

“碳锁定”与低碳技术制度的路径演化

李宏伟

(四川大学 工商管理学院,四川 成都 610064)

摘要: 在全球变暖、环境恶化的背景下,低碳技术的应用和扩散却相对缓慢,其原因在于“碳锁定”效应。“碳锁定”概念虽然抓住了碳基技术制度演化的路径依赖特征,却过分强调依靠外生力量打破“锁定”。初步构建了一个描述性的技术制度路径演化模型,指出“锁定”只是路径演化过程中暂时的均衡状态,还会出现路径的消解、突破和偏离。其中,路径偏离是技术制度的内生变化,是打破“锁定”的主要力量。

关键词: 碳锁定;低碳技术制度;路径依赖;路径演化;路径偏离

DOI:10.6049/kjbydc.2011080307

中图分类号:F062.2

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2012)13-0101-06

0 引言

低碳技术的创新和应用是减缓全球变暖和实现低碳经济的关键环节,因为其能够改变经济过程的能源和物质基础,转变经济社会生活的能源结构,提高能源利用效率,进而实现碳的低排放甚至零排放目标。因此,各国都在致力于低碳技术的研发。大量事实和研究已经证明,既能降低经济活动的碳排放量,成本又低廉的技术是存在的^[1-2]。然而,低碳技术的应用与扩散却相对缓慢^[3]。由此产生了一个悖论:一方面,温室气体排放不断加大,全球气候逐渐暖化;另一方面,低碳技术却无法得到有效利用和快速扩散。如果真的存在有效且廉价的低碳技术,为何这些技术的扩散却如此缓慢?

对此悖论的传统解释有自上而下的技术政策研究和自下而上的经济行为分析两种进路。技术政策研究的基本观点是技术扩散成本是阻碍低碳技术应用的关键原因。该研究进路一般基于新古典经济学假设,认为在静态的瓦尔拉斯均衡条件下,任何碳排放的减少

都只能通过减少生产来实现,碳减排和生产效率不能兼容。因此,如果考虑广义的经济成本,这些低碳技术并不廉价。自下而上的决策行为分析则从有限理性、信息不对称、道德风险以及委托—代理问题等微观角度,分析企业和消费者在作出低碳技术选择时面临的困境^[4-5]。

这两种研究路径的共同缺陷在于对能源替代和低碳技术变迁的过程进行了简单化处理,即把技术当成单一的人工制品本身,并从静态的角度对待技术变迁,这和低碳技术的系统特性和非线性扩散过程不相符。一方面,很多与环境相关的技术都是包含诸多要素和子系统的大型复杂系统,如能源技术系统和交通运输系统,而且这些技术系统还嵌入到更广泛的社会—技术系统中,受认知和制度因素的影响;另一方面,正因为低碳技术的系统性和嵌入性,使其发展过程呈现非线性和演化的路径依赖特征。因此,只有从系统的、演化的,而不是独立的、静态的角度来分析,才能解释低碳技术应用和扩散过程中面临的困难。基于此,一些学者开始从演化和路径依赖角度研究低碳技术的创新

- [9] HOWELLS J. Innovation and regional economic development: a matter of perspective[J]. *Research Policy*, 34: 1 220-1 234.
- [10] FROMHOLD-EISEBITH M, EISEBITH G. How to institutionalize innovative clusters? comparing explicit top-down and implicit bottom-up approaches[J]. *Research Policy*, 2005, 34(8): 1 250-1 268.
- [11] GEENHUIZEN M, NIJKAMP P. Learning regions in an evolutionary context: policymaking for high technology

firms[J]. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 2006, 6(3): 265-282.

- [12] GIULIANI E, BELL M. The micro-determinants of meso-level learning and innovation: evidence from a Chilean wine cluster[J]. *Research Policy*, 2005, 34: 47-68.
- [13] BOSCHMA R A. Proximity and innovation: a critical assessment[J]. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.

