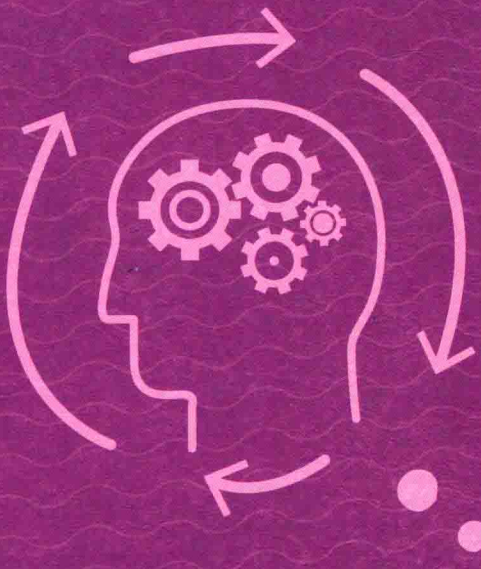
北京开放大学科学教育丛书 3



技术创新简史



戴吾三／著

学出版社

A Brief History of Technology Innovation

北京开放大学科学教育丛书

1 《物质深处——粒子物理学的摄人之美》

2 《一个令人敬畏的星球——地球究竟是什么?》

3 《技术创新简史》

4 《科学发现历史——科技考古的故事》

5 《运动与健康》

6 《常见慢性病的自我管理》

清华大学出版社数字出版网站
WQBook 文泉阅读
www.wqbook.com

原点阅读
清华大学出版社

ISBN 978-7-302-45188-4
9 787302 451884 >
定价：55.00元

北京开放大学科学教育丛书



技术创新简史

戴吾三／著

清华大学出版社
北京

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989　13701121933

图书在版编目(CIP)数据

技术创新简史/戴吾三著. —北京：清华大学出版社，2016
(北京开放大学科学教育丛书)
ISBN 978-7-302-45188-4

Ⅰ. ①技… Ⅱ. ①戴… Ⅲ. ①技术革新—技术史—世界 Ⅳ. ①N091

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 239571 号

责任编辑：宋成斌
封面设计：于　芳
责任校对：王淑云
责任印制：刘海龙

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　邮　　编：100084
社 总 机：010-62770175　　邮　　购：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：三河市中晟雅豪印务有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：165mm×235mm　　印　　张：18　　字　　数：292 千字
版　　次：2016 年 11 第 1 版　　印　　次：2016 年 11 月第1次印刷
定　　价：55.00 元

产品编号：061697-01

“北京开放大学科学教育丛书”编委会

总主编（编委会主任）：张纪勇

执 行 主 编：王宁宁

顾　　问：王渝生

编　委（按姓氏笔画排序）：

丁　照　马玉海　王　涛　王宁宁

王渝生　后晓荣　宋成斌　张纪勇

张恒志　胡晓松　曹煜波　戴吾三





丛书序

北京开放大学以培养有持续职业发展能力、有追求更高生活品质能力的现代公民为目标，积极致力于推进通识教育工程，提高广大学习者的整体文化素质，促进首都市民终身教育体系构建和学习型城市建设，努力实现“人文北京、科技北京、绿色北京”的发展战略。为此编撰出版《北京开放大学科学教育丛书》，旨在整合优质资源，发挥开放大学优势，把科学教育书籍送到百姓身边，引导学习者广泛阅读自然科学学科教育读本，把握科学本质，提高科学素养，让科学精神和人文精神在现代文明中交融贯通。

北京开放大学已走过 55 年的办学历程，2012 年教育部批复北京广播电视大学更名为北京开放大学，这是在我国高等教育改革发展的宏观背景下，教育部、北京市人民政府落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要 2010—2020》“办好开放大学”、《北京市中长期教育改革和发展规划纲要 2010—2020》要求，以新的教育思想和机制建设的一所新型高等学校。当下北京开放大学在传承已有优势的基础上，涵养了“求真务实、开放包容、善于团结、勇争一流”的新大学精神。

今年年初，在丛书编委研讨会上，张纪勇副校长向校外专家和各位编委介绍了学校的教育理念、办学沿革等，王宁宁教授说明了丛书建设与学校通识教育相结合的需求以及联合清华大学出版社共同策划出版这套丛书的目的和意义。之后编委会多次以不同形式进行研讨，积极组织各领域专家学者实施撰写与修改稿件工作。

这套丛书是以普通学习者为主要对象的科学教育读本，也是对读者很好的科普书，希望读者有机会在科学、创新和自我教育方面开拓眼界，更多地接触一些有科学内涵、新鲜向上、创新进取、有益身心健康的科学素质与科学教育读物。从选题的材料看，这次策划并列选的读物是 6 本，涵盖了对宏观世界和微观世界的认识、科学历史和技术创新、追求健康的通识教育这三方面的内容。

在认识微观世界方面，我们选取了一本译作《物质深处——粒子物理学的摄人之美》。原作（*Deep Down Things*：*The Breathtaking Beauty of Particle Physics*，Bruce A. Schumm，美国）在美国颇受好评。本书译者潘士先前曾翻译科普著作，反响较佳。这是一本粒子物理学的普及读物，内容丰富多彩。粒子物理学是一门深奥宏伟的科学，它描述我们迄今能够探测的最微细的物理世界。本书从头讲述粒子物理学标准模型发展的故事。这真是一个曲折费解、引人入胜，有时甚至惊心动魄的故事。本书的主要内容包括自然力、相对论量子场论、基本粒子、数学模式、内

部对称空间、规范理论、标准模型和希格斯波色子。在写作本书时(2004),标准模型的正确性尚悬于希格斯波色子的发现。果然,2012 年 7 月 4 日,CERN 的 LHC 捕获了这个“上帝的粒子”,标准模型成为现今粒子物理学的尖端。本书最后带领读者进入一个奇妙的未知世界——对粒子物理学未来的一些猜测,最有趣的是把所有自然力统一起来的所谓“大一统问题”。这可是爱因斯坦终其一生没有解决的问题,一种叫做超对称的概念框架似乎是这方面最有希望的进展,让我们拭目以待吧。

在认识宏观世界方面,我们选取了《一个令人敬畏的星球——地球究竟是什么?》。作者丁照是一位给清华大学本科生开设科学文化教育的选修课教师,这门课程的名字是“理解自然”,该课程迄今已经连续开设了九年。这次的这本原创科普读物的内容主要取自作者的这门课程内容。它是通过两个角色的对话,论述文明诞生与发展所需的各种自然条件的极端复杂性和敏感性,说明地球演化过程的不可重复性和唯一性。本书充满了探索和分析,通过对生命本质的探索和理解,说明地球演化与生命发育的共同点,从另一个角度提出了对地球文明演化的认识,以进一步激发人们对地球和自然的敬畏之心。作者还论述了人类的基本弱点和地球环境的未来趋势,说明人类必将战胜各种挑战,迎来光辉的未来,旨在促进人与自然的和谐相处,促进人类的自尊自爱,促进人们珍惜宇宙中唯一的文明星球。事实上,本书也恰好实践了人类通过对各种自然奥秘的无尽探索,一步一步地推动文明进步的过程。

关于科学与历史方面,后晓荣、王涛所著的《科学发现历史——科技考古的故事》也是一本原创的科学文化作品。后晓荣和王涛两位老师都是首都师范大学历史学院副教授,主要从事考古与博物馆学专业的教学和科研工作。两位老师的科普创作并非始于今日,很早两位老师就合作创作并出版过同名的著作,较早地进行公众考古教育工作。这本书将科学和历史结合,以考古案例的方式,讲述各种科技手段和方法在考古中的应用,以及所取得的成绩。例如物探考古、水下考古、沙漠考古、聚落考古、环境考古、遥感考古、数字考古、DNA 分析考古、碳-14 测年技术等考古知识。通过这些案例,准确、清晰地向读者传递科技考古的方法,以及科技考古改变我们对历史考古的认知。这样的科学与历史考古结合的案例对学生们认识科学、崇尚科学应该会有潜移默化的作用。

除了科学,技术创新也是我们这个时代发展的主旋律。国家把技术创新提到

战略高度，企业是技术创新的主体。在这个背景下，需要我们的学习者尽可能早地了解技术创新究竟是什么，它是如何发生的，创新何以变得越来越重要，创新最终往往是在哪些方面产生的突破。

在这方面，我们挑选了戴吾三教授的《技术创新简史》。戴教授是清华大学主讲《中国科技史》、《自然辩证法》、《技术与产业史》等课程的老师，出版过《考工记图说》、《成语中的古代科技》、《影响世界的发明专利》、《历史上的科学名著》、《技术史（第3卷）》（合译）、《手艺中国》等。作为主编之一，由清华大学出版的《科学技术史二十一讲》2008年获清华大学精品教材、2009年获北京市优秀教材一等奖。这次，戴教授专门为本套丛书创作了一本原创普及类读物《技术创新简史》。这是一部以技术创新为主线的简明历史书，它以较为系统的形式梳理了人类的技术创新历程，呈现了18世纪以来工业革命的规律和重大领域的技术变革，突出因技术创新而改变世界的发明家和著名企业，总结技术创新的历史经验。本书的定位是本科学习者大学期间的辅助教材，因此对北京开放大学的通识教育课程来说非常契合。

此外，与北京开放大学通识教育课程结合，在教育方面，这套丛书中还选编了两本与健康有关的课程读本。目的是突出“以人为本”，追求健康、自信、快乐，有助于学习者形成积极进取的人生观。

健康教育的两本书是张恒志教授、李进副院长和马玉海副教授等几位老师主编完成的，这两本书是北京开放大学健康教育通识课程的选修教材。一本是《常见慢性病的自我管理》，另一本是《运动与健康》。书的主编都是长期从事医学教育和科研工作的学者和主任医师，他们对常见慢性病的发生、发展和预防管理，对运动与健康的专题都有很深刻的认识。目前，人们生活节奏快，竞争激烈，整天忙于工作和学习，日常进行运动的机会越来越少，很多人由于缺少运动而导致身体处于亚健康状态，各种疾病日益显现出来。因此，人们对身体健康越来越重视，越来越主张多运动，运动正逐渐成为人们日常生活的一个有机组成部分，运动的作用是任何其他方法和药物都无法替代的。而运动在预防疾病和改善生活方式方面也起着重要的作用。这两本书的宗旨就是希望人们积极参与运动锻炼和做好慢性病的预防和自我管理，鼓励人们立刻行动起来，帮助人们分析运动项目以及为人们如何选择适合自己的运动项目提供专业的指导信息，还教会人们如何为自己设计一套运动方案，所以不仅对学习者，而且对广大读者都非常实用。

整套丛书的编辑撰写力求体现学术性、普及性、实用性相结合的特点，力争做到既有丰富科学教育内涵，又能联系社会实践和人民生活，还要深入浅出、简明好读。从科学教育领域上看，目前这套丛书还可以进一步拓展和深入挖掘，科学、创新和教育的主题还不够丰厚和全面，个别地方也有研究和撰写单薄之处，但我想说北京开放大学在为提高首都市民综合素质教育方面做出积极的努力是值得肯定的；这套丛书对于促进北京开放大学的文化内涵建设，保持与科学教育前沿的积极互动和交流学习，通过知名学者领衔编著丛书，带动学校教师和研究人员提高学术研究能力和普及科学教育能力，是有积极意义的；对通过科学丛书，帮助学习者和市民“在有限的时间里获取更有价值的知识”，帮助读者打通知识壁垒，实现科学精神和人文精神的结合是可嘉的。北京开放大学的科学教育丛书只是一个新的起点，我衷心希望这套丛书可以做成开放式的，今后可以与时俱进，不断补充和组织开发更多具有时代需要和学习者需求的新图书。

我们期待着学习者、读者与同行们的反馈与指正，希望这套丛书能为开放大学的学习者打开科学之门，也希望广大读者喜欢。

国家教育咨询委员会委员
中国科学院理学博士、博导　　王渝生
中国科技馆研究员、原馆长

2015 年 8 月



前言

这是一个前所未有的创新时代，神州大地释放出无数的创意和激情，涌动着“大众创业、万众创新”的热潮。

我们何以走到了今天？就像江河是由溪流汇聚，创新大潮追溯也可见其涓涓。回顾历史的经验（包括教训），有助于我们了解历史上创新是如何形成，如何积聚而发挥作用，如何不断刷新世界的面貌。

宽泛地说创新，可以追溯到两千多年前（那是古希腊时期、中国先秦时期），早期局部、离散的创新活动推动了不同地域的人类文明进步。然而不可否认，早期的创新活动缺乏整体的理性自觉，缺乏制度保障等若干要素，致使早期的文明或是衰亡，或虽然延续但无法走出循环的怪圈。

及至西方近代科学革命兴起，加快了科学知识的传播和交流，城市经济发展、航海贸易和公司、专利权等制度出现，采矿冶炼之需要，都为蒸汽机的发明和应用准备了必要条件，自此，创新才成为不可阻挡的趋势。

在人类各种创新活动中，技术创新是最核心的部分。技术创新催生了新产业，开辟了新市场，制造出丰富的物品；技术创新推动经济产生跃进式增长，影响了人类的生活和行为方式。技术创新也为科学研究提供有力的仪器设备，促使科学家更深入地认识世界。

本书聚焦于技术创新的历史。以蒸汽机发明为理论框架的起点，以简明的形式呈现 18 世纪以来时代演变的特征和重大领域的技术变革，划分蒸汽时代、电力时代、电子时代和计算机时代四个部分，分别描述引领时代的技术创新，引领产业（行业）的技术创新，以及导致产业细分的技术创新和制度创新，同时也重点介绍有影响的发明家、企业家，以及因技术创新而兴盛的知名企业和工业实验室。

从技术创新的历史中，我们可以了解昨天的发明家和企业家，那些所谓成功的故事，也是善于动脑筋的故事，战胜逆境的故事，坚持不懈的故事，汲取这些故事的养料，会激励我们创意的灵感，面对创新的挑战。

从技术创新的历史中，我们可以看到一波又一波的浪潮，以荡涤之势冲击着问世不久的发明产品。在令人目不暇接的变化中，有无技术创新的周期性可循？有无社会、经济的演变规律可把握？这促使我们思考。

更让我们思考的，在前几波的创新浪潮中，中国人是缺席者。深层的问题有：曾以诸多发明和发现领先于世界的中国，为什么在近代落后了？对于这样一个涉

及多方面因素的复杂问题，至今并未有统一、明确的答案。结合本书的内容，是否可以说，中国近代没有建立公司、专利制度，没有激励创新的文化氛围，缺乏市场意识，轻视科学技术教育，就只能滞留于传统社会？

今天，崛起的中国高度重视科技创新，在多个重大领域已从创新的跟跑者成为引领者。相信过不了多少年，续写的技术创新历史中一定会增添很多中国的故事。

戴吾三

2016 年 8 月



目录

第一部分　蒸汽时代

第一章　蒸汽动力革命 …… 3

一、早期的蒸汽机 …… 4

二、瓦特对蒸汽机的贡献 …… 6

三、瓦特的专利期满之后 …… 9

四、蒸汽机走向世界 …… 10

第二章　纺织技术变革 …… 13

一、棉纺织业的兴起 …… 14

二、纺织技术四大发明 …… 15

三、大洋彼岸轧棉机 …… 19

第三章　冶铁技术创新 …… 21

一、焦炭取代木炭 …… 22

二、生铁转化熟铁 …… 24

三、热鼓风技术 …… 25

第四章　制造工具创新 …… 27

一、莫兹利与车床 …… 28

二、内史密斯与蒸汽锤 …… 29

三、惠特沃思与机床 …… 30

第五章　蒸汽机应用创新：火车 …… 32

一、火车的发明 …… 33

二、火车的重要组成——气闸 …… 35

三、铁路桥梁和隧道技术 …… 36

四、铁路公司与管理制度 …… 38

第六章　蒸汽机应用创新：轮船 …… 40

一、轮船的发明 …… 41

二、螺旋桨取代桨轮 …… 42

三、从木船到铁船 …… 44

第七章　炼钢、化工创新 …… 46
一、贝塞麦转炉炼钢 …… 47
二、西门子平炉炼钢 …… 48
三、不锈钢 …… 50
四、碱的工业化生产 …… 51
五、珀金与苯胺紫 …… 53
六、诺贝尔与炸药 …… 54

第二部分　电气时代

第八章　电磁学发现与发明 …… 59
一、从电堆到电池 …… 60
二、电流的磁效应发现 …… 61
三、电磁感应的发现 …… 63
四、发电机与电动机 …… 64
五、变压器与远距离输电 …… 67
第九章　电气照明创新 …… 69
一、弧光灯 …… 70
二、爱迪生与白炽灯 …… 71
三、直流电与交流电之战 …… 73
四、荧光灯 …… 75
第十章　电报、电话与无线电 …… 78
一、两种电报 …… 79
二、电话的发明 …… 82
三、电话交换机 …… 84
四、无线电通信 …… 85
第十一章　电技术创新应用 …… 88
一、电解铝 …… 89
二、电解炼铜 …… 90
三、电弧焊 …… 92

四、从蒸汽梯到电梯 …… 93
第十二章　内燃机革命 …… 95
一、内燃机的先驱 …… 96
二、汽油发动机 …… 98
三、柴油发动机 …… 99
第十三章　内燃机应用创新：汽车 …… 101
一、汽车的发明 …… 102
二、汽车启动器 …… 104
三、汽车轮胎 …… 105
四、福特生产线 …… 107
第十四章　内燃机应用创新：飞机 …… 109
一、飞机的发明 …… 110
二、机翼改进 …… 111
三、直升机 …… 113
四、喷气发动机 …… 115
第十五章　化学工业创新 …… 117
一、合成氨 …… 118
二、石油裂化 …… 120
三、四乙铅 …… 121
四、氟利昂 …… 123

第三部分　电子时代

第十六章　电子元器件革命 …… 127
一、电子管的发明 …… 128
二、晶体管的发明 …… 129
三、集成电路 …… 132
四、微处理器 …… 134
五、半导体工业 …… 136

第十七章　电子技术创新 …… 138
一、无线电广播 …… 139
二、电视：从机械式到电子式 …… 141
三、彩色电视系统 …… 143
四、电子显微镜 …… 146
五、雷达研发 …… 148
第十八章　消费电子兴起 …… 150
一、磁带录音机 …… 151
二、随身听 …… 152
三、计算器 …… 154
四、录像机 …… 156
五、“傻瓜”相机 …… 157
第十九章　合成材料研发 …… 159
一、酚醛树脂 …… 160
二、合成橡胶 …… 161
三、人造革/合成革 …… 163
四、玻璃纤维 …… 164
五、杜邦与尼龙 …… 165
第二十章　空间技术创新 …… 167
一、火箭研发 …… 168
二、第一颗人造卫星 …… 170
三、阿波罗登月计划 …… 171
四、地球同步卫星 …… 172
第二十一章　医药技术研发 …… 175
一、胰岛素：发现与发明 …… 176
二、维生素：发现与发明 …… 178
三、青霉素：发现与发明 …… 179
四、避孕药研发 …… 181

第二十二章　生活技术创新 …… 184
一、冰箱 …… 185
二、洗衣机 …… 186
三、空调机 …… 188
四、微波炉 …… 190

第四部分　计算机时代

第二十三章　电子计算机兴起 …… 195
一、爱尼亚克诞生 …… 196
二、电子计算机结构 …… 198
三、电子计算机语言 …… 199
第二十四章　计算机技术变革 …… 201
一、鼠标 …… 202
二、硬盘 …… 203
三、软件 …… 205
四、笔记本电脑 …… 206
第二十五章　通信技术创新 …… 208
一、光纤 …… 209
二、手机 …… 211
三、全球定位系统 …… 212
四、互联网 …… 214
五、电子邮件 …… 216
六、搜索引擎 …… 217
第二十六章　机械、光电创新 …… 219
一、数控机床 …… 220
二、机器人 …… 221
三、CCD …… 223
四、LED …… 225
五、激光器 …… 226

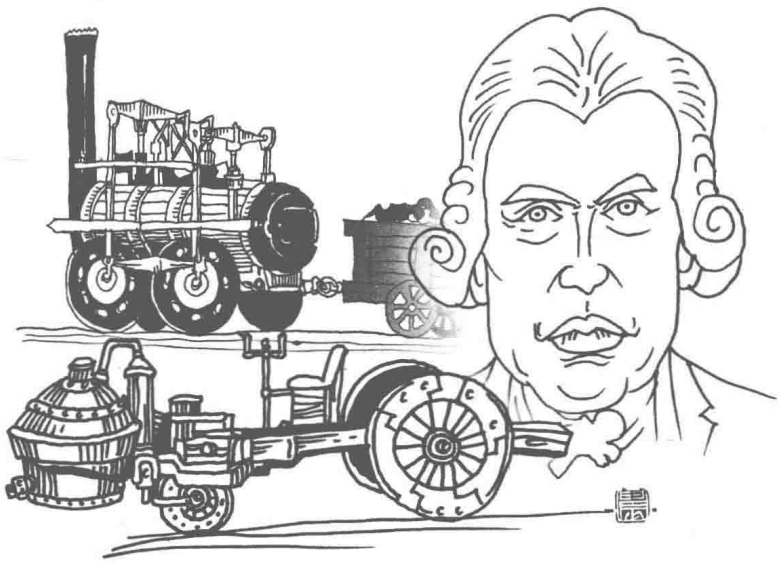
六、扫描隧道显微镜 …… 228
第二十七章　印刷出版革命 …… 230
一、复印机 …… 231
二、打印机 …… 233
三、汉字激光照排 …… 234
四、桌面出版革命 …… 236
第二十八章　生物医学创新 …… 239
一、B 超 …… 240
二、CT …… 242
三、伽马刀 …… 243
四、核磁共振成像 …… 245
五、生物芯片 …… 246
六、PCR 技术 …… 248
第二十九章　新能源、新材料 …… 250
一、核能发电 …… 251
二、太阳能 …… 253
三、燃料电池 …… 254
四、稀土永磁材料 …… 255
五、液晶 …… 257
六、导电塑料 …… 259
七、碳纤维 …… 260
第三十章　文化技术创新 …… 262
一、DVD …… 263
二、MP3 …… 264
三、电子游戏机 …… 266
四、数码相机 …… 268
参考文献 …… 270
后记 …… 271



第一部分
蒸汽时代

自 18 世纪中叶，欧洲发生了以蒸汽机的发明和广泛应用为标志的重大技术创新（也称第一次技术革命），蒸汽动力突破了人力、畜力和水力、风力的局限；新机器使用推动了从工场手工业到工厂机械化的转变。这次重大技术创新首先发生在英国，主要包括蒸汽机动力革命、棉纺织技术变革、焦煤冶炼技术改良。这些重大技术创新使英国在采掘、冶金、纺织、机器制造和运输领域建立起新的工业体系。其后，法、德等欧洲国家和大洋彼岸的美国陆续仿效英国，在 19 世纪上半叶开启了各自的工业化进程。

第一章
蒸汽动力革命



绘画：王晨

蒸汽机发明于17世纪末，此后百年中不断改进，臻于成熟，先是在采矿业应用，而后进入冶炼、纺织、机器制造和交通运输等需要动力的行业和领域，突破以往水力、风力、畜力、人力的局限，推动了工场手工业向工厂机器生产方式的转变。

一、早期的蒸汽机

蒸汽机最早发明于英国。17世纪下半叶，英国的采煤业发展很快，为排出井下积水，需要大量的马匹牵引提升，费用很高，因而，寻求廉价便利的抽水动力便成为突出问题。在伊丽莎白一世(Elizabeth Ⅰ)、詹姆士一世(James Ⅰ)和查理一世(Charles Ⅰ)时期授予的全部专利中，几乎七分之一都与矿井抽水有关，可见这一问题受关注的程度。正是特定的问题和需求，推动了从一般抽水设备到蒸汽机的研究。

早期发明的蒸汽机主要有萨弗里蒸汽机、纽可门蒸汽机，而纽可门蒸汽机对瓦特的革新有直接影响。

1. 萨弗里蒸汽机

准确地说，萨弗里蒸汽机是一种使用火力的抽水设备。在早期研制抽水设备的人当中，以托马斯·萨弗里(Thomas Savery)的工作最为突出，他率先制成实用的机器，并获得专利权。

萨弗里是英国皇家工程部队的军事工程师，对力学、数学和自然哲学都有浓厚的兴趣，他在实验和奇妙机械的发明方面作了很多努力。

1698年7月25日，萨弗里就矿井火力抽水设备申请并获得了一项专利。萨弗里所依据的原理是，在一个密闭的容器中，由于蒸汽的冷凝，能使水位升高到大气压力所允许的最大高度；保留住水，同时对它再施加允许的蒸汽压力，促使水位升得更高。1699年，萨弗里用一个活动模型在皇家学会做了演示，给与会者留下深刻的印象。他还把自己绘制的机器图呈给皇家学会，后来刊登在学会的《哲学学报》上。

萨弗里获得的专利证书的扉页上这样写道：

> 授予托马斯·萨弗里先生，他独自做出了一项新发明，利用火的推动力来提升水或者驱动各类机械。它可用于矿井排水和城镇供水，以及在没有水力

和风力资源的地方用于驱动各种磨机。专利有效期为十四年，条款如常。

后来，萨弗里又设计了一种更有效的蒸汽机，采用两只容器，一只在充水时，另一只在排水，用于解决科尼什矿井的积水问题。萨弗里还专门写了一本小册子，书名是《矿工之友——火力提水引擎，说明它在矿井中的安装方法以及它适合的其他用途》，这本小册子曾在矿业的股东中流传。

萨弗里的蒸汽机主要用来为城镇或私人住宅供水，也为一些矿井采用，但为数不多，因为在很深的矿井中，要把相当多的水提升到一定的高度，所需的蒸汽压力是很大的，这样就有锅炉爆炸的危险。在矿井中，这种机器必须置于 10 米深的地方，如果井下水泛滥，就会把机器“淹没”。此外，燃料的浪费也很严重，锅炉的受热面太小，其冷凝方法造成的浪费更严重。萨弗里蒸汽机的缺点后来都被克服，它最终被纽可门、瓦特的蒸汽机完全取代。

2. 纽可门蒸汽机

继萨弗里之后，由托马斯·纽可门(Thomas Newcomen)发明的蒸汽机成功地解决了深矿井的排水问题，在 18 世纪 20～80 年代，纽可门蒸汽机在英国得到大量的应用。甚至直到 18 世纪末，纽可门蒸汽机仍占据着大半壁江山，同问世不久的瓦特蒸汽机相抗衡。

纽可门出生于英国的达特茅斯，年轻时当过学徒，后来自己做五金生意，他带了个助手叫约翰·柯雷(John Calley)，两人常去一些矿区跑生意，因而熟悉矿井的排水问题。出于业务需要，纽可门和柯雷常做一些铜、铁、铅的金属活，这恰好成为制造蒸汽机的必要技术条件。

纽可门起初并不知道萨弗里的蒸汽机，而是独立进行研究，前后花了 10 年才取得成功。费时之长的原因之一是遇到“比例效应”的麻烦。与萨弗里的无活塞式机不同，纽可门的蒸汽机有活塞、汽缸、平衡横梁等重要部件。纽可门为慎重起见，先试图制作小模型(在小作坊里，无法直接制作和安装大的机器)。他没有任何理论指导，开始也不懂机器尺寸缩小，摩擦和热损失就会增大，以致影响机器的运行效率。当效率低到一定值时，“比例效应”就会使模型无法工作。

在克服了多种困难后，1710 年，纽可门成功制造出可实际运行的蒸汽机。不过这时他发现，自己的发明之路已被萨弗里的主专利权限制住了，因为萨弗里的专利涵

盖了任何一种应用“火的推动力”的蒸汽机。后来纽可门与萨弗里协商，得到妥善解决。部分原因是，萨弗里知道自己的蒸汽机没有前途，而纽可门的蒸汽机明显优越。

纽可门蒸汽机的结构及工作原理是：锅炉及其附属装置如同一个大的酿造啤酒用的铜制容器，产生的蒸汽近为大气压力。当蒸汽进入锅炉上方的汽缸底部时，主要由悬挂在杠杆另一端的泵杆的重量作用，拉动活塞升到顶部。蒸汽通过排泄管和水密封阀，将已经进入汽缸中的所有空气和水推出，然后关闭与锅炉的连接，喷射冷水，使蒸汽冷凝。所产生的真空致使大气压推动活塞回到汽缸底部，由此提升了泵杆。在进入更多蒸汽以后，运转周期再次开始。

到 1725 年，纽可门蒸汽机已全面用于矿山抽水。与萨弗里蒸汽机相比，纽可门蒸汽机的效率提高了 5 倍，安全实用，其排水能力可与 50 匹马的力量相当，而费用只有使用马匹的六分之一。纽可门蒸汽机先是在英国推广，后来传入欧洲其他国家。1733 年，纽可门的专利权期满，使蒸汽机的应用扩散加快，因为它能满足一定的需要而且没有竞争者。在英格兰北部的深层煤田，那里的许多矿井在 17 世纪末已被水淹没，蒸汽机可使这些矿井起死回生。随着纽可门蒸汽机数量的增加，其机器尺寸也在增大，不过基本结构却没多大改变。

纽可门蒸汽机存在明显局限，它的体积庞大，只能在矿山工作；汽缸的气密性差，效能差，耗费燃料。最终，纽可门蒸汽机被瓦特蒸汽机取代。

二、瓦特对蒸汽机的贡献

蒸汽机的重大改进由英国发明家詹姆斯·瓦特(James Watt)完成，由此使蒸汽机技术臻于成熟，不断扩大用途，掀起了英国工业革命的高潮。

1736 年 1 月 19 日，瓦特出生于苏格兰小城格里诺克，瓦特家族在当地颇有影响，亲戚和朋友中有不少有身份的人。瓦特的祖父创办学校，并担任数学教师，后来出任地区长老会成员，负责当地宗教仪式及民众道德礼仪教育。瓦特的父亲是位造船师，手艺精湛，在当地很受人尊敬，后来由于顾客太多，自己忙不过来，便在自家后院开了一个作坊，长期雇用一些工人，最多时有 14 人。瓦特的母亲性情温和，待人友善，勤于家务，对瓦特有潜移默化的影响。

瓦特受家庭影响，自幼喜欢动手，13 岁时他就在父亲的作坊里制作了一些机

械模型。18岁时，他到伦敦学习仪器制造技术。1757年，瓦特受格拉斯哥大学聘用，成为仪器维修工。1763年，瓦特接手修理一个纽可门蒸汽机模型，由此接触蒸汽机，逐步熟悉了结构和原理。在请教了格拉斯哥大学化学教授约瑟夫·布莱克(Joseph Black)之后，瓦特认识到，汽缸交替加热和冷却严重浪费蒸汽的“潜热”，这正是造成燃料损耗和工作效率低的原因。为此瓦特想出用一个分离冷凝器，把汽缸已做功的蒸汽引到凝汽器里凝结，避免汽缸和活塞反复加热，不仅可以加快活塞下降，还可以节约燃料。不过，要将模型制成样机，既需资金又要设备，幸好由布莱克介绍，瓦特认识了企业家约翰·罗巴克(John Roebuck)，得到资金支持，使研制得以进展。罗巴克建议申请专利，1769年1月5日，瓦特获得他的第一项蒸汽机专利——“在火力发动机中减少蒸汽和燃料消耗的新方法”(英国专利号913)。该专利的实质要点是采用分离冷凝器。瓦特向罗巴克承诺，等发明成果将来获利之后，将利润额的三分之二支付给他作为回报。不料由于材料与工艺的缺陷，初期研制的蒸汽机不能正常使用。当时，由于缺乏精密镗床，瓦特的蒸汽机缸体是用锡紧贴在硬木块上锻打而成的，制成的汽缸内壁粗糙，直径误差高达3/8英寸[①]，活塞与缸体的间隙需以毡或油布等物填充，致使漏气严重。

1773年，罗巴克因经营不利陷于破产，蒸汽机研制被迫停顿。同年8月，制造商马修·博尔顿(Matthew Boulton)看好瓦特蒸汽机的前途，买下了罗巴克转让的利润分享权利，尽管当时它被多数人视为分文不值。

博尔顿有创新魄力也精通商业运作，他来自当时英国机械制造的中心伯明翰，那里有熟练的技术工人和最先进的设备，而这正是瓦特所需要的。博尔顿的索霍工厂坐落在伯明翰，工厂是他从父亲那里继承来的，最初规模很小，博尔顿靠着精明强干，不久就将其发展成为一家大企业。

1774年，瓦特迁居伯明翰，把索霍工厂作为蒸汽机的试验和制造基地。在瓦特和工人的努力下，蒸汽机很快就实现了正常运转。特别是由机械商威尔金森(Wilkinson)发明的镗床鼎力相助，可以镗制出吻合性好的汽缸和活塞。

威尔金森出生于一个工业世家，后来子承父业，经营炼铁厂，由于经常接受锻造火炮的订单，他熟悉当时的镗孔工具和方法。为了适应加工汽缸的需要，威尔金

① 1英寸=2.54厘米=0.0254米。

森对传统的镗床进行改进。1775 年，威尔金森为瓦特的蒸汽机镗制出一台汽缸，其良好的气密性确保了所要求的真空。据博尔顿的描述，威尔金森加工的 50 英寸直径的汽缸，其误差不到旧英币 1 先令[①]的厚度。由此，瓦特的蒸汽机试验因汽缸性能的提高而获成功。

不过还有问题，再有 8 年瓦特的 913 号专利到期失效。瓦特意识到这将影响他获得足够利润，在博尔顿的帮助下，瓦特向议会申请延长专利期限，1775 年 5 月获准，延长 1 到 1800 年期满。

瓦特早期制造的蒸汽机是直接作用式的，为适应更多的用途，也为阻挡住其他的竞争对手，1781 年 10 月 25 日，瓦特和博尔顿为“太阳和行星”齿轮联动装置申请专利（英国专利号 1306），这是瓦特有关蒸汽机的第二项专利，是蒸汽机革新过程中取得的最重要突破之一，这套装置的实用性非常强，可以连接到多种机械设备上，以适应需要旋转运动的工作场合。

1782 年，瓦特设计的双作用式蒸汽机使他获得了他的第三项专利（英国专利号 1321），新设计使蒸汽交替工作于活塞两侧，使活塞往返运动时都产生动力。1783 年，第一台双作用、旋转式的试验性蒸汽机建成，被用来带动小型谷物碾磨机。由于未能妥善解决活塞杆与横梁扇形轮之间的刚性连接问题，这台新机器并不实用。针对这一问题，1784 年，瓦特设计了三杆平行传动连杆机构，彻底解决了双作用式蒸汽机的结构问题，很快获得新专利（英国专利号 1432）。数月后，他又造出更为精巧的“平行四边形运动”机构，此后一个多世纪，这种机构成为旋转式杠杆蒸汽机的特征。

瓦特的蒸汽机进入纺纱厂、面粉厂和铁厂等许多需要动力的领域，表现出良好的性能。正如博尔顿的预见，对瓦特蒸汽机的订单从全国各地纷至沓来，瓦特和博尔顿开始获得巨额利润的回报。1788 年，为保证负载变化时速度恒定，瓦特又发明自动控制蒸汽机速度的离心调速器，同年获得专利。此后，瓦特基本从改进蒸汽机的工作中退出，双作用式旋转式蒸汽机也成为当时的标准机型。很长时间里，对这种蒸汽机的进一步发展，仅限于部分机构的改进。

---

① 1 先令＝12 便士＝$\frac{1}{20}$英镑，1971 年英国货币改革时被废除。

蒸汽机自17世纪末出现，在18世纪逐步成熟。先是在采矿业得到应用，而后进入冶炼、纺织、机械制造和交通运输等需要动力的各个领域，推动了工场手工业向工厂机器生产的转变，并最终由英国影响欧洲，进而影响了世界。

三、瓦特的专利期满之后

1800年，瓦特的蒸汽机专利期满，各种限制条款随之失效，不少发明家、工程师早就憋了一股劲，跃跃欲试对蒸汽机进行革新。瓦特的蒸汽机，压力不超过1.5个大气压，而改进的蒸汽机在2个大气压以上。高压蒸汽机的体积和重量大大缩减，这就使蒸汽机便于移动，可以有更多的应用。

19世纪初，英国的理查德·特里维西克(Richard Trevithick)、亚瑟·伍尔夫(Arthur Woolf)、美国的奥立弗·伊文思(Oliver Evans)等发明家都程度不同地对蒸汽机进行改进或革新，由此推动了高压蒸汽机的发展。

特里维西克是煤矿主的儿子，年轻时已表现出机械设计才能。1790年，19岁的特里维西克已是英国康沃尔矿山的工程师。1792年，为了避开瓦特的专利，特里维西克协助发明家威廉·布尔(William Bull)制成一台倒置式蒸汽机，使蒸汽机的结构大为简化。不料，两人的做法不为瓦特所忍，瓦特控告他们对分离冷凝器构成侵权。两年后，法院裁决禁止生产倒置式蒸汽机。特里维西克再想辙，转而研究杠杆式高压蒸汽机。到1800年，他制造了三台高压蒸汽机，蒸汽压力达到25～30磅/平方英寸[①]。

特里维西克创造力旺盛，兴趣广泛，不久又迷上制造蒸汽机车。蒸汽机车要求大功率、小体积的动力机，蒸汽机只有提高压力才能实现这些要求。1802年，特里维西克试制成一台高压直接作用式蒸汽机。同年，他和堂兄维维安(Vivian)一起，申请了一项关于“蒸汽机在构造和应用方面的改进”的专利，这项专利涵盖了固定式和道路机车用两种蒸汽机的机械构造细节。1804年，特里维西克制成他的第一台轨道式蒸汽机车，该车的蒸汽机性能优异，机车可载重25吨，以每小时4英里[②]

① 1磅/平方英寸=6.895千帕=0.0703千克/平方厘米=0.068大气压。

② 1英里=1.609千米=1609.34米。

的速度行驶，全部操作只需要一人。特里维西克的发明举动，后来成为乔治·斯蒂芬森(George Stephenson)发明蒸汽机车的动力。

1804 年后，特里维西克的主要精力用在推广蒸汽机车方面，由于经营不善，他的公司一直亏损。为挽回败局，特里维西克不得已出让蒸汽机的专利权，却于事无补，1811 年宣布破产。1812 年特里维西克回到康沃尔，制造矿山用蒸汽机。由于先前的声望和对高压蒸汽机的精通，他再次受到矿主们的欢迎。

与特里维西克差不多同时，远在美国的伊文思也痴迷把普通蒸汽机改造为高压蒸汽机。伊文思原是个修车工，坚持努力，终有所成。1797 年，他申请获得一项蒸汽车的专利。1803 年，当时整个美国蒸汽机不过 6 台，伊文思就建造了一台使用蒸汽机的挖泥机。第二年又造了一台垂直固定式蒸汽机，装有 6 英寸直径的双作用式汽缸、有 8 英寸冲程。与特里维西克一样，伊文思的蒸汽机采用了带内部火焰板和烟道的圆柱形锅炉。伊文思的工作在美国有很大影响。

比特里维西克晚几年，英国的伍尔夫进行复合式蒸汽机的研究。伍尔夫是个多面的工程师，1811 年，他与在兰贝斯的技师汉弗莱·爱德华兹(Humphrey Edwars)合伙，成功制成复合式蒸汽机。这种蒸汽机有两只并排设立的汽缸，两根活塞杆被连接到做平行运动的同一根枢轴上。经过测试，与一台简单的瓦特蒸汽机相比，复合式蒸汽机能节约 50%的燃料。数年后，爱德华兹去法国发展，他在法国申请蒸汽机的专利，并与一家公司联手成立新公司，专门制造新型蒸汽机。到爱德华兹去世时，他所在的企业制造了约 100 台复合式蒸汽机。后来法国其他公司也购得制造权，这种蒸汽机在法国生产了约 60 年。

在英国，蒸汽机一直在不断改进。一个重要因素是，从 1811 年开始，煤矿主们定期出版一份各矿山蒸汽机应用性能的报告，这无形鼓励了竞争，促使蒸汽机的效率提高，当然也包括操作管理的改善。

四、蒸汽机走向世界

回顾历史，可能会有人认为，蒸汽机代表了那个时期的先进技术，应该容易被接受，越新的蒸汽机推广应用越快。其实不然。

1830 年之前，尽管蒸汽机的数量在稳步增长，但水车和风车在欧洲的动力

源中仍占居主导地位，因为水车和风车造价比蒸汽机便宜、运行维护也方便。直到 1830 年之后，蒸汽机才快速跃升至动力源的主导地位。高压复合式蒸汽机的成熟，促使运行成本降低，对蒸汽机装机容量的迅速增长起到决定性的作用。

使用成本的下降是导致蒸汽机大幅度扩展的根本原因，不过其过程并非一帆风顺，在不同的行业、不同的国家有很大差别。

在英国的纺织行业，蒸汽机的推广应用就遇到阻力。以兰开夏棉纺织工厂的技术改造为例，该工厂直到 19 世纪 40 年代晚期还在沿用老式的低压蒸汽机，而此时距造出能够大幅降低煤炭消耗量的高压蒸汽机已有几十年。直到 1847 年，英国国会通过了《10 小时工作日法案》（*Ten Hours Bill*），才迫使这些企业主不得不采用先进设备以抵消工人劳动时间缩短产生的影响。

在欧洲大陆，蒸汽机推广应用差别很大。许多国家的资源和交通条件无法与英国相比，如法国几乎没有煤炭资源，后来也极少发现煤矿。当时德国尚未统一，鲁尔地区的丰富矿藏还不为人所知，这种情况下不可能积极引进蒸汽机。又如荷兰盛行风车，对采用新动力机器没太大兴趣。

比利时的情况特殊一些，这个国家具有金属加工的丰富经验，是重要的机器制造商集中地。早在 1720 年，比利时就从英国购进一台纽可门式蒸汽机，不久就能进行仿制。然而，由于比利时的煤炭矿床特点，可直接通过水平坑道排水，不存在深井积水问题，于是生产商只将少量的蒸汽机用于本国煤矿，而制造的大部分机器都用来出口。对于国内其他产业，水车动力足够满足需求，对采用瓦特蒸汽机并不积极。

美国却是另一番景象。由于地广人稀，资源丰富，加之许多新移民来自英伦三岛，熟悉故乡的情况，美国对应用蒸汽机表现出极大热情，先是直接从英国购买，再是比着图纸制造，其后是将技术吸收消化再创新。

从表 1 的统计数字可见，从 1840 年起，蒸汽机装机容量在西方主要国家都在持续增长，反映出蒸汽机不再局限于矿井，而是扩展到需要可靠动力以代替水力装置的行业和领域。如一家大型铁厂或机器制造厂需要装备众多功率不等的蒸汽机，以用来推动鼓风机、转动轧辊、驱动气锤，或操作升降机、吊臂和其他的控制设备。

表 1　蒸汽机总容量　（单位：千马力*）

年份 国别	1840 年	1850 年	1860 年	1870 年	1880 年	1888 年
英国	620	1290	2450	4040	7600	9200
德国	40	260	850	2480	5120	6200
法国	90	370	1120	1850	3070	4520
奥地利	20	100	330	800	1560	2150
比利时	40	70	160	350	610	810
俄国	20	70	200	920	1740	2240
意大利	10	40	50	330	500	830
西班牙	10	20	100	210	470	740
瑞典	—	—	20	100	220	300
荷兰	—	10	30	130	250	340
全欧洲	860	2240	5540	11 570	22 000	28 630
美国	760	1680	3470	5590	9110	14 400
全世界	1650	3990	9380	18 460	34 150	50 150

资料来源：兰德斯. 解除束缚的普罗米修斯. 谢怀筑，译. 北京：华夏出版社，2007：223。

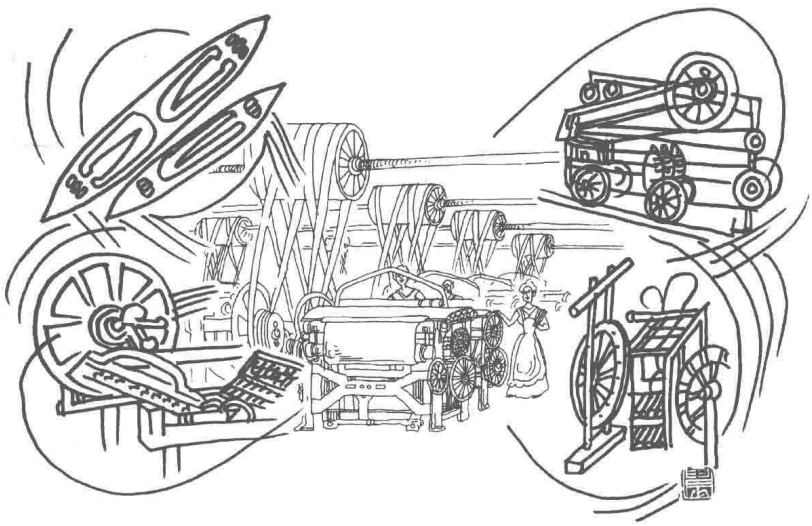
* 1 马力＝745.700 瓦。

这些数字可能不够精确，但足以清楚地表明，从 1840 年到 1870 年，发达国家每 10 年总装机容量都有超过一倍的增长。其中，德国实现了巨大的飞跃，这一飞跃与其煤铁产量的飙升一起，宣告了一位新的工业巨人的诞生。

与上述国家相比，当时的中国对蒸汽机完全是另一种态度。据史书记载，1792 年（清乾隆五十七年），英国派遣马戛尔尼使团访华，翌年在承德避暑山庄觐见乾隆皇帝，使团带来众多的礼品，其中就有蒸汽机模型。结果让英国人大失所望，清朝皇帝和大臣对远洋的这些新奇东西根本不感兴趣。在他们看来，这些洋人的东西，不过是些无用的奇技淫巧罢了。

又过了半个世纪，清政府尝到英国坚船利炮的滋味，才被迫开始转变认识。

第二章
纺织技术变革



绘画：王晨

对英国来说，棉花和棉纺织技术都非本土产物，而是从海外传入的。直到16世纪末期，棉纺织业才在英国逐渐扎根。早期的棉纺织技术都是手工操作，由于市场需求，加之利益驱动，棉纺织技术和生产方式发生变革，从手工向机械和机器发展，从家庭作坊向工厂集中，棉纱和棉布产量大幅度提高，促进了英国的经济贸易。

一、棉纺织业的兴起

英国的地理位置，比中国的黑龙江省还要偏北，但气候却温和得多，这是因为来自墨西哥湾的大西洋暖流，为它带来了温和湿润的海洋性气候。英国适合多汁牧草生长，畜牧业发达，毛纺织业有悠久的传统，也是英国重要的产业。

而另一方面，东方印度等国生产的棉织物品，两千多年前就传播到地中海沿岸，当地的工匠也很早进行仿制。14世纪时，这一仿制技术向欧洲中部地区扩散，与英国隔海相望的安特卫普城（今属比利时）成为棉纺织业集中的城市，而所需的原棉仍来自东方。

16世纪末，随着航运和海外贸易的发展，大量印度、孟加拉等国的棉织品直接输入英国，影响了民众的衣着和生活品质。1585年爆发的战争使安特卫普城陷落，许多工匠跨过英吉利海峡，逃往英国定居，随身也带去了棉纺织技术。按西方学者的说法，这就成为英国棉纺织业的起源。

棉纺织业在英国逐渐扎根。特别如兰开夏地区，气候条件极适于纺纱，许多个体工匠买回原棉在家里加工，他们将其制成粗棉布，或染成朱红布，再通过中间商运到伦敦等城市出售，或者辗转卖到其他国家。

英国棉纺织业的初期，产品的品质不高，数量也微不足道。伦敦等大城市所出售的棉织品多数还是从印度运来，不仅有印度的花布，还有中国的丝绸，很受上流人士的喜爱。

棉织品和丝绸的大量进口，引起毛纺业的不满，毛纺业主设法阻挠。为此，英国议会于1700年颁布禁令：严禁印度、波斯和中国的印花棉织物输入，凡因违法而被扣押的货物，予以没收、拍卖或再输出。

而在那时，很多英国人已习惯使用棉织物，禁令可以挡住海外进口，不料也刺

激了对本土棉织物的需求。随着美洲殖民地的开辟，所种植的棉花大量输入英国，原棉在利物浦港卸船，再转运到距离不远的曼彻斯特，在那里的工厂进行加工。

正是不同要素的汇聚，推动了英国棉纺织业的兴起，使产品量增加，质量也在提升。

故按西方学者的说法，是 1700 年英国议会的禁令，促成了英国棉织物（代替印度织物）的成功。

二、纺织技术四大发明

纺织行业中，纺与织是既区别又联系的两大部分，各自有不同的技术环节，不管哪个环节生产过剩或不足，都会引起整体的失衡。正是个别环节的发明造成不平衡，引发了连锁式的发明，从而导致纺织业的整体变革。

18 世纪，英国的纺织业先后出现了多项发明，最重要的发明有：凯伊的飞梭，哈格里夫斯的珍妮纺纱机，阿克莱特的水力纺纱机，克朗普顿的走锭精纺机。这些发明大大促进了棉纱和棉布的生产，推动了纺织工业革命。

1. 飞梭

飞梭的发明，改变了延续千百年的人手传梭，使英国纺织业变革迈出关键的一步。

飞梭是由英国技工约翰·凯伊（John Kay）于 1733 年发明的。凯伊生活在英格兰中部的兰开夏，这里是纺织业中心。凯伊原来是制呢绒工，后来成为技工。凯伊熟悉机械结构，社会产生的新需求促使他想办法革新。

过去很长时间，织工织布都是将梭子从一只手传到另一只手，这样织出的布幅宽与人的两臂长相当。若要使布幅变宽，就得用两个织工。凯伊想到使梭子滑动，以代替用手。经过多次尝试，凯伊取得成功，他申请专利获准。从此，属于凯伊的英国专利号 542（1733 年 5 月 26 日颁布）就有了历史意义。

凯伊的飞梭结构如下：织机的两边各装一个击梭器，可沿金属杆在筘座上滑动，带有木把手的操纵绳把两个击梭器连接在一起。从一个方向急拉绳子，击梭器就会将梭子弹射过经纱（交错形成的梭口）。梭子被对面的击梭器挡住，再向相反方向急拉绳便将它弹射回来。梭子带有 4 个轮子，由走梭板引导。采用飞梭，一个

织工可以织出任意宽的布，速度也明显提高。

飞梭应用后，6 个纺纱工提供的纱线只够一个织布工用，造成纱线紧缺，打乱了以往缓慢的生产节奏，成为推动纺织革命的重要因素。

西方学者对飞梭有高度评价，如保尔·芒图在《十八世纪产业革命》中写道："这一发明产生了无可估量的效果。一个产业中的不同工艺构成了一个整体，相当于把那些相互依赖的若干运动构成了系统，这些运动都对应于相同的一个节奏。这一技术改进虽然只是加速了操作中的一个环节，却打破了通常的节奏。"

2. 珍妮纺纱机

珍妮纺纱机（也称多锭纺纱机）的发明者是英国纺织技工詹姆斯·哈格里夫斯（James Hargreaves）。

18 世纪 50 年代，随着飞梭的推广应用，传统的手工纺纱已难以满足需求，棉纱供应出现短缺。1761 年，英国手工艺协会悬赏制造新的纺纱机，要求新发明"一次能纺 6 根毛线、亚麻线、大麻线或棉线，而且只需一人开机器或看管机器"。

哈格里夫斯有心接受挑战，他学过木工，也修理织机，具备技术条件。一个流传很广的故事说，1764 年的一天，哈格里夫斯的妻子在家中纺纱，他进门一不小心把纺车打翻，本来水平的纱轮变成了直立，可是仍在转动。哈格里夫斯一下受到启发：把多个纱锭竖立排列，用一个轮子带动，就可以提高工效。

哈格里夫斯试制成新的纺纱机，并用女儿的名字"珍妮"命名。新纺纱机的大致结构是：一个主木架，有一排竖着的锭子。主架上横跨着两个平行的木制轨道，这两个轨道在主架上可自如地前后滑动。经过梳理引出一根根的棉线，在两个轨道之间运动，被绕在锭子上。纺纱工一只手使架子前后运动，另一只手转动把柄，带动转轮驱动锭子，便纺成纱线。

1765 年，哈格里夫斯为发明申请专利，到 1770 年才获准。尽管晚了几年，然而新发明一传开，还是引起当地织工的恐慌，一群工人闯入哈格里夫斯家砸烂了他的机器。还想不到的是，新纺纱机结构简单，容易模仿，一些商人看好机会，大量仿制出售。哈格里夫斯气恼地去打官司，却因势孤力单，接连受挫。

珍妮纺纱机在推广应用中，又有发明家对其进行改进，从最初 8 个锭子，增加到 18 个、30 个，有的甚至达到 80 个，使纺纱机的效率提高了数十倍。

1778 年，哈格里夫斯早逝。他死后仅过了 10 年，据统计，英国拥有的珍妮纺纱

机已达两万多台，传统的手摇纺车几乎全部被取代，英国的纺织业发生了重大变化。

3. 水力纺纱机

1769 年，英国人理查德·阿克莱特(Richard Arkwright)制造了由水力驱动的纺纱机，由水力代替人力纺纱，成为推动英国纺织工业变革的重要发明之一。

1732 年，阿克莱特出生在兰开夏。长大后受家境所迫而当理发匠，这一职业使他交际广泛，信息灵通。18 世纪 60 年代，飞梭的应用导致纱产量匮乏，纺织业失控，人们对此议论纷纷。精明的阿克莱特意识到，若能提高纱线的产量和质量，就会给他带来运气。

阿克莱特认识一些机械制造匠，通过交流，他掌握了纺织机械的基本构造和性能。1769 年，阿克莱特在朋友的帮助下制成水力纺纱机(要知道他本来是机械的门外汉)，并获得 14 年的专利权(英国专利号 931)。当年，阿克莱特即争取到银行投资，建起一座纺纱厂。第二年又与富商合作，扩大了工厂规模。1771 年，阿克莱特再与合伙人建立新的大型纱厂，选址在克罗姆德福峡谷，靠奔腾的水流驱动水轮，带动多台纺纱机运转。

1772 年，阿克莱特工厂的工匠科尼亚·伍德(Coniah Wood)对水力纺纱机进行重要技术改进，引进移动式锭轨代替销钉来导引卷绕纱线，伍德申请并获得专利。水力纺纱机的应用，使之可纺出高强度的纱线，织出优质棉布，由此扭转了此前优质棉布需从印度进口的局面。1773 年，阿克莱特建起一座新纺织厂，首次织出英国本土产的优质棉布。

1775 年，阿克莱特获得第二个专利(英国专利号 1111)，其专利范围几乎覆盖了当时纺织机械的所有机构。阿克莱特凭借充足的资本和专利权放手大干，自 1775 年起，沿着德温特河和特伦特河，建起一座座属于他的水力纺织厂。由于设备先进、科学管理，这些工厂都快速发展。到 1779 年，以克罗姆德福纺纱厂为例，该厂拥有 300 名工人、几千个锭子，其厂房规模和生产方式已与现代工业相近。

水力纺纱机的应用，加快了纺织业从小作坊向工厂化的进程，许多手工业者被逼得难以维持生计。1779 年，愤怒的失业者闯入伯卡尔克的一座纺织厂，捣毁机器，焚烧厂房。袭击使阿克莱特蒙受很大损失，但这种反抗不能阻止机械化的推进，阿克莱特的事业继续发展。

阿克莱特的成功也引起同行业者的羡慕，许多中小企业开始效仿他的管理模

式，并暗中仿制他的机器。1781 年，阿克莱特将模仿他的企业主告上法庭，控告他们侵犯了自己的第二项专利。由于专利书用语晦涩，阿克莱特对其专利的说明含混不清，结果败诉。次年他再上诉，因得到瓦特的帮助而获胜。1785 年 2 月，法院判决阿克莱特的专利有效，并判给他 1 先令的赔偿。这次胜诉使阿克莱特十分得意，也形成对中小厂家的致命打击。共同的利益促使兰开夏和德比的纱厂主们结成同盟，再上诉至高等法院，起诉阿克莱特的所谓发明实属剽窃。原告方的托马斯·海斯(Thomas Highs)和凯伊起了重要作用，在他们有力的证词面前，阿克莱特被迫低头。原来，水力纺纱机的真正发明者是海斯。这一发明早在 1767 年，在发明过程中，凯伊曾帮助海斯调整机轮，对机器的构造非常了解。阿克莱特则是在 1768 年通过凯伊获得水力纺纱机的模型，并于次年申请了专利。再据其他人的证词，阿克莱特的第二个专利也被推翻，它只是综合了约翰·利斯(John Lees)、哈格里夫斯等人的发明。1785 年 6 月，阿克莱特的两项专利都被法庭撤销。

虽然阿克莱特不是真正的发明者，但他却能综合别人的发明加以利用，并将之推向社会，其贡献要超出单纯的发明者。尽管在专利问题上表现不诚实，但这并没使阿克莱特的事业和威望受到影响。1786 年，因对英国纺织工业的贡献，阿克莱特被册封为爵士。

4. 走锭精纺机

走锭精纺机的发明，是综合珍妮纺纱机与水力纺纱机两者优点所做的改进，它归功于英国工匠萨缪尔·克朗普顿(Samuel Crompton)。

1753 年，克朗普顿出生在兰开夏。受当地环境的影响，年轻的克朗普顿自开作坊，因而对纺纱机械十分了解。当时，珍妮纺纱机与水力纺纱机是纺纱机中的主力军。前者生产的纱强度高、捻得好，但纱线较粗，不适合做纬纱；后者纺出的纱虽说细，但捻度不够，纱线软而易断。为此，克朗普顿有心吸收两种机器的优点制造新的机器，以纺出更高质量的棉纱线。

从 1774 年起克朗普顿开始试制，到 1779 年取得成功。他的机器采用水力纺纱机的粗纱筒管和珍妮纺纱机的滑动架，架子上安装锭子，锭子可在运转中前后走动。这台机器可纺出又细又结实的纱线，加之装有可移动的锭子，所以得名“走锭精纺机”。因它是珍妮纺纱机和水力纺纱机“杂交”的产物，又被后人戏称为“骡机”。

克朗普顿有发明的天赋，却缺乏办企业的才能。在走锭精纺机发明后，克朗普顿既没想到抓紧申请专利，也不积极地推向市场，只是将机器安在自己的作坊里，满足于家庭式的生产。

走锭精纺机的效益明显，克朗普顿生产的纱线引起了外界注意。克朗普顿的发达也引来某些人的嫉妒和猜疑，有人想方设法偷看他的作坊，终于发现了不同常规的新机器。克朗普顿无奈，只好将他的机器公开。由于没有专利权的保护，他只能用与人约定的方式，由机器使用者自愿认捐付给他酬金。岂不料很多人不讲信用，到最后克朗普顿只收到捐赠款 60 多英镑。

在提高纺纱效率和质量方面，由于明显的技术优势，走锭精纺机很快推广。在克朗普顿机器的基础上，又有人加以改进。最初克朗普顿制作的机型有 40 个纱锭，只适用于小作坊，到 1782 年便发展为带滚筒的大型机，实现了规模化生产。1790 年，水力驱动的走锭精纺机出现，纱锭数已达到四百个。

英国的纺纱工约翰·肯尼迪（John Kennedy）对走锭精纺机做出重要改进。1790 年左右，肯尼迪对机器的滑架做了部分改进，使之能够纺出多种类型的纱线。1793 年，肯尼迪又着手进行蒸汽机驱动走锭精纺机的研制，1800 年获得成功。这一发明使走锭精纺机为大型纺纱厂普遍采用。

英国纺织工业的发展，克朗普顿有不可磨灭的功劳。为此，1812 年英国议会通过决议，奖赏给克朗普顿 5000 英镑。而这一年，仅英国就有 360 家工厂使用走锭精纺机，纱锭总数达到 460 多万。

三、大洋彼岸轧棉机

轧棉机用于将棉花纤维从棉籽上剥离，1793 年由美国人伊利·惠特尼（Eli Whitney）发明。这一看似简单的发明，当年却因它的广泛应用，影响了对英国的棉花原料供应，也影响了美国的历史进程。

17 世纪初，美国南方开始发展与棉花有关的产业。美国南方终年温暖，具有得天独厚的种植棉花的条件。18 世纪末，美国东南部建起水力驱动的纱厂，一时间，对棉花的需求激增。当时南方适宜种植的棉花属短纤维品种，棉籽又小又硬，用传统的工具很难剥离，只能用手，这是一项耗时费力的工作。

1792 年，惠特尼从耶鲁大学毕业，在去佐治亚州的途中他结识了格林将军（Nathanael Greene）的遗孀，受邀到庄园里做客，正是在这里碰到了剥棉籽的问题。受格林夫人的鼓动，惠特尼尝试着解决。惠特尼有制作小发明的经历，16 岁时，他在父亲的农场自己建了一个小作坊，做钉子和铁丝。借助已有的技术知识，惠特尼 10 天就做成样机，经试验改进，半年后正式制成轧棉机。

惠特尼的机器内装有一个圆筒，上面缠着做成细齿状的金属丝，手摇曲柄带动圆筒转动，送入的棉花被轧，棉花纤维从细齿缝中拉出，而棉籽被阻挡住。旁边一个带硬毛刷的滚筒，将圆筒上的棉花刷下来。惠特尼的轧棉机操作简便，一个人一天可以轧二十几千克棉花，大大提高了效率。

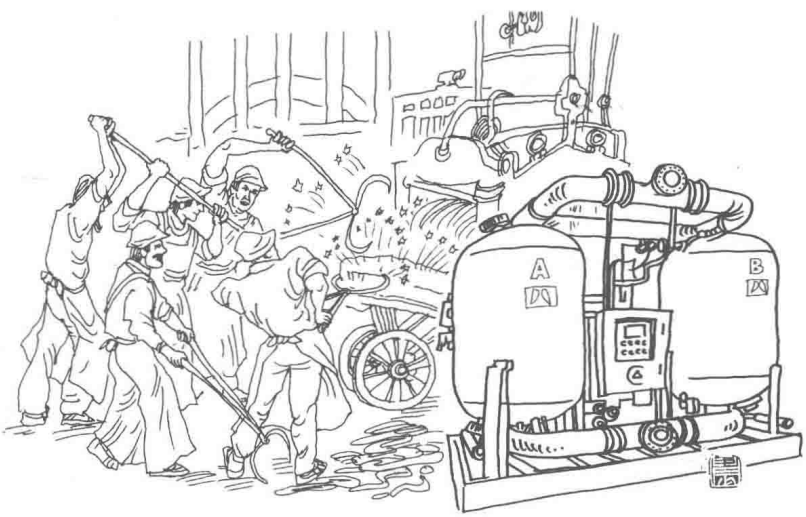
惠特尼向种植园主们展示了他的轧棉机，他们感到十分惊奇，毫不迟疑地要求惠特尼供给他们机器，然而惠特尼制造机器的速度不够快，无法及时供货。由于轧棉机结构简单，容易被仿制，因此许多种植园主便模仿制造。1794 年，当惠特尼拿到轧棉机的专利时，市面上已有了很多仿造品。

借助轧棉机的帮助，种植园主能够种植更多的棉花，并且只需很少的时间来加工处理。然而，种植园主们没有向惠特尼的发明支付费用。

惠特尼未能获得收益，为此他告到法庭，结果是他付出代价也挡不住不法行为。1802 年，南卡罗来纳州答应用 5 万美元购买惠特尼的专利，却一直拖到 1805 年才付清。1808 年和 1812 年惠特尼两次向国会申请更新专利，都遭到拒绝。这期间，轧棉机在美国南部需求旺盛，销售量持续增长。

轧棉机的发明使棉花种植业利润大增，棉花种植面积迅速扩大，许多种植园主都改业种植棉花。1793 年美国棉花产量 2500 吨，1825 年升到 10 万吨，棉花出口增长了 20 倍。为了获得足够的劳动力种植棉花，种植园主从非洲贩运更多的奴隶，奴隶们的生活和劳动条件非常艰苦。美国北方许多人反对奴隶制，而许多南方人则维护现状，这种冲突最终成为 1861 年爆发美国内战的原因之一，轧棉机也由此成为影响美国的重要发明。

第三章
冶铁技术创新



绘画：王晨

18 世纪，英国冶铁技术有两个重大创新，一是用焦炭取代木炭冶炼铁矿石，二是把生铁转化为熟铁的“搅拌”工艺，这二者使得 1780 年到 1840 年间廉价铁生产量急剧增长，并使英国冶铁业在欧洲的领先地位一直保持到 18 世纪末。另外，为适应冶铁和驱动水车的水流供应，鼓风装置也有一些重要创新。这些冶铁创新，为制造蒸汽机零部件、纺织机机架、铁轨、铁桥等提供了材料支持。

一、焦炭取代木炭

在西方，早期冶炼矿石的燃料是木炭。因而，英国过去的冶铁厂都设在林木茂盛的地区。可以说，早先各冶铁厂为了所需的燃料，都对周边的森林进行过毁灭性的采伐。

另一方面，英国煤炭资源丰富，很早也知道用煤。中世纪时期，英国城市中已普遍使用煤来取暖，并且也把煤用做烧石灰、烧砖、制皂、印染等行业的燃料。就锻造金属和金属加工来说，完全可以用煤，与木炭没有什么差别。然而，若熔化矿石特别是铁矿石，那就大不一样了。因为煤中含硫，一燃烧就挥发，铁矿石受含硫化物的作用，炼出的生铁显脆性，不能锤打加工。当时的工匠也不知如何补救这种缺陷，冶炼铁厂继续燃用木炭，随着木材减少，木炭价格攀升，而冶炼铁厂附近的丰富煤藏却未被利用。

17 世纪时，有人尝试用煤冶炼铁，如建立反射式高炉，让火焰通过转折来舔烧放在炉床上的矿石，而火焰中充满硫蒸气，同燃烧的煤直接作用一样，炼成的铁还是显脆性。

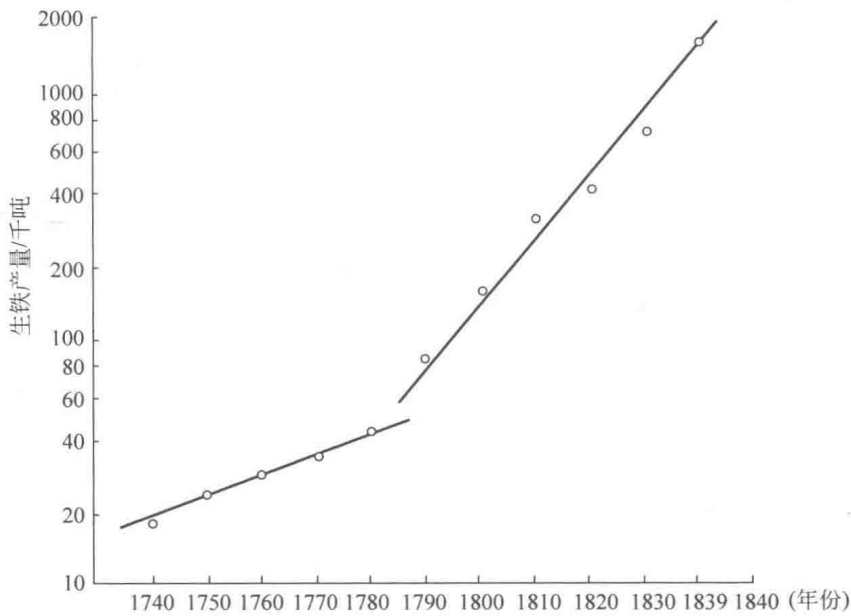
直到 1709 年，英国企业家亚伯拉罕·达比（Abraham Darby）做出发明，实现了人们百年来寻找的焦炭冶炼方法。

达比早年在德比郡的一家麦芽酒酿造厂做过学徒，后来迁到布里斯托尔，在那里与人合伙制造家用的铜锅。后因铜的成本高，他们决定尝试用铁铸锅，获得成功。1708 年，达比来到希罗普郡的科尔布鲁克代尔（Coalbrookdale）安家设厂，他租下一个旧冶铁炉和几个锻炉，用冶炼出的铁水灌到砂型铸造铁制品，燃料先是用木炭，不久改为煤，用生煤（即取自煤矿的原煤）试验，没有成功。达比没有泄气，他利用在麦芽酒酿造厂的技术，把煤烘烤成焦煤（就像烘烤麦芽变干枯那样）。另外，

他改进高炉的内径以适应焦炭冶炼铁，并安装了新的鼓风装置。

1730 年，达比的儿子接替早逝的父亲经营科尔布鲁克代尔铁厂，他改进烘制焦炭的方法，并加强用水车带动的鼓风系统。原来高炉鼓风是通过高处的水池往下泄水，驱动水车带动鼓风的“风箱”。当干旱季节上水池蓄水不足时，需要将水运送到上水池补水。1732 年，达比二世修建了用马车输送水的轨道。到 1742 年，又安装使用了纽可门蒸汽机，将下水池的水提升到上水池，而高炉鼓风仍借助水车驱动。直到 1781 年，采用瓦特的“太阳和行星”齿轮联动装置蒸汽机，可直接带动鼓风装置用于高炉鼓风。至此，冶铁业不仅摆脱了对木材的依赖，也逐步摆脱了对水力的依赖，科尔布鲁克代尔因此成为英国 18 世纪重要的冶铁中心。

焦炭冶铁开启了英国的冶铁技术创新，随着更多的冶铁厂采用焦炭冶铁，英国冶铁业快速发展。从 1780 年到 1840 年，英国廉价生铁的生产量急剧增长，从大约每年 40 000 吨增长到 2 000 000 吨（见图 3-1）。



英国的生铁产量(1740—1839)

焦炭冶铁在带来冶铁业兴旺的同时，也促使英国冶铁业向中西部和南威尔士产煤区集中，进一步带动了英国煤矿业的繁荣。

二、生铁转化熟铁

当用焦炭作燃料大量生产生铁时，一个新问题又出现了：这种生铁不能锻压，只适于铸造，怎样才能把这种生铁转变为熟铁（又称锻铁、韧性铁）呢？

在经济需求的压力下，实践又一次走在理论前面。用木炭冶炼的生铁，通过加热锻打可以转化为熟铁，而用焦炭冶炼的生铁，由于含硅量较高，需要反复加热和锻打，要耗费更多的劳动和费用。最终是亨利·科特（Henry Cort）解决了这个问题。

科特是英国海军部军需部的工程承包人，他知道技术的重要，经过试验，1784年科特用“搅炼法”将生铁转化熟铁成功，他为此获得专利权。科特与一些上层人士熟悉，他巧用人脉关系推广自己的发明。

搅拌法大致是这样：生铁里充满不纯的杂质，先把它打成碎块，放在焦炭火上炼，使它失去一部分碳素。然后再掺一些矿渣（富含氧化铁）放到反射炉的炉床，当生铁熔融时，生铁里的碳素会与空气中的氧结合。为了促进这种结合，用搅拌棒不时地搅动金属液，不久达到一种“沸腾”状态，并伴有特有的蓝色火焰。改变火力的强度，金属液聚集成一种海绵状的熟铁块，把这种熟铁块送到轧辊机中去压延成条状。使用轧辊机被认为是科特发明中最具创新的部分。在这之前，熟铁的生产是用锻锤锻打，而利用轧辊机，12个小时即可加工完成15吨铁，大大改变了用锤锻打的低效率。

1782年，瓦特与科特见面，当即肯定了搅拌法的发明，瓦特还写信告诉格拉斯哥大学的化学教授布莱克。起初，英格兰中部的大冶铁厂老板对科特的发明不以为然，但看到产品后很快就改变了态度，他们主动找上门来，请求科特允许使用他的专利。

就在科特的未来展现一片光明时，不料1789年他受到债务牵连而被起诉，个人企业破产，专利证也被没收，那些签订过协议的冶铁厂老板趁机不再支付他的专利使用费。科特的发明就这样成了公共财产。不过，也由此促进了这一技术的扩散。

搅拌冶炼成为英国生产熟铁的基本方法，产量呈现巨大的增长，价格大幅度下

降。英国的生铁和熟铁生产极大地满足发展工业的需求，对于日后铁路和轮船运输业的发展、对于机器生产设备的广泛运用都发挥了至关重要的作用。

三、热鼓风技术

在冶铁中采用热鼓风是一项重要创新，它颠覆了传统的水车带动“风箱”往冶铁炉送冷空气的方法，对冶铁业发展产生了深远的影响。

早期的鼓风装置离冶铁炉比较远，常常在半英里之外，这是因为“风箱”要用水车驱动，而安置水车必须靠近河流。为了提高融化铁矿石的效能，如何向冶铁炉里吹入更多的空气，成为当时要解决的一大问题。工程师尼尔森(Neilson)着手进行研究，而他的成功很有戏剧性。尼尔森原本设想通过加热空气来增大压力，以为可以增加气体的流动性，有利于向冶铁炉里送风。他先用一个小的简易冶铁炉做试验，结果发现将加热的空气吹入炉中可以提高炉内火焰的烈度，这让他大感意外。然而，当他想在运行的冶铁炉上进一步验证时，却遭遇到很大阻力，多数冶铁厂的老板都坚持认为，只有向冶铁炉里吹入更多冷空气，才会炼出质量有保证的生铁，怎么可能用热空气呢？尼尔森只好继续寻找机会，最后他终于征得克莱德制铁厂(Clyde Ironworks)老板的同意，实地测试了热鼓风技术的冶铁成效，结果非常令人满意。

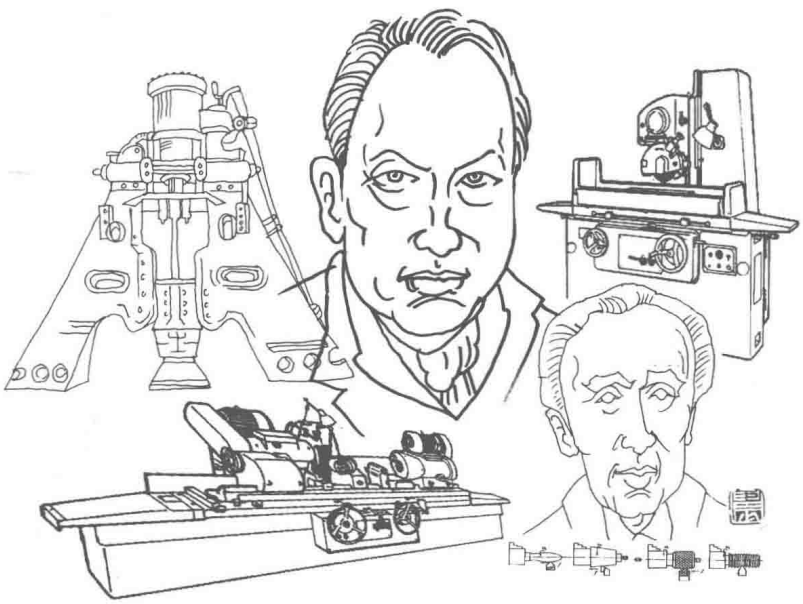
尼尔森的发明于1828年获得专利，为了争取研发热鼓风装置的资金，尼尔森到处化缘，并承诺向多位赞助人让出40%的专利权收益。在赞助人的支持和帮助下，研发活动得以顺利进行。为了增大送气量和提高温度，尼尔森进行了多次试验，最终将送入冶铁炉中的空气提前预热到非常高的温度。由此一来，冶铁燃料的消耗量明显下降。热鼓风技术逐步推广，而在苏格兰地区的冶铁厂效果最显著，由于采用这种技术，当地(原本不适合用于冶铁的那种)极为廉价的黑色夹层矿石也可以被熔炼为生铁，这就进一步降低了生产成本，推动苏格兰成为英国冶铁成本最低的地区。

随着鼓风炉吹气量的增加，新建冶铁炉的形体也变得越来越大，促使产量大幅度提升，时隔半个世纪生铁的周产量翻了一番。1803年，一座标准冶铁炉的生铁产量约为44.6吨/周，到1850年已增至92.6吨/周。1709年达比采用焦炭冶铁

时，科尔布鲁克代尔冶铁厂的一座普通冶铁炉的产量只有 81 吨/年；而到 1850 年采用热鼓风等配套技术以后，一座普通冶铁炉的产量已达到 4632 吨/年。

当热鼓风技术与造型更大、炉膛内燃烧更猛烈的新式冶铁炉配套使用之后，生产成本的降幅达到最大化，这要比分别单独使用上述两种技术改进的效果更好。冶铁炉内燃烧产生的高温气体可以从位于炉膛顶部的排气孔排出炉膛外，然后被导流至鼓风炉中用来预热即将吹入炉膛内的冷空气。如此就实现了高温气体的回收及循环利用，进一步降低了燃料的消耗。

