



导 论

引 言

知识创新学是研究知识创新能力、知识创新规律、知识创新教育及其相互关系的基本理论与实践的科学。它是知识创新与科学思维相互发展的集成。它直接为知识经济服务，并在知识经济的实践中不断完善与发展。

第 1 章 创新与思维的发展

1 创新——时代前进的主旋律^[15]

创新，是人类发展的永恒主题。

人类的历史，是一部创新的历史，是一部知识创新和知识应用的历史。创新的东西多，时代的发展就快；创新的东西少，时代的发展就缓慢。

钻木取火的发现与应用，人类开始了自己的历史。

人类历史所经历的漫长的农业经济时代，土地、阳光和水是农业经济的主要自然资源，社会劳动的主要方式是种植、放牧与手工生产。人们对自然的认识是零散、肤浅的，主要来自生产和生活中的直接经验，少数僧侣和哲人也从天象观察、土地丈量、炼丹制药中积累和总结了天文、地理、数学和医药等知识。处于萌芽状态的科学在当时是与生产相脱离的，生产力水平低下，而且发展缓慢。中国、古印度、古埃及和巴比伦由于天时地利和人文条件孕育了人类农业经济的古

代文明。

1492 年, 哥伦布 (C. Columbus 约 1451—1506) 发现新大陆, 24 年之后, 麦哲伦 (F. de Magalhaes 约 1480—1521) 历时三年完成了环球航行。美洲大陆的发现, 全球航路的开通, 不但证明了地球是圆的, 事实上也开始了全球性经济的时代。

欧洲文艺复兴带来了学术繁荣和思想的解放, 人对自然的认识突破了宗教迷信的桎梏。哥白尼 (N. Copernicus, 1473—1543) 的新宇宙学说, 伽利略 (G. Galileo, 1564—1642) 开创的实验观察与数学分析相结合的科学方法, 以及牛顿 (I. Newton, 1642—1727) 奠定的近代力学基础, 形成了近代自然科学的理论体系和以系统的观察、实验与严密的数学方法相结合的科学方法。

16、17 世纪成为现代科学诞生的时期。科学革命迎来了技术革命。18 世纪中叶始于英国, 以纺织自动机和蒸汽机的发明为标志的工业革命推动了生产力的飞跃发展, 资本主义终于替代了封建主义, 社会生产力获得空前的发展, 人们对自然界认识的科学知识不断拓展和深化。1831 年英国科学家法拉第 (M. Faraday, 1791—1867) 发现电磁感应定律, 1864 年麦克斯韦 (J. C. Maxwell, 1831—1879) 将电磁现象归纳为一组数学方程。人类对于电磁现象的知识, 不但为 19 世纪电气技术革命奠定了科学基础, 使人类进入了电气化时代, 而且由于对电磁波本质的认识揭示了光、电、磁等物质运动及相互作用本质的统一, 在人类对物质本质认识的知识综合上实现了又一次飞跃。它与 20 世纪的量子理论和相对论一起成为以核技术、半导体以及计算机技术为核心的第三次技术革命的科学知识基础, 使人类迈入了原子、电子、空间和计算机时代。人类文明的发展史昭示, 知识的价值不仅是人类对客观世界认识的系统积累和科学归纳, 而且是社会生产力发展的基础和动力, 是人类文明进步的基石。“科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量”^[16]。

从蒸汽机到计算机是人类经历了 200 余年工业化、现代化的历史阶段, 也是人类知识不断拓展并得到广泛和有效应用、技术创新和技术革命不断取得进展的历史阶段; 也是世界经济逐步走向全球化的历史阶段。

近 30 年来, 由于物质科学、生命科学和信息科学的进展, 在材料、信息和生物技术方面的不断取得突破, “现代科学技术正在经历着一场伟大的革命”, “现代科学技术……也不只是有了一般意义上的进步和改革, 而是几乎各门科学技术领域都发生了深刻的变化, 出现了新的飞跃, 产生了并且正在继续产生一系列新兴科学技术”^[17], 并以空前的规模和速度, 应用于生产, 影响着日常生活, 改变着人类社会的生产方式、流通方式、生活方式、思维方式和社会结构。

由于人们对地球科学以及资源环境生态的系统认识及其深化, 使人们进一步树立了人与自然协调, 以及人类社会可持续发展的理念。现在人类正致力于探索

可持续发展的道路和方法。

由于现代全球信息和运载技术将世界联结成一个整体，使得人们更有可能充分及时地在全球范围内利用新的知识、新的资源，开展全球性的经济文化交流合作与竞争。人类的未来和国家的繁荣比以往任何时候都更加依赖于知识创新和知识应用。人类社会将走向知识经济的时代。

所以，“整个人类历史，就是一个不断创新、不断进步的过程。没有创新，就没有人类的进步，就没有人类的未来。”^[5]

2 科技思维的发展^[18,19]

人的思维是以大脑为物质基础的一种高级物质运动和精神活动形式。从实质上说，思维运动乃是人的中枢神经系统（特别是大脑）反映客观物质世界运动、发展、变化等各种外界刺激而引发的认知活动；人类认识世界、改造世界的实践—认识—再实践的全过程都始终离不开思维活动。

从古至今，科技思维活动源远流长，贯穿于科学技术起源、发展、变革和创新的全部历程。从根本上说，一部人类科学技术史，就是人们不断推动科技进步、促进社会发展的思维运动史。

2.1 古代的科技与其思维

古代人积累的自然知识综合地表现为自然哲学。古代的自然哲学反映着那时的哲学与科学还未分化，它既是哲学，又是自然知识的特殊形态。古代的自然哲学有直观性、辩证性和思辩性的特点。

奴隶社会早期，古代巴比伦、埃及、印度、中国这四大文明古国在科学技术上都有重大成就。古希腊和古罗马则成为奴隶制时期科学技术的高峰所在。

亚里士多德（Aristotle 公元前 384—前 322）是古希腊自然哲学的集大成者，他的著作涉及哲学、逻辑学、天文学、气象学、生物学、博物学及修辞学和文学。古代方法论的最高成就是由他完成的，他建立了以“三段论”为中心的形式逻辑体系，对后世的自然科学发展和方法论有极为重要和深远的影响。

