

Economics



Selections

经济活页文选

理论版

欧洲国家工业化过程中的 技术创新与扩散

中国财政经济出版社

2005.8
总第130期

《经济活页文选(理论版)》

2005 年第 8 期 (总第 130 期)

目

录

经济分析

欧洲国家工业化过程中的技术创新与扩散…袁元伦(3)

德国与英国一样,它们之所以分别能在两次工业革命中胜出,其成功的原因主要还不在于包括技术在内的物质方面,而在于社会和制度方面。

中国制造:向外? 向内? ……张 锐(25)

一个老生常谈的问题是中国企业必须强化自身的技术研发,以技术力量带动产品升级,实现从“中国制造”到“中国创造”的转变,以全面改写“中国制造—低质低价—倾销”的贸易形象。

特邀顾问(按姓氏笔画排列):

王一鸣 王传纶 厉以宁 刘 怡
刘世锦 刘鸿儒 米建国 余永定
吴敬琏 陈宝森 张维迎 张曙光
盛 洪 林毅夫 胡代光 贾 康
高培勇 茅于軾 袁元伦 蔡 昉
樊 纲

主 编: 贾 杰

副主编: 郑宁军

编辑部成员: 郑宁军 洪 钢 王芝文 褚爱军

编 辑:《经济活页文选》编辑部

出 版: 中国财政经济出版社

总发行: 新理财杂志社

编辑部地址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号新知大厦 909 室

邮 编: 100036

电 话: (010)88190909 88190910

传 真: (010)88190947

E-mail: xlc@xinlicai.com.cn

欧洲国家工业化过程中的技术创新与扩散

——裘元伦

本题所涉“欧洲国家”主要是指英国、法国、比利时、德国等西欧国家。“工业化过程”的时间跨度，整个西欧大约为一个半世纪，各有别。例如英国工业化始于18世纪50—60年代，经19世纪50—60年代基本实现，到第一次世界大战前夕最终完成。在由1750年直至1913年的这个长时期中，英国经历了第一次和第二次工业革命，其分界线大致在19世纪60—70年代，英国最完整地代表了欧洲工业化的全过程。德国工业化自1815年开始，随后数十年进展缓慢，1871年德国统一后速度明显加快，基本上在第二次工业革命的四五十年时间内完成了工业化。法国等其他许多欧洲国家实现现代意义上的工业化时间似乎要更晚一些，有的直至20世纪50—60年代。^①尽管西欧各国工业化时间跨度长短不一，但在这一过程中，它们在技术创新与扩散方面仍有三个基本的共同点：欧洲各国社会经济所处的不同发展阶段对技术创新与扩散过程的影响巨大；中心国家对关键产业及其核心技术的发现与发明是技术创新与扩散过程的主要内容；在技术创新与扩散过程中，制度和社会条件也许比技术本身更重要。

欧洲各国社会经济所处的不同发展阶段 对技术创新与扩散过程的影响巨大

与英国相比，欧洲大陆国家的工商业者不受到等级社会的排斥

1. 英国工业革命领先世界，决定了英国在技术创新与扩散方面在全球范围内据有一百多年的优势地位。与欧洲大陆国家相比，进入 17 世纪以来，英国在社会经济

发展阶段方面处于明显的先进状态，这就决定了它在技术创新与扩散方面也必然走在前列。1851 年举行的水晶宫博览会标志着英国作为“世界工厂”已进入其顶峰时代。这个小小的岛国以其只有法国一半的人口生产出了世界 2/3 的煤炭，一半以上的铁和棉布，它的商品在世界所有市场上都居于支配地位。^①欧洲大陆国家落后的原因是多方面的：国土条件不及英国，市场分散，交通状况糟糕，法国、荷兰、比利时、德国等国的服装工业依赖进口羊毛，缺乏集中而且易采的煤矿致使这些国家固守与木材相联系的传统技术。人们的行为使上述障碍雪上加霜：最好的道路和水路沿途都设有收费点，费用高，手续烦，又有政治疆界所造成的重重壁垒（特别在德国、比利时和意大利）。

