

环境规制与中国工业绿色发展：理论分析与经验证据

杨仁发，李娜娜

摘要：理论分析环境规制影响工业绿色发展的基础上，测算我国 30 个省（市、自治区）2006—2016 年工业绿色发展水平，实证分析环境规制对工业绿色发展水平的影响。结果表明：从整体看，环境规制与中国工业绿色发展水平之间呈“U”型关系，结论经过进一步检验依然成立；分区域来看，东部地区环境规制能显著提高工业绿色发展水平，而中西部地区环境规制与工业绿色发展水平之间存在“U”型关系。从环境规制工具类型看，命令型与市场激励型环境规制能显著促进工业绿色发展，且命令型环境规制的促进作用更强，公众参与型环境规制并不能有效提升工业绿色发展水平。动态处理环境规制与工业绿色发展水平之间关系、合理制定差异化的区域环境规制政策以及采取更加有效的环境规制工具体系对于提升我国工业绿色发展水平具有重要意义。

关键词：环境规制；工业绿色发展水平；规制类型

中图分类号：F205 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-0169(2019)05-0079-13

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2019.05.008

一、引言

2018 年 12 月，中央经济工作会议提出的重点任务之一是“推动制造业高质量发展”，为我国建设“制造强国”指明战略方向。过去制造业粗放式发展模式遏制了制造业国际竞争力的提升，同时工业环境污染所造成的健康问题已经成为影响我国公众健康的危险因素以及人民对美好生活追求的重要阻碍。对此，《工业绿色发展规划（2016—2020 年）》指出：“推动绿色增长、实施绿色新政是全球主要经济体的共同选择，资源能源利用效率也成为衡量国家制造业竞争力的重要因素，推进绿色发展是提升国际竞争力的必然途径。”但是现阶段中国工业仍未摆脱“三高”发展模式，资源能源利用效率低，生态环境问题突出。以 2016 年为例，中国工业增加值仅占 GDP 的 33.30%，但工业能源消费量占全国能源消费总量的比重高达 66.60%。《2018 全球环境绩效指数》(EPI) 也指出，中国 PM_{2.5} 综合评测等多个方面排在倒数第 4，成为世界 PM_{2.5} 的重灾区^[1]。资源与环境的双重红线迫使中国工业急需摆脱粗放式发展模式，推动绿色增长、实现工业向绿色发展方式转变。而工业绿色发展方式意味着工业经济绩效与环境绩效的双赢，提升工业绿色发展水平无疑是其中关键的一环^[2]。因此，找出推进我国工业绿色发展的路径是现阶段实现工业高质量发展亟需解决的问题。

新时代背景下，绿色发展是工业发展的新阶段^[3]，提升工业绿色发展水平能够缓解中国工业发

基金项目：国家社科基金项目“生产性服务业发展与中国全球价值链战略地位提升研究”（14BGL012）；安徽省高校优秀青年人才计划

作者简介：杨仁发，安徽大学经济学院/创新发展战略研究院教授、博士生导师（安徽合肥 230601）；李娜娜，安徽大学经济学院博士研究生

展所面临的资源环境瓶颈，实现人与自然的和谐共生。促进工业绿色发展，最终实现制造业高质量发展的目标是一个长期、渐进的过程。环境污染所具有的外部性使得其难以通过市场机制得以有效解决。强化政府干预成为降低环境污染、促进工业绿色发展的关键。环境规制作为影响工业绿色发展的重要因素^[4]，一方面保证经济主体平等地实现权利和义务，有效激励节能减排；另一方面影响企业生产成本与绿色创新，成为降低工业环境污染的重要方式。但是，由于环境规制对于工业绿色发展会产生“遵循成本”以及“创新补偿”两种不同的效应，环境规制作用于工业绿色发展的效应也就取决于这两种效应之间的相互博弈。因此，环境规制能否对工业绿色发展水平产生正向促进作用？怎样的环境规制强度会减弱环境规制的“成本效应”，实现“创新效应”，从而提高工业绿色发展水平？不同区域是否会影响环境规制对工业绿色发展作用的发挥以及环境规制工具的选择是否对工业绿色发展水平产生差异化影响？这些都需要进一步探讨。

二、文献综述

关于工业绿色发展的评价，学者们从不同角度进行了探讨，多数从单一指标^[5]、综合指标^{[6][7]}以及工业绿色全要素生产率^{[8][9][10]}等方面着手。随着工业绿色发展研究的不断深入，学者们开始对影响工业绿色发展的因素进行分析，主要从技术进步、对外开放、行业特征等角度展开。在技术创新方面，岳鸿飞等在测算技术创新对工业绿色全要素生产率的贡献率时发现，技术创新是促进工业绿色发展的主要动力，贡献率达 47.7%^[11]。在对外开放方面，彭星等研究发现，低水平的贸易开放和全球价值链效应不利于工业绿色转型且存在地区差异性，进口贸易能够显著促进工业绿色转型，但是出口贸易起到相反作用，FDI 对工业绿色转型的作用不显著^[12]。在行业特征方面，周五七研究认为，行业规模以及行业集聚效应能显著促进工业绿色 TFP 的提升，行业资本深化则抑制工业绿色 TFP 增长^[13]。

关于环境规制与工业绿色发展之间的关系，学者们多从环境规制与工业绿色增长^[14]、工业绿色转型^{[15][16]}、工业生态效率^[1]、工业绿色发展绩效^[17]等方面进行有益探讨。在工业绿色增长方面，陈超凡等分析发现，整体上环境规制促进了工业绿色增长，不同类型的环境规制均与工业绿色增长呈现倒“U”型关系，但是存在行业异质性^[14]。在工业绿色转型方面，申晨等研究发现，环境规制能够通过技术效应与结构效应两种途径促进工业绿色转型，但是不同环境规制工具对于工业绿色转型的作用渠道存在差异性^[15]。在工业生态效率方面，邱兆林等认为，地区垄断程度会影响环境规制对工业生态效率的作用。当地区行政垄断程度低于门限值时，环境规制能显著促进工业生态效率；当地区垄断程度高于门限值时，环境规制对工业生态效率的作用不显著^[1]。在工业绿色发展绩效方面，王丽霞等基于环境规制的有效性评价，探讨环境规制影响工业绿色发展绩效的非线性关系时发现，环境规制与工业绿色发展绩效之间存在倒“U”型关系^[17]。以上分析为研究环境规制与工业绿色发展水平奠定了基础，但是对于工业绿色发展的内涵与测算较少关注，同时在分析环境规制与工业绿色发展水平之间的关系时，并没有较完备地区分地区差异、环境规制强度差异以及规制类型对工业绿色发展水平的影响。

