

序 言

2016年5月，习近平总书记在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科学技术协会第九次全国代表大会上发出了建设世界科技强国的号召。2017年10月，党的十九大从全面建成社会主义现代化强国、实现中华民族伟大复兴中国梦的战略高度，进一步强调把创新作为引领发展的第一动力，作为建设现代化经济体系的战略支撑，坚定实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，加快建设创新型国家和世界科技强国。

建设世界科技强国，是以习近平同志为核心的党中央在新时代坚持和发展中国特色社会主义的重大战略决策，是在我国发展新的历史方位适应社会主要矛盾新变化、贯彻新发展理念、深化供给侧结构性改革、决胜全面建成小康社会的重大战略部署，更是我国抢抓全球新一轮科技革命和产业变革历史机遇、建设富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国的必然要求，也是中华民族加快迈向世界舞台中央、为人类文明进步和可持续发展做出更大贡献的根本基础。

主大计者，当执简以御繁；谋全局者，宜深思而远虑。建设世界科技强国是全局性、系统性、战略性国家工程，需要多方面协同发力、全社会长期努力；建设世界科技强国更是新时代我国科技创新发展的总目标、总任务、总要求，是科技界义不容辞的历史使命。作为国家战略科技力量，中国科学院牢记习近平总书记对我们提出的“三个面向”“四个率先”要求，深入实施“率先行动”计划，努力为建设世界科技强国做先锋，发挥核心骨干和引领带动作用。作为国家高端科技智库，中国科学院应围绕建设世界科技强国的一系列重大战略问题、路径问题、科技问题、政策问题等，及时组织国内外高水平专家、学者开展持续深入研究，为建设世界科技强国出谋划策、建言献策，提供科学、前瞻、及时、权威的咨询意见和建议。

2016年全国科技创新大会后，中国科学院把开展建设世界科技强国的战略研究，作为贯彻落实全国科技创新大会精神的重要任务，及时部署、精心组织。来

自众多研究单位的 180 位科技领域战略科学家和一线科研人员、科技战略与科技政策研究专家、科技文献情报专家、科技史研究专家、科技管理专家等参加了专题研究工作；院内外 100 多位不同领域和类型的高水平专家参与了咨询研讨和评议把关工作。党的十九大之后，又根据新时代我国建设富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国的新要求，对标党的十九大对科技创新作出的新部署、提出的新任务，进行了系统修改和充实，力求以党的十九大精神统领新时代科技强国建设。

在历时一年半的研究编撰过程中，众多专家、学者着眼世界科技发展前沿趋势，立足国家创新发展战略需求，以全球视野和家国情怀，以战略思维和严实作风，以历史使命和时代担当，聚焦“建设世界科技强国”这一重大战略，进行了广泛的文献调研、深入的探幽发微、系统的研究构建，力求借他山之石谋划攻玉之策，从历史纵深瞻望未来发展，按时代使命规划目标任务，科学前瞻谋划我国新时代加快建设创新型国家和世界科技强国的战略路径。这一研究工作的阶段性成果，就成为本书的主要内容。

全书分上、中、下三篇。上篇在回顾世界科技强国发展演进历程的基础上，重点介绍了英国、法国、德国、美国、日本、俄罗斯 6 个国家的科技强国建设之路，旨在作为“他山之石”，为我国学习借鉴科技发达国家的先进经验与教训提供参考依据。中篇在研究世界科技强国基本特征与关键要素的基础上，梳理了我国近代以来，特别是改革开放 40 年来科技发展的历程，分析了我国建设世界科技强国具备的基础与优势、面临的形势与挑战，并按照党的十九大提出的新部署、新要求，从科技创新的战略目标、重点任务与政策举措等方面提出了一系列意见建议，旨在为我国建设世界科技强国提供战略选择。下篇从新时代国家创新发展战略需求和世界科技发展前沿趋势出发，选择信息、能源、材料、空间、海洋、生命与健康、资源生态环境、基础前沿交叉 8 个重大创新领域和重大科技基础设施、数据与计算平台两类科技创新平台，分别提出重点科技布局 and 路径、分阶段发展目标、战略举措和政策建议等。这些研究成果，特别是一系列具有战略性、系统性、针对性、可行性的咨询意见建议，对国家科技创新决策具有重要参考价值，对科技创新发展也具有重要指导意义，相信一定会对我国加快建设创新型国家和世界科技强国起到积极作用。

