

碳排放权交易制度与清洁技术偏向效应

王 俊^{*}

摘要：本文将碳排放权交易制度的相关变量引入 Acemoglu 等(2012a)的分析框架,建立了一个资源环境约束引致技术偏向的内生增长模型,研究认为:碳排放权交易制度诱导清洁技术创新的关键变量是清洁部门和传统部门产品之间的替代弹性(ε)和中间产品对产出的贡献率(α),决定着碳排放权的分配、制度的持续性和政府是否参与交易等方面的选择;碳排放权交易制度可以完全替代“碳税-资助”制度产生清洁技术偏向效应的条件是政府部门必须参与交易过程,包括碳排放权的初始拍卖及二级市场交易;可耗竭资源的价格持续增长在一定的条件下能够迫使厂商转向清洁技术创新,但为了避免资源枯竭,碳排放权交易可以根据该价格来调整政策变量以控制转向速度;在制度实践中强调要注意重要参数的估计、政策工具边界控制和政策执行监控等问题。

关键词：碳排放权交易制度;清洁技术偏向;AABH 模型;碳税-资助

一、引言及文献综述

应对全球气候变暖问题需要世界各国共同参与,而发展中国家在生产和减排等方面的技术水平均相对落后,如何协调好环境保护和经济增长的关系成为发展的难题。清洁生产模式是解决该矛盾的有效途径,也是全球经济可持续发展的必然趋势,如《京都议定书》提出了清洁发展机制(CDM),美国推进了《清洁空气法》的修正和实施等。清洁生产可以通过提高排放标准 and 增强惩罚力度等限制生产行为的方式强制性推动,这类措施往往是以牺牲经济增长为代价,只能作为一种辅助性手段。政府要推动生产方式转型,需要借助经济手段来诱导厂商自觉地选择清洁技术研发,进而打破技术进步的路径依赖,通过大量的清洁技术创新逐步实现生产方式的升级换代。所以低碳发展的关键在于清洁生产,而清洁生产的关键在于清洁技术创新。经验研究表明,在市场自由竞争的条件下政策激励能够引致厂商的研发行为从传统技术转向清洁技术(如 Hassler et al., 2011; Aghion et al., 2012),促进技术创新

^{*} 王俊,哈尔滨工业大学深圳研究生院,邮政编码:518055;中共深圳市委党校,邮政编码:518034,电子信箱:wangjunhnust@126.com。

本文得到教育部人文社会科学研究青年基金项目“基于分工演化的区域内城市层级的结构优化与协同发展研究”(项目编号:12YJC790186)和国家社会科学基金重大项目“基于 CGE 模型的产业结构调整污染减排效应和政策研究”(项目编号:11&ZD043)的资助。本文被评为首届“增长与发展博士论坛”优秀论文,感谢编辑部及专家的评审意见,特别感谢武汉大学谢丹阳教授、香港中文大学杜巨澜教授、南京大学谢建国教授及匿名审稿人的修改建议,作者文责自负。

方向转变的最直接方式是庇古的收费手段(碳税-资助),即依据排放的负外部性来征收碳税,同时依据知识的正外部性对清洁技术创新的厂商给予资助或税收减免;另一种是科斯的产权手段,即通过确定碳排放权并控制其交易的方式来激励清洁生产行为和鼓励清洁技术创新(如 Gillingham et al., 2008; Fischer and Newell, 2008)。这两种方式均可以在不扭曲经济资源配置的条件下,通过市场行为引致厂商自发的转向清洁技术创新和生产,所以碳排放权交易和“碳税-资助”均能产生清洁技术偏向效应。

环境政策产生技术偏向效应的研究在“定向技术变革”(Directed Technical Change, 简称 DTC)的基础上展开成为一种新的趋势。DTC 的研究思路源自 Acemoglu (1998, 2002) 关于劳动要素偏向方面的研究,很多学者用其来研究“碳税-资助”政策引致技术偏向效应的机制(如 Ricci, 2007; Grimaud and Rouge, 2008)。Acemoglu 等(2012a) (以下简称 AABH 模型)进一步建立了政策激励厂商转向清洁技术研发的理论框架,认为在一定条件下临时性的碳税和清洁技术研究资助,能够成功引致技术进步转向清洁技术的轨道,进而最终避免环境灾难的发生。虽然该理论受到了其他学者的质疑,但仍有较多学者在此思路下继续展开研究(Pottier et al., 2014)。如 Aghion 等(2012)从经验研究的角度,研究“碳税-资助”政策对汽车工业技术创新方向演变产生的影响,发现在清洁技术偏向效应方面,碳税政策比研究资助具有更为显著的作用,间接证明临时性的环境政策能引致厂商转向清洁技术创新,并能实现自身的永续发展;Acemoglu 等(2012b)通过微观数据进一步研究了“碳税-资助”诱导技术转向清洁技术的演化过程,发现尽管政策可以促使研发转向清洁技术,但因为两部门之间的技术差距较大,转换过程可能比较缓慢,且数据表明研究资助在该过程中有更为重要的作用;Hemous (2012)拓展了 AABH 模型,研究当两国存在双边贸易时单边的减碳政策(如碳税、清洁技术研究资助和碳关税等)对两国转向清洁技术研发路径的影响;Aalbers 等(2013)基于主体行为的策略性分析,研究了电力部门的创新政策引导技术创新转向的内在机制,促进电力生产所需的燃料从传统能源转向清洁能源依赖于政策对于清洁技术创新的激励。另一方面,排放权交易制度已经变成了很多国家重要的环境经济政策和减少污染的重要手段,也是全球温室气体减排合作计划的重要组成部分(David, 1980)。碳排放权交易引致清洁技术创新的研究主要集中于实证方面,在 DTC 的框架及 AABH 模型基础上的相关理论研究较为缺乏。如 Rogge 等(2009)研究表明,欧盟排放权交易体系(EU ETS)主要对大规模以煤为主要燃料的厂商产生了影响,使其重点转向提高能源生产技术变化率和研发方向的改变,这对促进低碳技术创新体系的建立起到了一定的作用;Calel 和 Dechezleprêtre (2013)研究 EU ETS 对专利技术数据的影响,发现欧洲碳市场交易引致低碳技术增长 10%,但未发现产生对其他技术的挤出效应。近年来,国内学者对于环境政策与技术创新方向的问题有一些探索性的实证研究,但是还没有涉及到理论性的探讨。如景维民和张璐(2014)在该框架下,运用我国工业行业面板数据研究了环境管制及对外开放影响绿色技术进步的机制,发现我国技术进步存在着明显的路径依赖特征,合理的环境管制能够转变进步的方向,进出口对清洁技术进步存在着相反的推动作用;张俊(2014)研究了环境政策对我国汽车行业技术创新路径的影响,发现新能源汽车的发展对研究资助、石油价格和市场规模有较强的相关性,同时具有明显的路径依赖特征,政策干预对转向清洁技术创新是有效的;王俊和刘丹(2015)通过我国汽车行业的面板数据进一步分析了政策激励和知识累积对于清洁技术偏向的效应,认为环境

治理的政策能够促进清洁技术创新。据估算,全球碳排放权交易的市值已超过 1.75 亿美元 (Kossoy and Guigon, 2012), 面对不断扩大的市场规模, 研究碳排放权交易制度对清洁技术创新的影响有着重要的意义。所以这里可以提出几个问题: 从诱导厂商转向清洁技术研发的角度, 碳排放权交易制度对“碳税-资助”制度是否具有完全的可替代性? 影响替代性的重要因素有哪些? 当可以完全替代时替代的条件什么? 当不能完全替代时两种制度的边界如何确定? 可耗竭性资源的价格变动对上述问题的回答又有怎样的影响?

本文试图沿着 DTC 的研究思路来尝试回答上述问题。基本分析思路是先假设最终产品由清洁和传统两部门生产, 均依赖于劳动和中间产品两个要素的投入, 劳动要素假设是无差异的, 中间产品的差异在于生产技术的性质; 清洁部门运用清洁技术生产时不产生排放, 传统部门运用有污染的技术生产时有排放, 中间产品的提供者是具有专利技术的垄断者, 进行着不同技术性质的研发; 在初始状态下, 没有考虑排放的问题, 技术研发集中在传统研发部门, 并且形成传统技术不断进步的路径依赖, 如果没有环境政策的干预, 最终环境会走向灾难。AABH 模型认为通过“碳税-资助”的政策, 改变两部门厂商的期望利润, 向着清洁技术生产转型, 中间产品的提供者转向清洁技术的研发, 最终所有的科研人员全部转移到清洁技术部门, 则碳排放停止增加, 随着传统部门产品的萎缩, 环境质量会逐步自我恢复, 最终避免环境灾难。从社会福利最大化的角度而言, 碳税政策和清洁技术的研究资助分别解决的是现在和未来的环境外部性问题, 意味着在一定的条件下环境政策的执行不会扭曲资源配置和阻碍经济增长。依赖于“碳税-资助”的政策在长期能够达到目标, 但因传统技术的路径依赖, 转换时间和速度较为缓慢 (Acemoglu et al., 2012b)。这可能会使得倒“U”型库兹涅茨曲线的拐点出现延滞, 又因为许多参数的不确定性, 碳税和研究资助的执行额度而难以准确的测度, 如果不适当的选择就会产生资源错配, 进而损害经济效率 (Hsieh and Klenow, 2009)。本文将碳排放权交易引入模型中, 假设排放权是有期限的, 则政府可通过调控碳排放配额及其市场交易, 提高清洁生产的相对利润, 引导科研人员转向清洁技术研发, 进而达到“碳税-资助”相同的效应。相比而言, 碳排放权配额调控更具有可控性, 政府可以通过总量控制确定减排速度, 合理分配各部门的排放配额, 依然通过市场竞争的方式达到转向清洁技术进步的目标。从社会福利最大化来看, 当传统生产排放负外部性的影子价格所确定的税收正好等于其购买排放权产生的额外成本时, 则排放权交易和税收取得了相同的效果, 此时碳排放权交易可以替代“碳税-资助”制度; 当不能确定恰好替代时, 可以互为补充以实现帕累托最优。另外, 可耗竭资源的价格调整会额外增加传统部门的生产成本, 具有和税收等价的效应, 从时间的角度来看却是一个不确定性的工具, 而碳排放权交易制度可以基于该价格效应进行相应的调整来实现目标。最优控制碳排放的环境政策不仅要考虑减排目标的实现, 还要考虑减排方式、技术、路径和速度等, 同时还应确保资源的有效配置, 所以本文根据交易参与的主体差异分为三种不同的碳排放权交易制度, 分别探讨了清洁技术偏向效应的形成机理和环境恢复路径。

