

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2015.117

王文军, 谢鹏程, 胡际莲, 等. 碳税和碳交易机制的行业减排成本比较优势研究 [J]. 气候变化研究进展, 2016, 12 (1): 53-60

王文军<sup>1</sup>, 谢鹏程<sup>1</sup>, 胡际莲<sup>2</sup>, 王乐<sup>1</sup>, 赵黛青<sup>1</sup><sup>1</sup> 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640;<sup>2</sup> 重庆三峡学院, 重庆 404000

**摘要:** 碳税和碳交易机制是控制温室气体排放的环境管理工具, 对工业行业的减排成本造成不同的影响。以污染控制政策的稳态总期望社会成本函数为基础构建碳减排成本函数, 比较碳税和碳交易机制下水泥行业减排成本, 发现影响两种环境管理工具成本的要素。以广东和山东水泥行业的实证数据进行模拟分析, 得到如下结论: 当碳价和碳税税率差距不大时, 由于碳交易机制需要较高的建设成本, 碳税更具成本优势; 短期内, 由于减排技术投入成本较高, 与强制性的行政管理手段相比, 碳交易机制更具成本效益; 碳价、碳税税率、最佳可获得技术的价格、企业预期、碳交易建设与管理成本都会影响碳交易机制和碳税在减排成本上的比较优势。建议设计互补型碳排放管理政策组合, 使碳税和碳交易机制发挥各自的制度优势。

**关键词:** 碳交易机制; 碳税; 减排成本; 水泥行业; 广东省

## 引言

应对气候变化、控制温室气体排放是全球共同面临的重大挑战。温室气体排放管理的政策工具多种多样, 碳税(或名气候变化税, CT)和碳排放权交易机制(简称碳交易机制, ETS<sup>①</sup>)是各国应用最广泛的环境管理手段, 分属现代市场经济中的财政和金融领域<sup>[1]</sup>, 在环境管理效果和管理成本方面各具优势。中国从2006年就开始围绕着碳税开征的必要性和可行性、税制设计等方面展开研究, 2013年3月, 财政部完成了《中华人民共和国环境保护税

法(送审稿)》<sup>[2]</sup>, 拟将现行排污收费改为环境保护税, 并对CO<sub>2</sub>排放征收环境保护税。同时, 碳排放权交易机制作为中国创新环境管理手段的新机制已经在部分地区开始试点运行, 截至2014年6月底, 中国7个碳排放权交易试点省已经全部完成ETS方案设计, 并上线交易。按照国家发改委《关于建立全国碳排放权交易市场的基本情况和工作思路》<sup>[3]</sup>的进度安排和《中美元首气候变化联合声明》<sup>[4]</sup>提出的全国碳排放交易体系启动计划, 从2016年起ETS将逐渐从试点地区推广到全国, 计划2017年启动全国碳排放交易体系。由于同时运用碳税和ETS可能存

收稿日期: 2015-06-12; 修回日期: 2015-10-10

资助项目: 教育部人文社会科学研究规划项目“碳税与碳交易机制的行业管理优势与效率研究”(15YJAZH024); 广东省自然科学基金项目(2014A030313671); 国家科技支撑计划子课题(2012BAC20B12-06)

作者简介: 王文军, 女, 副研究员, wangwj@ms.giec.ac.cn; 赵黛青(通信作者), 女, 研究员, zhaodq@ms.giec.ac.cn

①由于碳排放权交易机制(ETS), 清洁发展机制(CDM)和联合减排机制(JI)属于《京都议定书》下3种灵活减排机制, 都可以称之为碳交易机制, 本文讨论的是碳排放权交易机制, 即ETS, 为简洁起见, 将ETS简称为碳交易机制。

在双重管制问题<sup>[5-6]</sup>, 中国未来碳排放管理如何走向, 争论非常激烈。

在减排温室气体的同时保持经济持续稳定的增长、最大程度降低社会福利损失, 是衡量环境保护政策有效性的重要指标。国际相关实证研究表明, 碳税和ETS的成本优势并非一成不变, 不同时空条件下存在较大差异。本文选择典型行业, 通过对碳税和ETS的成本有效性进行测算, 明确两种环境管理工具的效用范围和关键要素, 为中国未来设计多层次的环境保护制度提供政策参考。