对于商品流动的这些直接阻碍又与限制需求的社会制度纠缠在一起，欧洲大陆国家的收入与分配较之英国更加不平等。这是一个被水平鸿沟分开了的社会，它不鼓励对标准化产品的模仿性消费，一些最重要的工业企业很大程度上是依靠少数富人的订单来维持生产的，大量仅能维持生存的消费者只能在另一个完全不同的市场上买得起假冒伪劣商品。这就侵蚀了国家繁荣的基础，因为穷人的大量消费较之富人的消费具有更大的影响力。欧洲大陆国家的厂商在外国市场上也遇到类似的阻碍，这不仅是因为成本高，而且还必须为商业、金融和运输服务支付更高的费用。

与英国相比，欧洲大陆国家的工商业者还受到等级社会的排

斥 在这里, 只从一小部分海关和法律人员中招募从业人员, 例如在法国, 商业企业传统上只准许破落贵族经营, 在贵族、市民与小农之间有一条难越的界线。资产阶级是一个受到贵族诅咒而人身仍然依附于当地封建君主、小农却对之恐惧或者憎恨的社会集团。一句话, “高贵者”不屑于从事工商业, “有才者”宁愿从政当官, “小人物”则没有机会进入这个领域。

除了制度限制之外, 欧洲大陆国家的社会心理状态也不利于产生有影响的企业家。在法国、荷兰、比利时、德国, 商业企业是一个个排他性的家族集团, 他们技术保守, 还反对利用外来资本, 这种企业行为模式又因为社会的主导价值而得到了进一步强化。如果说在美国, 人们会认为一辆使用了三年的小汽车已经不时髦而把它弃置, 那么在莫泊桑笔下的法国农民却会为一段线绳而弯下腰去捡拾。这种“挥霍浪费”与“过分节俭”的对比, 可以用来描绘 18 世纪的英国人较之法国人或德国人更接近于一种丰裕心理。欧洲大陆的企业家们往往还偏好于单位销售额的利润最大化, 捞一把是 5 把, 而不是通过更大的产出获得较高的利润总额, 因此他们普遍反对竞争, 特别是价格竞争。最后, 欧洲大陆国家都非常强调“关系”, 这种种代价巨大的“关系”囊括所有方面, 从有利可图的商业交易到“表示敬意”的婚姻关系。所有这些企业行为模式抵消了价格机制使企业行为合理化的力量, 并且放慢了技术变迁扩散的速度。

综上所述, 一方面, 17 世纪和 18 世纪的欧洲大陆国家没有能力在全国范围内规划经济发展或者是有效地配置资源; 另一方面, 对于欧洲大陆国家来说, 英国的领先地位又是一个直接的、无法回避的挑战。欧洲各国政府很长时期以来都把经济发展视作取得贸易顺差 (即财富) 的关键, 是取得巨额税收利益 (即权力) 的关键, 又是取得稳定就业 (即保证公共秩序) 的关键。为此, 它们传统上也鼓励企业的发展, 特别是那些能够提供战争武器的贸易活动。然而现在, 它们却发现整个经济力量的平衡崩溃。因此, 对于欧洲大陆