罗马时代的阿基米德（Archimedes 公元前 287—前 212），在静力学方面作出了奠基性的工作：提出杠杆定理、求物体重心的方法以及浮体定理。他开创了物理学从猜测到实验、从定性到定量研究的方法。

公元 6 世纪，封建制在西欧取代奴隶制，并维持了近千年的统治。在中世纪的欧洲，宗教神学居主宰地位，国王与教皇合流，政教合一。教会把圣经看作是全部知识的来源，从根本上否定研究自然和学习知识的必要性。教会扼杀异端，

查禁科学。在欧洲的中世纪，除了数学、医学略有进展，几乎没有什么值得称道的科学成就。

中国在春秋战国之交（约公元前 6 世纪）过渡到封建制，在这个时期出现了学术上百家争鸣的局面。《墨经》是战国时期最重要的科学成果。从秦汉到南北朝，统一了度量衡，制定了历法，编写出《九章算术》，发明了造纸术，修建了大规模水利工程。在这一时期，以反映生产经验为内容的实用科学知识趋于体系化。汜胜撰农书 张仲景著《伤寒杂病论》 贾思勰撰《齐民要术》 葛洪著《抱朴子》，郦道元撰《水经注》。

公元 7~12 世纪，西方处于落后的中世纪黑暗时代，中国正是唐宋盛世。唐代在经济和文化上是中国封建社会的鼎盛时期，宋代的科学技术水平更高于唐代，并居当时的世界领先地位。宋代完成了具有世界意义的三大发明：指南针、印刷术和火药；并产生了博学多才的科学家沈括，他写出了百科全书式著作《梦溪笔谈》。明代徐光启完成了共 60 卷的《农政全书》李时珍写出 52 卷的《本草纲目》；宋应星完成了共 18 卷的《天工开物》，是世界上第一部有关手工业和农业生产技术的百科全书。他推崇亲身见闻和认真观察，反对只讲空洞道理而不顾现实生活，反对“学者童而习之，而终身不见其形象”。

明代中叶以后开始有了资本主义生产关系的萌芽，出现了王夫之等进步思想家、科学家。由于清朝强化了封建专制主义统治，由于外国帝国主义的入侵，资本主义经济关系被扼杀，清代统治者大兴文字狱，也阻碍了科学技术的发展。中国的科学技术曾经走在世界的前列，在这一时期落伍了。

2.2 近代科学革命与科学思维方式

2.2.1 社会历史背景

在西方，15 世纪下半叶到 17 世纪，自然科学有了相对独立的、系统的发展，近代自然科学产生于人类历史上一个伟大的变革时代。

首先，资本主义生产方式的出现和地理大发现是近代自然科学产生的社会历史动因。

14 世纪，资本主义性质的手工工场在意大利地中海沿岸地区发展起来，到 15 世纪下半叶，德、法、英、荷兰等国的资本主义经济也相当发达。新兴资产者为了工业和经济的发展，需要有生产技术，需要有探索自然物体属性和自然力活动方式的科学。在 16 世纪初，发现了从西欧到印度的新航路 and 美洲大陆。地理大发现推进了商业、航海业和工业的发展，也扩大了人们的眼界，鼓舞了人们的探索和创新精神。

其次，文艺复兴和宗教改革是近代自然科学兴起的文化前提和思想基础。

14~16 世纪末，欧洲新兴资产阶级倡导了以复兴古希腊罗马文化为口号，以反对宗教神学和颂扬人文主义为实质内容的新文化运动。文艺复兴运动中一大批杰出的思想家摒弃神启崇尚人性，鄙薄信仰尊重理性，蔑视天堂歌颂世俗，对冲破长期禁锢人们思想的传统观念起了巨大的启蒙作用。思想解放也大大促进了科学精神的发扬和科学的发展。

与文艺复兴相呼应，德国神父马丁·路德 (Martin Luther, 1483—1546) 在 16 世纪倡导了宗教改革运动。新教反对教会特权，主张自己寻求信仰。宗教改革运动动摇了封建教会和宗教神学，对科学发展有积极意义。

再者，生产力的发展和科学实验手段的完善是近代自然科学形成的物质保证。

工场手工业的发展需要科学，推动科学，也为科学活动提供有力手段。在 16、17 世纪，生产中已有了压延机、拔丝机、锻造和起重设备、粉碎机和抽水机，已能制造放大镜、望远镜、天平、压力计、抽气泵，从而才可能有真正的实验科学。

近代自然科学兴起的条件成熟了，但它并不是自然而然成长起来的；在 15、16 世纪的西欧，宗教神学仍占统治地位，还需要为争取科学的独立发展而斗争。在这场斗争中，波兰天文学家哥白尼提出的太阳中心说起了开创作用，成为近代科学革命的标志。

2.2.2 近代科学革命

哥白尼是从托勒密 (C. Ptolemy, 约 80—168) 的地球中心说开始其天文学研究的，但在天文观测中发现托勒密体系的一些数据与观测不符，因而对地心说产生怀疑。他设想以太阳为中心，以地球的自转和公转来解释天空现象可能会好一些。他经过 30 多年的观测，不断验证和修改自己的学说，在临终时出版了有划时代意义的《天体运行论》，其主要内容是：(1) 太阳是宇宙的中心，各行星绕太阳运转；(2) 地球在运动，绕太阳公转和自转，形成四季和昼夜；(3) 月亮是地球的卫星；(4) 行星按距太阳由近至远的排列为水星、金星、地球、火星、木星、土星，最外层为恒星天。

