

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.09.001

# 环境规制与产业结构调整对能源消耗的影响<sup>①</sup>

张国兴<sup>1</sup>, 贾宇琪<sup>1</sup>, 保海旭<sup>1</sup>, 聂 龚<sup>2\*</sup>, 胡 毅<sup>3</sup>

(1. 兰州大学管理学院, 兰州 730000; 2. 兰州大学经济学院, 兰州 730000;  
3. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100190)

**摘要:** 有效缓解能源消耗问题是我国建设资源节约型、环境友好型社会的关键之举。在我国产业结构不断调整与优化的背景下,环境规制如何影响我国能源消耗?为回答这一问题,本研究通过搜集整理2006年—2017年我国30个省市自治区的面板数据,采用面板矫正标准误估计方法(PCSE)实证分析了不同环境规制对工业能源消耗的直接作用与间接影响。研究结果表明:1)环境规制对工业能源消耗的影响显著,市场激励型环境规制表现最优,公众监督型环境规制次之,命令控制型环境规制影响较弱;2)环境规制与产业结构的交互项证实了市场激励型、公众监督型环境规制对能源消耗的综合效应,来自政府的环境规制行为能够有效引导我国产业结构的调整与优化,降低能源消耗;3)环境规制与能源消耗的门限回归模型验证了命令控制型环境规制的非线性影响,能源节约效果因环境规制程度的不同而出现差异。基于研究结果,本文提出在环境规制推行过程中要有所侧重、注重发挥其对产业结构优化调整的引导作用等政策建议,为我国有效改善能源消耗问题提供有益的借鉴与指导。

**关键词:** 环境规制; 产业结构调整; 能源消耗; PCSE; 门限回归

**中图分类号:** F205    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-9807(2025)09-0001-12

## 0 引言

能源是各国经济发展的命脉。能源消耗是指在一定地域、一定时期的生产过程中所消耗的各种能源的总和。在我国能源消耗构成中,工业是能源消耗的主要贡献者。自改革开放以来,我国经济取得飞速发展,然而高投入高排放的粗放型发展模式也为我国未来经济发展埋下隐患,对能源的过度依赖使我国经济发展在转型过程中面临着严重的能源危机<sup>[1, 2]</sup>。国家统计局数据显示,2006年我国能源消费总量约为25 MBt,其中工业能源消费总量占比约为71%;2017年,我国工业能源消耗水平超过了29.4 MBt标准煤,约为交通、运输、仓储邮政业能源消费总量的7倍。过度的能源消

耗也随之带来了水污染、大气污染等一系列环境问题<sup>[3, 4]</sup>。提高能源利用效率,加快推进我国工业企业绿色转型,建设“资源节约型”、“环境友好型”社会已成为政府部门和学术界共同关注的热点话题<sup>[5]</sup>。

为应对能源消耗与环境问题所带来的诸多瓶颈,我国颁布并推行了多种环境规制政策,意在通过建立一套完善的环境规制体系提升技术水平,促进产业结构的转型升级,摆脱能源危机困扰,进而保障我国经济可持续发展<sup>[6]</sup>。随着环境规制的不断推行,我国产业结构开始出现转变,环境规制的影响逐渐凸显。自2010年开始,以工业为代表的第二产业对GDP增长的贡献率开始逐年下降至50%以下,第三产业成为对经济增长的主要贡

① 收稿日期: 2021-04-09; 修订日期: 2022-06-05。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71874074; 72104096; 72034003)。

通讯作者: 聂 龚(1988—), 女, 甘肃兰州人, 博士, 研究员。Email: niey@lzu.edu.cn

献者<sup>[7]</sup>. 环境规制是政府部门缓解能源危机, 改善环境问题的重要手段, 然而鲜有学者从产业结构视角就环境规制与工业能源消耗展开探讨. 本研究拟采用 2006 年—2017 年面板数据, 从直接与间接两种路径就不同类型环境规制与能源消耗的影响展开实证探讨, 并提出有效缓解能源过度消耗的政策建议.

## 1 文献综述

长期以来的“唯经济增长论”使得环境规制在执行过程中存在很大障碍<sup>[8]</sup>. 环境规制如何在产业绩效与节能降耗之间实现有效平衡, 这一问题引起学术界的广泛思考与探讨. 传统观点认为环境规制对能源消耗的影响较为有限, 究其原因在于严格的环境规制加剧了企业负担, 排污治理等费用的支出为企业带来额外成本, 进而不利于工业企业能源效率的提升与进一步发展, Shao 等<sup>[9]</sup>在探究有色金属行业的环境效率时指出, 我国大多数有色金属行业都面临着资源匮乏, 环境法规对有色金属行业的节能效果不够理想, 有待进一步完善. 且由于工业企业在地区、发展水平等方面差异也使环境规制产生的影响各不相同<sup>[10, 11]</sup>. 而“波特假说”对传统观点提出质疑, 该观点认为精心设计的环境规制能够有效降低工业能源消耗, 促进工业企业加强技术投入, 变革生产方式, 改进生产设备, 最终为企业带来能源效率的提升<sup>[12, 13]</sup>. 方芳等<sup>[14]</sup>在对制造业生产率进行剖析时, 通过聚焦政府排放总量控制计划探讨了环境规制与企业生产率之间的关系, 对“波特假说”进行验证, 最后证实了环境规制对提升能源效率的有效性.

产业结构即产业的组成. 高质量的经济发展及我国逐渐消失的人口红利优势要求我国必须考虑产业结构的调整与优化, 从而实现要素禀赋由初级产品向高级产品的有序转移<sup>[7]</sup>. 然而由于市场失灵等不确定性风险的存在, 仅仅依靠企业自身实现产业结构的转变是不够的, 需要政府加以规制引导. 基于不同的计量方法, 学者们证实了环境规制对产业结构的重要影响. 张国兴等<sup>[15]</sup>基于

对政策文本的量化实证探讨了环境规制对京津冀及周边地区产业结构变动的长期显著性影响; Zheng 等<sup>[16]</sup>利用双重差分模型揭示了低碳试点政策对产业结构优化的优越性. 还有研究立足于环境规制传导机制的探究, 发现了产业结构调整是环境规制作用于节能降耗、实现经济高质量发展的重要路径. 一方面环境规制使得全民绿色节能理念增强, 清洁型产业的不断兴起倒逼现有企业进行改革与升级; 另一方面, 以政府补贴等为代表的政府干预行为能够有效刺激新能源产业的兴起, 进而拉大传统二三产业间的比较优势, 促进要素之间的流动与配置<sup>[17]</sup>. 张娟<sup>[18]</sup>基于城市面板数据, 印证了环境规制在影响经济发展过程中产业结构所扮演的重要角色. 严厉的环境规制能够刺激传统行业中过剩产能向第三产业流动, 从而刺激了新的经济增长点的诞生, 促进了多元化产业体系的构建. 产业结构调整所带来的影响可见一斑.

