



边际 CO₂减排成本：来自上海工业部门替代影子价格估算的结果

X. 周^a✉, L.W. 范^b, P. Zhou^a✉

展示更多

大纲 | 分享 | 引用

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.009>
获得权利和内容

强调

- 我们估算了上海制造业CO₂排放的影子价格。
- 在实证分析中采用了多距离函数方法。
- 模型选择确实对影子价格估计有重大影响。
- CO₂影子价格与碳强度呈负相关。

抽象的

上海是中国最发达的城市之一，正在实施区域碳排放权交易试点。估算上海排放权交易计划所涵盖工业部门的 CO₂ 边际减排成本可为政府和参与企业制定合规政策提供有用的信息。本文采用多距离函数法估算上海工业部门 CO₂ 排放的影子价格。我们的实证结果表明，不同方法对影子价格估计的总体加权平均值介于 394.5 和 1906.1 之间。元/吨，说明模型选择确实对影子价格估计有显著影响。我们还确定了 CO₂ 排放的影子价格与碳强度之间的负相关关系，碳强度较高的重工业往往具有较低的影子价格。有人建议上海市政府采取多种措施完善碳市场，例如将参与行业/企业的边际减排成本作为初始分配碳排放配额的标准。

◀ 上

下 ▶

关键词

减排成本; CO₂排放量; 影子价格; 距离函数

1. 介绍

1.1。背景

国际社会呼吁共同努力减少全球二氧化碳 (CO₂) 排放，以减缓全球变暖。作为主要的 CO₂ 排放国之一，中国在 2009 年承诺减少其 CO₂ 以 2005 年为基准年，到 2020 年单位 GDP 排放量（即碳强度）下降 40-45%。随后，中国中央政府明确制定了到 2015 年碳强度比 2010 年降低 17% 的目标。为了实现国家减排目标，采取了多种政策，其中排污权交易被确定为重要的一环。具有成本效益的政策工具。2013 年以来，深圳、上海、北京、广东、天津、重庆、湖北等 7 个试点省市相继启动碳排放交易体系（ETS）。这些区域试点碳

市场被视为在中国建立全国性 ETS 之前必不可少的试验。在此背景下，对中国新兴的 ETS 进行相关研究具有政策和管理意义。政策边界问题，如限额设置、配额分配、监测、报告和核查制度、登记、碳泄漏和成本效益评估等，引起了研究人员的广泛关注（Chang and Wang, 2010; Yi et al., 2011, Zhou et al., 2013, Jiang et al., 2014, Wu et al., 2014, Zhang et al., 2014a, Zhang et al., 2014b）。这些早期研究主要从制度设计的角度进行，为政策制定者为中国 ETS 的发展提供了有益的建议。然而，本文旨在研究与中国的 ETS 相关的另一个关键问题，即 CO₂ 排放的边际减排成本。估算中国区域排放权交易试点范围内工业部门 CO₂ 排放的边际减排成本，可为地方政府和参与企业完善 ETS 运行规则和制定碳减排策略提供有价值的信息。本文以上海区域碳交易试点为例，估算 CO₂ 的边际减排成本（MACs）。多种影子定价方法涵盖的工业部门的排放量。

上海是最大和最发达的城市之一，常住人口 2350 万，国内生产总值 1.9 万亿元，2011 年能源消耗总量为 1.127 亿吨标准煤（TCE）（上海市统计局，2012，上海市统计局，2010–2012）。其区域试点 ETS（以下简称 SH-ETS）于 2013 年 11 月 27 日启动，截至 2014 年 6 月，SH-ETS 整体交易量已达 155 万吨，交易总额 6092 万元。SH-ETS 遵循三个基本原则，即通过政府引导的市场体系降低碳减排成本、以控制碳强度为目标、关注高碳排放或排放强度的行业。参与企业为钢铁、石化、化工、有色金属、电力、建材、纺织、造纸、橡胶、化纤等直接和间接 CO₂ 排放行业。2010/2011 年排放量不少于 2 万吨。此外，航空、港口、机场、铁路、商业、酒店、金融等第三产业中 2010–2011 年直接和间接 CO₂ 排放量不低于 1 万吨的企业也纳入该计划。在第一阶段，根据 2009–2011 年的 CO₂ 排放量，将 2013–2015 年的免费排放配额（表示为 SHEA）一次性分配给总共 197 家企业。分配过程综合考虑了产量的合理增长、前期采取的节能减排措施、产业发展阶段差异等因素。

在 SH-ETS 的运行中，一个现实的问题出现了：参与企业将如何以具有成本效益的方式履行其义务？公司经理将有意识地利用定量信息来合理化他们的决策并设计最佳的减排策略。SHEA 的市场价格和 CO₂ 的边际减排成本（MAC）排放量当然是他们需要的信息。通过比较 SHEA 和 MAC 的市场价格，企业管理者可以通过筛选候选政策选项列表做出更合理的商业决策，例如，一切照旧、通过技术投资减碳、购买 SHEA、出售 SHEA 和保留多余的 SHEA。从政府的角度来看，对 MACs 的良好理解可以帮助上海政府制定更合适的碳减排政策，例如估算的 MACs 可以作为通过排放配额分配进行碳定价的参考。只有通过合理定价，SH-ETS 才能将碳减排任务从 MAC 较高的生产单元转移到 MAC 较低的生产单元。

1.2。MAC 估计方法回顾

成本效益分析、动态优化模型、投入产出分析、计算一般均衡模型、综合评估模型和距离函数方法等替代方法已被用于估算 CO₂ 排放的 MAC。Zhang 和 Folmer（1998 年）的研究很好地回顾了评估碳减排成本的替代经济方法。在应用中，Chen（2005）使用 MARKAL-MACRO 模型估计了中国在一组碳减排政策情景下的 CO₂ 排放的 MAC，该模型是一种混合模型，它结合了广泛使用的名为 MARKAL 的能源部门优化模型和宏观经济模型名为宏。Klepper 和 Peterson（2006）通过考虑全球减排水平和能源价格之间的关系，应用计算一般均衡模型来驱动 CO₂ 排放的 MAC 曲线。Simões 等人。（2008）采用名为 TIMES_PT 的动态优化模型来推导葡萄牙能源部门在不同碳减排情景下的 MAC 曲线。这些估算方法侧重于减排项目、能源部门、一个国家甚至全世界发生的 MAC。

相反，Färe 等人，1993 年，Färe 等人，2005 年提出的距离函数方法通过使用影子价格的概念来近似 MAC。CO₂ 排放的影子价格可以解释为根据生产过程中放弃的良好产出增加 CO₂ 减少的机会成本。在估计影子价格时，距离函数法主要使用生产单位的投入量和产出量，这表明其数据要求相对适中。此外，距离函数方法在应用层面上非常灵活，可以应用于公司、行业甚至区域的案例（Boyd 等，1996，Coggins 和 Swinton，1996 年，Lee 等人，2014 年，Zhou 等人，2014b）。¹

