

治理机制对绿色技术创新的驱动作用

朱泽钢

(兰州财经大学会计学院,甘肃 兰州 730020)

摘要:为了促进高质量发展,针对绿色技术创新的治理机制正经历着从环境规制的约束性治理向市场导向的激励性治理拓展。应用误差修正模型考察了两类治理机制对绿色技术创新的驱动作用。结果表明:环境规制对绿色技术创新的影响存在长期均衡作用和短期波动作用,其中长期均衡作用表现为先抑制后促进的“U”型关系,短期波动作用表现为先促进后抑制的倒“U”型关系;市场导向激励机制对绿色技术创新具有正向积极作用,并且市场导向激励强度越大,绿色技术创新对环境规制的敏感性越弱。

关键词:环境规制;市场导向激励机制;绿色技术创新;误差修正模型

中图分类号:F063.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2022)12-0125-11

Driving effect of governance mechanism on green technology innovation

ZHU Zegang

(School of Accounting, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to promote high-quality development, the governance mechanism for green technology innovation is undergoing an expansion from restrictive governance of environmental regulations to market-oriented incentive governance. This essay adopts the error correction model to investigate the driving effect of environmental regulation and market-oriented incentive mechanism on green technology innovation. The results show that there are impacts of both long-term equilibrium and short-term fluctuation when it comes to the influence of environmental regulation on green technology innovation. The long-term equilibrium impact presents a first-inhibited-then-promoted "U"-shaped relationship while the short-term fluctuation impact, on the contrary, shows an inverted "U"-shaped relationship, suggesting a first-promoted-and-then-inhibited trend. The market-oriented incentives have a positive effect on green technology innovation. Furthermore, the higher the market-oriented incentive intensity is, the weaker the sensitivity of green technology innovation to environmental regulation will be.

Key words: environmental regulation; market-oriented incentives; green technology innovation; error correction model

经济发展和生态环境保护相互协调实现“双赢”是高质量发展的基本内涵,而绿色技术创新是实现经济发展和生态环境保护“双赢”的必要条件。从全球视野来看,绿色技术创新正成为全球新一轮工业革命和科技竞争的重要新兴领域。当

前,全球绿色技术创新呈现如下鲜明的动态:第一,主要发达国家和地区各自围绕绿色技术创新制定了一系列治理战略体系,如德国自2010年以来,制定了《第七次能源研究计划》(2018)、《国家氢能战略》(2020)等10余项战略规划;第二,从早

收稿日期:2022-07-15 修回日期:2022-12-05

基金项目:国家社会科学基金一般项目“西部地区破解经济发展不充分不平衡的动力机制与路径研究”(18BJJ085)。

作者简介:朱泽钢(1980—),男,湖南郴州人,兰州财经大学研究生院副院长、副教授,博士,研究方向为环境、社会责任与治理。

期侧重环境治理的技术创新,发展到当今注重以应对气候变化为目标而布局跨工业、交通、建筑、农业等领域的绿色技术创新体系^[1],其中清洁能源技术创新是主要发达国家竞争的焦点;第三,主要发达国家为了取得在气候变化全球治理的领导权而加强了绿色技术领域的排他性,以“规锁”新兴国家在绿色技术领域的迅速崛起;第四,主要发达国家将中国视为重要制度竞争对手,试图将各自国内治理制度嵌入到全球治理中;第五,新冠肺炎疫情对全球经济与环境造成巨大损失,世界各国普遍认识到绿色复苏是后疫情时代经济复苏的主题,因此主要发达国家试图掌握绿色经济的关键技术,竞相抢占科技制高点。在此背景下,我国要以发展绿色技术创新为突破口,摆脱主要发达国家基于绿色技术优势的“规锁”,并在气候变化全球治理制度竞争中取得应有的竞争地位。从国内视野来看,我国生态文明建设持续推进,“十四五”期间进入“碳达峰、碳中和”的战略发力阶段,对绿色技术创新提出更高的要求。

长期以来,生态环境保护依靠政府主导的环境规制这一治理机制来推动。环境规制对生态环境保护的治理作用主要通过两条路径实现(见图1):其一,促使企业减少高污染产品生产或者转移到环境规制宽松的国家或地区,但是这也意味着经济增长成为生态环境保护的代价。其二,促使企业开展绿色技术创新。环境规制是针对生态环

境保护的治理机制,然而由于经济发展和生态环境保护“双赢”离不开绿色技术创新,因此,在高质量发展目标下,环境规制已然成为驱动绿色技术创新的治理机制。另外,科技创新治理的目标是借助相关的规则与制度厘清创新主体之间的关系以促进科技创新,而环境规制作为以保护生态环境为目标的政府干预经济主体活动的规则、制度和行为,将生态环境保护的外部性成本转化为排污单位的内部成本,从而促使经济主体尤其是企业进行绿色技术创新。

然而,理论与实践显示环境规制对绿色技术创新的驱动作用并不理想。由于缺乏正向激励机制而只能过多依靠行政惩罚机制来促使企业进行绿色技术创新,导致规制成本大并且规制效果不优。生态环境保护成本内部化是环境规制的关键作用点,相应也成为制约环境规制作用的关键因素。也就是说,规制对象对生态环境保护成本压力的反馈性质决定了环境规制的作用。那么,环境规制对绿色技术创新的不同作用是否源于规制对象对生态环境保护成本压力的反馈性质在长期和短期存有不同?

