

技术的异质性、技术差距与中国区域大气环境效率

汪克亮,王丹丹,孟祥瑞

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:文章充分考虑到不同区域大气环境治理技术的异质性,基于全要素生产理论与共同前沿生产函数框架,建立大气环境效率测度DEA模型,并以2006–2015年中国30个省份与三大区域为研究对象进行了实证分析,根据效率值的高低将全国各省份归入具有不同大气环境效率特征的四类地区,运用“共同技术率(MTR)”这一指标刻画三大区域之间大气环境治理技术的差距,基于面板数据与Tobit模型实证检验省际大气环境效率与大气环境治理技术的影响因素。研究表明,中国大气环境效率水平较低,区域异质特征突出,大气污染减排潜力巨大,东部与中西部地区大气环境治理技术差距较为明显,落后省份赶超先进省份的难度较大;经济增长、产业结构、科技创新、能源消费结构、环境规制、经济开放度对中国省际大气环境效率与大气环境治理技术水平均有一定影响,但影响机制存在差异。

关键词:大气环境效率;异质性环境治理技术;共同前沿生产函数;区域差异;影响因素

中图分类号:F205

文献标志码:A

文章编号:1007-5097(2017)05-0048-08

一、引言

近年来,中国多个地区大范围雾霾天气频繁发生,且有越来越严重之势,已经成为政治、经济与生活领域的重要事件,引起了社会公众的广泛关注。2011年9月,世界卫生组织(WHO)发布了全球91个国家1100个城市的空气质量及排名,中国32个城市的排名居于第812–1 058位^[1]。中国不同区域经济社会发展等诸多方面存在很大差异,决策部门在制定大气环境治理政策时如果没有考虑到这种差异性,采用“一刀切”的政策制定方式,极有可能导致政策水土不服,使政策效果大打折扣,从而使得这一努力付之东流。因此,在充分考虑不同区域异质性特征的基础上,科学衡量中国各省份大气环境效率水平,系统分析效率的地区差异性与影响机制,深入挖掘效率缺失的真实根源,无疑对于有针对性地制定区域大气环境治理政策具有重要的指导意义。

环境效率一直是国内外环境经济领域研究的热点。从数值来看,环境效率可以通过某一企业、行业或地区(统称生产单位)创造单位价值所产生环境影响的大小来衡量,强调以尽可能少的环境代价创造尽可能多的经济价值,已成为衡量企业、行业或者地区可持续发展水平的一个重要度量指标。环境效率

常用的测度方法包括“生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)”以及“数据包络方法(Data Envelopment Analysis, DEA)”,其中LCA方法主要用于评估特定产品在其整个生命周期过程中对环境造成的影响,但不适用于宏观环境效率的评价,而基于非参数前沿的DEA方法则非常适用于宏观环境效率的测度,是当前国内外该类问题研究的主流方法,涌现出一大批具有重要理论与应用价值的研究成果^[2–5]。然而,专门利用DEA方法研究大气环境效率的文献仍然比较少见,因而值得就该问题展开进一步深入探究。其中具有代表性的文献,如王奇与李明全(2012)运用超效率DEA模型,对中国各省份大气污染治理效率进行测度并分析效率的地区差异性^[6];金玲等(2014)运用DEA方法测度了中国各省份大气污染排放效率,并从横向和纵向两个方面揭示了经济发展和大气污染排放效率之间的关系^[7];何为等(2016)基于SBM模型实证测算了2006–2013年天津市各区县的大气环境效率,并就各区县大气环境效率的差异性与变化趋势及其影响因素进行了系统考察^[8]。虽然上述文献在应用DEA方法研究大气环境保护问题方面做出了有益的尝试,但是研究假设趋于理想化,采用的模型也较为简单,且过分强调决策

收稿日期:2016–10–22

基金项目:国家自然科学基金项目(71403003);教育部人文社会科学研究项目(13YJC790136);安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目(gxyqZD2016075);中国博士后科学基金项目(2014M551787)

作者简介:汪克亮(1980–),男,安徽枞阳人,副教授,管理学博士,研究方向:低碳经济与绿色发展,效率与生产率分析;
王丹丹(1992–),女,江苏苏州人,硕士研究生,研究方向:资源经济与环境管理;
孟祥瑞(1965–),男,吉林洮南人,教授,博士生导师,工学博士,研究方向:管理系统工程。

单元的同质性,一定程度上违背了经济事实^[9-10]。为了更加科学客观分析中国区域环境效率的地区差异与变化来源,本文将充分认识到技术异质性对区域大气污染排放及治理的影响,在共同前沿生产函数理论框架下予以系统考察,通过建立基于全要素理论的大气环境效率测度 DEA 模型,实证测算 2006-2015 年中国各省份大气环境效率与大气环境治理技术水平的高低,全面揭示大气环境效率地区差异性的形成机理与变化源泉,并基于面板数据建立计量经济模型阐释中国省际大气环境效率与大气环境治理技术的外部环境影响因素及其作用机制,从而为决策部门因地制宜地制定大气环境治理政策提供理论依据与数据支撑。