在方法论上，距离函数方法可以看作是一个由一系列模型组成的分析框架。不受欢迎产生的影子价格源自距离函数与收入、成本或利润函数之间的二元关系，距离函数提供了投入与产出之间技术关系的表征（Färe 和 Grosskopf，2000 年）。然后可以使用参数或非参数效率模型来评估距离函数并计算影子价格（Zhou 等人，2014b）。沿着这个思路，Färe 等人。（1993）首先提供了一个公式，通过使用 translog Shephard 输出距离函数来表征环境生产技术来推导不良输出的影子价格。Turner（1994）开发了一个子向量 Shephard 输出距离函数来构建生产边界，并采用数据包络分析（DEA）来估算污染减排成本。博伊德等人。（1996）结合方向距离函数（DDF）和 DEA 来估计影子价格。Hailu 和 Veeman（2000）采用 translog Shephard 输入距离函数和确定性参数方法来计算影子价格。李等。（2002）通过扩展影子定价方法博伊德等人。（1996）通过考虑无效率因素。博伊德等人。（2002）提供了通过两种不同的 DEA 模型估算影子价格的替代程序。Färe 等人。（2005）通过确定性和随机参数计算方法应用二次 DDF 来估计影子价格。Vardanyan 和 Noh（2006）对不同的参数影子定价模型进行了比较，指出模型选择对影子价格估计有重大影响。² Leleu（2013）引入了混合 DEA 模型来解决非参数影子定价方法中的一系列方法论争论。罗德塞斯（2013）构建了一个新颖的 DDF 模型，该模型考虑了各种污染减少方案，以确定决策者成本最低的减排策略。李等。（2014）提出了一个综合分析框架，从经济和工程角度估算不良产出的影子价格。关于不良产出，许多研究，例如 Park 和 Lim（2009）、Lee（2011）、Lee 和 Zhang（2012）以及 Matsushita 和 Yamane（2012），都侧重于通过特定影子估算 CO₂ 排放的影子价格-定价方法作为对不同国家日益增加的碳减排压力的回应。

Zhou 等人最近的综述研究。（2014b）表明主要有三种类型的距离函数和两种类型的用于估计影子价格的计算模型。然而，到目前为止，还没有就不同方法的优越性达成共识。因此，在本文中，我们将采用多个距离函数和计算模型来估算上海工业部门的 CO₂ 排放 MAC。这样，我们可以提供关于 CO₂ 的 MAC 的更全面的估计 SH-ETS 涵盖的工业部门的排放量。还对来自不同模型的 MAC 估计进行了系统比较，以研究影子价格估计中的模型偏差问题。这种比较可能会产生关于选择实际使用的距离函数和计算模型的有趣见解。

本文的其余部分安排如下。第 2 节描述了本文采用的方法框架和计算模型。第 3 节介绍了使用的数据和从替代距离函数方法获得的经验结果。在第 4 节中，我们讨论了影子定价方法的模型选择问题，并研究了参与企业和上海市政府如何使用 CO₂ 排放的 MAC 来制定

减排策略和改进 SH-ETS。第 5 节总结了这项研究，并提出了一些政策建议。

2. 方法

影子价格估算的分析框架包括三个主要步骤，即通过距离函数构建环境生产技术、推导影子价格公式以及制定参数/非参数模型来计算影子价格。

2.1. 距离函数

考虑一个生产单位使用资本 (k)、劳动力 (l) 和能源 (e) 来共同生产良好的产出 (y) 和 CO₂ (b)。让 $x = (k, l, e) \in \mathcal{R}_+^3$ 和 $u = (y, b) \in \mathcal{R}_+^2$ 。联合生产过程可以用环境生产技术建模，可以用输出可能性集表示 $P(x) = \{u : x \text{ can produce } u\}$ 或输入要求集 $I(u) = \{x : \text{producing } u \text{ requires } x\}$ 。在多产出生产理论中，投入和好的产出通常被认为是可支配的，而（好的和坏的）产出被认为是弱可支配的（Färe 和 Primont, 1995 年）。可处置性强表明可以在不承担任何成本的情况下增加（或减少）投入（或良好的产出）。弱可处置性强加于良好产出和 CO₂ 排放的联合生产，即 $(y, b) \in P(x)$ and $0 \leq \theta \leq 1$ imply $(\theta y, \theta b) \in P(x)$ ，表明 CO₂ 排放量的减少是以良好产出的按比例减少为代价的。除非整个生产过程停止，否则不可避免地会产生 CO₂ 排放。此属性称为零联合性，可以表示为 $(y, b) \in P(x)$ and $b = 0$, then $y = 0$ 。在上海工业部门的案例中，由于上海-ETS 隐含的碳监管的存在，假设良好产出和 CO₂ 排放的弱可处置性和零联合假设是合理的。

环境生产技术可以完全用谢泼德或定向距离函数来表征。Shephard 距离函数有两个常用的版本，分别是 Shephard 输出和输入距离函数。在表征环境生产技术时，距离函数所体现的映射规则起着重要的作用。对于 Shephard 输出距离函数，其映射规则是在给定输入向量的情况下尽可能地扩展好输出和坏输出。Shephard 输入距离函数的映射规则是在给定输出向量的情况下尽可能地收缩输入。相比之下，DDF 更灵活，可以同时减少不良输出和扩大良好输出（Chung 等人，1997 年，Färe 等人，2005 年）。在数学上，Shephard 输出、Shephard 输入和定向输出距离函数可以分别表示为

$$\begin{aligned} D_o(x, u) &= \inf\{\theta : (u/\theta) \in P(x)\}; \\ D_i(u, x) &= \sup\{\delta : (x/\delta) \in I(u)\}; \\ \vec{D}_o(x, y, b; g_y, g_b) &= \sup\left\{\beta : (y + \beta g_y, b + \beta g_b) \in P(x)\right\} \end{aligned} \quad (1)$$

在等式中。(1), (g_y, g_b) 表示为 DDF 指定的方向向量，不同的方向向量意味着不同的映射规则。当期望同时扩大好输出和收缩坏输出时，常用的方向向量是 $(y, -b)$ 。关于不同距离函数的性质的更多讨论可以在 Zhou 等人中找到。(2014b)。

2.2. 影子价格推导和计算模型

距离函数与收入、成本或利润函数之间的对偶关系在推导不良产出的影子价格方面起着基础性作用（Färe 和 Grosskopf, 2000 年）。对于等式中给出的三个距离函数。(1)，应用拉格朗日方法和 Shephard 对偶引理，我们可以推导出不良产出影子价格的相应计算公式（Färe et al., 1993, Färe et al., 2005, Hailu and Veeman, 2000）

$$\begin{aligned} r_b &= r_y \cdot \frac{\partial D_o(x, u)/\partial b}{\partial D_o(x, u)/\partial y} \\ r_b &= r_y \cdot \frac{\partial D_i(u, x)/\partial b}{\partial D_i(u, x)/\partial y} \\ r_b &= -r_y \cdot \frac{\partial \vec{D}_o(x, y, b; g_y, g_b)/\partial b}{\partial \vec{D}_o(x, y, b; g_y, g_b)/\partial y} \end{aligned} \quad (2)$$

在哪里 r_b 和 r_y 分别是 CO₂ 排放和良好产出的影子价格。通常， r_y 假定等于其市场价格（Färe 等人，1993 年，Färe 等人，2005 年）。等式右边的分数表达式。(2) 表示两个输出之间的边际转换率。CO₂ 排放的影子价格可以解释为由强加弱可处置性引起的边际增量成本或 CO₂ 减排的机会成本（Färe 等人，1993 年，Färe 等人，2005 年），Zhou 等人，2014b）。