日心地动说的提出，标志着近代科学的诞生。

确认太阳是宇宙的中心，否定了地球中心论的基本观点，本是天文学上的重大突破。然而，地心说在很长时期里被宗教绝对化和神化，并被利用为宗教教义辩护，宗教神学宣称上帝把不动的地球安排在宇宙中心，把人类安排在这个不动的中心上。日心说把颠倒的日地关系重新颠倒过来，这就超出了天文学学科的范围，而具有冲破宗教神学束缚和科学革命的意义。正因为如此，封建教会把日心说视为异端邪说，宣布《天体运行论》为禁书（直到 1835 年才被迫取消这一禁令）。

伽利略是哥白尼学说的积极传播者，并为此受到宗教所裁判的长期监禁。意大利学者布鲁诺（G. Bruno, 1548—1600）因捍卫日心说被罗马教皇定为异端，逮捕入狱，坐牢 8 年饱受酷刑而仍不放弃日心说观点，最后被处火刑烧死。

德国的开普勒（J. Kepler, 1571—1630）提出行星运行三定律。传统观念认为天上的运动都遵从完美的正圆轨道，开普勒发现行星运动的椭圆轨道也具有科学革命的意义。

16、17 世纪血液循环理论的建立，是生理学研究中的突破，也是科学革命的重大事件。

15~17 世纪自然科学最辉煌的成就是牛顿力学的创立。牛顿认真学习开普勒、伽利略等的著作，重视实践，刻苦钻研数学，于 1687 年出版了《自然哲学的数学原理》。在这部巨著中以大量的实验观测数据为依据，通过严格的数学分析，论述了力学的三大运动定律和万有引力定律，把天体力学与地面上的刚体力学统一起来，完成了科学史上人类对自然界认识的第一次理论的大综合，标志着近代自然科学体系的形成。

18 世纪的物理学研究证实了牛顿力学的正确性，光学有了丰硕成果，热学、电学积累了更多材料。18 世纪的化学发展了燃烧理论，发现了许多新元素。生物分类研究也有重要进展。

2.2.3 近代的科学思维方式

16、17 世纪成为现代科学诞生的时期，也是以系统的观察、实验与严密的数学方法结合的科学方法萌生的时期。随着工业革命推动生产力的发展，人们对自然界认识的科学知识、科学思维和科学方法不断拓展与深化。

17、18 世纪的自然科学取得了有划时代意义的伟大成就，同时也形成了崭新的科学精神、科学思想，导致了思维方式的重大变化。这时的大多数哲学家、科学家都推崇科学的价值，坚信科学有益于人类进步，乐观主义的科学技术观占主导地位。英国哲学家弗·培根（Francis Bacon, 1561—1626）提出了“知识就是力量”的名言，认为通过科学技术可以控制自然界使之变成“人的王国”。

近代科学家至少在他们自己研究的对象领域中，把世界看作由物质与虚空组成的客观实在。近代科学是实证科学，它是以观察实验所获得的事实为基础的，以经验归纳和数学演绎为主要方法。为了获取事实，为了进行归纳，为了进行定量的数学分析，必须先对自然现象分门别类，并使其暂时割断联系，使其暂时静止下来进行研究。近代科学思维方式抛弃了古代自然哲学的思辨性、笼统性，无疑是巨大的进步，也确实使近代自然科学取得辉煌的成就。

但是，17、18 世纪自然科学的思维方式有其历史的局限性。那时的自然科学家着重于研究既成事物是什么，尚不可能深入考察事物中所发生的变化，着重

于用分析的方法解剖对象，积累材料，尚不可能进行理论的综合，且只有机械力学达到了比较完善的地步，尚未搞清更高级的物理、化学和生物过程的特殊性。主要由于这时科学发展的状况，形成了与古代朴素自然观有重大区别的形而上学唯物主义自然观。这种自然观的突出特点是不变性、孤立性和机械性。形而上学唯物主义的自然观不仅妨碍了自然科学的深入研究，有时还从“第一推动”或目的论陷入神学的迷误。

2.3 近代科技的发展与自然辩证法的创立

2.3.1 近代科技的发展

2.3.1.1 近代技术革命

1. 近代第一次技术革命（产业革命）

17世纪和18世纪之交自然科学已有了突破性成就，但那时资本主义生产方式仍然是以工场手工业为基础的，除了劳动的集约化程度提高外，生产技术并没有本质上的改变。由于技术的跃进和人类历史上生产力空前发展的巨大转折，18世纪中叶以后，欧洲一些国家先后取得资产阶级革命的胜利，资本的原始积累使资产者获取了大量金钱，成千上万的农民和个体手工业者破产成为“自由的”无产者。工场手工业的发展和分工的扩大造就了一批熟练工人，在技术改进上积累了经验。在这些条件具备得更充分的英国和相继而起的一些国家，开始了一场以技术革命为中心的工业革命即产业革命。

英国的产业革命首先是从工具机主要是纺织机的革新开始的——英国的手工纺织在18世纪初已比较发达但仍不能满足需求，有关纺织机的一系列新发明应运而生并得以迅速运用。1733年凯伊（J. Kay, 1704—1774）发明织布用的飞梭取代手工传递，使织布效率提高一倍。1765年哈格里夫斯（J. Hargreaves, 约1720—1778）发明手摇纺纱机（珍妮机），纺纱效率提高百倍。1769年阿尔克来特（R. Arkwright, 1732—1793）发明水力纺纱机。1779年克隆普顿（S. Crompton, 1753—1827）综合珍妮机、水力机的优点发明“骡机”，利用自然力（水力）同时驱动300~600个纱锭。1785年卡德莱特（E. Cartwright, 1743—1823）发明自动织布机，使织布效率提高40倍。

工具机的革新要求有新的动力技术与之适应。瓦特（J. Watt, 1736—1819）对蒸汽机的改进、发明和应用，使英国产业革命进入第二阶段。在瓦特之前塞维利（T. Savery, 1650—1715）和纽可门（T. Newcomen, 1663—1729）已发明了蒸汽机，但效率低，且只能作单向直线运动，只在矿井排水上有所应用。瓦特发明了冷凝器提高了蒸汽机的热效率，又研制成具有连杆、飞轮和离心调速机构的双向蒸汽机，因可作连续均匀的圆周运动而成为通用的动力机，并使工具机、动力机和传动机