全文结构安排如下: 第二部分建立了基本模型结构, 分别从竞争性均衡的分散性决策经济和帕累托最优的社会计划者两个角度, 分析了碳排放权交易的清洁技术偏向效应, 以及与“碳税-资助”的替代关系, 同时探讨了碳排放权交易制度引致环境质量修复的演化路径; 第三部分在第二部分的基础上, 分别讨论了三种不同碳排放权交易制度产生清洁技术偏向效

应的作用机制;第四部分通过引入可耗竭资源价格对模型进行了拓展,并总结了碳排放权交易制度设计中需要注意的一些关键问题;第五部分是结论。

二、模型构建与均衡分析

(一) 基本模型结构的设定

本文借鉴 AABH 模型的框架,建立了社会计划者、两部门产品生产者和中间产品生产三个层次嵌套的内生增长模型,基本模型分别从厂商、碳排放权交易和社会计划者等方面进行了设定。^①

第一,关于厂商的基本设定。假设在经济中只存在唯一的最终产品,是使用“清洁(clean)”和“传统(dirty)”两种竞争性投入品进行 CES 复合而成,分别在清洁生产部门(简称 C 部门)和传统生产部门(D 部门)生产,C 部门使用清洁技术和设备生产不产生碳排放,D 部门使用传统技术和设备生产产生排放,复合公式为:

$$Y_t = (Y_{ct}^{(\varepsilon-1)/\varepsilon} + Y_{dt}^{(\varepsilon-1)/\varepsilon})^{\varepsilon/(\varepsilon-1)} \quad (1)$$

(1)式中: Y_{ct} 、 Y_{dt} 和 Y_t 分别表示在 t 期清洁生产部门、传统生产部门和最终产品的数量, ε 表示两部门产品的替代弹性,且 $\varepsilon > 1$ 。^②假设两种产品的关系是垄断竞争关系,两部门均利润最大化时,价格之比相对需求之比的替代弹性等于两产品替代弹性倒数的负值(Dixit and Stiglitz, 1977),则两部门的相对价格和相对产量的关系表示为:

$$\frac{p_{ct}}{p_{dt}} = \left(\frac{Y_{ct}}{Y_{dt}} \right)^{-1/\varepsilon} \quad (2)$$

最终商品价格可以标准化为 1,则两产品价格的关系可以表示为:

$$(p_{ct}^{1-\varepsilon} + p_{dt}^{1-\varepsilon})^{1/(1-\varepsilon)} = 1 \quad (3)$$

假设两部门均使用劳动和“中间设备”两种要素进行生产,将各种类型的中间设备投入之和标准化为 1,生产函数中技术进步体现为资本节约型,则可设 t 时期的两部门生产函数为:

$$Y_{jt} = L_{jt}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{j\mu}^{1-\alpha} x_{j\mu}^{\alpha} d\mu \quad (4)$$

(4)式中: $j \in \{c, d\}$, j 表示生产部门是 C 或 D 部门; L_{jt} 表示在 t 期 j 部门的劳动投入量,代表了 j 部门的市场规模; $x_{j\mu}$ 表示在 t 期 j 部门 i 类型中间设备的投入数量; α 表示 Y_{jt} 相对要素 $x_{j\mu}$ 的产出弹性,即为中间产品的产出贡献率; $A_{j\mu}$ 表示在 t 期 j 部门 i 类型中间设备的质量,代表其技术水平程度和技术性质,是决定是否会产生碳排放的关键变量。技术进步效率主要取决于三个方面:一是依赖于前期所累积的知识技术;二是对生产效率的提高程度;三是研发成功的概率。因此,技术进步函数可表示为:

^①本文为了便于和 AABH 模型中分析“碳税-资助”的政策效应进行比较,基本函数设定形式与该模型尽量保持一致。

^②当 $\varepsilon > 1$ 时,表示两部门产品总体上是替代关系;当 $\varepsilon < 1$ 时,表示两部门产品总体上是互补关系。如果经济中两部门产品总体上是替代关系,研究创新可以完全从 D 部门转向 C 部门,所以本文仅分析 $\varepsilon > 1$ 的情况。

$$A_{jt} = \eta_j (1 + \gamma) A_{j,t-1} \quad (5)$$

(5)式中: η_j 表示 j 部门研发成功概率,且 $0 < \eta_j < 1$; γ 表示技术研发成功后技术相对提高的比例; A_{jt} 表示在 t 期 j 部门的技术水平。假设这两个部门分别进行清洁技术研发和传统技术研发,科研人员随机的分布,其数量分别为 s_{ct} 和 s_{dt} ,将科研人员的总供给标准化为1,则科研人员的供需关系可表示为 $s_{ct} + s_{dt} \leq 1$ 。如果所有的科研人员都集中在 C 部门,则清洁技术不断进步,而 D 部门技术停滞,最终厂商会全部转向清洁生产,环境会因此逐步恢复。若将各类型的中间设备投入之和标准化为1,在 t 时期 j 部门的平均技术水平为该部门所有中间设备生产技术的集成,可表示为:

$$A_{jt} \equiv \int_0^1 A_{jti} di \quad (6)$$

(6)式中: A_{jt} 的增长率可根据由研发人员的数量 s_{jt} 、研发成功的概率 η_j 和技术相对改进比例 γ 的乘积来决定,即可表示为:

$$A_{jt} = (1 + \gamma \eta_j s_{jt}) A_{j,t-1} \quad (7)$$

式(7)与式(5)的区别在于,技术水平函数考虑了科研人员数量因素的影响。另外,为了便于分析,对于劳动要素的供给量也标准化为1,当市场出清时两部门的劳动需求总量不超过劳动供给,则供需关系表示为 $L_{ct} + L_{dt} \leq 1$ 。

第二,关于碳排放权交易的基本设定。假设政府配发免费碳排放权时是根据厂商产量的一定比例进行的,且碳排放权是有期限的,到期后排放企业需要政府的重新核准或重新购买。一般情况下,碳排放权交易对两部门的成本收益产生了影响, C 部门的碳排放小于碳排放配额,可通过出售碳排放权获得收益,反之, D 部门的碳排放大于碳排放配额,则需要购买碳排放权,增加了生产成本。设碳排放权交易产生的成本或收益,均是关于产量的线性正相关函数,则两部门因碳排放产生的额外收益或成本分别为:

$$E_{ct} = p_{ct}^e (\theta_t - \theta_{ct}) Y_{ct} \quad (8)$$

$$E_{dt} = p_{dt}^e (\theta_{dt} - \theta_t) Y_{dt} \quad (9)$$

(8)、(9)式中: p_{jt}^e 表示在 t 期 j 部门碳排放权交易的价格, θ_t 表示碳排放配额系数,反映了单位产量的碳排放许可额度,且 $\theta_{ct} < \theta_t < \theta_{dt}$ 。 θ_{ct} 表示在 t 期 C 部门生产的碳排放系数,若假设 C 部门是无碳排放生产,则 $\theta_{ct} = 0$; θ_{dt} 表示在 t 期 D 部门生产的碳排放系数,反映了单位产量的碳排放量,若假设排放系数是固定的,则 $\theta_{dt} = \bar{\theta}$ 。所以可以简化为 $0 < \theta_t < \bar{\theta}$,为了便于分析,将(8)和(9)式合并表示为:

$$E_{jt} = e_{jt} p_{jt} Y_{jt} \quad (10)$$

(10)式中: p_{jt} 表示在 t 期 j 部门产品的价格, e_{jt} 表示在 t 期 j 部门单位产量的碳排放权交易成本,且 $0 < e_{jt} < 1$ 。在 C 部门中, $e_{jt} = -e_{ct}$,且 $e_{ct} = (p_{ct}^e / p_{ct}) \theta_t$;在 D 部门中, $e_{jt} = e_{dt}$,且 $e_{dt} = (p_{dt}^e / p_{dt}) (\bar{\theta} - \theta_t)$ 。

第三,关于社会计划者的设定。假设政府作为集权的社会计划者,决策时考虑追求社会福利的最大化,是基于个人效用函数的帕累托最优化标准,经济中代表性的行为主体为无限期界离散时间的家户、厂商和科研人员,则设定总效用函数为:

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{u(C_t, S_t)}{(1 + \rho)^t} \quad (11)$$

(11)式中: C_t 表示家庭消费的唯一最终产品, S_t 表示环境质量, $\rho>0$ 表示效用的贴现率,反映了效用的时间偏好程度。可设消费者瞬时效应函数 $u(C_t, S_t)$ 为:

$$u(C_t, S_t) = \frac{(\phi(S_t)C_t)^{1-\sigma}}{1-\sigma} \quad (12)$$

(12)式中: $\phi(S_t)$ 表示环境质量对消费效用产生的影响系数。 $u(C_t, S_t)$ 是关于消费数量 C_t 和环境质量 S_t 的增函数,并满足稻田条件: $\lim_{C \rightarrow 0} \frac{\partial u(C, S)}{\partial C} = \infty$, $\lim_{S \rightarrow 0} \frac{\partial u(C, S)}{\partial S} = \infty$ 和 $\lim_{S \rightarrow 0} u(C, S) = -\infty$ 。假设经济在初始阶段,技术创新主要集中在 D 部门。^①因此,社会计划者的政策目标是使得环境质量恢复到初始的环境水平,即 $S_0 = \bar{S}$,该状态下环境质量的变化不影响效用函数,可表示为 $\frac{\partial u(C, \bar{S})}{\partial S} = 0$ 。