建设世界科技强国是一项伟大事业，围绕建设世界科技强国的战略研究也是一项长期任务。这项研究工作主题宏大、视野宏阔，历史跨度大、涉及范围广，

既覆盖众多重大科技创新领域，也关系到国家战略选择、政府创新治理和经济社会可持续发展的方方面面。特别是新时代我国建设社会主义现代化强国的新目标和社会主要矛盾的新变化，对科技创新又提出了一系列新任务、新要求，加之当代科技发展日新月异，科技前沿不断深化拓展，国际科技竞争日趋激烈，全球创新格局加速演进、深刻变化，科技创新的不确定性、不可预见性特征日益凸显，这些都极大地增加了这项研究工作的艰巨性和挑战性。因此，本书的研究工作还是初步的，涉及的研究范畴也是有限的，特别是对前沿科技发展态势和一些国家重大战略需求的把握可能还需要进一步深化，一些研究成果和观点也许还值得进一步探讨和论证，也难免会有其他疏漏和不足之处，有待后续完善和拓展研究。中国科学院将把围绕“建设世界科技强国”的战略研究，作为国家战略科技力量的使命担当，作为国家高端科技智库建设的重点任务，持续深入开展下去，不断产出高水平研究成果，不断提供高水平创新思想，助力加快我国的世界科技强国建设。

世界科技强国建设之路源于伟大梦想，更始于坚实步伐。我们要以建设世界科技强国为统领，认真学习贯彻党的十九大精神，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，全面推进科技创新各项工作，深入实施创新驱动发展战略，加快跻身创新型国家前列，为早日建成世界科技强国、实现中华民族伟大复兴中国梦而持续努力、不懈奋斗。



2017年11月

目 录

上篇 代表性科技强国的发展路径

第一章	世界科技强国的发展演进	3
第二章	英国的科技强国之路	17
第三章	法国的科技强国之路	45
第四章	德国的科技强国之路	63
第五章	美国的科技强国之路	86
第六章	日本的科技强国之路	115
第七章	俄罗斯的科技强国之路	137

中篇 中国建设科技强国的战略选择

第八章	科技强国的基本特征与关键要素	163
第九章	近代以来中国科技发展的历程	182
第十章	中国建设科技强国的基础与优势	201
第十一章	中国建设科技强国面临的形势与挑战	219
第十二章	中国建设科技强国的目标任务与举措	235

下篇 中国建设科技强国的重大创新领域

第十三章 信息领域	257
第十四章 能源领域	285
第十五章 材料领域	305
第十六章 空间领域	320
第十七章 海洋领域	337
第十八章 生命与健康领域	354
第十九章 资源生态环境领域	379
第二十章 基础前沿交叉领域	401
第二十一章 重大科技基础设施	424
第二十二章 数据与计算平台	436
缩略语对照表	457
后记	463

代表性科技强国的发展路径

科技兴则民族兴，科技强则国家强。近代以来的几次科技革命，引发大国兴衰和世界格局调整。英国、法国、德国、美国、日本等国抢抓机遇，相继崛起成为典型的世界科技强国。这些国家都因时而动、因地制宜，探索形成了各具特色的科技强国建设和发展道路。俄罗斯的发展更为曲折复杂，在巨变中继承了苏联的主要科技基础和创新资源，至今仍拥有相当完整的科技创新实力。