为了驱动绿色技术创新以促进高质量发展,政府正经历着从单纯依靠政府力量的约束性治理向激励性治理转型,一个重要体现是我国着力构建市场导向绿色技术创新体系。新型举国体制已成为技术创新领域全面深化改革的主线。2022 年 9 月 6 日,中央全面深化改革委员会第二十七次会议指出:“健全关键核心技术攻关新型举国体制,要把政府、市场、社会有机结合起来,科学统筹、集中力量、优化机制、协同攻关。^[2]”在新时代背景下,构建市场导向技术创新体系是实现国家高质量发展战略的重要举措。市场导向技术创新体系包含一系列具体规则和制度,实质上是利用市场功能激励技术创新的治理机制。市场导向技术创新体系通过支持企业成为创新主体以激励技术创新,除此以外,还可以通过降低创新成本来缓解“遵循成本”的挤出效应以实现激励技术创新的目的。那么,市场导向的治理是否起到驱动绿色技术创新的作用? 在市场导向激励机制下,环境规

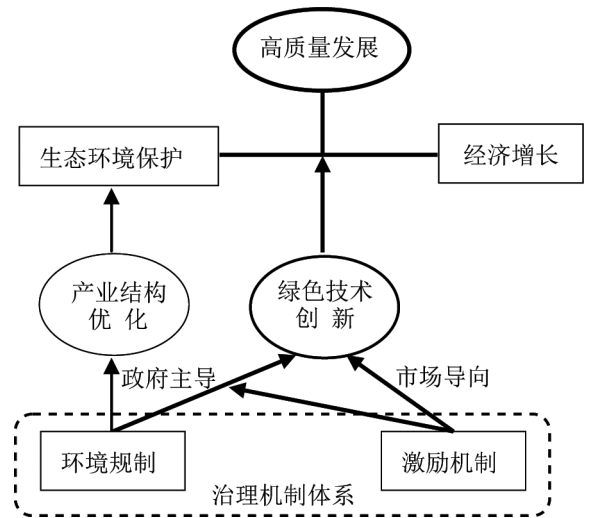


图1 生态环境视角下高质量发展目标的实现路径

制对绿色技术创新的作用如何?探索政府主导的环境规制与市场导向激励机制对绿色技术创新的驱动作用,能够从科技创新治理体系建设的角度为促进我国高质量发展提供参考。

一、文献综述

绿色技术创新兼具生态环境保护和技术创新两方面的“经济正外部性”特征,导致其内生发展动力不足。环境规制是克服生态环境保护“经济正外部性”的治理机制,科技创新体制改革的基本目的在于构建克服技术创新“经济正外部性”的有效治理机制。因此,相关文献重点围绕环境规制与科技创新体制改革等方面进行了大量研究。

关于环境规制对绿色技术创新的作用,现有研究形成3种不同的观点。其一,环境规制有利于促进绿色技术创新。针对日本丰田和日产的案例研究认为企业为了满足环境规制的要求,选择通过改进生产流程和创新产品获得新的市场机会,以抵消因遵守环境法规带来的额外成本^[3]。关于中国实施新《环境保护法》政策效果的研究发现,严格的环境规制对绿色创新行为具有正向影响^[4]。王娟茹等^[5]研究发现绿色技术创新意愿在环境规制与绿色技术创新行为之间的正向影响关系中发挥着中介效应。Peng等^[6]研究认为环境规制激发绿色技术创新意愿,进而促进绿色技术创新的投入和实现,并且控制型规制相比于激励型规制更能激发绿色技术创新意愿。

其二,环境规制会抑制绿色技术创新。Liu等^[7]针对中国27个制造业研究认为严格的环境规制对绿色工艺创新和绿色产品创新均具有抑制作用。郭进^[8]研究发现排污费等规制手段比环境处罚更为有效,严厉的行政处罚会阻碍绿色技术创新。牛美晨等^[9]针对重污染企业的研究发现排污费标准的提高总体上抑制了企业绿色技术创新。

其三,环境规制对绿色技术创新兼具促进与抑制的作用。沈能等^[10]研究认为环境规制强度与技术创新之间呈现先抑制后促进的“U”型关系。张娟等^[11]从微观层面证实了环境规制对绿色技术创新的“U”型影响关系。针对中国长江经济带的

研究发现环境规制与绿色技术创新水平之间呈现“U”型关系^[12],根据长三角地区数据研究认为环境规制与绿色技术创新水平之间存在倒“U”型的影响关系^[13]。Huang等^[14]研究发现命令控制型环境规制与企业绿色投资呈倒“U”型关系。李新安^[15]基于中国省际面板数据研究发现环境规制对绿色技术创新呈现倒“U”型关系。游达明等^[16]研究发现行业内前沿技术差距对环境规制强度与绿色技术创新之间倒“U”型关系具有负向调节效应。导致环境规制呈现不同作用表现的原因,一是在于环境规制的具体机制的作用机理存在差异,二是在于环境规制所处的制度环境存在差异。原毅军等^[17]研究认为环境规制效果不仅与环境规制强度密切相关,还受环境规制类型决定。郑石明^[18]研究指出环境政策具有区域异质性,排污费制度在经济相对落后的地区更有效,而公众环境信访制度在东部地区的规制效果更为明显。针对城市样本的研究发现环境规制对绿色技术创新具有激励作用,而城市创新能力的异质性影响了环境规制的激励作用^[19]。高霞等^[20]研究认为高强度环境规制与高研发投入、高市场需求以及政府补贴协同才能发挥对绿色技术创新的激励作用。

关于科技体制改革的研究主要从宏观体制与具体机制两个层面展开。其中,在宏观体制层面,雷小苗^[21]研究认为完善的科技创新治理体系是高效能创新体系的制度基础,科技创新的新型举国体制是发挥我国制度优势建设现代科技强国的战略保障。完善科技创新治理的新型举国体制要求通过政府力量和市场力量的协同,提高关键核心技术攻坚的效能^[22]。中国经济发展的方向必须在政治层次上决定,实现技术创新重大发展必须在利用市场机制的同时还需要采用举国体制^[23]。张成岗等^[24]研究认为在新型举国体制中,政府在充分尊重市场与科学组织运行逻辑的基础上对他们的核心功能进行补强。

在具体机制层面的研究中,市场导向机制的作用成为研究重点。中国依靠研发创新来改善环境保护与提升企业竞争力的“双赢”机制与西方国家不同,治理转型促进了环境规制对中国工业绿

色竞争力的作用^[25]。在市场经济体制的框架下,市场导向是政府对技术创新治理转型的重要方向。市场导向技术创新体系的基本制度内涵是借助市场机制来优化企业绿色技术创新要素配置,市场机制包括市场供求机制、市场竞争机制和市场价格机制^[26]。技术和市场双重不确定会激励企业提升主动应对和快速应对的能力,进而提高企业开展绿色技术创新的效率^[27]。市场导向机制将市场需求与预期收益转化为关系激励,增加主体合作深度与主体优势集成灵活度以实现创新效率的最大化^[28]。企业是应用和体现技术创新市场导向机制最为重要的主体。企业外部知识源对产品创新能力的影响关系受到市场导向的调节作用^[29]。彭华涛等^[30]研究发现传统企业二次创业的支持政策对创业绩效的影响关系受到市场导向的调节作用。Zhang^[31]研究认为市场化与环境规制共同作用有利于提升绿色生产率。相对于政策导向而言,市场导向更有利于促进企业渐进创新^[32]。庄芹芹等^[33]认为完善市场导向绿色技术创新机制需要强化企业的创新主体地位。王鹏等^[34]运用演化博弈模型研究认为在市场导向机制下政府干预会促进企业选择绿色技术创新策略。