鉴于此，本文尝试从以下方面进行努力：一是理论分析环境规制对工业绿色发展的作用机制，并将异质性分析纳入研究范畴；二是对工业绿色发展水平进行测算，采用兼具径向和非径向松弛变量的 EBM 模型，构建 Global Malmquist-Luenberger (GML) 指数来衡量工业绿色发展水平，有效避免测算效率分值存在问题，从而更准确地测算工业绿色发展水平；三是在研究对象上，分别考察不同规制强度、不同区域以及环境规制工具类型对工业绿色发展的影响，从而为提高中国工业绿色发展水平提供对策建议。

三、理论分析与研究假说

工业绿色发展要求在工业发展过程中注重资源与环境的可持续发展、降低污染排放、发展循环经济与低碳技术, 实现经济社会与自然相协调^[18]。因此, 工业绿色发展水平的提高需要着眼于技术创新以及污染治理成本的降低, 而环境规制正是通过影响技术进步与生产成本两个方面作用于工业绿色发展。一方面, 环境规制能够刺激企业进行 R&D 投资^[19], 提高企业节能减排技术以及工艺创新的动力, 降低非期望产出, 同时环境规制还能通过市场淘汰机制改变低效率、高污染企业的区位选择^[20], 提高工业绿色发展水平; 另一方面, 环境规制也会增加企业污染治理成本和环境服从成本, 对生产性投资、创新活动和组织管理产生“挤出效应”, 制约企业技术进步, 间接地对企业绿色生产率产生抑制作用, 同时环境规制也增加了企业生产所面临的不确定性, 延缓企业投资决策, 进一步阻碍企业新产品与新技术研发^[21]。可以看出, 环境规制对工业绿色发展水平取决于这两种不同效应的净合力, 两者之间可能存在某种非线性关系, 但是这种非线性关系会受到所处环境规制强度区间的影响。

当环境规制处于较低水平时, 较弱的环境规制强度使得企业在污染排放过程中所产生的环境支付成本占企业总生产成本的比例较低, 企业缺乏为降低环境污染而进行生产与排污技术革新的动力。同时, 企业为了获取数量型增长, 往往会将部分绿色技术创新经费用于扩大生产规模, 势必削弱企业的绿色创新研发力度, 此时环境规制的“创新补偿”效应较低, 难以有效促进工业绿色发展水平的提高。随着环境规制强度的不断提高, 治污成本在企业总成本中所占的比例逐渐增大, 企业不得不考虑通过管理制度与绿色技术创新来达到节能减排的目的^{[22][23]}。而且, 严格的环境规制所造成的高生产成本会淘汰部分高耗能企业, 特别是小微企业, 低耗能高收益企业市场集中度进一步提高, 节能减排以及绿色技术创新成果显著, 从而提高工业绿色发展水平。综上所述, 提出假设 1。

假设 1: 环境规制与工业绿色发展水平之间存在非线性关系。当环境规制强度处于较低水平时, 环境规制不利于工业绿色发展水平; 当环境规制强度处于较高水平区间时, 则起到促进作用。

在工业化进程中, 不同区域由于地理环境、资源丰裕程度以及发展基础的不同, 使得区域内企业对于污染治理成本与环境服从成本的承担能力以及治污技术革新的动力存在固有差异。一方面, 东部地区凭借良好的人力资源优势和工业发展基础, 能够承担环境治理所产生的环境守法成本, 有积极性且有能力和进行排污技术革新, 降低污染排放, “创新补偿”效应凸显, 进而促进工业绿色发展水平提升; 另一方面, 东部地区正在迈入集约型增长阶段, 注重环境质量以及环境制度顶层设计, 加强环境规制对于工业绿色发展具有积极促进作用。而对于经济发展水平相对较弱的中西部地区而言, 工业基础较为薄弱, 企业更加注重数量型增长, 无法有效缓解区域内高污染低效益的局面。首先, 企业环境治理成本占企业总生产成本的比例较高, 企业在短期内难以突破技术瓶颈, 治污成本无法通过创新收益得以补偿; 其次, 这些地区仍然面临经济增长压力, 依然有动机以牺牲环境为代价换取经济规模效益^[24]。环境规制对于经济发展水平较低地区的工业绿色发展水平提升作用可能有限。同时, 经济发展水平较低的中西部地区往往难以满足绿色技术创新所需要的人力资本要求, 阻碍了“创新效应”的有效发挥, 一定程度上限制工业绿色发展水平的提升。但是, 随着环境规制的逐渐增强, 治污成本在企业总成本中所占的比例逐渐增大, 此时企业也将开始通过管理制度与绿色技术创新来实现区域内工业粗放式发展向可持续发展转变, 人力资本水平也得到提升, 对于工业绿色发展的促进作用开始显现。可以看出, 不同的经济发展水平地区, 环境规制对其工业绿色发展的作用具有异质性。

为了降低工业污染排放, 提高工业绿色发展质量, 现阶段实施的环境规制工具主要包括命令型、市场激励型以及公众参与型三种类型, 分别涉及政府、企业与公众三个维度, 可以较为全面地

