

「大家学者」

开拓技术创新史研究的新局面

戴吾三

清华大学 深圳国际研究生院
广东 深圳 518055

摘要：第四次工业革命序幕拉开，技术奇点临近，科技史研究者需要把握科技发展趋势，开拓技术创新史的研究。为此，本文提出新的理论框架，对技术创新历史分期，明确相关的基本概念，并探讨发明家、企业家、发明专利、新兴产业及工业实验室等研究重点，此外也结合技术系统（路线）之争的经典案例作出分析。

关键词：技术创新史；理论框架；发明家；发明专利；新兴产业

中图分类号：G30

我们正处在一个前所未有的创新时代，第四次工业革命^[1]序幕拉开，AI技术快速发展，技术奇点^[2]正在临近，人类社会即将发生新的变革并遭遇很大的不确定性。新形势下，科技史研究者需要把握科技发展趋势，积极应对挑战，开拓技术创新历史研究的新局面。针对科技史教材的现状，本文提出新的理论框架，对技术创新历史分期，明确相关的基本概念，并探讨发明家、企业家、发明专利、新兴产业及工业实验室等研究重点，此外也结合技术系统（路线）之争的经典案例作出分析。

一、科技史教材现状

很长一段时间，图书市场上所见到由中国学者编撰的科技史著作和教材，

基本上袭用英国学者威廉·塞西耳·丹皮尔（William Cecil Dampier, 1867-1952）于上世纪20年代撰写《科学史及其与哲学和宗教的关系》所确定的理论框架，该书按纵横方式展开，纵线以科学史上几个大历史时代为纲，分出古代世界（巴比伦、埃及、古希腊）、中世纪、文艺复兴、牛顿时代、十八世纪、十九世纪、当代以及展望；在每一个大历史时代，又按横向展开介绍数学、力学、物理、化学、生物、医学等内容。

20世纪90年代起，中国学者对丹皮尔的编撰框架有一定改进，把纵线延长至20世纪末，横向则增加了原子物理、航天、计算机、新生物学等学科内容，而对应古代和中世纪，着意增写了中国古代科技史的内容。

迄今所见，国内高校常用的十多种科技史教材，明显可见都是“丹皮尔改进版”形式，并可见内容的同质化。在这些教材中，技术史大都被安排于从属地位，完全不构成与科学史平行的另一条主线。放在二三十年前，这样的教材体系也说得过去，然而在21世纪的今天，置身于技术创新的大潮中，面对大幕已启的第四次工业革命和技术奇点迫近，就难免有因循守旧之感。

为跟上时代潮流，科技史研究者应有使命感，编写反映时代特点的技术创新史教材。

二、技术创新史的理论框架

笔者有愿编写一部《技术创新简

通讯作者：戴吾三 **单位：**清华大学 深圳国际研究生院 广东 深圳

收稿日期：2025-12-02 **录用日期：**2025-12-23

DOI: <https://doi.org/10.58244/sha.263745>

史》^[3]，为体现与科学史平行且具有差异性，需要建立新的理论框架，这涉及叙事的逻辑起点、历史分期和明确相关的创新概念。

1. 叙事的逻辑起点

如何确定叙事的逻辑起点？若定在古代，感觉这样的线索太长，难以凸显技术创新史的意义。

按美国学者伊恩·莫里斯 (Ian Morris) 的观点，数千年以来，人类发展曲线一直呈现出平缓向上的趋势。社会的发展与进步极其缓慢，以至于几乎无法辨清。但正是在距今 200 多年前的时候，剧变发生了，人口和社会发展使得人类历史曲线几乎弯曲了 90 度。如图 1 所示，18 世纪末期曲线突然转折，恰与我们耳熟能详的社会大发展契合：工业革命开始，它几乎集聚了机械工程、化学工业、冶金技术以及其他行业所有的社会发展刺激因素。正是这些技术发展推动了人类社会快速而持续性的进步^[4]。

在 18 世纪发展的多项技术中，最重要的技术就是蒸汽机。由此，笔者确定以蒸汽机的发明和应用为叙事的逻辑起点，试以简明的形式呈现 18 世纪以来时代演变的特征和重大领域的技术变革。