三者构成近代的机器系统，导致了火车、轮船的发明和交通运输业的变革，推动了各工业部门的发展和新兴产业的兴起，使人类从利用水力、木材为主过渡到煤和钢铁的时代。蒸汽机的发明和改进是近代技术史上的重大创新，是人类利用自然力和改造自然的重大突破。

在制造蒸汽机、纺织机和枪炮的推动下，要求机械制造和机械技术有更大的发展。英国的机械师莫兹利（H. G. J. Mosely, 1887—1915）发明了移动刀架和移动刀具车床，使金属切削机床可以方便准确地加工各种机器。用机器制造机器，机器大生产体系的建立，是近代技术革命和产业革命的又一崭新的阶段。

英国在 1760 ~ 1830 年间完成了近代的第一次产业革命。之后，法、德等国也实现了自己的产业革命。18、19 世纪的产业革命有重大的社会历史意义。它使资产阶级巩固了自己的统治，使社会生产力有更高速度的发展和生产力水平显著提高，它把人类带入工业文明社会之门，并使阶级关系发生重大变化，无产阶级登上历史舞台。

2. 近代第二次技术革命（产业革命）

19 世纪科学技术发展的一个重要特点，是科学走到技术前面，开始成为新的技术革命和产业革命的先导。19 世纪技术领域的重大变革主要是电能的发明和应用，电气技术的发展和实用化大致是按“通信—照明—动力”的序列实现的。1835 年，莫尔斯（S. F. B. Morseley, 1791—1872）研制出最早的实用电报机。1876 年贝尔试制出电话机。1866 年西门子（W. Siemens, 1816—1892）发明了效率高的自馈发电机。1882 年爱迪生（Thomas Edison, 1847—1931）研究所制成了实用的发电机并建成了直流发电站用于照明，爱迪生还发明了碳丝灯泡。由于电动机和三相交流的发明，电力逐步改变了以蒸汽机为主导的技术体系，改变了原有的产业结构，人类进入了电气时代。

19 世纪的又一项伟大的技术创新，是内燃机的发明和应用。在改进蒸汽机的过程中，有人就曾试验使燃料在汽缸内燃烧来推动活塞。经过不断探索，德国人奥托（Otto, 1832—1891）在 1876 年制成实用的四冲程煤气机，1885 年戴勒姆研制成汽油机。内燃机以其特有的机动性和高效率使人类进入了使用汽车、拖拉机和飞机的时代，对交通运输业、农业、军工等部门有重大影响。

以电气技术和内燃机技术为主要内容加上炼钢、合成化工等技术的变革形成近代的第二次技术革命以及与之相应的近代的第二次产业革命，使社会生产力迅速和大幅度提高。

2.3.1.2 19 世纪的自然科学

18 世纪后期及整个 19 世纪，在产业革命的推动下，在牛顿物理学和其他科学积累了大量材料的基础上，各门科学都有长足进步并进入理论综合阶段，其在

理论学说上的重大成就有：

(1) 星云假说。对哥白尼和牛顿来说太阳系是既成的东西。德国天文学家、哲学家康德 (I. Kant, 1724—1804) 提出了太阳系是从弥漫尘粒星云逐渐生成的观点。经拉普拉斯等人从数学和力学上分析论证，星云说被广泛承认。

(2) 地质演化说。产业革命推动了采矿业的发展，发现了大量古生物化石，从而推动了地球地质历史的研究。一些学者认为地层是由一系列的“灾变”造成的，英国地质学家赖尔 (C. Lyell 1797—1875) 则认为，地球表面的变化是风、雨、温度、水流、潮汐、火山和地震等自然力在漫长时期里逐渐造成的。赖尔的地质渐进论对达尔文 (C. Darwin, 1809—1882) 的生物进化论有很大影响。

(3) 能量守恒和转化定律。蒸汽机驱动着火车轮船，也推进着热力学的研究。19 世纪的许多学者如德国的迈尔 (R. Mayer 1814—1878) 和英国的焦耳 (J. P. Joule 1818—1889) 等都在研究机械能向热能的转化，以及机械能、热能、电能、化学能的相互关系，并几乎同时独立地发现了能量守恒和转化定律。在 19 世纪末，人们已普遍认识到：自然界中各种能量形式，在一定条件都必然以直接或间接的方式，以固定的当量关系相互转化，在转化的过程中能量既不能创造也不会消灭。

热力学是关于热的能量守恒和耗散理论，其推广形式即能量守恒与转化定律是继牛顿力学之后物理科学的第二次理论大综合。

(4) 从分子原子论到元素周期律。在产业革命中积累了更多的关于化学元素和化学反应的事实，促成了当量定律和定比定律的发现，英国化学家道尔顿 (J. Dalton, 1766—1844) 创立了科学的原子论，并计算了许多元素的原子量。意大利的阿伏伽德罗 (A. Avogadro, 1776—1856) 区分了原子与分子。到 19 世纪末，原子分子论的基本思想趋于完备：①一切物质都由分子组成，分子是保持物质化学性质的最小单位；②分子是由原子组成的，原子是用化学方法不能再分的最小质点；③原子和分子都处于永恒的运动状态；④原子和分子各自种类不同，其化学性质、质量和大小不同。

在很长的时期里，人们认为有机界与无机界之间有不可逾越的鸿沟，有机物只能从活的机体中产生。德国化学家维勒 (F. Wöhler, 1800—1882) 用无机化合物制成了尿素，在无机物和有机物之间架起了桥梁。

在 19 世纪，人们发现的化学元素越来越多。不少学者在研究各种元素的关系和元素的分类。俄国化学家门捷列夫 (Д. И. Менделеев, 1834—1907) 在前人工作的基础上发现了化学元素周期律，他指出：①按照原子量大小排列起来的元素，在性质上呈现明显的周期性；②原子量决定元素的性质；③可以根据原子量和元素的性质预告没有发现的元素；④可以根据元素周期律修正已有元素测定的

