
环境约束视角下江西省区域 工业环境技术效率与环境协调性演变研究

黄和平^{1a}, 王丽影^{1b}

(1. 江西财经大学 a. 鄱阳湖生态经济研究院;

b. 旅游与管理学院, 江西南昌330013)

【摘要】通过构建基于面板数据的方向性距离函数模型,对江西省11个地级市2001-2014年工业环境技术效率进行了测度,在此基础上探讨了各区域工业生产与环境协调性的动态演变。结论如下:(1)2001-2014年江西省11个地级市工业环境技术效率整体上呈现出“N”型的波动性趋势走向,整体状况并不理想,部分地区的工业发展以牺牲环境为代价,不具有可持续性。(2)南昌、上饶和九江在各个转型期的技术效率都在不断地进步,景德镇、新余、赣州和宜春的排名不断下降,整个研究期内达到生产前沿面上的最佳实践地区较少。(3)整体上看,工业与环境的协调性发展不断优化演变,赣北地区优于赣南地区,尤其“十二五”以来,环境技术效率整体上改善明显,效果显著。江西省整体仍需优化能源消费结构和工业布局,积极促进产业升级,推进各区域经济与环境的共同协调发展。

【关键词】方向性距离函数;工业环境技术效率;协调性演变

【中图分类号】 F427

【文献标识码】 A

【文章编号】 1008-2972(2016)05-0098-08

DOI:10.13676/j.cnki.cn36-1224/f.2016.05.011

一、引言与文献评述

我国改革开放以来,经济高速发展带来的环境污染问题不断涌现,成为当前议论的热点。研究显示,改革开放期间只占全国40.1%的工业GDP消耗了全国67.9%的能源,排放出83.1%的二氧化碳,工业经济的高速增长伴随着高投资、高能耗和高排放的特征,工业增长与环境之间的协调发展成为不容忽视的焦点(陈诗一,2009;王兵等,2015;朱智滔等,2015)。^[1-3]据此,我

收稿日期: 2016-03-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41661113);教育部人文社科规划基金项目(14YJA790013);江西省经济社会发展智库项目(162K15);江西省教育厅科技项目(GJJ14339);江西省学位与研究生教育教学改革研究项目(JXYJG-2016-064)

作者简介: 黄和平,江西财经大学教授,博士生导师,主要从事资源与环境经济学和土地资源管理研究,联系方式 hphuang2004@163.com;王丽影,江西财经大学硕士研究生,主要从事土地经济与资源管理研究。

国“十一五”、“十二五”规划和党的十八届五中全会都对资源节约和环境保护提出了明确的约束性指标，加快“两型”社会的建设，形成和谐发展建设的新格局。因此，把环境因素考虑在内，对工业环境技术效率及其环境协调性进行全面分析，转变工业发展格局，提高环境技术效率，已成为当前社会迫切需要解决的问题。

国外学者对把环境污染作为非期望产出纳入效率测度的研究较早，Pittman（1983）首次尝试把废水和废气作为非合意产出引入效率评价框架，测度了美国Wisconsin 造纸企业污染控制行为对效率的影响。^[4] Chung 等（1997）在谢泼德距离函数基础上首次采用方向性距离函数法构建指数测度生产率增长，该方法较好地解决了考虑环境因素时的效率评价问题，引发了众多学者对该方法的深入探究借鉴和应用。^[5]国内学者在借鉴国外已有研究方法的基础上，对效率及其影响因素也做了大量研究。如杨俊等（2009）利用1998-2007年省级工业面板数据，采用考虑了非期望产出的生产率指数，重新估计了各个省份ML生产率指数及其分解，并实证分析了其影响因素，得出技术进步是生产率增长的主要来源这一结论。^[6]沈能（2012）基于产出不同的处置性假设，以环境效率指数作为产业绩效的代理指标，考察在加入环境污染因素后我国工业各行业的环境效率状况，然后运用系统广义矩估计和门槛回归方法，采用2001-2010年我国工业行业的面板数据，就环境规制对环境效率影响的行业差异进行了实证检验。^[7]汪成等（2015）采用1998-2011年的省际面板数据，运用超效率DEA模型对中国30个省份的环境技术效率进行测算，在此基础上，运用空间面板收敛模型对中国工业环境技术效率进行了收敛检验。^[8]可以发现，现有学者的研究主要集中在全国或者省份尺度上，少有在地市区域尺度上进行深入探讨，对聚焦于某一省份地域内各区域工业与环境的发展研究缺乏借鉴。