综上所述,围绕环境规制如何影响绿色技术创新的研究说明了环境规制是驱动绿色技术创新的重要治理机制。市场导向是政府对技术创新治理转型的重要方向,必然对绿色技术创新具有驱动作用。环境规制内在特征是政府主导,而市场导向是通过发挥市场机制的作用以激励企业主动创新作为目的。因此,将环境规制和市场导向激励机制结合起来,探究它们对绿色技术创新的驱动作用,有助于我国完善针对绿色技术创新的治理体系。

二、理论分析与假设提出

(一) 环境规制对绿色技术创新的作用

绿色技术创新是降低生态环境保护成本的主要依赖。在环境规制的约束下,整个社会需要承担巨额成本以保护生态环境,为了实现效益最大化,无论是政府还是企业都希望借助绿色技术创新获得满足环境规制要求的低成本方案。企业开

展绿色技术创新受到两方面正“外部性”的制约,一是技术外溢给予竞争者的正外部性,二是生态环境保护给予社会的正外部性。环境规制作为一种政府约束性治理机制,将生态环境保护外部成本内化为企业成本,实际上使社会成本在企业之间进行分担,在一定程度上实现了公平的竞争环境,缓解了生态环境保护的正外部性。

然而,当环境规制强度较小时,企业并不一定采用绿色技术创新的应对策略。企业通常有两种减少污染的策略:一是降低产量以减少污染排放,二是通过应用减排技术以减少污染排放。并且,在减排技术的选择方面,企业也有 3 种可能选择:首先是不改变原有设备系统和技术水平而承受政府罚款、税费等,其次是在维持整体设备系统和技术水平不变的情况下改造一定的部件或流程以减少污染,最后是通过技术创新替换整个设备系统以提高控制污染排放的技术水平。当环境规制强度较小时,一方面,政府罚款和税费相对较少,因此,相对于高投入的设备更新和技术创新,缴纳罚款和税费对企业而言更为有利,企业会采用简单的管道末端处理技术或者二次处理技术以应对相对宽松的环境规制;另一方面,环境规制遵循成本增加了企业资源约束,企业的绿色技术创新投入将会降低。因此,在宽松环境规制的条件下,企业倾向于采取被动应对策略,而不是开展绿色技术创新的积极应对策略。

当环境规制强度增大到一定程度,环境规制遵循成本逐步增加,且既定技术水平将无法达到严格的生态环境保护要求。因此,高强度环境规制促使企业转换应对策略,即放弃无利可图的被动应对策略,改为实施重新设计产品构成和生产流程等根本性、复杂的绿色技术创新策略。基于以上分析,考虑到环境规制对绿色技术创新促进作用和抑制作用的特性,本文提出研究假设 H1:环境规制对绿色技术创新的基本作用关系呈“U”型关系,即绿色技术创新水平随着环境规制强度增大而先下降后上升。

环境规制强度增大对绿色技术创新的影响是一个冲击过程。当受到冲击时,企业的绿色技术

创新行为在长期和短期会呈现不同特征。上文分析了环境规制对绿色技术创新的基本关系,实际上是绿色技术创新行为对环境规制冲击的一种长期反应并实现均衡的过程。均衡实现源于对短期边际影响关系的修正。在受到环境规制强度增大的冲击时,绿色技术创新行为会产生边际变动,这是一种短期波动的边际影响关系。企业受到短期环境规制增强的冲击但强度较弱时,在现有资源条件能力下容易承担和支付环境规制遵循成本,这意味着环境规制的遵循成本效应不明显,此时,环境规制更为可能产生对绿色技术创新的驱动作用。当环境规制较大程度增强时,企业难以利用既定资源和能力予以负担。而且,环境保护相关的事项会越来越多,比如污染有关的诉讼、产品绿色认证、绿色金融程序等事项将越来越重要,进一步增加环境规制的遵循成本效应。由此可见,遵循成本对绿色技术创新的抑制作用成为主导,不但抵消环境规制对绿色技术创新的积极作用,还会产生对绿色技术创新产生净的抑制作用。基于以上分析,本文提出研究假设 H2:环境规制与绿色技术创新短期波动的作用关系呈倒“U”型关系,即绿色技术创新水平的边际变动会随着环境规制强度的边际波动而先上升后下降。

(二) 市场导向激励机制对绿色技术创新的驱动作用

环境规制遵循成本导致企业承受成本压力,企业由此产生不履行生态环境保护的机会主义行为。为了限制企业机会主义行为,政府需要付出大量环境规制实施成本,导致政府也承受成本压力,进而减弱了政府对企业的规制效率导致“规制失灵”。单靠约束性的环境规制不能从根本上驱动企业进行绿色技术创新。构建市场导向技术创新体系可以缓解企业绿色技术创新的成本压力,在“创新补偿”效应作用的逻辑下增强了对企业开展绿色技术创新的激励性。并且,市场导向技术创新体系能够支持企业成为创新主体而激励企业发现和创造创新机会,进而促进企业通过绿色技术创新实现高质量发展。由此可见,市场导向技术创新体系的制度实质是对技术创新进行治理的

一系列激励机制。

长期以来,我国形成了以政府部门为中心的科技创新体系,并且,在渐进式技术创新市场化改革进程中,还存在诸如市场发育不全、市场分割、交易成本过大、要素资源配置效率低下等难题,导致市场的激励机制不能很好发挥作用,严重限制了企业绿色技术创新能力的发展。2012 年以后,以市场改革促进创新的理念和举措被广泛采纳和实施,我国科技体制改革的范围进一步扩展到激励创新动力的市场改革领域^[35]。构建市场导向技术创新体系是深化我国科技体制改革的重要内容,主要具有以下特征:首先,市场导向技术创新体系包含了一系列与市场机制相关的法律、组织、社会和制度的变革;其次,市场导向技术创新体系的核心内容是发挥价格机制、竞争机制和供求机制的作用,以提升创新资源配置效率;最后,市场导向技术创新体系是企业、科研机构、政府部门、中介机构、金融机构等构成的市场交易系统,其中企业处于中心地位。