他山之石，可以攻玉。本篇回顾了世界科技强国的发展历程与演进史，特别是选择英国、法国、德国、美国、日本和俄罗斯等对我国有学习借鉴价值的6个国家的科技发展历程，重点梳理了第二次世界大战后其国家科技战略的变迁，解读了其现行国家创新体系的构成和特点，并分析总结了其成功经验和失误教训，旨在为我国建设科技强国提供参考和借鉴。

第一章 世界科技强国的发展演进

历史大潮浩浩汤汤，人类社会发展至今已经历了两次科学革命、三次技术革命及由此引发的三次工业革命的洗礼。一批科技兴盛、国力强大的世界科技强国先后应运而生，各领风骚。它们都曾经是科学中心或科技创新中心，主导或引领了不同历史时期的科学革命或技术革命，成为历次工业革命的倡导者、核心力量和主要受益者。

回顾世界科技强国的发展演进历程，总体呈现以下规律：从建设内涵来看，科学、技术、产业三者之间逐步从相对分立发展到相互促进直至融合并进，而作为科技强国标志的世界科学中心也逐步演化为世界科技创新中心；从创新主体来看，可以分为个体发现与发明、建制化科技力量主导的系统性创新、全社会协同创新3个主要阶段；从发展驱动力来看，经历了兴趣驱动为主、生产力发展与扩张为主导、可持续发展的要求，以及解决人类面临共同挑战的牵引等不同发展时期；从国家治理科技与创新的方式来看，先后采取了政府不干涉、组织制定规则与制度体系、直接介入、实施战略引导和组织实施等有针对性的策略。这其中，科学研究为技术创新^①不断提供新的思想基础和方法，是触发下一代工业革命的根源。伴随着人类科学技术的不断发展，世界科技强国的格局也处于不断发展和演进之中（图1-1）。

^① “创新”作为经济学概念由美籍奥地利经济学家约瑟夫·熊彼特于1912年提出，他认为创新是把生产要素和生产条件的新组合引入生产体系，建立一种新的生产函数，可归结为产品、技术工艺、市场、原材料、企业组织管理5种创新形式。随着时间推移，创新内涵逐渐泛化，包括了技术创新、知识创新、制度创新、理论创新等。“技术创新”一般是指由技术新构想，经过研究开发或技术组合，到获得实际应用，并产生经济、社会效益的商业化全过程的活动。技术创新已经打破了基础研究—应用研究—技术开发的线性模式，呈现非线性特征。本书中“创新”和“技术创新”的使用在不同场合具有不同的时代内涵。

