

中国区域间节能减排责任分担及成本补偿机制设计

——基于潜力视角

袁润松¹，丰超¹，王苗¹，黄健柏^{1 2}

(1. 中南大学，长沙 410083; 2. 中南大学金属资源战略研究院，长沙 410083)

摘要：本文构建了体现经济增长与节能减排双重约束的非参数模型，并基于省际面板数据对中国节能减排潜力进行测算。在此基础上，从实际生产的角度出发，依据各省市节能减排潜力的大小将节能减排总体目标在省际间进行分解。随后，运用污染物定价法——影子价格估算减排成本，并基于此设计出一套与节能减排总体目标分解方案相配套的成本分担和补偿机制。研究发现：(1) 当前，由中央政府制定的节能减排目标理论上是可以实现的。三大地区中，节能减排潜力大小依次为西部、中部和东部地区；(2) 为实现节能减排总体目标，中国的节能减排成本巨大。“十三五”期间，中国的节能减排成本预计将达 8.57 万亿，平均每年约为 1.71 万亿；(3) 在本文所设计的节能减排责任分担及补偿机制中，中西部地区承担了大部分节能减排责任。与此同时，在节能减排成本补偿机制中，中西部地区亦获得了来自东部地区的大量的资金补偿。该方案的优点在于：一方面保证了节能减排目标在实际生产中的可行性，使得各省份的节能减排潜力得到充分的发掘，另一方面还兼顾了公平，利于区域间的均衡发展。

关键词：节能减排潜力；成本补偿机制；影子价格；DEA

一、引言

改革开放以来，中国国民经济快速增长，各项建设取得了巨大成就，但也为此付出了巨大的资源和环境代价。尤其是近几年来，环境污染越来越成为社会公众关注的焦点。为了扭转这一局面，中央政府自“十一五”开始明确提出节能减排总体目标，并在各级地方政府分解。但在具体实践中，为完成“节能减排”对于地方的考核，不少地方官员不惜以拉闸限电来应急，对经济社会产生负面影响。这使得我们不得不重新判断现阶段中国可实现的节能减排潜力、重新设计节能减排责任分担及成本补偿机制。

为设计出生产实践中切实可行的节能减排责任分担及成本补偿机制，需要解决两个核心的问题：第一，从实际生产的角度，现阶段中国可实现的节能空

间和减排潜力有多大？这是因为对节能减排潜力准确的判断将为我们制定减排目标及实施相关政策提供有效的理论依据（魏楚等，2010）^①；第二，现阶段各个地区的节能减排潜力如何？是否存在差距，有多大？中国地域辽阔，由于地缘、政治、经济的原因，中国各个地区之间在节能减排潜力方面存在差距，因此在节能减排目标分解与进度事实上是采用“一刀切”、“齐步走”的政策，还是采取“有区别的”、“分而治之”的梯次推进的方法（常兴华等，2007）^②。

近年来，众多学者就中国节能减排效率、潜力及区域间的差异做了大量研究，所运用的最典型的研究方法是基于全要素生产理论的数据包络分析（data envelopment analyses, DEA）方法。如魏楚等（2010）

作者简介：袁润松（1983-），男，天津武清人，中南大学商学院博士生，研究方向：产业经济；丰超（1989-），男，湖南湘西人，中南大学商学院博士生，研究方向：资源与环境经济、效率评价。

① 魏楚、杜立民、沈满洪《中国能够实现节能减排目标：基于 DEA 方法的评价与模拟》，《世界经济》2010 年第 3 期。② 常兴华、张建平、杨国锋、侯嘉《部分省区节能减排工作调研报告》，《宏观经济管理》2007 年第 11 期。

将污染物纳入全要素生产率框架，并利用 2005 - 2007 年中国 30 个省市（区）的要素投入、经济产出和污染物排放数据，对各地区的能源效率、节能潜力与减排潜力进行了估计，在此基础上对中国“十一五”规划中的节能减排约束性目标的可行性、地区目标分解以及可能的潜在经济损失进行了评价和模拟。余泳泽（2011）^③ 将非合意性产出（污染物）纳入投入和产出导向的 DEA 模型，计算了中国节能减排潜力和效率，并计算了污染治理效率。汪克亮等（2012）^④ 运用 2000 - 2007 年中国省际面板数据，以二氧化碳、二氧化硫排放量作为能源利用形成的环境效应替代变量纳入全要素能效研究体系，选取基于投入导向的规模报酬不变 CCR - DEA 模型，测算了包含环境效应的中国省际全要素能源效率，并在此基础上计算得到中国各地区 2000 - 2007 年的节能减排潜力。王蕾等（2012）^⑤ 以中国各省份所在区域的能效最高值作为基准值，利用 DEA 的方法对全国不同区域的节能潜力进行估算。

