分析，可以看出，象中国这样的欠发达国家依靠技术引进进行的早期工业化，以下问题是值得注意的。

近代技术引进成功与否的关键，在于一国政治、经济、文化、教育以及所处国际环境因素的相互制约。政治的统一，在国民中具有号召力、凝聚力的政府，国家主要领导、决策人物的革新意识、决心与素质是主导性因素；政治、经济改革的方略与措施的得当与否，国民的文化素质是基础性因素。

近代，由于资本主义国际市场的形成，迫使各国的经济、科学技术纳入到统一的国际社会之中，任何国家想采取闭关自守、与世隔绝的方略以维持传统式的“太平”生活方式，已成为不可能。外界形势迫使各民族国家为了本民族的独立、国家的发展，都只能不断地进行“改革”与“开放”。“改革”是使现存的体制适应先进科学技术的进步，促进国民经济发展：“开放”则是注重与世界先进文化、科学技术的交流，二者是相辅相承的。

封建社会的自给自足和封闭性，勿需技术的不断改进，只要求能生产出满足温饱生活的初级技术。这种技术是“静态的”。近代技术为适应市场竞争的需要，具有不断创新、不断发展的特点，这种不断为降低成本、提高利润，以生产“物美价廉”产品的技术，理应是“动态的”。将动态技术引进到静态技术的生长环境中，不改变原有环境新技术是不能生长发展的。同时，这种动态技术的发展，还会造就新的“生长环境”，从而迫使人们观念更新、文化模式演变，以致产生出大量的“反常”现象。这样就要求政府应采取主动措施，不断“深化”改革，扬弃传统文化使之“转用”到新文化模式上来。

成功的技术引进决不是单纯的“模仿”，当然早期的模仿是必要的，也是必然的，关键在于适时地依据本国条件进行转化，使之符合本国国情，并尽力发挥其应有的社会功能。引进的同时必须坚持“独立自主”的方略。这方面教训是深刻的。清政府假洋人之手想达富国强兵目的，最终导致引狼入室、干涉内政的败局。日本明治政权在近代技术引进中，坚持独立路线，以洋人为辅，注重对引进技术的消化吸收，取得了近代技术引进的应有成果。

外国新技术的大量引进，必然会使传统的社会秩序和道德发生变化。为保证新技术在本国的顺利发展，必须随时有力地抵制和克服非正常因素的干扰。清末洋务运动中，由于缺乏应有的国策指导和克服时弊的法律，不少办洋务的地方官员不是把开办新企业作为民族振兴的措施，而是把这些企业作

为自己捞取钱财的来源，这不但浪费了国家的资金、贻误了时机，而且贪官污吏的横行也严重地破坏了国家的总体战略，这不能不看作是洋务运动失败原因之一。

结 语

——建设一个持续发展 发展的社会

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。……人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

——毛泽东

18世纪英国的产业革命（工业革命），将人类社会推进到一个崭新的发展阶段。200多年来，技术发展出现了三次巨大变革，直接影响到社会生产的技术基础发生了质的飞跃，即三次技术革命。200余年与人类漫长的历史相比，只是短暂的一瞬间，然而这200余年中地球却发生了彻底的改观，社会生产与生活从无序走向有序，城市人口剧增，资源被大量开发，人类似乎已经达到无所不能、无所不为的地步。发达国家的发展方兴未艾，欠发达国家奋起直追，虽然自第二次世界大战结束以来，因地区矛盾、民族问题所引起的局部战争一天也没有停止过，但战火一旦停息，经济便会很快地恢复起来。

面对这一形势，西方的许多社会学家、未来学家、经济学家做了大量研究工作，从其不同的角度出发，提出了各种见解。美国社会学家、哈佛大学教授丹尼尔·贝尔（Daniel Beil）早在1959年就提出了“后工业化”的概念，在1973年出版的《后工业社会的来临——社会预测尝试》一书中，根据对美国实际状况的分析，认为工业化之后的美国已经进入了“理论知识的积累和传播，成为革新和变革的直接力量”的后工业社会。1980年，美国社会学家托夫勒（Alvin Toffler）在《第三次浪潮》一书中，将农业革命、工业革命及现代的新技术革命（信息革命）称做“三次浪潮”，认为人类社会正面临着第三次浪潮的冲击，从工业社会步入以信息经济为主的服务社会。美国科学院则认为“当今的电子时代开创了人类历史上的第二次产业革命，它对社会的影响可能比英国的产业革命还要大。”

然而，当我们冷静下来认真思考的时候，便会发现，到目前为止，在茫茫的宇宙之中，唯有一个得天独厚地成为唯一适于生物及人类生存的星球——我们的地球。早在20世纪60年代，西方有识之士（Rachel Carson等人）即发出了保护生态防止环境破坏的呼声，1972年罗马俱乐部发表的第一份研究报告《增长的极限》中，认为地球作为一个相对封闭的系统，其资源是有限的，因此经济的增长也必须是有限的，否则会导致人类社会的悲剧性后果。也有人提出“建设一个可持续发展的社会”的设想（Lester R. Brown）。《联合国环境方案》更是告诫人们：“我们不是继承父辈的地球，而是在借用我们子孙的地球！”

人类为了不断地提高自己的生活水平，采用一切手段去开发利用地球上的各种资源，大量制造物品。不顾其他生物的生存而迅速获得经济繁荣的后果只能是，人类自己把生存途径弄得愈来愈窄。

现在，人类前景问题已经成为国际社会共同关心的问题，人类已经到了必须理智地认识自身、认识自然、认识未来的时候了。

后 记

本书概述了自英国产业革命以来近代技术革命与近代技术文明的兴起与发展过程。在接到冯晓哲先生约稿电话到成书仅一个多月的时间，其间又值我与清华大学汪广仁教授、东北大学远德玉教授编写的《技术发展大事典》上半卷统稿，因此写作是匆忙的。特别是本书所涉及的近 200 余年来的社会发展历程是科学、技术、经济与社会迅猛发展时期，其内容是相当丰富的，用 10 余万字加以概括，难免有挂一漏万之嫌，敬请读者教正。本书的写作与出版多得丛书策划者及东北林业大学出版社社长刘东黎及副社长王巍的大力帮助，在此谨致谢意。

作 者

1996 年 12 月 31 日