反映环境规制内涵。具体表现为：命令型环境规制通过立法或者行政处罚提高工业企业环境准入门槛，建立环境负面清单，限制重污染工业企业的进入，降低工业企业污染排放，提高资源利用率，进而提高工业绿色发展水平，具有强制性的特点。市场激励型环境规制主要通过市场的作用，使企业在排污成本与收益之间进行自主选择，决定企业的生产技术和排污量^[25]，通过价格信号激发企业进行排污技术升级的积极性，实现工业环境效益的最大化。与命令型环境规制手段相比，市场激励型环境规制主要基于“污染者付费”原则，旨在鼓励企业自主选择排污水平，通过成本与收益之间的博弈，做出最优选择，能够补充命令型行政工具的单一性以及强制性的不足。公众参与型环境规制则有利于行为主体自发参与和监督环境问题的解决情况，确保环境规制体系运作的有效性和完整性，核心在于通过公众参与，影响工业环境治理绩效，积极反映自身环保诉求，降低政府环境规制成本，具有较强的自愿性特点。但是，公众参与型环境规制离不开政府法律政策的引导以及有关技术标准和监督管理体系的完善，而且这种规制工具发挥作用的时滞性也较长。综上所述可以看出，这三种环境规制工具类型发挥作用的主体并不相同，作用于工业绿色发展的影响渠道存在差异，这样在执行规则、强制性、作用时间与效果上就会不同，从而影响企业的排污动机以及绿色创新的积极性，进一步影响工业绿色发展。基于以上分析，本文提出假设 2 和假设 3。

假设 2：不同经济发展水平地区，环境规制对工业绿色发展的作用存在异质性。

假设 3：不同环境规制工具类型对工业绿色发展水平的作用存在异质性。

四、计量模型、变量与数据说明

（一）计量模型

本文主要的研究内容在于关注环境规制与工业绿色发展水平之间的关系。因此，根据前文理论分析，构建基准模型如下：

$$\ln gqul_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ev_{it} + \beta_n \ln X_n + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， $gqul$ 表示工业绿色发展水平； ev 表示环境规制； i 表示地区； t 表示时间； X 表示一组影响工业绿色发展水平的控制变量，包括人力资本水平（ hum ）、技术创新（ cre ）、对外开放程度（ $open$ ）、人口密集程度（ $spra$ ）、工业生产水平（ ind ）； ε_{it} 表示随机扰动项。

此外，为了进一步验证环境规制与工业绿色发展水平之间是否存在非线性关系，将环境规制的平方项纳入到模型中，构建以下模型：

$$\ln gqul_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ev_{it} + \beta_2 \ln ev_{it}^2 + \beta_n \ln X_n + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

（二）变量选取

1. 被解释变量：工业绿色发展水平（ $gqul$ ）。本文使用工业绿色全要素生产率作为工业绿色发展水平的替代指标。工业绿色全要素生产率能够兼顾绿色和集约发展的科学内涵，反映工业经济发展方式转变，较为准确地衡量工业绿色发展水平。本文运用考虑非期望产出的 EBM 模型测算工业绿色全要素生产率。EBM 模型能够兼容径向与非径向成分，有效改进 SBM 模型和 CCR（BCC）模型因采用单一距离函数导致测算结果存在偏误的问题，避免产生测算效率分值，使结果更加准确^{[26][27]}。由于 EBM 模型测度的 ML 指数仅表示相邻年份 TFP 的增长率，难以进行跨期比较，故将其转换为全局 ML 指数，实现跨期可比。如 2006 年 ML 指数为 1，2007 年 GML 指数为 2006 年 ML 指数乘以 2007 年 ML 指数，以此类推。这里，投入变量包括劳动、资本、能源三个维度，其中，劳动采用城镇单位从业人员数，资本采用规模以上工业企业固定资产存量，能源采用能源消耗总量。固定资产投资采用固定资产投资价格指数平减以 2005 年为基期的实际投资，并通过永续盘存法计算资本存量，折旧率根据张军等^[28]的测算取 9.6%。期望产出采用工业增加值，通过工业生产者出厂价格指数进行平减；

非期望产出采用工业废水排放量、工业 SO₂ 排放量、工业烟粉尘排放量。

2. 核心解释变量: 环境规制 (*ev*)。现有文献关于环境规制的衡量主要从单一指标 (多基于投入型与绩效型指标) 以及综合指标法两方面加以衡量。由于本文考察的是环境规制对工业绿色发展水平的作用效果, 因此采用较为直接且简单的规制实施变量来衡量规制水平。其中, 工业环境治理投资作为政府和企业 在环境治理中的直接投入, 能够实现政府环保意识与环保力度的有效发挥, 对于改善环境质量具有重要意义。宋马林等^[29]认为, 治污投入越多, 环境规制的约束作用就越强。本文借鉴原毅军等^[30]、张平等^[31], 采用工业污染治理投资额作为环境规制强度的代理变量^①。同时, 为了进一步考察不同类型环境规制工具对工业绿色发展水平的影响, 依据屈小娥^[32]对环境规制工具类型的衡量方法, 命令型环境规制 (*erc*) 采用行政处罚案件数、公众参与型环境规制 (*ers*) 以群众环境问题上访批次表示^[33]、市场激励型环境规制 (*erp*) 采用排污费的征收总额^[34]进行衡量, 分别考察不同类型环境规制工具对工业绿色发展水平的影响。

3. 控制变量。(1) 人力资本水平 (*hum*): 人力资本水平的提高能够为企业先进治污技术的运用奠定基础, 提高企业绿色发展效率。本文借鉴林春等^[35]、彭星等^[36], 采用 6 岁以上人口平均受教育年限表征人力资本水平。(2) 技术创新 (*cre*): 技术进步是绿色发展的核心推动力, 技术创新水平的提升对于提高企业资源投入产出效率, 降低工业环境污染力度具有重要意义。本文借鉴蔡乌赶等^[37], 采用国内三种专利申请授权量衡量技术创新水平。(3) 对外开放程度 (*open*): 对于工业企业而言, 开放程度提高可以引进更加先进的污染处理技术, 促进制造业发展; 同时, 出口产品的生产也伴随着资源的消耗, 而资源的消耗在一定程度上也加剧了工业的环境污染^[38]。本文采用进出口总额占 GDP 的比重衡量对外开放程度。(4) 人口密集程度 (*spra*): 地区人口密集程度扩大会加大企业碳排放力度^[39], 而碳排放也是工业主要污染源, 对工业绿色发展提升产生不利影响。本文借鉴卢洪友等^[40], 采用单位面积所拥有的人口数量来衡量人口密集程度。(5) 工业生产水平 (*ind*): 工业生产是工业污染的主要来源, 会对环境质量产生影响。本文以工业增加值占 GDP 的比重衡量工业生产水平^[41]。

