

人大国发院系列报告

专题研究报告

2013年11月 总第3期

(能源与资源战略系列报告 ERS201301)

中国能源布局与区域能源经济效率研究

夏晓华 (中国人民大学国家发展与战略研究院)



国家发展与战略研究院

National Academy of Development and Strategy, RUC

人大国发院简介

国家发展与战略研究院(简称国发院)是由中国人民大学主办的独立的校级研究机构。国发院以中国人民大学在人文社会科学领域的优势学科为依托,以项目为纽带,以新型研究平台、成果转化平台和公共交流平台为载体,组建跨学科研究团队对中国面临的各类重大社会经济政治问题进行深度研究,以达到“服务政府决策、引领社会思潮、营造跨学科研究氛围”的目标。

国发院通过学术委员会和院务会分别对重大学术和行政事务进行决策。目前由纪宝成教授担任名誉院长兼学术委员会主任,陈雨露教授担任院长,刘元春教授担任执行院长。

地址:北京市海淀区中关村大街59号 中国人民大学国学馆(紧邻新图书馆)

电话: 010-62515049

网站: <http://NADS.ruc.edu.cn>

Email: nads_ruc@126.com, nads@ruc.edu.cn

内容提要

中国能源布局结构是影响区域能源效率的重要因素。为遏制能源消费不断攀升的趋势，除了已有的能源密度管制目标，中国政府在“十二五”期间引入能源总量控制作为新的管制目标。本研究从能源空间布局的角度对能源密度管制和能源总量管制下的区域能源效率做了实证研究。研究发现：在我国能源传输的多种形式中，与煤炭相比，电力的跨省调度和布局差异是引起省际经济效率差异的更关键因素；与以GDP产出为目标的管制比较，能源布局变量对能源密度管制的影响更稳定，也更加不容忽视；政府管制目标的选择直接影响到能源布局的优化决策。我们认为，科学选择电源点的本地化程度(即合理选择电力的本地供给程度)将改善所在地区的能源效率；在引入能源总量控制作为管制目标的背景下，能源密度的约束条件仍然不容放松，能源密度和能源总量同时作为管制目标有利于提升我国能源效率。

目 录

一、引言	5
二、研究方法	9
2.1 效率测度的概率方法	9
2.2 偏序稳健前沿面	10
2.3 条件偏序稳健前沿面	11
三、偏序稳健效率测度	12
3.1 数据说明	12
3.2 能源布局变量的度量	13
3.3 不同目标下的能源经济效率	15
四、实证结果与分析	16
4.1 偏序稳健效率测度结果	16
4.2 总量约束与能源密度约束比较	18
4.3 能源布局的效率影响分析	19
五、结论与政策建议	23
附录	25
参考文献	30

一、引言

中国能源分布和经济发展的地域特征是决定我国能源使用和消费结构的重要因素。长期以来，煤炭和电力的跨省区调度成为平衡我国能源资源禀赋与经济发展结构性差异的最重要方式。煤炭主产区与能源消费中心的非对称性，引起煤炭从北向南、从西向东的大规模传输；而在电力输送方式上，坑口发电与负荷中心发电两种电力输送方式并行。能源布局对我国能源经济效率的影响分析将有助于提高能源布局的科学性。特别是在即将引入能源总量控制的背景下，能源布局对能源经济效率影响与不同管制目标之间的关联性分析，将对政府选择管制目标和制定能源政策提供决策的理论支持。

由资源禀赋决定的我国以煤炭为主的能源消费结构使得我国成为碳排放和硫排放的第一大国（林伯强和姚昕，2009）。为适应国际减碳背景的需要和缓解国内环境压力，在“十一五”期间，我国政府以单位 GDP 能耗（即能源密度）为目标，对各省市的能源消费和经济发展进行了强有力的管制，并取得了较好的成效。“十一五”以来，我国单位国内生产总值能耗降低 19.1%，能源消费弹性系数从“十五”期间的 1.04 下降为 0.59（国家发改委和国家统计局，2011）。为进一步优化产业结构，实现经济的可持续增长，国家将在“十二五”期间对能源消费实施总量控制。与单位 GDP 能源消费密度比较，能源消费总量的控制可以防止地方政府试图通过扩大 GDP 产出的方式来提高能源消费的做法。与增量控制目标比较，基于能源消费绝对量的控制目标

可能减少地方政府的政策规避空间，迫使地方政府不断提高能源加工效率和能源利用效率等手段来降低能源消费总量。两种不同的管制目标可能改变地方政府的微观激励，并引起地方决策和相互间利益的调整。

另一方面，2010年我国仅通过铁路运输的煤炭量就达超过20亿吨（铁道部，2011），其中大部分为发电用煤。由于容易受到外部气候和其他偶然因素的冲击影响，电煤供应链条比较脆弱，造成季节性的电力用煤紧张。同时，以提高能源输送保障能力的跨省区特高压输电技术力图改变现有的能源布局，进而改变能源跨区域调度结构。电力和煤炭需求的周期性波动及其由此引起的市场供需矛盾的周期性，长期影响着我国的经济和社会平稳发展。中国能源的空间布局是长期经济结构、技术变迁和地理规划的结果。在其形成过程中，受到自然条件、资源禀赋和政治考量等多方面的综合影响。在不同能源管制目标的约束下，能源的空间布局如何影响到区域能源经济效率？是否不同管制目标下，区域能源经济效率与能源空间布局之间的敏感性存在显著差异？在巨大的能源管制压力下，通过优化能源空间布局，提高区域能源经济效率的可行性和实际操作空间有多大？

为了回答上述在当前中国经济发展过程中，具有现实紧迫性和实践指导性的重要问题，本文将分析视角集中于如下几点：分析当前能源管制目标的调整对区域能源经济效率的关联性；厘清我国能源布局与区域间能源经济效率的直接关系，特别是煤炭与电力的大规模调度的相关影响；研究能源管制目标、能源布局和能源经济效率三者之间

的协同关系，特别是分析不同管制目标下的效率改善空间。

对不同区域间的能源经济效率的科学测度与评价是所有经济效率理论与政策分析的基础。传统的效率测度方法对极值和随机因素比较敏感，Cazal et al.(2002)提出了一种新的稳健前沿分析方法，该方法通过将效率评价的概率化，有效分离了极值对效率测度的影响，进而可以获得稳健的效率估计值。同时，由于其数据质量要求相对较低，可以有效规避实证研究中对样本数量的限制，进而获得较好的稳健结论 (Daraio and Simar ,2005a; Daouia and Gijbels, 2011)。另外，传统效率测度方法通常无法将外部环境变量对生产过程的影响统一地引入效率评价。例如在能源经济效率中，能源的空间布局可能对劳动、资本投入下的能源经济效率存在某种影响。文献中通常做法是利用两阶段回归来分析外部环境变量的影响，即首先获得忽略外生环境变量下的效率测度，然后将外生环境变量作为解释变量回归比较被忽略变量的潜在影响。Simar and Wilson (2007,2011) 指出这种通过分阶段回归来估计外生环境变量影响是无意义的，至少难于从理论上加以解释。这是因为通常情况下，外生环境变量影响的存在将改变效率评价的技术可行集，进而使得生产效率边界发生变化；任何忽略这种生产边界变化的效率测度都可能都是有偏的。而条件偏序稳健前沿分析在效率测度阶段就考虑了外生环境变量的相关影响，并能分析外生环境变量对效率的影响。由于偏序效率测度具有良好的数理性质，同时能获得外生环境变量影响下地效率度量，所以近几年来偏序稳健前沿分析技术被广泛运用到基金运营效率比较 (Badin et al.,2010)、跨国银行绩效

评价 (Halkos and Tzeremes, 2011a)、工业部门效率测度 (Roudaut and Vanhems, 2011)、公共医疗效率评价 (Halkos and Tzeremes, 2011b) 等问题的实证研究中。具体到本文所研究的问题, 在中国区域发展程度差异和经济结构差异显著、不同地区能源禀赋程度迥异的背景下, 个别地区的能源经济结构极端值可能能源经济效率评价的有显著影响, 非稳健效率测度可能将引起能源效率评价较大的偏差; 如前所述, 能源的现实布局是历史长期形成的结果, 通常现任地方政府对能源布局的影响能力有限, 而能源布局这一外生环境变量可能对区域能源经济效率具有显著影响。偏序稳健前沿方法可以很好的解决极端值与外生环境变量影响的问题, 进而获得稳健的区域能源效率测度和对应的政策建议。