二、共同前沿生产函数理论

Battese and Rao (2002)^[11] 基于随机前沿分析 (SFA) 方法最先提出了共同前沿 (Meta-frontier) 生产函数的理论框架, Donnell et al. (2007)^[12] 将其进一步拓展至非参数前沿领域,解决了 SFA 只方法能处理单一产出问题的局限。共同前沿理论打破了传统的技术同质性假定,注重挖掘决策单元生产技术的异质性特征,从而为准确定位决策单元效率缺失的潜在深层次原因提供了可能性。设 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \in R_+^n$ 产出向量 $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}) \in R_+^n$, 首先根据一定标准,将所有生产单元划分为 g 个组群 ($g = 1, 2, \dots, G$), 则第 g 个群组中生产单元投入产出的技术集合为 T^g , 则群组技术集为:

$$T^g = \{(x, y): x \text{ 能生产出 } y\} \quad (1)$$

此时生产可能集可以定义为:

$$P^g(x) = \{y: (x, y) \in T^g\} \quad (2)$$

$P^g(x)$ 的上界即为“组群前沿”。组群前沿上的决策单元代表了该组群内最优的生产技术,是该组群内的最佳投入产出点。基于组群前沿的距离函数可表示为:

$$\bar{D}^g(x, y) = \sup\{\lambda > 0: (x/\lambda, y) \in P^g(x)\} \quad (3)$$

根据 Farrell (1957)^[13], 距离函数的值可以通过决策单元的实际生产投入与前沿投入水平的标示,因此可以用其来衡量决策单元的技术效率 (Technical Efficiency, TE)。则决策单元的组群技术效率为:

$$0 \leq [\bar{D}^g(x, y)]^{-1} = TE^g(x, y) \leq 1 \quad (4)$$

设 T^m 为包含 g 个组群子生产技术集合的并集,即:

$$T^m = \{T^1 \cup T^2 \cup \dots \cup T^G\} \quad (5)$$

此时的生产可能集即可以表示为:

$$P^m(x) = \{y: (x, y) \in T^m\} \quad (6)$$

$P^g(x)$ 的上界就是“共同前沿 (Meta-frontier)”。共同前沿上的决策单元是所有组群的最佳投入产出点,代表的是所有组群内最优的生产技术。显然,共同前沿是组群前沿的包络曲线。基于共同前沿的距离函数可表示为:

$$\bar{D}^m(x, y) = \sup\{\lambda > 0: (x/\lambda, y) \in P^m(x)\} \quad (7)$$

如前所述, $\bar{D}^m(x, y)$ 测算的是各决策单元实际投入与共同前沿投入的比值,因此决策单元的共同前沿技术效率即为:

$$0 \leq [\bar{D}^m(x, y)]^{-1} = TE^m(x, y) \leq 1 \quad (8)$$

并且,组群前沿的包络曲线就是共同前沿,因此在群组前沿与共同前沿下,生产单元的技术效率有如下关系:

$$\bar{D}^m(x, y) \geq \bar{D}^g(x, y), TE^m(x, y) \leq TE^g(x, y) \quad (9)$$

在共同前沿理论框架下,有一个非常重要的指标,即“共同技术率 (Meta-technology Ratio, MTR)”,数值上等于共同前沿技术效率与组群前沿技术效率之比。MTR 越高,越表明组群前沿技术水平更接近共同前沿技术水平,两者之间的落差越小;反之,若 MTR 越小,则组群前沿技术与共同前沿技术的落差越大。可以用 MTR 指标来衡量组群与前沿技术间以及不同组群技术间的差距。MTR 可以表示为:

$$0 \leq MTR(x, y) = \frac{\bar{D}^m(x, y)}{\bar{D}^g(x, y)} = \frac{TE^m(x, y)}{TE^g(x, y)} \leq 1 \quad (10)$$

距离函数的测算方法较多,如随机前沿分析 (SFA) 与数据包络分析 (DEA)。鉴于 DEA 方法在处理多投入、多产出问题以及生成指标权重等方面具有很大优势,因而本文采用 DEA 方法来测算距离函数。

三、样本、指标和数据

本文选择 2006-2015 年共 10 年的中国省际面板数据为研究样本,以中国大陆 30 个省份 (包括自治区与直辖市,统称省份。由于数据所限,西藏不在分析范围之内) 为决策单元,构建大气环境效率测度 DEA 模型。根据共同前沿理论,首先要将 30 个省份划分为具有异质技术特征的不同组群。划分标准的选择非常重要。本文参考相关文献^[14-15] 的做法,按照地理位置将 30 个省份分为东部、中部和西部三个组群。中国长期区域发展的不平衡因素导致这三大组群的大气环境治理技术差距较为明显。基于全要素生产理论,本文选择的投入指标包括资本、劳动和能源。另外考虑到现阶段中国大气污染主要是煤烟型污

染,主要成分是SO₂与烟粉尘,因此本文选择这两种物质作为大气污染物的代表,将其也作为投入指标纳入到效率测度模型之中^[16-17]。虽然从生产经济学的角度来看,污染物并不是投入要素,但我们可以将其理解为生产单位经济增长所付出的环境成本或代价。

