

三次产业革命的创新逻辑

南 岭

摘要：人类共经历三次产业革命。第一次产业革命发生在18世纪，以蒸汽机的发明和应用为标志。第二次产业革命发生在19世纪，以电的发明和应用为标志。第三次产业革命发生在20世纪，以计算机的发明和应用为标志。三次产业革命都是以市场经济为基础、企业为主体、科学发展和技术应用为动力的。但发生的背景不同，具体条件不同，创新元素及组合方式不同。厘清三次产业革命的联系和差异，有助于理解产业创新的逻辑，掌握新一轮产业创新的主动。

关键词：产业革命；创新；逻辑

中图分类号：F269.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1673-5706(2021)05-0082-10

我们正在经历一场深刻的产业变革，能否赢得胜利，关乎高质量发展。我们正在经历一场激烈的产业竞争，能否赢得优势，关乎国家兴盛。因此，我们迫切需要对发达国家既往的产业革命进行历史考察，从中寻找可供借鉴的有益经验。

一

肇始于18世纪英国的工业革命，被公认为世界上发生的第一次产业革命。这次产业革命使人类突破了“马尔萨斯陷阱”，一些先发国家由此走向丰裕。这场产业革命是人类历史上伟大的创新，是一场按照一定逻辑展开的创新。

(一)这是一场由经验型且富有“企业家精神”的人掀起、组织和推动的产业革命。第一次产业革命由纺织工业起步，以动力变革为基础，钢铁业、运输业及其他产业先后革新。这场革命的杰出发明者中，珍妮纺纱机发明者詹姆斯·哈里夫斯基

是纺纱工。水力纺纱机的发明者理查德·阿克莱特是个理发师也是个做假发的。用焦煤炼生铁的发明人亚伯拉罕·达比是个卖麦芽酒的人。打开工业革命大门的人詹姆斯·瓦特是个造船工人的儿子，他在自学过程中与科学界有过不紧密的联系。在最重要的发明家中，只有自动织布机的发明者埃德蒙·卡特莱特有大专文凭。^[1]

如果他们仅仅作为技术发明人，还不能形成产业创新的充要条件。关键是技术发明人同时也具有企业家精神，这类人可以称之为企业家。在创新经济学的奠基人熊彼特教授那里，所谓创新，就是通过一种创造性破坏，实现一种要素的新组合，从而建立一种新的生产函数。而企业家就是具有这种精神和这种才能并组织其他要素完成这一创新使命的人。企业家履行这样的职能，构成了产业创新的源泉和动力。^[2]

阿克莱特、拉比都是有名且兼有发明人和企业家双重身份的重要人物。工业革命代表人物詹姆斯·瓦特发明蒸汽机及推动广泛应用的故事，大体上可以反映出那个年代的企业家精神。1765年，瓦特制作了一个对纽科门蒸汽机有革新意义的发动机模型（发明人），并得到了一个叫约翰·罗巴克的投资（投资人）。双方约定，罗巴克垫付瓦特对约瑟夫·布莱克的欠款（布莱克曾经资助了瓦特的研究），并承担制造机器的费用。瓦特许诺这种机器将节省一半燃料，罗巴克将得到2/3的利润作为回报（企业家间的契约）。到1768年末，机器设计完成，罗巴克出资注册了一个“减少火力发动机中蒸汽和燃料消耗的新方法”的专利。正在建工厂造机器的过程中，罗巴克企业破产，将股份转让给了另一位叫马修·博尔顿的企业家。于是，有了一个接力赛。博尔顿帮助瓦特延长了专利，双方签署了一项资助协议。博尔顿负责这个项目的全部费用，支付实验所有花销，并每年给瓦特300英镑，而他得到存续期专利收入的2/3。1776年，瓦特蒸汽机正式诞生并投入使用。到了1780年代末期，蒸汽动力已经变得适用于各种规模的工业企业和其他行业，为几乎所有行业提供动力（瓦特—博尔顿公司因之占领市场并获利）。瓦特蒸汽机，从设计到生产、从应用到市场，直至成为一个新的行业，并改变了产业构成，充满了各种不确定性和风险，也存在巨大利润的想象空间。企业家精神引导和支撑了创新。

（二）这是一场适应技术创新而生发的多方面创新的产业革命。经济学家熊彼特在创新理论中，提出了企业通常采用五种方式“改变生产函数”，“实现新组合”：（1）引入一种新的产品；（2）引入一种新的生产方法；（3）开辟新市场；（4）征服或控制原材料或半成品的新供给来源；（5）实现任何一种工业的新组织。

英国工业革命中的企业家大多采取一种或几种方式对要素进行新的组合。如英国经商奇才乔赛亚·韦奇伍德的成功之道体现了熊彼特教授概括的“五新”路径。韦奇伍德开发了一种奶油色的瓷器（这在当时欧洲是发明性的新产品），借为女王生产奶油色茶具之机，将产品冠以“王室

牌陶器”（打造品牌），在其产品上，打上制造商的标识（商标运用）。捕捉欧洲当时流行的复古潮流，从考古中挖掘元素，制造出复古风格的陶器（新原料来源、新配方）。将陶器从日常用具引向奢华的装饰。除品牌、商标等营销方式外，韦奇伍德还一改委托经销的做法，在当时最时尚的伦敦，直接开设华丽的样品陈列间，开启展示性的销售（新方法、新市场）。他的产品不仅畅销英国，而且流行于欧洲。^[3]韦奇伍德经营之道的创新，与当时的中国陶器经营策略显然是有过之而无不及的，其影响在今天看来亦有意义。企业家精神在他那里淋漓尽致地发挥。