2. 技术创新史分期

技术史分期向为技术史研究者重视，技术创新史分期亦如是。研究技术史分期可以通过划分技术发展的阶段性，反映不同历史时期人类认识和改造自然的广度和深度，有助于认识理解技术的本质、技术发展的逻辑以及技术的

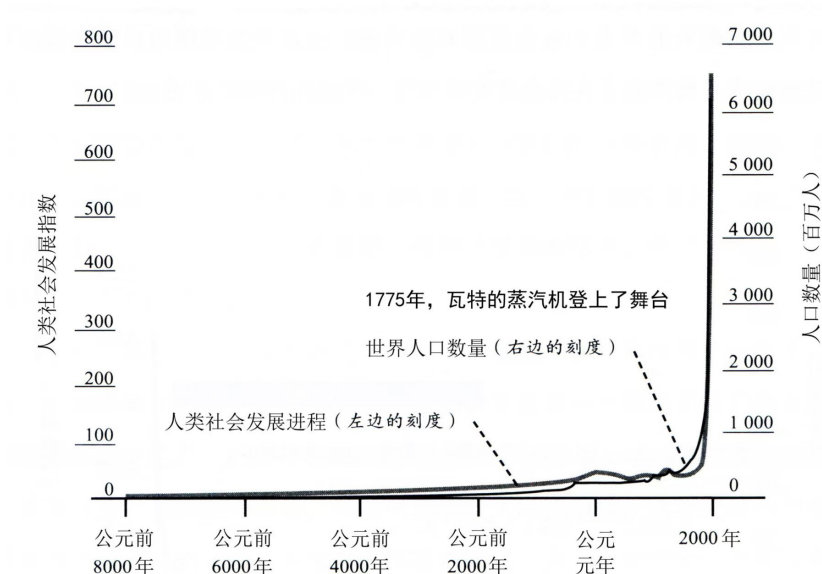


图 1. 工业革命大大改变了人类历史发展的曲线 (采自埃里克·布莱恩约弗森、安德鲁·麦卡菲著《第二次机器革命》)

社会属性和社会功能。国内外学者曾从不同角度提出过多种技术史分期方案，分析各有其意义，不过也因时代局限存在不足。^[5] 进入 21 世纪，回溯工业革命以来技术发展的历程，可见蒸汽机、电力、流水线、半导体、计算机这样的创新具有里程碑式的意义。西方学者把类似蒸汽机和电力的技术创新称为“通用目的技术”(General Purpose Technologies, 缩写为 GPTs), 以描述对人类社会产生的深远影响。^[6] 借鉴这一观点，笔者将技术演变划分为四个时代：蒸汽时代、电力时代、电子时代和计算机时代。细析之，这种划分不能涵盖快速发展的时代，可补充网络时代和智能时代，以与大幕已启的未来时代特征相符。

需要说明的是，以动力和控制的特征划分时代，并不代表没有其他的时代特征，如电子时代，人工合成的

新材料纷呈；广播电视空前普及；家电新产品大量涌现；卫星和载人飞船频繁发射。因而可以说，人类在电子时代，同时也进入了高分子材料时代、电视时代、家电时代、太空时代；而今身处网络时代，可以说也进入新能源时代，人工智能时代。

3. 有关创新的概念

发明与创新密切联系，但两者是有区别的概念，基于这样的理解，技术创新史不等于技术发明史，也不同于综合性的技术通史。

西方著名经济学家熊彼特 (J. A. Schumpeter) 最早对发明与创新的区别作出阐释，他认为，发明是一种新型的或改进的装置、产品、工艺或系统的想法、草图或模型。发明常可以获得专利权，但并不必然导致技术创新。从经济学意义上讲，创新只是在实现新的产品、工艺系统、装置的首次商

业交易时才算完成。创新有失败和成功之分，“能够占据相当的市场份额和（或）创造利润的创新才是成功的创新。”^[7]

学术界关于创新的概念有很多，如源创新（亦说从0到1），原始创新，重大创新，颠覆创新，渐进创新，等等。按笔者理解，技术创新须是由发明催生新产业，或改变原有产业技术的内涵。由此，在《技术创新简史》中所确定的基本概念是：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商业模式创新。要强调的是，引领时代的技术创新必定是源创新、颠覆创新；反言之，源创新、颠覆创新却不见得都引领时代，它可以是引领产业，或导致产业细分，或关键技术设备的研发。