本文选择决策单元的产出指标为各省份GDP并以基期2006年不变价格对其进行调整。投入变量的具体测算方法如下:①资本投入。按照多数文献的做法,本文采用资本存量来衡量资本投入。由于无法直接获取各省份历年资本存量数据,我们采用永续盘存法予以估算。在估算过程中会涉及到基期资本存量的测算、固定资产投资平减指数的确定以及折旧率的选择等问题。对此,本文直接采用单豪杰(2008)^[18]的做法及计算结果,并按照其方法将各省份资本存量数据拓展至2015年并调整为2006年不变价,与省份GDP统计口径保持一致。②劳动投入。劳动投入涉及众多范畴,难以准确衡量。本文不考虑劳动种类、劳动时间、劳动质量以及劳动报酬等因素的影响,直接采用各省份“三次产业年末从业人数”作为劳动投入指标的代替变量。③能源投入。以各省份的能源消费量来衡量能源投入,并将各类能源折算为标准煤来进行统计。④大气污染物。以各省份SO₂和烟粉尘排放量作为大气污染排放物的代表。这两种大气污染物不仅是雾霾的重要组成部分,也是当前中国大气污染控制的重点对象。部分省份相关变量的统计数据在若干年份出现了缺失情况,本文采用插值法或平滑预测的方法进行补齐。各变量数据来自2007-2016年《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》以及各省份的相关年份统计年鉴、国民经济与社会发展统计公报等并经过整理得到,描述统计见表1所列。

表1 样本投入产出变量描述性统计(2006-2015年)

变量	单位	均值	标准差	最大值	最小值
能源	万吨标准煤	12 932.92	8 067.31	38 899.25	920.45
劳动	万人	2 554.58	1 683.72	6 655.77	270.90
资本	亿元	36 262.57	28 008.91	151 098.40	2 430.83
SO ₂	万吨	73.28	42.89	196.20	2.17
烟粉尘	万吨	49.28	34.05	179.77	1.47
省份GDP	亿元	13 478.54	11 580.02	62 473.09	648.50

四、实证结果分析

(一)大气环境效率测度及其地区差异性

关于距离函数的测算方法很多,本文采用最常用的基于投入导向的规模报酬不变CCR模型,利用DEA-solver软件测算2006-2015年间共同前沿与组

群前沿下中国各省份的大气环境效率值,分别记为MAPE与GAPE,描述性统计特征见表2所列。

表2 中国30个省份大气环境效率的描述统计特征
(2006-2015年)

区域	MAPE				GAPE			
	平均值	最大值	最小值	标准差	平均值	最大值	最小值	标准差
北京	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
天津	0.894 3	0.981 8	0.813 0	0.057 8	0.894 3	0.981 8	0.813 0	0.057 8
河北	0.581 6	0.594 5	0.565 0	0.009 1	0.581 6	0.594 5	0.565 0	0.009 1
辽宁	0.686 2	0.722 1	0.643 4	0.027 2	0.686 2	0.722 1	0.643 4	0.027 2
上海	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
江苏	0.866 6	0.874 5	0.856 6	0.006 1	0.866 6	0.874 5	0.856 6	0.006 1
浙江	0.857 1	0.880 7	0.817 6	0.019 1	0.857 1	0.880 7	0.817 6	0.019 1
福建	0.791 9	0.829 1	0.746 3	0.025 1	0.791 9	0.829 1	0.746 3	0.025 1
山东	0.722 6	0.743 3	0.692 6	0.016 2	0.722 6	0.743 3	0.692 6	0.016 2
广东	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
海南	0.724 9	0.943 9	0.611 3	0.102 1	0.724 9	0.943 9	0.611 3	0.102 1
东部组群	0.829 6	0.870 0	0.795 1	0.023 9	0.829 6	0.870 0	0.795 1	0.023 9
山西	0.550 8	0.580 9	0.526 6	0.016 4	0.550 8	0.580 9	0.526 6	0.016 4
黑龙江	0.602 7	0.641 2	0.581 3	0.021 6	0.599 9	1.000 0	0.999 4	0.000 2
吉林	0.685 3	0.708 4	0.665 7	0.014 7	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
安徽	0.660 5	0.687 5	0.647 2	0.013 2	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
江西	0.768 2	0.781 3	0.746 5	0.012 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
河南	0.587 3	0.602 0	0.576 7	0.009 8	0.961 4	0.984 7	0.930 0	0.021 3
湖北	0.618 2	0.811 2	0.552 6	0.074 7	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
湖南	0.603 5	0.671 8	0.571 0	0.038 2	0.967 9	1.000 0	0.914 2	0.035 0
中部组群	0.634 6	0.685 5	0.608 4	0.025 1	0.969 0	0.981 6	0.951 8	0.011 2
内蒙古	0.643 8	0.701 4	0.552 6	0.056 2	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
广西	0.619 2	0.658 7	0.578 7	0.030 7	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
四川	0.593 7	0.690 2	0.543 2	0.058 5	0.991 4	1.000 0	0.948 6	0.017 0
重庆	0.668 6	0.743 6	0.613 0	0.043 9	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
贵州	0.460 8	0.528 1	0.382 5	0.055 6	0.702 8	0.855 5	0.602 1	0.070 6
云南	0.456 9	0.464 5	0.446 4	0.005 7	0.869 6	1.000 0	0.695 7	0.135 5
陕西	0.581 8	0.602 3	0.571 1	0.008 4	0.972 3	1.000 0	0.894 5	0.044 9
甘肃	0.549 6	0.608 1	0.498 6	0.043 2	0.850 7	1.000 0	0.817 8	0.053 2
青海	0.406 8	0.423 9	0.373 2	0.017 5	0.786 8	1.000 0	0.676 4	0.104 4
宁夏	0.375 3	0.390 0	0.344 0	0.012 4	0.645 7	0.942 0	0.592 2	0.104 9
新疆	0.516 8	0.532 6	0.488 6	0.013 8	0.913 5	1.000 0	0.795 2	0.084 8
西部组群	0.533 9	0.576 7	0.490 2	0.031 4	0.884 8	0.981 6	0.820 2	0.055 9
全国平均	0.666 0	0.710 7	0.631 2	0.026 8	0.894 5	0.944 4	0.855 7	0.030 3