(责任编辑:郑兴华)

收稿日期:2011-10-11

作者简介:李宏伟(1982—),男,四川雅安人,四川大学工商管理学院博士研究生,研究方向为技术经济及管理。

与应用^[6-8]。西班牙学者 Unruh^[9-11] 提出“碳锁定”(Carbon lock-in)的概念,并认为它阻碍了低碳技术的扩散。“碳锁定”的提出,弥补了新古典经济学简单化处理低碳技术变迁动力的缺陷,然而由于路径依赖本身的理论缺陷,也使“碳锁定”的解释力度受到限制,因而有必要对路径依赖理论进行批判性的反思,并利用更具演化特性的思路对其进行修正,更加关注低碳技术制度的路径创造问题。只有这样,才能更好地理解和解决“碳锁定”。鉴于此,本文在阐述和评介“碳锁定”理论的基础上,初步构造了一个描述性的路径演化模型,藉以分析“碳锁定”和低碳技术制度的路径创造问题。

1 碳锁定

1.1 “碳锁定”的理论基础:路径依赖与锁定

实际上“碳锁定”的概念是技术和制度变迁经济学中的路径依赖和锁定概念在解释低碳技术制度变迁中的具体应用和拓展。1975年,美国学者 Paul David^[12] 首次将生物学和物理学中的路径依赖思想应用到经济学研究中,并通过 QWERTY 键盘案例,阐释了路径依赖的基本原理^[13]。他研究发现,次优的 QWERTY 键盘在面临其它更优设计竞争的情况下,由于“意外的历史事件”获得了初始优势,并通过技术关联性、规模经济性和投资的准不可逆性所产生的正反馈,成为打字机键盘的主导设计,从而使打字机键盘“锁定”到次优的 QWERTY 设计中。之后, Brian Arthur^[14] 建立的随机动态模型,则论证了当两种或两种以上的报酬递增技术为了获得潜在的市场而展开竞争时,微小的偶然事件可能会使某种技术在使用过程中获得初始优势,随后,一系列报酬递增机制(大量的建立成本或固定成本、学习效应、协调效应和适应性预期)会使这种技术相比其它竞争技术得到更大改进,从而吸引更多的使用者,这反过来又使该技术得到进一步改进和使用,并最终导致市场“锁定”该技术。

另外,制度变迁也会出现路径依赖和锁定。North^[15] 认为,在社会相互依赖的复杂环境中,在制度变迁中也存在技术变迁中的报酬递增机制,既存制度也会因报酬递增而强化自身的稳定性。不仅单个制度会受制于报酬递增机制,制度之间的网络外部性还会使“一张相互依赖的制度矩阵网”产生更大的报酬递增,进而使整个经济锁定在可能是次优效率的制度路径中。

不仅如此,具有路径依赖和锁定特征的技术和制度,因其相互关联和共同演化还会强化锁定效应。因为现代技术系统深深地嵌入到制度结构中,导致正反馈的各种因素会产生制度锁定与技术锁定的相互作用,并能强化技术锁定,进而形成复杂技术系统的锁定,如“碳锁定”。

1.2 “碳锁定”的形成机制

Unruh 认为,当前的工业经济锁定在以化石燃料为基础的碳密集能源系统中,并产生了持续的市场失灵和政策失灵,进而阻碍了低碳技术的扩散。“碳锁定”产生的原因在于大型的复杂技术系统及其嵌入的社会环境共同构成的“技术—制度综合体”(Techno-Institutional Complex,简称 TIC)在规模报酬递增机制的驱动下,产生了技术系统和治理制度的共同演化,进而导致了 TIC 的路径依赖和锁定。