我们需要评估方程式中给出的距离函数。(2) 通过参数或非参数效率模型来估算 CO₂ 排放的影子价格（Zhou et al., 2014b）。参数模型使用预先确定的函数形式，例如 translog 或二次函数。参数模型的一个优点是距离函数是可微的，这有利于影子价格的估计和结果的解释。在应用中，Shephard 的输入或输出距离函数通常伴随着 translog 函数形式，而 DDF 常常与二次函数形式联系起来以满足平移特性。translog 和二次函数形式可以分别表示为

$$\begin{aligned} \ln D_o(x, u) &= \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln x_i + \sum_j \alpha_j \ln u_j \\ &\quad + \frac{1}{2} \sum_i \sum_{i'} \gamma_{ii'} \ln x_i \ln x_{i'} + \frac{1}{2} \sum_j \sum_{j'} \gamma_{jj'} \ln u_j \ln u_{j'} \\ &\quad + \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln x_i \ln u_j \quad i = k, l, y; \quad j = y, b; \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, \quad i \neq i'; \quad \gamma_{jj'} = \gamma_{j'j}, \quad j \neq j' \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \ln D_i(u, x) &= \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln x_i + \sum_j \alpha_j \ln u_j \\ &\quad + \frac{1}{2} \sum_i \sum_{i'} \gamma_{ii'} \ln x_i \ln x_{i'} + \frac{1}{2} \sum_j \sum_{j'} \gamma_{jj'} \ln u_j \ln u_{j'} \\ &\quad + \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln x_i \ln u_j \quad i = k, l, y; \quad j = y, b; \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, \quad i \neq i'; \quad \gamma_{jj'} = \gamma_{j'j}, \quad j \neq j' \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \vec{D}_o(x, y, b; g_y, g_b) = & \alpha_0 + \sum_i \alpha_i x_i + \alpha_1 y + \alpha_2 b \\ & + \frac{1}{2} \sum_i \sum_{i'} \mu_{ii'} x_i x_{i'} \\ & + \frac{1}{2} \gamma_1 y^2 + \frac{1}{2} \gamma_2 b^2 + \gamma_3 yb \\ & + \sum_i \mu_{i1} x_i y + \sum_i \mu_{i2} x_i b \\ i = & k, l, b; \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \neq i' \end{aligned} \quad (5)$$

方程式中的参数。(3)、(4)、(5)通常通过求解Aigner 和 Chu (1968)提出的线性规划模型推导出来，其中目标函数是最小化每个观测值到前沿的偏差之和。约束条件包括可行性、单调性、线性同质性或平移性以及函数形式的对称性。除了线性规划之外，我们还可以使用考虑随机误差并允许进行假设检验的随机计量经济学模型 (Färe 等人, 2005 年)。然而，计量经济学模型的使用通常需要更大的数据集，并且可能无法完全满足单调性 (Färe et al., 1993, Färe et al., 2005)。考虑到上海工业部门数据集的特点，在本文中我们将仅使用确定性线性规划技术来推导方程式中的参数。(3), (4), (5)。³相应的线性规划模型表示为

$$\begin{aligned} \text{Max } & \sum_n [\ln D_o(x^n, u^n) - \ln 1] \\ \text{s.t. } & \ln D_o(\cdot) \leq 0 \\ & \partial \ln D_o(\cdot) / \partial \ln y^n \geq 0 \\ & \partial \ln D_o(\cdot) / \partial \ln b^n \leq 0 \\ & \partial \ln D_o(\cdot) / \partial \ln x^n \leq 0 \\ & \sum_j \alpha_j = 1, \sum_j \sum_{j'} \gamma_{jj'} = \sum_i \sum_j \beta_{ij} = 0 \\ & \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \neq i'; \gamma_{jj'} = \gamma_{j'j}, j \neq j' \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_n [\ln D_i(u^n, x^n) - \ln 1] \\ \text{s.t. } & \ln D_i(\cdot) \geq 0 \\ & \partial \ln D_i(\cdot) / \partial \ln y^n \leq 0 \\ & \partial \ln D_i(\cdot) / \partial \ln b^n \geq 0 \\ & \partial \ln D_i(\cdot) / \partial \ln x^n \geq 0 \\ & \sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \sum_{i'} \gamma_{ii'} = \sum_i \sum_j \beta_{ij} = 0 \\ & \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \neq i'; \gamma_{jj'} = \gamma_{j'j}, j \neq j' \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_n [\vec{D}_o(x^n, y^n, b^n; 1, -1) - 0] \\ \text{s.t. } & \vec{D}_o(\cdot) \geq 0 \\ & \partial \vec{D}_o(\cdot) / \partial y^n \leq 0 \\ & \partial \vec{D}_o(\cdot) / \partial b^n \geq 0 \\ & \partial \vec{D}_o(\cdot) / \partial x^n \geq 0 \\ & \alpha_m - \alpha_k = -1; \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 \\ & \sum_i \mu_{i1} = \sum_i \mu_{i2} \\ & \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \neq i' \end{aligned} \quad (8)$$

除了参数模型外，非参数DEA方法也可用于计算不受欢迎产出的影子价格。作为一种成熟的效率评估非参数前沿方法，DEA 已被广泛用于评估碳排放绩效和研究有效分配 CO₂ 排放配额的策略 (Zhou et al., 2010, Zhou et al., 2014a, Wang et al. 等人, 2013a)。在估计不良产出的影子价格时，DEA 往往伴随着 DDF (Zhou et al., 2014b)。继Boyd 等人之后。(1996)，我们提出非参数 DEA 模型如下

$$\begin{aligned} \vec{D}(x, y, b; 1, -1) = & \max \beta \\ \text{s.t. } & \sum_{i=1}^k \lambda_i y_i \geq (1 + \beta) y^n \\ & \sum_{i=1}^k \lambda_i b_i = (1 - \beta) b^n \\ & \sum_{i=1}^k \lambda_i x_i \leq x^n \\ & \beta \geq 0; \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (9)$$

在哪里 y^n, b^n, x^n 是生产单位 n 的良好产出、CO₂ 排放量和投入向量，以及 λ_i 是强度变量。

在等式中。(9) CO₂ 排放约束上的等号反映了弱可处置性假设。在线性规划中，等式约束表明其对偶变量的符号不受限制，这就导致了 CO₂ 排放影子价格的自由符号。包括Hailu 和 Veeman (2001) 以及 Lee 等人在内的几位研究人员。(2002) 使用不平等约束 (\leq) 在不良输出上，它可以生成带有正号的影子价格估计。从理论上讲，不平等约束隐含地将不受欢迎的输出视为可能无法反映实际生产过程的输入。在文献中，不良产出的影子价格应该是负数还是正数也引起了争论 (Boyd 等人, 1996 年; Leleu, 2013 年)。正如博伊德等人所讨论的那样。(1996)，方程式中的第三个公式。(2) 可以计算为方程式中不良和良好输出约束的对偶变量之比。(9)。然

而，李等人。(2002)认为当Boyd 等人的方法时，共享相同边界点的观测值将具有相同的影子价格。（1996）被使用。因此，李等人。(2002)引入了一个无效率相关因子并将影子定价公式重新表述为

$$r_b = -r_y \cdot \frac{\partial \vec{D}_o(x, \sigma_y y, \sigma_b b; 1, -1) / \partial (\sigma_b b)}{\partial \vec{D}_o(x, \sigma_y y, \sigma_b b; 1, -1) / \partial (\sigma_y y)} \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_y}$$

(10)

在哪里 σ_y, σ_b 是无效率因素和 $\sigma_y/\sigma_b = (1 - \beta)/(1 + \beta)$.