## 1 国内外有关碳税和ETS的讨论

作为环境管理手段, 无论征收碳税还是实施碳交易, 都会对企业的生产、地区的经济发展速度和结构平衡产生一定影响, 为避免对企业造成双重管制, 国际上主要以单独碳税或ETS实行碳排放管理。碳税主要在北欧国家实行, 芬兰、荷兰、挪威、瑞典及丹麦从20世纪90年代开始征收碳税, 英国(2001年)、日本(2002年)、澳大利亚(2011年)等国也陆续建立了本国的碳税制度。2005年启动了全球最大欧盟排放交易体系(EU-ETS), 覆盖欧盟27个成员国。加拿大魁北克省、日本东京都、美国加州、韩国等国家和地区也开始着手建立ETS。除单独运用碳税和碳交易两种环境管理机制外, 一些国家和地区还将碳税和碳交易综合起来建立复合型环境管理机制, 比较典型的是英国、挪威和德国。英国对参与碳交易的企业给予碳税减免, 挪威碳税覆盖的CO<sub>2</sub>占到国内排放的68%, 参与EU-ETS的企业CO<sub>2</sub>排放占全国的35%~40%<sup>[7-8]</sup>。碳税、碳交易和复合型环境管理机制各有利弊, 不同的国家或地区、不同经济发展阶段、机制的环境管理效果及对实体经济的影响各不相同。

国内外学者对碳税的经济和环境影响已经进行了大量有益的探索, ETS的宏观影响评价以国外研究为主, 这些研究基础为进一步研究碳税和ETS在不同地区的环境管理绩效提供了宝贵的信息。中国较早提出利用碳税来控制CO<sub>2</sub>排放造成的各种宏观影响的是张中祥等<sup>[9]</sup>, 他们分析了征收碳税对能源

消费、CO<sub>2</sub>排放及能源价格的影响; 樊明太等<sup>[10]</sup>建立了环境目标与环境投资的模型, 探讨了中国在减少5%、10%和20% CO<sub>2</sub>排放时需要征收的碳税及其长期和短期的影响, 同时分析了在不同情景下征收碳税时CO<sub>2</sub>减排的成本; 高鹏飞等<sup>[11]</sup>认为征收碳税降低CO<sub>2</sub>排放将使中国经济状况恶化; 王金南等<sup>[12]</sup>认为低税率的碳税方案对中国的经济影响极为有限; 苏明等<sup>[13]</sup>运用CGE模型, 从静态和动态角度分别对碳税税率为10元/t、20元/t、30元/t、40元/t、70元/t的CO<sub>2</sub>排放以及各行业的产出及价格做了预测与评价, 为研究开征碳税问题提供了科学有效的数据分析支撑。

国外针对ETS环境管理绩效方面的评价主要集中在ETS对企业竞争力的影响和行业冲击方面, 主要侧重于企业生产成本影响分析, 研究方法以多元线性回归和局部均衡模型等工具为主。Oberndorfer等<sup>[14]</sup>对ETS给企业竞争力带来的影响评价文献进行了综述, 发现实施碳排放管理对企业的竞争力和创造力并没有造成显著影响; Demailly等<sup>[15]</sup>利用均衡模型量化分析了EU-ETS对欧盟钢铁企业的竞争力影响, 发现对企业整体竞争力的影响甚微; Jeff等<sup>[16]</sup>从管理成本、履约成本等方面对碳税和ETS进行了比较评价, 发现ETS在管理成本上并不具有普遍优势; Zhang等<sup>[17]</sup>对近期有关EU-ETS的运行机制和经济影响的研究进行了整理。

## 2 基本假设与算式构建

在以上研究基础上, 本文以污染控制政策的稳态总期望社会成本函数为基础<sup>[18-19]</sup>, 选择中国处于ETS内外的同行业同规模的企业(如广东和山东日产4000 t新型干法水泥窑)为研究样本, 构建减排成本函数, 对企业超排行为征收碳税或实行ETS管理的减排成本进行测算, 并比较两种不同的环境管理制度下的社会减排成本高低。

### 2.1 基本假设

(1) 在完全竞争的市场里有两个企业 $X_1$ 和 $X_2$ , 企业具有同质性特征, 即: 相同行业、同等规模、相

同减排潜力、面临相同的碳排放约束。 $X_1$ 和 $X_2$ 有相同碳排放量 $E^0$ 和碳排放总量上限 $A$ , 即 $E_{X_1}=E_{X_2}$ 。

(2) 政府要求 $X_1$ 和 $X_2$ 将碳排放量控制在碳排放上限内, 但企业的实际碳排放量 $E$ 高于其排放上限 $A$ , 有 $E_{X_1}=E_{X_2}>A$ 。

(3)  $X_1$ 所在地区实行了ETS, 由政府规定碳排放总量并免费发放碳排放配额<sup>②</sup>, 如果企业的碳排放量大于碳排放上限(又称碳排放配额总量)时,  $X_1$ 可以选择进行自主减排, 使碳排放量减少到碳排放上限以内, 有 $E_{X_{11}}=A$ , 也可以选择从市场上购买其他企业的配额来抵消超额碳排放量 $a$ , 使 $E_{X_{12}}=A+a$ 。

