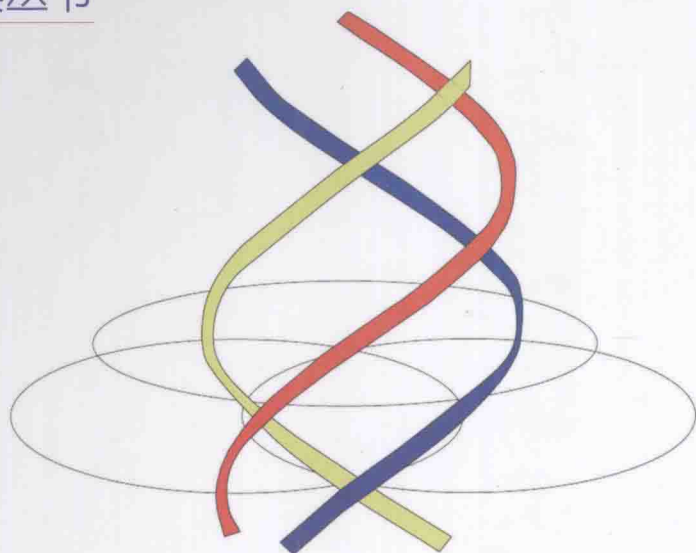


清华创新经典丛书



Triple Helix

Innovation Model

Henry Etzkowitz Selected Papers

三螺旋 创新模式

亨利·埃茨科维兹文选

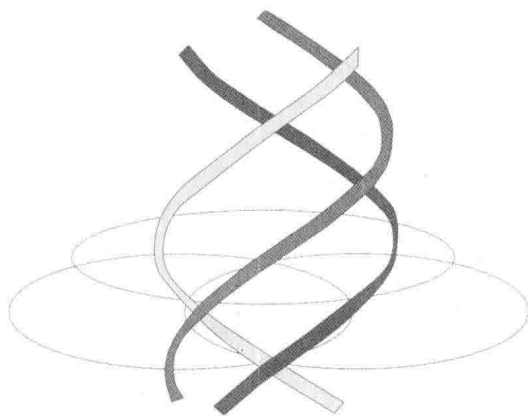
[美] 亨利·埃茨科维兹
(Henry Etzkowitz) 著

陈劲◎译

清华大学出版社



清华创新经典丛书



Triple Helix

Innovation Model

Henry Etzkowitz Selected Papers

三螺旋 创新模式

亨利·埃茨科维兹文选

〔美〕亨利·埃茨科维兹

(Henry Etzkowitz) 著

陈劲◎译

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

三螺旋是指大学—产业—政府三方在创新中密切合作、相互作用,同时每一方都保持自己的独立身份,是一种创新模式。三螺旋理论自 20 世纪 90 年代中期诞生起,已经经历了 20 余年的理论与实践探索。亨利·埃茨科维兹博士为三螺旋创新模式研究的推进做出了重要的贡献。本书选择 30 篇亨利·埃茨科维兹博士关于三螺旋创新模式的相关论文,供本领域的研究者学习参考。本书适合于对创新研究有兴趣的大学研究人员以及工作在产业和政府的高层管理人员。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

三螺旋创新模式:亨利·埃茨科维兹文选/(美)亨利·埃茨科维兹(Henry Etzkowitz)著;陈劲译.--北京:清华大学出版社,2016

(清华创新经典丛书)

ISBN 978-7-302-44932-4

I. ①三… II. ①亨… ②陈… III. ①高等学校—办学模式—研究—美国 IV. ①G649.712.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 212788 号

责任编辑:高晓蔚

封面设计:汉风唐韵

责任校对:宋玉莲

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:28.75 字 数:657 千字

版 次:2016 年 9 月第 1 版 印 次:2016 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:98.00 元

产品编号:066339-01

译者序



亨利·埃茨科维兹(Henry Etzkowitz)是当代创新研究领域的杰出学者。作为一名历史学和社会学背景的研究者,他在20世纪90年代初开始研究大学—产业—政府的关系,与荷兰阿姆斯特丹大学的劳埃德·雷德斯多夫教授(Loet Leydesdorff)等开创了三螺旋创新理论范式,旨在精确把握知识经济时代政府、产业与大学之间的新型互动关系。他认为,在以知识为基础的经济与社会发展中,大学作为知识生产机构对区域经济增长的贡献日益增大。结合麻省理工学院和斯坦福大学的案例分析,亨利·埃茨科维兹提出和发展了创业型大学的新理念,这对于理解高等教育改革与未来发展具有重要的理论价值。

埃茨科维兹教授认为,无论何种社会制度,都必须重视政府、产业与大学三者的合作关系,这些机构范畴的共同目标是给它们所处其中的社会创造价值,政府、产业和大学三方都可以成为动态创新体系中的领导者、组织者和参与者,三者在互惠互利原则下相互作用,在功能上彼此重叠、加强和补充,只不过在不同体制中三者的合作关系有紧密之分。这种超制度的分析方法为创新研究提供了一个一般工具,具有重要的思想意义。

多年来,埃茨科维兹教授的足迹几乎遍布全世界,积极宣传和推进三螺旋的理论和实践探索,包括我国的山东省。他的研究小组在山东临沂所开展的基于三螺旋创新体系设计打造创新型区域的具体实践,证明了党组织作为“区域创新组织者”的重要作用,为我国进行三螺旋理论中国化的探索打下了重要基础,对于建立创新型区域和创新型国家具有重要的实践意义。