(三) 数据来源与处理

本文主要采用 2006—2016 年中国 30 省 (市、自治区) 的面板数据进行分析。原始数据主要来自相关年份《中国工业统计年鉴》《中国环境年鉴》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及各省统计年鉴等, 少量缺失数据采用插值法以及外推法补齐。同时, 为避免异方差以及极值存在对模型估计的影响, 对所有变量进行对数化处理。各变量的统计性描述如表 1 所示。

表 1 变量的统计性描述

	变量	样本数	均值	标准差	最大值	最小值
被解释变量	工业绿色发展水平 (<i>gqul</i>)	330	1.443 7	0.414 9	3.324 7	0.851 2
解释变量	环境规制 (<i>ev</i>)	330	20.661 0	19.198 4	141.6	0.4
	命令型环境规制 (<i>erc</i>)	300	3.493.53	5.358.22	38.434	8
	公众参与型环境规制 (<i>ers</i>)	300	1.603.39	1.347.28	7.573	2
	市场激励型环境规制 (<i>erp</i>)	300	59.321.39	48.824.69	287.344	1.799.3
控制变量	人力资本 (<i>hum</i>)	330	8.800 3	0.951 4	12.303 7	6.594 0
	技术创新水平 (<i>cre</i>)	330	29.170.1	48.932.3	269.944	97
	对外开放水平 (<i>open</i>)	330	0.314 8	0.382 3	1.721 5	0.032 1
	人口密集程度 (<i>spra</i>)	330	2.787.69	1.243.78	6.307	598
	工业生产水平 (<i>ind</i>)	330	0.399 9	0.081 0	0.530 4	0.119 0

① 根据审稿专家建议, 本文采用“工业污染治理投资额占工业增加值的比重”衡量环境规制强度进行实证分析, 结果显示是稳健的。

五、实证结果与分析

考虑模型可能存在内生性以及遗漏变量所导致的估计偏误,而工业绿色发展水平提升也是一个连续的过程,上一期的工业绿色发展水平会对下一期产生影响,本文采用系统广义矩估计(SYS-GMM)的方法进行估计。同时,为了增强计量结果的准确性,需要对模型设定的合理性和工具变量的有效性进行检验,分别采用AR检验以及Sargan检验。由于一步系统GMM估计方法会产生异方差的问题,本文采用两步系统GMM方法进行分析。

(一) 基础回归

本文首先考察环境规制与工业绿色发展水平之间的基础关系。模型(1)和(2)分别表示不加入控制变量以及加入控制变量后,环境规制一次项对工业绿色发展水平的影响。模型(3)和(4)是指将环境规制平方项纳入模型后,依次加入控制变量的实证结果。具体结果如表2所示。

表2 环境规制对工业绿色发展影响的基础回归

解释变量	被解释变量 $\ln gqul$			
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
$\ln ev$	-0.010 2*** (0.000)	-0.015 2*** (0.000)	-0.026 0*** (0.000)	-0.042 9*** (0.000)
$\ln ev^2$			0.003 3*** (0.000)	0.005 6*** (0.000)
$\ln hum$		0.176 0* (0.055)		0.228 2*** (0.008)
$\ln cre$		0.013 5* (0.051)		0.01 22 (0.101)
$\ln open$		-0.024 6** (0.014)		-0.032 2*** (0.003)
$\ln spr$		-0.025 7 (0.189)		-0.045 6** (0.046)
$\ln ind$		-0.056 0** (0.025)		-0.054 1 (0.200)
$_cons$	0.061 7*** (0.000)	-0.321 5* (0.092)	0.075 8*** (0.000)	-0.239 4 (0.107)
AR(1)	0.000 6	0.000 8	0.000 6	0.001 7
AR(2)	0.161 6	0.768 0	0.146 0	0.890 9
Sargan p	0.654 1	0.887 0	0.721 8	0.844 3
N	330	330	330	330

注:圆括号内表示 p 值。* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。AR(1)表示存在一阶自相关,AR(2)表明不存在二阶自相关,Sargan检验表示工具变量是有效的。所有回归均采用 twostep。

从实证结果来看,无论控制变量加入与否,环境规制都不利于工业绿色发展水平提升。在加入控制变量后,环境规制每提高一个百分点,工业绿色发展水平降低0.015 2%,且在1%的显著性水平下显著。根据前面的理论假说,进一步地将平方项纳入模型。回归结果显示,环境规制的平方项系数为正。在加入控制变量后,环境规制的一次项与二次项的方向并没有发生改变,环境规制与工业绿色发展水平之间呈现先抑制后促进的“U”型变化趋势。主要原因是:在环境规制水平较低区间,即“U”型曲线的左边,工业企业治污成本占总成本的比例较低,企业缺乏进行治污减排以及革新生产技术的积极性。这一阶段工业企业主要注重数量型增长,追求规模效应,虽然环境规制

强度提高, 但是成本效应大于“创新补偿”效应, 不利于工业绿色发展水平提升。随着环境规制强度水平的逐渐提升, 环境污染所造成的守法成本已经严重威胁到企业生存, 部分企业被淘汰或转移后, 剩余企业通过提高治污技术应对环境规制水平的提高。这种技术水平的提高能够降低单位产品造成的污染, 使工业绿色生产发展到一个新阶段, 此时便进入了“U”型曲线右半段, 环境规制有利于工业绿色发展水平提升。由此可见, 在环境规制水平较低时, 环境规制不利于工业绿色发展; 越过拐点后, 环境规制能够显著促进工业绿色发展水平提高, 从而假设 1 得以验证。