近年，有西方研究者进一步指出，在讨论和理解创新过程时，区分“发明家”“创新者”和“创业者”非常重要。“发明家”是指创造出新技术（器物或流程）的人；“创新者”在市场要素、技术要素和实施要素这三个领域工作，将其收敛为一个实用的创新，这是发明的商业化形式；而“创业者”则致力于在执行层面把公司做强和做大。一个人同时是发明家、创新者和创业者的情况非常少见。^[8]

三、技术创新史的研究重点

在科学史中，科学家、科学思想、概念（体现于论文和专著）、科学实验

室、学派争论是研究重点。

比照可知，在技术创新史中，发明家、企业家、发明专利、新兴产业、研发机构（工业实验室）、技术路线之争（选择）是研究重点。

兹以复印机发明和应用为例，这是一个易被科学史著作和教材忽视的案例，而在技术创新史中却占有重要的地位。分析可见，发明家、企业家、发明专利、公司与新兴产业以及研发机构，构成了与科学发展的另一条平行线。

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，彻底改变了传统的复印技术。

1934年，年轻的卡尔森在纽约马罗里（P. R. Mallory）公司的专利部工作，经常要复制一打打的专利说明书，面对繁琐的重复性劳动，卡尔森开始思考低成本复制的问题。他查阅了当时有关印刷和复制的大量文献，最后想到一个创意：把静电学和光电导性相结合，通过在布满墨粉的表面加静电，复制出清晰的字迹和图形。1937年10月18日，卡尔森为他的技术思想提出专利申请。

不过，一纸专利并不够用，还要制作模型展示其实用性，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。

为了改进复印的各个环节，卡尔森和科涅做了上百次的试验。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（美国专利号2,297,691）。

卡尔森相信复印机有实用价值，但要造出真正的机器却困难重重。市场调查反映需求很小，许多公司都不看好。直到1944年，巴特勒纪念研究所（Battelle Memorial Institute）与卡尔森签订合同，帮助他进行技术改进，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叫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，但该公司的总裁乔·威尔逊（Joe Wilson）具有决策魄力和战略眼光，他看好复印机的市场潜力，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，威尔逊还把公司改名为“Xerox”（施乐），二十几年后成为响当当的名字。

制造复印机要克服的困难很多，不仅在机械方面，还在色粉——后来因为能带来丰厚的利润而被人们称为“黑金”——也面临着难以解决的问题。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美元至5美元，利润率超过了90%。色粉

看似简单，实则难以生产。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。要找出这些合适的特性，当时的方法就是不断试错。最终，施乐研发的“低熔点”色粉专利在后来20年中发挥了极为重要的作用，大大减少了公司所面临的竞争。^[9]

1959年9月，施乐公司推出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。然而，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，顺利打开了市场，堪称商业模式创新。

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。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、通讯设备紧密融合在一起，

真正形成了办公自动化系统产业。

如今，复印机已嵌入人类的生活。对这类重要的案例分析可见，重视从技术创新的视角，从发明、制造、改进直到商业化的全链条分析，能更好地起到还原历史，启迪后人的作用。

四、技术创新史的经典案例

科学史上常见学派、学说之争，如光的波动说与粒子说，地质成因的渐变论与灾变论，争论常常持续几十年甚至上百年，由此推动了人类对真理的认知，并成为科学史上的经典案例。

与科学史比照可知，技术创新史上有重要的技术系统（路线）之争，如电力系统采用直流电或交流电，发动机采用柴油机或汽油机，飞机采用螺旋桨或喷气式，半导体材料选锗或硅，等等，这都是技术创新史上的经典案例，其不断迭代的技术大大推动了人类文明进步。

这里重点分析爱迪生（Thomas Edison）发明白炽灯采用直流电系统与威斯汀豪斯（George Westinghouse）联手特斯拉（Nikola Tesla）采用交流电系统的技术竞争。