除了研究视角和研究方法外, 与现有文献比较, 本文的不同之处还包括: 一、本文强调能源布局的多重指标对区域能源经济效率的影响分析, 不同于分析能源资源结构与空间布局之间的关系分析 (贾若祥、刘毅, 2003) 或基于能源运输系统的布局优化计算 (林伯强、姚昕, 2009); 二、本文将分析重点集中于能源经济效率的稳健测度, 并试图刻画能源布局变量对其影响的非线性性, 不同于已有对中国省区能源经济效率影响因素分析的实证研究, 如涂正革 (2008) 基于区域要素投入、工业产出和污染排放数据对省际环境技术效率做出评价; 王丹枫 (2010) 采用分位数回归技术对 1995 年至 2007 年我国省际能源使用效率、经济增长和产业结构调整做出实证分析; 王兵等 (2010) 分析人均 GDP、FDI、结构因素、政府和企业的环境管理能

力、公众环保意识等因素对环境效率和环境全要素生产率的影响；三、本文从中国能源管制目标即将发生变化的现实出发，分析能源经济效率测度对能源管制目标的敏感性，不同于已有关于中国能源管制及其相关策略的分析，如 Guo et al.(2011)基于环境 DEA 技术对环境管制下中国省际减碳潜力做出估计和分析；Xia and Chen(2012)对能源密度管制下的目标政策做出分析，以获取节能成本最小的管制方案。

本文的余下部分这样安排：第二部分简要介绍偏序稳健前沿效率测度方法；第三部分提出测度我国省际能源经济效率的具体过程，包括数据分析，能源布局变量度量和管制目标差异分析；第四部分对相关数据作出实证分析，提炼相关结论；最后是本文研究的结论和相关政策建议。

二、研究方法

2.1 效率测度的概率方法

考虑一个采用 p 种投入 X ，生产 q 种产出 Y 的生产过程，定义在 R_+^{p+q} 上的生产可行集 Ψ 可以表示为：

$$\Psi = \{(x, y) \mid x \in R_+^p, y \in R_+^q, (x, y) \text{ 可行} \}$$

其中 x 为投入向量， y 为产出向量， (x, y) 可行意味着生产过程投入 x_1, \dots, x_p 获得产出 y_1, \dots, y_q 在技术上是可行的。在自由处置壳 FDH (Free Disposal Hull) 假设下，我们可以放松数据包络分析 DEA (Data Envelopment Analysis) 的凸性技术假设 (Deprins, Simar and Tulkens,

1984)。FDH 估计子通过比较样本 $\mathcal{X} = \{(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n\}$ 的 FDH 边界 ψ_{FDH} 与样本点 (x_0, y_0) 的相对关系来评价样本点的效率, 其中 n 为样本数量。而前者可以表示为:

$$\hat{\psi}_{FDH} = \{(x, y) \in R_+^{p+q} \mid y \leq Y_i; x \geq X_i, (X_i, Y_i) \in \mathcal{X}\}$$

Cazals, Florens and Simar (2002)和 Daraio and Simar(2005a) 将随机性引入上述生产过程, 提出了 $R_+^p \times R_+^q$ 上 (X, Y) 的联合概率测度, 对应的概率密度函数 $H_{XY}(x, y)$ 为:

$$H_{XY}(x, y) = \text{Prob}(X \leq x, Y \geq y)$$

其中概率密度函数 $H_{XY}(x, y)$ 可解释为产出水平优于 (x, y) 的概率。基于产出的效率测度为

$$\lambda(x, y) = \sup\{\lambda \mid S_{Y|X}(\lambda y \mid x) > 0\} = \sup\{H_{Y|X}(x, \lambda y) > 0\}$$

其中非参数估计子 $S_{Y|X}(y \mid x)$ 为 Y 的条件生存函数 $S_{Y|X}(y \mid x) = \text{prob}(Y \geq y \mid X \leq x)$, 可以通过实证样本获得, 即有:

$$\hat{S}_{Y|X,n}(y \mid X \leq x) = \frac{\sum_{j=1}^n I(x_j \leq x, Y_j \geq y)}{\sum_{j=1}^n I(x_j \leq x)}$$

其中, $I(\cdot)$ 为示性函数。Cazals et al.(2002)证明 FDH 下的效率测度与上述概率测度是一致的。即有:

$$\hat{\lambda}_{FDH}(x, y) = \sup\{\lambda \mid (x, \lambda y) \in \hat{\psi}_{FDH}\} = \sup\{\lambda \mid \hat{S}_{Y|X}(\lambda y \mid x) > 0\}。$$

2.2 偏序稳健前沿面

Daraio and Simar(2005a,b)将 m 偏序前沿稳健前沿面 ψ_m 定义为, 给定 $X \leq x$ 下, Y 的 $m \geq 1$ 个随机样本 Y^1, \dots, Y^m 中最大值的期望, 即

$$\psi_m = E[\max(Y^1, \dots, Y^m) | X \leq x] = \int_0^\infty [1 - (1 - S_{Y|X}(y|x))^m] dy$$

基于产出水平的 m 偏序前沿稳健前沿面估计可以表示为：

$$\hat{\lambda}_m(x, y) = \sup\{\lambda | \hat{S}_{Y|X,n}(\lambda y | x) > 0\} = \max_{\{j|X_j \leq x\}} \{\min_{i=1, \dots, q} \frac{Y_j^i}{y^i}\}$$

Daraio and Simar (2007a) 指出 m 偏序效率值为给定投入水平下，个体与 m 个随机样本比较产出水平的预期效率。这一效率测度评价了单一个体与 m 个同行之间比较的相对效率。 m 效率测度与 FDH 效率之间具有渐进一致的关系。

2.3 条件偏序稳健前沿面

考虑外生于生产过程的环境变量 Z 能影响产出水平，效率评价将有赖于给定 $Z=z$ 时的投入产出关系 (Badin et al., 2011)。我们用 $S_{Y|X,Z}(y|x, z) = \text{prob}(Y \geq y | X \leq x, Z = z)$ 替代 $S_{Y|X}(y|x)$ 。其对应的实证估计量为：

$$\hat{S}_{Y|X,Z,n}(y|x, z) = \frac{\sum_{j=1}^n I(x_j \leq x, Y_j \geq y) K((z - Z_j) / h_n)}{\sum_{j=1}^n I(x_j \leq x) K((z - Z_j) / h_n)}$$

其中 I 为示性函数, K 为核密度, h_n 为带宽。基于产出水平的条件 m 偏序稳健前沿估计可以表示为：

$$\hat{\lambda}_m(x, y | z) = \sup\{\lambda | \hat{S}_{Y|Z,n}(\lambda y | x, z) > 0\} = \max_{\{j|X_j \leq x, \|Z_j - z\| \leq h\}} \{\min_{i=1, \dots, q} \frac{Y_j^i}{y^i}\}$$

Daraio and Simar (2007b) 指出 Z 对效率的影响可以通过计算条件偏序稳健前沿效率与无条件偏序稳健前沿效率的比值来获得，即计算 $Q_m = \hat{\lambda}_m(x, y | z) / \hat{\lambda}_m(x, y)$ 。若 Q_m 的非参数平滑曲线递减，则 Z 对效率有

负面影响；反之，该平滑曲线递增，则 Z 对效率有正面影响。

三、偏序稳健效率测度

3.1 数据说明

本文选取中国省际能源使用和生产数据来评价区域布局对能源经济效率的相关影响。数据来源于相关统计年鉴。考虑到本研究聚焦于能源布局的经济效率影响评价及其政策含义分析，我们选取 2010 年数据作为研究样本，由于样本缺失，我们没有考虑西藏。衡量经济效率的劳动投入 (L) 为城乡就业人员数 (万人)；资本投入 (K) 选取当年资本形成总额 (包括固定资本形成总额和存货增加, 亿元) 来替代, 这一处理的合理性是采用当年数据可以规避掉资本存量的计算难题, 而资本形成总额与资本存量之间通常存在线性关系。产出水平 (Y_0) 当年地区生产总值 (亿元)。能源消费总量 (E) 为当年各省能源消费的标准煤当量 (万吨标准煤)。

由能源布局决定的空间结构和由经济活动决定的能源消费结构共同形成能源在不同省际之间的调度流动。在分析这种能源空间调度关系中, 我们选取的数据包括: 煤炭从外部的调入量 ($C+$, 万吨) 和调出量 ($C-$, 万吨), (考虑到本文侧重分析国内能源的布局特征, 所有能源调度数据均忽略掉与国外的交流); 电力从外部的调入量 ($P+$, 亿千瓦时) 和调出量 ($P-$, 亿千瓦时); 能源调入总量 ($E+$, 万吨标准煤)

