

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20200907

· 绿色发展 ·

环境规制、产业结构对能源效率的影响*

戴俊^{1*}, 傅彦铭²

(1. 百色学院, 广西百色 533000; 2. 广西大学计算机与电子信息学院, 南宁 530004)

摘要 [目的] 文章对我国各地环境规制、产业结构与能源效率之间的关系进行研究, 旨在更加真实地反映环境规制、产业结构与能源效率三者之间的关系, 为各地政府早日实现环境保护、产业结构优化与能源效率多赢的局面提供参考依据。[方法] 基于 DEA 方法测算了我国各地能源效率, 将我国划分为高、中及低能源效率3个地区, 构建了环境规制、产业结构与能源效率之间关系的模型, 通过对2007—2016年我国30个省(市、区)的相关数据进行分析研究。[结果] 在高效率地区内环境规制与能源效率两者显著为正, 在中效率地区内两者也显著为正, 而在低效率地区内两者则显著为负; 在高效率区域与中等效率区域内产业结构与能源效率两者关系显著为正, 而在低等效率区域内两者关系不显著; 在高效率地区内环境规制与产业结构两者之间的协同作用显著, 而在中等与低效率地区内两者之间的协同作用不显著。[结论] 能源效率高与能源效率中等地区内环境规制与产业结构均正向影响能源效率, 而能源效率低地区内环境规制与产业结构均负向影响能源效率; 能源效率高地区内环境规制与产业结构对能源效率的影响具有共同强化作用, 而能源效率中等与能源效率低地区内环境规制与产业结构间协同效应不明显。

关键词 环境规制 产业结构 能源效率 DEA 方法 影响

中图分类号: X322; F327; F121.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2020]09055-09

0 引言

我国的经济发展已经取得了世界瞩目的成就, GDP 总量与增速居世界前列。但在经济快速增长的同时也带来了能源利用的高耗低效、生态环境的急剧恶化与区域产业结构的畸形发展等一系列问题。在保护生态环境的前提下, 如何对产业结构进行升级与优化, 提高能源效率, 促进经济持续增长, 实现环境保护、经济发展与能源效率间的“多赢”目标, 已成为政务界与学术界共同关注的焦点。因此, 研究环境规制、产业结构与能源效率之间的关系, 在我国努力倡导的生态高效发展型经济的时代背景下极具现实意义和政策参考价值。

文章创新与贡献: (1) 已有文献没有关注不同区域内有些省份能源效率的差异性, 该文采用 DEA 方法测算我国各省能源效率的结果, 将我国划分为高、中及低能源效率3个地区, 以弥补目前学者在研究环境规制、产业结构与能源效率之间关系时的缺陷, 增强研究结论的稳健性。(2) 现有学者没有关注环境规制与产业结构的协同作用, 该文将环境规制与产业结构的协同作用纳入研究的框架, 以期更为真实地反映环境规制、产业结构与能源效率三者之间的关系。

1 文献综述

1.1 环境规制与能源效率

当前, 环境规制与能源效率之间的关系已引起学者们的广泛关注。环境规制对能源效率影响的研究主

收稿日期: 2019-01-01

作者简介: 戴俊(1975—), 男, 湖南武冈人, 博士、副教授。研究方向: 资源环境管理与财务管理。Email: 598656371@qq.com

*资助项目: 广西自然科学基金项目“布谷鸟算法的改进及其在物流配送优化中的应用研究”(2014GXNSFBA118283); 广西高等教育本科教学改革工程项目“欠发达地区地方本科院校经管专业应用型人才培养模式创新与实践”(2018JGA269)

要集中于线性和非线性影响两个方面：一方面，“线性论”学者认为，环境规制对能源效率影响是线性的，它们之间呈现一种促进或抑制的关系。其中“抑制”关系学者认为，环境规制提高了企业的经营成本，不利于能源效率的改善^[1-2]，相反，“促进”关系学者则认为，环境规制倒逼技术创新，从而提高了能源效率^[3-4]。另一方面，持有非线性观点的学者认为，环境规制与能源效率之间并非简单的促进与抑制关系，而是一种非线性的关系，并进一步指出它们之间可能存在先抑后促的“U”型与先促后抑“倒U”型关系。“U”型学者认为，在一开始环境规制的成本效应起主导作用，使得能源效率下降，但是在环境规制达到一定强度之后环境规制的创新补偿效应则居主导地位，从而导致能源效率上升^[1]。与此同时，“倒U”型学者认为，随着环境规制强度不断增大，能源效率先升高之后逐渐降低，因而环境规制与能源效率两者间是呈“倒U型”关系^[5]。