当市场出清时,由(3)式可知最终商品的价格是1,则家户对于最终产品的消费为总收益减去中间产品产生的总成本,可表示为:

$$C_t = Y_t - \psi \left(\int_0^1 x_{ci} di + \int_0^1 x_{di} di \right) \quad (13)$$

(13)式中: ψ 表示中间设备提供厂商生产的平均成本。对于环境质量的修复路径,一是取决于 D 部门当期的生产对未来环境质量造成的损耗,二是取决于生态环境存在着一定的自我修复功能,且当期生态修复的效率可以改善未来的环境质量。如果存在着碳排放权交易,政府会对碳排放配额系数进行控制,控制程度越高 θ_t 越小,环境破坏越小,则环境质量函数可设为:

$$S_{t+1} = (1+\delta)S_t - (\theta_t/\bar{\theta})^{\bar{\omega}} \xi Y_{dt} \quad (14)$$

(14)式中: S_t 表示 t 期的环境质量,且 $0 < S_t < \bar{S}$; δ 表示生态系统的自我修复效率; ξ 表示 D 部门 t 期生产对环境质量损耗的影响系数。 $\bar{\omega}$ 表示碳排放配额系数相对生产排放率的比对于环境损坏的弹性系数,反映了碳排放配额系数对于环境的影响程度。

(二)分散决策经济与竞争性均衡

在经济自由竞争的条件下,两部门生产均追求自身利润最大化,即生产产品的边际收益等于边际成本。根据前面的设定,利润函数为收益减去成本,其中成本包括劳动成本、中间设备成本和碳排放成本,所以利润函数可表示为:

$$\pi_{jt} = p_{jt} Y_{jt} - w_t L_{jt} - \int_0^1 p_{jii} x_{jii} di - E_{jt} \quad (15)$$

(15)式中: w_t 表示在 t 时期 j 部门劳动者的工资, p_{jii} 表示在 t 时期 j 部门第 i 类型的中间设备价格。

两部门利润最大化时对于中间产品的需求函数,可将(4)和(10)式代入(15)式,即可根据 $d\pi_{jt}/dx_{jii} = 0$ 的条件得到: $x_{jii} = [\alpha(1-e_{jt})p_{jt}/p_{jii}]^{1/(1-\alpha)} A_{jii} L_{jt}$ 。若假设中间投入设备具有专利技术,并由完全垄断厂商供给,则中间设备供给厂商的利润函数为 $\pi_{jii} = (p_{jii} - \psi)x_{jii}$,其中 ψ

^①经济初始状态下,并未考虑排放的问题,使得 D 部门生产相对更容易,技术水平和技术创新均比 C 部门强,正是基于此假设条件下才能进行本文的分析。

表示中间产品生产的平均成本,然后根据中间产品的市场均衡条件,即得到利润最大化时中间产品的市场价格 $p_{jit} = \psi/\alpha$,再令中间产品生产成本 $\psi = \alpha^2$,得到 $p_{jit} = \alpha$ 。^① 因此,可解得中间产品厂商的均衡产量和最大利润分别为:

$$x_{jit} = [(1 - e_{jt})p_{jt}]^{1/(1-\alpha)} A_{jit} L_{jt} \quad (16)$$

$$\pi_{jit} = \alpha(1-\alpha) [(1 - e_{jt})p_{jt}]^{1/(1-\alpha)} A_{jit} L_{jt} \quad (17)$$

根据(4)、(6)和(16)式得到两部门最终产品生产的均衡产量为:

$$Y_{jt} = [p_{jt}(1 - e_{jt})]^{\alpha/(1-\alpha)} A_{jt} L_{jt} \quad (18)$$

考虑到科研成功的概率和部门的平均技术水平,将(5)、(6)式代入(17)式,得到中间产品生产厂商投入科研人员在 t 时期 j 部门从事研究的总的期望利润:

$$\Pi_{jt} = \alpha(1 - \alpha) [(1 - e_{jt})p_{jt}]^{1/(1-\alpha)} \eta_j(1 + \gamma) A_{jt-1} L_{jt} \quad (19)$$

为了比较两个部门中间产品厂商的期望收益差异,将(19)式中期望利润相除,得到 C 部门相对于 D 部门的期望利润:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \times \left[\frac{1 + e_{ct}}{1 - e_{dt}} \right]^{1/(1-\alpha)} \times \left[\frac{p_{ct}}{p_{dt}} \right]^{1/(1-\alpha)} \times \frac{L_{ct}}{L_{dt}} \times \frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}} \quad (20)$$

中间产品厂商选择清洁生产和传统生产的权衡取决于(20)式的值,当其大于1时,则选择清洁生产,导致科研人员将从 D 部门转向 C 部门。所以激励科研人员部门转移的因素主要取决于两部门最终产品市场中四个方面的影响:直接生产率效应 A_{ct-1}/A_{dt-1} 、市场规模效应 L_{ct}/L_{dt} 、价格效应 p_{ct}/p_{dt} 和碳排放权交易效应 $(1+e_{ct})/(1-e_{dt})$ 。可以发现碳排放权交易具有和价格效应等价的作用,实际上碳交易也对市场规模效应产生影响。

两部门利润最大化时对劳动要素的需求函数,可根据 $d\pi_{jt}/dL_{jt} = 0$ 得到两部门最终产品的均衡价格之比为^②:

$$\frac{p_{ct}}{p_{dt}} = \left(\frac{1+e_{ct}}{1-e_{dt}} \right)^{-1} \left(\frac{A_{ct}}{A_{dt}} \right)^{-(1-\alpha)} \quad (21)$$

将(18)式中的两部门均衡产出相除,并将(21)和(2)式代入,两部门最终产品的均衡劳动需求量之比为:

$$\frac{L_{ct}}{L_{dt}} = \left(\frac{1+e_{ct}}{1-e_{dt}} \right)^{\varepsilon} \left(\frac{A_{ct}}{A_{dt}} \right)^{-\varphi} \quad (22)$$

(22)式中: $\varphi = (1-\alpha)(1-\varepsilon)$, 根据(3)、(21)式得到两部门最终产品的市场均衡价格^③,并运用(18)、(22)式得到两部门最终产品的均衡产出:

①将 $x_{jit} = [\alpha(1 - e_{jt})p_{jt}/p_{jit}]^{1/(1-\alpha)} A_{jit} L_{jt}$ 代入 $\pi_{jit} = (p_{jit} - \psi)$ 中,通过 $d\pi_{jt}/dp_{jit} = 0$,可得 $p_{jit} = \psi/\alpha$ 。

②根据 $d\pi_{jt}/dL_{jt} = 0$ 的条件求得均衡工资与劳动要素需求量的函数关系为: $w_t = (1-\alpha)(1 - e_{jt})p_{jt}$ $L_{jt}^{-\alpha} \int_0^1 A_{jit}^{1-\alpha} x_{jit}^{\alpha} di$, 两部门的劳动要素的均衡工资是相等的,所以将(16)、(6)式代入该式,即得到两部门最终产品的均衡价格之比。

③最终产品的均衡价格 $p_{ct} = [A_{dt}^{1-\alpha}(1 - e_{dt})]/(A_{ct}^{\varphi}(1+e_{ct})^{1-\varepsilon} + A_{dt}^{\varphi}(1 - e_{dt})^{1-\varepsilon})^{1/(1-\varepsilon)}$ 和 $p_{dt} = A_{ct}^{1-\alpha}(1+e_{ct})/(A_{ct}^{\varphi}(1+e_{ct})^{1-\varepsilon} + A_{dt}^{\varphi}(1 - e_{dt})^{1-\varepsilon})^{1/(1-\varepsilon)}$ 。

$$Y_{ct} = \frac{(1-e_{dt})^{\alpha/(1-\alpha)} (1+e_{ct})^{\varepsilon} A_{ct} A_{dt}^{\alpha+\varphi}}{(A_{ct}^{\varphi} (1+e_{ct})^{1-\varepsilon} + A_{dt}^{\varphi} (1-e_{dt})^{1-\varepsilon})^{\alpha/\varphi} (A_{ct}^{\varphi} (1-e_{dt})^{\varepsilon} + A_{dt}^{\varphi} (1+e_{ct})^{\varepsilon})} \quad (23)$$

$$Y_{dt} = \frac{(1+e_{ct})^{\alpha/(1-\alpha)} (1-e_{dt})^{\varepsilon} A_{dt} A_{ct}^{\alpha+\varphi}}{(A_{ct}^{\varphi} (1+e_{ct})^{1-\varepsilon} + A_{dt}^{\varphi} (1-e_{dt})^{1-\varepsilon})^{\alpha/\varphi} (A_{ct}^{\varphi} (1-e_{dt})^{\varepsilon} + A_{dt}^{\varphi} (1+e_{ct})^{\varepsilon})} \quad (24)$$

根据(7)、(21)和(22)式,中间产品厂商选择清洁生产和传统生产的权衡关系式(20)可改写为:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{1+e_{ct}}{1-e_{dt}} \right)^{\varepsilon} \left(\frac{1+\gamma\eta_c s_{ct}}{1+\gamma\eta_d s_{dt}} \right)^{-\varphi-1} \left(\frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}} \right)^{-\varphi} \quad (25)$$

(25)式表示两部门最终产品和中间产品的所有生产厂商全部达到利润最大化,即达到竞争性均衡,此时中间产品部门选择不同技术研发人员的相对利润,主要根据路径依赖的程度 A_{ct-1}/A_{dt-1} 和碳排放权交易效应 $(1+e_{ct})/(1-e_{dt})$,且参数 φ 有着决定性的作用。

若科研人员从 D 部门向 C 部门转移,必有 $\Pi_{ct}/\Pi_{dt} > 1$,即均衡时科研人员在 C 部门工作获得的最大利润比在 D 部门高。因此,根据(25)式, D 部门单位产品生产所产生的碳成本和 C 部门单位产品生产所获得碳收益之间的关系必满足:

$$e_{dt} > 1 - (1+e_{ct}) \left[\frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{1+\gamma\eta_c s_{ct}}{1+\gamma\eta_d s_{dt}} \right)^{-\varphi-1} \left(\frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}} \right)^{-\varphi} \right]^{1/\varepsilon} \quad (26)$$