原子量。

(5) 细胞学说和生物进化论。基于新的生物学发现特别是显微镜的研制和运用，德国植物学家施莱登（M. J. Schleiden, 1804—1881）和动物学家施旺（T. Schwann 1810—1882）指出，动植物都是由类似的细胞组成的，这些细胞都按同样的规律形成和生长，生命的共性单元是细胞。

由于 18、19 世纪生物分类学、胚胎学、解剖学、古生物学和细胞学的发展，证明生物物种并不是始终如一的。法国的拉马克（J. B. Lamarck, 1744—1829）提出了生物进化的思想，并从“用进废退”的法则来解释。英国生物学家达尔文（1809—1882）在长期的科学考察和养殖实验的基础上系统地论证了生物进化论，认为：生物是由共同的祖先逐渐进化而来的，在各种生物之间存在着亲缘关系；由于繁殖过剩引起的生存斗争，适者生存，会导致物种的自然选择；人工选择会造成新物种，在人工选择中可以把动植物的有利变异保留下来，让它留传给后代，而将无用变异淘汰掉；人类也是生物进化的结果，它直接起源于猿。

(6) 电磁感应理论。18 世纪已有了静电研究，1786 年伽伐尼（Luigi Galvani）发现电流，1820 年奥斯特（H. C. Oersted, 1777—1851）发现电流通过导线时会使磁针偏转的效应。英国科学家法拉第在“转磁为电”的设想引导下，在 1831 年发现磁场的变化会感生电流，提出了电磁感应定律。麦克斯韦以严格的数学论证建立了电磁理论，并预言光就是电磁波。后来赫兹（H. Hertz, 1857—1894）实验证实了电磁波的存在。电磁理论的确立标志着近代物理学接近于完备，标志着人们对自然界宏观领域的基本规律已有了相当全面的认识。电磁场理论是在电磁学实验基础上数学化而发展起来的，它把光、电、磁这三种不同的物理现象联系起来，揭示了光、电、磁这三种现象的统一性，实现了物理科学的第三次理论大综合，并为 19 世纪 70 年代开始的、以电力应用为中心的第二次技术革命奠定了基础。所有这些，也是对机械论形而上学自然观的有力打击。

2.3.2 自然辩证法的创立

19 世纪的自然科学在各个领域中的成就冲击着旧的思维方式。物质普遍联系和运动发展的观念、历史过程的观念已经进入自然科学。“在自然科学中，由于它本身的发展，形而上学的观点已经成为不可能的了。”^[20]基于科学的成就，在德国古典哲学中出现了辩证思维的观点。康德、谢林（F. W. J. von Schelling, 1775—1854）用引力和斥力的对立统一来说明整个自然界。黑格尔（G. W. F. Hegel, 1770—1830）在唯心主义体系内概括了当时的科学成果，论证了辩证法的一系列范畴，提出了对立面的渗透和统一、由量变到质变、否定之否定三个辩证规律。

马克思（Karl Marx, 1818—1883）和恩格斯（F. Engels, 1820—1895）作为无产阶级

革命的思想家在创立其学说时，不仅深入地研究了整个人类历史发展特别是资本主义社会的实际状况，批判地继承了以往的哲学、经济学和社会主义学说的合理成分，在阐述新的世界观时还认真总结了他们生活时代的科学技术进展。在《资本论》、《反杜林论》、《自然辩证法》、《费尔巴哈与德国古典哲学的终结》等著作中论证了辩证唯物主义的自然观、方法论和科技观，创建了自然辩证法。

恩格斯的《自然辩证法》一书写于 1872~1883 年，1885~1886 年作了个别的补充，这部书包括着有关“自然科学的历史发展”、“自然科学和哲学”、“自然界的辩证法”、“认识自然的辩证法”、“物质的运动形式”、“数学和各部门自然科学中的辩证法”、“劳动在从猿到人的转变中的作用”等诸多方面的札记和论文。自然辩证法的创立距今已一个多世纪，那时所涉及的有些科学的具体材料已经过时了，但它的基本观点和原理至今仍闪耀着光辉。

2.4 现代的自然科学与现代科学的哲学问题

2.4.1 现代的自然科学

2.4.1.1 20 世纪初物理学革命

19 世纪的力学、光学、热学、电磁学取得了一系列突破性进展，物理学家们怀着无比自豪的心情进入 20 世纪，许多人认为科学大厦即将建成，只剩下一些细节性的事情有待完善。然而，正是 19 末物理学留下的两朵小小的“乌云”（以太漂移和黑体辐射问题所存在的困难）和新的实验发现（X 射线、放射性、电子）却带来了 20 世纪的物理学革命。20 世纪前 30 年代的物理学革命是继 16 世纪中叶哥白尼天文学革命以来的人类第二次科学革命。

物理学革命是由 19 世纪末物理学实验的三大发现揭开序幕的。汤姆生（J.J. Thomson, 1856—1940）、伦琴（W.C. Röntgen, 1845—1923）和贝克勒尔（A.H. Becquerel, 1852—1908）等发现了电子、X 射线和元素的天然放射性表明，原子并不是最小不可分割的物质单元而有其结构，传统的能量转化观也难以解释镭的热效应，经典物理学的基础并不是充分牢固的。面对这些发现，绝大多数物理学家仍坚信物质世界的客观规律性，也有少数人把电子的发现看作是“原子非物质化了”或“物质消灭”，用“无物质的运动”来说明天然放射性，乃至把物理学革命看作是“物理学危机”，是“原理的普遍毁灭”。

20 世纪初物理学的重大成就是相对论的建立和量子力学的产生。按照麦克斯韦的理论，电磁波（包括光）必须靠介质——以太，以有限速度来传递，但寻找“以太”的实验（如迈克尔逊—莫雷实验）未取得肯定结果。这意味着在真空中传播的光速对以任何速度运动的物体来说都是不变的，意味着不存在时空的绝对参考系。爱因斯坦（Albert Einstein 1879—1955）突破了以太说和牛顿的绝对时空的观