市场导向技术创新体系有利于提升企业绿色技术创新能力,主要体现在以下方面:①企业成为配置创新要素的核心载体,企业家精神在绿色技术创新中发挥重要推动作用;②产品市场、资本市场、要素市场等成为引导创新要素流动的关键力量,金融资本、商业模式等市场要素助推创新资源在全球范围内快速流动和配置^[36];③知识产权制度有利于抑制技术溢出的正外部性对企业创新造成的负面作用,从根本上保证市场机制对技术创新资源的配置效率;④科研机构向市场化和企业化转型,使得企业与科研机构的市场化契约更有激励效应,产学研合作的效率随之更高;⑤技术交易平台和技术市场有利于技术开发、技术转让、集成化服务等技术交易,技术交易成本不断降低。

除了在供给侧发挥激励作用之外,市场导向技术创新体系还在需求侧发挥激励作用。为了塑造长期“动态能力”和赢得持续竞争优势,企业积极开展绿色技术创新^[37]。在市场导向诱致和保障下,企业会追踪和利用具有市场价值的创新机会,形成依靠创新获取市场收益,市场收益诱致创新

投入的良性循环。基于以上分析,本文提出研究假设 H3:市场导向激励机制对绿色技术创新具有积极作用。

严格且有效的环境规制能够引发企业开展技术创新并抵消环境规制造成的额外成本,进而提升企业竞争力,即实现创新补偿效应。创新补偿效应自提出之时就遇到一个不可回避的质疑:作为追求利润最大化的企业应该会在环境规制之前就实施那些能增加盈利的创新。企业是否实施创新根本上在于发现和创造创新机会的能力。当这种能力较强时,企业会积极主动开展绿色技术创新,而对环境规制作用的敏感性降低,反过来看,环境规制的作用被替代。根据前文分析,市场导向激励机制利于提升绿色技术创新能力和意愿,这意味着,在此制度背景下环境规制对绿色技术创新的作用关系失去了前置条件,其作用可能被替代。

环境规制作用被替代的具体原因在于市场导向激励机制替代了环境规制的作用。一方面,作为创新主体的企业为了获取技术创新机会和相关利益,将主动改善内部治理结构和提升组织效率;并且,在市场导向激励机制的作用下,无论是市场参与者之间,还是企业内部管理者和投资者之间关于绿色技术创新的信息不对称程度得到缓解,因此,环境规制通过激励企业组织变革和缓解信息不对称,进而驱动绿色技术创新的作用被替代。另一方面,市场导向激励机制有利于通过提高创新资源配置效率降低创新成本,进而缓解环境规制遵循成本对技术创新资源投入的挤占,这个过程弱化了环境规制抑制绿色技术创新的遵循成本效应。基于上述分析,本文提出研究假设 H4:市场导向激励机制对环境规制与绿色技术创新之间的作用关系具有替代效应。

三、研究设计

(一)样本来源与数据来源

本文选取 2005—2019 年中国 30 个省级面板数据(港澳台未纳入分析,西藏数据缺失较多,也未纳入分析)进行实证研究。根据《中华人民共和国专利法》规定,专利申请后可以根据申请人的请

求早日公布,如没有申请则自申请日满 18 个月后即行公布。本文为了专利数据准确,故使用截至 2019 年数据。环境规制强度指标的相关数据来源于《中国统计年鉴》;市场导向激励强度指标的相关数据来源于《中国科技统计年鉴》;绿色专利数据来源于国家知识产权专利数据库,对各省份专利数据使用 WIPO 的国际专利分类绿色清单匹配获取数据。

(二)变量定义与构造

1. 被解释变量

绿色技术创新的测度指标需要考虑 3 个层面的问题。首先,关于绿色技术创新的研究主要关注两个角度:创新水平和创新效率。创新水平是结果变量,创新效率是过程变量,本文选取绿色技术创新水平作为被解释变量。其次,对绿色技术创新水平的测度主要有两种方法:一是采用绿色技术专利数据进行测度^[38],二是通过绿色工艺和绿色产品产出来测度^[5,39]。由于专利数据具有统计程序规范、统计结果可靠、统计数据直观等特点,因此本文采用绿色专利数据来测度绿色技术创新水平。最后,专利统计数据包含专利申请量和专利授权量。由于从专利申请到专利授权需要间隔较长时间,考虑到数据及时性,本文利用绿色发明专利申请量作为分析指标。

2. 核心解释变量

本文设定的核心解释变量为环境规制强度和市场导向激励强度。制度和机制一般以法规、政策、合同等文件形式,以及习惯、信念等虚拟形式存在,难以对其强度进行直接测度;然而,制度和机制都是以一定的主体行为后果或资源配置后果为目标。按照这个逻辑,相关研究通常使用制度和机制对应的主体行为后果变量或资源配置后果变量来间接表征制度和机制的强度。

(1)环境规制强度

环境规制代表以生态环境保护为目标的一系列规则和制度体系。叶琴等^[40]采用各省区废水、二氧化硫和烟尘等 3 项主要污染物排放量的负向指标作为环境规制强度的测度指标,本文也使用该方法,并应用熵值法对多指标进行综合测度。

(2) 市场导向激励强度

市场导向改革的核心目的是推动企业成为创新主体,强化企业在技术创新决策、投入、组织实施和成果转化的主体地位^[41]。因此,可以认为企业主体地位就是市场导向激励的行为后果变量,鉴于以上分析,本文具体使用企业主体地位来表征市场导向激励强度,即采用企业研发内部支出占研发内部支出总量的比重来衡量市场导向激励强度。

3. 控制变量

本文在数据分析中控制区域创新水平、产业结构、生态发展水平、外商投资水平等因素。相关研究变量的具体情况如表 1。

表 1 变量定义与测度

变量类型	变量符号	变量定义	测度方法
被解释变量	<i>GTI</i>	绿色技术创新水平	绿色发明专利申请数/发明专利申请数
核心解释变量	<i>ER</i>	环境规制强度	废水、二氧化硫和烟尘排放程度的负向指标(应用熵值法进行综合测度)
	<i>MAR</i>	市场导向激励强度	企业研发内部支出/研发内部支出总量
控制变量	<i>IND</i>	产业结构	工业产值占 GDP 比重
	<i>ECO</i>	生态发展水平	各省区森林覆盖率
	<i>RES</i>	创新水平	有效专利申请数/研发内部支出
	<i>OPE</i>	外商投资水平	各省区实际利用外资的对数

