



LNU

辽宁大学经济学部
Faculty of Economics, Liaoning University

讨论稿系列
Working Paper Series

No. C2022002

2022-09-27

环境规制对矿业绿色发展影响及作用机制研究

孙玉阳

摘要：矿业绿色发展是实现矿产资源有效开发与生态环境保护的必由之路。而环境规制是促进矿业绿色发展的重要动力与抓手。囿于数据的可得性，选取了2004—2016年省级面板数据，采用动态面板模型和系统GMM估计方法，实证检验了环境规制对矿业绿色发展影响的直接机制、传导机制以及区域的异质性。结果表明：①环境规制与矿业绿色发展之间存在“倒U型”关系。②环境规制通过技术效率与技术进步影响矿业绿色发展水平，其中环境规制与技术效率之间呈现“倒U型”关系，环境规制与技术进步之间呈现“U型”关系。③东南沿海地区环境规制对矿业绿色发展暂未产生影响，而中西部内陆地区环境规制与矿业绿色发展呈现“倒U型”关系。因此，政府要完善环境规制体系，因地制宜的设定环境规制强度；强化科学管理，提升技术效率；加强技术创新，推动技术进步；从而不断提升矿业绿色发展水平。

关键词：环境规制；绿色全要素生产率；矿业绿色发展

中图分类号：F426

一、引言

矿业是直接以地球为核心的大自然提取各种矿产、从而推动人类文明进步的重要产业。中国是最大的矿产资源生产和消费国，矿业已经成为我国经济社会发展的重要组成部分和支撑。当前我国正处于工业化和城镇化加快发展的关键阶段，资源需求刚性上升，在相当长的一段时间内对矿产资源的需求量仍将保持高位运行，然而在矿产资源开采过程中，不仅对大气环境、水环境、土地资源造成严重的影响，同时也造成了地貌景观及植被破坏、地质灾害等问题，对人类赖以生存的地球生态环境形成了难以估量的影响。2007年在北京召开的国际矿业大会上，中国提出了“发展绿色矿业”的倡议，要求转变传统矿业粗放型的开发利用方式，实现矿产资源合理开发利用与环境保护协调发展的绿色发展方式，从此拉开中国矿业绿色发展的序幕。然而由于负外部性等影响，使市场机制难以解决矿产资源勘查、开发利用

过程产生的环境污染和破坏问题,单靠市场机制,无法促进矿业绿色发展。而环境规制作为弥补市场失灵,解决矿业在开发利用过程中的环境污染和破坏问题,逐渐受到关注与重视。环境规制通过一系列环境规制工具能够将矿业生产过程中的环境污染和破坏成本内部化,从而增加矿业企业生产运行成本,促进矿业绿色发展从被动参与向主动求变转型。这对于实现矿产资源安全保障以及经济社会全面绿色转型具有重大而深远的意义。