工厂制度的确立，是英国工业革命中产业组织创新中的突出成就。水力纺织机的发明人（同时也是企业家）理查德·阿克莱特经营自己的发明和生意，1772年，他在德比郡克罗姆福德建立起5层楼的厂房，将纺纱机和分拣、漂洗、标签和包装设备安装在一起，实现了纺织工业的机械化。这位发明人还通过控制专利授权，严格限制其他厂商工厂的纱锭数不得超过1000个，以阻止其挑战自己。阿克莱特的工厂，被誉为现代工厂的开端。工厂制度是一种与机器大工业相适应的生产方式。工厂生产的机械化，其能力和效率高于传统的手工作坊和家庭生产。工厂生产的规模化生产，分摊到单位产品中的成本低于传统的手工生产。工厂生产形成的分工协作和专业化，比没有分工的生产效率高。工厂催生的现代管理，对传统管理是一种变革。工厂制度不到一个世纪就打败了几千年盛行的生产组织，与工业革命一道，成为现代经济的组成部分。

（三）这是一场基于大量企业的集群性创新，大规模的“创造性破坏”，呈现新业态新结构为主体的产业革命。产业变革不只是某一个企业的创新，由于存在着前向或后向，纵向或横向的相互关联，一个企业与另一个企业，一个行业与另一个行业往往形成集群式关联式创新。英国工业革命起步时，织布技术比较领先，而纺纱技术不能与之相匹，市场需求催生了纺纱的机械，机械制造需要钢铁，炼铁需要大量的煤，采煤遇到了运输和排水问题，这些又对动力提出了需求。行

业发展互为条件、互为市场，旧的结构打破，新的结构产生。在技术层面，产业关联也密不可分。如博尔顿—瓦特公司蒸汽机的生产和成功的大规模应用，得益于当时已有的机器加工业，特别是机床工业。瓦特的蒸汽机要求汽缸镗达到极高的精密度，该技术是由威尔金森公司发明的镗床加工的。这种镗床原来是制作炮弹而发明的。“英国历史学家西蒙·谢弗认为，破解工业革命起源之谜，部分答案存在于三个貌似互不相干的因素：大炮、钟表和啤酒。在这三个领域，英国都曾处于领先地位，以‘火箭号’这种蒸汽机车为例，从事大炮制造的英国工程师早就掌握了一种精密技术，能把活塞严丝合缝地安到汽缸里，从而形成密封。英国的钟表师也知道怎样把杠杆的上下运动转化为圆周运动。英国的酿酒师是也有办法让蒸汽压力保持稳定。”^[4]

工业革命使得英国的国民经济及构成发生了根本变化。1801年英国的农业、林业、渔业占国内生产总值的34%，制造业、矿业、建筑业为28%；1871年，上述收入分别为15%和42%，后者上升为主导产业。铁和钢的进出口也从一个方面反映英国经济构成。1700年至1709年，英国进口总量16千吨，出口总量为1.6千吨，而1850年至1859年，上述数据分别为44千吨和1225千吨。^[5]棉纺业或许最能反映工业革命。1765年，英国的纺织总量是价值50万磅的棉花，全部是手纺。1784年，这一总量跃升到1,200万磅，全部是机纺。到1830年，棉布料占到了英国出口贸易量的一半以上，而这竟是出自一个看不到棉花种植地的国家。^[6]尽管很难找到更完整的数据说明当时产业革命的整体结构和面貌，但可以断言的是，这场革命是整体性的“创造性破坏”，是全面性的“要素新组合”。正如熊彼特教授所描述的那样，新组合意味着对旧组合的竞争性消灭。新组合不意味着对某些闲置资源的利用，通常新组合须从某些旧的组合中提起必要的生产资料，新的组合意味着在旧的经济系统中现有生产资料的不同利用。^[7]确实，18—19世纪的英国，自然资源并未有根本的改变，山还是那些山，水还是那些水。但新产业技术、新业态、新产业结构、新产业组织渐渐占主导地位。