(1) TIC 是由相互关联的要素所组成的网络或基础结构,大致可以分成技术、企业和制度 3 个层次。这 3 个层次都可能因为正反馈而产生锁定,并且 3 个层次锁定产生的正反馈循环最终会形成 TIC 锁定。例如,以汽车为基础的交通系统和大型的中央电力生产系统都有以化石燃料为基础的“主导设计”。这些主导设计并非都是最优选择,但会由于路径依赖过程中的时机、战略、历史条件等因素而被锁定。当主导设计成为企业的核心竞争力时,企业就会建立与之匹配的组织结构,实现劳动和知识的专业化,并进一步使围绕主导设计而展开的管理实践惯例化。当企业专注于主导设计的持续改良时,就进入了特定的技术轨道。这不仅表现在沿着技术轨道对主导设计的改进会限定企业的知识基础,而且还会约束成功企业的投资决策。这意味着,对大型技术系统的进一步投资会强化锁定条件。如此,技术锁定通过主导设计的增强产生了企业锁定,而企业对主导设计的进一步投入又反过来强化了技术锁定。

(2) 市场的网络外部性会进一步强化技术和企业的锁定。市场的网络外部性包括:①产业或产业间的协调效应。为了减少投资的不确定性,主导设计以产业标准或惯例的方式被确定下来。这样,主导设计在产业层面上被进一步强化,因为抛弃原来的主导设计,创造新的主导设计可能会使企业面临更大风险。因此,已经投资主导设计的企业在不了解其它企业或相关产业的偏好和反应的情况下,往往不会投资新技术;②有利于既有技术系统发展和扩散的融资机制。同样,出于规避风险的考虑,融资机构一般更愿意投资那些生产主导设计、风险较小、偿债能力较强的企业。因此,新进入的企业往往会因为融资压力而倾向于选择主导设计。

(3) 非市场的制度因素也是强化技术系统锁定的重要力量。为了满足社会和市场的需求,技术系统中的消费者和从业者通过建立非政府组织,推动建立与既存主导技术系统相匹配的社会规范和规则,媒体也会影响公众对主导设计的预期、偏好和态度。随着人们对技术系统的逐渐接受和认同,技术系统已日益成

为人们生活的一部分,从而形成相应的行为制度,并反过来强化既存技术系统的合法性和影响力。此外,政府干预能强化技术锁定。一方面,政府干预能创造新的激励机制或博弈规则,如通过建立技术标准来消除技术发展中的不确定性,从而有利于某种技术设计。另一方面,政府的政策或法制结构一旦建立起来,就很难发生改变,只能进行增量调整。

对以上 3 个层面共同演化所形成的“碳锁定”机制,本文以电力生产为例进行说明^[16]。为了满足不断增加的电力需求和降低单位用电价格,相应的激励机制和管制框架建立起来,允许和鼓励对电力生产加大投资,建造更多以中央发电机为核心技术的碳基能源电厂,而分散的、小型的可再生能源发电机技术(如风电)的使用则受到限制。随着碳基发电技术系统的扩张,报酬递增机制会进一步降低成本,增加主导的碳基发电技术系统的可靠性和可利用性。廉价的电力会刺激社会对电力的需求,进一步为主导技术的发展和运用提供新的激励。由此,在这个正反馈系统中,技术和制度相互强化,催生了快速扩张的碳基电力生产系统,形成碳基发电的 TIC(见图 1)。

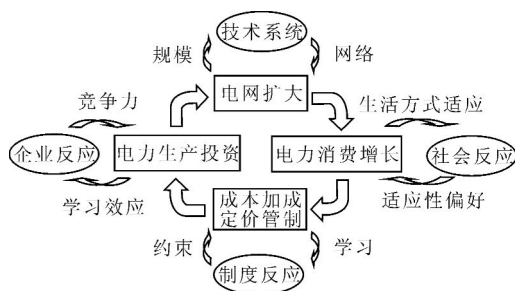


图 1 碳基电力生产“技术—制度综合体”

1.3 摆脱“碳锁定”