和调出总量 (E-, 万吨标准煤); 本省的火电用煤消费量 (CP, 万吨)、电力消费总量 (P, 亿千瓦时)。我们将煤炭和电力的调度数据作为分析重点是因为煤炭资源禀赋的区域分布和火力发电的空间布局是中国能源布局最重要特征之一。

另外, 我们还将引入不同能源的省际调度特征, 全部能源的具体类型包括原煤 (I(1))、精洗煤 (I(2))、其他洗煤 (I(3))、型煤 (I(4))、焦炭 (I(5))、焦炉煤气 (I(6))、其他煤气 (I(7))、原油 (I(8))、汽油 (I(9))、煤油 (I(10))、柴油 (I(11))、燃料油 (I(12))、液化石油气 (I(13))、炼厂干气 (I(14))、天然气 (I(15))、其他石油制品 (I(16))、热力 (I(17))、电力和其他能源 (I(18))。我们分别用小标+和小标-分别表示其输入和输出量, 所有消费量均转换为标准煤计算。

3.2 能源布局变量的度量

如表 1 所示, 我们分别选取如下八个指标来度量能源布局的差异性。我们用煤在能源跨省调度中的份额 (Za) 来度量所在省份与外部能源交换中的煤权重, 其数值越高, 煤在该省能源传输中的权重越大; 电的全省调度份额 (Zb) 则度量了电力在能源跨省交换中的比例, 其数值越高, 该省与外界的能量交换就更多以电力交换的形式完成; 上述两个指标的比值 (Zc) 反映了煤与电这两种能源传输形式在该省的相对重要程度。由于缺乏火力发电企业的外省用煤数据, 我们用煤的调入量与本省电力用煤的比值 (Zd) 来反映所在省份电力用煤对外依赖

度。Simpson 多样化指数用组成成分相对权重的平方和来反映整体构成的集中程度。类似于 Xia et al.(2011)，本文用能源调入(Zf)、调出(Zg)与传输总量(Zh)的 Simpson 多样化指数来分别度量能源传输中能源品种的集中程度。该指数越高意味着所在省份的能源传输越集中于部分能源品种。

表 1 生产过程的外生能源布局变量选择

指标	计算公式	含义
Za	$(C_{++}C_{-})/(E_{++}E_{-})$	煤在能源跨省调度中的份额
Zb	$(P_{++}P_{-})/(E_{++}E_{-})$	电在能源跨省调度中的份额
Zc	$(P_{++}P_{-})/(C_{++}C_{-})$	电煤在能源跨省调度中的相对关系
Zd	C_{+}/CP	电煤的对外依赖度
Ze	P_{+}/P	电力的对外依赖度
Zf	$\sum_{l=1}^{17} w_{+l}^2, w_{+l} = I_{+}(l) / E_{+}$	能源跨省调入中的 Simpson 多样化指数
Zg	$\sum_{l=1}^{17} w_{-l}^2, w_{-l} = I_{-}(l) / E_{-}$	能源跨省调出中的 Simpson 多样化指数
Zh	$\sum_{l=1}^{17} w_l^2, w_l = (I_{+}(l) + I_{-}(l)) / (E_{+} + E_{-})$	能源跨省调度中的 Simpson 多样化指数

表 2 能源布局变量的描述性统计

指标	最大值	最小值	中位数	均值	标准差
Za	0.8274	0.1392	0.5049	0.5220	0.1939
Zb	0.2930	0.0012	0.0770	0.0973	0.0753
Zc	0.8563	0.0064	0.1234	0.2118	0.2000
Zd	2.7867	0	0.8544	0.9780	0.6802
Ze	0.6808	0	0.0944	0.1290	0.1453
Zf	0.7119	0.1757	0.3657	0.3691	0.1463
Zg	0.9594	0.1294	0.2904	0.3342	0.1699
Zh	0.6300	0.1571	0.2409	0.2991	0.1337

表 2 列示了能源布局变量的描述性统计。从指数 Za 来看，煤炭运输是我国能源跨省传输的主要方式，在跨省能源交换中平均有超过一半的能源是以煤炭运输的方式进行的，其中在内蒙、山西和吉林，这

一比例均超过 80%。电力输运大约占跨省能源输运的 10%；贵州电力输运占总能源输运的 29.30%，为全国以电力为介质跨省传递能源的最高比例。从指数 Z_c 来看，电力与煤炭相对传输比例的均值水平为 21.18%，即如果仅仅考虑煤炭和电力两种能源传运情况，大约有 1/6 的能源以电力方式运输；有 5/6 的能源以煤炭方式运输。从煤炭输入量与所在省份的电煤消耗比例来看，全国的煤炭输入总量与电力用煤的消费量大致相当；考虑到电力是煤炭的最大消费行业，这一数值表明电力消费是引起煤炭区域输入的最重要动力。从指数 Z_e 来看，外部电力在各省区电力使用中的份额大致在 10% 左右，除去个别省份如北京，大部分省份的外部电力以来程度在 20% 以下，这说明在电力布局中，当地经济发展水平和负荷水平为核心考虑变量。从能源输入、输出与总量的多样化指数来看，在跨省的区域能源传输中，能源品种的差异性和多样性并不明显。

3.3 不同目标下的能源经济效率

能源经济效率测度决定于所选择的决策目标。中国政府当前选择的两个能源控制目标是能源总量控制和能源密度控制。我们分别考虑上述两个决策目标下的能源经济效率测度。情形一，以能源总量控制为单一目标下的效率测度，将劳动、资本和能源消费总量作为投入，而地区生产总值 (Y_0) 作为经济系统的产出 (Y)；情形二，以能源密度控制为单一目标下的效率测度，将劳动和资本作为投入，而单位能耗

水平的地区生产总值 (YO/E) 作为经济系统的产出；情形三、同时以能源总量和能源密度作为管制目标下地效率测度，将劳动、资本和能源消费总量作为投入，而单位能耗水平的地区生产总值作为经济系统的产出。在后两种情形下，我们选取单位能耗的地区生产总值作为产出变量，而非能源密度主要是为了获得函数形式的一致性。

四、实证结果与分析

4.1 偏序稳健效率测度结果

基于偏序稳健效率方法，我们可以获得不同省份的偏序稳健效率测度。附录表 1-3 详细报告了相关计算结果（取 $m=10$, Bootstrap 次数为 2000），其他 m 下的计算结果备案。表 3 则列示了这一效率的相关统计结果。在所有情形下，无条件偏序稳健效率估计值的标准差均大于对应的条件效率估计值，这表明如果引入能源布局变量，省际间的能源经济效率差异将缩小，即能源布局变量是影响省际间的能源经济效率的重要变量。个别省份能源经济效率的较好（或较差）表现可能是源于能源空间布局的优势（或劣势），而非生产的技术水平差异。从度量能源布局的各指标来看，在能源总量约束下，由电力在能源跨省调度中的份额 (Zb) 引起的产出效率（情形一）差异最大；而以单位能耗产出水平为目标的能源经济效率（情形二和情形三），受电力对外依赖程度 (Ze) 影响形成的效率差异最为显著。这说明电力的跨省调

度和布局差异是引起省际能源经济效率差异的关键因素。即尽管从数量上看，煤炭的跨省运输是我国能源调节的最重要方式，但其对我国省际能源效率的差异性影响不及电力调度的跨省传输。