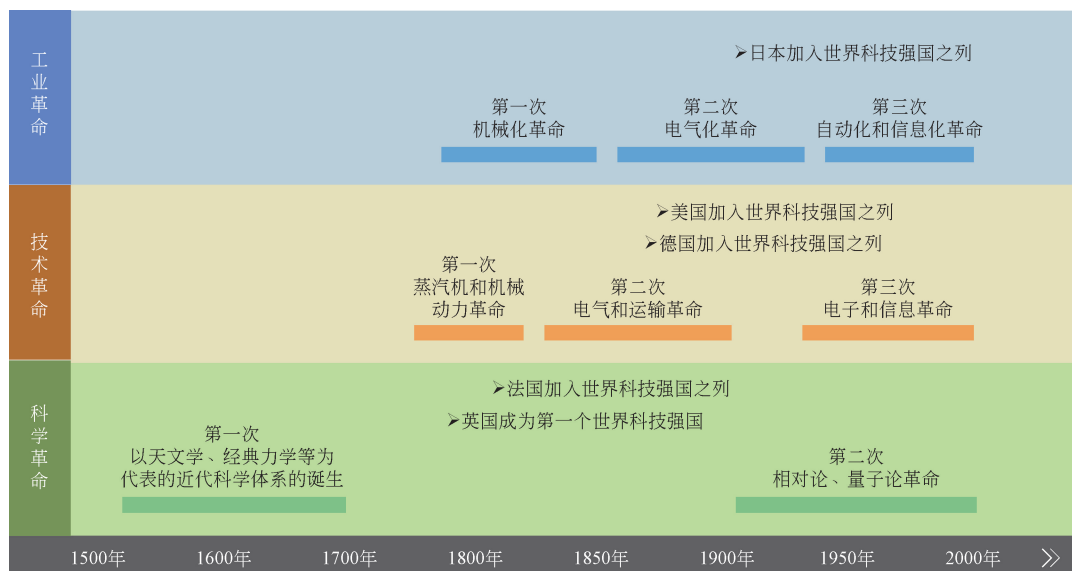


图 1-1 科技革命、工业革命与科技强国崛起的历史进程^[1]

一、16 世纪到 19 世纪中期，科学革命、技术革命、工业革命相对并行发展，英国成为第一个世界科技强国，法国继而进入科技强国之列

早在 14-15 世纪，欧洲封建社会就产生了资本主义萌芽。文艺复兴给欧洲带来了人文主义和宽容探索的社会氛围，为近代科学和技术的发展扫清了障碍，并创造了有利的条件。其后，近代唯物论和科学归纳法等兴起，激发了人类对真理、知识和科学规律的矢志探求，并以艾萨克·牛顿的《自然哲学的数学原理》为代表，奠定了近现代科学的基础和基本范式。在此过程中，17-18 世纪，英国、法国成为代表性的世界科学中心。

(一) 系统认识自然现象和规律，学科细分发展，形成多元化的科学中心

近现代科学是在革命的社会环境中诞生的，在崇尚理性和科学的人文主义思潮指导下，近代科学先驱打破神学对人类思想的束缚，不断探索自然，形成了追求和捍卫真理的科学文化。“日心说”“血液循环理论”等一系列开创性重大成果开启

了近代自然科学争取独立的序幕，极大地改变了人们对客观世界的认知。科学大师和科学成果首先聚集在文艺复兴运动的发源地——意大利，使其成为第一个世界科学中心^[2-4]。此后，科学在阐释天体、运动、生命、物质、声光电等自然现象和规律方面取得巨大成功，分析工具（数学）和观测装置不断发展，科学活动开始分门别类，逐渐分化形成天文学、物理学、化学等学科，最终形成了以实验观察、归纳总结、理论分析为主线的科学研究范式和机械唯物主义自然观。

英国的艾萨克·牛顿在伽利略·伽利莱、约翰尼斯·开普勒、克里斯第安·惠更斯等人的研究基础上，完成了经典力学体系的构建，将第一次科学革命推向高潮。法国的勒内·笛卡儿创立了解析几何学，安托万-洛朗·德·拉瓦锡推行了“化学革命”，皮埃尔-西蒙·拉普拉斯集天体力学之大成。德国的戈特弗里德·威廉·莱布尼茨独立于艾萨克·牛顿，创立了微积分理论。英国、法国、德国也由此相继成为世界科学中心^[5-8]。

世界科学中心转移现象

世界科学中心转移，又称为汤浅现象。这一概念最早出现在英国科学史学者贝尔纳的《历史上的科学》一书序言中。日本科学史学家汤浅光朝和中国科学计量学家赵红州采用计量统计方法，分析论证了16世纪到20世纪50年代之间的世界科学中心转移，并给出了定量化描述：一个国家的科学成果数量占全世界科学成果总量的25%，就可以称之为世界科学中心。成果占比超过25%所持续的时间称为科学兴隆期，平均值为80年。汤浅光朝将历史上的5次世界科学中心转移顺序划分为意大利（1540-1610年）、英国（1660-1730年）、法国（1770-1830年）、德国（1810-1920年）、美国（1920年之后）。