世界经济的快速增长使得能源供应趋势日趋紧张, 学者们致力于产业结构和能源消耗的研究, 以期探寻缓解能源消耗的有效途径. Godil 等<sup>[19]</sup>基于对印度能源消耗的影响效应研究中发现, 金融业的发展与繁荣进一步加剧了印度的能源消耗速度, 多元化政策亟待政府部门及决策者推行; Xue 等<sup>[20]</sup>采用双重差分模型, 就以通信、互联网为代表的数字经济产业对能源消费的影响效率进行推演. 研究证实了数字经济产业的发展对能源消费的正向作用, 论证了产业结构调整的节能优势. 不仅如此, 全球化进程使得各国间的经济往来日益频繁, 以美国、英国为代表的发达国家依旧不能摆脱能源过度消耗的“枷锁”, 对能源消耗的探索在发达国家也引起了广泛而深刻的讨论. Lahiani 等<sup>[21]</sup>基于美国金融行业季度发展数据的研究表明推动金融行业的发展将促进企业融资渠道的多样化, 这将大大有助于驱动企业对可再生能源的消费, 扭转过去主要依赖化石能源的发展困境. Norman<sup>[22]</sup>采用 LMDI 技术就英国工业部门能源效率展开分解, 得到了由工业部门内部结构变动所带来的结构效应能够降低能源需求的有力证据. Tanaka 和 Managi 等<sup>[23]</sup>在研究中探讨了日本

能源密集型行业的能源效率. 研究中指出近年来日本能源效率有所提高, 不同的产业特征致使最终的能源效率提升呈现差异化.

节能降耗一直是学术界关注的热点话题之一, 现有研究对此也展开了大量的探讨与实证分析, 然而却未能得到较为一致的结论. 其中, 对环境规制的有效测算在很大程度上决定了研究结论准确性, 规制成本、规制主体的多样性、决策者偏好等因素使得不同类型的环境规制在最终的成效上出现差异<sup>[7]</sup>. 本研究的边际贡献可能存在以下几个方面: 首先, 采用面板模型定量分析环境规制对工业能源消耗的影响效应, 出于对环境规制执行差异及不同类型的考量, 本研究综合考虑了环境规制的三类设计: 市场激励型、命令控制型、公众监督型, 并进一步分析不同环境规制影响效应的异质性特征; 第二, 大多数研究通常将环境规制与产业结构作为两个相互独立的影响因素展开探讨, 须知能源的节约往往是多种因素共同作用的结果. 区别于现有研究, 本研究探讨了环境规制、产业结构与能源消耗之间的系统关系, 在此基础上试图分析产业结构视角下环境规制的节能效果是否发生变化, 交互项的构建进一步讨论了环境规制与产业结构协同作用下的节能效应; 第三, 与以往采用线性回归方式的相关研究不同, 本研究考察了环境规制对能源消耗影响的门限效应, 通过构建环境规制与能源消耗的门限回归模型, 证明了命令控制型环境规制对能源消耗的非线性影响.

## 2 变量描述与模型构建

### 2.1 变量描述

经济快速发展使我国正面临着能源消耗、环境污染日益加剧的严峻形势. 在可持续发展的战略目标下, 采取有效措施降低能源消耗是十分必要的<sup>[10]</sup>. 对于能源消耗, Su 等<sup>[24]</sup>在研究中考虑了能源因素, 实证结果表明能源强度是影响工业污染排放与治理的关键因素. 地区能源平衡表很好地反映了地区分行业能源生产与消耗等具体状况, 为分析工业节能潜力提供可能, 因此在被解释

变量工业能源消耗的指标选取上, 本研究借鉴 Su 等学者的指标构建思路, 选择能源平衡表中地区工业能源消耗总量 (industry energy consumption, IEC) 对其进行衡量.

为了促进环境与经济之间的协调发展, 改善两者之间的矛盾, 政府推行了多种环境规制措施, 如何保证环境规制 (environmental regulation, ER) 在降低能源消耗的同时促进工业产值的稳步增长是我国在工业化进程中的一个难题<sup>[14]</sup>. 考虑我国环境规制政府和市场双重调控为主、社会公众参与监督为辅的体系特点<sup>[10]</sup>, 本研究借鉴 Ren<sup>[10]</sup>、Liu 等<sup>[25]</sup>研究, 在此将环境规制大体划分为三类: 市场激励型、命令控制型、公众监督型.

市场激励型环境规制 (environmental regulation based on market incentive, MER) 是指政府通过采取排污费等经济手段为工业企业释放节能信号, 其目的在于鞭策企业改进生产方式, 降低能源消耗, 实现清洁生产. 本研究选择年度工业污染治理投资额作为市场激励型环境规制的代理, 其原因在于: 污染治理总投资额能够直接影响到工业企业的成本与效益, 因此更能清晰地反映出被规制主体 (即: 工业) 对节能降耗的反应程度大小<sup>[25]</sup>.

命令控制型环境规制 (environmental regulation based on command-and-control, CER) 是指政府通过相关法律法规及环境标准的制定, 工业企业在生产过程中一旦出现环境标准不能达标的情况, 立即对相应企业进行处罚. 之所以选取年度行政处罚案件数量作为命令控制型环境规制的代理是因为在我国命令控制为主导的环境规制体系下<sup>[26]</sup>, 命令控制型环境规制带有一定的强制性色彩, 它为工业企业的环境绩效提供了一个“准绳”, 使各工业企业行政处罚的“高压”下不得不思考应如何转型以降低工业能源消耗, 进而达到相应的环境标准.