总之，我们在距离函数的分析框架内描述了几种常用的影子定价模型。它们分别是（I）translog Shephard 输出距离函数方法（T-ODF），（II）translog Shephard 输入距离函数方法（T-IDF），（III）二次 DDF 方法（Q-DDF），和（IV）非参数 DDF 方法，它使用双变量并结合了无效率因素 (DEA-DDF)。接下来，我们将利用这些模型估算上海工业部门CO₂排放的影子价格。

3. 数据和结果

3.1。数据

本节估算2009-2011 年 SH-ETS 涵盖的所有工业部门的 CO₂排放影子价格。行业有钢铁、石化、化工、有色金属、电力、建材、纺织、造纸、橡胶、化纤等。⁴在我们的实证分析中考虑了资本、劳动力和能源这三种输入，以及工业总产值和与能源相关的 CO₂排放量这两种输出。资本和劳动力投入数据来自《上海统计年鉴》，按行业记录固定资产年净值和年就业人数（上海市统计局，2010-2012a）。能源使用数据摘自《上海能源统计年鉴》，该年鉴按能源类型记录了年度行业能源消费明细（上海市统计局，2010-2012b）。资本变量采用固定资产投资价格指数将固定资产年净值缩减为2011年不变价人民币进行处理。将年度工业总产值作为良品，按生产者价格指数折算至2011年不变价人民币，使其良品的市场价格视为统一。CO₂排放数据是通过能源消耗乘以特定燃料的排放转换系数得出的中国国家发展和改革委员会(2011)。表1显示了五个变量的描述性统计。⁵

表 1。输入和输出变量的描述性统计

	资本（10 ⁸ 元） ^b	劳动力（10 ² 人）	能源（10 ⁴ TCE）	工业总产值（10 ⁸ 元） ^b	CO ₂ （10 ⁴ 吨）
意思是					
2009	429.17	519.80	1311.38	827.71	2084.28
2010	427.50	531.90	1542.12	949.43	2491.40
2011	407.16	447.50	1553.51	945.54	2525.24
标准。开发者					
2009	538.49	379.33	1882.29	704.73	3062.00
2010	548.91	405.09	2020.86	808.88	3241.04
2011	526.46	345.89	2229.10	813.62	3726.89
最大限度					
2009	1667.20	1220.00	5592.51	2199.84	9618.95
2010	1740.59	1284.00	5972.61	2534.08	10136.17
2011	1661.93	1179.00	6664.74	2527.78	11600.59
最低限度					
2009	22.54	56.00	25.93	48.58	55.06
2010	17.60	45.00	26.46	47.14	56.03
2011	15.25	40.00	13.03	42.51	27.63

A
该数据库包含年原始营业收入高于或等于 2000 万元人民币的企业。

b
常数 2011 元。

为了避免收敛问题，我们遵循Boyd 等人。(2002)和Färe 等人。(2005)通过将每个输入和输出按各自的方式划分来规范化数据。在估计方程式。(6),(7),(8),(9)，我们将方程式中的每个公式相乘。(2),(10)按比率 (y 的平均值) / (b 的平均值)。

3.2 。实验结果

优化软件包 LINGO 11.0 用于解决从收集和处理的数据集构建的影子定价模型。如前所述，文献中没有就影子价格的符号达成一致。实际上，影子价格从 T-ODF 和 T-IDF 估计时是非正的，但在从 Q-DDF 估计时是非负的。当CO₂排放约束采取均等形式时，DEA-DDF产生的影子价格符号可能为负，也可能为正。在我们的实证分析中，我们遵循Boyd 等人的观点。(1996)去除非正影子价格估计。为了进行比较，我们还通过将不期望的输出作为输入（表示为 DEA-DDF'）来求解相应的 DEA 模型，这会导致非负影子价格估计。无论数学符号是什么，影子价格估计都代表 CO₂排放的 MAC 的近似值。为了便于后面的讨论，在本文中我们不考虑影子价格估计的数学符号。

表 2显示了所用五个模型中每个模型的三年平均影子价格估算值（按 CO₂排放量加权）。直观地说，从不同的影子定价模型获得的任何两组影子价格估计之间都存在差异。从表2可以看出，影子价格（记为OWA）的总体加权平均值在394.5至1906.1元/吨之间变化。非参数影子定价模型产生比参数模型更大的 OWA，这可以通过比较表 2中 DEA-DDF 和 Q-DDF 的列清楚地观察到。另一方面，三个参数影子定价模型也产生不同的 OWA。T-IDF 产生最高的 OWA，其次是 Q-DDF 和 T-ODF。有趣的是，我们发现 Q-DDF 产生的 OWA 比 T-ODF 大，这与Färe 等人得出的结论一致。(2005)以及Vardanyan 和 Noh (2006)。这一发现可能是因为 Shephard 输出距离函数的映射规则将生产单元放在不太陡峭的部分 $P(x)$ 比Färe 等人讨论的 DDF。(2005)以及Vardanyan 和 Noh (2006)。将DEA-DDF 与DEA-DDF' 进行比较，它们的唯一区别在于CO₂排放限制的数学符号。我们的实证结果表明，DEA-DDF 导致十分之一样本的负影子价格估计。然而，当使用 DEA-DDF' 时，这些负估计值变为零。此外，我们发现这两个模型对六分之五的样本产生了相同的影子价格估计，而从 DEA-DDF 中得出的 OWA 略大于从 DEA-DDF 中得出的 OWA'（在去除非正影子价格后DEA-DDF 生成的估计值）。

表 2。来自不同模型的三年平均影子价格估计（元/吨）^a。

不。	部门	T-ODF	国防军	Q-DDF	DEA-DDF	DEA-DDF'	碳强度 ^b
1	钢铁	54.3	91.2	149.9	217.4	147.1	5.88
2	石化	480.2	2037.9	519.6	3916.6	3916.6	1.87
3	化工	64.3	2998.5	1906.1	3405.2	3405.2	0.77
4	有色金属	3854.5	238.7	4494.1	41409.0	961.7	0.35
5	电力	17.7	24.9	219.0	601.3	367.2	4.61
6	建筑材料	1290.8	757.0	2945.0	4800.8	4800.8	2.08
7	纺织品	24074.2	10510.0	2322.7	29382.4	29382.4	0.34
8	纸	8167.8	5761.8	3282.0	20900.5	20900.5	0.48
9	橡皮	4042.5	1802.7	3472.0	9743.7	9743.7	1.02
10	化学纤维	3252.2	433.3	3902.4	9964.6	9964.6	0.99
加权平均数		394.5	678.3	582.3	1906.1	1521.6	–
A							
常数 2011 元。							
b							
吨/10 ⁴ 元。							
C							
由CO ₂ 排放量加权。							