第四章
制造工具创新



绘画：王晨

18世纪下半叶，先是制造船用滑轮组、锁具、纺织机架的需求，后来是制造蒸汽机、纺织设备、火车等的需要，推动了制造工具的创新，先后发明出车床、镗床、蒸汽锤、刨床等多种制造设备，满足了批量化生产，也促进了工业标准化的建立。

一、莫兹利与车床

车床主要是用车刀对旋转的工件加工，如车削铁轴，也可换上钻头钻孔。

车床的关键部件有滑动刀架、导螺杆、变速齿轮，在15～17世纪就由一些发明家分别提出或设计。如15世纪达·芬奇(Leonardo da Vinci)设计了带有两根导螺杆和全套可互换齿轮的切削机器，但达·芬奇一直没有动手制作，设计图也从来没有公开过。

把车床所需的关键要素集于一体，并成功引入技术实践的是英国企业家亨利·莫兹利(Henry Maudslay)。莫兹利生于1771年，家境贫寒，少年时便到铁匠铺当学徒，他勤学苦干，18岁时已小有名气。不久他被制造商约瑟夫·布拉默(Joseph Bramah)招聘进其工厂，专门制作用于加工锁具零件的车床。一年后，莫兹利因能力突出被提升为技术主管。

1797年莫兹利提出加薪，结果被拒绝。他一气之下离开布拉默，自己创建公司。1804年，朴茨茅斯造船厂的制图员乔舒亚·菲尔德(Joshua Field)加盟，成为莫兹利的合伙人，后来公司就一直沿用“莫兹利父子和菲尔德”(Maudslay, Sons and Field)这一名称。莫兹利重视对学徒和工人的技术培训，造就了一批机械工程人才，在英国工业界有很大影响。

莫兹利对车床的革新主要有：精确平直表面的加工、滑动刀架的使用、全金属结构的采用以及精密丝杠的加工。

莫兹利最早造的车床没有齿轮，底座采用了木制框架，后来改进，车床的部件全都采用金属，大大加强了机床的刚性和精度。后来的工程师制造机床，也都使用全金属结构。

莫兹利对精密丝杠螺纹的车制极为重视。其最终采用的方法是将一根硬木圆柱置于相配的托架里转动，在其对面一把月牙刀具斜对着其轴线。刀具切进圆柱能使其横向运动，从而制成一根可用钢制材料复制的丝杠。莫兹利用一根精确加

工的丝杠制成一架台用千分尺，其精度可达 0.0001 英寸，他把它作为车间的标准量具使用。莫兹利还实现了丝攻和扳牙系统的改进，对车间里所用的丝杠的螺距和直径实施了标准化。

莫兹利不仅是优秀的机械师，也是杰出的企业家。1801 年，莫兹利接到朴茨茅斯滑轮组制造厂的一项重要订单，负责为该厂制造建厂所需的全部生产设备。这项工程具有历史意义，因为它是将机床应用于大规模生产的最早例子。1808 年，工厂全面运作，每年可生产 13 000 套滑轮组，采用新设备，10 名非熟练工人可以完成以前 110 名熟练工人的工作，生产效率提高了 10 倍。朴茨茅斯滑轮组制造厂被认为是当时机械化的一个奇迹。

二、内史密斯与蒸汽锤

蒸汽锤是工业革命中的重要设备。蒸汽锤的发明使锻造大型工件成为可能，而且缩短了锻造时间，大大提高了生产效率。

蒸汽锤由英国著名发明家詹姆斯·内史密斯(James Nasmyth)设计和制造。内史密斯 1808 年生于爱丁堡，受家庭影响，少年时就对机械产生兴趣。19 岁时，他利用父亲的工厂提供的机会制作了蒸汽机的模型。21 岁时，内史密斯凭着机械技艺申请了莫兹利工厂的技师职位。1834 年，他开始独立经营自己的工厂。

内史密斯在机械方面有多项发明，而最值得称颂的发明是蒸汽锤。当时传统落锤的抬升距离有限，使得冲击力较小，难以锻造大型工件。1839 年，英国计划建造“大不列颠号”轮船，需要在船上安装直径 30 英寸的明轮轴，却未有一家工厂能承担这种锻打任务。内史密斯接受了设计者的请求，他立即想到用蒸汽为动力，画了多幅草图，最后制造出形如“人”字的大型蒸汽锤。起锤头导向作用的两个支柱同时还支撑着高处的一个缸体，缸体的活塞通过一根穿过缸体底部的杆与锤头相连。蒸汽通过阀门进入缸体，以将锤头提升到需要的高度。当蒸汽被释放时，重锤就下落。后来的蒸汽锤被改成双作用式，允许蒸汽从活塞上方进入，这样就能得到更强大的动力。内史密斯为蒸汽锤申请并获得了专利。

1851 年，内史密斯的蒸汽锤在万国博览会上展出。在机器的轰鸣声中，红热的大铁块在蒸汽锤下如同被揉捏的橡皮泥一般，人们看到这一情景，禁不住连连

惊叹。

内史密斯改进后的蒸汽锤，可以方便地按工件尺寸和需要的锤击力调整行程，这对于小工厂来说特别重要，因为在小工厂中，不可能按工件类型设置不同规格的锻锤。因此，蒸汽锤对冶金、机械制造工业的发展都起到重要的推动作用。

蒸汽锤尤其适用于造船厂和大型机器制造厂，蒸汽锤促进了锻造技术的改革，确保生产出安全可靠的远洋轮船主轴和机车轮轴。

革命导师恩格斯在《反杜林论》中指出："纺纱机、机动织布机和蒸汽锤代替了纺车、手工织布机和手工锻锤；需要成百上千的人进行协作的工厂代替了小作坊。和生产资料一样，生产本身也从一系列的个人行动变成了一系列的社会行动，而产品也从个人的产品变成了社会的产品。"从这一评价中，可以想见那个时代蒸汽锤的重要影响。

三、惠特沃思与机床

机床包括很多类型，如车床、刨床、磨床、铣床、冲床等。19 世纪，蒸汽机、纺织机、火车和其他制造业都需要大量的加工设备，正是这种需求刺激了机床的创造发明。先后有多位英美工程师、企业家作出贡献，而以英国制造商约瑟夫·惠特沃思(Joseph Whitworth)的成果最为显著。

惠特沃思生于 1803 年，是一位小学校长的儿子，14 岁时进入叔叔的纺织厂学做生意，但他对机械比对商业更感兴趣，不久离开了那里，转到一家曼彻斯特机械公司任机械工。惠特沃思 22 岁去了伦敦，被著名制造商莫兹利雇用，能力又得到提高。

1833 年，惠特沃思个人在曼彻斯特租用了一家工场，打出了"约瑟夫·惠特沃思，来自伦敦的工具制造商"的招牌。在惠特沃思之前，工程师制造机床的目的都是为了生产其他设备，而惠特沃思制造机床却是为了出售给其他制造厂。在 1851 年英国举办的世界博览会上，惠特沃思成为令人瞩目的人物，其他 20 家公司每家仅展出一至三台机床，而惠特沃思展出的机床多达 23 台，包括车床，刨床，牛头刨床，开槽机，钻床(平面、径向两种)，冲床，剪切机，螺母成形机，螺纹切削机，切齿机以及分度机等。同时他还展示了攻丝机、量具测准机、成套的分级式量规等。在

1862 年的国际展览会上，有 60 家多公司参展，但惠特沃思仍保持了领先地位，他的公司占到机床总展位的四分之一。

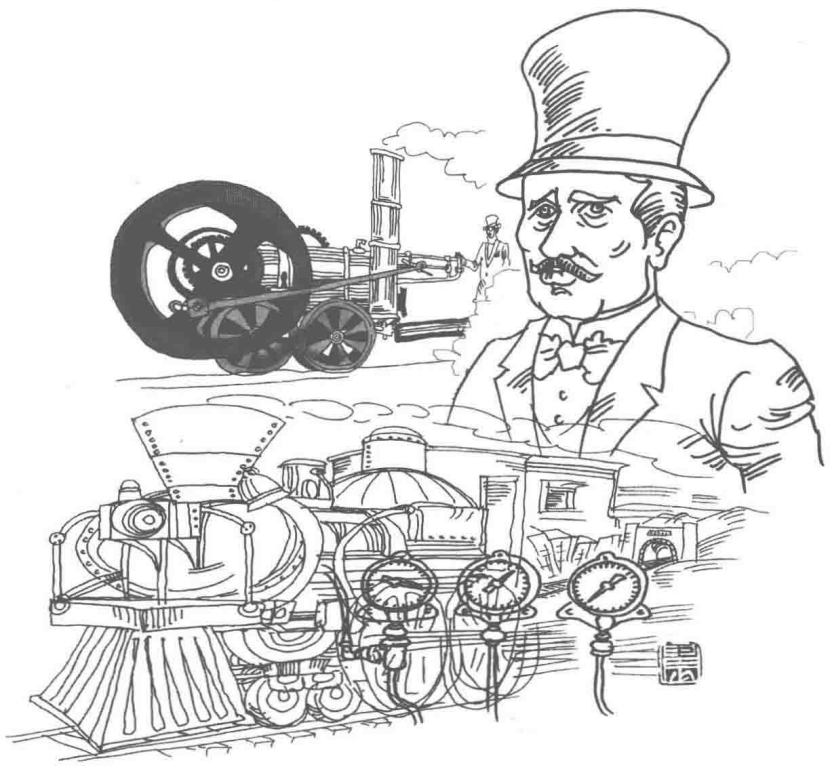
1839 年，惠特沃思对所研制的几种机床又做了新的改进，其中包括与车床的导螺杆任意配合，从而实现台架横向移动的开槽螺母，以及通过导螺杆实施横向进给的机构。又如车床床身的中空箱形结构设计，这种设计使机器比早先三角形截面结构的车床在同样重量下有更强的刚性，而且还保护了导螺杆免遭损伤和油污。导螺杆穿过刀架上的一个开槽螺母——刀架的一个组成部分——使刀架做横向运动。当开槽螺母脱开时，刀架就停止运动，同时一个小齿轮与导螺杆啮合以实现横向进给。

1842 年，惠特沃思发明了刨床。其基本工作原理是：位于机身中央的一根导螺杆由固定轮和滑动轮以及一只斜齿轮旋转装置驱动，将运动传递到 V 形导轨工作台。横向滑座由两根直立螺杆支承并靠它们驱动。这两根螺杆通过一个锥形齿轮与一根手动轴连接从而实现传动。旋转刀箱置于横向滑座的螺杆上，并通过一个棘轮和皮带轮实现对工件的横向进给。该皮带轮是当一只小齿轮由床身上的齿条拉杆传动时，通过同轴的一只来回拨动的皮带轮的皮带带动的。这只拉杆在工作台上来回移动撞击停止挡块。通过导向轮，皮带会在每一行程结束时反转刀架，这样就可以沿两个方向切削。

在 1856 年的一次演讲中，惠特沃思回顾他的发明历程时说："30 年前用手工刮削铸铁工件表面，其劳动成本为每平方英尺[①] 12 先令。而同样的工作改用现在的刨床，其每平方英尺的劳动成本还不到 1 便士。正如你们所知，这种刨床是机械加工中最重要的操作之一。因而这就足以证明我们已经取得了多大的进展。"

① 1 英尺＝12 英寸＝30.48 厘米＝0.3048 米。1 平方英尺＝0.092 903 平方米。

第五章
蒸汽机应用创新：火车



绘画：王晨

火车是蒸汽机应用创新的产物，是人类交通运输史上的一大杰作。火车催生了新的产业，创造了若干新工作机会，火车涉及铁轨、车轮、车厢等多种要素的组合式创新，在铁路运营中也促使组织管理创新。

一、火车的发明

火车由机车（俗称火车头）牵引若干节车厢在钢轨（早期是铁轨）上运行，它的发明涉及三大组成：火车头、车轮和轨道。

最早发明火车头的是英国工程师特里维西克（见第一章第三节“瓦特的专利期满之后”），在瓦特和博尔顿坚持制造低压蒸汽机的时候，特里维西克就萌发了改进蒸汽机以提高压力的念头，并动手进行研制。比起传统的蒸汽机，新动力机的体积和重量大大缩小，这就使移动它成为可能。

1801 年，特里维西克成功制成世界上第一台火车头，在矿区硬渣道上行驶，由于没有方向装置，没走多远轮子就陷到沟里，最后锅炉的水烧干，机车完全毁坏。第二年，特里维西克对机车进行改进，他突发灵感，想把它放在轨道上，这样不仅不需要控制方向，而且拥有比当时普通的道路更稳固的路基。1804 年，特里维西克制成新的火车头，这次在铁轨上运行，机车能够拉动 5 辆矿车。但因轨道为生铁铸造，还是被沉重的机车压裂，导致机车运行不稳。最终特里维西克放弃了研究，前往南美，为开发秘鲁的金银矿制造固定的蒸汽机。

真正使火车成功运行的是英国发明家乔治·史蒂文森（George Stephenson）。史蒂文森出生于 1781 年，在诺森伯兰郡的矿区长大，他家境贫寒，没有受过正规教育，从 12 岁起就给在煤矿上管蒸汽机泵锅炉的父亲当助手，一边劳动一边学习。史蒂文森的才能很快显露出来，当上了检修工，负责诺森伯兰郡大煤矿基林沃思（Killingworth）所有的固定蒸汽机，他很快意识到，能够在轨道上载重奔跑的蒸汽机，要比传统的固定蒸汽机灵活得多。

1814 年，史蒂文森时年 33 岁，此前他已了解了许多关于制造火车的情况。受矿主的支持，史蒂文森造出了他的第一个火车头，取名为“布卢彻号”（Blucher），横卧的锅炉 8 英尺长，装有两个汽缸。机车拉着 8 节矿车，载重量达 30 吨，平均速度每小时 4 英里。

“布卢彻号”运行成功，但也显露了缺点，史蒂文森加以改进，如采用新型的阀门、连接车轮的连杆等，这种系统在后来的几十年内，成为蒸汽机车的基本机构。

史蒂文森与前人不同，他也努力研制坚硬适宜的铁轨。他自己的机车虽然不是太重，却也常压裂路轨。为了解决这个问题，史蒂文森到朋友开设的铁工厂试验锻铁轨道。取得成功后，史蒂文森申请了铁轨的专利。后来，史蒂文森所在矿区都换用了新铁轨。

自“布卢彻号”问世后十几年间，史蒂文森建造了大小十几辆机车，而真正使他扬名的是“火箭号”。1829 年 4 月，利物浦—曼彻斯特铁路的董事会组织了引人注目的伦希尔大赛(Rainhill Trail)，旨在发现用于该线路的最好机车。为参加这次赛事，史蒂文森在儿子罗伯特的协助下制成新的机车——“火箭号”。该机车有几个重要的创新，一是使用多管锅炉，增加了动力。设置了 25 条直径均为 3 英寸的铜制水管，贯通锅炉的两端，从而增大了锅炉内水的受热面积，获得更多的蒸汽，这种设计在后来一百多年间(直到蒸汽机时代结束)，成为所有机车锅炉的基础。另一个创新是采用排气管，将废气从汽缸中引进烟囱后再放出去，这就大大增加了烟囱的抽力和所保持的压力。

在参赛的机车里面，“火箭号”出色地完成了各项要求，它以每小时 14 英里的平均速度沿 1.5 英里的线路反复行驶，没有发生任何问题，而其他三个参赛者的机车都出现了故障。在最后一轮比赛中，史蒂文森打开阀门，让蒸汽机更快地运行，时速达到 30 英里，令评审官和好奇的观众惊讶不已。

利物浦—曼彻斯特铁路全长 31 英里，就像以前的铁路一样，因运输货物的需要而受到了推动。利物浦是原棉的主要到达地，这些棉花需要运往曼彻斯特的棉纺厂。兰开夏郡当时是世界上工业化程度最高的地区，正因为它的繁荣经济，世界上第一条铁路在这两座发展中的城市之间修建，就不单是一个偶然事件。尽管修建这条铁路的主要动机是运输货物，但由于货运车厢还未备好，它开通之后首先运送的却是旅客。

1830 年 9 月 15 日，世界上第一条客运铁路(利物浦—曼彻斯特铁路)正式开通，史蒂文森的“火箭号”率先在这条线路上运行。1831 年，“火箭号”运行满一年，客流量达到近 500 000 人，铁路公司因此能够为投资者分发丰厚的红利。两城之间很快增加了服务班次，同时也启动了货物运输。

史蒂文森没有停步，他与儿子罗伯特继续研究火车，到 19 世纪 30 年代末，他们的机车出口几乎覆盖欧洲所有的国家，还有大洋彼岸的美国。史蒂芬森父子也为他们的发明申请了一系列专利。

二、火车的重要组成——气闸

火车发明之初，功能很不完善，读者想象不到竟然没有刹车、停车得靠人跑到车轮前面放置挡块。就在利物浦—曼彻斯特通车大典上，参加庆典的赫斯金森公爵途中绊倒在铁轨上，远处开来的火车不能及时停下，他不幸被压伤致死，造成惨剧。

后来列车改进，在车厢尾部的平台上配一个刹车手，刹车手根据车头司机给出的汽笛信号操作闸把制动，这种方法有用，但前后配合不及时，有时也很危险。

许多工程师都尝试发明有效的刹车装置，最后胜出的是美国发明家乔治·威斯汀豪斯（George Westinghouse）。

威斯汀豪斯出身于美国一个农机制造商家庭，15 岁离开学校，参加过南北战争。1865 年他回到家乡，在父亲的工厂里工作。1866 年的一天，威斯汀豪斯乘火车出行，因火车刹车不及时，与前面的火车追尾，直接打乱了他的日程安排。这件事给威斯汀豪斯刺激，使他有心研制更有效的制动系统。他先后考虑了多种方案，都觉得不够可靠。一天在翻看杂志时，威斯汀豪斯读到一篇文章，介绍欧洲塞尼山的隧道开凿，他突然受到启发。塞尼山隧道于 1857 年开工，连接意大利和法国的铁路（见第五章第三节“铁路桥梁和隧道技术”），施工采用了专为矿井设计的压缩空气驱动钻孔机。19 世纪 50 年代，为了提高采矿效率，一批压缩空气驱动机被改进。空气在地面上被压缩，通过导管和软管传送到井下，用以驱动采煤的圆凿锯。威斯汀豪斯即决定采用压缩空气管贯通各节车厢，这在当时来说是个相当新的观念。

设计经过多次试验，初步取得成功，1869 年，威斯汀豪斯申请并获得专利，在此基础上他创建了西屋空气制动公司。1872 年，他再对气闸（空气制动系统）进行改进。

威斯汀豪斯的气闸有四个基本部分：一是抽气机，由机车的蒸汽机驱动，将以

每平方英寸 60～70 磅的密度压入一个储气箱；二是管道系统，由储气箱导向机械控制的控制的阀门；三是在车厢下的管道线路，从阀门导出，由弹性车钩相连；四是安装在每节车厢的一组汽缸和活塞，以控制闸瓦。后来他又改进，建起一个能自动啮合的刹车系统，如果火车某节车厢与其他车厢脱节，它能通过倒转系统而自动啮合刹车，这就使行车更为安全。

威斯汀豪斯的制动系统有效而可靠，许多国家很快采纳和购买他的技术。威斯汀豪斯的公司以卓越的产品独占鳌头，他本人也因此收益丰厚，很快名列美国富豪榜。

压缩空气制动系统为铁路提速创造了条件，由此推动了 19 世纪末美国和欧洲铁路运输的快速发展。

三、铁路桥梁和隧道技术

火车需靠铁路行驶，修建铁路不可避免要架设桥梁、开通隧道，面临新问题就要研究新技术。

传统的桥梁多用木材或石头建造，因而木材是早期铁路桥梁的建筑材料。树木通常在建筑工地附近就有，取材容易。然而木桥需要保养修理以防止木材腐烂，再是很容易被引燃，因此用铁代替木材是一种趋势。然而这种转化却花费了很长时间，最初设计跨度较大的铁路桥还没有可靠的理论，更多是借助试错的方法积累经验。

1845 年，史蒂芬森的儿子罗伯特·史蒂芬森（Robert Stephenson）在设计连接安格尔西岛与威尔士本土的不列颠大桥时就利用了试错方法。当时他认为，强化桥面以让火车能够快速通行的悬索桥将是最有前途的设计方案，由此他产生一个设想：将成对的巨型熟铁管在两边用吊索吊起，让火车从中部通过。合作者威廉·费尔贝恩（William Fairbairn）制作出模型管道做试验，数学家霍奇金森（Eaton Hodgkinson）帮助计算和分析试验结果。他们用不同的管道做试验，圆管 12 次，椭圆截面的管道 7 次，矩形截面的管道 14 次。这些管道的尺寸和跨度各异，而且是用不同厚度的铁板制成。试验表明，矩形截面的管道最坚固。

不列颠大桥的桥梁共有 4 跨，每跨由并列的两支管道组成，越过水面的两跨各

长 459 英尺，延伸到陆地的两跨各长 230 英尺。每个管道中部高 30 英尺，宽 14 英尺 9 英寸。为加强管壁以防弯曲变形，顶部和底部都做成蜂窝结构。在不列颠桥塔处用的是固定支座，而为适应随温度变化而产生的伸缩，管道在另外两个桥塔和桥台上用了活动支座。

在大桥施工现场建起车间，陆地部分的管道在临时木台架上按设计高度就地安装；跨越水面的管道则在水边的台架上建造。熟铁板用龙门起重机吊运，铆钉则用费尔贝恩设计的液压铆钉机打入。每个总装成的管道重 1285 吨，利用涨潮时用浮桥运出，退潮时就落在砖石塔上的凹槽里，然后用装在塔顶附近的立式液压千斤顶把它慢慢抬升到指定的高度。

不列颠大桥代表了桥梁建造方面的突破性进展。在这之前，最长的熟铁桥跨度只有 31 英尺 6 英寸，此外，不列颠大桥也成为今天全世界成千上万座板梁桥（最实用的铁路桥）的先驱。

铁路要穿越高山，开通隧道也是必须面对的挑战。塞尼山隧道是早期著名的铁路工程之一，它穿越阿尔卑斯山脉，全长 8 英里，海拔 4000 英尺，1857 年开始动工，最初估计要 25 年建成。开始完全由人工挖掘，进度极为缓慢，5 年时间两端才各自掘进了一英里。后来意大利工程师格尔马诺·索梅耶（Germaneo Sommeiller）想出一个办法，采用水力压缩空气驱动的钻机代替人工打眼填充炸药，大大加快了施工进度，意大利工程队和法国工程队双方竞赛，于 1870 年圣诞节后的第一天打通了隧道，对准误差不到半米。这条铁路于 1871 年 10 月开通，将意大利的米兰和都灵与法国的格勒诺布尔、里昂和罗纳河谷连接起来。

蒸汽机车通行的隧道需用鼓风机进行通风，不然烟雾将随机车的行驶而逐渐增多，粉尘污染将变得无法忍受，尤其是司机和司炉。1899 年，意大利工程师萨卡尔多（Saccardo）发明了一种系统，将其安装在圣哥达隧道并取得成功。这种系统以喷射器的原理为基础，特别适用于没有中间竖井的长隧道。在隧道口用砖砌一个 25 英尺长的结构物，它的内廓线（即隧道的最小横截面）向隧道口延伸了 3 英尺。空气通过结构壁面与隧道壁面之间的空间沿着隧道的侧面送入，气流便沿隧道的轴线贯穿整个隧道。当行进的火车与气流相遇时，迎面吹来的大量新鲜空气使司机和司炉备感舒适。

正是因为修建铁路，许多国家都组建了铁路工程公司，甚至军队还建立了新兵

种——铁道工程兵。

四、铁路公司与管理制度

当一段段铁路建成并投入使用，跟着出现了从事铁路交通运输的新公司，这些公司很快遇到管理和专业人员不足的问题。

铁路公司需要对不同的货运、客运以及财务进行处理，并要对下属车站进行协调和控制，正是铁路公司的建立和诸多的实践，使之成为现代工商企业管理的先驱。

以后来居上的美国铁路为例，铁路管理最早出现于 19 世纪 50 年代。随着西线（伍斯特—奥尔巴尼）完工，传统的管理暴露出问题。全长 150 英里的西线分三段建造，不同区段的铁路投入营运后自成一体，各自拥有管理队伍。由于线路较长，早晨 9 点半由伍斯特乘车的旅客，傍晚才到达哈得逊河畔的奥尔巴尼。铁路公司每天在两端起点站各发三趟车（两趟客运、一趟货运），相反方向的行车每天要交会 12 次。当时仍是单轨铁路，在没有电报之前，火车经过山区路段很容易发生事故。最严重的一次在 1841 年 10 月 5 日，两列客车相撞，造成一名列车员和一位乘客死亡，17 位乘客受伤。

此次悲剧促使西线的几家铁路公司的董事协商，一致同意进行管理改革，成立一个专门委员会提出方案。按委员会提出的解决办法："确定公司各阶层的责任，明确铁路管理、保养和经营部门的职权范围和联系"。新的组织结构规定，在三个邻接的区段各任命一组管理人员，其上有总部监督、协调这三组人员的工作。各区段所设的管理者和职责是：一名运输助理主任（后称区段主管），负责客、货运火车的调度；一名负责铁路保养的主任，负责轨道、路基的维护；一名机械师，负责机车及车辆的保养和维修。运输助理主任直属于总部的运输主任，机械师直属于总机械师，总机械师负责总修理厂，他也接受运输主任的领导。铁路保养主任则直接对总主管负责而不像其他部门那样隶属于运输主任。总主管负责铁路的整个工作，他对董事长和董事会负责。区段的管理者均需根据其下属（站务员、列车长、火车司机、修理厂工长等）提供的信息定期写出报告。为了预防交通事故的发生，区段主管要同运输主任及总主管一起制定精确的列车时间表，这个时间表要交给"列车

唯一负责人”的列车长。没有运输主任的书面通知，决不允许擅自更改时间表，而运输主任也需三个区段的经理协商后，才能发出更改通知。

19 世纪 50 年代初，美国又有几条路线较长、运输量大的铁路投入使用，这些铁路也采取了与上述西线相似的组织结构。然而，这些铁路公司的经理和董事很快发现，长程的运输成本竟然比短程铁路要高，为此他们不得不做出调整。巴尔的摩和俄亥俄铁路改进财务会计管理，实施新的管理制度，设立公司财务主任，监督公司内部的业务，同时也负责对外的财务（包括对有意出售其股票和债券的商人例行份额分配等）。财务主任下设一名秘书，负责整个公司内部的业务（后来秘书的这一职责成为审计员的工作），检查客货运的所有账目。秘书之下是总记账员，他要根据下属所有站务员及列车长上报的收支单据及报告，编制铁路载运量与收益对比的日报表，并进一步汇总成月报表。

在西线铁路、巴尔的摩和俄亥俄铁路组织管理的基础上，伊利铁路公司又对管理进行改革。所做出的时报表、日报表、月报表比巴尔的摩和俄亥俄铁路的同类报表更为详细。由电报传送的时报表能指明误点或出事火车的地点及原因，收到的信息立刻被整理成清晰明了的表格。伊利铁路采用电报传送的管理办法，为国内外铁路管理者高度赞赏，很快得到推广。

第六章

蒸汽机应用创新：轮船



绘画：王晨

在蒸汽机发明以前，船舶都是靠人力划桨或风帆驱动。采用蒸汽机作为船舶动力，是人类文明史上的重大创新。

最初仿照人力划桨的方式，蒸汽机驱动安装在船舷两旁的桨轮。为解决船舶遇风浪导致桨轮打空、易损等问题，才尝试用螺旋桨，并最终取代了桨轮。

早期的船舶都用木料，冶铁业的发展为制造铁船提供了可能。而炼钢技术的创新，推动铁船转变为钢船。大型船舶的建造促进了大马力蒸汽机、专用锅炉等设备的研制，也带动了一批新技术和新产业。

一、轮船的发明

轮船的最初形式，是用蒸汽机为动力驱动船舷两侧的桨轮推进。早期研制轮船的有多位发明家，其中最成功的要推罗伯特·富尔顿(Robert Fulton)。

1765 年，富尔顿生于美国宾夕法尼亚的一个富裕家庭，很早表现出绘画才能，十几岁时，他被当地的枪炮厂雇请来绘制枪炮图纸。21 岁时，富尔顿为提高绘画技艺远赴英国深造，他为英国工业革命火热的场面所吸引，决定改学工程机械设计。在英国三年多，富尔顿设计了多种机械和工程船，获得了几项专利，其中包括由桨轮推动的轮船、拖引运河用平底船的轮船、挖泥船，还有搓麻绳机等。富尔顿计划回美国发展，为此他向英国政府请求允许买一台蒸汽机回去造轮船用，不料遭到拒绝。

富尔顿改主意去法国，找寻新的机会。通过宣传，富尔顿的计划得到法国政府欣赏，资助他研究。富尔顿研制了“鹦鹉螺号”潜艇，该艇用铁构造，椭圆外形，用手摇螺旋桨推进。

在法期间，富尔顿结识了美国驻法公使罗伯特·李文斯顿(Robert Livingston)，李文斯顿对发明轮船的设想很感兴趣。1803 年，两人联名向英国政府提出购买蒸汽机的请求，这次得到获准。两人合作带来持续的成功，李文斯顿集中精力确保航线的垄断权和财务管理，富尔顿致力于轮船动力和推进器的设计。

富尔顿设计出“克莱蒙特号”轮船，长 100 英尺，配备 24 马力的蒸汽机，安有桨轮。1807 年 8 月 17 日，新轮船在哈得逊河首次试航成功，速度约每小时 5 英里，行驶平稳。后来史学界称其为“克莱蒙特号试航”。轮船几周后开始商业航行，吸引

了越来越多的乘客。

1811 年，富尔顿在匹兹堡进行“新奥尔良号”轮船试航，轮船顺流而下时遇到强烈地震，震中在俄亥俄州与密西西比河的交界处。幸好轮船安然无恙。轮船的问世证明非常适合于美国，因为当时美国的公路还不发达，铁路也未修建，却有大河纵贯国土，大河与大湖连通，非常适于通航。后来在美国建设铁路的高潮中，轮船也立下功劳，在 19 世纪中叶提供了运送乘客和输运大量货物的服务，往来于发展迅速、业务繁忙的密西西比河上。1814 年，“新奥尔良号”开了 20 个航班，到 1834 年时，运行的大小轮船已达 1200 个航班。富尔顿的船运在费城、纽约及波士顿之间也越来越重要。

安装桨轮和蒸汽机的船只在内地河流航运畅通，但作为海上的交通工具使用，就不够安全。直到 19 世纪五六十年代，螺旋桨技术成熟，螺旋桨驱动的轮船开始成为航海远行的主角。

二、螺旋桨取代桨轮

螺旋桨是造船史上的一项重要创新，它构造简单、设计科学，大大提高了船舶的航行效率。螺旋桨已成为现代舰船的一大特征。

历史上，桨、篙、橹、帆和明轮都曾用作船舶的推进器。18 世纪蒸汽机发明以后，有人研究用蒸汽机作为船舶动力。按当时的技术条件，明轮显得最适宜。19 世纪上半叶，安装明轮的船舶盛行一时。然而，明轮使用中暴露出许多缺点：遇上风浪船只颠簸，明轮的桨板露出水面，直接影响航速和航向；再是海浪的冲击常使桨板损坏。而对于军舰，明轮很易受到攻击。现实问题促使人们对明轮推进革新。

还在 18 世纪后期，就有人建议采用螺旋推进器，最初的推进器做成一根长长的螺杆。1775 年，美国发明家大卫·布什内尔（David Bushnell）建造“海龟号”（Turtle）潜艇时，就采用了手动螺旋推进器。1802 年，美国发明家约翰·史蒂芬斯（John Stevens）建成第一艘用螺旋桨推进的蒸汽船。一年后，经改进的双螺旋桨蒸汽船下水，在哈得逊河上顺利航行。不过，当时螺旋桨的先进性尚未充分体现出来。

19世纪30年代，有两位发明家几乎同时却各自独立地研究，对螺旋桨的最终采用功不可没，其中一位发明家是英国的弗朗西斯·史密斯(Francis Smith)，另一位是瑞典的约翰·埃里克松(John Ericsson)。

1836年，史密斯设计了螺旋桨推进器并获得英国专利。史密斯的螺旋桨安装于船尾水线之下，粗看与古希腊阿基米德提水螺旋相似，实质上全然不同。1837年，史密斯用一艘6马力、重6吨的螺旋桨蒸汽船进行试验；最初是木制的长杆螺旋桨，一次试验中突然折断，船反而行驶更快了。这给史密斯以启发，于是改用短螺旋桨，并设计为两片桨叶。1838年，史密斯建成237吨的螺旋桨蒸汽船，取名“阿基米德号”(Archimedes)，由90马力的蒸汽机驱动，1840年，该船环绕大不列颠岛航行成功。史密斯富有商业头脑，在朋友的帮助下，他创建了船舶推进器公司(Ship Propeller Company)。1843年，史密斯为“响尾蛇号”(Rattler)军舰装备了螺旋桨，这也是第一艘装有螺旋桨的海军军舰。

就在史密斯获得专利不久，埃里克松也设计出一种新型的螺旋桨推进器，并获得英国专利。埃里克松的推进器装在船尾水线以下，由两个短圆筒构成，其上设置了几组互成角度的螺旋面，圆筒分前后装在同心的内外两轴，以相反方向旋转，由蒸汽机驱动。1837年，埃里克松建造了一艘12马力、重12吨的蒸汽船“弗朗西斯·B.奥格登号”(Francis B. Ogden)，装配了螺旋桨推进器。1838年，埃里克松的发明在美国获得专利。1839年，受美国海军上尉罗伯特·斯多克顿(Robert Stockton)资助，埃里克松建造了一艘“斯多克顿号”(Robert Stockton)螺旋桨蒸汽船，航行成功。为了更好地发展事业，埃里克松移居美国，1843年，他为美国海军的“普林斯顿号”军舰安装了螺旋桨。由于螺旋桨推进器的出色表现，这一装置很快主导了美国的船舶市场。

螺旋桨问世后，一度因蒸汽机与螺旋桨匹配不够好，螺旋桨的防水密封轴承不过关，在英国对是否予以采用引起很大争议。为此，1845年，英国海军部举行了一次公开赛，让两艘吨位相同(880吨)、蒸汽机功率相同(200马力)的军舰做拔河比赛。其中的“阿莱克脱号”(Alecto)军舰安装了明轮，“响尾蛇号”(Rattler)军舰安装螺旋桨。比赛结果是“响尾蛇号”获胜，它以每小时2.8海里[①]的航速拖着对方前

① 1海里=1.852千米=1852米。

进。事实胜于雄辩，此后英国海军的所有新军舰都被要求采用螺旋桨推进器。

经过长期的探索与实践，螺旋桨的形状不断改进，也发展出不同的形式。19 世纪后期，蒸汽船逐渐不再使用风帆，螺旋桨彻底取代了明轮，成为船舶上应用最广的推进器。

三、从木船到铁船

18 世纪末期，英国开始用铁造船。到 19 世纪 50 年代，铁船制造蓬勃发展，直到 80 年代轧钢技术成熟，开始进入钢船时代。

今人见铁船漂浮在水里，会认为是很自然的事。但在 18 世纪 80 年代以前，谈起用铁造船，简直让人不敢相信。英国机械师、企业家威尔金森为造铁船开辟了道路，他深信阿基米德原理，不管人们的怀疑，用铆钉固定铁板做成一只小船，于 1787 年 7 月放入赛文河里。面对众人的惊叹，威尔金森写信给一位朋友说："它符合我的一切期望，并且说服了那些不相信的人，这些人的数目是千分之九百九十九。"

早期的铁船较小，只用于内河航行。逐渐地，工程师把目光瞄向可航海的大铁船。铁船与木船的轮廓和结构大致相同，但铁船的优势显而易见。因为木船的外壳由相对较短的窄木板构成，为了保证船体的稳固，上下相邻木板的端头必须错开，而这种结构难以承受"拉伸应变"。出于这种限制，木船长度一般不超过 300 英尺，超过这一极限，由重力和浮力的不同分布引起的变形就会加大，则难保船壳不进水。在用铁做船壳之后，铁板的端部用铆钉连接，这就克服了原来木船的缺陷。

早期铁船的吨位不大，随着轧铁工艺的改进，刺激工程师们建造大铁船，其中最有名的是英国的"大东号"(Great Eastern)。

主持建造"大东号"铁船的是著名工程师伊桑巴德·金德姆·布鲁内尔(Isambard Kingdom Brunel)，他年轻时给父亲当助手，老布鲁内尔是著名的工程师，曾负责开凿第一条泰晤士河隧道。1833 年，布鲁内尔 27 岁，被聘为修筑布里斯托尔—伦敦铁路的工程师，这条铁路后来被命名为大西铁路(Great Western Railway)。说来布鲁内尔从修铁路转行到造船有些戏剧性，1835 年，在一次大西铁路公司董事会上，一位董事谈到计划建造的铁路长度，认为长得惊人，布鲁内尔不

以为然道："为什么不把它建得更长一点？再加上一艘往返于布里斯托尔和纽约的蒸汽船，把它命名为'大西号'(Great Western)。"不料这句话被当真了，后来决定建造"大西号"，船主就找到布鲁内尔负责。

"大西号"是横渡大西洋的第一艘蒸汽船，它实现了设计之初提出的目标。1838 年，它横渡大西洋，并开辟了使用蒸汽船的大西洋定期航线。当时该船的船壳系木制，使用了明轮蒸汽机。这艘船取得极大的成功，船主很快决定建造第二艘船，取名"大不列颠号"(Great Britain)。布鲁内尔建议新船采用铁制船壳，后来他又大胆决断，抛弃明轮，采用螺旋桨。"大不列颠号"于 1843 年投入使用，此后航行了 30 多年。

大约在 1852 年，布鲁内尔又想建造一艘更大的铁船，他与东部蒸汽航运公司(Eastern Steam Navigation Company)的董事讨论了这一项目，最初的设计要求能航行到印度的加尔各答。但不久计划改变，要建成巨轮"大东号"，装载的燃料可供它做往返澳大利亚的环球航行，即绕过好望角到澳大利亚，再经合恩角返回。

"大东号"于 1854 年初开始建造，于 1857 年底做好下水准备。这项工程取得惊人的成就，船约重 6250 吨，工人用了约 300 万颗铆钉，把约 30 000 块铁板拼合成船壳。除了与尾部框架相连接的几块特大的铁板外，其余的船壳铁板都是 10 英尺长、33 英寸宽、厚 3/4 英寸，每块板重 825 磅。

1859 年底，"大东号"往霍利黑德海峡航行，第二年夏天驶往纽约。航行中暴露出问题，当初设计时对煤耗量估计严重不足。从 1865 年起，"大东号"退出远洋航行，主要用于敷设海底电缆。

19 世纪 80 年代，炼钢技术的创新为造钢船提供了条件。1877 年，英国皇家海军的"彩虹女神号"下水，这被看作是钢船时代开始的标志。

第七章
炼钢、化工创新



绘画：王晨

很长一段时间，受炼钢技术制约，欧洲的钢产量远远不及铁产量。19 世纪下半叶，炼钢技术取得创新突破，贝塞麦转炉炼钢、西门子平炉炼钢问世，使钢产量迅速上升，极大满足了产业发展对钢的需求。

化工领域也有重大创新，新工艺使碱实现了工业化生产，合成染料、黄色炸药等新发明催生出新产业，造就了富有的发明家。

一、贝塞麦转炉炼钢

1860 年，英国发明家亨利·贝塞麦（Henry Bessemer）发明转炉炼钢法并实现产业化，由此拉开了钢铁新时代的序幕。

19 世纪 50 年代，欧洲机械制造、工程建设的发展，加上铁路修筑的高潮，加大了对钢铁的需求。起初由于钢的产量低，不得不用性能较低的生铁和熟铁顶替。以英国为例，当时为世界上最大的钢铁生产国，1850 年铁产量达到 250 万吨，钢产量却不到 6 万吨。钢产量低的原因是炼钢方法陈旧，生产成本高。

许多发明家都在努力想法解决，美国的威廉姆·凯利（William Kelly）和英国的贝塞麦几乎同时发明出转炉炼钢，而以贝塞麦在产业化上率先成功。

贝塞麦在发明转炉炼钢之前，已在精密铸造、铅笔制造、邮票防伪、铜粉、玻璃等方面取得多项成果。机制铜粉给贝塞麦带来丰厚的收益，这为他从事炼钢研究奠定了物质基础。

贝塞麦原本对钢铁冶炼所知不多，仅了解空气能使加热过程中的铸铁表面脱碳成钢，然而他以此为基础做的推论却恰好是正确的。贝塞麦认定，把空气鼓入铁水中会强化脱碳过程，进而可把铸铁脱碳成钢。

1855 年，贝塞麦在自己的工厂里建起一座固定的竖式炼钢炉，这种炼钢炉实际上是一小型竖立的圆筒，可盛放 350 千克铁水，底部安装 6 个风口，空气沿水平方向鼓入炉内，钢水从底部出口流出。试验之初，火花飞溅，浓烟滚滚，使贝塞麦吃惊不小，他当时还没有完全认识碳和其他杂质的氧化反应放热会如此强烈。好在十多分钟后杂质耗尽，火焰平息。钢水注入锭模，经测定为性能良好的低碳钢。这几百千克钢的意义重大，成为开启人类钢铁时代大门的钥匙。不久，贝塞麦为他的炼钢法在英国、美国申请专利。在美国的专利后因被判定美国企业家凯利的发明

具有优先权而被撤销。尽管如此，凯利在产业化上却没有贝塞麦成功。

贝塞麦的固定式炼钢炉要损失大量的热，为此他进行改进，把炼钢炉安装在一个耳轴上，使进风管子嘴在炉中装满铁水之前一直处于铁水上方，在放钢水时可停止鼓风。1860 年，贝塞麦的可倾斜式转炉首次投入运行，证明成功。贝塞麦于 1860 年申请并获英国专利权。从此，这种转炉的型制再没有实质性的改变。

推广转炉炼钢开始并不顺利。贝塞麦毕竟不是冶金学家，他缺乏生铁成分概念，搞不清楚吹炼中到底除去了哪些成分。由于偶然的幸运，他起初用了不含磷的生铁，出乎意料效果良好，可当使用含磷生铁时，方法就不灵了。磷是铁矿中普遍存在的元素，使炼出的钢变脆。开始几年，由于不能有效地脱磷，贝塞麦法的应用受到很大限制。在经过比较后，贝塞麦专门选用由坎伯兰矿的黄铁矿冶炼成的无磷生铁来炼钢，这里的铁矿石因而有了“贝塞麦矿石”的美名。

贝塞麦炼钢法的真正成功是在瑞典。1857 年，瑞典企业家戈兰·戈兰森(Göran Göransson)购买了贝塞麦在瑞典的部分专利，并从英国买回一座固定式贝塞麦炼钢炉和一台蒸汽鼓风机。在多次失败后，戈兰森终于在 1858 年 7 月获得成功。其原因是完全采用来自瑞典丹纳穆拉的矿石炼成的铁作钢原料，所用的这种铁矿石几乎不含磷和硫。再有，戈兰森对贝塞麦炼钢法找到了控制鼓风的正确方法，要在钢水正好达到各种钢所需要的碳含量时停止鼓风。

贝塞麦炼钢法的成功鼓舞了其他国家。1858 年，法国引入贝塞麦炼钢法，在吉伦特省圣瑟尔因建造了贝塞麦转炉。德国的 A. 克虏伯在埃森建立了一座贝塞麦转炉，于 1862 年投产。1863 年，奥地利建造了第一座贝塞麦转炉。1864 年，美国在密歇根州的怀恩多特开始生产贝塞麦钢。

19 世纪后 30 年，由于贝塞麦炼钢法的广泛应用，世界钢产量出现巨大的增长。1870 年世界钢产量约 50 万吨；1900 年则接近 2800 万吨。1867 年，美国炼钢业起步，钢产量只有 2.2 万吨；到 1900 年已达到 1140 万吨。1889 年，美国的钢产量成为世界第一；德国也在这年达到 800 万吨的年产量，超过英国而成为世界第二产钢大国。

二、西门子平炉炼钢

19 世纪 60 年代起，西门子的平炉炼钢法问世，推动了西方钢铁生产新发展。

发明平炉炼钢的是兄弟俩，哥哥 C. W. 西门子(Charles William Siemens)和弟弟 F. 西门子(Frederick Siemens)，他们是德裔英国人。1860 年，F. 西门子发明了蓄热法，获英国专利。蓄热法先应用于考珀炉(由 F. 西门子的助手考珀(E. A. Cowper)于 1857 年发明而得名)。在考珀炉中，空气鼓入高炉时先经过用耐火砖砌的格子装置加热，而耐火砖又是靠同一座高炉所排出的废气加热。这种巧妙的安排，确保了高炉稳定地获得热空气供应。

利用考珀炉，进入高炉的空气温度高达 620℃，此举使生铁产量提高 20%。经过改进的考珀炉，持续用到 20 世纪下半叶。

西门子平炉炼钢利用了蓄热原理，并且在热源方面与贝塞麦转炉有很大区别。在转炉中，炼钢过程本身产生的热量提供了必要的工作温度。而在平炉中，所需的热量来自冶炼过程之外。1861 年，C. W. 西门子发明独立的煤气发生器，先把固体煤转化为煤气，再送入炉中，该发明获英国专利。煤气发生器可以使用低质煤，从而降低了炼钢成本。

为了对熔化的生铁进行脱碳处理，西门子兄弟在冶炼时往铁水中加进一些铁矿石，铁矿石的氧化物与生铁中的碳反应，可使生铁中的碳含量降低。1864 年，法国的钢铁企业主皮埃尔·马丁(Pierre Martin)发现，在铁水中加一些废钢也可以降低铁水中的碳含量，他用这种方法成功地炼出了钢。马丁工厂使用了西门子公司建造的热风炉，1866 年，马丁与西门子签订一项新协议，为此后发展西门子—马丁平炉炼钢法奠定了基础。

西门子—马丁平炉炼钢法能在非常高的温度下冶炼，并使金属在整个冶炼过程中总是处于熔融状态，再加上利用废钢和廉价的低质煤，因而这种平炉炼钢法获得成功。

1889 年，巴黎世博会上最引人注目的是法国工程师古斯塔夫·埃菲尔(Gustave Eillel)建造的埃菲尔铁塔，铁塔所用的材料就是法国用西门子—马丁炼钢法生产的精制铁。

1900 年以后，西门子—马丁炼钢法在生产中获得广泛应用，最终超过了贝塞麦转炉炼钢法。

三、不锈钢

不锈钢是指含铬量(质量分数)为 12%～30%、含碳量低于 1%的钢合金,具有很强的耐腐蚀性,在生产、生活中有着广泛的用途,很多地方都能看到它亮闪闪的身影。

不锈钢的发明反映了冶金知识不断积累的过程。19 世纪末期,为适应军工部门对材料的需求,科研人员研制了多种硬化钢合金。1904 年,法国冶金学者莱昂·吉利特(Léon Guillet)进行低含碳量的铬合金实验时,冶炼出不同等级的两种不锈钢:一种是用高温硬化的马氏体不锈钢,一种是不能硬化的铁素体不锈钢。遗憾的是,吉利特没有注意到不锈钢具有的抗腐蚀性。其后几年,法、德等国的科研人员对铁铬合金深入研究,为不锈钢的理论形成打下一定基础。

1908 年,德国人蒙纳尔茨(P. Monnartz)和博查斯(W. Borchers)提出材料不锈性和钝化的观点,并于 1911 年发表了钝化理论。同年,蒙纳尔茨还发表了题为《铬钢的研究,特别是耐酸性》的论文,引起科学界对不锈钢的关注。该论文被认为是冶金史上的经典之作,因为与不锈钢研究相关的重要问题几乎都被涉及,如:铬钢在酸、水及大气中的腐蚀速率在铬含量增高到 12%时急剧下降;用电动势测量证明钢的钝化是抗腐蚀性能提高的原因;钢的钝化与氧化-还原的关系,如在腐蚀液体中添加氧化剂或充氧都有助于抗腐蚀;钢的含碳量不宜高,否则会生成碳化物而使钢的腐蚀加剧等。

从技术史上看,学者多认为是英国的哈里·布里阿利(Harry Brearley)最早意识到不锈钢的价值,并成功实现了商业推广。1912 年,布里阿利在英国重要的钢铁制造中心——谢菲尔德的弗斯公司布朗实验室工作,为海军研究火炮内膛用的新合金钢,他发现高铬钢金相试样不易用硝酸酒精腐刻,在空气中也不易生锈。他还注意到这些现象不但与钢的成分有关,也与热处理的方式有关。经过试验,布里阿利炼成含碳 0.3%、含铬 13%的马氏体不锈钢,这种低碳高铬的马氏体不锈钢很适合制做餐具,一位谢菲尔德的刀具商提议将这种钢叫做不锈钢,这个名称一直沿用至今。

本来做出发明是好事,布里阿利却因专利权归属与弗斯公司发生了争端。

1915 年，布里阿利的不锈钢发明终于在美国获得了专利。1920 年，布里阿利创办公司并建立生产线，使不锈钢制品得到进一步发展。

1912 年起，德国克虏伯公司的研究人员莫勒（E. Mauer）和施特劳斯（B. Strauss）也在进行不锈钢的研究，他们研发了含碳低于 1%、含铬 15%～40%、含镍低于 20% 的奥氏体不锈钢。两人在后来的十几年间不断完善镍铬奥氏体不锈钢，就不同的组分比获得了多项专利，与此同时，克虏伯也进行不锈钢的工业化生产。

1929 年，施特劳斯取得了低碳 18-8（含铬 18%、含镍 8%）不锈钢的专利权。1931 年，德国的豪德勒欧特（E. Houdreuot）发明了含钛的 18-8 不锈钢（相当于现在的 1Cr18Ni9Ti 或 AISI 321）。几乎在同时，法国的优尼克斯（Unieux）实验室发现，奥氏体不锈钢中含有铁素体时，钢的耐晶间腐蚀性能得到明显改善，从而开发出双相不锈钢。1946 年，美国的斯密泽塔尔（R. Smithetal）研制了马氏体沉淀硬化型不锈钢 17-4PH；随后研制出既具有高强度又可进行冷加工成形的半奥氏体沉淀硬化不锈钢。至此，不锈钢家族中的主要钢类，即马氏体、铁素体、奥氏体、$\alpha+\gamma$ 双相以及沉淀硬化型等不锈钢基本齐全，且一直延续至今。

四、碱的工业化生产

碱，也叫纯碱、苏打，化学名称碳酸钠，在工业上有极其重要的作用。碱的工业化生产开拓了近代无机化学工业，无论在原理、化工流程、生产设备、综合开发等方面都为现代大型化学工业奠定了基础。

18 世纪起，欧洲各国用碱量激增。1789 年，法国化学家尼古拉·吕布兰（Nicolas Leblanc）从食盐和硫酸里得到硫酸钠，又用木炭、石灰石和硫酸钠加热而获得苏打和硫化钙，此称为吕布兰法。1823 年，英国政府宣布豁免盐税，盐价大降，而此时硫酸的工业化生产早已实现，因而使吕布兰法在英国得以推广。到 1880 年，吕布兰法为欧洲各国普遍采用，最高年产量达到 60 万吨。

然而，采用吕布兰法的生产环境脏污，有许多难以处理的有害废物，如氯化氢、硫化钙等，而且此法生产耗费大量燃料。

1836 年，威廉姆·戈赛奇（William Gossage）创造洗涤塔用来处理氯化氢废

气，同时生产出盐酸，这项发明具有深远的意义，因为它建立了一个关于气体吸收的一般原理，一个在工业化学品的操作中经常是必需的操作。

1863 年，英国禁止将氯化氢气释放到大气中的“碱法令”通过，戈赛奇的方法便得到广泛采用。1866 年，亨利·迪肯（Henry Deacon）发明了从碱工厂的氯化氢废气中生产漂白粉（由石灰和氯化合而成）的方法，迪肯于 1870 年申请并获得英国专利。漂白粉既少臭气，又易于搬运，很受纺织工业的欢迎，1880 年，英国年需要漂白粉达 15 万吨。由此氯化氢的污染问题也得以解决。

碱生产中的副产品硫化钙的污染也很严重。1862 年，英籍德裔化学家、企业家路德维希·蒙德（Ludwig Mond）研究出用空气氧化使硫析出的处理办法，不仅减轻了污染且大大增加了吕布兰法的产品品种，这在化工发展史上具有重要意义。

1861 年，比利时工业化学家厄恩斯特·索尔维（Ernst Solvay）在煤气厂从事稀氨水的浓缩工作时，在用食盐水吸收氨和二氧化碳的试验中得到碳酸氢钠。同年，他用食盐、氨和二氧化碳为原料，于室温下从溶液中析出碳酸氢钠，将它加热，即分解为碳酸钠。他的产品质地纯净，故称纯碱。尽管前人对此已做过不少工作，并也有专利申请，但当时的专利制度不严格，申请专利的文章也不公开，索尔维很容易获得了制取碳酸钠的工业生产方法专利，此方法被称为索尔维法（又称氨碱法）。1863 年，索尔维组建了索尔维公司，并在比利时库耶建立纯碱厂。索尔维用碳化塔吸收二氧化碳，克服了气、液混合的困难，减少了氨损耗，1866 年纯碱日产量 1.5 吨；1867 年在巴黎博览会获铜质奖；1872 年纯碱日产量已达到 10 吨。

用索尔维法的产品比用吕布兰法的更纯、更便宜，引起其他国家注意。1873 年，英国的蒙德工厂获得索尔维氨碱法专利的英国授权。几乎与此同时，世界上许多国家签发了氨碱法的许可证。1885 年，氨碱法生产的纯碱产量与吕布兰法生产的基本相同。1902 年，氨碱法的产量已远超过吕布兰法。

在碱的工业化生产上，中国化学家侯德榜独有功劳。1926 年，侯德榜组织队伍生产出中国第一批（也是亚洲第一批）纯碱，同年在美国费城万国博览会上荣获金质奖章，自此结束了中国依靠进口洋碱的历史。

五、珀金与苯胺紫

利用煤焦油制取苯胺紫(mauve)是19世纪中叶的一项重大发明，由此开辟出人工合成染料，推动了近代化学工业的建立。

苯胺紫归功于英国化学家威廉姆·珀金(William Perkin)。1856年，18岁的珀金进入英国皇家化学学院，跟随担任院长的德国著名化学家奥格斯特·霍夫曼(August Wilhelm von Hofmann)学习。当时，霍夫曼是最先注意到煤焦油(煤气工业的一种副产品)的重要人物之一，霍夫曼通过分析，发现煤焦油中含有苯和苯胺，而苯胺可以生成有色物质。霍夫曼确立了苯转化为硝基苯、进而转化为苯胺的合成路线，这为合成染料的发明奠定了理论基础。

霍夫曼交给珀金一项课题，用苯胺衍生物烯丙基甲苯胺合成治疗疟疾的特效药奎宁。珀金进行试验，更多的时候是在摸索。珀金想，用加硫酸和重铬酸钾(当时认为这两种物质能产生必要的氧)的办法使烯丙基甲苯胺氧化，或许就能制备出奎宁。而那时他并不确知奎宁的化学结构，没有得到预期的奎宁，所获得的只是红棕色的沉淀。

霍夫曼反对珀金脱离纯科学研究的做法，但珀金还是坚持用不纯的苯胺继续试验。他获得了一种黑色的软膏，当用水把这种软膏煮沸时，发现其中一部分溶解，生成一种淡紫色的溶液，由此可获得一种紫色晶体。珀金发现这种紫色物质能用来染色，对毛、棉织品都有良好的着色性质，洗涤时不脱落，也不易褪去。这就是最早的“苯胺紫”。不过，当时苯的环状结构学说还没有提出，苯胺紫的结构尚无从确定。

珀金在朋友的鼓励下，把他的染丝样品送到著名的普拉斯印染公司，对方测试后给予肯定评价。珀金获得信心，申请并获准英国专利，他说服父亲提供资金建厂生产。

珀金不顾霍夫曼的劝阻，离开皇家化学学院，1857年6月他与家人在伦敦郊外建起世界上第一家生产人工合成染料的工厂。经过半年的努力，第一批苯胺紫染料正式推向市场。世界向来“物以稀为贵”，古罗马时期，要用一万多个紫贝才能提取出一定量的紫色染料，价值昂贵，一般人哪敢问津。而今紫色染料可以用便宜

的煤焦油大量生产，百姓也可一试，这就是科学技术的力量。

苯胺紫染料先是风行英国，不久又在法国等国流行。不公平的是，珀金在法国制造苯胺紫的专利被认定无效，法国的染料生产商由此获益。不过，这种颜色在巴黎的成功反过来对在英国的销售产生了积极影响。维多利亚女王在 1862 年的世博会上特地穿上一套紫色的礼服，英国的一便士邮票也印成淡紫色。

珀金 35 岁时，因苯胺染料生产带来的财源已成巨富，但他无意继续干下去，又重新回到化学研究本行。然而，珀金的发现和创业却成为一种启示，鼓舞许多人去寻找可以用作染料的新化合物。在苯胺紫之后，霍夫曼发现洋红（也称为品红）可容易地转变为紫色染料——玫苯胺或称霍夫曼紫。后来其他化学家又陆续合成了一些苯胺类染料，如翡翠蓝、俾斯麦棕等。苯胺染料一时地位显赫，在化学史上，19 世纪 60 年代也被称作“苯胺染料十年”。

六、诺贝尔与炸药

世界上最早的炸药——黑色火药，是 8 世纪末由中国炼丹术士发明的。火药后来由蒙古人和阿拉伯人传入欧洲，影响了西方文明的进程。

黑色火药在使用中显露出威力不够、引爆慢等弱点，这促使人们进行新的探索。进入 18 世纪，近代化学快速发展，为炸药原料的来源、合成及制备提供了条件。

19 世纪初，硝酸和硫酸已能规模化生产，物质与硝酸作用后的生成物——硝化物，受到许多人注意。法国化学家布拉孔诺（H. Braconnot）在试验中把浓硝酸倒入了淀粉，无意得到一种高度易燃的白色物质，这一发现给化学家以启示，某些物质跟硝酸作用，会得到易爆燃的物质。

1846 年，瑞士化学家克瑞斯廷·舍恩拜因（Christian Schönbein）试验用棉花、纸张等含纤维素高的物质跟浓硝酸作用，得到一种具有高度爆炸性的物质——硝化纤维。舍恩拜因在英国申请并获得专利，由此建立世界上第一个硝化纤维工厂。然而工厂刚开工几天，就被生产的炸药炸得粉碎。随后建立的几个工厂，也都因爆炸事故被迫停产。一连串的事故迫使欧洲的硝化纤维生产停顿。最后，英国化学家弗雷德里克·阿贝耳（Frederick Abel）找出事故的根本原因，只有把所有易分解

的产物完全清除掉，硝化纤维的稳定性才能得到保证。根据这一原理，阿贝耳开发了一种使硝化纤维稳定的方法，为近代炸药发展奠定了可靠基础。

1846 年冬天，意大利化学家艾斯加尼奥·苏布雷罗（Ascanio Sobrero）做了一个前人未做过的实验，他将浓硝酸和浓硫酸的混合液滴入甘油，边滴边搅拌，得到一种有黏性的油状物，这种油质液体具有高度爆炸性能，这就是硝化甘油。

硝化甘油的使用既不稳定也不安全，最终成功地解决这些问题、制造出安全可靠的炸药使之得以广泛利用的殊荣归于瑞典发明家阿尔弗雷德·诺贝尔（Alfred Nobel）。

1833 年，诺贝尔生于瑞典。少年时在俄国受教于私人教师，17 岁去法国旅行一年，之后到美国学了 4 年化学。19 世纪 50 年代初，诺贝尔在彼得堡他父亲的鱼雷厂工作，协助做了多种炸药试验。后来，因父亲在俄国的工厂破产，举家迁回瑞典，在斯德哥尔摩附近设厂，生产由苏布雷罗发明的硝化甘油。1864 年，工厂发生爆炸，5 名工人遇难，诺贝尔的弟弟也遭不幸。

惨痛的事故激励诺贝尔深入研究，寻求合适的惰性材料添加到易爆炸的硝化甘油，以制造安全的炸药。在试验了多种物质后，诺贝尔发现硝化甘油与硅藻土（产于德国的一种多孔的硅藻黏土）相混合，制成的炸药相对来说对热和震动不敏感，可由专门发明的雷管引爆。诺贝尔为他的新发明分别申请了多个国家的专利，1867 年获得英国专利，不久获得美国专利。

在安全炸药的基础上，诺贝尔致力于研究新的炸药。1875 年，他研制出以火药棉和硝化甘油混合的新型胶质炸药，申请获得英国专利。1888 年，诺贝尔发明了名为“巴里斯太”（ballistite）的无烟炸药，然而围绕这项发明专利权，他输给了英国无烟火药的发明者。

最初，火药和爆破制造商试图阻止炸药的大规模生产，但是诺贝尔的炸药比火药更猛，比硝化甘油却要安全得多，不久在采矿、挖掘和弹药生产中证明了它的价值。诺贝尔在全世界建立了炸药制造厂和连锁店，加上在巴库的俄罗斯石油投资，使他成为巨富。1896 年，诺贝尔逝世，临终前他留下遗嘱，设立基金用于褒奖对科学事业有重要贡献的科学家。时隔百年，诺贝尔奖仍被公认为科学界最崇高的荣誉。

诺贝尔的工作给其他发明家很大激励。1880 年，德国化学家伊多劳·赫普

(Eduaro Hepp)用硝酸和浓硫酸的混合酸处理甲苯得到三硝基甲苯(习称 TNT)。TNT 于 1891 年起作为炸药使用。

进入 20 世纪,两次世界大战对炸药工业产生了深远影响,TNT 由于可以承受炮弹从炮膛发射时产生的巨大震动,只有在有引爆剂的作用下才爆炸,所以代替硝化甘油被广泛采用;而引爆剂也有着比雷管引爆剂更好的性能。在第二次世界大战期间,德国、苏联、美国都投下了巨量的炸药,给世界带来巨大的创伤。



第二部分
电气时代

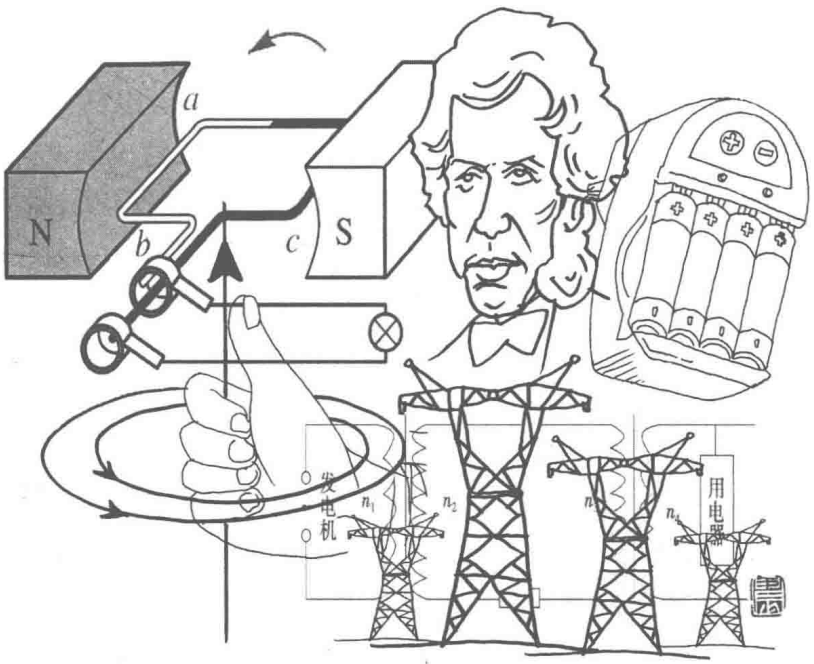
进入 19 世纪，电磁学的创立为电的开发和应用奠定了理论基础。19 世纪 70 年代起，电在社会生产和生活的各方面逐步得到应用，掀起了新技术革命，使人类迈入电气时代。

电如此神奇，幻化出前所未有的应用：电气照明，电车交通，电报电话，电动机取代蒸汽机，电解铝使昔日的贵金属降低身价，电解食盐水制取氯气改变了传统的化工业。

电力改造了工厂的技术和布局，电力传输的便利使工厂选址不再受到局限。电力也改变了生产模式，为小微企业赋予新的生命。

电气时代，内燃机的创新应用推动汽车、飞机的发明；石油的开采推动石油化工业的建立。因而也可以说，人类进入了汽车时代、航空时代、石油化工时代。

第八章
电磁学发现与发明



绘画：王晨

19 世纪，有关电磁的理论探索和发明成果主要有：1800 年伏打发明伏打电堆；1820 年奥斯特发现电流的磁效应；1827 年欧姆确立欧姆定律；1831 年法拉第发现电磁感应；1867 年西门子制成自激式直流发电机；1870 年格拉姆发明有环形电枢的发电机；1887 年特斯拉发明交流电动机；19 世纪 90 年代可产生和转换高压交变电流的交流发电机和变压器的开发。此外还有电缆和绝缘材料的生产、电机制造工艺等一系列技术创新。

一、从电堆到电池

伏打电堆是世界上最早的电池，它的发明使人类第一次有了可控电源，为从事电磁学实验提供了新手段，在此基础上，促使了蓄电池的发明。

1800 年，意大利物理学家伏打（A. Volta）发明了电堆，说来这与伽伐尼（L. Galvani）的青蛙实验有关。1786 年 9 月的一天，意大利博洛尼亚大学的医学教授伽伐尼做实验，他把解剖的青蛙放在一个潮湿的锌盘上，当钢制的解剖刀无意中触及蛙腿外露的神经时，只见蛙腿猛地抽搐了一下，伽伐尼注意到这一现象，反复实验后认为发现了“动物电”。消息传开，许多科学家重复这一实验，并试图给出电击抽搐的解释。在帕维亚大学任教的伏打也做了同样的实验，他经过仔细观察，认为所谓的“动物电”并非来自蛙腿，而是放置青蛙的金属盘。1794 年，伏打用潮湿物体代替青蛙肌肉组织，验证了电流的存在。1799 年，伏打制成世界上第一个电堆，他用盐水泡过的纸板将一对锌片和铜片隔开，将多个这种金属堆叠起来，就形成了电堆。每对金属片产生的电压后来测定为 1.1 伏（为纪念伏打而命名的单位），它代表这一对金属片在电路中维持电流移动的能力。

1800 年 3 月，伏打在写给英国皇家学会会长班克斯爵士（Sir Joseph Banks）的信中描述了他的发明，后人便以这一年份作为伏打电堆的发明年。

伏打的发明为科学研究提供了一种新手段，不过在使用中暴露出一些问题，如极板容易极化，在阳极板上释放出的氢阻碍化学反应，从而使电堆的电压明显跌落。为了消除极化，人们进行了许多改进，其中两人的工作最为显著，一位是英国化学家丹聂尔（J. F. Daniel），另一位是法国铁路工程师勒克朗谢（G. Leclanché）。

1836 年，丹聂尔发明了一种使用两种电解液的电池，它由一个铜圆筒和多孔

槽组成，多孔槽里固定着一根锌棒。铜圆筒装有硫酸铜溶液，多孔槽装有稀硫酸。丹聂尔电池的优点是能产生恒定的电动势，它可以长时间工作，特别适合于电报机。

1866 年，勒克朗谢发明了另一种电池，它由一根锌棒和一个多孔圆筒组成。锌棒和圆筒分开浸在装有氧化铵的玻璃容器中；多孔圆筒内，在中心炭棒周围填有炭粉和二氧化锰的混合物；锌棒和炭棒提供两个端子，电压为 1.5 伏。

以上这两种电池提供的电都源于电源内部不可逆的化学反应，当反应发生时，电流逐渐减弱直到耗尽，因为这种类型的电池不能充电，只能一次使用，故称为原电池。

大约在 1803 年，德国人里特(J. W. Ritter)发明了一台“可充电电池”(secondary battery)效应的装置。“可充电电池”又称“蓄电池”(storage battery)，因为它可以被另外的电源充电。然而，里特对自己的发明未予充分重视，当时也没有人能意识到它的意义，里特的工作逐渐被人遗忘。

现代蓄电池发明的殊荣归于法国人普朗泰(R. L. G. Planté)。19 世纪 60 年代，普朗泰进行电池研究，其电池结构由硫酸液和用作电极的铅板和氧化铅板组成。1878 年末，普朗泰将蓄电池公开展示，引起人们的浓厚兴趣。由此也吸引了法国的富尔(Camille Faure)转入电池研究，1881 年，富尔在法国申请了“电极板”的发明专利。

在英国，发明家斯旺(J. Swan)充分认识到可充电电池的价值，他觉得普朗泰和富尔的电池样品都太笨重，需要做出改进。斯旺为此进行了大量研究，1881 年，斯旺发明出蜂窝状铅极板，其中用了填充铅绒材料。这一发明使得蓄电池在给定尺寸下的蓄电量大大增加。斯旺发明的电池受到欢迎，这可使蓄电池大量生产，蓄电池制造很快成为重要的产业。

到 19 世纪末，许多直流发电站都使用了斯旺的蓄电池，后来又用到汽车照明和发动机点火，其基本类型一直沿用到 20 世纪中叶。

二、电流的磁效应发现

19 世纪初，人们对电、磁现象的了解非常少，还谈不上对电磁之间关系的认识。直到 1820 年，丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted)发现电流的磁效应，迈出了

电磁学发展史上的重要一步。

奥斯特 1777 年 8 月出生于丹麦的小镇路德乔宾，父亲是当地的一位药剂师，开个小药房勉强维持生活。奥斯特 12 岁时，便到父亲的药房帮忙，这使他在化学方面掌握了一些有用的知识。

1800 年伏打发明了伏打电堆，成为稳恒电流的来源。消息传开，年轻的奥斯特意识到，伏打的发明会给他的研究带来机遇。

奥斯特信奉康德的哲学思想，认为自然界各种基本力是可以相互转化的。1812 年，奥斯特发表了一篇文章，论证化学力和电力的等价性。奥斯特深信电和磁有某种联系，只是不知道该怎样来揭示。当时，实验已知导体通过电流会发热，甚至会发光。奥斯特推测，电流通过细导线会发热，通过更细的导线甚至会发光，若进一步减小导线的直径，会不会激发出磁呢？于是他用一根细白金丝，把它接到电源上，在它前面放一根磁针，他和别人一样，试图用白金丝的尖端吸引磁针。结果是，白金丝灼热了，烧红了，发光了，但磁针纹丝不动。奥斯特没有灰心，他进一步思考：既然热和光都是向四周扩散的，会不会磁的作用也是向四周扩散？

1820 年 4 月的一个晚上，奥斯特向学生讲授有关电和磁的问题。他准备了演示实验，讲到上述想法时，他随即把导线和磁针平行放置要做演示。没有想到，正当他把磁针移向导线下方，助手接通电池的一瞬间，他看到磁针有一轻微晃动。这正是他盼望多年的反应。

之后奥斯特接连几个月研究这一新现象，他逐步认识到，磁效应强的不是细金属丝，而是粗些的金属丝，也不必使用贵重的白金。后来，奥斯特用了更强大的伏打电堆，终于弄清楚：电流的磁效应是沿着导线电流的螺旋方向。

1820 年 7 月 21 日，奥斯特用拉丁文以 4 页的篇幅简要报告了他 60 多次实验的结果，消息很快传开，在欧洲科学界引起强烈反响。

奥斯特发现电流磁效应的消息传到瑞士，正在日内瓦访问的法国科学家阿拉果(D. F. J. Arago)，听到消息立刻认识到它的重要意义。他一回到巴黎，即于 1820 年 9 月 4 日向法国科学院报告并演示了奥斯特的实验。安培(A. M. Ampère)等人立即行动，重复了奥斯特的实验，并进一步发展了奥斯特的成果。

在 1820 年 9 月 18 日、9 月 25 日和 10 月 9 日的法国科学院例会上(该例会每星期举行一次)，安培提交了三份研究报告。报告指出，线圈通电时对磁针的影响

与磁铁相似，他推断磁铁之所以能够使磁针运动，是由于内部存在着环形电流，他认为磁针之所以指向南北，是因为地球内部存在着与赤道方向相一致的环形电流，磁在本质上是电荷运动的结果。安培发现，电流方向相同的导线相互吸引，电流方向相反的导线则互相排斥。

奥斯特、安培为电磁学做出开创性研究，后人为了纪念，把磁场的单位定为“奥斯特”，把电流的单位定为“安培”。

三、电磁感应的发现

1831 年，电磁学研究取得突破性进展，英国物理学家法拉第（Michael Faraday）发现电磁感应现象，为人类找到了使机械能转化为电能的有效途径。

法拉第 1791 年 9 月 22 日出生于靠近伦敦桥的泰晤士河南岸的纽因顿，在家中四个孩子中他排行老三。因家境贫寒，法拉第 13 岁时就到印刷厂当装订工。好学的法拉第通过多种方式在艰苦的环境里学习：一是阅读在印刷厂里装订的书；二是加入“城市哲学研究会”，组织者经常请人在自己家中介绍新的知识，并允许研究会成员阅读自己的藏书；三是听英国皇家学会定期举办的公众科学讲座。通过这些途径，年轻的法拉第走上了与众不同的探索之路。

1812 年，法拉第成为著名化学家戴维（Humphry Davy）的助手。没几年，法拉第的才华便引起戴维的嫉妒。1824 年，法拉第凭自己的研究成果，突破时任皇家学会主席戴维的阻挠，当选为皇家学会会员。1825 年，法拉第升为皇家学会的实验室主任。

从 1820 年起，欧洲掀起了研究电磁现象的热潮，出现了各种各样的理论。1821 年，《英国哲学学报》编辑部邀请法拉第写一篇关于电磁学研究的述评，使他转向这个新的领域。法拉第重复了奥斯特、安培以及其他物理学家做过的许多实验，在仔细分析了这些实验结果后，他坚信电和磁之间还有更深刻的联系。法拉第认为，不仅电流能够产生磁，磁也会产生电，他希望用自己的实验来证实这种想法。接下来 10 年，法拉第按照自己的想法，反复进行各种各样的实验。

1831 年 8 月 29 日，法拉第的实验终于取得突破性进展。他在一个软铁做成的圆环上绕了两个相互绝缘的线圈，第一个线圈和电池连接；第二个线圈用一导线

连通，导线下方放置一个小磁针（距铁芯约 1 米远），充当电流通过的指示器。当接通第一个线圈的电流时，法拉第看到磁针突然摆动，然后回归原位；当断开第一个线圈的电流时，磁针再次摆动，然后回归原位。用木料换下软铁圆环重新实验，通电线圈改用更大的电池组，结果依然看到磁针摆动的现象，说明电磁感应只和电流的变化有关。如果电流稳恒不变，即使电流大到使导线发热，也不会产生感应。

接下来，法拉第又进行了三个实验：把条形磁铁插入线圈，发现在磁铁插入或拔出的瞬间，线圈中会产生电流；把线圈绕在一个铁棒上，铁棒两端与磁铁的两极接近，当铁棒的一端合拢或离开时，线圈中会产生电流；当一个铜盘在马蹄形磁铁的磁极之间旋转时，铜盘上引出的导线会产生持续的电流。实际上，这也就是最原始的发电机。

1831 年 11 月 24 日，法拉第在向英国皇家学会提交的报告中，对自己的实验做了总结，他把可以产生感生电流的情况概括为五类：①电流变化；②磁场变化；③流过稳恒电流的导线空间位置变化；④磁铁运动；⑤导体在磁场中运动。

法拉第对电磁学的贡献不仅是发现了电磁感应，他还发现了光磁效应（也叫法拉第效应）、电解定律和物质的抗磁性。他在大量实验的基础上创建了力线思想和场的概念，为麦克斯韦电磁场理论奠定了基础。