二、文献综述

近些年来,随着对生态环境关注日益增多,有关矿业绿色发展方面的研究也在逐渐增加。纵观目前国内外学者对矿业绿色发展方面的研究,早期研究集中在对矿业绿色发展内涵的界定,寿嘉华(2000)认为绿色矿业是指实现矿产资源开发利用最大化,环境损坏最小化,将矿山环境扰动量控制在区域环境容量范围之内^[1]。刘建兴(2014)认为绿色矿山是指采用科学、低耗、高效、安全、环保的方式合理开发利用矿产资源,实现矿山资源开发与生态环境保护协调发展、可持续发展的目标^[2]。李国政(2018)认为绿色矿业就是以绿色发展理念贯穿矿业资源开发利用的全过程,进而实现经济、社会与生态效益相统一^[3]。柳晓娟等(2021)认为,绿色矿业是采用先进的技术方法实现矿业资源的有效开发利用,进而实现生态环境系统与经济社会系统协调发展的开发模式^[4]。在此基础上,一些学者构建起矿业绿色发展的指标体系,对矿业绿色发展水平进行定量评价,Azapagic(2004)从经济、社会和环境三个方面构建矿业可持续发展的评价指标体系,对矿业可持续发展进行评价^[5]。黄敬军等(2008)主要从矿山清洁生产、资源能源利用、矿山规范管理、采选矿现代化、矿山生产安全和生态环境六个方面构建指标体系对矿业绿色发展水平进行评价^[6]。Kopacza(2017)等采用 AHP 以及 Copula 的蒙特卡罗模拟等方法,并结合评价指标体系获取的数据,对波兰的矿业可持续发展水平进行评价^[7]。周灵(2018)从绿色矿业财政贡献率、企业转型能力、绿色矿业发展能力以及绿色矿业地区环境容量四个方面构建指标体系,对各地区绿色矿业发展水平进行评价^[8]。王永卿等(2019)从废石当年处理率、尾矿当年处理率、单位矿石矿山工业产值以及矿山环境治理投资额等方面构建起指标体系,对绿色矿山建设效果进行评价^[9]。任思达等(2019)从社会、产业、政策、技术、经济、环境六个方面构建综合指标体系,分析了中国矿业经济绿色发展的水平^[10]。随着研究的不断深入,国内外学者研究逐渐转向矿业绿色发展的影响因素,Raymond(1994)通过研究矿业可持续发展与税收政策之间的关系,发现缩减税收、控制投资量有助于矿业可持续发展的实现^[11]。王浦、周进生等(2014)认为政府通过加强宏观调控、优化能源开发政策、健全低碳技术创新的激励机制,建立多元化的低碳技术研发投入体系,能够加快转变矿业发展方式,落实企业建设绿色矿山的责任,推进矿业城市可持续发展^[12]。郭新华(2016)强调建立考核机制,推进绿色矿业示范企业建设以及实行严格的绿色矿业审查准入制度推进矿业绿色发展^[13]。杨俊鹏等(2017)提出制定相应的财税政策以及完善绿色矿山标准体系来加快绿色矿山的建设^[14]。张颖等(2020)强调通过优化矿业结构,加强环境保护力度等措施,加快矿业绿色发展^[15]。Zhou 等(2021)研究发现,扩大矿业企业的规模,有助于促进矿业绿色发展^[16]。田浩等(2022)加快绿色金融发展能够有效提升矿业绿色发展水平^[17]。伴随近些年对环境保护关注度日益增加,中国的环境规制体系不断完善,强度不断提升,部分学者研究转向环境规制对矿业绿色发展作用机制,Costello 等(2015)认为,较强的个人产权不但提升矿业资源开发使用效率,也能提升周边的环境保护^[18]。朱岩(2017)研究发现在中国石油产业进行环境规制收到了良好效果,对环境保护起到了正向作用且较为显著^[19]。高苇等(2018)研究发现环境规制强度与矿业绿色水平之间存在“U”型非线性关系,命令控制型和市场激励型环境规制对矿业绿色发展

表现出先抑制后促进的直接效应^[20]。王艳等（2021）研究发现，政府规制对采矿业的绿色技术创新的影响主要受到其所处的环境而呈现不同特征^[21]。于立宏等（2022）研究发现政府的相关政策不利于采矿业整体绿色发展水平提升^[22]。

纵览已有研究，国内外众多学者对矿业绿色发展开展了全面、深入的研究，为本研究奠定了良好的基础，但与此同时也应看到，现有研究成果存在一定的时限性，为本文留下深入研究的空间：第一，对矿业绿色发展水平测度。现有研究多构建指标体系对矿业绿色发展水平进行测度，但是此种方法受人为因素影响较大，不能更加客观准确的衡量矿业绿色发展水平，同时现有的评价更多偏向生态环境保护范畴，并没有将矿业效益、环境保护以及技术进步有机统一起来。本文采用先进的 EBM-Malmquist-Luenberger 指数对矿业绿色发展状况进行准确的衡量，能够有效解决以上不足。该模型同时兼容了径向和非径向两类函数的混合模型，能够较处理好资本、劳动力等投入要素与经济产出具有“可分”的径向关系，资源等消耗与污染物排放具有“不可分”的径向关系，能更准确反映矿业绿色发展水平。第二，环境规制对矿业绿色发展影响的传导机制分析。现有研究多探讨环境规制对矿业绿色发展的直接影响，鲜有学者揭示环境规制对矿业绿色发展的作用路径。本文主要从技术效率和技术进步角度，探寻环境规制对矿业绿色发展影响的传导机制，进而揭示环境规制对矿业绿色发展影响的“黑箱”。

三、理论分析

（一）直接机制分析

环境规制能够将矿业企业在开发利用矿产资源过程中对环境造成破坏的负外部成本内部化，进而影响矿业绿色发展。一方面环境规制能够提升矿业企业的准入门槛，改善矿业企业的主体构成，有助于资本雄厚、技术先进等企业的进入，提升矿业开采的效率与效果，降低开采过程中对环境的破坏。同时，环境规制增加了矿业企业的环境保护支出，而此部分资金并不能用于生产，增加产品数量，从而导致企业生产成本增加，降低了企业在市场中的竞争力，在激烈的市场竞争中，会加快了经济效益低、环境污染和破坏大的矿业企业退出，加速了经济效益好，环境污染和破坏小的矿业企业的发展。此外，环境规制通过关停并转的方式，利用行政命令方式淘汰落后的矿业企业，从而提升矿业绿色发展水平。一方面，过高的环境规制强度，将大幅度提升矿业企业的生产成本，造成矿业企业负担过重，不利于矿业企业的长期发展。同时，过高的环境规制强度，将减少矿产资源的市場供应量，在利润的驱使下，会促使偷采盗采矿产资源的事件频发，进而不利于矿业绿色发展。