1.2 产业结构与能源效率

产业结构对能源效率的影响是客观存在的。现有学者已经做了比较全面的研究，主要是基于共性和个性两个视角，对产业结构与能源效率两者之间的关系进行了探讨。基于共性视角的学者主要从全局上把握研究产业结构与能源效率之间的关系，如刘立涛和沈镭^[6]对1998—2007年我国能源效率影响因素进行了分析研究，发现产业结构与能源效率之间呈负相关关系。类似的，韩智勇等^[7]研究了1998—2000年期间三次产业结构变动对能源效率变化的影响，发现产业结构变化对能源效率变动有反向作用。相反，屈小娥^[8]通过分析能源效率差异及其影响因素，则认为增加第三产业增加值的比例可以提高能源效率。同时，有些学者则更为突出各地区产业结构与能源效率的个性，朱胜清等^[9]将我国分成东部、中部与东北、西部地区3个区域，对产业结构与能源效率之间的关系进行了较为深入的研究，研究发现总体上呈自东南向西北递减态势，具体为东部、中部与东北、西部地区产业结构演变对能源效率提高总体分别呈正向推动、负向抑制和前期正向推动、后期负向抑制效应。相似的还有李春霄等^[10]在研究产业结构合理化对全要素能源效率的影响时，发现我国三大地区的产业结构对全国及三大地区的全要素能源效率均有正向影响。

不可否认，现有基于个性的学者已经注意到了不同地区的差异性，但未充分考虑不同区域内有些地区的产业结构与能源效率并非趋同，因此其研究结论的稳健性和参考价值值得商榷。

1.3 环境规制和产业结构与能源效率

对环境规制与产业结构之间关系的相关研究，学者们近几年才开始关注，相关研究还未成熟，而关于环境规制、产业结构与能源效率三者之间的研究则鲜有涉及。关于环境规制与产业结构之间关系的相关研究，学者们主要集中于探索两者之间的调节作用或交互作用。绝大多数学者认为环境规制有利于产业结构的优化升级，有正向调节作用。韩晶等^[11]研究认为适度的环境规制能够促进产业的升级，相对行政化规制工具而言，市场化规制工具对产业结构升级的促进作用更加明显。郑金铃^[12]基于地区环境规制的差异性，分析研究了环境规制对产业结构调整效应，结果发现随着中国环境规制强度的增加，产业结构的升级也不断提升，尤其是环境规制对中西部地区产业结构升级的推动作用比东部地区更加明显。与此相反，也有的学者认为环境规制不能促进产业结构优化升级，钟茂初等^[13]在检验环境规制能否倒逼产业结构时，发现我国现阶段的环境规制可以推动产业转移，但不能促进结构升级。

综上，现有学者关于环境规制、产业结构与能源效率的相关研究，仅限于环境规制与能源效率、产业结构与能源效率，以及环境规制与产业结构调节作用3个方面的研究，没有涉及环境规制与产业结构对能源效率的协同效应。同时，在研究环境规制、产业结构与能源效率之间的关系时，现有学者虽然已经注意到了不同地区的差异性，但未充分考虑不同区域内有些省份的产业结构与能源效率并非趋同，因此其研究结论的稳健性和参考价值值得商榷。基于此，该文基于DEA方法测算我国各省能源效率的结果，将我国划分为高、中及低能源效率3个地区，在分析研究环境规制、产业结构与能源效率之间的关系的同时，将环境规制与产业结构间的协同作用并入研究的范畴，以期更为真实地反映环境规制、产业结构与能源效率三者之间的关系，为各地政府早日实现环境保护、产业结构优化与能源效率多赢的局面提供参考依据。