（四）这是一场发生在现代科学兴起，工业启蒙与理性觉醒背景下的产业革命。有人说，牛顿为工业革命创造了一把科学的钥匙，瓦特用这把钥匙打开了工业革命的大门。这句话虽然不十分准确（没有证据表明蒸汽机的发明与牛顿力学直接相关），但大体上讲了工业革命与现代科学兴起是有关的。美国学者乔尔·莫基尔在研究知识经济的历史起源时，提出了一个工业启蒙的概念，架起了现代科学与工业革命的桥梁。莫基尔认为，18世纪发生的启蒙运动是多层次的复杂现象，工业启蒙关注于对自然力量的观察、理解和人工利用。“工业启蒙是两类有用知识及其二者关系都发生了根本性转化的一种社会变迁过程。”^[8]这里两类有用知识，一类是命题知识，即关于自然现象和规律的知识。一类是指令知识，也可以称之为技术。前者具有认知特性，后者具有技艺性，工业革命中，两类有用知识的持续增长，互动和转化推动了创造和发明。科学发展对工业启蒙的贡献表现为，科学方法、科学精神和科学文化互相交织。科学方法，是指以精确测度、数控实验或结果可重现为标志的具体方法，它贯穿于所有技术活动之中。科学精神则是一种对自然现象有序性、理性和可预测的忠诚信念。自然界是可知的，被固化在工程师和发明者的心目中。而科学文化认为，应用科学要服务于商业和制造目的。人类对事物的控制依赖于不断积累起来的关于自然界如何工作的知识，自然界只能顺从具有有关知识的人来统治。^[9]在科学文化和科学精神、科学方法对工业启蒙的影响中，科学精神和科学文化是一种区别于中世纪的全新观念，这种观念的广泛确立，支配了那个时代的人的行为。而科学方法的运用，提供了解决工业化问题的方案和形式。第一次产业革命中，虽然科学本身还不足以直接作用于以技术为基础的产业创新，但工业启蒙的深入人心和付诸实践，足以证明科学兴起对产业革命的巨大作用。

（五）这是一场发生在市场经济制度基本确立，具有相对宽松的工商业和社会团体发展条件支持的产业革命。为什么在18世纪的英国，涌现了一批天才的发明家和企业家推动着创新？为什

么工业启蒙活跃在英国并成为促成工业革命的动力? 回答这些问题, 不能不走到特定的政治经济社会结构中。

1. 英国的“光荣革命”和市场经济制度确立, 为工商业发展提供了激励。1688年, 英国发生了光荣革命, 信奉新教的威廉三世成为英国国王。1689年, 《权利法案》通过, 英国建立起君主立宪制。王权受到了限制, 议会和政府掌握了权力, 一批新贵取得了治权。《权利法案》废除了王权的一些特权, 如暂停执行的法律有: 国王不经议会同意而征税、国王干预法院事务等。《权利法案》是对商业利益和家庭利益的一种保护, 给企业家和投资人带来的信号是, 他们创新收益不再随意被剥夺, 经济活动有安全的社会环境。1776年, 现代经济学的奠基人亚当·斯密发表了《国富论》, 严厉批评重商主义, 赞美市场的平等交换和自由竞争, 英国市场经济制度初步形成。新的政治结构和经济制度, 打破了中世纪以来以世袭地位进行社会分层的框架, 为工商业者提供了进入社会的新通道和实现机制。正是这种激励, 发明家企业家才激发起创新精神, 冒险精神, 进取精神。也是这种激励, 工商业逐渐呈现出广泛的而非零散的, 持续的而非一时的发展态势。这一最重要的社会条件, 在当时的欧洲唯英国所有。

2. 专利制度。专利制度是英国工业革命的核心指导, 通过法律保护发明的权益, 确认原创, 激励创新。水力纺纱机的发明者阿克莱特, 蒸汽机革命性创新的瓦特, 都是最大化专利制度的运用者、受益者。英国的专利制造, 随着工业革命的发展而增长。1700年到1740年政府每年平均授权的专利不足5个, 而从1740年到1780年, 每年平均的专利授权数量14个, 1780年到1800年, 平均每年的专利授权数上升到52个。^[10] 专利授权的增长, 一方面反映了这项制度对发明创造的吸引力, 发明创新者对“我的创新”的在意和对制度的信任, 另一方面也反映了英国工业革命中创新突破的不断延伸。对工业专利授权为普遍性的保护。专利制度也是当时英国实施的独特制度, 是鼓励创意、技术和产业创新的秘诀。

3. 月亮社及社团。18世纪, 英国有众多俱乐

部, 极负盛名里有伯明翰的“月亮社”, 这是一个将工业与科学相结合的社团组织。会员中有的是18世纪最有影响的企业家发明家以及科学家等等。伊拉斯谟·达尔文(《物种起源》作者达尔文的爷爷)是月亮社的创始人之一。成员多是新教徒, 包括作家、工匠、官员。每月满月的那天, 他们就相聚一起进行交流。如企业家、陶瓷制作和营销商韦奇伍德与化学家约瑟夫·普里斯特利, 交流陶瓷与化学方面的问题。月亮社的成员中, 先后有10人成为皇英国皇家学会会员。类似的社团组织, 还有技艺协会, 皇家研究所, 伦敦地质学会, 皇家工程师学会等。这些社团组织或综合或专业, 或相互交流, 或共同研究, 或出版书刊, 或组织培训, 不仅促进了科学知识和实用知识的相互渗透, 相互转化, 降低了知识技能传播的成本。更为难得的是, 通过这种方式, 高深的知识和技能走进大众, 普及社会, 打破了阶层界限, 促进了社会平等。而这一切构成了工业启蒙和产业创新的化合剂。这也是当时英国所特有的。

与英国情势形成鲜明对照的是, 在工业革命时期, 西欧一些国家也不乏科学家和发明家, 甚至不乏当时最先进的发明。如德国德累斯顿附近的迈森小镇, 出产过的一种上乘的瓷器, 这种瓷器专供王室。国王奥古斯塔斯二世为防止配方外传, 竟下令将发明人关在城堡里。法国的天才发明人雅克·沃康松1731年发明了一种水平最高的自动消化鸭, 具有很强的娱乐性, 但也没有投放市场, 更没有形成产业。“英国人有个基本观念, 那就是, 一项创新, 首先要能赚钱, 能够商业化。”乔尔·莫克尔说道: “无论是在哪个社会, 都没有人对钱反感, 但在法国, 创新首先要服务于国家, 他们首先看军队需不需要, 军队不需要的, 就用于上层社会。”^[11] 这或许是工业革命为什么在英国而不是在其他国家发生的一个重要原因。