江西省作为国家首批生态文明先行示范区之一，目前处于工业化进程加快的阶段，也面临着省内各区域工业结构不尽合理，工业能源消耗带来的固体废弃物、SO₂和CO₂等污染物日趋严重，导致与生态环境的协调性发展面临着严峻的考验。基于此，本文在环境约束视角下，运用方向性距离函数，对江西省11个地级市的工业环境技术效率进行测算，探讨各区域工业与环境协调性的动态演变，为推进各区域工业增长与环境协调性发展、各区域工业结构转型和技术进步提供切实可行的建议。

二、研究方法数据来源

（一）环境技术

工业生产在传统的投入产出分析中，不把污染物纳入效率计算的范畴，但随着经济的高额投入要求高回报“好”产出的同时，必然会带来严重的环境污染等“坏”产出，影响生产效率。Fare 等（2007）将包括“坏”产品在内的产出与要素资源投入之间的技术结构关系称为环境技术。^[9]构造了环境技术函数表达式：

$$P(x) = \{(y, b) : x \text{ can produce } (y, b)\}, x \in R_+^N \quad (1)$$

鉴于此，本文把江西省每一个地级市看作一个生产决策单元D(d=1, 2, ..., D)来构造生产前沿面，假定各地级市使用N种要素投入 $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R_+^N$ ，生产出F种期望产出 $(y_1, y_2, \dots, y_n) \in R_+^F$ ，Q种非期望产出 $(w_1, w_2, \dots, w_n) \in R_+^Q$ 。生产可能性集P(x)有四个特性：联合弱可处置性、零结合性、期望产出的强处置性以及投入和期望产出可自由处置性。运用DEA方法，构造满足上述性质的环境技术：

$$P^t(x^t) = \begin{cases} \sum_{d=1}^D z_d^t y_{df}^t \geq y_{df}^t, \forall f; \sum_{d=1}^D z_d^t w_{dq}^t = w_{dq}^t, \forall q; \\ \sum_{d=1}^D z_d^t x_{dn}^t \leq x_{dn}^t, \forall n; z_d^t \geq 0; \end{cases} \quad (2)$$

z_d^t 表示第d 个地级市t 期的权重。 $z_d^t \gg 0$ 即规模报酬不变的状态（刘伟明等，2012）。^[10]

（二）环境技术效率和方向性距离函数（DDF）

环境技术是衡量效率的基础，为了计算环境管制下的工业环境技术效率，我们还需要引入方向性距离函数即期望产出增长的同时非期望产出减少（王兵等，2011；吕光桦等，2011）。^[11-12]根据Luen-berger短缺函数思想，设定方向向量 $g = (g_y, -g_b)$ ，构建环境方向性距离函数及相应的技术效率函数：

$$\vec{D}(y^t, x^t, b^t, g_y, -g_b) = \sup \left[\beta : (y^t + \beta g_y, b^t - \beta g_b) \in P^t(x^t) \right] \quad (3)$$

其中， β 就是期望产出增加和非期望产出减少的最大可能数量。由公式可知，方向性环境距离函数不仅取决于投入产出值 (y^t, x^t, b^t) ，还取决于方向向量 g 。基于此，环境技术效率为实际期望产出量与环境技术结构下的前沿产出量的比率：

$$ETE(y_{d'}^t, x_{d'}^t, b_{d'}^t, y_{d'}^t, -b_{d'}^t) = 1/(1+\beta) = 1 / \left[1 + \vec{D}(y_{d'}^t, x_{d'}^t, b_{d'}^t, y_{d'}^t, -b_{d'}^t) \right] \quad (4)$$