与已有文献不同的是，本文试图在对中国节能减排潜力进行测算的基础上，基于潜力视角，更进一步

$$\left\{ \begin{aligned} D(x, y, z | CRS) &= \max \frac{\sum_{l=1}^L \beta_l^e + \sum_{m=1}^M \beta_m^y + \sum_{i=1}^I \beta_i^b}{L + M + I} \\ s. t. \sum_{k=1}^K z_k x_{kn} &\leq x_{kn}, \forall n; \sum_{k=1}^K z_k e_{kl} \leq (1 - \beta_l^e) e_{kl}, \forall l \\ \sum_{k=1}^K z_k y_{km} &\geq (1 + \beta_m^y) y_{km}, \forall m; \sum_{k=1}^K z_k b_{ki} = (1 - \beta_i^b) b_{ki}, \forall i \\ \beta_l^e &\geq 0, \forall l; \beta_m^y \geq 0, \forall m; \beta_i^b \geq 0, \forall i \end{aligned} \right. \quad (1)$$

其中， β_l^e 、 β_m^y 、 β_i^b 分别代表了投入、合意产出和非合意产出的无效率水平。

通过省际、区域间的比较，将发达地区的先进水平作为衡量的主要标准，并将节能减排落后地区与发达地区之间的差距定义为落后地区潜在的节能减排潜力。据此，定义省际节能潜力（EP）和减排潜力（BP）如下：

$$EP = \beta^e * e, BP = \beta^b * b \quad (2)$$

（二）污染物定价模型

借鉴 Wei et al.（2012）^⑦ 的方法，求取模型的

设计出区域间节能减排责任分担及成本补偿机制方案。为此，本文构建了体现经济增长与节能减排双重约束的非参数模型，并基于省际面板数据测算出中国节能减排潜力。在此基础上，从实际生产的角度出发，依据各省市节能减排潜力的大小将节能减排总体目标在省际间进行分解。随后，运用污染物定价法——影子价格估算减排成本，并基于此设计出一套与节能减排总体目标分解方案相配套的成本分担和补偿机制。

二、模型方法及数据

（一）节能减排潜力测算模型

为克服传统 DEA 方法存在方向性选择偏误和松弛量的缺陷，本文借鉴 Färe 和 Grossopf（2010）^⑥ 的做法，结合方向距离函数和 SBM 模型构建体现经济增长与节能减排双重约束的 DEA 模型。

假设有 K 个决策单元，每个决策单元有 N 种非能源投入（ x ）， L 种能源投入（ e ）， M 种合意产出（ y ）， I 种非合意产出（ b ），则体现经济增长与节能减排双重约束的 DEA 模型：

对偶模型如下：

$$\left\{ \begin{aligned} \text{Min} \sum_{n=1}^N x_{kn} v_n^x + \sum_{l=1}^L e_{kl} v_l^e - \sum_{m=1}^M y_{km} u_m^y + \sum_{i=1}^I b_{ki} u_i^b \\ s. t. e_{kl} v_l^e &\geq \frac{1}{L+M+I}, \forall l \\ y_{km} u_m^y &\geq \frac{1}{L+M+I}, \forall m; b_{ki} u_i^b \geq \frac{1}{L+M+I}, \forall i \\ \sum_{n=1}^N x_{kn} v_n^x + \sum_{l=1}^L e_{kl} v_l^e - \sum_{m=1}^M y_{km} u_m^y + \sum_{i=1}^I b_{ki} u_i^b &\geq 0, \forall k \\ v_n^x &\geq 0, \forall n; v_l^e \geq 0, \forall l; u_m^y \geq 0, \forall m; u_i^b \in R, \forall i \end{aligned} \right. \quad (3)$$

③ 余泳泽《我国节能减排潜力、治理效率与实施路径研究》，《中国工业经济》2011年第5期。

④ 汪克亮、杨宝臣、杨力《基于环境效应的中国能源效率与节能减排潜力分析》，《管理评论》2012年第8期。

⑤ 王蕾、魏后凯、王振霞《中国区域节能潜力估算及节能政策设计》，《财贸经济》2012年第10期。

⑥ Färe, R., and Grossopf, S., "Directional Distance Functions and Slacks - based Measures of Efficiency", European Journal of Operational Research [J]. 2010, 200, pp. 320 - 322.