点，在 1905 年提出了狭义相对论，后来又建立了广义相对论。相对论论证了空间、时间、物质、运动之间在本质上的统一性，把牛顿的力学理论作为一种特殊情况概括在内；相对论既是原子内部的微观物理学的基础，也是天体物理学和宇宙学的理论基础，是物理科学的第四次理论大综合。

热力学的发展，热机和电照明的应用，推动了热辐射的研究。基于黑体辐射的实验结果与经典物理学概念（能量连续变化）相背（即所谓“紫外灾难”）德国物理学家普朗克（M. K. E. L. Planck, 1858—1947）在 1900 年 12 月 4 日提出了“量子”或“量子”的假说。薛定谔（E. Schrodinger, 1887—1961）、海森堡（W. K. Heisenberg, 1901—1976）等在量子论的基础上论证了物质世界的波粒二象性、波函数和测不准关系（或称不确定原理），建立了量子力学体系。量子力学使人们对宏观的认识深入到微观世界，论证了连续和间断统一的自然观，揭示了统计决定论的意义，从而完成了物理科学的第五次理论大综合。

2.4.1.2 现代自然科学的全面发展

在物理学革命的基础上，20 世纪的自然科学在更深的层次上考察微观对象，又在更大尺度上探索宏观世界，并且把这两者结合起来。20 世纪自然科学的学科更加分化，各门学科相互渗透，又导致了一大批边缘性、综合性学科的产生，形成了复杂的、多层的学科体系。

1. 粒子世界中的发现

在建立原子模型的过程中，英籍物理学家卢瑟福（E. Rutherford, 1871—1937）发现了原子核。接着物理学家又发现，原子核由质子和中子组成。在把相对论和量子力学结合起来的研究中，在对宇宙射线的研究中，科学家发现了正电子，预言了反质子、反中子的存在，发现了正负电子与光子的相互转化。在研究核内粒子的结合力中发现了传递核力的 π 介子和 μ 介子。在研究原子核的 β 衰变中，发现了中微子。人们利用粒子加速器或对撞机等技术，已发现的基本粒子达 400 余种。基本粒子的大量发现和分类研究又使人们去探讨基本粒子的内部结构，物理学家建立了强子（质子、中子等）由带分电荷的“夸克”组成的模型。但至今还没有找到“自由夸克”，因此一些物理学家认为夸克将永远被幽禁在强子之中。

2. 地理物理和天体物理的进展

现代自然科学的一个重要方向是研究大尺度的物理现象，从分子凝聚态到地球、星系乃至整个宇宙。由于同位素测定、探空技术、射电技术的应用，使人类建立起新的地球观。德、美、英等国的学者先后提出了大陆漂移说、地幔对流说、海底扩张说和板块说。他们都把地球作为一个整体来考察，把地球看作是一个充满活力和具有内部动力的天体。

天体演化学是 20 世纪天文学研究的最重要的领域，提出了恒星从超密物质

或稀薄的弥漫物质生成并逐步演化的假说。对宇宙和宇宙演化的研究为许多天体物理学所关注，提出了膨胀宇宙模型。1948年，美籍科学家伽莫夫（G. Gamov, 1904—1968）把基本粒子研究同宇宙膨胀论联系起来，提出了大爆炸宇宙说，认为人类的宇宙起源于极高密度的“原始火球”的大爆炸，而后经过百亿年以上的演化成为今日的世界。在20世纪60年代，由于3K微波背景辐射等的发现，大爆炸假说被多数天文学家接受。

3. 分子生物学的创立

20世纪的生物学家着力于探索物种进化和遗传的机制。由于高分子化学的发展及其向生物学的渗透，由于X射线衍射和电子显微镜的发明和应用，科学家们开始在分子水平上研究生命物质及其功能，建立了分子生物学。

20世纪初，科学家们就发现了细胞中存在着核酸，并有去氧核糖核酸（DNA）与核糖核酸（RNA）之别。在20世纪40年代又经实验提出DNA是遗传性状的化学和物理基础，DNA中的碱基序列是遗传信息的载体。1953年，在剑桥大学的沃森（J. Watson, 1928—）等科学家在分析X射线衍射资料的基础上，发现和建立了DNA分子的双螺旋结构模型。后来，科学家们又进一步揭示了DNA和RNA的功能和它们在遗传过程中的关系。按照分子生物学规律，物种的变化来自DNA的突变，这种突变是随机性和中性的。

4. 系统科学、非线性科学和复杂性研究的兴起

在19世纪就有了不同学科的交叉、渗透，形成了许多边缘性、综合性的学科，电子计算机的广泛研究极大地推动了学科的综合化，使人们得以深入研究非线性的和复杂的自然过程。

在20世纪初，一些生物学家就提出，不能把生物体看作是由器官、细胞构成的集合。20世纪30年代起，美籍生物学家贝塔朗菲（L. V. Bertalanffy, 1901—1971）在其《关于一般系统论》等著作中提出，生物学的主要任务是发现生物系统一切层次上的组织原理，认为整体在性质上不同于它的各个部分的加和。第二次世界大战后，由于国民经济、工业生产、军事工程的规模更加扩大，组织更为复杂，系统论思想日益引人注目，并发展了大系统理论和系统工程。1948年，美国学者维纳（N. Wiener, 1894—1964）在研究工程控制系统和人的神经控制系统基础上，发表了《控制论》一书。美国学者申农（C. E. Shannon, 1916—）在研究系统的信息反馈、信息转换时，提出了从数学上描述信息的理论和方法。1948年，申农发表了《通信的数学理论》，这是信息论这一学科建立的标志。