(三) 实证模型构建

误差修正模型可以避免非平稳数据引发的伪回归,并且能够同时估计相关变量之间存在的长期均衡关系和短期波动关系的参数。为了检验前文假设 H1 和假设 H2,结合自回归分布滞后方法 (autoregressive distributed lagged, ARDL),构建误差修正模型如下:

$$\Delta GTI_{it} = (\gamma_0 + \gamma_1 GTI_{it-1} + \gamma_2 ER_{it-1} + \gamma_3 ER_{it-1}^2 + \gamma_4 X_{it-1}) + \varphi_1 \Delta GTI_{it-1} + \varphi_2 \Delta ER_{it-1} + \varphi_3 ER_{it-1}^2 + \varphi_4 \Delta X_{it-1} + \mu_{it} \quad (1)$$

根据 $\gamma_0 + \gamma_1 GTI_{it-1} + \gamma_2 ER_{it-1} + \gamma_3 ER_{it-1}^2 + \gamma_4 X_{it-1} = 0$ 可以判断长期均衡关系模型形式; γ_1 为误差修正系数; $\varphi_1 - \varphi_4$ 为短期波动弹性系数。 ER_{it}^2 为环境规制强度变量的平方项, X_{it} 为引入模型中控制变量组成的向量。

为了检验假设 H3 和假设 H4,即市场导向激

励强度对绿色技术创新的作用关系,以及在环境规制对绿色技术创新作用关系中的调节效应,构建如下模型。

$$\Delta GTI_{it} = (\beta_0 + \beta_1 GTI_{it-1} + \beta_2 ER_{it-1} + \beta_3 ER_{it-1}^2 + \beta_4 MAR_{it-1} \times ER_{it-1} + \beta_5 MAR_{it-1} \times ER_{it-1}^2 + \beta_6 X_{it-1}) + \theta_1 \Delta GTI_{it-1} + \theta_2 \Delta ER_{it-1} + \theta_3 \Delta ER_{it-1}^2 + \theta_4 \Delta (MAR_{it-1} \times ER_{it-1}) + \theta_5 \Delta (MAR_{it-1} \times ER_{it-1}^2) + \theta_6 \Delta X_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

根据 $\beta_0 + \beta_1 GTI_{it-1} + \beta_2 ER_{it-1} + \beta_3 ER_{it-1}^2 + \beta_4 MAR_{it-1} \times ER_{it-1} + \beta_5 MAR_{it-1} \times ER_{it-1}^2 + \beta_6 X_{it-1} = 0$ 可以判断长期均衡关系模型形式; $\theta_1 - \theta_5$ 为短期波动弹性系数; β_1 为误差修正系数。

本文为了更清晰地考察核心变量的解释作用,采用层级式多元回归方法 (Hierarchical Regression Model),即逐步加入控制变量、核心变量和核心变量交互项的层级回归模型。

五、实证结果分析

(一) 描述性统计与单变量分析

表 2 是模型中变量描述性统计的结果,研究样本中绿色技术创新水平、市场导向激励强度、环境规制强度等变量差异度较大,说明样本具有良好的区分度。对比绿色技术创新水平和市场导向激励强度的极值和均值,显示此两项指标的均值偏小,说明我国各省区在这两个方面的发展水平普遍较低,这个数据分析结果基本符合我国绿色技术创新发展现状;对比环境规制强度的极值和均值,显示均值偏大,说明我国各省区普遍重视生态环境保护,也符合我国的基本情况。上述描述性统计分析结果说明本文使用的测度指标合理。

表 2 变量描述性统计

变量	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>GTI</i>	450	0.039	0.017	0.01	0.117
<i>ER</i>	450	1.813	0.149	1.245	1.997
<i>MAR</i>	450	0.639	0.169	0.109	0.905
<i>IND</i>	450	0.462	0.082	0.186	0.615
<i>ECO</i>	450	0.304	0.177	0.294	0.668
<i>ERS</i>	450	1.617	0.748	0.385	5.031
<i>OPE</i>	450	12.343	1.937	0	15.091

(二) 回归分析与假设检验结果

为了避免“伪回归”,采用 LLC、Fisher-ADF 方法对变量进行平稳性检验。原变量和一阶差分

变量检验结果如表 3,结果显示没有原变量达到显著性水平为 5% 的平稳性,而所有一阶差分变量均达到显著性水平为 5% 的平稳性。运用 KAO 和 PEDRONI 方法对 *GTI* 关于 *ER* 一次项、*ER* 二次项、*MAR* 的协整关系进行检验,结果显示各种方法下的统计量均在 1% 的显著性下拒绝原假设,说明 *GTI* 与各个变量之间具有协整关系,也意味着可以对上述变量构建面板误差修正模型进行分析。经 Hausman 检验采用固定效应模型进行分析。

表 3 单位根检验

变量	LLC	Fisher - ADF	变量	LLC	Fisher - ADF
<i>GTI</i>	-2.6 (0.024)	74.5 (0.097)	ΔGTI	-9.3 (0.000)	227.9 (0.000)
<i>ER</i>	0.72 (0.764)	49.4 (0.833)	ΔER	-4.3 (0.000)	137.3 (0.000)
<i>MAR</i>	-1.96 (0.025)	58.7 (0.522)	ΔMAR	-21.6 (0.000)	219.3 (0.000)
<i>IND</i>	-3.26 (0.001)	55 (0.657)	ΔIND	-3.2 (0.000)	116.8 (0.000)
<i>ECO</i>	-0.76 (0.224)	19.3 (0.000)	ΔECO	-4.3 (0.000)	131.8 (0.000)
<i>ERS</i>	-3.67 (0.000)	70.7 (0.163)	ΔERS	-6.7 (0.000)	130.3 (0.000)
<i>OPE</i>	-0.96 (0.169)	85.1 (0.000)	ΔOPE	-8.9 (0.000)	302.2 (0.000)