进行配对t检验以调查模型选择是否对影子价格的估计有重大影响。如表 3所示，所有参数模型生成的影子价格估计与非参数模型计算的影子价格估计有显著差异（参见 1 和 4、1 和 5、2 和 4、2 和 5、3 和 4 的行以及 3 和 5）。因此，我们的结果表明，参数和非参数模型之间的选择显著影响影子价格估计。相比之下，这项研究发现很少有证据表明在替代距离函数之间的选择是否对 CO₂的影子价格估计有显著影响排放量。例如，T-ODF、T-IDF 和 Q-DDF 使用基于不同类型距离函数的（确定性）参数模型。但是，配对t检验表明三组影子价格估计值之间没有显著差异（见表3中1和2、1和3、2和3行）。此外，配对 4 和 5 的相当大的p值表明在 DEA-DDF 和 DEA-DDF' 之间的选择对影子价格估计没有显著影响。

表 3。用于比较不同模型影子价格估计的配对t检验结果。

A组	H_0	p -值	团体	H_0	p -值
1 和 2	$\mu_1 = \mu_2$	0.0906	2 和 3	$\mu_2 = \mu_3$	0.3661
1 和 3	$\mu_1 = \mu_3$	0.0594	1 和 4	$\mu_1 = \mu_4$	0.0004
2 和 4	$\mu_2 = \mu_4$	0.0000	3 和 4	$\mu_3 = \mu_4$	0.0001
1 和 5	$\mu_1 = \mu_5$	0.0004	2 和 5	$\mu_2 = \mu_5$	0.0000
3 和 5	$\mu_3 = \mu_5$	0.0005	4 和 5	$\mu_4 = \mu_5$	0.3176

A
1、T-ODF；2、T-以色列国防军；3、Q-DDF；4、DEA-DDF；5、DEA-DDF'。

b
 μ 表示影子价格估计的算术平均值。

尽管不同模型的影子价格估计存在差异，但仍可以识别出一些共同特征。无论采用哪种影子定价模型，CO₂排放的影子价格在十个履约工业部门之间差异很大。与Lee 和 Zhang (2012)类似，我们使用简单的普通最小二乘回归模型来研究可能与 CO₂排放的影子价格相关的特定行业因素。本研究考虑了两个因素，即碳强度（ b/y ）和能源消费结构（煤炭消费占能源消费总量的比重）。表 4显示所有影子定价模型的回归结果。这表明影子价格估计与碳强度之间可能存在负相关关系。总的来说，重工业的碳强度高于轻工业（行业碳强度见表2最后一栏）。⁶也就是说，无论使用不同的影子定价模型，重工业的 MAC 往往低于轻工业。

表 4。影子价格估计的决定因素。

模型	碳强度	能源消费结构	R^2	观察
T-ODF	-3595.46 (0.0005)	14449.57 (0.01693)	0.375	30
国防军	-2880.68 (0.0000)	14670.37 (0.0000)	0.713	30
Q-DDF	-265.20 (0.0614)	-2811.44 (0.0027)	0.672	30
DEA-DDF	-7503.41 (0.0000)	26584.49 (0.0009)	0.677	27a -
DEA-DDF'	-6982.69 (0.0000)	29694.60 (0.0001)	0.653	30

p - 括号中的值。

A
在 DEA-DDF 中，删除了三个观测值，因为它们的影子价格为负。

4. 讨论

4.1 。影子价格估计变化的影响

我们的实证结果表明，参数和非参数模型之间的选择对影子价格估计有显著影响，但替代距离函数之间的选择以及 CO₂排放约束的符号（对于非参数 DEA 模型）似乎有微不足道的影响。与参数模型相比，非参数模型不需要预先指定的函数形式，因此估计的方向距离函数不可微分。出于这个原因，Färe 等人。(2005)认为 DEA “不太适合”影子价格估计。然而，由于其建模灵活性，非参数影子定价模型也被用于估计不良产出的影子价格（Boyd 等人，1996 年，Lee 等人，2014 年）。在这方面，Q-DDF 和 DEA-DDF/DEA-DDF' 之间的差异可能是由不同估计模型的操作造成的。与我们的发现类似，Vardanyan 和 Noh（2006）表明，不同的参数影子定价模型

将产生不同的影子价格估计，这可能是由于不同距离函数中体现的映射规则，他们指出，在各种现有的本研究中包括 T-ODF 和 Q-DDF 的参数模型，“没有任何一种技术优于所有其他技术”。基于 Vardanyan 和 Noh (2006) 的研究，我们可以从理论和实践的角度解释不同距离函数对影子价格估计的变化。

T-ODF、T-IDF 和 Q-DDF 均对良品产出与 CO₂ 排放的联合生产施加弱可处置性，利用良品产出与 CO₂ 的关系推导出 CO₂ 排放的影子价格。环境生产技术中体现的排放。然而，三种类型的距离函数，即 Shephard 输出距离函数 (ODF)、Shephard 输入距离函数 (IDF) 和方向距离函数 (DDF)，在表征环境生产技术方面具有不同的性质，可以传递给实际应用。源自 ODF/DDF 的影子定价公式是在收入或利润最大化的假设下进行的，因此影子价格是指来自额外 CO₂ 减排活动的收入或利润损失。相比之下，IDF 在成本最小化假设下推导出影子定价公式，因此影子价格可以解释为额外 CO₂ 导致的成本增加。关于 Lee 等人强调的映射规则。(2002) 和 Vardanyan 和 Noh (2006)，ODF 扩大了良好的产出和 CO₂ 排放，IDF 通过保持产出来收缩所有投入，而 DDF 将良好产出的同时扩大和 CO₂ 排放的减少归功于给定的投入。意识到它们映射规则的差异，我们可以得出结论，T-ODF 适用于在允许增加 CO₂ 排放的不太严格的法规下估算影子价格，例如，当减排目标是降低碳强度时。Q-DDF 可能更适合于面临强制减少 CO₂ 的观测样本排放或更愿意进行自愿减排 CO₂。相比之下，T-IDF 可能更适合政策制定者主要关注 CO₂ 减排成本节约的情况。

在公司层面，不同影子价格估算的差异可以帮助每个公司确定成本最低的 CO₂ 减排策略。例如，钢铁行业的一家公司通过 T-ODF、T-IDF 和 Q-DDF 获得的 MAC 分别为 54.3、91.2 和 149.9 元/吨。⁷ 显然，这家公司允许 CO₂ 排放量增加，因此 MAC 最低。另一家有色金属行业的 MAC 分别为 3854.4、238.7 和 4494.1 元/吨，这表明减少 CO₂ 排放成本最低的方法可能是通过提高能源效率等替代方式来减少能源消耗。此外，造纸行业的一公司的 MAC 可能为 8167.8、5761.8 和 3282.0 元/吨，这表明自愿减排 CO₂ 可能是该公司的最佳策略。⁸ 从政府的角度来看，在深入调查企业层面的 CO₂ 减排活动和现有环境政策的严格程度后，可以选择最合适的影子定价模型。考虑到 SH-ETS 的目标是降低碳强度，我们可以得出结论，T-ODF 可能是估算 CO₂ 排放影子价格的比较合适的选择。