根据假设条件,科研人员全部分配到两个研发部门中,则 $s_{ct} = 1 - s_{dt}$ 。当 $\varphi+1 < 0$ 时,则 Π_{ct}/Π_{dt} 是 s_{ct} 的严格递增函数,若满足 $\Pi_{ct}/\Pi_{dt} > 1$,此时获得唯一解为角点解,即 $s_{dt} = 1$ 和 $s_{ct} = 0$,表示在 t 时期科研人员全部在 D 部门研发时,利润均低于 C 部门,则科研人员不断转移,随着转移到 C 部门人数的增加, C 部门研发人员的利润则进一步的增加。将角点解代入(26)式可得:

$$e_{dt} > 1 - (1+e_{ct}) \left[\frac{\eta_c}{\eta_d} (1+\gamma\eta_d)^{\varphi+1} \Omega_{t-1}^{-\varphi} \right]^{1/\varepsilon} \quad (27)$$

(27)式中: $\Omega_{t-1} = A_{ct-1}/A_{dt-1}$,表示 $t-1$ 期 C 部门相对 D 部门的技术水平。若经济运行至 $t+n$ 期时, $\Omega_{t+n} > 1$ 时,表示 C 部门比 D 部门有更高的生产率,科研人员在 C 部门能获得更多的利润,不需要任何激励,科研人员仍会持续向 C 部门转移,最终环境恢复到 $\bar{S}$,才能避免环境趋向灾难。当 $\varphi+1 > 0$ 时, Π_{ct}/Π_{dt} 是 s_{ct} 的严格递减函数,如果要满足 $\Pi_{ct}/\Pi_{dt} > 1$,同样得到唯一的解为角点解,即 $s_{dt} = 0, s_{ct} = 1$,此时全部研发人员都必集中在清洁部门,将角点解代入(26)式可得:

$$e_{dt} > 1 - (1+e_{ct}) \left[\frac{\eta_c}{\eta_d} (1+\gamma\eta_c)^{-\varphi-1} \Omega_{t-1}^{-\varphi} \right]^{1/\varepsilon} \quad (28)$$

从分析可以看出,控制碳排放收益和成本的关键在于两个变量 Ω_{t-1} 和 ε 。因 $\varepsilon > 1$ 和 $0 < \alpha < 1$,则 $\varphi = (1-\alpha)(1-\varepsilon) < 0$,所以(28)式成立的条件可修正为 $-1 < \varphi < 0$ 。另外,当(26)式成立时科研人员向 C 部门转移,根据(24)式可知 D 部门的均衡产量的增长率取决于 $A_{ct}^{\alpha+\varphi}$ 的增长率,可知当 $\alpha+\varphi < 0$ 时,随着 t 的变化, $Y_{dt} \rightarrow 0$,则碳排放权交易仍然是临时性政策安排;当 $\alpha+\varphi > 0$ 时,随着 t 的变化, Y_{dt} 不趋近于 0,则碳排放权交易是持续性政策直至(28)式成立。

综上所述,在自由竞争的分散决策经济中,随着碳排放权交易的作用,科研人员会逐步

向C部门转移。当 $\varphi < -1$ 且(27)式成立时,到达一定时期会使得 $\Omega_{t+n} > 1$,或当 $-1 < \varphi < -\alpha$ 时,一定时期后会导致 $Y_{dt+n} = 0$,此时均可以废除碳排放权交易制度,科研人员仍会持续向C部门转移,直至环境恢复到 $\bar{S}$,碳排放权交易是临时性的制度安排。当 $-\alpha < \varphi < 0$,且(28)式成立时,科研人员全部在清洁部门工作,直至环境恢复到 $\bar{S}$,碳排放权交易制度是持续性的制度安排。^①

(三)社会计划者与帕累托最优

假设政府作为集权的社会计划者,决策时考虑追求社会福利的最大化是基于个人效用函数的帕累托最优化标准,即在约束条件(1)、(4)、(7)、(12)、(13)和(14)式下求最大化效用函数(11)。通过构造拉格朗日函数,并对 C_t 取一阶导数为零,可得到最终商品影子价格 λ_t 等于当期消费的边际效用,表示为:

$$\lambda_t = \frac{\partial u(C_t, S_t) / \partial C_t}{(1+\rho)^t} = \frac{\phi(S_t)^{1-\sigma}}{C_t^\sigma (1+\rho)^t} \quad (29)$$

若对 S_t 取一阶导数为零,得到 t 期环境质量的影子价格:

$$\omega_t = \frac{C_t^{1-\sigma} [d\phi(S_t) / dS_t]}{\phi(S_t)^\sigma (1+\rho)^t} + (1+\delta)\omega_{t+1} \quad (30)$$

假设 $\hat{p}_{jt} = \lambda_{jt} / \lambda_t$ 表示 t 期 j 部门产品相对于最终产品的影子价格,则分别对 Y_{ct} 和 Y_{dt} 取一阶导数等于零,可得到:

$$\hat{p}_{ct} = Y_{ct}^{-1/\varepsilon} (Y_{ct}^{(\varepsilon-1)/\varepsilon} + Y_{dt}^{(\varepsilon-1)/\varepsilon})^{1/(\varepsilon-1)} \quad (31)$$

$$\hat{p}_{dt} = Y_{dt}^{-1/\varepsilon} (Y_{ct}^{(\varepsilon-1)/\varepsilon} + Y_{dt}^{(\varepsilon-1)/\varepsilon})^{1/(\varepsilon-1)} - \frac{(\theta_t / \bar{\theta})^{\bar{\omega}} \xi \omega_{t+1}}{\lambda_t} \quad (32)$$

根据庇古税的思想,可以通过征收税费的方式将环境负外部性内部化。由(32)式,对于D部门 t 期可征收碳排放税,最优税率的影子价格为:

$$\tau_t = \frac{(\theta_t / \bar{\theta})^{\bar{\omega}} \xi \omega_{t+1}}{\lambda_t \hat{p}_{dt}} \quad (33)$$

根据(31)、(32)式的影子价格进行竞争性均衡分析,以及将(33)式代入则得到均衡的劳动量之比为^②:

$$\frac{L_{ct}}{L_{dt}} = \left[\frac{(1+\tau_t)(1+e_{ct})}{1-e_{dt}} \right]^\varepsilon \left(\frac{A_{ct}}{A_{dt}} \right)^{-\varphi} \quad (34)$$

技术创新存在知识溢出的正外部性,可以通过研究资助的方式将外部性内部化,如果政府以 q_t 为资助比例对清洁生产部门进行研究资助,则清洁部门的期望利润由(19)式变化为:

$$\Pi_{ct} = (1+q_t)\alpha(1-\alpha) [(1-e_{jt})p_{jt}]^{1/(1-\alpha)} \eta_j (1+\gamma) A_{jt-1} L_{jt} \quad (35)$$

将(34)、(35)式代入(20)式整理,并根据 $\Pi_{ct} / \Pi_{dt} > 1$ 的条件,帕累托最优且竞争性均衡时,政策资助的最优比例为:

①参数 φ 反映了弹性 ε 和 α 的关系, φ 的范围也可以用两个弹性的关系来表示: $\varphi < -1$ 等价于 $\varepsilon > (2-\alpha)/(1-\alpha)$; $-1 < \varphi < -\alpha$ 等价于 $(2-\alpha)/(1-\alpha) > \varepsilon > 1/(1-\alpha)$; $-\alpha < \varphi < 0$ 等价于 $1/(1-\alpha) > \varepsilon > 1$ 。

②用(31)、(32)式的影子价格替代分散决策经济中的最终产品价格,两部门最终产品和中间产品的生产厂商同时均衡时,可以得到 $\hat{p}_{ct}^{1/(1-\alpha)} A_{ct} (1+e_{ct}) = \hat{p}_{dt}^{1/(1-\alpha)} A_{dt} (1-e_{dt})$,并进一步推导出(34)式。

$$q_t > \frac{\eta_d \Omega_{t-1}^\varepsilon}{\eta_c} \left[\frac{(1+\tau_t)(1+e_{ct})}{1-e_{dt}} \right]^{-\varepsilon} \left(\frac{1+\gamma\eta_c s_{ct}}{1+\gamma\eta_d s_{dt}} \right)^{\varphi+1} - 1 \quad (36)$$

政府对清洁部门给予研究资助时必须依赖于上式的范围,否则会扭曲经济的配置并干扰经济的自由竞争。(36)式也表示了直接对厂商进行研究资助的额度与碳税和碳排放权交易的关系,当 q_t 和 τ_t 为零时如果该式依然成立,则碳排放权交易的制度可完全替代“碳税-资助”制度,反之则需两种制度的配合使用使之成立,才能达到激励市场导致转向清洁技术研究的目标。^①

综上所述,可以归纳分散决策经济竞争性均衡和社会计划者帕累托最优的结论为:

命题 1:分散决策经济中,碳排放权交易具有清洁技术偏向效应,能打破传统技术的路径依赖,最终避免环境灾难。当两部门最终产品的替代弹性强时,碳排放权交易是临时性制度(当 $\varphi < -1$ 且(27)式成立时,或 $-1 < \varphi < -\alpha$ 且 $Y_{dt} = 0$ 时取消碳排放权交易);当两部门最终产品的替代弹性弱时,碳排放权交易是持续性制度(当 $-\alpha < \varphi < 0$ 时,碳排放权交易持续直至科研人员全部转移到清洁部门)。社会计划者决策时依据排放的负外部性和技术的正外部性,碳排放权交易和“碳税-资助”制度对技术偏向有相同的作用,两种制度在实践中可以如(36)式进行完全替代或互为补充。

三、碳排放权交易制度的讨论

厂商获得碳排放权主要有政府免费发放和直接向政府购买两种形式,理论上直接购买或拍卖更具有经济效率,而免费发放更具有政治可行性(Cramton and Kerr, 2002)。在实践中碳排放权交易制度有多种形式,如欧盟采用的是以参与主体历史排放水平为基准进行免费发放配额的“祖父法”;美国采用的是以排放主体竞拍单位配额的“拍卖法”;澳大利亚采用的是“固定价格购买法”;新西兰采取“以行业为基准的混合配额法”等(宣晓伟、张浩, 2013)。为了便于理论上探讨,根据碳排放权交易的参与主体差异分为纯市场交易、非市场交易和混合交易等三种碳排放权交易制度。

