

# 产业创新的生物学基础<sup>\*</sup>

陆国庆

**摘要:** 生命科学产业已成为产业创新的主战场。以生物科学技术为基础的产业创新模式与特征不同于传统的创新模式,生物科学技术将通过三条途径促进传统产业创新,生物学的一些基本原则在产业创新中具有指导作用。

**关键词:** 产业创新 生命科学技术 产业创新模式

产业创新是社会发展的基本动力之一,也是产业结构调整 and 升级的关键措施。创新理论的奠基人熊彼特把创新比作生物遗传上的突变,“这类类似于生物学上的突变理论,即不断从体系内部革新经济结构,不断地破坏旧的并创造新的结构的‘产业突变’构成一种‘创造性的破坏过程’”(熊彼特,1999,146~147页)。按照熊彼特的理论,我们可以把产业创新看做是产业突变的过程,产业创新的本质是产业突变。英国经济学家弗里曼是第一位系统提出产业创新理论的人。他认为产业创新包括技术和技能创新、产品创新、流程创新、管理创新(含组织创新)和市场创新(Freeman et al.,1997,pp.18-80)。微观而言,产业创新就是企业突破已结构化的产业的约束,运用技术创新、产品创新、市场创新或组合创新等来改变现有产业结构或创造全新产业的过程(陆国庆,2002)。技术进步尤其是技术革命是产业创新的基本动力。生命科学技术与信息技术一样,是目前技术革命的两个基本领域之一,生命科学产业已成为产业创新的主战场(Enriquez and Goldberg,2000)。

## 一、生命科学技术:产业创新的发动机

产业革命是经济社会发展的最直接推动力。自18世纪以来,人类社会已经历了三次产业革命。每次产业革命都是由某一产业领域的技术革命引起该产业领域的革命,进而波及到整个产业体系形成普遍意义上的产业革命;每次产业革命都有一套典型的产业程式和具有代表性的产品。第一次产业革命中的蒸汽机制造业、第二次产业革命中的电能开发业、第三次产业革命中的电子信息产业,都是历次产业革命的核心产业,是产业革命的发动机。种种迹象表明,目前人类社会正面临生命科学产业革命的起始期。因为:

第一,生命科学技术已成为技术自然进步和创新的主战场。近50年来,生命科学研究取得了一系列重大突破性成果,技术积累已相当充分。20世纪50年代发现了DNA的双螺旋结构,1969年人类成功地分离出了第一个基因,80年代克隆技术实验成功。2000年6月26日,人类基因组图谱宣布基本完成,这是生命科学史上最大的突破,舆论界普遍把这一突破称之为“基因革命”。随着人类基因组计划的提前

完成,有关生命科学技术成果将呈指数增长,“基因革命”对人类的影响将远远超过“硅革命”的影响。

第二,生命科学技术革命向产业革命转化的步伐呈加速度发展。自18世纪以来,技术自然进步具有加速度发展的趋势(Fogel,1999)。第一次技术革命从蒸汽机的发明到产业革命的形成等了近百年,第二次技术革命时期从1831年电的发现到1882年第一个电站建成再到电的普遍使用也等了近100年,第三次产业革命从1946年第1台计算机的发明到计算机的普遍使用花了不到40年,如果从英特尔公司在1971年发明微处理器开始计只用了15年左右的时间。10年前,人们很少接触到互联网,但现在互联网已成为社会结构中的一个基本组成部分。网络经济的核心技术www技术不过是在1990年才由欧洲原子能机构首先发明,然后由美国网景公司(Netscape)开发应用,在不到10年的时间内就完成了从技术革命到产业革命的全过程。因此,随着技术革命向产业革命时间周期的缩短,生命科学产业革命的步伐将越来越快。