2016年6月,习近平总书记在全国科技创新大会、两院院士大会以及中国科协第九次全国代表大会上提出了2030年建成创新型国家和2050年成为世界科技创新强国的伟大战略。要实现创新驱动发展战略,必须批判性地借鉴和吸收国际上经典的创新理论。作为创新研究的一派,三螺旋理论与方法对于合理处理政府、产业与大学之间的关系,有效发挥大学和政府原始创新、区域经济发展方面的作用,具有重要的借鉴价值和意义,值得重视。

我国学者在20世纪初就引介了三螺旋理论,先后翻译出版了两本亨利·埃茨科维兹教授的专著,清华大学技术创新研究中心与三螺旋协会于2015年8月联合主办了第13届三螺旋国际会议,但是更多的人对亨利·埃茨科维兹教授的学术思想缺乏系统而深入的把握。为此,在周春彦教授的支持下,我们选择了亨利·埃茨科维兹教授的经典学术论文(有的尚未公开发表)进行翻译并结集出版,旨在进一步向我国各级政府、高校和企业宣传三螺旋的学术思想、引导实践,更好地推动创新驱动发展战略的实施。

清华大学和河北工业大学的师生承担了本书论文的翻译工作。其中,河北工业大学

蒋石梅老师及其研究生团队成员闻娜、王自媛、吕平、王勤飞、于赛飞、王文超和刘中元参与承担了主要翻译工作,该校 2014 级工商管理专业研究生李笑春等也参与了部分翻译工作。亨利·埃茨科维兹教授的学术思想博大精深,学识局限,译文中的不当之处恳请批评指正。

陈 劲

教育部长江学者

清华大学技术创新研究中心主任

第 13 届三螺旋国际会议主席

目 录



太阳能与核能：自主技术还是依赖技术	1
学院中的创业科学：一个范式转变的案例	19
从知识中获利：组织创新和学术规范的演化	34
源于科学的企业：基于科学的区域经济发展起源	58
技术中心与产业政策：美国国家干预情形的出现	82
知识产权：麻省理工学院及关于学术专利政策的讨论	93
产业政策缓慢的发展：在协助小型创新公司发展的政府举措中美国大学的作用	121
三螺旋——大学—产业—政府关系：基于经济发展的知识型实验室	140
“学术—产业—政府”的三螺旋关系：超越“资本主义对社会主义”的发展模式	146
美国学术科学的利益冲突和承诺	151
从零和博弈到增值策略：美国各州知识产业政策的兴起	165
创业科学的规范：新的大学产业联系的认知效果	177
永无止境的转变：大学—产业—政府的“三螺旋”关系	189
失败和成功：拉丁美洲和东南亚的产业政策命运	195
公共企业家：美国科学、技术和产业政策的发展轨迹	210
创新动力学：从国家体系和“模式 2”到大学—产业—政府的三螺旋关系	223
创新网络：科学、技术和发展的三螺旋时代	239
孵化器的孵化：创新作为大学产业政府网络的三螺旋	251
在创新中创新：大学—产业—政府关系的三螺旋	269
风险资本的复兴：针对反周期模型	295
创新区域：面向以知识为基础的区域发展理论	309
有关巴西“元创新”的探索：孵化器的演化和三螺旋的出现	324
新兴的有形的手：科学的辅助线性模型及创新政策	341

高科技发展和革新中的统一性与多样性：向波士顿与硅谷学习	357
或许他们可以做到？大学技术转移办公室能成为区域成长动力的研究	372
当代经济危机下反凯恩斯主义视角的创新：重新审视“挑选赢家”	385
结束第二次大萧条的创新战略	399
三螺旋集群：基于学术—产业—政府的边界渗透的区域创新策略	413
超越经济资本概念并处于发展中的风险投资体系	426
误将黎明当黄昏：对数量分析的热衷及对技术转移分析中数字命理学的崇拜	438

太阳能与核能： 自主技术还是依赖技术^①

【摘要】 美国决定发展核能工业的部分原因是为它继续发展核武器计划提供正当理由。这项决定所带来的后果之一是使太阳能技术受到抑制。本文对影响美国应用太阳能技术的技术因素、经济因素与政治因素进行了审视。根据有关自主技术与依赖技术方面相互对立的理论,本文对太阳能技术与核能技术的发展历程进行了探究。本文也将概述作为核电站备选方案的太阳能光伏发电技术的发展战略。

第二次世界大战以后,被视为一门“伟大的科学”的核能迅速在美国获得了有组织的开发。政府研究实验室、大学工程系与大型工业企业部门都致力于开发核能。与此同时,太阳能仍旧是“渺小的科学”。在政府与大型企业研究实验室偶尔参与的情况下,太阳能研究被限定在小型公司与大学内研究人员身上。

大规模核研究的最初动力来源于第二次世界大战期间制造原子弹的一项应急计划。许多参与曼哈顿计划的科学家希望他们的战时研究能够为和平做出贡献,希望广岛长崎原子弹爆炸这一恶行给科学所带来的玷污能够因此而被抹去或抵消。“广岛爆炸……使更多的科学家意识到了他们的研究成果对社会所造成的影响。”(Merton, 1957)战后,一些科学家公布了原子弹试验所产生的放射性尘埃对人体与环境的影响,并且呼吁签订禁止核试验协定(Commoner, 1971)。然而,其他科学家则以国家安全为由,坚持发展军事并主张继续进行核武器试验。无论是哪种情况,科学家们都形成了一种新的社会责任意识。他们变得政治化,并参与有关应该如何应用科学的政治辩论。由于每一个科学家所持有的观点不同,所以科学界内并没有一个统一的、中立的观点。相反,科学界中有几种声音,每一方都就核能及其他科学问题提出了各自的事实、理论和社会价值观。

第二次世界大战结束后的那几年,虽然科学家、新闻记者与社会学家(Duncan, 1978)均推测出核能蕴藏着巨大潜能,但却很少有人采取切实可行的措施去挖掘那些潜能,也没有公众压力要求采取措施。当时的美国人对核能知之甚少。1951年,公众舆论数据表

^① 英文原文见: Henry Etzkowitz. Solar versus nuclear energy: autonomous or dependent technology? [J]. Social Problems, 1984, 31(4).

