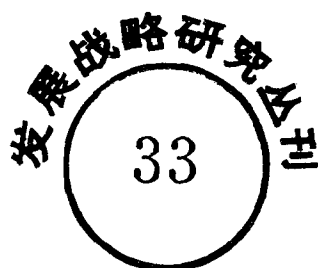


中国科学技术情报研究所



英国科学技术和 经济发展的经验

科学技术文献出版社

一九八五年

责任编辑：李泽清

98



英国科学技术和经济发展的经验

中国科学技术情报研究所编辑

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

科学技术文献出版社发行

开本：850×1168 1/32 印张：1.5 字数：31千字

1985年5月北京第一版第一次印刷

全年出版40期 总定价：12元

目 录

定义.....	(1)
背景.....	(4)
十八世纪.....	(4)
十九世纪.....	(13)
第一次世界大战和战后时期.....	(26)
第二次世界大战和战后时期.....	(31)
科学和英国工业.....	(34)
科学和英国政府.....	(40)
概要和结论.....	(42)

英国科学技术和经济发展的经验

〔美〕 D·S·L·Cardwell

一般认为，英国是世界上第一个实现工业化的国家。这种引人注目的变化，开始于十八世纪末。因此，在评价科学技术在国家经济和社会发展中的作用时，先从英国开始要比从任何其它国家开始更为合适。这就是说，在以后的分析中可以看出，英国发展的重要特征，如果不是全部，那末大多数都能与其他国家相类比。

定 义

很遗憾，科学哲学家在讨论基础科学时所提出的定义，没有考虑到应用科学的复杂多样性。因此，这些定义同经济学家和其它社会科学家所使用的与技术革新有关的那些定义几乎毫无共同之处。因为技术史的研究，特别是对技术与科学的关系的研究，仍然是不成熟的，所以任何人想要提出一组既考虑基础科学又考虑技术革新的定义，都未必能满足社会各个部门的需要。不过，这项艰难的工作还必须加以尝试。

弗朗西斯·培根早在十七世纪初的著作中就提出了两种发明形式。第一种可追溯到文化启蒙时期，可以叫做实

用的发明。这种发明可以描述为用熟悉的组件或众所周知的原理通过完全新式的装配而形成有效或合乎要求的某种产品。而其中提到的原理几乎或完全没有什么科学内容。或者如果这种原理具有科学内容，那末它也是众所周知的，可以看成是人们的常识。显然，无限量的实用发明是可能出现的，而且这种形式的发明到如今也始终是重要的。普通家庭中多种小型器具的数量就可证明这一点。然而，这种实用发明的本身不会自然而然地导致体系化的研究和发展工作。因为实用的发明并不包含新的或未知的成分，所以原则上在任何时间任何地点都能作出，它与系统的研究无关。

培根提出的第二种形式的发明可以叫做以科学为基础的发明。它包括只有当必要和适当的科学知识可用上时才能作出的那些发明。以科学为基础的无数发明也都是可能实现的。熟悉的例子包括电话、电视和致冷机。但是，这儿采用的“科学”比哲学家所谈到的科学的含义更广泛。它与新知识的意义相同。于是，培根把大炮看作是以科学为基础的发明，因为直到人们认识到压缩的黑色火药的爆炸性能之后才可能造出大炮。这时并不要求有火药反应的基本化学知识。实际上这种知识是很晚之后才出现的。人们可以说，在这种和类似的情况下，发明家一旦有了充分的知识基础，就可以采用简捷的方式搞出发明。

概括地说来，技术进步具有两个明显的特点：革命性的发明和进化性的改进。例如，十五世纪印刷技术的发明

显然是革命化的，其后的细节发明，补充和修改的改进就是进化性的。

十八世纪的进化性的改进过程是在合理化的基础上进行的。约翰·斯米顿研究用于建造灯塔的水泥可以看作是改进方面的先进例证。斯米顿从不同来源收集石灰和水泥的样品，仔细地按等级比例将它们混合，并且把最后得到的灰浆作严格的凝固和强度检验，最后他发现了一种完全满意的水泥。这种工序是归纳性的，因此，可以说是科学的。这是现在技术进步的标准特点。但是，正如这种和类似的情况告诉我们的一样，这里，基础化学—基础科学—并不重要，重要的是最终的可用产品。