四、发电机与电动机

电磁理论的研究，推动了发电机、电动机的发明。发电机取代电池组提供强大、稳恒的电流；电动机作为新动力代替蒸汽机，扩展出许多新用途。一批与发电机、电动机相关的设备（如电压表、电流表、各种开关），推动了电力工业的建立和发展。

1. 发电机

一般所说的发电机是指电磁发电机，分直流、交流发电机两种，其基本原理是电磁感应定律。1831 年，法拉第发明了能产生小电压、弱电流的“法拉第圆盘”，这成为电磁直流发电机的最早雏形。1832 年，法国人希波吕忒·皮克西（Hippolyte Pixii）在法拉第的研究基础上，制成永磁式发电机。在两个绕在软铁芯的线圈下方，安装一个可以转动的马蹄形磁铁，摇转手柄使磁铁相对线圈转动，引起软铁芯

中磁场的交替变化，在线圈中激发出感生电压。每当磁铁转过半圈，线圈中感应电流的方向就会改变一次，因而发出的电是交流电。后来在安培的建议下，皮克西加装了一个换向装置（也称为整流子），将交流电变为直流电。不过，当时的磁铁是由天然磁铁矿石做成，磁性不够强，发出的电较弱。

1866 年，德国电气工程师西门子（E. W. von Siemens）用电磁铁替代天然磁铁克服了上述缺点，电磁铁所需的能量用电机自身产生的电流来提供，这是第一台实用的自激直流发电机，在技术创新史上具有重要意义。此后，几乎所有的发电机都以西门子电机为模型，应用了自激原理产生磁场。1870 年，比利时的电气工程师格拉姆（Z. T. Gramme）制成具有环形电枢的直流发电机，其电枢是在铁环上绕制线圈代替过去在铁芯棒上绕制线圈，从而提高了发电机的效率，并且运行稳定。这种发电机被广泛应用于灯塔和工厂的照明、电镀设备。1875 年，格拉姆的发电机进一步改进，安装在法国巴黎北火车站电厂，这也是世界上第一座发电厂，专为弧光灯提供照明用电。

格拉姆发电机也有缺点，主要是铜导线的利用率低，绕组位于电枢外表的导线为有效边，而在电枢内腔的导线等同虚设。为消除这一缺点，1873 年，西门子公司的工程师阿尔滕内克（H. Alteneck）创造出鼓形电枢，使绕组仅绕在电枢的外表面，于是组件的两边都为有效边，此法不仅提高了铜线的利用率，也简化了制造工艺，降低了成本。阿尔滕内克申请了一系列直流发电机专利。经过改进后的发电机，无论是性能还是外观，都非原来可比。西门子公司也因阿尔滕内克的系列发明而成为业界的翘楚。德国尝到新技术的甜头，遂以西门子公司为核心，大力研制各种发电机，加快了电力工业的发展。

随着工业和城市用电的新需求，需要高电压长距离输电，为此许多发明家积极研制交流发电机。1876 年，俄国科学家亚布洛契可夫（Л. Н. ЯбПоЧков）提出了制造多相交流发电机的设想；1878 年，他完成了给所发明的弧光灯供电的交流发电机，已具有今日同步发电机的结构的雏形。1885 年，意大利物理学家、电工学家费拉里（G. Ferraris）制造了二相交流发电机的模型。1889 年，克罗地亚出生的美国发明家特斯拉（Nikola Tesla）独立制造出结构比较完善的二相交流发电机。1891 年，特斯拉又研制成功高频率交流发电机。新式发电机在德国、美国应用后，证实了高压交流输电的优越性，逐步在世界范围内推广。

进入 20 世纪，发电机制造的原理基本未变，而在冷却、绝缘和磁性材料等技术方面有长足进步。另外，早期交流、直流发电机曾一争高低，后来随着可控整流器技术的成熟，交流发电机逐渐取代了直流发电机，成为发电技术的主流。

2. 电动机

电动机据单词“motor”译音也称马达，它的基本原理是利用带电导体和磁场间的相互作用而把电能转变为机械能。电动机的发明特别是交流电动机与发电厂站、输电线路、变压器的配套应用，是继蒸汽机为动力以来的又一次技术革命。

最早出现的是直流电动机，这与电池发明提供的电源有关。1821 年，法拉第设计了一个电磁旋转器，实现了电磁运动向机械运动的转换，此为电动机的雏形。1828 年，匈牙利物理学家耶德里克（Ányos Jedlik）提出自激原则，利用电磁铁代替永久磁铁，让两块磁铁的排斥和吸引推动转子转动，他还首次使用了换向器，适时改变流过转子的电流方向，从而造出最早的直流电动机。1832 年，英国物理学家威廉姆·斯特恩（William Sturgeon）对伏打电池、换向器等做改进，设计出带换向器的直流电动机，为进一步实用化奠定了基础。

1873 年，比利时工程师格拉姆偶然发现向直流发电机输入电流时，其转子会像电动机一样旋转，而且运转效率很高，受此启发而制造格拉姆型电动机，在商业上成功应用。19 世纪 70 年代后期，德国发明家西门子对电动机改进，并研究由直流电动机驱动的车辆，1879 年制成了 3 马力的电动车。后来，爱迪生试验的电动车达到 15 马力。

直流电动机虽然便利，但也有严重不足，配备大电池不适于远距离输电，也不能解决电压的转换，这就促使科学家、工程师另辟研究道路。

对交流电动机做出重要贡献的是尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla）。1856 年 7 月 10 日，特斯拉出生于奥地利帝国境内（现为克罗地亚）的一个塞尔维亚人家，父亲的东正教教堂的神父。特斯拉从小天赋异禀，头脑里经常涌现奇特的图像。长大后他到奥地利的工学院学习，1880 年在布拉格大学完成学业。通过了解电学原理，特斯拉对交流电机的兴趣日浓。1883 年，特斯拉进入巴黎附近的爱迪生大陆公司工作，在那里他凭灵感成功设计了第一台感应电动机模型。这种电动机全然不同于直流电动机，不需要电刷与整流器的铜片摩擦以改变转子的磁极，而是通过旋转磁场驱动转子。特斯拉确信自己的研究方向正确，却苦于没有足够的经费

变成产品。

1884 年，28 岁的特斯拉前往美国，投奔到爱迪生的门下，然而不到 10 个月他便离开。特斯拉与爱迪生性格差异很大，跟其他人也合不来。更深层的原因还有，爱迪生不喜欢交流电，特斯拉无法说服爱迪生改变成见。

1887 年，特斯拉受他人赞助创办了特斯拉电气公司，开始制造交流电动机。1887 年 10 月，他提出了一项用多相和单相电机作为分配装置和变压器的专利申请。最后他的申请被拆为七个单独的发明，分别获得专利。

特斯拉的成就为大发明家、富商威斯汀豪斯看重，后者以重金买下特斯拉的发明专利，特斯拉也转而为威斯汀豪斯的西屋电气公司工作。

1896 年，西屋电气在尼亚加拉瀑布建成大型发电厂，安装了三台特斯拉交流发电机，每台功率高达 5000 马力。与此同时，输电线路建设、变压器配套，都为交流电动机的广泛应用提供了条件。

交流电动机后来又有创新，从 1889 年起，俄国工程师多利沃·多布罗斯基(Dolivo-Dobrovolsky)先后发明了 100 瓦的三相交流单鼠笼型异步电动机、双鼠笼型三相异步电动机、75 千瓦的三相交流异步电动机。三相异步电动机构造简单、成本低、运行可靠，19 世纪后期在西方得到推广应用。

五、变压器与远距离输电

变压器的原理是电磁感应，其器件的核心是绕在同一铁芯的两组线圈，当在初级线圈输入某一频率、电压的交流电时，次级线圈中将感应出相同频率、不同电压的交流电。感应电压的大小等于次级线圈匝数与初级线圈匝数之比。变压器的工作电压自毫伏到千伏级；输出功率从毫瓦到千瓦级；工作频率从几十赫兹一直到上万赫兹。

1831 年，法拉第在利用绕制的线圈做实验时，最早发现了电磁感应现象，他在 1831 年 8 月 29 日的日记有明确记载，当时他把实验装置叫“感应线圈”。不过法拉第并没有看出将来的实用价值。

19 世纪 70 年代后期，开始出现实用变压器的设计。1876 年，德国工程师雅布洛奇科夫(Paul Yablochkov)为了使数盏弧光灯发光，把几个感应线圈输入端串联

起来使用。1883 年，法国人高拉德(L. Gaulard)和英国人吉布斯(J. Gibbs)发明“二级发电机”，即开磁路变压器，把几个二级发电机的输入端串联，用于远距离输配电。1886 年，美国工程师威廉姆·斯坦利(William Stanley)在改进的基础上，为他发明的感应线圈申请专利，并成功推向市场。同年，匈牙利工程师吉泊诺斯基(G. Zipernowsky)、布拉锡(O. Bláthy)和德里(M. Déri)一起发明了更高效的感应线圈，他们以三人姓氏的首字母命名为“ZBD”，并申请了专利。在专利申请书中，他们把该装置首次称为“变压器”。1888 年，特斯拉将变压器应用于电力传输系统中。

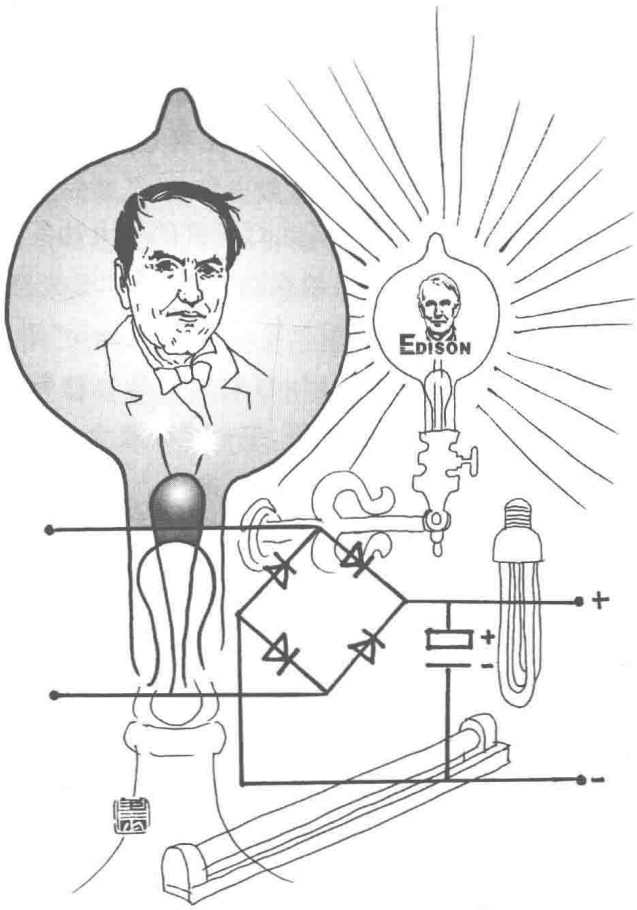
1882 年，法国电工学家和物理学家马赛尔·德普勒(Marcel Deprez)开始研究高压输电问题；随着变压器逐步成熟，1891 年，他在德奥地区建成了世界上第一个三相交流输电系统，该系统输电效率高达百分之八十，充分显示了三相交流电和高压输电的优越性，这就迫使直流输电方式逐步退出市场。

1902 年，英国物理学家弗莱明(J. A. Fleming)撰写了第一部关于变压器的专著；1904 年，他又发明了真空二极管，对整流变压器在电子电路中的应用起到了促进作用。

变压器的用途和种类很多，除用于输配电的电力变压器外，还有特殊冶炼用的电炉变压器、焊接加工用的交流电焊机、测量用的电压互感器和电流互感器等。

变压器的铁芯早期采用薄铁带、软铁片，后来采用硅钢片，有利于减少损耗和发热。随着新材料的开发，科学家发现非晶态合金铁芯又优于硅钢片铁芯。变压器的绝缘介质也有很大的变化，早期选用矿物油和绝缘漆做绝缘介质，后来出现矿物油与绝缘纸、绝缘漆结合等形式。

第九章
电气照明创新



绘画：王晨

照明与人类文明相伴随。农耕时代用蜡烛、用油灯，亮度有限，遇风不易稳定。蒸汽时代用煤气照明，煤气灯的亮度和成本有优势，却会散发异味；而严重的局限是，煤气管道只在城市铺设，不可能通到农村。进入电气时代，电力通过电线可以输送到任一地方。照明掀开了新篇章。先是电弧灯，继之是白炽灯，电灯的发明和推广应用，驱散黑暗，让世界充满了光明。

一、弧光灯

大型电池一装配出来，人们很快就注意到了电弧现象：当电池两极接近会瞬间产生电火花。早在19世纪初，为了设法使电弧稳定，科学家尝试用碳电极代替金属电极，由此开启了电气照明研究。为了将电弧实际应用于照明，探索者经历的失败不计其数。这是因为，要制作纯度和硬度都适合的碳电极很难，而随着电极烧蚀变短，自动控制电弧也很难。

英国发明家斯泰特(W. E. Staite)是弧光灯研究的一大功臣。1846年，斯泰特为碳弧光灯设计出第一个实用的自动进给机构，他制作的弧光灯采用了一种时钟机构，借此炭棒能以固定的速率进给。第二年，斯泰特又采用“固体热膨胀计原理”(pyrometric principle)，即炭棒发光和热时，辐射的热量也随着电弧的长度增加。在斯泰特的装置中，热量引起一根铜线膨胀，到一定程度会使一个棘爪提起，连动一个与齿条啮合的齿轮把烧短了的炭棒向上推进。不久，一位叫皮特里(W. Petrie)的工程师改进了弧光灯的这部分结构，并且与斯泰特合作，在英国各地做了许多有关电气照明的公开演讲和演示。

公众对弧光灯的发明很感兴趣，但斯泰特和皮特里在融资方面失败了，银行家不看好这种发明的价值。当时制约弧光灯应用的是电池，要给电池充电是很麻烦的事。直到十几年后，格拉姆的直流发电机问世，才真正解决了弧光灯的稳定电源问题。由于弧光灯发光很强，最早被应用于海岸灯塔。

1873年，巴黎城的弧光灯投入使用，重新唤起了公众对弧光灯照明的兴趣。从1875年起，地方政府和私人企业都积极兴建弧光灯照明设施。

1876年，法国北方铁路公司(Nord Railway Company)在拉沙佩勒火车站月台上建立弧光灯照明，这些弧光灯是靠压缩空气驱动的格拉姆直流发电机供电。与

此同时，巴黎—里昂—马赛铁路公司（Paris—Lyon—Marseille Company）也宣布采用弧光灯，并且在 1877 年取得新进展，当年 9 月，里昂火车站安装了由 12 盏弧光灯组成的照明设施，用一台发电机来供电。

在英国，使用弧光灯比法国滞后，部分原因是格拉姆发电机在法国生产，不得不从法国进口设备。直到 1878 年，英国在伦敦的盖蒂剧院安装了第一套弧光灯照明设备，这项任务由法国承包商承担。

早期的弧光灯体积大、耗电多，促使人们不断改进。1876 年，保罗·雅布洛奇科夫（Paul Jablochkoff）成功发明“电烛”。雅布洛奇科夫原在俄国军队担任电报工程师，退役后移居巴黎。他的“电烛”基本构造是：两根直径为 4 毫米的碳棒，竖直平行安装，其间有一个瓷质分隔器，顶端跨接一根石墨条。当电流接通时，石墨条即被烧毁，电弧在两只碳棒间形成，并逐渐向下燃烧。为避免在直流电弧中出现电极蚀损不均的现象，这种装置要使用交流电。电烛很快受到欢迎，1877 年春，巴黎卢浮宫大百货商店就安装了 80 根电烛，营造出华丽的景象。

雅布洛奇科夫很幸运，他在巴黎筹集了大量资金，这使他能改进设计，法国电气总会，即后来的电气总公司（Compagnie Générale d'Électricité）负责经销他的电烛。据统计，到 1881 年，电烛的使用量已超过 4000 盏。

雅布洛奇科夫在普及电气照明的道路上取得了成功，他的工作激励了众多的竞争者尝试发明理想的小电流弧光灯。然而不可否认，弧光灯固有的缺点难以克服，最终被白炽灯取代。

二、爱迪生与白炽灯

白炽灯的发明是人类历史上的伟大事件，不仅在于它提供新的照明方式，更在于它深刻地改变了社会生产方式，极大地影响了人类的生活。

19 世纪 30 年代，科学家深入对电的认识，已知道金属线（或小片）可以被电流加热变成白炽状态。此后陆续有人对白炽灯进行研究，其中第一个产生影响的是英国发明家约瑟夫·斯旺（Joseph Swan），1878 年 12 月 18 日，斯旺在一次化学会议上展示了他的碳灯丝灯泡。不过斯旺没有为他的发明申请专利，他以为在抽成真空的灯泡里安上一根碳灯丝通以电流，早已被人想到，因而不能获得专利，于是

斯旺努力将他的灯泡投入商业生产。而在大洋彼岸，托马斯·爱迪生（Thomas Edison）在不知斯旺的工作的情况下，致力于解决同样的问题。

在前人的基础上，爱迪生针对两大技术难题攻关：一是分类试验各种耐热的材料；二是改进抽空设备，提高灯泡的真空度。爱迪生以极大的耐心承受着试验、失败、再试验、再失败的艰苦过程。在试验了上千种材料后，他终于在 1879 年 10 月 21 日迎来成功，采用弧形炭化棉线制成的灯丝，可以连续发光 40 多个小时。次年 1 月 27 日，爱迪生为他的发明申请并获得了美国第一个白炽灯的专利（美国专利号 223898）。

爱迪生没有停步，他再度试验新材料，结果发现经炭化处理的竹丝发光更为持久。1880 年，爱迪生的实验性电灯从美国传到伦敦，并接连在英国申请了五项发明专利。斯旺很快发觉，爱迪生在英国获得的专利对他构成很大的限制，迫使斯旺改变策略，绕开爱迪生的专利。

在英国，斯旺还有其他对手。莱恩-福克斯（St George Lane-Fox）从 1878 年起就取得了多项有关灯丝电灯的专利。他先是用铂铱合金来制作灯丝，后来又用一种石墨耐火复合材料作为碳质涂层的载体。1882 年，莱恩-福克斯将他的专利转让给了英美布拉什电灯公司，还将专利转让给了在美国的布拉什总公司。

最终是爱迪生在电灯推广上取得了成功。爱迪生认为，用电照明取代煤气灯照明就需要建立类似的公用事业系统，他提出建立中心电站进行电力分配的系统，他在纽约市珍珠大街建立了美国第一个发电厂，为此还创建了一系列配套措施（见第九章三“直流电与交流电之战”）。

爱迪生的电灯制造从早期的手工向机械化加快发展，不仅提高了产量，使质量稳定，价格也大幅度下降。从 1881 年到 1896 年，爱迪生电灯公司生产灯泡的成本从 1.1 美元降到 15 美分左右，而年产量却已超过了百万只。

在电灯制造方面，斯旺的工厂与爱迪生的工厂一争高低。1882 年，爱迪生控告斯旺的公司侵犯了他在英国的专利权，但没有起到遏制作用。后来双方都意识到与其恶性竞争，不如合作以求双赢。为此他们建立了爱迪生-斯旺联合电灯有限公司（Edison and Swan United Electric Light Company Limited），以一百万英镑的额定股本在 1883 年 10 月注册。

19 世纪末，随着电力系统的改进和人们对新事物的逐步接受，白炽灯彻底取

代了电弧灯、煤气灯，成为人们获取光源的主要途径。白炽灯在使用中也不断得到改进，1910 年，威廉姆·库利治(William Coolidge)发明了钨丝。1913 年，欧文·朗缪尔(Irving Langmuir)提出新方法，在灯泡里充入适量的氮气和氩气作为非电抗性的气体，从而延长灯丝的使用寿命。1934 年，朗缪尔又做新改进，研制出缠绕的碳丝，由此白炽灯的质量越来越高。随着规模化生产，灯泡价格降低，电灯技术向各国转移，最终让电灯的光芒照亮了全世界。

三、直流电与交流电之战

在研制白炽灯的过程中，爱迪生一直采用直流电源，他测试了几种电压的电流，最后选定 110 伏特，这一标准在美国、加拿大等国使用至今。

随着白炽灯研制的进展，爱迪生也加快了商业开发的步伐。1881 年 2 月，爱迪生在纽约成立“爱迪生电灯公司”，加紧发明一整套的电力系统，包括开关、电表、插座、保险盒、接线箱等，再就是加紧建立中央电站。

1881 年 8 月，爱迪生买下珍珠街(Pearl Street)的几间仓库，开始兴建全美第一座发电厂。当时确定的直流电系统的输电范围大约是 1.6 平方公里。

1882 年 9 月 4 日，珍珠街的发电机开始运转，经由地下电线，将直流电输送到预先签约的客户楼房中。

当时，爱迪生在美国没有任何竞争对手，唯一的竞争对手远在欧洲，而欧洲的电力市场正朝不同的方向发展。1882 年，法国科学家路森·高拉德(Lucien Gaulard)和他在英国的商业伙伴约翰·吉布斯(John Gibbs)，一起申请新的配电系统专利，这套系统与爱迪生的系统完全不同，它利用变压器改变传输电流的电压，输送的是交流电。

1885 年 12 月，美国发明家威斯汀豪斯受电气照明的吸引，与几位投资者共同组建起西屋电气公司(Westinghouse Electric Company)，威斯汀豪斯收购了二十多项与电有关的专利，这些专利类似爱迪生的发明，但又可以避开明显的侵权。

威斯汀豪斯揽了几个项目，小有成功，但要做大市场，简直是向爱迪生的虎口夺食。无奈之下，威斯汀豪斯将目光转向在欧洲诞生不久的交流电。

当时，直流电只能传输到离中央电厂不到 2 千米的区域，超过这个范围电力就

会大幅度降低。而交流电利用变压器可以轻易地“升压”到更高的电压，用铜线传输到更远的距离，再“降压”供给旅馆、公司或家庭使用。

威斯汀豪斯对交流电有兴趣，但他不能确定交流电的可靠性，他找来电力专家法兰克·波普(Frank Pope)研究应用的可行性。波普最初对交流电持怀疑态度，但在深入阅读了在欧洲发表的研究报告后，他相信交流电的创新性和巨大的市场价值。

威斯汀豪斯下决心买下欧洲的高拉德—吉布斯(Gaulard — Gibbs)交流电专利，其中最关键的是变压器，这正是交流电能以低成本进行远距离传输的关键。

1886 年，威斯汀豪斯团队的总工程师威廉·斯坦利(William Stanley)设计出一套完整的交流电系统，为麻省的小镇大贝林顿(Great Barrington)提供电力，由此成为美国第一个安装的实用交流电变压系统。斯坦利设计了 12 个变压器，将传输的交流电从 3000 伏降到 500 伏。8 个月后，威斯汀豪斯在纽约州水牛城的第一座商业用交流电电厂开始运营，并且很快接到订单，将建立二十多座交流电发电厂。威斯汀豪斯的势力逐渐强大，构成对爱迪生的威胁。

不过，发展交流电仍面临一大障碍，威斯汀豪斯缺乏一项关键技术，这就是以交流电驱动的感应电动机(俗称马达)。当时的商用电动机几乎都采用爱迪生的直流电系统，要厂家制造其他类型的电动机不太可能，已发明的几种交流电动机的功能明显欠佳，不仅无法自行驱动，而且运转不久会产生强烈的震动。

就在这个时候，手上握有交流电动机的特斯拉，恰好出现了。特斯拉的专利正是威斯汀豪斯寻觅已久的东西。威斯汀豪斯亲自到特斯拉的实验室拜访，两位对新能源技术充满梦想的人物，大有相见恨晚的感觉。

经过协商，威斯汀豪斯以 6 万美元的金额，加上每利用特斯拉的电动机产生 1 马力电力便付给他 2.5 美元专利费，买下特斯拉的专利使用权。

特斯拉同意为西屋电气工作。启用一种全新的系统，困难可以想见。西屋电气当时采用的交流电为 133 赫兹，而特斯拉的感应电动机用的是 60 赫兹，西屋电气的工程师起初非常抵触，在花了几个月时间进行调试都不成功后，他们才最终接受特斯拉的意见，而一旦改换标准，电动机就按照最初的设计顺利运转，60 赫兹从此成为交流电的标准频率。

当爱迪生听说特斯拉与西屋电气合作时，不由得勃然大怒。很快，他的宣传机

器便开始弹奏一系列怪调，对所谓的交流电的危险大肆渲染。

威斯汀豪斯不理会来自爱迪生的压力，他盯着前方的挑战，更关注将于 1893 年在芝加哥举办的博览会。因为主办方宣布，为纪念“哥伦布发现新大陆 400 周年”，这次博览会将采用人工照明装饰会场建筑，并以电力作为博览会的唯一动力来源。

提供博览会能源与电力的合同向各界开放竞标，竞争非常激烈。最终西屋电气竞标成功，所报价格比通用公司的报价要低一半，其优势是利用交流发电机和变压器为博览会提供电力，并用特斯拉的电动机驱动机器。不过，西屋电气缺乏制造白炽灯的技术，有意向爱迪生购买专利，不料遭到了拒绝。

距博览会举办不到一年时间，威斯汀豪斯和他的工程师十分焦急，最后想出一个办法，以威廉姆·索耶（William Sawyer）和阿尔本·曼两人发明的碳丝灯（Sawyer—Man lamp）为基础改进，用一个玻璃罩封住灯泡底部，抽成真空，以此避开爱迪生的专利限制。这种两件式的灯泡不如爱迪生的设计灵巧，使用寿命也不长，但对在博览会上使用已足矣。

威斯汀豪斯为生产灯泡专门建了一座玻璃工厂，在不到一年时间里生产了一百万个灯泡，展示出他在运用制造资源方面的惊人能力。

1893 年 5 月 1 日，芝加哥博览会开幕。时任美国总统格罗弗·克利夫兰（Grover Cleveland）转动一个金黄色的开关，启动西屋电气的发电机引擎，瞬时博览会的数十万盏电灯齐明。

西屋电气专门为博览会兴建了发电厂，这是当时美国规模最大的交流电中央电厂，是第一套大型交、直流通用的交流电力系统，能够通过整流器点亮白炽灯、弧光灯和其他使用直流电的电气装置。会场中每一个能移动或点亮的装置，都是以西屋电气的多相交流电系统提供电力。

芝加哥博览会让西屋电气大获全胜，也成为社会大众对交流电改变认识的转折点。

四、荧光灯

荧光灯俗称日光灯，由内壁涂有荧光物质的玻璃管和装有阴极的芯柱密封而成，管内抽成真空，充入少量汞和氩、氪等惰性气体，利用电流激发汞蒸气发出紫外

线照射荧光物质产生可见光。与白炽灯相比，荧光灯不仅是一种新光源，还在于发光效率高，有节能的重要意义。

荧光灯的发明来自物理学研究，其中重要的有：1856 年，德国物理学家盖斯勒(H. Geissler)发明了水银真空泵，由此制作了真空放电实验用的盖斯勒管。1859 年，法国物理学家贝克勒尔(A. Becquerel)发现把某些物质充入盖斯勒管会发光，他把荧光材料涂于管的表面，制成原始的荧光灯。

与贝克勒尔关注荧光的物理机制不同，发明家爱迪生把荧光照明纳入商业目标，1896 年利用 X 射线照射荧光物质钨酸钙制成荧光灯，1907 年获得专利。当时，白炽灯已普遍应用，而荧光灯使用寿命短，技术优势不明显，爱迪生无意投入生产。爱迪生的工作引起他以前的雇员摩尔(D. Moore)的注意，摩尔对荧光灯前景看好，于 1895 年制成两种荧光灯具，一种充入二氧化碳发白光，一种充入氮气发粉红光，并为此申请了专利。此后，摩尔又发明了电磁控制阀来维持灯体内部的压力，延长了灯具寿命。虽然摩尔的灯具装置复杂、价格不菲，但它比白炽灯发光效率高、有色彩，商家乐于用这种荧光灯具装饰橱窗。

与摩尔发明荧光灯具差不多同时，美国电气工程师赫维特(P. Hewitt)发明了汞蒸气灯，1901 年获得专利。这种灯在低压下工作，发光效率比白炽灯高，可以统一标准生产，已接近现代荧光灯的设计。不过，由于发蓝绿色光而使应用受限，主要用在照相馆或一些工厂，并不适于家庭照明。

汞蒸气灯一直在缓慢发展。20 世纪 20 年代初，有的灯具已经开始涂有荧光层，但其主要目的是改变发光颜色而不是增强发光强度。不久后镇流器被应用到水银蒸气灯上，这预示着荧光的出现。到 20 世纪 20 年代末，荧光灯的关键部件已齐备：玻璃灯管、填充用的稀有气体、镇流器、耐用的电极、作为发光物质的汞蒸气、荧光物质等。

现代荧光灯的原型由美国通用电气公司研制而成。通用电气的研发力量雄厚，掌握有荧光灯的多项关键技术，包括摩尔和赫维特的发明专利。此外，1931 年，通用电气的赫尔(A. Hull)博士获得了“电极在气体压力下不会破裂”的专利，该技术可提高荧光灯的使用寿命。1934 年，通用电气的科学顾问康普顿(A. Compton)向公司灯具部报告了英国通用电气公司(同名公司，但业务无关)荧光灯实验成功的情况。受到激励，美国通用电气的伊曼(G. E. Inman)组织团队攻关，终于在 1936 年

研制成实用的荧光灯，并很快申请了专利。不料围绕荧光灯发明，通用电气与德国的三位工程师格默(E. Germer)、梅伊亚(F. Meyer)和斯伯纳(H. Spanner)发生了优先权之争。因为这三人早在 1926 年申请的德国专利“金属蒸气灯”中已经提到荧光照明，三人也于 1927 年向美国专利局递交了专利申请。美国通用电气为避开研发受阻，曾提出优先权问题来阻止 Meyer—Spanner—Germer 的美国专利申请获批。然而，这也意味着伊曼的荧光灯专利难以获批。陷入专利纠纷不是通用电气所愿。为了不误商机，1939 年，通用电气花费 180 000 美元买下 Meyer—Spanner—Germer 的专利，发明人不变，而将发明权归属为通用电气。同年，此专利适时获批，1941 年，伊曼的荧光灯专利也获批，这些专利稳定了通用电气在荧光灯市场中的垄断地位。

自 1938 年起，荧光灯进入市场，美国通用电气加大力度宣传，逐渐提高了人们对荧光灯的认识。第二次世界大战期间，对高亮度灯具的需求促使荧光灯快速发展。“二战”后，荧光灯作为新的照明灯具迅速进入家庭、学校、工厂、医院。到 1951 年，美国的荧光灯销售与白炽灯相比已明显占优势。

荧光灯不断进行技术改进。早期的荧光灯用铍盐作荧光粉，铍盐对人体有害。20 世纪 50 年代后，厂商大都采用卤磷酸钙作为荧光粉，其价格便宜，但发光效率不够高、热稳定性差，不适于细管径紧凑型荧光灯。1974 年，荷兰飞利浦公司把发射 611 纳米、545 纳米、450 纳米波长光的土红粉、黄绿粉和蓝粉按一定比例混合涂在荧光灯管壁上，使灯的光效和显色性同时得到显著提高，由此制成产生暖白色光或冷白色光的荧光灯，还制成可产生彩色的荧光灯，成为荧光灯发展史上的一个重要里程碑。20 世纪 70 年代末至 80 年代初，日本、荷兰先后开发出了小型 U 形荧光灯、全电子荧光灯镇流器、灯泡式荧光灯等，更适合家庭使用。进入 90 年代，荧光灯大量取代白炽灯，成为普遍的照明光源。

第十章

电报、电话与无线电



绘画：王晨

19 世纪，电报、电话与无线电先后发明，这些发明获得了广泛的应用，以前所未有的方式把世界连接起来，大大丰富了传统的“网络”内涵。

通信技术的发明创造了新的市场，催生出许多新公司，甚至推动了妇女的社会解放。

一、两种电报

电报的发明几乎同时在几个国家进行，以不同的途径努力解决同一问题。其中，利用电磁原理较早应用并取得明显社会和经济效益的是指针式电报。而在美国发展起的点划式电报，由于明显的技术优势，最终成为电报的主流技术，传播应用于更多的国家。

1. 指针式电报

18 世纪中叶，有人尝试将摩擦起电机产生的静电用导线传到远处，以吸引悬挂的小球，达到通信的目的。不过，用静电传递方式需要 26 条绝缘线（对应 26 个字母），出于经济的原因，当时还难以找到实际用途。

19 世纪初，有发明家发现利用电流能使水分解，会在两极冒出气泡，于是想到把电流气泡的方式用于通信。沿着这个方向探索的不止一人，其中最有影响者之一是慕尼黑的生理学家萨穆埃尔·托马斯·冯佐默林（Samuel Thomas von Söemmering）。冯佐默林将 36 个电极放在酸性水溶液里，用 36 根导线相连，给不同的导线通电，就有不同的电极冒出气泡，代表不同的字母。1809 年 7 月，冯佐默林公开演示成功。当年 8 月，建立了长达 700 多米的电报线路，以后又把通信距离扩大到 3000 米。

在冯佐默林公开演示电报的现场，驻慕尼黑的俄国公使馆专员帕维尔·席林（Pavel Schilling）观看后深受震动，自此他迷上了研究电报。在后来的几十年间，席林设计了多种电报装置。虽然席林的电报系统直到他去世都未能真正应用，但他的研究给后人以启示，其中受影响最大的是英国发明家威廉·库克（William Cooke）。

库克 20 岁时参加东印度军，后来退役回到英格兰。在国外时他见过席林的电报，由此产生了浓厚兴趣，回国他即试图开发应用，然而在电磁工作方面遇到困难，

于是就去请教伦敦国王学院的教授查尔斯·惠斯通(Charles Wheatstone)。惠斯通做过电报装置的试验,出于共同的利益,两人协议组成合伙关系。他们的第一项专利于 1837 年 6 月获得,所设计的电报机有 5 个指针,收报时,指针将直接指向相应字母或数字,这就大大方便了收报人。不过,该机需要 5 根电报线,使得操作不便,成本也较高。

库克和惠斯通的电报经历了多个原型。到 1838 年,他们借助编码的方法使电报线减少到 2 根。第二年,在说服了大西方铁路公司的董事会后,他们的电报系统在帕丁顿—西德雷顿间的线路上安装使用,结果证明非常成功,在 1842 年又将线路延伸至斯劳。

库克和惠斯通的成功推动了电报在英国的发展,随后两年诺里奇与雅茅斯连接起来;接着伦敦与戈斯波特和南安普敦、汤布里奇与梅德斯通,以及沃尔弗顿与彼得伯勒的连接。1846 年,伦敦与多佛尔也连接起来。这一时期的增长率可从以下事实反映:1844 年,惠斯通收到属于他的专利权使用费 444 英镑,仅过了一年,他就收到了 2775 英镑。

初期时,库克和惠斯通合作的商业权益一直由库克管理,在接到建设伦敦—多佛尔线的订单时,两人商议组建电报公司。随着公司业务的发展,到 1852 年,英国已建成约 4000 英里的电报线路。

遗憾的是,库克与惠斯通从合作早期就争吵不断,库克热衷电报的商业开发和电报线路的延伸,而惠斯通却执着于推动技术进步。1840 年,惠斯通负责制订了第一套横跨英吉利海峡的电报方案,同年他又推出了具有多种形式的 ABC 电报的第一种形式。1841 年,惠斯通发明了第一台电报打字机,不过这种装置的出现超前时代,没有得到普遍应用。

由于电报应用所产生的重要影响,库克和惠斯通两人都因发明的功绩被授予英国爵位。

2. 点划式电报

与库克和惠斯通的电报不同,在美国发展起莫尔斯的点划式电报,由于明显的技术优势,莫尔斯电报(特别是莫尔斯电码)最终成为电报的主流技术,传播到许多国家和地区。

莫尔斯(Samuel Morse)原本是纽约大学的艺术教授,在妻子死后,他暂时放弃

绘画教学，于 1832 年到欧洲旅行消愁。在法国，莫尔斯看到科学家所做的电磁实验，引起浓厚的兴趣。在回国的轮船上，他开始思考制作电报装置。

莫尔斯很快意识到，信号可以用更简单、更基础的办法产生，也就是最简单的电路的通和断，也用不着什么指针。电流流通，然后被中断，一系列的通和断可以被组织起来传递意义。想法虽然简单明了，但莫尔斯做出来的首个设备却很复杂，用到了发条、木制的钟摆、铅笔、色带、滚压杆还有曲柄。后来，莫尔斯找到一位得力助手阿尔福雷德·韦尔(Alfred Vail)，作为一名有经验的机械师，韦尔把这些都精简掉了。在发送端，韦尔的设计后来成为用户界面的经典设计：一根弹簧支撑的杠杆，通过它，操作员可以用手指触碰达到控制电路的目的。起初，他把这根杠杆称为“通信员”，后来只称为“键”。其简单性使得它比库克—惠斯通采用的按钮和曲柄快了至少一个数量级。

1835 年，莫尔斯和韦尔制成简单的电报机模型；经过多次传递信息试验，1838 年，莫尔斯和韦尔重新设计，完成了两项重要的改进：一是采用“中继器”(relay)以扩大传送距离；二是改进代码，采用点、划和间隔的不同排列组合，代表字母和符号(此即后来著名的莫尔斯电码)。中继器的发明扫除了远距离电报的最大障碍：电流沿着漫长的电线流动时会逐渐衰弱，衰弱后的电流通过操纵一个中继器，就可以激活一个由新电池驱动的新电路。

莫尔斯和韦尔游说美国国会支持电报的应用。1843 年 3 月 3 日，国会通过议案，拨款 3 万美元，用于建立电报线路。1844 年 5 月 24 日，华盛顿—巴尔的摩间全程 64 公里的电报线路正式开通，自此揭开了人类通信史上新的一页。

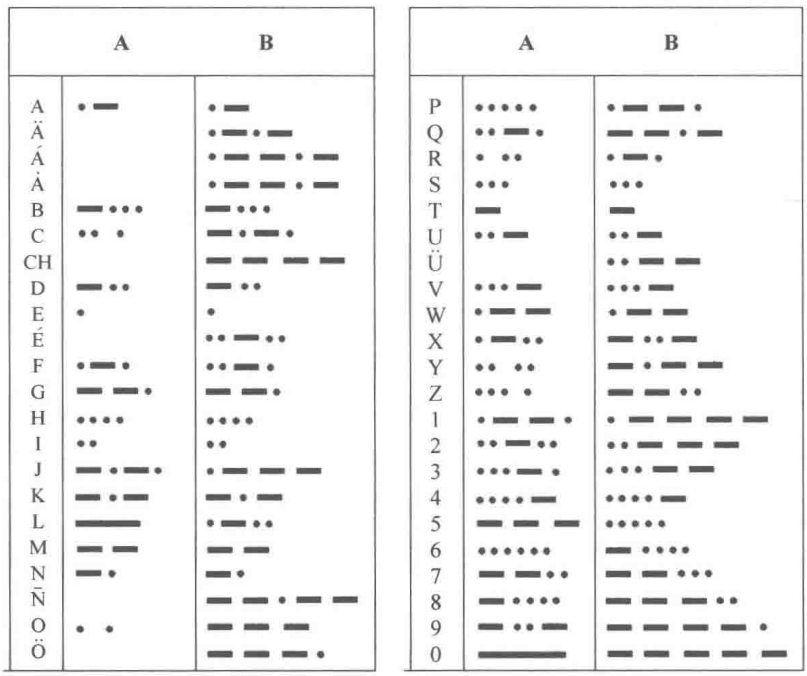
此后的十年，美国电报进入迅猛发展时期。一时涌现出多家公司竞争，很快形成了覆盖全国的电报网。到 1861 年，中小公司被挤垮或兼并，西部联合公司(Western Union)成为美国电报业的龙头老大。

如果说电报的发展代表着人类通信进步的一个重要里程碑，那么海底电缆的开发则是具有同等重要意义的另一个里程碑。一个促进了国内的通信，而另一个则把各国和各大洲连接起来。19 世纪 70 年代起，借助海底电缆，电报线路延伸至亚洲、非洲和澳大利亚。由于电报系统的规模和成本及其在国际事物中的重要性，电报公司成为 19 世纪末 20 世纪初最大的商业企业之一。

背景资料

莫尔斯电报在美国盛行后，不久传入欧洲，在发送非英文电文时，欧洲人发现缺少一些带音变标记字母的电码。为了弥补这个缺点，1851 年欧洲国家会议讨论，制定出一种修改的莫尔斯电码，称国际莫尔斯电码，这两种电码的制式类似，不过，国际莫尔斯电码要简单、准确。而美国电报业一直坚持使用莫尔斯电码。

到 19 世纪末，电报在全世界传送着“点—划”的信息，成为第一种高速的国际通信方式。



莫尔斯电码（A 栏），国际莫尔斯电码（B 栏）

莫尔斯电码用点、划组合表示英文字母；国际莫尔斯电码可表示所有字母，并使用同一长度的划。

二、电话的发明

长期以来，为世人熟知的电话发明者是亚历山大·格雷厄姆·贝尔（Alexander Graham Bell）。

1847 年 3 月 3 日，贝尔出生于苏格兰一个语音学教师家庭，中学毕业入爱丁堡大学，学习期间了解到用电学装置帮助听力受损的实验，他深受鼓舞。1871 年，贝尔全家迁往新大陆，搬到波士顿后，贝尔从事培训聋哑人教师的工作。

贝尔后来转向电话研究，在经济上受到他未来岳父的资助，在技术上则受到了意大利裔发明家安东尼奥·缪奇（Antonio Meucci）的启发，据科学史学者研究，他极有可能仿制了缪奇的电话雏形。

1876 年 2 月 14 日，贝尔向美国专利局提交发明电话的专利申请，同年 3 月 7 日，美国专利局以专利号 174465 发布。

差不多与贝尔同时，美国工程师以利沙·格雷（Elisha Gray）也在研究电话。就在贝尔申请电话专利的同一天（稍晚两个小时），格雷也向美国专利局送交了专利申请，可惜未能申请成功，这就为后来格雷的专利诉讼埋下了种子。

贝尔在法律程序上比格雷先发明电话，但他所使用的电磁式话筒初看起来与格雷所发明的听筒十分相似，听筒的制作原理也是制作现代电话听筒的依据。在这种电磁式话筒中，一块绕着线圈的磁铁形成磁场。通话时，话筒使一薄铁片在声波影响下在磁场中不断振动，从而在线圈中感生电压，并使线圈到听筒整个线路产生相应的电流变化。

1876 年末，贝尔有意将他的电话发明专利以 10 万美元转让与西部联合电报公司，西部联合电报公司缺乏前瞻，拒绝了贝尔的提议。1877 年，贝尔自己创办电话公司，一年后取得了显著成绩。西部联合电报公司意识到自己的错误，改变态度，积极打入电话领域，他们根据格雷的专利生产电话装置（格雷同西部联合电报公司是通过其子公司——西部电气制造公司建立关系，格雷是这家公司的创办人），同时还委托爱迪生改进这种电话装置。爱迪生重新设计了一种变阻话筒，在性能上比原来的变阻话筒有所提高，表现在碳粒之间的接触在声波的影响下可以自由松动。

贝尔电话公司在波士顿成立了世界上第一个电话局，采用出租电话的办法扩大业务，仅仅一年，其用户数量便从 21 个扩展到上千个。到 1879 年，贝尔又在英国和别的地方设立了分公司。差不多同时，爱迪生也在伦敦和其他地方创办了数家电话分公司，1879 年后，随着电话业务的扩大，爱迪生的分公司与贝尔的分公司多有整合。

许多企业家看好电话市场，纷纷建立新的电话公司，并大获其利。以德国为例，1877 年 10 月出版的《科学美国人》在头版刊登了一篇电话特写，德国邮政局长亨利希·斯蒂芬(Heinrich Stephan)读后很受启发，急于找到一部这样的电话，很快他从伦敦电报公司弄到一部，安装在柏林和波茨坦郊区间试用。发明家冯·西门子(E. W. von Siemens)仔细观察了这套系统，意识到既然贝尔没有在德国申请专利保护，这是一个绝好的机会。西门子公司马上动手大量生产电话，很快扩展到全德国，后来还把业务拓展到了中国。

随着电话业务的增加，建立和发展电话网络被提上了日程。1884 年左右，电话业得到了充分的发展空间，英美等主要国家的电话数量和电话线路里程，每隔二三年就增长一倍。到 1910 年，全世界电话用户超过了 1000 万。

三、电话交换机

随着电话使用的增加，出现了不同电话之间进行交换的问题，电话交换机便应运而生。

1877 年，美国开始试用小型的私人电话交换机。1878 年 1 月 28 日，设立在纽黑文的第一个商业性的电话交换机运行。半年后，一个新的可连接 20 条线路的电话交换机建成使用。1879 年，英国建起第一个电话交换台，开始只有 10 个用户。1879 年迎来电话交换机的大发展，通过技术上的改进，电话交换机可连接的线路达到 25 条。新式交换机首先在英国伦敦使用，交换机上装有呼叫指示器、塞孔、塞绳和连接杆等。

初期的电话交换机完全是手工操作，当操作人员将呼叫插塞触及塞孔的外圈时，就会发出“嘟、嘟、嘟”的信号，以示接通了电话，同时还使用小信号灯来显示呼叫信号和监控信号。早期的电话交换机，需要用户自备电池或用装有手摇式发电机的电话(俗称“摇把子电话”)，以发出电流与交换机的操作员联系，显然很不方便。后来研制出共电式电话交换机，省却了手摇发电的麻烦。共电式电话交换机应用时间很长，甚至在某些国家持续到 20 世纪中期。

19 世纪末，自动电话交换装置问世，然而在其后几十年里，这种自动装置的应用并不普及。其原因主要在于使用人工接线的支出费用较少，而购买新设备的投

入大，技术性强，且维护不便。

最先尝试研制自动电话交换机的是美国人阿尔蒙·斯特罗夫格（Almon Strowger）。斯特罗夫格原是一位做殡葬生意的老板，有一定的科学素养，由于他的竞争对手贿赂电话局接线员，抢走了许多客户，这使他憋着劲要研究一种不需人工转接的电话交换装置。经过努力，斯特罗夫格在 1889 年取得成功，1891 年获得专利，随后他成立了自动电气公司。贝尔公司看好潜在市场，买下斯特罗夫格的专利权，并做了新的改进。

1897 年，美国的第一台自动电话交换机投入商业性运营。在英国，1900 年前自动交换机已出现，但出于经济上的考虑，迟至 1912 年才投入使用。

随着自动电话交换机数量的增加，又出现了如何解决在大范围内共同使用交换机的问题。后来解决的办法是，在一个区域内建立一个大型电话总局及其下属的若干分支电话局。在一个电话总局范围内，全体用户都使用同一的编码制，形成一个大电话网。本地的主叫用户可按照规定的线路，直接向属于同一分支电话局范围内的其他用户呼叫；而向别的分支电话局的用户呼叫则统统要通过电话总局的转接。在庞大而人口稠密的城市和地区，则需要建立更复杂的电话网。在这种电话网中，使用了一种被称为“导向器”的装置。在这种电话网范围内，全体用户的电话号码都有 7 位（后升为 8 位）数字，而开头的 3 位数字通常是用来代表市内各个电话局名称的字母。当用户拨电话号码时，脉冲便储存在与之相连接的电话局；这时“导向器”便依据电话号码中开头的 3 位数字指示出所要接通的电话局，然后这 3 位数字被自动转变为直至 6 位的定向号码。

20 世纪 70 年代末，全电子电话交换系统登上舞台，由此逐步取代老式的自动电话交换系统，并带来电话的空前普及。

四、无线电通信

1864 年，英国物理学家麦克斯韦（J. C. Maxwell）发表《电磁场的动力学理论》一文，用简洁、对称的数学形式创建了电磁场理论，并据此预言电磁波的存在。

1887 年，德国物理学家赫兹（Henrich Hertz）通过实验证实了电磁波的存在。1888 年，赫兹测量了电磁波的速率和不同的波长，从而为电磁学的发展和无线电



通信、广播的应用奠定了实验基础。后人为了纪念赫兹，用他的名字作为电磁波振动频率的单位，简称“赫”。

有许多人对无线电通信作出了贡献，其中最重要者当属意大利发明家古列尔莫·马可尼(Guglielmo Marconi)。

1874 年 4 月 25 日，马可尼出生于意大利的博洛尼亚，他的父亲是一位乡绅。少年时的马可尼跟家庭教师学习。后来又在波伦那、佛罗伦萨等地接受私人教育。马可尼对物理学和电学特别有兴趣。20 岁时，马可尼了解到赫兹的研究，从此迷上了无线电通信实验。他先是尝试重复赫兹的实验，制作了能产生高压电的感应线圈，后来又对赫兹的装置改进，把金属粉末检波器和一个金属铃连接起来，当有电流通过时铃就会响。经过一连串的实验，到 1895 年底，马可尼能将信号传到 1.5 英里(约 2.4 千米)的地方。进一步实验需要更强功率的发射机，这超出了马可尼家的财力，父子俩便写信给意大利邮政局请求支持，然而那些官员没有意识到这一发明的巨大意义。马可尼的母亲是爱尔兰人，于是马可尼在 1896 年初前往英国寻求机会。当时的大英帝国是海上强国，殖民地遍布全球，正在努力寻找加强通信联络的方法。在英国邮政总局的支持下，马可尼进行研究，试验天线不同的形状、高度，并对装置改进。1897 年 3 月，马可尼向 4 英里(约 6.4 千米)外的地方发送了信号；1897 年 5 月，从英国大陆向 10 英里(约 16 千米)外的一个小岛发送了信号。马可尼通过加高天线的方法，使无线电信号传送的距离越来越远。

马可尼的早期无线电实验涉及很宽范围频率的电磁波，不同收发系统之间会发生严重的干扰。1897 年，英国伯明翰大学的奥利弗·洛奇(Oliver Lodge)用包含电感及电容器件的调谐电路解决了这一难题。由于洛奇的专利申请在先，马可尼只得设计了一种变相的调谐电路，既可以达到预期的使用效果，又避免了侵犯洛奇的专利权。

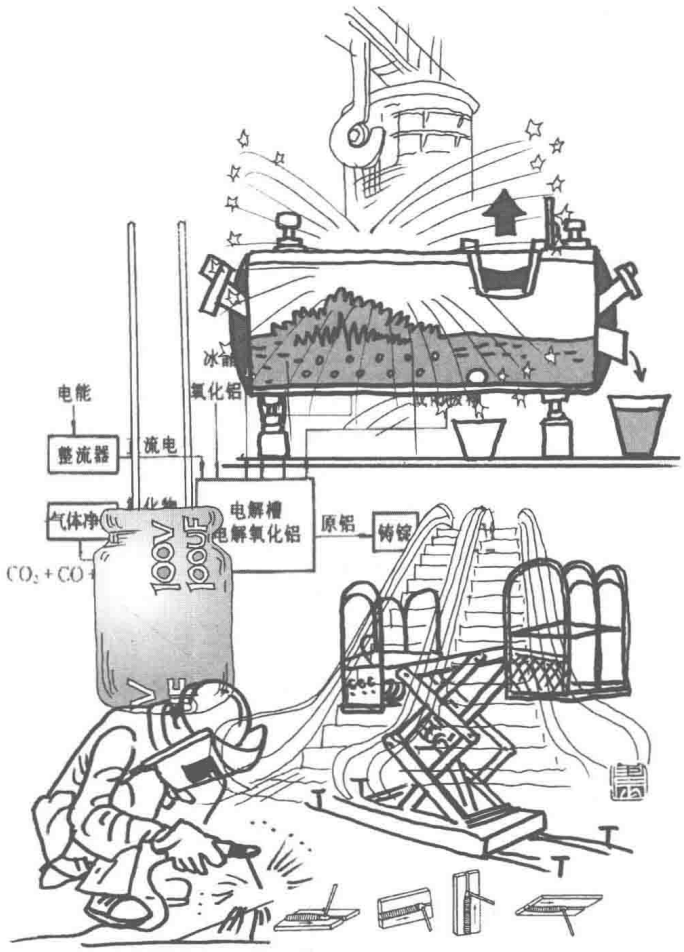
1899 年 3 月，马可尼实现了穿越英吉利海峡的无线电报通信。1900 年，马可尼获得制造完整的发报系统和接收系统的专利，这是历史上著名的英国第 7777 号专利。1901 年 12 月 12 日，马可尼成功地完成了跨越大西洋的无线电信号传送试验。1902 年 10 月，马可尼再次令人信服地实现了相距 2500 千米的海陆无线通信。这年底，在顺利实现英国和加拿大间的洲际无线电通信后，无线电通信受到西方多个国家的青睐。

1903 年春，《泰晤士报》开始使用无线电通信在美英之间传递新闻。不久，马可尼的公司推行大西洋两岸的商业性通信服务。美国、英国、意大利、德国、加拿大、比利时等国先后建立起马可尼式无线电台，大西洋上的成百艘邮船开始使用马可尼的无线电收发装置，无线电发展成为全球性事业。

1909 年，没有大学文凭的马可尼因对无线电通信的贡献而荣获诺贝尔物理学奖。

相比之下，另一位无线电报通信的发明者、俄国物理学家波波夫（A. C. Bobofu）的经历就显得黯淡。1895 年，波波夫在彼得堡举行的物理化学会议期间，演示了他研制的一种电磁波接收装置——雷暴报警器，即一台无线电报机的雏形。1896 年，波波夫成功实现了 250 米远的无线电通信，发出了人类历史上第一封无线电报，内容是："海因里希·赫兹"。第二年，无线通信距离扩大到 5 千米，不久又增加到 50 千米左右。然而波波夫的工作缺乏马可尼拥有的强大商业需求的推动，又受到沙俄封建制度抱残守旧、漠视科学的制约，不能得到经费支持，仅停留在实验和演示阶段，难以推广应用。在波波夫逝世 39 年后，苏联为了维护国家声誉，于 1945 年 5 月 7 日举行纪念波波夫发明无线电通信 50 周年大会，并把 5 月 7 日定为其"无线电日"。

第十一章
电技术创新应用



绘画：王晨

19 世纪 70 年代起，电在生产和生活各方面逐步得到应用，特别体现在新兴工业：采用电解法制铝，使昔日的贵金属降低身价，建立起全新的铝工业；炼铜由古老的火法转变为电解法，极大适应了制造电器和电线的需求；电解食盐水制取氯气改变了化工业，并开发出氯的许多新用途。

电弧焊也是电技术的创新运用，为制造大型设备、铁甲舰船、钢结构建筑等提供了有力的保证。

一、电解铝

铝元素在地壳中含量丰富，然而历史上却因提炼不易、产量稀少，一度身价高贵，甚至有“泥土中的银子”之称。

18 世纪中期，科学家从明矾中制取氧化铝，并希望进一步制出金属单质。英国化学家戴维试用电解法熔融氧化铝，受条件所限没有成功。1825 年，丹麦科学家奥斯特通过钾汞齐还原无水氯化铝，第一次得到了粉末状金属铝，不过仅有几毫克。奥斯特没有继续研究，而是移交给好友德国化学家沃勒(F. Wöhler)。两年后，沃勒用钾代替钾汞齐，得到了铝粉。沃勒坚持研究长达 18 年，到 1845 年，他炼出了每颗重约十几毫克的铝珠。

铝因稀缺，被视为贵重金属。拿破仑三世认为铝轻而硬，可以带来武器装备的革命，慷慨出资支持法国化学家圣・德维尔(Saint Deville)进行工业制铝的研究。1854 年，德维尔用还原氯化物的方法制得金属铝，建起世界上第一座铝厂，生产出铝制头盔、餐具和工艺品，因产品少，多供皇室贵族享用。当时，1 千克铝高达 3000 多法郎，几近黄金价格。其后 30 年间，世界上炼得铝的总量有 200 多吨。随着小规模的工业生产，铝的价格有所下降。

德维尔成功制得铝的那一年，他与德国化学家罗伯特・本生(Robert Bunsen)一起，通过电解氯化铝的络合盐得到了金属铝。但当时用蓄电池供电，代价极大，只是在 1867 年发电机问世后，采用电解法炼铝实现工业化生产才成为可能。

1886 年，电解铝技术实现突破。美国的查理・霍尔(Charles Hall)和法国的保罗・埃鲁(Paul Heroult)两人，几乎同时分别获得用冰晶石-氧化铝熔盐电解法制取金属铝的专利。这也是科学史的一段佳话，因为两人虽然国度不同，但生卒年月相

同，且在同样年龄，几乎同时发明了电解铝的方法。

霍尔在大学学习化学时，就有心从事提取铝的研究，后来他在家中进行电解法试验，克服诸多困难，终于在 1886 年 2 月 23 日将氧化铝溶解在冰晶石溶液内，用直流电进行电解，得到球状的铝。霍尔兴奋地写信向兄长报告消息，这封信上的邮戳也成为他发明电解法的时间证人。当时霍尔全然不知，大洋彼岸与他同龄的埃鲁也在做相同的工作。埃鲁从研究铝化物的电化学分解入手，最后成功地电解出铝，他写成的专利申请书长达 92 页，详细地描述了工艺过程，1886 年 4 月 30 日埃鲁获得法国的发明专利。这样一来，霍尔再申请专利就自然会引起法律的争议。然而，霍尔确实是独立发明，他凭借各种证明，终于在 1889 年使他的专利获准。

事实上，还有比霍尔和埃鲁更早的研究工作。1883 年，美国的布来德利(S. Bradley)就提出过冰晶石-氧化铝的电解方案，并申请了专利，但专利的批准却是在 1886 年之后，所以发明电解法的殊荣与他无缘。客观地评价电解法的发明过程，时间长达 100 多年，有许多科学家作出了重要贡献。

1888 年，德国化学家拜耳(K. Bayer)获得从铝土矿中提取氧化铝的专利，自此氧化铝的来源得到保障。瑞士冶炼公司利用莱茵河的水力发电，能够提供较廉价的电能，电解法显出巨大优势，大大降低了炼铝成本，很快就取代了先前的化学法。1888 年，霍尔在美国建立了匹兹堡铝厂，每日炼铝 23 千克，后迁至新肯辛顿工厂，即美国铝业公司的前身，至 1914 年，霍尔把铝的生产成本降到每千克 18 美分。埃鲁于 1889 年在瑞士瑙豪森建厂生产铝，并与拜耳联手从事炼铝生产。电解法是铝工业发展的一个重要里程碑，从此铝工业开始进入新的阶段。

英、德、奥等国相继采用电解法生产铝，中国在 1938 年开始采用电解法生产铝。到 1997 年，世界共有四十几个产铝国家，均普遍采用电解法生产铝百年时间，世界原铝(不配入合金元素的铝材)的年产量从最早的几十吨高升到两千多万吨，产量仅次于钢铁，居有色金属之首。

二、电解炼铜

古代用火法炼铜，即是把铜矿石放在炼炉内，用木炭(或焦炭)做燃料冶炼。

随着近代电力技术的兴起，促使古老的火法炼铜发生变化，最重要的进步就是在工业生产中引入电解精炼法。由于铜具有良好的导电性和延展性，可以拉成铜线，大量地用做导电材料，由此推动了铜线制造厂的建立。

1865 年，英国工程师詹姆斯·埃尔金顿(James Elkington)率先获得电解炼铜的专利，他在专利书中详细描述了电解精炼铜的工艺。在以后的许多年里，这种工艺基本上保持不变。埃尔金顿的主要工艺步骤是：先制作一系列的铸铜板(用粗铜或冰铜)，边长 18 英寸(约 46 厘米)，厚 0.75 英寸(约 1.9 厘米)，上面铸有挂耳，借挂耳把这些铸铜板垂直悬挂于导电母线，导线母线安装在木支架上。铸铜板作为电解槽的阳极，以 3 个平行排成对地悬挂在槽中，排与排的间距为 6 英寸(约 15 厘米)。在铸铜板之间以及外侧，挂有 16 个小一些的阴极板，用轧制的铜板制成，分 4 排，每排 4 块。阴极板厚 0.031 英寸(约 0.8 毫米)，有挂耳，也挂在导电母线上。埃尔金顿的装置设有 25 个电解槽，组成串联电路，由一台永磁发电机提供电源。用饱和的硫酸铜水溶液作为电解液，维持通电到阴极板厚度达到 0.75～1 英寸(1.91～2.54 厘米)时为止。

1869 年，埃尔金顿又申请获得一项新专利，提出在杜仲树胶的薄板上涂上一层青铜粉末，形成一种导电体，铜就会沉积到胶板上。一旦形成了镀层，树胶便会剥离掉。剩下铜进一步沉积。用这种剥离法制备的起镀板，成为后来电解设备的基础，由此可以避免使用昂贵的轧制铜板。

1869 年，在英国斯旺西附近的彭布雷(Pembrey)，梅森和埃尔金顿的联合炼钢厂安装了第一台电解精炼铜设备。1892 年，美国采用埃尔金顿的工艺建立了美国第一座电解精炼厂。后来，随着对高导电率铜的需求量越来越大，世界上主要的炼铜业厂商都安装了电解精炼设备。

19 世纪末期，因发现包含在粗铜里铁和其他杂质会很快导致电解液变质，而阳极的不均匀溶解则造成产量的降低，电解炼铜工艺又有新改进。改进方法是先将铜金属进行火法冶炼，再把韧铜(熔铜中含有一定量的氧)铸成阳极。在电解精炼以后，重新熔化大部分阴极，并用氧化和青木杆还原除气法把它精炼成韧铜。在电解槽结构上，主要确保电极排列紧密，以提高电流的效率，而埃尔金顿工艺的主要方法也仍旧沿用。

三、电弧焊

电弧焊是人类对电的一大利用，它为制造大型设备、铁甲舰船、钢结构建筑等提供了强有力的保证。

古代就有焊接技术，那时主要是铸焊、锻焊和钎焊，其热源都是炉火，温度相对低，能量不集中，无法用于大截面、长焊缝工件的焊接。

19 世纪初，随着蓄电池的应用，电弧作为一种气体导电的物理现象被发现。1809 年，英国化学家戴维进行电化学实验，他把两根炭棒分别与电池正负极相接，另一端相互接近时，在炭棒之间出现了非常明亮的电光。电弧的这一特点很快被人们利用来做成电弧灯照明。又过了大半个世纪，有人想到利用电弧产生的高温焊接金属。

电弧焊的基本原理是，电极与工件连接到电弧焊电源的两端，当电极与工件之间产生接触短路或高频击穿气隙时，将使周围气体发生电弧放电，利用电弧产生高温，将需连接的金属熔结在一起。

1881 年在巴黎首届世界电器展览会上，俄罗斯发明家别纳道斯（N. Benardos）展示了一种电弧焊的方法。他在碳极和工件间做成缝隙，通电的金属细棒接近缝隙就会因电流产生的高温熔化。当时别纳道斯在法国的实验室进行研究，他利用电弧焊方法将蓄电池中的铅板连接在一起。别纳道斯与同事先后在多国申请专利，1885 年在法国、英国获专利权，1887 年在美国获专利权，由此标志着电弧焊应用的开始。

1886 年，美国人伊莱休·汤普森（Elihu Thompson）发明电焊机并获得专利，利用这种装置可以调节电流，以焊接不同厚度的钢板。

早期的电弧焊虽然有焊接大型设备的有利条件，但焊缝不够严密，因而容易导致蒸汽锅炉等容器渗漏。瑞典人奥斯卡·科杰尔伯格（Oscar Kjellberg）发现这一问题，积极做出改进，他发明了涂药物层的电焊条，于 1907 年 6 月获得专利，这一方法逐渐得到普及。

先前的电弧焊适用于焊接钢铁，第二次世界大战期间，飞机制造需要找到焊接镁和焊接铝的方法。1940 年，为解决新的技术问题，在美国掀起研究惰性气体保

护电弧的热潮。最后发现通过使用钨电极效果较好，这种方法现在称为 TIG 焊接（Tungsten Inert Gas），即“钨极惰性气体保护电弧焊”。

焊接产品比铆接件、铸件、锻件重量轻、密封性好。与乙炔焊接相比，电弧焊特别适合焊接锅炉、舰船、汽车、桥梁等。1931 年落成的纽约帝国大厦，就是由电焊接工艺制造的全钢结构；1933 年建成的旧金山金门大桥，由 87 750 吨钢材焊接拼成，成为当时世界上最高的悬索钢铁大桥。

20 世纪 50 年代，出现了二氧化碳与各种气体保护焊并研究出等离子弧焊；七八十年代，电弧焊发展出现飞跃，多种型式的弧脉冲焊电源和整流器相继出现并完善。

四、从蒸汽梯到电梯

电梯是利用电力的升降装置。其前身是蒸汽梯，而更早前是用人力、畜力作动力的升降机。升降机的原理很简单，即在一个平衡物下降的同时，负载平台上升。早期的升降机存在安全问题，一旦升降机拉升缆绳断裂，负载平台就会发生坠毁事故。因此很多工程师在提高升降机效率的同时，也在不断提高它的安全性。

1852 年，美国纽约的工程师伊莱沙·奥的斯（Elisha Otis）发明了世界上第一台以蒸汽作为动力且配有安全装置的升降机。当牵引绳索断裂时，安全装置中的制动闸会牢牢地把升降机固定在导轨上。奥的斯的发明改写了人类使用升降工具的历史。1853 年 9 月，奥的斯在纽约创办了自己的公司，这就是最初的奥的斯公司。

1857 年 3 月，奥的斯公司在纽约为一家大型百货公司安装了世界上第一台客运升降机。这台升降机每分钟能上升 12 米，很多顾客竞相乘坐，不久升降机便风靡美国。由于它完全是用木料做成的，所以当时人们称它为“能够升降的小木屋”。1861 年，奥的斯做出一项设计，能让升降机在运行过程中随时停止，并申请了专利。1861 年，奥的斯去世，他的两个儿子继承父业，并开始把电动机作为电梯的动力，由此发展成为世界上最大的电梯制造公司。有一种说法称奥的斯是“电梯之父”，实际上奥的斯的贡献主要是发明了制动闸这一十分重要的安全部件，这为后来电梯的发展奠定了安全基础。

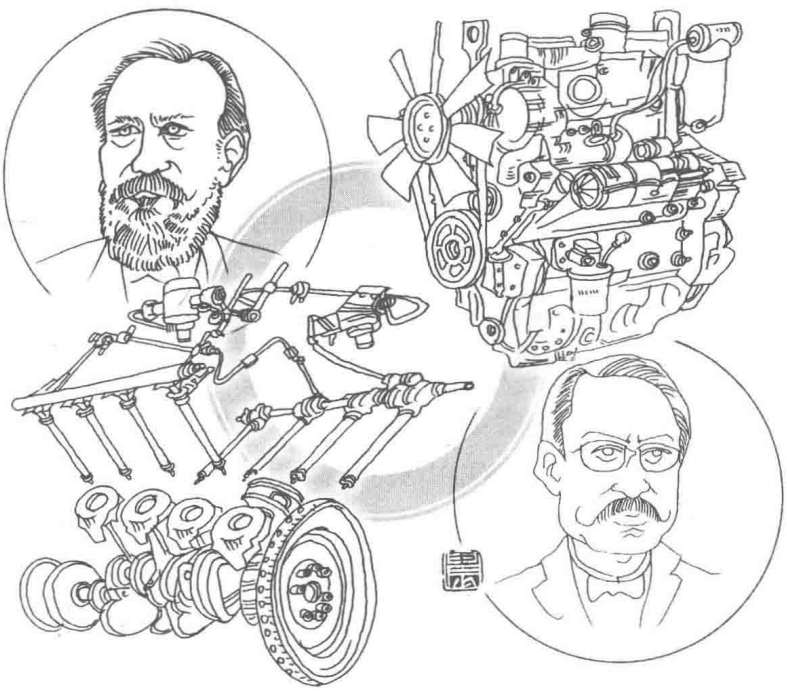
接近现代意义的电梯，最早是 1880 年德国大发明家西门子（Werner von

Siemens)设计制造的。西门子把电动机安装在升降平台下方，用嵌入导轨槽中的齿轮传动。该电梯设计比较原始，无导轨、无安全装置，主要用于运送货物。此后很多人致力于电梯的改进，出现了一批发明专利。

奥的斯公司意识到电梯的前景，致力于电梯的改进和规模化生产。1889 年 12 月，奥的斯公司在纽约第玛瑞斯特大楼成功安装了一台直接连接式升降机。它采用直流电动机带动升降轿厢，具备了现代电梯的基本传动构造，这是世界上第一台真正意义上的电梯。1892 年，奥的斯公司采用按钮操纵装置，取代传统的绳索操纵方式，为电梯操纵方式的现代化开了先河。1902 年，瑞士迅达电梯公司开发了自动按钮控制的乘客电梯。1903 年，奥的斯公司生产了不带减速器的无齿轮高速电梯，电梯传动机构采用曳引驱动代替以往的卷筒式，为当今高层建筑的大行程、高速度电梯奠定了基础。1915 年，奥的斯公司设计了自动平层微动装置，可使电梯准确地停靠在任何一层楼面。1924 年，奥的斯公司在纽约标准石油公司大楼安装了第一台信号控制电梯，这是一种自动化程度较高的有司机电梯。到 20 世纪 50 年代，电梯自动化程度已经很高，能对各层乘客的乘坐要求做出响应，电梯也几乎不需要操作人员。70 年代，集成电路应用于电梯设计，使电梯的自动控制进入一个新时期。

电梯对中国是舶来品，20 世纪初出现在上海、北京等少数城市的西式高层建筑。新中国成立后开始独立制造电梯，但因高层建筑少，需求不大，真正的快速发展是在改革开放以后。到 20 世纪末，不论是在电梯的应用还是制造方面，中国已迈入世界电梯大国的行列。

第十二章
内燃机革命



绘画：王晨

内燃机作为一种新动力，带来了新的动力革命，推动了汽车、摩托车和飞机的发明。

内燃机按字面意义理解，是通过使燃料在机器内部燃烧，并将其放出的热能直接转换为动力的发动机。按所使用燃料的不同，内燃机分为汽油机和柴油机两类，这两种机器各有特点、各有用途。而分析其发明过程，它们都有共同的源头。

一、内燃机的先驱

内燃机的先驱是煤气发动机，它犹如建起一座桥梁：使发动机的燃料从煤炭转向石油，它为许多领域和企业提供了便利的动力设备，并促进了摩托车、汽车、飞机的发明。

在瓦特之后，蒸汽机有多次技术改进，然而，蒸汽机体积大、热效率低和启动慢的缺点却难以克服。因此，研制小型、高效和快速启动的新式动力，满足生产和交通的新需求，就成为很实际的目标。

在探索中，工程师们意识到，若能使燃烧在汽缸内进行，就可去掉产生蒸汽的锅炉和管道，实现发动机的小型化和高效能，由此选择合适的燃料成为关键。

19 世纪，冶炼炼焦产生大量的煤气，被用来作为城市照明和热力的重要燃料。在比较了几种可用的燃料后，许多工程师看好煤气。

初期研制的煤气机就是对蒸汽机做文章，基本结构不动，只是增加了点火系统。工作时，煤气与空气混合进入气缸，点火装置将混合气体点燃，燃气爆发力推动活塞，同时，燃气冷凝产生真空，然后再靠大气压力做功。1833 年，受高压蒸汽机的启发，英国发明家莱特(W. Wlight)提出新设想：通过燃气的爆发力直接推动活塞做功，这给煤气机研制指明了新路径。

然而，真正实用的煤气机在 19 世纪后期才开始出现。1859 年，法国人勒努瓦(Ētienne Lenoir)研制成第一台实用的煤气发动机，采用二冲程、电点火。工作时，活塞移至汽缸中点，点火系统将进入的煤气与空气的混合气体点燃，活塞被推向另一端；活塞返回过程，废气被排出，另一端吸气；活塞再回到汽缸中点时，另一端气体被点燃，依次循环。勒努瓦的煤气机功率达 2 马力，性能也比较稳定，但煤气耗量高。同等马力下，所需费用大大高于蒸汽机。虽然勒努瓦的煤气机使用有局限，

但给其他研究者以启发。

1862 年，法国人阿尔芬斯-德·罗夏（Alphonse de Rochas）提出四冲程循环理论，即以吸气、压缩、做功和排气四个冲程组成一个循环。其理论精髓是，四冲程中只有一次做功，可以减少煤气消耗；增加压缩冲程，使燃烧效率提高。说来这是一个使煤气机技术跃升的时机，遗憾的是，罗夏的设计在法国获得专利，却没法找到使之实现的途径。

四冲程循环理论在被埋没了十几年后，终于被德国工程师尼古劳斯·奥托（Nikolaus Otto）实现。

奥托早年以经商为业，却对煤气机感兴趣。1860 年，德国报道了勒努瓦的发明，奥托很受触动。此后，奥托便迷上了研究煤气机，1861 年，他研制成功一台煤气机。1864 年，奥托和欧根·兰根（Eugen Langen）合伙，创建了世界上第一家专门生产煤气机的工厂；1867 年，在巴黎世界博览会上，他们制造的发动机荣获金奖。不过，奥托和兰根的这种煤气机仍然是二冲程循环，燃料浪费、效率低，影响推广。1870 年以后，奥托和兰根公司的利润下滑。在积极寻求解决办法的过程中，他们接受朋友的建议：预先压缩混合燃气，以提高煤气燃烧效率。奥托经过多次试验，逐渐形成了与罗夏相同的四冲程循环的构想。

1876 年，奥托制成新的四冲程煤气机，在德国和英美等国先后申请获得专利。奥托选用火焰点火器作点火装置，当压缩冲程完成后，点火器会适时将火焰引入汽缸，引发做功冲程。奥托成功的技术关键是对飞轮的充分利用，在四个冲程中，只有一个做功冲程，而飞轮旋转的惯性，正好为其余冲程提供能量。奥托的新机器运转平稳，功率达 3.2 千瓦（约 4.4 马力），压缩比为 2.66，热效率达到 14%，而煤气消耗不到勒努瓦机的三分之一。当时，奥托的煤气机无论是功率还是热效率，都是最高的。

随后 10 年，奥托和兰根公司生产的四冲程煤气机达 3 万多台。1889 年，英国曼彻斯特的克罗斯利兄弟公司获得奥托的专利许可，开始大量制造不同类型和尺寸的四冲程煤气机。

到 19 世纪末，世界上生产的煤气机已有 20 万台，任何需要小型、快捷的动力源的领域（如起重机、印刷机、泵站和小电站等）都可见它的身影。作为动力，煤气机已成为蒸汽机的重要补充。

更重要的，奥托的四冲程煤气机，直接推动了汽油发动机、柴油发动机的研发

和应用，后人也因而把四冲程循环称为“奥托循环”。

二、汽油发动机

汽油发动机脱胎于煤气发动机，很快显露出它的优势。经过半个多世纪发展，统领了内燃动力市场的半壁江山。

19 世纪末，公路交通的发展呼唤新型动力，蒸汽机改进力不从心；煤气机虽然轻便，但需要稳定的气源，为此车辆要带上一个大气囊。19 世纪 60 年代，发明家开始研制以石油为燃料的发动机，由于缺乏经验，加之当时石油精炼水平不高，研究进展缓慢。

1876 年，奥托发明实用的四冲程煤气机，为内燃机研究注入了活力。当时，德国工程师格特列·戴姆勒（Gottlieb Daimler）在奥托公司担任技术主任，对煤气机的结构非常了解，他吸收奥托煤气机的设计思想，有意进一步改进。

1884 年，戴姆勒发明用热管点火的小型煤气机，获得专利。那时，人们已经掌握了提炼汽油（当时叫“石油精”）的技术，并注意到汽油的易挥发性。戴姆勒意识到，若能充分利用汽油易挥发的特点，制造汽油发动机就切实可行。

1885 年，戴姆勒发明表面化油器。在表面化油器中，汽油占容积的三分之二，油面上部空间为储气室，用来储存空气和汽油蒸汽的混合燃气。工作时，汽缸从储气室吸取燃气，补充的空气气泡就会从汽油中通过，再次形成混合燃气。戴姆勒将表面化油器与煤气机有效组合，获得汽油发动机专利。新的发动机的转速高达 900 转/分，在当时所有蒸汽机和内燃机中，这是一个惊人的数值。由于重量小、转速高，戴姆勒将新发动机安装在自行车上，由此发明两轮摩托车。