（二）传导机制分析

1. 技术进步机制。环境规制通过技术进步影响矿业绿色发展。面对环境规制强度较低时，矿业企业为了避免受到环境处罚而影响声誉和生产，由于技术创新需要更多的资金投入，且面临较大的风险性，从成本收益角度考虑，矿业企业更倾向于挪用研发资金用于环境治理领域的投资，购置治污设备以满足环境标准，产生“挤出效应”，此种投资使得矿业企业只能满足眼前的环境规制的要求，并不利于矿业绿色转型。而随着环境规制强度的不断提升，原有的购置治污设备的方式，一方面增加企业成本，另一方面也难以满足越来越严苛的环境标准。在此背景下，矿业企业会加大对技术创新方面的支持力度，通过促进矿业企业的技术创新水平，不断提高矿业企业的绿色全要素生产率，在保持投入不变的前提下尽量增加产出和减少环境污染与破坏，在弥补研发费用的同时，也能增加企业的收益，进而产生“创新补偿效应”，在技术进步的推动下，不断提升矿业企业的绿色发展水平。

2. 技术效率机制。环境规制通过技术效率影响矿业绿色发展。当环境规制强度较低时，

一方面一些矿业企业将会改变以往粗放型的管理模式,实行精细化管理,充分发掘现有技术的优势,提高矿业企业的技术效率水平,另一方面,也能促使一些矿业企业进行组织变革,采用先进的组织形式,提升组织运行效率,进而产生“资源配置效应”,进而满足环境标准以及降低由于环境规制增加的企业的生产成本。而在环境规制强度不断提升背景下,将会改变矿产能源消费者偏好,引起矿业企业的环境治理成本增加以及相应产品的价格上涨的预期,使得开采路径会向前移动,导致矿业企业扩大规模,加快矿业资源的开发,产生“黑色预期效应”^[23]。当矿业企业规模不断扩大的同时,其管理水平不能保证同步提升情况下,矿业企业的技术效率便可能出现下降,从而降低生产要素的投入产出比,并加剧了环境的污染与破坏,不利于矿业绿色发展水平的提升。

四、研究设计

(一) 模型构建

根据前文理论分析,本文借鉴郭家堂等(2016)^[24]研究思路,考虑到环境规制对矿业绿色全要素生产率($GTFP$)及其分解指数技术进步(TC)和技术效率(EC)可能存在非线性关系,并且当期矿业绿色全要素生产率($GTFP$)、技术进步(TC)和技术效率(EC)可能会受到前一期的影响,同时还考虑包括产业结构状况、金融发展水平、人力资本状况以及市场化程度等在内的控制变量的影响,构建如下研究模型:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_0 Y_{it-1} + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 ER_{it}^2 + \beta_3 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, Y_{it} 表示的是矿业绿色全要素生产率($GTFP$)及其分解指数技术进步(TC)和技术效率(EC), Y_{it-1} 表示的是矿业绿色全要素生产率($GTFP$)、技术进步(TC)和技术效率(EC)一阶滞后项, ER_{it} 表示的是环境规制强度, X_{it} 表示的是控制变量, ε_{it} 表示的是随机误差项。

(二) 指标选取

1. 被解释变量:矿业绿色发展水平($GTFP$)。矿业绿色发展强调转变以前粗放式的矿业开发利用模式,在矿业开发利用过程中尽量降低要素投入,增加产出,减少对环境的破坏,实现各种生产要素充分利用的集约式增长方式,本质上就是要提高矿业绿色全要素生产率。本文主要采用考虑径向与非径向的EBM模型-Malmquist-Luenberger指数测算的矿业绿色全要素生产率来衡量矿业绿色发展的水平。参考高苇(2018)等人的研究,将矿业年平均从业人数、资本存量和采矿许可证批准登记面积作为投入变量,将采矿业工业销售产值作为期望产出变量,将采用矿业开采累计占用损坏土地作为非期望产出变量。其中,资本存量采用永续盘存法以2001年为基期进行测算,而矿业工业销售产值以2001年为基期进行平减。进而将测算出的矿业绿色全要素生产率($GTFP$)表示矿业绿色发展水平。同时进一步将测算结果分解为技术进步(TC)和技术效率(EC)两个部分,分别表示技术进步和技术效率水平。

2. 核心解释变量:环境规制强度(ER)。环境规制是指政府通过制定政策或措施对环境造成破坏的企业的经济活动进行调节,已实现经济发展与环境保护的双赢目标^[25]。现阶段大多数文章多采用工业污染治理投资以及环境污染治理投资等来衡量环境规制,该类指标过于宏观,难以准确衡量矿业环境规制水平。因此,本文主要采用矿山环境治理投入金额占环境污染治理投资的比重和采矿许可证批准登记发证数的倒数作为矿业环境规制的替代指标,其能准确衡量矿业环境规制水平,进而对环境规制对矿业绿色发展的关系作出更科学判断。