第三,生命科学产业革命已曙光初现。生命科学技术研究基本上是由市场导向的,技术产业化的壁垒大大降低了,尤其是以下两个因素更加加速了其产业化的进程:一是风险资本大量介入生命科学产业极大地推动生命科学产业化。自90年代以来,生命科学领域一直是风险投资的主要产业领域。目前,信息产业革命已基本成型,投资吸引力有下降趋势,相反,生命科学产业还处于萌芽期,投资吸引力正在逐渐上升。可以预料生命科学产业会取代信息产业成为风险投资的首选对象。众所周知,风险投资是新经济的火车头,是产业革命的助产婆。18世纪产业革命时,瓦特蒸汽机的试制和产业化过程完全是风险资本的产物(刘淑兰,1982,67~68页)。风险资本对第三次产业革命起到了极大的推动作用。如目前正在行进中的网络革命,完全是风险资本的产物,离开了风险资本,网络革命一天也难以生存。在越来越发达的风险资本市场的支持下,生命科学产业革命将会比以往历次产业革命发展得更快、更彻底。二是大批有实力的大企业大规模地进入生命科学产业从事研究和开发加快了产业化进程。由于生命科学产业市场需求潜力巨大、欲望强烈甚至迫

\* 中国博士后科学基金资助项目。

在青睐,诱发了传统产业中的企业纷纷进入该产业。如孟山都公司出售了传统化工产业,投资近 100 亿美元从事生命科学产业开发,成功地开发了数十种基因种子,实现了研究开发与技术产业化齐头并进,成为全球头号“生命科学”企业,杜邦公司也是如此,IBM 等信息产业中的龙头企业则投巨资于生物芯片开发。全球所有的大型制药企业都参与了生命科学产业的开发活动。企业的介入一方面为生命科学产业化提供了资金支持,更重要的是企业对产业演进具有较大的影响作用,在市场导向下的生命科学研究和开发更有利于产业化。一些较早的进入者已取得了一些突破性的研究成果,如孟山都公司已开发出可生产塑料的基因植物,由“植物塑料工厂”生产的塑料易被生物分解、成本也低廉,适于广泛的商业开发。2001 年该公司又宣布破译了水稻遗传基因密码,从而为水稻基因育种打开了大门。基因制药、基因化工等已进入了产业化的初始阶段,基因芯片等生命信息产业也在技术开发上日新月异。社会资本大量流向生命科学产业和大批企业的迅速成长无疑标志着生命科学产业革命的曙光已经来临,正如著名经济史学家保尔·芒图(1983,387 页)在总结 18 世纪产业革命的特征时所指出的:“产业革命的特征从经济上看,是资本的集中和大企业的形成。”

上面讨论了由生命科学技术革命引发的生命科学产业革命已来临,那么,它是否能促成整个社会的产业革命呢?也即是说,生命科学产业能否引起其他主要产业的变革并成为新一次产业革命的发动机呢?在回答这一问题之前,我们先来分析一下历次产业革命的核心产业所具有的特征。通过对三次产业革命的回顾,可以发现历次产业革命的核心产业至少具有以下三个显著的特征:

1. 有很强的产业关联性。产业关联性就是核心产业与其他产业之间的关联效应或波及效应(ripple effects)。如第一次产业革命中的蒸汽机、第二次产业革命中的电能、第三次产业革命中的集成电路、计算机、互联网等产业不仅波及到整个产业系统,而且变革了整个社会的结构。目前,生命科学产业的产业关联性可从三个层面来分析:第一层面是已经完全融入的产业,这些产业与生命科学产业融合后产生了根本性的变革,主要有医药、农业、食品制造与加工、化学化工等产业;第二层面是正在渗入的产业,如环保、冶炼、能源、纺织、计算机软硬件、保健、化妆品、军事、司法咨询等产业;第三层面是将要渗入的产业,如机器人、家电设备制造、建筑材料、互联网通讯、信息服务、传媒等产业。随着生命科学产业的发展壮大,它不但会融入到几乎所有的产业领域,而且自身也会以几何级数的增长速度不断衍生出新兴产业。目前仅基因工程产业就初步分离出的有:基因农业、基因化工、基因材料、基因制药、基因食品、基因信息等新兴产业群。

2. 能极大地提高生产率。生产率的提高是社会进步和经济发展的综合反映,也是技术进步或创新追求的目标。生产率的提高意味着人类社会解放程度的提高。如 1880 年每个男性平均每天工作 8.5 小时,到 1995 年减少到只工作 4.7 小时,预计到 2040 年只工作 3.8 小时。相反,休闲娱乐时间却从每天 1.8 小时增加到 5.8 小时,到 2040 年将增加到 7.2 小时(Fogel,1999)。总的趋势是人们工作时间越来越少,收入和消费越来越多,这就是因为技术进步尤其是产业革命极大地提高了生产率的缘故。如第一次产业革命时,蒸汽机取