表 3 不同情形下的偏序稳健效率估计值的统计量

情形一：总量约束下，以地区生产总值为目标的能源经济效率									
效率	$\hat{\lambda}_m(\cdot)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_a)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_b)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_c)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_d)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_e)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_f)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_g)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_h)$
最大值	1.4028	1.0263	1.4613	1.0559	1.0768	1.1132	1.2832	1.0640	1.2525
最小值	0.6327	0.7436	0.8238	0.7694	0.7620	0.7589	0.7708	0.7815	0.7039
中位数	0.9614	0.9995	0.9987	0.9910	0.9997	0.9852	0.9912	0.9862	0.9883
均值	0.9885	0.9760	0.9904	0.9668	0.9777	0.9638	0.9862	0.9730	0.9834
标准差	0.1823	0.0561	0.1054	0.0735	0.0561	0.0688	0.0834	0.0483	0.0850
情形二：以单位能耗的产出水平为目标的能源经济效率									
最大值	3.4587	2.3157	2.3130	2.6878	2.6122	2.6932	2.7433	2.5466	2.5266
最小值	0.9708	0.9385	0.9417	0.9225	0.9535	0.9255	0.9374	0.9424	0.9421
中位数	1.4765	1.0000	1.0001	1.0014	1.0061	1.1496	1.0000	1.1298	1.0688
均值	1.5673	1.1607	1.2348	1.2721	1.2717	1.3650	1.2259	1.3161	1.3536
标准差	0.5755	0.3408	0.3892	0.4570	0.4216	0.5179	0.4070	0.4450	0.4772
情形三：总量约束下，以单位能耗的产出水平为目标的能源经济效率									
最大值	3.4733	2.3163	2.3163	2.6908	2.6032	2.6807	2.7442	2.5488	2.5324
最小值	0.9850	0.9408	0.9401	0.9192	0.9481	0.9327	0.9454	0.9698	0.9433
中位数	1.5187	0.9999	1.0025	1.0029	1.0102	1.1513	1.0000	1.1302	1.0694
均值	1.5787	1.1624	1.2354	1.2753	1.2677	1.3667	1.2293	1.3195	1.3556
标准差	0.5741	0.3404	0.3890	0.4583	0.4214	0.5151	0.4069	0.4441	0.4760

无论是否引入总量控制，以单位能耗的产出水平为目标（对应情形二和情形三）的无条件能源经济效率估计均值均大于条件效率估计值，这意味着当前的能源布局情况对降低我国能源密度存在负面影响；而总量约束下，以地区生产总值为目标的能源经济效率估计值则不存在类似关系。这表明我国当前能源空间布局的规划和整体情况，对传统意义下的能源经济效率影响并不显著，但这一布局不利于我国

能源密度的降低。这一现象的背后原因可能是由于能源空间布局是长期以来逐步形成的，而能源密度是近年来引入的环境管制指标，历史上制定能源规划时，可能更多考虑传统的能源经济指标。因此，厘清能源区域布局对能源消费的实际和潜在影响对实现我国节能的国际承诺具有现实迫切性。

4.2 总量约束与能源密度约束比较

由于偏序稳健效率估计值反映了随机同行之间比较的相对效率，其数值可以度量个体效率的潜在改善能力，所以我们可以根据效率估计值来分析中国各省区在能源效率提升上的改善空间。图 1 描绘了不同情形下，非条件偏序稳健效率测度的相对比较。我们注意到，所有样本省份的效率测度在情形二和情形三下均高于情形一，这表明以单位能耗产出为目标的能源经济效率较以产出为目标的效率有更大的改善空间。从图形来看，山西省在能源密度管制下的效率提升最大；而河北在不同管制策略下的效率差异最大，故河北能源经济效率对目标指标最为敏感。从计算结果来看，各省区的能源密度改善空间要大于能源总量的控制空间。因此，未来在以能源总量为政府管制目标下，能源密度的约束条件仍然不容放松，即政府应该对省区能源使用实施能源总量和能源密度的双重管制，而非选择其中之一。

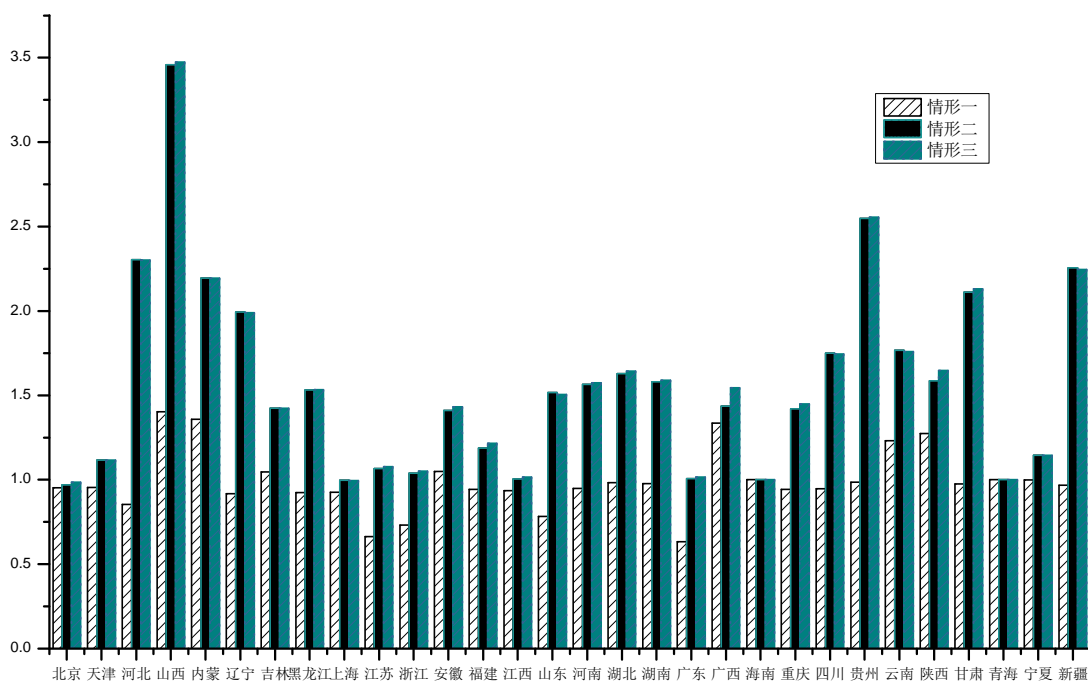


图1 不同情形下，非条件偏序稳健效率测度比较

4.3 能源布局的效率影响分析

图2描绘了将不同代表能源布局指数视为外生环境变量时，获得的 Q_m 值非参数回归图形。类似于Halkos and Tzerems(2011)，图中的非参数回归采用Nadaraya - Watson(1964)方法。整体来看，非参数回归曲线在以单位能耗的产出水平为目标（情形二和情形三）的效率测度下，趋势较以产出为目标（情形一）时稳定，能源布局指标对以单位能耗的产出水平为目标的效率测度具有相对稳定的影响程度。即能源布局对省际能源经济效率的影响在能源密度管制下更加显著，并相对稳定。在以降低单位GDP能耗为环境管制目标的背景下，能源

布局的优化对实现相关目标具有积极影响。

具体而言，由图 2a 和图 2b，电力和煤炭的跨省传输份额在以产出为目标时，对能源经济效率的影响并不稳定，而以单位能耗产出为目标时，具有稳定的递减趋势。煤和电的大规模跨省交流对我国能源经济效率的提升具有负面影响。从微观机制来看，煤和电的跨省际调度通常会引起能源供需之间的非平衡波动，特别是应对季节性、周期性和偶然事件所引起的临时调运，将形成生产过程的外部约束，提高企业的运营成本、并降低企业的经济效率；从产业层面来看，能源的大规模长距离输运通常意味着能源的区域供需结构差异，进而引起产业布局的调整，并由此产生区域间整体能源经济效率的变动。从这个意义上说，在现实能源禀赋背景下，将能源跨区域调度建立在均衡供需关系的基础之上，将有利于能源经济效率的提高。

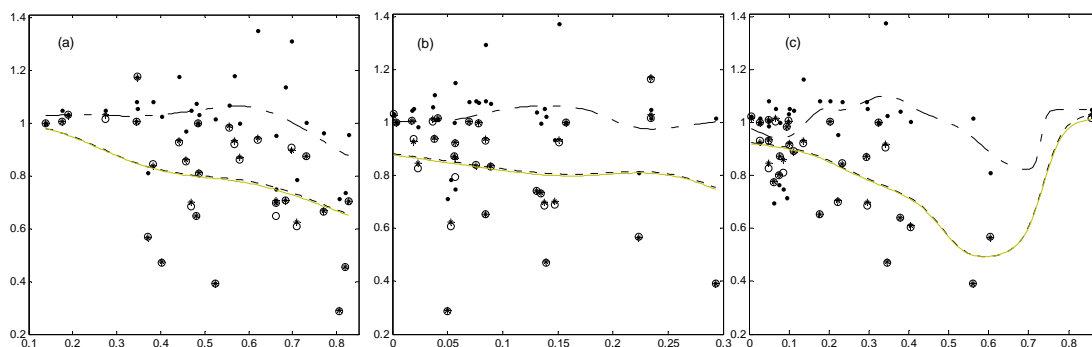
进一步分析由图 2c 描绘的电与煤传输的相对比例图形可知，在情形二和情形三下，电力传送对煤炭运输的相对份额与能源经济效率之间存在“U”型关系，即电力与煤炭的双向流动将降低能源经济效率。各省份根据自己的资源禀赋在煤炭和电力的选择上，以相对稳定方式实现能源传输有利于提高本区域的单位能耗产出。尽管煤电的双向流动在短期内是不可避免的能源平衡方式，但相对稳定的能源传输方式一方面可以减少单一能源在不同时点的调入调出所引起的资源浪费，另一方面有利于区域内部能源消费形成稳定的替代关系，便于平滑能源需求的峰值需求。例如北京这类电力调运相对煤炭调运份额很高的城市，应该进一步提高电力在能源传输中的份额，减少本地直