⑦ Wei, C., Ni, J. L., Du, L. M., "Regional allocation of carbon dioxide abatement in China", China Economic Review [J]. 2012, 23, pp. 552 - 565.

其中, N 、 L 、 M 和 I 分别表示非能源投入、能源投入、合意产出和非合意产出的个数, K 为决策单元个数; v_n^x 、 v_l^e 、 u_m^y 和 u_i^b 分别表示非能源投入、能源投入、合意产出和非合意产出的相对价格。以合意产出 (y) 作为衡量基准, 非合意产出 (b) 的价格 (即影子价格) 可以表示为:

$$P^b = P^y * \frac{u^b}{u^y} \quad (4)$$

影子价格反映的是合意产出与非合意产出之间的替代关系, 因而可以用它来表示边际减排成本 (Färe et al, 1993; Coggins and Swinton, 1996; Lee, 2005) ⑧⑨⑩。同时, 由于本文是基于省际面板数据求取省际的影子价格。为此, 我们以各省市污染物排放量为权重来求取区域间的影子价格, 具体公式如下:

$$P_a^b = \frac{\sum_{k \in a} P_k^b * b_k}{\sum_{k \in a} b_k} \quad (5)$$

其中, a 表示区域, k 为区域 a 内的省份。

(三) 区域间节能减排责任分担及成本补偿机制设计

为使得各省份的节能减排潜力得到充分的发掘, 本文从实际生产的角度出发, 依据各省市本身具备的节能减排潜力大小将节能减排总体目标在 30 省市间进行分配。具体公式如下:

$$ER_i = ET * \frac{EP_i}{\sum_{i=1}^{30} EP_i}; BR_i = BT_i * \frac{BP_i}{\sum_{i=1}^{30} BP_i} \quad (6)$$

其中, ET 、 BT 分别表示节能和减排的总体目标; EP_i 、 BP_i 则分别表示第 i 个省份的节能和减排的潜力值; ER_i 、 BR_i 分别表示第 i 个省份应当承担的节能和减排责任。如此, 给节能减排潜力较大的省份分配较多的节能减排目标以充分发掘该地区的节能减排潜力。

由此, 可推算出全国范围内的减排总成本。具体公式如下:

$$C = \sum_{k=1}^{30} P_k^b * BR_k \quad (7)$$

其中, C 为全国范围内的减排总成本; BR_k 表示第

k 个省份的污染物减排责任, PR_k 为相应污染物的影子价格。

接下来, 本文基于各省市的实际减排成本和经济水平设计出一套补偿机制: 一方面, 各地区所承担的减排成本应与本地区的经济发展水平相适应, 以促进地区的均衡发展; 另一方面, 各地区所获得的减排补偿成本也应当与各地区所承担的减排责任相对应。基于这两点, 本文设计出一套减排成本补偿机制: 首先, 计算出全国范围总体减排成本, 并根据各地区的经济规模水平计算出各地区应承担的减排成本 ($Cost$), 收缴中央统筹分配; 紧接着, 根据各地区所承担的减排责任, 中央予以各地区相应的成本补偿 ($Compensation$)。所涉及的公式包括:

$$Cost_k = C * \frac{GDP_k}{\sum_{k=1}^{30} GDP_k} \quad (8)$$

$$compensation_k = P_k^b * BR_k \quad (9)$$

式 (8)、(9) 分别表示第 k 个省份应当承担的减排成本及应获得的减排成本补偿。

三、实证结果及分析

(一) 数据来源及处理

本文借鉴已有文献的做法, 采用省际面板数据, 选取的投入指标为劳动力、资本存量、能源消费总量, 合意产出指标为 GDP, 非合意产出指标选取二氧化硫 SO_2 、化学需氧量 COD 和二氧化碳 CO_2 。原始数据来源于《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》, 其中, 资本存量采用单豪杰 (2008) ⑪ 估算资本存量的方法向后推算至 2013 年。本文根据中国各省份化石能源消费量数据来进行 CO_2 排放量的测算。如式 (10) 所示:

$$Tco_{2ij} = \sum_{i=1}^n \{(A_{ij} - S_{ij}) e_i c_i \times 10^{-3}\} * O_i \times \frac{44}{12} \quad (10)$$