国家来说,工业化从一开始就是一种迫切的政治需要^③。怎么做?办法之一是首先向英国进行技术模仿。大约直至 1850 年,欧洲大陆国家整体上就处于这一阶段。

2. 德国等欧洲大陆国家工业革命滞后,决定了它们在技术创新与扩散方面必定要经过一个起先落后,经济模仿,再由追赶直到超越的过程。

**从 18 世纪 90 年代
末起,欧洲政治形
势发生了巨大变化**

(1) 1850 年前,欧洲大陆国家对英国的技术模仿。在努力学习和仿效英国的技术方面,欧洲大陆国家原本有许多有利条件:封建权力被逐渐销蚀,新建立的官僚国家机构所提供的政治环境相对清晰和稳定,对工商业发展有利,资本供应与生活水平比世界其他地区为高,有一定的技术技能供应;欧洲大陆国家与英国同属一种“文明”,欧洲大陆在某些方面甚至拥有比英国更优秀的科学教育精英,如此等等。然而,欧洲大陆国家的工业革命还是要比英国慢得多。这除了上述原因之外,政治因素是一个巨大障碍。欧洲大陆国家的技术进步进程遇到的主要政治障碍始于法国大革命,终于与滑铁卢战役相联系的一系列动荡和战争。它们给欧洲大陆国家带来了资本毁灭和人力损失,政治不稳定和普遍的社会不安。富裕的企业家被大批杀害,各种形式贸易中断,强制性通货膨胀或者是改换币制,它们不仅切断了欧洲大陆国家与英国的活跃的相互交流,更重要的是,这些做法妨碍了新技术越过英吉利海峡向欧洲大陆国家的扩散,它们比英国禁止工匠移居欧洲大陆国家和机器出口更为严重^④。

但从 18 世纪 90 年代末期起,欧洲政治形势发生了巨大变化。虽然 18—19 世纪之交的法国大革命和拿破仑战争内含一系列积极因素,但在滑铁卢战役之后的一段时间里,模仿英国比以前可能更加困难了。同时,妨碍进行模仿的大多数重大教育、经济和社会障碍仍然存在。尽管如此,1815 年以后的整整一代人还是为减轻或消除这些障碍做出了极大的努力,这部分地是由国家采取行动,但

更多地是由私人企业做的。首先是人才问题。欧洲大陆国家最紧迫的困难是技术上的无知，为此，工业界既需要机器，更需要技师。但是借此实现的技术转移并不容易。除了欧洲大陆“学生”方面的缺陷，英国“老师”们也并不总是能够自由迁移并随身携带机具。直到 1825 年，英国一直禁止工匠迁居到国外，对于那些最有价值的机器特别是重要的纺织机械发明和零部件以及设计图纸的出口禁令则一直维持到 1842 年。但到 1825 年，毕竟还是有 2000 多名英国企业家、商业管理人员以及熟练技术工人移居到了欧洲大陆^⑥。欧洲大陆国家的技术独立很大程度上是通过在工作中人与人之间的技能传授来实现的。除了引进人才之外，欧洲大陆国家的技术学校日益重视培养自己的技工和工程师，虽然救不了急，却有重要的长远影响。在这里，国家做出了重大的贡献：它创办教育机构，派员出国考察，甚至支付学生一部分费用，政府提供技术咨询和援助，向投资者和移民企业家发放补贴，向进口机器提供奖励，允许对于工业设备进口返还关税并豁免关税等。到 19 世纪中期，技术基本上仍然是经验性的，而在岗培训在大多数情况下仍然是最有效的技能传播方法。其次，经济和制度环境的变化也对长期增长和生产要素供给提供了强烈的刺激。在市场方面，在西欧地区，国家市场的内部一体化在很大程度上是通过 1834 年组成的德国关税同盟而完成的；莱茵河口又向德国航运业开放了，西欧国家都因交通运输的改善面获利，包括公路建筑、河流工程、运河通航、蒸汽船只使用、铁路方面的进步及其对工业的影响。到 19 世纪 40 年代时，铁路建筑是对西欧工业成长影响最大的一个经济部门。在劳动力市场方面，更廉价、更快捷的交通运输意味着便宜的原材料和流动性更强的劳动力以及更广阔的市场，而人口增长则创造出了更为丰富的劳动力及其更大的制成品消费市场；同时，在欧洲大陆国家，新的耕作方法以及土地利用革命增加了耕地面积、土地单产以及农业工人的劳动生产率，结果，各国有可能在将剩余农业人口转入工业就业领域的同时，以稳定甚至不断下降的农产品价格供养越来越多的工业劳动

力。在资本供给方面，由于收入增长，工业中的迅速积累，英国资本的大量流入，以及信贷机构的发展，有力地促进了资本的流动性和流动性。19世纪上半叶，欧洲大陆国家（在英国之后很久）开始发展起国家一级的资本市场，即将主要商业中心与各省连接在一起，并且允许资金从地方性工业甚至农业部门流入其他经济活动领域的市场。尽管如此，欧洲大陆国家可资利用的资本仍较英国为少。为了弥补这一弱点，人们进行了一项创新，即建立股份银行，其结果影响巨大。