注:括号内的数据为该统计量的伴随概率。

表 4 是环境规制强度与绿色技术创新水平关系的层级回归结果。模型 1 是只包含控制变量的回归结果。模型 2 是加入环境规制强度一次项的回归结果,其长期均衡影响系数和短期波动影响系数都为正数,但均未通过具有统计意义的显著性检验,说明环境规制强度对绿色技术创新的线性影响关系不成立。

模型 3 是引入环境规制强度一次项和二次项的回归结果。长期均衡影响关系的回归结果显示,环境规制强度一次项的回归系数为负数(-23.3),其二次项回归系数为正数(7.35),二者分别通过了 10% 和 5% 水平的显著性检验,意味着从长期来看,环境规制对绿色技术创新具有“U”型关系,当环境规制强度处于较低水平时,环境规制对绿色技术创新的负向作用起主导;当环境规制强度达到一定水平后,其对绿色技术创新的正向作用变为主导,假设 H1 得到实证支持。短期波动影响关系模型的回归结果显示,环境规制强度一次项的回归系数为正数(26.4),通过水平为 10% 的显著性检验,其二次项的回归系数为负数(-7.45),通过水

平为 10% 的显著性检验,意味着从短期波动来看,环境规制强度对绿色技术创新水平之间呈现倒“U”型关系,当环境规制强度相对上期的边际变动较小时,正向作用起主导作用,当边际变动较大时,负向作用将成为主导,假设 H2 得到实证支持。结合假设 H1 和假设 H2 及其二者的检验结果来看,误差修正系数为 -0.403 且通过水平为 1% 的显著性检验,说明绿色技术创新对环境规制强度的边际变动在长期可以得到修正,如果边际变动反应过度,那么在下一期其反应程度会降低,如果边际变动反应不足,那么在下一期其反应程度会提高,从而总体保持一种长期均衡关系。

表 4 环境规制与绿色技术创新关系的层级回归结果

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	长期均衡	短期波动	长期均衡	短期波动	长期均衡	短期波动
<i>IND</i> / ΔIND	-0.67 (-0.68)	-1.7 (-0.89)	-1.74 (-1.45)	-2.43 (-1.2)	-2.27* (-1.85)	-1.27 (-0.63)
<i>ECO</i> / ΔECO	0.057* (3.29)	-0.1*** (-4.09)	0.048*** (2.67)	-0.103*** (-3.98)	0.047*** (2.63)	-0.084*** (-3.29)
<i>RES</i> / ΔRES	0.079 (-0.93)	0.11 (0.85)	-0.9 (-1.11)	0.138 (1.06)	0.105 (-1.22)	-0.388 (-1.39)
<i>OPE</i> / ΔOPE	-0.021 (0.3)	0.13*** (2.19)	0.037 (0.52)	0.12*** (1.9)	0.02 (0.28)	0.13*** (2.12)
<i>ER</i> / ΔER			1.176 (1.28)	1.78 (1.46)	-23.3* (-1.91)	26.4* (1.94)
$ER^2/\Delta ER^2$					7.35*** (1.85)	-7.45* (-1.82)
误差修正系数	-0.389*** (-8.18)		-0.4*** (-8.21)		-0.403*** (-8.35)	
调整拟合优度	0.22		0.23		0.24	
F	1.78***		1.73***		1.77***	

注:***、**、* 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$ 时有统计学意义,括号内为 t 值。

表 5 是引入市场导向激励强度变量的回归结果。模型 4 是在模型 3 的基础上加入市场导向激励强度变量。长期均衡影响关系的回归结果显示,市场导向激励强度的回归系数为正数(1.17),通过了水平为 5% 的显著性检验,意味着市场导向激励强度对绿色技术创新有正向影响。短期波动影响关系的回归结果显示,市场导向激励强度的回归系数不具有统计意义的显著性,即市场导向激励强度相对上一年的边际波动对绿色技术创新的边际变动没有显著影响。两个分析结果共同说明市场导向激励强度对绿色技术创新的影响主要来源于市场导向激励的整体水平,而其边际变动的影响较小。由于长期均衡影响关系是长期稳定的基本作用关系,所以,假设 H3 得到实证支持。

模型 5 是在模型 4 的基础上加入市场导向激励强度作为调节变量的回归结果。长期均衡影响关系的回归结果显示,市场导向激励强度与环境

规制强度一次项的交乘项回归系数为正数(127.6),通过水平为10%的显著性检验,市场导向激励强度与环境规制强度二次项的交乘项回归系数为负数(-37.4),通过水平为10%的显著性检验。对比环境规制强度与绿色技术创新水平的长期均衡的“U”型关系(模型3),市场导向激励弱化环境规制变量的影响,产生了替代作用。短期波动影响关系的回归结果显示,市场导向激励强度与环境规制强度一次项、二次项的交乘项回归系数都没有通过具有统计意义的显著性检验,说明市场导向激励强度的短期波动不能明显地替代环境规制的作用。总之,因为市场导向激励强度在长期均衡中对环境规制强度具有替代作用,假设4得到实证支持。结合假设H3和假设H4及其二者的检验结果,市场导向激励机制有利于促进绿色技术创新,并且能够替代环境规制对绿色技术创新的作用,说明相对于环境规制的治理作用,市场导向激励机制能够发挥更为基本的作用。

表5 市场导向变量调节效应的层级回归结果

变量	模型4		模型5	
	长期均衡	短期波动	长期均衡	短期波动
IND/ Δ IND	-2.48 *** (-2)	-1.03 (-0.5)	-2.82 *** (-2.23)	-1.56 (-0.79)
ECO/ Δ ECO	0.038 *** (2.05)	-0.096 *** (-3.72)	0.038 *** (2.04)	-0.07 *** (-2.96)
RES/ Δ RES	-0.09 (-1.09)	0.12 (0.93)	-0.1 (-1.14)	-0.45 (-1.63)
OPE/ Δ OPE	-0.005 (-0.07)	0.12 *** (2.04)	-0.07 (-0.1)	0.12 * (1.92)
ER/ Δ ER	-22.3 * (-1.82)	24.1 * (1.76)	-106 *** (-1.98)	86.7 (1.39)
ER ² / Δ ER ²	7.08 * (1.94)	-6.8 * (-1.66)	31.6 *** (2.06)	-24.4 (-1.35)
MAR/ Δ MAR	1.17 *** (1.77)	-0.47 (-0.71)	-106.4 (-1.59)	74.5 (1.04)
ER $\times$ MAR/ Δ (ER $\times$ MAR)			127.6 * (1.66)	-84.9 (-1.02)
ER ² $\times$ MAR/ Δ (ER ² $\times$ MAR)			-37.4 * (-1.7)	23.9 (0.99)
误差修正系数	-0.412 *** (-8.45)		-0.409 *** (-8.23)	
调整拟合优度	0.25		0.26	
F	1.84 ***		1.75 ***	