(一) 纯市场交易的碳排放权交易制度

纯市场交易的碳排放权交易制度是指碳排放权交易仅发生在C部门和D部门之间,没有政府机构和中间交易市场。这种制度中D部门直接购买C部门的碳排放许可配额,即 $E_{ct} = -E_{dt}$ 和 $p_{ct}^e = p_{dt}^e$ 。D部门因购买碳排放权发生的成本等于C部门因出售碳排放权产生的收益,交易完全在两部门之间进行,政府不进行任何的干预。因此,政府只能通过控制配额系数 θ_t 变动来控制碳排放的速度和数量。根据该制度的条件,以及(8)、(9)和(10)式,可得到 $(\bar{\theta} - \theta_t)Y_{dt} = \theta_t Y_{ct}$,由(25)式得到两部门中间产品厂商两种技术选择的最大利润之比为:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c \Omega_{t-1}^{\alpha-1}}{\eta_d} \left(\frac{\bar{\theta} - \theta_t}{\theta_t} \right) \left(\frac{1 + \gamma\eta_c s_{ct}}{1 + \gamma\eta_d (1 - s_{ct})} \right)^{\alpha-2} \quad (37)$$

(37)式中: $0 < \alpha < 1$,则 $\alpha - 2 < 0$,所以 Π_{ct}/Π_{dt} 是 s_{ct} 的严格递减函数,若要 $\Pi_{ct}/\Pi_{dt} > 1$,必可得到唯一的角点解为: $s_{dt} = 0, s_{ct} = 1$,代入(37)式得到碳排放配额系数最终必须满足方程:

^①如果没有碳排放权交易,即在(25)式中有 $e_{dt} = e_{ct} = 0$,可得到和AABH一致的结论。

$$\frac{\theta_t}{\bar{\theta}} < \frac{\eta_c}{\eta_d (1 + \gamma \eta_c)^{2-\alpha} \Omega_{t-1}^{1-\alpha} + \eta_c} \quad (38)$$

在此制度中,初始状态时政府不存在对碳排放权交易的管制, D 部门属于完全排放,即 $\theta_0 = \bar{\theta}$;但是,从政府控制碳排放开始,控制必然会有一个由松到紧的过程,政府可以将碳排放配额系数 θ_t 根据碳排放控制的目标以一定的速度不断下调,直到(38)式成立时停止下调,此时研发人员已经全部转移至 C 部门。随着 θ_t 的下降, D 部门碳排放权的需求量上升,碳排放权价格上升,碳排放产生的成本不断上升,则厂商会不断减少产量,致使中间设备投入和研发人员减少。反之, C 部门因获得更多的收益,增加投入和产量,研发人员也不断转入清洁技术研发,随着清洁技术和清洁生产不断发展,达到技术进步转向作用。

对于帕累托最优的社会计划者而言,根据式(14)、(30)和(33)式,通过影子价格的方式求得的最优碳税税率为:

$$\tau_t = \frac{\xi C_t^\sigma (\theta_t / \bar{\theta})^{\bar{\omega}}}{\hat{p}_{dt} \phi(S_t)^{1-\sigma} (1+\rho)} \sum_{v=t+1}^{\infty} \left[\left(\frac{1+\delta}{1+\rho} \right)^{v-(t+1)} \cdot \frac{C_v^{1-\sigma}}{\phi(S_v)^\sigma} \cdot \frac{d\phi(S_v)}{dS_v} \right] \quad (39)$$

该税率取决于未来环境质量效用的现值,首先受到 ρ 的影响,反映了消费者的时间偏好, ρ 越低,越偏好于现在消费,现期环境质量有较大的效用,则 τ_t 较高,反之,则 τ_t 较低。 δ 对于 τ_t 的影响正好和消费者环境质量的偏好相反。对于碳排放权交易而言, θ_t 和 τ_t 之间为正相关,当 $\theta_t = 0$,属于清洁生产,不存在碳排放的问题,即 $\tau_t = 0$;当 $\theta_t = \bar{\theta}$,不存在排放的限制,即没有碳排放权交易制度。碳排放权配额 θ_t 是政府控制碳排放的一个工具,是一个从高到低的动态调整过程,随着 θ_t 的降低碳税也随之降低,直到(38)式成立则停止下调,此时若 $\theta_t > 0$ 则 $\tau_t > 0$,即最终科研人员集中 C 部门时,碳税仍然为正。因此,这种碳排放权交易制度只能部分替代“税收-资助”政策,需要“税收-资助”辅助使用才能达到帕累托最优,辅助税率由(39)式决定,资助额度由(36)、(39)式决定,均依赖于 θ_t 值的大小且应小于没有碳交易制度的值。

这种制度交易仅在两部门之间进行,属于纯市场交易的制度,碳排放量完全由政府控制。碳排放配额的控制就控制了碳排放总量,然后通过市场交易,使得两部门的生产量、中间设备的投入量、科研人员和劳动要素的分配重新达到均衡,这个过程不断调整进行,直到所有科研人员全部转移至 C 部门才停止调控,说明这是一项需要持续的长期政策。这种制度中政府可以从宏观上总量调控,把握调控方向和节奏,但对 D 部门产生的强力规制易导致资源配置的扭曲,且在实际交易中,买卖双方信息的不完善和不对称,可能在交易中缺乏流动性,形成价格失灵。

(二) 非市场交易的碳排放权交易制度

非市场交易的碳排放权交易制度是指碳排放权交易仅在 D 部门和政府部门之间,不存在中间交易市场。该制度中 D 部门的所有碳排放权必须向政府购买,政府可以自由定价或拍卖的方式出售,政府将获得的收益来补贴 C 部门技术创新,即 $E_{ct} = p_{ct}^e = \theta_t = 0$ 。 D 部门购买碳排放价格取决于政府的定价 p_{gt}^e ,即 $p_{dt}^e = p_{gt}^e$ 。政府可获得收益 $g_t = p_{gt}^e \theta_{dt} Y_{dt}$,将 $q_{1t} g_t$ 部分用于资助 C 部门的生产和创新。假设补贴表示为在利润的基础上资助 q_{ct} 倍,则 C 部门研发人员的最大化利润为原来的 $1+q_{ct}$ 倍,具体操作上可以通过减少所得税或增值税的形式进行,

而剩余部分 $(1-q_{lt})g_t$ 直接用于治理污染以改善生态环境,所以政府部门主要通过控制 p_{gt}^e 和 q_{ct} 来控制碳排放。由 (25) 式得到两部门中间产品厂商两种技术选择的最大利润之比为:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c \Omega_{t-1}^{-\varphi}}{\eta_d} \cdot \frac{1+q_{ct}}{[1-(p_{gt}^e/p_{dt})\bar{\theta}]^\varepsilon} \cdot \left(\frac{1+\gamma\eta_c s_{ct}}{1+\gamma\eta_d s_{dt}} \right)^{-\varphi-1} \quad (40)$$

根据 (26)、(27) 和 (28) 式的分析,若满足研发人员 D 部门向 C 部门转移条件,由 (40) 式可得到两个角点解,当 $\varphi < -1$ 时有 $s_{dt} = 1$ 和 $s_{ct} = 0$,则科研人员向 C 部门转移的条件为:

$$p_{gt}^e/p_{dt} > \frac{1}{\bar{\theta}} \left\{ 1 - \left[\frac{\eta_c}{\eta_d} (1+\gamma\eta_d)^{\varphi+1} \Omega_{t-1}^{-\varphi} \right]^{1/\varepsilon} (1+q_{ct})^{1/\varepsilon} \right\} \quad (41)$$

当 $-1 < \varphi < 0$ 时有 $s_{dt} = 0$ 和 $s_{ct} = 1$,则科研人员向 C 部门转移的条件为:

$$p_{gt}^e/p_{dt} > \frac{1}{\bar{\theta}} \left\{ 1 - \left[\frac{\eta_c}{\eta_d} (1+\gamma\eta_c)^{-\varphi-1} \Omega_{t-1}^{-\varphi} \right]^{1/\varepsilon} (1+q_{ct})^{1/\varepsilon} \right\} \quad (42)$$

政府对于出售碳排放权的定价与对于 C 部门的资助存在正向的函数关系,政府必须根据科研人员分布和相对技术状态的变化来同步调整 p_{gt}^e 和 q_{ct} 。该制度中如果 $(1-q_{lt})g_t > 0$,政府会将其用于治理环境,直接影响环境质量函数。假设投入资金比例与环境质量是正相关的,可将环境质量函数 (14) 式修正为:

$$S_{t+1} = [1+\delta+(1-q_{lt})^v] S_t - \xi Y_{dt} \quad (43)$$

(43) 式中: v 表示生态修复投资对环境质量改善的弹性系数,且 $0 < v < 1$ 。

对于帕累托最优的社会计划者而言,政府对 D 部门碳排放权出售和对 C 部门科研人员的补贴,类似于 AABH 中的“税收-资助”制度。将 (36) 式和 (40) 式比较分析,当 $q_{lt} = 1$ 时,不存在政府直接治理环境的部分,且 $q_{ct} = q_t$,没有碳排放权配额 $\theta_t = \bar{\theta}$,代入 (39) 式可以得到最优税率 τ_t ,同时得到满足技术路径转向条件的碳排放权价格:

$$p_{gt}^e = \frac{\tau_t P_{dt}}{(1+\tau_t)\bar{\theta}} \quad (44)$$

最终,当政府按照 (44) 式制定碳排放价格,清洁技术的研发人员资助由 (41) 式或 (42) 式决定,则可完全替代“税收-资助”制度。当 $q_{lt} < 1$ 时,可以将剩余的资金用于直接治理环境,则会产生正的外部性,根据 (30)、(33) 和 (43) 式,政府可得到最优税率的影子价格:

$$\tau_t = \frac{\xi C_t^\sigma}{\hat{p}_{dt} \phi(S_t)^{1-\sigma} (1+\rho)} \sum_{\nu=t+1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{1+\delta+(1-q_{lt})^v}{1+\rho} \right]^{\nu-(t+1)} \cdot \frac{C_v^{1-\sigma}}{\phi(S_v)^\sigma} \cdot \frac{d\phi(S_v)}{dS_v} \right\} \quad (45)$$