4.2。影子价格估计中的共同特征的含义

不同工业部门影子价格估算的差异表明有必要利用市场力量实现具有成本效益的 CO₂ 减排 (Färe 等人, 1993 年, Zhou 等人, 2014b)，这与 SH-ETS 的第一原则。在 SH-ETS 中，参与公司可能有多种可能的 CO₂ 减排策略。为了降低减排成本甚至获得潜在收益，他们会刻意利用定量信息，例如 SHEA 的价格和 CO₂ 排放的 MAC，来确定最合适的减排策略。

从理论上讲，如果为我们的实证研究中考虑的部门建立碳市场，需要将其 CO₂ 排放量限制在 2009-2011 年的平均水平，则 CO₂ 排放配额的平均价格将等于 OWA (Coggins 和 Swinton, 1996)。截至 2014 年 6 月 27 日 (2013 年度配额缴足截止日前最后一个交易日)，SHEA 价格在半年内从 25 元稳步上涨至 39.4 元。然而，这个价格远低于所有估计的 OWA (394.5–1906.1 元/吨)。这可能表明现阶段 SHEA 的价值被低估了。根据中央政府的要求，到 2015 年，上海市碳排放强度要比 2010 年下降 19%。为实现这一强制性目标，上海市政府必将采取更多措施推动企业减排。他们的碳强度。未来，由于 CO₂ 排放影子价格与碳强度呈负相关关系，履约行业 CO₂ 排放 MACs 随着碳强度下降而增加。

上海碳交易体系的参与企业可根据自身具体情况设计合适的经营策略。MAC 较低但 SHEA 充足的重工业合规公司可以选择照常运营并出售或保留剩余的 SHEA。根据我们的实证分析，出于以下考虑，最好为将来保留剩余的 SHEA。SHEA 的价格仍然很低，但可能会继续上涨。尽管企业承受的 MAC 小于轻工业企业，它实际上高于 SHEA 的价格 (通过 T-ODF 和 T-IDF 的电力部门除外)。当碳监管越来越严格时，MAC 可能会上升。尽管如此，如果这家公司愿意出售一部分剩余的 SHEA，它仍然可以获得额外的收入。另一方面，对于属于重工业、需要较多 SHEAs 的合规企业，可以通过自身的管理和技术努力减少 CO₂ 排放，也可以从市场上购买 SHEAs。我们的实证结果表明，这家公司自行减少 CO₂ 排放量并不是一个明智的选择，因为它的 MAC of CO₂ 排放量远高于 SHEA 的价格。与重工业企业相比，轻工业企业的 MAC 往往更高。如果一家公司拥有的 SHEA 不足，则它必须从市场上购买 SHEA。如果拥有额外 SHEA 的企业现阶段不愿出售其排放配额，则缺乏 SHEA 的企业可能难以通过购买配额来满足监管要求。上海市政府于 2014 年 6 月 30 日举行了一次拍卖，为那些难以购买足够 SHEA 的参与企业提供机会 (拍卖价格高于 SHEA-13 的市场价格)，这一事实也证实了这一发现。实际上，上海市政府 2013 年分配了 1.6 亿吨 SHEA (简称 SHEA-13)，但只有 1。

如果 SHEA 的价格等于估计的 OWA，例如 T-ODF 的价格为 394.5 元/吨，则可能有三大 SHEA 供应商，即钢铁 (54.3 元/吨)、化工 (64.3 元/吨) 和电力 (17.7 元/吨) 板块。这些供应商愿意通过自己的努力减少 CO₂ 的排放，并出售 SHEAs。另一方面，其他七个行业的企业更愿意从 SH-ETS 购买 SHEA，而不是自己减少 CO₂ 排放。通过排放交易，供应商和购买者都将从 SH-ETS 中获得潜在收益或成本节约，并且总的 CO₂ 减排成本也可以降低 (Zhou et al., 2013)。在完美的 ETS 中，观测值之间 MAC 的变化可以在平衡时消除 (Färe 等人, 1993 年)。然而，SHEA 价格的低估可能会削弱 SH-ETS 在降低整体碳减排成本方面的有效性。在 SH-ETS 中发挥引导作用的上海市政府应采取多种措施确保 SHEA 价格等于或接近其实际价值。例如，政府可能会制定更严格的 CO₂ 控制标准减排，对未能足额缴纳 SHEA 的企业加大处罚力度，或者将 SHEA 以相对较高的价格拍卖给急需排放配额的参与企业 (上海市政府就是这样做的)。近期，上海市政府允许潜在的机构甚至私人投资者进入上海碳交易市场，这可能是对 SHEA 价格低估的及时政策回应。

我们的实证结果也对 SHEA 的初始分配具有实际意义，SHEA 在 SH-ETS 的运行中起着基础性作用。许多研究人员，例如 Lin 等人。(2011), 王等。(2013b), Zhou 等人。(2013) 和 Zhang et al., 2014a, Zhang et al., 2014b 一直致力于从公平的角度审视排放配额的分配。Zhou 等人最近的研究。(2014a) 研究了 CO₂ 的优化配置从效率的角度来看排放。在 SH-ETS 背景下，上海市政府出台了符合碳市场基本原则的 SHEA 初始分配目录规定。配额主要根据 2009-2011 年的 CO₂ 排放量自由分配给达标工业企业。然而，这种“祖父式”配置方案 (电力行业除外) 可能利好重工业，损害轻工业。根据分配方案，CO₂ 排放量较少的轻工业排放量和碳强度较低的企业将获得比重工业更少的

SHEA。然而，我们的实证结果表明，轻工业必须比重工业承担更高的 MAC，并且 SHEA 目前的价格远低于估计的 OWA。因此，重工业的参与公司将有机会投资碳资产，但轻工业的公司可能必须确定购买足够 SHEA 的机会。这意味着轻工业企业最终可以承担大部分碳减排成本，这背离了碳市场的公平原则。对此，我们建议将参与企业的 MAC 作为 SHEA 初始分配的补充标准，以建立公平的碳市场。

5. 结论和政策影响

为了以具有成本效益的方式实现降低全国 CO₂ 排放强度的目标，中国启动了 ETS 试点。上海是首批试点碳交易的七个省/市之一，其区域碳交易（即上海-碳交易）已经启动了大约一年。估算参与行业的边际 CO₂ 减排成本为改进 SH-ETS 提供了科学基础。本文采用多个参数和非参数效率模型来估算 SH-ETS 涵盖的上海工业部门的 CO₂ 排放影子价格。影子价格可以解释为参与行业的 CO₂ 排放量的 MAC。

对不同影子定价方法产生的替代影子价格估计进行了比较，以调查模型选择是否对影子价格估计有重大影响。根据配对 *t* 检验和整体加权平均影子价格的比较，得出参数和非参数模型的选择将显著影响 CO₂ 排放的影子价格。非参数模型可能会产生更高的影子价格估计。在参数影子定价框架内，距离函数的选择对影子价格估计没有显著影响。我们的实证结果还表明，处理 CO₂ 上的数学符号的替代方法尽管在这个问题上存在一定的争议，但约束对估计的影子价格影响不大。虽然不同模型影子价格估计不同，但它们仍然具有一些共同特征。CO₂ 排放的影子价格与碳强度之间存在负相关关系，碳强度较高的重工业往往具有较低的 MAC。