本文采用Chung 等（1997）定义的Malmquist-Luenberger 方法，将方向向量确定为 $g^t = (y^t, -w^t)$ 。^[5]其经济含义是工业生产的期望产出和非期望产出在现有基础上比例性增减，通过线性规划计算方向性环境距离函数（涂正革，2008）。^[13]生产者 $d(y_{d'}^t, x_{d'}^t, w_{d'}^t)$ 在上述构造的环境技术 $P^t(x^t)$ 下的环境方向性距离函数为：

$$\vec{D}(y_{d'}^t, x_{d'}^t, w_{d'}^t, y_{d'}^t, -w_{d'}^t) = \max \beta$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{d=1}^D z_d^t y_{d,f}^t \geq (1+\beta)y_{d',f}^t, \quad f=1, \dots, F$$

$$\sum_{d=1}^D z_d^t w_{d,q}^t = (1-\beta)w_{d',q}^t, \quad q=1, \dots, Q$$

$$\sum_{d=1}^D z_d^t x_{d,n}^t \leq x_{d',n}^t, \quad n=1, \dots, N, \quad z_d^t \geq 0, \quad d=1, \dots, D$$

(三) 变量选取与数据来源

本文以江西省11个地级市2001-2014年的投入产出数据作为研究的样本，考虑数据的可获得性、统计口径一致性并在借鉴已有文献研究的基础上，主要选取劳动力、能源消耗、资本投入作为要素投入指标，以工业总产值作为期望产出指标，以固体废弃物产生量、废水排放量、工业SO₂和CO₂排放量作为非期望产出指标。其中，劳动力采用江西省各区域工业从业人员年平均人数表示，单位为万人；能源消耗选取工业主要能源消费量，折合为万吨标准煤；资本投入采用各地区工业固定资产净值年均余额表示，单位为万元；期望产出选取工业总产值，折合到2001年为基期，单位为万元；非期望产出主要选取了固体废弃物产生量、废水排放量、工业SO₂和CO₂排放量。与固体废弃物产生量、废水排放量、SO₂等污染指标不同，目前的统计年鉴中没有直接的CO₂排放数据，本文借鉴已有文献成果的基础上，依据2006年联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）提供的主要能源消费碳排放系数和碳排放换算公式计算得到江西省各区域的CO₂排放量。对于各指标选取的理论和现实依据及具体的数据处理算法，此处不再赘述，具体可参考涂正革等（2011）和刘瑞翔等（2012）的研究成果。^[14-15]

本文所有投入产出指标的原始数据及相关数据来自于2002-2015年《江西统计年鉴》、《中经网统计数据库》，部分数据基于年鉴数据进行了处理和换算。其中计算能源投入数据和CO₂排放数据的各种系数来源于《中国能源统计年鉴》。

三、实证测算结果分析

根据上述研究方法和数据，应用产出导向的规模收益不变（CRS）DEA模型，本文对2001-2014年江西省11个地级市的工业环境技术效率进行实证测算，综合分析了11个地级市工业环境技术效率，并对其与环境的协调性发展状况进行了动态的研究，对于提高环境技术效率、协调工业与环境的可持续发展具有十分重要的意义。

(一) 环境技术效率分析

从2001-2014年江西省11个地级市工业环境技术效率测算结果可以发现（见表1），江西省工业环境技术效率整体上呈现出“N”型的趋势走向，具体可分为三个阶段：第一阶段为2001-2005年，环境技术效率均值从2001年的0.7248上升到2005年的0.8157，累计提高了0.0909；第二阶段为2005-2011年，均值从2005年的0.8157波动性地下降到2011年的0.7077，累计下降了0.108。这一阶段，江西省在全面推动经济高速发展的同时，没有采用与自身经济发展环境相匹配的最佳实践技术来从事工业生产活动，导致环境技术效率下降，波动性较大（杨文举，2015）。^[16]第三阶段为2011-2014年，从2011年的0.7077上升到2014年的0.8833，该阶段主要得益于江西省“十二五”再次明确环境约束性指标，要求加快转变经济发展方式，加快“两型”