(4)  $X_2$ 所在地区实行的是碳税制度<sup>③</sup>, 在碳排放上限以内的排放量不征税, 但如果碳排放超过政府规定的碳排放上限, 需要按照固定税率 $t$ 对超排部分缴税,  $X_2$ 可以通过增加减排投入或减少产量将碳排放量 $E_2$ 控制在 $A$ 以内, 有 $E_{X_{21}}=A$ , 在缴纳碳税仍能保持正常利润的条件下,  $X_2$ 选择继续生产和排放, 同时为多排部分纳税, 此时有 $E_{X_{22}}=A+a$ 。由此可见, 当企业选择在碳排放上限内进行生产和排放时, 碳税和ETS对企业的影响是无差异的; 当企业超排生产时,  $X_1$ 和 $X_2$ 的超排量均为 $a$ 。

(5) 不同的超额排放情景下, 企业的减排成本存在差异。当企业碳排放量 $E^0$ 超过排放上限 $A$ 时, 企业开始采取减排行动。设企业的减排量在达到 $L$ 之前, 边际减排成本(MC)处于递减阶段, 与 $L$ 相对应的碳排放量为 $B$ , 此时有 $A<E\leq B$ ,  $MC(E)\leq MC(B)$ , 根据价格形成原理, 此时有碳价 $P>\frac{\partial TSC(Q_A)}{\partial Q_A}$ , 式中 $TSC$ 表示减排总成本,  $Q_A$ 表示 $(E-A)$ 部分的碳排放量; 此时购买碳排放配额的成本高于减排成本, 企业 $X_1$ 和 $X_2$ 都选择增加减排投入来减少碳排放量。当企业减排量超过 $L$ , 边际减排成本递增, 此时

碳排放量 $E>B$ , 有碳价 $P<\frac{\partial TSC(Q_B)}{\partial Q_B}$ ,  $Q_B$ 表示 $(E-B)$ 部分的碳排放量, 减排成本高于购买成本, 处于ETS下的 $X_1$ 选择购买配额来抵消碳排放量; 碳税制度下的 $X_2$ 通过比较碳税税率和边际减排成本高低做出选择: 通过继续减排或减产降低碳排放量追求碳排放达标, 还是缴纳碳税。

(6)  $X_1$ 进入ETS必须支付系统建设和管理成本 $T(m)$ , 包括碳排放量监测系统和设施费用、新增劳动力成本和交易税费3项;  $X_2$ 长期处于行政管理规则下, 不需要支付额外的系统建设费用。

## 2.2 两种碳排放管理机制下的企业减排成本算式构建

### 2.2.1 ETS下的企业减排成本函数

根据基本假设条件, 企业的减排成本函数由3部分构成: ETS系统建设管理成本、进行减排技术改造所支付的费用和购买配额所付出的成本, 总减排成本函数为:

$$\begin{aligned} TSC(C, P) &= I + L + F(a) + \int_A^B C(E_1 - A) dG_C(E_1) + \\ &P \int_B^\infty (E_2 - B) dG_P(E_2) \\ &= T(m) + T(e_1) + T(e_2). \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $TSC(C, P)$ 表示在配额价格为 $P$ 的情况下, 企业联合运用减排技术和购买配额来完成政府碳排放管理任务时的总期望减排成本。 $T(m) = I + L + F(a)$ 表示企业加入ETS所支付的系统建设成本, 其中:  $I$ 为建立碳排放量监测系统和设施费用;  $L$ 为进行碳排放权交易和管理工作增设的劳动力成本;  $F(a)$ 为企业购买碳排放权配额所支付的交易税费,  $F$ 是配额购买量 $(E_2 - B)$ 的函数。 $C$ 表示单位减排成本。 $E_1$ 和 $E_2$ 分别代表企业在边际减排成本递减区间和递

②样本企业的碳排放量可能因为生产工人的熟练程度和设备新旧程度不同有细微的差异, 这里为简化计算, 对这部分细微差异忽略不计。

③中国7个ETS试点地区大部分采取配额免费发放的方式, 欧美等国在ETS实行之初也采取了从免费配额逐渐过渡到有偿配额的发展路径, 给企业一定的适应期, 目前欧美国家仍然有一部分竞争力可能受到ETS影响的企业获得免费配额。本文参照中国7个ETS试点地区的设计架构, 假设碳排放配额免费分配给 $X_1$ 和 $X_2$ 。

④碳税税率在各国差异较大, 从荷兰每吨二氧化碳0.4欧元到瑞典37.9欧元不等。中国尚未实行碳税制度, 考虑到中国还是发展中国家, 企业需要一段时间逐渐适应碳税这一新的税种, 同时也为了与ETS更具可比性, 这里参照中国现行个人所得税法, 假设企业碳排放量没有达到政府的限额标准时不予征收碳税, 如果碳排放超过政府规定的总量标准, 按照一定税率征收, 为清楚比较碳税和ETS的成本优势, 假设碳税为固定税率, 碳价在短时期内相对稳定。