3. 其他控制变量。本文在参考王永卿(2019)等人研究结果基础上,选取如下控制变量:产业结构升级(CY),产业结构升级有助于减少矿产资源的需求,由于矿产资源市场竞争加剧,能够加快淘汰落后的矿业企业,进而实现矿业绿色发展,本文主要用第三产业增加值与

第二产业增加值比重作为产业结构升级的衡量指标。金融发展水平 (*FAR*)，矿业企业推进绿色发展进行中存在大量的资金需求，而金融发展水平越高的地方，越能满足矿业企业的融资需求，进而促进矿业企业绿色发展，本文选取银行业金融机构各项贷款(余额)与 GDP 比重作为金融发展水平的衡量指标。人力资本水平 (*EDU*)，人力资本水平越高的地区，能够采用新技术，并且也有助于提升技术效率水平，从而更好的促进矿业绿色发展，本文选取就业人员平均受教育年限作为人力资本水平的衡量指标。市场化程度 (*MAR*)，市场化程度越高的地区，越能实现资源的有效配置，进而引导资源从效率低的矿业企业流向效率更高的矿业企业，从而促进矿业的绿色发展，本文采用樊纲等人测算的市场化指数来表示。

(三) 数据来源

由于文中的采矿许可证批准登记发证数、采用矿业开采累计占用损坏土地等核心指标只更新到 2016 年，而矿业年平均从业人数、资本存量、矿业工业销售产值以及等核心指标更新到 2016 年以后缺失两年数据，鉴于数据的可得性，为了保证分析的科学性和准确性，本文主要选取了中国 30 个省级行政单位(除西藏)2004-2016 年的数据作为分析的样本。为了保证数据的科学性、可靠性，本文中的数据均来自《中国工业统计年鉴》《中国金融年鉴》、《中国统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》《中国国土资源统计年鉴》《中国矿业年鉴》，市场化指数主要来源于樊纲等编制的《中国市场化指数》，对于部分缺失数据采用移动平均法补全。

五、实证结果分析

(一) 数据检验

由于模型 (1) 是一个多变量回归模型，为了避免多重共线性影响模型的解释力，本文首先对变量之间是否存在多重共线性进行检验，通过表 1 可知，VIF 最大值为 2.46，小于 10，可以判断出变量之间不存在共线性问题。

表 1 多重共线性检验结果

变量	<i>GTFP</i>	<i>ER</i>	<i>CY</i>	<i>FAR</i>	<i>EDU</i>	<i>MAR</i>
<i>GTFP</i>	—	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04
<i>ER</i>	1.10	—	1.10	1.10	1.09	1.08
<i>CY</i>	2.24	2.25	—	1.50	2.03	2.23
<i>FAR</i>	2.14	2.14	1.43	—	2.09	2.14
<i>EDU</i>	2.45	2.46	2.25	2.43	—	1.71
<i>MAR</i>	1.81	1.77	1.79	1.81	1.25	—

由于时间序列数据具有非平稳性的特征，为验证时间序列数据的平稳性，避免出现虚假回归，本文基于 ADF 方法检验变量。通过表 2 可知，解释变量与被解释变量为平稳序列。

表 2 ADF 单位根检验结果

变量	ADF 值	临界值水平			P 值	结论
		1%	5%	10%		
<i>GTFP</i>	-3.296	-1.830	-1.740	-1.690	0.000	平稳
<i>ER</i>	-2.150	-1.830	-1.740	-1.690	0.000	平稳

最后为了检验主要变量是否存在协整关系，本文采用 Kao、Pedroni 和 Westerlund 协整检验方法进行分析，通过表 3 可知，环境规制与矿业绿色发展之间存在长期协整关系。

表 3 面板协整检验结果

方法	统计量	统计值	P 值
Kao	ADF	-8.326 7	0.000 0
	MPP	-0.481 5	0.315 1
Pedroni	PP	-21.39 1	0.000 0
	ADF	-19.62 0	0.000 0
Westerlund	Variance ratio	-3.737 5	0.000 1