接用煤的消费，当能源需求峰值来临时，可以通过合理的电力需求侧管理降低能源需求峰值的高度。

从电煤的对外依赖度（图 2d）来看，这一指数与省际能源效率之间的关系并不稳定，但从趋势上来看呈现正相关的关系，这可能与我国独特的能源禀赋分布特点有关，即能源使用技术较好的发达地区往往是煤炭输入较多的省份。这一特征表明区域能源技术和能源布局是能源经济效率的共同决定因素。从电力的对外依赖度（图 2e）来看，以产出为目标的效率测度（倒 U 型曲线）与以单位能耗产出为目标的效率测度（U 型曲线）正好呈现对立。所以能源布局的能源经济效率影响与政府管制目标之间存在紧密联系，特别是在电力电源点的布局上，电力电源点的分布对政策目标十分敏感。例如，除去个别省份（图 2e 中最右端的点），电源点的本地化将提高所在地以产出为目标的能源经济效率；而降低其以单位能耗产出为目标的能源经济效率。政府在布局电源点时，应该充分意识到，电源点布局与国家宏观能源管制政策之间的关系；并建立起合理的利益协调机制，或可通过交易市场的建立解决不同管制系统下的利益调整问题。

从能源传输过程的多样化指数来看，本省对外部少数能源品种的依赖或者输出将降低所在省份以单位能耗产出为目标的能源经济效率，这一现象在输入能源的 Simpson 多样化指数上表现更显著；而对以产出为目标的能源经济效率影响并不稳定。能源品种的多样化程度通常决定于资源禀赋和所在区域的产业结构，这一结论表明与传统能源经济效率比较，优化区域经济结构、逐步减少对单一能源依赖对降

低单位 GDP 能耗有更显著的积极影响。结合前面的分析，单就煤电两种能源而言，以提高能源经济效率为目的，应该减少二者的双向调度，并提高区域内部的替代能力；但从整个能源市场来看，区域的能源应该适当多样化。或者说，适当提高煤炭和电力以外的能源需求比例，能改善能源需求结构。首先，多样化的能源需求通常决定于产业结构的多元化，因此，实现能源需求结构的多样化可以从优化产业结构入手；其次，减少对单一能源供给的依赖可以提高区域整体的能源需求稳定性，即当发生外部偶然事件时，能源的连续供给能力将提高；再次，从分析结果来看，对以能源输出为主的省份，简单改变能源输出结构的多样化并不必然引起能源经济效率的改善，即对能源输出为主的省份，应该从经济结构、能效提高、资源综合利用等角度入手，优化能源经济系统。



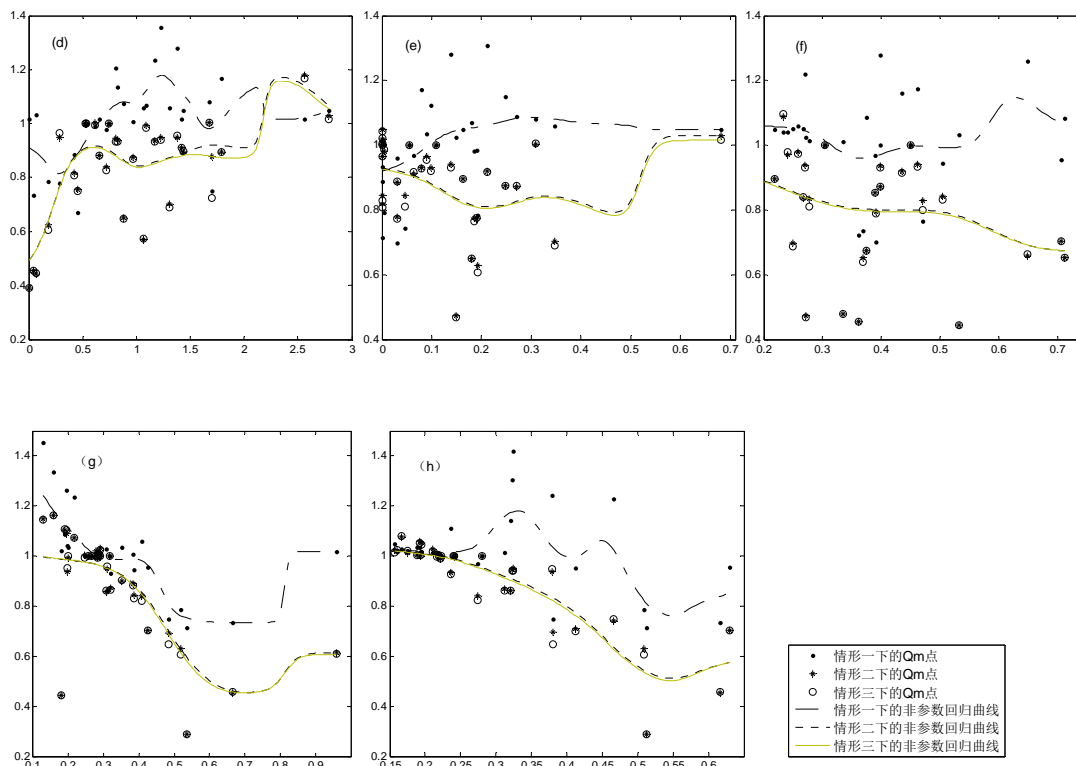


图2 考虑不同布局参数下的 Qm 值

注：图中横坐标为能源布局参数 Z,纵坐标为 Qm 值，图(a-h)分别对应参数 Z_a-Z_h

五、结论与政策建议

本文基于偏序稳健效率测度方法对中国能源布局与能源经济效率之间的关系做了实证分析，研究发现尽管生产技术水平是影响能源经济效率的重要变量，但省际间的能源效率差异可能是能源布局变量影响的结果；在我国能源传输的多种形式中，与煤炭相比，电力的跨省调度和布局差异是引起省际经济效率差异的更关键因素；传统以产出为目标的能源经济效率测度和与以单位能耗产出为目标的能源经济效率测度对能源布局变量的敏感性上存在显著差异。据此，我们提出优化我国能源布局和提高能源管制效率的政策建议：

（一）考虑到能源密度（单位 GDP 能耗）管制下的能源经济效率改善空间相对较大，在我国政府即将将能源总量控制纳入管制目标的背景下，能源密度的约束条件仍然不容放松，政府应该对受管制个体实施能源总量与能源密度的双重管制。不同管制目标的选择将引起地方决策和相互间利益的调整，中央政府在选择相关目标时，必须协调由此引起的利益失衡。

（二）由于能源布局对以单位能耗的产出为目标的效率测度影响更趋稳定，在选择和制定能源空间布局规划时，各省份应该根据自己的资源禀赋，选择相对稳定的能源传输方式，避免由于能源的交替和重复输送带来的效率降低。同时，我们注意到，不同的能源管制目标对能源布局的敏感性也存在差异，特别是当某种新的约束性指标引入后，可能引起能源结构和经济结构的动态调整，因此政府在制定相关政策前，应对决策目标的相关结果做出科学评价，避免可能产生的动态不一致问题。

（三）能源布局的能源经济效率影响与政府管制目标之间存在紧密联系，这一联系首先体现在电力电源点的布局上，而优化电力电源点的布局直接决定于政府的决策目标选择。科学选择电源点的本地化程度将有力改善所在地区的能源经济效率。当前，相关机构试图通过发展电力新技术，如智能电网等来重构能源布局。从本文的研究结论来看，电源点的布局除了与技术相关外，还与包括能源管制政策、地方政府的微观激励、目标的强制性等因素有关。因此，在布局新电源点时，应该充分意识到，上述变量的相关关系，并建立起合理的利益