从控制变量来看, 人力资本能显著提升工业绿色发展水平, 主要在于人力资本水平的提高能够促进居民环境保护意识的增强, 且人力资本的提升能够适应工业企业新排污技术的有效使用。技术创新也是工业绿色发展水平提高的重要途径, 原因在于, 地区创新水平提升有利于提高资源产出效率, 促进工业绿色发展水平提升。但是, 对外开放程度、人口密集程度以及工业生产水平都不利于工业绿色发展水平提升。对外开放程度的不断加深增加了国内企业对于出口的需求, 在一定程度上加剧资源消耗以及环境污染。人口密集程度能够对工业发展发挥集聚效应, 但是人口密集程度所带来的资源浪费、交通拥挤等一系列负向效应会对工业绿色发展产生不利影响。工业生产水平越高, 企业生产模式可能固化对资源环境的路径依赖, 阻碍绿色技术创新^[42], 限制工业绿色发展水平提高。

(二) 进一步验证

为了进一步验证环境规制强度对工业绿色发展的非线性关系, 本文首先借鉴张磊等^[43]、盛丹等^[44]的做法, 将环境规制强度高于均值的划分为高环境规制强度, 低于均值水平的归为低环境规制强度, 同时进一步采用面板门限回归模型进行门限效应检验。实证结果如表 3、表 4 所示。

表 3 不同环境规制强度对工业绿色发展水平的影响

变量	被解释变量 $\ln gqul$		
	低环境规制强度	高环境规制强度	
$\ln ev$	-0.010 6*** (0.000)	-0.032 1*** (0.000)	0.003 5 (0.454)
$\ln ev^2$		0.005 7*** (0.000)	
$\ln hum$	0.286 1*** (0.001)	0.358 6*** (0.000)	0.253 0 (0.195)
$\ln cre$	0.016 1*** (0.001)	0.014 4*** (0.007)	0.026 2*** (0.000)
$\ln open$	-0.052 4*** (0.000)	-0.059 4*** (0.000)	-0.036 7*** (0.005)
$\ln spr a$	-0.069 7*** (0.000)	-0.050 5** (0.026)	-0.080 6** (0.019)
$\ln ind$	0.091 7*** (0.000)	0.074 8*** (0.000)	-0.118 9 (0.189)
$_cons$	-0.122 4 (0.634)	-0.439 7 (0.153)	-0.311 0 (0.576)
AR (1)	0.029 2	0.029 7	0.039 5
AR (2)	0.798 5	0.685 4	0.835 2
Sargan p	0.857 5	0.788 6	0.997 0
N	219	219	111

注: 圆括号内表示 p 值。* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。AR (1) 表示存在一阶自相关, AR (2) 表明不存在二阶自相关, Sargan 检验表示工具变量是有效的。所有回归均采用 twostep。

1. 以环境规制强度平均值划分分析。从表 3 结果来看, 当环境规制水平低于平均值时, 环境规制抑制工业绿色发展水平。环境规制每提高一个百分点, 工业绿色发展水平降低 0.0106%, 且在 1% 的水平上显著, 说明在环境规制水平较低时, 企业进行技术革新的动力不足, 不利于工业绿色发展水平的提升。为了进一步验证低环境规制水平下, 工业绿色发展水平是否会随着规制强度的增强而得到提升, 继续在模型中加入环境规制的平方项。结果显示, 加入平方项后, 环境规制的平方项系数为 0.0057, 且在 1% 的水平上显著, 说明低环境规制水平地区, 环境规制与工业绿色发展水平之间同样存在“U”型变化趋势。当环境规制跨越拐点后, 能够显著促进工业绿色发展水平; 当环境规制强度高于均值(20.6610)时, 环境规制能促进工业绿色发展水平, 环境规制每提高一个百分点, 工业绿色发展水平将提升 0.0035%。可以看出, 环境规制与工业绿色发展之间整体呈现“U”型关系, 但是这种促进作用尚未达到显著性水平。可能的原因在于, 相对于上文测算出来的“U”型曲线的拐点(40.0810), 环境规制水平仍然较低, 尚不能有效促进工业绿色发展水平的提升。上述回归结果表明, 环境规制与工业绿色发展之间存在非线性关系。随着环境规制水平的不断提高, 其对工业绿色发展的作用将会由抑制转为促进。

2. 门限回归分析。表 3 从均值角度考察了环境规制与工业绿色发展之间的关系, 结果表明, 在低环境规制水平下与工业绿色发展呈非线性关系。但是将均值作为分组的依据, 并不一定能够准确划分环境规制变动的具体门限水平, 因此, 本文进一步采用非动态面板模型进行门限回归分析。门限效应检验发现, 单一门限效应在 1% 的显著性水平下显著, 双重门限与三重门限回归均不显著。从表 4 门限回归结果来看, 当环境规制水平低于门限值时, 环境规制抑制工业绿色发展; 当环境规制跨越门限值时, 环境规制对工业绿色发展的作用由负转正。因此, 同样验证了环境规制与工业绿色发展之间存在一定的非线性关系。

(三) 异质性分析

由于不同区域工业绿色发展基础具有较大差异以及区域内工业企业的污染敏感性不同, 环境规制对工业绿色发展水平的影响可能存在区域异质性, 而且不同环境规制工具类型的选择对工业绿色发展水平的影响机制与作用效果也存在不同。因此, 本文在分析整体层面环境规制影响工业绿色发展水平的基础上, 从区域发展水平与环境规制类型两方面, 进一步考察环境规制对工业绿色发展水平作用的异质性。