（二）环境规制对矿业绿色发展影响直接效应分析

由于环境规制对矿业绿色发展影响可能存在互为因果关系，并且由于部分数据难以获取，导致不可能将所有影响变量都纳入到控制变量之中，而解释变量与被解释变量的互为因果关系以及遗漏变量是产生内生性的重要原因，影响分析结果的准确性。*DIF-GMM* 和 *SYS-GMM* 统计分析方法，能够有效克服潜在的内生性问题，提升分析结果的准确性。但 *DIF-GMM* 是使用变量滞后阶作为工具变量，容易产生弱工具变量问题，导致测量结果出现偏误。而 *SYS-GMM* 在 *DIF-GMM* 基础上，同时使用差分变量的滞后项作为水平方程的工具变量，能够有效弥补 *DIF-GMM* 的不足，分析结果更为精准。本文先利用 *DIF-GMM* 和 *SYS-GMM* 模型分析了环境规制对矿业绿色发展的影响（见表 4）。结果表明，无论是采用 *DIF-GMM* 还是 *SYS-GMM* 分析方法，*AR*（1）、*AR*（2）和 *Sargan* 的结果均通过检验，表明 *DIF-GMM* 和 *SYS-GMM* 均不存在二阶序列自相关，并且模型设定合理，工具变量有效。*DIF-GMM* 和 *SYS-GMM* 回归模型结果均显示，环境规制与矿业绿色发展呈现显著的“倒 U 型”关系型，仅在回归系数大小略有差异。因为 *SYS-GMM* 比 *DIF-GMM* 分析更准确，本文主要结合 *SYS-GMM* 结果进行分析，（1）环境规制对矿业绿色发展影响随着环境规制强度不断提升，逐渐从促进转向抑制，其拐点值为 7.38。主要原因是环境规制强度低于 7.38 时，环境规制能够将矿业企业在开采利用过程中造成的环境污染和破坏成本内部化，为了降低生产运营成本，提高企业利润，矿业企业通过强化管理，改进工艺等方式降低成本，提高矿业企业的竞争力，从而促进矿业绿色发展。而随着环境规制强度的不断提升超过 7.38 时，矿业企业的成本不断增加，同时由于技术创新需要大量的研发资金，技术研发具有长期性、风险性以及各种不确定性等特点，降低矿业企业技术创新的意愿，特别是中小矿业企业，技术创新能力较弱，难以通过技术进步方式降低生产成本，进而抑制了矿业绿色发展。（2）矿业绿色发展的滞后一阶在 1% 显著水平上呈现负相关关系，说明当期矿业绿色发展很大程度上受到上一期的影响，存在时序性。（3）控制变量中，产业结构升级对矿业绿色发展呈现不显著正向关系，说明现阶段产业结构升级对矿业绿色发展并没有产生影响。金融发展水平与矿业绿色发展在 5% 显著水平上呈现负相关关系，说明金融发展水平不利于矿业绿色发展。主要原因是现阶段对矿业绿色发展投资回报率较低、具有较高风险性，导致金融机构的投资或支持意愿不强，进而抑制了矿业绿色发展。人力资本投资与矿业绿色发展在 1% 显著水平上呈现负相关关系，说明人力资本不利于矿业绿色发展，主要原因是现阶段的人力资本供给与矿业绿色发展需求存在结构不匹配，进而不利于矿业绿色发展。市场化程度与矿业绿色发展呈现不显著的负相关关系，说明现阶段市场化程度并未对矿业绿色发展产生影响。

表 4 环境规制对矿业绿色发展的直接效应分析

变量	模型 1	模型 2
	<i>DIF-GMM</i>	<i>SYS-GMM</i>
<i>L. GTFP</i>	-0.253 7*** (0.014 4)	-0.188 1*** (0.015 7)
<i>ER</i>	0.009 0** (0.004 1)	0.011 8** (0.004 8)
<i>ER</i> ²	-0.000 7*** (0.000 1)	-0.000 8*** (0.000 1)
<i>CY</i>	-0.178 4** (0.070 4)	0.033 8 (0.080 2)
<i>FAR</i>	-0.393 1*** (0.051 3)	-0.324 3** (0.137 8)
<i>EDU</i>	-0.112 7*** (0.019 8)	-0.062 0*** (0.015 2)
<i>MAR</i>	0.037 4*** (0.010 6)	-0.008 1 (0.014 7)
<i>CONS</i>	2.669 5*** (0.130 9)	2.209 8*** (0.096 7)
<i>AR(1)</i>	0.005 8	0.004 6
<i>AR(2)</i>	0.162 5	0.555 3
<i>Sargan</i>	0.582 2	0.958 7

注：*，**，***为 10%，5%，1% 水平显著，括号内为标准差

（三）稳健性检验

为了进一步验证环境规制对矿业绿色发展影响结果的准确性、可靠性，需要对以上结论进行稳健性分析。本文采用采矿许可证批准登记发证数的倒数作为环境规制的替换变量，带入到 *DIF-GMM* 和 *SYS-GMM* 之中，通过表 5 分析结果可知，无论是 *DIF-GMM*，还是 *SYS-GMM* 分析结果都显示，环境规制与矿业绿色发展的一次项在 1% 显著水平上呈现正相关关系，二次项在 1% 显著水平上呈现负相关关系，即环境规制与矿业绿色发展之间依然呈现“倒 U 型”关系，本次测算的结果与前文测算结果的基本一致，表明本文的研究结论具有良好的稳健性。