2 环境规制、产业结构对能源效率影响机理

2.1 环境规制对能源效率的影响机理

环境规制是政府调节环境污染的外部不经济性，而采取的政策或措施。环境规制主要通过影响企业的能源要素价格和规模效应，从而改变能源效率^[14]。

一方面，从环境保护和经济可持续发展的角度出发，环境规制可以不同程度地对企业生产中使用的现有能源要素施加激励和约束，使得企业使用的能源要素价格发生变化。如果企业继续使用现有能源，则企业会被征收更多的环境税费且失去获取节能减排补贴的机会，甚至被要求缴纳超标排放的罚款等。因此，如果企业继续使用现有能源则存在机会成本，同时，如果企业放弃使用现有能源，转而寻找其他能源进行替代，同样也会存在转换成本与补贴。如果机会成本或者转换成本减补贴大于零，则企业使用现有能源要素的相对价格会提高，从而会降低能源的效率，反之亦然。另一方面，环境规制在影响企业现有能源要素价格的同时，还会直接限制企业各种污染物排放与企业所需某些能源的开采量，因而以现有能源的供应量难以形成规模效应，会相应降低现有能源效率。此外，为了达到经济发展与环境保护的“双赢”目标，环境规制还会倒逼技术进步与创新。一般情况下，技术水平的提高能够助推企业生产工艺改进和替代能源的开发与使用，降低投入成本，提高能源效率。而高技术水平往往与研究试验经费投入正相关。由于中国各地区各省的财政实力与政策目标的不同，用于研究、试验发展与提高科学技术水平的经费投入差异很大，因而各省份环境规制倒逼技术进步与创新对能源效率影响也应不尽相同。同时技术进步也具有偏向性，在能源效率高的地区偏向于节约能源型发展，而在能源效率低的地区倾向于使用能源型发展^[14]。

总之，环境规制对能源效率的影响是促进还是抑制，取决于能源成本上升降低能源效率与环境规制倒逼技术进步促进能源效率上升间互相拉锯、抵消的对比力量。因此，能源高效省份的环境规制倒逼技术进步促进能源效率上升的力量可能大于能源成本上升降低能源效率的力量，而能源低效省份的前者小于或等于后者力量。

基于此，预期假设1：能源高效地区的环境规制与能源效率正相关，能源低效地区的环境规制与能源效率负相关或者不相关。

2.2 产业结构对能源效率影响

产业结构是指农业（第一产业）、工业（第二产业）和服务业（第三产业）在一国经济结构中所占的比重。产业结构对能源效率影响，主要是通过各个产业占比的变化改变能源的流向与消费结构，进而影响不同能源的消费需求。同时，不同种类的能源具有不同的转化率，使得投入产出也不尽相同。因此，产业结构的变化会直接影响能源效率。

通常情况下，第二产业是相对高能耗低效的产业，其在国民经济中的占比变化会直接改变能源的消费结构^[15]。而在产业结构优化升级过程，常会伴随相对低耗能高效的第三产业比重增加与高能耗低效的第二产业比重的降低。

因此，预期假设2：产业结构升级与能源效率呈正相关关系。

2.3 环境规制与产业结构对能源效率影响

环境规制不仅能够直接影响能源效率，还能通过提高能源开采许可门槛与缴纳污染超标排放的罚款等措施，使得能源价格上涨，投入成本上升，产出不变，经济效率下降。基于企业理性经济人的假设，能源价格上涨会使得企业能源消费行为发生改变。因此，环境规制在一定程度上倒逼产业结构调整。而产业结构的改变又与能源效率的变化息息相关。同时，环境规制对能源效率的影响效果发挥也依赖于产业结构高度化的程度。当产业结构处在低位时，在环境规制对能源效率的影响中，环境规制发挥着较强的绿色悖论效应，即不能达到节能提效目的，相反，当产业结构处在较高位时，环境规制则体现出很强的遵循成本效应，即环境规制对能源效率提高能够取得好的政策效果^[16]。因此，在环境规制与产业结构各自影响能源效率过程中，两者还会形成合力影响能源效率。此外，我国各地区的产业结构的升级优化水平各不相同，

差异程度较大,那么环境规制对能源效率的影响也会呈现较大差异。

综上,预期假设3:在产业结构高度化水平高时环境规制与产业结构间的协同效应明显,而在产业结构高度化水平低时环境规制与产业结构间的协同效应不明显。

3 模型构建、变量说明和数据来源

3.1 模型设定

基于前文提出的3个假设,拟采用以下模型对这些假设进行检验:

$$EE_{q,p} = \alpha_1 + \delta_1 EE_{q,p-1} + \beta_1 ER_{q,p} + \gamma_1 IS_{q,p} + \sum_{i=1}^3 \theta_i Control_{q,p} + \mu_{q,p} \quad (1)$$

$$EE_{q,p} = \alpha_2 + \delta_2 EE_{q,p-1} + \beta_2 ER_{q,p} + \gamma_2 IS_{q,p} + \rho ER_{q,p} \times IS_{q,p} + \sum_{i=1}^3 \theta_i Control_{q,p} + \mu_{q,p} \quad (2)$$