几乎与戴姆勒发明汽油机同时，德国的卡尔·本茨（Carl Benz）制成世界上第一辆（三轮）汽车（详见第十三章一“汽车的发明”）。本茨发明了电点火系统，与热管相比，电点火系统更安全、实用，很快被大多数汽油发动机制造者采用。

汽油发动机在转速上已取得绝对优势，在继续对单缸发动机改进的同时，人们开始研究双缸甚至多缸的组合，以弥补其动力的不足。

1889 年，戴姆勒制成 V 型汽油发动机。发动机有两个成 15 度夹角的汽缸，两根活塞杆分别与一根公共曲轴相连，两者同时对外做功。先是安装在船上试验，取

得成功，V 型汽油发动机获得德国专利。后来这种新型发动机不仅驱动摩托艇，也被许多汽车制造商看好选用。

在 V 型发动机成功推广的同时，单缸汽油发动机也取得长足进步。1895 年，迪翁(Dion)和布顿(Bouton)的制造厂研发出一种轻型汽油发动机，其功率只有 0.5 马力，但其转速竟高达 1500 转/分。

19 世纪最后 10 年，对汽油发动机作出贡献的还有英国的迈巴赫(Maybach)、兰彻斯特(Lanchester)和法国的戈布龙-布里耶(Gobron-Brillié)等人。在他们的努力下，汽油发动机的性能得到多方优化，V 型发动机很快被新的机型取代。

进入 20 世纪，柴油发动机性能迅速提升，逼迫以煤气、煤油为燃料的内燃机失去生存空间。而汽油发动机因其体积小、转速高，拥有对柴油发动机的优势，在汽车和小型船舶等领域获得快速推广。汽油发动机与柴油发动机相互补充，扭转了动力市场依赖煤炭的局面，最终迫使蒸汽机退出历史舞台。

三、柴油发动机

柴油发动机以其大功率、适用性强的特点，逐渐在大货车、轮船、发电站、油田钻井等方面占据了优势地位。

鲁道夫·狄塞尔(Rudolf Diesel)是柴油发动机发明人，被誉为柴油机之父。柴油机也被称为“狄塞尔机”，以与“奥托机”(见第十二章一“内燃机的先驱”)区别。

狄塞尔 1858 年 3 月 18 日出生于巴黎，父亲是奥格斯堡人，母亲是纽伦堡人。他童年时在巴黎受教育，平时喜欢拆卸机械玩具。1870 年，普法战争爆发，两国关系交恶，全家逃往伦敦。因为生活艰难，年仅 12 岁的狄塞尔被送到奥格斯堡的叔叔家，在这里他读了职业学校，并作为成绩最优秀的学生毕业。1875 年，狄塞尔获奖学金，进入慕尼黑科技大学读机械专业，成绩优异，颇受机械学教授的器重。

1879 年，21 岁的狄塞尔毕业，在瑞士一家机械厂任零件设计员，两年后转巴黎林德冷藏厂做热机工程师。工作中，狄塞尔深感蒸汽机的效率低下，逐渐萌发设计新型发动机的念头。1885 年，他辞职在巴黎创立了自己的实验室。

1890 年，狄塞尔回德国谋发展，他对奥托的汽油发动机做了详细研究，在新的环境下，设计思想很快成熟。1892 年 2 月 28 日，狄塞尔的内燃机设计获德国专利，

有效期 15 年。不久，他申请的专利也在美国获准。在狄塞尔的设计中，汽缸分别吸入纯空气和纯燃料（而非两者的混合），通过高度压缩使空气升温，由此取代点火机构，利用压缩空气的高温使燃料充分燃烧；沿用奥托机的四冲程循环系统，增加了燃料喷射装置。狄塞尔后来发现，原初设计存在明显的错误，他主张通过控制燃料量来使燃烧过程等温，以实现热效率的最大化，这是对法国科学家卡诺循环理论的盲目信从所致。

狄塞尔享有制造内燃机的优先权，不过为获得实际利益，他必须在专利期内造出样机来。1893 年，狄塞尔先后与奥格斯堡机器制造厂（MAN 的前身）、克虏伯和苏尔士三大公司签订协议，合作研制样机。

在制造实践中，狄塞尔很快放弃了等温燃烧的想法。1895 年 7 月 12 日，他改进的设计获德国专利，选择通过加大燃油供给量来产生等压环境，以提高功率。实际上，实现提高功率的是加大燃油供给量而非等压环境。当汽缸内空气压强达 30 多个大气压时，足以保证喷入燃油的充分燃烧。

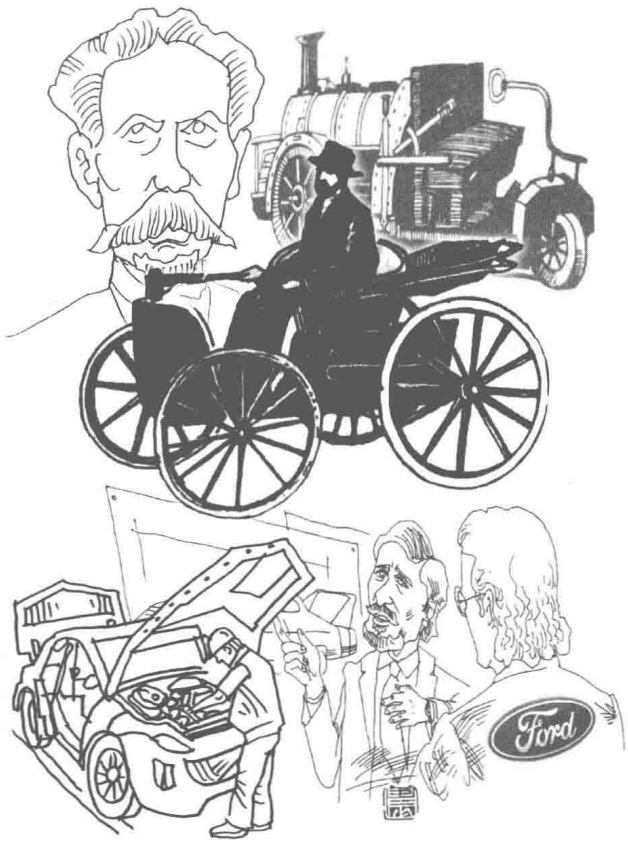
1897 年 1 月 27 日，在经过多次试验后，狄塞尔的第 6 次样机试运行成功。当时，最先进的煤气机的热效率一般在 10% 以下，功率也达不到 10 马力。相比之下，狄塞尔的发动机的热效率为 26.2%，功率高达 17.8 马力。若改变燃料喷头装置，该机还可燃烧煤气、石油的粗提炼品，甚至原油。最终通过比较，用柴油时机器可通过压缩空气迅速启动，狄塞尔便将燃料确定为柴油，由此宣告柴油发动机的诞生。1898 年 3 月，首台狄塞尔柴油发动机被 MAN 售出，它采用两个 300 毫米直径的汽缸，功率达到 60 马力。

柴油发动机的成功凝结了狄塞尔的智慧和汗水，合作的三家公司也为此投入了高达 600 万马克的试验经费。不过，柴油发动机带给厂家更为丰厚的回报。柴油发动机展示的优越性能震动了世界，许多国家纷纷购买该项专利技术，购买发动机的订单纷至沓来。仅到 1898 年，狄塞尔已获得高达 300 万马克的专利收入。

接下来的十几年，柴油机发动机提高了转速和可靠性，并增加缸数以提升功率，结构也得到优化。柴油发动机广泛地用于小型发电、潜水艇、大型轮船、油田钻井动力等方面。1913 年狄塞尔去世，这一年，全世界已有上百家的工厂在生产柴油发动机，其最大功率已达到 12 000 马力。第一次世界大战期间，狄塞尔柴油机成为各国潜艇的主要动力。

第十三章

内燃机应用创新：汽车



绘画：王晨

内燃机能否用到传统的马车替代马力，或用到自行车上驱动？19世纪80年代，当时的发明家就这样想，由此就有了汽车、摩托车的发明。

最初发明的汽车很简单，把汽油机（早期也用过蒸汽机、煤气机）安装到马车上，通过链条带动双轮转动，就成为“汽油马车”。从这种基础起步，汽车不断创新，从简单到复杂，汽车制造演变为庞大的产业。

一、汽车的发明

人类对“自行移动”的车的追求由来已久，但梦想的真正实现是在蒸汽机逐步成熟之后。1769年，法国军事工程师尼考拉斯·古诺（Nicholas Cugnot）研制成功世界上第一辆以蒸汽机为动力的汽车，该车为木结构，安装在车前部的锅炉产生蒸汽推动汽缸活塞，再通过连杆驱动前轮行进。古诺的“汽车”并不实用，但它给后来者以启发。

煤气发动机的出现，为汽车发展带来新契机。1876年，德国工程师奥托制成“四冲程煤气发动机”，取得专利权后投入生产。奥托的发动机需要稳定的煤气源，尚不便直接用于汽车，但新动力让人看到技术突破的希望。奥托公司的工程师戴姆勒认为，将奥托机加以改进就可用于汽车上，然而奥托没有采纳这一建议。1881年，戴姆勒自立门户，不久他发明了用热管点火的小型煤气机获得专利。1885年，戴姆勒又发明了表面化油器，与煤气机有效组合制成汽油发动机。1886年，戴姆勒为了给妻子准备生日礼物，将订购的马车加以改造，安装上汽油发动机，并设计了传动、转向等机构，制造出第一辆实用的四轮汽车。1890年11月，戴姆勒以自己的名义组建公司，开始生产汽车。

差不多与戴姆勒同时，德国的本茨也在尝试制造汽车。本茨的全名是卡尔·弗里德里希·米歇尔·本茨（Carl Friedrich Michael Benz），1844年11月24日出生于德国巴登-符腾堡州的卡尔斯鲁厄。本茨的父亲是铁路工程师，受家庭的影响，少年时的本茨对机械感兴趣，1860年，15岁的本茨进入卡尔斯鲁厄综合理工学校（即后来的卡尔斯鲁厄大学）学习机械工程。本茨喜欢骑自行车，他梦想着有一天制造出一辆不用人力驱动的车。1865年，本茨毕业，先是在机械厂设计和制作天平，后又在桥梁建筑公司担任工长。1872年，与人合伙创立铸造和机械厂，不久

合伙人退出，经营遇到困难，本茨决定制造发动机，以获取高额利润摆脱困境。他全身心研制发动机，1879 年 12 月，试制成一台单缸二冲程汽油发动机。之后，又陆续制成点火系统（通过感应线圈和蓄电池组成的电路来控制火花塞放火）、离合器、变速挡和水散热器。正是有这些技术基础，本茨在 1885 年制成他的第一辆汽车，1886 年 1 月 29 日，本茨的汽车获得德国专利（德国专利号 37435），专利名称为“用汽油作为燃料的车子”。正是这一天，被后人作为汽车的诞生日。本茨的汽车是三个轮子（用实心的橡胶轮胎），可乘坐两人，车重 254 千克，发动机置于两后轮之间，它的曲轴直立，其下端安装了一个水平的大飞轮。发动机的动力通过齿轮和齿条机构传给装有差速装置的后轴，最高车速约每小时18 千米。

由于戴姆勒和本茨都对汽车发明有贡献，故两人都享有“汽车之父”的美誉。

与当时的马车、装蒸汽机的汽车相比，世界上的第一辆汽车在速度、舒适、安全性上都没有什么优势，但不可否认，它开启了以内燃机为动力的车辆现代化的道路。不过，发明汽车是一回事，使汽车成为商品为大众接受又是另一回事，戴姆勒和本茨长期是竞争对手，后来迫于市场压力，两人于 1926 年联合成立了戴姆勒-本茨公司。

1891 年，法国汽车工业的开山人物之一勒伐索（Emile Levasso）重新设计汽车，将发动机移至前部，通过离合器、变速器、链条驱动后轮，使汽车脱离马车的设计，从而奠定了现代汽车的雏形。一般认为，汽车的发明到勒伐索才算真正完成。这一影响至今的设计被称为“本哈德系统”，它以勒伐索工厂的技师本哈德（Lonis Rene Pauhart）的名字命名。1901 年，戴姆勒公司采用这一系统生产的“梅塞德斯”牌汽车，很受欢迎，逐步确立了这一系统的世界地位。

汽车发明之初，存在许多技术和安全上的问题，在与电动汽车、蒸汽汽车的竞争中，以内燃机为动力的汽车没有显出特别优势。例如 1900 年，美国生产了 4159 辆汽车，其中电动汽车有 1575 辆，而内燃机汽车仅 936 辆。进入 20 世纪后，汽车工程师在汽车的传动系、转向系、制动系、悬架、发动机、车型、车用电器等方面不断创新，使汽车的优势越来越突出；而兴起的各种汽车赛事也为展示新款车搭建了舞台，加快了汽车的推广应用。

二、汽车启动器

早期的汽车，要靠在车头前用手摇曲柄启动，既费力又危险。汽车启动器的发明，为汽车带来新的活力，推动了汽车的普及，甚至也为西方妇女的解放作出了独有的贡献。

汽车启动器是美国发明家查尔斯·凯特林(Charles Kettering)发明的。20世纪上半叶，凯特林的名声仅次于爱迪生，就汽车方面他的重要发明有：乙基汽油、两冲程柴油机、独立前轮悬挂系统以及全自动变速箱。生活中我们习以为常的物品，如冰箱、家用空调等，也都与凯特林的发明有关。凯特林一生拥有180多项专利，获得30多所大学的荣誉博士头衔。

1876年8月29日，凯特林出生于美国俄亥俄州路登维尔(Loudonville)的一个普通农家，青少年时因眼疾造成头痛，几度休学和转学，到1904年从俄亥俄州立大学电机系毕业已是28岁。在学校推荐下，凯特林进入“国家现金记账机公司”(简称NCR)研究部工作。在NCR的五年(1904 — 1909)，凯特林获得23项发明专利，其中最成功的一项发明是在传统的记账机上安装电动机，代替了麻烦的手摇装置。

1907年初，NCR的同事爱德华·迪兹(Edward Deeds)鼓动凯特林做汽车研究，说有更多施展才能的机会。他们又说服了几个同事，利用业余时间在迪兹的车库干起来，他们定的第一项任务是改进汽车的点火装置，以取代永磁发电机。1909年，凯特林从NCR辞职，专心做汽车研究，不久又正式加入代顿工程实验室(Dayton Engineering Laboratory Company，也称Delco)，正是在Delco，凯特林发明了启动器，说来这也是一次意外事故为契机。

1908年冬天的一个傍晚，一位妇女驾驶汽车，在底特律河的百丽岛通往市区的桥上抛锚。因为她没有足够的力气摇曲柄启动发动机，只好焦急地等待来人帮助。恰好，凯迪拉克公司总裁亨利·利兰(Henry Leland)的好友拜伦·卡特(Byron Carter)开车路过，他停下车上前帮助。当卡特摇动曲柄时，那位女士没有放好点火装置，发动机产生回火，摇柄突然反转，重重地打在卡特的下颌上。后来因并发症，卡特死亡。利兰听到好友的死讯，悲伤难抑，因为出事故的正是凯迪拉克车，这使利兰痛下决心解决自启动问题。

当时，凯迪拉克的工程师制成一种电动启动器，马力够大但体积也太大，难以装进汽车里。利兰知道凯特林的名气，就找他帮忙。凯特林答应在 1911 年 2 月底前拿出样品，为此他带领 Delco 的团队昼夜奋战，赶在截止日期前完成任务。同时他也向美国国家专利局递交了专利申请，名称为“引擎启动装置”(engine starting device)，该专利于 1911 年 6 月 15 日公布。

利兰试驾装上启动器的汽车，感觉良好，立即提出订货 12 000 台，用于凯迪拉克 1912 年的全部新车中。

凯特林坚持 Delco 应保持科学实验室的性质，不愿变成加工厂。而其他制造商却没人敢接这么大量的订货。事实上，当时电机界对于这一新产品的疑虑很深，许多专家都认为这已超越公认的电机原理的极限。面对这种情况，凯特林只好自己干，他化整为零，分别找几个厂家加工零部件，而主要部分就靠自己生产。凯特林几乎倾其所有，把房产、人寿保险乃至专利权，甚至与凯迪拉克的合同等都作了抵押，向银行贷得一笔启动资金，以十几名团队成员和一间租来的小厂房起家，开始进行生产，一年中经历了不少险情，终于渐入坦途，提交了合格的产品。名气传开，许多汽车厂商都上门买启动器，欧洲的公司也发来订单。凯特林对启动器又多次改进，其结果是刺激了汽车的需求陡增，从第一台启动器推出后的 5 年内，美国汽车的生产和销售增加了 7 倍。

汽车启动器的社会影响在某些方面是凯特林没有想到的，例如对西方妇女的解放，使妇女能轻松地发动和驾驶汽车，由此增加了许多妇女就业和社交的机会。有西方学者评价，汽车启动器对妇女解放的作用甚至超过 20 世纪二三十年代女权主义领袖的努力。

三、汽车轮胎

轮胎之于汽车，犹如鞋之于人，轮胎和汽车悬架一起来保证汽车行驶的平稳和舒适。轮胎制造业不断发展，成为汽车产业中的重要部分。

人类利用车轮的历史很早，但很长时间里车轮都是木制，为了减少磨损，人们在木轮外圈箍上铁皮，尽管这样，因木轮缺少弹性，一遇路面不平，车子震动加剧。

随着美洲大陆的开拓，南美的橡胶被运到欧洲应用，车轮也逐渐改为铁箍外加

橡胶圈制造。实心轮胎有不足，苏格兰的工程师罗伯特·威廉·汤姆森(Robert William Thomson)尝试改进。1845 年，汤姆森申请并获得首项充气轮胎专利。然而，当时的市场缺乏需求，这项发明未能推开，渐渐被人遗忘了。

1888 年，苏格兰兽医约翰·邓洛普(John Dunlop)为他 10 岁的儿子买了一辆自行车，车子是实心轮胎，在满是石头的路上骑起来很不舒服。儿子的抱怨使邓洛普产生思考，怎么能减少震动呢？当他触摸着一个充气玩具马的肚子时，突然灵光一闪，找到了解决办法。1890 年，邓洛普设计的充气自行车轮胎获得专利，这种充气轮胎是用编织棉布围成气腔后用胶水粘到轮圈上，外面用加厚的橡胶带保护，充作行驶面。不过，邓洛普的充气轮胎有一个大的缺陷：如果轮胎爆胎，修补往往要数个小时。

1889 年 5 月，法国的米其林(Michelin)兄弟以原来的小企业为基础成立了“米其林合伙公司”(Michelin et Cie)，生产马车和自行车的刹车块。刹车块是用织布和橡胶制成，很受市场欢迎。而一个偶然的机会使米其林转行生产自行车充气轮胎。这年 9 月，一个英国人来到米其林公司，他骑的自行车爆了胎，请帮助修理，爆掉的轮胎正是邓洛普轮胎。米其林的工人补胎花了 3 个小时，还得晾上一夜等胶水风干。米其林的老板见状认为，这种轮胎不符合实际需求，因而有心研制可方便拆卸的轮胎。经过一年多努力，1891 年初取得成功，这是世界上第一个可拆卸的轮胎，由 17 颗螺钉固定在轮圈上。最重要的，修复一次轮胎只要 15 分钟。米其林获得充气轮胎的专利，引起邓洛普的不满，向法院控告侵权，最后米其林赢得了官司，他们的依据是：充气轮胎的最早发明者是汤姆森，还轮不到邓洛普呢。

米其林通过自行车赛事推广充气轮胎，大获成功。不久，米其林又把充气轮胎用到出租马车上，通过改进又用到汽车上。

早期的汽车轮胎外表面平滑，在潮湿的路面上容易打滑，影响行驶，促使发明家想办法改进。1908 年，发明了能在轮胎上刻花纹的机器，制造出防滑轮胎。针对早期轮胎不够坚实的情况，1910 年，美国哈德曼轮胎橡胶品公司用橡胶和织物(帘布层)制成外胎，这一帘布层技术改进了轮胎质量，提高了轮胎寿命，还使外胎具备了模制的可行性。

1912 年，轮胎橡胶中加入大量的炭黑，大大提升了轮胎的耐磨性。至此，充气轮胎作为汽车的现代化的“鞋子”取得成功。汽车轮胎的基本结构趋于定型，市场

的竞争转移到材料的竞争上。

由于第一次世界大战，米其林的发展受到影响。而在美国出现了一批轮胎生产大型企业，如百路驰(Goodrich)、风驰通(Firestone)和固特异(Goodyear)，这些企业技术先进，规模庞大，这使米其林大受刺激。米其林勇于创新，到20世纪30年代，重新成为轮胎技术的领跑者。

1923年，米其林研制出世界上第一只低压(2.5巴[①])舒适性客车轮胎，低胎压轮胎此后成为业界的一个研究重点；1930年，米其林为其嵌入式管状轮胎申请了专利，这是现代无内胎轮胎的原创发明，后成为汽车轮胎业的发展方向之一；1937年，米其林发明宽截面的派勒(Pilot)轮胎，展示了当今低截面轮胎的最初形状；1938年，米其林又成功地将橡胶和钢丝完美结合，设计出车钢丝轮胎，改善了轮胎的抗热和热载荷力。而上述的这些技术又为米其林后来更为重要的创新打下基础。

1946年，米其林发明了引领世界轮胎工业技术、著名的子午线轮胎(当时被称作X型)，这种轮胎因其胎体帘布线采用各层间互相平行，由一胎圈到另一胎圈呈地球子午线排列而得名，“子午胎”于1946年6月4日获得专利，1949年正式推向市场，引发了席卷全球轮胎业的风暴。与传统的轮胎相比，子午线轮胎的优点显著：车辆行驶有更好的稳定性，轮胎结构在车辆转弯时不会发生变形，轮胎附着力强，保证了更好的刹车性能，从而更加安全；具有更高的抗爆率，从而使用公里也更长。

四、福特生产线

亨利·福特(Henry Ford)是美国福特公司的建立者，也是世界上第一位使用流水线大批量生产汽车的人。

1863年7月30日，福特出生于密歇根州韦恩郡史普林威尔镇(Springwells Township)的一座农场，父母是来自爱尔兰的移民。福特对于机械有着天生的爱好，12岁时花了很多时间建立了一个自己的机械坊，15岁时他亲手造了一台简易

① 1巴=10^5帕。

的内燃机。1879 年，福特离开家乡到底特律的机械厂做学徒工，学成后进入西屋电气公司工作。1891 年，福特成为爱迪生照明公司的一个工程师；1899 年，他在积累了一定经验后开始专心研制汽车，同时成为新组建的底特律汽车公司的合伙人兼总工程师。创业阶段，公司一年仅能生产寥寥几辆汽车，福特不断学习和探索，使公司业绩不断上升。1903 年，福特正式组建福特汽车公司。

1908 年，福特公司开始生产“T 型车”。T 型车装有四缸四行程汽油机，采用两个前进挡、一个倒挡、脚踏换挡的变速器，该车结构简洁大方、使用可靠、修理简单，集中了当时福特产品的多项优点且价格低廉，一经推出，市场反应很好，第一年就售出了 10 607 辆。面对纷至沓来的订单，福特审时度势，他从军工系统引进零件通用制（标准化），并于 1913 年 10 月 7 日建成世界第一条汽车的流水装配线，实行标准化生产：先确定一种车型，然后按车型分工生产各种零部件放到传送带上，工人再按顺序组装而成汽车。同时福特把汽车生产细分为几千道工序，使汽车生产走上专业化、高效率的道路。以这种大规模流水装配线生产为核心的福特制，在世界范围内引起了“大批量生产”的产业革命。

福特创造的规模生产技术节省时间，降低成本，使汽车售价为公众所能负担，推动汽车成为美国普通人的交通工具。T 型车最初售价为 850 美元，1916 年降到 400 美元，1924 年又降到 290 美元，一辆车的生产时间，从最初的 1.5 小时降到 1 分钟。1908 年，美国的有车族尚不足 20 万人，到 1930 年 T 型车已卖出 1500 万辆。

福特的巨大成功迫使其他美国企业做出选择：要么引进流水装配线，要么成为小型专业制造商，要么面临绝境。其中一些小公司联合组成一个新的公司即通用汽车公司，它通过修正福特主义的部分专制的理念，在 20 世纪 30 年代对福特公司构成新的挑战。

汽车的大规模生产带动了钢板轧制、石油加工、橡胶轮胎、玻璃、汽车电器等一批产业，推动了内燃机、齿轮传动、车身设计等研发，还催生了加油站、修理厂等服务行业。

第十四章

内燃机应用创新：飞机



绘画：王晨

自古人类就有飞天梦想，但在科技尚不发达的古代，飞天带有浓厚的神话色彩。近代科学理性的建立，唤起人们新的热情。进入19世纪，人类发明了滑翔机，开始飞上蓝天。20世纪初，小型化的内燃机，为飞行提供了动力支持，加上机械、材料、流体力学等研究，人类终于实现可操控的自由飞翔。

一、飞机的发明

飞机的发明，真正实现了人类古老的飞天梦想。飞机的应用，推动了航空工业的建立和发展。

1804年，英国发明家乔治·凯利(George Caylay)研制出一架有固定机翼、翼展3英尺多的滑翔机，并驾驶它飞行。德国机械工程师奥托·利连塔尔(Otto Lilienthal)被称为“滑翔机之父”，1891年到1896年间，他先后进行了两千多次滑翔机飞行试验，最后不幸因飞行失事丧生。

美国史密森学会的秘书长萨缪尔·兰利(Samuel Pierponl Langley)痴迷研究动力飞行，他先是制成橡皮筋驱动的模型机，1896年装配蒸汽发动机，制成一架大型单翼模型机，成功进行了一次近一英里的飞行。其后，兰利全力制造出一台由汽油发动机驱动的大型单翼机，1903年两次进行试飞，但却没有成功。19世纪末，法、英等国都有人从事装备动力的飞行试验，但都不是由人操纵。

真正载人飞上蓝天的是美国的威尔伯·莱特(Wilbur Wright)和奥维尔·莱特(Orville Wright)兄弟，兄弟俩把飞机所需的各种要素集中起来，首次成功实现了有动力的载人飞行，这一天是1903年12月17日，永远地载入历史史册。

莱特兄弟出生于美国中部小镇代顿市，都没有上过大学。小时候兄弟俩爱好机械，经常动手搞一些小制作。长大成人，他们以修理、制造和出售自行车为生。1895年，莱特兄弟读到德国工程师利连塔尔滑翔飞行的消息，一下触动了少年时的梦想，他们到处寻找制作飞机的资料。1899年初，莱特兄弟向史密斯学会求助，不久收到寄来的资料，莱特兄弟如饥似渴地阅读，随后尝试制作滑翔机。

1900年10月，莱特兄弟用他们的滑翔机第一次试飞，没有取得满意的效果。第二年，他们又制造了一架滑翔机，在多次的试飞中，他们发现以前公布的有关大气对机翼压力的数据有问题。在当年举行的西部工程协会的年会上，威尔伯大胆

地陈述了他的看法。不料竟没有什么反响，在许多工程师看来，莱特兄弟只是飞行的业余爱好者，哪里谈得上分析数据呢。

为了给自己的论断提供有利的证据，弟弟奥维尔开始想方设法做实验。他们发明了一个装置，以模拟户外气流环境（这成为后来“风洞”的前身）。该装置长约8英尺，高宽各16英寸，由一台两缸的汽油发动机带动鼓风机。兄弟俩在这个“风洞”里试验了两百多种小比例尺的机翼模型，“风洞”的指针可以指示机翼模型的迎角、风度等数据。最后，他们编制了平面或弧形机翼在各种迎角和流速下的升力表。

莱特兄弟不满足滑翔机多次试飞的成功，他们觉得滑翔机再好，也得借助风力，而且无法自行升高。如果装上动力，由人操纵，那就可以飞得更高更远。从1902年起，莱特兄弟开始寻找合适的发动机。兄弟俩自己动手，找人加工，最终制成一台轻便的汽油发动机。然后根据“风洞”取得的数据，设计出一架机翼长12米、总重量340千克的双翼动力飞机。1903年5月23日，他们向美国专利局递交了飞机的专利申请。

1903年12月17日，莱特兄弟带着制作的飞机到加利福尼亚的吉蒂霍克进行试飞，在经过短时的调试后，飞机飞起来了！在空中停留了12秒，飞行了大约30多米。

就是这短短的十几秒，开创了人类历史上的一个新时代，人类第一次成功实现了以内燃机为动力的载人飞机的飞行。莱特兄弟继续新的探索，在巴黎的一次飞行表演中，他们的飞行时间达到2小时22分钟23秒。

1909年11月，莱特兄弟成立了莱特公司，他们开始推广自己的飞机，涉足商业领域。1912年5月，由于常年劳累，威尔伯过早去世，时年44岁。

在莱特兄弟当年的试飞地吉蒂霍克，后来竖起一座高大的大理石纪念碑，永远铭记兄弟俩的丰功伟绩。

二、机翼改进

机翼被形象地称为飞机的翅膀，这一对翅膀大有文章，它并非平展地不动，而是分成几个部分，在飞机起飞或降落时根据需要调整变化，以起到必要的控制

作用。

机翼的发明和改进，与空气动力学研究、机械技术紧密联系。早期的飞机只有简单的襟翼，它是装在机翼前缘或后缘的可动翼片，正常状态下，与机翼连为一体。在飞机起飞或着陆时，通过飞行员操纵使襟翼偏转或滑动伸出，可使机翼的形状、大小发生变化，而起到增升的作用。

飞机发明后，技术发展很快，要求飞机在低速时也能产生足够的升力。1913—1914 年，英国国家物理实验室用简单襟翼做升力实验，发现一定的偏转角时，襟翼可提高升力系数约 30%。

简单的襟翼存在缺点，于是改进出现了开裂式襟翼。它安装于机翼下，像一块薄板紧贴在后缘，与机翼成一体。当襟翼放开时，可使翼型变弯，同时开裂的襟翼与机翼后缘之间会形成低压区，两种效果都有助于增加升力。

在襟翼发展史上，开缝襟翼具有重大的创新意义。1910 年，俄国学者查普雷金(S. A. Chapligin)最早提出这一原理，而成为现实则归功于英国著名飞机设计师佩奇(H. Page)和德国空气动力学家拉赫曼(G. V. Lachmann)。

佩奇作为设计师关心飞机失速问题。1911 年起，他利用风洞试验了展弦比不同的机翼对迎角的失速反应。发现正方形机翼直到 40 度迎角时升力仍在增加，而展弦比为 6.25 的机翼迎角在 10～15 度时便出现失速。于是佩奇想，能否把一个大展弦比机翼截成若干个正方形，然后再连接起来，使得整个机翼都能像正方形一样从而大大推迟失速？当然，实际中他没有这么做，而是沿弦向(与机身平行)在机翼上开了 5 条缝。对弦向开缝的改进促成前缘襟翼的发明，1917 年 3 月，佩奇向外界公布了他的实验结果。

开缝襟翼又称前缘缝翼，后来的做法不是在机翼前缘开缝，而是单独用一条狭长的翼片附在机翼前缘处，并使翼片与机翼前缘之间形成一条缝隙。由于前缘缝翼的有效，它获得广泛应用。

1921 年，德国的拉赫曼独立地提出前缘缝翼概念。第一次世界大战中，拉赫曼当飞行员，退伍后入亚琛大学读书，博士论文选题是有关开缝机翼理论。因在一次飞机失速中拉赫曼险些丧命，住在医院里他逐渐有了机翼开缝的想法。拉赫曼的开缝襟翼设计于 1918 年获发明专利；1921 年，他在哥廷根进行实验，升力系数可达 60%。

前缘缝翼的作用主要是提高临界迎角，提高飞机的稳定和安全性，提高升力不占主要，前缘缝翼逐渐让位于后缘缝翼。

后缘缝翼是对简单襟翼改进产生的。其特点是，当它放下时，一方面能增大机翼剖面的弯度；另一方面它的前缘与机翼后缘之间形成一条缝隙，下翼面的气流一部分通过这条缝吹向襟翼上表面，保证上面光滑流动，从而起到推迟边界层分离，增大失速角的效能，其增升效果非常明显。后缘缝翼的双重作用使之不仅用于战斗机，后来也用于大型客机。

在襟翼发展上，利用襟翼增加机翼的有效面积，先后有两种可伸缩襟翼出现：先是 1931 年英国的富勒(J. E. Fowler)提出富勒襟翼，后是 1943 年德国的克鲁格(W. Krueger)提出克鲁格襟翼。

富勒襟翼又称后退式襟翼，是在机翼后缘下半部分安装的活动翼面，平时紧贴在机翼下表面。使用时襟翼沿下翼面安装的滑轨后退，同时下偏。使用富勒襟翼可以增加机翼剖面的弯度，还能大大增加有效面积，增升效果明显。

克鲁格襟翼位于机翼前缘，其外形相当于机翼前缘的一部分，上表面有重叠部分。使用时利用液压动力将克鲁格襟翼向前下方伸出，既改变了翼形，也增加了翼面积。增升效果明显。

现代的飞机普遍采用襟翼，根据需要飞机选择不同的襟翼或几种襟翼组合。大型客机的襟翼十分复杂，包括前缘缝翼和克鲁格襟翼、后缘缝翼和富勒襟翼等。

三、直升机

直升机的问世要比飞机晚，两者的最大区别在于，直升机是旋转的机翼；飞机是固定的机翼。从技术角度上讲，旋转机翼构造要比固定机翼复杂。

直升机的故事可追溯至中国魏晋时期，史书记载说有一种“飞车”，上面有旋翼，用牛皮带结在环上，可以飞得很高。中国古代很早也有“竹蜻蜓”的玩具，就是运用了直升机的原理，这种玩具有一个线拉的轴，顶端有四个叶片，定好角度，快速拉线，旋翼就向空中飞升上去。这种简单的玩具后来传到欧洲，引起欧洲航空探索者的浓厚兴趣。

1483 年，西方的艺术家、科学家达·芬奇把对直升机的构想绘制成草图，并用

希腊语在旁边注释了这些装置最早的名字：螺旋桨(heliko)、机翼(ptèron)。达·芬奇被后人认为是直升机的最早设计者。

19世纪，西方有许多发明家探索制造直升机，然而大多数的尝试都收效甚微或以失败告终，真正的成功是在进入20世纪，在对飞行的科学原理有了一定认识、机械制造具备必要条件下才实现的。

1939年9月14日，俄裔美国发明家伊戈尔·西科尔斯基(Igor Sikorsky)经过长期的准备，驾驶他所研制的VS-300直升机试飞成功，自此拉开了直升机飞上蓝天的序幕。

西科尔斯基出生于俄国基辅，家庭与皇室关系密切，生活条件优越。少年时代的西科尔斯基就对达·芬奇绘制的机械图画充满兴趣，尤其对直升机痴迷，上大学时他选择到巴黎读航空设计，当时法国的航空学研究正处于领先地位。

西科尔斯基为沙俄帝国军队设计制造军用飞机，为此受到沙皇的奖赏。十月革命后，他被迫逃离，移居美国。受美国富商的资助，西科尔斯基创建公司，继续研制飞机，其中包括名为“快速帆船”(Clipper)能横渡大西洋的大型客机，当时这种飞机专供泛美世界航空公司(Pan American World Airways)使用。

1929年2月，西科尔斯基设计出直升机并申请专利，1932年3月8日获准。然而，真正使直升机自由驾驶，还有很多困难要克服。

这一时期，法、德等国也在研制直升机，其中遇到的难题都在于扭矩的设计。当旋翼旋转并向上升时，机身会向相反方向转动。解决这一问题的办法是安装两个相反方向的旋翼，两个旋翼上下或用一个纵列架分左右安装。法国1936年设计的机型有两个旋翼，一上一下，时速可达每小时65英里。1938年由德国福克(Focke)飞机制造厂设计的直升机是两个并排的桨叶，时速可达每小时76英里。不过，他们的直升机均未正式投入生产。

西科尔斯基在这项技术上取得突破，他在舷外支架的尾部上安装了一个小螺旋桨，螺旋桨的方向与扭矩相反，以此来保持机身的平衡。1939年的VS-300机型证明这项设计既简单又成功。后来，西科尔斯基以这项技术为基础给军方设计了XR-4型直升机，1942年，在正常投产的R-4B机型上又发展了这一设计。到第二次世界大战结束时，西科尔斯基的公司生产了四百多架军用直升机。

中国直升机工业从引进苏联米里设计局的米-4型直升机生产专利起步，经历

了仿制起步、探索研制、自主研发等阶段。20 世纪 80 年代后，中国提出了国产直升机型号研制和发展的规划，加大了直升机的研发力度。

四、喷气发动机

喷气发动机的发明和应用，大大提高了飞机的速度和飞行距离，推动了世界航空工业的发展。

20 世纪 20 年代，飞机的动力是由活塞发动机和螺旋推进器提供的，这种技术限制了飞机的速度和飞行距离。有不少人试图技术突破，而率先获得成功的是两位发明家，一位是英国的弗兰克·惠特尔(Frank Whittle)，另一位是德国的汉斯·冯·奥海恩(Hans von Ohain)。说来他们互不相识，也无信息交流，却在同一时期完成了相似的发明。

惠特尔生于英国考文垂市，少年时的惠特尔喜欢听第一次世界大战中的空战故事，对航空产生了浓厚兴趣。1923 年，16 岁的惠特尔进入皇家空军飞行学校，5 年学习期满，在毕业论文中他指出活塞发动机的局限，认为应把燃气轮机和喷气推进结合起来研究。

惠特尔所依据的基本原理是：空气从发动机的前部进入，受到压缩，送入燃烧室，燃料同时射入燃烧室，与空气混合被点燃，气体快速地膨胀，通过喷嘴向后喷出，从而使飞机前进。

惠特尔的观点引起学校校长、也即后来的空军元帅鲍德温(Baldwin)的重视。受校长的支持，惠特尔设计出一台喷气发动机，并于 1930 年 1 月申请专利，可惜军方和工业界都未意识到它的价值，没有认真对待这一发明。

1935 年，惠特尔进入剑桥大学机械工程专业深造，在那里他遇到几个知音，愿意提供风险资金，他们合伙成立“喷气动力有限公司”。1937 年 4 月，第一台实验用发动机启动，开始一切正常，发动机加速到 2000 转/分。惠特尔按程序开启了引导燃料喷口，将其点燃，并用一只手旋转与带有延长电极的火花塞相连的磁发电机。通过石英小窗观察，负责燃烧室的工程师给他一个“成功”的信号。当惠特尔打开主要燃烧装置的燃料供应阀时，即刻产生了一种逐渐增大的尖叫声，发动机在完全失控的情形下加速。关闭控制阀也不起作用，失去控制的加速过程仍在继续。

实验人员吓得四处逃散……

加速失控的原因是燃料线过高，结果引发了燃料在燃烧室聚集。接下来的一年，许多问题都得以解决，实验发动机被改造了许多次，最终运转得很好，1939 年赢得英国空军部门的支持，研究经费有了保证。

1941 年 5 月 15 日，英国格洛斯特公司制造的装配惠特尔发动机的流星号飞机试飞成功。“格洛斯特流星号”赶在第二次世界大战结束前几个月参战，在第一场空战中就击落了德国的“V-1s”飞机。

德国研究喷气发动机的时间大致与英国相同，然而，德国领先英国起飞，并把喷气式飞机及时投入空战。

1933 年，在哥廷根大学读书的冯·奥海恩在思考空气喷气推进的途径，他直觉地感到，持续不断的燃气喷射原则上可以获得更大的推力，而发动机也会减轻重量。冯·奥海恩曾设想不采用压气机方案，但具体设计时，发现这很难实现，历经反复，最终他提出的设计原理与惠特尔的竟然不谋而合，不过，零部件设计还是大不一样。1934 年，冯·奥海恩在他的朋友机械师哈恩（M. Hahn）的帮助下，试制成一台喷气发动机，并申请了德国专利。

1936 年 4 月受老师推荐，冯·奥海恩到海因克尔飞机公司工作。公司负责人希望尽快看到他的实验成果，冯·奥海恩就先制成一台结构较简单的发动机，在取得信任后，他进一步研究燃烧室，1938 年获得成功。装有新发动机的飞机命名为 He-178，1939 年 8 月 27 日，就在第二次世界大战爆发前一周，He-178 进行首次试飞，从而成为世界第一架试飞成功的喷气式飞机，并很快投入到“二战”中。

以“He-178”和“格洛斯特流星号”为标志，冯·奥海恩、惠特尔发明的喷气发动机，直接促进了战后美国、苏联等国加快研制新式发动机，使人类大踏步进入喷气飞行时代。

第十五章
化学工业创新



绘画：王晨

进入20世纪，化学工业创新涌现。合成氨的发明，为制造火药提供原料，更重要的是建立化肥工业，化解了人口增长和粮食需求的难题。在石化领域，炼油工艺不断创新，极大满足了汽车、船舶、飞机对燃料的需求。

四乙铅、氟利昂的发明，一度都被罩上光环，然而由于发现其对环境的危害，受到人类的诟病，最终被迫退出市场。对技术发明“双刃剑”的重视，反映出人类对自然认识的深化和进步。

一、合成氨

合成氨是通过技术手段将空气中丰富的氮集结并转化为可被利用的形式。合成氨技术的发明，推动了火药和化肥工业的发展，大面积提高了农作物产量，对化学科学和其他化工业，也产生了重要影响。

20世纪初，随着农业和军工生产的需要，从自然界获取的天然含氮化合物已不能满足需求，迫切需要建立生产氮化合物的工业。

利用氮气、氢气为原料实现合成氨的工业化生产曾是一个难题，虽然早在1823年就发现氮气和氢气在催化剂作用下可以化合，但很长时间研究进展缓慢。

1900年，法国化学家勒-夏特利(Henri Louis Le Chatelier)研究氮气和氢气在高压下直接合成氨的反应。可惜，由于所用的氮气和氢气的混合物中混进空气，实验中发生爆炸，没有查明事故的真正原因，勒-夏特利就放弃了这项实验。德国化学家沃塞尔·能斯特(Walther Nernst)，对有重大工业价值的气体反应很感兴趣，他研究了氮、氢、氨的气体反应体系，却因计算时用了一个错误的热力学数据，结果被误导，竟认为研究这一反应没有前景，半途而废。

德国物理化学家、化工专家弗瑞茨·哈伯(Fritz Haber)一直坚持系统的气体反应研究。他把注意力集中于高压，重新验证气体反应的平衡。根据理论计算知，氮气和氢气在600℃和200个大气压[①]下进行反应大约可生成8%的氨气，如果在高压下将反应循环加工，同时不断分离出生成的氨气，这就需要有效的催化剂。为了

① 1大气压=$1.013\,25\times10^5$帕。

探索适用的催化剂，哈伯做了大量的试验，发现锇和铀具有良好的催化性能。在175～200个大气压和500～600℃的条件下使用催化剂，氮、氢反应能产生高于6%的氨。1909年，哈伯分别在德国和英美等国申请制氨技术的专利，美国于1910年9月27日公布，英国于1910年11月3日公布。

哈伯把研究成果介绍给巴斯夫(BASF)公司，公司对哈伯的研究很感兴趣，买下哈伯的专利。尽管实验中连续出了几起爆炸事故，但是公司的专家一致认为，这种合成氨方法具有很高的经济价值。巴斯夫公司不惜投入巨资，调集精兵强将，并委任德国化学工程专家卡尔·波施(Carl Bosch)全权负责实施生产。波施花了整整5年时间，从大量的金属以及化合物中筛选出合成氨反应的最适合的催化剂。波施和他的团队先后做了两万多次试验，确定出铁和碱金属的氧化物体系是合成氨生产最有效、最实用的催化剂，由此建造起能够保持高温和高压的合成氨装置，解决了原料气氮和氢的提纯以及从未转化完全的气体中分离出氨等技术问题，申请并获得了多项专利。

1912年，巴斯夫公司建立起世界上第一座合成氨试验工厂，1913年又建起大规模的合成氨工厂，1914年达到满负荷运行。合成氨生产工艺的实现，除了工艺技术的成功之外，也是一项组织协作的杰作。波施深有感触地说："今日的技术在某种意义上来说是一项组织的科学。"合成氨工厂在第一次世界大战期间为德国提供了当时紧缺的氮化合物。1916年，合成氨的产量相当于德国氮化合物产量的一半左右，产品主要用以生产炸药和肥料。

直到20世纪20年代初，有关合成氨的专利文献由巴斯夫公司掌握并且严守技术细节，由此"哈伯法"未能被其他国家采用。后来，合成氨的生产工艺公开，世界各国相继建设了一批合成氨工厂。

20世纪30年代初，合成氨已经成为世界上广泛采用的固氮方法，世界固定氮产量一半是用此法生产，到第二次世界大战前夕，这一比例上升为三分之二，到1950年，比例接近五分之四。合成氨已成为重要的化工产业。

20世纪70年代以来，合成氨生产不仅促进了如高压、低温、原料气制造、气体净化、特殊金属冶炼以及催化剂研制等方面的发展，还对一些化学合成工业，如尿素、甲醇和高级醇、石油加氢精制、高压聚合等起了推动作用。合成氨以及后来建立起来的肥料工业也解决了人口大幅度增长和粮食需求的难题。

二、石油裂化

早期开采出的石油，只是用于照明或作为锅炉燃料。随着实际需求，化学家不断发明新的工艺，推动了石油化学工业发展。

美国化学家威廉·伯顿(William Burton)第一个引入裂化工艺并在商业上取得成功。1889 年，伯顿从约翰·霍普金斯大学博士毕业，进入美孚石油(Standard Oil)公司，即被派到印第安纳州子公司的怀丁炼油厂负责实验室的工作。当时的实验室只是一间旧农场住房，条件十分简陋，得自己动手制作很多仪器，但靠这些伯顿已能对精炼方法做大量改进，结果他很快被提升为炼油厂主管。在 1909 年和 1910 年，伯顿有条件调配该厂的资源，引导炼油厂的研发工作。伯顿和他的同事系统地检测了石油在不同温度和压力下的裂化结果，开发出一种令人满意的热裂化工艺，1913 年获得专利。

裂化工艺投入运营的第一年即 1913 年，就获得超过研发成本(23.6 万美元)10 倍的回报。后来的专利使用费收入超过 2000 万美元，不管是初始发明还是改进发明的专利地位都很稳固。对采用伯顿法的炼油公司，伯顿他们收取 25% 的利润分成。1921 年，共有 19 家公司获得特许经营，但它们只能根据协议条款在指定地区生产销售，而且，它们只拥有专利使用权，并不能拥有关键技术。

经济利益极大刺激了其他替代工艺的研究，1920 年出现了 4 种新的裂化法，1921 年出现了 5 种，由此也导致很多小型炼油厂倒闭。

在替代工艺研究中，化学家意识到应从催化技术着手，但几年中都没找到合适的催化剂。1925 年，一位富裕的法国工程师尤金·胡得利(Eugène Houdry)对石油馏分的催化发生兴趣，在化学家朋友的帮助下，胡得利试验了数百种催化剂，1927 年，他用一种黏土(硅氧烷和氧化铝)进行裂化实验取得成功。然而要正式投产却有很大困难，1930 年，胡得利与索科尼真空石油公司(Socony Vacuum Oil)合资成立公司，为筹措研发经费，胡得利又与太阳石油(Sun Oil)公司达成协议。1937 年，胡得利法宣布成功，研发费用高达 1100 万美元。

胡得利法的效益显著，不仅比热裂化法的成本低、产品质量高，而且出人意料的是能产出优质航空燃料。

胡得利公司的成功，强烈刺激了新泽西美孚石油公司，原打算购买经营许可权，却因价格高得难以接受，加之胡得利公司态度强硬，迫使新泽西美孚石油公司放弃购买，设法联合其他受到胡得利法威胁的公司一起开发新的工艺。1938—1942 年，联合研发活动开发出流化催化裂化工艺，可称为在原子弹研制前的最大单一项目，研发的总成本最终超过了 3000 万美元，但回报也甚为可观。到 1956 年，新泽西美孚石油公司专利的收益就超过 3000 万美元。此时，这项工艺占领了世界裂化能力的半壁江山，使得胡得利工艺从未能够有超过 10% 的市场份额。

20 世纪 50 年代初，发展出加氢裂化工艺，并逐渐成为炼油业中最灵活、最先进的过程。1959 年，美国加利福尼亚研究公司又试验成功了加氢异构裂化过程。这是第一套工业加氢裂化装置，它是在氢气和催化剂存在下把使用价值低、沸点高的馏出油分转化为沸点低、辛烷值较高的液体产品，而且基本上不产生废气。从早期的热裂化装置，发展到 60 年代后期的新加氢裂化装置，半个多世纪，其间经历了几千项的改进和革新，无数的化学家和工程师为之付出了辛勤劳动。

三、四乙铅

四乙铅（tetraethyl lead，TEL），随着汽车的大量生产和使用而问世。四乙铅为无色油状液体，略具苹果香味，沸点低，极易挥发，把它添加到汽油中，可有效地减少发动机的爆震。

20 世纪初，西方汽车的发展刺激了汽油使用，然而带来爆震的问题。通过化油器，汽油和空气混合物吸入气缸，被压缩后产生热量，达到一定值时，点火便会剧烈燃烧。但是也有一部分汽油不等点火就提前发生燃烧，并通过发动机的响声或震动表现出来，这种现象就叫做爆震。爆震不仅浪费燃料，损失能量，也损坏气缸。因而提高汽油的抗爆性就显得十分重要。

1921 年，美国汽车市场扩展，引起激烈竞争。福特公司的车经济实用，销售旺盛；而通用公司的车因发动机有明显爆震，直接影响到销路。通用公司总部很是着急，指令设于俄亥俄州的代顿实验室的化学家托马斯·米奇利（Thomas Midgley），要他尽快找到解决办法。实际上在这之前几年，米奇利已同他的助手在进行抗爆剂的研究，他们在 1918 年申请了专利，不过，最初没有明显效果。

在新的紧迫形势下，米奇利采用多种化合物尝试，在试用一种德国含铅的化合物时，没料到几乎是立竿见影，发动机的爆震大大减轻。经过分析和改善，一种新的添加剂“四乙铅”问世了。1923 年，米奇利申请专利，名称就叫“燃料爆震预防”(prevention of fuel knock)，该项专利于 1926 年 2 月获准。

1923 年初，美国三家大公司(通用汽车公司、杜邦公司和新泽西美孚石油公司)联合成立一家合资企业，名叫四乙铅公司，不久又简称四乙公司。之所以称“四乙公司”，是因为“四乙”(Ethyl)听上去比较悦耳，不像“铅”那样含有毒物的意味。1923 年 2 月 1 日，公司正式把这个名字推向市场。

后来研究知道，爆震现象与汽油的化学组成有关，比较发现，汽油中以正庚烷的爆震程度最大，而异辛烷的爆震程度最小。科学家把衡量爆震程度大小的标准叫做辛烷值，正庚烷的辛烷值定为 0，异辛烷的辛烷值定为 100。提高汽油辛烷值的方法主要有两种：一种是在汽油中加入抗爆剂，另一种方法是采用含有高辛烷值烃类成分的汽油炼制工艺。而在众多种类的抗爆剂中，以四乙铅的抗爆效果最显著。

正是四乙铅的明显抗爆性，促成了四乙铅产业，同时也刺激了装配汽油内燃机的汽车的生产和使用。

然而，在四乙铅的生产工厂，不久就出现了一线的工人走路不稳、官能混乱等现象，这是中毒的表现，尤其是 1924 年，几天时间里，在一个通风不良的车间就有 5 名工人死亡，35 名工人落下终身残疾。

有关四乙铅危险的传言四起，为了打消人们的担心，米奇利决定召开记者会，当着记者的面做现场表演，他一面大谈公司如何确保安全，一面往自己的手上泼含铅汽油，声称他每天这么干而没有受到伤害。其实，米奇利对铅中毒的危险很清楚，他几个月前还因接触太多而大病一场。

铅中毒事件不断增加，最终引起科学家和医学界的重视，通过调查发现，其祸首正是铅。铅是唯一的人体不需要的微量元素，它几乎对人体的所有器官都能够造成损害。铅进入人体后通过血液侵入大脑神经组织，使营养物质和氧气供应不足，造成脑组织损伤，严重者就会导致终身残疾，甚至危及生命。

不仅在工厂接触四乙铅中毒，使用含铅抗爆剂的汽车，排放的尾气中也含有铅，由此污染大气、污染水源和土壤，从而危害人类的健康。

随着对铅污染危害和对环境保护的重视，西方国家从20世纪80年代起，开始逐步实现汽油低铅化和无铅化。

自2000年7月1日起，中国大陆所有加油站一律停止销售车用含铅汽油，改用无铅汽油。

四、氟利昂

氟利昂(freon)是20世纪20年代末发明的一种新型致冷剂。

在氟利昂以前，制冷技术主要采用氨、碳氢化合物、二氧化碳和空气作致冷剂，这些物质或有毒，或易燃，效率也较低。在这样的背景下，美国通用汽车公司的化学家米奇利受命主持新的致冷剂研究。此前，米奇利曾发明了四乙铅，用作减轻汽油内燃机的爆震。接受新任务后，米奇利采用了类似于发现四乙铅的方法，编制出一张具有挥发性、稳定性的有机化合物一览表，逐一分析这些化合物的沸点和熔点。米奇利发现，以前的致冷剂没有包含氟化物。于是他想，是不是以前的研究者担心氟有毒而避开了呢？为了搞清楚，米奇利与助手有意识把重点放在氟上，开始合成氟的化合物。他们制出了几克二氯二氟甲烷，在老鼠身上进行毒性试验，发现没有毒性，新化合物的沸点为－20℃，是极为理想的致冷剂。

1928年12月31日，米奇利申请专利。随后，通用汽车公司与杜邦公司联合开发这种新产品，1930年建厂正式生产，并以“Freon”(氟利昂)商标注册。

氟利昂后来发展成氟氯碳化合物家族，包括CCl_3F(F-11)、CCl_2F_2(F-12)、$CClF_3$(F-13)、$CHCl_2F$(F-21)、$CHClF_2$(F-22)、$FCl_2C\text{-}CClF_2$(F-113)等系列产品。在常温下，这些产品都是无色气体或易挥发液体，略带香味，无毒性，具有较高的化学稳定性。到20世纪70年代末，氟氯碳化合物凭借其毒性低、化学性质稳定、生产工艺简单和生产成本低廉等特点，广泛应用于制冷、空气调节、火箭推进剂和塑料等行业，发展成为具有数十亿美元的产业，每年工业用量高达100万吨。

氟氯碳化合物在长期使用中，对生态环境的副作用逐渐显露。20世纪70年代初，科学家们发现氟氯碳化合物由于化学性质稳定，在低层大气中基本不分解，上升到平流层之后，在紫外线的照射下可分解出氯原子，氯原子又作为催化剂参与破坏臭氧的反应，最终导致形成臭氧空洞，引发“温室效应”。除此之外，使用氟氯

碳化合物还有很多缺点，特别是 F-11 和 F-12，它们的渗透能力很强，容易漏泄，且不易发现。这种气体遇到明火，或温度达到 400℃ 以上时，便分解成有毒的氟化氢和氯化氢。

1987 年，在联合国环境规划署组织下，46 个国家和国际组织的代表通过签署了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》，按照议定书的要求，发达国家和发展中国家都制定了各自具体的有毒物质的淘汰进程表。



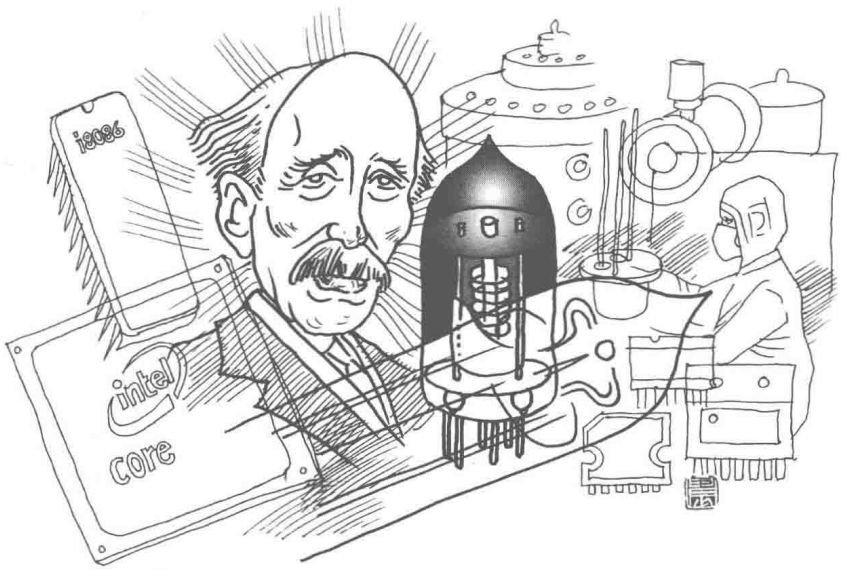
第三部分
电子时代

20世纪30年代起，电子学、材料学等新学科的研究，引发了新一轮技术革命，引领人类进入电子时代，这个时代的突出特征是：电子元器件的迅速发展和极为广泛的应用。

电子时代，发明了面向公众的无线电广播和电视系统；制造了录音机、音响、电子游戏、计算器等消费电子新产品；研发出雷达、声呐、电子显微镜等新仪器设备；电子控制应用于精密加工和生产线……

电子时代，人工合成的新材料应接不暇；广播、电视空前普及；家电新产品纷纷问世，飞船载人遨游太空。因而也可以说，人类进入了高分子材料时代、电视时代、家电时代、太空时代。

第十六章
电子元器件革命



绘画：王晨

20 世纪，电子元器件连连变革。30 年代，电子产品以电子管为核心。40 年代末，半导体三极管诞生，它以小巧、轻便、省电、寿命长等特点，很快得以应用，并大范围地取代电子管。50 年代末，集成电路问世，它把许多晶体管等电子元件集成在一块硅片上，使电子产品向更小型化发展。此后，集成电路从小规模快速发展到大规模、超大规模集成电路直至芯片，相关的研发、生产形成一批高科技产业，产品应用渗透到各个领域。

一、电子管的发明

电子管（因形似抽空的灯泡，故又名真空管）是早期电子技术的核心，最初的广播、电视、自动控制装置甚至计算机，都依赖于电子管。

电子管主要分二极管和三极管。二极管是开启电子时代的第一个重要发明，它直接与“爱迪生效应”有关。

1883 年，爱迪生为寻找最佳灯丝材料，在灯泡内碳丝附近安装了一个小金属片以抑制灯丝金属的热蒸发。爱迪生发现，当金属片连接到灯丝正极时，能够检测到微弱的电流，而连接到灯丝负极时，就没有电流。后来这一现象被称为“爱迪生效应”。

“爱迪生效应”引起约翰·弗莱明（John Fleming）的兴趣。弗莱明 1870 年毕业于伦敦大学学院，1877 年入剑桥大学跟随著名物理学家麦克斯韦（James Clerk Maxwell）学习，后获博士学位。1881 年，弗莱明出任伦敦爱迪生电灯公司的顾问，出于职业的敏感，弗莱明有心研究“爱迪生效应”。

经过多次实验，弗莱明研制出一种能够利用“爱迪生效应”进行整流和检波的特殊灯泡——“弗莱明阀”。“弗莱明阀”有一根灯丝和围住灯丝的金属圆筒电极，该电极作为阳极。当灯丝加热时，阳极加正电压能使电流通过，而加负电压就没有电流通过。由于电子很轻，惯性很小，“弗莱明阀”可使频率很高的无线电信号被检波成所需要的信息。弗莱明用这个新装置来替代无线电接收机里的金属粉末检波器和晶体检波器，使微弱的高频无线电信号能够还原成所传输的电码信息，无线电接收机的灵敏度显著提高。1905 年 4 月，弗莱明为新发明申请专利，电子二极管（也叫检波管）由此诞生。

在“弗莱明阀”的启发下，不久之后电子三极管问世。

电子三极管是由美国电子工程师李·德福雷斯特(Lee de Forest)发明的，其主要功能是信号放大。1906 年，受弗莱明研究的启发，德福雷斯特在二极管的两个电极之间加了一个金属栅极，他发现当调整栅极电流大小时，其整流和检波作用更加灵敏，由此成为一种新的电子器件。1908 年 2 月 18 日，德福雷斯特的专利获美国专利局批准，他成为改进二极管的最早成功者。

然而，在将发明推向市场的道路上，德福雷斯特多有波折。1907 年，德福雷斯特创办无线电话公司，两年后因经营不善破产。1912 年，德福雷斯特试图通过邮递方式推销电子三极管，结果被指控涉嫌“诈骗”。

美国电话电报公司(AT&T)帮助德福雷斯特改变了命运。约在 1911 年，AT&T 公司总裁提出一个宏大的通信计划，要从纽约到旧金山铺设横跨北美大陆的远程电话线路，不料遇到棘手的问题：随着线路距离增大，电话的话音在衰减，尽管想了许多办法，却都不能让人满意。负责这项基础研究的物理学家哈劳尔德·阿诺尔德(Harold Arnold)等人在 1912 年发现，电子三极管能够起放大作用，并且可以通过调整栅极电流起调制作用。于是 AT&T 公司买下德福雷斯特的专利权，利用电子三极管制成专用的放大器，采取每隔几十千米加一个放大器的办法，最终解决了从纽约到旧金山的通话问题。相隔上千千米的两地通话能保证较好的音质，这在当时是个奇迹，世界为之震惊。这个成就使科技界认识到，电子管对于通信和其他电子技术都有重要的作用。

在电子二极管、三极管的基础上，科研人员又开发出四极管、五极管，产生了一批电子专利技术。电子管应用到无线广播中，促进了广播电台的建立，推动了收音机的生产和普及。科研人员利用多种电子管，研制出新仪器和自动控制设备。早期的电子计算机，便是用成百上千的电子管装备起来的。

基于电子管的大量需求，20 世纪 40 年代，欧美国家的电子管生产成为规模性的产业。

二、晶体管的发明

晶体管是 20 世纪的重大创新，它的诞生促使电子产业转型，加快了自动化和信息化的步伐。

分析晶体管的发明，主要有三个原因：

其一是19世纪末20世纪初，科学家们已相继发现了硒和氧化亚铜的光电特性、整流特性和光生电动势效应。20年代起，半导体的整流特性逐步进入应用，促进了固体物理和半导体物理的理论研究。

其二是远距离通信技术有实际需求。当时的电子管在无线电通信和雷达的发展中起到重要作用，但电子管在体积、重量、功耗及预热等方面都有明显的缺陷。突破技术阻碍，适应新需求，成为激励发明的动力。

其三是贝尔实验室建于1925年，由美国电话电报公司(AT&T)电气工程部和西方电气公司工程部合并而成。成立之初，它就是美国乃至世界上最大的工业实验室，到40年代时，贝尔实验室在科研管理方面已具备丰富的经验。

1945年7月，第二次世界大战临近结束，时任贝尔实验室副总裁的凯利(M.J.Kelly)洞察通信技术的发展前景，亲自主持各研究部门的改组，以适应战后的研究方向调整。

1946年1月，贝尔实验室成立以肖克利(W.Shockley)、巴丁(J.Bardeen)、布拉顿(W.Brattain)为核心的固体物理研究小组。该小组充分发挥各人专长，合作攻关，很快取得成果。

先是按照肖克利的安排，巴丁着手研究“场效应”检验。所谓“场效应”就是当强电场作用于一个薄薄的硅片时，应该在硅片表面出现电荷层，而当时遇到的问题是没有观测到这种现象。巴丁研究后设想：改用锗晶体来检测场效应。由于硅元素在检波器中具有良好的特性，故元素周期表中正位于硅元素下方的第Ⅳ族稀有元素锗自然引起关注。

不久，巴丁、布拉顿在锗晶体上观测到肖克利所预言的场效应现象。可是电子在锗薄膜内部的运动看起来要比它们在锗晶体块中的运动缓慢得多，这促使巴丁和布拉顿及同事再深入研究。

经过一年多的努力，布拉顿的实验取得显著进展。起初借助液氮将样品冷却，用光间歇照射，对硅晶体和锗晶体均观测到电子的接触电势，尽管信号微弱但有确凿的变化。

1947年11月21日，巴丁提出建议：用一根金属尖端刺到硅片，形成点接触，同时在其周围注满电解质，通过改变加在电解质上的电压，改变这种点接触下方硅

晶体的电阻(即导电性能),由此控制流入到接触点上的电流。

接下来,巴丁和布拉顿就多个设计方案进行试验,用锗晶体代替硅晶体、用金丝代替钨丝、用漆代替固定接触点的石蜡,并接受同事的建议,用硼酸酯作为电解质。

到 12 月 15 日,巴丁和布拉顿又克服了两大障碍,他们利用耐高压反向电压的锗晶体实现了良好的功放系数;通过清除硼酸酯液滴并使金电极与晶体表面直接接触获得了良好的响应频率。

最后,布拉顿又巧妙地设计,切削一个小塑料楔,将一条金箔贴于楔的两边缘,小心用刀片切开塑料楔顶端的金箔,形成一条狭缝,将这个塑料楔置于一根弹簧,再将塑料楔压到锗晶片上。金箔狭缝两边与锗晶体表面接触,两个点接触之间的间距小于 0.002 英寸(一张普通纸的厚度)。

12 月 16 日,试验电路输出功率的功放系数高达 450%,奇迹出现了! 后来就把晶体管诞生的日期定为 1947 年 12 月 16 日。

先期成功的是点接触型晶体管,使用起来性能不太稳定。1948 年 1 月,肖克利又构思了一种新型晶体管,其结构有点像三明治,夹在中间的 P 为基极,外边的 N 端分别为发射极和集电极,工作时外加电压。肖克利为此研究提出了三个重要假说:①当 N 型区少数载流子(相当于“额外空穴”)注入基极,其数量会随外加正向电压而成指数增加。②在集电极上施加反向电压,空穴和电子在“PN 结”界面势垒上相遇,电流大大减小。③合适的半导体结构和掺入杂质可获得从发射极到集电极的良好传导电流,并可用外加电压控制其功率增益的大小。

1948 年 1 月 23 日,肖克利明确记录下有关结晶体管的原理。其后不久,肖克利在同事的协助下试制成功结型晶体管。结型晶体管的性能要比点接触型晶体管好,因而结型晶体管后来获得更广泛的应用。

制备晶体管的锗材料提纯也很重要。贝尔实验室的蒂尔(C. K. Teal)和利特尔(J. B. Little)成功研究从锗熔融体拉出单晶的工艺,对大批量制造性能可靠的晶体管给予了有力保障。

因对发明晶体管的贡献,肖克利、巴丁和布拉顿三人同获 1956 年诺贝尔物理学奖。

晶体管与电子管相比,其优点非常明显:体积小、耗电省、不用预热、寿命长。

到20世纪60年代初，晶体管已大量地取代电子管，成为电子工业的主要产品。

三、集成电路

晶体管诞生仅仅十年，集成电路的发明又掀起浪潮，很快波及整个电子行业。这次创新不是在贝尔实验室，而是两家新兴的小公司，主要人物是两位年轻人：基尔比(J. Kilby)和诺伊斯(R. Noyce)。

基尔比受家庭的影响，少年时就对电子学感兴趣。上中学时他通过考试，获得资格开设业余电台。基尔比大学读电气工程，毕业后进入全球联合公司工作，业余读在职研究生，1950年获电气工程硕士学位。

1952年，全球联合公司购买了晶体管专利许可，并派基尔比参加贝尔实验室举办的晶体管技术专题研讨会。回到公司的实验室，基尔比负责一个助听器开发小组，他利用丝网印刷法印制电路同4只锗晶体管相耦合，开发出小型的助听器。

1958年，基尔比加盟德克萨斯仪器公司。当时的德州仪器公司有惯例，员工在夏季可以享受双周长假。可基尔比还无缘这种福利，因而在这段时间，他独自在实验室里做研究。

1958年7月24日，基尔比突来灵感，他在笔记里写道："包括许多电子线路的极端微型化电路板块是能够实现的，这些包含电阻、电容、晶体管及二极管的电子线路可以被集成在一个微型硅片里。"基尔比设想用硅材料制作集成电路，一时手头没有，他便先用锗晶片，做成有一个晶体管和电阻、电容的振荡电路，这是世界上的第一块集成电路。取得进展后，基尔比又转向采用硅晶体，并尝试在硅片上制作电阻和电容的方法。

1959年2月6日，基尔比正式提出了名为"微型化电子线路"的专利申请。

与基尔比不同，诺伊斯完全是另一条路径。诺伊斯自幼聪颖，上中学时，课程几乎门门全优。大学毕业，诺伊斯入麻省理工学院读博士，然而他很快发现，学校里"还没有哪个教授知道晶体管"。他只好自行拼凑课程，并积极参加贝尔实验室举办的晶体管技术研讨会。通过研讨会，诺伊斯遇到了电子领域的领军人物肖克利，而他的才华也为肖克利注意。

1953年诺伊斯博士毕业，到飞歌(Philco)公司的晶体管实验室工作。三年后，

他转入肖克利新创建的半导体实验室。差不多与诺伊斯前后，投奔肖克利的还有七位青年才俊。1956 年 11 月，肖克利获诺贝尔物理学奖的消息传开，让这些年轻人的憧憬达到顶峰。然而随着时间流逝，肖克利的专横、猜疑让人难以忍受。最终以诺伊斯为首，“八位天才”集体辞职，于 1957 年 9 月 19 日创立仙童半导体公司（Fairchild Semiconductor Company）。

经过几个月的奋战，仙童公司的赫尔尼（J. Hoerni）开发了一项称为“平面处理”的新工艺，其想法来源于照相平版印刷技术（photolithography），这种新工艺拥有极其微型化的特点，用新工艺制造晶体管就像印制连张邮票一样。

正是看到赫尔尼新工艺的成功，促使诺伊斯考虑如何将多重功能的器件集成在一片硅片上，1959 年 1 月 23 日，他将明确的想法记到笔记本上。

基尔比专注于利用同种材料制作不同的元件，而诺伊斯致力于元件与元件之间的精细连接。诺伊斯设想的连接方法是借助光刻技术，用铝质材料直接制作出精细的连线以能批量化生产。当需要在某处同硅晶体进行连接时，只要在对应的二氧化硅表面打孔，并在随后的操作步骤中将精细的金属接头与孔下方的硅相连接。而在其他处，细导线从二氧化硅层的表面经过，由此半导体材料的导电行为就只发生在表面层的下方，而表层与内层之间彼此相互绝缘。

1959 年 7 月 30 日，诺伊斯正式提出了名为“半导体器件及连线结构”的专利申请。

集成电路的发明几乎同时出现在两个完全不同的公司，这一事实不能说令人意外。诺伊斯坦言，他借用了各种现成的技术，有许多技术是由贝尔实验室开发的。

然而，由于专利制度直接与经济利益关联，就集成电路发明的优先权出现了激烈的争执。

1961 年 4 月 25 日，美国国家专利局向诺伊斯颁发专利。而一直到 1964 年 6 月 23 日，基尔比的专利才获批准。

德州仪器的律师提出诉讼，仙童的律师坚持是独立发明，两家公司的工程师则忙着争先将各自的产品推向市场。几乎在获得专利权的同时，诺伊斯成为仙童的掌门人，他领导公司抢先一步赢得了这场比赛。

最终，专利权之争不得不在火爆的市场面前平息。1966 年，仙童和德州仪器就冲突的集成电路专利权达成协议，相互承认有效，由此解决了历时多年的纷争。

1982 年，基尔比入选美国的国家发明名人堂（National Inventor's Hall of Fame），第二年，诺伊斯也获得同样的荣誉。然而，他们两人却一直无缘诺贝尔奖。直到 2000 年，距离集成电路的发明 42 年，基尔比才终于得到诺贝尔奖桂冠。而诺伊斯于 1990 年心脏病突发去世，无法共享这一殊荣。

集成电路的问世，刺激了电子产品、设备纷纷改用集成电路。新的需求使集成电路的制作工艺水平快速提升，集成电路包含元件的数量呈几何级数增长。20 世纪 60 年代后期，硅片上可容纳百只到千只晶体管；80 年代，硅片上集成的晶体管达 10 万以上；90 年代又先后突破了百万、千万晶体管集成大关。

四、微处理器

继晶体管、集成电路之后，微处理器的发明又掀起新技术革命，带来计算机产业的变革。

年轻的英特尔公司是 4004、8008 和 8080 微处理器的诞生地，这并非是精心计划的过程，说来是缘于一份技术合同。

20 世纪 60 年代，随着集成电路的发明和应用，一场制造轻便桌面计算器的竞赛展开。日本涌现出多家制造桌面计算器的公司，其中一家名为 Busicom 的公司更富有冒险精神。

那时，半导体产业的研究者已认识到，用新的金属—氧化物—硅半导体技术（MOS）来创建一个包含多种功能的芯片，在理论上是可行的。换言之，有可能设计和制造出一种芯片，其表面的不同区域分别用于逻辑/计算、只读存储器（用于永久保存固件程序）、随机存取存储器缓存（用于暂时保存输入的数据和输出的结果）、输入/输出管理以及电源控制。这些区域可以被连接起来，从而使单芯片能够执行多芯片主板上的所有任务。这种神奇的芯片称作微处理器，意为“一颗芯片上的中央处理单元”，而当时计算器的中央处理器是靠一整块带有多颗芯片的主板来实现的。

及至 1969 年，微处理器实现的可能性开始显现。Busicom 意图在技术上领先，他们找到新成立的英特尔，商谈投资研发新芯片。当时，英特尔的创始人之一诺伊斯认为，这笔交易可行。Busicom 团队的岛正利（Masatoshi Shima）有才华，敢挑设计重担，而英特尔除了派一个项目总监、提供实验室外，不需投入更多人力和资金。

英特尔指派霍夫(M.E.Hoff)协助 Busicom 开发新芯片。霍夫少年时即显露发明的天赋。1954 年,他参加著名的科学竞赛“西屋科学天才奖”(Westinghouse Science Talent Search)并入围决赛,引起全国性的关注。霍夫从伦斯勒理工学院毕业,又进入斯坦福大学学习,1962 年获得电气工程博士学位。1968 年英特尔成立,霍夫应邀加盟。当时英特尔在集中研发存储芯片,而霍夫也对单芯片中央处理器感兴趣,业余进行了很多研究。

从开始与 Busicom 接触,霍夫就感到他们的构想过于复杂,他甚至确信这种设计会失败,于是他把情况向诺伊斯汇报。诺伊斯鼓励霍夫拿出自己的处理器设计。在试了一个月后,霍夫意识到他的长处在硬件架构而非运行通用处理器所需的软件,便把刚从仙童跳槽来的梅泽尔(S.Mazor)拉了进来,让梅泽尔负责为新的四芯片方案设计软件架构,以及给被命名为“Intel 4004”的主算术处理器芯片编写指令集。两人密切合作,不久确定出 4004 的体系架构。

到这时,诺伊斯便有理由给 Busicom 的总裁写信。最终,Busicom 接受英特尔的设计方案——只用 4 颗全新的芯片,每颗上面不超过 2000 个晶体管。

为了 Busicom 的项目成功,英特尔又把法金(F.Faggin)挖了过来。法金毕业于意大利的帕多瓦大学,获物理学博士学位。1968 年移民美国加州,进入仙童半导体公司,在较短时间里,他就成功开发自对准硅栅技术,这后来成为制造 CMOS 计算机芯片的基础。

到 1970 年夏末,法金和岛正利完成了四芯片组的设计。英特尔取名“4000 家族”,表明这是一组四颗不同的芯片:

1. 4001 是 2048 比特的 ROM 存储芯片,用来保留编程。

2. 4002 是 320 比特的 RAM 存储芯片,用来缓存将要操作的数据。

3. 4003 是 10 比特的输入—输出寄存器,用来把数据送进主处理器和移出结果。

4. 最重要的是,4004 是 4 比特(即 4 位)的中央处理器逻辑芯片。

几年之后,当英特尔真正制造出单芯片微处理器时,业内开始把这些开创性的芯片组称作“处理器芯片”。

1971 年 2 月,4004 进入批量生产。自此,微处理器时代拉开了帷幕。

岂料市场无情,就在半年多的时间,桌面计算器快速萎缩,产品价格大幅下降。

Busicom 连遭不顺，在行业大洗牌中被扫地出局。

形势迫使英特尔作出调整。在 4004 的基础上，很快开发出 8008。8008 并不简单是 4004 的增强版，它本身具有重大的突破，4004 的晶体管数为 2300 个，8008 的晶体管增加到 3500 个；4 位微处理器只能做一些计算器中简单的计算，或是在电子游戏中做一些简单的控制功能。而要做一些真正的计算和控制功能，8 位微处理器是必需的。