公众监督型环境规制 (environmental regulation based on public supervision, PER) 是指随着互联网的普及与通信媒介的更新换代, 公众对环境违法行为的监督意识也在不断增强. 企业的环境违法行为一经报道, 将对工业企业在管理者形象、

企业未来收益等方面产生一系列负面影响<sup>[27]</sup>。公众监督型环境规制形式多样,而人大建议数则通过人大代表参与人民代表大会的形式履行公众对环境违法行为的监督职能。人大代表由公众直接选举产生,人民代表大会作为我国最高国家权力机关。与公众来信、环保热线相比,来自人民代表的建议形成议案经审议通过则具备了更高水平的约束力与更大范围的影响力<sup>[28]</sup>。因而本研究选取“环境信访与环境法治”中各地区承办的人大建议数作为公众监督型环境规制的代理变量。

为厘清环境规制对能源消耗的影响效应,选取以下指标作为本研究的控制变量集。产业结构与能源消耗之间关系密切<sup>[29]</sup>,研究表明产业结构的转型与升级是实现节能减排的重要途径之一<sup>[30]</sup>。本研究引入产业结构(industry scale, *is*)作为控制变量,用各省、市、自治区第二产业增加值与GDP的比重对其进行定义<sup>[31]</sup>。外商投资的数量与质量决定了其对能源消耗的不同影响。一方面,跨国企业的到来为东道国引进了先进的设备与生产技术,在促进经济发展的同时提升了工业产品的附加值,降低了能源消耗;另一方面,差异化的环境规制促进了产业的迁移,而那些环境规制标准较低的国家则更容易成为这些污染行业的“避风港”。本研究选取外商直接投资(foreign direct investment, *fdi*)占GDP的比重对其进行控制<sup>[32]</sup>。研究与试验发展经费的支出体现了一个国家对于科技的不断追求与重视程度,一般而言科技水平的提升将对能源效率的提升有所助益<sup>[11]</sup>。因而本研究对技术水平(technical level, *tl*)进行控制,选取2006年—2017年度R&D内部经费支出占GDP的比重进行衡量。最后本研究还考虑了经济发展对能源消耗的影响,用各省人均GDP(GDP of per capita, *pgdp*)予以表征<sup>[32]</sup>。

## 2.2 模型构建

环境规制对能源消耗的影响可理解为经济学中的“投入与产出”,基于环境规制的不同形式可大体从宏观和微观两个层面分析其对各省域工业能源消耗所造成的影响。诸如宏观层面政策条例的颁布,法制化的大力倡导,到微观层面企业从业人员的增减,生产技术的变革等。来自政府和企业自身等层面无形投入的增加,倒逼企业在从事生

产经营活动时将对公共环境造成的负外部性内化为厂商的完全成本,最终实现经济增长和能源效率提升的“双赢”<sup>[2, 19]</sup>。基于上述分析,本研究构建了环境规制对工业能源消耗的影响效应模型

$$\ln IEC_{p,t} = \beta_0 + \beta_1 ERs_{p,t} + \beta_2 \ln pgdp_{p,t} + \beta_3 \ln tl_{p,t} +$$

$$\beta_4 \ln is_{p,t} + \beta_5 \ln fdi_{p,t} + \varepsilon_{p,t} \quad (1)$$

式中被解释变量  $\ln IEC_{p,t}$  表示代表了  $p$  省  $t$  年的工业能源消费总量;  $ERs$  为本研究的核心解释变量, 分别为环境规制的市场激励型(*MER*)、命令控制型(*CER*)与公众监督型(*PER*); 控制变量主要包括地区经济发展水平(*pgdp*), 技术水平(*tl*), 产业结构(*is*)以及外商直接投资(*fdi*);  $\beta_0$  为常数项,  $\varepsilon_{p,t}$  为随机扰动项。为进一步考察环境规制和产业结构对工业能源消耗的综合效应, 本研究引入交互项, 构建了环境规制与产业结构对工业能源消耗的影响效应模型

$$\ln IEC_{p,t} = \beta_0 + \beta_1 ERs_{p,t} + \beta_2 \ln is_{p,t} +$$

$$\beta_3 ERs_{p,t} \times \ln is_{p,t} + \beta_4 X_{p,t} + \varepsilon_{p,t} \quad (2)$$

式中  $ERs \times \ln is$  为环境规制与产业结构的交互项, 为式(2)的关键解释变量引,  $X$  为控制变量集, 其余变量含义同式(1)。

## 2.3 描述性统计与相关性分析

本研究搜集了2006年—2017年我国30个省、市、自治区能源消耗数据, 样本数据集共由360个观察值构成。其中, 被解释变量  $IEC$  原始数据来源于《中国能源统计年鉴》。解释变量  $CER$ ,  $PER$  原始数据来源于《中国环境年鉴》, 需要说明的是自2015年后, 年鉴中并未对行政处罚案件数据做出系统统计, 故2015年后的行政处罚案件数据以手动搜集方式得到, 对于部分数据(约包含15个缺失值)本研究采用线性插值法进行补充。 $MER$  及控制变量原始数据来自于《中国统计年鉴》。为使数据更加平稳, 避免产生异方差等问题, 本研究对部分变量进行了对数处理。描述性统计结果见表1。在回归分析之前本研究对数据采取皮尔逊相关性分析与方差膨胀因子(*VIF*)检验。表2结果表明, 大部分变量与工业能源消耗显著相关; *VIF* 检验结果中最大值为1.91, 均值为1.46, 两者都小于2, 因此本研究认为模型中所选取的变量不存在严重的多重共线性问题。

表1 描述性统计

Table 1 Descriptive statistics

| 变量   | 均值        | 标准误       | 最小值    | 最大值        | 观察值 |
|------|-----------|-----------|--------|------------|-----|
| IEC  | 3 213.137 | 2 186.562 | 60.940 | 11 526.630 | 360 |
| MER  | 20.832    | 19.531    | 0.400  | 141.600    | 360 |
| CER  | 3 771.529 | 5 861.035 | 8.000  | 44 917.000 | 360 |
| PER  | 205.681   | 167.248   | 8.000  | 1 196.000  | 360 |
| pgdp | 4.056     | 2.407     | 0.579  | 12.899     | 360 |
| tl   | 0.015     | 0.011     | 0.002  | 0.061      | 360 |
| is   | 0.466     | 0.082     | 0.190  | 0.615      | 360 |
| fdi  | 0.390     | 0.529     | 0.048  | 5.852      | 360 |