**在欧洲大陆国家，先导部门
是煤炭和炼铁等重工业部门**

那么，19世纪上半叶，以模仿英国为背景的欧洲大陆国家主要工业部门的技术演进和其他创新究竟如何

呢？我们仅以纺织业和炼铁业为例。在纺织部门，纺纱业劳动生产率提高最快的时期是1815—1830年间（动力驱动的骡机取代水力纺纱和手工骡机的时期）以及1855—1870年间；在织布方面，劳动生产率提高最快的时期是从手工织布向动力织布转变的那个时期。但在欧洲大陆各地之间存在着重大差别。例如在19世纪上半叶法国的棉纺织技术中，各地各企业之间差异巨大。有一些北部企业将其淘汰不用的设备卖给里昂的企业，而后者在用过之后再把它们卖给像尼姆那种地方的工厂，那里的棉纺织工业整整落后一代入时间。虽然法国棉纺织业仍远落后于英国，却仍是欧洲大陆最重要的棉纺织品制造者。在德国，尽管有大量来自英国的进口品竞争，国内的纺纱工业还是站稳了脚跟，特别是在1834年关税同盟建立以后。1844年，德国已拥有81.5万枚工厂纱锭，1849年增加到了90万枚左右。从19世纪30年代初到40年代末，原棉消费增长了8倍，即使如此，德国棉纺织工业在这个时期结束时仍只及法国的1/3—1/4^⑥。到1850年前后，欧洲大陆国家的棉纺织业依然保持着分散和地方风尚盛行的特点，技术落后于英国一代人以上，其发展的主要阻碍因素是劳动力极为便宜以及来自英国的竞争压力。在重工业部门，欧洲大陆国家19世纪上半叶并没有像英国那样发生重大技术转变，而

是新生产方法缓慢、间歇性地扩散与旧生产方法同时并存。然而时代毕竟正在变迁。在英国，工业革命是建立在棉纺织工业基础之上的；而在欧洲大陆国家，先导部门则是煤炭和炼铁等重工业部门。而在这里，现代化要求较之纺织工业中更大的初始投资。结果，与英国不同，这个时期欧洲大陆炼铁工业是沿着两个方面进行的：一方面，新式采矿技术被引入并且有了相当程度的扩散；另一方面，老式工厂也在扩张，其技术虽然有一定程度的改善，但仍然比较陈旧。在19世纪20年代中期，法国的吹炭生铁产量只有四五千吨，到1846年已达187411吨^⑦。德国的炼铁工业至19世纪50年代末依然发展缓慢，且企业规模小。然而欧洲大陆国家毕竟最先学会了用煤来精炼铁，而且在寻求最佳经营方法方面走在了英国的前面。较高的燃料成本对于技术创新是一种刺激。当英国的铁厂主仍在让高炉的火焰和气体白白流入天空时，最好的欧洲大陆厂商已在采取措施利用这些废弃能源来精炼生铁、加热气体或者是驱动蒸汽机了。19世纪30—40年代的这些试验性进步是欧洲大陆科学冶金业的起点，它们的光彩只是要到下一代才发射出来。总之，在这个发展阶段，欧洲大陆国家不仅模仿英国的技术，而且到处都在模仿英国模式建立新的工厂城镇，手工业者则主要是为加工英国的半制成品而劳作。

(2) 1850—1873年间是欧洲大陆国家工业化的追赶准备期。这个时期是经济迅速增长的时期，也是技术渐渐成熟

欧洲大陆国家在制度变迁方面取得了重要的进展

的时期。在这个时期，出现了一些19世纪最重要的技术创新，但是这些创新并没有立即结出什么硕果。为什么？原来，经济迅速增长和技术进步并不一定是相伴而行的。相反，需求的增长可能会将价格提高到这样一个水平，以致于利用陈旧过时的技术方法进行生产照样有利可图，并且推动生产者坚持或者转而采用那些在其他情况下理应早该被淘汰的技术设备。在像欧洲大陆国家那样的社会里，人的价值、生活习惯和法律结合在一起，往往抑制甚至消除价