除了理论讨论之外，我们还为 SH-ETS 涵盖的工业企业设计适当的合规策略提出了一些建议。利用来自不同模型影子价格估计的差异，我们确定了三类公司的一些具体策略，以实现具有成本效益的 CO₂ 减排排放量。建议参与公司投资或保留配额，因为无论使用哪种模型，SHEA 的当前价格都远低于估计的 MAC。我们还通过比较 SHEA 与 MAC 的价格以及考虑 SHEA 的充分性来讨论不同参与公司在不同情况下的行为。特别是，拥有冗余 SHEA 的公司可能不愿意出售其排放配额。相比之下，缺乏 SHEA 的公司可能渴望获得更多配额。最终，SHEA 的低估可能会削弱 SH-ETS 在降低上海总碳减排成本方面的有效性。

本文还探讨了上海市政府如何更好地发挥引导作用，培育上海碳排放权交易体系。政府可能会采取各种措施使 SHEA 的价格回归其实际价值，例如对不及时交出 SHEA 的企业加大处罚力度、以高于市场价格的价格拍卖 SHEA、允许新的外部投资者入场等。参与 SHEAs 的交易等。还建议将交易参与者的 MAC 作为 SHEAs 初始分配的重要标准，以建立公平的 ETS，因为轻工业企业往往承担更高的 MAC，但在目前的祖父分配方法下获得的配额较少。

我们的实证结果具有几个重要的政策和管理意义，政府和公司管理者可以考虑这些意义。首先，建议不同类型的公司利用影子价格估计的差异来确定成本最低的碳减排策略。其次，由于目前的 CO₂ 配额很可能被低估，因此建议参与 SH-ETS 的企业投资或储备配额。第三，上海政府可能会考虑通过采取适当的政策措施干预其碳市场以抬高 SHEA 的价格，例如制定更严格的 CO₂ 控制标准排放，从而提高碳市场在降低碳减排成本方面的有效性。最后，参与部门（或企业）的 MAC 可以作为初始分配碳配额的重要标准，以实现减少 CO₂ 排放的总体成本效益。

尽管本文做出了贡献，但由于其异质性，它在为不同工业部门假设相同的生产技术方面存在局限性。鉴于数据可用性，这项工作可以很容易地扩展到同一工业部门内的公司级别，以便提供更准确的 CO₂ 排放 MAC 估计。由于方向向量的选择在基于 DDF 的影子定价方法中起着重要作用，因此可以进一步研究方向向量的选择如何影响影子价格估计，据此我们可以确定最合适的方向向量和对边际 CO₂ 减排成本产生更可靠的估计。

致谢

感谢国家自然科学基金（71273005 和 71203055）、江苏省自然科学基金杰出青年基金（BK20140038）、新世纪优秀人才计划（NCET-10-0073），教育部人文社会科学基金（12YJCZH039），南航科研基金（NE2013104）。

推荐文章

参考

艾格纳和朱, 1968 D. Aigner, S. Chu

关于产业生产函数的估计

是。经济。修订版, 58 (1968 年), 第 826 - 839 页

谷歌学术 ↗

博伊德等人, 1996 年 Boyd, GA, Molburg, JC, Prince, R., 1996. 边际减排成本估算的替代方法：非参数距离函数。在：USAAE/IAEE 第 17 次会议记录, 第 86-95 页。

谷歌学术 ↗

博伊德等人, 2002 年 GA Boyd, G. Tolley, J. Pang

容器玻璃行业的工厂级生产力、效率和环境绩效

环境。资源。经济。 , 23 (2002 年) , 第29 - 43页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

张和王, 2010 YC Chang , N. 王

中国的环境法规和排放交易

能源政策, 38 (2010) , pp. 3356 - 3364

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Chen, 2005 陈伟

中国减少碳排放的成本：来自中国 MARKAL-MACRO 模型的发现

能源政策, 33 (2005) , pp. 885 - 896

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

钟等人, 1997 年 Chung YH , Fare R , Grosskopf S

生产力和不良产出：定向距离函数方法

J.环境。管理。 , 51 (1997 年) , 第229 - 240页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

科金斯和斯文顿, 1996 年 JS 科金斯, JR 斯文顿

污染的价格：评估 SO₂ 配额的双重方法

J.环境。经济。管理。 , 30 (1996 年) , 第58 - 72页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Färe 等人, 1993 年 R Fare 、 S Grosskopf 、 CA Lovell 、 S Yaisawarng

非期望产出的影子价格推导：距离函数方法

经济学牧师。国家主义者。 , 75 (1993 年) , 第374 - 380页

[View article](#) [交叉引用](#) [谷歌学术](#)

Färe 和 Primont, 1995 年 R. Färe , D. 普里蒙

多产出生产与二元性：理论与应用

Kluwer 学术出版社, 波士顿 (1995 年)

[谷歌学术](#)

Fare and Bighead, 2000 R. Fare , S. Grosskopf

定向距离函数的理论与应用

J. 产品。肛门。 , 13 (2000 年) , 第93 - 103页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Färe 等人, 2005 年 Fare R , Grosskopf S , Lovell CA , Noh D , Weber WL

污染技术的特点：理论与实践

J.经济学。 , 126 (2005 年) , 第469 - 492页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

海陆和维曼, 2000 A. 海陆, TS 维曼

1959 年至 1994 年加拿大纸浆和造纸业的环境敏感生产率分析：输入距离函数方法

J.环境。经济。管理。 , 40 (2000 年) , 第251 - 274页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

海陆和维曼, 2001 A. 海陆, TS 维曼

具有不良输出的非参数生产率分析：在加拿大纸浆和造纸工业中的应用

是。 J.农业。经济。 , 83 (2001 年) , 第605 - 616页

[View article](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Jiang et al., 2014 J.J. Jiang, B. Ye, X.M. Ma

深圳碳排放权交易机制的构建

能源政策, 75 (2014) , pp. 17 - 21

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

克莱珀和彼得森, 2006 年 G. 克莱珀, S. 彼得森

一般均衡中的边际减排成本曲线：世界能源价格的影响
资源. 能源经济学. , 28 (2006 年) , 第1 - 23页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

李等人, 2002 JD Lee , JB Park , TY Kim

考虑生产/环境效率低下的污染物影子价格估算：非参数方向距离函数方法
J.环境. 管理. , 64 (2002 年) , 第365 - 375页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

李, 2011 李先生 _

韩国电力行业内部/外部 CO₂ 排放交易的潜在成本节约
能源政策, 39 (2011) , pp. 6162 - 6167

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

李和张, 2012 M. Lee , N. Zhang

中国制造业技术效率、二氧化碳排放影子价格与能源可替代性
能源经济学. , 34 (2012 年) , 第1492 - 1497页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

李等人, 2014 SC Lee , DH Oh , JD Lee

一种衡量影子价格的新方法：协调工程和经济观点
能源经济学. , 46 (2014 年) , 第66 - 77页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

勒勒乌, 2013 H. Leleu _

非参数分析中不良输出的影子定价
欧元. J. 运营资源. , 231 (2013 年) , 第474 - 480页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

林等, 2011 B. Lin, Z. Jiang, P. Zhang

二氧化硫配额分配：基于中国福建省电厂调查的分析
能源, 36 (2011) , pp. 3120 - 3129

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

松下与山根, 2012 K. Matsushita , F. 山根

日本电力部门的污染与高效的污染减排
能源经济学. , 34 (2012 年) , 第1124 - 1130页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

中国国家发展和改革委员会, 2011 中国国家发展和改革委员会, 2011。省级温室气体清单编制指南。中国北京。（用中文（表达）。

[谷歌学术](#)

朴和林, 2009 H. Park , J. 林

韩国电厂边际 CO₂ 减排方案的评估
能源政策, 37 (2009) , pp. 1834 - 1841

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Reig-Martinez 等人, 2001 年 E. Reig-Martinez , A. Picazo-Tadeo , F. Hernández-Sancho

使用距离函数计算工业废物的影子价格：对西班牙陶瓷路面公司的分析
诠释. J. 产品. 经济. , 69 (2001 年) , 第277 - 285页

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

罗德塞斯, 2013 KL 罗德塞斯

Capturing the least costly way of reducing pollution: a shadow price approach
Ecol. Econ. , 92 (2013), pp. 16-24

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

[Sanghai Municipal Statistics Bureau, 2012](#) Shanghai Municipal Statistics Bureau, 2010–2012a. Shanghai, China.