⑤由于此处假设样本企业具有同质性, 碳排放量相等, 以下凡涉及碳排放量 $E$ 的表述都不再区分企业,  $E_{X_1}=E_1$ ;  $E_{X_2}=E_2$ 。

增区间的碳排放量。 $T(e_1)$ 代表 $X_1$ 在边际成本递减阶段,为减少碳排放所投入的技术改造成本。 $T(e_2)$ 表示 $X_1$ 在边际减排成本递增阶段,为抵消 $(E_2 - B)$ 部分的碳排放量所支付的购买成本。式中 $dG_C(E_1)$ 和 $dG_P(E_2)$ 分别代表了两种排放量在一个履约期内出现的概率。

### 2.2.2 碳税机制下的企业减排成本函数

在碳税政策下,企业无需支付ETS建设成本,也不能从市场上购买配额,其减排成本完全取决于固定税率 $t$ 和超过限额 $A$ 的碳排放量规模。 $E_1$ 和 $E_2$ 分别代表企业在边际减排成本递减区间和递增区间的碳排放量。同理,当企业处于边际减排成本递减区间时选择自主减排,处于边际减排成本递增区间时,由于无配额可购买只能选择缴纳碳税。总减排成本函数为:

$$\begin{aligned} TSC(C, t) &= \int_A^B C(E_1 - A) dG_C(E_1) + \\ & \quad t \int_B^\infty (E_2 - B) dG_P(E_2) \\ &= T(e_1) + T(e_3). \end{aligned} \quad (2)$$

由2.1节基本假设(1)、(5)可知,当企业的减排量达到拐点 $L_1$ 之前,企业的边际减排成本处于递减阶段,企业采取节能措施通过挖掘内部减排潜力从而减少碳排放量;当企业的减排量超过拐点 $L$ 时,企业的边际减排成本处于递增阶段,企业必须缴纳碳税 $T = t \times (E_2 - B)$ ,即 $T(e_3)$ 。

### 2.2.3 碳税和ETS下企业减排成本函数比较与转换

在减排量达到拐点 $L$ 之前,企业选择自主减排成本更低,碳税和ETS下的企业都选择自主减排行动,由于企业的同质性, $X_1$ 和 $X_2$ 具有相等的减排费用 $T(e_1)$ ;当减排量超过拐点 $L$ ,企业需要在自主减排、购买配额或缴纳碳税之间权衡。在ETS下,企业需要比较碳价与单位减排成本的高低;在碳税机制下,企业需要比较碳税税率与单位减排成本的高低。由于决定碳价和碳税高低的驱动因素不一样,因此有 $T(e_2) \neq T(e_3)$ 。

为便于计算,本文将减排函数转换为生产函数,过程如下:

$$\begin{aligned} TSC(C, P) &= T(m) + T(e_1) + T(e_2) \\ TSC(C, t) &= T(e_1) + T(e_3) \end{aligned}$$

又:企业总生产集为 $Y = A(K_A) \cdot f(K_P)$ ,  $A(K_A)$ 代表生产技术水平,  $f(K_P)$ 表示在既定技术水平下的产出水平,  $Y$ 表示在不同生产技术水平下的产出水平。在本文中 $Y$ 是给定的外生变量。 $T(m) = \alpha Y$ ;  $T(e_1) = \beta_1 Y$ ;  $T(e_2) = \delta Y$ ,  $T(e_3) = \beta_2 Y$ 。

当 $E \leq B$ 时,样本企业的减排成本函数分别为:

$$\begin{aligned} TSC(X_1) &= (\alpha + \beta_1) Y = (\alpha + \beta_1) A(K_A) \cdot f(K_P), \\ & \quad 0 < \alpha + \beta_1 < 1, \text{ 且 } \alpha > 0; \end{aligned} \quad (3)$$

$$TSC(X_2) = \beta_1 Y = \beta_1 A(K_A) \cdot f(K_P), \quad 0 < \beta_1 < 1. \quad (4)$$

当 $E > B$ 时,样本企业的减排成本函数分别为:

$$\begin{aligned} TSC(X_1) &= (\alpha + \beta_1 + \delta) Y = (\alpha + \beta_1 + \delta) A(K_A) \cdot f(K_P), \\ & \quad 0 < \alpha + \beta_1 + \delta < 1; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} TSC(X_2) &= (\beta_1 + \beta_2) Y = (\beta_1 + \beta_2) A(K_A) \cdot f(K_P), \\ & \quad 0 < \beta_1 + \beta_2 < 1. \end{aligned} \quad (6)$$