格竞争。在这种环境下，如果要使市场机制有效地促进技术变迁和扩散，需要有一种强烈的刺激和冲击。危机发生和制度演进就能起到这种作用。1857年的危机特别起着净化作用，而在这一时期发生的一系列制度变迁则起着促进作用。后者主要通过两条渠道：在国内经济中，促进新企业的进入和更有效率、雄心勃勃的企业的扩张；在国家之间，使各国对于外国企业和制造商更加开放。

在这个准备追赶时期，欧洲大陆国家在制度变迁方面取得了重要的进展。首先是人们获得了职业与企业的自由。在1850年前，这个地区对职业自由存在着普遍的限制，但到19世纪60年代初，这些限制在多数地区都消失了；企业自由也被写入了北德联邦1869年开始实施的《北德联邦职业秩序条例》。与此同时，国家对设立股份公司的限制也越来越松了，这为缺乏资本而又想创办企业的工业家和投资者提供了方便，他们获得了简单注册即可建立公司的权力。1870年6月确立的自动注册制度，极大地推动了普鲁士公司的形成及其资本的筹集。在1850年以前的长时期中，仅有123家企业共募集了22500万塔勒的资本；1851—1870年间相应为295家和80200万塔勒；1870—1874年间则为833家和84300万塔勒^⑧。其次是商业关系简化了。荷兰（1857年）、比利时（1865年）、普鲁士和北德联邦（1867年）先后废除了对高利贷的禁令；外国公司也越来越被允许越过边界并可在与母国企业平等的基础上进行经营活动，而不必得到特别授权；诸如支票之类的新的商业工具合法化了并进入了普通人的家庭；对于债务和破产所收取的惩罚减轻了；专利法也作了修订，以便将商标和其他无形商业资产包括进来；过去多年来积累下来的各种条例和法令都编制成为成文法典，商业关系在总体上大大简化了。这个时期的法律变化，特别是那些确立了现代公司企业宪章的变化，对于欧洲大陆新建起来的能够与英国竞争的经济能力做出了巨大的贡献。最后是各国普遍降低了国际贸易壁垒，主要是通过三条途径：一是消除或是减少限制以及对于国际水路交通的收费；二是简化货币的混乱状况；三是在欧洲主要工业国

之间签署了一系列贸易条约使关税税率大幅度降低。欧洲大陆国内工业并没有在英国的竞争面前崩溃，而是在这个过程进行了变革并且变得更加强大了。

与上述的消除早先存在的一系列消极因素相比，人们更应关注在这二三十年间形成的促成后来经济扩张与技术进步的各种积极力量。首先是交通运输的改进。例如在 1850—1870 年间，欧洲大陆上总共铺设了 5 万英里新铁路线；而在此以前所铺设的铁路线总长才 15000 英里^⑨。铁路在这一时期甚至取代了纺织业成为工业活动的先锋。其次是新能源和原材料的发现或者创新。对欧洲大陆经济活动的刺激而言，新发现或是新开发的能源来源的易得性特别重要，其中最重要的是煤炭。在德国，采煤量从 1851 年的 419 万吨增加到了 1871 年的 2376 万吨，法国相应从 443 万吨增加到了 1333 万吨^⑩。第三是以黄金储备增加为后盾，纸币发行量大增，1850—1870 年间法国增加了 3 倍，德国增加了 8 倍，利息率降至 2%—3%^⑪，信贷规模扩张，金融机构开始遍及整个欧洲大陆工商界，便利了资本的可得性，促进了工业技术变革和创新的实现。尤其重要的是，创造性的企业家对于这种长期机会和短期便利作出了灵敏的反应。