由表2可以看出,如果以共同前沿为基准,中国30个省份的大气环境效率研究期间的均值为0.666 0,距离生产前沿面还存在33.40%的改进空间,表明在维持现有产出不变的情况,所有投入还可以在原有基础上减少33.40%。如果所有省份都能够达到共同前沿省份的环境生产技术,那中国大气污染减排的潜力是非常可观的。通过表2我们还发现,多数省份共同前沿与组群前沿下的大气环境效率值差别很大。如中部地区的山西省,共同前沿下的大气环境效率值为0.550 8,这意味着以全国最优环境技术为基准,在维持现有产出条件下,所有投入还可以减少44.92%;但在组群前沿下的大气环境效率却达到了

0.822 7,表明以中部地区最佳的环境技术为基准,维持现有产出的所有投入能够再减少 17.73%。很明显,两种前沿下的大气污染减排潜力是不同的,这种差别主要是由于效率测度参考标准不同而造成的,组群前沿参考标准只是中部地区潜在最佳的大气环境治理技术,而共同前沿却是以全国潜在最优的大气环境治理技术为基准。由于不同区域技术水平的差异,两者之间必然存在一定差距。参考技术集不同,效率值必然不同。但同时我们也发现,如图1所示,东部地区所有省份两种前沿下的大气环境效率值是相同的,这是由于共同前沿面全部由东部地区省份构造的,东部组群前沿与共同前沿完全重合,这也从侧面反映东部地区的大气环境治理技术代表了全国最优水平。

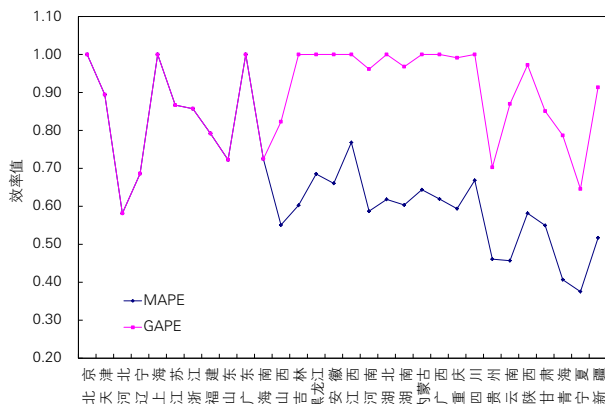


图1 共同前沿与组群前沿下中国各省份大气环境效率的平均值(2006-2015年)

由于各省份的GAPE是基于不同组群大气环境治理技术计算得到的,不同组群省份的参考标准不一样,因而不同组群省份的GAPE之间不存在可比性。因此,我们只能将共同前沿作为统一参考标准来分析全国各省份和区域大气环境效率的差异性。由表1和图1可知,不同省份大气环境效率的异质性特征较为明显。其中,研究期内北京、上海与广东三省份一直位于生产前沿之上,大气环境效率为1,反映了全国最优的大气污染防治水平,是最佳大气环境治理技术的代表。大气环境效率较高的省份还包括天津(0.894 3)、江苏(0.866 6)、浙江(0.857 1)等东部地区省份,这些省份的实际生产点更接近生产前沿面,经济增长与大气环境保护之间的协调水平较高。经济发展水平较高,节能减排技术发达是这些省份的共同特点。相比之下,大气环境效率最低的几个省份是宁夏(0.375 3)、青海(0.406 8)、云南(0.456 9)与贵州(0.460 8),这些省份集中来自经济欠发达的西部地区。

从区域层面来,2006-2015年,东部、中部和西部地区的大气环境效率均值分别为0.829 6、0.634 6和0.533 9。东部地区最高,其次为中部地区,西部地区最低,符合中国区域经济发展的“梯度”特征,其中中西部地区的大气环境效率都是低于全国平均水平。东部地区是中国大气环境效率最高的地区,经济发展与大气环境保护之间实现了较好的平衡,这与东部沿海地区优良的地理位置、发达的技术水平、雄厚的经济实力密切相关。中部地区是中国主要的能源与制造业基地,产业结构较为粗放,二元经济特征明显,经济转型难度较大,节能减排任务艰巨,大气环境保护形势不容乐观。对于当前面临的巨大资源环境压力,中部地区应当牢牢抓住当前新一轮产业升级的历史机遇,加快推动产业结构优化升级,实现传统行业与新兴产业之间的互融互通,强力实施创新驱动战略,走出“中部塌陷”困境,实现跨越式发展与中部崛起。西部地区长期以来都是中国经济社会发展水平最低的地区,公众环境保护意识较为薄弱。一直以来,西部各省份都以经济增长、提高人民生活水平作为首要宏观经济目标,从而忽视了对大气环境的保护。近年来特别是西部大开发战略实施以来,在中央政策倾斜支持下,西部地区工业发展速度很快,但是这些工业多是集中于能源消耗大、污染排放多的资源环境密集型工业。另一方面,近年来东部和中部地区的高耗能、高污染行业也不断向西部地区转移,从而导致“污染西迁”。除此之外,西部地区众多省份为了吸引外资,带动本地经济增长,人为降低项目准入的环境门槛,使得一大批能耗高、污染严重的外资项目得以上马,一定程度上使得西部地区成为发达国家的“污染避难所”。在多方努力之下,近年来西部地区经济获得了较快发展,人民生活质量得以进一步提高,但同时也给当地环境保护带来了巨大的压力,生态环境质量在不断退化。作为中国环境最为脆弱的地区和重要的生态功能区,西部地区环境质量的高低直接关系到全国人民的环境福利,事关重大。因而,如何在保持西部地区经济快速发展的同时,节约资源,有效保护环境,是摆在中国政府面前一项亟待解决的重要议题。