表 5 稳健性检验

变量	模型 3	模型 4
	<i>DIF-GMM</i>	<i>SYS-GMM</i>
<i>L. GTFP</i>	-0.251 1*** (0.012 8)	-0.196 3*** (0.013 1)
<i>ER</i>	0.298 7*** (0.078 7)	0.376 7*** (0.104 6)
<i>ER</i> ²	-0.041 5** (0.017 7)	-0.075 3*** (0.023 8)
<i>CY</i>	-0.250 1***	0.015 9

	(0.056 8)	(0.045 7)
<i>FAR</i>	-0.403 5***	-0.459 6***
	(0.056 4)	(0.106 8)
<i>EDU</i>	-0.109 2***	-0.053 6***
	(0.017 3)	(0.016 6)
<i>MAR</i>	0.037 6***	0.004 8
	(0.010 9)	(0.018 6)
<i>CONS</i>	2.696 9***	2.184 7***
	(0.140 1)	(0.111 5)
<i>AR(1)</i>	0.005 3	0.004 8
<i>AR(2)</i>	0.148 0	0.540 3
<i>Sargan</i>	0.566 6	0.964 9

注：*，**，***为 10%，5%，1%水平显著，括号内为标准差

（四）环境规制对矿业绿色发展影响传导效应分析

通过表 6 分析结果可知，（1）环境规制一次项与技术进步在 1%显著水平上呈现负相关关系，环境规制二次项与技术进步在 5%显著水平上呈现正相关关系，说明环境规制与技术进步呈现“U 型”关系，拐点值为 19.56。主要是因为技术进步主要源于技术创新，而技术创新具有研发周期长、成本较高、风险较大等特点，当环境规制强度低于 19.56 时，对矿业企业生产经营增加的成本要远低于企业进行技术创新的成本，此时环境规制不利于技术进步，抑制了矿业绿色发展。而当环境规制强度不断上升超过 19.56 时，企业生产经营增加的成本也不断提升，此时企业进行技术创新的意愿不断增强，促进矿业企业的技术进步，有助于提升矿业绿色发展水平。（2）环境规制一次项与技术效率在 1%显著水平上呈现正相关关系，环境规制二次项与技术效率在 1%显著水平上呈现负相关关系，说明环境规制与技术效率呈现“倒 U 型”关系，拐点值为 15.72。当环境规制强度低于 15.72 时，面对环境规制对矿业企业增加的成本时，特别是中小矿业企业更多采用强化管理水平，充分利用现有技术，提高资源使用效率，增加产出，减少对环境污染和破坏，降低由于环境规制导致增加的成本，进而实现矿业绿色发展。而当环境规制强度不断提升超过拐点值 15.72 时，一方面由于矿业企业通过扩大规模降低成本，如果矿业企业的管理没有随着企业规模同步提升，将会降低技术效率水平。另一方面，由于环境规制导致的矿业企业运行成本不断提升，减少用于培训等方面的支出，进而不利于技术效率水平的提升，抑制了矿业绿色发展。

表 6 环境规制对矿业绿色发展影响传导效应分析

变量	模型 4 <i>TC</i>	模型 5 <i>EC</i>
<i>L. TC</i>	-0.219 9*** (0.009 1)	
<i>L. EC</i>		-0.236 6*** (0.024 9)
<i>ER</i>	-0.031 3*** (0.010 7)	0.028 3*** (0.009 7)
<i>ER²</i>	0.000 8** (0.000 4)	-0.000 9*** (0.000 3)

<i>CY</i>	-0.407 5*** (0.073 7)	0.374 9*** (0.110 8)
<i>FAR</i>	-0.573 4*** (0.144 9)	0.377 7* (0.205 4)
<i>EDU</i>	0.241 5*** (0.025 7)	-0.364 3 (0.045 1)
<i>MAR</i>	-0.150 9*** (0.029 3)	0.136 9*** (0.024 5)
<i>CONS</i>	1.369 1*** (0.113 8)	2.786 6*** (0.235 1)
<i>AR(1)</i>	0.000 8	0.000 2
<i>AR(2)</i>	0.492 5	0.517 8
<i>Sargan</i>	0.900 1	0.954 4