“碳锁定”并非不能打破。不过,由于“锁定”是因为经济活动的路径依赖过程所产生的渐进的“不变性”^[14],因此一旦进入锁定状态,就很难“解锁”,除非有外在的冲击来改变系统的原有结构。那么,能成为外生冲击的力量有哪些? Unruh 认为,由于 TIC 是大型复杂技术系统与嵌入在其中的社会系统共同构成的,因此,生活在 TIC 中或依靠其生存的利益相关者,包括技术系统的拥有者、管理者和消费者都不太可能成为外在的冲击,唯有外生于 TIC 的技术和制度才能打破锁定^[10]。

(1)如果替代性技术能够实现市场突破,供需双方的报酬递增会自发地推动市场采用新技术,当新技术的应用超过“临界容量”时,就会取代原来的旧技术而成为主导设计。新技术最有可能在碳基技术制度主导市场之外的“缝隙”(niche)中发展起来。这是因为,市场“缝隙”存在以下优势:有助于展示新技术的性能;能

够为新技术的进一步拓展融资;有助于新技术得到消费者、投资者、供应商和其他主体的支持;能产生交互的学习效应,促进互补技术的出现和包括管理、组织和企业运营在内的整个制度框架的调整^[7]。这对新技术的发展和扩散至关重要。

(2)制度特别是政府政策在引导技术系统变迁的过程中具有重要作用。但是根据前文所述,制度自身的变迁不仅十分缓慢,而且还会“锁定”到无效率的路径上。那么,应如何摆脱“碳锁定”中的制度锁定? Unruh^[10]认为,历史经验表明,大多数环境保护问题进入公共议题并与制度结构联系起来,都是通过社会运动来实现的。但是,社会运动的前提是有足够多的有影响力的社会成员意识到原有技术系统的发展已经触及极限,到了必须改变的地步。那么,社会大众何时才会意识到环境已经恶化到不得不采取行动的地步? 他认为,需要外生的“触发事件”或“焦点事件”强化社会对环境问题的认知,才能产生打破“碳锁定”的社会力量。

2 “碳锁定”理论的意义和缺陷

“碳锁定”理论把低碳技术看作的“技术—制度综合体”,认为随着 TIC 中各种相互关联要素的逐渐耦合及相互支撑,系统会越发稳定。这意味着,如果要引入一项新的替代技术,整个系统都需要重新调整,这可能会使整个系统产生张力。因而,即便新技术具有潜在的更优性能,也可能被原有技术排挤掉,无法得到展示其优势的机会。由此可见,“碳锁定”理论准确地把握了低碳技术的复杂性、系统性和演化性特点,体现并推进了低碳技术研究的演化转向。但是,由于“碳锁定”以路径依赖理论为基础,因而后者的缺陷也会使前者在理论上存在先天不足:①过分强调低碳技术变迁的刚性,认为打破“碳锁定”的力量主要来自系统的外生冲击。从路径依赖理论来看,锁定意味着系统内生变化的停止。但实际上,锁定是一种“有条件的均衡”,而非主流经济中用于描述静止状态的均衡概念。这种“有条件的均衡”产生于某些先前的路径依赖过程,并且在随后的连续的经济过程中,可能被内生经济力量所决定^[17],亦即打破锁定不一定要依靠外在力量;②基于路径依赖的“碳锁定”较好地解释了低碳技术扩散困难的原因,但是对于如何打破路径依赖,如何实现“碳解锁”,它只是简单地归于外生力量,忽视了行动者有意识行为的路径创造作用,因此没有完全解决“碳解锁”和新低碳技术的路径创造问题;③由于前面两个缺陷,“碳锁定”所刻画的低碳技术制度的演化路径是不完整的。在某些情况下,“锁定”只是路径演化过程中的过渡状态,而不是路径演化的结束。而且,演化过程必须考虑新奇性和新路径的产生,而基于路径依赖的