式(1)(2)中, EE 为能源效率, ER 为环境规制, IS 为产业结构, $Control$ 为控制变量, EE_{p-1} 为滞后1期的能源效率, $ER \times IS$ 为环境规制与产业结构的交互项; α 、 δ 、 γ 、 θ 及 ρ 为待估常数; q 表示 q 省、 p 表示 p 年, i 为第 i 控制变量, μ 为误差项,反映其他影响能源效率的因素。为了减少多重共线性的影响,消除异方差问题,该文对解释变量取对数^[17]。同时,考虑到模型中变量的内生性问题,如环境规制倒逼型技术进步,使能源效率提高,而能源效率的提高也可能使环境进一步受到污染,政府为了保护环境,会继续加大环境规制力度。同时,产业结构的升级优化会提高能源效率,而能源效率的提高也会引导产业结构向使用能源效率高的产业结构方向发展。因此,针对这种遗漏变量问题,该文在自变量中加入了因变量的一阶滞后项($EE_{q,p-1}$),以反映能源效率的滞后效应,降低模型的设定误差。

如果模型(1)与(2)回归中 β_1 与 β_2 的系数均显著, ρ 也显著,则表明环境规制与产业结构均显著影响能源效率,同时环境规制与产业结构也共同对能源效率产生影响;如果模型(1)与(2)回归中 β_1 与 β_2 的系数均显著, ρ 不显著,则表明环境规制与产业结构均显著影响能源效率,而环境规制与产业结构没有共同对能源效率产生影响;如果模型(1)与(2)回归中 β_1 与 β_2 的系数均不显著,而 ρ 显著,则表明环境规制与产业结构对能源效率的影响,仅取决于两者的共同作用;如果模型(1)与(2)回归中 β_1 与 β_2 的系数其中一个显著, ρ 也显著,则表明在环境规制与产业结构对能源效率的影响中,其中不显著的一方依赖于显著的一方;如果模型(1)与(2)回归中 β_1 与 β_2 的系数其中一个显著, ρ 不显著,则表明在环境规制与产业结构对能源效率的影响中,只有显著的一方对能源效率产生影响。

3.2 变量说明

3.2.1 被解释变量(能源效率EE)

参照汪克亮等^[18]、魏一鸣和廖华^[19]计量能源投入与产出的方法,从生产法GDP的核算视角考察,能源产出(或者能源服务)用经济活动产出量表示,而经济活动产出量常用做法是用GDP表示,即各行业增加值的累计值。能源投入用各类一次能源消耗量表示(采用热值法或者发电煤耗法)。能源投入(消耗总量)也是各行业能耗的累计值(暂不考虑生活用能)。同时,借鉴杨志江和朱桂龙^[14]、黄慧微^[20]采用DEA计算能源效率的做法,用各地GDP作为产出(GDP按2007年不变价格进行换算以保持统计口径一致),用主要能源消费量(煤炭消费量(万t)、焦炭消费量(万t)、原油消费量(万t)、汽油消费量(万t)、煤油消费量(万t)、柴油消费量(万t)、燃料油消费量(万t)、天然气消费量(亿m³)及电力消费量(亿kW·h))作为投入计算各地每年的能源效率。在此基础上,对2007—2016年我国各省(市、区)10年的平均效率进行排序,然后根据排序将我国的省(市、区)分成高(北京、广东、浙江、江苏、上海、福建、江西、海南、天津及湖北)、中等(安徽、广西、湖南、山东、陕西、重庆、吉林、河南、四川、黑龙江)及低效率(辽宁、云南、河北、内蒙古、甘肃、贵州、新疆、山西、青海、宁夏)3个区域。

3.2.2 解释变量(环境规制ER和产业结构IS)

环境规制的代理变量的选用,主要考虑到数据的可得性及代表性,在参考武建新和胡建辉^[21](以

“(本年度实际污染治理投入/第二产业增加值) × 1 000”代表环境规制)关于环境规制代理变量选用做法的基础上,对环境规制的代理变量进行了改进。鉴于环境规制不仅对污染治理进行投入,同时也对环境保护与改善进行投入,因此,采用环境污染治理投资总额代替污染治理投入更为合理。同时,考虑到各地环境规制强度的可比性,该文采用各地环境污染治理投资总额/各地GDP总额的比例进行计量,其中GDP按2007年不变价格进行调整以保持统计口径一致,环境规制投入采用永续盘存法进行估算,并按2007年不变价格进行换算。