社会建设；也得益于2014年江西省全境纳入国家“第一批生态文明先行示范区”。这一时期工业环境技术效率得到很大的提升，侧面也体现出地区工业结构发展逐渐趋向于合理化。总体而言，整个研究期内的技术效率值离生产前沿面上还有一定的距离，说明江西省各区域工业环境技术效率提升潜力还很大，转变各地区工业发展的方式空间巨大。具体来看，2001-2014年各地区技术效率平均排名最低的三个市分别是：萍乡、鹰潭和景德镇，这三个城市一直是江西省重要的工业城市，工业的大力发展以牺牲环境为代价，忽略了与环境的兼顾，近年来江西省大力重视生态文明的发展，使三市在2012年以后环境技术效率有所上升，逐渐致力于改善的状态。南昌、吉安、上饶和九江整个时期的工业环境技术效率都比较高，且呈波动性上升，整体上多次达到生产前沿面上。这归因于四个城市都是生态发展较好的城市，环境的发展是重要着力点，尤其是近年来旅游业的快速发展，四个城市旅游业发展昌盛，环境重视力度逐年加大，工业生产严格要求与环境共同发展，所以这四个城市的环境技术效率都较高。而其余地区呈现出波动性走向特征。

表1 2001-2014年江西省各区域工业环境技术效率

年份	地区											
	南昌市	景德镇市	萍乡市	九江市	新余市	鹰潭市	赣州市	吉安市	宜春市	抚州市	上饶市	均值
2001	0.6657	0.5382	0.5196	0.8261	0.8736	0.7025	0.7710	0.7817	0.8699	0.7668	0.6572	0.7248
2002	0.7687	0.6105	0.5317	0.8334	0.9147	0.7020	1.0000	0.8051	0.6768	0.7039	0.6158	0.7421
2003	0.7389	0.6803	0.6106	0.8862	0.8358	0.5487	0.8110	0.7820	0.7609	0.8192	0.8705	0.7586
2004	0.8243	0.7659	0.5421	0.8312	0.7120	0.4844	0.7977	0.8418	1.0000	0.7247	0.8863	0.7646
2005	0.8813	0.8129	0.6377	0.6626	0.7516	0.5930	0.7621	1.0000	1.0000	1.0000	0.8717	0.8157
2006	0.8470	0.7510	0.5136	0.5803	0.7173	0.5176	0.8355	0.8581	0.7904	0.9470	0.8715	0.7481
2007	0.8476	0.7625	0.6314	0.5996	0.5290	0.6281	0.8167	0.8319	0.7235	0.8687	0.8078	0.7315
2008	0.8181	0.6593	0.5152	0.7831	0.6139	0.5593	0.8282	0.8229	0.8245	0.8119	0.7616	0.7271
2009	1.0000	0.5515	0.5221	1.0000	0.5417	0.5931	0.7140	0.7983	0.7469	0.8394	0.7249	0.7302
2010	1.0000	0.5991	0.6110	0.8753	0.5732	0.5118	0.7657	0.7823	0.7327	1.0000	0.8124	0.7512
2011	0.8117	0.5175	0.5101	0.7821	0.6324	0.5835	0.8072	0.8310	0.7376	0.8100	0.7617	0.7077
2012	0.8865	0.5386	0.6435	0.8741	0.7397	0.6425	0.8567	0.8714	1.0000	0.8419	1.0000	0.8086
2013	1.0000	0.6322	0.7968	0.9568	0.7769	0.8167	1.0000	0.9270	0.8559	0.9537	0.8522	0.8698
2014	1.0000	0.6944	0.7149	1.0000	0.8130	0.7935	0.9316	1.0000	0.7694	1.0000	1.0000	0.8833
均值	0.8636	0.6510	0.5929	0.8208	0.7160	0.6198	0.8355	0.8524	0.8206	0.8634	0.8210	