“碳锁定”并没有把“碳解锁”或低碳技术新路径的产生作为其研究的核心。

3 低碳技术制度的路径演化

本文认为,应该把技术制度的发展路径理解为一个以路径依赖和路径创造为基础,同时具有涌现性和建构性的永不停止的演化过程。技术制度的路径演化过程分成 3 个阶段:①路径生成阶段。根据路径的产生方式可分为路径涌现和路径创造;②路径发展与稳定阶段。技术制度中不同层次(技术、企业和制度)的报酬递增、学习效应和网络外部性等一系列正反馈机制,会使技术制度路径最终成型并趋向稳定;③路径分化阶段。当路径趋向稳定后,路径的进一步发展可能会出现“锁定”、“消解”、“偏离”和“突破”等结果,即出现路径的分化。技术制度的路径演化过程见图 2。

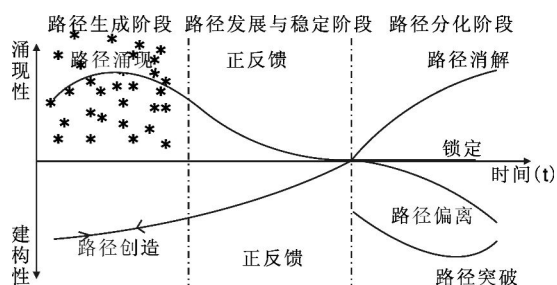


图 2 技术制度的路径演化过程

3.1 路径生成阶段

绝大多数技术制度路径的产生都是历史初始条件和行动者有意识行为共同作用的结果,它同时具有涌现性和建构性的特点。因此,技术制度路径的生成有两种“理想类型”:路径创造和路径涌现。如果技术制度路径产生于“历史偶然事件”所触发的无计划的涌现过程,就称之为路径涌现。在 David 所研究的 QWERTY 键盘案例中,以 QWERTY 为主导设计的打字机键盘发展路径的出现就接近于完全涌现过程。而路径创造则强调行动者对技术路径的塑造作用,认为技术路径的产生是由行动者有意识的策略行为所控制的过程^[18]。如一国政府开展的大型技术项目,核能技术就接近于路径创造过程。大多数技术路径的产生是涌现过程和行动者有意识行为综合作用的结果,即行动者不能或不会完全控制技术路径的产生,因为行动者可能没有足够的资源,或不愿投入过多的资源控制某条特定路径的发展。然而,他们却能够意识到技术路径的存在,并且能观察、计算不同可能路径成功的概率,进而利用资源对他们认为值得投入的路径产生影响。例如,次优的轻水反应堆成为美国核电站的主导技术就是美国政府干预的结果^[19]。而我国政府在发展核能过程中,则有意识地选择了多样性的技术而非最优性

的技术^[20]。

3.2 路径发展与稳定阶段

技术制度路径一旦形成,某种形式的正反馈机制就会在随后的路径发展中发挥关键作用,使路径逐渐趋向稳定。技术制度发展中的正反馈因素众多,如个人认知和决策层面的刚性^[21]、技术层面的报酬递增^[13-14]、组织层面的学习效应^[22]和制度层面的网络外部性^[15]等。更重要的是,这些要素和子系统各自路径的共同演化和相互作用所形成的互动结构可能产生“路径的相互依赖”^[23],并且当互动强度超过某个“阈值”后,技术制度在整个系统层面上将出现路径依赖特征^[24]。尽管技术制度路径在正反馈机制的作用下逐渐趋向稳定,但此时路径的发展仍然会表现出涌现性和建构性的特点。在这个阶段,即使没有行动者的推动,正反馈循环也会固化路径的发展。另外,意识到路径存在的行动者也会有目的地确保其主导技术的地位,进一步维持路径的稳定。换言之,一旦路径发展进入稳定阶段,技术制度过程就具有较强的路径依赖性和自我强化性,这对低碳技术制度的发展就意味着出现了“碳锁定”。

3.3 路径分化阶段

即便路径依赖使技术制度路径的发展逐渐趋于稳定,但最终结果也不一定是锁定。锁定只是路径演化可能达到的稳定均衡状态,而非必然出现的结果,除了锁定之外,还可能出现路径的消解、突破和偏离。