代人力后,英国纺织业的生产率提高了 13 倍(麦格劳,2000,67 页)。前三次产业革命基本上是通过改革生产的条件(如提供高效的能源和动力以及先进的工具)等来提高各产业的生产率的。以生命科学产业为核心的下一次产业革命将把自然界最奇妙的高效生产方式移植到各产业中(如用植物合成材料、能源、用微生物浓缩矿物等),用植物工厂来取代机器生产,从而彻底改变了传统工业经济时代的生产模式。这样,它不仅能极大地提高各产业的生产效率,而且使经济增长与保护自然融为一体,彻底改变人类生产活动与自然对立的局面,使人与自然永久性的和平共处。

3. 能促进社会革新。产业革命从社会的观点来看,在物质本身上把社会革新了(芒图,1983,387 页)。历史表明,每一次产业革命不仅极大地丰富了人类的物质生活,同时也推动社会发展到一个新的台阶,推动了人类社会的整体进步。目前,人类在许多自然灾害以及疾病面前仍束手无策,即便是最先进的设备也抵不上自然界一个最简单的生物如微生物的功能和效率,更不用讲由无数生物组成的复杂的生态系统了。如 1991 年,一群科学家在美国亚利桑那州耗资 2 亿美元用最先进的设备建造了一个占地 3.2 英亩的玻璃封闭的微型生态系统,两年后该系统死亡了。因为它根本不能产出维持系统所需基本成份如空气、水等(Lovins et al.,1999)。这就说明,至今为止,不管多么复杂、多么先进的人造设备也替代不了自然界中结构最简单的生命的功能。但生命科学产业却有望完全扭转这一局面,生命的许多功能完全可由生命科学产业以更高的效率、更有利于人类福利的方式来完成。

## 二、以生物科学技术为基础的产业创新模式

任何一次产业革命都将从根本上改变经济发展模式以及变革社会结构。生命科学产业革命与以往历次产业革命相比,其产业创新模式有特殊性:

一是技术成果具有更强的排他性和垄断性。与以前历次产业革命的核心技术成果相比,生命科学研发不仅投资大(如一个新基因药品的 R&D 投资将近 2 亿美元)而且周期长。生命科学产业的基础资源是基因资源,基因资源是有限的,谁先发现谁都可以申报专利。正如自然资源的价值不同一样,基因的价值也各不相同,谁申报了经济价值大的基因专利,比如抗爱滋病的基因,谁就可以成为该产业的垄断者。生命科学技术成果的扩散会受到越来越严格的知识产权的保护,而且技术成果的保密相对容易,谁拥有核心技术,谁就有实施生命科学产业化的条件。

二是产业的先进者具有显著的先入优势。前三次产业革命的技术具有显著的公共性,技术扩散也较快,并且一般是为生产提供工具和手段,企业通过购买新兴产业产品即可进入新兴产业,但生命科学技术属于从本质上改变生产模式的技术,技术成果固化在新产品,模仿复制相当困难,甚至不可能。生命科学产业的产品市场具有惟一性,某一方面的产品开发一旦成功,则其他的竞争者将难以再继续从事该产品的开发了,越晚的进入者,进入壁垒越高。

三是产业成长模式是实体经济模式。生命科学产业成长模式从一开始就是以市场为导向的,产业价值直接来源于产品本身,产品生产、销售过程就是价值实现过程,而不是像

网络经济等产业那样价值实现与产业本身是完全分离的虚拟经济模式。生命科学产业创新的实体经济模式能更好地促进创新。

生物科学技术促进传统产业创新大致从两个方面(模式)进行的:

### 1. 传统产业流程的绿色化创新

自第一次工业革命以来至今的标准工业模式中,价值创造被描述为一种提取、生产和分配的线性结果:原材料是从自然界中取得的;工人利用技术将这些原材料变成产品,产品被出售以创造利润;生产过程产生的废料,被送往其他某些地方以某种方式进行处理。在传统工业模式中,资源利用率是相当低的,也就是说人类生产活动的浪费达到惊人的程度。就拿技术最发达的美国来说,经济是惊人的缺乏效率:测定结果表明,大量的材料流量实际上只有6%变成了产品。总的来说,废料同构成物质财富的耐用产品之比可能接近100:1。整个经济还不到物理学定律所允许的能量效率的10%——可能只有百分之几。在衰退产业中,可以肯定地说,对资源的浪费会远远超过一般水平。高物耗和高能耗是许多传统产业衰退的根源之一。技术创新是改变这种浪费的基本途径,技术创新一方面表现为新产品的诞生,另一方面则是工艺流程的改进。即使在技术没有大的变革时代,通过流程变革同样可以取得惊人的效果。自然资本主义这一开创性理论的提出者——Hawken 等认为,没有一种产业不存在大大改进其能效的潜力,即使是世界上最先进的重要产业(如集成电路)也一样。而流程再造和变革则是基本的途径之一。他们在《自然资本论》一书列举了大量的事例,用以说明产业流程上的轻微变革能带来可观的效益。工艺创新又有助于减少工序、原材料和成本。在制铁、制钢这样最古老的、最大的和资源利用强度最高的产业部门,正是通过一次又一次的流程创新使钢铁业不断从衰退陷阱中复活的(Hawken et al., 2000)。

产业流程绿色化创新的主要内容包括:第一,生产过程绿色化。生产过程绿色化就是常讲的“清洁生产”。清洁生产强调三个观念:(1)清洁能源,降低能源消耗,利用可再生能源等。(2)清洁生产过程,产品制造过程中尽可能少产生废弃物,尽可能减少对环境的污染。(3)清洁产品。降低对不可再生资源的消耗,延长产品使用寿命等。第二,绿色产品设计。这是在产品设计时尽量考虑到产品的使用寿命结束后可以方便地进行拆卸、分解,零部件可以翻新和重新使用。第三,绿色包装。绿色包装指使用绿色标签、降低包装成本,不使用对环境造成危害的包装材料等。第四,绿色营销。在产品销售过程中,宣传绿色观念,引导和强化消费者的绿色意识。

对不同的产业和企业而言,产业流程绿色化创新的内容和动机是不同的,如传统化学工业(农药、化肥、日用化工等)和造纸工业等产业主要是减少生产过程中污染物排放,传统机械制造业主要克服产品使用过程中能耗高、排污多等缺陷。生态链中能量传递的十分之一规律同样适用于经济系统中的产业链,下游产业的细微变革能带来上游产业的巨大变革。对于大多数传统产业而言,高消耗和高污染是导致需求下降的主要原因之一,以节能、健康为主要内容的绿色战略不仅将产生巨大的经济效益,而且能创造全新的产业模

式。如汽车产业经过近一个世纪的发展,制造技术已趋成熟甚至老化,但节能环保型汽车则方兴未艾,现时汽车总能耗只有1%用于驱动,只有15%~20%的热能转化为动能,而新型节能环保汽车能节省85%的能耗,将从根本上改变传统汽车产业的模式。

近年来,国外企业热衷于生态创新。所谓生态创新就是通过改善公司的环境质量来提高公司的绩效(Ramus and Steger, 2000)。职员的生态原创性主要反映在:提高废物利用、及时解决环境问题以及提高生态效率等。传统产业绿色化创新无疑会显著提高企业的绩效,改善衰退产业的生存能力。但绿色化不单纯是为了经济效益,伦理和法律方面的因素也是不可忽视的。大量的实证分析表明,企业绿色化创新的动因有三:竞争、法律和生态责任(Bansal and Roth, 2000)。可以说,绿色化创新不只影响产业的市场需求,而且将愈来愈成为技术创新和产业组织创新的重要因素,甚至成为一国产业国际竞争力的制约因素。

### 2. 传统产业生产模式创新

众所周知,以征服大自然为自豪的近代工业生产的发展,是建立在对自然资源和生态环境的不友好利用基础上的。自18世纪产业革命以来,人类依靠科学技术创新创造了前所未有的物质文明,但同时也为此付出了高昂的代价,其中最令人忧虑的两个问题是自然资源的枯竭和生态环境的恶化。在工业经济时代,自然资本包括生态系统服务具有公共物品特性,是经济系统的外生变量。因而,保护自然和环境的大多数活动是一种外部经济效应。但随着自然资本变得越来越稀缺,生态环境日趋恶化,自然资本的经济外部性正逐步向经济内部性转化,自然资本主义正取代传统实业资本主义成为新的经济模式,自然资本不仅仅是公共物品,而且决定着企业的生存(Lovins et al., 1999)。利用生命科技进行产业创新的目的之一就是寻找自然资本良性运转的新生产模式。