最新的发明模式可以称为研究革新。其特点在于工业实验室的出现，它配备有得学位的科学家和技术专家。工业实验室的出现，必然需要培养出适当数量的专门研究人员和专门家。这些条件在十九世纪最后二十五年之前是不能满足的。研究革新可以采取两种形式。在第一种形式中，研究本身能产生某种新的东西，例如新染料，或塑料，或医药产品，或农药。在这种情况下，没有研究工作，这种产品是难以设想的。第二种形式中，所作的研究帮助或完善与研究无关而设想或发明的某种东西的生产。我们可以称它为启发式的研究。例如，制造完全新式的喷气发动机就需要大量启发式，或辅助的研究。这种形式的革新研究在第二次世界大战时极为盛行。

于是概括起来说，发明和文明本身一样，其历史十分悠

久。但是把科学，特别是把从严格意义上讲的科学纳入技术革新过程，乃是最近的事，而且其影响尤为深远。认为这些不同的发明模式在很大程度上都是互不相容的，就会使人误解。许多大工业实验室，如果不是绝大多数的话，在不同的时期内，都可以采用所有的发明模式，必要时可以把研究工作者从某方面转移到另一方面的工作中去。此外，在一些最大和最著名的工业实验室里，也能进行大学里所做的相同类型的基础研究。

背 景

十八世纪

有充分理由相信，从科学技术上来讲英国在十七世纪末以前落后于比较先进的欧洲国家，而在某些方面到进入十八世纪之后很长一段时间仍然继续落在这些国家的后面。

培根（1561—1626）是一位要从技术中取得社会效益的有影响的鼓吹者。1660年英国皇家学会的成立、牛顿及其学派的成就，标志着英国登上了世界科学舞台。然而，牛顿解决了宇宙之谜之后，对英国科学界来说，似乎需要做的事就不多了，至少在牛顿所选择的一些领域是如此。因而，行星天文学以及可能更加有用的力学的研究衰落了，可是法国和受法国文化影响的国家却更加有效地取得了进展。纽卡门机实际上是第一台成功的热机，它的发明被公

认为以科学为基础的。因为这个发明依据了十七世纪发现的有关大气压和真空特性的知识。但是，这种机器基本上还是历史上的常规工艺的进化性的改进。只是到詹姆斯·瓦特（大约1765）和斯米顿降生以后，科学才再一次影响到这个最重要的技术部门。的确，由于瓦特的贡献，现在认识到研究和发展的要素才开始出现，然而这只是一种短暂的现象，因为它在很大程度上取决于瓦特本人的天才。

为什么工业革命于十八世纪在英国开始，关于这个问题，人们发表了很多文章，无疑今后还要继续议论下去。这里有充分根据可以提出以下一些比较明显的原因：丰富的合适的原料，特别是煤和铁；十七世纪建立起来的有效的专利制度；高度个人自由和贸易与商业都没有内部障碍；非常有利的海外领地；和发展海外贸易的有利地理位置。到了后一阶段政府对技术领域所采取的措施也相当重要，这里有少数几个实例，其中之一是英国政府将总额为20,000英镑的巨款奖给了第一个生产航海用精密计时仪的约翰·哈里森（1693 - 1776）。

与此同时，作为一项基本技术的农业经历了一次改造。“围地”——也就是说，效率高的大型农场代替了中古时期效率低的小块耕作方式和“共用”土地——不仅增加了生产，而且解放了劳力，恰好可为该世纪末建立的工场和工厂所雇用。另外，许多重要的革新家促进了耕作理论与方法的改革。“绅士改革家”如洛德·汤申德（1674—

1738) 和托马斯·科克 (1754—1842)，系统地开发了他们的农场，而罗伯特·贝克韦尔 (1725—1795) 实行了家畜，特别是牛羊繁殖饲养的革命。总起来看，这些变化不仅为工业解放了劳动力，而且为工业居民保证了足够的粮食供应。附带说一下，值得注意的是，贝克韦尔的成就和构想，格雷戈·门德尔曾经加以研究。这是技术对科学产生影响的一个有趣例子。