(二)省际大气环境效率的地区分类及其提升策略

中国区域发展的不平衡特征显著,从而导致不同区域大气环境保护能力与防治水平也存在很大差别。为了提高政策制定的针对性与有效性,本文按照2006-2015年各省份大气环境效率测算值由高到

低的顺序,将30个省份划分为不同大气环境保护能力的四类区域,具体见表3所列。

表3 全国30个省份大气环境效率的分类结果(2006-2015年)

地区类别	大气环境效率	包含省份	省份个数
第Ⅰ类地区	$MAPE=1.00$	北京、上海、广东	3
第Ⅱ类地区	$0.70 \leq MAPE < 1.00$	天津、江苏、浙江、福建、江西、海南、山东	7
第Ⅲ类地区	$0.50 \leq MAPE < 0.70$	辽宁、黑龙江、四川、安徽、内蒙古、广西、湖北、湖南、吉林、重庆、河南、陕西、河北、山西、甘肃、新疆	16
第Ⅳ类地区	$0.00 < MAPE < 0.50$	贵州、云南、青海、宁夏	4

由表3可知,北京、上海与广东属于第Ⅰ类地区,这三个省份大气环境效率最高,研究期间内牢牢占据共同生产前沿,展现了中国最高的大气环境保护能力与水平,经济增长与大气环境保护之间的协调度最高。Ⅱ类地区包括天津、江苏、浙江等7个省份。该类地区省份较为接近生产前沿面,大气环境治理水平较高,但还存在一定的改进空间。如果今后不断优化产业结构和改进大气环保技术,这些省份很有希望进入第Ⅰ类地区。第Ⅲ类地区所包含的省份最多,达到16个,超过全国省份总数的一半,这些省份大气环境效率接近或低于全国平均水平,主要来源于中西部与东北地区,如安徽、湖北、甘肃、新疆、吉林、黑龙江等,且多数省份为中国传统工业制造与能源生产基地,资源环境密集型产业比重较高,经济增长方式较为粗放,同时这些省份也是中国大气污染最为严重的地区,大范围雾霾天气也多是出现在这些省份,经济增长与大气环境保护之间的关系很不协调。今后相当长时期内,这些省份都是中国节能减排政策关注的重点地区,也是大气污染防治的主要区域,提升这些省份的大气环境效率对于全国层面大气环境质量的改善具有至关重要的意义。贵州、云南、青海与宁夏4省份属于第Ⅳ类地区,该地区是中国大气环境效率最低的地区。事实上,单纯从数据上来看这些省份的大气环境质量其实并不是很低,大气污染物绝对排放量也不是很高,但经济增长所付出的大气环境代价要高于前三类地区,有限的经济产出是依靠大量的资源消耗与污染排放来获得的,经济与环境之间的匹配程度较低。究其原因,主要是由于该类地区的发展基础薄弱,生产技术落后,大气污染防治能力低下且缺乏足够财政资金的支持。长期经济的低水平发展使得当地政府与居民的环保意识普遍不高,以资源环境为代价换取经济增长的“逐底竞争”倾向十分严重。为此,一方面当地政府必须要适时转变传统发展思路,通过依靠创新驱动产业结构升级来实现经济的高质量增长,从而逐渐降低资源环境消耗;另一方面中央政府也应给予该类地区更多人力、物力与财力方面的支

持,通过促进地区之间的经济合作与技术交流,采用精准扶贫与对口支援等援助方式来帮助这些省份的大气环境治理水平实现本质性的提高。

(三)区域间大气环境治理技术差距分析

前文测算了2006-2015年中国30个省份和三大区域的大气环境效率,并对效率的地区差异性进行了解释分析。事实上,中国大气环境效率的区域异质性特征在很大程度上是由于区域之间大气环境治理技术存在差距所致。本节通过测算东部、中部与西部地区的共同技术率MTR,并以此定量刻画三大区域间的大气环境治理技术差距,结果如图2所示。