二

第二次产业革命, 是以19世纪中后期的电的发明和应用为标志的。19世纪末到二战前, 各种新产业新业态爆发性增长, 如石化产业、钢铁产业、汽车产业等等。之所以以电的发现和发现和应用为标志, 是因为电的通用性、基础性, 如同第一次产业革

命中的蒸汽机。第二次产业革命与第一次产业革命相比，既有继承性，又有革命性，这一点在其创新逻辑上也得以体现。

(一)这是一场发生在科学世纪，科学与技术相互推动相互影响的产业革命。19世纪被称之为科学的世纪，在这个世纪里，自然科学的各门各类，如数学、物理、化学、医学、生物学、天文学等等都日趋成熟，构成了自然知识的大厦。以至一些科学家认为，至19世纪末，自然界的根本问题已经解决，剩下的就是使计算再精确一些而已。19世纪末，在认知上，科学化代替了工业启蒙，科学价值更深入人心，以科学应用提高技术和竞争力日益成为企业家的选择。

科学发展直接改变了技术创新的方向和源头。化学的发展及其应用，催生了化工技术的井喷，而物理学的进步，打开了通向电的技术的大门，一系列电的应用技术被发明了出来等等。有学者指出“1875年左右，西方尖端工业技术的发展已从可见世界里的杠杆、齿轮、凸轮、轴、滑轮以及曲柄转向不可见世界的原子、分子、电子流、电磁波、感应、电容，磁力、电量，电压、细菌、病毒以及基因，其结果是西方工业技术前进所依靠的泉源有所改变”。^[12]而应用技术的发明，与科学发现又形成正反馈，加快科学革命。一个很有说服力的案例是“巴斯德消毒法”与“巴斯德微生物学”的创新。1795年，法国糕点制造商阿佩特发明了食品灌装技术。1810年，英国出现了以密封方式存储食品的镀锡容器。但阿佩特和英国的效仿者们都不清楚这项技术为什么有效，也不知道功效过程是怎样的。法国葡萄酒酿酒师，也困惑于葡萄酒变酸且不易保质的问题。直到19世纪80年代，法国生物学家路易斯·巴斯德在研究法国葡萄酒变酸时，揭示了其中的原理，即影响食品和酒变质变酸的主因是，某种微生物存活其中。用适当温度可以杀死或抑制微生物的生长，从而保持食品或葡萄酒较长时间不变质。

在实践中产生的巴斯德微生物学和巴氏消毒法，不仅深化了生物学的认知，促进了食品行业的发展，而且对其他产业（如医疗）产生了积极作用。第二次产业革命中，科学或者认知的拓展，

应用技术的进步，以及二者的协同和相互正反馈，为产业创新提供了方向和源泉，构成产业革命的“硬核”。

(二)这是一场现代教育勃发，源源不断提供人才支撑的产业革命。由中世纪而上溯，西方社会技艺的传承主要是师徒，及至中世纪末期的行会。这使得技艺封闭在圈子内，有用技艺得不到普遍的应用和大范围推广，也抑制了技艺之间的竞争和激发起的创新。中世纪时期，虽然办了一些大学，但主要是进行经典教育。一些自然科学发现，更多的是由好奇心驱动或有钱人资助的研究成果。第二次产业革命中，产业创新的科学元素比重上升，对高水准的工程师、技师需求大，传统的师徒传承、行会和大学满足不了新产业的需求。一些后起的国家抓住了关键，大力发展新工科教育。

19世纪中叶开始，美国工程教育快速发展。伦斯勒理工学院（1824年）、麻省理工学院（1865年）、斯蒂文斯理工学院（1876年）先后成立。1919年，麻省理工学院在电机工程系启动了一个项目，参与的学生学习时间一半在学院，一半在通用电气公司。地方积极发展工程教育，工科类院校迅速增长，到1917年已有126所。^[13]

德国作为后起之秀，19世纪教育资源投入对其成为科技和产业强国举足轻重。柏林大学（1809年）、波恩大学（1818年）先后成立，并贯彻研究和教育并重的新办学理念。“德国科学的大发展是从化学开始的。1924年，德国化学家李比希从巴黎学成回国，担任吉森大学化学教授，这位有机化学之父在吉森大学创立了一套新的化学教学方法。首先他建立了一个专供学生使用的实验室，让学生们自己在实验室里动手解决教授所提出的问题，这打破了学生们在教授的实验室里打下手当门徒的传统。这种先进的教学方法吸引了大批的青年学生来到吉森，聚集在李比希身边，使吉森成了当时欧洲的化学研究中心，李比希的学生很快分散到德国各地，在各大学和新型的化工企业担任职务，使德国的化学和化工首先走向世界的前列。”^[14]美国、德国超越英国，领第二次产业革命之风骚，引入和创新现代教育功不可没。