表2 相关性分析与 VIF 检验

Table 2 Correlation analysis and VIF test

| 变量      | VIF  | ln IEC                    | MER                | CER               | PER                 | ln pgdp             | ln tl              | ln is             | ln fdi |
|---------|------|---------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------|
| ln IEC  |      | 1.000                     |                    |                   |                     |                     |                    |                   |        |
| MER     | 1.35 | 0.490<br>(0.000)          | 1.000              |                   |                     |                     |                    |                   |        |
| CER     | 1.19 | 0.156<br>(0.003)          | 0.303<br>(0.000)   | 1.000             |                     |                     |                    |                   |        |
| PER     | 1.40 | 0.481<br>(0.000)          | 0.436<br>(0.000)   | 0.354<br>(0.000)  | 1.000               |                     |                    |                   |        |
| ln pgdp | 1.91 | -0.119<br>(0.024)         | -0.169<br>(0.001)  | -0.020<br>(0.711) | 0.069<br>(0.192)    | 1.000               |                    |                   |        |
| ln tl   | 1.84 | -0.107<br>(0.044)         | -0.067<br>(0.204)  | 0.020<br>(0.710)  | -0.000 1<br>(0.999) | 0.642<br>(0.000)    | 1.000              |                   |        |
| ln is   | 1.12 | 0.102<br>0.053<br>(0.119) | 0.082<br>(0.076)   | 0.094<br>(0.076)  | 0.093<br>(0.078)    | -0.196<br>(0.000 2) | -0.132<br>(0.012)  | 1.000             |        |
| ln fdi  | 1.39 | -0.139<br>(0.008)         | -0.0734<br>(0.162) | 0.013<br>(0.808)  | -0.091<br>(0.086)   | 0.414<br>(0.000)    | (0.445)<br>(0.000) | -0.289<br>(0.000) | 1.000  |

注: 括号内为 P 值, Mean VIF = 1.46.

### 3 实证分析

#### 3.1 多重环境规制对能源消耗的影响

面板数据由于同时具备横截面维度与时间维度,因而为捕捉个体动态行为的更多信息提供可能,使估计结果在精确度上得到提升.然而却也带来了异方差、自相关等不足.在这种情况下,会产生估计效率低下,传统的随机效应估计与固定效应估计会变得无效等问题.因此在实证分析前,本研究分别采用 Wald、Wooldridge 以及 Pesaran 对组间异方差、组内自相关以及组间同期相关问题展开识别检验,回归结果见表 3.

表 3 回归结果表明,统计量在 1% 的显著性水平下均强烈拒绝“同方差”、“不存在一阶组内自相关”与“无组间同期相关”的原假设,认为本研究所用数据存在组间异方差,组内自相关与组间同其相关.为纠正上述问题,Beck 和 Katz 引入了面板矫正标准误(panel corrected standard errors, PCSE)估计方法<sup>[37]</sup>,PCSE 方法通过将残差项代入对角矩阵在保留 OLS 回归参数的基础上对标准误进行修正,在有限样本的情形下( $T < N$ )保证了估计结果的准确度.综上,本研究采用 PCSE 估计方法对环境规制与工业能源消耗的影响展开实证分析与探讨,实证结果见表 4.

表 3 模型估计有效性检验  
Table 3 Validity test of model estimation

| 有效性检验                   | 自变量          |              |              |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | MER          | CER          | PER          |
| 组间异方差 (Wald Test)       | 3 338.11 *** | 2 659.67 *** | 3 624.39 *** |
| 组内自相关 (Wooldridge Test) | 38.536 ***   | 36.999 ***   | 37.014 ***   |
| 组间同期相关 (Pesaran's Test) | 15.499 ***   | 14.055 ***   | 15.340 ***   |

注: \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ .

表 4 展示了基于面板矫正标准误 (PCSE) 估计方法下的环境规制对工业能源消耗影响的实证结果. 三类环境规制对能源消耗均能够起到显著改善效果, 从系数大小来看, 市场激励型环境规制 (MER) 对能源消耗的影响较为强烈. 逐渐完善的环境规制体系为企业节能降耗增加了信心, 从长期来看, 以污染资源治理投资额作为代理的市场激励型环境规制更容易产生激励效应, 各工业企业受到政府部门的引导更愿意投入更多的时间与人力加强技术方面的创新, 有助于未来从根本上摆脱能源过度消耗的窘境<sup>[33]</sup>; 公众监督型环境规制 (PER) 在 1% 的显著性水平下表现出了对能源消耗的改善作用. 人大建议将公众的监督权力上升到国家高度, 来自中央政府的人大建议要求地方政府在承办时务必在规定期限内予以答复

并按时结办<sup>[28]</sup>, 区别于公众来信等监督方式, 地方政府承办人大建议被赋予了一定的强制性, 它将公众的监督权力上升到国家高度, 因而能够带来显著的节能成效; 命令控制型环境规制 (MER) 虽然在 1% 的统计水平下表现做出对能源消耗的显著性影响, 但这种影响较为微弱. 这是因为第一, 地方政府在对环境违法行为进行惩处时保有较高的执行自由, 可能出于经济发展的优先考虑而有意放任工业企业对能源的过度消耗行为<sup>[31]</sup>; 第二, 由于行政资源的局限及中央政府与地方的信息不对称, 使得当前能被发现的环境违法行为仍在少数<sup>[34]</sup>. 地方政府与当地企业的默契合谋及行政处罚自身局限等多重因素的叠加严重削减了命令控制型环境规制对能源消耗的威慑作用.

表 4 多重环境规制的实证结果分析

Table 4 Analysis of empirical results of multiple environmental regulations

| 变量             | (1)          | (2)              | (3)            |
|----------------|--------------|------------------|----------------|
|                | ln IEC       | ln IEC           | ln IEC         |
| MER            | -0.002 77 ** |                  |                |
|                | (0.001 26)   |                  |                |
| CER            |              | -0.000 011 4 *** |                |
|                |              | (0.000 003 61)   |                |
| PER            |              |                  | -0.000 359 *** |
|                |              |                  | (0.000 116)    |
| ln pgdp        | 0.082 5 *    | 0.110 0 **       | 0.083 9 *      |
|                | (0.047 1)    | (0.047 3)        | (0.047 3)      |
| ln tl          | -0.003 2     | -0.014 3         | -0.010 7       |
|                | (0.027 1)    | (0.027 3)        | (0.027 3)      |
| ln is          | -0.019 2     | -0.030 5         | -0.016 4       |
|                | (0.076 7)    | (0.078 0)        | (0.077 2)      |
| ln fdi         | -0.034 1     | -0.041 0 *       | -0.028 2       |
| N              | 360          | 360              | 360            |
| R <sup>2</sup> | 0.938        | 0.940            | 0.938          |

注: \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ . 由于本研究所用数据为平衡面板数据, 对于固定效应与随机效应的选择本研究采用豪斯曼检验 (Hausman Test), 括号内为标准误值.