明,核能是一个新兴的且没有明确界定的主题(Douvan 和 Withey,1953)。公众认知以人们的风险感受为特征。人们依据他们的恐惧感来判断核问题,“随着危机感的加深,人们越来越无法接受发展核能”(Fisher,1951)。在随后的几十年内,这种趋势一直持续下去(Farhar 等,1979)。

然而,第二次世界大战后美国的能源政策强调核能是化石能源的主要替代能源。在公众与国会的压力下,政府对该项政策在行政改组、核能主管机构的重新命名与安全监管的强化等方面进行了少量的修改。虽然技术、安全与经济问题尚未得到解决,但核能仍旧是美国政府能源政策的优先选择(Fenn,1981)。

在1979年宾夕法尼亚州三里岛核事故后,核电站所带来的问题全面爆发。这场“企业诱发灾难”(Etzkowitz)使关于核技术安全性的怀疑不断增多。民意调查显示,在1973年和1979年的石油危机期间(Stobaugh 和 Yergin,1979),公众对将太阳能作为核能与化石能源的替代能源的兴趣大增。例如,1977年,联合碳化物公司的一项调查显示,38%的美国人认为太阳能是美国改变能源现状最需要依赖的两种能源之一(Atlas,1978)^①。

其实,美国国家研究委员会在石油危机之前就指出,因为太阳能发电不会造成环境污染、热污染、空气污染及核污染,所以它将成为独一无二的能源形式(Ad Hoc Panel, 1972)。在美国能源政策的制定过程中,这项研究以及其他与之类似的研究几乎被忽略了。在原子能委员会1972年的一篇关于太阳能光伏电池的研究报告中,有人建议对经济有效的太阳能电池进行分阶段研究与开发,将太阳能转化为电能^②。根据研究优先程度与投入水平的不同,研究的等级也有所不同。如果参照此项研究报告的指南开展研究,即使是一个中等的项目,预计“到1990年也能生产出具有经济竞争力的电能”(Commoner, 1976)。但这项研究报告却被原子能委员会禁止发表^③。

大多数美国政府的研究、石油公司的声明以及电力公司的广告都认为太阳能技术将在21世纪的某个不确定的时间变得成熟。而在太阳能能够为人们所利用之前,核能被认为是跨越缺口的必需品。这是一项正确的评估还是自我实现的预言? 本文将根据技术的自主与引进发展方面相互对立的理论来探究核能与太阳能之间的发展关系。本文将说明:第一,发展核电站的政府决策是如何阻碍太阳能的利用的;第二,不同能源技术的补贴情况,包括石油、煤、天然气、核能与太阳能;第三,一项相对温和的联邦发展计划如何能够开发出经济可行的太阳能(与核能支出相比)。

① 29%的受访者支持煤;21%的支持节约型能源;20%的支持石油和天然气;20%的支持合成能源;16%的支持核能源(Atlas,1978)。

② 当受阳光照射的影响时,电子会被迫运动。电能是一个源源不断流入的电子流。若将太阳能转换为电能,需要一种材料,它的原子是“松散的”,并可以很容易地进行运动的外层电子包裹。如“半导体”等硅材料,它们具有单向导电能力。通过太阳的能量,硅可以产生电子流,从而创建一个光伏电池。尽管太阳能电池里的硅是高纯度的,但它依旧是从砂中提取的。有关太阳能电池的技术方面的信息可从GREEN中查阅(1982)。

③ Commoner(1976)回忆道:“当‘国家未来能源’报告颁布时,我对太阳能研究预算经费的缩减和所期望的成果感到十分惊讶、困扰。因此,我试图获得一份太阳能子面板的复印版(IX),我知道,这是由该领域内一系列杰出的专家以及同样杰出的56顾问协助完成的。当我第一次询问时,对方说没有所谓的子面板的报告。”Commoner接着讲述他是如何在前参议员詹姆斯的协助下,最终获得了原子能委员会的报告(SD)。参见《纽约时报》(1974年)。

1 太阳能应用遭到抑制

一种技术的“失意”是指为了保护建立在已有技术基础上的经济利益，而人为地使其无法得到应用(Stern,1937)。除非技术的垄断者决定引入新的技术创新或者外行人能够克服障碍打入这一行业，否则，新的技术创新只能被束之高阁(Bright 和 MacLaurin, 1943)。已经开发的技术没有得到应用的主要原因是经济成本过高。但是对其他既具有技术可行性又具有经济可行性的实用性技术而言，往往是政治原因使其不能得到开发。本文称这类技术“遭到抑制”。当政府出于政治原因决定开发一项技术时，成效往往是非常显著的，如美国政府的阿波罗载人登月计划。当政府决定支持某项技术的发展时，这项决策对替代技术的开发所带来的阻碍往往不是以非常直接的方式体现出来的。