另外,在选用产业结构的代理变量时,也着重考虑测度方法的权威性和数据的可获得性等方面^[22]。文章参考了刘嘉毅等^[23]、吴梓境^[24]及王钊和王良虎^[25]的经验做法,采用“(各省第三产业增加值+各省第二产业增加值)/各省总GDP”进行度量。

3.2.3 控制变量(技术水平TP、人口密度PD与能源价格EP)

为了更加真实地反映环境规制、产业结构与能源效率之间的关系,该文主要对技术水平、人口密度及能源价格进行了控制。首先,技术水平主要是通过技术进步促进能源效率的提升,文中用各地研究与试验发展经费投入强度表示,即R&D经费投入/各地GDP的比值;其次,人口密度,人口密度的大小也会一定程度上影响到能源效率,但人口密度对能源效率的影响,目前尚无定论^[18],文中人口密度用“万人/km²”表示;最后,能源价格会直接影响企业投入成本,从而影响能源效率。考虑到数据的可得性,用燃料动力价格指数进行代理。以上变量定义见表1。

表1 变量说明

变量名称	变量代码	变量定义
能源效率	EE	用各地GDP作为产出指标,用主要能源消、焦炭、原油、汽油、煤油消费量、柴油、燃料油、天然气及电力消费量作为投入指标,用DEA计算各地每年的能源效率
环境规制	ER	各地环境污染治理投资总额/各地GDP总额
产业结构	IS	(各地第三产业增加值+各地第二产业增加值)/各地总GDP
技术水平	TP	R&D经费投入/各地GDP,在文中为control1
人口密度	PD	万人/km ² ,在文中为control2
能源价格	EP	燃料动力价格指数,在文中为control3

3.3 数据来源

该文选取2007—2016年我国各省(市、区)的主要能源消费量(煤炭消费量(万t)、焦炭消费量(万t)、原油消费量(万t)、汽油消费量(万t)、煤油消费量(万t)、柴油消费量(万t)、燃料油消费量(万t)、天然气消费量(亿m³)及电力消费量(亿kW·h)),第一、二与三产业GDP(亿元),燃料动力价格指数、技术水平(R&D经费投入强度)、人口密度(万人/km²)、环境污染治理投资总额(亿元),各数据来源于国家统计局网址、各地的统计年鉴与中国经济景气月报等同期数据。由于西藏的各数据缺乏,故将西藏剔除,共统计了30个省(市、区)的数据。因此,该文最终共选取了我国各地10年的截面数据,共300个样本。

4 结果分析

该文为了探寻环境规制、产业结构对能源效率三者之间的关系,以及这三者关系在不同能源效率地区的不同表现,利用2007—2016年我国30个省(市、区),共300个样本的相关数据,使用eviews6.0分析软件对数据进行分析,得到相应的分析结果,具体见表2。

4.1 环境规制独立效应分析

表2中模型(1)的估计结果显示了高效率、中等及低效率地区的环境规制(ER)变量系数的估计值。首先,高等效率地区的环境规制(ER)变量系数的估计值为0.071(P=0.002),说明高等效率地区

的环境规制与能源效率的关系是显著为正，即随着全国的环境规制强度增强，能源效率不断下降；其次，中等效率地区内环境规制（*ER*）变量系数的估计值为 0.231（ $P=0.034$ ），表明在中等效率地区内环境规制与能源效率的关系是显著为正，意味着中等效率地区内环境规制与能源效率的关系是正相关关系；最后，低效率地区内环境规制（*ER*）变量系数的估计值为 -0.350（ $P=0.000$ ），揭示了低效率地区内环境规制与能源效率是显著的负相关关系。

上述不同能源效率地区内所表现出的环境规制与能源效率关系的不同，主要是因为：一方面，在能源效率高地区用于研究、试验发展与提高科学技术水平的经费投入额度往往大于能源效率低地区的投入额度，其环境规制倒逼技术进步促进效率提升的力量要大于能源效率低地区的促进力量。另一方面，由于技术进步具有偏向性，在能源效率高地区内倾向于高效节能型技术进步，而在能源效率高地区内则倾向于低效使用型技术进步。因此，不同能源效率地区内就呈现出环境规制与能源效率间关系的差异性，进而假设 1 成立。