（二）各地区环境技术效率排名分析

对各个时期江西省各地区工业环境技术效率进行排名，以此揭示各地区环境技术效率的动态变化特征，能直观地了解各地区的工业发展差距，研究发展是否兼顾环境。如表2所示，各地区整体在2001-2014年间的平均技术效率由高到底依次是南昌、抚州、吉安、赣州、上饶、九江、宜春、新余、景德镇、鹰潭和萍乡。其中，南昌、上饶和九江在各个转型期的技术效率都在不断地进步，南昌是江西的省会城市，2009年成为首批低碳试点城市，2014年生态文明先行示范区，南昌近十年的发展，不仅注重经济，更注重生态环境，所以工业环境技术效率很高，与环境的协调性发展最好。抚州的工业发展较少，污染少，空气质量好，环境自身净化能力强，从而工业与环境的协调性也较好。而景德镇、新余、赣州和宜春的排名不断下降，尤其是宜

春和新余，分别从第1名下降到第7名和从第4名下降到第8名，说明两地在转变经济增长方式的后期，过于专注经济的高速发展，而忽略了环境的保护。新余在转变为工业城市后，经济高速增长，环境质量却逐年下降，工业的发展严重威胁到了环境的发展，不具有可持续性，迫切需要转变观念，加大对环境的保护力度，推进协调性发展。整体上，江西省11个地级市之间的工业发展存在着较大的差距，地区间发展与环境协调性不平衡现象严重。

表2 江西省各区域工业环境技术效率排名的变化

	“十五”	“十一五”	2011-2014	2001-2014
南昌市	8	1 0	1 0	1
景德镇市	9	8 0	11 (-3)	9
萍乡市	11	11 0	10 0	11
九江市	5	6 (-1)	4 0	6
新余市	4	9 (-5)	8 0	8
鹰潭市	10	10 0	9 0	10
赣州市	3	5 (-2)	6 (-1)	4
吉安市	2	3 (-1)	2 0	3
宜春市	1	7 (-6)	7 0	7
抚州市	6	2 0	5 (-3)	2
上饶市	7	4 0	3 0	5

注：表格内的数据均为各地区相应时间段内环境技术效率的平均数。括弧内的数表示各地区效率排名相对于上一时间段的相应变化，正数表示排名进步位数，负数表示排名退步位数，零表示效率排名没有变化。

(三) 生产前沿面上最佳实践地区

探讨各个时期处于生产前沿面上的地区，能看出各区域工业技术和结构的发展演变，可以有选择地推动潜力地区技术进步和创新。本文对各时间段构成工业环境技术生产可能性边界的“最佳实践者”进行了整理归纳，具体分布如表3所示。

表3 江西省工业环境技术效率最佳实践地区统计

地区	南昌市	景德镇市	萍乡市	九江市	新余市	鹰潭市	赣州市	吉安市	宜春市	抚州市	上饶市
“十五”							1	1	2		
“十一五”	2			1						1	
2011-2014	2			1			1	1	1	1	2
合计	4			2			2	2	3	2	2

从表3中可以看出，整个研究期内在环境约束下构成生产前沿面上的最佳实践地区还较少。达到生产前沿面的次数最多的南昌也只有4次，其余地区都只有2-3次，主要归因于江西省是历史红色革命老区，经济的发展比较缓慢，一直到近年来，国

家及省政府一系列经济支持发展政策的出台，江西省才逐渐注重工业与环境的协调性发展要求。具体来看，赣州、吉安和宜春在“十五”、“十一五”以及正在进入尾声的“十二五”三个时期内都有在生产前沿面上，说明这三个地区在整个区域中工业生产与环境的可持续发展之间协调性较好。景德镇、萍乡、新余和鹰潭的工业环境技术效率在2001-2014年内没有一次达到生产前沿面，说明这四个地区的能源消耗带动环境污染严重，工业结构不合理，迫切需要加大改善的力度。总体而言，处于生产前沿面上的工业环境技术效率在近年来有所提升，2011-2014年期间，大部分区域的工业环境技术效率都有达到过生产前沿面上，但要全面提高各区域工业环境技术效率，建设“两型”社会，实现经济和环境的协调发展，依旧任重而道远，因此我们建议可以有选择地让工业结构发展好的地区带动发展欠合理的地区共同提升。