就控制变量而言,地区经济发展水平( $\ln pgdp$ )对能源消耗的影响显著为正,产业结构( $\ln is$ )对能源消耗虽未通过显著性检验,但从系数符号来看却表现出对能源消耗的制约影响。近年来我国政府部门注重对产业结构调整与优化的有意引导,2015年以旅游、服务业为代表的第三产业对我国经济增长的贡献率首次超过了第二产业,可见产业结构调整对于节能降耗的巨大潜力<sup>[7]</sup>。技术水平( $\ln tl$ )的对能源消耗的影响不具备统计上的显著意义,说明我国在改善能源效率方面的

技术试验与研发工作目前还不够充分。外商直接投资( $\ln fdi$ )对能源消耗的影响并不明显。

### 3.2 环境规制与产业结构的交互效应

基于式(2),本研究通过环境规制与产业结构的交互项考察了其对能源消耗的综合效应。根据表5回归结果,市场激励型环境规制与产业结构的交互项( $MER \times \ln is$ )、公众监督型环境规制与产业结构的交互项( $PER \times \ln is$ )均能够对能源消耗产生显著制约效果。这表明环境规制与产业结构对能源消耗表现出互补的综合效应,环境规

表5 交互效应的回归结果分析

Table 5 Regression result analysis of interaction effects

| 变量                  | (1)                         | (2)                               | (3)                          |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|                     | $\ln IEC$                   | $\ln IEC$                         | $\ln IEC$                    |
| $MER$               | -0.009 99 ***<br>(0.002 75) |                                   |                              |
|                     |                             | -0.000 020 7 **<br>(0.000 008 80) |                              |
| $PER$               |                             |                                   | -0.001 20 ***<br>(0.000 319) |
|                     |                             |                                   |                              |
| $MER \times \ln is$ | -0.009 59 ***<br>(0.003 10) |                                   |                              |
|                     |                             | -0.000 012 2<br>(0.000 008 57)    |                              |
| $PER \times \ln is$ |                             |                                   | -0.001 12 ***<br>(0.000 380) |
|                     |                             |                                   |                              |
| $\ln pgdp$          | 0.089 5 *<br>(0.047 8)      | 0.107 0 **<br>(0.047 2)           | 0.086 4 *<br>(0.047 5)       |
|                     |                             |                                   |                              |
| $\ln tl$            | 0.004 31<br>(0.027 4)       | -0.019 90<br>(0.027 5)            | -0.011 2<br>(0.027 2)        |
|                     |                             |                                   |                              |
| $\ln is$            | 0.162 0 *<br>(0.095 9)      | 0.020 4<br>(0.084 3)              | 0.210 0 **<br>(0.103 0)      |
|                     |                             |                                   |                              |
| $\ln fdi$           | -0.039 0<br>(0.024 7)       | -0.037 8<br>(0.023 0)             | -0.029 4<br>(0.023 5)        |
|                     |                             |                                   |                              |
| $Cons$              | -23.47<br>(14.46)           | -18.32<br>(13.48)                 | -24.35 *<br>(13.73)          |
|                     |                             |                                   |                              |
| Provinces dummies   | 是                           | 是                                 | 是                            |
| Wald test           | 2 541.99 ***                | 2 529.65 ***                      | 3 219.70 ***                 |
| Wooldridge Test     | 37.923 ***                  | 36.943 ***                        | 37.870 ***                   |
| Pesaran's Test      | 16.498 ***                  | 14.013 ***                        | 15.131 ***                   |
| Hausman Test        | 26.25 ***                   | 7.80                              | 19.30 ***                    |
| $N$                 | 360                         | 360                               | 360                          |
| $R^2$               | 0.939                       | 0.940                             | 0.939                        |

注: \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ 。由于本研究所用数据为平衡面板数据,对于固定效应与随机效应的选择本研究采用豪斯曼检验(Hausman Test),括号内为标准误值。

制的推行促进了低碳产业为代表的第三产业的繁荣与兴起,能够有效引导资源与要素禀赋的合理配置,促进产业结构的调整与优化,最终达到能源与环境良性循环的理想效果<sup>[7]</sup>. Albrizio 等<sup>[35]</sup>的研究表明,更严格的环境政策有助于生产率较低的企业退出市场,促进资源再配置,进而创造了OECD国家工业企业等生产部门更高的生产率. Poulsen 等<sup>[36]</sup>同样得到了海事组织的环境规制能够有效降低污染物排放,促进以鹿特丹港口为代表的海上运输行业的转型潜力,推动海上运输行业实现转型升级的经验证据. 本研究的实证结果与现有研究结论相符,并进一步说明:环境规制与产业结构的综合效应不仅适用于世界发达国家,在发展中国家也同样适用.

命令控制型环境规制与产业结构的交乘项( $CER \times \ln is$ )并未通过显著性检验,这可能是因为地方政府在环境执法过程中享有相对自主权<sup>[31]</sup>,地方政府的“非完全执行”态度放松了环境规制对当地企业的管制,造成了命令控制型环境规制执法的灰色地带<sup>[14]</sup>. 最终导致命令控制型环境规制与产业结构的协同作用在样本期间内不能得到有效体现. 对于命令控制型环境规制,后文将做进一步探讨. 从环境规制对能源消耗影响的系数大小来看,市场激励型、公众监督型环境规制与产业结构的协同作用对节能降耗的影响较为有限,实现能源、经济、环境的共赢目标还有很长的一段路要走.

文章主体采用了基于面板矫正标准误(PCSE)估计方法进行回归分析. 以往研究表明,对于估计偏误的处理,面板矫正标准误最为稳健,全面的FGLS最有效率,因此,本研究采用全面FGLS对上述回归结果的稳健性展开检验. 结果表明,模型中变量系数大小、符号及其显著性与表4、表5大体相似,可以判定本研究的研究结果具备稳健性.