表 2 模型检验结果

变量	模型 (1)			模型 (2)			变量 VIF 范围
	高效率地区	中等效率地区	低效率地区	高效率地区	中等效率地区	低效率地区	
环境规制	0.071*** (0.002)	0.231*** (0.034)	-0.350*** (0.000)				(0, 2)
产业结构	0.289*** (0.002)	0.060** (0.071)	-0.137 (0.142)				(0, 2)
能源效率 $P-1$	0.256*** (0.007)	0.157*** (0.005)	0.322*** (0.003)	0.251*** (0.006)	0.117*** (0.009)	0.524*** (0.003)	(0, 2)
环境规制 × 产业结构				0.212*** (0.030)	-0.156 (0.168)	-0.039 (0.696)	(0, 2)
技术水平	控制	控制	控制	控制	控制	控制	(0, 2)
能源价格	控制	控制	控制	控制	控制	控制	(0, 2)
人口密度	控制	控制	控制	控制	控制	控制	(0, 2)
样本	100	100	100	100	100	100	
Adj-R ²	0.461	0.388	0.475	0.346	0.377	0.401	

注：括号中数字为 P 值，* 表示 0.1 的显著水平，** 表示 0.05 的显著水平，*** 表示 0.01 的显著水平

4.2 产业结构独立效应分析

表 2 中模型 (1) 的估计结果还分别呈现了高效率、中等及低效率地区内产业结构（*IS*）变量系数的估计值，即高效率地区内产业结构（*IS*）变量系数的估计值为 0.289（ $P=0.002$ ）、中等效率地区内产业结构（*IS*）变量系数的估计值为 0.060（ $P=0.071$ ）、低效率地区内产业结构（*IS*）变量系数的估计值 -0.137（ $P=0.142$ ），表明在高效率区域与中等效率区域内产业结构与能源效率显著正相关，低效率区域内产业结构与能源效率负相关但不显著。其中在高效率区域与中等效率区域内，随着产业结构的优化升级能源效率也不断提高，但是在低效率区域内产业结构对能源效率的影响不明显，主要是因为低效率区域内产业结构中第二产业占比太高与第三产业占比太低（根据国家统计局网站数据计算得到高效率区域内第一、第二、第三产业平均比例为：6.80 : 42.80 : 50.40，中效率区域内第一、第二、第三产业平均比例为：11.65 : 48.39 : 39.96，低效率区域内第一、第二、第三产业平均比例为：19.74 : 51.75 : 28.51），这种高比例的第二产业会导致高耗与低效发生，不利于提高能源效率^[16]。因此，从全国与高效率及中等效率区域内看，产业结构与能源效率呈正向关系，假设 2 基本得以验证。

4.3 环境规制与产业结构协同效应分析

表 2 提供了高效率、中等及低效率地区内环境规制与产业结构的交互项（ $ER \times IS$ ）变量系数的估计值，分别是 0.212（ $P=0.030$ ）、-0.156（ $P=0.168$ ）及 -0.039（ $P=0.696$ ），表明在高效率地区内环

境规制与产业结构两者之间的协同作用显著，在中等与低效率地区内环境规制与产业结构两者之间的协同作用不显著，意味着仅在高效地区内环境规制与产业结构对能源效率的影响才有共同强化作用。这主要是因为环境规制对能源效率的影响效果发挥在一定程度上依赖于产业结构高度化的水平^[26]。通常情况下，产业结构处在低位时在环境规制对能源效率的影响中，环境规制体现出“绿色悖论”的效应，即随着环境规制强度增大，能源效率反而下降；相反，产业结构处在高位时，环境规制则体现出很强的遵循成本效应，即环境规制能取得很好的提高能源效率的政策效果。同时根据2007—2016年我国高效地区的产业结构高度化大于中等与低效率地区高度化（根据国家统计局网站数据计算得到高效率、中效率及低效率的地区产业结构高度化平均值分别为：0.93、0.88及0.80），可见高效地区的产业结构处在高位。因此，在高效地区内环境规制与产业结构对能源效率的影响才能得以共同强化，假设3成立。

4.4 稳健性检验

该文对所有变量做了单位根检验，没有发现变量不平稳，不会产生为回归情况。同时，也对各模型变量VIF进行了检验，它们的值域范围为(0, 2)可见这些模型中各变量的VIF小于2，表明模型(1)(2)中变量间没有严重的共线性问题。此外，考虑到该文的核心解释变量是环境规制与产业结构，他们的代理变量的选取会对估计结果产生重要的影响。因此，为了保证检验结果的一致性，该文选取了各地区工业污染投资额与规模工业企业主营业务成本的比例作为环境规制代理变量^[27]，用泰尔指数估计产业结构进行了替代检验^[24]。通过表3替代变量的检验结果，发现所有变量回归系数正负符号、显著性与表2相同，说明替代变量也支持文中所有假设，意味着文中结论具有很好的稳健性。