1.1 原子能为和平服务与“冷战”

20 世纪 50 年代，美国与苏联之间的“冷战”推动美国政府发展民用与军用核能工业(Etzkowitz,1979)。50 年代期间，核武器在两个方面成为一个政治问题。面对苏联的氢弹试验，保守党担心美国丧失军事霸权，自由党担心核试验所产生的放射性尘埃的危害与爆发核战争的危险。1953 年艾森豪威尔将军就任美国总统后，他的顾问向他提议发表重要讲话以消除人们对于发展核武器的顾虑。军队参谋长联席会议建议总统强调美国核武器储备的重要性，而在一项被他们称作坦白计划的行动中，科学顾问却向总统建议将核战争的准确影响向公众公开。

但艾森豪威尔(Eisenhower)担心听从科学家们的建议可能会导致公众的极度恐慌。“他认为必须找到一种方式使人们认识到：原子能可以拯救人类而不是摧毁人类”(Donovan,1956)。原子能顾问 Lewis Strauss 提出“核能工业”的概念来达到这一目标。Lewis Strauss 的建议被采纳并成为美国政府政策的基础。为使美国继续发展原子能武器合法化，美国政府建立了民用核能工业。1953 年 12 月 8 日，艾森豪威尔在联合国发表题为“原子能为和平服务”的演说(New York Times,1953)标志着美国政府大规模出资兴建核电站的开始(Camilleri,1977)。这是自 1945 年广岛长崎原子弹爆炸后，向和平时期开发利用核能跨出的颇具意义的第一步(Gilpin,1962)。政府总是急于兴建核电站，对经济与技术的考量常常被放到次要的位置。政府希望在战时民用核电站能立刻投入军事应用中，所以民用核电站与军用的式样是相同的(Bupp and Derian,1978)。

与此同时，美国主动提出与其他国家分享其和平时期的核能工业技术，但是这种技术实际上是不存在的。20 世纪 50 年代早期，在“原子能为和平服务”的演说发表之前，第三世界国家已经开始研究太阳能的发展潜力。印度邀请美国与其他发达国家的太阳能研究人员帮助他们建立太阳能研究机构(Behrman,1976)。然而，如同博物馆展品的摆设一样，这些研究机构所研发的太阳灶及其他太阳能设备的制造费用超出了第三世界贫民的承受能力，未能实现研发的经济可行性(Mehta,1977)。在“原子能为和平服务”的演说推动下，印度将研发转向核能。印度将大量资源投入核技术研发，核研发在第三世界国家的发展势头强劲。此外，虽然民用核能计划在经济上被证明是不可行的，但它为核能的军事

应用提供了技术知识与工业基础。发展中国家被唤起的对于核能的期待,间接阻碍了太阳能的独立发展(Nieburg,1964)。

1.2 佩里报告(Paley Report)与太阳能的开发前景

在艾森豪威尔(Eisenhower)发表演说之前,美国政府还没有承诺要开发化石燃料能源的替代能源。现在,美国政府不得不为民用核能工业提供资金。1952年,总统的材料政策委员会推断称:“由于各种各样的技术原因,核燃料永远都不太可能满足1/5以上的能源需求。”(Paley,1952)意识到化石能源的储备是有限的,委员会呼吁开发替代能源,并认为这项任务可以在25年内完成。

随着美国与全世界人口的增长,能源的需求量会越来越大,为避免能源价格的急剧增长,需要在1975年之前,开发出低成本的替代能源以满足能源需求。

委员会称:“我们必须将目光转向太阳能,”但也提道:“到目前为止,太阳能能够得到经济利用的可能性非常小。”(1952)该委员会报告的第十五章“利用太阳能的可能性”讨论了各种各样利用太阳能的方法,包括太阳能光伏电池发电,但经确认只有5位美国科学家参与了后续的太阳能研究。委员会建议:“积极研究利用太阳能,通过该项研究,美国能够为增进世界福祉做出巨大的贡献。”(1952)当然,直到1975年,太阳能技术并没有成为一门具有重大影响的技术。

虽然丹尼尔(Daniels)对美国在20世纪50年代的太阳能研究进行了乐观的描绘,但当时的太阳能研究仅局限于孤立的个人与小型研究团体。他们由卡伯特(Cabot)、古根汉姆(Guggenheim)、洛克菲勒(Rockefeller)基金会资助,每隔几年开一次会,后来成立了国际太阳能协会,并创办了《太阳能》杂志,但在50年代中期,他们仅仅以无形学院的方式活动(Crane,1972)。太阳能研究的先驱者,例如玛利亚·泰柯斯(Maria Telkes)、乔治·洛夫(George Lof)和法林顿·丹尼尔(Farrington Daniels)主要从事供暖与制冷设备方面的研究。在马萨诸塞州坎布里奇市的麻省理工学院等高校内建立了供研究与试验的太阳房。这些原型花费巨大,因而研究人员期望能够通过大量生产与“自己动手”安装的方式,使太阳房的价格经济合理。然而,随着美国政府对核能支持与资助力度的加大,太阳能研究停滞不前。到1965年,“太阳能彻底‘死’了”(Glaser和Behrman,1976)。