(三)这是一场工业科学的兴起,科学家加入企业创新的产业革命。所谓工业科学,是指科学知识在工业中的应用或用科学理论和方法组织工业设计、生产、管理等。第二次产业革命时期,随着科学的创新和应用,特别是一些不可见的元素知识应用,如原子、分子、电子、电、磁、细菌、病毒等等,只有受过训练的科学家或工程专业人员才能理解和运用,工业科学由之兴起。一批科学家被有远见的企业家聘用,成为产业创新的重要力量。如美国钢铁大王安德鲁·卡内基的传记作者,在其相关作品中引述了传主的一段话,为工业科学中科学家的加盟和创新作用的发挥,作了一个很生动的注解。“我们发现……一位有学问的德国人——弗里克斯博士——他向我们公开了许多奥秘,现在发现一向被认为好的矿石的含铁量比过去所说的要少10%、15%甚至20%。迄今为止,我们一直认为不好的矿现在都在生产优质矿石,好的成了坏的,坏的成了好的,一切都颠倒了。生铁炼制过程中的不确定性,有化学知识解除了。”^[15]这还不是个案,如发明大王。爱迪生本身不是科学家,但他雇用艾普顿和克劳迪斯为他工作,前者是数学家和物理学家,后者拥有电气工程博士学位。1892年,通用电气公司通过兼并接收了爱迪生的电器公司,留用了查尔斯·斯坦迈茨当咨询工程师,斯坦迈茨在德国大学学过数学、电力工程和化学。1889年移民到美国,作为一名独立个人发明家,他搞出了200多项获得专利发明。^[16]

(四)这是一场企业研发组织化、专门化,工业实验室主导的产业革命。与第一次产业革命的创新逻辑不同的是,第二次产业革命中,一些企业组建工业试验室,使研发机构化、专门化、知识化。这一新的创新逻辑的确立,本质在于创新范式的进化。第二次产业革命时期,科学理论的创新,为技术创新、产业创新提供了更广阔的认识空间。但从原理的揭示到技术化、工程化、产品化、市场化还存在着“万里长城”,若干环节仍需要研发的加持。

在第二次产业革命中,德国在化工产业大放异彩,拔得世界的头筹。其中巴斯夫公司从支持

合成氨的研发到产业创新发展是一个十分经典的案例。合成氨是19世纪人类为解决天然肥料日益减少而无法支撑未来而提出的课题,德国尤其紧迫。巴斯夫公司意识到其未来产业前景,关注和支持合成氨的研究。在若干科学家进行基础理论和试验的研究中,德国卡尔斯鲁厄高等工科学学校化学家弗里茨·哈伯博士和助手掌握了以用氮气和氢气制取氨并取得比较高产率的技术(科技成果初现)。但技术是否可行,需要大幅提高合成氨实验装置的性能,找到大幅提高氨的生成速度的触媒,在大学缺少经费时,巴斯夫公司两次支持了哈伯博士及团队的研究(企业支持大学研发)。1909年7月的模拟实验中,哈伯系统稳定运转了5个小时,高压反应室中的氮气被转化成氨的达6%—8%,实验成功。巴斯夫公司获得成果转让优先权。作为研发奖励和不外泄技术的补偿,巴斯夫每年给哈伯支付2.3万马克的薪水和研究费,另外投产之后,每生产1千克合成氨,给哈伯提取数便士的红利(成果转化激励机制)。

实验室成果产业化,在重化工业那里,要经过“中试”,以验证实验室成果产业化的可行性、安全性和经济性,并将新产品推向市场。这往往需要更复杂的二次或多次研发。合成氨科研成果产业化过程,面临三大难题。即廉价高效触媒的开发,高纯度原料气体的大量生产和大型耐高温高压合成装置的研制。卡尔·博施博士主持了公司合成氨项目的中试(多次研发和试验)。在经历过爆炸和无数次的失败后走向成功(通过中试过程被工业实验称之为越过死亡之谷)。巴斯夫产出了世界上第一炉合成氨,开始了一个新的产业。卓越贡献者弗里茨·哈伯博士、卡尔·博施博士分别获得1918年和1931年诺贝尔化学奖。^[17]

美国贝尔实验室是工业实验室优秀代表,也是用技术生产技术,用技术促进升级,用技术扩大对自然界认知的范例。1876年,贝尔发明了电话。1925年,成立贝尔实验室。该实验室是晶体管、信息论、太阳能电池、通讯卫星、激光器、发光二极管、数字交换机、可视电话、UNIX系统和C语言的发明者。还贡献了25000多项专利技术。有15位科学家获诺贝尔奖;16位获美国科学

技术奖和4位获图灵奖。贝尔实验室既发明了技术，也发现了科学，既使技术工程化，又使技术产业化。

第二次产业革命时期，工业实验室并非个别现象，“1898年以前美国工业中已创建139个研究实验室，其中112个在制造业，以后到1918年为止，又建立了553个研究实验室”。^[18]工业实验室既是科学时代创新的产物，也是重要创新载体。