1974 年 3 月，英特尔正式对外推出了真正的单芯片微处理器 8080，这是 20 世纪最重要的单一产品。与 8008 相比，8080 容纳了 6000 个晶体管，时钟（处理）速度提升到 2 兆赫，每秒钟可以执行 50 万次计算。

回顾历史，英特尔有过多次辉煌，但没有一次比 8080 的诞生和推出更轰动了。其后 3 个月，德州仪器推出了它自己的微处理器，摩托罗拉和其他公司也很快跟进。但那时，英特尔已经凭借 4004、8008 和 8080 三款微处理器组成的产品家族，占据了市场的领导地位。

今天，集成电路的晶体管数目仍遵从摩尔定律呈指数般增长，微处理器的晶体管数已突破百亿，微处理器制造已成为庞大的产业。

五、半导体工业

20 世纪 50 年代末 60 年代初，随着大批量制造晶体管的工艺技术成熟，半导体工业在美国站稳脚跟，成为新工业的发源地，产品价格快速下降，电子市场不断开拓。

从 1947 年到 1985 年，美国半导体业的产值稳居世界第一。及至 20 世纪 80 年代中期，日本的半导体工业一度赶超美国，然而到 90 年代初，日本经济泡沫破裂，到 1993 年，美国半导体工业又重回霸主地位。

最初，美国制造半导体的公司是由做真空管的公司转型来的，当时著名的厂商有通用电气公司、美国无线电公司和西尔凡尼公司。很快，新的半导体公司兴起，对老的真空管公司构成威胁。其中，德州仪器公司的发展最引人注目。从 1957 年到 1985 年，德州仪器公司是美国半导体业的龙头，也是世界上最大的半导体公司。

德州仪器公司创建于美国经济大萧条时期，起初叫地球物理服务有限公司

(Geophysical Services, Inc., GSI)，当时只是一家小企业，主要生产用于石油勘探的反射式地震仪。珍珠港事件爆发后，公司凭借在电子方面的专长抓住了机遇。第二次世界大战结束后，公司决定进军国防电子设备，后来证明这次战略调整非常重要，1951 年公司改名为德克萨斯仪器公司。公司也曾考虑过制造真空管，由于这个领域已经成熟，显不出什么优势，而这时晶体管刚发明不久，公司高层看到了希望。

1952 年，贝尔实验室的蒂尔加盟德州仪器公司，创建研究实验室并担任主任。到 1953 年，德州仪器公司已能大量生产锗晶体管。

德州仪器公司历史上最重要的一步，是决定研发硅晶体管。1954 年 4 月，蒂尔尝试第一个用晶体拉升法制作硅结型晶体管，第二个月，即进行小批量生产。有三年时间，德州仪器公司是生产硅晶体管的唯一厂商。公司业绩反映在股票上，1952 年它的股价是 5 美元，1959 年蹿升到 191 美元。

德州仪器公司的优势保持了 30 年。其后，被美国的英特尔、摩托罗拉等公司逐渐超越；日本的东芝(Toshiba)、日立(Hitachi)和韩国的三星快速崛起，成为强劲的竞争对手。到 1996 年，德州仪器公司已退为世界半导体工业的第 6 位。

日本的半导体工业直接受惠于美国。1950 年，日本获得授权开始生产半导体元件。1955 年 8 月，索尼公司推出第一台半导体收音机，用了 5 个锗晶体管和两个二极管，相比德州仪器公司的半导体收音机晚了不到一年。

20 世纪 50 年代末，日本的半导体公司通过大量生产消费电子产品，向美国的领先地位发起挑战。1959 年，日本占据了美国半导体收音机百分之五十的市场。

1964 年，日本开始研发集成电路。1965 年，日本通产省制订长远规划，要变革日本半导体工业的性质，从生产大量便宜的元件转到生产集成电路。20 年后，日本果然在超大型集成电路方面赢得了领先地位。

从 1986 年到 1992 年，日本成为世界上最大的半导体生产国。然而，随着日本经济泡沫的破裂，日本的半导体工业受挫，美国卷土重来，1993 年重归世界第一的宝座。

20 世纪 90 年代末，日本半导体工业，在逻辑芯片方面要应对美国的竞争，在记忆器芯片方面受到韩国和中国台湾的挑战，而在中国大陆也不断受到新的威胁。世界半导体工业呈现出激烈竞争的局面。

第十七章
电子技术创新



绘画：王晨

电学理论和电子元器件革命，为电子技术创新带来广阔的空间。20 世纪 20 年代起，以无线电通信为基础，面向公众的无线电广播在欧美国家逐渐普及。

电视技术从无到有，先是采用机械式技术传送图像，但最终在 20 世纪 30 年代被电子式电视技术全面超越。

20 世纪初发明了雷达，随着电子技术创新不断改进，从军事到民用，广泛用于探测、导航、气象等众多领域，成为人类的“电子眼”。

一、无线电广播

第一次世界大战前，有几个国家都进行了无线电广播的试验。而作为一种正式为广大公众服务的无线电广播形式，则于 20 世纪 20 年代首先在美国出现。

美国西屋电气公司的弗兰克·康拉德(Frank Conrad)是一位无线电爱好者，他早在第一次世界大战前便在自家的汽车库里安装了一套小型的广播设备。1920 年 4 月，康拉德利用原有的业余电台呼号 8XK 试验播放自制的节目，除了发布消息，他也插播唱片。很快，康拉德收到其他无线电爱好者的来信，评论播音的质量，并请他播出某一唱片，或在某一特定时间播出节目。为了满足这些“听众”的要求，康拉德开始定时播出节目。

康拉德的广播被百货公司注意，便在当地报纸上刊登广告，宣传康拉德的广播，并出售收听节目的简易收音机。不久，康拉德所在的西屋公司决定将广播电台永久化，作为维持收音机销售的先决条件。1920 年 10 月 27 日，负责电台执照的美国商业部颁给西屋公司一个商业性电台的呼号——KDKA。自此，美国的广播电台快速发展，两年多后，美国的广播电台发展到约 600 个，听众达上百万人。

在英国，1920 年 11 月 23 日，马可尼公司从英国邮政部长那里领取营业执照，在切姆斯福德用功率为 15 千瓦的发射机开始发布新闻广播，其发射波长为 2.8 千米。此后马可尼公司加强广播的实验研究，于 1922 年 5 月 11 日在伦敦创办了著名的有两个本机振荡器的广播电台。该台发射波长为 360 米。1922 年年底，英国广播公司(BBC)成立，到 1927 年公司变为国有企业，由此标志着英国在广播事业中商业竞争的结束。而在美国，广播事业虽有联邦政府监管，却仍然是商业性的。

无线电广播刺激了收音机的生产和销售，有许多人研制收音机，申请有关的发

明专利。早期的收音机非常简单，没有电子管，只有“触须”（晶体）检波器，通常要带耳机收听。后来发明了扬声器（俗称喇叭），装有（用特种纸制成）盆形的振动膜，中间连着磁性簧片，通过来自收音机的音频电流变化，引起电流经过的线圈中的磁性簧片振动，从而使扬声器的振动膜振动。

最初建立的无线电广播是中波段，发射波长 300～500 米，发射功率大约为 3 千瓦。当传播距离超过 40 千米时，通信质量难以保证。因而，英国等国建立了“中继广播电台”，由它接收来自总台的广播节目，然后再向总台有效范围之外的某些地区转播。

无线电广播的重大发展是在 20 世纪 20 年代中期，采用了短波发射，波长范围 10～100 米，传输功率多为 10 千瓦。其原理是依靠大气层的电离层反射，传输距离可达到几千千米。

早期的无线电广播采用调幅（amplitude modulation，AM）形式，接收时很易收到干扰，尤其是雷雨天气，噼里啪啦的噪声会压过正常广播的声音。1933 年，美国电气工程师阿姆斯特朗（Edwin H. Armstrong）发明了调频（frequency modulation，FM）技术，调频中载波的振幅保持不变，只是根据信号的变化改变载波的频率。采用调频方式传送信号，抗干扰性大大增强。

阿姆斯特朗 1913 年毕业于哥伦比亚大学电气工程专业，大学期间发明了反馈电路，然而不料被另一发明者李·得弗尔斯特（Lee DeForest）抢了头功。美国最高法院的裁决使阿姆斯特朗失去了该发明在法律上的优先权，但美国科学界坚持把发明的荣誉授予阿姆斯特朗，无线电工程师协会为此还特地向他颁发了金质奖章。这次发明权争执事件，促使阿姆斯特朗注意维护自己的发明。1933 年 12 月，阿姆斯特朗获得调频电台信号处理发明专利（美国专利号 1941066）。1935 年，阿姆斯特朗在朋友家里做了第一次调频广播，取得成功。然而，当时的广播业为了保护原有的调幅设备不被淘汰，很长时间拒绝接受新技术。为了向社会证明调频技术的优越，1938 年阿姆斯特朗在家乡新泽西州阿尔皮恩市建立自己的电台，进行调频广播。

当调频广播充分显示优越性时，许多公司、电台都想染指，阿姆斯特朗又开始了维权斗争，他不留情面地起诉侵权者，这种起诉多达二十余次。

第二次世界大战后，调频技术逐渐普及，广泛应用于立体声广播、电视节目的

伴音、无线电微波中继站传送的长途电话以及航空通信。

二、电视：从机械式到电子式

电视从无到有，其发明经历了一个长期过程，前后凝聚了多位发明家的智慧。曾经有两种实现传输图像的方法，最早问世的是机械式电视系统。

1885 年，24 岁的德国青年保尔·尼普科(Paul Nipkow)获得一项名为“电动望远镜”的专利，这是电视发展史上的第一个发明专利。新发明被称为“尼普科圆盘”，盘上以螺旋形模式开有许多小孔。该盘会把一个物体的图像分解成一连串的圆点，图像随之会集中到一个光电管上。光电管将一连串的电子脉冲发送给一个接收器，在接收器处另一个扫描盘会将圆点图形“复原”成一个图像。可以说，这是一种自然、非清晰的图像，但它也是最早的电视图像。

尼普科致力于改进他的发明，1924 年以圆盘同步的设计再次获得专利，1930 年尼普科将新专利转让给西门子公司。

1923 年，英国工程师约翰·贝尔德(John L. Baird)根据尼普科圆盘原理，设计出机械式电视系统，并先后在英、美等国提交了专利申请。1924 年制造出样机，首次在相距 2～3 码[①]的地方传送了一个十字形的图像。1925 年 4 月，贝尔德在伦敦一家百货公司前公开演示他的发明，尽管只能看到粗糙的轮廓像，这项成果还是引起了轰动。1925 年 10 月，机械式电视系统开始传送电视画面，首次上电视的是一位十几岁的男孩。1926 年 1 月 26 日，贝尔德在英国皇家学会演示了他的机械式电视系统。经过不断改进，贝尔德电视系统的效果有很大改善，传送距离不断延长。

机械式电视系统的发明引起公众极大的兴趣，然而初创不久的英国 BBC 却将贝尔德看成是一个外行的竞争者，拒绝了贝尔德提出的把相关技术转让给 BBC 的请求。为推动电视的应用，贝尔德只好个人筹资于 1928 年创建“贝尔德电视有限公司”，并于 1929 年在德国柏林开始试验放送节目。迫于公众的舆论压力和贝尔德的反击策略，1929 年，BBC 接受了贝尔德的电视系统，同年 9 月开始电视发射试验。贝尔德的电视系统一度也在美国、荷兰等国家应用。

① 1 码＝3 英尺＝0.9144 米。

贝尔德的电视系统不能同时播放声音和图像，但是贝尔德通过绝妙的广告宣传避开了这些问题，观看者先看到歌唱画面，而后歌唱家从屏幕上消失，接着观众再听到歌声。

机械式电视系统最终被电子式电视系统超越，1936 年后机械式电视系统被迫出局。然而英国人没有忘记贝尔德对电视发展的功绩，仍尊称他为“电视之父”。

20 世纪 30 年代初，电子式电视系统悄然兴起，最终以明显的技术优势占据了统治地位。

1906 年，德国物理学家布劳恩(K. F. Braun)发现，当将磁场引入一个阴极射线管时可以改变其电子流的路径。不过，布劳恩没有重视这项技术在电视上应用的可能性。一年后，俄国发明家鲍里斯·罗辛(Boris Rosing)制成一种阴极射线偏转装置，获得俄国的专利权。1919 年，罗辛的学生茨沃里金(V. K. Zworykin)移居美国，在新的土地上，学生开拓了老师的事业。茨沃里金先是制作“映像管”，这是一个先扫描图像再把图像分解成一连串电子信号的发射管。图像集中在一个“感光板”上，而感光板涂有显微可见的感光材料微粒。当一个电子束对准感光板时，相应有电流产生，其大小与落到感光板上光的强度有关。

其后，茨沃里金开始研究接收装置，他将其命名为“显像管”，这一名称取自希腊语的“kinema”(运转装置)。茨沃里金的显像管，其基本原理可以认为是对“映像管”运作程序的颠倒。1923 年，茨沃里金为他的电子式电视系统申请专利，由于机械式电视系统在先，审查颇花费时间，直到 1938 年才获准。

1929 年，在匹兹堡举行的无线电工程师大会上，茨沃里金公开演示了他研制的装置。1930 年，茨沃里金加入 RCA(美国无线电公司)，任电子实验室主任，致力于映像管和显像管的改进。到 1939 年，茨沃里金所做的技术改进达十多次。其中一项是针对“映像管”对日光和灯光的感光差异而做的改进，在日光下图像十分清晰，但是在演播室里，则需要巨大的光亮，才能有显像效果，灯光产生的热量使室内温度超过了 50℃。茨沃里金和他的团队起初用“二级发射”倍率，增加了大约 10% 的灵敏度，后来又改进扫描电路，最终在烛光照射下也可以获得清晰的图像。

电子式电视系统技术的成熟，引起了其他国家的注意。1936 年，英国广播公司在亚历山大宫建起两套广播系统，分别采用贝尔德的设计和茨沃里金的设计，通过实际检验以比较两种系统的效果。三个月后，英国广播公司决定关掉贝尔德的

系统，改用茨沃里金的电子式电视系统。

1939 年，是电视发展史上具有里程碑意义的一年。这年，美国国家广播公司（NBC）开始播放一系列时间固定的电视节目，这些节目可以通过安装在宾馆、酒店和商店橱窗里的显示器观看。在这年举行的纽约世界展览会开幕式上，美国总统罗斯福首次亮相于荧屏，此举产生了广泛的影响。1941 年，美国国家电视标准委员会（NTSC）加快制定电视传输技术标准，5 个月后，美国所有的 22 个电视台都采用了新出台的标准。电子式电视系统从发明到形成技术标准，用了不到 20 年的时间。

此后，电视技术加快进步，推动了电子产业的发展，推动了电子媒介的兴起。

三、彩色电视系统

彩色电视系统是将图像分解成三原色并转换为电信号，接收后还原为彩色图像的一整套设备。日常所说的彩色电视机是彩色电视系统的接收端。彩色电视是黑白电视技术革新的成果。

早在 19 世纪后期，就已有人对彩色电视系统进行了探索性的试验。1889 年的一项俄国专利最早记录了机械扫描式彩色电视系统。1897 年，波兰发明者简·斯潘克（Jan Szczepanik）申请了利用硒光电池制作彩色电视系统的专利。1902 年，德国科学家柏兰克（O. Von Bromk）提出三原色信号影像的传送理论。1904 年的一项德国专利中也有制造彩色电视系统的建议。1925 年，俄裔美国发明家茨沃里金申请了一项全电子彩色电视系统的专利。

最早的机械式彩色电视系统是英国工程师贝尔德发明的，1928 年 7 月，他利用机械式扫描盘成功实现了色彩的传输。该系统的发射端和接收端都是改进了的尼普科盘，盘上开有 90 个小圆孔，每 30 个孔组成一条螺旋线，分别对应红、绿、蓝三种颜色，接收端连接一个转接器可以让三原色交替投到屏幕上，由于速度极快，三色图像就混合成自然色的图像。1929 年 6 月，美国贝尔实验室（Bell Telephone Laboratories）也展示了一种机械扫描彩色电视系统，由 3 个光电管、扩音器、辉光管、滤色镜及一连串的镜子组成。

1938 年 2 月 4 日，贝尔德成功地把彩色图像从自己的“水晶宫演播室”（Crystal

Palace Studios)传递到伦敦的“主控剧场”(Domination Theater),从而实现了世界上首次彩色图像播放。1938 年,德国发明家沃纳·弗莱彻西格(Werner Flechsig)提出三枪彩色显像管设想,制成遮罩板彩色电视系统,在德国申请了专利,并在 1939 年的柏林国际无线电展示会上展出,后来的大多数阴极射线管的彩色电视系统都是基于这一技术。1939 年,贝尔德展示了他的半机械式彩色电视系统,他在与彩色过滤器相吻合的旋转盘前安装了阴极射线管,并设置了一个机械部件来控制彩色过滤器的旋转。

1940 年,在匈牙利工程师彼得·古尔德马克(Peter Goldmark)的领导下,美国哥伦比亚广播公司在贝尔德研究的基础上,发明了一种与黑白电视不兼容的场序制(field sequential)彩色系统,并申请了一系列相关专利。该系统的电视摄像端阴极射线管前方有一个过滤红、绿、蓝三种颜色的过滤器组成的高速旋转盘,以每分钟 1200 转旋转,随着转盘旋转,依次在阴极射线管呈现三原色画面,阴极射线管就逐场顺序送出三原色画面电信号;在接收端有一个同样的装置同步运行,由于人眼的视觉暂留性,看到的是三原色画面合成的彩色画面。

1940 年,在美国工程师戴维·萨尔诺夫(David Sarnoff)的领导下,美国无线电公司制造了点序制(dot sequential)彩色系统,与黑白电视兼容。该系统用分色镜使红、绿、蓝光通过各自的扫描管,电子开关使扫描管以旋转的方式将信号逐点发送,这些信号被接收端的第二个电子开关分类后,发送到红、绿、蓝显像管,再结合第二套分色镜形成完整的彩色图像。1940 年 2 月,美国无线电公司向美国通信委员会(FCC)展示了世界上第一台电子彩色电视系统,该系统的接收端由两个显像管组合,两个同步的图像同时投射到屏幕上即可产生彩色图像。此后美国无线电公司继续改进技术,获得一系列彩色电视机的专利。

1944 年 8 月 16 日,贝尔德第一次展示了他设计的全电子彩色电视样机。该电视机的 600 行色彩系统运用了三重隔行扫描,使用了 6 个扫描器各自成像。1946 年 6 月 8 日,英国 BBC 制作“第二次世界大战胜利大游行”,采用贝尔德彩色电视系统试播出,遗憾的是,贝尔德身患重病未能亲眼看到,他于几天后辞世。

1946 年 1 月 30 日,美国哥伦比亚广播公司向美国通信委员会展示了场序制彩色电视系统,委员会成员对其清晰的图像效果印象深刻,希望继续改进并作为国家标准。此消息一传出,就遭到美国无线电公司的强烈反对,指出美国哥伦比亚广播

公司的彩色电视系统存在与黑白电视信号不兼容的缺点。这场争论持续了 4 年之久，在这个过程中，无线电公司以阿尔弗雷德·斯汝德（Alfred Schroeder）的发明专利为基础，利用带有遮罩板的阴极射线管设计出更好的彩色电视机。同时在市场上广泛推销黑白电视机，这种黑白电视机若想收到美国哥伦比亚广播公司的彩色电视信号，就需要花 100 美元买一个体积颇大的适配器，此举成为导致美国哥伦比亚广播公司彩色电视系统失败的重要原因之一。

1950 年 10 月，美国通信委员会不管美国哥伦比亚广播公司的彩色电视机技术存在的体积大、与黑白电视机不兼容等缺点，硬把美国哥伦比亚广播公司的彩色电视机系统定为国家标准。1951 年 9 月，美国哥伦比亚广播公司开始生产电视机，结果在 10 月 21 日便停止生产，总共生产了 200 台。由于与黑白电视系统不兼容、无线电公司的起诉等原因，哥伦比亚广播公司的彩色电视系统以失败告终。

1953 年 12 月 17 日，美国无线电公司的彩色电视系统因兼容黑白电视信号，最终获得了美国通信委员会的认可。1954 年，基于该系统的彩色电视机开始销售，这是现代彩色电视机正式成为商品的标志。1954 年，美国正式播出彩色电视节目，成为世界上第一个播放彩色电视节目的国家。

美国彩色电视广播最初采用了 NTSC 制，后来在 NTSC 基础上又推出了 PAL 制式和 SECAM 制式。1960 年日本采用了 NTSC 制式，1967 年英国和德国采用了 PAL 制式，同年法国和苏联采用了 SECAM 制式。到 20 世纪 70 年代，三种制式形成三分天下的局面。中国现今采用的是 PAL 制。

电视机起初是按钮操作，1950 年出现了被称为“懒骨头”（lazybones）的有线遥控器。当时的有线遥控器电缆线容易绊倒观众，这使得无线遥控器的研制被提上日程。1955 年，出现了采用光电感应技术被称为“闪光助手”（flash-matic）的无线遥控器。1956 年，采用超声波技术的无线遥控器问世，后成为延续 20 多年的主导设计。20 世纪 60 年代，出现了红外技术遥控器，80 年代初，遥控器普遍采用红外技术。

20 世纪 60 年代，西方彩色电视占据了主流。1966 年，美国无线电公司研制出集成电路电视接收机，3 年后又生产出具有电子调谐装置的彩色电视接收机。1972 年，美国研制成功自动校正会聚误差的彩显管。至此，彩色电视的发展进入成熟期。到 1991 年，全世界 169 个国家和地区中有 150 个建立了电视台，其中 142

个播出彩色电视节目。

1970 年 12 月 26 日，中国第一台彩色电视机在天津 712 厂诞生，从此拉开了中国彩电生产的序幕。1973 年中国开始试播彩色电视节目。到 1998 年，中国彩电业进入成熟期，产量持续位居世界首位。

四、电子显微镜

电子显微镜是根据电子光学原理，用电子束和电子透镜代替光束和光学透镜，使物质的细微结构在非常高的放大倍数下成像的电子光学仪器。

1897 年，德国物理学家卡尔·布劳恩（Karl Braun）设计并制成示波管，为电子显微镜诞生准备了技术条件。1926 年，布施（H. Busch）发表了有关磁聚焦的论文，指出电子束通过轴对称电磁场时可以聚焦，因而可以利用电子成像，这为电子显微镜作了理论上的准备。由于限制光学显微镜分辨率的主要因素是光的波长，因此，科学家期望用电子显微镜可以得到比光学显微镜高得多的分辨率。与此同时，19 世纪末爆发的口蹄疫等传染病，使科学家提出“病毒”的概念，病毒是否存在并导致疾病的传染，成为医药学家和生物学家急于解开的一个谜团。在这种背景下，发明新的高分辨率显微镜就变得尤为迫切。

德国物理学家恩斯特·鲁斯卡（Ernst Ruska）被公认是电子显微镜的重要发明者。1927 年，鲁斯卡加入柏林工业高等学院的马克斯·克诺尔（Max Knoll）博士领导的研究小组，开发高性能阴极射线示波器，在此期间，鲁斯卡进行了利用磁透镜和静电透镜使电子束成像的实验研究，为创制电子显微镜奠定了基础。随后，鲁斯卡和克诺尔着手将阴极射线示波器改制成电子显微镜，1929 年取得成功，改制仪器虽然以阴极射线示波器为主，但却证明了电子束显微镜成像的可行性。1931 年，他们成功制造了第一台真正意义上的电子显微镜，这台仪器有两个磁透镜，二级放大后可得 16 倍的放大率。尽管放大率低，但它却证实了使用电子束和电子透镜可形成与光学透镜相同的电子像。1931 年 6 月 4 日，克诺尔在柏林工业高等学院讲演，展示了这台电子显微镜。没想到，他们的发明不仅没有被学术界和有关部门及时肯定，还陷入了漫长的专利权争执中。

1931 年 11 月，德国通用电气公司（简称 AEG）的恩斯特·布鲁希（Ernst

Brüche)撰写了一篇短文，宣称 AEG 公司致力于电子显微镜研究已有一年多，并随后推出了电子显微镜的样机，该样机是水平式，与鲁斯卡的电子显微镜相同，区别在于不是采用阴极射线管做电子源，而是用钨丝做灯丝发射电子，放大倍数为几十倍。而就在克诺尔讲演的前 4 天(1931 年 5 月 30 日)，德国西门子公司的总工程师鲁登伯格(Rüdenberg)向德国专利局递交了专利申请，内容是关于将数个磁场和静电场电子透镜组合而应用于电子显微镜设计，随后又向英国、美国和法国递交了类似的专利申请。此前，鲁登伯格本人并未提出过任何有关电磁透镜成像方面的成果报告，而申请专利之后他以“保密”为由，也未曾公开过任何相关成果，因而这一专利申请受到质疑，AEG 公司更是强烈反对。不过，1932 年 12 月法国专利局批准了鲁登伯格的申请(1953 年也获联邦德国专利局批准)，从而使鲁登伯格成为专利史上的电子显微镜发明者。

电子显微镜的发明权到底归于谁？争辩愈演愈烈。鲁斯卡坚持努力工作，1932 年，他和合作者鲍里斯(Borries)研制了全金属镜体的电子显微镜，采用包有铁壳的磁线圈作为磁透镜，并就此申请了德国专利。1933 年，鲁斯卡又独立制成放大率为 12 000 倍的电子显微镜，并首次超越光学显微镜的极限分辨率(0.2 微米)。1937 年，鲁斯卡加入西门子公司，他所发明的电子显微镜利用通电线圈产生的磁场使电子束聚焦，因而被称为磁场式透镜，成为西门子公司的专利，同时还取得一系列与电子显微镜相关的专利。1939 年，西门子公司制造出商业用电子显微镜，其分辨本领达到 30 埃[①]，投入批量生产，这标志着电子显微镜的商业化时代的到来。而 AEG 公司的汉斯·马尔(Hans Mahl)于 1939 年利用静电场聚焦制成首台静电场电子透镜获专利，并用来和鲁斯卡的磁场式电子显微镜竞争。由于涉及优先权的问题，使得诺贝尔奖委员会长期为难，直到电子显微镜发明 55 年后，80 岁的鲁斯卡作为在世的开路先锋，荣获 1986 年度诺贝尔物理学奖。

第二次世界大战前，欧美许多大公司先后加入电子显微镜的研发，英国于 1937 年制成第一台电子显微镜；美国于 1938 年制成第一台电子显微镜，分辨率达到 14 纳米。不过当时国际上的电子显微镜产品主要还是出自德国西门子。“二战”期间，西门子的电子显微镜实验室遭到破坏，战后重建，1949 年年底开始生产

① 1 埃＝0.1 纳米＝10^{-10} 米。

新的电子显微镜。1954 年，西门子再次占据国际领先地位，所生产的显微镜分辨率达到 0.6 纳米。

日本的电子光学株式会社和荷兰的飞利浦电子光学公司紧紧追赶，它们生产的电镜很快也占了上风，电子显微学领域生机蓬勃。

中国的科研人员奋发图强，于 1958 年成功研制透射式电子显微镜，分辨率达到 3 纳米；1979 年又制成分辨本领为 0.3 纳米的大型电子显微镜。

电子显微镜发现之初，主要用于病毒研究，随后拓展到噬菌体和基因等生物学研究。电子显微镜也为人们观察微观世界开辟了新的途径，使科学家能观察到材料的原子量级，这对固体物理、固体化学、固体电子学、材料科学的发展都起到巨大的推动作用。

五、雷达研发

雷达（radio detection and ranging，缩写为 radar）是典型的电子技术应用，它通过无线电波发现并测定目标的位置、距离、运动速率和方向。

雷达的发明早至 20 世纪初。1904 年，德国工程师克里斯蒂安·侯斯美尔（Christian Hülsmeyer）首次用实验证明了利用无线电波探测远距离物体存在的可行性，当时探测的是浓雾中的船只，其探测范围达 3 千米。用这项技术可以防止海上船舶相撞，不过还有局限，不能测定船的距离。侯斯美尔对探测装置加以改进，实现了初步的定位功能，至此雷达雏形出现。然而，德国海军方面未能认识雷达的价值，没有装备军队。

1922 年，美国海军研究实验室的研究人员霍伊特·泰勒（Hoyt Taylor）和里奥·扬（Leo Young）在海上航道两侧安装了无线电信号发射机和接收机，由对无线电波变化的检测可以探知是否有船只经过并判断其位置。在此基础上，1931 年，美国海军研究实验室提出“用无线电探测敌舰和敌机”的研究计划，经一年的努力，研制成一种探测距离达 64 千米的雷达。它采用连续波，利用发射机发出的直接信号与活动目标的反射信号之间的干涉现象进行检测，称连续波干涉雷达。1934 年，美国开始研究脉冲雷达，两年后进行了 60 兆赫的脉冲雷达实验。1936 年 4 月美国研制出第一个脉冲雷达；1937 年美国第一个舰载雷达 XAF 试验成功；1938 年第

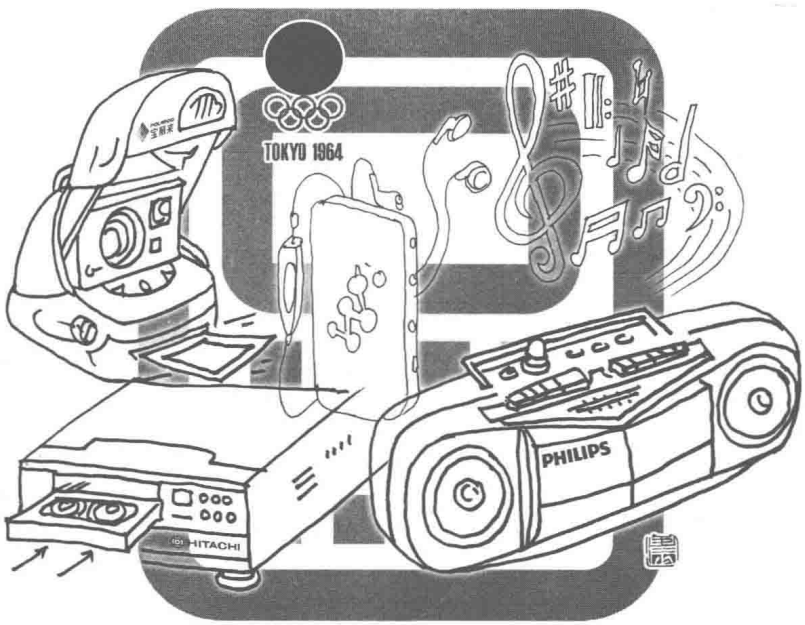
一部能指挥火炮射击的炮瞄雷达 SCR-268 研制成功；1939 年又研制成远距离警戒雷达 SCR-270。美国在海岸线和军舰上部署的雷达，在战争中发挥了巨大作用。

尽管美国研究雷达较早，但世界上最早投入实战的军用雷达却是英国人发明的。1935 年，以英国著名的物理学家、国家物理研究所无线电研究室主任罗伯特·沃森瓦特(Robert Watson-Watt)为首的研究小组，出色地解决了高功率发射机的制造、短脉冲的调制、脉冲信号发射机以及发射和接收天线的安装调试等重要技术问题，并在此基础上发明了一种既能发射无线电波、又能接收反射波的装置，它能在很远的距离就探测到飞机的行动。这就是世界上最早投入实战的军用雷达。当时这种雷达被称为 Chain Home 系统，简称 CH 系统，能发出 0.015 米的微波，其工作频率为 22～28 兆赫，作用距离约 160 千米，探测高度达 5000 米。经过几次改进，1938 年，CH 系统正式安装在泰晤士河口附近，这是世界上最早的防空雷达预警网，它在第二次世界大战中为击败纳粹德国的空袭发挥了重要作用。当时的雷达研制是出于军事需要，因此是在保密状态下进行，到 1939 年时，一些国家发展起来的雷达技术已达到完全实用的地步。这项新发明在“二战”中显示了它的巨大威力。

1939 年，英国伯明翰大学的兰德尔(J. T. Randall)和布特(H. A. Boot)制成了环形多腔电子磁控管。多腔电子磁控管是一种高功率、高频率的微波源，它的发明促进了雷达技术的发展。1941 年，第一部微波雷达研制成功，它测量精度高、结构紧凑、体积小重量轻，不仅可以安装在地面、舰只，而且可以安装在飞机、车辆和潜艇上，极大地扩展了雷达的用途。“二战”近结束时，雷达技术已有很大发展，1944 年能够自动跟踪飞机的雷达研制成功，1945 年能消除背景干扰显示运动目标的动目标显示技术的发明，使雷达更加完善。为了抑制雷达的作用，战争期间也出现反雷达的电子对抗设备，它反过来又促进了雷达向更高水平的发展。“二战”结束后，很多在战时申请的雷达专利，都陆续获得批准。

20 世纪 50 年代后，随着电子计算机和集成电路的出现、航空航天事业的发展，反洲际弹道导弹系统的研制向雷达提出了高精度、远距离、高分辨力、多目标测量等新要求，这为雷达研制提供了强大的动力，由此出现了许多性能优异的新型雷达，如单脉冲雷达、脉冲多普勒雷达、相控阵雷达等。现代雷达的性能完善，探测能力强，除军用外，民用雷达广泛用于导航、气象、交通控制、环境监测等众多领域，成为造福人类的重要工具。

第十八章
消费电子兴起



绘画：王晨

消费电子(consumer electronics)是指供日常消费者生活中使用的电子产品，它的兴起直接与电子技术创新有关，同时也顺应人们对美好事物的追求。消费电子产品开拓了一个全新的市场，极大地丰富和愉悦了人们的生活。

一、磁带录音机

磁带录音机的早期形式是钢丝录音机，发明者是丹麦工程师瓦尔德马·波尔森(Valdemar Poulsen)。1898 年，波尔森研究发现，声波脉冲转化为电磁信号，利用一段钢丝可以记录下电磁痕，如果把这个过程逆转，声音就可以重放。波尔森认为，他的装置要比爱迪生留声机的蜡筒录音装置优越，因为电磁录音能被洗掉，录音钢丝可以重复使用。

波尔森申请专利较早，但新机器的投入使用却经历了很长时间，因为当时存在着一些技术障碍，如录音灵敏度低、绕带和倒带机工作不可靠。直到 20 世纪 20 年代末，波尔森的录音装置才真正受到关注，科学家采用交流偏磁法改善了录音性能，由此促进了录音机的实用和生产。1930 年，德国德律风根公司的钢丝式录音机、劳伦兹公司的钢带式录音机和英国马可尼公司的钢带式录音机先后上市。1935 年，美国贝尔实验室完成了钢带式录音机的研制，这一时期，日本的日本电气和安立电气公司开始批量生产钢丝式录音机。

科学家也在研究录制新技术。1928 年，德国的普夫勒默(F. Pfleumer)博士提出将磁性粉末涂敷在纸带基上制造磁带的方法，德国通用电气公司(AEG)根据普夫勒默的理论，于 1937 年研制成涂有氧化亚铁的磁带，生产出新式的磁带录音机。第二次世界大战期间，德国把磁带录音技术用于广播，以致盟军在深夜听到德国电台播放希特勒的讲话或音乐演奏感到非常吃惊，仿佛他们在“现场”一样。后来美国陆军的通信技术人员见到磁带录音机，对这一技术惊叹不已。

1943 年，美国在校大学生马文·卡姆拉斯(Marvin Camras)对录音机独自做了重要改进，他把电子管放大技术应用于录音和放音功能，大大提高了装置的灵敏度、频率和振幅范围，还可消除某些非线性。后来，卡姆拉斯成为“阿莫尔研究基金会”(Armour)属下研究机构的一名研究员，在那里他开发了多种可作为磁带涂层的材料。

“二战”后，许多国家都加大了对录音机的研究和生产。1947 年，美国制造出多声道磁带录音机；1954 年，生产出双磁带立体声录音机；1956 年，研制出具有晶体管放大器的磁带录音机。1962 年，荷兰飞利浦公司成功研制世界上第一台盒式磁带录音机；1963 年，飞利浦公司以遵守磁带盒尺寸（100.4 毫米×63.8 毫米×12 毫米，带速 4.75 厘米/秒，带宽 3.81 毫米）标准为前提，向世界公开专利技术，此举使飞利浦型盒式录音机在世界流行开来。该种盒装录音机的出现，被认为是录音机史上的飞跃。

录音技术研究人员发现，早在 1938 年，由日本东北大学的永井健三、通研电气工业公司的五十岚悌三和安立电气公司的石川诚等人发明的偏磁式录音的方法非常优异，故当 1958 年他们拥有的专利过期时，许多大公司看好这项技术，欲在录音机行业抢占一席之地。技术竞争和录音机的大批量生产，提高了性能，降低了价格，推动了磁带录音机普及。

随着电子技术的进步，录音机向小型化、数字化发展，录音品质更佳，录音时间延长。为了便利播放，也开发了双卡（两个磁带盒）录音机。

录音机对中国来说，早期都是舶来品，新中国成立后才开始进行仿制和研究。20 世纪 80 年代中国改革开放，使录音机生产进入了一个全新时代，从进口产品、引进技术到独立研发，录音机产业加快发展壮大。到 20 世纪 90 年初，中国各种录音机的年产量已达 3000 余万部，许多家庭都有单卡或双卡录音机。

二、随身听

随身听是指配备立体声耳机（或耳塞）的小型音乐播放机，它的发明丰富了人类欣赏音乐的方式，推动了音乐文化普及。

传统的磁带录放设备体积很大。为了实现磁带放音便携，许多发明家积极进行探索。最先提出新理念、制造便携式立体声磁带放音系统的是德国发明家安德鲁·帕维尔（Andreas Pavel）。1972 年，帕维尔发明了称为“个人佩戴的立体声系统”，该系统由一组相匹配的小型电声设备和电池驱动的高保真再现系统及一根类似腰带的防护装置组成，也称之为“立体声带”（stereobelt）。1977 年，帕维尔在意大利申请“便携式录音高保真小型再现系统”的专利，继之又在德、英、美和日本申

请了专利。他还制作出一些产品，不过都没能市场化。

在帕维尔申请专利两年后，实力强大的索尼公司集中力量对同一技术进行改进，率先生产出流行全球、为人熟知的“Walkman”。1979 年 7 月 1 日，世界上第一台随身听产品 TPS-L2 问世，该机体积 88 毫米 × 133.5 毫米 × 29 毫米，重 330 克，使用碱性电池可连续播放 8 小时，配有立体声电路和立体声耳机，整机售价 33 000 日元。说到为新产品起名，索尼公司的广告部门可谓绞尽脑汁，起初想取名“Stereo Walky”，但东芝公司已先行为其便携式收音机注册了这一商标。在反复讨论中，索尼高层倾向选用“Walkman”，不料这一名称遭到来自索尼海外销售团队的强烈反对，他们不认可由索尼自创的英语“Walkman”。因而，在美国推出时只好称“Soundabout”，在英国上市叫做“Stowaway”，在澳大利亚露面叫“Freestyle”。而想不到，“Walkman”在日本一上市，却迅速为广大年轻人喜爱。在初登场的 2 个月里，第一批 30 000 台的 TPS-L2 全部售空，在随后两年中 TPS-L2 共卖了 116 万台，以至“Walkman”成为一种社会现象，同溜冰鞋、数字手表并列为那几年最流行的产品，西方国家到日本的游客纷纷购买“Walkman”作为纪念品。面对这种热潮，时任索尼公司董事长的盛田昭夫（Akio Morita）决定，将这一产品在全球统一定名“Walkman”。

“Walkman”的基本构造，是去掉了当时普通录音机的录音功能和扬声器，并配以立体声电路和立体声耳机的卡式磁带播放机。虽然“Walkman”外形和声音效果比帕维尔的设计优越很多，但“Walkman”的便携式理念、立体声电路与耳机、电池驱动等部件的设计思想都为帕维尔的专利所包含。正由于此，率先申请专利的帕维尔认为索尼侵犯了他的知识产权。在交涉中，索尼许诺可为在德国销售的随身听向帕维尔支付 15 万德国马克，但拒绝承认他是随身听的发明者。帕维尔不得已踏上了诉讼之路，在漫长的 25 年间，帕维尔在欧洲多个国家竭力证明自己是随身听的真正发明者。为了打官司，他不仅花光了个人积蓄，也用尽了父辈的遗产，还被迫向亲戚朋友举债。直到 2003 年，索尼为了避免持续的纠葛，终于承认帕维尔是个人便携式立体声磁带放音机的最早发明者，并且支付了赔偿。同时，索尼与帕维尔签署了一项专利使用协议，据估计，该协议可以给帕维尔带来上千万美元的收入。由于市场上所有用作 MP3 播放音乐的新式手机都可能是受帕维尔发明的启发而生产，因而在 2004 年至 2021 年间，帕维尔也有权向这些手机厂家收取一定的

专利使用费。

1982 年，索尼公司推出了“WalkmanⅡ”，采用全金属底盘，机身小巧，大获成功。1984 年，索尼的随身听在全球销量累计达到 1000 万台，步入鼎盛时期。1985 年，索尼随身听 WM-101 内置口香糖型电池，使连续播放时间大大延长，更为消费者喜欢。1990 年，索尼再推出新款配有无线遥控的随身听 WM-805。到 2003 年，索尼各种型号的“Walkman”销量累计逾 2 亿台。除了索尼，其他很多公司也为随身听研发作出了贡献，如世界上第一部随身听是 1982 年日本胜利公司（JVC）生产的 CQ-F22K，该机已包括了如今我们所用的磁带随身听的常用功能（杜比降噪、自动翻带、AM/FM 调谐等）；又如世界上首款线控随身听是爱华公司在 1985 年生产的 HS-R8。

“Walkman”中文译为“随身听”，非常符合可带出户外、边走边听的概念，由于被越来越广泛地传播与接受，1981 年“Walkman”一词收入名为 petit Larousse 的法国字典中，1986 年“Walkman”又被收入牛津英语辞典，正式成为随身听的代名词。不过，因为索尼公司对“Walkman”商标进行了注册，只有索尼的产品才能被称为“Walkman”。

随身听自诞生后，功能、音质、外观设计、体积和重量都在不断改进。随身听的种类发展出磁带、CD、MD 随身听以及 MP3 随身听等几类，但相信在很多消费者的心中，“Walkman”磁带随身听仍最值得回忆。

三、计算器

计算器（确切说是电子计算器，与 20 世纪 60 年代使用的机械式计算器相区别）发明于 20 世纪 60 年代，它随电子技术的成熟应运而生，日本夏普、卡西欧等公司是新型计算器问世的重要推手。

为了迎接 1964 年在东京举行的奥运会，在开幕前 4 个月，早川公司（夏普的前身）推出了它的第一台计算器 Sharp Compet CS-10A。后来日本文献把 Compet 描述为“世界上第一台晶体二极管计算器”，以把它与几个月前索尼公司推出的全晶体管 SOBAX 计算器相区别。当时索尼公司的计算器还只是个原型，而早川公司的计算器已投入批量生产。

最初的 Compet 计算器体型较大，像当今超市的收款机，重 25 千克，面板上装有 100 多个键，售价 2500 美元，这样的大家伙，只有科研机构和大公司才买得起它。6 个月后，佳能公司推出新设计的计算器，改用类似电话的 10 多个键的面板，此后很快成为该行业的标准。

为了减少内置元件，缩小计算器体积，并降低成本，日本几大公司展开激烈竞争。早川公司的高管佐佐木正治具有战略眼光，他主动赴美寻求技术合作。当时美国已开发出 MOS（金属—氧化物—半导体）硅片，具有广泛的应用前景，然而美国厂商更关注军方需求，忽视计算器新市场的开拓。在经过多次碰壁后，佐佐木终于与“自动控制”公司（当时为北美航空公司的一家分公司）建立起伙伴关系。1969 年 10 月，“自动控制”按合同把硅片样品送到日本，每只硅片装有大约 200 只晶体管，这在当时是一个非常大的集成数目，从而使夏普（早川公司于 1970 年改名）在竞争中夺得先机。

日本的日立、三菱等公司在开发硅片上急起直追。当时的东芝公司相比要落后得多，但东芝渴望开拓计算器业务，公司派人征求佐佐木的意见。佐佐木高瞻远瞩，建议他们研发称为“互补-MOS”（也简写为 C-MOS）的新的低能耗工艺技术生产硅片，因为装置 MOS 的计算器得外接电源，而装置 C-MOS 的计算器只用两节干电池就可驱动，可以成为真正的便携式计算器。在佐佐木的鼓动下，东芝公司集中力量研发 C-MOS 技术，克服了诸多困难，取得成功，新硅片给夏普所用，保证了夏普第二代计算器的领先地位。

20 世纪 70 年代，计算器的消费需求被开发出来，由此也引发了残酷的商战，世界上知名的电子行业纷纷卷入，最后当硝烟散去，所剩的企业寥寥无几——日本仅有夏普和卡西欧，美国是德州仪器和惠普。1980 年，计算器年产量达 1.2 亿台，其中日本就占了几乎一半。这时的计算器不仅成为办公室的用品，也成为工程师的必备工具，后来没几年，也成了家庭主妇的用物。

从最早投入开发到 1976 年，夏普公司把生产计算器所需的 3000 件元件降到仅仅用 3 件——一只硅片、一个显示屏和一节太阳能电池。1985 年，夏普计算器的价格低到最初的百分之一，重量是最初的两千分之一，能耗则是原来的千万分之一。

如今，技术上可以使计算器做到书本大（办公室用）、火柴盒大（便携用），不同

的造型和色彩，以满足不同的人群需求。

四、录像机

录像机是电视技术、磁记录技术、电机伺服技术、精密机械技术和计算机技术等的结合。录像机的发明和应用，推动了电视业的发展，为公共和家庭娱乐带来新元素，同时也为安全监控等领域所需提供了新手段。

20 世纪 20 年代，电视机问世不久，人们便与录音机相类比，萌生了把电视信号记录下来重放的想法。1928 年 10 月，英国人芬奇·巴耶特(Finch Bayet)申请了唱片式录像的专利，并制作了试用唱片，后来上市销售。然而，巴耶特的录像唱片系统跟不上电视业快速发展的脚步，激励工程师尝试采用电子扫描的办法研制电视录像设备。1956 年 4 月，美国安潘克斯(Ampex)公司展示了研制的第一台磁带录像机，所使用的磁带有 2 英寸宽，从一盘带子转到另一盘带子。该录像机被应用于电视网，以使美国西海岸的电视台可以录制东海岸的现场直播节目，而后在当地适当的时间播放。不足的是，该录像机售价高昂，体积与一辆小汽车差不多，影响到推广。

自 20 世纪 60 年代，微电子、计算机和磁记录技术的突破性进展，为录像机发展带来新的生机。日本的电子工程师意识到，录像机的广阔市场是普遍家庭，而不是电视台的演播室。然而，要把安潘克斯的录像机变成一种大众产品，就得缩小尺寸、降低价格。解决问题的突破口是，在磁带盒中使用 3/4 英寸的磁带，并让磁带经过固定在以一个角度朝向旋转的磁带鼓的录音头上。这样，信号的录制就不像先前那样让磁脉冲的竖波在经过磁带头时录在磁带的带宽上，而是以对角的条带把信号保存下来。通过调整旋转鼓的角度，在 3/4 英寸磁带上的对角斜线条码可以与在 2 英寸宽磁带的垂直条码一样长。因此可以记录同样数量的信息，输出的图像一样清晰，并实现了磁带从大盘式变成简装书本大小的盒式。

1975 年，日本索尼公司率先推出 BETA(β-max)型盒式录像机；1976 年，日本松下公司的子公司 JVC 研制出 VHS(超高速)型盒式录像机。不久，松下开发了采用合作伙伴荷兰飞利浦公司技术的 V-2000 型，一时录像机市场三足鼎立，竞争激烈。

松下公司前总裁松下幸之助(此时已退居二线任顾问)经过调查最后决断,放弃 V2000,力保 VHS 型,把录像带和相关软件的研发都调整为 VHS 规格。在这场录像机的决战中,松下—JVC 阵营取得了最后胜利。

20 世纪末,随着计算机技术的发展,硬件的大容量存储和记录备份的软件更新,数字硬盘录像机(digital video recorder,DVR)开始大踏步前进。数字硬盘录像机按系统架构主要分为基于计算机的和嵌入式的两种类型。数字硬盘录像机实现实时视频的监控、记录和存储,广泛地应用在安防、交通、军工、教育等方面。

不论是磁带式录像机还是数字硬盘录像机,其产业化都是与市场需求密切联系的。早期的盒式磁带录像机,主要是满足影视市场的需求。而今天的录像机行业,市场需求发展出一体化的数字多媒体监控系统,如建立安全防范体系,实现视音频的监视、控制和记录存储。随着网络带宽进一步增大,以及 IPTV 和卫星影视节目的结合,基于 IP 的数字硬盘录像机登场应用。

五、“傻瓜”相机

“傻瓜”相机是一种不需调节快门、光圈、对焦,也不用手动过卷的全自动相机,因其操作极为简单,而被戏称为“傻瓜”相机。它的发明推动了大众摄影的普及,引领了消费电子时尚。

自摄影术发明以来,照相机不断改进,但直至 20 世纪中期,测光、聚焦等还依赖人工,操作复杂。对一般人来说,要拍出效果好的照片,绝非易事。而社会生活水平的提高和旅行的方便,又使大众对摄影有很大的需求。在商品经济的推动下,美、日等国的厂商看准时机,加紧新技术开发。

20 世纪六七十年代,日本佳能(Canon)和尼康(Nikon)两大公司先后推出了具备自动聚焦能力的原型机,不过这时的自动聚焦能力还很弱。1974 年,美国哈尼威尔(Honeywell)公司研制出实用的自动聚焦系统(AF,auto-focus),并于 1976 年获得专利。1977 年,日本小西六写真工业公司(柯尼卡公司的前身)购买了哈尼威尔公司的专利,并于同年推出世界上第一架自动聚焦相机 Konica C35AF,该机采用电子视距系统,通过两块反光镜以对影的方式实现自动聚焦。由于是接收外来光线,属“被动型”AF 系统,其缺陷是光线暗时便无法工作。

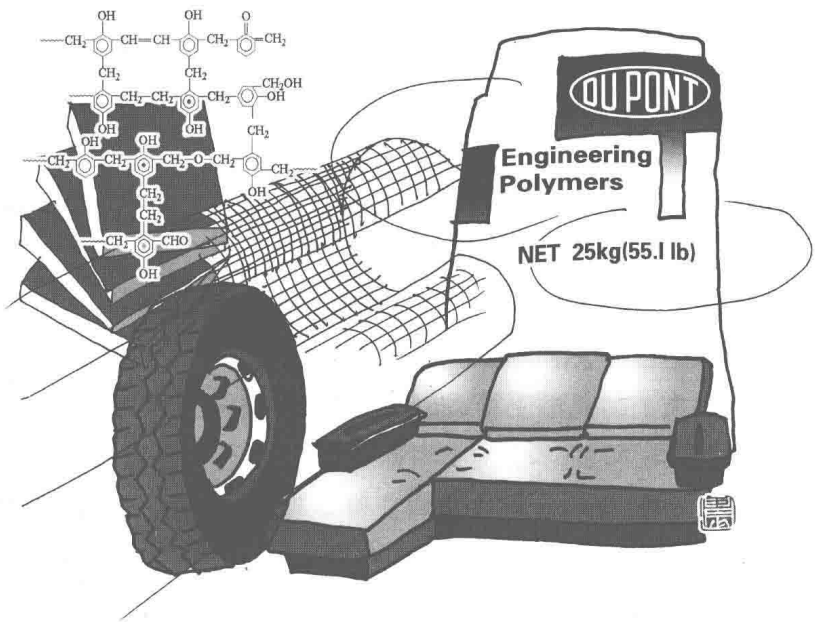
1978年，美国宝丽来（Polaroid）公司研制出自动聚焦一次成像照相机SX-70SonarAF。这是首次在相机上采用“主动式”AF系统，它利用相机本身发出超声波信号，测量从被摄体回来的信号时间差，从而得到正确的距离参数。第二年，日本佳能（Canon）推出了第一部用红外线测距的自动聚焦相机AF35M，其工作原理与超声波AF系统相似。虽然可以不受光线影响，但初期的超声波或红外线聚焦方式存在着发射距离短、难以满足长焦段需求等缺陷。

20世纪80年代，机械、电子技术的发展为照相机的自动化提供了新的推动力。1985年，日本美能达（Minolta）公司推出世界上第一部机身一体化的AF单反机α 7000。该单反机第一次使自动聚焦实用化，尤其解决了中老年人因眼力不济难以对焦的麻烦。由于该机性能优异、价格合理，半年内就销售了50多万部，一时照相机市场为之震撼。半年后，美能达推出第一架机身一体化的专业型AF单反机α 9000，实现了连续自动聚焦。它能在任意时刻释放快门，及时地捕捉到精彩画面。1988年，美能达推出第二代AF相机Dynax7000i（i代表intelligence，人工智慧）。它首创焦点预测AF功能，相机内的微处理器可测量出运动主体的速度，并预估出主体在快门开启一瞬间运动到什么位置，由此开启了高速运动摄影的先河。此外，它还能根据主体在画面上所占的位置调整测光值，使曝光更为准确。

就在美能达迅速走红之际，美国原创AF系统设计的哈尼威尔公司以侵犯其AF系统专利权为由，将美能达告上法庭。美能达并不相让，据理力争，官司持续7年之久。1993年，这场为业界关注的AF专利之争，结果以美能达败诉、哈尼威尔获赔偿9600万美元结束。随后，哈尼威尔又把手伸向日本另外几家大的AF相机生产商，通过庭外和解、协商赔偿的方式，再获得4亿美元赔偿。这次事件给日本相机生产商沉痛的教训，促使他们重视技术开发，重视专利技术保护，研制具有自主知识产权的相机。

随着中国对外开放，日本和美国的“傻瓜”相机潮水般涌入，对中国照相机市场形成非常大的冲击。迫使中国照相机生产调整产业结构，购买国外的生产线，同时也促使中国的照相机厂努力走自己的技术开发道路。在经历了低谷之后，海鸥、凤凰等相机，再度成为中国的民族品牌。

第十九章
合成材料研发



绘画：王晨

20世纪，随着酚醛材料的登场，人类开启了使用合成高分子材料的新时代。合成橡胶、人工皮革、尼龙、涤纶、聚乙烯，有机玻璃……这些新材料不仅应用于科研和生产，而且很多新材料也制成日用器物，应用于大众的生活。

一、酚醛树脂

酚醛树脂(bakelite)，是一种用简单分子合成的塑料，堪称是合成塑料的鼻祖。

19世纪后期，在电力、电器工业发展以后，绝缘材料的需求与日俱增，当时普遍采用虫胶漆作为绝缘漆。所用的虫胶主要来源于东南亚一带一种紫胶虫的分泌沉淀物。不过，十万多个虫子在6个月内仅能生产出不足500克的虫胶，远远不能满足当时每年几十万千克的需求量，因而促使科学家寻求新的廉价代用品。

比利时裔美国化学家里奥·贝克兰(Leo Baekeland)注意到这一研究的经济价值，他主动放弃已获得专利的显影相纸技术研究，毅然转向研究新材料。贝克兰查阅了大量研究论文和实验报告，从前人的成败中获得启示，决定从甲醛和苯酚衍生物的化学反应入手。因为苯酚已能从煤焦油中大量获得，甲醛也已大量生产，但二者的反应产物却很难达到令人满意的实用效果。贝克兰经过多次试验后，在1905年终于合成了一种胶状体，他称之为酚醛树脂。之后贝克兰对酚醛树脂又进行了系统的研究。

正当贝克兰苦心地研究酚醛树脂的性能时，没想到实验室的猫鼠之战让他得到意外的收获。贝克兰在收拾被猫和老鼠弄翻的实验器皿时，注意到流出的酚醛树脂恰好滴到了鼠夹上的奶酪上面，而奶酪遇到酚醛树脂后，变硬得就像木头一般。凭着科学家的敏锐和直觉，贝克兰对此现象深入分析，他发现将酚醛树脂涂敷在各种松软的东西上面，都会让这些材料变得很硬，对新的坚硬物质反复试验，确认它们能耐酸腐蚀，容易加工成型，同时又有绝缘性。通过不断试验改进，贝克兰利用酚醛树脂和木粉、云母、石棉等填充料，制成了新型绝缘材料，他以其姓氏命名为“贝克里特”(bakelite)，而人们更多以俗称“胶木”或“电木”。

1909年，贝克兰获得酚醛树脂加压加热固化的专利。当年，贝克兰带着他发明的部分塑料制品，在美国化学家学会纽约分会上公布了研究成果。1910年10月，贝克兰在柏林的吕格斯工厂建起通用酚醛树脂(Bakelite)公司，从事该产品

的生产和技术转让，同时也在许多国家设立分公司。当时可日产 180 千克的多种酚醛树脂产品，实现了酚醛树脂的实用化、工业化生产。因此，有人提议将 1910 年定为酚醛树脂元年（或合成高分子元年），将贝克兰称为“酚醛树脂之父”。

酚醛树脂进入市场后，一度被誉为“炼金术”，因为除了制成多种绝缘用品外，还能用来制造轴瓦齿轮等机械零件、纽扣等日常用品；爱迪生用它来制造留声机的唱片等，按媒体的报道，酚醛树脂可制出上千种的产品。

贝克兰的公司先后申请了 400 多项有关的专利，极大地推动了酚醛树脂的生产和应用。而各厂商间的专利之战，也使得市场竞争更为激烈，一些小公司甚至造出劣质产品。为保证产品质量和效益，通用酚醛树脂公司不断合并重组，1939 年后并入联合碳化物（Union Carbide Co.）公司。

通过购买贝克兰的专利，德国、英国、法国、日本等国也先后实现了酚醛树脂的工业化生产。1926 年，中国在上海的胜德赛珍厂开始生产酚醛树脂及模塑粉，大量用于电灯开关、插座、衣扣等用具。

酚醛树脂因其原料易得，合成工艺简单，价格低廉，绝缘性、耐酸性等性能优越，被广泛采用。到 20 世纪 40 年代，酚醛树脂一直控制着塑料的市场，世界年产量达 20 多万吨。

二、合成橡胶

合成橡胶的发明，改变了天然橡胶受产地和气候等条件的局限，推动了橡胶工业的新发展。

科学家在对橡胶树流出的乳胶研究中发现，其基本成分是异戊二烯，虽然早期难以制得这种真实的橡胶，但对其基本化学成分的确定，使得研究方向调整，转入阐明聚合问题和聚合体结构方面。

化学家发现，异戊二烯放置过久会变软，经酸化处理后则会变成类似橡胶的物质。德皇威廉二世曾让人用这种物质制成皇家汽车用的轮胎，借以炫耀德国化学技术的领先。然而，用异戊二烯作为合成橡胶的原料有两个困难：一是异戊二烯的主要来源正是天然橡胶；二是天然橡胶的结构长链中，所有的异戊二烯单元都朝同一方向，而人工聚合时，异戊二烯单元往往是毫无规律地聚合在一起。这种合

成物质缺少橡胶的弹性和柔性，用不了多久就会变黏，因而不能用来制造汽车轮胎（用于国事活动的皇家汽车当然是个例外）。

第一次世界大战期间，迫于天然橡胶的匮乏，德国人采用了二甲基丁二烯聚合成甲基橡胶，这种橡胶可以大量生产，而且价格低廉。“一战”中，德国大约生产了2500 吨甲基橡胶。尽管这种橡胶的耐压性能不理想，战后被弃用，但它第一次实现了合成橡胶的工业化生产。

约在 1927 年，德国和苏联的化学家采用丁二烯作为单体、金属钠作催化剂，合成了一种丁钠橡胶。作为一种合成橡胶，丁钠橡胶可解一时橡胶匮乏之急，然而它的性质并不很理想，后来发现，与其他单体共聚可以改善丁钠橡胶的性能。如与苯乙烯共聚得到丁苯橡胶，它的性质与天然橡胶极其相似；与丙烯腈的乳液共聚得到了丁腈橡胶，它的特性是耐油和许多其他溶剂。1933 年，德国染料公司先后在德国、美国申请了这两种橡胶的专利，并投入工业生产。在第二次世界大战期间，德国军队凭借丁苯橡胶，避免了橡胶供应的短缺。苏联也用同样的方法向自己的军队提供橡胶。

1941 年前，美国由于其天然橡胶的进口和储存都大于其年消耗量，并不重视合成橡胶的开发。珍珠港事件后，日本切断了美国天然橡胶的来源，加上战争中橡胶需求量巨大，迫使美国大力开发合成橡胶，为此政府投入 7 亿美元，仅在 1942—1944 年间，美国和加拿大共建造了 387 个橡胶工厂，产量高达 100 万吨，其主要品种是改性的丁苯橡胶。合成橡胶研究和生产者在 5 年间（1939—1944 年）取得的成就相当于天然橡胶用 70 年才取得的成就。

美国在战后大力研究合成特种橡胶。最早，化学家聂尤兰德（Nieuwland）和库林斯（Collins）于 1925 年合成了氯丁橡胶，氯原子使氯丁橡胶具有天然橡胶所不具备的一些抗腐蚀性能。例如，它对于汽油之类的有机溶剂具有较高的抗腐蚀性能，远不像天然橡胶那样容易软化和膨胀。因而像输油软管这样的用场，氯丁橡胶实际上比天然橡胶更为适宜。美国杜邦公司于 1932 年实现了它的工业化生产，氯丁橡胶首次清楚地表明，正如在许多其他领域中一样，在合成橡胶领域，试管中的产物其性能可以比天然物质更好。

1938 年，美国化学家帕特里克（J. C. Patrick）等人发现二氯乙烷与多硫化钠作用可以生成类似橡胶的物质，这就是聚硫橡胶，这种橡胶具有极优异的耐油性。帕

特里克申请了专利，1940 年获准。

1955 年，美国固特里奇—海湾化学公司（Goodrich-Gult Chemicals）利用齐格勒在聚合乙烯时使用的催化剂（也称齐格勒—纳塔催化剂）聚合异戊二烯，首次用人工方法合成了结构与天然橡胶基本一样的合成天然橡胶。不久，用乙烯、丙烯这两种最简单的单体制造的乙丙橡胶也获成功。这些合成橡胶性能优良，解决了没有天然橡胶资源的国家天然橡胶来源的问题。

时至今日，世界上合成橡胶的总产量已经大大超过了天然橡胶。橡胶品种已多达几万种，广泛地运用于工农业、国防、交通、机械制造、医药卫生领域以及日常生活等方面。

三、人造革/合成革

19 世纪中叶，硝酸纤维素的发明为化工业的发展奠定了基础，并激励科学家大胆地构想新的合成材料。当时有不少化学家提出皮革替代品的方案，并制成一些产品，尽管这些替代品的外观和手感与皮革相似，但总有易开裂、透气性差等缺点，影响推广使用。1895 年，德国化学家铁勒·奥特（Thiele Otto）和斯托克·约翰内斯（Stocker Johannes）发明出“人造革制造工艺”。该发明采用硝酸纤维素溶胶涂覆织物（当时主要是机织布），制成硝酸纤维素漆布，生产简便，原料低廉，改进了以往人造革的不足之处，可用于制作鞋帽、衣装、箱包、饰品等，也适于形成工业化生产。

此后，从涂覆原料到织物基布，人们对人造革一直尝试新的改进。20 世纪 30 年代，聚氯乙烯的工业化生产为人造革提供了新的涂覆原料，聚氯乙烯（PVC）人造革迅速发展起来。PVC 人造革容易着色、印花、裁剪，又质轻耐水，尽管透气性差些，但已能满足人们的日常所需。

1937 年到 1939 年，德国化学家奥托·拜尔（Otto Bayer）组织的研究团队，研制出聚氨酯树脂，后来的研究表明可以扩展到粘合剂、表面涂料等方面。1941 年，在德国开始进行工业化生产。第二次世界大战后，拜尔公司加紧对聚氨酯研究，1953 年获得聚氨酯（PU）人造革的专利。这种人造革用聚氨酯树脂做涂覆原料，模拟天然皮革的组成和结构，透气性比 PVC 人造革有明显改善，其性能更是接近天然皮革，因而很快成为理想的替代品，也即人们通常所说的合成革。由于到 20 世

纪末，中国尚缺乏人造革和合成革的命名标准，人们仍习惯称 PVC 涂层的革为人造革，PU 涂层的革为合成革（当然，也有按照织物基布来区分二者的，但一般统称二者为人工皮革，以区分天然皮革）。

德国的合成革技术为世界关注，各国纷纷从德国引进专利技术，并进行新的开发。十余年的时间，日本兴国化学工业公司和美国杜邦公司都分别成功研制了 PU 合成革，柯芬（Corfam）、可乐丽娜（Clarino）、帕特拉（Patora）等合成革商标进入市场。

20 世纪 80 年代，合成革已形成诸多品种，能仿形、仿真，许多性能已达到甚至超过天然皮革，真假难辨，从服装、箱包、家具包装等大宗物品，到各种设备的衬里，应用极为广泛。其原材料来源也丰富，从起初的棉纤维到合成纤维，织物从机织布、帆布、针织布到起毛布。产量更是天然皮革无可比拟的。

四、玻璃纤维

玻璃纤维是玻璃在熔融状态下，用外力拉制、喷吹或以离心力甩成的极细的纤维状材料，可由不同种类的玻璃组成，以使某方面的性能更突出。

1713 年，法国科学家、昆虫学家德勒奥默（R. A. F. de Réaumur）试验用玻璃制造人造羽毛，他将熔融的玻璃喷到旋转的轮子上，并趁热拔出玻璃丝，制出了纤维状材料。这种材料短而脆，看不出有何用途。德勒奥默却预见说，它将会像蜘蛛丝一样纤细，富有柔韧性，并能做成织物。

1836 年 11 月，法国巴黎的工匠迪比斯-博纳尔（I. Dubus-Bonnel）获得制造玻璃纤维的专利。其方法是：应用提花织机，在一个充满热蒸汽的浴室中操作，室内温度要超过 30℃，以保证玻璃的延性，用拉伸法拔丝，保持韧性。迪比斯-博纳尔用制成的小块玻璃纤维织物作为申请专利的物证，当时专利申请书是用手写的，至今上面还留有他改正拼写错误的痕迹。

初问世的玻璃纤维造价高，人们仅用它与丝绸、棉、麻等混合，生产一些华贵的织物或工艺品，未能普遍应用。第一次世界大战时，德国人面临石棉短缺的问题，促使了高斯勒法机械拉制粗直径的玻璃纤维，作为绝缘、隔热材料的替代品。1926 年，美国欧文斯玻璃公司（Owens Illinois Glass Company）和康宁玻璃公司（Corning Glass Works）开始研究玻璃纤维的工业化生产方法。1932 年，康宁公司的克莱斯

特(Dale Kleist)在试验将两种玻璃焊接成一体时，一股压缩空气意外地喷到熔融的玻璃液面上，立刻形成一连串的玻璃纤维。这一偶然事件，使克莱斯特发现了一种简单的制造玻璃纤维的方法。1938 年，欧文斯—康宁公司(Owens—Corning)成立，该公司的斯拉夫特(Russell Games Slayter)获得玻璃纤维的专利。其后，连续玻璃纤维拉丝工艺、定长毛纱生产工艺和火焰法喷吹玻璃棉工艺等纷纷被研制出来，推动了玻璃纤维工业化生产的发展。

第二次世界大战中，玻璃钢产品(如防刺穿的汽油桶、雷达罩、军用盔甲等)投入使用，玻璃钢还被用于海军的小船壳及汽车车身。战后，玻璃纤维的生产逐渐打破美国大公司的垄断，在许多国家发展起来，并由军用转向民用。

20 世纪 50 年代，玻璃纤维池窑拉丝投入生产，这是玻璃纤维工业技术的一项重大创新，其工艺很快为世界上大多数玻璃纤维生产厂家所采用。

玻璃纤维经加工，可制成纱、布、带、毡、板、管壳等各种形状的制品，并通过改善玻璃纤维的脆性，增进其柔性、耐磨性及手感，可制成包装布、窗纱、贴墙布、篷盖布及特种防护服等。而用作复合材料的增强材料，则是玻璃纤维工业发展的一个重要方向。

20 世纪下半叶，玻璃纤维工业脱离传统的玻璃工业而成为独立的工业体系。玻璃纤维材料的年产量增长已成为衡量国民经济发展的一个重要指标。

五、杜邦与尼龙

尼龙是聚酰胺(polyamide)的俗称，为韧性角状半透明或乳白色结晶状树脂，主要品种是尼龙 6 和尼龙 66，其次是尼龙 11、尼龙 12 等。

在早期研究人造纤维的过程中，科学家发现从合成树脂也可以得到黏液，于是设想用这种黏液合成新纤维。1913 年，德国科学家最先用聚氯乙烯树脂合成了氯纶。不过，该原料昂贵又有毒性，纤维耐热性差，未能形成工业化生产。1931 年，德国 I. G. 公司取得用合成树脂制造纤维的专利，然而，生产出的 PeCe(氯化聚氯乙烯及纤维)仍是耐热性差，未能引起人们重视。

1927 年，美国最大的化学企业——杜邦公司(Du Pont)出于对基础研究的重视，决定成立基础化学研究所。1928 年，年仅 32 岁的瓦拉瑟·卡罗瑟斯(Wallace

Carothers)受聘担任该所有机化学部的负责人。卡罗瑟斯 1924 年获伊利诺伊大学博士学位,先后在该大学和哈佛大学进行有机化学的教学和研究,来到杜邦后,他主持了一系列用聚合方法获得高分子量物质的研究。

在经过上百次的试验之后,卡罗瑟斯很偶然地(对科学家来说,机遇垂青有准备的头脑)与尼龙邂逅了。1931 年的一天,卡罗瑟斯比往常要早来到实验室,他注意到烧杯中有一层厚厚的糨糊状物,是上次实验乙二醇和癸二酸制成的聚酯残渣,玻璃棒插进拔出,玻璃棒上粘有细丝,卡罗瑟斯好奇地去拉,竟然可以拉地很长,而且强度也很大!他敏锐地意识到,用它很可能制造出一种新纤维。

此后又经试验,卡罗瑟斯与同事们成功地利用己二酸和己二胺缩聚反应生成的聚酰胺,研制出"尼龙 66"(两个 6,因为己二酸、己二胺中各有 6 个碳原子)。1931 年卡罗瑟斯申请美国专利,1937 年获准。

为了把尼龙材料变成正式的商品,杜邦投入了大量人力物力开发,经过两百多名化学家和工程师的努力,耗费了 2700 万美元之后,世界上第一种尼龙制品——长筒女袜于 1940 年问世,一上市就受到女性的青睐,很多妇女为买到一双尼龙袜,不惜在寒冬清早去排长队等候商店开门。这一年,杜邦共销售了 6400 多万双尼龙袜,创造了一个商业奇迹。当时尼龙袜的广告铺天盖地,欧美国家都在念叨:"像蛛丝一样细,像钢铁一样结实,像绢丝一样美。"尼龙袜子的风行还引领了新时尚,因为穿上它可显出双腿的光滑和秀美,由此带来西方国家短裙的流行。

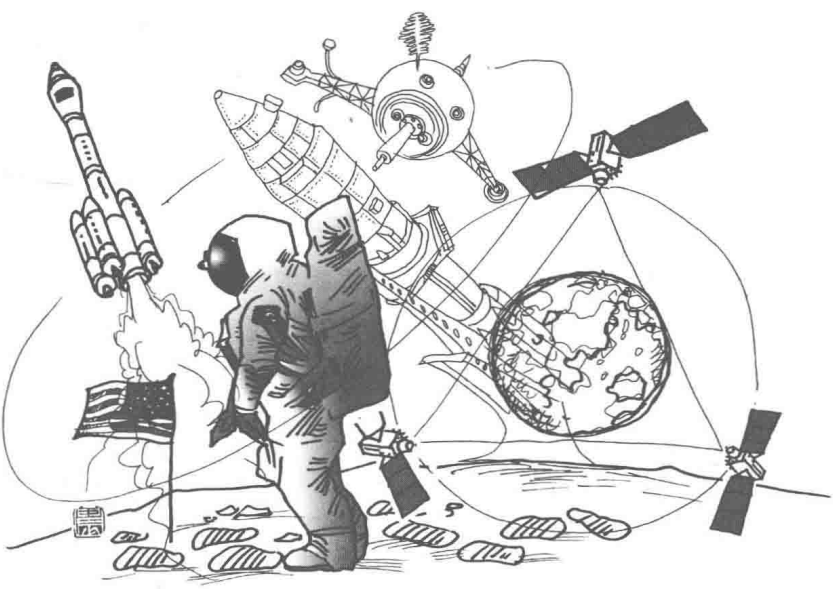
杜邦公司趁势扩大尼龙的生产规模和品种范围,从衣物、家居用品、汽车安全带、救火水管到军用降落伞、飞机轮胎帘子线等战略物资,都在结实耐磨的尼龙囊括之下。尼龙生产长期由杜邦垄断,大大地赚了一把。直到 1953 年专利到期,尼龙生产才转让给世界其他国家。

令人惋惜的是,卡罗瑟斯因其亲爱的姐姐去世,患上了抑郁症于 1937 年自杀,未能目睹尼龙如此繁盛的景象。

尼龙的发明,是化学工业和纺织工业中划时代的事件,这一"用煤、空气和水"魔术般结合而成的纤维,彻底地改变了人们的生活,并由此拉开了合成纤维时代的序幕。

尼龙之后,合成纤维的家族逐渐扩大,涤纶、腈纶、丙纶等人造纤维相继出现,合成纤维已形成庞大的产业。

第二十章
空间技术创新



绘画：王晨

第二次世界大战结束后，美苏两大国都加大了火箭研发，并以此为基础加紧对人造卫星、深空探测和载人航天（包括航天飞机、空间站）的研究，20 世纪下半叶，空间技术逐渐成熟，推动人类迈入太空时代。

一、火箭研发

现代意义上的火箭是依靠喷射工质产生的反作用力推进的飞行器。它自身携带燃烧剂和氧化剂，不依赖空气中的氧助燃，因而既可在大气中飞行，也可在外层空间飞行。火箭从原材料生产、部件制造安装，到与之推送上太空的航天器，涉及复杂的技术和众多产业，充分反映了国家的经济实力。

从历史意义讲，火箭是中国古代的重大发明之一。大约在 13 世纪末到 14 世纪初，中国的火药与火箭等火器技术传到印度、阿拉伯，又经阿拉伯传入欧洲，引发了阿拉伯与欧洲国家对火箭技术的应用，推动了火箭技术的发展。

1805 年，英国炮兵军官威廉·康格里夫（W. Congreve）创制出脱胎于中国古代火箭的新式火箭，成为近代火箭的开端。不过，早期的火箭射程近，落点散布大，后来被火炮代替。

1903 年，俄国数学家齐奥尔科夫斯基（K. E. Tsiolkovsky）经过多年研究，计算出火箭运行的数学公式，并且提出可以用液态氧和液态氢作为制造火箭的燃料。

真正使火箭飞行取得成功的是美国发明家罗伯特·H. 戈达德（Robert H. Goddard），由于开创性的功绩，戈达德也被西方称为“太空时代之父”。

戈达德 1882 年 10 月出生于美国马萨诸塞州，童年时就显露出对科学幻想和机械的特殊兴趣。24 岁时，戈达德从家乡的渥切斯特技术学院毕业，之后进入克拉克大学读博士学位，1911 年获博士学位后留校任教。在此期间，他认识到液氢和液氧是理想的火箭推进剂，在随后的几年里，他进一步确信用他的方法一定会把人送入太空。他在实验室里第一次证明了在真空中可存在推力，并首先从数学上探讨包括液氧和液氢在内的各种燃料的能量和推力与其重量的比值。

第一次世界大战迫使戈达德的研究中断，战后重新开始。由于周围的人都不理解，戈达德只好转入“地下研究”。1926 年 3 月，戈达德制成了第一枚火箭，火箭高 1.2 米，直径 0.15 米，看上去像一个小巧的玩具。3 月 16 日，戈达德在他农庄的