太阳能没有成为具有重大影响的能源,既有技术上不成熟、经济上不可行的原因,也有政治上的原因。

技术原因:太阳辐射不够集中,不能作为一种有效的能量来源。太阳能是一种分散、温度低的热能,但在实际使用中必须将其转化为集中、温度更高的热能形式。

经济原因:技术难题解决后,又出现了经济难题。用于大规模发电的太阳能电池成本高昂。

政治原因:如果存在足够大的市场,太阳能与其他形式的能源相比,大规模的生产会使太阳能更具有竞争力。但能够使成本降低的大规模市场往往不是自发形成的。

除非存在确定的市场,否则行业不可能自愿投资建立昂贵的并且可以进行大规模生产的设施,并且制定发展规划。直到太阳能设备的成本降低,政府通过为该设备的生产方与购买方提供补贴的方式打破恶性循环的时候,上文中描述的市场才有可能实现

(George Lustig, quoted in Behrman, 1976: 21)。

这项技术已被一位知识渊博的观察者确认,所以这种干预无法实施。

2 技术可行性和经济可行性

在分析技术发展的过程中,区分技术可行性和经济可行性是十分重要的。如果某一设备是为了某一特定的目的而设计的,那么它在技术上是可行的(Bryant, 1973)。对于特定的用途,如果它能以最低的成本成为替代物时,那么它在经济上是可行的。然而,只有将维护环境整体性所耗费的成本等外部因素纳入考虑后,才能决定其真正的经济可行性(Kapp, 1950)。有时,经济上不可行就意味着技术上不可行。例如,尽管美国物理学会意识到光伏发电的长期潜力,但是其 1979 年的研究结论几乎只关注了阻碍经济可行性生产的技术障碍(Ehrenreich, 1979)。由此可推断出,无论是在技术上还是在经济上,太阳能电池都是不可行的。如果设备在经济上是不可行性的,那么它在技术上必然也是不可行的,但是这一结论有可能作为一个自我实现的前提,为未来的研究和发展提供在经济上变得可行的支持(Heims, 1980)。

如果太阳能技术在技术方面确实是不可行的,那么就没有理由怀疑它一直因为政治原因受到压迫。然而,一个技术上可行的太阳能技术一直未得到充分利用,这表明是非技术因素在制约其发展速度。反过来,这也表明了将技术发展的新古典经济观点作为一个独立发展的范畴是错误的。

本文从光伏太阳能和晶体管这两个半导体技术的发展历史中证明这一点。1948 年的晶体管和 1954 年的太阳能电池都是在贝尔实验室发明的(Chalmers, 1976)。科学家已经从 1839 年贝克勒尔光伏效应中意识到某些材料暴露在光线中会发出电流。早期的光伏设备能够生产很少的电量。虽然贝尔实验室内构成的装置能够产生了一个显著的电量,但是效率仍然处于较低水平。然而,1954 年的电池仍然代表着一种早期设备的进步,它们通常被认为是太阳能电池发明的标志。

2.1 晶体管

20 世纪 50 年代初,由于美国陆军急需战场通信设备,因此国防部资助建立了生产晶体管的厂房,从而推动了晶体管的发展。

1951 年秋季,在结型晶体管消息公布后不久,军事研究与发展局意识到:晶体管太重要了,所以不能等到在军事上验证其实用性后,再进行生产。因此在军事原子项目后期的模拟演示中,应提前提出申请,并与厂房的建设同时进行(Bello, 1953)。

军事和民用方面对晶体管需求的增大,使其取代了真空管。其他的电子功能也鼓励现有的电子公司(以及一些在新兴的半导体工业中相对新的公司)寻求简单的方法来制造晶体管(Silk, 1960)。随着晶体管生产数量的增加,价格在下降;随着对晶体管需求的上升,生产技术也在改进(Utterbeck 和 Murray, 1977)。

2.2 太阳能电池

因为在大规模需求晶体管时,对太阳能电池却没有需求,所以在 20 世纪 50 年代,太

太阳能电池技术的发展停滞不前。在 50 年代中期,贝尔工程师尝试使用太阳能电池为电线杆上的中继放大器充电,但发现太阳能电池不如传统的电力来源经济。太阳能电池在美国太空计划中首次获得了广泛的使用。在 1958 年,新泽西州蒙茅斯堡陆军通信兵单元,在先锋科学卫星上放置太阳能电池,使其作为一个实验性的电源。他们忽视了提供一个“关闭”开关,没有“关闭”开关的电池会干扰卫星的其他功能。虽然出现了这种意外的小插曲,但是人们却证实了太阳能电池可以作为太空计划中的电池使用。

宇宙飞船对可靠的动力源泉的需求使国家航空和宇宙航行局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)设立基金用以研发太阳能电池。尽管在发展核电站空间使用上花费了很多钱,但太阳能电池仍被认为是优越的,并成为太空计划的基本能源技术。从 1966 年到 1973 年,美国宇航局在开发太阳能空间使用方面花费了约 4100 万美元,在核能上花费超过 1.2 亿美元。“因为原子能委员会开发小型核系统的成本和 NASA 的份额匹配,但不包括在这笔钱里,所以后面的数字只反映出了部分花费情况”(Clark, 1975)。在空间中使用的第一个太阳能电池的发电量只能以瓦计量。直到 20 世纪 70 年代早期,在美国宇航局的援助下开发的太阳能电池的发电量可以以千瓦计量。到 1973 年,太阳能电池已经可以为 600 多颗美国卫星和太空飞行器提供动力。通过太空计划,作为一个可靠的发电机的太阳能电池的技术可行性得以公开验证。