（五）这是一场产业组织进化，“流水线”与大规模生产相结合的产业革命。“流水线”是在特定的时间（1908—1913年）、特定的地点（底特律）、出现在特定的产业（汽车产业）中的。流水线相比第一次产业革命中的工厂制度而言，是一种技术和管理制度或生产方法上的飞跃性的创新。大卫·E·奈对流水线的特点进行了详细描述。可简要归纳为五个方面：劳动分工优势的提高；通用零部件；单一功能的机器；机器设备的布局以制造每一种零部件的操作为主，而不是根据其类型进行摆放；通过滑行和传送带将零部件传送到工人面前。^[19]流水线的应用和不断完善，大大提高了福特公司的生产效率。

流水线重构了生产技术的物质结构，重构了工厂设计，也倒逼了技术变革。如零部件的精密加工和通用性等等。同时，也改变工厂生产的组织管理，其中一个重要的方面是，过去工人的劳动是由管理者监督的，而在流水线上则由机器带动去实现。此后，在流水线的基础上，产生了管理的自动化和精益生产。流水线的推广，还引导了工业的全球化。由于流水线使得一般的工作变得简单且易于操作，正常人经过短暂培训就可以上岗，大大拓展了劳动力的适应性，制造这一精密过程在加工环节变得简单了。这使得劳动力便宜变成一种分工优势，这决定了新的国际分工。因此，流水线的影响和价值在产业创新中难以估量的。

三

电子信息产业的兴起，可以追溯到第二次产业革命，电报、电话、电影等在19世纪末20世纪初就已发明并进入经济社会中。不过，真正可以称之为第三次产业革命的，是20世纪中期电子计算机的发明及其应用，以及其后人类逐步走入

互联网、物联网时代，信息产业成为一些国家的支柱产业，并成为几乎所有产业的基础。因此，我们考察第三次产业革命的创新逻辑，重点放在二战及以后的产业创新。

（一）这是一场知识经济时代来临，知识型企业引领的产业革命。如同前两次产业革命，企业仍是主角。从计算机的商业化到将互联网连接到千家万户，从手机的普及到大数据的形成，从人机互联到人工智能无一不是企业创新行为的结果。不过，战后的几十年，科学更加高深，人类对自然的认知向广度和深度拓展，产业创新中知识含量也不断增长。

一是知识型企业家在创新中群体性崛起。新产业的巨头谷歌公司、英特尔公司、思科公司等初始所有权或高层管理者多拥有名校博士学位。微软公司、苹果公司、脸书公司的CEO也大都是不满学校的教育而退学的天才般的创业者。他们不仅具有传统企业家的“企业家精神”，而且大多怀有改变世界的梦想。他们创业创新的领域，其认知基础不是浸淫已久的传统知识，而是对未知探索的渴求和对传统的叛逆。他们不是被动地满足已有的社会需求，而是以新供给创造出需求。

二是研发成为公司的基石和主业。与传统的公司不同，新公司竞争力主要来源于高门槛的科技研发，以及产出的新产品新材料新工艺新服务新管理。研发型企业一般具有以下优势。（1）高投入的研发强度。一些公司的研发投入占销售比高达10%及以上。如深圳的华为公司2020年的研发投入超过营收的15%，超过1400亿元。（2）员工中高学历高水准的研发人员占比高。以华为公司为例，从事研发的员工占比近半数。在研发团队中，数学家、物理学家、化学家超过千人。这个指标完全可以比肩知名的研究型大学，是传统企业难以想象的。（3）以高新技术领域发明专利占领全球制高点。美国高通公司凭借CDMA领域的专利，在3G、4G通讯发展中赚得盆满钵满。华为公司在美国申请的专利超过万件，其中5G领域专利领先全球。专利技术竞争成为公司竞争之重器。（4）企业创新呈现出快速与迭代。英特尔公司创始人之一的戈登·摩尔曾预言：当价格不

变时，集成电路上可容纳的晶体管数量，每18—24个月翻一番。或微处理器的性能每两年提高一倍。迄今为止，信息技术的发展基本验证了摩尔的预言，故有摩尔定律之称。苹果手机于2007年推出，到2021年推出iPhone13，几乎年年更新。这些都集中反映了新经济中公司的创新力。

三是公司既是创新平台又是资源配置平台。苹果公司、谷歌公司、中国阿里巴巴等巨头，既是功能性公司，提供专门的创新产品和服务，如搜索引擎、通讯、供应链等，更是平台公司。这本身既是技术创新也是组织创新。作为平台公司，这些巨头链接着一种产业生态，形成强大的产业生态集群。如谷歌搜索引擎、谷歌翻译、谷歌地图、谷歌新闻、谷歌天气、谷歌无人驾驶等以及安卓系统开源式接入。苹果商店早已令人眼花缭乱。阿里巴巴将成千上万供应商接入系统。并且，随着云计算、物联网的创新链接和应用，新技术以不可遏制的方式繁殖和演化。实体世界之外的一个虚拟世界逐渐形成。这种由信息技术支撑的动态竞争产业生态创新至今还在蓬勃发展。它也许是人类产业创新的长期逻辑，或许也是我们面临的一大挑战。

(二)这是一场产学研深度融合、共同发力的产业革命。产学研深度融合是新产业创新的主要特征。产学研深度融合，不能简单地理解为企业从事生产、科研部门从事研发、大学从事教育，然后围绕“产”建立密切联系。或者局限于“科研成果产业化”的线性逻辑。尽管上述组合十分有意义，但产学研深度融合本质在于，知识经济时代，企业的生存和发展，比任何时候都依赖于知识及其应用和人才发挥作用的内化。而知识的增长和人的发展也需要企业创新提供支撑、反馈、验证和推动，两者相互依存和彼此增强。你中有我，我中有你，水乳交融，浑然一体。硅谷与斯坦福大学的实践提供了成功范例。