协调机制，或可通过交易市场的建立解决不同管制系统下的利益调整问题。

（四）与以产出为目标的能源管制相比，能源密度管制目标更有利于优化区域经济结构、逐步减少对单一能源依赖。与以产出为目标的管制比较，能源布局变量对能源密度管制的影响更稳定，也更加不容忽视。从这个意义上说，能源密度管制目标为区域间的能源布局引入了微观激励因素，使得地方政府在布局产业和能源选择上朝向更有利于单位 GDP 能耗降低的方向发展；或者说，尽管能源密度管制目标存在缺陷，但这一目标对优化能源布局存在一定的引导作用。

附录

附表 1 总量约束下，以地区生产总值为目标的能源经济效率 (m=10)

省份	$\hat{\lambda}_m(\cdot)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_a)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_b)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_c)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_d)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_e)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_f)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_g)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_h)$
北京	0.9534 (0.0043)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9877 (0.0023)	1.0000 (0.0000)
天津	0.9541 (0.0041)	1.0000 (0.0000)	0.9988 (0.0007)	0.9849 (0.0024)	1.0000 (0.0000)	0.9996 (0.0004)	1.0000 (0.0000)	0.9569 (0.0040)	0.9880 (0.0021)
河北	0.8546 (0.0031)	0.9720 (0.0026)	0.9246 (0.0029)	0.8926 (0.0032)	0.9968 (0.0005)	0.9824 (0.0011)	0.9278 (0.0029)	0.9276 (0.0033)	0.9765 (0.0015)
山西	1.4028 (0.0060)	0.9988 (0.0007)	1.0000 (0.0000)	0.9759 (0.0022)	0.9389 (0.0040)	0.9790 (0.0021)	0.9837 (0.0025)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
内蒙	1.3595 (0.0048)	0.9996 (0.0004)	1.4613 (0.0015)	0.9736 (0.0017)	1.0000 (0.0000)	0.9725 (0.0026)	0.9816 (0.0028)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
辽宁	0.9183 (0.0025)	0.9917 (0.0008)	0.9829 (0.0012)	0.9894 (0.0010)	0.9725 (0.0024)	0.9999 (0.0000)	0.9640 (0.0021)	0.9438 (0.0028)	0.9495 (0.0022)
吉林	1.0472 (0.0015)	1.0000 (0.0000)	1.0593 (0.0007)	1.0548 (0.0009)	1.0642 (0.0001)	0.9778 (0.0020)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
黑龙江	0.9235 (0.0040)	0.9913 (0.0016)	0.9996 (0.0004)	0.9979 (0.0009)	0.9910 (0.0016)	0.9886 (0.0018)	1.0000 (0.0000)	0.9360 (0.0042)	0.9265 (0.0039)

上海	0.9258 (0.0039)	1.0000 (0.0000)	0.9986 (0.0008)	1.0000 (0.0000)	0.9995 (0.0003)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9438 (0.0035)	0.9436 (0.0035)
江苏	0.6639 (0.0058)	0.8955 (0.0042)	0.8596 (0.0045)	0.7729 (0.0055)	0.9008 (0.0040)	0.8500 (0.0048)	0.8491 (0.0050)	0.9640 (0.0024)	0.9420 (0.0031)
浙江	0.7305 (0.0049)	0.8612 (0.0046)	0.8394 (0.0047)	0.7694 (0.0059)	0.9011 (0.0051)	0.8206 (0.0065)	0.8480 (0.0049)	0.9747 (0.0024)	0.9537 (0.0030)
安徽	1.0498 (0.0032)	0.9983 (0.0009)	0.9801 (0.0019)	0.9998 (0.0002)	0.9294 (0.0036)	0.9332 (0.0035)	0.9905 (0.0016)	0.9927 (0.0012)	1.0000 (0.0000)
福建	0.9440 (0.0025)	0.9729 (0.0024)	0.9289 (0.0030)	0.9308 (0.0030)	0.9219 (0.0050)	0.9580 (0.0029)	0.9568 (0.0027)	0.9998 (0.0002)	0.9157 (0.0042)
江西	0.9359 (0.0041)	0.9996 (0.0004)	0.9910 (0.0019)	0.9859 (0.0023)	1.0000 (0.0000)	0.9682 (0.0029)	0.9915 (0.0015)	0.9745 (0.0026)	0.9296 (0.0043)
山东	0.7835 (0.0059)	1.0263 (0.0024)	0.8238 (0.0054)	0.7953 (0.0051)	1.0014 (0.0028)	0.7589 (0.0057)	0.9868 (0.0022)	0.9892	0.9636 (0.0034)
河南	0.9497 (0.0046)	0.9147 (0.0042)	1.0497 (0.0046)	1.0272 (0.0054)	1.0768 (0.0036)	1.1132 (0.0036)	1.1144 (0.0035)	0.8839 (0.0028)	1.1787 (0.0015)
湖北	0.9830 (0.0027)	0.9816 (0.0014)	0.9981 (0.0003)	0.9859 (0.0023)	0.9999 (0.0001)	0.9649 (0.0024)	0.9528 (0.0031)	1.0000 (0.0000)	0.9983 (0.0002)
湖南	0.9780 (0.0026)	0.9486 (0.0024)	0.9737 (0.0018)	1.0559 (0.0010)	0.9852 (0.0010)	0.9633 (0.0024)	1.0559 (0.0009)	0.9845 (0.0009)	0.9959 (0.0027)
广东	0.6327 (0.0062)	0.7436 (0.0068)	0.8681 (0.0057)	0.8694 (0.0057)	0.7620 (0.0067)	0.8272 (0.0062)	0.7708 (0.0067)	0.7815 (0.0060)	0.7039 (0.0070)
广西	1.3353 (0.0049)	0.9996 (0.0004)	0.9998 (0.0000)	0.9982 (0.0004)	1.0000 (0.0000)	0.9944 (0.0013)	0.9819 (0.0027)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
海南	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
重庆	0.9438 (0.0036)	0.9890 (0.0016)	0.9928 (0.0013)	0.9926 (0.0013)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9909 (0.0015)	0.9520 (0.0033)	0.9470 (0.0034)
四川	0.9477 (0.0019)	0.9981 (0.0004)	0.9859 (0.0010)	0.9879 (0.0007)	0.9632 (0.0015)	0.9087 (0.0027)	0.9856 (0.0010)	0.9815 (0.0012)	0.9754 (0.0016)
贵州	0.9849 (0.0013)	0.9993 (0.0005)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9917 (0.0015)	0.9946 (0.0006)	0.9847 (0.0013)	0.9849 (0.0012)
云南	1.2325 (0.0029)	0.9998 (0.0002)	1.0000 (0.0000)	0.9998 (0.0002)	0.9597 (0.0021)	0.9749 (0.0017)	1.2832 (0.0015)	1.0640 (0.0019)	1.2525 (0.0029)
陕西	1.2750 (0.0046)	0.9996 (0.0004)	0.9983 (0.0008)	0.9762 (0.0023)	0.9998 (0.0002)	0.9997 (0.0003)	0.9761 (0.0023)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
甘肃	0.9760 (0.0024)	0.9997 (0.0003)	0.9993 (0.0005)	0.9997 (0.0003)	0.9677 (0.0028)	0.9987 (0.0007)	0.9997 (0.0003)	0.9763 (0.0024)	0.9885 (0.0017)
青海	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
宁夏	0.9996 (0.0002)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9996 (0.0002)	0.9997 (0.0002)	1.0000 (0.0000)	0.9996 (0.0002)	0.9999 (0.0001)

新疆	0.9687 (0.0030)	0.9997 (0.0003)	0.9991 (0.0005)	0.9891 (0.0018)	1.0000 (0.0000)	0.9879 (0.0019)	1.0000 (0.0000)	0.9904 (0.0018)	0.9879 (0.0019)
----	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

注：括号内为效率估计值的标准差，下同。

附表2 以单位能耗的产出水平为目标的能源经济效率 (m=10)