NASA 对太阳能电池研究的兴趣主要集中在可靠性方面,其次是效率方面(Brandhorst, 1976)。在那个阶段,人们很少关心太空计划中的成本问题。太空计划中所需要的电池的数量不足以为制造商提供使其积极寻求经济的动力。在 20 世纪 60 年代中期,当 NASA 对太阳能电池的需求增加时,有五家公司生产太阳能电池。不久之后,由于市场产能过剩,就只剩下两个生产商:位于加州南部的美国达信公司(Textron Inc.)的 Heliotek-Spectrolab 部门和全球联合公司(Globe-Union Inc.)的中心实验室(Centralab)部门。70 年代初的大部分的美国光伏发电研究和开发工作由这些公司进行,还有其他一些公司的研究小组,例如摩托罗拉、RCA 和在帕萨迪纳市的美国宇航局喷气推进实验室,还有在波士顿大学和哈佛大学由美国国家科学基金会(NSF)资助的几个研究项目。国防部的支持推动了晶体管技术的飞速发展,而 NASA 和 NSF 对太阳能电池提供的适当支持,却仅仅推动了太阳能电池技术的适度发展。

然而,这些发展都足以证明作为能源技术的太阳能电池所具有的巨大潜力。早在 20 世纪 50 年代,科学家就提出了“开发太阳能电池并将其作为经济型能源的来源服务于公共事业”的观点(Wolf, 1972)。1972 年,国家研究委员会的特设小组在太阳能电池效率上得出以下结论。

在过去的十年内,太阳能电池的转换效率提升缓慢,达到当前 11% 的水平。令人感兴趣的是,所有的提升都不是发生在过去的五年时间内。专家组认为,这种现象说明,是由于研究经费的不足,导致太阳能电池转换效率没有提升,而不是太阳能电池的转换效率达到了极限(Ad Hoc Panel, 1972)。

在 20 世纪 70 年代早期,太阳能电池的技术可行性和经济可行性之间的差距还是很大的。在太空中,太阳能电池的发电成本远高于水电、化石、地球上的核电站。虽然,有人认为,在 80 年代中期,光伏发电就会成为一个主要的能源产业(Day, 1980),但是大多数

观察家还是认为,使太阳能发电在地面的使用达到经济上可行的必要的技术创新将需要几十年的时间来完成(Smits,1976)。

3 学习曲线

在技术的发展中,时间不是一个固定的因素。阿尔奇安(Alchian)(1963)的学习曲线是一种预测未来生产成本的方法,该方法已经广泛应用于半导体行业。一些公司通过使用学习曲线设置低于初始成本的价格,从而增加需求,诱导“学习”。由于生产流程的改善和在生产流程中增加技能娴熟的工人,会使生产成本下降,学习曲线可以衡量生产成本的减少。在学习的实证研究中,累计产品已被用于测量含有经验的生产流程。生产成本下降一个恒百分比,累积产量就会翻一番。例如,95%的学习曲线表明,输出增加一倍,价格下降5%。60%的学习曲线会使价格降低40%。因此,学习因子越小,成本下降越快。

包括机床、船舶、航天汽车和电子乐器在内的制成品的异质群体的学习曲线波动范围是从54.8%~95%(Pacific Northwest Laboratory,1979)。

一般来说,技术越先进,行业越具有竞争性,就越需要劳动力,成本的下降伴随着累积产量的增加。当然这些条件描述了当前的光电行业的特点(Pacific Northwest Laboratory,1979)。

据估计,光电产业的学习曲线的变动范围为75%~85%(Dorf,1981; Pacific Northwest Laboratory,1979)。因为只有应用成功的技术,才能使用学习曲线降低成本,所以使用学习曲线来预测经济可行性已经受到批评。例如,核电站没有使用学习曲线;的确,成本随着产量的增加而上升。因此,尽管学习曲线无法预测未来某种技术的经济可行性,但它们可以提供一种使用某一具体技术的发展近况来估计未来趋势的方法^①。

图1显示了光电产业学习曲线从20世纪50年代的90%到70年代中期的37%的变化情况。不像核能,由于光伏发电已向世人展示了成本降低的历程,所以用该历程来计划未来的学习曲线是合理的。在82%的学习曲线基础上,政府采购订单需要52.5亿美元才能促使太阳能电池以2.50美元/峰瓦的价格进行大规模生产^②。太阳能发电若以这个

① 1983年,太阳能电池仍然是第一代的生产技术。新一代技术的产生会启动一个新的学习曲线。成本随着产出的增加迅速下降。我绘制的学习曲线只适用于所谓的Czochralski生产过程中,硅晶体生长,然后切成薄的圆片。业界预计细胞材料的第二代生产过程将在一个连续的单板带中结束,并且光伏材料的第三代生产过程将自动作为一种基础过程出现(Maycock Stirewalt,1981)。

② 在1982年,太阳能电池的平均价格是10美元/峰瓦(U.S. Congress: House,1982)。在1982年,太阳能电池的累计输出大约是12.2兆瓦。这个数字是基于以下数据进行估计的:到1975年,低于1兆瓦(Costello et al.,1979:79);从1975年到1978年,1.6兆瓦(Booz, Allen and Hamilton, Inc.,1978);从1979年到1981年,9.6兆瓦(Byron Jackson, Solar Energy Research Institutes, Golden, CO, May 1982; personal communication.)。在学习曲线方程中,进步指数是指价格的百分比跌幅时常会伴随着累积产量的翻倍。根据太阳能电池成本下降规律,我们假设0.82的价值代表18%的太阳能电池价格下降,同时生产的电池数量翻倍。因此,如果P=价格和Q=累计生产数量,进步指数代表价格的百分比跌幅,产量翻一番可能伴随使用下列方程: $P=c \times Q^{-b}$ 。当 $P_1=0.82$, $b=0.2863042$ 。整理限制累积输出的上述方程(即所需的累计产量达到12.2和154006,花费2.50美元/峰瓦的成本)。收益率约为52.5亿美元,代表政府支出,这使太阳能发电与其他能源产生竞争。