比其它行业更引人注意和作为与工业革命有关的经济增长的例子的工业—纺织工业—实际上似乎与科学没有什么关系。理查德·阿克赖特 (1732—1792) 及其革新家同事的成就，在于成功地把复杂的纺织手工工艺过程分解成不连续的分离阶段，从而通过运用当时完全可用的材料和技术，使其中每个阶段实现机械化。这种机器是木制的。齿轮、辊、锤都是由钟匠制造的，其工艺可追溯到中世纪。

“锭壳”直接取自十五世纪的萨克森纺纱轮。事实上，这些发明是实用性的，并且通过它们使整个纺织工业实现了机械化。刺激的动力乃是需要，因为一个阶段的生产率的根本性提高，意味着对前后两个阶段生产率的提高具有强大压力。这种过程从1733年约翰·凯发明织机的飞梭开始，大大地提高了织布工的生产能力。其后阿克赖特就制成了纺纱机 (1769)，它是第一台成功的纺棉机。

这种重要工业以后的发展，带来了一系列连锁和触发效应。随着市场的迅速扩大，生产率大大提高，能够对有关工业不管原料供应业或是产品消费业施加影响。随着纺

织厂的扩大，楼板也必须加固，以便容纳更多更重的机器，而且防火设备也就迫切需要了。这些要求，导致十九世纪初建造了第一座铁结构工厂。这必然是一种以科学为基础的发明，虽然此处所谈到的科学乃是古代的科学。十分有趣的是，这是以伽利略的材料力学理论为根据的。在十七世纪五十年代（对该理论）已有系统阐述。这个理论虽然不十分准确，但对工程师们计算铁梁的合适比例，还是相当好的。永远值得记住的是，以科学为基础的发明的科学部分不必是刚从研究实验室得来的最新科学知识。科学概念在成功地应用到发明之前，经常长期地处于休闲状态，不被利用。对科学逐渐变得更加重要的纺织工业来说，其他方面的要求就是保证足够的动力供应；工厂的加热、通风和照明；和解决织物的纯化、媒染剂处理、染色以及印花等问题。然而，升降机或滑车的发明并没有涉及科学。除了必要的发明才能之外，所要求的一切就是适当的需要、和最高层楼上有适当动力的多层建筑物。

在这个题目下，人们还能写出许多的文章。无疑，在英国工业化地区，具有充裕的技能和企业进取心，这些是由于当地人民本身的自助精神和创造性而形成的。然而这并没有而且也不可能形成象今天我们所理解的那种体系化的研究和发展工作。突出的两点应该能弄清这个道理。

第一点，十八世纪的大部分期间，只有一个科学分支——牛顿力学和行星天文学——已达到了概念化的先进阶段或

者说已经建立起来了。所有其他学科都处于“进展”或经验阶段。因此系统的体系化研究和发展工作的范围还极为有限。而且到十八世纪末，当化学和一些物理学分支开始迅速发展时，处于领先地位的却是法国。法国于1794年创建了综合性工业大学，很快就联系了一大批有才干的非凡的数学家、物理学家、化学家和工程师。继大革命之后，系统地改组了科学——现今几乎通用的米制就是那时的科学遗产——而法国技术出版物迅速地达到了空前专业化的程度。此时，法国第一次涌现出了由许多名作者署名的科学论文，并且不久就十分普遍了。同时，法兰西共和国和以后的法帝国作出了把科学应用于工业和国防的重大尝试。另一方面，可能是，说英语的历史学家，由于深受英国工业革命的强烈影响，低估了大革命后的法国技术成就。用氯漂白的卢布兰法和提花织机都是法国的关键性的革新。尔后英国都迅速采用了。不可否认，对英法两国的科学技术和经济成就，均未进行过比较评价。但是证据表明，法国在大学与政府主办的技术方面占优势，而英国的长处则是工业界主持的技术和生产技术方面（而对长远的研究和发展工作几乎没有或没有兴趣）。