(10) 式中, A_{ij} 为第 j 省 i 种能源实际消费量 (能源转换部门 (供热、供电) 使用量与终端 7 个部门使用量之和 (农林牧渔业、工业、建筑业、交通仓储邮电业、批发零售餐饮业、生活消费、其它)); S_{ij}

⑧ Färe, R., Grosskopf, S., and Lovell, C. A. K., Yaisawarng S., "Derivation of shadow prices for undesirable outputs: A distance function approach", The Review of Economics and Statistics [J]. 1993, 75, pp. 374 - 380.

⑨ Coggins, J. S., and Swinton, J. R., "The price of pollution: A dual approach to valuing CO2 allowances", Journal of Environmental Economics and Management [J]. 1996, 30, pp. 58 - 72.

⑩ Lee, M., "The shadow price of substitutable sulfur in the US electric power plant: A distance function approach", Journal of Environmental Management [J]. 2005, 77, pp. 104 - 110.

⑪ 单豪杰《中国资本存量 K 的再估算: 1952 ~ 2006 年》, 《数量经济技术经济研究》2008 年第 10 期。

为第 j 省第 i 种能源非燃烧使用量（工业上作为原料、材料）； e_i 为 i 种能源发热值； c_i 为第 i 种能源的单位热值含碳量； O_i 为第 i 种能源的氧化率。 $n = 30$ ； $i = 1, 2, \dots, 16$ ； $j = 1, 2, \dots, 30$ 。其中，能源发热值数据来自于《中国能源统计年鉴 2013》附录 4，碳含量数据来自于 IPCC (2007)，氧化因子来自国家气候变化协调小组第三工作组。

“十一五”和“十二五”规划节能目标分别为能源消耗强度较期初降低 20% 和 16%；污染物减排目标分别为主要污染物排放总量较期初减少 10% 和 8%。预计“十三五”节能减排总体目标为，能源消耗强度较期初降低 12%、主要污染物排放总量较期初降低 6%。与此同时，中国要想完成到 2020 年，单位 GDP 碳强度较 2005 年下降 40-45% 的目标，未来至少还应继续在 2013 年的基础上实现碳强度下降 23.27%。据此，可以推算“十三五”的碳排放约束性指标应为，在 2013 年的基础上碳强度至少再降低 23.27%。

（二）节能减排责任分担

为说明节能减排总体目标的可行性，本文绘制了节能减排潜力与节能减排总体目标值的关系图（图 1）。如图 1 所示，SO₂ 和 COD 的减排目标仅为潜力值的 20% 不到，节能目标和 CO₂ 减排目标亦仅为潜力值的 40% 左右。这说明，当前由中央政府制定的节能减排目标理论上是可以实现的。然而，正如本文引言部分所述，在具体实践中，却又存在这样或那样的问题。归根结底在于，节能减排目标分解方案不甚

合理。

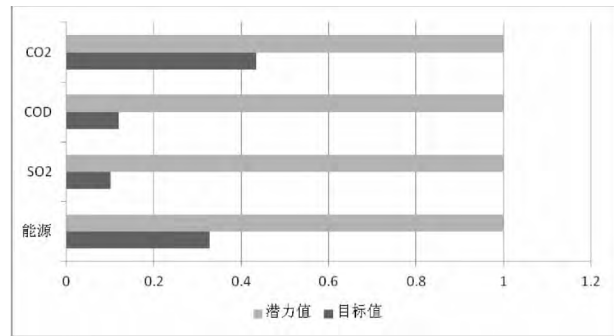


图 1 节能减排潜力与节能减排总体目标值的关系图

注：由于能源和污染排放物的衡量单位不一样，本文对数据进行了标准化——将 2013 年的节能减排潜力值设定为 1。

鉴于此，本文从实际生产的角度出发，充分考虑方案在实践生产中的可行性，依据各省市节能减排潜力的大小将节能减排总体目标在省际间进行分解。如表 1 所示，在节能方面，河北、山西、辽宁、山东四省分摊所得的节能目标均在 3000 万吨以上；在减排方面，河北、山西、内蒙古、山东、河南五省分摊所得的 SO₂ 减排目标均在 10 万吨以上，河北、辽宁、黑龙江、山东、河南、四川六省市分摊所得的 COD 减排目标亦均在 10 万吨以上，河北、山西、内蒙、辽宁、江苏、山东、河南七省份分摊所得的 CO₂ 减排目标均在 1 亿吨以上。