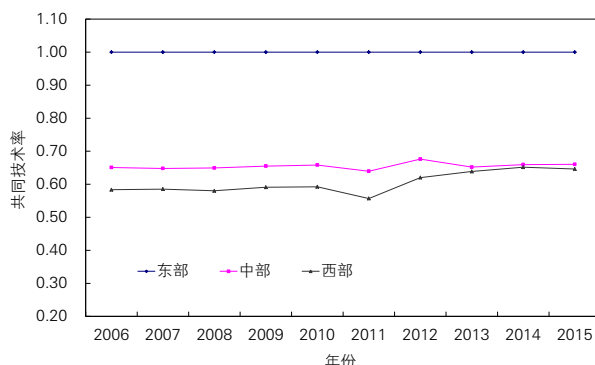


图2 三大区域共同技术率的变化趋势(2006-2015年)

经过计算可以得到,2006-2015年间东部、中部和西部三大地区的共同技术率MTR均值分别为1.000、0.654 9、0.604 6,其中东部地区明显高于中西部地区。样本期内东部地区的MTR一直为1,实现了全国潜在最优大气环境治理技术的100%,代表了全国大气污染防治与大气环境保护的最高水平。相比之下中西部地区的MTR则明显低于东部地区,距离共同前沿还分别存在34.51%与39.54%的改进空间,表明中国区域间大气环境治理技术存在明显差距,这种差距制约了中国大气环境效率的进一步提升。从变化趋势来看,由图2可知,样本期内中西部地区的大气环境治理技术基本上停滞不前,甚至出现下降趋势,中部地区的MTR在考察期内表现比较疲软,从2006年的0.650 8微幅上升至2015年的0.660 3,仅提高1.46%;相比之下西部地区的MTR提升则为明

显,从2006年的0.583 6上升到2015年的0.646 3,增幅达到10.74%,并且越来越接近于中部地区水平。因为共同技术率能够反映区域大气环境治理技术水平的高低,所以我们可以将三大区域的共同技术率两两相减,用来衡量三大区域之间大气环境治理技术的差距,结果如图3所示。从图3可以看出,研究期内东部与中西部地区之间的大气环境治理技术差距整体上是缩小的,但是改善幅度非常有限。其中,东部与中部地区之间的差距从2006年的0.34 32降至2015年的0.339 7,东部与西部地区之间的差距从2006年的0.416 4下降为2015年的0.353 7。区域之间技术差距较大且被“锁定”的既定事实表明中国不同区域间,特别是东部与中西部之间可能存在阻碍技术转移的壁垒因素,如地方保护主义、市场分割、信息封锁等,这些因素抑制了市场要素的自由流动和资源的有效配置,严重制约了技术溢出效应的充分发挥,导致东部地区先进的大气污染防治技术与管理经验无法向落后的中西部地区扩散转移。在这种形势下,中西部地区追赶东部地区的难度可能会继续加大。另外,近年来中部与西部地区之间的技术差距有不断缩小的趋势,这主要是由于从2011年开始西部地区追赶中部地区的速度明显加快所致。

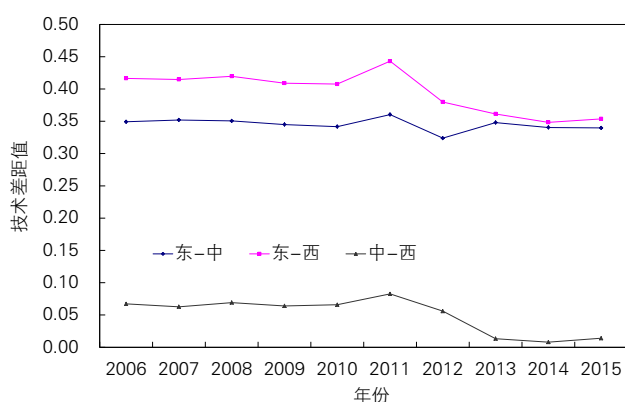


图3 三大区域间大气环境治理技术差距的变化趋势
(2006-2015年)

(四)省际大气环境效率与大气环境治理技术的影响因素分析

上文分析了中国不同省份和区域大气环境效率于大气环境治理技术的差异性,但形成这种差异的内在原因是什么,还有待进一步建立计量经济模型来进行验证。为此,本文分别以2006-2015年各省份共同前沿下的大气环境效率以及共同技术率(用来衡量大气环境治理技术)为被解释变量,以它们的影响因素为解释变量来构建计量经济模型。根据理论分析与已有研究成果,本文最终选择以下六类影响

因素:①地区经济增长水平(PGDP)。本文以不变价格表示的人均GDP指数来衡量各省份的经济增长水平,为了消除样本数据的非平稳特征,对其取对数(lnPGDP)。②产业结构(INS)。以各省份第三产业增加值占GDP的比重来表示。③科技创新水平(R&D)。本文以各省份科技活动经费内部支出占GDP的比重来衡量科技创新水平。④能源消费结构(ENS),以各省份煤炭消费总量占能源消费总量的比重来表示。⑤环境规制水平(ER)。本文以各省份工业污染治理投资占GDP的比重来衡量环境规制水平。⑥经济开放度(OPEN),以人民币价格表示的各省份进出口总额占GDP的比重来表示。由于被解释变量的取值处于0和1之间,属于受限因变量,若采用普通最小二乘回归方法会导致参数估计的有偏与不一致,因此本文选择Tobit面板计量经济模型进行回归分析,这样可以得到参数的一致估计量。本文计量回归所涉及变量的数据来自历年《中国统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》与《中国对外经济统计年鉴》。Tobit回归结果见表4所列。