省份	$\hat{\lambda}_m(\cdot)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_a)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_b)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_c)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_d)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_e)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_f)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_g)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_h)$
北京	0.9708 (0.0021)	0.9997 (0.0003)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9658 (0.0033)	0.9952 (0.0008)
天津	1.1172 (0.0006)	1.1232 (0.0001)	1.1231 (0.0001)	1.1208 (0.0004)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.1142 (0.0009)	1.1218 (0.0003)
河北	2.3037 (0.0083)	1.6267 (0.0005)	1.9288 (0.0049)	2.0487 (0.0012)	2.0607 (0.0013)	2.0155 (0.0036)	1.5532 (0.0036)	2.5466 (0.0093)	1.9850 (0.0028)
山西	3.4587 (0.0120)	0.9998 (0.0001)	0.9998 (0.0001)	2.6878 (0.0081)	2.6122 (0.0105)	2.6932 (0.0079)	2.7433 (0.0054)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
内蒙	2.1948 (0.0017)	0.9998 (0.0002)	2.1910 (0.0032)	2.1559 (0.0025)	1.0000 (0.0000)	2.1209 (0.0062)	0.9962 (0.0007)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
辽宁	1.9935 (0.0070)	1.6724 (0.0042)	1.6641 (0.0039)	1.6770 (0.0041)	1.1393 (0.0005)	1.7377 (0.0007)	1.6705 (0.0021)	1.7117 (0.0022)	2.1121 (0.0062)
吉林	1.4236 (0.0019)	0.9997 (0.0003)	1.4456 (0.0009)	1.4360 (0.0013)	1.2949 (0.0002)	1.4287 (0.0024)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
黑龙江	1.5328 (0.0057)	0.9942 (0.0008)	0.9995 (0.0004)	0.9987 (0.0006)	0.9963 (0.0007)	0.9953 (0.0008)	1.0000 (0.0000)	1.5812 (0.0044)	1.5476 (0.0054)
上海	0.9965 (0.0004)	1.0000 (0.0000)	0.9996 (0.0004)	1.0000 (0.0000)	0.9999 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	0.9999 (0.0001)	0.9986 (0.0002)	0.9985 (0.0002)
江苏	1.0654 (0.0032)	1.0055 (0.0009)	1.0002 (0.0013)	0.9935 (0.0009)	1.0122 (0.0006)	1.0035 (0.0009)	0.9973 (0.0013)	1.2231 (0.0020)	1.0157 (0.0005)
浙江	1.0402 (0.0033)	0.9717 (0.0010)	0.9607 (0.0012)	0.9570 (0.0012)	0.9749 (0.0011)	0.9676 (0.0013)	0.9576 (0.0017)	1.2087 (0.0017)	0.9820 (0.0011)
安徽	1.4112 (0.0051)	0.9987 (0.0006)	0.9903 (0.0010)	0.9964 (0.0006)	1.1560 (0.0021)	1.1537 (0.0022)	1.1907 (0.0005)	1.1910 (0.0005)	1.0000 (0.0000)
福建	1.1866 (0.0040)	0.9614 (0.0024)	1.0027 (0.0007)	1.0025 (0.0007)	0.9960 (0.0016)	1.0019 (0.0011)	0.9888 (0.0009)	0.9995 (0.0003)	0.9975 (0.0014)
江西	1.0053 (0.0015)	0.9937 (0.0010)	1.0193 (0.0006)	1.0205 (0.0001)	0.9998 (0.0002)	0.9716 (0.0027)	0.9831 (0.0016)	0.9424 (0.0030)	1.0043 (0.0015)
山东	1.5171 (0.0046)	1.3612 (0.0028)	1.4067 (0.0015)	1.4012 (0.0016)	1.4390 (0.0009)	1.3846 (0.0021)	0.9984 (0.0002)	1.6555 (0.0044)	1.1254 (0.0006)
河南	1.5650 (0.0053)	1.0433 (0.0008)	1.4697 (0.0014)	1.4618 (0.0017)	1.4692 (0.0019)	1.4582 (0.0027)	1.4735 (0.0023)	1.3631 (0.0025)	1.4689 (0.0029)
湖北	1.6287 (0.0057)	1.4172 (0.0009)	1.9070 (0.0028)	0.9954 (0.0009)	1.9236 (0.0005)	1.2615 (0.0014)	1.3910 (0.0026)	1.0000 (0.0000)	1.4167 (0.0013)

湖南	1.5809 (0.0056)	1.3611 (0.0024)	1.1633 (0.0012)	1.3793 (0.0023)	1.3848 (0.0012)	1.2233 (0.0017)	1.8006 (0.0041)	1.4040 (0.0007)	1.6623 (0.0055)
广东	1.0068 (0.0030)	0.9385 (0.0021)	0.9417 (0.0026)	0.9225 (0.0034)	0.9535 (0.0014)	0.9255 (0.0026)	0.9464 (0.0017)	1.0816 (0.0027)	0.9421 (0.0014)
广西	1.4358 (0.0051)	0.9989 (0.0002)	1.2440 (0.0015)	1.2339 (0.0012)	1.2599 (0.0008)	1.2130 (0.0023)	0.9374 (0.0038)	0.9964 (0.0003)	1.0000 (0.0000)
海南	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9997 (0.0003)
重庆	1.4213 (0.0045)	0.9943 (0.0009)	0.9927 (0.0011)	0.9933 (0.0010)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9941 (0.0009)	1.4504 (0.0037)	1.4180 (0.0046)
四川	1.7493 (0.0064)	2.0528 (0.0040)	1.2943 (0.0017)	1.1171 (0.0003)	1.5442 (0.0023)	1.5478 (0.0020)	1.9029 (0.0059)	1.5732 (0.0014)	1.8827 (0.0060)
贵州	2.5487 (0.0100)	0.9999 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	2.6707 (0.0049)	1.2222 (0.0012)	2.5368 (0.0103)	2.5266 (0.0106)
云南	1.7674 (0.0039)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9998 (0.0002)	1.6782 (0.0072)	1.7336 (0.0058)	1.7166 (0.0042)	1.6773 (0.0062)	1.8028 (0.0026)
陕西	1.5853 (0.0063)	0.9922 (0.0014)	0.9875 (0.0012)	1.2761 (0.0030)	0.9915 (0.0013)	0.9968 (0.0005)	1.3142 (0.0017)	1.0000 (0.0000)	0.9990 (0.0005)
甘肃	2.1114 (0.0064)	0.9995 (0.0002)	0.9996 (0.0002)	0.9999 (0.0001)	2.1195 (0.0061)	0.9998 (0.0002)	0.9999 (0.0001)	2.1189 (0.0061)	2.1678 (0.0031)
青海	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
宁夏	1.1453 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.1454 (0.0001)	1.1454 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	1.1454 (0.0001)	1.1454 (0.0001)
新疆	2.2554 (0.0062)	2.3157 (0.0009)	2.3130 (0.0016)	2.2887 (0.0043)	1.0000 (0.0000)	2.2992 (0.0034)	1.0000 (0.0000)	0.9974 (0.0005)	2.2913 (0.0041)

附表3 总量控制下，以单位能耗的产出水平为目标的能源经济效率 (m=10)

省份	$\hat{\lambda}_m(\cdot)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_a)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_b)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_c)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_d)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_e)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_f)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_g)$	$\hat{\lambda}_m(\cdot Z_h)$
北京	0.9850 (0.0015)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9856 (0.0023)	0.9999 (0.0001)
天津	1.1157 (0.0007)	1.1231 (0.0001)	1.1231 (0.0001)	1.1211 (0.0004)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.1149 (0.0010)	1.1213 (0.0003)
河北	2.3022 (0.0082)	1.6244 (0.0007)	1.9327 (0.0048)	2.0500 (0.0011)	2.0627 (0.0011)	2.0121 (0.0037)	1.5521 (0.0036)	2.5488 (0.0091)	1.9863 (0.0028)
山西	3.4733 (0.0118)	0.9995 (0.0002)	0.9999 (0.0001)	2.6908 (0.0080)	2.6032 (0.0108)	2.6807 (0.0084)	2.7442 (0.0053)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
内蒙	2.1936 (0.0017)	0.9995 (0.0003)	2.1873 (0.0035)	2.1575 (0.0026)	1.0000 (0.0000)	2.1208 (0.0062)	0.9949 (0.0008)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
辽宁	1.9892 (0.0069)	1.6820 (0.0039)	1.6575 (0.0040)	1.6805 (0.0040)	1.1398 (0.0005)	1.7388 (0.0004)	1.6689 (0.0022)	1.7165 (0.0018)	2.0965 (0.0064)