表3 替代变量检验结果

变量	模型(1)			模型(2)		
	高效率地区	中等效率地区	低效率地区	高效率地区	中等效率地区	低效率地区
环境规制	0.101*** (0.000)	0.199*** (0.008)	-0.611*** (0.001)			
产业结构	0.196*** (0.001)	0.033** (0.063)	-0.432 (0.321)			
能源效率 $P-1$	0.331*** (0.004)	0.182*** (0.000)	0.356*** (0.003)	0.343*** (0.000)	0.233*** (0.004)	0.632*** (0.001)
环境规制 × 产业结构				0.188*** (0.008)	-0.302 (0.324)	-0.333 (0.789)
样本	100	100	100	100	100	100
Adj-R ²	0.368	0.299	0.365	0.443	0.288	0.391

注：所有回归都使用同表2中同样的控制变量；括号中数字与“*”个数与表2表示的内容相同，限于篇幅，不再赘述

5 结论与建议

该文基于DEA方法测算了我国各地能源效率的结果，将我国划分为高、中及低能源效率3个地区，构建了环境规制、产业结构对能源效率影响的模型，利用2007—2016年我国30个省（市、区）的相关数据，分析了环境规制、产业结构与能源效率之间的关系，结果发现我国各地区能源效率高低取决于环境规制与产业结构的影响方向及两者是否产生协同效应，具体结论如下。

(1) 能源效率高的地区（北京、广东、浙江、江苏、上海、福建、江西、海南、天津及湖北）内环境规制与产业结构均正向影响能源效率且两者对能源效率的影响共同强化。这些地区应该进一步推进高效节能型技术进步研发与创新，寻找新的高效替代能源，同时也应该对产业结构进行优化升级与继续加大环境污染治理投入力度，扩大这些地区的能源效率提升空间。

(2) 能源效率中等的地区（安徽、广西、湖南、山东、陕西、重庆、吉林、河南、四川、黑龙江），

环境规制与产业结构均正向影响能源效率,但两者的协同效应不明显。力劝这些地区应该对产业结构进一步升级,使之处于较高位置,以之与环境规制形成协同作用,进一步提高能源效率。

(3) 能源效率低的地区(辽宁、云南、河北、内蒙古、甘肃、贵州、新疆、山西、青海、宁夏),环境规制与产业结构均负向影响能源效率且两者的协同效应不明显。建议这些地区努力提高产业结构高度化水平与降低第二产业占比比例,同时调整政策目标,充分发挥环境规制倒逼技术进步的作用,使用性技术进步向高效节能型技术进步转变,以形成环境规制与产业结构对能源效率的正向影响以及环境规制与产业结构的协同作用,提高能源效率。