注：*，**，***为 10%，5%，1%水平显著，括号内为标准差

（五）环境规制对矿业绿色发展影响的地区差异分析

由于我国幅员辽阔，地区之间差异明显，环境规制对矿业绿色发展可能会受到地区之间差异的影响。基于此，本部分主要验证环境规制对矿业绿色发展影响是否存在地区差异性。通过表 7 分析结果可知，（1）东南沿海地区环境规制一次项与矿业绿色发展水平呈现不显著的负相关关系，环境规制二次项与矿业绿色发展水平呈现不显著的正相关关系，拐点值为 12.23。说明东南沿海地区环境规制并没有对矿业绿色发展产生影响。主要原因是东南沿海矿产资源相对比较匮乏，并且原有大部分矿产资源接近枯竭，所以在东南沿海地区环境规制对矿业绿色发展影响不显著。（2）中西部内陆地区环境规制一次项与矿业绿色发展水平在 1%显著水平上呈现正相关关系，环境规制二次项与矿业绿色发展水平在 1%显著水平上呈现负相关关系，说明中西部地区环境规制与矿业绿色发展呈现倒“U”型关系，拐点值为 7.06。主要原因是中西部是我国的重要资源基地，矿产资源丰富。当环境规制强度低于 7.06 时，矿业企业通过强化科学管理，提升技术效率水平，提高生产要素的利用率，降低环境污染和破坏，进而促进矿业绿色发展。而随着环境规制强度超过 7.06 时，矿业企业的生产运营成本不断提升，技术创新面临较大风险等原因，加之很多中小矿业企业不具备技术研发的能力，难以化解由于环境规制强度提升增加的成本，进而不利于矿业绿色发展水平。

表 7 环境规制对矿业绿色发展的区域异质性分析

变量	模型 6	模型 7
	东南沿海地区	中西部内陆地区
<i>L. GTFP</i>	0.149 5 (0.217 7)	-0.401 3*** (0.116 2)
<i>ER</i>	-0.161 4 (0.210 5)	0.011 3*** (0.003 7)
<i>ER²</i>	0.013 2 (0.036 3)	-0.000 8*** (0.000 1)
<i>CY</i>	-1.768 1 (1.445 8)	0.300 8 (0.215 9)
<i>FAR</i>	0.282 5 (1.184 5)	-0.632 0** (0.282 9)

<i>EDU</i>	-0.808 8*	-0.047 5
	(0.429 5)	(0.030 7)
<i>MAR</i>	0.501 1	-0.007 9
	(0.324 6)	(0.024 7)
<i>CONS</i>	5.914 9***	2.358 5***
	(1.909 3)	(0.182 8)
<i>AR(1)</i>	0.000 0	0.056 9
<i>AR(2)</i>	0.308 8	0.152 7
<i>Sargan</i>	1.000 0	0.995 6

注：*，**，***为 10%，5%，1% 水平显著，括号内为标准差

六、结论与政策建议

（一）结论

为了更全面地了解环境规制对矿业绿色发展的影响效果，本文利用 2004-2016 年中国省级面板数据，实证检验了环境规制对矿业绿色发展的直接效应、传导效应以及异质性。研究发现：第一，环境规制对矿业绿色发展呈现先促进后抑制的“倒 U 型”关系。第二，环境规制主要通过技术进步和技术效率对矿业绿色发展产生影响。环境规制与技术进步之间呈现先抑制后促进的“U 型”关系；环境规制与技术效率之间呈现先促进后抑制的“倒 U 型”关系。第三，东南沿海地区环境规制对矿业绿色发展影响不显著，而中西部内陆地区环境规制与矿业绿色发展呈现先促进后抑制的“倒 U 型”关系。

（二）政策建议

根据以上研究，本文提出以下政策建议。

第一，完善环境规制体系，科学设定环境规制强度。不断丰富包括命令型和市场激励型在内的多种环境规制工具和手段，使矿业企业在开发利用过程中造成的环境污染和破坏成本内部化，强化矿业企业对环境的治理。同时，东部沿海地区由于经济发展条件好，拥有丰富的人力资本、技术研发能力强、资金充裕，可以适当提升环境规制强度，使环境规制的压力变成矿业企业绿色发展的动力，进而为中西部矿业企业绿色发展提供经验借鉴。而中西部内陆地区由于经济发展条件相对不足，可将环境规制控制在适度范围之内，从而引导矿业企业能够有序的进行绿色发展，防止过高的环境规制强度反而抑制了矿业绿色发展。

第二，强化科学管理，提升技术效率。根据企业发展需要引进高质量的人才，提升矿业企业员工的整体素质水平，为提升技术效率奠定基础。同时采用科学管理方式，不断进行矿业企业制度的改革与创新，激发员工工作过程中的积极性与主动性。强化人员的培训，提升员工的技术水平，充分利用现有设备潜能，不断提升矿业企业的技术效率水平，实现资源开发的经济效益、环境效益相统一。

第三，加强技术创新，推动技术进步。政府通过搭建产学研平台，加强高校、科技机构与矿业企业的合作，充分利用高校、科技机构的智库优势解决矿业企业在绿色发展过程中面临的困难，并通过财税政策或设立技术创新专项基金来支持和引导企业进行技术创新，促进技术进步。此外，也应鼓励技术先进的外商企业以及民营企业进入到矿业开采领域，强化市场竞争，增强市场活动，从而强化矿业企业进行创新的动力。

参考文献：

[1]寿嘉华.走绿色矿业之路——西部大开发矿产资源发展战略思考[J].中国地质,2000(12): 2-3.