1. 区域异质性。从不同区域来看, 环境规制对工业绿色发展水平因为东、中西部^①经济发展水平不同而存在差异, 具体结果如表 5 所示。从计量结果看, 环境规制能显著促进东部地区工业绿色发展。环境规制每提高一个百分点, 工业绿色发展水平提高 0.0082%, 且在 1% 的水平上显著。这主要是因为东部地区具有良好的工业发展基础, 对治理环境所产生的环境守法成本能够做到有效承担, 有积极性且有能力进行排污技术革新, 提高资源环境投入产出效率、降低污染排放, 促进工业绿色发展

表 4 门限回归结果

解释变量	系数估计值	t 统计量
$lnev (lnev \leq 2.067)$	-0.0429**	-2.21
$lnev (lnev > 2.067)$	0.0084***	3.37
$lnhum$	1.079***	5.92
$lncre$	0.0644***	4.36
$lnopen$	-0.138***	-7.14
$lnspr$	-0.197***	-6.91
$lnind$	0.0296	0.55
$_{-}cons$	-1.178***	-3.32

注: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。回归结果采用“Bootstrap 法”循环 1000 次得到。

^① 东部地区主要包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南等 11 个省(市); 中西部地区主要包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、四川、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、广西、内蒙古地区 19 个省(市、自治区)。

水平的提升。而对于中西部地区而言, 环境规制则抑制了工业绿色发展水平。环境规制水平每提高一个百分点, 工业绿色发展水平降低 0.009 8%, 加入平方项后, 环境规制的平方项系数为正, 系数为 0.007 2 且在 5% 的水平上显著, 一次项系数仍为负。可见对于中西部地区而言, 环境规制对工业绿色发展水平仍然呈现“U”型变化趋势。现阶段中西部地区环境规制对工业绿色发展水平的影响处于“U”型曲线的左边, 这可能是由于中西部地区重工业比例大, 治污成本高, 导致该地区工业短期内难以突破技术瓶颈, 实现绿色发展转型。经济增长的压力也迫使中西部地区通过牺牲环境换取经济增长效益, 因此出现了环境规制对于工业绿色发展水平作用不显著的结果。这与申晨等^[15]的研究结论较为相似。但是随着环境规制强度的不断增大, 逐步跨越拐点, 中西部地区环境规制工具的技术创新效应将得到有效发挥, 长期来看环境规制将有效促进工业绿色发展水平的提高。

表 5 不同区域环境规制对工业绿色发展水平的影响

变量	被解释变量 $\ln gqul$		
	东部		中西部
$\ln ev$	0.008 2** (0.016)	-0.009 8*** (0.000)	-0.043 1** (0.027)
$\ln ev^2$			0.007 2** (0.047)
$\ln hum$	-0.086 9 (0.920)	0.019 2 (0.935)	-0.096 5 (0.625)
$\ln cre$	0.014 1 (0.766)	0.005 1 (0.781)	0.016 4 (0.278)
$\ln open$	-0.160 5*** (0.000)	-0.054 0*** (0.004)	-0.058 3*** (0.001)
$\ln spr$	0.260 8*** (0.001)	-0.073 7*** (0.000)	-0.074 2*** (0.000)
$\ln ind$	0.150 3*** (0.010)	0.146 8*** (0.005)	0.145 1** (0.017)
$_cons$	-1.852 8 (0.300)	0.625 5 (0.120)	0.795 8 (0.053)
AR (1)	0.174 3	0.001 9	0.001 7
AR (2)	0.135 3	0.321 6	0.369 0
Sargan p	1.000 0	0.982 5	0.996 5
N	121	209	209

注: 圆括号内表示 p 值。* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。AR (1) 表示存在一阶自相关, AR (2) 表明不存在二阶自相关, Sargan 检验表示工具变量是有效的。所有回归均采用 twostep。

2. 环境规制类型异质性。上文从政府投资型环境规制角度考察其对工业绿色发展的影响, 接下来进一步考虑不同类型环境规制工具^①对工业绿色发展水平的差异化影响。分别对不同环境规制类型与工业绿色发展水平进行回归, 具体结果如表 6 所示。

① 由于命令型环境规制、公众参与型环境规制以及市场激励型环境规制的数据在 2017 版《中国环境年鉴》没有进行统计, 因此这三种环境规制工具的数据的年限为 2006—2015 年。

表 6 不同环境规制工具对工业绿色发展水平的影响

解释变量	被解释变量 $\ln gqul$			
\lnerc	0.015 9*** (0.000)			0.014 1** (0.013)
\lnerp		0.011 3** (0.027)		0.010 5* (0.092)
\lners			-0.003 0 (0.344)	-0.002 3 (0.522)
\lnhum	0.209 3* (0.090)	0.211 6*** (0.017)	0.240 0** (0.011)	0.187 0** (0.034)
\lncre	-0.018 8*** (0.002)	-0.006 7 (0.343)	-0.008 8 (0.111)	-0.019 1*** (0.007)
\lnopen	-0.043 7*** (0.000)	-0.036 7*** (0.000)	-0.032 8*** (0.003)	-0.050 0*** (0.000)
\lnspr	-0.065 9*** (0.000)	-0.048 2*** (0.000)	-0.060 0*** (0.000)	-0.064 1*** (0.000)
\lnind	0.028 8* (0.097)	0.011 4 (0.539)	0.031 4** (0.030)	0.013 2 (0.654)
$_cons$	0.117 2 (0.711)	-0.143 5 (0.500)	0.066 9 (0.798)	0.051 7 (0.806)
AR (1)	0.000 3	0.002 5	0.001 0	0.001 5
AR (2)	0.603 0	0.721 1	0.904 4	0.871 0
Sargan	0.296 5	0.854 3	0.364 7	0.931 3

注：圆括号内表示 p 值。* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。AR (1) 表示存在一阶自相关，AR (2) 表明不存在二阶自相关，Sargan 检验表示工具变量是有效的。所有回归均采用 twostep。