(1)路径锁定。当路径发展稳定下来进入均衡状态时,就出现了 David 和 Arthur 的路径依赖模型所刻画的“锁定”。产生和保持锁定状态的力量同样来自正反馈循环和行动者的有意识行为,但是这两种力量在“锁定”的不同阶段发挥作用的方向、大小和程度不同。Martin 和 Sunley 认为,“锁定”将经历“正锁定”和“负锁定”两个阶段^[25]。“正锁定”意味着报酬递增,学习效应和网络外部性会加快技术制度的发展,使与之相关行动者获得较高收益,促使行动者有意识地强化正反馈机制,此时的涌现过程和创造过程的方向是一致的。但是当进入“负锁定”阶段后,在“正锁定”阶段发挥作用的正反馈机制会使技术制度的刚性和僵化程度增加,从而损害技术的进一步创新,并导致报酬递减。此时,即便行动者发现了“负锁定”,并且有意识地采取行动力图打破“负锁定”,也会由于“积重难返”而难以实现路径突破。

(2)路径消解。它是指某条技术制度路径被其它在功能意义上具有替代性的新技术制度路径取代,从而自然消亡的过程。路径消解是一个技术制度生命周期终结的过程,可能会持续较长时间。例如,作为主要交通工具的马车被汽车代替和作为主要燃料的木材被

化石燃料代替等。因此,从自然资源利用和经济发展的历史关系来看,低碳技术制度替代碳基技术制度是必然趋势,但在全球变暖、气候恶化的压力下,这种消极破解“碳锁定”的方法显然不容乐观。

(3)路径突破。它是指依靠外生力量打破原有路径的锁定状态。在 David 和 Arthur 的路径依赖理论看来,技术制度的发展路径是由历史主导的、在多重均衡中进行选择并锁入其中一个均衡状态的过程。因此,只有外生力量才能打破原有路径的束缚。这意味着,在较长的经济历史中,技术制度的稳定性被外生因素所引起的短时间内突发的技术变迁中断,这类似于生物的“间断均衡”式进化。可见,这与 Unruh 的外生技术和制度才能打破“碳锁定”的观点相似。

(4)路径偏离。不同于路径突破把打破“碳锁定”寄希望于外部力量,路径偏离的主体是既存技术制度中的利益相关者,因为他们依附或生存在既存的技术制度中,往往倾向于抵制对既存技术制度进行根本性的变革。同时,他们又面临既存技术制度“负锁定”的威胁,因而也有进行渐进性变革的意愿和动力。因此,路径偏离是一种技术制度“从内部实现自我转变”^[26],打破路径依赖和锁定的演化方式。

具体而言,实现路径偏离的机制有 3 种:转向、层叠和交叉。转向是指既存技术制度为了实现新的目的或响应新的动力机制而发生改变。当外界环境要求发生改变时,既存技术制度为了生存不得不进行转向;或当技术制度中有新的参与者加入或技术制度被新的参与者所控制时,转向也会发生。层叠是指在技术制度已有的规则或结构之上,增加新的规则或结构,促使技术制度发生缓慢地变化^[27]。每次增加的规则或结构只会使既存技术制度发生较小的变化,但过程可以累积以至使既存技术制度最终发生实质性的变迁。例如,燃气轮机(GT)就是以这种方式成为热电生产领域的主导技术,进而改变电力生产技术发展路径的。虽然相比于以煤或石油为能源的传统蒸汽轮机(ST),GT 能够大量减少 H₂O、CO₂,以及与 SO₂ 有关的几百种污染物,但是由于 ST 的主导地位,GT 在很长时间内被大规模的电力生产部门所弃用。尽管如此,随着在航空和工业制造领域中的应用和技术的进步,GT 重新进入电力生产领域,并在电力生产分散和低负荷率地区的缝隙中获得了一席之地。20 世纪 50 年代,GT 在第一代联合循环系统中与 ST 结合,成为 ST 的辅助设备,从而进入了基荷电力生产领域。之后的 60 年代,GT 升级为第二代联合循环系统的主导设备,而 ST 却退为辅助设备。到了 20 世纪 70 年代中期,联合循环燃气轮机已经成为大规模热电生产的主导技术^[28]。第三种路径偏离机制是交叉。根据前文所述,技术制度系统中各要素或子系统发展路径的互动结构会形成“路径的