(45) 式可以表示政府碳排放权定价过高的等价税率,将 (45) 式中的 τ_t 代入 (36) 式可求得对科研人员资助的大小,也意味着采用这种方式计算出来碳税和资助方式,可以达到直接治理环境等价的效果^①。

在这种交易制度中,政府可成立碳储备银行来执行,碳排放权交易定价获取收益和给予清洁技术补贴的两种政策,满足 (41) 和 (42) 式的要求,并将多余的资金用于治理污染,直接

①实际上,该制度是由政府替代生产部门来解决环境问题,政府治理环境也需要要素和技术投入,这并非问题研究的初衷,从这个角度讲, $q_{lt} < 1$ 的结论并没有太大的意义,可以理解为政府对碳排放权定价过高的一种弥补手段。

改善环境质量。这种制度属于纯计划的制度安排,近似于等价“碳税-资助”的政策,完全处于政府的控制之中,能够直接刺激技术进步,定向推动科研人员的部门转移,但在定价和补贴的操控过程中,容易出现寻租腐败,难以有效监督。

(三)混合交易的碳排放权交易制度

混合交易的碳排放权交易制度是在第一种制度的基础上允许存在政府部门和中间交易市场。中间交易市场的存在,可以让更多的部门和资金参与进来,中间金融机构具有较强的价格发现功能,可以在碳排放权交易中通过价差套利,则 $p_{ct}^e \neq p_{dt}^e$ 。政府部门主要通过控制 θ_t 来控制碳排放总量,同时政府可以和公众一起进入二级交易市场来影响碳排放权价格,间接影响厂商和科研人员的决策行为。据(25)式可以得到:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c \Omega_{t-1}^{-\varphi}}{\eta_d} \left(\frac{1 + (p_{ct}^e/p_{dt}^e) \theta_t}{1 - (p_{dt}^e/p_{dt}^e) (\bar{\theta} - \theta_t)} \right)^{\varepsilon} \left(\frac{1 + \gamma \eta_c s_{ct}}{1 + \gamma \eta_d s_{dt}} \right)^{-\varphi-1} \quad (46)$$

根据(26)、(27)和(28)式的分析,若满足研发人员 D 部门向 C 部门转移条件,由(46)式可得到两个角点解。当 $\varphi < -1$ 时有 $s_{dt} = 1$ 和 $s_{ct} = 0$,令 $p_{jt}^z = p_{jt}^e/p_{jt}$ 表示碳排放权交易对产品的相对价格,则科研人员向 C 部门转移的条件为:

$$\theta_t > \frac{[\eta_c^{1/\varepsilon} (1 + \gamma \eta_d)^{-(\varphi+1)/\varepsilon} \Omega_{t-1}^{-\varphi/\varepsilon}] (1 - \bar{\theta} p_{dt}^z) - \eta_d^{1/\varepsilon}}{\eta_d^{1/\varepsilon} p_{ct}^z - [\eta_c^{1/\varepsilon} (1 + \gamma \eta_d)^{-(\varphi+1)/\varepsilon} \Omega_{t-1}^{-\varphi/\varepsilon}] p_{dt}^z} \quad (47)$$

当 $-1 < \varphi < 0$ 时有 $s_{dt} = 0$ 和 $s_{ct} = 1$,则科研人员向 C 部门转移的条件为:

$$\theta_t > \frac{[\eta_c^{1/\varepsilon} (1 + \gamma \eta_c)^{-(\varphi+1)/\varepsilon} \Omega_{t-1}^{-\varphi/\varepsilon}] (1 - \bar{\theta} p_{dt}^z) - \eta_d^{1/\varepsilon}}{\eta_d^{1/\varepsilon} p_{ct}^z - [\eta_c^{1/\varepsilon} (1 + \gamma \eta_c)^{-(\varphi+1)/\varepsilon} \Omega_{t-1}^{-\varphi/\varepsilon}] p_{dt}^z} \quad (48)$$

在(47)和(48)式中,有三个可控变数 θ_t 、 p_{ct}^z 和 p_{dt}^z ,政府可以根据碳减排的战略规划对碳排放总量进行宏观调控,制定碳排放系数的降低速度 $d\theta_t/dt$ 来控制 θ_t 的变化,同时在中间市场交易中,政府通过买入或卖出碳排放权控制 p_{ct}^z 或 p_{dt}^z ,而中介金融机构会在交易中因为价差 $p_{dt}^z - p_{ct}^z$ 获得合理利润。因这种制度仅对碳排放配额系数产生了影响,所以环境质量函数与第一种制度相同,仍然可用公式(14)表示。

对于帕累托最优的社会计划者而言,因为环境质量修复路径函数与第一种制度中一致,所以通过影子价格计算的最优税率 τ_t 可用(39)式表示,但是在这种制度中政府控制的工具除了 θ_t ,还有 p_{ct}^z 和 p_{dt}^z 。分析(46)和(36)式可知,若要达到政策目标必须满足:

$$p_{ct}^z = \frac{\tau_t + (1 + \tau_t) (\bar{\theta} - \theta_t) p_{dt}^z}{\theta_t} \quad (49)$$

在这种制度中,政府调控完全替代“碳税-资助”政策达到帕累托最优可分为两个步骤:第一步,制定总量减排时间规划,确定减排速度并可确定 θ_t ,相对第一种制度减排速度可偏低一些,则 θ_t 相对偏高一些,可为碳排放调控留下更多的调整空间,将确定的 θ_t 代入(39)式确定 τ_t ;第二步,根据中间交易市场上中间机构的介入程度,分别干预 D 部门和中间机构的买卖交易影响价格 p_{dt}^z , C 部门和中间机构买卖交易影响价格 p_{ct}^z ,使得(49)式成立。在此过程中,一是可以控制中间机构的利润空间,二是可以同时提高或降低两个价格,控制科研人员转移的速度。

第三种制度属于计划与市场相结合的方式,政府宏观把握整体方向,在市场交易中参与

价格调整,通过利润最大化引导科研人员向 C 部门转移,属于介于前两种制度之间,在实践中更具有可操作性。该制度与第一种制度相比,优点在于:一是这种交易制度可以进行微观的市场干预,调控碳排放的成本和收益,控制科研人员部门转移的速度;二是可以增加碳排放权的流动性,通过调动社会资源参与碳排放权交易中,提高制度诱导研发转向清洁技术的有效性;三是对 θ_i 变动更为柔性,设定 $d\theta_i/dt$ 可相对小一些,减排速度相对较慢,能够为控制减排中存在的不确定性风险留下空间,避免刚性调控产生的政策失误,增加了政府的调控能力。该制度与第二种交易制度相比,优点在于政府部门不必要对碳排放权进行定价和对清洁技术创新进行专向资助,这有利于发挥市场配置资源的优势,也便于政策对碳减排总量和速度的控制。

综上所述,第一种制度更具市场竞争性,第二种制度更具中央计划性,第三种制度更具实际操作性。依据三种碳排放权交易制度分散决策经济的竞争性均衡分析和社会计划者的帕累托最优分析,可以归纳得到命题 2 和命题 3。

命题 2:分散决策的竞争性经济中,当碳排放权交易仅在清洁和传统生产部门之间时,引致科研人员转向清洁部门的政策工具依赖于 θ_i 的控制,程度取决 Ω_{i-1} 的值,且是一项持续性的制度安排;当碳排放权仅能从政府购买时,引致科研人员转向清洁部门的政策工具依赖于 p_{gi}^e 和 q_{ci} 的控制,函数关系取决于 Ω_{i-1} 和 φ 的值, φ 值决定函数关系式的形式和制度的持续性;当碳排放权交易可以在中间市场交易时,引致科研人员转向清洁部门的政策工具依赖于 θ_i 、 p_{ci}^z 和 p_{di}^z 的控制,三变量的函数关系取决于 Ω_{i-1} 和 φ 的值, φ 值决定函数关系式的形式和制度的持续性。

命题 3:政府作为集权的社会计划者,当碳排放权交易仅在清洁和传统生产部门之间时,单独控制 θ_i 的政策不能达到帕累托最优,需要“碳税-资助”政策的辅助;当碳排放权仅能从政府购买时,通过对 p_{gi}^e 和 q_{ci} 的控制可达到帕累托最优,可以完全替代“碳税-资助”政策,解决排放负外部性和技术正外部性的问题;当碳排放权交易可以在中间市场交易时,通过对 θ_i 、 p_{ci}^z 和 p_{di}^z 的控制达到帕累托最优,可以完全替代“碳税-资助”政策,解决排放负外部性和技术正外部性的问题,且兼前两种制度的优点,对于社会计划者而言,属于相对更具可操作性的制度安排。

四、模型拓展与政策启示

(一) 模型拓展:可耗竭性资源价格的影响

在现实经济中,随着可耗竭性资源的开采使用会导致其价格持续上升,为了控制生产成本和避免资源耗竭,需要不断发展技术开发新能源和转向清洁生产,可耗竭资源价格引入对清洁技术偏向路径有明显的作用。

首先,可耗竭性资源价格引入后需对相关变量设定进行修正。假设当期的资源总量 Q_t 减去可耗竭资源消耗量 R_t 等于下一期的资源总量 Q_{t+1} ,则资源总量的变动函数表示为:

$$Q_{t+1} = Q_t - R_t \quad (50)$$

假设可耗竭性资源仅发生在传统部门,则 D 部门的生产函数(2)式重新设定为:

$$Y_{dt} = R_t^{\alpha_2} L_{dt}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{di}^{1-\alpha_1} x_{di}^{\alpha_1} di \quad (51)$$