花园里发射了世界上第一枚使用液体燃料的火箭，火箭飞行了 12 米高、56 米远。火箭点火产生了巨大响声，惊恐的邻居找来警察干涉，戈达德费劲解释，但无济于事，许多人都认为他是疯了。戈尔德信念不移，继续研制。1929 年，他发射了一枚更大的火箭，上面还携带了气象观测仪。火箭的发射成功，并没有带来鲜花和掌声，反而是邻居的强烈不满和《纽约时报》上讽刺挖苦的社论。戈达德被迫离开家园，受一位富商资助，转到新墨西哥州的荒漠地，在那里创立了实验室。戈达德发射的火箭越来越大，他还发明了火箭所用的导航系统。

随着欧洲战争的临近，戈达德试图让美国军方对他的发明产生兴趣，遗憾的是，他们的反应并不积极。

在德国，纳粹掌握政权后，立即认识到火箭作为先进武器的重要性。年轻的冯·布劳恩（von Braun）被任命负责火箭研发。冯·布劳恩和他的科研小组研究出了“A”型系列火箭引擎的制造方法，到 1944 年 9 月，针对不列颠群岛的 V2 型“恐怖飞弹”部署完毕。V2 型飞弹长 46 英尺，重 14 吨，飞行高度海拔 50 英里，飞行速度达每小时 3000 英里。只因德国战败，迫使火箭研究终止。

第二次世界大战结束时，冯·布劳恩投奔了美国，后来成为美国太空计划的负责人。在美国太空计划中，冯·布劳恩和他的团队发挥了至关重要的作用，他们提出了基本的技术框架，登月是他们要实现的第一个重要的太空目标。冯·布劳恩设计了威力巨大的火箭——“土星 5 号”。该火箭 360 多英尺长，3000 吨重。发射时发动机产生的推力达到 750 万磅，每秒钟烧掉 10 多吨燃料。1969 年，冯·布劳恩领导研制“土星号”巨型火箭，将第一艘载人飞船“阿波罗 11 号”送上了月球。

戈达德因病于 1945 年去世，他身后留下了 214 项有关火箭的专利。冯·布劳恩在研究了戈达德的专利文献后评论道：“戈达德比我们所有人都要成功。”也许是冯·布劳恩谦虚，也许是他吸收了戈达德有价值的思想和技术。

苏联于 20 世纪 40 年代末加紧研究火箭，1957 年 10 月 4 日成功发射了世界上第一颗人造地球卫星。

中国于 20 世纪 50 年代中开始研究新型火箭，1970 年 4 月 24 日用“长征 1 号”三级运载火箭成功发射了第一颗人造地球卫星“东方红号”。经过几十年的发展，中国在火箭技术领域已跨入世界先进行列。

二、第一颗人造卫星

第二次世界大战后，美英苏等国都积极进行人造地球卫星的研究，而苏联成为第一个回合的胜利者。

1956 年 1 月，苏联政府正式做出在 1957—1958 年内研制人造地球卫星的决定，2 月开始实施计划，包括四个组成部分：①研制运载火箭；②建设发射场；③研制卫星本体和星上科学仪器；④建设地面测控网。

研制运载火箭任务实际上同发展洲际导弹是一致的。为了发射人造卫星和达到第一宇宙速度的要求，苏联科学家对 P-7 洲际导弹进行改进。1957 年 8 月，改进后的 P-7 洲际导弹首次试飞成功。

苏联的首座航天发射场定在哈萨克斯坦境内的丘拉塔姆地区，离拜科努尔不远的沙漠地。1955 年 1 月开始建设，定名为拜科努尔航天发射场。

人造卫星本体和星上设备由宇航专家米哈伊尔·吉洪拉沃夫(Mikhai K. Tikhonravov)领导设计。1956 年底，他建议“卫星造得小点，简单一点，最好为 30 千克重”。著名宇航专家科罗廖夫(Sergey Korolev)支持这一建议。

1957 年 1 月 5 日，科罗廖夫向苏联政府建议准备发射卫星，一颗重约 30 千克，用于第一次发射，一颗重 1200 千克(后来成为第三颗卫星)。第一颗卫星的基本要求是：保证发射的绝对成功，让全世界都能感觉到它的存在。由于获知美国在 1955 年 9 月试验了运载火箭并有可能在几个月内发射人造卫星，科罗廖夫建议把原定在 1957—1958 年国际地球物理年期间发射第一颗卫星的计划提前，改为先发射两颗简易卫星，只携带最简单的必要仪器。

苏联的第一颗人造卫星代号 CⅡ-1，其外形是球状，由铝合金制成，直径 0.58 米，重 83.62 千克。卫星周围对称安装四根弹簧鞭状天线，倾斜伸向后方。卫星的上半球壳外部装有隔热层，下半球壳是热控制系统的辐射表面。卫星内安装了电池组、无线电发射机、热控制系统组件、转接元件、温度和压力传感器和其他科学探测仪器。

1957 年 10 月 4 日晚，“卫星号”运载火箭携带人造地球卫星 CⅡ-1 在拜科努尔航天发射场发射成功。卫星进入近地点 215 千米，远地点 947 千米，轨道倾角

65 度，周期 96.2 分的椭圆形轨道。它共在轨道上运行了 92 天，绕地球飞行约 1400 圈，最后于 1958 年 1 月 4 日再入大气层时烧毁。这颗人造卫星在技术上进行了星内温度压力试验、地上大气密度测量和电离层研究，并用卫星探测出几百千米高空的空气阻力。

事后看，第一颗卫星所进行的科学研究结果并不重要，它所产生的政治影响要更为深远，引领空间探索的意义更大。

三、阿波罗登月计划

苏联第一颗人造地球卫星发射成功，使美国国会受到强烈震动，要求总统立即采取行动，而艾森豪威尔总统与其顾问团则认为应审慎考量，在数个月商议之后，他们认为有必要成立一个全新的政府机构，以领导所有非军事太空行动。

1958 年 7 月 29 日，艾森豪威尔总统签署了《美国公共法案 85-568》(United States Public Law 85-568，即《美国国家航空暨太空法案》)；1958 年 10 月 1 日，美国国家航空航天局(简称宇航局)正式成立。

1959 年春，宇航局成立了由哥特(H. Goett)领导的载人航天飞行指导委员会，先后召集几次会议，并经新设立的计划和评价办公室讨论，提出“宇航局长期计划”报告，提到载人登月将在 20 世纪 70 年代中期实现。之后，登月计划逐步清晰，被命名为“阿波罗计划”，理由是阿波罗是希腊神话中的太阳神，他驾战车绕太阳运行，会使人感到该计划的庞大规模。

1960 年 7 月，在美国政府尚未批准的情况下，宇航局便对外公布阿波罗计划，并与有关厂商签订可行性研究合同，显露与苏联展开太空竞赛的急切之情。

1961 年 4 月 12 日，苏联宇航员加加林乘东方号飞船首次太空飞行，震撼世界。这促使美国下决心，以载人登月超越苏联。

1961 年 5 月 25 日，上任不久的肯尼迪总统发表特别国情咨文，明确宣布“我们国家应当努力在这十年结束前，实现把一个人送上月球然后返回地球的目标。对长期探索空间来说，迄今没有一个空间计划比这更振奋人心、更吸引人或更重要了”。

阿波罗计划充满了政治色彩和冒险性，但在计划执行过程中却是严格按科学

步骤和程序稳步推进，终于在 1969 年 7 月成功地完成了首次登月任务。阿波罗计划持续十余年，动用人力最高时达 20 万人，耗资 255 亿美元。这项计划在科学技术方面产生了巨大影响，在经济上也促进美国十年经济的高速增长。

从技术创新角度讲，阿波罗计划具有相当典型的意义，在方案选择上充分考虑到技术的可行性、经济性、安全性以及时间因素，经过广泛研究论证，确定以“月球轨道交会法”作为登月方案，该方案具有几大优点：第一，只用一个较小的登月舱登月，避免了大型飞船降落月面的困难。第二，登月舱只需携带小型发动机可以减少燃料携带量，这对于离开月面有利。第三，在返回时，登月舱可以抛掉，又可进一步减轻返回舱的质量，服务舱的设计可以简化。

阿波罗计划的重大技术创新有：首先是平行实施辅助计划，将项目分解，以解决关键技术问题。辅助计划有双子星座载人航天计划和“勘察者号”月球探测器计划。前一个计划主要是用于发展和试验登月计划所需要的技术，包括燃料电池技术、长期生命保障技术、飞船交会与对接技术、计算机控制技术、飞船机动与变轨技术和舱外活动技术等。第二是尽可能采用成熟技术，以减少技术风险。第三是采用集成创新。尽管不开发全新的技术，多是已有技术原理的实际运用，但仍然需要解决大量的新技术与工艺问题。第四是“试错创新”。在大型火箭研制过程中，面临许多技术难题，如燃烧的稳定性，如果从理论上对发动机燃烧室中的燃烧现象和机制进行分析，不知要等到何年何月，当时的计算机仿真也难以达到要求。所以在 F-1 和 J-2 发动机研制期间，采取了“试错”方法，即用各种可能想到的办法逐一尝试，不断进行修改—试验—失败，再修改—再试验，逐步解决了燃烧稳定问题。

另外，阿波罗计划也实施了制度创新。在人力资源方面，大量雇用合同制科学家和工程师，采取动态化管理。各项分计划接近完成或已完成，所雇用的科学家和工程师就可以按合同离开，从而节约了大量人力成本。

四、地球同步卫星

地球同步卫星的诞生和运行，开创了“卫星实况转播”的新时代，它把古代神话“千里眼”“顺风耳”变为现实，同时也加快推动“地球村”的形成。

地球同步卫星（也即地球同步轨道卫星），简单地说，就是卫星围绕地球所做的

运动与地球的旋转速度同步，这样，卫星相对地球就处在一个固定的位置，可以稳定地接收或发送给地球的信号。若在地球同步轨道上布设 3 颗通信卫星，即可实现除南北极外的全球通信。

1963 年，美国休斯公司研制的地球同步卫星成功进入太空，第二年，西方国家的电视观众即能够通过卫星收看从日本东京转播的奥林匹克运动会实况。此后，技术更加明显地促成“地球村”的成熟。

像载人航天计划一样，地球同步卫星的研制也是一大批科学家、工程技术人员的努力，然而，最早的发明灵感却是来自美国休斯公司的工程师哈罗德·罗森(Harold Rosen)有关自旋稳定式卫星的设想。

罗森 1926 年出生于路易斯安那州的新奥尔良，1947 年毕业于图兰大学电子工程专业，获学士学位，之后进入加州理工学院继续深造，1948 年获硕士学位，1951 年获博士学位。1956 年，罗森进入休斯公司，主要从事防空导弹和雷达研究。

1957 年，苏联成功发射了第一颗人造卫星，给美国政府和科技界造成很大震动。休斯公司决定开展空间项目，罗森自此进入通信卫星领域。当时美国拥有的火箭推力较小，有研究机构正在试图制造大功率推力火箭，以便把功能复杂的卫星送入轨道。而罗森想到，可以制造轻型卫星，也能满足所要求的功能，最简便的方法就是利用自旋稳定，就像从炮膛的来复线射出的旋转弹头一样。实际情况当然要复杂得多，涉及多种技术，如自旋稳定的定向天线、太阳能电池和旋转相位脉冲(以控制卫星的轨道和速度)等。罗森与同事们协力攻关，不断改进，如控制卫星轨道，开始采用可连续使用的气体系统，后来又研制出液体系统，最后采用了喷射技术，只需两个喷嘴就能完成卫星所需的姿态和速度控制。

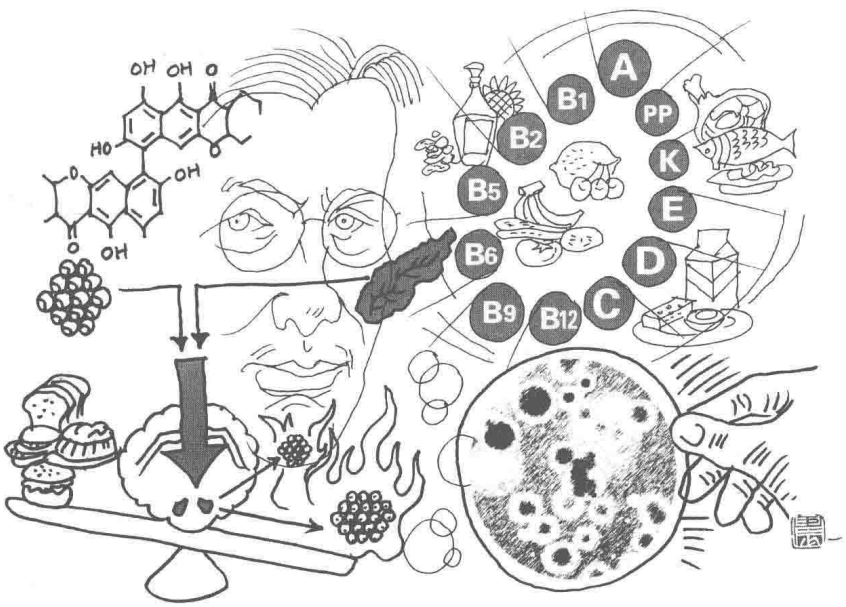
地球同步卫星的缩略语为“syncom”(亦译“辛柯姆”)，1961 年法国巴黎航空展上，休斯公司在埃菲尔铁塔上展示“辛柯姆”样机，一些人对这种卫星的功能表示怀疑，嘲讽埃菲尔铁塔“从来没有这样高过”。然而仅过了两年，“辛柯姆二号”成功发射，在太空运行，并担负起国际电话业务。1964 年，“辛柯姆三号”升入太空，实现了第一次连续的跨洋电视传播。

1964 年，国际通信卫星联合会(Intelsat)成立，仅过了 8 年，该联合会已发展为有 83 个成员国和近百个地面站。通信卫星发展不断加速，到 1984 年，太空中运行

的卫星如此之多，以致在离地 36 000 千米的轨道上设置地球同步卫星的“停车位”，成了国际政治的热点话题。通信卫星改变了人类的生活，借助通信卫星，不论在天涯海角，都能瞬时了解世界各个地方的信息。

1982 年，罗森因对“领导开拓地球同步卫星的卓越贡献”，荣获美国电气与电子工程师协会授予的亚利山大·格雷厄姆·贝尔奖章。

第二十一章
医药技术研发



绘画：王晨

20 世纪，在科学研究的指导下，医药技术取得很大的进步，研制的胰岛素、青霉素等新药，挽救了无数人的生命；而维生素等产品也更利于人类的健康。医药技术推动制药业的发展，创造出巨大的经济价值和社会价值。

一、胰岛素：发现与发明

胰岛素是一种蛋白质激素，它的发现和同名药物的发明挽救了无数糖尿病人的生命；它的相关研究更是获得了 1923 年、1958 年、1969 年、1977 年四届诺贝尔奖。

糖尿病致人死亡已经有很长的历史。各大文明古国的医师都曾发现有病人的尿液有甜味，会招来蚂蚁，但他们都没能找到有效的治疗方法，只能眼睁睁地看着病人死去。

近代医学的进步，使糖尿病的病因探究有了新眉目。1889 年，德国科学家奥斯卡·明科夫斯基(Oskar Minkowski)和约瑟夫·冯·梅林(Joseph von Mering)摘除狗的胰腺，发现原本健康的狗开始排出糖尿，引来大群苍蝇。进一步研究表明，胰腺不仅向肠道分泌胰液，而其中的胰岛(又名兰格尔翰斯岛)则向血液中分泌着某种未知的物质，起着降低血糖的作用，科学家提议称之为胰岛素(insulin)，并弄清楚，一旦胰岛受损，胰岛素不足，血糖浓度太高，随尿排出，就会导致糖尿病。尽管理论上明确，胰岛素的提取却不成功，因为胰液中有消化蛋白质的酶，会破坏胰岛素，故不能直接捣碎胰脏来提取。

1920 年秋季，加拿大年轻的生理学教师弗雷德里克·格兰特·班廷(Frederick Grant Banting)在备课，要给学生讲胰腺和糖代谢的问题。他查阅了许多资料，仍然觉得疑问多多。晚上睡觉前，班廷翻阅一本外科手术杂志，他突然从一篇文章受到启发：胰腺中被破坏的是分泌消化液的腺泡，而连通血管的胰岛应当是完好的，从这种变质的胰腺中进行提取，恰好可以避免消化酶对胰岛素的破坏。

接下来的研究却远非顺利，班廷辗转找到多伦多大学医学院生理学系的约翰·麦克劳德(John Macleod)教授，麦克劳德觉得年轻人缺乏经验，不可能解决这个长久困扰生理学大师的难题。几个月后，麦克劳德禁不住班廷的缠磨，勉强同意他在暑期借用实验室，并给他 10 只实验用狗。不料实验一波三折，先是 7 只狗死

于手术，班廷只好买狗补充。一个月后，胰腺结扎没达到效果，7 只狗中有 5 只的胰腺仍然正常。实验经费严重不足，班廷只得变卖家底，硬挺着做下去。

奇迹出现了！他将从结扎胰腺的狗身上得到的提取液，注射到 10 只糖尿病狗身上，有了降低血糖和糖尿的效果，有 2 只狗甚至像正常狗一样，分别活了 20 天和 70 天。而麦克劳德度假归来，看到实验成效，也为之兴奋，他立即调集力量，集中攻关。不久，研究团队发展出一套从屠宰场的牛胚胎胰腺中提取胰岛素的高效方法，再经多次实验，终于用于人体获得了成功。消息引起了轰动，尽管胰岛素还不能彻底治愈糖尿病，但让绝望中的病人看到了曙光。

1923 年 1 月，班廷和合作者为胰岛素制取申请美国专利，当年 10 月获准。糖尿病患者对胰岛素的期盼，使班廷等人决定把专利以一美元的价格转授给母校多伦多大学，并在“艾利—利丽”(Eli Lilly)制药公司的帮助下，成功实现了批量生产。

1923 年，诺贝尔生理学或医学奖授予了班廷和麦克劳德，两人又分别与合作者查尔斯·赫伯特·贝斯特(Charles Herbert Best)和詹姆斯·伯特仑·科利普(James Bertram Collip)平分了奖金，认为后两人的贡献不能被忽略。

然而，诺贝尔奖还是忽略了欧洲大陆的另一位杰出的学者。1921 年，罗马尼亚生理学家尼古拉·康斯坦丁·保列斯库(Nicolas Constantin Paulesco)先于班廷等人发现了胰岛素，并发表了论文，次年在罗马尼亚申请专利。由于班廷等人在引用保列斯库的法语论文时发生了误译，以为他分离得到的(胰腺素，pancreine)没有效果。在错误澄清后，班廷向保列斯库表达了深切歉意。

随着胰岛素的知名度上升，科学领域中仿佛多出了一条新发现的矿脉。对胰岛素的氨基酸序列、立体空间结构和放射免疫测定的研究，也相继获得了诺贝尔奖。胰岛素的生产方式也由动物胰脏提取发展为基因工程细菌发酵等方式。1965 年，中国科学家在艰难的条件下率先完成了结晶牛胰岛素的人工合成，成为当时的一大创新。

再说到班廷，他在发现胰岛素之后，便将相关研究留给了贝斯特，自己则转向攻克矽肺病、癌症等医学难题。1941 年 2 月 21 日，班廷不幸因飞机失事遇难，加拿大举国悲痛。1991 年，为了纪念班廷，并在世界范围敲响糖尿病威胁的警钟，世界卫生组织与国际糖尿病联合会将每年的 11 月 14 日——班廷的诞辰，定为世界糖尿病日。

二、维生素：发现与发明

维生素是人体代谢中必不可少的有机化合物。维生素大部分不能在人体内合成，或合成量不足，因而必须从食物中摄取。若人的饮食长期缺乏维生素，就会表现出病症。

维生素是个大家族，目前所知的维生素已有几十种，大致可分为脂溶性和水溶性两大类。前者包括维生素 A、D、E、K，后者包括维生素 B 族和维生素 C，以及许多“类维生素”。维生素的发现曲折起伏，随着科学的认识和技术的进步，维生素已实现工业化生产，满足了人类健康的需求。

兹以维生素 C 为例，对它的发现和工艺发明做些介绍。

维生素 C 又叫抗坏血酸，是一种水溶性维生素。西方历史上，有很多关于船员远航患坏血病的记载。15 和 16 世纪，坏血病曾波及整个欧洲，以致医生们怀疑是否所有的疾病都与坏血病有关。直到 1747 年，英国医生詹姆斯·林德（James Lind）发现，橘子和柠檬的混合液对治疗坏血病有独特作用。1776 年，林德被选为英国皇家学会会员，并被授予科学奖章。但是林德并未搞清楚，究竟是什么物质在抗坏血病中起作用。

1895 年到 1897 年，荷兰医学专家克里斯丁·艾克曼（Christian Eijkman）被派往荷属东印度群岛调查脚气病，他最初怀疑是某种细菌所致，后来排除了这一因素，转而认为是饮食中缺少某种元素引起。艾克曼研究发现，家禽如果吃了磨光的稻米（脱掉谷粒的包皮），就会染上类似的病，而吃糙米可以缓解这种症状。

新发现促使更多的科学家开始研究食物中的成分与某些疾病间的关系，寻找抗坏血病物质的工作在继续进行。1920 年终于从柠檬汁中提取抗坏血病的物质，英国生物化学家杰克·德鲁蒙（Jack Cecil Drummond）认为抗坏血病物质应该有自己的代表字母，提议把这种物质叫做“维生素 C”。

1928 年，匈牙利出生的美籍生物化学家阿尔伯特·森特-哲尔吉（Albert Szent-Györgyi）在剑桥大学霍普金斯实验室研究氧化—还原系统时，从牛的肾上腺皮质及橘子、白菜等多种植物汁液中发现并分离出一种还原性有机酸，他称之为己糖醛酸。后来发现这种物质对治疗和预防坏血病有特殊功效。1932 年他指出，以前发

现的那种物质是抗坏血活性物质(维生素 C),并决定称之为抗坏血酸。同年美国匹兹堡大学的科学家查尔斯·金(Charles King)等人从柠檬汁中析出一种结晶物质,在豚鼠体内具有抗坏血酸活性,这些实验标志了维生素 C 的发现。

1933 年,英国伯明翰大学的瓦特尔·诺尔曼·霍沃斯(Walter Norman Haworth)等人阐明了维生素 C 的化学结构,并且首次用巧妙的办法合成了维生素 C,1934 年申请维生素 C 生产的专利,1936 年获准。1933 年,波兰裔瑞士化学家赖希施坦因(Tadeusz Reichstein)提出可利用弱氧化葡糖酸杆菌、生黑葡糖酸杆菌和醋酸杆菌属的某些菌株进行由 D-山梨醇到 L-山梨糖的氧化(通称一步发酵法)。被用作底物的 D-山梨醇由 D-葡萄糖媒促还原制备。L-山梨糖经化学氧化生成 L-抗坏血酸,需先生产 L-酮基-L-古洛糖酸,然后加酸处理,才可转化为维生素 C。这一方法 1934 年在瑞士实现了维生素 C 的工业化生产并投放市场。维生素 C 由此才真正登上了历史舞台,成为人类健康的使者。

由于所做的有关维生素 C 研究和其他贡献,霍沃斯,森特-哲尔吉获得了 1937 年诺贝尔生理学或医学奖,赖希施坦因获得了 1950 年的诺贝尔生理学或医学奖。

20 世纪上半叶,科学家确认了维生素 C 对治疗坏血病的价值,然而没有终止对它的研究,近年又发现维生素 C 对人体健康的新功效。

三、青霉素:发现与发明

青霉素是世界上发现的第一种可以实际应用于人体传染病治疗的抗生素。青霉素的发现及临床成功应用,开创了医疗科学的新纪元,在第二次世界大战中曾被誉为堪与原子弹、雷达并列的致胜"武器"。

青霉素最早是由英国细菌学家亚里山大·弗莱明(Alexander Fleming)发现的。1928 年 9 月,弗莱明在伦敦圣玛丽医学院的实验室里研究导致人体发热的葡萄球菌,由于器皿盖没有盖好,培养细菌用的琼脂上长了一层青霉菌。令弗莱明惊讶的是,在青霉菌的近旁,葡萄球菌不见了。这个偶然的发现深深吸引了他。此后,弗莱明和他的助手设法培养这种霉菌并进行多次试验,证明这种霉菌不仅可以在几小时内将葡萄球菌杀死,而且还能够阻碍其他多种病毒性细菌的生长。

1929 年 6 月,弗莱明将他的发现写成论文发表在英国皇家《实验病理季刊》

上，把这种由绿色霉菌产生的杀菌物质命名为青霉素。

在当时的情况下，青霉素还不能应用于临床治疗，因为提炼医用青霉素的过程十分复杂，要经过青霉菌培养、滤液浓缩、提炼和烘干等一系列过程，得到的这种化学物质不够稳定。还有一个重要原因，科学界认为以动物实验结果来指导人的医学实践是不可靠的。

1939 年，在英国牛津大学从事病理研究的霍华德·弗洛里(Howard Florey)了解到弗莱明的工作，对青霉素产生了浓厚的兴趣。弗洛里和另一位科学家厄恩斯特·钱恩(Ernst Chain)合作，致力于分离青霉素和验证它的疗效。弗洛里负责对动物的观察试验，钱恩负责青霉菌的培养及分离、提纯和强化，使其抗菌力提高了几千倍。他们克服种种困难，终于在 1941 年用冷冻干燥法获得青霉素晶体。经试验，把它稀释到二百万分之一，也足以杀死病菌，这种青霉素粉末的杀伤力是史无前例的。青霉素第一次使用在被葡萄球菌传染的病人身上，获得成功。青霉素几乎能杀灭各种病菌，治疗各种炎症，而且它对人体几乎没有毒性，除了极少数对青霉素过敏的人。至此，青霉素的功效得到证明。

然而，从实验室制造到工业化生产之间尚有一道鸿沟。实验室制造青霉素的量小，周期长，成本高。要广泛应用于临床，就得研究新的设备，这对处于战火中的英国来说，谈何容易。弗洛里便携青霉素样品前往美国，他以战争需要为有力理由，说服美国医药工业公司出资支持他的计划。弗洛里与美国农业部实验室的科学家合作，从西瓜皮上找到产量高的菌种，以玉米汁为培养基，研制成在 24℃ 连续生产的专用设备。1943 年，制成的青霉素送到突尼斯和西西里，成功地救治了那里的美军伤员。美国政府意识到青霉素的价值，遂资助研究新的方法，而美国科学家申请专利，此后获得了巨大利润。

1944 年 6 月 6 日诺曼底登陆前，美国生产出上亿只青霉素运往前线，在战场上发挥了巨大的效用。此后，美国战争生产委员会建立民用流通机制，青霉素广泛应用于临床，大大降低了传染病的死亡率。

青霉素对多种疾病如肺炎、猩红热、白喉、脑膜炎等都有神奇的疗效，挽救了无数的生命，创造了史无前例的成功。这一造福人类的贡献也使三位科学家弗莱明、弗洛里和钱恩共同荣获 1945 年诺贝尔生理学或医学奖。

青霉素 1943 年传入中国，据译音叫做盘尼西林，当时数量极少，价格高昂，一

支青霉素就是一两黄金，非普通人所能用。虽然有青霉素提纯的论文发表，但生产工艺属于高度机密。此外，不同菌种青霉素的产量相差悬殊，高产菌株如稀世珍宝，非英美科学家难以问津。时任国民政府中央防疫处处长的汤飞凡发愿研究，防疫处掀起了寻霉菌热，家属也动员起来，从早到晚到处寻找“绿毛”，找到即拿去分离。一次次的分离，一次次的失败。直到有一天，在一位工作人员的皮鞋上发现有一团绿毛，拿到实验室，从中分离出一株能产生青霉素的菌种，就这样开创了国产青霉素的生产。后来汤飞凡又设法从美国、印度等地要到其他一些菌种，加上国内的共 30 株。比较的结果，还是来自旧皮鞋的那株产量最高。一只普普通通的旧皮鞋，立下了功劳！

汤飞凡带领团队艰苦奋战，最终成功生产出每毫升 200～300 单位、每瓶两万单位的国产青霉素。中央防疫处一时名扬全国，国际上也知道在中国昆明有一个 NEPB(National Epidemic Prevention Bureau)。权威的英国《自然》杂志 1943 年刊登一篇特写说：“这里还有一个小型的青霉素车间……汤博士的工厂保持了高水平，虽然没有自来水，但他的马厩和动物房都非常清洁。他有一个效率高的培养、分装和检定系统。尤其有趣的是，他有一个自己的玻璃厂，能制造各种中性玻璃器皿。”

后来，汤飞凡利用美国医药援华基金会捐赠的一套小型青霉素制造设备，建起中国第一个抗生素生产车间，于 1948 年生产出堪比进口产品的每支 20 万单位的青霉素。

新中国成立后，科研人员在有利的条件下奋发努力，1953 年 5 月在华北制药厂开始大规模制成青霉素，揭开了中国生产抗生素新的篇章。自此，中国的青霉素生产规模不断扩大，价格不断下降，满足了人民群众治疗的需求。

四、避孕药研发

避孕药的发明是现代医学、化学、生物化学发展的结果。20 世纪 20 年代末，科学家证实了月经的存在和发生是由大脑和卵巢共同产生的性激素控制的。1933 年，德国先灵(Schering)公司的 Proluton 上市，这是历史上第一个生物孕激素。20 世纪 40 年代初，美国化学家卢塞尔·马克尔(Russel Marker)研究发现，对墨西哥几种野生非食用的薯类，通过简单操作可变成一种容易转化为雌激素孕酮的物质。1944

年，马克尔与其他科学家合伙在墨西哥建立了辛泰克斯(Syntex)公司，从丰富的野生薯类中提取出孕酮。以上这些研究都为避孕药发明提供了前期准备。

催生避孕药问世的有两个关键人物：一位是卡尔·杰拉西(Carl Djerassi)，一位是格雷戈里·平卡斯(Gregory Pincus)，两人都有“避孕药之父”之称。究其何故，诚如卡尔·杰拉西所说，每当有人问他：“你是避孕药之父吗?”他都会耐心地回答：一种新药物的诞生还需要一个母亲，通常还需要一个助产士或产科医生。有机化学家必须首先制造出药物；生物学家必须随后在动物身上证明它的活性；然后临床医生才能把它用于人。事实上是，卡尔·杰拉西在墨西哥城的辛泰克斯领导着一个小的化学团队，该团队于 1951 年 10 月 15 日完成了类固醇口服避孕药的首次人工合成。位于马萨诸塞州什鲁斯伯里的武斯特实验生物学基金会的格雷戈里·平卡斯领导着一个生物学小组，该小组最先公布了这些类固醇在动物体内的排卵抑制作用。哈佛的妇科专家约翰·罗克(John Rock)及其同事进行了临床研究，以证明其在人体中避孕的功效。这样看的话，若说杰拉西是“父亲”，那平卡斯就是“母亲”，或把两人的角色对调？而罗克作为“助产士”的作用是毫无疑问的。

避孕药的发明是 20 世纪 50 年代人类科学技术、产业发展的重大事件。1949 年，26 岁的杰拉西从美国来到墨西哥的辛泰克斯公司担任研究副主管，在这里，他带领年轻的团队全力进行新类固醇研究。1951 年 10 月 15 日，杰拉西和他的团队成功合成了孕激素炔诺酮，这也是第一种口服避孕药中的关键成分。接着在当年 11 月 22 日，杰拉西提交了炔诺酮的专利申请表，后来这成为第一项列入美国发明家名人堂的药物专利(美国专利号 2744122)。1952 年 4 月，杰拉西在美国化学协会医药化学部公布了化学合成法的细节，以及这种新物质的生物学活性。

平卡斯比杰拉西年长 20 岁，当时已是知名生物学家。1950 年，平卡斯转入避孕药物的研究，在他接到杰拉西送来的样品后，即安排临床试验。在此基础上，平卡斯研制了用雌激素和孕激素这两种性激素合成的口服避孕药，并很快申请了专利。1956 年，平卡斯与他的同事对在波多黎各、海地的 6 万名女性中进行临床试验，结果表明，新药物的排卵抑制特性可以用于避孕，也可以用于月经调节。1960 年，平卡斯通过瑟尔公司推出了世界上第一粒口服避孕药丸“Pill”，先是在美国销售，次年进入欧洲。其后，多家公司经获准生产避孕药，随着影响的扩大，越来越多的妇女开始接受避孕药。以美国为例，使用避孕药的女性，1961 年近 50 万，1963 年为

220 万，1965 年达到 500 万，1970 年升至 900 万。

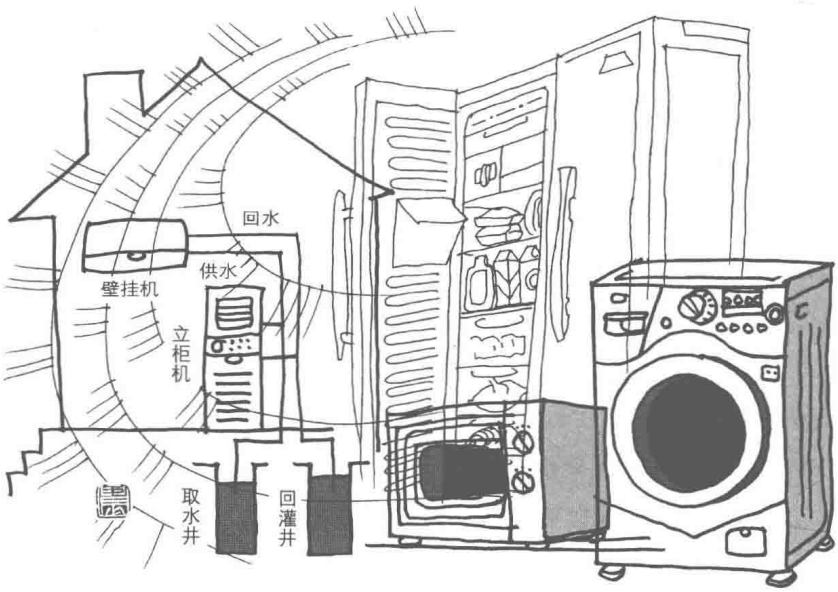
围绕避孕药的使用也引发了争议，医学上有报告称其增加血栓性疾病的风险，及引起其他的副作用如恶心、乳房胀痛、呕吐等，这促使避孕药向低剂量、更安全方面的研究。如今，避孕药的发展已经转入如何适合妇女个体需求，如改善出血模式、改善皮肤状况、给不能或不愿意使用雌激素的妇女提供可靠的避孕方式（如哺乳期妇女）。

避孕药的应用，引来天主教等宗教组织的强烈反对，他们认为用避孕药违反自然天性。在多年以后，天主教国家的情况才得以改善。

而在美英等观念开放的国家，避孕药则对女权主义运动、性解放起了“推波助澜”的作用。

多年实践证明，避孕药避孕的有效率高达 99%，由于安全可靠、使用简便，故受到各国育龄女性的普遍欢迎。

第二十二章
生活技术创新



绘画：王晨

在电子时代，生活技术的创新给大众带来更多的便利，为家庭生活赋予了新的内容。尽管冰箱、洗衣机、空调等产品问世较早，但真正走入百姓之家，却是在电子技术植于这些产品中之后，使其自动、安全、可靠，因而也更便利。

一、冰箱

近代科学的发展促成了冰箱的出现。1805 年，美国发明家埃文斯·奥利弗(Evans Oliver)构思了一台制冷装置，在此技术基础上，美国发明家雅可布·帕金斯(Jacob Perkins)于 1834 年制成第一台实用的制冰装置，利用乙醚为工作物质，采取压缩式制冷，这也是现代制冷系统的雏形。此后，许多科学家、工程师都努力改进制冰机和冰箱设计，出现了一系列冰箱专利。这其中，德国工程师卡尔·琳德(Carl von Linde)发明的产生液化气体的方法，成为制冰机和冰箱的基础性技术。

1918 年，美国卡尔维纳特公司研制了第一台家用自动冰箱，采用水冷压缩机，木制外壳，绝热材料采用海藻和锯屑的混合物。尽管这台冰箱噪声大、价格高，结构也不完善，但它标志着家用冰箱开始进入新阶段。1921 年，美国费里吉代公司制成第一台将压缩机安装在箱体内部的冰箱；1926 年，该公司又制成用薄钢板作外壳的冰箱，从而有利于机械化生产，并延长了冰箱的使用寿命。1927 年，美国通用电气公司首先制造出全封闭式自动制冷装置，1929 年，该公司又推出组合式冰箱(即冷冻室和冷藏室分离组合的双温冰箱)。1933 年，克洛斯莱依公司在冰箱的箱门上设置搁架。经过不断改进，冰箱形式趋于稳定。

早期冰箱的工作物质采用的是氨气、乙醚、氯甲烷、二氧化硫等有毒物质。20 世纪 20 年代发生了几起严重的冰箱毒气泄漏事件，促使科研人员开始寻找无毒且性能好的工作物质。30 年代，在美国多家公司的通力合作下，氟利昂成为新的选择。氟利昂无色、无味、无毒，很快就成为家用冰箱必用的工作物质，此后冰箱发展很快，逐步为大众信赖，也加快了普及。到 1944 年，美国已有 45 家冰箱生产厂，年产冰箱达到 125 万台。

在相当长一段时间内，美国的冰箱生产在世界位居前列。第二次世界大战后，德、意、英、法、日等国纷纷学习、吸收美国的冰箱制造技术，很快形成了本国特色的

生产体系。20 世纪 60 年代，这些后起国家的冰箱生产发展迅速，产量大幅度上升。到 20 世纪 80 年代，世界冰箱产量约为 5700 万台，其中家用冰箱超过 3800 万台以上。这时期的冰箱生产大国有美国、意大利、苏联、日本。美国家用冰箱的普及率高达 99.8%，几乎每个家庭都有一台。

中国冰箱国产化起步较晚。1954 年，沈阳医疗器械厂制造出中国的第一台冰箱，为开启式 200L 单门冰箱。1956 年起，又有天津医疗器械厂、北京医疗器械厂等企业具备了冰箱生产能力，并采用了封闭式压缩机。中国冰箱的大发展是改革开放以后，几十条西方先进的冰箱生产线被引入，使冰箱生产呈现跃升局面，冰箱也进入了百姓家庭。1990 年中国冰箱年产量达到 500 万台，1995 年年产量上升到 900 多万台。更有海尔这样的大型企业，打造冰箱的优质品牌，让中国冰箱走向世界。

随着科学的深入认识，到 20 世纪 80 年代，科学家发现氟利昂会破坏大气臭氧层，威胁人类的环境安全。科学家积极寻找更合适的冰箱工作物质，目前业已出现多种新型的绿色冰箱，如半导体冷热两用冰箱、太阳能冰箱、光能冰箱等。

二、洗衣机

追溯洗衣，已有久远的历史。在洗衣机出现以前，人们长期是用手搓、棒击、冲刷、甩打……这些不断重复的简单的体力劳动，留给人的感受是：枯燥无味，辛苦劳累。

工业革命的发展，机器的广泛使用，促使一些人想到制造洗衣的机器。1851 年，美国人詹姆斯·金(James King)发明了一台手动洗衣机。1858 年，美国人哈密尔顿·斯密斯(Hamilton Smith)获得一种洗衣机专利。斯密斯发明的洗衣装置是通过转动曲柄，带动插在桶中一根立轴上的桨叶来洗衣。1874 年，经商成功的威廉·布莱克斯顿(William Blackstone)为妻子送上一份特别的生日礼物——由他设计的洗衣机。其后，布莱克斯顿开始生产洗衣机，布莱克斯顿的洗衣机构造简单，在木筒里装上 6 块叶片，摇转手柄通过齿轮传动，使衣服在筒内翻转，从而达到“净衣”目的。布莱克斯顿洗衣机的上市，使那些一心想提高生活质量和效率的人大受启发，洗衣机的改进由此加快。1880 年，美国出现了蒸汽洗衣机，以蒸汽动力取代

人力。不久，水力洗衣机、内燃机洗衣机相继出现，洗衣桶也由木结构改成部分金属结构。1907 年左右，阿尔华·费诗(Alva J. Fisher)设计出电动洗衣机，由芝加哥的赫利(Hurley)机器公司制造，这是世界上第一台电动洗衣机，1910 年获专利。该洗衣机由一个木滚筒构成，衣服放进去后，滚筒先向一个方向转动数圈，然后再反转数圈，在反复滚动中洗涤衣服。然而，电动洗衣机的发展缓慢，部分原因是直到第一次世界大战，电的使用还不普及，没有佣人的家庭缺少电力供应；有佣人的家庭让佣人洗，不购买洗衣机。

20 世纪 20 年代，美国和加拿大推出了一种改进的木桶式洗衣机，桶内装有一个木制的搅拌棒，电动机固定在木桶的下面，由皮带传动再通过齿轮带动搅拌棒洗衣。通过啮合齿轮，还可运作一个装置挤干衣服的水分。不过，这种洗衣机存在严重缺点，溢出的水容易落到电动机上，引起短路和触电，搞得使用者胆战心惊。30 年代，科技人员设计出金属壳体的洗衣机，并使用防水电动机，避免了危险。

1936 年，美国本德克斯(Bendix)公司研制成功第一台前装式滚筒洗衣机，同年申请专利。新型洗衣机使洗涤、漂洗、脱水在同一个滚筒内完成，这意味着洗衣机技术跃上一个新台阶。滚筒式洗衣机的基本结构是两个套筒，呈水平方向安装，外筒固定，用来盛放洗涤剂和水，并起支承作用；内筒可围绕水平轴旋转，故称为滚筒。从诞生起，滚筒式洗衣机的基本结构变化不大，发展至今，滚筒式洗衣机已是世界上应用数量最多的洗衣机。

1957 年，美国通用电气公司推出了能控制洗涤时间、温度、搅动速度、旋转速度的全自动洗衣机，使洗衣机技术又迈进一步。经济的发展，技术的成熟，加之社会需求，使欧美国家形成庞大的洗衣机产业，20 世纪 60 年代后，洗衣机在欧美国家得到极为广泛的应用，不仅家庭、医院、宾馆、饭店常见，街头也建起便利市民的自动洗衣店，投币后按程序即可使用。

中国由于历史原因，洗衣机工业起步较晚，直到 1978 年才正式生产家用洗衣机，当年产量仅 400 台。进入 20 世纪 80 年代，中国洗衣机工业强劲发展，1983 年飙升至 365 万台。此后全国各地掀起大规模的技术引进热潮，有 40 多个厂家先后从日本、英国、法国、意大利、澳大利亚等国引进洗衣机技术 60 多项，在引进、消化、吸收的基础上创新，申请专利，极大地提升了国产洗衣机的产业素质与生产能力，缩短了同发达国家之间的差距。到 20 世纪末，中国洗衣机年产量已占世界年产量

的四分之一，居于世界的首位。

三、空调机

最初，空调机发明的目的不是为了给人们营造舒适的生活环境，而是用来降低印刷车间的温度和湿度。1901 年夏，纽约布鲁克林印刷出版公司的印刷机由于空气的温度及湿度变化，使纸张的扩张、收缩不定，导致无法保证清晰的彩色印刷品。为此，印刷出版公司找到制造供暖系统的布法罗铸造公司（Buffalo Forge Company），希望提供一种能够调节空气温度和湿度的设备。布法罗铸造公司将任务交给年轻的美国工程师威利斯·开利（Willis Carrier）。开利想，既然充满蒸汽的管道可以使周围的空气变暖，那么将蒸汽换成冷水就可以使周围的空气变冷，同时设置喷雾装置就能使潮湿空气中的水分在水管上冷凝成水珠滴落，从而将空气变干燥。基于这一设想，开利进行研究，于 1902 年 7 月 17 日给布鲁克林公司安装了由他设计的设备，取得了较好的效果，世界上第一台空气调节系统由此诞生。很快，其他行业如纺织、化工、制药、食品甚至军火业等，亦因开利空调技术的引进，使产品质量提高和稳定。与沃夫的设计相比，开利的技术关键在于：在控制空气温度的同时能较准确的控制空气的湿度。1906 年 1 月，开利获得“空气处理装置”的美国专利。与此同时，美国工程师斯图亚特·克拉姆（Stuart Cramer）致力于把湿气和通风结合一起，以为他的纺织工厂调节空气湿度和温度，为此他设计安装了一套吊顶式空调，并应用于包括自家在内的多家纺织厂。1906 年 4 月，克拉姆获得专利，在专利申请书中，他首次创造了“air conditioning”（空调）一词，此后他申请了 60 多项与空调相关的专利。1907 年，开利出口了第一台空调，买家是日本的一家丝绸厂。随着需求的高涨，1915 年，开利接受了“air conditioning”一词，并与他人合办了开利空调工程公司（The Carrier Air Conditioning Engineering Corporation）。1930 年，开利兼并多家公司，成立了开利空调公司。开利一生拥有 80 多项空调专利，被称为“空调之父”。

美国的夏天异常炎热，很多商场、剧院、娱乐场所不得不关门歇业，自从空调发明以后，情况大变。1922 年，开利研制成功离心冷却器（centrifugal refrigeration machine），它的特点是效率高，使大规模空间制冷成为可能，为空调的推广铺平了

道路。1924 年，底特律的赫德森百货公司安装了三台 195 冷吨[①]的开利空调离心机组，凉爽的环境刺激了人们的消费欲望。1925 年，纽约里沃利大剧院安装了 133 冷吨的空调系统，演出时座无虚席，夏季竟取代冬季成为看电影的高峰季。随后出现了大量全年开放的室内娱乐场所，如赌场、室内运动场和商场，这些都得归功于空调。此后 5 年时间里，开利公司给 300 多家商场和影剧院送去了清凉。1928 年美国众议院安装了空调，1929 年美国参议院和国会安装了空调，1930 年美国白宫安装了空调。空调从此进入了迅猛发展的时代。

在炎热的天气里，当人们争相去影院、商场避暑时，人们总是会感慨：为什么空调不能安装到家里呢？空调公司无疑也看到空调家用的潜力，不过，最初的空调体型硕大，一般家庭实难容纳。1928 年，开利公司推出了“Weathermaker”第一代家用空调。此空调多只安装于别墅，空调管道铺设需与新家装修同步，或将房子的供热系统改造，这让普通居民望而却步。1930 年，美国通用电气公司推出第一个独立的单元式空调。1931 年，开利公司生产柜式空调投入市场。1932 年，家用冷暖窗式空调诞生，人们第一次不需要重新装修房子就可以安装空调。1938 年，可使用电源插座的氟利昂制冷窗式空调上市。经过第二次世界大战的停滞，1947 年，价格低廉的窗式空调开始大量生产，这年，开利公司卖出了 43 000 台窗式空调。1952 年，开利研制出第一套实用的家庭中央空调系统，适合于多个房间同时制冷。1961 年，日本东芝公司研制出世界上第一台分体式空调，比窗式空调噪声小很多，其后逐渐成为市场主流产品。1965 年，阿波罗登月计划采用了开利的环境控制系统，用于维持登月火箭在发射后的精确运行环境。1969 年，超过一半的新式汽车安装了空调。1972 年，世界上最大的三台离心式冷水机组被安装于美国达拉斯机场，单机冷量达到 8500 冷吨。1980 年，随着电子技术的发展，变频空调问世。早期空调应用了有毒的或者是可燃的气体，如氨气、氯甲烷、丙烷，这类气体如果发生泄漏事故，后果会非常严重。1928 年，美国工程师托马斯·米德雷（Thomas Midgley）发明了无毒的制冷剂氯氟碳气体（氟利昂是氟氯类制冷剂的总称），此后陆续出现多种氟氯类制冷剂。这种制冷剂对人类安全得多，但是对大气

① 冷吨，制冷学单位，表示 1 吨 0℃ 的饱和水在 24 小时冷冻到 0℃ 的冰所需要的制冷量。1 冷吨＝3.517 升瓦。

臭氧层有害，1987 年氟氯化碳制冷剂开始被淘汰。作为替代品，一些对臭氧层无害的制冷剂已投入使用。1996 年，开利公司率先生产出对臭氧层无损耗的商用及家用空调系统。

四、微波炉

微波炉是一种利用微波加热食品的新型烹调灶具。微波是一种波长很短的电磁波，它能引起食物内部分子运动并产生热量，达到将食物烹熟的目的。由于用微波炉烹饪食物又快又方便，不仅味美，而且有特色，因此有人诙谐地称之为“妇女的解放者”。的确，微波炉已成为西方家庭必备的厨具之一，大大解脱了女性传统的劳作。

微波炉的发明者是美国雷声公司(Raytheon Company)的工程师珀西·斯潘塞(Percy L. Spencer)博士。1945 年的一天，斯潘塞在研究雷达装置上的磁控管时，发现放在口袋里的巧克力融化了，他感到奇怪，经过仔细检查，联想起微波在传输过程中出现的绝缘介质发热现象，斯潘塞意识到，很可能是磁控管发出的微波起作用将巧克力融化。斯潘塞拿来爆米花和鸡蛋放在磁控管附近试验，事实证明，微波确实能使物体发热。斯潘塞受到启发，他想利用微波的特性来加热食品或其他物质。不久，斯潘塞制作了一个一面开口的金属箱，将食物放入里面，开启磁控管，磁控管的微波能量进入金属箱，正如期望的那样，食物的温度迅速升高。这就是最早的微波炉雏形。斯潘塞很快申请了两项微波处理食物的专利。

美国雷声公司意识到微波炉潜在的市场价值，即组织一批工程师沿着斯潘塞的思路继续研发，1947 年制成世界上第一台落地式商用微波炉，因它的发明灵感来自雷达装置，因此最早就被称为“雷达炉”(Radarange)。雷声公司仅 1947 年一年就申请了 11 项与微波炉相关的专利。最初的微波炉是大个头，高 1.8 米，重 340 千克，要带一只 3000 瓦的水冷磁控管，安装麻烦，售价 5000 美元，因而大多数餐馆和食品生产商都不愿意尝试这种新产品，只有像旅客列车、远洋轮船等需要短时间内大量烹制食物供应客人的单位才订购这种大设备。使用过程中人们又发现炉门密闭性不好，逸出的微波会伤人，这都影响了微波炉的推广，最初的销售情况很不理想。

随着技术的革新，美国泰潘公司（Tappan Stove Company）和雷声公司合作，成功研制一种新型的风冷式磁控管，使微波炉的体积、重量和价格都大幅度下降，到1954年时，售价降到3000美元。1955年，泰潘公司推出了第一台电压为220伏的家用微波炉，价格为1300美元，中上等收入家庭已愿意接受，但对一般家庭还是贵了些。

1967年，美国阿曼纳公司（Amana Company）的工程师乔治·福斯特（George Foerstner）对微波炉进行了大胆改造，他与斯潘塞一起设计了一种耐用且价格低廉的微波炉。这个微波炉有两个按钮“开始”和“照明”，还包括两个控制旋钮，一个调整蒸煮时间（0～5分钟），另一个调整烹饪时间（0～25分钟）。炉门采用了能防止微波泄漏的抗流密封门，同时采用了新型小巧、效率更高的晶体管，售价不到500美元。新型微波炉因体积小、安全、实惠，当年销售量便超过5万台，其后的销售量逐年上升。1975年，阿曼纳公司又第一个推出了采用微处理器的微波炉，该炉具有10种烹饪速度和4种烹饪程序，性能可靠和多种选择结合，受到消费者的广泛欢迎。

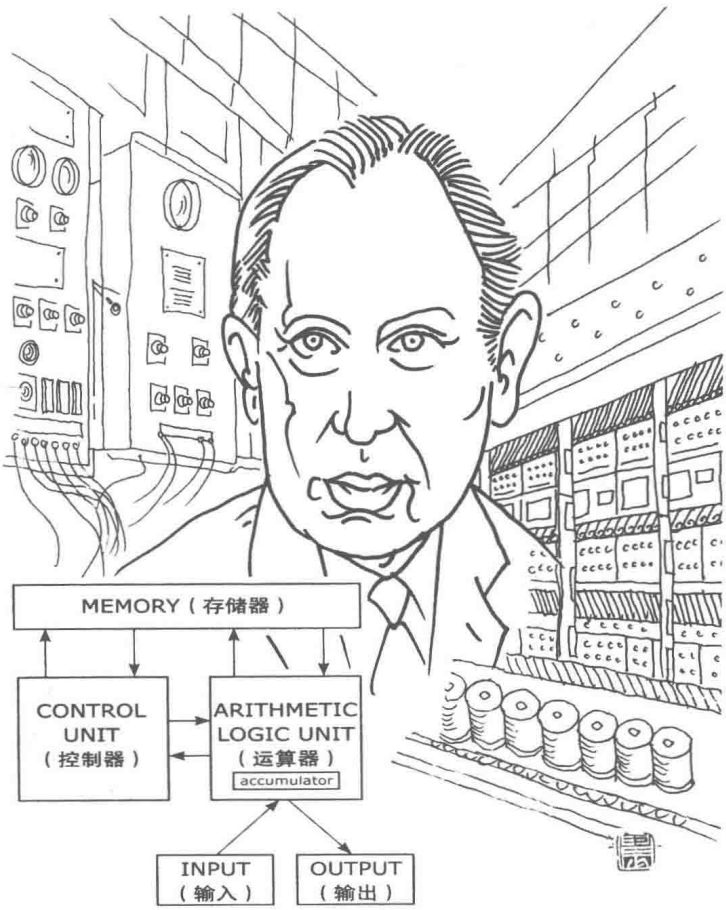
微波炉如今已成为很有发展前途的现代灶具。在工业发达的日本、美国和欧洲，家用微波炉普及率高达85%以上，并且还有发展空间。中国从20世纪80年代开始引进生产微波炉，很快就呈跃进式发展局面，到1990年生产厂家有30多家，产量达到200万台，并且涌现了“格兰仕”“美的”等知名品牌。微波炉逐步进入了中国的普通家庭。



第四部分
计算机时代

从 17 世纪起，就有许多科学家为制造机械式计算机而努力。19 世纪末，计算机器研究从自动机械式开始转向机电式。20 世纪 30 年代，随着电子管的开发应用，使研制电子计算机成为可能。1946 年 2 月，世界上第一台电子数字积分计算机成功运行。1953 年 4 月 7 日，IBM701 问世，它是 IBM 公司的第一台商用科学计算机，也是第一款批量制造的大型计算机，以此为标志，拉开了计算机时代的帷幕。

第二十三章
电子计算机兴起



绘画：王晨

数百年来，计算机发展先后经历了机械式、机电式和电子式几个阶段。直到1946年，随着爱尼亚克的成功运行，开启了电子计算机研究的新阶段。

一、爱尼亚克诞生

爱尼亚克的全称是电子数字积分计算机（electronic numerical integrator and computer，ENIAC），是世界上第一台成功运行的电子计算机，按英文缩写ENIAC的读音，中文译作“爱尼亚克”。

第二次世界大战促使了爱尼亚克的诞生。1942年，盟军在北非登陆，美军发现地形广阔而多变，造成射击有很大偏差，由于没有修正的弹道表，难以进行准确射击。为了解决这个问题，美国陆军的弹道实验室找到宾夕法尼亚大学的摩尔学院，希望开发一种新的计算机器。此前制作一张火力表需要几百个弹道参数，而算出一条飞行时间为60秒的弹道，一个熟练的计算人员用台式计算器要花20个小时。从战争一开始，弹道实验室就征聘了二百多名专职人员从事计算，即便如此，还是不够用，开发新的计算机器迫在眉睫。

摩尔学院的物理教师约翰·莫奇利（John Mauchly）关注电子计算技术的进展，1942年8月，他写了一份题为《高速电子管计算装置使用》的备忘录，提出用电子技术代替通行的机电技术的计算，如果采用这一方案，弹道计算可由15～30分钟缩短至100秒。弹道实验室看中莫奇利的方案，1943年4月与摩尔学院达成协议，给予经费支持，由摩尔学院承担研制“爱尼亚克”的任务，36岁的莫奇利担任总体设计，24岁的普雷斯帕·埃克特（Presper Eckert）负责电路研制，并组织团队来建造。

经过几年奋战，爱尼亚克研制成功，它长24米，高2.5米，重30吨，俨然是庞然大物。“爱尼亚克”内部装有18 000个电子管，采用十进位制，每秒钟运算5000次加法或50次乘法，运算速度是继电器式计算机的100倍，这是人类计算速度实质性的大飞跃。

1946年2月15日，爱尼亚克在正式庆典上揭开面纱，相关的报道登上《纽约时报》头版。同年底，“爱尼亚克”被运往阿伯丁弹道研究实验室，开始了它的计算生涯。爱尼亚克虽然是为弹道计算而开发的，却没有赶上在“二战”中发挥作用，不过

它在氢弹的研制中立下大功。除了常规的弹道计算外，原子核能、风洞试验等诸多领域显露身手。1955 年 10 月 2 日，爱尼亚克在运行10 年后光荣“退休”。

1946 年 3 月，在爱尼亚克正式问世后一个月，莫奇利和埃克特离开宾夕法尼亚大学，创办“电子控制公司”，后又更名为“埃克特—莫奇利计算机公司”，这是世界上第一家计算机公司。促使他们“下海”的原因，先是两人宣布将申请专利时，引起宾州大学的不满，校方坚持相关的专利技术都归学校所有，个人无权申请。两人开始拒绝，后表示同意。在承诺放弃权利后，莫奇利和埃克特想出新招，就电路和刷新存储技术申请一系列专利，岂料这对爱尼亚克小组的其他成员造成了伤害。

1947 年 6 月 26 日，莫奇利和埃克特为爱尼亚克申请专利，所写的材料多达 207 页，其中设计图就有 91 页。这一专利直到 1964 年才获准并公布，此时，电子管技术早已过时。莫奇利和埃克特不善经营，他们的公司在 1950 年 2 月被雷明顿—兰德公司收购。

故事并未结束。爱尼亚克专利的公布，引起约翰·文森特·阿塔纳索夫（John Vincent Atanasoff）的强烈不满，他认为莫奇利剽窃了他的想法。因为早在 1937 年，阿塔纳索夫还在艾奥瓦州立大学物理系任副教授时，就写下发明电子计算机的明确想法。利用电子管执行数字计算与逻辑运算，使用电容器进行数值存储，数据输入采用打孔读卡方法，采用二进位制，这些基本思想都是他首先提出的，阿塔纳索夫和研究生贝里（Berry）也实际制造出了样机。遗憾的是，他们为此所写的专利申请不幸被学校的律师搞丢了。还有更重要的证据，在 1940 年 12 月的美国科学促进会的年会上，莫奇利与阿塔纳索夫相见，阿塔纳索夫谈到关于自己设计制造的 ABC 计算机，莫奇利表现出极大的兴趣，并于次年 6 月专程到艾奥瓦州立大学，逗留了 5 天，仔细了解 ABC 计算机的技术细节和工作原理。正如此，才有后来莫奇利的成果。

1973 年，美国明尼苏达地区法院在经过数年调查后，认定爱尼亚克的设计制造者深受 ABC 计算机的影响，爱尼亚克不能作为一项独立的发明，法院判决莫奇利和埃克特的专利无效，认定阿塔纳索夫是真正的电子计算机的发明人。由于前后所费时间之多，此案被认为是美国历史上最耗时的一桩知识产权案例。

追溯历史可知，计算机经历了机械式、机电式和电子式几个阶段。世界上第一台电子计算机当推阿塔纳索夫和贝里发明的 ABC 计算机，然而谈及第一台成功运行的电子计算机，就属莫奇利和埃克特制造的爱尼亚克。

二、电子计算机结构

在电子计算机发展史上，有一位天才人物为电子计算机的发展指明了方向，确定了基本结构，他就是美籍匈牙利裔科学家冯·诺依曼(John von Noumann)。

第二次世界大战期间，冯·诺依曼参与美国原子弹秘密研发，因处理大量的计算而关注电子计算机研究。当他介入爱尼亚克研制时，很快洞察问题所在，撰写专题报告，高瞻远瞩指明了电子计算机发展的方向。

冯·诺依曼 1903 年 12 月 28 日出生于匈牙利首都布达佩斯，父亲是富有的犹太银行家，1913 年荣获贵族封号，这成了他们家姓中“von”(冯)的来源。冯·诺依曼小时候接受家庭教师的教育，先后学习德语、法语、英语、拉丁语和希腊语。

冯·诺依曼中学毕业，到柏林大学学习化学工程，同时也在布达佩斯大学注册为数学博士学位候选人。这期间，冯·诺依曼学了很多数理方面的课程，并同著名数学家交往。1926 年，冯·诺依曼以论文《集合论的公理化》获布达佩斯大学的数学博士学位，当时还不满 23 岁。

1930 年初，冯·诺依曼接受普林斯顿大学的邀请赴美讲学，从此与新大陆结下了不解之缘。除了继续在德国开启的研究外，冯·诺依曼开辟了多个新方向，其中特别重要的有遍历理论、拓扑群理论和算子代数理论。临近第二次世界大战爆发，冯·诺依曼的研究方向发生转变，他从纯粹数学转向应用数学。由于解非线性方程，要处理的数据很多，而当时的机械加法机无法胜任，冯·诺依曼开始研究数值分析，并关注计算机的改进。

1943 年 9 月，冯·诺依曼成为曼哈顿计划的重要成员，经常飞往位于新墨西哥州洛斯阿拉莫斯的原子弹秘密基地工作。当时由于铀 235 有限，洛斯阿拉莫斯的科学家也在研发使用钚 239 的核弹，冯·诺依曼负责研究爆聚，以使爆炸冲击波压缩原子弹钚核心达到临界质量。

计算爆聚必须解大量非线性方程式，最初大部分计算是靠纸和笔进行。1944 年 4 月，基地理论部配备了 IBM 穿孔卡片台式计算机，大大提高了效率。由于台式计算机还是有局限，促使冯·诺依曼对现行的计算机进行改进。在看过宾夕法尼亚大学的爱尼亚克后，他的思想逐步明确：要制造既能以电子速度运转，又能在内部

存储和修改程序的计算机。

冯·诺依曼成为爱尼亚克团队的顾问，大力推动他的观念：计算机程序应该与一般资料存储在相同的记忆装置上，这样可便于工程师在机器运行中修改程序。

在经过反复讨论、思想不断碰撞的情况下，爱尼亚克团队向陆军军械部提出建议，改进并制造新一代的爱尼亚克，新机器名为“电子离散可变自动计算机”(electronic discerte variable automatic calculator，缩写为 EDVAC)。

1945 年 6 月，冯·诺依曼写出长达 101 页的报告，标题是《关于 EDVAC 的报告草案》(First Draft of a Report on the EDVAC，简称《报告草案》)。

《报告草案》虽并未完稿，但其内容已非常丰富，主要表述了两个重要思想：一是控制计算机的程序应该存放在存储器中，而不是由开关连线来实现(开关连线会大大降低计算机的运行效率)。二是计算机应该采用二进制，而不是十进制(十进制的方式会导致计算机的内部结构变得异常的复杂)。

《报告草案》明确计算机的内部结构应该由五部分组成：中央运算(缩写 CA)、中央控制(缩写 CC)、存储(缩写 M)、输入设备(缩写 I)和输出设备(缩写 O)。所说的这五个部分如今的表述是：运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备，也简称为“冯·诺依曼结构”。

大半个世纪过去，尽管计算机在具体技术、元器件方面发生了翻天覆地的变化，但绝大多数计算机仍都以“冯·诺依曼结构”为设计基础。

三、电子计算机语言

人与人交流需要语言，人与计算机交流也需要“语言”，这是计算机语言，确切地称是计算机程序设计语言(computer programming language)，它由特定的符号和使用规则组成。

计算机不断发展，使用的语言也随之发生很大变化，先后经历了机器语言、汇编语言、高级语言、结构化程序设计语言、面向对象语言等几个阶段。

计算机发明之初，采用穿孔纸带输入指令，这是机器语言阶段。机器语言全是由 0 和 1 构成的指令代码，又称为二进制代码语言。这种语言计算机容易识别，但是用这种语言编写程序，存储空间的安排、地址的分配都得由程序员自己制订，只

限于少数专业人士使用。

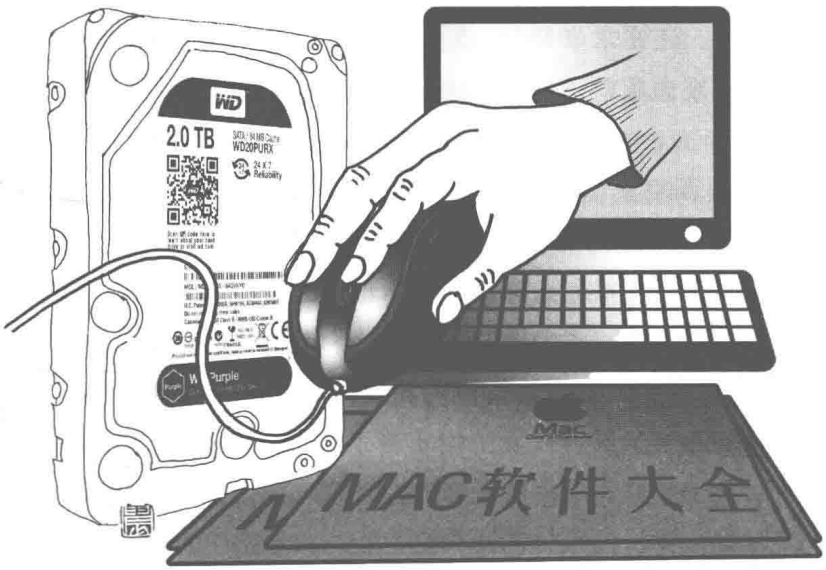
由于机器语言难以记忆和运用，人们逐渐采用助记符号来代替 0、1 代码，如 ADD 表示加法运算、AND 表示与运算、JMP 表示无条件转移指令等，虽然它只是对机器语言的简单替换，但也是一个进步。

计算机进一步发展，出现了多种直接表达计算机式和逻辑式的语言，即高级语言。1954 年 FORTRAN 问世，成为第一个被广泛接受的高级语言。半个多世纪以来，使用较普遍、影响较大的高级语言有 FORTRAN、ALGOL、COBOL、BASIC、LISP、Smalltalk、PL/1、Pascal、C、PROLOG、C++、VC、VB、JAVA 等。高级语言与自然语言和数学表达式相当接近，通用性较好，是计算机编程语言的一大进步。

随着计算机硬件技术发展，人们对大型、复杂的软件需求量增多，常因缺乏科学规范、系统规划与测试，造成程序含有过多错误而无法使用。20 世纪 60 年代中后期爆发“软件危机”，促使人们对程序设计方法、程序的正确性和软件的可靠性等问题进行深入研究。在程序设计方法学中，结构化程序设计占有重要地位。结构化程序设计思想采用“自顶向下、逐步求精”的方法，避免被具体细节所缠绕，设法降低难度，将复杂的程序设计任务分解为多个易于控制和处理的子程序，便于开发和维护。1970 年，瑞士计算机科学家尼克劳斯·沃兹（Niklaus Wirth）开发出第一个结构化程序设计语言——Pascal 语言，标志着结构化程序设计时期的开始。在整个 20 世纪 70 年代的软件开发中，结构化程序设计方法一度占据绝对统治地位。另外常见的结构化程序设计语言还有 C、FORTRAN、True BASIC 等。

20 世纪 70 年代，计算机应用领域不断扩大，对软件技术的要求上升，结构化程序设计语言的缺点（如代码的可重用性差、可维护性差、稳定性差等）日益显露，已难以满足用户的新需求。为使计算机更易于模拟现实世界，1967 年，挪威计算机科学家克利斯登·奈加特（Kisten Nygaard）和欧-约翰·戴尔（Ole-John Dahl）开发了第一个面向对象的程序设计语言——Simula 67，它提供了比子程序更高一级的抽象和封装，引入了数据抽象和类的概念。随后又发明和设计出 Smalltalk、C++、Java、C# 等面向对象的语言。面向对象方法，是按人们认识客观世界的思维方式，基于对象（实体）的概念建立模型，模拟客观世界分析、设计、实现软件的办法。能贯穿这种思想的语言，可以简单理解为面向对象的计算机程序设计语言。面向对象的语言的出现，把软件开发推向新的高度。

第二十四章
计算机技术变革



绘画：王晨

计算机的核心部件从电子管到晶体管再到集成电路，最终研发出微处理器，使计算机发生了想象不到的变化，价格大幅度降低，性价比不断提升，微型计算机进入百姓之家。计算机技术创新带来硬件、软件、外围设备的发展，形成庞大的计算机产业链，带动了计算机学科教育，产生了若干的工作机会。

一、鼠标

鼠标(mouse)配合计算机操作使用，不可小视它是影响世界的一大发明。

最初的计算机没有鼠标，当时的操作者通过键盘输入指令，指令由英文文字或数字组成，操作之烦可以想见。

世界上的第一个鼠标诞生于美国斯坦福大学，它由道格拉斯·恩格尔巴特(Douglas Englebart)发明。恩格尔巴特1948年毕业于俄勒冈州立大学，1956年在加州大学伯克利分校获得电气工程/计算机博士学位，1957年进入著名的斯坦福研究所(SRI)工作。还在求学期间，恩格尔巴特就萌生想法：要利用计算机“扩展人类智能”。由于观念超前于许多同时代人，恩格尔巴特常常得不到理解，只好孤军奋战。

1962年，受美国空军部研究经费的支持，恩格尔巴特开始进行“扩展人类智能”的研究。当时，圈内的学者大都不能理解他的想法的价值，而恩格尔巴特坚持信念，一年后，他发表了《增加人类智慧的概念性框架》一文，阐明自己的理论基础，提出计算机是人类智力的“放大器”的观点，认为必须改善人机交互方式，发展交互式计算机技术。在得到国防部的支持后，恩格尔巴特于1964年发明了鼠标器(实际上，鼠标器只是恩格尔巴特开发的编辑器系统的一部分)，这只鼠标的外形是一只小木头盒子，其工作原理是由它底部的金属滚轮带动枢轴转动，由变阻器改变阻值来产生位移信号，并将信号传至计算机主机。实验室中，恩格尔巴特和同事叫这个拖着电源线长尾巴的小家伙为“mouse”(老鼠)，而在正式申请专利时(1967年6月21日)，恩格尔巴特使用的名称是“X—Y位置指示器”。

1968年12月，在联合计算机会议上，“鼠标器”首次亮相，便引起轰动。1981年，第一只商业化鼠标诞生。1983年，罗技公司发明了第一只光学机械式鼠标，这种鼠标结构后来成为业界的标准。

1983 年 6 月，苹果公司把经过改进的鼠标装设在 Lisa 电脑上，从而使它像键盘一样成为电脑中必备的输入装置。1983 年 5 月，微软公司推出它的第一个鼠标；到 1987 年，鼠标已销售了 50 万个。“鼠标”一名也比它的学名更深入人心，传播开来。

自 20 世纪 90 年代，鼠标随着网络热的升温而传遍世界。鼠标实现了计算机操作的变革，而风靡全球的 Windows 操作系统及其相关应用软件的普及，亦加速了鼠标在 PC 间的广泛应用。

经过几十年的时间，鼠标经历了从机械鼠标、光电鼠标到无线鼠标的飞速发展，现在具备多种功能的鼠标层出不穷，如红外线控制的“隐身鼠标”、依靠人的瞳孔转动来控制的鼠标、供残疾人使用的鼻子鼠标……

随着触摸、手写输入技术的发展，鼠标的重要性在不断下降，可能某一天退出历史舞台，但是鼠标对电脑普及所作的贡献将永远被铭记。

二、硬盘

硬盘是计算机相关的重要数据存储设备，分为传统硬盘和固态硬盘（又称闪存）。传统硬盘是指装有一片或多片硬质圆盘读写磁头、磁头定位机构和主轴电机，并密封于壳体里以防污染的设备，它称为“磁盘驱动器”或“硬盘驱动器”。

计算机最早使用过穿孔纸带、磁带存储程序和数据，这些存储方式容量低、速度慢，而且有先天缺陷：它们都是依顺序存储，为了读取后面的数据，必须从头开始，无法实现随机存取数据。另外，为了解决因断电引起的指令、数据丢失，也需要具有永久存储特性的存储介质。

现实需求是发明的强大推动力。1956 年 9 月，经过近三年的努力，美国 IBM 公司向世界展示了第一个磁盘存储系统 IBM350 RAMAC（random access method of accounting and control），这套系统的磁头可以直接移动到盘片上的任何一块存储区域，从而成功地实现了随机存储。该系统的总容量只有 5MB，共使用了 50 个直径 24 英寸的磁盘，盘片表面涂有一层磁性物质，它们被叠起来固定在一起，绕着同一个轴旋转。新系统虽然体积庞大，但处理数据的速度比磁带式机快了 200 倍，由此标志着硬盘技术的第一次革命。在研发团队中，工程师艾尔·舒加特

(Al Shugart)发挥了重要作用,后来他离开 IBM,创建希捷(Seagate)公司,成为有影响的硬盘生产企业。

1968 年,IBM 提出"温彻斯特"(Winchester)技术,探讨对硬盘技术做重大改造的可能性。"温彻斯特"技术的精髓是:"密封、固定并高速旋转的镀磁盘片,磁头沿盘片径向移动,磁头悬浮在高速转动的盘片上方,而不与盘片直接接触",这也是现代绝大多数硬盘的原型。1973 年,IBM 制造出第一台采用"温彻斯特"技术的硬盘,从此硬盘技术的发展有了可靠的结构基础,在其后几十年的发展中,磁盘容量成百上千倍地增长,读写速度极大地提高。

硬盘的容量扩展主要取决于盘片和磁头。与盘片相比,磁头技术变化更为显著。几十年间,磁头经历了从薄膜、磁阻到巨磁阻的跨越式发展。

最早的磁头采用铁磁性物质,在磁感应敏感度上不够理想。因此早期的硬盘单碟容量比较低。1979 年,IBM 发明了薄膜磁头(thin film,TFI),为减小硬盘体积、增大容量、提高读写速度提供了可能。薄膜磁头实际上是绕线的磁芯,这种技术有一定局限性。

20 世纪 80 年代末,IBM 研发出各向异性的磁阻磁头(anisotropic magneto resistance,AMR),AMR 磁头使用 TFI 磁头来完成写操作,但用非常薄的磁性材料来作为读元件。在有磁场存在的情况下,磁性材料的电阻会随磁场而变化,进而产生相应的信号。AMR 磁头大大提高了面密度,使硬盘的容量首次进入 GB(1GB = 1024MB)时代。不过 AMR 薄膜的电阻变化量有一定限度,使得 AMR 磁头的灵敏度也存在极限,其后便是巨磁阻磁头的问世。

巨磁阻磁头(giant MR)也是由 IBM 发明的。GMR 磁头继承了 TFI 磁头和 AMR 磁头中采用的读/写技术,但它的读磁头对于磁盘上的磁性变化表现出更高的灵敏度,从而可以实现更高的存储密度。1997 年,全球首个基于巨磁阻效应的读出磁头问世,一时引发了硬盘"大容量、小型化"革命,笔记本电脑、音乐播放器等各类数码产品所装备的硬盘,迅速跟上潮流。

硬盘一直都是采用纵向记录技术(longitudinal recording),随着存储密度的快速提升,"超顺磁效应"显露出来,研究人员发现,纵向记录技术的存储密度高于 120GB/平方英寸,已无法保存完整的数据。正是纵向记录技术的饱和又催生出另一种技术,这就是垂直记录技术(perpendicular magnetic recording,PMR)。如果把

一个磁单元比作一个小小的骨牌，那么，纵向记录就是将骨牌（即磁单元）以水平模式存放，因此占用了较多的空间。而垂直记录技术则是将骨牌直立起来，从而有效地提升了磁盘表面每平方英寸的磁单元数量，增加了整体的存储容量。2005 年起，希捷、日立、西数、东芝、三星等大型磁盘供应商，纷纷采用 PMR 磁头技术。

就在传统硬盘技术跃变时，20 世纪 80 年代末期，固态硬盘（solid state disk）横空出世。固态硬盘的存储介质分为两种：DRAM 或 FLASH 芯片，其最大的优点是不用磁头读取，因此在抗震抗摔和稳定性方面显得特别突出。另外，数据存取速度快，没有噪声，轻便，相比传统硬盘具有竞争优势。固态硬盘发展至今，不仅与传统硬盘分庭抗礼，甚至还大有取传统硬盘而代之的趋势。