相互依赖”,但是不同发展路径的交叉也会为既存技术制度中的行动者摆脱原有路径打开“机会之窗”,因为路径交叉意味着承载不同经验、资源和知识的历史际遇,因而行动者可以通过主动改变关系网络和资源组合方式来实现路径的转变。当然,路径交叉对行动者产生怎样的影响还取决于行动者原有路径的基本特性和他们对路径交叉的理解与解读。例如,英国 ICI 化学品和聚合物有限公司在开发对臭氧层有严重危害的氯氟烃的替代技术时,受到关于氯氟烃对臭氧层危害的科学知识的发展路径、依据科学发现的管制框架变化的路径,以及整个行业对这些事件演化的反应路径的共同影响。在这种情况下,ICI 对其它路径对其产生影响的判断和在路径交叉时的决策最终决定了 ICI 开发氯氟烃替代技术的路径^[29]。

根据以上分析可见,相比路径消解,路径偏离和路径突破更偏向于建构性过程,都是行动者为了避免或改变“负锁定”,积极采取策略行动改变或突破原有技术制度的发展路径。可见,二者实际上是不同程度的“路径创造”,这意味着当路径演化进入分化阶段时,路径也开始了新一轮的演化。因此,即便技术制度路径出现了锁定状态,也只是演化过程中的暂时均衡,路径的演化将永不停止地进行下去。

4 结语

低碳技术的发展与应用是减缓全球温室气体排放和发展低碳经济的关键,但是当前碳基技术制度的路径依赖特征所形成的“碳锁定”却阻碍了低碳技术的扩散。尽管如此,“碳锁定”只是低碳技术制度路径演化的暂时均衡状态,通过路径的消解、突破和偏离,能够实现“碳解锁”。然而,强调技术制度自然生命周期终结的路径消解显然过于消极,而依靠碳基技术制度以外的力量来推动低碳技术扩散的路径突破也由于“碳锁定”的广度和深度而显得不切实际。与此相比,对于“碳锁定”程度相对较轻的发展中国家而言,通过碳基技术制度的内生变化,即路径偏离来避免或打破“碳锁定”的技术政策则更为现实。这说明,在发展低碳技术时应该注意以下几个问题:①应该将低碳技术的发展路径视为嵌入社会—制度系统的演化过程,因此必须从技术、经济、制度和文化等多方面来分析阻碍低碳技术发展的原因;②应正确处理低碳技术多样性与最优性的关系。在低碳技术未来发展前景不确定的条件下,特别是发展初期,应该保持低碳技术的多样性,避免过早作出选择,在未来进入锁定状态;③在构建相应的政策系统时,除了传统的政策措施外(如价格政策、管制政策等),还应包括前瞻性的政策工具,如战略缝隙管理、转型管理、政策学习机制和前景自愿协议等。

参考文献:

- [1] HARMELINK M, GRAUS W, BLOK K, et al. Low carbon electricity systems; methodology & results for the EU [R]. The Netherlands Utrecht, 2003.
- [2] ANDERSON D, GRUBB M, KOHLER J. Induced technical change in energy/environmental modeling; analytic approaches and implications [R]. London: Imperial College, 2000.
- [3] BROWN M A, CHANDLER J, LAPSA MV, et al. Carbon lock-in: barriers to deploying climate change mitigation technologies [R]. Springfield: Oak Ridge National Laboratory, 2008.
- [4] LOHANI B, AZIMI A. Barriers to energy end-use efficiency [J]. *Energy Policy*, 1992, 20(6): 533-545.
- [5] DECANIO S. The efficiency paradox; bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments [J]. *Energy Policy*, 1998, 26(5): 441-454.
- [6] KEMP R, SOETE L. The greening of technological progress: an evolutionary perspective [J]. *Futures*, 1992(6): 437-457.
- [7] KEMP R, RIP A, SCHOT J. Constructing transition path through the management of niche [A]//GARUD R, KARNØE P, et al. Path dependence and creation[M]. Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates, 2001: 41-68.
- [8] KLINE D. Positive feedback, lock-in, and environmental policy [J]. *Policy Sciences*, 2001(34): 95-107.
- [9] UNRUH G C. Understanding carbon lock-in [J]. *Energy Policy*, 2000, 28 (12): 817-830.
- [10] UNRUH G C. Escaping carbon lock-in [J]. *Energy Policy*, 2002, 30 (4): 317-325.
- [11] UNRUH G C, CARRILLO-HERMOSILLA J. Globalizing carbon lock-in [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(10): 1185-1197.
- [12] DAVID P A. Technical choice, innovation and economic growth [M]. London: Cambridge University Press, 1975.
- [13] DAVID P A. Clio and economics of QWERTY [J]. *American Economic Review*, 1985(75): 332-337.
- [14] ARTHUR W B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events[J]. *Economic Journal*, 1989 (99): 116-131.
- [15] NORTH D. Institution, institutional change and economic performance [M]. London: Cambridge University Press, 1990.
- [16] FOXON T, GROSS R, HEPTONSTALL P, et al. Energy technology innovation: a systems perspective [R]. London: Imperial College, 2007.
- [17] SETTERFIELD M. Rapid growth and relative decline; modeling macroeconomic dynamics with hysteresis[M]. London: Macmillan Press, 1997.
- [18] GARUD R, KARNØE P. Path creation as a process of mindful deviation [A]//GARUD R, KARNØE P, et al. Path dependence and creation[M]. Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates, 2001: 1-40.
- [19] COWAN R. Nuclear power reactors: a study in technological lock-in [J]. *The Journal of Economic History*, 1990, 50 (3): 541-567.
- [20] ROTHWEL G. Standardization, diversity, and learning in China's nuclear power program [A]//GUINNANE T W, SUNDSTROM W A, WHATLEY W, et al. History matters: essays on economic growth, technology and demographic change [M]. Stanford: Stanford University Press, 2004: 221-244.
- [21] RIZZELLO S. Knowledge as a path dependence process [J]. *Journal of Bioeconomics*, 2004(6): 255-274.
- [22] NELSON R, WINTER S. An evolutionary theory of economic change [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1982.
- [23] MARTIN R, SUNLEY P. The place of path dependence in an evolutionary perspective on the economic landscape [A]//BOSCHMA R, MARTIN R, et al. Handbook of evolutionary economic geography[M]. Chichester: Edward Elgar, 2010: 62-92.
- [24] BASSANINI A P, DOSI G. When and how chance and human will can twist the arms of clio: an essay on path dependence in a world of irreversibilities [A]// GARUD R, KARNØE P, et al. Path dependence and creation [M]. Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates, 2001: 41-68.
- [25] MARTIN R, SUNLEY P. Path dependence and regional economic evolution [J]. *Journal of Economic Geography*, 2006(6): 395-437.
- [26] WITT U. The evolving economy[M]. Cheltenham: Edward Elgar, 2003.
- [27] THELEN K. How institutions evolve: the political economy of skills in Germany, Britain, the United States, and Japan [M]. New York: Cambridge University Press, 2004.
- [28] ISLAS J. Getting round the lock-in in electricity generating systems: the example of the gas turbine [J]. *Research Policy*, 1997(26): 49-66.
- [29] ARAUJO L, HARRISON D. Path dependence, agency and technological Evolution [J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2002, 14(1): 5-21.

(责任编辑:王敬敏)