表4 中国省际大气环境效率与大气环境治理技术的
Tobit 回归结果

自变量	共同前沿下的省际 大气环境效率		省际大气环境 治理技术(共同技术率)	
	回归系数	真实概率 p 值	回归系数	真实概率 p 值
常数项	0.545 2**	0.021 9	0.453 2**	0.001 7
lnPGDP	1.853 9***	0.000 0	1.092 1***	0.000 8
INS	1.309 6***	0.000 9	0.985 7***	0.005 7
R&D	3.052 4***	0.000 0	5.098 0***	0.000 2
ENS	-0.309 7***	0.008 3	-0.530 9***	0.009 6
ER	-1.201 5*	0.085 1	1.045 3	0.189 2
OPEN	0.765 8***	0.007 6	0.923 5***	0.013 4
调整的 R^2	0.673 6		0.702 8	
F 统计量	38.729 1***		21.323 4***	
OBS	300		300	

注:***、**、*分别表示回归系数在1%、5%、10%水平上显著。

根据表4可知:①在1%的显著性水平下,各省份大气环境效率、大气环境治理技术与地区经济增长之间呈现显著的正相关关系,也即随着经济增长水平的提高,各省份的大气环境效率与大气环境治理技术也在提升,主要是因为随着经济的增长,生产工艺、资源利用效率与环境治理技术逐渐提高,经济增长倾向于向更清洁、更集约的方向转型。②产业结构对各省份大气环境效率与大气环境治理技术的影响在1%的检验水平下显著为正,表明第三产业比重的增加对于提升大气环境效率与改善大气环境效率

有显著促进作用,这是因为第三产业主要以流通服务业为主,能耗与污染排放相对较少,有利于改善大气环境效率与环境治理技术。③科技创新对大气环境效率与大气环境治理技术有显著促进作用,在1%的显著性水平下,两方程回归系数分别达到3.052 4与5.098 0,这表明科技创新对大气环境改善有非常重要的影响,“波特假说”在此得到了经验支持。④能源消费结构对于大气环境效率与大气环境治理技术的提升均产生了明显负面作用,两方程的回归系数为负且在1%水平下显著,主要原因是由于煤炭燃烧产生大量的大气污染物严重破坏了大气环境,同时燃煤技术落后以及洁净煤技术推广不力等因素也阻碍了中国大气环境治理技术的进一步提升。⑤环境规制对大气环境效率与大气环境治理技术的影响都不显著,两方程系数均没有通过5%水平的显著性检验。理论上加大环境规制力度会倒逼企业改进生产工艺与治污技术,促进大气环境效率的改善,但本文回归结果并不支持这一判断。究其原因,一方面工业污染治理投资占GDP比重可能并不是一个衡量环境规制水平的合适指标;另一方面,大气环境效率越低的省份,面临的治理压力也就越大,工业污染治理的投资力度往往也就越大,从而使得环境效率与环保投资额度上在数值上出现一定程度的负相关。另外,工业污染治理投资的增加有利于改善大气环境治理技术,但影响力度较弱,系数虽然为正但没有通过10%水平的显著性检验。⑥提升经济开放度显著促进了大气环境效率与大气环境治理技术的改进,两方程回归系数均通过了5%水平的显著性检验,原因在于开放水平的提升有利于引进吸收国外先进的生产治污技术与管理经验,提高自身的发展水平,这一点已经被众多研究所证实。

五、主要结论和政策启示

本文充分考虑中国大气环境治理技术的区域异质性,在共同前沿生产函数框架下系统阐释中国省域大气环境效率问题,基于2006-2015年的省际面板数据,采用DEA方法测算了在共同前沿和群组前沿下各省份的大气环境效率,分析地区间效率差异特征,并采用共同技术率来衡量三大区域大气环境治理技术差距。研究结果表明:①样本期内,以共同前沿为基准,全国30个省份的大气环境效率均值只有0.666 0,距离生产前沿还有33.40%的改进空间,大气污染减排空间巨大。②大气环境效率的地区差异特征明显,东部地区省份的表现显著优于中西部地区,如果能缩小地区之间的差距,中国大气环境污染问题定能得到进一步改善。③根据省际大气环境效率

的高低将中国30个省份划分为不同效率特征的四类地区,并为各类地区未来大气环境治理提出了有针对性的发展策略与路径。④研究期间内三大地区间存在明显的大气环境治理技术落差,且这种落差并没有出现明显改善趋势,今后中西部落后省份追赶超越东部先进省份依然任重道远。⑤回归结果显示地区经济增长、增加第三产业比重、增加R&D投入以及提升开放水平对大气环境效率与大气环境治理技术的改善均有显著促进作用,而煤炭消费比重增加则明显起到抑制作用。但不同影响因素的作用方向、力度与显著水平存在一定差异。