（四） 环境技术效率与环境协调性的演变

工业的发展，多数伴随着与资源、环境的协调性之间出现不同程度的失衡，长此以往，会导致区域经济难以可持续地发展。涂正革（2008）根据环境技术效率的高低来判断各区域环境和工业之间的协调状况。^[13]本文在借鉴其划分的基础上，兼顾到数据的划分能均衡地反映出各地区在各转型期的动态发展演变，并参考已有关于全国各省域工业技术效率平均值的研究，根据等间距法设定以下评判标准：如果工业生产环境技术效率取值小于0.70，则定义该地区为“工业与环境不协调发展地区”。若环境技术效率在（0.70-0.80]之间，则为“工业与环境较不协调发展地区”。环境技术效率在（0.80-0.90]之间为“工业与环境较协调发展地区”。环境技术效率值在（0.90-1.00]之间，则为“工业与环境高度协调发展地区”。下面基于该评判标准，利用工业环境技术效率，考察江西省11个地级市在2001-2014年间经济、资源和环境的协调性动态演变。

从研究期整体空间上看，2001-2014年江西省各个区域工业生产与环境协调性变化分布为：“工业与环境不协调发展地区”有景德镇、萍乡和鹰潭。“工业与环境较不协调发展地区”有新余。“工业与环境较协调发展地区”有九江、南昌、宜春、上饶、抚州、吉安和赣州。“十五”到“十一五”期间，从“工业与环境较不协调发展地区”演变到“工业与环境较协调发展地区”的有抚州。从“工业与环境较不协调发展地区”演变到“工业与环境高度协调发展地区”有南昌。协调性退化的地区有九江、新余、赣州和宜春。协调性没有发生改变的地区有景德镇、萍乡、吉安、鹰潭和上饶。“十一五”到“十二五”期间，从“工业与环境不协调发展的地区”演变到“工业与环境较不协调发展地区”有新余和鹰潭。从“工业与环境较不协调发展地区”演变到“工业与环境较协调发展地区”有宜春和赣州。从“工业与环境较协调发展地区”演变到“工业与环境高度协调发展地区”有吉安和抚州。从“工业与环境较不协调发展地区”演变到“工业与环境高度协调发展地区”有九江和上饶。说明十二五以来，这两个地区高度重视经济与环境的协调性发展，实现跳跃式发展。协调性没有发生改变的地区有南昌、景德镇和萍乡。

从“十五”到“十一五”再到“十二五”江西省各区域整体动态演变来看，工业与环境的协调性发展呈现出整体上不断优化演变的分布格局，其中赣北地区优于赣南地区，环境技术效率整体上不断改善，效果较好。这得益于“十一五”和“十二五”时期各地政府、企业和社会对环境保护的重视，人们环境理念的提高，技术的进步，环境规制标准不断提高，从而使得工业发展和环境的协调能力正在逐步增强（屈小娥，2014）。^[17]但从侧面也反映出江西省整体的经济、资源和环境发展的协调性存在一定程度的失衡，各区域间差距较大。如要提高整个江西省工业环境技术效率，加快建设“两型”社会，促进各区域整体的经济协调性发展，还需积极转变工业发展格局，进一步挖掘潜力，推动技术进步和创新。

四、结论与建议

本文运用DDF的分析方法，对江西省11个地级市2001-2014年工业环境技术效率进行了测度，并在此基础上探讨了各区域工业生产与环境协调性的动态演变，得出以下主要结论：

（1）2001-2014年江西省11个地级市工业环境技术效率整体上呈现出“N”型的波动性趋势走向，整个研究期内的技术效率值都没有达到生产前沿面上，状况并不十分理想。

(2) 各地区整体在2001-2014年间的平均技术效率排名由高到低依次是南昌、抚州、吉安、赣州、上饶、九江、宜春、新余、景德镇、鹰潭和萍乡。其中，南昌、上饶和九江在各个转型期的技术效率都在不断地进步，而景德镇、新余、赣州和宜春的排名不断下降。

(3) 从“十五”到“十一五”再到“十二五”江西省各区域整体动态演变看，工业与环境的协调性发展整体上不断优化演变，赣北地区优于赣南地区，尤其是“十二五”以来，环境技术效率整体上改善明显，效果显著。