20世纪60年代以来一批物理学家对非线性、复杂性问题进行了更广泛深入的综合研究。比利时籍学者普利高津（I. Prigogine, 1917—）提出了以耗散结构为中心概念的系统自组织理论。20世纪60年代，法国数学家托姆建立了描述系统

演化在临界点突变行为的数学框架。德国的哈肯 (H. Haken, 1927—) 研究了多组分大系统怎样由无序态, 经过其中的子系统的合作运动, 转变为有序结构, 建立了协同学原理。美国气象学家洛伦兹 (E. N. Lorenz) 基于对气象系统的考察, 研究了“对初始条件有敏感依赖性”的非线性系统, 开创了混沌科学。混沌理论突破了牛顿和拉普拉斯 (P. S. de Lapalas, 1749—1827) 的关于过程确定性的观点, 有人认为这是继相对论、量子力学后物理学的第三大成就。美国数学家曼德布罗特 (B. B. Mandelbrort, 1924—) 创立了非线性与复杂性研究的工具分形几何。

5. 纳米科技的兴起

已故美国著名科学家理查德·范曼 (Richard Feynman) 早在 1959 年就提出了纳米技术的基本概念, 但在相当长的一段时间里, 纳米科学技术的设想在许多科学家眼里就如天方夜谭而不屑一顾。1984 年, 德国科学家把一些细微得肉眼都看不见的金属粉末用一种特殊的方法压制成一个小金属块, 并对这个小金属块内部结构和性能进行了详细的研究。结果, 他惊讶地发现: 这种金属竟然呈现出许多令人不可思议的特有的金属属性和奇异的内部结构——格莱特 (H. Gleiter) 的这一研究, 现已被科学界认为是开创一门新学科纳米科学研究的先河之举。

1990 年, 首届纳米科技大会在美国成功举行, 标志着—一个将微观基础理论研究—与当代高科技紧密结合起来的新型学科——纳米科学技术的正式诞生。

所谓纳米科学技术, 就是研究纳米尺度——100 纳米至 0.1 纳米这个微观范围内物质所具有的特异现象和特异功能, 并在此基础上制造新材料、研究新工艺的方法与手段。纳米 (nm) 是一个长度单位, 1 纳米等于 10^{-9} 米, 而原子的半径在 10^{-10} 米量级。可见在纳米量级内, 物质颗粒的尺度已经很接近原子的大小。因此纳米科学技术实际上就是在单个原子的层次上对物质进行精确的观测、识别与控制的研究与应用, 用单个原子进行制造的控制物质的科学技术。

纳米技术一诞生, 就对全球科学技术领域带来巨大冲击。今天, 科学家们已经普遍相信, 新兴的综合性边缘学科对 21 世纪的信息科学、生命科学、分子生物学、材料科学和生态科学的发展提供一个全新的技术界面。中国工程院副院长、中国科学院技术科学部主任师昌绪院士在展望 21 世纪新技术时认为, 未来全球科技发展的 9 大关键技术之一就是纳米科技的研究与应用。一些科学家进而指出, 纳米科技的发展将在人类社会“引起一场产业革命, 其深远意义堪与 18 世纪的工业革命相媲美”。

2.4.1.3 新技术革命的兴起

19 世纪末至 20 世纪, 资本主义由自由竞争阶段过渡到垄断阶段, 对社会生产和科学技术活动有重要影响。但垄断并不排除竞争, 由于资产阶级必须利用先进技术强化自己在竞争中的经济地位, 由于技术的开发和研制过程更加社会化,

由于科学技术在已有的基础上不断积累和技术科学的发展引导工程技术前进，20 世纪的技术水平仍持续提高。20 世纪上半叶，电力技术和内燃机技术得到了广泛而有效的应用，冶金技术、机械技术、化工技术有明显进步，军事技术（如原子弹的研制、火箭技术）也有新突破，并开始显示威力。

第二次世界大战以后，各国都更加重视技术开发和技术创新。依靠自然科学的最新成就，一批新兴的尖端技术在近几十年里涌现出来，汇成了新技术革命的洪流。由于现代科学与现代技术的紧密结合，所以又称为现代科技革命。

1. 电子技术和计算机技术

19 世纪末发现电子后，逐渐形成了以研究电子在固体、液体和气体中运动规律的电子科学。20 世纪初有了三极管、磁控管、显像管等电子器件的发明。1947 年美国贝尔实验室的肖克莱（William Shockley），在固体电子学的能带理论指引下，发明了晶体管。1952 年英国人杜默发表了集成电路的思想，1961 年第一片集成电路商品问世，到 20 世纪 70 年代已有了大规模集成电路。电子元件在广播电视等领域日益广泛应用。

电子科学技术的发展，对计算机技术有巨大影响。计算机的研制，始于法国数学家在 1642 年研制的机械加法器。19 世纪的英国数学家巴比奇（Charles Babbage, 1791—1871），设计了蕴含着程序控制的差分机。1942 年，美国工程师莫希利（J.W. Mauchly），提出电子计算机的方案，得到军械部支持；到 1945 年制成了世界上第一台数字式积分计算机 ENIAC，它用了 18000 多个电子管，重 30 吨，乘法速度每秒 400 次。美国数学家冯·诺依曼（J.von Neumann），对计算机的程序作了重大改进（采用二进制和程序内存），按此设计研制成能自动完成全部运算的 EDVAC 计算机。电子计算机从采用电子管、晶体管、集成电路到大规模集成电路，重量大为降低，运算速度加快，功能更加多样化，不仅出现了大型机，还发展了微型机和计算机网络。

现代计算机不仅有非凡的计算能力，还有丰富的记忆功能和判断能力。它是人类大脑的延伸，可广泛地用于事务管理、文字处理、图像处理、自动控制等领域，是信息时代的支柱技术。计算机产业和信息产业，在当今国民经济和社会发展中的作用，极为重要，且不断增长。计算机技术与通信技术、光纤技术、航天技术等结合和应用，对人类的未来将产生巨大影响。