表6 门限阈值检验

Table 6 Threshold test

| 门限变量       | Single       |            | Double       |            |
|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|            | <i>Fstat</i> | <i>P</i> 值 | <i>Fstat</i> | <i>P</i> 值 |
| <i>CER</i> | 27.77 **     | 0.040      | 10.45        | 0.460      |

注: \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ .

根据表7,在门限回归中,控制变量  $\ln pgdp$ 、 $\ln tl$ 、 $\ln is$ 、 $\ln fdi$  的回归结果符号及显著性与基于

### 3.3 环境规制对能源消耗的“门限效应”

作为基础分析,本研究首先就环境规制对能源消耗的影响展开论证. 在发现并证明了环境规制的显著性影响后,本研究进一步探究了三类环境规制与产业结构对能源消耗的异质性协同作用. 根据表5中,市场激励型与公众监督型两类环境规制与产业结构的交互项均表现出显著的节能效果,而命令控制型环境规制却表现出明显不同,该类环境规制与产业结构的交互项并不能有效降低能源消耗. 以往研究证实了环境规制与技术创新等要素之间的非线性关系<sup>[32, 33]</sup>及行政处罚对企业实施环境保护策略的威慑效果<sup>[34]</sup>,故而本研究在此做出大胆假设:命令控制型环境规制对能源消耗或许也存在着非线性的影响. 因此构建面板门限回归模型(3),接下来就命令控制型环境规制对能源消耗影响做进一步探讨.

$$\begin{aligned} \ln IEC_{p,t} = & \beta_0 + \beta_1 CER_{p,t} \times I(\mu_{p,t} \leq \gamma) + \\ & \beta_2 CER_{p,t} \times I(\mu_{p,t} > \gamma) + \\ & \beta_3 X_{p,t} + \varepsilon_{p,t} \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $\mu_{p,t}$  为门限变量,  $\gamma$  为待估计的门限值. 若与假设相符,存在门限值,那么命令控制型环境规制会因为门限值  $\gamma$  的存在,在门限值两侧表现出差异较大甚至相左的影响. 当门限变量( $\mu_{p,t}$ ) 小于等于门限值( $\gamma$ ) 时,命令控制型环境规制对能源消耗的影响表现为  $\beta_1$ , 大于门限值时其对能源消耗的效应表现为  $\beta_2$ . 1999 年, Hansen 提出了基于 Bootstrap 抽样法的门限回归操作<sup>[38]</sup>,本研究采取该方法就拟门限变量  $CER$  展开门限回归检验,门限阈值检验见表6. 回归结果显示,在单门限阈值检验下,  $F$  检验统计量为 27.77,在 5% 的统计水平下显著拒绝原假设,证明了命令控制型环境规制对能源消耗影响的门限效应,验证了前文的猜想. 表 7 为门限效应估计的回归结果,并以前文命令控制型环境规制的 PCSE 回归结果作为对照.

PCSE 估计结果大致相同,进一步验证了本研究回归结果的稳健性. 命令控制型环境规制( $CER$ )

在此处呈现差异。在 PCSE 回归中, *CER* 虽表现出对能源消耗的显著性影响, 但这种影响始终较为微弱。然而在门限回归估计下, *CER* 与能源消耗呈现非线性关系, 存在一处转折点, 门限值为 81。当 *CER* 小于门限值 81 时, *CER* 对能源消耗的影响系数为 -0.007; 当 *CER* 超过门限值时, 影响系数为 -0.000 010 4, 其对能源消耗的影响将大大下降。可见, 以行政处罚案件作为代理的命令控制型环境规制对能源消耗始终能够起到制约作用,

但这种作用并不是一成不变的。根据门限回归估计, 随着时间的推移, 其对能源过度消耗的抑制性作用迅速递减<sup>[33]</sup>。这与我国的现实情境相吻合, 长期以来由于我国高度重视经济发展速度, 地方政府“唯经济增长论”的思想依旧根深蒂固, 以命令控制为主要特点的这一类环境规制政策多留于表面, 在执行范围与威慑作用等方面有所欠缺<sup>[34]</sup>。因此我国行政处罚案件数量虽明显增加, 但还不能从根本上扭转企业的过度能耗行为。

表 7 命令控制型环境规制对能源消耗的门限效应回归

Table 7 Threshold effect regression of *CER* on energy consumption

| 变量              | (1)                                | (2)                              |
|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|
|                 | 线性模型                               | 门限回归                             |
|                 | 基于 PCSE 估计                         | 基于 Bootstrap 估计                  |
| <i>CER</i> ≤ 81 |                                    | -0.007 ***<br>(0.001 363 1)      |
|                 |                                    | -0.000 010 4 ***<br>(2.98e - 06) |
| <i>CER</i>      | -0.000 011 4 ***<br>(0.000 003 61) |                                  |
|                 |                                    | 0.110 **<br>(0.047 3)            |
| <i>ln pgdp</i>  |                                    | 0.108 **<br>(0.050 7)            |
|                 | -0.014 3<br>(0.027 3)              | -0.008 0<br>(0.028 9)            |
| <i>ln tl</i>    |                                    | -0.034 9<br>(0.068 7)            |
|                 | -0.014 3<br>(0.027 3)              | -0.008 0<br>(0.028 9)            |
| <i>ln is</i>    |                                    | -0.056 5 **<br>(0.023 2)         |
|                 | -0.030 5<br>(0.078 0)              | -0.034 9<br>(0.068 7)            |
| <i>ln fdi</i>   |                                    | -0.041 0 *<br>(0.023 0)          |
|                 | -0.041 0 *<br>(0.023 0)            | -0.056 5 **<br>(0.023 2)         |
| <i>Cons</i>     | -18.08<br>(13.60)                  | 7.54 ***<br>(0.19)               |
|                 |                                    | 81                               |
| 门限值             |                                    | [77, 84]                         |
| 95% 置信区间        |                                    | 18.65                            |
| 残差平方和 (RSS)     | 360                                | 360                              |
| <i>N</i>        |                                    |                                  |

注: \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ 。括号内为标准误值, 门限回归结果来自于 Bootstrap 的 300 次重复抽样。

## 4 结束语

能源危机背景下如何有效利用环境规制促进节能降耗是推进我国可持续发展战略进程中的紧迫任务。本研究基于 2006 年—2017 年我国省级面板数据就多重环境规制对工业能源消耗的影响效应展开实证探讨。得出以下结论: 1) 环境规制是抑制能源过度消耗的有效方式。以污染源治理