通过对2001-2014年江西省各区域工业环境技术效率及其与环境的协调性动态演变的实证分析，本文主要归纳出以下政策建议：

(1) 部分地区工业与环境存在严重的失衡，一部分源于对环境污染的忽视，一部分源于经济的不合理发展，工业发展结构不合理，尤其是工业城市，严重忽视与环境的共同发展。为此，要兼顾江西省各区域经济发展和环境保护并重的规划标准，全面优化工业能源消费结构，调整失衡地区工业布局，限制高耗能工业的发展，不断改变经济发展以牺牲环境为代价这一错误做法，提高与环境的共同友好发展。

(2) 对于工业化水平低、地理位置优势明显的生态型城市，应大力发展第三产业，带动第二产业的从业人员逐渐转向第三产业，大力发展旅游业等污染少的新兴绿色产业，从而提高该区域的环境技术效率，实现与环境的协调可持续发展，可以无形带动周边区域的良好发展，实现可持续的连带发展。

(3) 要加强环境协调性发展好的地区与失衡地区的合作交流，促进资本、人才和技术的跨区域流动。积极发展对外贸易，有助于先进技术和绿色技术的转移和扩散（陈黎明等，2015）。^[18]同时重点挖掘技术效率提升空间明显的潜力地区，加大对这些地区的投入和技术创新，以期提高各区域的环境技术效率，实现江西省各区域间工业与环境协调性的整体提升。

参考文献：

[1]陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009, (4): 41-55.

[2]王兵, 刘光天. 节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角[J]. 中国工业经济, 2015, (5): 57-69.

[3]朱智滔, 张伟. 碳排放规制下中国主要工业行业全要素生产率研究——基于方向性距离函数与GML指数模型[J]. 资源科学, 2015, (12): 2341-2349.

[4]Pittman R. W.. Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs[J]. Economic Journal, 1983, 93(4): 883-891.

[5]Chung Y. H., Fare R., Grosskopf S.. Productivity and Undesirable Outputs: Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environment Management, 1997, 51(3): 229-240.

[6]杨俊, 邵汉华. 环境约束下的中国工业增长状况研究——基于Malmquist-Luenberger指数的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009, (9): 64-78.

[7]沈能. 环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验[J]. 中国工业经济, 2012, (3) 56-68.

-
- [8]汪成, 高红贵. 中国工业环境技术效率的空间收敛分析[J]. 统计与决策, 2015, (16): 135-137.
- [9]Fare R., Grosskopf S., Carl A. Pasurka. Environmental Production Function and Environmental Directional Distance Function[J]. Energy, 2007, (32): 1055-1066.
- [10]刘伟明, 唐东波. 环境规制、技术效率和全要素生产率增长[J]. 产业经济研究, 2012, (5): 28-35.
- [11]王兵, 张技辉, 张华. 环境约束下中国省际全要素能源效率实证研究[J]. 经济评论, 2011, (4): 31-43.
- [12]吕光桦, 等. 基于方向性距离函数的资源富集区环境技术效率分析[J]. 统计与决策, 2011, (18): 91-94.
- [13]涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. 经济研究, 2008, (2): 93-105.
- [14]涂正革, 刘磊珂. 考虑能源、环境因素的中国工业效率评价——基于SBM 模型的省级数据分析[J]. 经济评论, 2011, (2): 55-65.
- [15]刘瑞翔, 安同良. 资源环境约束下中国经济增长绩效变化趋势与因素分析——基于一种新型生产率指数构建与分解方法的研究[J]. 经济研究, 2012, (11): 34-47.
- [16]杨文举. 中国省份工业的环境绩效影响因素——基于跨期DEA-Tobit 模型的经验分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2015, 17(2): 40-48.
- [17]屈小娥. 中国工业行业环境技术效率研究[J]. 经济学家, 2014, (7): 55-65.
- [18]陈黎明, 王文平, 王斌. “两横三纵”城市化地区的经济效率、环境效率和生态效率——基于混合方向性距离函数和合图法的实证分析[J]. 中国软科学, 2015, (2): 96-109.