目前，学术界对世界科学中心转移的定量标准、数据基础、影响因素及与世界经济中心、世界制造中心等的关系等还存在一定争议，对现象的理解也在发展变化之中。

（二）集群式技术发明带来生产力的提高，英国引爆第一次工业革命

技术作为生产力的重要因素，一直伴随着人类的生产活动不断发展。18世

纪，飞梭、珍妮机等纺织机械工具的革新，拉开了近代第一次技术革命的序幕。到18世纪60年代，以蒸汽机的改良和广泛应用为标志，集群化的创新将技术革命推向高潮^[9]，形成了以蒸汽动力为核心的技术体系，机械代替手工劳动带来生产力的巨大变革和飞跃，直接引爆了第一次工业革命。动力设备的持续革新和发展也促使机械制造、采矿、冶金、交通运输等领域涌现出一系列以蒸汽为动力的加工机床和曳运、凿掘机械。特别是蒸汽机车、蒸汽船的出现，极大地提高了运输效率，拓宽了人类活动的范围，增强了各类资源的流动与调配。随着机械化进程的不断加速，英国成为世界上第一个工业强国。工业革命也伴随着生产技术的传播、先进机械的流通、工程技术人员的流动，扩展至法国、德国等欧洲国家，并开始影响北美。

这一时期的技术创新大多是渐进式的，灵感主要来源于工匠技能的积累和生产经验的总结与改进，科学理论并没有直接作为技术创新的理论指导^[10]，因此第一次技术革命和工业革命与科学发展之间的关联并不密切。例如，蒸汽机就是在生产需求的直接推动和生产实践的长期孕育下产生的。但如果没有第一次科学革命开辟的科学革新思想和形成的科学研究氛围，也许就不会有技术革命的出现。而英国正是凭借其作为第一次技术革命和工业革命的发源地的优势，迅速成为世界科技和经济强国。

（三）科学研究活动得到政府和社会的认同，逐步实现组织化、制度化、职业化

16-17世纪，科学家之间自发的学术交流和协作，催生了一批科学社团，科学活动开始组织化。意大利猗猗学院（1603年）、英国皇家学会（1662年）、法国皇家科学院（1666年）、德国柏林科学院（1700年）分别聚集了伽利略·伽利莱、艾萨克·牛顿、皮埃尔·德·费马、戈特弗里德·威廉·莱布尼茨等科学大师。虽然早期英国皇家学会并未得到政府的直接资助^[11]，但其成立标志着科学活动的价值开始受到政府重视和社会认同。1795年，法国拿破仑政府创建法兰西科学院（前身为法国皇家科学院），直接给予引导和资助，以“提高法国的科学能力并使之与政府机器嵌合起来”^[12]。科学家在法兰西科学院内进行小规模的研究，并制度化地培养学生，科研活动开始呈现职业化。

英国皇家学会

英国皇家学会 (Royal Society), 全称为伦敦皇家自然知识促进学会, 是当今世界上历史最为悠久且从未中断运行的科学学会之一。

它的前身是“无形学院”(Invisible College)。学者自发聚集到学会中, 通过茶话座谈或书信往来, 交换科研成果和想法, 并不定期举办科学讨论会。1660年11月, 著名建筑师克里斯托弗·雷恩在格雷山姆学院召开会议, 倡议建立一个新的学会, 以促进物理和数学知识的增长与发展, 并拟出了第一批41名会员名单。1662年, 学会得到英国皇室正式批准, 改名为“皇家学会”, 贯彻弗朗西斯·培根的学术思想, 以促进自然知识为宗旨。

初期, 英国皇家学会属于独立的民间科学组织, 并未得到英国皇室资助, 经费主要来源于会费和富商赞助。1850年, 英国国会第一次投票同意给予皇家学会拨款, 资助科学研究。

这一时期, 科学团体、科学院是科学研究活动的中心, 其组织形式从较为松散的社团逐步发展演变为制度化、职业化的小规模科研机构。而此时欧洲的大多数大学经院哲学气氛依然浓厚, 对自然科学研究还处于逐步接受和认同的过程中。