第二，英国没有国立的教育系统，更谈不到象法国那样的综合性工业大学，因此，完全缺乏培养研究和发展人员的正规手段。的确，一个国家，越急于保持、明确或确立其形象看来也就越关心教育，英国人——不同于苏格兰人——感到不需要从事这些事情。于是他们忽视了教育，到

十九世纪末，在某种程度上这就成了国耻。很可能这就是英国后来遇到困难的根本原因。至于高等教育，确定剑桥大学在十九世纪初形成了一个声誉卓著的数学学派。这是举行了受人们推崇的数学荣誉学位考试的结果。但是，人们普遍抱怨剑桥大学的数学教学的通病是几乎不或不注重实际运用，并且总是以早就过时的牛顿微分学作为基本教材。绝大多数数学学位考试取得一等成绩的尖子人材，却在法律界、英国教会或政治界谋求职业。事实上，在整个这段时期，两所古老的英国大学只不过是培养基督教英国绅士的高等普通教育进修学校而已，并且这一目的也不一定总能实现。大量证据说明，在十八世纪牛津和剑桥大学均处于衰落时期。

另一方面，看来政府对经济工作抓得紧的那些国家最早注意高等学校技术教育。德国著名的矿业学院，特别是奥匈帝国的舍梅茨矿业学院，就是政府关心采矿业的直接结果。而在法国，政府对桥梁公路的关心，直接导致公路桥梁学院的建立。在英国，由于政府对经济事务很不积极，直到十九世纪最后十年，才开始发展高等技术教育。

在这些情况下，英国就没有，并且不可能形成研究和 development 工作体制。解决工业革命问题采取了商人与工程师或技术专家的共生合作形式。这一点集中体现在马修·博尔顿和詹姆斯·瓦特的著名合作关系中。晚在二十世纪，C·S·罗尔斯和工程师亨利·罗伊斯的合作又形成了另

一著名的伙伴关系。*

因此总之，英国在工业革命时期的经济成就是由于一些个人，或更一般地说是由于共生合作关系的缘故。这些人适应强烈的需求完成了实用性的革新，尔后又实现了越来越多的以科学为基础的革新。缺乏国家教育系统，和可公认的研究和发展机构，不会限制有效的革新。十八世纪较有“实际经验的”英国工程师是按机械装配工的方式培养出来的；较有“科学知识的”（这个术语具有相对意义）工程师是按仪器制造者（一种与航海有关的重要职业）的方式培养出来的。在这两个实例中，（和大多数十八世纪的内科医生一样），都是按学徒方式培养的。除了当学徒和有经济条件的那些人去苏格兰或荷兰大学学习外，取得大致初级中学水平的科学教育的其他唯一方法就是参加“不信奉国教者专门学校”学习。不信奉国教者拒绝接受英国国教教规，形成了一个巨大而有力的社会阶层。不信奉国教者被阻止进入英国大学学习（没有明显的剥夺入学资格的规定），便建立了他们自己的专门学校。在这些学校中，教学科目包括实验科学，现代语言和其它商业和实际重要的学科。这些院校中的一些学校，教育质量很好，

* 共生合作关系的实际消失，就产生了一个有趣的问题。很容易看到，工程师伙伴怎样不久就变成了负责研究和发展人员组织的研究和技术工作的管理者，从而就失去了他作为公司里公认的革新的源泉作用。除这些组织机构变化以外，其他因素很可能也是重要的。这个问题需要进一步研究。

以致英国国教成员通常也参加进来学习。当废除了歧视反对不信奉国教者的法律后，到十八世纪末，这种院校如果不是全部，那么大多数也都关闭了。不过已经表明，这种院校的概念对象麻省理工学院那样的学校创始人并非没有影响。