从实证结果来看，命令型环境规制工具能显著促进工业绿色发展水平。命令型环境规制每提高一个百分点，工业绿色发展水平提高 0.015 9%，且在 1% 的水平上显著。命令型环境规制作为工业广泛采用的规制工具，通过有效规制标准的设计，对工业能源消耗及污染排放进行强制约束，促进工业绿色发展水平提升。市场激励型环境规制能显著提升工业绿色发展水平。市场激励型环境规制每提高一个百分点，工业绿色发展水平提高 0.011 3%，在 5% 的水平上显著。可见，借助市场激励的手段实现市场价格成本的调节作用，进一步影响提高制造业企业的排污成本，能够对制造业企业发展实现低成本、高效率以及技术创新进行持续有效的激励，进而提高工业绿色发展水平，但市场激励型环境规制工具的有效发挥需要健全的市场体系与之匹配。从系数大小来看，命令型环境规制对工业绿色发展水平的促进作用大于市场激励型环境规制对工业绿色发展水平的促进作用，说明以行政处罚案件数为代表的命令型环境规制对工业绿色发展的促进作用更强，进一步说明现阶段命令型环境规制对于工业绿色发展水平提升的有效性，这与多数学者的研究较为一致。公众参与型环境规制不利于工业绿色发展水平提升，但是这种抑制作用并不显著。虽然环境上访次数增加能够促进上级部门对环境的重视，进而影响政府对环境污染项目的决策以及改变企业污染行为，改善环境质量，但是现阶段居民环保意识欠缺，而且对于环境保护方式、途径以及信息等缺乏相应了解，同时公众参与对工业绿色发展的作用也存在一定的时滞性，在一定程度上限制了公众参与型环境规制对工业绿色发展水平的提升。进一步地将三种环境规制工具加入到模型中回归发现，三种环境规制类型对工业绿色发展水平的系数方向与显著性并未发生实质性改变，说明上述实证结果是稳健的，不同环境规制类型工具对工业绿色发展水平影响不同。

六、结论与对策建议

本文在理论分析环境规制对工业绿色发展作用的基础上,采用中国30个省(市、自治区)2006—2016年面板数据进行实证分析,结果发现:(1)从整体来看,环境规制与工业绿色发展之间整体呈现“U”型变化趋势,结论经过进一步检验依然成立;(2)对于不同经济发展水平区域而言,环境规制能显著促进东部地区工业绿色发展水平,而与中西部地区工业绿色发展水平之间存在“U”型关系;(3)对于不同类型环境规制而言,命令型与市场激励型环境规制能显著促进工业绿色发展水平,且命令型环境规制工具对工业绿色发展水平的提升作用高于市场激励型环境规制工具,而公众参与型环境规制不利于工业绿色发展水平的提升。根据上述研究结论,提出以下对策建议:

第一,动态处理环境规制与工业绿色发展水平之间的关系。对于环境规制水平较低的区域,政府仍需增加治理环境污染的投资额,通过政府治污导向引导工业企业从追求规模效应逐渐转向“创新效应”,进行清洁生产,提高企业绿色发展效率,逐渐减弱环境规制对工业绿色发展的“挤出效应”,从而提高工业绿色发展水平;对于环境规制水平较高的地区,则要发挥环境规制对工业绿色发展的促进作用,使环境规制成为促进工业绿色发展的新动能。

第二,合理制定差异化的区域环境规制政策。政府在环境规制政策制定中,应根据各省市的经济发展水平实际情况体现出区域差异化特征。对于东部地区,环境规制已经成为促进工业绿色发展的重要途径,但中西部地区环境规制的“挤出效应”仍然占据主导位置,因此中西部工业企业应不断加强对先进治污技术的吸收能力,积极引进技术创新人才,逐步提高企业绿色技术创新能力,将环境规制的“挤出效应”转化为“创新效应”,促进区域工业绿色发展水平提升。

第三,采取更加有效的环境规制工具体系。考虑三类环境规制工具对工业绿色发展水平提升的效果差异,在命令型环境规制方面,需要健全环保法律法规体系,发挥命令型环境规制对于工业绿色发展强有力的支撑作用;在市场激励型环境规制方面,应加大对重污染工业企业排污费的征收力度,同时细化征收范围,实现分类征收;在公众参与型环境规制方面,需要进一步加强公众对于环境保护的参与意识,降低公众参与的障碍和成本,使得公众参与型环境规制也成为提升工业绿色发展水平的重要途径。

第四,充分发挥人力资本对工业绿色发展的作用。各地区应进一步加大对教育和健康等方面的公共投入力度,提高教育质量,促进人力资本提升;同时加强工业企业对于新技术的吸收与转化能力,提高工业治污水平,降低污染排放,实现工业绿色发展。

参考文献

- [1] 邱兆林,王业辉.行政垄断约束下环境规制对工业生态效率的影响——基于动态空间杜宾模型与门槛效应的检验[J].产业经济研究,2018(5).
- [2] 陈超凡,韩晶,毛渊龙.环境规制、行业异质性与中国工业绿色增长——基于全要素生产率视角的非线性检验[J].山西财经大学学报,2018(3).
- [3] 史丹.绿色发展与全球工业化的新阶段:中国的进展与比较[J].中国工业经济,2018(10).
- [4] 张华,丰超,时如义.绿色发展:政府与公众力量[J].山西财经大学学报,2017(11).
- [5] 沈菊琴,孙悦.基于DPSIR模型的地区绿色GDP评价指标体系研究[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2016(6).
- [6] 徐成龙,庄贵阳.供给侧改革驱动中国工业绿色发展的动力结构及时空效应[J].地理科学,2018(6).
- [7] 任嘉敏,马延吉.东北老工业基地绿色发展评价及障碍因素分析[J].地理科学,2018(7).