生命科学在指导传统产业创新过程中,一些看似简单但却很有效的生物学原则是值得遵循的。这些原则是:

第一,系统整合原则。生命系统是整个自然界效率最高、功能最完备的完美系统。不管科学技术多么发达,人类在生命系统面前只能是望洋兴叹。在产业创新中系统整合原则有两层含义:一是整个系统运行的成本达到最低,效益达到最高;二是系统生命周期成本最优。这一原则虽然被广泛接受,但在实际中几乎总是被忽视。如设计窗时,不考虑到建筑物;设计灯时,不考虑到房间;设计发动机时,不考虑它所驱动的机器。传统上,诸多差的流程或设计往往会持续好几代,甚至好几个世纪,那是因为它们被认为是可以运作的,不仅方便、易于复制,而且极少受到质疑。如在化学工业管道铺设上,传统的观念是先安置好设备,然后再铺设管道。但荷兰工程师 Schilham 却一反常规,先铺设好管子,然后再安置设备,这与常规的泵系统安装次序恰恰相反。常规的操作流程会使管子形成多余的弯曲和多余的长度,系统内摩擦比应有的增加了3~6倍。在安装设备前就铺设好管子, Schilham 可以把管子设计得既短又直,避免了以往又长又弯的管子设计,减少系统内的摩擦,系统运行效率高了,成本也大大降低了。这一简单的流程变革就可以节约92%的泵能,同时运行成本就节约更多了(Hawken et al., 2000, pp. 4)。

第二,生态链原则。生态系统中,能量在生物链之间的传递普遍遵循十分之一规律。这一规律应用到产业流程再造中能产生惊人的效果。在系统的最下游节省一个单位的能量或物质消耗就会节省10个单位的上游投入。随着向系统的上游进行回溯,这种综合效果还使得系统内每一个连续的组成部分变得更小、更简单、更廉价,这种节约不仅体现在能耗和物耗上,也体现在资本支出上。因此,在产业流程再造中,应该首先在流程的下游实施节省措施。从产业流程的下游到上游,从末端到前端,列出每一链上的浪费和缺陷,并对其进行变革是一种简单而高效的流程再造方法。

第三,仿生原则。通过对生物系统的观察和模仿,往往能取得工艺流程上的重大突破。如豆类植物上的根瘤菌的固氮效率远远高于现代大型化工厂合成氨的效率。一个细小的蜘蛛体内就拥有一座最精密的纤维工厂。目前人类唯一能制造的接近蜘蛛丝的东西是纤维B——一种韧性好到能阻挡子弹的合成纤维。为了制造纤维B,我们需要把从石油中产生的分子在高温高压的浓硫酸中经历多道工序才能合成。而蜘蛛可以在体内完成这一系列复杂的工艺流程,而且没有污染性的副产品。如果我们能模仿蜘蛛的加工流程,我们就可以用极少的能量投入和无毒性的产出超强度的纤维了。仿生学在产业创新上的应用主要有两个方面:一是模仿生命系统的功能和过程来改造传统的工艺流程,通过生物方式重新设计工业系统,改变工业流程和材料的性质,使材料在连续的封闭循环中不断地被再利用,甚至可以消除废物排放,从根本上提高资源生产率;二是模仿生命系统的机理