(51)式中: $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$, α_2 表示 R_t 对 D 部门产量的弹性系数。根据(51)式推断当市场出清时,消费最终品的关系式(13)可修正为:

$$C_t = Y_t - \psi \left(\int_0^1 x_{ci} di + \int_0^1 x_{di} di \right) - c(Q_t) R_t \quad (52)$$

(52)式中: $c(Q_t)$ 表示可耗竭资源的获取成本,也可用其价格 p_n 表示,则 $p_n = c(Q_t)$ 。假设对环境质量损耗取决于可耗竭资源的使用,则环境质量修复函数(14)式可以简单的重新设定为:

$$S_{t+1} = (1 + \delta) S_t - \xi_r R_t \quad (53)$$

(53)式中: ξ_r 表示可耗竭性资源的环境损耗率。

其次,分析分散决策经济的竞争性均衡。将(51)和(52)式相应替换原函数后,按照分散决策经济中竞争性均衡分析的思路和求解过程,得到市场均衡时两部门中间厂商技术选择的最大期望利润之比为:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \kappa \frac{\eta_c}{\eta_d} \cdot \frac{p_n^{\alpha_2(\varepsilon-1)} (1 + e_{ct})^\varepsilon}{(1 - e_{dt})^\varepsilon} \cdot \frac{(1 + \gamma \eta_c s_{ct})^{-\varphi-1}}{(1 + \gamma \eta_d s_{dt})^{-\varphi_1-1}} \cdot \frac{(A_{ct-1})^{-\varphi}}{(A_{dt-1})^{-\varphi_1}} \quad (54)$$

(54)中: $\kappa = \frac{(1-\alpha)\alpha}{(1-\alpha_1)\alpha_1^{(1+\alpha_2-\alpha_1)/(1-\alpha_1)}} \left(\frac{\alpha^{2\alpha}}{\psi^{\alpha_2} \alpha_1^{2\alpha_1} \alpha_2^{\alpha_2}} \right)^{\varepsilon-1}$ 和 $\varphi_1 = (1-\alpha_1)(1-\varepsilon)$ 。

可将(54)式和(25)式比较,有四个方面的影响:(1)碳排放权交易对厂商决策行为的影响是一致的;(2)因为 $\varepsilon > 1$ 和 $\alpha_1 < \alpha$, 则 $\varphi_1 < \varphi < 0$, 使得(54)式分母较大,原因是厂商对于中间设备投入的减少,提高了中间技术的产出贡献率,对于利润有正的影响,但是减少的中间投入却增加了可耗竭资源的投入,增加了投入成本而降低了利润;(3)相对而言,增加了清洁部门研发的优势,两者的权重取决于 α 对于 α_1 和 α_2 的分配,以及 ε 值的大小;(4) Π_{ct}/Π_{dt} 和 p_n 是严格递增的函数关系,影响程度取决于 ε 和 α_2 的值。随着可耗竭资源的减少, p_n 上升, Π_{dt} 下降,一定会导致 $\Pi_{ct}/\Pi_{dt} > 1$, 则最终清洁部门研发相对利润更高,科研人员会持续转移。只要初始环境水平 $\bar{S}$ 足够高,不会因为资源的耗竭出现环境灾难,随着可耗竭资源价格的上升,出现环境的库兹涅茨拐点,科研人员会最终全部转移到清洁技术研究部门,实现清洁生产并避免发生环境灾难。

完全依赖可耗竭性资源的价格调控是存在问题的。一方面,因为资源的总规模较大和消耗速度的不确定性,使得可耗竭性资源价格变动的速度不能确定,则科研人员全部转向清洁技术部门的时间难以判断;另一方面,可耗竭资源性价格的不断提高是因为可耗竭资源的不断减少,如果不加以控制,且资源总量不能足够大,可耗竭性资源可能趋向枯竭,仍然不能避免出现环境灾难。因此,碳排放权交易或“碳税-资助”政策仍不可或缺。在(54)式中,可知价格效应可以通过碳排放权交易制度修正形成一个综合的影响,通过对碳排放权交易的控制,来控制转向清洁技术的时间和速度,进而控制碳排放总量的减排速度。具体碳排放政策的设定可以通过前文的分析方式得到不同情形下新的角点解,使得碳排放的各种变量依据可耗竭资源的价格进行最优的修正。

最后,分析帕累托最优的社会计划者行为。可以将(51)、(52)和(53)式相应替换原函数后重复前文中的求解过程,令 m_t 表示(50)式的拉格朗日乘数,修正原来的拉格朗日函数,其中因为(53)式的修改不存在碳税的问题,改为可耗竭资源的资源税,通过约束条件下的效

用函数最大化的分析,可利用影子价格的求得最优税率为:

$$\tau_t = \frac{C_t^\sigma}{p_n \phi(S_t)^{1-\sigma}} \left[(1+\rho)^t m_\infty - \sum_{v=t+1}^{\infty} \frac{R_v}{(1+\rho)^{v-t}} \cdot \frac{\phi(S_v)^{1-\sigma}}{C_v^\sigma} \cdot \frac{dc(Q_v)}{dQ_v} + \frac{\xi_n}{1+\rho} \sum_{v=t}^{\infty} \left(\frac{1+\delta}{1+\rho} \right)^{v-(t+1)} \frac{C_v^{1-\sigma}}{\phi(S_v)^\sigma} \cdot \frac{d\phi(S_v)}{dS_v} \right] \quad (55)$$

(55)式中: m_∞ 表示 $t \rightarrow \infty$ 时资源的影子价格,且 $m_\infty > 0$ 。

由(55)式可知, τ_t 和 p_n 负相关, p_n 越高则使用可耗竭资源的成本越高,机会成本越大,税率则下降。在长期,当 $p_n \rightarrow \infty$ 时则 $\tau_t \rightarrow 0$,但依靠 p_n 的调节是一个非常缓慢的过程,而且 $p_n \rightarrow \infty$ 时则可耗竭资源也趋向枯竭,所以碳排放权交易依然是一种有效的制度选择。当 $\tau_t > 0$ 时,则政府应该对耗竭性资源征收资源税,解决耗竭性资源带来的环境负外部性问题,同样可根据(36)式的形式给予清洁部门研发资助解决知识正外部性的问题。前面分析的三种碳排放权交易制度均对“碳税-资助”具有一定替代性。具体而言,可以运用(55)式和前文的计算方式,调整碳交易政策的相关函数,如第一种制度中的 θ_t 、第二种制度中的 p_{gt}^e 、第三种制度中的 θ_t 、 p_{ct}^s 和 p_{dt}^s 等值的选择和确定,都必须根据 p_n 进行修正。实际上,可耗竭资源仅作为 D 部门的生产要素,征收的资源税和前文中碳税的经济效应是一致的,均增加了 D 部门的生产成本并降低了利润。相对而言, C 部门获得更多的相对利润导致科研人员向其转移。资源税的征收标准依赖于(55)式中众多参数,进而影响到碳排放权交易中相关政策的制定,所以对于参数的估计非常重要。因此,可以总结得到命题4。

命题4:长期而言,在初始资源规模足够大的条件下,可耗竭资源的价格可以引致科研人员转向清洁技术研发,但可耗竭性资源也将趋向枯竭;在一定时期内,碳排放权交易的干预程度可以根据可耗竭资源的价格重新调整,加快转向清洁技术研发的速度,控制可耗竭资源的消耗程度以减少碳排放和恢复生态环境。

(二) 政策启示:谨慎的激励政策实践

碳排放权交易制度形成清洁技术偏向效应的分析过程依赖于较多严格的假设条件,但是在实践中仍然能带来一些较为有价值的启示。碳排放权交易制度在设计和实施中要采取非常谨慎的态度,要协调好与“碳税-资助”制度的关系,特别要注意以下几个方面的问题。

第一,实践中要注意参数的估计。在命题1中,影响决策的最关键参数是 φ 和 $\bar{\theta}$,其中 φ 值决定了碳交易制度的持续性和角点解的方程式,并设定 φ 由 ε 和 α 值决定。 ε 是两种中间产品的替代弹性,且设定为 $\varepsilon > 1$,反映了垄断竞争市场的特征。因为均衡得到一系列政策变量的取值与 ε 均存在着函数关系,所以 ε 的差异对政策产生的效果也会有显著的影响。例如,在AABH中 ε 分别选取3和10进行政策模拟,就得出了差异较大的结论;当 $\varepsilon \leq 1$ 时两部门产品是互补的关系,碳排放的 D 部门永远在市场中存在,则文中的结论完全不成立。 α 是中间投入生产的弹性系数,反映了中间产品对于生产的贡献率,同时也决定技术水平对生产的贡献率,可测定技术规模报酬递增的程度,而可耗竭资源价格的碳减排效应直接受到 α 中 α_1 和 α_2 的分配及 ε 值的影响。 $\bar{\theta}$ 值决定了碳排放的程度,间接反映了生产的技术水平和行业的能源消耗属性,在模型中简化为关于产出的碳排放系数,但在现实经济中没有绝对的清洁生产,不同的行业和技术水平下排放系数并不是固定的。另外,模型中其他众多参数

的估计值会因时间、行业、地区和国家的差异产生变化,进而对结论产生较大的影响。所以在政策决策之前,需要分开反复估计、政策模拟和不断调试,设计多套方案以应对参数测算中可能出现的估计偏差。

第二,实践中要注意政策的边界。在命题2和3中,无论从控制排放的角度,还是从清洁技术偏向的角度,碳排放权交易可以对“碳税-资助”制度进行部分或完全替代。如果在实践中因为参数估计的偏误和其他不确定性因素,导致决策函数关系式不能成立时,碳排放权交易制度和“碳税-资助”制度也可以是相互补充的关系,特别是在第三种制度中政府可以通过直接参与碳排放权交易的方式进行宏观调控。所以在决策时要明晰碳排放权交易的方式、目标和影响范围,要理清与“碳税-资助”制度的边界,如果没有协调好就很容易产生过度规制或规制不足的问题,进而会对资源配置产生扭曲并对经济增长产生负面的影响。另外,还要将碳交易制度和其他相关制度的边界区分开,如国际碳排放权交易制度、与碳关税和资源税相关的税收制度、与出口退税和科研专项资助相关的补贴制度、政府直接参与生态环境治理的措施、排放标准与惩罚制度等。总之,从清洁技术偏向的角度,控制碳排放的方式旨在提高清洁部门的相对利润,引导研究转向清洁技术研发,各种制度同时运行时,累计规制程度应在合理的控制范围之内,过犹不及。