二、19世纪中期到20世纪上半叶, 技术创新依赖科学理论知识, 科学与技术逐渐交融, 德国、美国引领第二次工业革命, 加入世界科技强国行列

自19世纪50-60年代起, 随着电磁学、热力学、化学等研究的推进, 出现了电解、电热、电声、电光源等一系列崭新的技术领域, 促进形成了以电力技术为主导技术, 内燃机、新通信手段以及化学工业为主要标志的工业技术体系。德国、美国率先发起了以电力技术和内燃机技术为标志的第二次技术革命, 并迅速扩展到英国、法国等国家。历史资料表明, 到1900年, 美国、德国、英国、法国四国的工业产值, 已占全世界工业产值的72%^[13]。在亚洲, 日本通过“明治维新”完成资本主义改革, 跟上了第二次工业革命的步伐, 崛起并进入世界强国之列。与第一次工业革命主要限于英国、绝大多数科技成果均由英国创造所不

同，第二次工业革命具有新技术应用范围广、传播速度快等新特点，且呈现参与各国相互竞争、互促共进的局面。在此进程中，这些国家先后建立并发展形成了先进的科技创新体系，促使科学、技术、产业积极互动、交叉融合，现代科技强国的科学基础、战略牵引、发展方式、动力机制、科技治理与社会环境等日益清晰。

（一）科学理论知识成为技术创新的基础，支撑了工业革命

19世纪常被誉为科学的世纪，经典科学的各个门类相继趋于成熟，逐步建立起了严密的自然科学体系。物理学、生物学、天文与地球科学等学科理论不断发展，光学、磁学、热力学、化学等新兴学科和应用科学不断涌现。

电磁感应现象和电磁理论是人类发明电动机、发电机、电报、电话等的科学理论基础，也赋予了第二次工业革命典型的电气化特征。燃料与空气进行混合并燃烧以获取动力的概念，为发明内燃机提供了基本原理途径。元素周期表、气体化合物定律、氧化学说、碳氢分析法、有机化学等化学理论，支撑了化学工业的建立。

（二）科学成就支撑电力内燃机技术革命，德国、美国引领第二次工业革命

与第一次工业革命不同，第二次工业革命凸显了科学、技术、产业之间的重要互动关系，知识创造、技术发明、技术商业化形成了较为完整的链条。在工业化进程中，掌握先进科学技术并迅速商业化的国家，便占据了实现经济发展及国家强大的先机。

德国依靠电力、内燃机技术及化学工业的迅速崛起，建立了强大的电力、汽车、发动机、化学、钢铁、煤炭等工业体系，经济实力逐渐超越英国^{[13][14]}。

美国基于电力技术发明及电力工业体系的迅速兴起，实现了经济腾飞和赶超。1894年，美国的工业总产值跃居世界首位，占世界工业总产值的1/3。

英国虽然是第一次工业革命的发起国，但在第二次工业革命期间，却因现有工业体系的惯性和巨大的变革成本，导致缺乏技术创新动力而被美国、德国赶超。法国因受普法战争落败的影响，失去了引领第二次工业革命的历史机遇。

（三）形成了植根于工业应用的技术发明模式

在第二次工业革命中，技术发明不再单纯依靠个人兴趣，或是小范围内的技

术革新，而是直接受规模化的工业生产的牵引。这是一种将技术发明与工业生产、市场化关联起来的科技创新模式。许多技术发明家在研制新技术之前，便预测到技术的可能应用及潜在利益，并在新技术研制成功之后，通过各种途径将其商业化及规模化。在市场和利益的直接驱动下，技术发明家和企业家相互依存，乃至相互转换，使得人类的技术发明与创新达到了巅峰。