价格与洛杉矶电力生产的其他来源相比,将更具有成本竞争力^①。到 1978 年,联邦政府在太阳能上花费了 9.4 亿美元,再加上 52.5 亿美元,这将使总数达到 61.9 亿美元。截至 1978 年,联邦政府直接用于补贴核工业发展的费用高达 210 亿美元,相比之下,在太阳能上的花费更有意义。

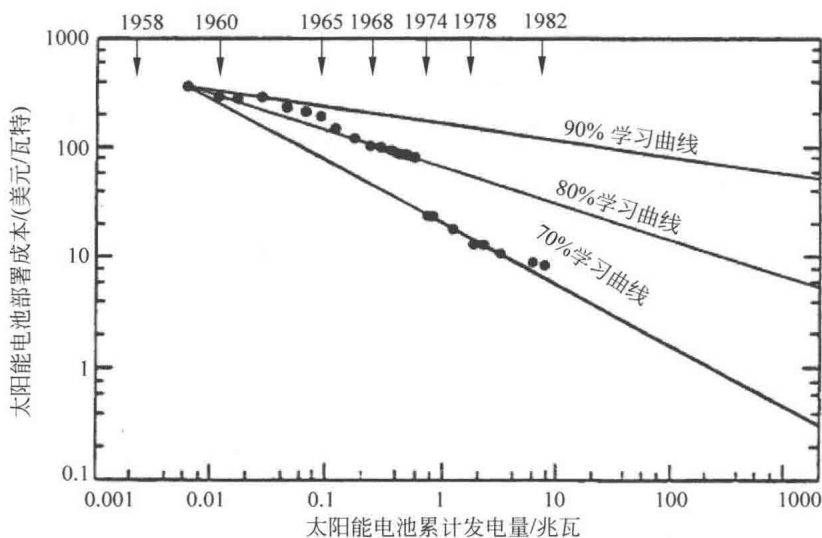


图 1 光电产业学习曲线

来源: Dort(1981)U. S. Congress; House(1982).

在 20 世纪 70 年代末期,联邦能源局仿照美国国防部的晶体管计划,提出了太阳能电池的发展战略(Marvin,1976)。据估计,如果国防部能够提供太阳能电池的大批量订单,那么与传统发电机相比,这些太阳能电池能以与之相同或稍低的成本提供远程电源。正如前文中提到的,国防部的采购订单曾使晶体管的成本下降,此时,人们同样希望国防部的采购订单能够降低太阳能电池的成本。然而,当吉米·卡特(Jimmy Carter)总统签署 1978 年的开发与示范法中的太阳能光伏能源研究部分时,简单介绍了所提出的项目,该项目是为太阳能电池研究提供资金而不是为采购提供资金(Commoner,1980)。到罗纳德·里根总统上台时,联邦光电研究经费大幅减少(Rose,1982)。总的来说,1980 年,美国能源部在可再生能源项目上提供了 7.97 亿美元的研发基金,1983 年提供了 2.62 亿美元(Lueck,1983)。

4 补 贴

图 2 显示了从 1950 年到 1978 年期间,美国联邦政府对各种能源补贴的金额。晶体管的案例显示了政府是如何通过大量订购产品来刺激技术发展的,从而创造一个市场。随着学习过程产生降价,新买家进入市场,发现以前使用的设备,在经济上是不可行的。

^① Byron Jackson, 太阳能研究所, Golden, CO, 1982 年 5 月。

是否使用一个可行的技术取决于其经济可行性。根据新古典经济学中的自主技术模型，市场中的竞争，并不受外力的影响，而是取决于替代技术的选择。必须采用成本最低的技术。但事实上，技术之间的竞争是由机构的决策决定的。因为公司的相关成本是实际成本减去补贴，所以政府对行业的补贴可以改变竞争技术的相对价格。即使在竞争激烈的市场中，补贴至少可以暂时将一个经济上不可行的技术转化为看似可行的技术。