[Google Scholar](#)

[Shanghai Municipal Statistics Bureau, 2010–2012](#) Shanghai Municipal Statistics Bureau, 2010–2012b. Shanghai Statistical Yearbook on Energy. Shanghai, China.

[Google Scholar](#)

[Simões et al., 2008](#) S. Simões, J. Cleto, P. Fortes, J. Seixas, G. Huppes

Cost of energy and environmental policy in Portuguese CO₂ Abatement-Scenario analysis to 2020
Energy Policy, 36 (2008), pp. 3598-3611

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

[Turner, 1994](#) J. Turner

Measuring the Cost of Pollution Abatement in the Electric Utility Industry: A Production Function Approach
University of North Carolina, Chapel Hill. (1994)
(Ph.D. Dissertation)

[Google Scholar](#)

[Vardanyan and Noh, 2006](#) M. Vardanyan, D. Noh

Approximating pollution abatement costs via alternative specifications of a multi-output production technology: a case of the US electric utility industry
J. Environ. Manag., 80 (2006), pp. 177-190

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

[Wang et al., 2013a](#) K. Wang, Y.M. Wei, X. Zhang

Energy and emissions efficiency patterns of Chinese regions: a multi-directional efficiency analysis
Appl. Energy, 104 (2013), pp. 105-116

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

[Wang et al., 2013b](#) K. Wang, X. Zhang, Y.M. Wei

Regional allocation of CO₂ emissions allowance over provinces in China by 2020
Energy Policy, 54 (2013), pp. 214-229

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

[Wu et al., 2014](#) L. Wu, H. Qian, J. Li

Advancing the experiment to reality: perspectives on Shanghai pilot carbon emissions trading scheme
Energy Policy, 75 (2014), pp. 22-30

 [View PDF](#) [View article](#) [Google Scholar](#)

[Yi et al., 2011](#) W.J. Yi, L.L. Zou, J. Guo, K. Wang, Y.M. Wei

How can China reach its CO₂ intensity reduction targets by 2020? A regional allocation based on equity and development
Energy Policy, 39 (2011), pp. 2407-2415

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

[Zhang and Folmer, 1998](#) Z.X. Zhang, H. Folmer

Economic modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions
Energy Econ., 20 (1998), pp. 101-120


 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)


[Zhang et al., 2014a](#) D. Zhang, V.J. Karplus, C. Cassisa, X. Zhang


Emissions trading in China: progress and prospects
Energy Policy, 75 (2014), pp. 9-16


 [View PDF](#) [View article](#) [Google Scholar](#)

[Zhang et al., 2014b](#) Y. Zhang, A.D. Wang, Y.B. Da


[Zhou et al., 2010](#) P. Zhou, B.W. Ang, J.Y. Han
全要素碳排放绩效：Malmquist 指数分析
能源经济学. , 32 (2010 年) , 第194 - 201页
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)


[周等, 2013](#) P. Zhou, L. Zhang, D.Q. Zhou, W.J. Xia
中国省际 CO₂减排配额交易的经济绩效建模
申请 能源, 112 (2013) , pp. 1518 - 1528
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)


[周等, 2014a](#) P. Zhou , ZR Sun , DQ Zhou
中国控制CO₂排放的最优路径：效率分析的视角
能源经济学. , 45 (2014 年) , 第99 - 110页
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)


[周等人, 2014b](#) P. Zhou , X. Zhou , LW Fan
用效率模型估计不良产出的影子价格：文献综述
申请 能源, 130 (2014) , pp. 799 - 806
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)


被 (105) 引用


[外国直接投资是否促进环境绩效：污染物影子价格调查](#)
2023, 清洁生产学报
[显示摘要](#) 


[使用具有时滞和交互效应特征的新型多变量模糊灰色模型估算与能源相关的 CO2 排放量](#)
2023年, 能源
[显示摘要](#) 

[交易、存储还是惩罚？揭示上海排放权交易体系中企业的决策行为：来自基于主体的建模的见解](#)
2023, 能源经济学
[显示摘要](#) 

[经济政策不确定性和碳排放权交易市场：一个中国的视角](#)
2022, 能源经济学
[显示摘要](#) 

[基于模型的逐步边际 CO₂ 减排成本曲线，以确定部门耦合能源系统的最低成本脱碳途径](#)
2022, 清洁生产学报
[显示摘要](#) 

[环境规制对工业企业边际减排成本的影响：来自中国“十一五”规划的证据](#)
2022, 能源经济学
[显示摘要](#) 



[查看 Scopus 上的所有施引文献](#)

- 1 参见Rødseth (2013), Lee 等人。 (2014)和Zhou 等人。 (2014b)讨论距离函数在估计不良输出的 MAC 时的弱点。
- 2 与Vardanyan 和 Noh (2006)相比, 本研究不仅考虑了基于输出的参数模型, 还考虑了面向输入的非参数影子定价模型, 这可以更全面地描述替代模型之间的差异。
- 3 仅使用确定性规划模型的主要原因是我们在第 3 节中描述的实证研究的样本量不足以满足随机计量经济学模型的数据要求。
- 4 实证分析的一个局限性是假设不同工业部门使用相同的环境生产技术。由于不同工业部门的异质性, 应考虑到这一局限性来解释所获得的结果。
- 5 本研究中使用的数据集包含 30 个观察值。根据Zhou 等人的综述研究。 (2014b)之前的实证研究中使用的观察数量差异很大。最小样本量为 18 (Reig-Martinez 等人, 2001 年), 而最大的数据集有 962 个观测值 (Turner, 1994 年)。Färe 等人的有影响力的研究。 (1993)基于 30 家造纸厂和纸浆厂的样本。在这方面, 我们数据集的样本量对于通过不同的确定性模型估计影子价格可能是可以接受的。
- 6 轻工业包括纺织、造纸和化纤, 其余工业属于重工业。
- 7 这里我们假设单个公司的 MAC 等于特定行业的 MAC 水平。
- 8 鉴于更大数据集的可用性, 可能会进行进一步的研究来比较确定性和随机影子定价模型, 从而对生产单位的减排方案进行更全面的讨论。通过筛选减排选项列表及其各自的 MAC 估计, 决策者可以设计出最合适的减排策略。

查看摘要

版权所有 © 2014 Elsevier Ltd. 保留所有权利。