硬盘产业化的发展，表现为硬盘厂商的兴起、兼并和竞争。希捷在 1996 年发展成为资产达 70 亿、员工 10 余万人的世界最大的硬盘生产厂商。2000 年，迈拓（Maxtor）收购昆腾；2003 年，日立收购 IBM 硬盘事业部；2005 年，希捷收购迈拓（Maxtor）。竞争带来技术进步，最终使消费者受益，推动了经济和社会发展。

三、软件

在信息技术中，硬件是载体，软件是核心、是信息技术产业的灵魂。对软件的一般理解是包括程序、数据以及相关文档的集合。程序是按事先设计的功能和性能要求执行的指令序列；数据用来描述处理对象，并能够被程序操作；文档是与程序开发、维护和使用有关的图文材料。

软件的发展经历了从无到有，从简单到复杂，从单一到多应用的过程。

1945 年 6 月，著名科学家冯·诺依曼在《关于 EDVAC 的报告草案》中提出存储程序的概念，被视为是计算机软件发展的开端。1956 年在 IBM704 上首次运行了符号汇编程序 SAP，在计算机程序发展史上具有里程碑的意义。

微处理器等硬件技术发展的同时，也对软件的功能和性能提出新的要求。在软件领域，数据结构及算法等方面取得技术突破，区分了系统软件和应用软件。系统软件主要包括操作系统（如 MS-DOS、Windows、UNIX、Linux），编译系统，网络系统。应用软件是为了满足用户不同领域、不同问题的需求而专门定制和研发的软件，如工程计算软件、商业数据处理软件等。在这些系统软件和应用软件背后都有

知识产权的保护，一方面在一段时期内给发明者适当的垄断，另一方面也需要发明者公开相关内容以便于其他公司或个人的学习和研究。法律的作用促进了技术竞争，并满足了消费者的需求。

以广泛知晓的 Windows 为例，其发明并不是微软的原创，而是施乐。但是后来微软投入了大量的人力资源进行研发，在系统软件领域取得了很多的发明，获得了多项知识产权的成果，推动了 Microsoft 从 Windows 1.0 直到 Vista 的发展。

个人计算机的广泛使用，带来应用软件的急剧发展，使得嵌入式软件快速上升，表现在手机软件的大规模开发和应用。以 Linux 为代表的开源技术被广泛应用，软件代码的复用率不断提高，软件研发的规模扩大，质量提高。与知识产权保护对应的开源软件的发展，促进了技术进步，大大降低了软件价格。

软件的开发是一个系统工程。从开始的需求调研、分析、设计、编码、测试、安装、维护到升级，需要投入大量的人力、物力和财力。可以说，一个成熟的软件，是大批软件技术人员辛勤劳动的结晶。如以国内知名软件 WPS 为例，2002 年 9 月，金山公司为研发新版 WPS，押上 3500 万元，组织 100 名研发人员，放弃 14 年来的所有技术积累，从第一行代码重新开始，耗时 3 年，终于推出新版 WPS。

当今世界，软件产业已成为信息产业中的支柱产业。在中国，1995 年软件产业收入仅为几十亿元，到 2005 年软件产业收入已达 3900 亿元，“十五”期间平均增速超过 45%。

四、笔记本电脑

笔记本电脑（又称手提电脑或膝上电脑），因便于携带，外形尺寸似大笔记本而常被简称“笔记本”。英文单词表示有 notebook、laptop。

笔记本电脑同台式计算机一样，由处理器、内存、硬盘、显示器、键盘等组成。不过，笔记本电脑也有其特殊之处，如触摸板（touch pad）的设计。

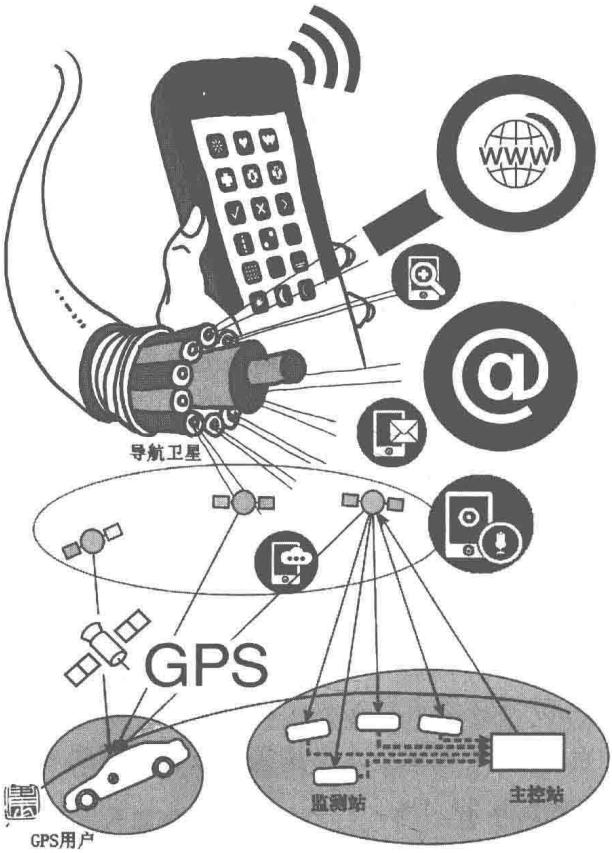
自从 20 世纪 80 年代开发出个人电脑后，人们一直梦想有一种能随身携带的电脑产品。1983 年美国《国家电子》杂志首次提出了“手提电脑”的概念，后来又演变为“膝上型电脑”。现今 IT 界倾向认为，世界上第一台笔记本电脑是由日本的东芝（TOSHIBA）公司于 1985 年推出的一款名为 T1100 的产品。

1983 年，加入东芝只有 8 年的年轻人西田厚聪（Atsutoshi Nishida）被派往洛杉矶，以了解东芝如何才能重返美国市场。在此之前，东芝曾希望靠台式电脑打入美国市场，但遭到 IBM 的强力阻击而受挫。以西田为首的考察团很快把目光投到带有液晶屏幕并能与 IBM 兼容的贝壳状“便携式 PC”上。回国后，他们向东芝高层提交了一个利用“便携式 PC”打入美国市场的计划，但高层认为此举希望渺茫。西田没有就此放弃，在他一再请求下，东芝管理层同意了他的计划，条件是他必须打保票在头一年销售 1 万台。尽管高层开了绿灯，西田还是有很大困难——公司并没有就该计划专门拨给他资金。在这种情况下，西田克服困难，推出了 T1100 便携式电脑，CPU 采用 Intel8086，带有 9 英寸的单色显示屏，可以运行 MS-DOS 系统。这一今天看来非常“老式”的装备，不可否认是一大技术创新，开启了笔记本电脑产业。到 2000 年时，世界上每卖出 7 台笔记本电脑，就有一台是东芝的。到 2004 年统计，东芝在全球的笔记本销量累计已愈 3700 万台。再说西田，他凭借个人能力，1997 年被任命为东芝副总裁，2005 年成为东芝 CEO 即首席执行官。

在笔记本电脑发展的洪流中，ThinkPad 值得一提。1992 年，IBM 推出了具有里程碑意义的 ThinkPad 700C，这是 IBM 第一台以 ThinkPad 命名的笔记本电脑。黑色的外观设计和红点自此成为 ThinkPad 的独特象征。ThinkPad 的主要产品有 T 系列、R 系列和 X 系列等。T 系列以其稳定性和技术的先进性，成为许多技术人员的最爱；R 系列作为 T 系列的简化，具有很高的性价比；而 X 系列，以轻便为其特色，号称董事会的小家伙，也成为使用者身份的象征。如今，ThinkPad 品牌已被中国最大的电脑公司联想所收购。

经过 30 多年的发展，笔记本电脑已成为重要的产业。以中国为例，2007 年全年生产微型计算机 1.21 亿台，其中笔记本电脑生产达 8000 万台以上，年增长率接近 40%，占全球笔记本电脑市场生产量的 60% 以上。同时，中国也是全球重要的笔记本电脑销售市场，2007 年中国市场的笔记本电脑销售量超过 600 万台。2008 年，虽然受到金融危机的冲击，中国笔记本市场销售量仍然达到 901.8 万台，销售额达到 635.5 亿元，同比增长为 27.1%。

第二十五章
通信技术创新



绘画：王晨

以计算机为核心的现代通信技术，凭借光纤铺筑的“信息高速公路”快速发展；手机的普及让人们的交流变得随时随地，而 APP 的开发应用的影响大大超乎想象；互联网上的信息呈爆炸式增长；基于互联网的一批新产业如搜索、电子商务等蓬勃发展，给世界经济注入强大的能量。

一、光纤

光纤(optical fiber)，是 20 世纪 70 年代发明的新型传导光信号材料，由于特有的优异性能，被喻为“建造信息高速公路的基石”。

人们很早就发现光可在透明体内传导。1870 年，英国物理学家约翰·丁铎尔(John Tyndall)曾做过一次有趣的公开演示，在暗室里，容器侧壁的小孔中有一股水流出来，对着流水的小孔照明，发现从孔中流出来的水处处都在发光。观看者大为惊讶，难以相信光竟然会“走弯路”！实际上，光仍是沿直线传播，其奥妙在于光在水中的全反射现象：当光线以某个角度射向水流与空气的界面时，会全部反射入水流中。而这恰成为后来光纤研究的理论基础。

20 世纪二三十年代，英国的贝尔德(G. Baird)和美国的汉塞尔(C. Hansell)都申请过可挠透明纤维束的专利，并制成石英纤维，可以解析图像，不过因质量低而未能实际应用。直到 1955 年，英国科学家纳林德·卡帕尼(Narinder Kapany)用透明度极高而极细的玻璃丝制成光导纤维，才有了新的突破。

最初光纤只用于医学上，用来改进内窥镜，制作成胃镜，可以观察到距离 1 米左右的人体内情况。不过它的衰减损耗大，光信号传送距离很短，很多科学家认为光纤通信前途渺茫，甚至放弃了努力。

20 世纪 60 年代，英籍华人科学家高锟(Charles K. Kao)在英国标准电信实验室进行了大量的研究，他于 1966 年发表论文《光频介质纤维表面波导》，提出用石英玻璃纤维(简称光纤)传送光信号来进行通信的设想。

光纤构造的原理是：两种折射率不同的玻璃做成细丝，折射率大的做纤芯，折射率小的在外做包层，以使光线在两种界面内发生全反射。光线以一定角度从光纤一端入射后，在两层玻璃的界面连续反射，以“之”字形传递，将光能量限制在光纤中，最终到达另一端。

当时几乎无人相信光纤能实用，因为光纤要求的损失低至每千米 20 分贝，而那时最好的照相机镜头光学玻璃，其损失为每千米 700 分贝。高锟矢志不渝，费尽周折，联系了贝尔实验室，并与大牌玻璃企业美国康宁玻璃公司进行合作。1970 年，康宁与其他企业联手制成损耗为每千米 20 分贝的光纤，虽然只是几十米长的样品，却为此投入了上千万美元。光纤制造的突破，引起整个通信界的震动，因为光纤的容量比电缆大上万倍，传输的距离也远得多，而且抗干扰性强，使用寿命长，质轻又耐腐蚀，铺设方便，有传统电缆无可比拟的优势。

一石激起千层浪，各大国纷纷展开光纤研究，迅速形成以光纤为主导的基础研究和光纤技术产业以及光纤通信的利用。围绕着光纤的制造、光电子器件、通信处理等涌现了一大批发明专利。

就光纤的制造来说，其主要工艺包括熔炼、拉丝和套塑。为了减少光纤对光能的损失，制造光纤的石英不能用天然的石英，而要用人工合成的超纯石英。熔炼石英玻璃的难点之一是容器问题、石英玻璃的熔点很高，近 2000℃，即使采用高熔点铂制的坩埚容器，也会使其熔化。

贝尔实验室想出一个很妙的方法，利用石英管做容器，熔炼超纯石英的化学反应可在石英管内进行，这称为管内法。康宁公司想出另一种解决容器问题的方法，是采用外部法，即化学反应在某承载体上进行，生成的超纯石英粉堆积在承载体的外部。这些方法后来又有许多改进。

早期制造光纤主要用 MCVD(modified chemical vapor deposition)法，用一根石英坯管，起支撑沉积超纯石英的作用，它本身不参与传导光能。主要加工设备是以氢氧焰为热源的熔炼车床，车床将夹持的坯管旋转，并使氢氧焰纵向来回移动，对坯管均匀加热。坯管一端输入 $SiCl_4$ 和 O_2 在 1400℃ 的高温下生成白色的超纯石英粉(SiO_2)贴附在坯管壁上。同时，又熔化成透明的超纯石英层。为了保证光纤的几何精度和折射率精度，整个制作系统都是用计算机控制。

经过几十年的发展，如今光纤已全面取代电缆，埋于地下，敷设海底，连接五大洲，极大地促进了世界各国电话、有线广播电视、互联网等技术的发展。除了通信外，以光纤为传导介质的传感技术还在医学、物理学、化学、航空航天、汽车、自动化等几乎所有的工程领域和基础实验科学领域得到应用。

2009 年，高锟因对光纤研究的重要贡献而荣获诺贝尔物理学奖。

二、手机

手机(最早也叫“蜂窝式便携无线电话”)的发明和广泛使用,深刻地影响到人类生活的方方面面。

在手机发明之前,人们的通信方式主要是固定电话和电报,更为古老的交流方式是写信。电报和电话的发明,可以使相隔很远的人很快地联系,但是有一个很大的缺陷,那就是不能“移动”。可以说,手机的发明满足了人们的新需求,不仅技术上实现了进步,更是在很大程度上便利了人们的交流。

说来手机早在20世纪40年代已问世。1946年,贝尔实验室造出了世界上第一部移动通信电话。然而,由于体积太大,研究人员只能把它放在实验室的架子上,使用极为不便,慢慢也被遗忘了。

20世纪60年代末,美国AT&T和摩托罗拉两家公司又重生移动通信技术的兴趣。当时,AT&T出租一种体积很大的移动无线电话,客户可以把这种电话安装在卡车上。AT&T的设想是,将来能研制一种功率10瓦的移动电话,利用卡车上的无线电设备进行沟通。这种电话太大太重,根本无法让人随身携带。于是,摩托罗拉就向美国联邦通信委员会提出申请,要求规定移动通信设备的功率,只应是1瓦,最大也不能超过3瓦。事实上,今天大多数手机的无线电功率,最大仅有500毫瓦。

1973年4月3日,摩托罗拉公司研发部主任马丁·库帕(Martin Cooper)站在纽约街头,用移动电话呼叫贝尔实验室的一位与他竞争的科学家,由此标志着移动电话的问世。同年10月,库帕向美国专利局申请专利,两年后获准。当时的这款电话重3千克,得装在背包里,显然携带不便。

1983年的手机,仍重约1千克,形状像块金锭,价格也差不多像金锭一样贵,当时售价为3995美元。

之后,手机的发展越来越迅速,重量减轻,价格直降。1991年,手机的重量约为250克;到1996年,出现了体积为100立方厘米、重量100克的手机。此后又进一步小型化、轻型化,1999年降到了60克以下。也就是说,一部手机和一个鸡蛋的重量差不多。

除了重量和体积越来越小,手机演化得越来越像一把多功能的瑞士军刀。除

了最基本的通话功能，手机可以用来收发短信甚至收发邮件，可以玩游戏，听音乐，拍照片，甚至可以看电影。还有，手机可以当电子钱包，当身份证明……这都是最初手机发明者始料未及的。

手机技术不断创新。库帕的第一代模拟手机靠频率的不同来区分用户。第二代手机——GSM 系统则是靠极其微小的时差来区分用户。随着频率资源明显不足，手机用户呈几何级数迅速增长。于是更新的、靠编码的不同来区别不同手机的 CDMA 技术应运而生。

技术的不断升级带来了手机产业的激烈竞争。摩托罗拉手机曾一度领先，在残酷的竞争中，却先后被三星、诺基亚超越，最终无力挽回颓势，退出了市场。这些年，跨国公司的手机研发和销售在中国上演了一场场角逐大戏。

短短二十几年，手机产业在世界上已发展为规模巨大的产业。据统计，2007 年全球手机使用量已达 20 亿部。第一次达到 10 亿时，用了 20 年时间才实现，而第二次达到 10 亿仅用了 3 年。

手机衍生了不曾料及的功能和效益。以手机音乐为例，诺基亚与华纳唱片公司联合，全力推进手机音乐市场的开发。2008 年底，手机音乐市场规模由 2007 年的 17 亿美元增长至 30 亿美元；而 2009 年，这一数字增长至 48 亿美元。

手机造成了新的社会文化现象，如政府利用手机发布重要信息；公众利用手机参与评选和投票。手机也造就了“拇指族”，影响到青少年的书写习惯和语言表达。

三、全球定位系统

利用卫星导航的全球定位系统（global positioning system），常按其英文首字母缩写为 GPS。GPS 从早期军用转移到民用，不仅为全球范围内的飞机、舰船、车辆、低轨道航天器提供全天候的导航，还展现出多种新用途，带动了信息产业的新发展。

GPS 最早是美国军方的研究项目，名称为 NAVSTARGPS，其早期应用都与军事相关。GPS 的设计理念部分来自基于地面的无线电导航系统，第二次世界大战中发展起来的无线电导航技术，为 GPS 的出现奠定了基础，而真正赋予设计者灵感的是 1957 年苏联发射的第一颗人造地球卫星。当时，由美国科学家理查德·克什纳（Richard B. Kershner）领导的一个科学小组受命监控苏联新卫星的无线电传

输。该小组发现，由于多普勒效应，苏联人造地球卫星的信号频率随着卫星接近地球而变高，随卫星的远离信号频率会相应降低。地面接收站十分清楚自己在地球上的位置，而根据多普勒效应，科学家们就能够由接收到的信号频率推知卫星的精确位置。也就是说，接收站在地球上的具体位置，卫星的具体位置以及信号的频率，只要知道其中两者，就可以推算出余下的那一个。而 GPS 正是反向运用了监控苏联卫星的技术，用卫星的具体位置和信号频率来确定信号接收者在地球上的具体位置。

现代基于卫星系统的 GPS 技术，理论上仅需要 12 颗能在 12 小时内环绕地球飞行的卫星。但在实际运用中，GPS 的卫星群组至少包括 24 颗工作卫星，它们处于中等地球轨道上（离地面约 20 200 千米，卫星几乎每天的同一时刻重复地出现在地球某一位置的上空），4 个一组分布在 6 个轨道平面上（每个轨道平面都以地球为中心，各轨道平面之间成 60 度角，同时与地球赤道平面大约有 55 度的倾斜）。因此，在地球表面的任何一个地方，人的视线范围内（不一定能够看见）至少有 6 颗卫星、最多可达 12 颗卫星在为 GPS 的地面接收器提供着信号。而 GPS 地面接收器正是利用了各卫星信号到达的时间差精确定位自身之所在。

尽管美国早于 1972 年就开始基于卫星的 GPS 技术的实验，但直到 1978 年第一颗实验卫星（Block-I GPS Satellite）才发射升空，而完成 24 颗卫星群的部署则是在 1994 年。然而，这项耗资巨大并汇集了大批科学家长期研究的项目，在它未完成之时，时任美国总统罗纳德·里根（Ronald Reagan）就已经允诺，一旦 GPS 部署完成，就将其作为公共物品供民间使用。之所以能够将 GPS 技术极快地推向民用，其开始却源自一个悲剧：1983 年 8 月 31 日，韩国航空公司的 KAL007 号航班偏离航线，误入当时苏联的军事禁飞区，不幸被苏军导弹击落，机上 269 人全部罹难。

美国发明家查尔斯·崔姆布尔（Charles Trimble）是最早了解 GPS 技术的人之一，早在 1978 年他就基于自己的发明成立了崔姆布尔航运公司，但直到韩国空难发生，才促使他于 1984 年 5 月提出专利申请。崔姆布尔和他的公司为 GPS 技术的推广应用作出了巨大贡献。崔姆布尔航运公司（中文通译为天宝公司）拥有 700 多项与 GPS 相关及类似技术的专利，在民用 GPS 市场上处于领先地位。

当今世界，除美国的 GPS 系统外，俄罗斯研制有格罗纳斯（GLONASS）定位系统，欧盟研制有伽利略定位系统（Galileo Positioning System），中国正在积极发展

“北斗”导航系统。

中国的“北斗”导航系统计划由5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星组成，自2000年，已发射了3颗“北斗”导航试验卫星，并于2007年发射了两颗“北斗”导航卫星。在满足中国及周边地区用户对卫星导航系统的需求基础上，将逐步扩展为全球卫星导航系统。2008年2月，“北斗”卫星导航系统的核心芯片“领航一号”研制成功，这是中国自主开发的完全国产化的首个卫星导航基带处理芯片，将替代“北斗”系统内先前使用的国外芯片。

目前，GPS已与智能手机结合，嵌入人们的生活，产生前所未有的影响。

四、互联网

互联网(Internet)，据音译也称“因特网”，是指一系列世界范围内可到达的计算机网络，所说网络不论是政府、公司、研究机构、民间团体还是个人，只要可以在标准的互联网协议(Internet Protocol，IP)下利用包交换技术传递数据，就构成互联网的一部分。

互联网的出现极大地改变了人类沟通交流的方式，信息可以瞬间到达互联网延伸到的任何一个地方，“地球村”已成为现实。基于互联网的若干新产业(如搜索引擎、电子商务等)蓬勃发展，给世界经济注入新的活力。

从概念上讲，万维网(World Wide Web)与互联网有区别，万维网只是基于互联网的一个应用，它由一系列相互链接的文件和多种资源构成，而这些资源是通过无形的超链接和URLs技术来实现连接的。

互联网最早始于美国出于冷战考虑而设立的一个研究项目。1957年，苏联第一颗人造地球卫星成功发射，极大地震动了美国朝野。美国为此成立国防部高级研究计划署(Defense Advanced Research Projects Agency，DARPA)，企望夺回在技术方面的领先地位。1960年，DARPA专门成立信息处理技术办公室(Information Processing Technology Office，IPTO)对半自动地面设施项目进行研究，第一次将美国所有的雷达系统连接在一起。时任IPTO的负责人里克利德尔(J. Licklider)曾经预言，广泛连接的计算机网络将使人类革命性地联合在一起。

在里克利德尔的举荐下，由劳伦斯·罗伯茨(Lawrence Roberts)开始着手实现

“ARPAnet”(简称“阿帕网”)连接,而罗伯茨应用的基本技术则是基于鲍尔·巴兰(Paul Baran)在一份关于美国空军的详尽报告中所提出的封装交换技术(packet switching)。与线路转接技术(circuit switching)不同,封装交换技术是将不连续的数据包在节点之间进行传递,而无须通过终端。

1969 年 10 月,“阿帕网”第一次在两个节点(美国加利福尼亚大学洛杉矶分校和斯坦福国际研究所)之间实现了连接。此后,基于对阿帕网封装技术的改进,英国邮政、Telenet、DATAPAC 和 TRANSPAC 等机构共同于 1978 年创立首个国际性的分组交换网络(IPSS)。1981 年,在 X.25 封装交换标准下,网络不仅能够覆盖美国和欧洲,而且也到达了加拿大、中国香港以及澳大利亚。

现代互联网是通过标准的 TCP/IP 协议运行的,最早的 TCP(transmission control protocol)协议是由文顿·塞弗(Vinton Cerf)和罗伯特·卡恩(Robert Kahn)于 1973 年第一次描述的。1974 年 12 月,塞弗等人于斯坦福大学完成了第一份完整的 TCP 协议,但他们并未申请专利。在协议中,互联网一词第一次用来专指全球统一的 TCP/IP 网络。在此后的 9 年中,TCP 协议被不断的改进并被更广泛地应用于各种操作系统中。1983 年 1 月 1 日起,TCP/IP 正式全面取代原先的 NCP 协议。在美国国家科学基金的大力推广下,配合计算机技术的发展,互联网的传输速度在快速提升。

由于源自军事项目,互联网直到 1988 年才公开进行商用,而网络覆盖的广泛性和信息传递的即时性使得互联网很快表现出巨大活力。1989 年,电子邮件系统连入互联网,三家网上商业公司 UUNET、PSINET 和 CERFNET 成立并开始提供服务;紧接着,商业机构和教育机构的网站并入互联网。思科(Cisco)公司等提供的路由器极大地满足了互联网快速增长的需要,然而如此迅速的扩张超过了当时任何一个通信网络的有效负荷,以至于增长被迫停止了一段时间。

20 世纪 80 年代,互联网初具规模,但尚不具有公众性。这一状况的改变则归功于欧洲核子研究中心(CERN)的科学家蒂姆·伯纳斯-李(Tim Berners-Lee)。1989 年 3 月,伯纳斯-李提出万维网的构想,在同事们的支持下,万维网于 1991 年正式向世人公布,不过,伯纳斯-李并没有申请专利。当时由于缺乏集中监管,20 世纪 90 年代,互联网出现了几乎每年呈 100% 的爆炸式增长。到 1996 年,互联网走进千家万户,从那时起万维网几乎也成了互联网的代名词。

伯纳斯-李因提出万维网的构想获得各项殊荣，包括获封英国骑士爵位、赢得芬兰“千年技术大奖”等。

随着互联网的广泛应用，涌现出众多相关软件和设备的发明，基于它的电子邮件、搜索引擎、网络游戏和电子商务等产业蓬勃发展，成为推动现代经济发展的强劲的发动机。

五、电子邮件

20 世纪下半叶，随着科学研究节奏的加快，在一个研究机构特别是一个课题组内的科研人员有及时沟通和分享成果的需求，这种沟通并不是通过电话能完全解决的，因为还涉及交流文字、数据或图像。而计算机网络的出现就给满足这种需求提供了技术上实现的可能，于是电子邮件应运而生。一般认为，世界上第一封电子邮件的发送者是“因特网之父”雷纳德·克兰罗克(Leonard Kleinrock)教授。然而，真正创造了电子邮件软件，并使它实用化的发明者是美国 BBN 公司的电子工程师雷·汤姆林森(Ray Tomlinson)。

汤姆林森 1965 年毕业于麻省理工学院，后获电气工程博士学位，1967 年进入 BBN 公司，负责开发小型机用的操作系统软件。BBN 公司为汤姆林森配备了两台小型电脑 PDP-10，以用来与阿帕网(参见第二十五章之四“互联网”)联网。在软件编程任务即告结束时，汤姆林森想继续做些实验，他看着两台电脑浮出想法：它们之间为什么不能相互传送邮件呢？想到此他即行动，不久便编写出一个名叫 CPYNET 的实验程序，该程序的主要功能就是把邮件从一台电脑传送到另一台电脑。1972 年，汤姆林森的邮件传送试验取得成功。

电子邮件很快引起科学界重视，相应的规范、标准和技术支持逐步建立。电子邮件的工作方式遵循客户端—服务器(client/server)模式，发送方构成客户端，接收方构成服务器。服务器是由因特网服务提供商(ISP)提供的专用于处理电子邮件的大存储量计算机。服务器硬盘上为申请用户分配一定的存储空间。电子邮件的地址由两部分组成，用户名和主机域名，一般格式为用户名@主机域名，如 abc@mail.tsinghua.edu.cn。

电子邮件系统从起步至今已经历四代。第一代安装在一台计算机的分时系统

上，用户所使用的电子邮件仅限于同一台计算机内。第二代采用了多节点、基于存储转发的技术，可以使电子邮件、数据库分布在不同的计算机。第三代在异构互通方面有新发展，但是技术复杂，耗资大，难以普遍实现。第四代是根据国际标准化组织的开放系统互联参考模型（OSI/RM）和国家电报电话咨询委员会（CCITT）的X.400系列建议设计和开发的。将信息处理系统（MHS）作为特殊应用服务要素（SASE）安排在OSI/RM的最高层，使得MHS建立在坚实的国际网络标准技术之上，从而将电子邮件技术推向一个新的高度。

汤姆林森发明电子邮件软件后，并没有申请任何专利，而是奉献给了社会。其后衍生出许多相关的发明，申请了专利（如过滤垃圾邮件的专利、企业邮件管理的专利、更新电子邮件地址的专利等）。随着与电子邮件结合服务的进一步使用，围绕电子邮件的专利还会增加。

电子邮件的发明给世界带来极大影响，在电子邮件带来便利之时，也出现了许多意料不到的问题，如垃圾邮件泛滥、利用电子邮件传播病毒等，这些问题促使防火墙等技术的研究，并加快反垃圾邮件法等法律条例的出台。

六、搜索引擎

在信息爆炸的时代，互联网上的信息浩瀚且无序，而利用搜索引擎这一工具，可帮助用户便捷地找到所需的信息。

搜索引擎功能强大，其实原理并不复杂。搜索引擎从少数几个网页出发，通过该网页上的超链接，在名为网络蜘蛛的自动搜索机器人程序的帮助下，一传十、十传百地迅速浏览绝大部分网页。而后，搜索引擎就像图书管理员那样，为搜集来的信息分类、编目并储存。这样，当用户在查询某项内容时，搜索引擎就能很快地在建立好的索引下找到用户所需要的信息，并以网络链接的形式呈现出来。

还是在1990年，万维网尚未诞生之时，加拿大麦克吉尔大学（McGill University）的学生阿兰·伊姆塔格（Alan Emtage）就发明了最早的网页搜索工具“Archie”（系英文单词“archive”去掉字母v），以检索分散在各联网主机中的文件。虽然Archie创建了可供查询的数据库，但它没有对数据库分类并建立索引。所以Archie还不是真正意义上的搜索引擎。

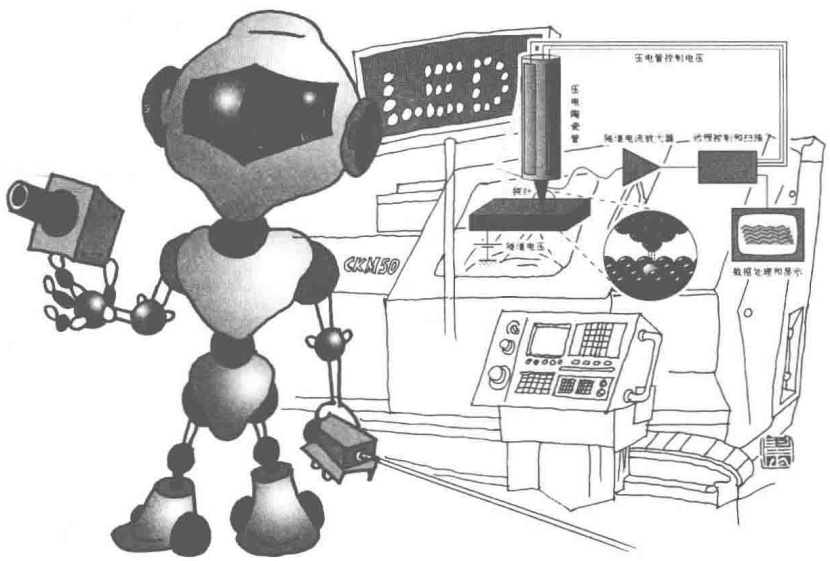
1993 年，美国麻省理工学院的马太·格雷(Matthew Gray)发明了第一个网页搜索引擎“Wandex”，它基于网页爬取技术(web crawler)对所收集来的网页信息建立索引。此后，各种基于爬取技术的搜索引擎接连出现，如 1993 年发布的“Aliweb”，1994 年的“JumpStation”和“WebCrawler”。与以往的技术不同，网页爬取技术能够让用户搜索任何网页中的任何一个单词，因而使得网页搜索引擎能够为大多数人所应用，这就为商业化打下了基础。

1995 年，Lycos 公司对网页搜索引擎进行了一次具有划时代意义的商业化尝试。该公司最早源于卡内基梅隆大学(Carnegie Mellon)的一个搜索项目。1994 年，麦克·马丁博士(Dr. Michael Mauldin)接受了为该校数字图书馆工程设计一个搜索引擎的项目，他在此基础上发展出了能够应用于互联网的 Lycos 技术。“Lycos”是 Lycosidae(一种善于捕捉猎物的狼蛛)的缩写，它是基于网络蜘蛛机器人程序(英文名为 web spider 或 web robot)的数据发现技术，并支持搜索结果相关性排序，同时它也是第一个在搜索结果中提供网络摘要的技术。卡内基梅隆大学随后申请了专利，并许可 Lycos 公司独家使用。1996 年，该公司成功地快速上市，在提供搜索引擎服务的同时，发展成为一个以广告作为收入来源的门户网站。直到 2002 年，Lycos 公司在搜索引擎市场和门户网站上的优势地位才分别被 Google 和 Yahoo 取代。

在 Lycos 公司建立后不久，又有许多搜索引擎涌现，并为争夺用户展开了激烈的竞争。尽管此后许多公司对 Lycos 技术做了改进，并提供了更多实用的搜索方法和更人性化的搜索界面，但这些都始终沿着 Lycos 的基本原理在发展，无可否认，是 Lycos 公司开创了一个新的产业。随着谷歌(Google)的强劲发展，人们看到了搜索引擎的巨大的商业潜力。因此，此前仅在观望的全球 IT 行业的霸主微软公司也积极地进入这个产业。到 2007 年底，谷歌的市值已经突破了 2000 亿美元，接连超越了 IBM 和 Intel 等公司，成为仅次于微软的 IT 新巨头。

初期的搜索引擎都是基于西文，符合中文检索要求的搜索引擎出现较晚。1997 年，北京大学计算机系开发了“天网”中文搜索引擎；1998 年，台湾中正大学 GIAS 研究组开发了“Openfind”中文搜索引擎。2000 年 1 月，超链分析专利发明人李彦宏归国创建了“百度”中文搜索。不久，百度在美国纳斯达克成功上市。“百度”高歌猛进，已成为现阶段最著名和商业化最成功的中文搜索引擎。

第二十六章
机械、光电创新



绘画：王晨

计算机时代，计算机安装于机床变成数字控制的机床，为精密加工提供有力的手段；计算机植入特定的机械装置做成机器人，代替人类完成许多重复或危险的工作。智能机器人具有感觉、判断、记忆能力，甚至能推理和决策，其未来技术发展构成对人类的挑战。

计算机时代，半导体物理、量子物理、材料学等基础学科深入研究，产生了CCD、LED、激光器等一批新发明，带动了高新技术产业建立，极大影响了经济和社会。

一、数控机床

数控机床是采用通用或专用计算机实现数字程序控制的机床，它的发明为精密加工提供了有力手段。

早期的机床都是靠工人操作进刀，靠眼睛用卡尺测量产品的精度。由于工人的差异，会使加工存在误差，而误差超出一定范围，就直接影响零部件的装配。随着机器的复杂化，加工精度问题日显重要。

第二次世界大战后，美国空军希望直升机的关键部件能够提高精确度，而传统的加工方法难以满足对制造精度的要求，也不能适应航空工业品种多样、小批量生产复杂工件的需要。在这种情况下，美国小型飞机工业承包商帕森斯公司主动接受了挑战。

1947 年，约翰·帕森斯(John Parsons)开始研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床，他率先提出通过控制机床的微小增量运动来加工机翼曲面的设想，即用记录有坐标位置数据的穿孔卡片来控制机床的动作，以实现曲线、曲面的加工。此后，帕森斯着手进行试验，取得初步成功。然而要将这个系统完全实现，需要制造一套反馈系统来控制机床运动的路径，当时帕森斯还无法个人独立完成。1949 年春，帕森斯找到麻省理工学院，希望院方给予支持，能按自己的设计制作一套反馈系统。麻省理工学院表现出极大兴趣，不久就拿出了几个改进方案。1949 年7 月，美国空军与帕森斯公司、麻省理工学院签订三方协议，由美国空军提供资金，麻省理工学院根据帕森斯的设想研究数字控制技术，目标是设计一台利用穿孔卡片控制的铣床。不料这一合同实行不到一年，麻省理工学院便背着帕森斯又与美国

空军单独签订合约。这让帕森斯震惊，他气愤道："真没想到像麻省理工这样著名的机构会故意甩掉我。"尽管如此，帕森斯还是于 1952 年 5 月 5 日以"Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool"之名申请专利，1958 年 1 月 14 日获准。不久，帕森斯将专利卖给了 IBM、富士等公司。

1952 年 9 月，麻省理工学院结合数值控制系统与辛辛那提公司的铣床，成功研制世界上第一台三维坐标数控铣床，用它加工出直升机叶片轮廓检测用的样板，该设计与帕森斯的穿孔卡片设计不同，采用了标准的穿孔卡带，对复杂机件的切削更精确、更快速，达到了当时的最高水平，成为世界机械工业史上一件划时代的事件。

初期的数控系统十分复杂，包括有 250 个电子管、175 个继电器和大量的运动部件，致使机器价格昂贵。几经改进后，到 1955 年，数控机床开始批量投入使用，在复杂曲面机件的加工中发挥了重要作用。

随着晶体管、集成电路的应用，数控机床的控制箱体型变小，工作可靠，价格下降，推动了在加工设备中的应用。1968 年，英国的毛林斯机械公司研制成第一条数控机床组成的自动线。不久，美国通用电气公司提出了"工厂自动化的先决条件是零件加工过程的数控和生产过程的程控"。20 世纪 70 年代中期后，随着计算机技术的发展，数控机床在驱动方式、控制系统和结构功能等方面都出现新变革，电主轴和直线电机的应用，陶瓷滚珠轴承、高精度大导程空心内冷和滚珠螺母强冷的低温高速滚珠丝杠等功能部件，为数控机床向高速、精密发展创造了条件。

二、机器人

机器人是可以按照计算机程序操作的机械装置，它的发明和应用不仅解脱了人的劳动，避免了环境危险，也有利于制造的标准化。如今机器人在向智能化加快发展，已开始形成机器人产业。

机器人概念始见于 1920 年。这年，捷克斯洛伐克剧作家卡雷尔·恰佩克(Karel Capak)写了一部戏剧《罗萨姆的机器人公司》，剧中有"robert"(机器人)的情节，"robert"一词源自捷克语"robota"，意思是"劳役"。

文学想象逐步变为现实，1946 年，美国工程师乔治·得沃尔（George Devol）发明了一种系统，可以“重演”所记录的机器的运动。1954 年，德沃尔获得可编程机械手的发明专利，这种机械手臂可按编制的程序进行工作，而操作者可以编制不同的程序，因此具有通用性和灵活性。当时，工程师约瑟夫·英格伯格（Joseph Engelburger）也对研究机器人有浓厚兴趣，他与得沃尔一拍即合，共同认为：机器人最适合汽车工业，因为汽车的生产流程固定，像焊接、喷漆都是机器人的用武之地。

1959 年，英格伯格和德沃尔联手制成世界上第一台工业机器人。英格伯格负责设计机器人的“手”“脚”“身体”（机器人的机械部分和完成操作部分）；德沃尔负责设计机器人的“头脑”“神经系统”“肌肉系统”（机器人的控制装置和驱动装置）。

最早的机器人外形有点像坦克的炮塔，基座上有一个大机械臂，大臂可绕轴在基座上转动，大臂上又伸出一个小机械臂，它相对大臂可以伸出或缩回。小臂顶有一个腕子，可绕小臂转动，进行俯仰和侧摇。腕子前头是手，即操作器。这个机器人的功能和人手臂功能相似。

英格伯格和德沃尔合作创建“尤尼梅逊”（Unimation）公司，成为世界上第一家机器人制造工厂。第一批工业机器人被称为“尤尼梅特”（Unimate），意思是“万能自动”。由于英格伯格和德沃尔对研制机器人的贡献，后人也称他们为“机器人之父”。

1962 年，美国机械与铸造公司（AMF）制出新一款工业机器人，称为“沃尔萨特兰”（Verstran），意思是“万能搬动”。至此，“尤尼梅特”和“沃尔萨特兰”就成为世界上最早的、至今仍有使用的工业机器人。

迄今，机器人的发展大致经历了三个时代。第一代为简单个体机器人，英格伯格和德沃尔制造的工业机器人即属此类，为示教再现型，即人手把着机械手，把应当完成的任务做一遍，或者人用“示教控制盒”发出指令，让机器人的机械手臂按步骤完成它应当完成的各种动作。

第二代为群体劳动机器人，它们具备了感觉能力。20 世纪 70 年代，第二代机器人在美国、日本有较大的发展。美国机器人研究一度领先，进入 60 年代，由于居高不下的失业率，政府担心研制机器人会砸许多工人的饭碗，故未给予财政支持，结果机器人研究被日本迅速赶超。

1967 年，日本由川崎重工业公司从美国引进机器人技术，第二年便制造出“尤尼梅特”式机器人。日本政府采取了一系列扶植政策，激励企业从事机器人研发，结果仅十几年时间，到 20 世纪 80 年代中期，日本一跃成为“机器人王国”。80 年代后，美国政府和企业界意识到美日之间拉大的差距，开始真正重视机器人。80 年代中后期，随着技术的升级换代，美国研制了一批有视觉、力觉的第二代机器人，很快成为市场的主流。

20 世纪 90 年代起，第三代智能机器人崭露头角，它们不仅具有感觉能力，还具有独立判断和行动的能力，并具有记忆、推理和决策的能力，因而能够完成更加复杂的动作。

随着智能机器人技术的快速发展，也引发机器人是否会超越人类控制的担忧。许多人认为，必须建立支配机器人行为的道德标准，使机器人按人的指令为人类的生产和生活服务。因而，设置机器人研制禁越界线，比以往任何时候都显得重要。

三、CCD

CCD 是电荷耦合器件（charge coupled device，亦称电偶元件）的英文缩写，是一种高感光度的半导体材料制成的装置。一块 CCD 上包含的感光元素（像素）数越多，所提供的画面分辨率也就越高，图像也就越清晰。CCD 能极便利地把光学影像转化为数字信号，经由照相机内部的闪速存储器或内置硬盘保存，随时可传输给计算机进行图像显示和处理。

CCD 由美国贝尔实验室的科学家发明。1970 年 4 月，贝尔实验室的威拉德·博伊尔（Willard S. Boyle）和乔治·史密斯（George E. Smith）合作发表论文《电荷耦合半导体器件》（Charge Coupled Semiconductor Devices），刊登在《贝尔系统技术杂志》上。当年 10 月 20 日，两人研制的第一个 CCD 做了公开演示。

博伊尔 1924 年 8 月出生于加拿大新斯科舍省的阿默斯特，父亲是一位医生，3 岁时随父母搬到魁北克。小时的博伊尔跟母亲学习，一直到 14 岁进中学。毕业后入加拿大麦吉尔大学物理系，1943 年因第二次世界大战参加皇家海军学业暂时中断。战后回到母校，1947 年获物理学学士学位，1950 年获物理学博士学位。此后，博伊尔在加拿大国家辐射实验室工作了一段时间。1953 年博伊尔加入贝尔实

验室，1962 年与人合作发明了红宝石激光器。

史密斯 1930 年 5 月出生于美国纽约，小时候因多次搬家先后上了几所小学和中学，1948 年高中毕业参加海军，4 年后退役到迈阿密。史密斯设法在迈阿密大学听课，获得必要的学分后，1952 年进宾夕法尼亚大学插读二年级，1955 年获物理学学士学位。史密斯再进入芝加哥大学学习，1959 年获物理学博士学位。之后到贝尔实验室工作，所分配到的部门负责人恰好就是博伊尔。大概由于都参加过海军，史密斯跟博伊尔很合得来，他们先后做了有关半导体的多项研究。

在 CCD 发明之前，贝尔实验室已研制出晶体管和太阳能等技术，以这些技术为基础，1969 年，博伊尔和史密斯大致用了一个小时便草拟出 CCD 的方案，不久找人帮助制出 CCD 的原型。正因为有前期晶体管和太阳能技术的积累，故 CCD 并不是想象中一个突发的灵感所致。

CCD 公开演示后引起轰动，因为这个器件可以应用于光信号到电信号的转化，能够取代笨重的摄像管用于摄像机和未来的照相机。然而，要将 CCD 正式生产却面临很多问题，特别是要提高图像清晰度，在工艺上有很大困难（如提高硅晶体的纯度就至为关键），不少研究机构（包括贝尔实验室）都被迫放弃了这一项目。而日本索尼公司看好 CCD 的前景，坚持进行研发。通过不懈努力和巨大的科研投入，1978 年 3 月，索尼成功地研制出了第一台实用的 CCD 摄像机；1985 年元月，索尼制造出第一部 8 毫米摄像机“CCD-V8”；1989 年 6 月，索尼又研制出轻型的护照般大小的“掌上摄像机”（即“掌中宝”），一改过去专业人士扛的“大块头”，在市场上获得极大的成功，成为索尼历史上最赢利的产品之一。

CCD 的生产和应用技术发展迅速，应用范围延伸到很多领域之中。以天体观测为例，CCD 对光极其敏感，这使天文学领域发生了革命性变化。美国的哈勃望远镜，利用 CCD 作为像探测器，清晰地“照”出了远在 130 亿光年以外的星系像，并及时把图像传送到地面站；2007 年 10 月，中国的“嫦娥一号”升空，搭载的 CCD 立体相机绘制了中国的首幅月球图。

CCD 展现出巨大的魅力，正如西方科学家所说：在所有需要发挥人眼功能的地方，只要是电子的，那就将是 CCD。

2009 年，博伊尔和史密斯因对 CCD 的研究贡献，分享了诺贝尔物理学奖。

四、LED

LED 是发光二极管(light emitting diode)的缩写，属新型半导体照明技术。LED 发光不经加热的方式，所产生的光为冷光，发光的效能要比白炽灯好得多。因具有多种优势，被认为将引发一场白炽灯问世以来的新光源革命。

19 世纪 20 年代，俄国科学家卢瑟(O. V. Losev)研究发现，对某些化合物晶体通以电流可以促使其发光，由此他发明了第一个 LED。卢瑟的研究在俄国传播很广，但由于政治阻隔，没有引起西方科学界的重视，直到 50 年代，美英等国才加快有关的研究。

1961 年，美国德州仪器厂(Texas Instruments)的实验师詹姆斯·彼埃德(James Biard)和伽瑞·皮特曼(Gary Pittman)发现，当电流通过砷化镓时，可发出不可见的红外光。他们深入研究后，申请并获得红外 LED 的专利。

1962 年，美国通用电气公司的尼克·霍洛尼亚柯(Nick Holonyak)制造出第一个实用的发红光的 LED。1972 年，霍洛尼亚柯指导的博士生乔治·卡尔佛瑞德(George Craford)发明了发黄色光、超亮红色光和红黄色光的 LED。

20 世纪 80 年代中期，材料技术发展迅速，科学家使用镓铝砷材料，制成可发绿色光的 LED。90 年代，科学家开发出四元素材料——铟镓铝磷，制成可发橙红光、橙色光、黄色光和绿色光的高亮 LED。1993 年，新型半导体材料氮化镓被发现，日本的中村修二(Shuji Nakamura)博士成功发明了蓝色高亮度 LED，获得多国专利。随后使用氮化铟镓，制造出了高强度绿光和蓝光 LED。20 世纪末，中村修二将钇铝石榴石(YAG)和磷的复合物涂于蓝色 LED 的顶端，又成功制造出白色光 LED。2006 年，中村修二获得由芬兰技术奖励基金会颁发的“千年技术奖”(Millennium Technology Prize)，他是获此殊荣的第二人(首次“千年技术奖”获得者是万维网发明者、英国科学家蒂姆·伯纳斯·李)。

红色 LED 问世不久，就实现了商业应用，开始只是作为某些仪器指示灯的替代品。随着技术的成熟，LED 被广泛应用到各种电子仪器、电视、收音机、电话、计算器和手表上。LED 的亮度不断提高，当今的 LED 已能很好满足亮度要求较高的应用，许多国家的交通信号灯、汽车尾灯都采用了 LED，候机楼、候车室、商场等公共

场所的大型屏幕，也大都采用 LED 构成。

与白炽灯和荧光灯相比，LED 若干优势，它更小型（晶体可切成比笔尖还小的正方体），更轻便，更坚固（没有玻璃壳），低能耗（耗电可低到白炽灯的十分之一），寿命长（是普通灯泡寿命的十几倍），因而应用前景非常广阔。当今 CD、DVD、电筒、交通信号灯、红外线监视设备等仪器中，LED 都是重要的角色。

许多城市积极利用新技术加快城市景观照明的改造。例如，2005 年，上海将东方明珠上大小球体的 576 处发光点全部换成 LED，合计功率仅为 28.8 千瓦，比原来使用的光纤端发光体耗电降低了 100 多千瓦，照明效果却好于从前。2008 年，北京成功举办奥运会，主要场馆都采用了半导体照明技术，用电量大大节省；世人瞩目的奥运会开幕式，大量采用了 LED，变幻炫目，控制精确，给观众留下深刻的印象。

五、激光器

激光是“光频受激辐射放大”的简称，英文缩写为“laser”（港台音译为“镭射”），激光器即为能产生激光的仪器，是 20 世纪的重大发明之一。由激光器引发的系列研究，开辟了多个学科领域，催生了一批高新技术产业，改变了现代科技的面貌。

激光研究可追溯至 20 世纪 20 年代。1916 年，著名物理学家爱因斯坦（Albert Einstein）提出受激辐射概念，指出处于高能态的原子，受一个频率适当的光子引发，会跃迁到低能态，同时发射出一个频率、运动方向与入射光子全同的辐射光子。这一概念后来成为激光研究的开山之斧。1952 年，美国科学家韦伯（J. Weber）首次公开宣布，光子进入原子群时，若半数以上原子处于高能态（粒子数反转），入射光子就可能引发光放大。不久，美国物理学家汤斯（C. H. Townes）、苏联物理学家巴索夫（N. G. Basov）和普罗霍洛夫（A. M. Prohorov）也先后独立提出了利用原子和分子的受激辐射来产生和放大微波的具体设计，汤斯、巴索夫和普洛霍夫共同分享 1964 年的诺贝尔物理学奖。

率先将激光的理论用于实际发明的是汤斯。1939 年，汤斯从加州理工学院获得博士学位后进入贝尔实验室，参与研制雷达投弹和导航系统，由此涉足分子光谱领域。1948 年，汤斯转到哥伦比亚大学物理实验室，从事微波波谱学研究。1951

年，汤斯意识到，可以使用谐振腔和四极聚焦装置来实现粒子数反转，于是他设想研制一台有高频输出的振荡器。在博士生戈登(J. P. Gordon)和助手蔡格(H. J. Zeiger)帮助下，这一设想成为现实。1954 年 7 月，汤斯成功研制世界上第一台微波振荡器——氨分子微波放大器，其工作波长 1.25 厘米，输出功率 10^{-9} 瓦。汤斯为这一发明办理了覆盖整个电磁波谱的专利申请手续。该专利 1959 年生效，正常情况下，将为汤斯带来每年不少于 25 000 美元的收入。

随着微波放大器诞生，制造毫米和亚毫米波段工作的放大器，迅速成为许多物理学家追求的目标。谐振腔的大小应与波长同数量级，但在当时，制备毫米级的谐振腔还不具备条件。在经历无数次失败后，到 1957 年汤斯意识到，与其逐渐缩短波长，不如直接制造在红外和可见光波段工作的放大器(maser，光学脉泽)。汤斯将他的想法告诉贝尔实验室的阿瑟·肖洛(A. L. Schawlow，后来成为汤斯的妹夫)，肖洛协助修改了理论，并找到解决谐振腔问题的办法。为获得发明优先权，他们商定暂时保密这一想法。1958 年 8 月，汤斯和肖洛完成了可在光频段工作的放大器的理论分析和设计方案的论文，将复印件交给贝尔实验室的专利部门(1960 年 3 月专利生效)，同年 10 月论文发表，激光器的理论设计由此诞生。

在世界范围的激光研究角逐中，激光器发明者的桂冠落在美国的梅曼(T. H. Maiman)头上。1955 年，梅曼获博士学位后不久加入休斯实验室，从事红宝石微波放大器的研制。汤斯和肖洛的论文发表后，各种激光器的设计方案相继出笼，其中，氦氖激光器最被看好。梅曼坚信，以红宝石作为发光物质，一定能产生激光。经过努力，1960 年 5 月 15 日，第一台红宝石激光器在休斯实验室诞生。

本来梅曼应享有发明荣誉。不料，汤斯的激光器专利权却受到古尔德(R. G. Gould)的质疑。古尔德是哥伦比亚物理实验室的博士生，1957 年 10 月，在与肖洛讨论前，汤斯曾向古尔德询问过有关钶灯的知识，指出制造光学脉泽的可能。同年 11 月，古尔德写下光频受激辐射放大的设想，并进行了公证，首次提出“激光”这一新的概念。1958 年，古尔德向五角大楼呈送研制激光的建议书，在 1959 年的报告中，他声称有可能制造出脉冲式激光器，并大胆预言它的峰值功率可达 1 兆瓦。在法庭上，汤斯和古尔德都以 1957 年 10 月的那几次交谈为证据，互相指责对方窃取了自己的思想，凭借 1957 年 9 月 19 日关于光学脉泽的记录，最后汤斯胜诉。古尔德不甘罢休，直到 20 世纪 80 年代，终于获得一些涉及次要、辅助改动的专利。这

些专利为大多数科学家所不屑，但却给古尔德和他的代理公司赢得了上千万美元的利益。可见在大科学时代，自由进行的学术与思想交流，虽利于科学家获取信息和灵感，却容易导致某项专利的原创者难以辨别。想不到的还有，只衷情于科学而厌弃法律争辩的梅曼，竟被各种激光器的专利保护排除在外。

第一台激光器的诞生，刺激了激光理论、器件和技术研究，相继出现了气、液、固各种物态的激光器以及自由电子激光器。到20世纪末，已有4项诺贝尔奖与激光研究有关，而由激光催生出的高新技术产业，其年产值高达十多亿美元。这是任何一个早期激光的研究者都没有料到的。

六、扫描隧道显微镜

扫描隧道显微镜(scanning tunneling microscope，英文缩写STM)是20世纪80年代初问世的用于表面结构分析的仪器，其分辨力可达纳米以下，远高于透射式电子显微镜，能直接获得物体表面的三维图像。扫描隧道显微镜的发明推动了生物学、表面物理、化学等学科的发展，促成了纳米科技的诞生。

扫描隧道显微镜的原理基于量子隧道效应，这是量子力学中一种非常奇特的物理现象。单电子隧道效应早在20世纪30年代就有科学家提出，然而直到1960年才由美国通用电气公司的伊瓦尔·加埃沃(Ivar Giaever)首次实验证实。1962年，英国年轻的物理天才布莱恩·约瑟夫森(Brian D. Josephoson)经理论演算，大胆预言了双电子的量子隧道效应，后经实验证实。正是量子隧道效应概念的提出和实验确证，推动了扫描隧道显微镜的诞生。

从原子尺度了解物质的表面结构，一直是科学家的追求目标。然而，实际工作复杂而困难。虽说高分辨率的透射电子显微镜能达到较高的分辨率，但所需样品的制作麻烦，观测时易使样品破坏，而且观测必须在真空环境。直到1956年，物理学家米勒(E. W. Müller)才用场离子显微镜首次获得单个原子的图像。使用场离子显微镜，需将样品置于大小只有几个埃的细针尖上，样品本身要求高强电场十分稳定，这些苛刻条件就使得场离子显微镜的应用范围极为有限。1981年，在IBM公司设在瑞士的苏黎世实验室工作的葛·宾尼希(Gerd Bining)和海因里希·罗雷尔(Heinrich Rohrer)合作攻关，克服了以上设备存在的问题。他们不用任何电子光学

系统，仅用一个微小的针尖进行扫描，当这个原子尺度的针尖在在离样品不到一个纳米的高度扫描样品时，此处电子云重叠，此时外加一电压(2 毫伏～2 伏)，针尖与样品之间遂产生隧道效应而有电子逸出，形成了隧道电流。电流强度和针尖与样品间的距离有函数关系，当探针沿着物质表面按给定高度扫描时，因样品表面原子凹凸不平，使探针与物质表面间的距离不断发生改变，从而引起电流不断发生改变。将电流的这种改变图像化即可显示出原子水平的凹凸形态。这在结构上要比电子显微镜简单得多。

以上述原理制成的仪器就叫做扫描隧道显微镜。1982 年 8 月，宾尼希和罗雷尔为他们的设计申请专利并获准。1986 年，宾尼希和罗雷尔因发明扫描隧道显微镜同获诺贝尔物理学奖。

扫描隧道显微镜的分辨率很高，横向为 0.1～0.2 纳米，纵向可达 0.001 纳米。其优点是对三态(固态、液态和气态)物质均可进行观察，而普通电镜只能观察制作好的固体标本。

扫描隧道电子显微镜的问世引起科技界的巨大轰动，因为它具有原子级的分辨率，能实时观测表面的三维图像，可直接观察生物大分子，如 DNA、RNA 和蛋白质等分子的原子布阵，因而被迅速应用于生物学、医学、表面物理、表面化学和材料科学等研究领域。

1985 年，宾尼希应美国科学家奎特(C. F. Quate)的邀请，到斯坦福大学作访问研究。在这期间，他们合作发明了具有原子分辨率、可适用于非导电样品的原子力显微镜(atomic force microscope，AFM)，STM 与 AFM 一起构建了扫描探针显微镜(SPM)系列。

使用 SPM 不仅能观察一个个原子、分子，还能操纵一个个原子、分子，人们称 SPM 是纳米世界的“眼”和“手”。SPM 的发明和应用直接促进了纳米科技的诞生。

扫描隧道显微镜初期被誉为“看得见原子的显微镜”，其后又发展为一个多功能工具，在纳米科技中大显身手。

第二十七章
印刷出版革命



绘画：王晨

计算机时代，印刷出版业发生变革，这是自 15 世纪铅活字印刷以来技术上的新飞跃。同时，新技术大大拓展了印刷出版的范围，使之走进办公室和普通人家。

一、复印机

复印机是静电复印机的简称，工作原理是利用电场和光照，使静电荷先吸附而后转移，在普通纸张上复制出与原件相同的图文。复印机的发明使人们摆脱了繁重的抄写，或刻写油印，大大提高了工作效率。

20 世纪早期，西方先后出现了几种复印方法，如照相冲印法、热影印法等，不过，这些技术都存在不足。1937 年，美国人切斯特·卡尔森(Chester Carlson)发明静电复印技术，带来了复印技术的革命。

卡尔森生于美国西雅图，是一位街头理发师的独生子。由于家境不太好，上中学时，他就利用业余时间给人打工，帮衬家中的经济来源。中学毕业后，卡尔森边工作边在技校学习，后来进入加利福尼亚技术学院，1930 年获得物理学士学位。

1934 年，28 岁的卡尔森在纽约马罗里(P. R. Mallory)公司的专利部工作，不时要复制一打打的专利说明书。这不仅需要烦琐的打字劳动，耗费大量的打印纸，而且常常错误百出。面对这种情况，卡尔森开始认真思考低成本复制的问题。他花了大半年时间，在纽约公共图书馆查阅了当时有关印刷和复制的全部书籍和文章。凭借独特的创意，卡尔森决定把静电学和光电导性相结合，通过在布满优质粉末的表面加静电，复制出清晰的字迹和图形。1937 年，卡尔森的想法完全成熟。

利用业余时间搞发明，卡尔森感到应该为自己的发明寻求保障，为此他向公司经理马罗里先生提出书面申请，1937 年 10 月 2 日得到批准，10 月 18 日卡尔森为他的技术思想提出专利申请。为了形成一整套想法和程序，记录失败对于专利记录而言不可或缺，再有见证人签名也同样重要。

不过，一纸专利并不够用，需要制作展示模型以表明实用性，卡尔森把公寓厨房布置成实验室，利用晚上和周末不停地工作。实验气味引起邻居的不满，不得已卡尔森把实验搬到岳母的美容院后面的空房子里。

为了解决技术问题，卡尔森雇了一位德国技术移民——年轻的奥托·科涅(Otto Kornei)作助手。靠着科涅的帮助，卡尔森的实验取得成功。

卡尔森后来回忆道："那天我去实验室，科涅将事先配置好的硫粉涂到一个锌板的表面上。我们试图发现制作出可见影像的方法。科涅取出一个显微镜载片，并用油笔在上面写上'10-22-38，Astoria'的字样。我们放下窗帘使房间尽可能地暗下来，科涅用手帕摩擦涂有硫粉的锌板表面以产生电荷，将显微镜载片放在硫粉层表面上，然后将载片于锌板的结合体放到明亮的白炽灯下照射几秒钟。取下载片，在硫层表面撒石松粉，轻轻吹去锌板表面疏松的石松粉后，在锌板表面上留下了一个近乎完美的复制的印在玻璃载片上的字样……"

为了改进复印的各个环节，卡尔森和科涅对各种变化和改进做了上百次的试验。1939 年 4 月 4 日，卡尔森为他发明的电子照相术（即静电复印）申请专利，1942 年 10 月 6 日获准。

卡尔森相信自己的发明有实用价值，然而要制造出复印机却困难重重。市场调查反映需求很小，许多公司都不看好复印机的前景。直到 1944 年，一个非营利性的研究机构巴特勒纪念研究所（Battelle Memorial Institute）与卡尔森签订合同，帮助进行技术改进，研究人员改用硒作为光电导体（1955 年获得专利，后来成为一项关键的技术）；采用黑烟末做色粉，提高了清晰度；再是利用电晕充电。1947 年，巴特勒研究所与一个名为哈罗伊德的印相纸公司达成合作协议，授予后者研制静电复印机的权利。当时的哈罗伊德规模不大，既没有研发能力，也没有专业生产线，但公司的总裁乔·威尔逊（Joe Wilson）具有决策魄力和战略眼光，他看好复印机的巨大潜力，想法设法筹措资金，招聘技术人员，全力进行复印机的研制。为促使公司转型，威尔逊把原公司改名为"Xerox"（施乐）。

制造复印机要克服的实际困难不仅在机械方面，色粉——后来因为能带来丰厚的利润而被人们称为"黑金"[①]——也面临着难以解决的问题。色粉看似简单，实则难以生产，施乐希望生产能难到使竞争者望而却步，不打静电复印术的主意，即使是在设备专利过期之后。

复印机色粉有两个关键的温度值：一个是色粉物理熔化并永久地渗入纸张的温度；另一个是色粉自行凝结的温度。理想状态下，熔化温度要低，凝结温度要

① 色粉由黑烟末和树脂组成，色粉的成本仅为每磅 10 美分，比包装成本都要低，但售价可以达到每磅 3～5 美元，利润率超过了 90%。

高。另外，色粉还要足够脆，能磨成所需要的适当颗粒大小，得出令人满意的效果和复印质量。最后，色粉还要有较长的保质期。要为所有这些变量找出合适的特性，当时唯一的方法就是通过成百上千次试验。最终，施乐研发的“低熔点”色粉专利在后来 20 年中发挥了极其重要的作用，大大减少了公司所面临的竞争。

1959 年 9 月，在克服了诸多技术困难后，施乐制成世界上第一台落地式办公用 Xerox914 型全自动复印机，由此掀开了世界办公用复印机历史上新的一页。由于初期的复印机体积大，价格高，优势难以体现，用户对购买复印机并不积极。施乐采取租赁机器的方式，按 5 美分一页计费，结果顺利地打开了市场。

复印机应用刺激了市场需求，施乐生产的 914 复印机 1960 年为 2000 台，1961 年翻了三倍变成 6000 台，1962 年跃升为 1 万台。在 1960 年至 1965 年期间，销售量增长了 10 倍多，安装量超过了 6 万台。施乐快速成为全球性的企业，也发展出复印机产业模式。

在 914 复印机之后，施乐又研发了 813、720 等新机型。20 世纪 60 年代以来，静电复印技术经历了模拟式、数字式、多功能复合式、数字全彩式等阶段，技术的进步使得计算机和办公设备、通信设备紧密融合在一起，真正形成了办公自动化系统产业。

静电复印技术的发明与推广，改变了传统办公室的面貌，给图书馆等需要拷贝书籍、论文的机构带来极大的便利，改变了人们出版的观念，也催生了“复印”的职业。

二、打印机

打印机配合计算机使用，为快捷印刷提供了极大便利。

打印机曾有过多种类型，而今几乎却由激光、喷墨两大类打印机两分天下。技术上它们各有特点，相对而言，喷墨打印机以其价格低廉、维修方便更为一般用户欢迎，在销量上喷墨打印机要高出激光打印机好几倍。

早在 1951 年，德国西门子公司便利用静电吸附原理生产出世界上第一台喷墨打印机，不过，那时的打印机又大又笨，价格昂贵，性能不稳定，只限于少数机构使用。

20 世纪 70 年代末，美国惠普公司的硅谷实验室全力研发激光打印机，复杂的技术、高昂的成本，促使科研人员想法开拓其他的研究路径。当时有几种尚不成熟

的打印技术可供选择，如用数百个微小喷管把微细的墨水喷洒到纸上，用激光和静电印刷结合把调色剂附加到纸上，用类似固体墨水来融化彩色的蜡质墨水到纸上，用加热的方式把图像在特殊类型的热染色纸上显现出来。1978 年，惠普研发小组的负责人约翰·沃特(John Vaught)经过比较，倾向采用热喷墨技术，因为它有可能生产出技术简单、成本较低、维护方便的打印机。这年的圣诞节，沃特继续思考，他认为喷水墨管须有合适的阵列，喷管之间的距离应为 1/200 英寸，打印要达到每秒钟一页的速度。节后沃特回到公司上班，专注于制作能快速喷墨的固态打印头，一个下午在喝咖啡的时候，他盯着咖啡渗滤器，突然想到，何不利用墨水本身作为喷墨的动力试一试呢？于是沃特动手把墨水当电阻，墨水盒外用一对电极通电，为墨水加热。起初试验并不成功，墨水的电阻不够大，没有产生所需的热量。更糟糕的是，通电加热使得墨水的部分水分子电解成氢气和氧气，散发的气体影响了其他部件正常工作。接下来，研发小组又选择电火花加热，用这种方式虽说可以，但是电极的损耗过快。最后，沃特和同事们想到利用薄膜电阻的形式，其后的试验取得突破性进展，薄膜电阻能够产生足够的热量将局部的墨水汽化，并迅速喷吐成墨点。由此热喷墨的关键技术基本解决，接下来几个月，惠普的研发小组顺利制出加热喷墨打印机的样机。

惠普的研发人员取得成功后很快申请了专利，1984 年获准，但研发人员却不能正确地解释“加热喷墨”的科学原理，这一度让惠普的高层管理者半信半疑，幸好最后还是支持投产。结果喷墨打印机很快成为惠普的拳头产品，低廉的价格，优异的性能，受到市场的广泛欢迎，连惠普开发的墨盒也带来极大的经济效益。

说来有趣，几乎与惠普投入研发喷墨打印机的同时，日本佳能公司在全不知晓的情况下，也在独立地研发新型打印机。一位叫 Ichiro Endo 的工程师注意到当热烙铁接触注射器时，水就因受热增大压力而从细颈喷出，从而想到了喷墨打印的方式。当然，佳能采取了与惠普不同的技术路线。

三、汉字激光照排

“告别铅与火，迎来光和电”，20 世纪 80 年代末 90 年代初，响亮的口号传遍中国，传向海外，报业和印刷业引发了一场技术革命，其领军人物是计算机应用专家

王选。

王选生长于上海，1954 年考入北京大学数学力学系，1958 年毕业留校。1961 年开始从事计算机软件和硬件结合的研究，1964 年承担国内较早的高级语言编译系统——DJS21 机的 ALGOL60 编译系统的研制。

1974 年 8 月，我国制定国家重点项目“汉字信息处理工程”，北京大学承担了其子项目“汉字精密照排系统”，王选被选为技术负责人，他审时度势做出决策：跨过日本流行的第二代光学机械式照排系统、欧美流行的第三代阴极射线管式照排系统，直接研制尚无先例的第四代激光照排系统。当时的国产计算机设备十分简陋，王选克服重重困难，在世界上首创“用轮廓加参数的数学方法描述汉字字形的信息压缩技术”“高速还原和输出技术”；针对汉字字数和字体繁多，印刷用汉字字形的信息量达几百亿字节，普通计算机难以存储的难题，他采用“轮廓描述方法”描述汉字笔画特征，使字形信息量压缩了约 500 倍，达到当时世界该领域的最高水平；为保证字形变大变小时的质量，王选在世界上首次提出并实现了用“参数描述方法”（即提示信息）控制字形变倍和变形时敏感部位的质量，而西方在大约 10 年后（20 世纪 80 年代中期）才开始采用类似技术。

把汉字信息压缩后存储进计算机，还必须将其快速还原和输出。当时小型计算机运算速度很慢，如果用软件实现压缩信息还原，1 秒钟只能还原 1 个汉字。1979 年，王选提出了适合硬件实现的、失真最小的高速还原汉字字形算法，并编写微程序予以实现，使还原速度达到每秒 250 字。后来又设计出一种加速字形复原的超大规模专用芯片，实现了高速和高保真的汉字字形复原和变倍、变形，使复原速度上升到 710 字/秒，达到当时汉字输出的世界最快速度。以上述技术为基础，1976 年至 1993 年，王选先后设计并实现了六代汉字激光照排控制器（现称栅格图像处理器 RIP），采用双极型微处理器与专用芯片（ASIC）相结合的技术，在计算能力和存储能力较低的计算机系统上完成了页面描述语言（PDL）的解释处理，使得中国的电子出版技术处于世界先进水平。王选的上述技术和发明共获得一项欧洲专利、8 项中国专利（部分专利与合作者一起申请）。欧洲专利申请于 1982 年 6 月 1 日，公布于 1983 年 12 月 7 日，专利名称“字形在计算机的压缩表示”，专利号 EP0095536A1。王选是我国改革开放后第一个欧洲专利的获得者。1985 年 4 月 1 日中国专利局成立，王选与他的合作者当日即申请了两项专利：高分辨率汉字字

形发生器(专利号 CN85100285)、照排机和印字机共享的字形发生器和控制器(专利号 CN85100275)。

汉字激光照排的专利技术迅速推广应用,占领了 99% 的国内报业市场、90% 的书刊(黑白)市场以及 90% 的海外华文报业市场,取代了我国沿用上百年的铅字印刷,引发了我国报业和印刷出版业的技术革命。

此后,王选又相继提出并领导研制了大屏幕中文报纸编排系统、远程传版技术、彩色中文激光照排系统、新闻采编流程管理系统和直接制版系统等,使中国报业技术和应用水平处于世界前列,这些发明专利创造了极大的经济效益和社会效益,成为我国自主创新和用高新技术改造传统行业的典范。

王选也获得一系列荣誉:两次获国家科技进步一等奖,两次被评为中国十大科技成就,获日内瓦国际发明展览会金牌,2001 年获国家最高科学技术奖。

四、桌面出版革命

20 世纪 80 年代,美国科学家约翰·沃洛克(John Warmock)和查克·杰西卡(Chuck Geschke)在硅谷创办了 Adobe 公司。与 15 世纪 50 年代约翰·古腾堡(Johann Gutenberg)发明铅活字印刷相类似,沃洛克和杰西卡开发的 PostScript 技术使印刷出版有了新变革,同时,PostScrip 也大大拓宽了印刷出版的范围,使之走进办公室和普通人家。

1964 年,沃洛克获得数学硕士学位后,开始在犹他大学任教,同时攻读计算机科学的博士学位。当时的犹他大学计算机科学系具有传奇色彩,培养了一批图形图像领域的先驱,受学术氛围的影响,沃洛克对图形图像技术有深入研究。1969 年,沃洛克获得博士学位,先后去过加拿大和华盛顿特区的几家机构,从事与计算机有关的工作。1974 年,沃洛克受犹他大学的导师鼓励,开始研究航天模拟器。在 1976 年的一个项目中,沃洛克和同事为纽约港的导航员培训班开发一种轮船的模拟程序,为了解决可实时提供纽约和新泽西实地背景的图像处理任务,他们开发了一种基于堆栈的图形描述语言,这后来成为 PostScript 的前身。

1978 年,因家人在加州定居,沃洛克决定在当地工作。他找到有名的施乐公司帕洛阿尔托研究中心(简称 PARC)。当时,施乐公司蒸蒸日上的复印机业务为研

究中心提供资金，这里人才济济，是各种新思想的乐园。杰西卡比沃洛克早来施乐几年，已是部门负责人，由他面试沃洛克。

杰西卡最早也是学数学出身，获得数学硕士学位后在约翰卡洛尔大学任教。一个偶然的机会他了解到编程，即刻就被程序迷住了，决定去著名的卡内基梅隆大学计算机系读博士。1972 年获博士学位，施乐公司到大学招聘，他被吸引而来。杰西卡很快成为学术骨干和团队负责人。

杰西卡对沃洛克的面试表现很满意，沃洛克对杰西卡也是一见如故，发现彼此有相同的经历和追求，都对出版和图像艺术感兴趣。

1981 年，杰西卡和沃洛克开发出了 Interpress，成为早期虚拟设计的典范。PARC 研究中心的同事纷纷表示祝贺，而公司高层却显得麻木，认为这是公司的私有打印标准，不打算公开发布，也不想推向市场。

面对公司的僵化管理，杰西卡和沃洛克都不能再忍受下去。1982 年 12 月，两人决定自创公司，公司名字就以沃洛克家后面的一条小河 Adobe 命名。

杰西卡和沃洛克对技术非常自信，很快开发出 PostScript，用这种软件可以在同一文档中写文字和作图，也不需要给每种特定的设备安装驱动程序和应用接口协议。他们很快找到风险投资，跃跃欲试要大干一番。

杰西卡和沃洛克从施乐公司 PARC 研究中心挖到一批以前的同事和朋友。到 1983 年时，Adobe 公司已有 13 名员工。公司的 2 号员工丹·普特曼(Dan Putman)被誉为“硬件天才”，他很快做出了一台 PostScript 打印机的雏形，试运行良好。

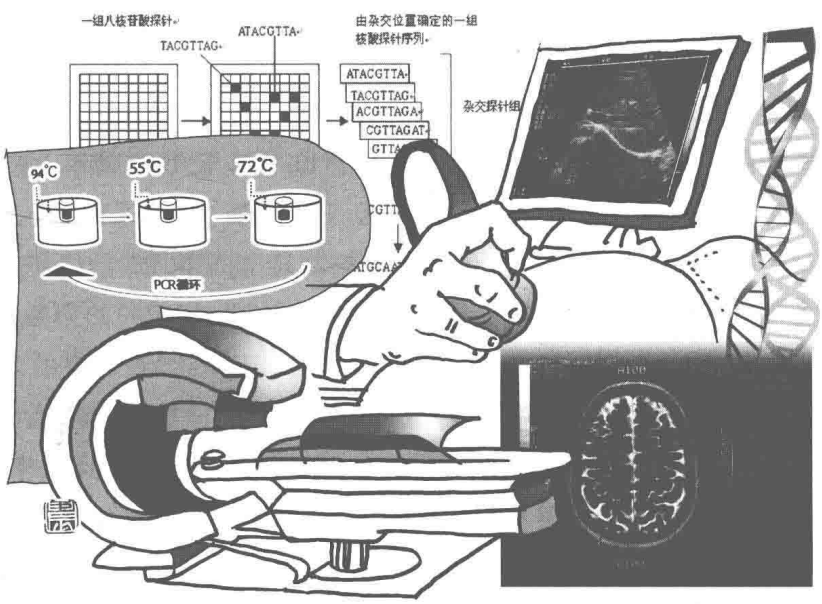
接下来，PostScript 真正的创举在于字体处理上，PostScript 可根据数学描述自动生成字体的大小和形状，而不需要手工调整点阵图来适应每一种字体风格和大小，从而大大降低了工作量。

苹果公司对 PostScript 的成功起了助推作用。当时苹果公司开发了一种分辨率为 72 点/英寸的针式打印机 ImageWriter，也在与佳能公司合作开发一种低成本激光打印机，价格比当时市面上其他的产品要便宜几千美元。但是令 CEO 史蒂夫·乔布斯(Steve Jobs)苦恼的是，没有一种软件能把苹果的 Macintosh 和激光打印机连接起来。在对 Adobe 访问后，乔布斯就被 PostScript 征服了。

很快，Adobe 公司与苹果公司签订了创建公司以来的第一份合同，授权苹果公司在 LaserWriter 激光打印机中使用 PostScript 驱动和字体库。

经过几年的艰苦努力，Adobe 公司开发出的 PostScript 技术成为出版印刷行业的标准，公司得以迅猛发展。通过发布一系列著名的图形图像软件，Adobe 公司又从一家系统软件公司成功转型，主要业务过渡到桌面应用软件。Illustrator、Photoshop、Premiere、PageMaker、Acrobat 等软件为 Adobe 公司谱写了一曲辉煌的交响曲。