由企业同质性可知,两个企业在边际减排成本递减阶段具有相同的减排成本,故

$$\begin{aligned} TSC(X_1) &= (\alpha + \delta) Y = (\alpha + \delta) A(K_A) \cdot f(K_P), \\ & \quad 0 < \alpha + \delta < 1; \end{aligned} \quad (7)$$

$$TSC(X_2) = \beta_2 Y = \beta_2 A(K_A) \cdot f(K_P), \quad 0 < \beta_2 < 1. \quad (8)$$

得到,当企业受到的碳排放约束较松,且减排潜力较大时,企业边际减排成本将长期处于递减阶段,参与碳交易的企业不仅要支付减排成本,还需要额外支付系统建设成本,碳交易将会给企业和社会带来额外的交易成本,有 $TSC(X_1) > TSC(X_2)$ 。

当企业边际减排成本处于递增阶段时,ETS和碳税的减排成本需要对ETS管理系数 $\alpha$ 、企业技改系数 $\beta_2$ 和ETS交易系数 $\delta$ 的大小进行比较。当 $\alpha + \delta > \beta_2$ 时,碳税具有成本优势,反之ETS具有成本优势。需要结合具体行业进行分析。

## 3 边际减排成本递增下碳税和ETS的成本优势比较:以粤鲁水泥行业为例

广东和山东省在十二五期间将分别面临19.5%和18%的减排目标,属于I类高强度减排地区;广东水泥行业( $X_1$ )被纳入ETS,山东是非ETS试点

省, 山东水泥行业 ( $X_2$ ) 必须通过挖掘自身减排潜力完成减排任务。两省的水泥熟料企业都以立窑和新型干法水泥窑 (NSP) 为主。由表 1 可知, 粤鲁水泥行业满足上述有关企业同质性的假设条件。

### 3.1 基本情况与原始数据

水泥熟料的碳排放主要来自能源利用的  $\text{CO}_2$  排放和石灰石煅烧过程中碳酸钙 ( $\text{CaCO}_3$ ) 受热分解  $\text{CO}_2$  排放。由于碳酸钙分解产生的碳排放是由化学反应方程式决定的, 除非改变生料质量, 否则减排潜力不大。生产过程中的煤耗和电耗排放约占熟料总排放的 40%, 是节能减排的关键环节, 这部分的减排措施主要采取窑炉改进和建设低温余热发电设施<sup>[23]</sup>。表 2 列出了企业进行  $\text{CO}_2$  减排的主要成本数据。

### 3.2 计算结果

在产业政策下,  $X_1$  和  $X_2$  都必须采取以 NSP 替代

立窑生产线措施, 由表 1 可知,  $X_1$  和  $X_2$  分别需要增加 4000 t/d NSP 生产线 30 条和 26 条, 由于窑型改进受到行政管理驱动, 无论是否加入 ETS, 企业都必须支付技术改造成本, 故将这部分技术改造成本视为企业在边际减排成本递减阶段所支付的自愿减排成本  $T(e_1)$ , 即  $MC(E) \leq MC(B)$  部分的减排成本。要达到政府对水泥行业的减排要求,  $X_1$  和  $X_2$  分别需减排 235 万 t  $\text{CO}_2$  和 205 万 t  $\text{CO}_2$ , 即  $X_1$  和  $X_2$  分别还需要减排 205 万 t  $\text{CO}_2$  和 175 万 t  $\text{CO}_2$ 。为便于比较, 统一按照 200 万 t  $\text{CO}_2$  计算。这部分减排支出属于非政府强制技术改造部分, 故将此视为企业在边际减排递增阶段支付的减排成本  $T(e_2)$  和  $T(e_3)$ , 即  $MC(E) > MC(B)$  部分的减排成本。由假设可知, 在边际减排成本递增阶段, 碳价低于单位减排成本, 故  $X_1$  会从碳市场中购买 205 万 t 的碳排放权配额来满足减排要求,  $X_2$  需要缴纳碳税。鉴于中国目前尚无碳税制度, 本文参考国家发改委价格司在 2014 年发布的《关于调整排污费征收标准等有关问题的通

表 1 样本企业基本情况

Table 1 Basic status of sample enterprises

样本	到 2015 年碳排放量 / 万 t		单位碳排放 / (t $\text{CO}_2$ /t 熟料)		2010 年技术水平比例 / %		2015 年技术水平比例 / %		需新上的 NSP / 条
	基准情景 (BAU)	碳约束	2010 年	2015 年	NSP	立窑	NSP	立窑	2015 年
$X_1$	8918	8682	0.816*	0.753	58	41	100	0	30
$X_2$	8089	7884	0.825*	0.753	60	39	100	0	26

注: (1) \* 表示单位碳排放 = (NSP 产能在全省水泥产能中所占比例)  $\times$  0.808 t  $\text{CO}_2$ /t 熟料 + (立窑产能在全省水泥产能中所占比例)  $\times$  0.8275 t  $\text{CO}_2$ /t 熟料。