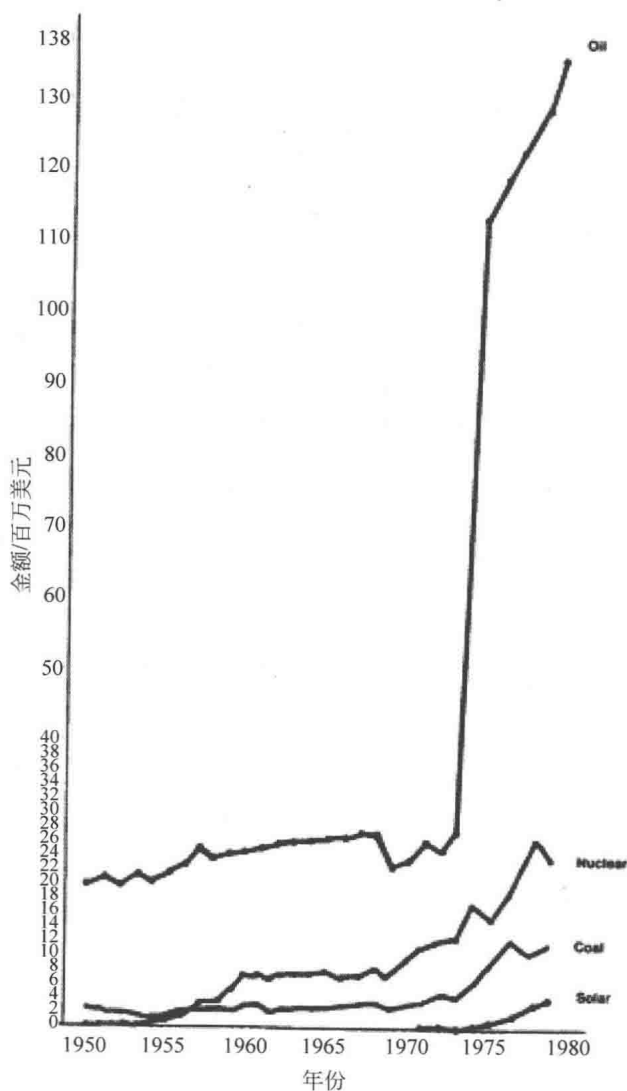


图2 美国政府对各种能源的补贴

对能源行业而言，除进口限制和关税外，还有两种政府激励的措施：①鼓励生产商增加生产，如减税或免费的政府服务；②提供补贴，以降低消费者的成本。比如：允许企业将传统燃料的成本作为直接业务费用的美国企业税法，使消费者的成本降低了50%。因此，补贴生产者可以降低市场价格，补贴消费者可以减少消费者实际支付的市场价格比例。这两种类型的补贴通过价格效应间接地增加了需求和生产。

在第一次世界大战之前,美国就存在能源补贴。1913年,联邦政府给予石油行业特殊损耗的津贴,降低了石油征税利率(Cone等,1980)。实际上,这种税收优惠为石油产业提供了一种免税贷款,使得企业扣税后的收入增加。1918年,国会允许企业对无形钻井的费用进行摊销,进一步减轻了石油产业的税收负担。

石油行业的补贴是一个将联邦政府与行业的目标联系在一起的复杂的关系网络的结果。恩格勒(Engler,1961)记录了集中在少数公司的石油行业是如何通过众多协会行使权利的,其中最著名的是美国石油协会(API)。API通过公共关系计划来影响国会议员、联邦监管和行政机构(Medvin,1974)。政府机构与石油行业合作,石油行业内有很多可以提供政策建议的咨询委员会。联邦咨询委员会的第一年度报告表明:在这些委员会中,埃克森石油公司有58位代表;南加州,41位;美孚,33位;Arco,29位;德士古公司,26位;海湾,25位(U. S. Congress Senate,1973)。石油公司也能够通过人才交流来影响联邦政府(Medvin,1974)。通过机密和开放度来推动政治运动,除了国防工业外,与其他任何行业相比,石油行业一直和国会保持着相对紧密的关系(Melman,1970)。

几项研究试图量化自第一次世界大战以来石油工业的大量补贴。1980年巴特尔的研究表明,在美国,从1950年到1980年,石油是补贴最高的能源技术(Cone et al., 1980)。到1973年,石油补贴至少是其他能源技术补贴的三倍。

例如,最不受关注的能源产业——煤(U. S. Congress: Senate,1962),与石油形成了鲜明的对比。自20世纪初以来,煤炭行业一直寻求联邦政府的支持来处理生产过剩和价格下降问题。然而,因为缺乏团结,阻碍了这一行业内政府政策的生成(Johnson,1979),并且煤炭行业的相对较小的补贴反映出该行业缺乏政治影响力。

从1973年到1974年,石油补贴增加了336%,而煤炭仅上升了54%,天然气上升了5%。巴特尔研究低估了核能源的补贴量,即便如此,核能仍是补贴第二高的行业^①。政府的大力支持使电子设备行业和电力公用事业参与到核电行业之中(Novick,1976)。在保证政府补贴的情况下,电力公用事业公司只愿意对核电站做初始投资(Sporn,1968)。据估计,补贴减少了核能发电的成本,约减少了2.5美分/每千瓦时。“在核电缺乏补贴的情况下,成本变动的范围可能是当前成本的1.5到2倍。”(Bowring,1980)

对于核工业的生存而言,补贴是至关重要的。20世纪50年代,在核能行业发展刚起步的时候,保险公司不愿意承担为核电站提供保险的风险,但是在没有保险的情况下,是不能进行反应堆的建设的。1957年,国会通过了安德森的价格法案(the Price Anderson Act),由联邦政府和私人保险共同成立了一个5.6亿美元的保险金,用来支付核事故的损害赔偿。该法案中的“免受损害协定”规定任何人或公司对核事故负责,从而消除了原在设计、施工和操作方面都要确保安全的市场激励机制。自从国会在1967年和1975年两次更新法律以后,免除行业所需承担的责任这一措施,实际上是对核工业的永久性支持

^① Joseph Bowring 估计核工业的直接和间接补贴是非常大的,美国能源部篡改数据后使核补贴看起来不像实际补贴数额(Wall Street Journal,1981)。修改后的报告删除间接补贴,理由是他们“不可估计”,并且会削减研发经费。我用的数据来自巴特尔太平洋西北实验室的官方版本。我很感激为我提供原始手稿草案复印的华盛顿核信息服务机构。