从科学史上看，爱迪生是一个伟大的科学家（严格说他不是）；而从技术创新史上看，爱迪生是一个伟大的发明家，却也是一个失败的企业家。

还原历史知道，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法。1881年2月，爱迪生在纽约成立“爱迪生电灯公司”，并加紧建立中央电站。^[10]

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，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西屋电气公司（Westinghouse Electric Company）。威斯汀豪斯揽了几个项目，小有成功，但要做大市场，就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公里的区域，超过这个范围效能就会大幅度降低。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。

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专利的特斯拉，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，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。

当爱迪生听说特斯拉与西屋电气合作时，不由地勃然大怒。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。然而西屋电气缺乏制造白炽灯的技术，有意向爱迪生购买专利，却遭到了拒绝。

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）亲自转动开关，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器装置。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。^[1]

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。博览会结束后不到一年，美国国内新订购的电器、电动机超过一半使用交流电，这要归功于西屋电气在博览会的成功，以及特斯拉电动机的优越表现。

随着时间的推移，就连爱迪生的铁杆粉丝也明白，直流电在这场电流之争中已是输家。传输距离仅限于1.6公里以内的直流电厂，说什么也无法满足美国对电力高涨的需求，只有交流电系统可以通过廉价而有效的方式长距离传输电力。然而，爱迪生不愿放弃直流电，他执拗地坚信，直流电在某些方面依然胜过交流电。他看准可充电的蓄电池，用于发展电动汽车，由此引出另一个创新故事。

以上对技术创新历史研究的理论框架、历史分期、基本概念、研究重点等提出思考和分析，期望引起更多学者的关注，以推动工科大学的新通识课程建设。

参考文献

- [1] 克劳斯·施瓦布，《第四次工业革命》，李菁译，北京：中信出版社，2016。
- [2] 雷·库兹韦尔，《奇点临近》，李庆诚等译，北京：机械工业出版社，2014。
- [3] 戴吾三，《技术创新简史》，北京：清华大学出版社，2016。
- [4] 埃里克·布莱恩约弗森、安德鲁·麦卡菲，《第二次机器革命》，蒋永军译，北京：中信出版社，

- 2014:8。
- [5] 王晓杰、戴吾三, 对技术史分期的评价与研究, 姜振寰主编,《技术史理论与传统工艺》, 北京: 中国科学技术出版社, 2012:27。
- [6] 克里斯·弗里曼、弗朗西斯科·卢桑,《光阴似箭——从工业革命到信息革命》, 北京: 中国人民大学出版社, 2007:147。
- [7] 克里斯·弗里曼、罗克·苏特,《工业创新经济学》, 华宏勋等译, 北京: 北京大学出版社, 2004:7, 263。
- [8] 尤金·菲茨杰拉德、安德里亚斯·万克尔、卡尔·施拉姆,《创新的真相: 如何将创新商业化, 促进经济增长》, 北京: 中译出版社, 2025:92-93。
- [9] 查理·埃利斯,《复印梦想》, 郭媛媛译, 北京: 清华大学出版社, 2007:123。
- [10] 拉皮罗夫-斯科勃洛,《爱迪生传》, 南致善等译, 北京: 商务印书馆, 1997:116。
- [11] 汤姆·麦尼可.,《商业标准大战: 直流电vs交流电》, 张淑芳译, 台北: 财讯出版社, 2007: 201-203。

作者简介:

戴吾三 (1953—), 1996年毕业于中国科技大学, 获科学史博士学位。原清华大学深圳国际研究生院教授, 主要研究技术史、工业史、科技与文化。今已退休, 兼任南方科技大学人文社会科学高等研究院客座研究员。

New Prospects for Research on the History of Technological Innovation

Dai Wusan

(Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: The fourth industrial revolution is unfolding, and the technological singularity is near. Researchers in the history of science and technology need to keep pace with the current trends and explore new perspectives of the history of technological innovation. This article proposes the theoretical framework for this purpose, which identifies the history of technology by stages, basic concepts and research focus. Based on this, a series of issues about inventors, invention patents, emerging industries and industrial laboratories will be thoroughly discussed in this article. Several classic case studies with respect to the dispute over technology system evolution path will be analyzed as well

Keywords: History of technological innovation; Theoretical framework; Inventor; Patent; Emerging industry