上述结论可以引申出如下政策意涵:①环境问题究其实质是经济结构、生产方式、消费模式和发展道路问题。切实加快发展方式的转型升级,改变片面强调GDP的政绩观,扭转传统粗放型的生产、消费和能源利用方式,实现绿色低碳发展,是改善中国大气环境质量,有效避免雾霾天气频发的根本出路。②积极制定有效的节能减排措施和严格的环境质量管理对策,合理控制煤炭消费总量,坚决淘汰落后的生产能力,确定大气污染控制的重点区域和领域,大力推进战略环评,加强规划环评和科学规划,促进区域重点产业与资源环境协调发展。③加大大气环境治理技术研发资金的投入力度,推动大气环境治理的科学研究与技术攻关,在提升自主创新能力的同时坚定不移地引进国外先进的大气污染防治技术与管理经验,充分利用技术外溢效应来实现中国大气环境效率与治理技术的跨越式提升。④考虑到大气污染的迁移与“泄漏”效应,中国须要建立区域联防联控机制来应对大区域的大气污染问题,中央政府应建立重点区域大气污染联防联控的机制,如在京津冀、长三角、珠三角等大气污染的重点区域率先示范。要加强区域间大气污染防治的交流与合作,让先进的污染防治技术从东部地区向中西部地区实现有效转移,从而根本上提高中西部地区的大气环境治理技术水平,缩小区域之间的技术差距。中央政府需要进行顶层设计来破除地方保护主义、市场分割等区域壁垒,逐渐弱化行政区划、建立共同的市场规则、克服政策与体制落差,以实现产业间和地区间资源优化配置,为早日实现不同区域之间大气环境效率的趋同创造更好的条件。

参考文献:

- [1] 薛进军,赵忠秀. 中国低碳经济发展报告(2013)[M]. 北京:社会科学文献出版社,2013.
- [2] Camarero M, Castillo J, Picazo Tadeo A J, et al. Eco-efficiency and Convergence in OECD countries [J]. Environ-

- mental Resource Economics, 2013, 55(1): 87-106.
- [3] Zhang B, Bi J, Fan Z Y, et al. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach[J]. Ecological Economics, 2008, 68(1/2): 306-316.
- [4] Picazo Tadeo A J, Gomez Limon J A, Reig Martinez E. Assessing farming eco-efficiency: a Data Envelopment Analysis approach [J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(4): 1154-1164.
- [5] 李静, 汪克亮. 多重目标约束下我国能源效率变动分解、区域差异与影响因素研究[J]. 华东经济管理, 2013, 27(10): 66-71.
- [6] 吴军. 环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(11): 17-27.
- [7] 金玲, 杨金田. 基于DEA方法的中国大气环境效率评价研究[J]. 环境与可持续发展, 2014, 39(2): 19-23.
- [8] 何为, 刘昌义, 郭树龙. 天津大气环境效率及影响因素实证分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 30-34.
- [9] 王群伟, 周德群, 周鹏. 中国全要素二氧化碳排放绩效的区域差异——考虑非期望产出共同前沿函数的研究[J]. 财贸经济, 2010(9): 112-117.
- [10] 汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 中国全要素能源效率与能源技术的区域差异[J]. 科研管理, 2012, 33(5): 56-64.
- [11] Battese G E, Rao D S P. Technology gap, efficiency, and a stochastic metafrontier function [J]. International Journal of Business and Economics, 2002, 1(2): 87-93.
- [12] Donnell O C J, Rao D S P, Battese G E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiency and technology ratios[J]. Empirical Economics, 2007, 34: 231-255.
- [13] Farrell M J. The measurement of productive efficiency [J]. Journal of Royal Statistical Society, 1957, 120(3): 253-290.
- [14] 汪克亮, 杨力, 程云鹤. 异质性生产技术下中国区域绿色经济效率研究[J]. 财经研究, 2013, 39(4): 57-67.
- [15] 李胜文, 李大胜, 邱俊杰, 李新春, 何轩. 中西部效率低于东部吗? ——基于技术集差异和共同前沿生产函数的分析[J]. 经济学季刊, 2013, 12(3): 777-798.
- [16] Hu J L, Lee Y C. Efficient three industrial waste abatement for regions in China [J]. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2008, 15(2): 132-144.
- [17] Honma S, Hu J L. Efficient waste and pollution abatement for regions in Japan [J]. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2009, 16(4): 270-285.
- [18] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952-2006 [J]. 数量经济技术经济研究, 2008(10): 17-31.

Heterogeneous Technology, Technology Gap and China's Regional Air Environmental Efficiency

WANG Ke-Liang, WANG Dan-dan, MENG Xiang-rui

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Full considering the heterogeneity of air environmental governance technology among China's different regions, this paper builds the DEA model for air environmental efficiency measurement based on the theory of total factor production and meta-frontier production function, and utilizes China's 30 provinces and three major areas from 2006 to 2015 as the sample for empirical analysis, and divides China's 30 provinces into four categories according to different characteristics of air environmental efficiency, and employs "meta-technology ratio" (MTR) to measure air environmental governance technology gap among China's three major areas. Then, the paper uses Tobit model to empirically test the influencing factors of China's provincial air environmental efficiency and air environmental governance technology based on the provincial panel data. The study results show that China's air environmental efficiency is generally lower with large potential of air pollution reduction, and regional differences are distinctly. There exists a considerable gap of air environmental governance technology between China's eastern, central and western areas, which indicates that it is much difficult for the less developed provinces to catch up with and surpass the advanced provinces. Economic development, industry structure, technological innovation, energy consumption structure, environmental regulation and economic openness all exert certain impacts on China's air environmental efficiency and air environmental governance technology through differentiated influencing mechanisms.

Keywords: air environmental efficiency; heterogeneous environmental governance technology; meta-frontier production function; regional differences; influencing factors

[责任编辑: 程 靖]