投资额和承办人大建议数来衡量的市场激励型、公众监督型环境规制对能源消耗的制约作用要优于命令控制型环境规制; 2) 环境规制与产业结构之间存在协同效应。市场激励型、公众监督型环境规制与产业机构的交互项能够显著作用于能源消耗; 3) 门限回归模型印证了命令控制型环境规制的非线性特征, 其对能源消耗的影响存在着门限效应。阈值范围内, 命令控制型环境规制强度每增加一个单位, 其对能源消耗的抑制作用将增加

0.007 个单位。基于上述研究结论,本文提出以下建议。

首先,不同环境规制对能源消耗的影响差异性启示决策者在制定和推行环境规制政策时应有所侧重。一方面,可适度强调市场激励型环境规制对过度能源消耗的制约作用,进一步加强对污染源治理的投资力度。鼓励工业企业在对污染源治理的同时加大重点技术领域的研发与创新,在节能降耗的同时提升产品附加值;另一方面,要营造公众参与能源消耗监督环境,注重对地方政府人大建议承办质量的全面考核与验收,调动公众参与积极性。

第二,环境规制与产业结构的协同作用意味着在今后的节能工作中应注重发挥环境规制的引导作用。如对于能源优势较为突出,重工业城市较为集聚的西北地区而言,可通过健全环境执法等

方式加强环境规制力度,在西北地区独特的自然风光优势基础上,通过环境规制引导西北地区产业结构向以第三产业为主过渡,发挥资源的正外部性,逐步扭转西北地区以重工业为主,较为单一的生产模式与发展路径,促进产业结构向多元化方向迈进,在实现经济的高质量增长的同时实现能源的有效节约。

第三,命令控制型环境规制对能源消耗影响的门限效应为我国政府部门提供相应启示。即可根据门限效应加强对命令控制型环境规制的动态调整与精准把控,逐步扭转地方政府片面追求行政处罚案件数量、唯经济增长的传统思维,加大对行政处罚实施的监督力度,以明确命令控制型环境规制的惩处范围及严厉性,避免“蜻蜓点水”,更加注重行政处罚的效率与公平,以进一步发挥其节能效果。

## 参 考 文 献:

- [1]徐晓亮,程倩,车莹,等.资源政策调整对减排和环境福利影响——以煤炭资源税改革为例[J].管理科学学报,2017,20(2):18-31.  
Xu Xiaoliang, Cheng Qian, Che Ying, et al. The impacts of resource policy adjustment on CO<sub>2</sub> emission reduction and environment welfare: Based on coal resource tax reform[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(2): 18 - 31. (in Chinese)
- [2]邵帅,张可,豆建民.经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J].管理世界,2019,35(1):36-60+226.  
Shao Shuai, Zhang Ke, Dou Jianmin. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China[J]. Journal of Management World, 2019, 35(1): 36 - 60 + 226. (in Chinese)
- [3]王慧敏,洪俊,刘钢.“水-能源-粮食”纽带关系下区域绿色发展政策仿真研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(6):74-84.  
Wang Huimin, Hong Jun, Liu Gang. Simulation research on different policies of regional green development under the nexus of water-energy-food[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(6) : 74 - 84. (in Chinese)
- [4]张增凯,彭彬彬,解伟,等.能源转型与管理领域的科学问题[J].管理科学学报,2021,24(8):147-153.  
Zhang Zengkai, Peng Binbin, Xie Wei, et al. Scientific research issues in the field of energy transition and management [J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(8): 147 - 153. (in Chinese)
- [5]谢里,陈宇.节能技术创新有助于降低能源消费吗?——“杰文斯悖论”的再检验[J].管理科学学报,2021,24(12):77-91.  
Xie Li, Chen Yu. Can energy-saving innovation help reduce energy consumption? Re-examination of the Jevons' Paradox [J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(12): 77 - 91. (in Chinese)
- [6]Zhou X, Feng C. The impact of environmental regulation on fossil energy consumption in China: Direct and indirect effects [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 3174 - 3183.
- [7]Yu X, Wang P. Economic effects analysis of environmental regulation policy in the process of industrial structure upgrading: Evidence from Chinese provincial panel data[J]. Science of the Total Environment, 2021, 753: 142004.
- [8]Wang Y, Shen N. Environmental regulation and environmental productivity: The case of China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 62: 758 - 766.
- [9]Shao Y, Wang S. Productivity growth and environmental efficiency of the nonferrous metals industry: An empirical study of China[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 137: 1663 - 1771.
- [10]Ren S, Li X, Yuan B, et al. The effects of three types of environmental regulation on eco-efficiency: A cross-region analysis in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 173: 245 - 255.
- [11]张国兴,叶亚琼,管欣,等.京津冀节能减排政策措施的差异与协同研究[J].管理科学学报,2018,21(5):111

- 126.