第三,实践中要注意执行的过程。政策在制定、执行、监管、反馈、干预和调整等各运行环节,都必须有效才能达到预期效果。首先,要根据国家或地区的实际情况,如产业结构、要素禀赋、技术水平等,合理确定碳减排的目标和速度,选择适合的碳排放权交易制度,合理分配行业或企业的碳排放权。其次,成立与之相关的监督管理机构,制定交易规则,搭建交易平台,加强交易监管,完善交易制度,选择恰当的碳排放权定价机制;当中间机构参与交易市场时,监控卖方和买方价差,适时直接参与市场交易,监控二级交易市场,控制恶意资本投机。再次,当监控指标测算不能使得碳排放权交易完全替代“碳税-资助”制度时,应启动“碳税-资助”制度辅助碳排放控制,并注意与其他相关制度的规制边界,使之满足帕累托最优条件。最后,要通过评估交易和减排效果,测算各种参数的变化,来调整交易各环节中可能的偏差,并重新修正整个交易过程中的指标或制度,包括碳减排的目标和速度、碳排放权许可权的分配、碳排放权交易的定价机制和交易规制、碳排放权交易中政府的参与方式和其他辅助制度的调整等。总之,在整个交易过程中,通过对碳减排速度、碳排放权分配、碳市场干预等方面的管控,使之尽可能替代“碳税-资助”制度,并引导研发转向清洁技术,达到在不扭曲经济运行的条件下进行碳减排和恢复生态之目的。

五、结论

本文主要研究了碳排放权交易制度对清洁技术进步偏向的作用机制。根据碳排放权交易的参与主体差异分为纯市场交易、非市场交易和混合交易三种碳排放权交易制度。在自由经济竞争和可持续增长的条件下,通过将碳排放权交易的相关变量引入AABH模型的分析框架,建立了一个资源环境约束引致技术进步偏向的内生增长模型,分别从分散决策经济的竞争性均衡和集权经济的社会计划者帕累托最优的角度,讨论了这三种碳排放权交易制度引致转向清洁技术研究的条件和替代“碳税-资助”制度清洁技术偏向效应的可能性,及其碳减排或环境质量修复的动态路径,同时还探讨了可耗竭资源价格对动态均衡过程所产

生的影响。通过分析基本回答了引言中提出的几个问题,主要结论可概括为:(1)清洁部门和传统部门产品之间的替代弹性和中间产品的产出贡献率(两者决定了 φ 值)对清洁技术偏向有着重要的作用,决定着碳排放权的分配、制度的持续性和政府是否参与交易等方面的选择;(2)在一定条件下,如果交易只发生在厂商之间,仅能部分替代“碳税-资助”制度所产生的清洁技术偏向效应,如果政府部门参与碳排放权交易则可完全替代,包括碳排放权的初始拍卖和二级市场上的交易参与;(3)在长期可耗竭资源的价格持续增长可以达到完全的清洁技术偏向效应,为避免可耗竭性资源的枯竭,碳排放权交易可以依据该价格来调整政策变量,控制转向清洁技术研发的速度;(4)根据结论得出的政策启示强调了在制度实践中要注意重要参数的估计、政策工具边界控制和政策执行监控等方面的问题。

从全文的分析可知,庇古手段和科斯手段是环境治理的两大经济政策,在激励碳减排和技术偏向方面的主要区别为:一是碳排放权交易是通过产权界定的方式诱导厂商转向清洁技术创新,具有市场配置资源的优势,政府根据国情选择适合的碳排放权交易制度,能产生与“碳税-资助”相同的技术偏向效应;二是在碳排放权交易中,政府通过对碳排放权配额及价格的控制,便于调控碳减排的总量和速度,也会强制性地改变两部门的生产成本,所以该制度在碳减排方面具有更为刚性的影响,如果参数估计不当致使决策失误,将会严重地损害经济增长;而“碳税-资助”在此方面相对具有一定的弹性,因为厂商可能会将碳税进行税负转嫁,则会削弱政策对碳减排及技术偏向的影响;三是碳排放权交易是一种相对更为间接的作用机制,中间传导环节可能存在一些不确定性,而导致政策激励厂商转向清洁技术创新的路径出现偏差,如清洁生产厂商过度依赖碳排放权交易的收益而减缓技术创新的速度,传统生产厂商为避免损失将研发重点转向减碳技术和能源替代技术等,这样会增加其他污染物的排放;而“碳税-资助”对清洁技术创新具有更为直接的激励作用。总之,在实践中两种政策需要根据经济条件权衡或配合使用。

参考文献:

- 1.景维民、张璐,2014:《环境管制、对外开放与中国工业的绿色技术进步》,《经济研究》第9期。
- 2.王俊、刘丹,2015:《政策激励、知识累积与清洁技术偏向——基于中国汽车行业省际面板数据的分析》,《当代财经》第7期。
- 3.宣晓伟、张浩,2013:《碳排放权配额分配的国际经验及启示》,《中国人口·资源与环境》第12期。
- 4.张俊,2014:《导向性技术变迁与环境技术偏向——来自中国汽车行业的经验数据》,《工业技术经济》第3期。
- 5.Aalbers, R., V. Shestalova, and V. Kocsis. 2013. “Innovation Policy for Directing Technical Change in the Power Sector.” *Energy Policy* 63(3): 1240–1250.
- 6.Acemoglu, D. 1998. “Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality.” *Quarterly Journal of Economics* 113(4): 1055–1090.
- 7.Acemoglu, D. 2002. “Directed Technical Change.” *Review of Economic Studies* 69(4): 781–810.
- 8.Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn, and D. Hemous. 2012a. “The Environment and Directed Technical Change.” *American Economic Review* 102(1): 131–166.
- 9.Acemoglu, D., U. Akcigit, D. Hanley, and W. Kerr. 2012b. “Transition to Clean Technology.” NBER Working Paper 20743.
- 10.Aghion, P., A. Dechezleprêtre, D. Hemous, R. Martin, and J. V. Reenen. 2012. “Carbon Taxes, Path Dependency and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry.” *Harvard University and LSE*, mimeo.
- 11.Calel, R., and A. Dechezleprêtre. 2013. “Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market.” FEEM Working Paper, NO.22.2012.

12. Cramton, P., and S. Kerr. 2002. "Tradeable Carbon Permit Auctions: How and Why to Auction Not Grandfather." *Energy Policy* 30(4):333-345.
13. David, M., W. Eheart, E. Joeres, and E. David. 1980. "Marketable Permits for the Control of Phosphorus Effluent into Lake Michigan." *Water Resources Research* 16(2):263-270.
14. Dixit A. K., and J. E. Stiglitz. 1977. "Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity." *American Economic Review* 67(3):297-308.
15. Fischer, C., and R. G. Newell. 2008. "Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation." *Journal of Environmental Economics and Management* 55(2):142-162.
16. Gillingham, K., R. G. Newell, and W. A. Pizer. 2008. "Modeling Endogenous Technological Change for Climate Policy Analysis." *Energy Economics* 30(6):2734-2753.
17. Grimaud, A., and L. Rouge. 2008. "Environment, Directed Technical Change and Economic Policy." *Environmental and Resource Economics* 41(4):439-463.
18. Hassler, J., P. Krusell, and C. Olovsson. 2011. "Energy-Saving Technical Change." NBER Working Paper 18456.
19. Hemous, D. 2012. "Environmental Policy and Directed Technical Change in a Global Economy: The Dynamic Impact of Unilateral Environmental Policies." INSEAD Mimeo.
20. Hsieh, C., and P. J. Klenow. 2009. "Misallocation and Manufacturing TFP in China and India." *Quarterly Journal of Economics* 124(4):1403-1448.
21. Kossoy, A., and P. Guigon. 2012. "State and Trends of the Carbon Market 2012." *Annual Report*, World Bank.
22. Pottier, A., J. Hourcade, and E. Espagne. 2014. "Modelling the Redirection of Technical Change: The Pitfalls of Incorporeal Visions of the Economy." *Energy Economics* 42(1):213-218.
23. Ricci, F. 2007. "Environmental Policy and Growth when Inputs Are Differentiated in Pollution Intensity." *Environmental and Resource Economics* 38(3):285-310.
24. Rogge, K. S., M. Schneider, and V. H. Hoffmann. 2011. "The Innovation Impact of the EU Emission Trading System—Findings of Company Case Studies in the German Power Sector." *Ecological Economics* 70(3):513-523.

Carbon Emissions Trading System and Biased Clean Technology Effects

Wang Jun

(Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology;
Party School of CPC Shenzhen Committee)

Abstract: This paper establishes an endogenous economic growth model with resource and environment constraints induced biased technology by means of introducing the related variables of carbon emissions trading into the analysis framework of Acemoglu (2012a). Research suggests, key variables that carbon emissions trading system induced clean technology innovations are the elasticity of substitution between clean and dirty products (ε) and the contribution rate of intermediate products (α), which determines the distribution of carbon emission rights, the sustainability of the system and whether the government involved in trading, etc. The bias effects of clean technologies from carbon emissions trading system can completely substitute from the carbon taxes and subsidies institution which have to ask the government to participate in transaction process including the initial auction of carbon emission rights and the secondary market transactions. The sustainable growth of exhaustible resources' price can force manufacturers to make an innovation of clean technologies under some conditions. However, in order to avoid exhausting resources, carbon emissions trading can adjust policy variables to control the turning speed based on the price. We should pay more attention to the problems such as the important parameters estimation and policy tools boundaries and policy execution monitoring, etc.

Keywords: Carbon Emissions Trading System, Biased Clean Technology, AABH Model, Carbon Taxes and Subsidies

JEL Classification: H23, O33, Q55, Q58

(责任编辑:陈永清)