最具有典型意义的是，大批如雷贯耳的企业本身就是产学研深度融合的化身。如谷歌、思科、惠普和太阳微系统、雅虎等等。这些创办者是斯坦福大学的教授、研究人员或学子，也是企业家。他们是知识、技术的创新者，也是身体力行的创

业者。他们的身份就是“产学研”深度融合的统一体。特别是那些起步于校园的企业。谷歌搜索引擎之路起步于计算机专业的博士的研究和试验。思科公司的创始人也是斯坦福大学的一对夫妇，他们先设计出“多协议路由器”，联通校园内不兼容的局域网，后走出校园，创办思科公司。太阳微系统和硅谷图文也是在斯坦福大学开发出第一代产品原型的公司。更多的是，从斯坦福大学校园延伸创业或校友开办企业仅在硅谷就达4万家左右，年收入占硅谷的50%左右，是若干细分领域的从0到1的创造者，他们改变了世界。

斯坦福大学还通过为硅谷的企业提供高水平的前沿知识和培养合格人才助推产业创新，这也是更广义上的产学研深度融合。而斯坦福大学周围林立的创新型企业，回馈大学，为大学发展注入了新的力量。他们或以校友名义为大学捐款；或以成功人士为在校学生提供示范；或因企业发展为创业创新者提供机会；或因企业创新给科学研究和技术发明提出课题和经费、场景支持等等。

(三)这是一场政府投放资源并以多种方式参与其中的产业革命。任何企业都不可能生存在无政府状态，纯粹作为“守夜人”的政府也只存在理论的假设或幻觉之中。第一次产业革命之所以在英国爆发，一个重要原因是“光荣革命”后，英国政府行为比西欧其他国家政府更有利于产业创新和生长。第二次产业革命，后起的美国、德国政府以保护主义政策扶植本国产业，以兴办或支持教育（研究型大学或职业教育）为产业变革提供创新资源。第三次产业革命，政府对产业创新的介入和参与加深，有的直接当“运动员”，产业创新愈益复杂化生态化。

1. 政府增加对基础理论和基础设施的投入。第二次世界大战中，科技应用在战争中的威力和优势尽显。大战临近结束的1944年，罗斯福总统要求其顾问范内瓦·布什提出意见，如何沿续和运用科技力量，促进国家发展和民众健康等。布什组织研究并提交了一份名为《科学：无尽的前沿》的报告，这份报告将科技分为基础理论和应用技术两个方面，指出：“第二次世界大战已经无可辩驳的向我们清楚地表明，基础科学（包括

发现原子核，激光、计算机和雷达等的物理学规律)对国家安全具有本质上的极端重要性，同时，对我国的经济安全具有同等重要性。”“一切新产品和新工艺都不是突如其来、自我发育和自我成长起来的。它们都建立于新的科学原理和科学概念之上，而这些新的科学原理和科学概念则源自最纯粹的科学领域的研究。一个依靠别人来获得基础科学知识的国家，无论其机械技能如何，其工业进步都将步履缓慢，在世界贸易中的竞争力也会非常弱。”^[20]

布什的这份报告，被认作战后美国科技强国的纲领性文件。战后美国专门组建了国家科学基金会，为基础科学研究提供源源不断的支持。一些机构或新设立或增加预算。著名的有美国国防部高级计划局、美国国立卫生研究院等，还有建设大科学装置和国家实验室。国家基金会不分国立、私立，以学科和项目的方式支持美国研究型大学建设和知识发现，是美国作为科学强国的重要支撑。战后几十年来，美国形成了国家创新体系的基本架构：纯科学理论研究（政府支持），应用基础理论研究（政府有限支持），技术开发（企业）。这一架构被称为“线性模式”。近年来，“线性模型”在实践上得以修正，政府支持应用基础研究的预算比重增长，特别是在新能源领域和卫生健康领域。在理论上，曾任普林斯顿大学伍德罗威尔逊公共与国际事务学院院长唐纳德·E·司托克斯教授，考察了几十年基础科学与技术创新的关系后，提出了著名的“巴斯德象限”说。即科研问题的选择，应转到社会需求导向的理论研究，其政策取向要转到支持应用基础研究为主。^[21]而《发明与发现：反思无止境前沿》的作者，更是以美国的若干案例和最新的实践，对“线性模型”进行了批评，提出了“发明——发现循环模型”。其政策主张是重构政府支持创新系统。^[22]对“线性模型”的反思，反映了产业创新模式的变化。

2. 军工——产业相互增强的创新机制。美国政府在早期的武器供给中，培育了“可互换机制部件”，二战及以后，政府需求管理成为促进产业创新的强大机制。以电子信息产业的几大关键技术创新为线索，第一台电子计算机的直接需求，