- Zhang Guoxing, Ye Yaqiong, Guan Xin, et al. Difference and collaboration in Jing-Jin-Ji's energy saving and emission reduction policy measures [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(5): 111–126. (in Chinese)
- [12] Porter M. America's green strategy [J]. *Scientific American*, 1991, 264: 168.
- [13] Porter M E, Linde C V D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97–118.
- [14] 方 芳, 杨 岚, 周亚虹. 环境规制, 企业演化与城市制造业生产率 [J]. *管理科学学报*, 2020, 23(4): 22–37. Fang Fang, Yang Lan, Zhou Yahong. Environmental regulation, firm dynamics and city manufacturing productivity [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(4): 22–37. (in Chinese)
- [15] 张国兴, 刘 薇, 保海旭. 多重环境规制对区域产业结构变动的时滞效应 [J]. *管理科学学报*, 2020, 23(9): 95–107. Zhang Guoxing, Liu Wei, Bao Haixu. Study on the time-lag effect of multiple environmental regulation policies on regional industrial structure change [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(9): 95–107. (in Chinese)
- [16] Zheng J, Shao X, Liu W, et al. The impact of the pilot program on industrial structure upgrading in low-carbon cities [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 290: 125868.
- [17] 鞠晴江, 鞠 鹏, 代文强, 等. 新能源汽车补贴政策与保有量影响研究: 单位补贴、销售奖励与产品差异化 [J]. *管理科学学报*, 2021, 24(6): 101–116. Ju Qingjiang, Ju Peng, Dai Wenqiang, et al. Adoption of new energy vehicles under subsidy policies: Unit subsidies, sales incentives and product differentiation [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(6): 101–116. (in Chinese)
- [18] 张 娟. 资源型城市环境规制的经济增长效应及其传导机制 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(10): 39–46. Zhang Juan. Study on economic growth effect and transmission mechanism of environmental regulation in resource-based cities [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(10): 39–46. (in Chinese)
- [19] Godil D I, Sharif A, Ali M I, et al. The role of financial development, R&D expenditure, globalization and institutional quality in energy consumption in India: New evidence from the QARDL approach [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 285: 112208.
- [20] Xue Y, Tang C, Wu H, et al. The emerging driving force of energy consumption in China: Does digital economy development matter? [J]. *Energy Policy*, 2022, 165: 112997.
- [21] Lahiani A, Mefteh-Wali S, Shahbaz M, et al. Does financial development influence renewable energy consumption to achieve carbon neutrality in the USA? [J]. *Energy Policy*, 2021, 158: 112524.
- [22] Jonathan B. Norman. Measuring improvements in industrial energy efficiency: A decomposition analysis applied to the UK [J]. *Energy*, 2017, 137: 1144–1151.
- [23] Tanaka K, Managi S. Industrial agglomeration effect for energy efficiency in Japanese production plants [J]. *Energy Policy*, 2021, 156: 112442.
- [24] Hang Y, Wang Q, Wang Y, et al. Industrial SO<sub>2</sub> emissions treatment in China: A temporal-spatial whole process decomposition analysis [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 243: 419–434.
- [25] Liu Y, Li Z, Yin X. Environmental regulation, technological innovation and energy consumption: A cross-region analysis in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 203: 885–897.
- [26] Zhao X, Zhao Y, Zeng S, et al. Corporate behavior and competitiveness: Impact of environmental regulation on Chinese firms [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 86: 311–322.
- [27] 何贤杰, 王孝钰, 孙淑伟, 等. 网络新媒体信息披露的经济后果研究——基于股价同步性的视角 [J]. *管理科学学报*, 2018, 21(6): 43–59. He Xianjie, Wang Xiaoyu, Sun Shuwei, et al. Economic consequences of new media information disclosure: From the perspective of stock price synchronicity [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(6): 43–59. (in Chinese)
- [28] 王泽宇. 吉林省政府系统人大建议和政协提案办理工作绩效评估指标体系研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015. Wang Zeyu. Research on Performance Evaluation Index System of the Work of Handling the Proposals of NPC and CPPCC of Jilin Provincial Government System [D]. Changchun: Jilin University, 2015. (in Chinese)
- [29] Xue X, Wu H, Zhang X, et al. Measuring energy consumption efficiency of the construction industry: The case of China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 107: 509–515.
- [30] Lin B, Chen G. Energy efficiency and conservation in China's manufacturing industry [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 174: 492–501.
- [31] Zhang M, Liu X, Sun X, et al. The influence of multiple environmental regulations on haze pollution: Evidence from China

- [J]. Atmospheric Pollution Research, 2020, (11): 170 – 179.
- [32] Guo R, Yuan Y. Different types of environmental regulations and heterogeneous influence on energy efficiency in the industrial sector: Evidence from Chinese provincial data[J]. Energy Policy, 2020, 145: 111747.
- [33] 张平, 张鹏鹏, 蔡国庆. 不同类型环境规制对企业技术创新影响比较研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(4): 8 – 13.
- Zhang Ping, Zhang Pengpeng, Cai Guoqing. Comparative study on impacts of different types of environmental regulation on enterprise technological innovation[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(4): 8 – 13. (in Chinese)
- [34] 王云, 李延喜, 马壮, 等. 环境行政处罚能以儆效尤吗? ——同伴影响视角下环境规制的威慑效应研究[J]. 管理科学学报, 2020, 23(1): 77 – 95.
- Wang Yun, Li Yanxi, Ma Zhuang, et al. Can the penalty for environmental violation act as a deterrent to peers? The evidence from the peer effect of environmental regulation[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(1): 77 – 95. (in Chinese)
- [35] Albrizio S, Kozluk T, Zipperer V. Environmental policies and productivity growth: Evidence across industries and firms [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 81: 209 – 226.
- [36] Poulsen R T, Ponte S, Sorren-Friese H. Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport[J]. Geoforum, 2018, 89: 83 – 95.
- [37] Beck N, Katz J N. What to do (and not to do) with time-series cross-section data[J]. American Political Science Review, 1995, 89(3): 634 – 647.
- [38] Hansen B E. The grid bootstrap and the autoregressive model[J]. Review of Economics and Statistics, 1999, 81(4): 594 – 607.

## The impact of environmental regulations and industrial structure adjustment on energy consumption

ZHANG Guo-xing<sup>1</sup>, JIA Yu-qi<sup>1</sup>, BAO Hai-xu<sup>1</sup>, NIE Yan<sup>2\*</sup>, HU Yi<sup>3</sup>

1. School of Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. School of Economics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract:** Effectively alleviating the problem of energy consumption has become a key measure in building a resource-conserving and environment-friendly society in China. How does environmental regulation affect energy consumption in China against the background of continuous adjustment and optimization of industrial structure? In order to answer this question, this paper applies the PCSE method to empirically analyze the direct and indirect effects of different environmental regulations on industrial energy consumption, using the panel data from 30 provinces and cities in China from 2006 to 2017. The results show that: 1) Environmental regulations significantly influence industrial energy consumption. Market incentive environmental regulation performs the best, followed by public supervision environmental regulation, while the impact of command-and-control environmental regulation is weaker; 2) The interaction terms between environmental regulation and industrial structure confirm the comprehensive effect of market incentive and public supervision environmental regulations on energy consumption. Environmental regulations from the government can guide the adjustment and optimization of industrial structure, thereby effectively reducing energy consumption; 3) The threshold regression model of the command-and-control environmental regulation and energy consumption verifies the nonlinear impact. The energy saving effect varies with the degree of environmental regulation. According to the research results, several policy suggestions are put forward, such as paying different attention to the process of carrying out environmental regulation, focusing on its guiding role in the optimization and adjustment of industrial structure, to provide instructive reference and guidance for effectively reducing energy consumption.

**Key words:** environmental regulation; industrial structure adjustment; energy consumption; PCSE; threshold regression