(2) 需新上的 NSP 生产线条数 = (规划产能 - 2010 年 NSP 产能) / (4000  $\times$  300), 即保证熟料产能达到规划目标时, 需要新增 4000 t/d 的新型干法水泥窑 (NSP) 生产线 (按一年运行 300 d 计算)。

(3)  $X_1$  的数据由广东省水泥协会提供的基础资料整理而得;  $X_2$  的数据来源于参考文献<sup>[20-22]</sup>。

表 2 减排技术成本与 ETS 建设成本

Table 2 Mitigation cost comparison between technical innovation and ETS construction

减排措施	技术成本	ETS 建设成本
改进窑	300 ~ 480 元 / t 熟料	2.5 万元 / 家 / 年 (核查费用)
新建 NSP (2000 t/d)	230 ~ 260 元 / t 熟料	4.03 万元 / 人 / 年 (劳动力成本)
新建 NSP (4000 t/d)	260 ~ 280 元 / t 熟料	交易额的 3% (交易税费)
低温余热发电	848 万元 / 年 (投资回收期 9 年)	

注: 劳动力成本按照广东省 2010 年城镇单位在岗职工年平均工资计算, 核查费用由碳排放权交易的试点省市调研得到, 表中技术成本项下表示日产水泥吨数。技术成本来源于参考文献<sup>[24]</sup>。

知》<sup>[25]</sup>中对CO<sub>2</sub>和氮氧化物的征收标准(1.2元/污染物当量),结合国外碳税征收标准,将碳税税率设为40元/t CO<sub>2</sub>。碳价取中国7个碳交易试点地区CO<sub>2</sub>交易价格(均价30元/t CO<sub>2</sub>当量)。

根据《广东省碳排放权交易试点工作实施方案》和《广东省水泥工业发展专项规划》,2010年能源消费量超过1万t标煤的水泥熟料企业有230家,设每家企业为参与碳交易,将新增专职岗位1个;鉴于碳排放权交易试点机制运行时间为5年(2011—2015年),故在计算ETS的成本时,皆以5年计算。建设成本 $T(m)$ 由表2计算得到ETS带来的制度成本:

$$T(m) = T(m_1) + T(m_2) = 0.76 \text{ 亿元},$$

$$T(e_2) = 200 \times 30 = 0.60 \text{ 亿元},$$

$$T(e_3) = 200 \times 40 = 0.80 \text{ 亿元}.$$

以广东某年产水泥500万t的企业为例,5年产值( $T_p$ )约为200亿元人民币,由2.2.3中有关系数转换方法,可以计算得到减排系数 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\delta$ 值,得到两省水泥行业在ETS管理和碳税政策下的减排成本系数值分别为:

$$\alpha = T(m)/T_p = 0.004; \beta_2 = T(e_3)/T_p = 0.004;$$

$$\delta = T(e_2)/T_p = 0.003.$$

得到 $\alpha + \delta = 0.007 > \beta_2 = 0.004$ ,即 $TSC(X_1) > TSC(X_2)$ 。

如果完全采取行政手段要求企业将碳排放量降低在限额 $A$ 以内,企业的减排成本系数值分别为:

$$\alpha = T(m)/T_p = 0.004; \beta_2 = T(e_3)/T_p = 0.104;$$

$$\delta = T(e_2)/T_p = 0.003.$$

得到 $\alpha + \delta = 0.007 < \beta_2 = 0.104$ ,即 $TSC(X_1) < TSC(X_2)$ 。

评估结果显示,当碳税税率与碳价差距不大时,与ETS相比,对水泥行业征收碳税更具成本效益,在本文假设的碳价和碳交易管理成本条件下,只有当碳税税率达到80元/t CO<sub>2</sub>,ETS才具有更高的成本效益。低温余热发电项目作为水泥企业最佳可获得减排技术,当实行强制性行政减排手段时,低温余热发电项目与ETS和碳税相比不具有成本优势。

## 4 结论与建议

在对不同环境管理手段的成本优势进行计算和比较时,如果将企业的减排成本根据管理工具的特点分解为不同减排环节的支出,可以省略相同部分,凸显出由于环境管理手段不同而引发的支出差异。在本文设定的碳税税率和中国现行试点ETS条件下,碳税和ETS在减排成本上的差异主要体现在以下方面。

(1) 系数 $\alpha$ 是ETS区别于碳税的重要因子,取决于企业的软实力和交易规模。购买配额数量越多,交易费用越高, $\alpha$ 值越大;企业软实力越强, $\alpha$ 值越小。一般而言,在碳交易建设初期,企业的制度和系统建设成本较大,随后逐渐减少,因此在计算 $\alpha$ 时,需要将碳交易体系建设成本进行分摊处理。在本文设定的 $T(m)$ 函数中,仅有交易税费 $F(E-B)$ 是变量,随着交易量的变化而波动,核查费用和劳动力成本相对固定。