来源于军方解决爆炸品落点和弹道的大规模计算。互联网的前身“阿帕网”的第一个形态，1969年由美国国防部高级研究计划署建立。集成电路的鼻祖仙童公司，第一批平台型晶体管的合同实际上出自军方。这份合同支持了仙童的集成电路研发，还促进产品工程上和生产上的可靠性。美国形成的军方——产业互增强机制，跨越了技术产业化早期的高成本、市场需求不足，难以筹资等“死亡陷阱”，为企业向市场拓展创造了条件。反过来，企业创新一旦被市场接受，垄断性利润不但弥补创新成本，为再创新提供资金支撑，形成企业创新的良性循环。而民间企业不断提升的高水准的制造和服务又满足军方更高的需求。军工——产业的正反馈，是政府以需求管理建构市场，国防与产业实现联动的创新。二战后，核工业、航空航天业基本上也是类似的创新轨迹。

3. 政府组织产学研联合创新关键技术。20世纪70年代，为掌握超大规模集成电路（VLSI）关键技术，由日本通产省组织成立了一个产业界和学术界人士在内的“VLSI 研究开发政策委员会”，统筹和推进相关技术研发。并组建“VLSI 技术研究组合”和共同研究所负责具体研发和实施。共同研究所研发人员由通产省下设研究机构专门人才和日本电气、东芝、日立、富士通、三菱电机等大型半导体企业研发骨干近百人组成。研发定位于10—20年的可应用的基础性和共性技术。研发经费由政府和企业按比例出资，通产省出资近40%。4年攻关，通产省补助金总支出592亿日元，相当于通产省手中的一半补助金。1980年，“研究组合”解散后，到1986年项目终止，5家企业又陆续追加600亿日元用于技术的改进和再开发（可见政府和企业投资之大）。VLSI研发取得巨大成功。该项目之前，日本半导体生产设备80%左右要从美国进口。到20世纪80年代日本的相关设备实现了国产化。从1985年开始，日本的国际市场占有率便超过了美国。到2000年时，除荷兰的ASML外，生产销售这种关键生产设备的厂商，都是日本公司。日美两国政府间，围绕着集成电路产业的控制权，还打了一场综合性的贸易战。^[23]

日本这一案例表明，在技术高度复杂化、高研发成本、高产业风险条件下，政府参与产业创新有时是十分关键的。

四

三次产业革命表明，好的市场经济因产权、竞争、优胜劣汰的制度安排和文化认同，内生着创新机制，这是产业创新的共同逻辑。但仅此还不足以全面理解产业革命的产生和变化。作为经济过程的产业创新，虽然由具有企业家精神的市场主体主导，科学和教育、工程和技术、政府规制和行为直接影响创新发生、速度、规模、范围、方式和进程。创新是具体的历史的实在的，是创新要素在特定场景下的组合，其中最为核心的是产、研、学、官（政府）四要素的组合。这四种要素的组合可以有N种形式、N种结构、N种模式。它们的组合模式构成了产业创新逻辑的不同展开。要赢得新的产业革命，首先要坚守好的市场经济的大逻辑，形成特定时空下官产学研等创新要素有机生长和优化组合，如此，产业创新的活力将持续迸发。

参考文献：

[1][10][英] 罗杰·奥斯本. 钢铁、蒸汽与资本 工业革命的起源 [M]. 曹磊, 译. 北京: 电子工业出版社, 2016: 11, 6.

[2][7][美] 约瑟夫·熊彼特. 经济发展理论 [M]. 何畏, 等, 译. 北京: 商务印书馆, 1990: 77, 85, 76.

[3][4][6][11][英] 萨利·杜根, 戴维·杜根. 剧变: 英国工业革命 [M]. 孟新, 译. 北京: 中国科学技术出版社, 2018: 55-62, 24, 64, 55.

[5] 严鹏, 陈文佳. 工业革命: 历史、理论与诠释 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019: 267, 272.

[8][9][美] 乔尔·莫基尔. 雅典娜的礼物: 知识经济的历史起源 [M]. 段异兵, 唐乐, 译. 北京: 科学出版社, 2011: 35, 36-41.

[12][15][16][18][美] 内森·罗森堡, L·E·小伯泽尔. 西方致富之路 [M]. 刘赛力, 等, 译. 香港: 三联书店(香港)有限公司, 1989: 273, 267, 271, 268.

[13] 封凯栋. 发展转型与自主创新: 基于工业革命历史经验的讨论 [J]. 经济社会体制比较, 2012, (6): 28.

[14] 吴国盛. 科学的历程 [M]. 湖南: 湖南科学技术出版社, 2018: 482.

[17][23] 周程. 科技创新典型案例分析 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2011: 50-87, 90-110.

[19][美] 大卫·E·奈. 百年流水线 [M]. 史雷, 译. 北京: 机械工业出版社, 2017: 12-35.

[20][美] 范内瓦·布什. 科学: 无尽的前言 [M]. 崔传刚, 译. 北京: 中信出版集团, 2021: 70-71.

[21][美] 唐纳德·E·司托克. 基础科学与技术创新: 巴斯德象限 [M]. 周春彦, 谷春立, 译. 北京: 科学出版社, 1999: 63.

[22][美] 文卡特希·那拉亚那穆提, 图鲁瓦洛戈·欧度茂苏. 发明与发现: 反思无止境前沿 [M]. 黄萃, 苏竣, 译. 北京: 清华大学出版社, 2018: 10.

作者: 南岭, 深圳市体制改革研究会会长

责任编辑: 熊哲文