这二三十年的历史就是德 鲁尔地区崛起成为西欧 最大工业中心的历史

在这些背景下，欧洲大陆国家首先在技术进步方面取得了不小成就。在纺织业中，法国、德国、瑞士、比利时、奥匈帝国合计，棉纺锭数从 1852 年的 810 万增加到了 1867 年的 1200 万，但与英国的 3400 万锭相比仍相去甚远。由于机器设备和人员质量都不及英国，法、德棉纺织业的劳动生产率还只及英国的 1/2—1/3^⑫。在钢铁工业中，这二三十年欧洲大陆冶金工业最重大的进展是矿物燃料取得了决定性的胜利。例如在普鲁士，1850 年用于生产铁的燃料消耗中，木炭为煤炭的 3 倍；到 1870 年，几乎全部使用煤炭了。尽管如此，英国 1870 年仍生产了世界生铁的一半，分别为德国和法国 4 倍和 5 倍^⑬。在动力部门，随着新技术在欧洲大陆的扩散，各国对动力的要求也随之增加，而且

越来越将先进的蒸汽机作为主要动力来源。1850年,英国蒸汽机总功率为129万马力,为德国(26万)、法国(27万)、奥地利(10万)、比利时(7万)之和的184%;到1870年,英国为404万,德国为248万,法国185万,奥地利80万,比利时35万,欧陆这4国之和已为英国的136%^③。德国的这种高速发展与煤炭产量的大幅增长结合在一起,预示着一个新的工业巨人即将诞生。在某种意义上可以说,这二三十年的历史就是德国鲁尔地区崛起成为西欧最大工业中心的历史,这一发展的基础就是煤炭和钢铁。其次还必须提及欧洲大陆国家在此期间所取得的企业组织管理形式方面的进步。以德国为例。双层管理体制是德国企业经营方式的重要标志之一。1870年德国颁布的《自由公司法》规定股份公司内必须有职责分明的管理董事会和监管董事会双重管理体制;后经1884年修订,加强了监管董事会对管理董事会的控制。监管董事会的最关键权力是它能够任免管理董事会的成员。股东和各大银行的代表始终是监管董事会的主要成员^④。在这一时期中,欧洲大陆国家里还普遍出现了庞大而又严密的工商界社团组织,它们分区管理其成员,代表其利益,制定其行为规则,参与其职工培训。德国工会在这方面表现突出。工会在德国后来的资本主义发展中发挥了重要作用。德国工会核心组成部分是高级技工。德意志帝国劳工组织的力量与德国经济和政治界根深蒂固的家长式统治传统结合在一起,导致德国工业体系中民主与公然压制并存的现象。公司内部的劳资关系是一种自上而下的、军事化的一切服从命令模式,但这一模式又因牢固而又日益深广的福利政策使人感到它不那么令人生畏^⑤。此外,欧洲大陆国家开始出现的企业规模趋向扩大、生产日益集中的趋势也令人关注。

总之,19世纪50—60年代是西欧国家准备追赶英国的时期。这不是从数量的意义上来说的,在量上赶上英国还是以后的事,而且也只是在某些领域中赶上了英国。这甚至也不是从质的意义上来说的,不论是现有工业的生产规模和生产效率,还是整个国民经济的工业化程度,欧洲大陆国家都不如英国。法国或德国的工业革命与

英国的工业革命非常不同，这不仅是由于这些国家的特定条件和资源禀赋，而且也是由于它们开始得较晚因而确实跳过了某些阶段。因此，尽管经济史学家视英国在 1870 年时仍然远远领先于它的欧洲大陆模仿者、追赶者，英国进入了成熟阶段，而欧洲大陆国家还处于不成熟阶段，但按经济增长的能力来考虑，英国的领先优势已经丧失了。作为一代人的剧烈制度变迁和选择性投资的结果，欧洲大陆国家现在已经拥有了在某些重要领域中与英国展开平等竞争的知识¹³和手段¹⁴，其中德国在 1870—1914 年间完成了工业化，而且在工业领域赶上并超过了英国。