- [2]刘建兴.绿色矿山的概念内涵及其系统构成研究[J].中国矿业,2014,23(2): 51-54.
- [3]李国政.绿色矿业: 内涵界定、模式探索与实现路径[J].矿产保护与利用,2018(6):1-8.
- [4]柳晓娟,侯华丽,孙映祥,周璞. 关于中国绿色矿业内涵与实现路径的思考[J]. 矿业研究与开发. 2021,41(10): 180-186.
- [5]AZAPAGIC A.Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry[J].J Clean Prod,2004,12(6):639-662.
- [6]黄敬军,倪嘉曾,赵永忠,等.绿色矿山创建标准及考评指标研究[J].中国矿业,2008, 17(7): 36-39.
- [7] KOPACZA M,KRYZIAA D,KRYZIAA K.Assessment of sustainable development Of hard coal mining industry in Poland with use of bootstrap sampling And copula-based Monte Carlo simulation[J].Journal of Cleaner Production,2017,159:359-373.
- [8]周灵.绿色矿业经济评价指标体系构建与实证[J].统计与决策. 2018,34(20): 68-70.
- [9]王永卿,王来峰, 邓洪星, 等. 湖北省绿色矿山建设影响因素及其效果分析[J]. 资源科学, 2019, 41(8): 1513-1525.
- [10]任思达,刘倩,李玫洁.中国矿业经济绿色发展评价研究[J]. 中国国土资源经济, 2019, 32(12): 66-72.
- [11]RAYMOND F MIKESELL.Viewpoint:Sustainable development and mineral resources[J].Resources Policy,1994,20(2):83-86.
- [12]王浦,周进生,王春芳,等.矿业城市低碳发展与绿色矿山建设[J].中国人口·资源与环境. 2014,24(S1): 16-18.
- [13]郭新华. 河南省加快发展绿色矿业的对策建议[J]. 中国矿业. 2016,25(01): 78-82
- [14]杨俊鹏,戴华阳,张建伟.新常态下我国绿色矿山建设面临的问题与解决途径[J].中国矿业,2017,26 (1): 67-71
- [15]张颖,黄碧华,成鹏飞. 大湘西地区矿业绿色发展水平及其动力因素研究[J]. 矿业研究与开发. 2020,40(04): 147-152
- [16]Zhou M, Govindan K, Xie X B, et al. How to drive green innovation in China's mining enterprises? Under the perspective of environmental legitimacy and green absorptive capacity[J]. Resources Policy, 2021, DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102038.
- [17]田浩,田朝辉. 金融助推绿色发展的湘西实践[J]. 中国金融. 2022,(06): 102.
- [18]COSTELLO C, GRANGER C. Property rights, regulatory capture and exploitation of natural resources[J]. NBER working paper No. 20859, 2015: 1 -30.
- [19] 朱岩.中国石油产业环境规制效果与生态保护路径[J].山东社会科学. 2017(5): 160-165.
- [20]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. 2018,28(11): 150-161.
- [21]王艳,于立宏. 采矿权安全性、政府规制与企业绿色技术创新[J].中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 96—107.
- [22]于立宏,金玉健. 中国采矿业绿色发展的动力特征与政策启示: 基于企业异质性视角[J]. 资源科学, 2022, 44(3):554-569.
- [23]高苇. 环境规制下我国绿色矿业发展研究[D].中国地质大学, 2018.
- [24]郭家堂,骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗? [J].管理世界,2016(10):34-49.
- [25]张红凤,张细松.环境规制理论研究 [M]. 北京:北京大学出版社, 2012.

- **Study on the influence and mechanism of environmental regulation on green development of mining industry**

Sun Yuyang

(School of Economics, Liaoning University, Shenyang 110036)

Abstract: The green development of mining industry is the necessary way to realize the effective development of mineral resources and ecological environment protection. Environmental Regulation is an important driving force and starting point to promote the green development of mining industry. Based on the provincial panel data from 2004 to 2016, this paper empirically tests the direct mechanism, transmission mechanism and regional heterogeneity of the impact of environmental regulation on mining green development by using dynamic panel model and systematic GMM estimation method. The results show that: ① There is an inverted "U" relationship between environmental regulation and green development of mining industry. ② Environmental regulation affects the level of green development of mining industry through technical efficiency and technological progress. There is an inverted "U" relationship between environmental regulation and technical efficiency, and a "U" relationship between environmental regulation and technological progress. ③ Environmental regulation in the southeast coastal areas has no impact on the green development of mining industry, while the relationship between environmental regulation and green development of mining industry in the central and western inland areas presents an inverted "U" shape. Therefore, the government should improve the environmental regulation system and set the intensity of environmental regulation according to local conditions; strengthen scientific management and improve technical efficiency; strengthen technological innovation and promote technological progress; so as to continuously improve the level of green development of mining industry.

Key words: environmental regulation; green total factor productivity; green development of mining industry