参考文献

- [1] 尤济红,高志刚. 政府环境规制对能源效率影响的实证研究——以新疆为例. 资源科学, 2013, 35(6): 1211-1219.
- [2] 王腾,严良,易明. 中国能源生态效率评价研究. 宏观经济研究, 2017(7): 149-157.
- [3] 万伦来,童梦怡. 环境规制下中国能源强度的影响因素分析——基于省际面板数据的实证研究. 山西财经大学学报, 2010, 32(S2): 6-7.
- [4] 王艳丽,钟奥. 工业行业环境规制、创新能力与全要素能源效率的实证检验. 统计与决策, 2015(15): 139-142.
- [5] 张华,王玲,魏晓平. 能源的“波特假说”效应存在吗?. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 33-41.
- [6] 刘立涛,沈镛. 中国区域能源效率时空演进格局及其影响因素分析. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2142-2153.
- [7] 韩智勇,魏一鸣,范英. 中国能源强度与经济结构变化特征研究. 数理统计与管理, 2004(1): 1-6.
- [8] 屈小娥. 中国省际能源效率差异及其影响因素分析. 经济理论与经济管理, 2009(2): 46-52.
- [9] 朱胜清,曹卫东,罗健,等. 我国能源效率对产业结构演变响应的区域差异研究. 人文地理, 2013(6): 118-125.
- [10] 李春霄,王晓娟,何珊. 产业结构合理化对全要素能源效率的影响研究——一个非径向DEA模型分析框架. 工业技术经济, 2017, 36(5): 147-155.
- [11] 韩晶,陈超凡,冯科. 环境规制促进产业升级了吗?——基于产业技术复杂度的视角. 北京师范大学学报(社会科学版), 2014(1): 148-160.
- [12] 郑金铃. 城市、城市群与居民碳排放——基于紧凑空间形态的研究. 经济与管理, 2016, 30(1): 89-96.
- [13] 钟茂初,李梦洁,杜威剑. 环境规制能否倒逼产业结构调整——基于中国省际面板数据的实证检验. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 107-115.
- [14] 杨志江,朱桂龙. 技术创新、环境规制与能源效率——基于中国省际面板数据的实证检验. 研究与发展管理, 2017, 29(4): 23-32.
- [15] 刘凤朝,孙玉涛. 技术创新、产业结构调整对能源消费影响的实证分析. 中国人口·资源与环境, 2008(3): 108-113.
- [16] 周肖肖,丰超,魏晓平. 政策匹配视角下环境规制与结构升级的节能效应研究. 山西财经大学学报, 2015, 37(12): 13-25.
- [17] 俞雅乖,刘玲燕. 我国城市环境绩效及其影响因素分析. 管理世界, 2016(11): 176-177.
- [18] 汪克亮,杨力,杨宝臣,等. 能源经济效率、能源环境绩效与区域经济增长. 管理科学, 2013, 26(3): 86-99.
- [19] 魏一鸣,廖华. 能源效率的七类测度指标及其测度方法. 中国软科学, 2010(1): 128-137.
- [20] 黄慧微. 能源经济效率、能源环境绩效与区域经济增长关系研究. 生态经济, 2018, 34(8): 86-91.
- [21] 武建新,胡建辉. 环境规制、产业结构调整与绿色经济增长——基于中国省级面板数据的实证检验. 经济问题探索, 2018(3): 7-17.
- [22] 杨丽君,邵军. 中国区域产业结构优化的再估算. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(10): 59-77.
- [23] 刘嘉毅,陶婷芳,夏鑫. 产业结构调整与住宅价格关系实证研究——来自中国内地的经验分析. 财经研究, 2014, 40(3): 73-84.
- [24] 吴梓境,张波,朱琳. 产业升级、增长联盟与住房供给弹性——基于35个大中城市的数据分析. 统计与信息论坛, 2019, 34(4): 83-89.
- [25] 王钊,王良虎. R&D投入、产业结构升级与碳排放关系研究. 工业技术经济, 2019, 38(5): 62-70.
- [26] 矫健,唐冲,蒋梅,等. 加快推进新疆巴州农业产业结构优化升级的思考和建议. 中国农业资源与区划, 2016, 37(12): 130-135.
- [27] 千春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响. 经济研究, 2011, 46(5): 4-16.

THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL REGULATION AND INDUSTRIAL STRUCTURE ON ENERGY EFFICIENCY *

Dai Jun^{1*}, Fu Yanming²

(1. Baise University, Baise 53300, Guangxi, China;

2. Computer and Electronic Information College, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract This research is intends to study on the relationship between Chinese provincial environmental regulation, industrial structure and energy efficiency, so as to more accurately reflect the relationship among environmental regulation, industrial structure and energy efficiency, and provide reference for local government to achieve the win-win situation of environmental protection, the optimization of industrial structure and energy efficiency. Based on EDA method, this research calculated the energy efficiency of all provinces of China, which could be divided into three areas of high, medium and low energy efficiency, and established a model of the relationship among environmental regulation, industrial structure and energy efficiency. Through analytical investigation on relevant data of 30 provinces of China from 2007 to 2016, it showed that the environmental regulation and energy efficiency were significantly positive in the high efficiency area, and they were also significantly positive in the medium efficiency area, while they were significantly negative in low efficiency area. Meanwhile, in the high and medium efficiency area, the industrial structure and energy efficiency relationship were significantly positive, but not significant in the low efficiency area. Only in the high efficiency area, the synergy between environmental regulation and industrial structure was significant, but not in medium and low efficiency areas. In summary, environmental regulation and industrial structure have positive impact on energy efficiency both in high and medium energy efficiency provinces, while environmental regulation and industrial structure have negative impact on energy efficiency in low energy efficiency provinces; environmental regulation and industrial structure have jointly strengthening effect on energy efficiency in high energy efficiency provinces, while the synergistic effect of environmental regulation and industrial structure is not obvious in both medium and low energy efficiency provinces.

Keywords environmental regulation; industrial structure; energy efficiency; DEA method ; impact