中心国家对关键产业及其核心技术¹⁵的发现与发明 是技术创新与扩散过程的主要内容

煤铁工业的发展大大 提高了对动力的需求

1. 英国在欧洲第一次工业革命时期 (1750—1870 年) 之所以能在技术创新与扩散方面长期据有优势地位，主要是得力于英国是当时的关键产业 (以棉纺织工业为代表) 及其核心技术的先导。在英国，本来毛纺织业比棉纺织业更重要、更发达，但是工业革命偏偏首先发生在棉纺织业。这是因为棉纺织业在国内外市场收益大，更加适合机械化，原料供应弹性大，产品销售市场弹性也大。1760 年，英国输入了大约 1250 万磅原棉以满足广泛分散在兰开夏乡村地区的棉纺织工业部门的需要；1787 年，原棉消费量增加到了 2200 万磅；到 1830—1840 年间，更增至 3.66 亿磅¹⁶，按产品产值、资本投资以及雇佣人员计算，棉纺织业成为英国最重要的工业部门。期间，棉纺织业的发明创新具有两个重要特点：第一，它们是按照挑战—应战的顺序发生的。在这个过程中，一个制造工序阶段的加速发展会给其他一个或几个工序阶段的生产带来巨大的压力，从而要求进行新的创新以校正这种不平衡。先是织工面临纱线供应不足的困难。而 18 世纪 50—60 年代开始普遍使用的凯伊飞梭更

加重了这种不平衡。后来这个问题是由一系列在 50—80 年代发明的纺织装置解决的，包括保罗等人发明的梳毛机、哈格里夫斯的珍妮纺纱机、阿克莱特的水力纺织机、克隆普顿的骡机等。这些发明引起了棉纱产量的巨大增长，这可以从 1770—1800 年间英国棉花消费量增加了 12 倍以上这一事实中看出来，从而反过来又使织布技术的改良成为当务之急。这个问题是由 1787 年卡特莱特发明的动力织布机解决的。到 1860 年，英国手工织工的人数只剩下寥寥 3000 人了。第二，许多小的技术改良与期间更为引人注目的技术进步同样重要：没有一项发明是尽善尽美地应用到工业之中的。除了发明创造的反复试验以外，在这些初始发明得到商业性应用以前还要在零部件、动力传输以及使用材料等方面进行无数次的调整和改良。工业化的最初几十年中，人们必须不断地与机械故障进行“战斗”。直到 18—19 世纪之交，不仅不可移动的沉重机身可以用铁来制造，而且可移动的部件也可以用铁来制造了；皮带已经取代用轧棉厂的废品制作的拉绳。在后来的几十年中，蒸汽机的不断改良使其运行更加平稳；齿轮和机轴也变得更加合理了；不断提高的自动化程度使其在罗伯茨的自动骡机（1825 年）中达到了相当完美的地步。

随着用煤炭代替木材，炼铁业从一个高成本工业部门变成了效率最高的工业部门。在 18 世纪 80 年代时，英国的铁产量尚不及法国，但到 1848 年时，英国的铁产量达 200 万吨，比世界其他地区铁产量的总和还要多。相应地，英国的煤产量从 1800 年的 1100 万吨增加到了 1870 年的 1 亿吨以上^③。技术环节是互相促进的。煤铁工业的发展大大提高了对动力的需求。有人计算，1800 年时英国全国所使用的蒸汽机不超过 1000 台；假定平均功率为 10 马力，当年英国蒸汽机的总马力约为 1 万匹马力。到 1870 年，英国的蒸汽机能量大约为 400 万匹马力，等于 600 万匹马或者是 4000 万男人所能够产生的动力^④。这里我们要强调指出，煤炭和蒸汽的发现和发明并没有产生工业革命，而是它们的飞速发展与扩散发生了工业革命。将热能转化为功的第一个实用机械装置早在 1698 年就发明了。只是在随后的

一百多年里，在对蒸汽机作了多次改进之后，蒸汽时代才取得了决定性的突破，因为这些改进开辟了一条继续提高效率的有效途径，最终导致蒸汽机进入国民经济的所有部门之中，并且使其成为主要的动力源，使第一次工业革命成为可能。