- [8] 吴传清,黄磊. 长江经济带工业绿色发展绩效评估及其协同效应研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2018(3).
- [9] 陶锋,王余妃. 环境规制、研发偏向与工业绿色生产率——“波特假说”再检验[J]. 暨南学报(哲学社会科学版), 2018(5).
- [10] 陈超凡. 中国工业绿色全要素生产率及其影响因素——基于 ML 生产率指数及动态面板模型的实证研究[J]. 统计研究, 2016(3).
- [11] 岳鸿飞,徐颖,周静. 中国工业绿色全要素生产率及技术创新贡献测评[J]. 上海经济研究, 2018(4).
- [12] 彭星,李斌. 贸易开放、FDI 与中国工业绿色转型——基于动态面板门限模型的实证研究[J]. 国际贸易问题, 2015(1).
- [13] 周五七. 行业特征对低碳约束下工业绿色 TFP 增长的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(5).
- [14] 陈超凡,韩晶,毛渊龙. 环境规制、行业异质性与中国工业绿色增长——基于全要素生产率视角的非线性检验[J]. 山西财经大学学报, 2018(3).
- [15] 申晨,李胜兰,黄亮雄. 异质性环境规制对中国工业绿色转型的影响机理研究——基于中介效应的实证分析[J]. 南开经济研究, 2018(5).
- [16] 朱东波,任力. 环境规制、外商直接投资与中国工业绿色转型[J]. 国际贸易问题, 2017(11).
- [17] 王丽霞,陈新国,姚西龙. 环境规制政策对工业企业绿色发展绩效影响的门限效应研究[J]. 经济问题, 2018(1).
- [18] 涂正革,王秋皓. 中国工业绿色发展的评价及动力研究——基于地级以上城市数据门限回归的证据[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2018(1).
- [19] Hamamoto, M. Environmental regulation and the productivity of Japanese manufacturing industries[J]. *Resource & Energy Economics*, 2006(4).
- [20] Shadbegian, R. J., W. B. Gray. Pollution abatement expenditures and plant-level productivity: A production function approach[J]. *Ecological Economics*, 2005(2).
- [21] Hoerger, F., W. H. Beamer, J. S. Hanson. The cumulative impact of health, environmental, and safety concerns on the chemical industry during the seventies[J]. *Law & Contemporary Problems*, 1983(3).
- [22] Jaffe, A. B., K. Palmer. Environmental regulation and innovation: A panel data study [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1996(4).
- [23] Boyd, G. A., J. D. McClelland. The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1999(2).
- [24] 申晨,贾妮莎,李炫榆. 环境规制与工业绿色全要素生产率——基于命令—控制型与市场激励型规制工具的实证分析[J]. 研究与发展管理, 2017(2).
- [25] 王红梅. 中国环境规制政策工具的比较与选择——基于贝叶斯模型平均(BMA)方法的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(9).
- [26] 高苇,成金华,张均. 异质性环境规制对矿业绿色发展的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(11).
- [27] 师博,姚峰,李辉. 创新投入、市场竞争与制造业绿色全要素生产率[J]. 人文杂志, 2018(1).
- [28] 张军,吴桂英,张吉鹏,等. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10).
- [29] 宋马林,王舒鸿. 环境规制、技术进步与经济增长[J]. 经济研究, 2013(3).
- [30] 原毅军,谢荣辉. 环境规制与工业绿色生产率增长——对“强波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, 2016(7).
- [31] 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(4).
- [32] 屈小娥. 异质型环境规制影响雾霾污染的双重效应[J]. 当代经济科学, 2018(6).
- [33] Owen, A. L., J. Videras. Culture and public goods: The case of religion and the voluntary provision of environmental quality[J]. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2007(2).
- [34] Lanoie, P., M. Patry, R. Lajeunesse. Environmental regulation and productivity: Testing the Porter Hypothesis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2008(2).

- [35]林春,孙英杰. 环境规制与全要素生产率:水平效应与增长效应[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2019(3).
- [36]彭星,李斌. 不同类型环境规制下中国工业绿色转型问题研究[J]. 财经研究,2016(7).
- [37]蔡乌赶,周小亮. 中国环境规制对绿色全要素生产率的双重效应[J]. 经济学家,2017(9).
- [38]徐盈之,蔡海亚,严春蕾. 要素市场扭曲与我国雾霾污染防治[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2019(1).
- [39]杨焯,谢建国. 创新扶持、环境规制与企业技术减排[J]. 财经科学,2019(2).
- [40]卢洪友,刘啟明,祁毓. 中国环境保护税的污染减排效应再研究——基于排污费征收标准变化的视角[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2018(5).
- [41]杨仁发,李娜娜. 产业集聚能否促进城镇化[J]. 财经科学,2016(6).
- [42]郭进. 环境规制对绿色技术创新的影响——“波特效应”的中国证据[J]. 财贸经济,2019(3).
- [43]张磊,韩雷,叶金珍. 外商直接投资与雾霾污染:一个跨国经验研究[J]. 经济评论,2018(6).
- [44]盛丹,张国峰. 两控区环境管制与企业全要素生产率增长[J]. 管理世界,2019(2).

Environmental Regulation and Green Industrial Development of China: Theoretical Analysis and Empirical Evidence

YANG Ren-fa, LI Na-na

Abstract: This paper made a theoretical analysis of the role of environmental regulation effect in the green industrial development. Based on estimation of China's 30 provinces (municipalities and autonomous regions) in 2006—2016 industrial green development level, we made an empirical analysis of the environmental regulation effect on the green industry development level. The results showed that the relationship between environmental regulation and China's industrial green development level is “U” shaped. In terms of regions, environmental regulations in the eastern region can significantly improve the level of industrial green development, while there is a “U” shaped relationship between the regulations and the level in the central and western regions. From the perspective of the types of environmental regulation tools, command-type environmental regulation and economic incentive environmental regulation can significantly promote the level of industrial green development, and command-type environmental regulation has a stronger promoting effect, but public-participation environmental regulation cannot effectively improve the level. To dynamically deal with the relationship between environmental regulation and industrial green development level, to rationally formulate differentiated regional environmental regulation policies, and to adopt more effective environmental regulation tool system are important measures to promote China's industrial green development.

Key words: environmental regulation; industrial green development; regulation type

(责任编辑 朱 蓓)