表 1 省际层面的节能减排目标分解（单位：万吨）

地区	能源	SO ₂	COD	CO ₂	地区	能源	SO ₂	COD	CO ₂
北京	0	0	0	0	河南	2017	11	11	11874
天津	669	1	1	2785	湖北	2325	5	10	7747
河北	5690	11	12	22106	湖南	1999	5	12	5382
山西	3731	11	3	14818	广东	0	0	0	0
内蒙古	2659	12	7	20707	广西	1284	4	7	4576
辽宁	3356	9	11	12409	海南	167	0	2	972
吉林	1189	3	8	6882	重庆	962	5	3	2479
黑龙江	1478	4	15	5928	四川	2727	6	12	6062
上海	0	0	0	0	贵州	1549	9	3	6592
江苏	1972	6	7	12002	云南	1879	6	5	5559
浙江	1294	4	5	5747	陕西	1308	7	4	7229
安徽	1438	4	9	9213	甘肃	1596	5	4	5108

福建	465	2	5	3095	青海	830	1	1	1184
江西	831	5	7	3815	宁夏	874	4	2	4924
山东	4429	14	15	20159	新疆	2581	7	7	8132

(三) 成本补偿机制

如表 2 所示，全国层面的减排成本总计达 8.57 万亿，平摊到“十三五”计划中，则每年的减排资金投入需达到 1.71 万亿。结合表 1，在减排责任分担方案中，东部地区的北京、上海、广东承担了最小的减排责任，但它们分别需为此支付 2376、3585 和 9293 亿元的资金用于其它地区的减排成本补偿。由

表 2 及图 2 不难看出，除河北以外的东部省份资金投入均为负，而除江西、重庆、四川以外的中西部省份资金投入为正。这表明，在整套成本补偿机制中，大多数东部发达省市成为了减排成本的主要支付方，而相对较为落后的中西部省市则成为减排成本补偿的获得者。

表 2 省际层面的成本补偿机制——减排成本及补充资金流量图（单位：亿元）

地区	应获得的成本补偿	应承担的减排成本	资金流	地区	应获得的成本补偿	应承担的减排成本	资金流
北京	0	2376	-2376	河南	6895	4282	2613
天津	696	1985	-1289	湖北	4786	3035	1751
河北	9602	3931	5671	湖南	3060	3040	20
山西	3203	1563	1640	广东	0	9293	-9293
内蒙古	5101	2107	2994	广西	2921	1828	1093
辽宁	7067	4047	3020	海南	387	427	-40
吉林	3278	1769	1508	重庆	933	1764	-831
黑龙江	3620	2443	1178	四川	3215	3618	-402
上海	0	3585	-3585	贵州	1673	847	827
江苏	3344	7849	-4505	云南	3046	1528	1518
浙江	1738	5033	-3296	陕西	3172	1796	1376
安徽	2574	2491	83	甘肃	1945	837	1107
福建	1066	3332	-2266	青海	439	245	195
江西	1590	1759	-168	宁夏	558	245	313
山东	7519	7651	-132	新疆	2272	996	1277
全国	85702	-85702	0				