1875年，亚历山大·贝尔发明了第一部可实用的电话，1877年建立贝尔电话公司，并于1885年成立了一个专门从事长途业务的独立公司——美国电话和电报公司（AT & T）。1879年，托马斯·爱迪生研制出世界上第一只可实用的白炽电灯泡，3年后在纽约建立了世界上第一座正规的、商业化的大型火力发电站以解决电器工作的电力来源问题，并在同年与汤姆-休斯顿电气公司合并，成立了通用电器公司。此后，为克服直流供电法电压太低、电力输送距离短的缺陷，1887年，尼古拉·特斯拉发明了交流发电机和交流电运输方式，并于1888年将专利转让给可生产交流发电机、变压器等设备的西屋电气公司。

三、20世纪以来，科学理论和技术创新加速融合，形成了科技—产业—制度创新的互动发展机制，新技术革命催生“一超多强”的世界科技强国新格局

20世纪，第二次科学革命展现出广泛而深刻的渗透力，带动第三次工业革命不断发展。尤其是20世纪60年代至今，是人类社会发生重大变革、科学发现与技术突破加速发展的全新时期，全球竞争格局经历了“冷战”的强势对立和消亡、“全球一体化”进程升温、发展中国家快速崛起的历史进程。其中，国家整体科技战略的成败和全社会对科技创新的参与程度，逐步成为科技强国建设和制胜的关键，在此过程中，基本形成了美国整体领先、多个国家实力不俗的“一超多强”世界科技强国新格局。

（一）基础科学研究成果群体性爆发，全面拓展了人类对自然的认知范围，提高了认知深度

20世纪初，相对论与量子力学的建立打破了绝对时空、连续性、确定性等基本前提和限制，使物理学理论和整个自然科学体系都发生了重大变革，开启了第

二次科学革命；同时，催生了新的科学范式和科学研究方法论，带动了电子显微镜、同步辐射光源、大型天文望远镜等一大批新科学研究工具的产生。这些都为世界科学研究与技术创新带来了新的繁荣局面。物质结构、宇宙起源、生命演化、脑科学与认知科学等基础科学领域的研究不断深化，并取得巨大进步。

基础科学的突破有力推动了技术创新，并引发产业变革。DNA 双螺旋结构模型的提出打开了人类认识生命遗传规律的大门，使人类社会进入了分子生物学时代，加之生物工程的兴起，引发了医药、农业、健康研究的变革与繁荣。电子管、晶体管、超大规模集成电路、大型计算机、个人计算机、智能终端、互联网等的发明，有力推动了信息技术产业的蓬勃兴起和发展升级，将人类社会带入数字化、信息化时代。此外，原子能、微电子与通信技术、空间科技等众多领域实现了重大科学技术突破，催生了体量巨大的新兴产业。这些科技成就引发了规模空前的第三次工业革命。

(二) 以美国为代表的科技强国汇集全球科学知识和技术创新成果，掀起全球性高技术革命浪潮

在基础科学发现和社会需求的驱动下，世界科技强国大力推动，促使技术发明和革新呈现爆发式、群体性增长，造就了以电子技术和信息技术为核心的第三次工业革命。世界科技强国的经济实力进一步增强，有利于其保持并巩固在全球的领先地位。社会全面而深刻的信息化、数字化和智能化及其与新生生物技术的逐渐融合，可能触发第四次工业革命。

美国作为新技术革命的主要倡导者、推动者，在航空航天、信息技术、生命科学与技术、海洋科技、新材料研究与开发、先进制造和智能制造等方面全方位突破，整体创新优势显著。特别是推动了半导体产业、大型计算机产业、个人计算机产业、软件产业、数据库产业、信息内容产业、通信产业等新兴产业的发展，并通过实施“信息高速公路计划”和大数据发展计划，推广和应用互联网。这造就了 IBM、仙童、英特尔、微软、苹果、思科、亚马逊、谷歌、脸书、特斯拉、优步等一代又一代知名创新型企业，给美国带来一轮又一轮经济繁荣。

法国在航空航天、核能、汽车与精密机械等领域取得关键进展，在世界舞台占据一席之地。日本在半导体与集成电路、光电子、核能、高铁、汽车、机器人等领域，也实现了技术整体突破。德国在生命科学、材料制造、重离子等领域的