吉林	1.4236 (0.0018)	0.9997 (0.0003)	1.4460 (0.0009)	1.4359 (0.0013)	1.2950 (0.0001)	1.4321 (0.0022)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
黑龙江	1.5332 (0.0057)	0.9950 (0.0008)	0.9995 (0.0004)	0.9992 (0.0004)	0.9947 (0.0008)	0.9947 (0.0008)	1.0000 (0.0000)	1.5735 (0.0046)	1.5277 (0.0058)
上海	0.9956 (0.0007)	1.0000 (0.0000)	0.9993 (0.0005)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9998 (0.0001)	0.9985 (0.0002)	0.9984 (0.0002)
江苏	1.0785 (0.0032)	1.0111 (0.0007)	1.0050 (0.0010)	0.9944 (0.0009)	1.0130 (0.0006)	1.0044 (0.0010)	1.0039 (0.0010)	1.2373 (0.0017)	1.0172 (0.0004)
浙江	1.0516 (0.0033)	0.9688 (0.0011)	0.9689 (0.0010)	0.9614 (0.0011)	0.9819 (0.0009)	0.9683 (0.0013)	0.9626 (0.0015)	1.2212 (0.0012)	0.9896 (0.0007)
安徽	1.4315 (0.0049)	0.9990 (0.0006)	0.9872 (0.0012)	0.9999 (0.0001)	1.1547 (0.0022)	1.1571 (0.0021)	1.1908 (0.0006)	1.1899 (0.0006)	1.0000 (0.0000)
福建	1.2170 (0.0039)	0.9837 (0.0016)	1.0055 (0.0005)	1.0058 (0.0004)	1.0073 (0.0009)	1.0090 (0.0005)	0.9859 (0.0010)	0.9998 (0.0002)	1.0033 (0.0011)
江西	1.0170 (0.0008)	0.9984 (0.0007)	1.0214 (0.0001)	1.0214 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	0.9722 (0.0027)	0.9896 (0.0016)	0.9698 (0.0028)	1.0175 (0.0008)
山东	1.5042 (0.0047)	1.3615 (0.0029)	1.4094 (0.0015)	1.3994 (0.0017)	1.4397 (0.0009)	1.3817 (0.0021)	0.9991 (0.0002)	1.6634 (0.0042)	1.1256 (0.0006)
河南	1.5742 (0.0052)	1.0478 (0.0006)	1.4760 (0.0014)	1.4673 (0.0017)	1.4683 (0.0019)	1.4625 (0.0027)	1.4691 (0.0024)	1.3640 (0.0024)	1.4906 (0.0024)
湖北	1.6444 (0.0056)	1.4176 (0.0008)	1.9107 (0.0025)	0.9947 (0.0009)	1.9217 (0.0010)	1.2583 (0.0015)	1.4034 (0.0023)	1.0000 (0.0000)	1.4178 (0.0012)
湖南	1.5901 (0.0055)	1.3582 (0.0025)	1.1628 (0.0013)	1.3797 (0.0022)	1.3840 (0.0013)	1.2328 (0.0014)	1.8083 (0.0039)	1.4028 (0.0008)	1.6640 (0.0055)
广东	1.0158 (0.0030)	0.9408 (0.0021)	0.9401 (0.0025)	0.9192 (0.0034)	0.9481 (0.0016)	0.9327 (0.0025)	0.9454 (0.0017)	1.0889 (0.0026)	0.9433 (0.0013)
广西	1.5460 (0.0045)	0.9994 (0.0004)	1.2275 (0.0006)	1.2535 (0.0003)	1.1194 (0.0001)	1.2526 (0.0005)	0.9895 (0.0017)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
海南	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0017)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
重庆	1.4500 (0.0037)	0.9936 (0.0010)	0.9943 (0.0009)	0.9939 (0.0010)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9963 (0.0008)	1.4492 (0.0036)	1.4483 (0.0038)
四川	1.7451 (0.0063)	2.0529 (0.0040)	1.2942 (0.0017)	1.1176 (0.0003)	1.5408 (0.0024)	1.5519 (0.0018)	1.9127 (0.0059)	1.5770 (0.0012)	1.8829 (0.0061)
贵州	2.5554 (0.0098)	0.9998 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	2.6656 (0.0053)	1.2231 (0.0012)	2.5394 (0.0103)	2.5324 (0.0105)
云南	1.7600 (0.0041)	0.9998 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	0.9997 (0.0002)	1.6965 (0.0068)	1.7355 (0.0058)	1.7241 (0.0040)	1.6856 (0.006)	1.8062 (0.0023)
陕西	1.6467 (0.0054)	0.9994 (0.0004)	0.9988 (0.0006)	1.3161 (0.0017)	0.9998 (0.0002)	0.9998 (0.0002)	1.3153 (0.0017)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
甘肃	2.1297 (0.0056)	0.9998 (0.0002)	0.9999 (0.0001)	0.9998 (0.0002)	2.1157 (0.0062)	0.9995 (0.0002)	0.9999 (0.0001)	2.1173 (0.0061)	2.1642 (0.0034)

青 海	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)
宁 夏	1.1452 (0.0002)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	1.1454 (0.0001)	1.1454 (0.0001)	1.0000 (0.0000)	1.1454 (0.0001)	1.1453 (0.0001)
新 疆	2.2458 (0.0067)	2.3163 (0.0007)	2.3163 (0.0007)	2.2992 (0.0034)	1.0000 (0.0000)	2.2939 (0.0039)	1.0000 (0.0000)	0.9968 (0.0006)	2.2906 (0.0041)

参考文献

- 铁道部，2010年铁道统计公报，2011年。
- 国家发改委、国家统计局，关于“十一五”各地区节能目标完成情况的公告，2011年。
- 林伯强，姚昕，电力布局优化与能源综合运输体系，经济研究，2009年第6期。
- 贾若祥，刘毅，中国电力资源结构及空间布局优化研究，资源科学，2003年第7期。
- 王丹枫，我国能源利用效率、经济增长及产业结构调整的区域特征，经济研究，2010年第7期。
- 涂正革，环境、资源与工业增长的协调性，经济研究，2008年第2期。
- Badin, L., Daraio, C., and Simar, L., 2011. “How to measure the impact of environmental factors in a nonparametric production model?” Mimeo.
- Cazals, C., Florens, J.P. and Simar, L. 2002. “Nonparametric frontier estimation: a robust approach”, *Journal of Econometrics*, 106: 1-25.
- Daouia, A. and Gijbels, I., 2011. “Robustness and inference in nonparametric partial frontier modeling”, *Journal of Econometrics*, 161:147-165.
- Daraio, C. and Simar, L., 2005. “Introducing environmental variables in nonparametric frontier models: a probabilistic approach”. *Journal of Productivity Analysis*, 24 (1): 93–121.
- Daraio, C. and Simar, L., 2007b. “Conditional Nonparametric frontier models for convex and non convex technologies: a unifying approach.” *Journal of Productivity Analysis*, 28:13-32.
- Daraio, C. and Simar, L., 2007a. “Advanced robust and nonparametric methods in efficiency analysis. Methodology and applications”. Springer, New York.
- Deprins, C., Simar, L. and Tulkens, H., 1984. “Measuring labor-efficiency in post office.” *The performance of public enterprises -Concepts and Measurement*. North-Holland, Amsterdam, 243–267.
- Guo, X., Zhu, L., Fan, Y. and Xie, B., 2011. “Evaluation of potential reductions in carbon emissions in Chinese provinces based on environmental DEA.” *Energy Policy*, 39: 2352-2360.
- Halkos, G. and Tzermes, N. 2011a. “Modelling the effect of national culture on multinational banks’ performance: A conditional robust nonparametric frontier analysis.” *Economic Modelling*, 28:515-525.

Holkos,G and Tzeremes, N.,2010. “Measuring biodiversity performance: A conditional efficiency measurement approach.” *Environmental Modelling & Software*, 25: 1866-1873.

Holkos,G and Tzeremes, N.,2011b. “ A conditional nonparametric analysis for measuring the efficiency of regional public healthcare delivery: An application to Greek prefectures. ” *Health Policy*,103: 73-82.

Nadaraya, E.A., 1964. “On estimating regression.” *Theory of Probability Applications*, 9:141–142.

Roudaut,N., Vanhems,A., 2011. “Explaining firms efficiency in the Ivorian manufacturing sector: a robust nonparametric approach.” *Journal of Productivity analysis*, 37(2):155-169.

Simar, L and Wilson, P.W. 2007. “ Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes.” *Journal of Econometrics*, 136: 31-64.

Simar, L. and Wilson, P.W. 2011. “Two-stage DEA: Caveat emptor.” *Journal of Productivity Analysis*, 36(2):205-218.

Watson, G.S., 1964. “Smooth regression analysis. ”*Sankhya Series A*, 26:359–372.

Xia X.H. and Chen G.Q., 2012. “Energy abatement in Chinese industry: Cost evaluation of regulation strategies and allocation alternatives”. *Energy Policy*, doi: 10.1016/j.enpol.2012.02.055

（供稿：中国人民大学国家发展与战略研究院。所有权利保留。
任何机构或个人使用此文稿时，应当获得作者同意。）