2. 德国在欧洲第二次工业革命时期（1870—1914年）之所以能在工业实力方面赶上甚至超过英国，主要借助于德国在这一时期的关键产业（以钢铁、化学、电力为代表）及其核心技术方面据有优势。19世纪最后几十年是出现创新集群的年代。它们使整个工业的普遍进步成为可能，而普遍的进步是成熟的标志。这种成熟是指把重大创新从作为工业革命核心的工业部门扩散到其他许多生产部门。德国在这一阶段里走在前面，而英国工业已经逐渐耗尽了构成第一次工业革命的创新集群所蕴涵的效益。

德国对英国的赶超首先表现在新材料领域，以及化学工业的转变

德国对英国的赶超首先表现在新材料领域，即廉价钢材的发明与扩散，以及化学工业的转变。19世纪最后30年技术发展的主要特点是钢代替铁以及与此相伴而来的金属消费量的迅速增长。生铁与熟铁各具优缺点。生铁较硬但易折断，熟铁较软却易加工。钢则综合了两者的优点，它坚硬、有弹性并且具有可塑性。如果没有一个强大的炼钢工业的话，德意志帝国看来根本不可能在19世纪末期时迅速发展成为欧洲大陆的经济霸主。而炼钢工业的迅速发展，不仅得益于已持续了一百多年的技术进步，同时还受到了品质改良、价格下降以及出现新的需求的推动。贝塞麦、西门子—马丁以及托马斯炼钢法，使粗钢的实际生产成本在19世纪60年代初至90年代中期下降了大约80%—90%，并使地下铁矿开采得到了更为有效的利用。英国、德国、法国以及比利时1861年的钢产量合计是12.5万吨左右，1870年为38.5万吨，到1913年则达3202万吨，在43年的时间里增长了83倍（年均增长10.8%）。其中英、德两国相比，德国逐渐占据上风。在19世纪70年代，英国所生产的生铁为德意志关

税同盟的4倍，钢产量则为2倍；而在1910—1914年5年间，德国平均每年生产的铁已为英国的2倍，钢2倍以上。德国钢产量在1893年超过了英国，铁产量则在1903年超过了英国。到1910年时，德国出口的铁和钢已经超过了在长达一个世纪的时间内一直充当世界主要钢铁供应国的英国；德国鲁尔地区的炼钢企业甚至开始在英国本国销售其产品了。

在19世纪最后几十年中，化学工业的两项最重要的技术进步是苏尔维制碱法和有机化合物合成法。由于没有制碱业的数据，这里仅举硫酸产量为例，因为硫酸是在技术上最重要的无机化学产品。1900年时，英国的硫酸产量还几乎是德国的2倍，分别为100万吨和55万吨；到1913年，德国为170万吨，而英国仅110万吨。奠定有机化学工业理论与实验工作主要是由德国人和英国人完成的，但后来德国几乎占了垄断地位。在德国，到第一次世界大战爆发时，有机化学工业已占化学工业部门全部就业人数和投资的一半以上；其他国家的发展尽管相对缓慢，但也紧紧追随着德国步伐。染料只是一个新世界的一角；站在人工染料背后的科学原理能够得到最为广泛的应用。从纤维素可以生产出一整套产品来。最先出现的是硝化纤维炸药，继之而来的是漆、相片底版与胶卷、赛璐珞以及人造纤维等等发明。1909年，贝克兰为第一个合成树脂酚醛塑料申请了专利。这些技术具有不可思议的独创性，它们又不断地衍生出新的方向与产品。惟一不变的是对于改变和创造新事物的秘密的不懈探索。

没有电，工业革命就不可能完成。在这里，如同在化学工业中一样，最惊人的成就也是在德国发生的。这两者之间有很多相似之处：开始较迟，以技术卓越和合理组织为基础的迅速崛起，生产的集中，以及在世界市场上的强势地位。直到第一次世界大战前夕，英国在电力消费方面可能仍然领先于德国，但在接着的不到10年的时间内，德国已经超过了它的竞争对手并把它远远抛在后面——尽管由于战争而损失了大片国土。到1925年时，德国主要原动力的日