(2) 在碳税和ETS中都涉及到技术改造系数 $\beta$ ,其大小取决于最佳可获得技术的商业化程度,如果最佳可获得技术的运行成本较低,则系数值也低。在企业边际减排成本递增阶段, $\beta$ 值的大小是决定其企业减排成本的一个关键要素。

(3) 在企业生产函数不变的情况下, $\delta$ 的大小取决于碳价的高低,在完全竞争市场上<sup>⑥</sup>, $\delta$ 是一个固定值,在不完全竞争市场上, $\delta$ 将随着碳价的波动而变化。

(4) 企业的边际减排成本曲线形状对ETS的经济性也有一定影响,如果边际减排成本曲线拐点( $L$ 点)出现较晚,则 $\beta_1$ 值变大, $\beta_2$ 和 $\delta$ 变小。

根据EU-ETS运行经验和中国ETS试点地区的建设方案,在以上三大要素中,碳价和减排潜力是决定ETS是否具有减排成本优势的两个关键因子。在两种极端情况下,ETS的减排成本比较优势分别处于完全无效和绝对有效的境地:第一,当碳价 $P$ 高于最昂贵的减排技术平均成本,或企业减排潜力趋于无穷大时,ETS在降低企业减排成本上不具有成

⑥这里的完全竞争市场包括产品市场、要素市场和碳市场。

本比较优势, 反而有可能会因为 ETS 的制度建设支出增加企业成本; 第二, 当企业在短期内无减排潜力, 或碳价  $P$  低于最廉价的减排技术平均成本时, ETS 在降低企业减排成本上具有完全的比较优势。但有可能损害企业创新减排技术的积极性, 从而影响低碳经济的可持续发展。

基于上述研究结论, 结合中国实施碳排放管理和低碳经济发展路径, 建议如下。

第一, 建设 ETS 时, 要特别注意对机制覆盖范围的研究。包括 EU-ETS 在内的现有 ETS 主要以企业碳排放量大小作为是否纳入 ETS 的重要指标, 甚至是唯一指标。以上分析显示, 企业的减排潜力强弱 (包括经济潜力和技术潜力) 是影响 ETS 成本优势的重要因素, 建议尽早在有关行业展开 ETS 有效性评估。

第二, 在对 ETS 试点工作进行效果评价时, 不仅要考虑碳市场的活跃程度和 ETS 系统建设的完整性, 还要从宏观层面评价 ETS 对地区低碳经济可持续发展能力的影响, 包括对创新技术的驱动、低碳技术的应用等。

第三, 在政府减排政策预期走向不明确的情况下, 企业可能更愿意选择加入 ETS 或缴纳碳税而非采用技术改造项目进行实质性的减排, 长此以往, 可能损害企业开发和运用低碳新技术的创新激情, 在技术-产业链的扩散作用下, 不利于低碳经济的持续发展, 建议尽快建立低碳发展的长效机制, 稳定公众预期。

第四, 设计环境管理政策组合, 充分发挥行政化的强制减排手段和市场灵活机制在不同领域的优势, 对减排潜力小的企业采取市场化手段进行管理, 对减排潜力大的企业实施行政化的强制减排措施, 在降低社会总体减排成本的同时, 促使低碳经济向纵深处发展。■