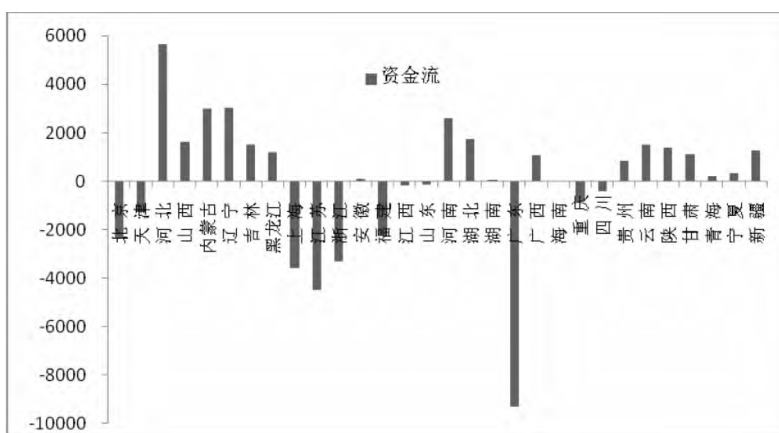


图 2 30 省市资金流入分布（单位：亿元）

本文的节能减排目标分解及成本补偿方案的优点在于：一方面保证了节能减排目标分解方案在实际生产中的可行性，使得各省份的节能减排潜力得到充分的发掘，另一方面还兼顾了公平，利于区域间的均衡发展。从成本补偿方案的结果来看，成本补偿最终都流入了中西部经济较落后的省市，东部地区的资金流入为负，中西部地区的资金流入为正。一方面，东部地区借此减轻了本地区的减排压力，另一方面中西部地区则可借流入的资金大力发展自身的环保产业，加大科研投入，提升技术水平。在具体实践中，需要来自中央部门的有效统筹分配以确保方案的有效执行。

四、结论与政策建议

结合方向距离函数和 SBM 模型，本文构建了体现经济增长与节能减排双重约束的非参数模型，并基于省际截面数据对中国节能减排潜力进行测算。在此基础上，从实际生产的角度出发，依据各省市节能减排潜力的大小将节能减排总体目标在省际间进行分解。随后，运用污染物定价法——影子价格估算减排成本，并基于此设计出一套与节能减排总体目标分解方案相配套的成本分担和补偿机制。研究发现：（1）当前，由中央政府制定的节能减排目标理论上是可以实现的。三大地区中，节能减排潜力大小依次为西部、中部和东部地区；（2）为实现节能减排总体目标，中国的节能减排成本预计将达到 8.57 万亿，平均每年约为 1.71 万亿；（3）在本文所设计的节能减排责任分担及补偿机制中，中西部地区承担了大部分节能减排责任。与此同时，在节能减排成本补偿机制中，中西部地区亦获得了来自东部地区的大量的资金补偿。

为实现节能减排目标，未来，中央及各级政府应当增加节能减排投资预算，加大节能减排投资力度。与此同时，考虑到各地区经济发展水平“不平衡”特征，中央层面还应进一步完善减排成本补偿机制，统筹分配，加大对中西地区的转移支付力度，积极引导资金、技术等生产要素向中西部地区流动，提高中西部地区的经济实力和技术水平。中西部省份应充分利用在人力、自然资源方面的优势，积极引进东部地区先进的节能减排技术和设备，制定优惠政策，积极开辟产业和科技园区，调整生产力布局，改造传统

产业。

参考文献：

- [1]魏楚,杜立民,沈满洪.中国能够实现节能减排目标:基于 DEA 方法的评价与模拟[J].世界经济,2010(3).
- [2]常兴华,张建平,杨国锋,侯嘉.部分省区节能减排工作调研报告[J].宏观经济管理,2007(11).
- [3]余泳泽.我国节能减排潜力、治理效率与实施路径研究[J].中国工业经济,2011(5).
- [4]汪克亮,杨宝臣,杨力.基于环境效应的中国能源效率与节能减排潜力分析[J].管理评论,2012(8).
- [5]王雷,魏后凯,王振霞.中国区域节能潜力估算及节能政策设计[J].财贸经济,2012(10).
- [6]Färe, R., and Grossopf, S., "Directional Distance Functions and Slacks - based Measures of Efficiency", European Journal of Operational Research [J]. 2010, 200, pp. 320 - 322.
- [7]Wei, C., Ni, J. L., Du, L. M., "Regional allocation of carbon dioxide abatement in China", China Economic Review [J]. 2012, 23, pp. 552 - 565.
- [8]Färe, R., Grosskopf, S., and Lovell, C. A. K., Yaisawarng S., "Derivation of shadow prices for undesirable outputs: A distance function approach", The Review of Economics and Statistics [J]. 1993, 75, pp. 374 - 380.
- [9]Coggins, J. S., and Swinton, J. R., "The price of pollution: A dual approach to valuing CO2 allowances", Journal of Environmental Economics and Management [J]. 1996, 30, pp. 58 - 72.
- [10]Lee, M., "The shadow price of substitutable sulfur in the US electric power plant: A distance function approach", Journal of Environmental Management [J]. 2005, 77, pp. 104 - 110.
- [11]单豪杰.中国资本存量 K 的再估算:1952 ~ 2006 年[J].数量经济技术经济研究,2008(10).

(编辑校对:孙敏 吴洪敏)