在企业一级，科学信息是通过经常起社会俱乐部作用的正式或非正式的协会传播的。最著名的早期协会是新月协会，与它有联系的人是马修·博尔顿，詹姆斯·瓦特，约瑟夫·普里斯特利，乔赛亚·韦其伍德，以及其他先驱者。较后最著名的协会是曼彻斯特文学和哲学协会。手工业和机械工人所需要的知识，可以通过演讲者讲课——在城乡的厅馆内运用简单仪器说明其研究对象的示范性教学——获得。科学是基础的——杠杆定律。阿基米德原理、关于梁的强度的伽利略理论——但是，在许多情况下这种科学对富于创造性、勤奋和雄心勃勃的人来说是足够了。虽然只有一点点科学在英国的自然、政治和法律的有利条件下着手进行，但它在工业革命早期却起了很大作用。因此回顾过去，在十八世纪中期及后期英国的多种条件，虽然不利于使研究和发展体系化(它到十九世纪才发展起来)，但它对工业技术和实用发明的开展却是很有利的。

最后，我们必须记住，尽管英国存在着社会等级制度，人们之间存在着地位和财富的巨大差别，但并没有妨碍健康状况良好的任何人努力工作的意愿和发财致富的必要能力。在十八世纪有多少个欧洲国家中能够拥有象阿克顿特

那样，从理发学徒起家而赢得荣誉尊敬以及巨大财富的呢？或者从另一个技术领域举出一个例子；航海家詹姆斯·库克是一个农场雇工的儿子，他开始是从英国煤港城市纽卡斯尔出航的运煤船上的甲板服务员，后来成为一位皇家海军舰长和皇家学会的会员。的确有理由认为，直到十九世纪中期，英国从社会环境来说在某些重要方面可能要比以后更为灵活。

最后必须提一下不信奉国教者在工业革命中所起的作用。自从马克斯·韦伯开始展开讨论以来，它就是一个人们十分熟悉的论题。据说新教对资本主义的发展是有利的，并且推论它对工业主义和工业技术也是有利的。英国的不信奉国教者是典型的新教徒，他们被排除于国立大学和国营公司的门外，这里是英国地主阶级的领地。于是他们转向其它领域开展活动，帮助创立了工业组织系统，到1851年就使英国成为“世界工厂”。确实这个时期的许多第一流企业家、技术专家和科学家都是虔诚的不信奉国教者，但是理论上还存在某些困难，表面上似乎讲得通，但若深入讨论，可能就没用了。然而很显然，随着资格限制的逐渐撤销，象工厂主阶级的其他富裕成员一样，为自己，更重要的是为他们的子女，提出了新的社会目标。据说，一位典型的曼彻斯特工厂主就认为，“您们与其喜欢他的住宅大楼，不如羡慕他的工厂”。但是，其后代子孙却情愿忘记工厂。由于1830年以来铁路的迅速发展，这种忘记性就变得更加容易了。这些情况，使得工厂主能够远离工厂区

生活，而且能通过铁路不断来往于公事房与住地之间。我们可以推论，这是损害二十世纪英国活力的社会灾难和阶级分化的原因之一。

十九世纪

十九世纪，英国技术的发展，是通过一系列的连锁反应而实现的，一些工业的迫切需求与发明引起了其他工业的革新，在某些情况下还导致全新的工业的建立。电报就是一个重要实例。法国在大革命战争时期建立了可视信号系统，英国立即加以模仿。到1814年伊比利亚半岛战争后期，该系统在法英两国就得到十分广泛的应用，但是随着和平的到来，就不再使用了。显然，对高速通信没有需求。然而，随着十九世纪三十年代铁路的出现，发明一种比铁路机车更快的通信系统，就变得迫切了。这就是电报。它在十八世纪已有预兆，而到1800年，人们在理论上就认为是可行的。

意大利、法国、德国和俄国人都都是电报发明的先驱者。但是，首次有效运用的电报却是1837年由两位英国人W·F·库克，查尔斯·惠特斯通沿着从帕丁顿（伦敦）到斯劳（英）大约40公里的铁路线安装的。在以后数十年中，随着铁路的迅速发展，电报系统得到了推广，而且若没有它，那种紧张而快速的运输工作，简直就是不可能的。到1862年，敷设了第一条大西洋海底电缆，这一成就比横贯欧亚大陆到印度的通信线的完成更加引起公众的遐想。随