## 参考文献

- [1] 黄海燕. 应加快探索对碳交易和碳税的联合运用 [N]. 中国经济导报, 2012-3-3 (C03)
- [2] 国务院法制办公室. 关于《中华人民共和国环境保护税法 (征求意见稿)》公开征求意见的通知 [EB/OL]. 2015 [2015-06-11]. [http://www.gov.cn/xinwen/2015-06/11/content\\_2877863.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2015-06/11/content_2877863.htm)
- [3] 国家发展和改革委员会气候司. 关于推动建立全国碳排放权交易市场的基本情况和工作思路 [J]. 中国经贸导刊, 2015 (1): 15-16
- [4] 张樵苏. 中美元首气候变化联合声明 [EB/OL]. 2015 [2015-09-26]. [http://news.xinhuanet.com/politics/2015-09/26/c\\_1116685873.htm](http://news.xinhuanet.com/politics/2015-09/26/c_1116685873.htm)
- [5] 刘兰翠, 范英, 魏一鸣. 温室气体减排政策问题的研究综述 [J]. 管理评论, 2005, 17 (10): 467-53
- [6] 刘小川, 汪曾涛. 二氧化碳减排政策比较以及我国的优化选择 [J]. 上海财经大学学报, 2010 (4): 73-90
- [7] 朱荣苏. 碳税与碳交易的国际经验和比较分析 [J]. 金融发展评论, 2012 (12): 71-76
- [8] 刘伯酉. 碳税与碳交易: 比较、国际实践及启示 [J]. 金融纵横, 2013 (9): 36-39
- [9] 张中祥, 姚愉芳. 限制 CO<sub>2</sub> 排放的费用评估方法 [J]. 数量经济技术经济研究, 1994 (12): 62-66
- [10] 樊明太, 郑玉歆. 中国 CGE 模型: 基本结构及有关应用问题 (下) [J]. 数量经济技术经济研究, 1999 (12): 24-30
- [11] 高鹏飞, 陈文颖. 碳税与碳排放 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42 (10): 1335-1338
- [12] 王金南, 严刚, 姜克隽, 等. 应对气候变化的中国碳税政策研究 [J]. 中国环境科学, 2009, 29 (1): 101-105
- [13] 苏明, 傅志华, 许文, 等. 碳税的国际经验与借鉴 [J]. 环境经济, 2009 (9): 28-32
- [14] Oberndorfer U, Rennings K. Costs and competitiveness effects of the European Union Emissions Trading Scheme [J]. Eur Environ, 2007, 17 (1): 1-17
- [15] Demailly D, Quirion P. European Emission Trading Scheme and competitiveness: a case study on the iron and steel industry [J]. Energy Economics, 2008 (30): 2009-2027
- [16] Jeff P, Owen A D. Emission Trading Schemes: potential revenue effects, compliance costs and overall tax policy issues [J]. Energy Policy, 2009, 37 (11): 4595-4603
- [17] Zhang Y J, Wei Y M. An overview of current research on EU ETS: evidence from its operating mechanism and economic effect [J]. Applied Energy, 2010, 87 (6): 1804-1814
- [18] 安崇义, 唐跃军. 排放权交易机制下企业碳减排的决策模型研究 [J]. 经济研究, 2012 (8): 45-58
- [19] 张成, 陆扬, 郭路. 环境规制强度和生产技术进步 [J]. 经济研究, 2011 (2): 113-124
- [20] 毛紫薇, 王灿, 陈吉宁. 山东省水泥行业 CO<sub>2</sub> 减排关键技术的实施分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20 (3): 14-18
- [20] 山东省经济和信息化委员会. 山东省建筑材料工业“十二五”发展规划 [EB/OL]. 2011 [2011-11-27]. <http://www.sdetn.gov.cn/articles/ch00971/201111/1332725236362419.shtml>
- [22] 国家发展和改革委员会资源节约和环境保护司. 重点能耗行业能效对标指南 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009
- [23] 顾阿伦, 史宵鸣, 汪澜. 中国水泥行业节能减排的潜力与成本分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22 (8): 16-21
- [24] 《中国可持续能源实施“十一五”20%节能目标的途径与措施研究》课题组. 《中国可持续能源实施“十一五”20%节能目标的途径与措

施研究》[M]. 北京: 科学出版社, 2008

[25] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委办公厅关于开展碳排放权

交易试点工作的通知[EB/OL]. 2014 [2014-09-01]. [http://](http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201409/t20140905_624985.html)

[www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201409/t20140905\\_624985.html](http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201409/t20140905_624985.html)

## Analysis of the Relative Mitigation Cost Advantages of Carbon Tax and ETS for the Cement Industry

Wang Wenjun<sup>1</sup>, Xie Pengcheng<sup>1</sup>, Hu Jilian<sup>2</sup>, Wang Le<sup>1</sup>, Zhao Daiqing<sup>1</sup>

*1 Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;*

*2 Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404000, China*

**Abstract:** Both carbon tax and ETS are the environmental management tools to control greenhouse gas emissions, but they may bring different effects about mitigation cost for various industries. Building the GHGs mitigation cost function which based on the steady-state expect social cost function of pollution control policies, and employing it to compare the emission reductions cost of cement industry under the carbon tax or ETS to find the key influence factors for cutting cost. Taking Guangdong and Shandong provinces' cement industry as empirical example, the following conclusions can be conducted: when there is little difference between the carbon price and carbon tax rate, the carbon tax will be more cost effective than ETS, due to ETS's higher construction cost. In the short term, because the higher cost of emission reductions of using new technology under mandatory administrative rules, ETS is more cost effective. There are some key factors to impact enterprise's mitigation cost: carbon price, carbon tax rate, the price of the best available technology, enterprise anticipation, ETS construction costs, which will affect the comparative advantage of ETS and carbon tax on the emission reductions costs. At last, We suggest to design a kind of complementary carbon emission management policies, making the carbon tax and ETS play their respective advantages.

**Key words:** ETS; carbon tax; cost of emission reductions; the cement industry; Guangdong province