和功能来开发新产品。

#### 参考文献:

1. Freeman, Chris. and Soete, Luc, 1997. *The Economic of Industrial Innovation* (Third Edition). London: Pinter.
2. Enriquez, Juan and Goldberg, Ray A. 2000. "Transforming Life, Transforming Business: The Life - Science Revolution." *Harvard Business Review*, March - April, pp. 96 - 104.
3. Fogel, Robert W., 1999. "Catching up with Economy." *The American Economic Review*, Vol. 89, No. 1, pp. 1 - 20.
4. Lovins, Amory B. et al., 1999. "A Road Map for Natural Capitalism." *Harvard Business Review*, May - June, pp. 143 - 157.
5. Ramus, C. R. and Steger, Ulrich., 2000. "The Roles Supervisory Support Behaviors and Environmental Policy in Employee 'Ecoinitiatives' at Leading - Edge European Companies." *Academy of Management Journal*, Vol. 43, No. 4, pp. 605 - 626.
6. Bansal, Pratima and Kendall Roth, 2000. "Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness." *Academy of Management Journal*, Vol. 43, No. 4, pp. 717 - 736.
7. 霍根,拉维斯,拉维斯:《自然资本论》,中文版,上海,上海科学普及出版社,2000。
8. 约瑟夫·熊彼特:《资本主义、社会主义与民主》,中文版,北京,商务印书馆,1999。
9. 陆国庆:《论衰退产业创新》,载《中国经济问题》,2002(5)。
10. 刘淑兰:《英国产业革命史》,长春,吉林人民出版社,1982。
11. 保尔·芒图:《十八世纪产业革命》,中文版,北京,商务印书馆,1983。
12. 托马斯·K·麦格劳:《现代资本主义:三次工业革命中的成功者》,中文版,南京,江苏人民出版社,2000。

(作者单位:广发证券公司兼并收购部 广州 510075)  
(责任编辑:Q)

(上接第104页)大变动(周期性使用大量银行借款的公司)时,股权自由现金流量波动性较大,有时可能会出现负值,准确计算这些公司的股权自由现金流量是相当困难的。这时,运用股权自由现金流量折现模型对公司股权进行估价较为困难。由于公司自由现金流量模型是对整个公司而不是股权进行估价,所需预计的公司自由现金流量是债务偿还前的现金流量,所以使用公司自由现金流量折现模型估价的好处是不需要考虑与债务相关的现金流量,较之于股权自由现金流量,公司自由现金流量为负值的情况少,因此,拓宽了现金流量折现技术的使用范围。在公司财务杠杆过高或经常发生重大变化的情况下,运用公司自由现金流量折现模型尤为方便。例如公司自由现金流量模型在杠杆收购中能够提供较为准确的目标公司价值,因为杠杆收购中的目标公司在开始有很高的财务杠杆比率,但是随着时间的推移,公司逐渐偿还债务,其杠杆比率将大幅度降低。

然而,公司自由现金流量折现模型也有其缺点。首先,计算资本加权平均成本需要预测关于负债比率和利息率等方面的数据。其次,也是非常重要的一点,如果使用公司自由现金流量模型对公司股权进行估价,则要求债务已经以公平的价格在市场上交易,或者已经根据最新的利率和债务的风险进行了明确的估价,这需在外部的存在一个完善的资本市场。

在运用现金流量折现模型进行估价时,由于变量选择的不同,估价的结果也存在较大差异。但是,估价结果并不反

映某一种估价模型的绝对优劣,某种现金流量折现模型的选择还要受其他一些因素影响,如投资者的投资期望水平、对实现投资期望的时间偏好和实现方式的选择等等;同时,无论哪一种现金流量折现模型的估价结果,均需要考虑模型以外的相关因素(如外部是否存在完善的资本市场等)加以调整。在对公司股权进行估价时,哪种模型更具适用性呢?现将结论归纳如下:如果收购者希望从目标公司分回丰厚的股利,那么,通过股利折现模型所得到的结果是判断公司股权价格是否合理的更好标准;如果收购者注重公司的控制权或者公司股权转让时的溢价而非股利,那么使用股权自由现金流量折现模型所得的价值就更准确;对于商业银行、保险公司等高杠杆公司和股权自由现金流量为负值的公司的股权进行估价时一般采用公司自由现金流量折现模型间接对股权进行估价较为适宜。

#### 参考文献:

1. [美]保罗·巴伦著:《怎样为盈利公司定价》,中文版,北京,经济科学出版社,2001。
2. [美]布瑞德福特·康奈尔著:《公司价值评估:有效评估与决策的工具》,中文版,北京,华夏出版社,2001。
3. [美]达摩达兰著:《投资估价:评估任何资产价值的工具和技术》,中文版,北京,清华大学出版社,1999。

(作者单位:北京大学经济学院博士后流动站 北京 100871)  
(责任编辑:Q)