第二十八章
生物医学创新



绘画：王晨

计算机技术使医学诊断和治疗发生了革命性的变化，CT、核磁共振成像成为大医院的必备装置；伽马刀发明，改写了先前大脑手术需要全麻开颅的历史，为医学治疗带来革命性的突破；生物芯片、PCR 技术的诞生，被认为是生物医学领域的重大创新，对生命科学、医学都产生了重要的影响。

一、B 超

B 超，全称 B 型超声波诊断仪（ultrasonic medical instruments of brightness mode），因 Brightness 一词的第一个字母 B 而得名。该仪器将不同强弱的回声信号转换为亮度不同的光点，从而能在荧光屏上显示出人体器官的平面图像。如今，B 超作为一项常规的医学检查手段，在预防、诊断、监护和健康普查中发挥着重要的作用。

B 超的发明基于超声波的研究。一般正常人只能听到 20 赫兹到 20 千赫兹之间的声音，如果声波的频率超过 20 千赫兹，便被称为超声波。最早利用超声波的装置是声呐，它可以有效地探测出藏于海底的物体。受声呐的启发，在第二次世界大战前各国就已经开展了对超声波的研究。在 1925 年至 1935 年间，先后有科学家研究利用超声波探测金属物体的内部缺陷。

压电材料的研究推动了超声波仪器的研制。19 世纪末 20 世纪初，物理学发现压电效应与反压电效应，由此提出利用电子学技术产生超声波的办法，后来促进了超声技术在医学上应用。1922 年，德国产生了首例超声波治疗的发明专利。1936 年，德国西门子公司推出了第一台超声波诊疗仪。1942 年，奥地利的神经科医师卡尔·杜斯克（Karl Dussik）尝试通过测量穿过头骨超声波的强度来探测脑肿瘤，这被认为是超声波技术应用于医学的标志，杜斯克也因此被誉为“超声波诊断之父”。不过受时代的限制，该技术未能在临床推广。

1945 年，美国工程师弗洛伊德·费尔斯通（Floyd Firestone）等人使用超声脉冲回声检测技术检测金属材料，并申请了专利。不久，美国医学教授乔治·路德维格（George Ludwig）尝试利用超声波确定人体内的结石和肿瘤，为此进行了大量实验。1950 年，美国科学家约翰·维尔德（John J. Wild）等人开始应用超声诊断仪来区分正常组织与疾病组织，探测脑肿瘤的反射波，此为脉冲反射法超声诊断的开

端。其后，超声诊断由实验研究阶段进入临床应用阶段。早期的超声诊断都属A型，A型超声波诊断仪能提供体内器官的一维信息，不能显示整个器官的形状。

1949年，美国发明家豪雷(D. Howry)等人开始研究二维超声成像系统；1952年，所制成的仪器称为B型超声诊断仪，他们用仪器对肝脏标本进行了显像试验，其后又开展了颈部和四肢的复合扫查法。豪雷为研制的仪器申请了多个发明专利。

B超的原理与A超基本相同，回声信号转换为光点显示，强回声光点明亮，弱回声光点黑暗。通过超声扫描回波，脉冲电信号在荧光屏上显示出器官断面图像，图像具有与人体解剖位置直接对应的特点，直观性强，使用方便，诊断正确率高。最初的B型超声波诊断仪的图像是静态的，只是黑白图像，后来又发展出若干等级灰阶信息。

B超问世后不断改进和完善。1953年，维尔德首次成功用B超获得乳腺超声声像图。1954年，英国格拉斯哥妇产医院的医生伊安·唐纳德(Ian Donald)发现，用超声波脉冲通过孕妇腹壁，可以探测到胎儿的情况，这是科学家首次用B超观测胎儿，唐纳德被认为是用超声诊断孕妇的先锋，B超诊断由此进入实用成熟阶段。

自20世纪60年代，医学仪器技术发展迅速。70年代，超声显像技术取得30多项重大革新，大大扩展了超声影像设备的临床应用范围。90年代，B超进一步与计算机技术结合，向着多功能、精确量化方向的进展。至此，二维B型彩超开始普及，三维、四维B型彩超兴起。

B超体积小，操作方便，适用性强，可用于肝、胆、肾脏、颅脑、腹部肿块等诊断，特别是胎儿的健康监护等，很快成为临床诊断中不可或缺的工具。

对B超的旺盛需求，刺激了产业化，并使得价格不断降低，由此形成B超在世界范围内的普及。以中国为例，20世纪70年代末引进只在大中城市医院应用，仅仅30多年时间，国内多家仪器厂都能生产，使B超普及到乡镇医院、卫生所(室)，甚至有的个体医生也有配备。

B超为医学检查带来了很大的便利，然而在亚洲一些国家的使用也出现了不曾预想的情况。由于“重男轻女”的旧观念，某些医疗机构和计生服务部门人员受利益驱使，利用B超实行“非医学需要鉴定胎儿性别”，致使若干女婴被非法人工引产，造成某些地区出生胎儿性别比例的严重失调，引发社会问题。近年，中国政府已严令禁止“非医学需要鉴定胎儿性别和非医学需要实行选择性别终止妊娠行

为”，许多省市为此开展了专项集中整治行动，以湖南省为例，从 2005 年到 2008 年，在整治行动中就有 300 余人受到党纪政纪处分，其中多人被开除公职。

二、CT

CT 是电子计算机 X 射线断层扫描技术（X-ray computed tomography）的简称，CT 设备能将人体内的器官以立体的、高分辨率的形式显示出来，更真实地显示有关病变的部位和详细情况。CT 的问世被认为“开创了医学诊断的新纪元”。

X 射线自 1895 年被伦琴发现以后，很快就用到医学的透视上，成为常规诊断的一种重要手段。不过，由于普通 X 射线成像是将人体器官的影像成在同一个平面上，而人体内有些器官对 X 射线的吸收差别极小，因此前后重叠的组织的病变就难以发现。为了有效地检查病变，科学家想办法弥补 X 射线技术检查的不足。1955 年，美国物理学家科马克（A. Cormack）在南非开普敦大学任教时，受一家医院的聘请，参加使用同位素的工作。期间，科马克对消除 X 射线影像的重叠以确定肿瘤的位置问题产生了兴趣，他开始着手研究用 X 射线透射信息精确确定人体内部结构的数学问题。经过 8 年的潜心研究，1963 年，科马克认为可以用 X 射线扫描进行图像重建，并提出了精确的数学推算方法，这一工作为后来 CT 进一步发展奠定了理论基础。

1967 年，英国电子工程师戈弗雷·豪斯费尔德（Godfrey N. Hounsfield）在不知晓科马克研究成果的情况下，在研究计算机图像识别时，设想让电子计算机根据对物体的一系列投影数据重建一张照片，而这一技术目标的实现正好迎合医学放射诊断技术的迫切需要。豪斯费尔德根据投影重建图像的理论，于 1969 年研制出一台用于对人的头部进行实验性扫描的装置，这就是世界上第一台 CT 机。为了加快 CT 的临床应用，1971 年 9 月，豪斯费尔德与一位神经放射学医生合作，在伦敦郊外一家医院安装了由他设计制造的这种装置。10 月 4 日，医院用新装置检查了第一例病人，病人在完全清醒的情况下仰卧，X 射线管在患者的上方绕检查部位转动，同时在患者下方装置的计数器也随之旋转。由于人体器官和组织对 X 射线的吸收程度不同，病变组织和正常组织对 X 射线的吸收程度也不同，这些差别反映在计数器上，经电子计算机处理，在荧光屏上呈现出了探测对象各个部位的横断图像，由

此摄取了医学史上第一张 CT 照片，实验取得完全成功。很快，豪斯费尔德为 CT 申请专利。在 1972 年 4 月的英国放射学年会上，豪斯费尔德公布了这一结果，正式宣告 CT 机的诞生，这一消息引起科技界和医学界的极大轰动，CT 的研制成功被誉为伦琴发现 X 射线以来，在医学诊断领域的又一次重大突破，它标志着放射医学面临一场新的革命。因为杰出贡献，豪斯菲尔德和科马克两人同获 1979 年诺贝尔生理学或医学奖。CT 机很快进入医学临床诊断，并得到了广泛应用，同时也激发了一系列的发明专利。

豪斯菲尔德最初研制的 CT 扫描仪只能用于人脑的检查，时间需 1～4 分钟，而今，CT 的扫描时间已缩短到 1 秒钟甚至更短，超高速扫描的第五代 CT，用电子束的扫描替代了机械运动扫描，使扫描速度提高到以毫秒为单位，甚至可以为心脏、大血管及冠状动脉疾病做动态检查。从第一台 CT 机问世至今，CT 的各项性能都有了很大提高。1974 年，美国工程师罗伯特·莱德利(Robert Ledley)成功设计全身 CT 扫描机，从而显著扩大了人体的检查范围，提高了病变的检出率和诊断的准确率，他还发明了全身 CT 扫描机。20 世纪 80 年代，代替馈电电缆的滑环技术应用于 CT 机器，使 CT 的单方向连续扫描成为现实。在此基础上螺旋扫描技术问世，由传统的二维采样的 CT 扫描模式进展为三维采样，不仅大大缩短了病人检查时间，而且使各种真正三维重建图像(如 CTA、内窥镜技术等)成为 CT 的新显示技术，从而进一步充实、丰富和提高了 CT 机器的性能。

除 X 射线 CT 外，其他类型的 CT 也相继问世，如单光子发射 CT、核磁共振 CT 等均已付诸临床应用。超声 CT、微波 CT 的研究也取得了重大的进展。毫无疑问，CT 已成为影像诊断学领域中不可缺少的检查手段。

CT 机可围绕人体做 360 度的连续旋转扫描，将人体内需要检查的部位分成数以千计的小点，通过 X 射线显像机，人体内小到 5 至 10 毫米的病灶，都能清晰地显示出来，CT 作为一种高性能的无创伤诊断技术因此被广泛运用于医疗诊断上。

三、伽马刀

伽马刀(Gamma Knife)是 20 世纪下半叶发明的一种先进放射治疗设备，其全称是“伽马射线立体定向放射治疗系统”，它结合了立体定位技术、三度空间影像扫

描、计算机计算等，实施定点聚焦放射治疗，成为颅内深部手术的一种新利器，因其治疗照射范围与正常组织界限非常明显，边缘如同刀割一样，故被形象称之为“伽马刀”。伽马刀的发明，改写了先前大脑手术需要全麻开颅的历史，为医学治疗带来革命性的突破。

伽马刀是随着物理学的发展而出现的。1951 年，瑞典斯德哥尔摩的卡罗神经外科研究所(Karolinska Institute)的神经外科医生拉斯·雷克塞尔(Lars Leksell)首先提出了“立体定向放射外科”的概念，他主张在传统外照射的基础上，利用精确的定位系统和高能射线束，对病变靶区进行多角度、单次、大剂量照射，达到靶区内病变凝固性坏死的不可逆生物效应，以治疗多种脑部的疾患。瑞典爱勒克塔公司(Elekta)根据拉斯·雷克塞尔的设想，经过不断试验和改进，于 1967 年研制成功世界上第一台伽马刀，它可以用数百条伽马射线聚焦于脑内定点，以施行高剂量、小范围的照射。1968 年，装有 179 个钴-60 源的伽马刀在卡罗神经外科研究所安装，开始临床治疗病患。此后，人们对伽马刀治疗不断进行临床总结和研究，1975 年改进的有 201 个钴源的第二代伽马刀问世，这也就是今天我们所熟悉的伽马刀的原型。1982 年后，伽马刀以其特殊的效能，为越来越多的医院所青睐。1984 年，与成像技术相结合的第三代伽马刀问世，其精确度更高，性能更好，治疗范围进一步扩大。1987 年伽马刀引入美国，由于这时伽马刀的手术时间尚长，成本高，于是仪器专家罗伯特·巴什(Robert Barsh)做出改进，把新装置称为“radiosurgical collimator knife”，并为此申请了专利，1989 年获准。其他医学仪器厂商也有改进，20 世纪 90 年代，伽马刀在许多大医院临床应用。

1993 年，伽马刀被引进中国。1994 年，深圳奥沃公司对进口伽马刀的关键结构做了重大改进，制成世界上第一台旋转式伽马刀，先是在国内申请专利，后又通过美国食品与药物管理局(FDA)的严格检测与审核，获准进入美国市场。按发明者宋世鹏等人说法，该发明的创新在于“提出了一种可旋转的伽马射线辐射单元，特别适用于医用伽马刀系统。它的载有放射源的源体可在防辐射保护框内做 360 度旋转，放射线轨迹形成了若干以公共焦点为共同顶点的旋转锥面，将现有静态聚焦方式的单点连续辐射改变为多点断续辐射，从而减少了放射源的数量，简化了产品结构”。

1997 年，中国又研制成世界第一台体部伽马刀(全身伽马刀)。2003 年，在总

结国内外前几代伽马刀技术特性和结构性能的基础上，中国研制出双重聚焦式头体合一伽马刀。二十几年来，中国伽马刀的研究和制造在海内外都产生了影响。

四、核磁共振成像

核磁共振成像（nuclear magnetic resonance imaging，NMRI）的发明，为现代临床诊断提供了有力的新手段，它与 X 射线断层扫描、超声影像诊断并称为现代临床医学的三大成像技术。

核磁共振成像与原子物理学发展相关。早在 20 世纪 20 年代，瑞士物理学家泡利（N. Pauli）指出，有些原子核在外磁场作用下，它们的能级会发生分裂。30 年代，美国物理学家拉比（I. Rabi）观察到了核磁共振现象，并因测量核磁矩而荣获 1944 年诺贝尔物理学奖。1946 年，美国斯坦福大学的布洛赫（F. Bloch）和哈佛大学的柏赛尔（E. Purcell）为首的两个小组几乎同时采用不同方法（吸收法和感应法），各自独立地在水和石蜡样品中发现了物质的核磁共振现象，他们也由此分享了 1952 年的诺贝尔物理学奖。此后，更多的科学家投入核磁共振现象的研究，并将核磁共振作为一种新的分析手段应用于多种领域。

差不多同时，医学专家发现水分子中的氢原子可以产生核磁共振现象，利用这一现象可以获取人体内水分子分布的信息，从而精确绘制人体内部的结构。在这一理论基础上，美国纽约州立大学的雷蒙德·达曼迪安（Raymond Damadian）于 1970 年利用核磁共振波谱仪，对正常组织和癌变组织的样品进行研究，发现在磁激条件下，核磁共振对健康细胞和癌症细胞原子核的影响不同，癌细胞原子核从高能态返回平衡态时所用的时间比健康细胞长得多，他从而提出利用核磁共振现象诊断癌症的可能性。1972 年达曼迪安提出专利申请，1974 年获得了“探测组织中癌症的设备和方法”的专利，此专利被认为是核磁共振用于医学临床检测的第一个专利。

1971 年，美国科学家保罗·劳特布尔（Paul Lauterbur）研究指出达曼迪安采用的扫描方法存在缺陷，为此提出在主磁场内附加一个不均匀的磁场，即采用磁场梯度法。经过反复实验，1973 年，劳特布尔获得了一个活体（蛤蜊）的第一张核磁共振图像。随后，英国物理学家彼得·曼斯菲尔德（Peter Mansfield）对磁场梯度法改

进，使得核磁共振能极快地形成有价值的图像，此外，他还证明了可以用数学方法分析获得的数据，这为利用计算机快速绘制图像奠定了基础，1977 年，曼斯菲尔德申请并获得专利。劳特布尔和曼斯菲尔德因在医学诊断和研究领域内使用核磁共振成像技术所取得的成就，分享了 2003 年诺贝尔生理学或医学奖。后来，为了避免人们把这种技术误解为核技术，一些科学家建议把核磁共振成像技术的“核”字去掉，称之为“磁共振成像技术”，英文缩写 MRI。

1977 年，达曼迪安制成第一台核磁共振人体扫描仪，并获得了第一幅人体全身磁共振扫描图像，1978 年申请专利，1982 年获批准。此后他又有系列专利获准。1978 年，达曼迪安创立美国佛纳（FONAR）公司，专事生产磁共振扫描设备。达曼迪安也深受侵权的困扰，1992 年，他被迫与通用电气公司对簿公堂，历经 5 年，美国联邦最高法院最终判决通用电气公司侵权，赔偿达曼迪安 12 870 万美元的损失（相当于当时这家小公司年收益的 10 倍）。不过达曼迪安还是有铭心遗憾，他对核磁共振成像技术的贡献无可否认，却无缘诺贝尔生理学或医学奖。

核磁共振成像技术无须使用 X 射线、放射性物质和造影剂，对人体没有辐射影响，图像清晰、精细、分辨率高、对比度好，能进行定量分析，特别对软组织层次显示很好，还可以直接做横断的、矢状面、冠状面和各种斜面的体层图像，并且也能对脑、心、肝等功能性反应进行精确的判定。

核磁共振成像仪已在许多国家得到应用，成为一项常规的医学检测手段，特别是用于帕金森氏症、多发性硬化症等脑部与脊椎病变以及癌症的治疗和诊断，尤显优势。据 2002 年统计，全世界使用的核磁共振成像仪已达 2.2 万台，利用它们共进行了约 6000 万人次的检查，而这一数字后来很快就被超越。

五、生物芯片

20 世纪 70 年代，生物芯片（biochip）技术兴起。通过将生命科学研究中所涉及的不连续的分析过程（如样品制备、化学反应和分析检测），利用微电子、化学、物理技术、计算机技术在固体芯片表面构建起微流体分析单元和系统，使之连续化、集成化、微型化。

生物芯片技术源于“96 孔板”的使用。所谓“96 孔板”是一个塑料板，上面有

96 个孔，科学家把不同的样品放进孔里，样品会同时发生反应，这大大提高了化学反应的速度。这个新技术随之带来一个新概念：存在同时进行的平行反应，后来由此发展出“组合化学”的概念。在“组合化学”中，同样是 12 × 8 行列的“96 孔板”，但其每行每列用的试剂却不一样，因此在每行列的交叉口，就产生了 96 种不同的反应。

英国科学家爱德文·萨恩(Edwin Southern)发现，可以把生物分子固定在固体表面，这也就意味着生化反应可以在固体表面进行。这一发明对生化界影响重大，科学家把这种技术称为“Southern 印迹杂交”即“Southern Blot”。以这一技术为基础，可以采用光导原位合成或微量点样等方法，将大量生物大分子比如核酸片段、多肽分子甚至组织切片、细胞等生物样品有序地固化于支持物(如玻片、硅片、聚丙烯酰胺凝胶、尼龙膜等载体)的表面，然后与已标记的待测生物样品中靶分子杂交，通过特定的仪器如激光共聚焦扫描或电荷偶联摄影像机(CCD)对杂交信号的强度进行快速、并行、高效地检测分析，从而判断样品中靶分子的数量，由此就是生物芯片。

生物芯片从实验室走向工业化，直接得益于探针固相原位合成技术和照相平板印刷技术的有机结合，以及激光共聚焦显微技术的引入，这使得合成、固定高密度的数以万计的探针分子切实可行，而且借助激光共聚焦显微扫描技术使得可以对杂交信号进行实时、灵敏、准确的检测和分析。

生物芯片有不同分类，包括基因芯片、蛋白质芯片、细胞芯片、组织芯片等；另外，根据所用原理可分元件型微阵列芯片、通道型微阵列芯片、生物传感芯片等。

以重要的基因芯片为例，利用基因芯片可开展新药的超高通量筛选和药理遗传学、药理基因组学等研究。美国昂飞公司(Affymetrix)是基因芯片(gene chip)技术的领先者，科学界评价昂飞为推动基因组革命提供了突破性的工具。昂飞极为重视对核心技术的保护，截至 2000 年，该公司已拥有上百项与基因芯片有关的专利，从执照费用和专利权税中获取了高额收入。

生物芯片展示出诱人的商业前景。2001 年，全世界生物芯片市场已达 170 亿美元，用生物芯片进行药理遗传学和药理基因组学研究所涉及的世界药物市场每年约 1800 亿美元。2005 年，仅美国用于基因组研究的芯片销售额就达 50 亿美元。

中国高度重视生物芯片的研发和应用，为加强在这一新兴高科技领域的自主

创新和产业化能力，自 2000 年起，国家投入近 5 亿元人民币，先后建立了北京、上海两个生物芯片国家工程研究中心。到 2005 年，中国已有 500 余种生物芯片及相关产品问世，2002 年到 2005 年的累计销售额近 2.5 亿元；10 余个芯片或相关产品获得了国家新药证书、医疗器械证书等认证，逐步实现了产业化生产。

六、PCR 技术

PCR，即“聚合酶链反应”(polymerase chain reaction)的缩写，是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一种体外核酸扩增技术。它具有特异、敏感，快速、简便等突出优点，这项技术的诞生被认为是生物医学领域中的一项革命性创举。

PCR 利用了 DNA 双链复制的原理。一条 DNA 序列不断加以复制，使其数量呈几何级数方式增加，以此可用来做特殊定性分析，有多种多样的应用。如化石中的古生物、历史人物的残骸，或多年前命案中凶手所遗留的毛发、皮屑或血迹，只要能分离出一丁点的 DNA，就可表现出“微量证据”的威力。

DNA 双螺旋结构发现于 1953 年，自此确立了它就是细胞中携带遗传信息的分子。第一个细胞内用来复制 DNA 所需的聚合酶(polymerase，即 PCR 之 P)，早在 1956 年分离成功。随后的二十多年，在试管内复制 DNA 已成为许多生物实验室的例行工作，然而却没人想到以 PCR 方法大量复制 DNA，或虽然有人想到也认为不可行。其原因是 DNA 复制所需的聚合酶是蛋白质，在高温下会失去活性。再有，要在千万条 DNA 当中，以一小段已知序列制成的引物，“钓”出所需的片段进行复制，困难之大，犹如大海捞针，这也让人却步。

PCR 的发明人是美国的凯利·穆里斯(Kary Mullis)，穆里斯 1972 年毕业于加州大学伯克利分校，获生物化学博士学位，1979 年进入西特斯(Cetus)生物技术公司。当时的西特斯集结了一批有能力、有梦想的科学家，在自由探讨的氛围中，大家致力于基因产品的研发。西特斯聘用穆里斯，是想借重他有机化学合成的专长，负责合成寡核苷酸(短链的 DNA 分子)，以供实验所需。

穆里斯个性古怪，独来独往，常有奇思异想，虽然大部分证明是错的，一旦正确可行却价值不凡。PCR 的想法归于穆里斯，然而变成现实则与其他同事的工作密不可分。1983 年 9 月，穆里斯开始实验，断断续续，总不成功。1984 年 11 月，穆里

斯的助手首次取得稳定的结果，证明 PCR 可行。其后，其他科研人员帮助改进，及时整理成果。1985 年 3 月 28 日，西特斯公司送出有关 PCR 的第一个专利申请，从此开演了 PCR 技术的大戏。

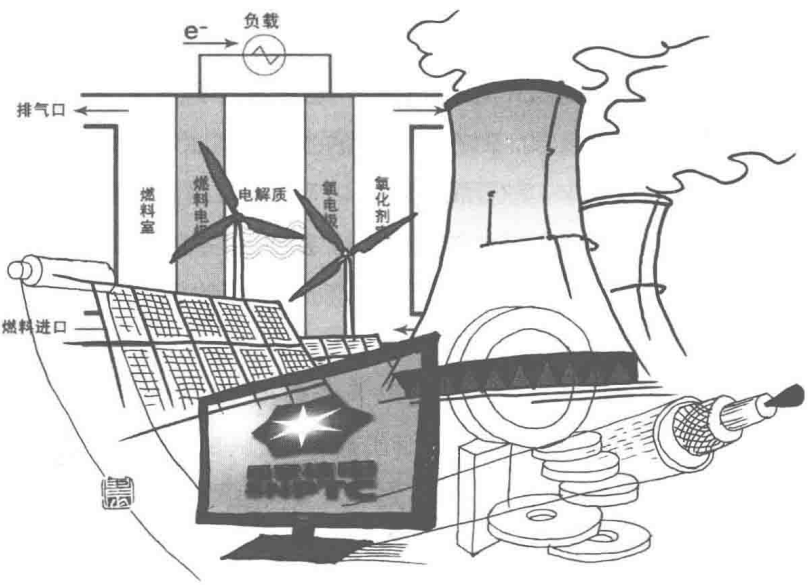
PCR 技术发展之快、应用之广，超乎人们的想象，它适用于生物工程、疾病诊断、法医鉴定和古生物等许多领域，成为强有力的技术手段。过去要几天或几星期才能做到的事情，用 PCR 几小时便可完成。

1989 年，美国《科学》杂志评选 PCR 为“年度分子”之一，并把它列为 20 世纪 80 年代 10 项重大科学发明之首。1993 年。穆里斯因提出 PCR 概念荣获该年度的诺贝尔化学奖。1991 年 12 月，美国的霍夫曼罗氏公司(Hoffmann-La Roche)出资上亿美元，购买西特斯公司所持有的 PCR 专利技术，成为当时单项专利交易之最。

PCR 技术取得专利及其迅速转化的过程给人启示。20 世纪 80 年代以前，美国的专利一般只授予应用领域。美国宪法授权国会，“通过保证作家和发明家在有限时间内享有对他们自己的作品和发明的专有权，来促进科学和实用艺术的发展。”也就是说，专利法应当促进“实用艺术”或者说应用技术的发展。通常认为，活的生物体或细胞是“自然产物”，不可授予专利(植物除外)。

然而，随着生物科学的发展，不断涌现新的生物发明，迫使专利法律上认同许多“新的前沿领域”。1980 年，美国最高法院以 5 ∶ 4 的投票结果并宣布，“太阳底下由人类制造的任何事物”都可获得专利保护。由此打开闸门，巨额风险资本纷纷注入生物技术行业，造就高风险、高回报的风险资本环境，这也更激励科学家开拓创新，PCR 技术正是这一大背景下的产物。

第二十九章
新能源、新材料



绘画：王晨

随着人类对可持续发展、环境保护的认识，新能源的开发利用得到高度重视，核能、太阳能、风能、化学电池等加大研究力度，能源技术创新不断涌现。多学科交叉研究助推液晶、碳纤维等新材料突破，拉动一批新材料产业，其产品在科研、生产和生活中获得广泛应用。

一、核能发电

核能发电(nuclear electric power generation)是利用核裂变所释放出的热能进行发电的技术。它与火力发电极其相似，只是以核反应堆及蒸汽发生器来代替火力发电的锅炉，以核裂变能代矿物燃料的化学能。

核电站的关键部分是核反应堆，所依据的理论基础是核裂变，而对核裂变的认识基于原子可分和中子的存在。

1932 年，英国物理学家詹姆斯·查德维克(James Chadwick)研究发现中子，这就使原子裂变成为可能。1933 年，匈牙利物理学家列奥·齐拉(Leo Szilard)猜想用一个中子轰击原子核，如果能产生两个或两个以上的中子，则可形成链式反应。

1934 年，意大利物理学家恩里克·费米(Enrico Fermi)带领团队按照周期表的顺序用中子一个一个地轰击原子，当用中子轰击铀时，他以为发现了超铀元素，并因此荣获 1938 年的诺贝尔物理学奖。这个错误的喜剧改变了费米自己的命运，也改变了世界的命运。

1938 年，德国化学家奥多·哈恩(Otto Hahn)和斯特拉斯曼(Fritz Strassmann)发现中子轰击铀核时，并非得到了超铀元素，而是铀核分裂成了两半，由此提出“核裂变”的概念。

1941 年 12 月 6 日，美国罗斯福总统听从科学顾问的建议，为赶在德国法西斯前面，决定实施制造原子弹的“曼哈顿计划”(Manhattan Project)(又译“曼哈顿工程”)。1942 年 12 月，移居美国的费米和齐拉领导完成了世界上第一个核裂变反应堆，命名为 CP-1(Chicago Pile-1，芝加哥 1 号堆)。当时急迫解决的技术问题主要有两个：一是设法分离出足够多的裂变物质(例如铀 235)；二是采用重水、石墨等方法使中子慢下来变得可调节。

战争结束后，科学家开始了对核能的和平利用。1951 年 12 月 20 日，在美国爱达荷州附近的快中子反应堆实验增值反应堆 1 号（Experimental Breeder Reactor Ⅰ），首次利用核能发出大约 100 千瓦的电力，点亮四盏灯泡。1954 年 6 月 27 日，苏联的奥布灵斯克核电站成功并网发电，为石墨慢化、水冷却示范核电站，虽然电功率只有大约 5000 千瓦，却是世界上最早的实验性质的核电站。1956 年，英格兰建成世界上第一座商用示范核电站，当时的装机容量为 5 万千瓦。1957 年，美国建成第一座压水堆型示范核电站，电功率为 9 万千瓦。1958 年，法国在马科附近建成核电站也开始启用。

20 世纪 50 年代，建成的核电站单堆功率小、堆型多、经济性较差。科学家不断进行核电站的研究，到 60 年代时，核电站经过筛选比较，堆型趋于集中，核电站的单堆功率迅速扩大，经济性不断改善。1961 年，美国建成第一座商用核电站，电功率为 18.5 万千瓦。70 年代，由于核浓缩技术的发展，核电发展进入高潮时期，核能发电的成本已明显低于火力发电的成本，核能发电正式进入商用推广阶段，全世界大规模推进核电站建设。到 1978 年，全世界 22 个国家和地区正在运行的 3 万千瓦（电）以上的核电站达 200 多座，总装机容量达 1.078 亿千瓦（电）。

核电站安全运行非常重要。1979 年 3 月 28 日，美国宾夕法尼亚州的三里岛核电站发生熔毁事故；1986 年 4 月 26 日，苏联切尔诺贝利核电站发生爆炸，被认为是历史上最严重的核电事故。这导致公众对核电安全的严重关切，直接影响核电站的建设。科学家开始着力研究核电站的安全问题，取得了一定的成效。随着技术的进步，20 世纪 90 年代末期核电站的建设又活跃起来，到 2000 年，全世界 31 个国家和地区建成的核电机组为 436 套，总发电能力达 3.517 亿千瓦，其发电量占全世界总发电量的约 16.1%。

中国核电站建设起步相对较晚，20 世纪 80 年代开始自行设计、制造、安装秦山核电站，1991 年 12 月 15 日并网发电成功，为和平利用原子能树立了里程碑。此后大亚湾、田湾等一系列核电站相继建立。到 2006 年，中国核电站装机容量达 870 万千瓦（电）。近年来中国经济快速增长，能源供应日趋紧张，国内关于大力发展核电产业的呼声强烈。2007 年 10 月，国务院《核电中长期发展规划（2005—2020 年）》正式发布，按照规划提出的目标，到 2020 年，中国核电运行装机容量将达到 4000 万千瓦。

二、太阳能

地球上万物生长靠太阳，化石燃料、风力等所蕴含的能量都间接来自太阳。今天，太阳能的利用已成为人类应对新能源和环境危机的重要选择。

早在1615年，法国工程师萨洛蒙·德科(Salomon de Caux)发明了世界上第一台“太阳能机”，用玻璃透镜聚焦太阳光来加热水产生蒸汽，进而产生出微小的动力。此后数百年，类似的发明还有不少。

进入19世纪，科学家除了对太阳能的热利用继续研究，开始探索把太阳辐射的光能转化为化学能、电能等形式。1839年，法国科学家贝克勒尔(Alexandre-Edmond Becquerel)研究光的化学效应时发现，光照引发化学反应时会产生电流，这一现象被称为“光伏效应”，然而很长时间没有合理的解释。直到1905年，爱因斯坦发表数篇论文，给出光电效应的光子理论解释，建立狭义相对论，引起科学界的轰动。

就太阳能电池技术的发展看，技术开发比之理论研究要难得多。1883年，美国发明家查尔斯·弗里茨(Charles Fritts)用硒镀金制成世界上第一个太阳能电池，不过它只能把所接收太阳光能的1%转化为电能。实质性的进步在20世纪40年代。1941年，贝尔实验室的半导体专家拉塞尔·奥尔(Russell Ohl)利用研制的半导体PN结，制成世界上第一个现代意义上的太阳能电池，并申请了专利。此后，贝尔实验室在太阳能电池研究上持续进展，1954年出现重大突破。说来缘于一个偶然机会，三位实验人员发现半导体硅在掺入某种杂质后会变得对光特别敏感，在此基础上制成的太阳能电池的能量转化效率达4%～11%，此举宣布了太阳能电池的实用价值。1958年，美国发射的先锋1号卫星成为世界上第一枚配置太阳能电池板的卫星。1981年，世界上第一架太阳能电池飞机“太阳挑战者”飞越英吉利海峡。

虽然太阳能技术取得突破，20世纪中期的技术应用却经历了一段清冷岁月。两次世界大战促使各国疯狂开采煤炭和石油，太阳能利用因为成本高而未能受到重视。这种情况下，一些有识之士仍坚信太阳能清洁和可持续利用的前景，坚持进行太阳能的研究，其中有一位引人瞩目的俄裔美籍发明家斯坦福·沃弗辛斯基

(Stanford Ovshinsky),他发明了生产非晶体半导体薄膜的方法,于 1985 年获得专利,沃弗辛斯基的生产方法很有点像报纸印刷,将一层非晶体半导体硅材料印在金属薄膜上,用他的方法能够生产出一整卷太阳能电池,长度可达到三百多米。

沃弗辛斯基的太阳能电池转换率高、成本低,能大批量生产,这使得对太阳能的利用前进了一大步。大块的太阳能电池被安装在世界上的许多地方,从偏僻的墨西哥小山村到太空的空间站,都使用了这种电池。沃弗辛斯基生产的太阳能电池房瓦,1996 年获得美国《大众科学》杂志大奖和 1997 年《探索》杂志环保类奖。1992 年,安装在加州戴维斯附近的一个大型薄膜太阳能电池阵,产生出 479 千瓦的电力,足够 124 家使用。

进入 21 世纪,许多国家都加大对太阳能利用的研发。在太阳能光伏制造业方面,中国的快速发展为世界瞩目,例如光伏电池生产能力从 2006 年初的 14.8 万瓦上升到 2007 年中的 170 万瓦,到 2007 年时,中国已经超过德国,仅次于日本,成为世界第二大光伏电池生产国。

三、燃料电池

燃料电池(fuel cell)是一种将存在于燃料与氧化剂中的化学能直接转化为电能的发电装置,它的研究和利用为人类的可持续发展带来希望。

燃料电池的概念和制造已有 150 多年的历史。早在 1839 年,英国科学家威廉·格罗夫(William Grove)利用硫酸液作电解质,混合氢和氧,生成电流。后人称格罗夫的发明为燃料电池,其实,当时的发明距实际应用还相差很远。

第一个实用的燃料电池是由英国工程师弗兰西斯·贝根(Francis Bacon)制造的。从 20 世纪 30 年代起,贝根就致力于燃料电池的研究,1949 年他制成“氢氧燃料电池”,1952 年 2 月 27 日获英国专利。1955 年,贝根又获得“碱性原电池”的专利。1959 年,贝根研制成一台可供焊机使用的 5 千瓦碱性燃料电池组,并做了公开展示,这标志着燃料电池开始走出实验室。贝根的电池专利后转让给美国,经改进,成功用于阿波罗登月舱,作为电力和饮用水的来源(水是电池的副产品),燃料电池因此一举成名。

很长一段时间,燃料电池由于价格高,使用得很少,这方面的研究没有成为热

点。20 世纪 70 年代石油危机的出现，使情况发生了改变。西方国家认识到能源的重要，一些大公司尤其是汽车公司投入巨资对燃料电池进行研发，到 20 世纪末，有关燃料电池的专利申请呈爆炸式的增长。美国专利局的统计显示，燃料电池专利的申请在 1999 年是 870 件，到 2003 年已超过 4000 件。燃料电池已开发出多种类型，如质子(proton)交换膜型、磷酸盐型、固体电解质型、溶解碳酸盐型、强碱型、可逆型、直接氢燃烧、甲醇燃料等。

统计数据表明，开发燃料电池投入大和专利申请领先的以汽车公司为多。在 1999 年领先的专利拥有者是日本的松下、三铃、丰田，德国的西门子、尤尔利希研究中心和美国的三大汽车公司，但到 2003 年，前三位的专利拥有者是日本的本田、丰田和尼桑，这表明汽车制造商在燃料电池技术方面是主要创新者。

2007 年 5 月，联合国车辆法规协调论坛首次将制定氢能及燃料电池车辆全球技术法规提上日程。燃料电池汽车的续航能力已有较大提高，2007 年，通用公司的 Sequel 燃料电池车首次实现单次加注续航 300 英里。本田公司的 FCHV 燃料电池仅利用储氢罐中的 70% 已成功行驶 348 英里。

近年来，中国的企业和高等院校联合投入对燃料电池的研究，开发具有自主知识产权的技术，燃料电池轿车已经发展到第四代，样车的性能参数迅速接近国际水平。2007 年，上海神力公司等联合研发的氢燃料电池客车首次出口国外，并且中标多项国际燃料电池城市客车示范运营项目。2008 年奥运会上，二十多辆配备第四代燃料电池动力系统的“帕萨特-领驭”作为接待车展示风采。

四、稀土永磁材料

稀土永磁材料的发明，给电机、电子等行业发展带来新的活力，推动了密切相关的电子产品的发展。

人们从利用天然磁铁(成分 Fe_3O_4)、发明罗盘开始认识磁性。16 世纪以后，磁现象的神秘面纱逐渐揭开；19 世纪，软磁性材料的发明使发电机、电动机、变压器等工业实用化。20 世纪初期，科学家发明了能产生稳定磁场的硬磁性材料，也称永磁材料，解决了维持磁场消耗电能的问题，使磁性材料的应用迈进了一大步。

1931 年，铝镍钴磁钢问世，性能优异，受到重视。不过，钴资源主要集中于扎

伊尔等国，供应受到限制。另外，科学家利用磁铁矿制得铁氧体永磁材料，如钡铁氧体、锶铁氧体，原料易得，工艺简单，然而性能不尽如人意。到20世纪70年代，上述两种永磁材料的应用普遍，尤其是铁氧体永磁材料，产量在永磁材料中占了大宗。

随着电子技术及其产品“轻薄短小”化的发展，高性能永磁材料的需求量不断增长，这促使科学家开发新型永磁材料，所试验的铁合金元素几乎遍及整个元素周期表。1966年，美国戴顿大学的施特尔纳特(K. J. Strnat)报告发现了含钴化合物YCo_5的特性，迅即引起科学家对稀土永磁材料的极大兴趣，不久研制出$SmCo_5$稀土钴永磁材料，很快进入工业化生产。稀土钴永磁材料的产量迅速增长，1975年，稀土钴永磁材料的世界年产量仅为14吨，1978年上升到270吨，1980年达到500吨。不过，这种材料中仍有稀缺的钴，资源的缺乏限制了稀土永磁材料的工业化规模。所以，科学家设想能否利用廉价的铁，为此进行铁基永磁合金的探索。

经过十余年的努力，1983年，日本住友特殊金属公司(Sumitomo Special Metals Co.，SSMC)的佐川真人(M. Sagawa)等人宣布，研制出高性能的钕铁硼永磁材料；与此同时，美国通用汽车公司下属的麦格昆磁(Magnequench，MQ)公司也宣布，开发出了磁性最强的钕铁硼永磁材料。新的发明在稀土永磁材料的发展史中具有划时代的意义。

钕铁硼永磁材料的性能惊人，一问世便轰动世界，被人们冠以“磁王”的称号。其组成的2/3是铁(Fe)，稀土钕(Nd)约占1/3，硼(B)不足1%，由丰富的Fe、Nd为原料，高性能永磁材料不受资源限制。如此重大的突破，迅速改变了永磁材料的生产和应用格局。

钕铁硼永磁材料被大规模生产，无论是产量、产值和用途，增长和发展都令人吃惊，世界各国竞争激烈，甚至举行了以“钕铁硼永磁材料对永磁使用者和生产者的冲击”为主题的国际研讨会。

钕铁硼永磁材料的产业和贸易发展也深受专利权的影响。日本和美国在1982年就分别申请了钕铁硼永磁材料烧结、粘结的国际专利，内容包括钕铁硼永磁材料的基本成分和生产工艺，专利范围覆盖了欧、美及亚洲经济发达国家与地区。日、美为了保护专利的独占性，对国外公司进行限制，将世界著名的企业挡在钕铁硼产业之外。如果在专利覆盖地区销售钕铁硼产品，必须要获得这两家公司的许可，并且还要交纳一定费用。所以专利一度成为钕铁硼产业发展的瓶颈。

中国的钴资源奇缺，但是探明的稀土矿藏储量却占世界总储量的85%左右，所以研发稀土永磁材料具有重要的战略意义。鉴于日本、美国对其技术细节秘而不宣，在被卡脖子的刺激下，中国科学家王震西带领中国科学院物理所和电子所的科研人员攻关，经过无数次的试验，终于在1984年研制出中国自己的实用型钕铁硼磁钢，其性能达到当时世界的领先水平。1985年，由王震西为首成立了“中国科学院三环新材料研究开发公司”（后更名为“北京三环新材料高技术公司”），20世纪90年代又收购美国MQ工厂，如今，三环公司执中国稀土永磁产业之牛耳，生产能力名列全球三甲。

中国已成为全球烧结Nd—Fe—B磁体主导生产者，不受专利限制，因为在1985年中国专利局开门的当天，日本SSMC和美国MQ虽都派出代理注册其专利，但Nd—Fe—B关键专利的优先权都已丧失，SSMC与MQ的基本专利均被中国专利局驳回。所以SSMC和MQ的主要专利并不覆盖中国。然而，在中国制造的产品不能出口到专利覆盖区，否则构成侵权。三环公司经过艰苦的努力，突破了日美对钕铁硼的专利封锁，在1993年与日本SSMC公司、美国MQ公司分别签署了购买销售专利的协议，其产品取得了进入国际市场的“通行证”。SSMC的钕铁硼永磁材料专利在2003年失效，MQ主要专利的失效期是2006年，日、美向欧洲经济共同体（EEC）申请的欧洲专利也于2000—2004年失效。这样，日本、欧洲、美国的钕铁硼永磁材料市场已完全开放。

中国已初步形成了钕铁硼永磁材料的产业体系，并且对全球钕铁硼市场形成很大的冲击。激烈的市场竞争中，除了日本市场保护很好外，欧美市场的企业都纷纷落败。到2003年底，世界磁性材料产业中心已转移到中国。2004年，中国稀土永磁材料产量达到2.8万吨，在世界上占据了主导地位，几乎全球80%以上的产品都是由中国生产的。

五、液晶

液晶是一种在一定温度范围内介于固态和液态之间的一种物态，它兼具液体的流动性和晶体的排列性质。液晶的发现不仅打破了人们认为物质只有三态的常规观念，更重要的是作为一种新材料，催生了新的产业，其广泛的应用影响科技发

展，便利了人类的工作和生活。

1888 年，奥地利植物学家瑞尼泽尔（F. Reinitzer，亦译莱因策）在加热胆兹醇苯甲酸脂的结晶时发现，在 145.5℃时这种结晶熔解成为混浊粘稠的液体；继续加热中，液体呈现短暂的蓝色；当加热到 178.5℃时，液体变得清澈透明。瑞尼泽尔对实验出现的双熔点现象不解，便向德国物理学家奥托·莱曼（Otto Lehmann）请教。莱曼研究后发现，这种乳白色浑浊液体具有晶体的特征——双折射现象，据此认为这是具有流动性的晶体，并在 1904 年以“液晶”为题发表了专著，“液晶”一词由此而来。

液晶研究热当时没有持续多久，由于缺乏应用，不久归于沉寂，直到 20 世纪 60 年代出现新的转机。1962 年，美国无线电公司（RCA）的理查德·威廉姆斯（Richard Williams）实验发现液晶的电光性质：在给透明电极板加电压后，置于其间的丝状液晶会周期性的出现条状纹图案（该现象后被称为“威廉姆斯畴”），由此他提出液晶作为显示光电元件的可行性。1964 年秋，威廉姆斯的同事海尔梅尔（G. H. Heilmeier）进一步研究发现，电场中丝状液晶分子的排列发生变化时，添加到液晶中的色素分子的排列也会随之发生变化（这被称为“宾主效应”）。同年末，RCA 的研究者在负性的向列液晶中发现了“动态散射”（dynamics scattering，DS）效应。在取得一系列突破后，以海尔梅尔为核心的团队集中于液晶显示功能的研究，1968 年 6 月研制成功世界上第一个“动态散射性”（DSM）液晶显示（LCD）装置，并申请了专利。1971 年，由 RCA 生产的首款 DS 型液晶手表推向市场。

DS 型液晶显示产品存在电耗大、寿命短、价格高等缺陷，促使科学家寻找新的液晶显示方式。1969 年，美国肯特州立大学的詹姆斯·弗格森（James Fergason）发现扭曲向列场效应，由此发明了扭曲向列相效应显示技术。由于大学计划调整导致对液晶研究资助的减少，弗格森不得已在 1969 年底离开学校自办公司，1970 年他开发出用于电子手表的扭曲向列显示器，1971 年 2 月 9 日申请专利，1973 年获准。而此前在 1970 年 12 月 4 日，瑞士巴塞尔的豪夫迈·罗氏公司（Hoffmann-La Roch）的研究人员马丁·夏德特（Martin Schadt）和沃尔夫冈·海尔弗里奇（Wolfgang Helfrich）也发现了扭曲丝状液晶场效应，并获得扭曲向列液晶（twisted nematic，TN）的瑞士专利。以上两个专利被认为是扭曲向列液晶诞生的里程碑式标志，它导致液晶显示技术实现产业化并推动液晶的理论研究。然而，由于专利申请的先后顺序、发明权归属及后来的让渡权等问题，引发了罗氏公司、弗格森和肯特大学

之间长达 15 年的专利诉讼。

TN 型的显示方式对液晶材料提出了更高的要求，由赫尔大学的格瑞（Gray）带领的研究小组与英国国防部的 RSRE 合作，于 1972 年成功开发出氰基联苯的室温液晶，并于当年申请专利，这种材料很快应用于 LCD 中。1973 年，日本精工公司率先推出了 TN 型液晶显示手表。TN 技术的出现是一重大转折，它开启了液晶使用的新时代，不仅推动了当时的电子工业，同时也推动了集成电路的大发展。此后，液晶与电子、信息产业相结合，展示出广阔的应用前景。

液晶的基础研究不断深入。1974 年，法国的劳伯·马耶（Rober Mayer）发现了手性近晶 C 相的铁电性质，这一发现促进了液晶显示材料的新发展。1980 年，美国的璐尔·克拉克（Noel clark）和瑞典的席文·拉格沃（Sven Lagerwall）利用手征近晶相液晶发明了表面稳定的铁电液晶显示技术，使得显示表现出双稳态，并使得响应速度快于以往的液晶显示。其后，英、美等国围绕液晶显示争相注册专利，引发了发明优先权之争。

近半个世纪以来，液晶产业从无到有，由小渐大，表现出强劲的增长势头。20 世纪 90 年代以前，液晶显示还不是一个重要的工业领域，到 1993 年全球的产值只在 20～30 亿美元之间。然而到了 2003 年，由于液晶显示在多路寻址、亮度、对比度、响应时间、视角、彩色坐标、色度灰度稳定性等技术的极大提高，导致需求旺盛，使产值超过 500 亿美元，此后连年递增，估计 2008 年达到 800 亿美元。

由于液晶显示具有质量轻、能耗小、无辐射、图像清晰逼真等优点，已发展成为取代 CRT 的主要显示技术。数据统计，2007 年中国的液晶显示器出口为 901 万台，而 CRT 显示器仅为 45 万台，比 2006 年同期减少 46%。明显地，继集成电路和计算机之后，电子工业又一次不可多得的发展机会将由液晶显示担当主角。

六、导电塑料

导电塑料（即导电有机聚合物）的发明，带来了材料领域的革命，开辟出新的产业。

一般人都知道，塑料是绝缘体不能导电。然而，通过掺杂等方式却可以大大改变塑料的电学性质，由此制成的新材料带来变革，不仅影响基础理论研究，也为应

用带来难以预计的影响。

导电塑料的发明是日美两国科学家合作的结果，说来有些偶然性。20 世纪 70 年代，日本化学家白川英树(Hideki Shirakawa)研究合成聚乙炔薄膜，所得的样品呈黑色。一次试验中，白川英树的学生看错配方，加入的催化剂数量是常规的上千倍。正当他们大叫不好时，却吃惊地发现，结出银白色的薄膜，光亮耀眼，非常漂亮。当时还不能正确解释这种现象，在获悉美国的物理学教授艾伦·黑格(Alan Heeger)、美国的化学教授艾伦·麦克德尔米德(Alan MacDiarmid)在研究导电聚合物时，白川英树便到美国访问，寻求合作。几位科学家共同研究，他们通过加碘蒸气来改变聚乙炔的性质，碘杂质使有机物分子释放出大量的电子，结果材料的光学电学性质发生改变，电导增加了上百万倍。有些状态下，这些塑料不仅导电，甚至还可以发光。

1977 年，白川英树、黑格和麦克德尔米德整理研究成果以论文《导电有机聚合物的合成：聚乙炔的卤素衍生物》一文发表，新发现被公认为是科学上的一项重要突破。同年，在纽约举行的国际学术会议上，白川英树公开做了演示，他把一个小灯泡连接在一张聚乙炔薄膜上，灯泡马上发出光来。“塑料也能导电!”此举让四座皆惊。塑料向来被认为是绝缘体，常见电线用塑料管来当外皮，用塑料套作螺丝刀等工具的柄……新的现象颠覆了人们的常规认识。

鉴于白川英树和黑格、麦克德尔米德对导电有机聚合物研究所做出的开创性贡献，三位科学家共同荣获 2000 年诺贝尔化学奖。三人接下来的研究工作已取得多项专利，并合资创建了公司，研制出高分子二极管和电子荧光设备，他们还发明了世界上第一个有机发光二极管显示屏。

导电塑料展示了美妙的用途：可用做抗静电涂层，静电防护膜，很多精密电子设备已采用这种涂层；可用做光纤维、薄膜和发光二极管显示屏，房屋和汽车可变颜色的玻璃窗导电纤维，可折叠电脑屏幕，太阳能电池板等。

七、碳纤维

碳纤维(carbon fiber，CF)是由碳元素为主要组成的特殊纤维。因为用碳纤维制成的复合材料具有极高强度，且超轻、耐高温、高压等特点，故在国际上被誉为

“黑色黄金”，也被认为是继石器、钢铁等金属后影响人类文明的“第三代材料”。

碳纤维研发以美国为最早。1959 年，美国 Union Carbide 公司（U. C. C.）的研究人员以人造纤维为原料，经过上千度的高温碳化，得到弹性率约 40 吉帕，强度约 0.7 吉帕的碳纤维，并把这种碳纤维用在结构材料上。1965 年，该公司又用相同原料于 3000℃高温下延伸，开发出丝状高弹性率石墨化纤维，弹性率约 500 吉帕，强度约为 2.8 吉帕。

日本也较早开发碳纤维研究。1961 年，大阪工业技术试验所的进藤昭男博士以 polyacrylonitrile（简称 PAN）聚丙烯腈为原料，经过氧化与数千度的碳化后，得到弹性率为 160 吉帕，强度为 0.7 吉帕的碳纤维。1962 年，日本碳化公司（Nippon Carbon Co.）用 PAN 为原料制得低弹性系数（L. M.）碳纤维。1971 年，日本东丽公司率先在世界上实现碳纤维的量产，达每月 1 吨；1973 年上升到每月 5 吨。

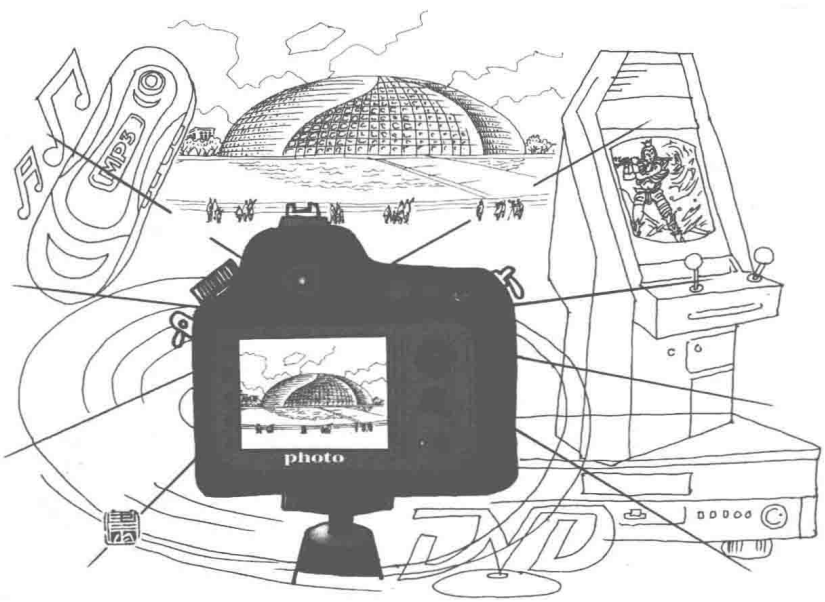
碳纤维性能优异，但价格高昂，很长时间主要应用于军事、航空航天方面。日本东丽公司前后花了超过 1400 亿日元从事研究开发，一直都是亏损，直到 2003 年赢得美国波音公司新型客机 787 的合同，情况才开始好转。波音 787 的问世引起瞩目，其机身的七成是使用了碳纤维复合材料。

20 世纪 90 年代，工程师把碳纤维用于制造自行车，从此改写了自行车竞赛纪录。其中最典型的例子是英国自行车传奇克里斯·博德曼（Chris Boardman）和劲敌格拉米尔·欧伯利（Graeme Obree）争夺“一小时纪录”的比赛。这项比赛是要了解人类单凭体力，能在一小时内骑多远。两位选手在 90 年代凭借制作越来越精良的碳纤维自行车，不仅持续打破世界纪录，也不断打破对方创造的纪录。1996 年，博德曼骑出一小时 56.375 千米的纪录，结果引发了国际自行车联盟的强烈不满，立即下令禁用碳纤维自行车，因为他们深怕这个新材料会彻底改变自行车运动本质。

除了车类比赛，田径赛也受到碳纤维的影响，使用碳纤维义肢的残障选手越来越多，终于使得国际田径总会在 2008 年下令禁止这些运动员和体格健全的一般选手同场竞技，因为他们认为碳纤维义肢会造成不公平的竞争优势。不过，这项命令遭到国际体育仲裁法庭的否决。

进入 21 世纪，碳纤维工业化规模不断扩大，其应用也不断拓展，甚至激发工程师大胆的幻想，利用这种质地强韧而又极轻的材料兴建太空天梯。

第三十章
文化技术创新



绘画：王晨

电子技术与文化结合展示诱人的魅力。DVD 开拓了文化娱乐产业，丰富了大众欣赏音乐、电影的渠道；MP3 为音乐世界带来重大变革，提供了全新的文化娱乐方式；以大型电子游戏机为主的网吧成为现代城市的标识之一；而小型电子游戏机渗透到家庭和个人；数码相机以汹涌之势冲垮了有百年历史的胶卷相机，技术创新的力量给人印象强烈。

一、DVD

DVD 与相应的播放机快速发展成规模化产业，其产品形成广泛的市场，为大众的文化娱乐带来极大便利。

DVD 最初是数字视频光盘(digital video disc)的缩写，目前称为数字通用光盘(digital versatile disc)，由于它具有巨大的信息存储量，故成为替代 CD-ROM 的存储技术。

DVD 的优势非常明显，一张标准的单层单面数字视盘能存储 4.7GB 的数据(或者 133 分钟的电影)，而一张双面数字视盘的最大存储量可达 17GB。DVD 的发明，使大量数据信息的存储有了飞跃式的提高，对于 IT 业起到重大的引导作用。

20 世纪 70 年代，在研究 CD 规格时电子工程师提出 DVD 的概念，由于图像的信息量太大，受当时技术的限制没有能够实现。直到 1994 年，更高图像质量的压缩标准 MPEG-2 完成，使 DVD 的实现成为可能。影视市场的巨大需求是推动 DVD 发展的直接原因，国际著名电子企业纷纷加大研发力量，以抢占市场。

1994 年 12 月，飞利浦和索尼两家公司率先提出高密度多媒体光碟技术规格。紧接次年 1 月，东芝和另外五家公司(日立、松下、先锋、汤姆逊、时代华纳)提出 SD 技术规格。一时间，两大联盟间的竞争呈白热化。为了避免恶性竞争造成损失，电脑业巨头 IBM 和著名影视厂商出面调停，两大联盟同意达成统一规格的协定。最终，索尼放弃自己的光盘结构而采取东芝较为先进的双盘对接的光盘结构；东芝则在数据信号的调制、处理等部分技术向索尼让步。

围绕 DVD 规格之争，DVD Forum 的成立也具有重要的意义，它被业界称为唯一的 DVD 官方组织，理论上，任何与 DVD 相关的标准都要经过该组织的审批。在规格统一之后，DVD 进入了快速发展时期。迄今已研发了多种适用于不同需求

的 DVD，如用于电影和娱乐的 DVD Video，用于刻录的 DVD-R，用于存储数据的 DVD-ROM，还有可以读写的 DVD-RW 等。随着 DVD 产品的普及和技术的进步，容量和画质更有提升的 HD-DVD 技术标准将把 DVD 的发展推向另一个高度。另外，在激光的红光技术和蓝光技术之争中，具有大容量和进一步提高音质和画质特性的蓝光技术又胜一筹，不过市场上也面临着不确定性。

DVD 概念包含多种元素，其发明不能只归于某个人或某个公司，DVD 的成功也不止于技术创新，还包括商业模式创新。在 DVD 商业运作过程中，美国时代华纳公司的录制部门经理瓦伦·里贝尔法布(Warren Lieberfarb)做出了重要贡献，他本人也因而获“DVD 之父”之称誉。1997 年，里贝尔法布看到 DVD 的巨大潜力，果断地组织时代华纳和其他好莱坞的老影片通过 DVD 的格式出版，开辟了一个新的市场，此举大获成功。据 2003 年统计，美国电影业以 DVD 形式售出的产品高达 90 多亿美元。

DVD 机包括了多项技术和专利，所涉及的专利有规格及标志专利、防复制专利、碟机与碟片专利、视频与音频专利等。国际大厂商借其全球专利组合的优势，组成 1C(汤姆逊 Thomson)、3C(索尼、先锋、飞利浦)、6C(东芝、松下、三菱、日立、JVC、时代华纳、IBM)的 DVD 联盟，向全球各类光碟机厂商进行诉讼及专利许可，以获取损害赔偿和许可费用。

中国是 DVD 机(碟机)制造大国。自 1999 年 9 月到 2008 年，生产一台 DVD 机须向 6C 联盟以及向 4C 联盟缴纳 5 美元，还要向汤姆逊公司每台交 1～1.5 美元。由于技术创新能力不足，没过几年好光景，不少生产碟机的企业便倒闭或被迫转产。严峻的现实让人叹息，也促人思考。

二、MP3

MP3 是当今最流行的数字音频编码和有损压缩格式，其全称为“MPEG-1 Audio Layer3”，它的出现推动了音频文件在因特网上广泛流传，并且使得便携的 MP3 播放器成为时尚。

MP3 技术运用心理声学等技术，舍弃了脉冲编码调制(PCM)的音频数据中对人类听觉不重要的数据，在大幅降低音频数据量的同时，保证了对大多数听众而言

音频质量没有明显的降低。

MP3 的前身 MP2，来源于欧盟作为 EUREKA（尤利卡，希腊语“找到了”之意）项目资助的数字音频广播（DAB）项目。该项目于 1987 年由德国太空中心开始管理实施，通常称为 EU-147。到了 1991 年，由荷兰飞利浦公司提出的 Musicam（称为 Layer2）提案因其在高质量压缩时计算量较少以及出错时稳定性好的优点在竞争中胜出。而基于子带编码的 Musicam 格式，恰好是国际标准化组织（ISO）制定的 MPEG 格式的关键因素；很快，两者就于 1992 年融合形成了 MPEG-1 Audio Layer1 和 MPEG-1 Audio Layer2 两项技术标准。

通常一张音频光盘（CD）上，每分钟音乐文件的大小约为 10MB。尽管 MP2 的压缩率已经达到 6∶1～8∶1，但将普通的音频文件压缩成 MP2 文件并不容易，而且对于当时通常只有 500MB 的计算机硬盘来说，这样的压缩率显然还不能满足大多数人的需求。限于当时网络传播速度，MP2 音乐文件的下载也是极其费时的。因此，虽然 MP2 文件早在 1993 年 10 月就已出现在网络上，但并没有广泛流传。

为了进一步提高压缩率，同时保证音频质量，德国巴伐利亚富隆霍夫（Fraunhofer）集成电路学院的卡尔海因茨·布兰登堡（Karlheinz Brandenburg）教授带领着一个由多国科学家、工程师组成的小组，在吸收了 Musicam 及其竞争提案 ASPEC 的设计思想的基础上，添加新的设计思想，开发出 MP3，并申请了专利。

起初，MP3 的压制设备差不多有一台冰箱那么大，它能将一个完整的音乐文件压缩到其原来大小的 8%。这个压缩率使压缩后的音频文件能够达到大众的要求，此后，他们便将研究重点转向改进算法，提高压缩速度和质量上来。

MP3 是一种有损压缩格式，而有损压缩都面临着尽量压缩文件而又保持着较高质量的矛盾。MP3 的算法是通过建立人体听觉总体特征的模型尽量保证丢弃的部分不被人耳识别出来——通常认为标准是在与 CD 音质比较后能否发现明显区别。由于 CD 介质的 Suzanne Vega 的歌曲 Tom's Diner 柔和、旋律简单，因此更容易听到压缩格式的缺陷，发明者布兰登堡便使用这首歌曲来评价 MP3 算法的优劣。因而，有人曾开玩笑地称 Suzanne Vega 为“MP3 之母”。经过布兰登堡等人的不懈努力，MP3 在保持较高音质的同时，将压缩率提高至 10∶1～12∶1。

MP3 音频文件从 1995 年开始在网络上广泛流传。富隆霍夫学院开发组于 1995 年 7 月 14 日将 MP3 的扩展名.bit 改为了现在人们所熟知的.mp3。同年 9 月，

第一款实时 MP3 播放器 Winplay3 使得人们能够在个人电脑上编码和回放 MP3 文件，进一步改进了娱乐音乐的存储。随后，Nullsoft 和 Napster 分别于 1997 年和 1999 年发布了 Winamp 和 Napster 软件包。这些程序能使普通用户方便地播放、制作、收集和共享 MP3 文件。

从 1998 年 9 月开始，富隆霍夫学院加强了他们的专利保护，并与汤姆森多媒体公司共同建立了一个联合专利文件包，通过这个专利文件包来收取专利许可费。现在，几乎所有 MP3 的编码器和播放器的改进者都需要向其缴纳专利许可费。其中，微软公司就花费了 1600 万美元从富隆霍夫学院手里购得了 MP3 技术在美国的使用权。

随着个人电脑的普及和便携式 MP3 的出现，对基于磁带的随身听产业带来了难以阻挡的冲击。随身听的主要生产厂商，如索尼公司，或降价竞争或投入便携式 MP3 的生产。据统计，截止到 2006 年，全球约有 2 亿的用户在其电脑上安装了 MP3 播放软件。仅 2006 年一年，便携式 MP3 播放器的销量就达 5000 万台。

MP3 技术后来用于智能手机，为手机听音乐听故事带来新的方便。

三、电子游戏机

游戏似乎是人类的天性。人类发明了各种游戏，以不同的方式玩游戏，其中电子游戏的风头最劲，短短几十年间发展为规模化的产业，获得巨大的经济效益。

电子游戏机最早出现在 1958 年。这年，美国布鲁克海文（Brookhaven）国家实验室的物理学家威利·希金博特姆（Willy Higinbotham）为了使实验室在公众开放日增加一些乐趣，设计了一个两人打网球的计算机游戏。不过，希金博特姆没有意识到发明的商业化潜力，也没有去申请专利。

1971 年，美国加利福尼亚电气工程师诺兰·布什纳尔（Nolan Bushnell）根据自己编制的“网球”游戏，设计制作了一台商用电子游戏机。受成功的激励，布什纳尔创建了世界上第一家电子游戏机公司“雅达利”（Atari）。

电子技术的快速发展推动了电子游戏机的更新换代。早期电子游戏机属“家庭电脑游戏机”或“电视游戏机”。第一代电视游戏机的体积较小，游戏画面简单且不能更换节目。1979 年，布什纳尔推出了可更换节目的第二代电视游戏机，节目

存储在只读存储器 ROM 中，可以插拔更换。改进的游戏机有 4KB 的节目容量，8 种色彩以及简单的音乐。雅达利游戏机上市后风行一时，1982 年创下 30 亿美元的销售纪录。不过好景不长，1984 年电子游戏机热降温，雅达利公司生产一路下滑，最终破产易主。

20 世纪 80 年代后，任天堂(Nintendo)掀起游戏机产业的新波澜。1983 年，任天堂第三代家用电脑游戏机(FC/NES)问世，以高质量的画面、精彩的内容和低廉的价格震撼了整个玩具、游戏业，任天堂也几乎一夜间成为世界上最大的电子游戏公司。任天堂红白机(FC/NES)的出现，从真正意义上预示了家用游戏主机时代的来临，它采取了特殊的外围电路图像处理器 PPU，使中央处理器与外围电路实现了分离。

1987 年，日本 NEC 公司推出了第四代电视游戏机 PC-ENGINE，新款游戏机体积较小，但声画质量却朝着大型机方向迈出了一步。NEC 公司率先把激光唱盘存储器(CD-ROM)引入游戏机中，使游戏节目容量提高到 75～150 倍，使用时只需将激光唱盘存储器与 PC-ENGINE 电视游戏机通过接口装置连接，并在游戏机卡槽内插入一张系统卡，即可玩超大容量的游戏。1988 年底，日本世嘉公司(SEGA)推出了第一款 16 位游戏机 MEGA DRIVE(简称 MD)。它采用两个中央处理器，MC68000 和专门用来处理音响效果的 Z80A。它具有 PSG 音源，6 路 FM 音源和一路 PCM 音源以及双重卷动背景画面。同时，世嘉电视游戏机还可以安装成大型电子游戏机。

1989 年 4 月，任天堂推出第一台可更换游戏卡的手持式游戏主机 Game Boy (简称 GB)。同年 11 月，NEC 公司推出 PC-ENGINE 第二代产品 SUPER GRAFX(简称 SG)。该机装有一种新型的高速图像芯片，能产生极高质量的图像。同时，为了迎合低收入家庭的需要，他们设计了一种不加激光唱盘存储器的廉价机 PC-SHUTTLE，该机的其余功能与 PC-ENGINE 完全相同。

1990 年 11 月，世嘉公司推出了与世嘉电视游戏机配套使用的通信驳器(MONEM)，利用它可以通过电话线实现游戏机联网。1990 年底，世嘉公司在日本几个中心城市开设了世界首创的电子游戏通信服务站，用户通过电话通信网即可向中心站租用游戏节目。

1990 年 11 月，任天堂推出“超级任天堂”(Super FC/NES)，以其顶级的硬件支持、极佳的声光效果和内容丰富的游戏，为日后的游戏机的发展起了十分重要的指

导作用。其后，多家公司陆续发行了掌机，如世嘉的掌上彩色游戏机“GAMEGEAR”(GG)和 SNK 的“NEOGEO”等。

1993 年起，电子游戏机进入 32 位时代。当年松下公司推出第一款 32 位游戏机 3DO，其主机拥有 16 位的音效处理器，可处理 17 个分别独立的通道，加上系统的缓存可以充分发挥 CD-ROM 的威力。

1996 年，任天堂推出了 64 位的任天堂 N64，它是最后一款使用游戏卡的游戏主机。同时，它也是游戏机的一个分水岭，此后游戏机的开发开始转向重视提高产品的多边形处理能力，朝着追求强大的 3D 图形和动画方向发展。

四、数码相机

数码相机摒弃了传统相机的胶卷，以数字形式保存图像，推动了相机产业的更新换代，为摄影带来新气象，为文化注入新活力。

数码相机随着电子技术的发展而问世。1972 年，美国德州仪器公司提出“电子照相系统”(electronic photography system)的设想，1977 年获得专利，这是世界上最早的关于无胶卷电子照相的专利。新技术显露的魅力很快引起其他大公司的注意。1981 年，日本索尼公司发布了全球第一台磁记录方式的电子静像照相机“玛维卡”(Mavica，由“magnet video camera”各取头两个字母)。这种相机不使用胶片，而是将影像通过 CCD(电荷耦合器件)把光信号转换为电信号，然后通过电磁转换将电信号记录在磁片上，再经过视频转换系统将磁信号复原成图像后输出或打印成图片。不过，当时由于这种相机像素很低、价格昂贵等问题，被认为实用价值不大，而没能推广。

1984 年洛杉矶奥运会期间，日本佳能(Canon)公司试用一种专业的彩色静像照相机 RC-701，通过与读卖新闻社(Yomiuri Shimbun)合作，将图像通过电话线传送至日本，印成照片刊登在报纸上。这种第一次面向大众的彩色静像照相机使用 40 万像素的 CCD，经过试验证明相当成功。1986 年，佳能率先向市场推出静像照相机。然而，由于视频信号形式的影像质量受到电视制式限制的缺点，这类相机最终被数码相机取代。

1988 年，日本富士(FUJI)公司推出与东芝合作开发的 DS-1P 相机，这是世界上

第一款获得市场开发的全数码相机。它将 CCD 的电子信号转换成数字信号，然后传输到 IC 卡上来完成对图像的存储。这款相机大小为 105 毫米×75 毫米×50 毫米，重约 400 克，使用 40 万像素 CCD。它仅在日本国内进行销售，在其他国家无法买到。

进入 20 世纪 90 年代，美、日、韩等大公司都加紧开发数码相机，出现抢占技术制高点的态势。1990 年，美国泰康（Dycam）公司推出世界上第一款消费型数码相机 Dycam Model 1，售价为 955 美元。它有一个内置的闪光灯和 1MB 内存，可以储存 32 张 376×240 像素的黑白照片，用户也可以将拍好的图片传至电脑进行存储。

1994 年，美国柯达公司为苹果（Apple）公司生产了“QuickTake 100”数码相机，它是第一款获得大规模市场推广的彩色数码相机，售价为 749 美元。它有 30 万像素 CCD，内存可存 8 个 640×480 分辨率的图像。同年，奥林巴斯（Olympus）公司推出第一款有内置传输性能的数码相机 Deltis VC-1100，摄影师可以将调制解调器连接到 VC-1100，通过电话线上传数码相片。它的彩色液晶显示屏能让使用者当场预览相片。这台相机还有一个内置变焦透镜，售价 4000 美元。

1995 年，日本卡西欧（CASIO）推出第一台有液晶屏（LCD）的数码相机 QV-10，价格相对较低，受到市场欢迎。它有 1/5 英寸的 460×280 像素 CCD，存储器最多可容纳 96 个彩色静止图像，自动曝光。同年，日本理光（RICOH）推出第一台既能提供静像和动像，又能录音的 RDC-1 数码相机。

此后，数码相机的开发步伐不断加快，既向高端技术发展，也朝着大众化方向迈进，新电子公司利用技术优势开发存储卡等关键部件，明显地构成对传统相机的威胁。

面对咄咄逼人的新对手和市场利润的快速下滑，柯达公司于 2003 年 9 月 26 日宣布实施重大的战略性转变：放弃传统的胶卷业务，重心向新兴的数字产品转移。然而，柯达的决心虽大，但公司经营战略和部门结构调整却没有及时跟上，结果错失了技术切换的良机。

最终，柯达不得不于 2012 年 1 月提出破产保护申请。在其提交的申请文件中显示，柯达的现有资产缩水到 51 亿美元，但是债务已经达到了 68 亿美元，处于严重的资不抵债的状况。一个有着百年历史、曾经多次创造辉煌的大公司，就这样黯然退场。

参考文献

[1] 辛格. 技术史：第3卷[M]. 高亮华，戴吾三，译. 上海：上海科技教育出版社，2004.

[2] 威廉斯. 技术史：第6卷[M]. 姜振寰，赵毓琴，译. 上海：上海科技教育出版社，2004.

[3] 威廉斯. 技术史：第7卷[M]. 刘泽渊，孙希忠，译. 上海：上海科技教育出版社，2004.

[4] 布朗. 吉尼斯发明史[M]. 王前，等译. 沈阳：辽宁教育出版社，1999.

[5] 芒图. 十八世纪产业革命[M]. 杨人楩，等译. 北京：商务印书馆，1883.

[6] 兰德斯. 解除束缚的普罗米修斯[M]. 谢怀筑，译. 北京：华夏出版社，2007.

[7] 卡内基. 瓦特传：工业革命的旗手[M]. 王铮，译. 南昌：江西教育出版社，2012.

[8] 切尼. 被埋没的天才：尼古拉·特斯拉[M]. 陈璐，译. 重庆：重庆出版社，2010.

[9] 麦克雷. 天才的拓荒者：冯·诺伊曼传[M]. 范秀华，等译. 上海：上海科技教育出版社，2014.

[10] 赖尔登，霍德森. 晶体之火——晶体管的发明及信息时代的来临[M]. 浦根祥，译. 上海：上海科学技术出版社，2002.

[11] 查理. 复印梦想——乔·威尔逊和他的施乐传奇[M]. 郭媛媛，译. 北京：清华大学出版社，2007.

[12] 博伊姆勒. 药物简史——近代以来延续人类生命的伟大发现[M]. 张荣昌，译. 桂林：广西师范大学出版社，2005.

[13] 普菲菲纳. 出版革命的先驱：Adobe的故事[M]. 杜昌国，等译. 北京：中国科学技术出版社，2003.

[14] 科尔曼. 声音的再现——从胜利牌留声机到MP3，音乐、设备和成就的百年发展[M]. 余言，译. 北京：世界图书出版公司，2006.

[15] 布朗. 他们能使1+1=3：当代美国十六位杰出发明家访问录[M]. 朱炜青，等译. 上海：上海人民出版社，1992.

[16] 布德瑞. 企业研究院[M]. 盛逢时，译. 北京：中信出版社，2003.

[17] 马隆. 三位一体：英特尔传奇[M]. 黄亚昌，译. 杭州：浙江人民出版社，2015.

[18] 鲍勃. 我们在燃烧——日本电子企业研发史[M]. 李先柏，译. 北京：华夏出版社，2004.

[19] 章效锋. 清晰的纳米世界——显微镜的终极目标的千年追求[M]. 北京：清华大学出版社，2005.

[20] 薛维柯. 影响美国的100个专利[M]，北京，北京大学出版社，2007.

[21] 李成智，等. 航空航天发展史概论[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2004.

[22] ROLT LTC, ALLEN J S. The Steam Engine of Thomas Newcomen[M]. New York: Science History Publications, 1977.

[23] WEIGHTMAN G. Signor Marconi's Magic Box: The Most Remarkable Invention of the 19th Century & the Amateur Inventor Whose Genius Sparked a Revolution[M]. Cambridge: Da Capo Press, 2003.

[24] GOLDSTINE H. The Computer from Pascal to von Neumann[M]. New Jeysey: Princeton University Press, 1972.

[25] YOUNG J. Forbes greatest technology stories: inspiring tales of the entrepreneurs and inventors who Revolutionized Modern Business[M]. [出版地不详]: John Wile & Sons, 1998.



后记

我们已处于网络时代，即将又迎来智能时代。而作为一部描写技术历史的书，需要保持某种审慎的姿态，与当下的创新拉开一段距离，故本书选取的材料大多止于20世纪末。当读者在书中没有读到“无人驾驶汽车”“可穿戴设备”等内容时，祈望理解作者的用意。

宋成斌先生作为本书的责任编辑，多有辛劳，他以专业的眼光为本书安排插画，由衷表示谢意。王渝生先生为丛书撰写总序，其中对本人和本书的评价，让我心怀感激。

插画师王晨为本书绘制插画，其中多幅画作都经过反复商讨、数遍修改，既要符合科技史实，又要体现艺术特点。从这微小的创新中，可想见历史上的那些重大创新多么不易，而又多么具有价值。

技术创新历史研究在国内尚属起步，愿有更多的人关注这一研究，也期望有作者写出更多有关中国的创新故事。

戴吾三于北京清华园

2016年9月