2 自动控制技术

我国古代的指南针、瓦特蒸汽机的离心机构，已是自动控制装置（机械传动）。机器大工业的发展和军事需要，迫切需要有各方面的控制。20 世纪 40~50 年代，单机和单个过程的自动化得到广泛应用。控制论创始人、美国数学家维纳（N.Wiener, 1894—1964）出版了《控制论》一书。第二次世界大战前后，形成了自动

调节原理、伺服系统理论。美国学者卡尔曼 (Rudolph E. Kalman), 在 1960 年发表了《控制系统的一般原理》。电子技术、1954 年, 我国著名科学家钱学森所著《工程控制论》, 运用控制论基本理论和传递函数、频率响应数学方法研究了工程技术系统中线性系统的稳定性、反馈控制等, 系统、定量地解决了若干自动控制问题。计算技术的出现, 使现代控制理论所涉及的一系列控制原则和目标得以实现。1958 年, 美国首次在化学工业中实现了计算机控制, 之后又用于电力、机械、冶金等部门。

自动控制技术, 在机械性的加工业中应用最为普遍。到 20 世纪 70 年代, 已有了计算机数控 (CNC)、计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM)、机器人、柔性自动生产系统 (FMS), 继而又组成了把市场、工程设计、管理等活动都包括在内的计算机集成制造系统 (CIMS)。自动控制技术是新技术革命的核心技术, 它不仅对工业生产有巨大作用, 可以实现工厂自动化 (FA), 使航天技术迅速发展, 还实现了办公室自动化 (OA), 并正在引起家庭或住宅的自动化 (HA)。

3. 能源新技术

原子核裂变的发现开辟了利用新能源的道路, 到 1983 年已有 25 个国家建成 249 座核电站。20 世纪里对太阳能、地热能、生物能和水能的研究有较大进展, 并正在研究“洁净煤技术”(如先进的燃烧技术, 煤的气化和液化), 安全的核电站和核能的更充分利用, 及节能新技术。许多国家正在大力研究的受控热核聚变一旦成功, 将会得到取之不尽的清洁能源。

4. 激光技术

激光器是 20 世纪与原子能、半导体、计算机齐名的四项重大发明之一。在 1916 年爱因斯坦提出的光受激辐射理论的指引下, 并且把无线电电子学和微波波谱学结合起来, 1960 年成功地研制出第一台激光器, 后来又有了上千种各种类型的激光器。由于激光有亮度高、方向性好、单色性和相干性好等优点, 它一出现便应用于各种精密测量、激光加工 (打孔、焊接等) 和医疗手术、改良农作物种, 以及在军事上用于激光制导和制造杀伤武器。

光纤通信是激光技术的极重要应用领域。它容量大, 有高抗干扰性和保密性。光缆将成为世界通信网的骨干。激光和光纤技术已进入产业化阶段

5. 新材料技术

材料、能源、信息技术是现代文明的三大支柱。人类长期以来, 使用天然材料和从矿石分离冶炼得到金属材料。20 世纪材料加工的一个突出特点, 是用人工合成的方法, 造成具有特殊结构和功能的金属材料 (如高强度、高韧性和耐腐蚀的非晶态金属, 镍钛合金等记忆合金)、非金属材料 (如高分子材料, 半导体材料)、

复合材料（如金属陶瓷、碳纤维）。

6. 航天技术

在 1905 年美国的莱特兄弟（Wilbur/Orville Wright, 1867—1912/1871—1948）制成第一架实用飞机之后，航空技术迅速发展，从使用螺旋桨、涡轮机到喷气机。20 世纪 50 年代以来航天技术有了重大进展，至 1992 年底，原苏联、美国、日本、法国及我国等国家已发射人造卫星、宇宙飞船、航天飞机等航天器 4396 个。航天技术对太空探测、气象预报、资源勘探、环境监测、通信传播和科学实验有重要作用，并有很大的军事意义。

7. 生物技术

古代的酿酒、制酱是最早的微生物技术。19 世纪末已有了酶技术，20 世纪 30 年代初有了组织增长的细胞技术。生物学领域划时代的突破是分子生物学和细胞生物学的诞生和发展，发现了 DNA 双螺旋结构，建立了基因工程（又称 DNA 技术）。DNA 结构的发现为解决遗传信息的传递问题带来了希望。基因工程也即遗传工程，就是用人工方法将生物体内的 DNA 分离出来，重新组合搭配，再放回生物体内，创造新的生物品种。遗传工程在医疗卫生和农业生产领域产生巨大影响，由于人们进一步了解了生命的本质和现象，认识了生物遗传规律，使人类第一次能对各种生物的基因组进行分析，对特定基因进行定位、克隆，特别是对在细胞中含量极少而又具有重要功能的蛋白质基因进行扩增分离，从而促进了对蛋白质结构与功能的研究。这一切使医药工业的发展大大前进了一步，许多蛋白质多肽药物、抗病毒疫苗被研制出来，并投入使用，为治疗困扰人类的多种疾病提供了有效的药物。利用基因工程还可以改良和创造农作物新品种，培育具有抗病毒特性和抗灾能力的农作物，提供作物产量和质量，满足工业和人民生活需要。

8. 海洋技术

海洋石油占全球可采贮量的 45%。1947 年有了第一口海上油井，20 世纪 60 年代以来海洋钻井迅速增加。许多国家正在试验从海水中提出有用元素，勘探海底矿物，规划海洋牧场。地球面积的 70% 以上是海洋，海洋资源极为丰富。有的国家把海洋工程技术、原子能技术和空间技术作为当代最重要的三大技术。

一大批新技术、高技术的发展，推动了传统产业革命的现代化，产生了巨大的社会效益。它所带来的产业结构、劳动结构的变化，正推进着新产业革命的到来。同时，现代技术的应用，也带来了需要解决的问题，引起了社会矛盾的复杂化。伴随着计算机的广泛应用，提出了强化各方面的社会管理的要求，防止和消除计算机病毒的要求；自动化技术的应用，提出了怎样对待和处理结构性失