注:***、**、*分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$ 时有统计学意义,括号内为 t 值。

(三)稳健性检验

第一,内生性分析。前文模型构建本来采用固定效应模型,能在一定程度上控制因遗漏变量导致的内生性问题。本文研究环境规制与绿色技术创新之间的关系,其中,环境规制与绿色技术创

新之间可能存在双向因果的内生性问题,主要体现在环境规制能够对绿色技术创新产生驱动作用,而绿色技术创新能力提升可以为实施环境规制提供条件,降低环境规制实施成本,从而促进环境规制增强。为了进一步控制双向因果关系对研究结论的干扰,采用环境规制滞后一期变量作为工具变量进行稳健性检验。工具变量回归结果与原变量基准回归结果保持一致,说明本文的基准回归结果具有稳健性。第二,剔除部分样本。污染忍受程度影响环境规制的行为动机,在污染忍受程度较弱的区域,利用环境规制减少污染的行为动机更加强烈,因此,针对污染忍受程度较弱的区域,利用污染程度的负向指标作为环境规制强度的测度指标则更为准确。反而,一些区域由于人口密度小或者风力作用强,更能忍受污染,环境规制的测度指标的准确性可能受到较大干扰。为了得到更为稳健的结果,本文从样本中剔除新疆、内蒙古、青海和海南等4个省区进行实证检验,所得检验结论与上文基准检验的结论基本一致,说明在环境规制测度指标更为准确的样本中,上文的基准检验结论得到佐证。第三,替换变量。为了减少不同测量方法产生的误差对检验结论造成影响,使用企业科技人员占所在区域全部科技人员比重和企业研发支出占所在区域全部研发支出比重的综合测度指标,表征市场导向激励强度并进行实证检验,所得结论与上文基准检验结论基本一致,说明上文基准检验中关于市场导向激励强度的测度指标具有合理性,且对应的检验结论具有稳健性。

六、总结与启示

(一)总结

(1)环境规制对绿色技术创新的作用存在长期均衡作用和短期波动作用,其中,长期均衡作用关系表现为先抑制后促进的“U”型关系,短期波动的作用关系表现为先促进后抑制的倒“U”型关系。环境规制对绿色技术创新的促进作用是其基本作用力,但在一定条件下也会产生抑制作用,其关键原因在于遵循成本。在长期,当环境规制强度较弱时企业所承受的遵循成本压力较小,其作用力不足于促使企业采取技术创新策略,在此条件下抑制作用成为主导;当环境规制强度增大,企业为了规避遵循成本而实施技术创新策略,在此条件

下促进作用成为主导。在短期,当环境规制强度变动较大致使遵循成本压力突增,受资源配置调整的限制,企业绿色技术创新因此受到抑制。

(2)市场导向激励机制对绿色技术创新具有正向积极作用,并且,市场导向激励机制对环境规制的治理作用具有替代效应,即市场导向激励强度越大,绿色技术创新对环境规制的敏感性越弱。市场导向激励机制降低了绿色技术创新的制度成本,提高了企业实施绿色技术创新策略的能力,从而弱化了环境规制对绿色技术创新的作用。本文的研究发现实际上在理论层面综合了环境规制对绿色技术创新的“U”型关系和倒“U”型关系这两种学术观点,并在实践层面进一步揭示了环境规制政策实施效果如何的关键在于企业所承受的遵循成本压力,通过构建市场导向机制以缓解绿色技术创新的制度成本,是规避环境规制政策对绿色技术创新抑制作用的根本性解决方案。

(二)启示

(1)提高政府对企业行为的治理能力和效率是促进高质量发展的基本路径。通过构建市场导向绿色技术创新体系以完善对企业绿色技术创新的激励机制,能够从补齐激励性治理机制短板方面提高政府对企业绿色技术创新行为的治理能力,进而促进生态环境保护和经济增长“双赢”的高质量发展。

(2)针对具体绿色技术协调好市场导向激励与强制性治理的关系。绿色装备技术、既有污染治理技术、产业核心绿色技术、供应链前端绿色技术、低市场竞争力技术等具有市场价值较低、创新成本较大和经济外部性较大等特点,所以对这些技术创新宜多采用强制性治理以驱动创新;对于绿色加工技术、清洁生产技术、产业辅助绿色技术、供应链后端绿色技术和高市场竞争力绿色技术,可以多发挥市场导向激励机制的作用以促进创新。

(3)强化企业创新主体地位,以市场导向激励机制支持企业在绿色低碳发展中先立后破,持续推进清洁能源技术、数字技术与能源深度融合等关键核心技术攻关。

(4)实施环境规制要注重处理好长期作用和短期作用的关系。在实施环境规制时要保持政策

的持续性和稳定性;实施严格的环境规制政策的过程中,可以配合使用政府补助等缓解企业成本的政策,以帮助企业越过环境规制对绿色技术创新的抑制作用阶段,过渡到正向作用阶段。

(5)处理好政府主导与企业主动作为的关系是实施环境规制政策的根本。通过构建市场导向激励机制可以降低对环境规制的依赖程度,进而全社会的整体治理机制的实施成本可以得到降低。更深层次来看,在有为政府和有效市场相互协同的条件下,联合发挥环境规制的强制性作用和市场导向的激励性作用才能更为有效地推动绿色技术创新发展。

(6)缓解环境规制的遵循成本和技术创新制度成本是激励绿色技术创新的关键。一方面,配合使用命令控制型和市场激励型治理机制以降低环境规制遵循成本;另一方面,通过深化产学研用合作机制、促进绿色金融与科技金融融合发展等措施,以缓解绿色技术创新的制度成本压力。

参考文献:

- [1]秦阿宁,孙玉玲,王燕鹏,等.碳中和背景下的国际绿色技术发展态势分析[J].世界科技研究与发展,2021,43(4):385-402.
- [2]共产党员网.习近平主持召开中央全面深化改革委员会第二十七次会议强调 健全关键核心技术攻关新型举国体制 全面加强资源节约工作[EB/OL].(2022-09-06)[2022-10-23].<https://www.12371.cn/2022/09/06/ARTI1662469446420255.shtml>.
- [3]DEBNATH S C. Environmental regulations become restriction or a cause for innovation — a case study of Toyota Prius and Nissan Leaf [J]. Procedia-social and behavioral sciences, 2015(195):324-333.
- [4]LIU Yuyu, WANG Aiguo, WU Yuqing. Environmental regulation and green innovation: evidence from China's new environmental protection law [J]. Journal of cleaner production, 2021(297):126698.
- [5]王娟茹,张渝.环境规制、绿色技术创新意愿与绿色技术创新行为[J].科学学研究,2018,36(2):352-360.
- [6]PENG Hui, SHEN Neng, YING Huanqin, et al. Can environmental regulation directly promote green innovation behavior? — based on situation of industrial agglomeration [J]. Journal of cleaner production, 2021(314):128044.
- [7]LIU Jingjing, ZHAO Ming. Does environmental regulation promote green technology innovation in Chinese manufacturing? [J]. Open access library journal, 2020, 7(7):1-16.

- [8]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, 40(3): 147-160.
- [9]牛美晨, 刘晔. 提高排污费能促进企业创新吗? ——兼论对我国环保税开征的启示[J]. 统计研究, 2021, 38(7): 87-99.
- [10]沈能, 刘凤朝. 高强度的环境规制真能促进技术创新吗? ——基于“波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, 2012(4): 49-59.
- [11]张娟, 耿弘, 徐功文, 等. 环境规制对绿色技术创新的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 168-176.
- [12]HUANG Linya, YANG Xite. The effects of environmental regulations on green technology innovation [J]. Journal of social science and humanities, 2020, 2(6): 28-32.
- [13]ZHOU Qian, SONG Yanan, WAN Ningna, et al. Non-linear effects of environmental regulation and innovation—spatial interaction evidence from the Yangtze River Delta in China [J]. Environmental science & policy, 2020 (114): 263-274.
- [14]HUANG Lingyun, LEI Zhoujun. How environmental regulation affect corporate green investment: evidence from China [J]. Journal of cleaner production, 2021(279): 123560.
- [15]李新安. 环境规制、政府补贴与区域绿色技术创新[J]. 经济经纬, 2021(3): 14-23.
- [16]游达明, 李琳娜. 环境规制强度、前沿技术差距与企业绿色技术创新[J]. 软科学, 2022, 36(8): 108-114.
- [17]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): 144-154.
- [18]郑石明. 环境政策何以影响环境质量? ——基于省级面板数据的证据[J]. 中国软科学, 2019(2): 49-61.
- [19]欧阳晓灵, 张骏豪, 杜刚. 环境规制与城市绿色技术创新: 影响机制与空间效应[J/OL]. 中国管理科学. 1-12 [2022-12-22]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0642>.
- [20]高霞, 贺至晗, 张福元. 政府补贴、环境规制如何提升区域绿色技术创新水平? ——基于组态视角的联动效应研究[J]. 研究与发展管理, 2022(6): 162-172.
- [21]雷小苗. 社会主义市场经济条件下科技创新的新型举国体制研究[J]. 经济学家, 2021(12): 14-21.
- [22]蔡跃洲. 中国共产党领导的科技创新治理及其数字化转型——数据驱动的新型举国体制构建完善视角[J]. 管理世界, 2020(8): 30-45.
- [23]路风, 何鹏宇. 举国体制与重大突破——以特殊机构执行和完成重大任务的历史经验及启示[J]. 管理世界, 2021(7): 1-18.
- [24]张成岗, 王宇航. 后常规科学视域下的新型举国体制与科技治理现代化[J]. 云南社会科学, 2022(4): 28-36.
- [25]杜龙政, 赵云辉, 陶克涛, 等. 环境规制、治理转型对绿色竞争力提升的复合效应——基于中国工业的经验证据[J]. 经济研究, 2019, 54(10): 106-120.
- [26]汪明月, 李颖明, 毛逸晖, 等. 市场导向的绿色技术创新机理与对策研究[J]. 中国环境管理, 2019, 11(3): 82-86.
- [27]汪明月, 李颖明, 王子彤. 技术和市场双重不确定性下企业绿色技术创新及绩效[J]. 系统管理学报, 2021, 30(2): 353-362.
- [28]李斌, 韩菁. 市场导向、多主体协同与创新扩散: 基于复杂网络的动态仿真[J]. 运筹与管理, 2019, 28(2): 67-73.
- [29]赵春霞, 王永贵. 外部知识源对产品创新能力影响的实证研究——市场导向的调节作用[J]. 技术经济, 2016, 35(9): 1-8.
- [30]彭华涛, 许晴, 张俊杰, 等. 市场导向、政策导向对传统产业中企业二次创业路径选择的作用机理研究[J]. 科研管理, 2018, 39(5): 56-66.
- [31]ZHANG Dongyang. Marketization, environmental regulation, and eco-friendly productivity: a Malmquist-Luenberger index for pollution emissions of large Chinese firms [J]. Journal of Asian economics, 2021(76): 101342.
- [32]李晓冬, 王龙伟. 市场导向、政府导向对中国企业创新驱动的比较研究[J]. 管理科学, 2015, 28(6): 1-11.
- [33]庄芹芹, 吴滨, 洪群联. 市场导向的绿色技术创新体系: 理论内涵、实践探索与推进策略[J]. 经济学家, 2020(11): 29-38.
- [34]王鹏, 刘殊奇. 市场导向机制下绿色技术创新演化博弈研究[J]. 经济问题, 2022(1): 67-77.
- [35]马名杰, 张鑫. 中国科技体制改革: 历程、经验与展望[J]. 中国科技论坛, 2019(6): 1-8.
- [36]王志刚. 健全技术创新市场导向机制[J]. 中国科技产业, 2013(12): 10-13.
- [37]杜斌, 张治河. 技术创新市场导向机制——基于三位一体的系统模型研究[J]. 财经科学, 2016(5): 123-132.
- [38]董直庆, 王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济, 2019(1): 100-118.
- [39]李广培, 李艳歌, 全佳敏. 环境规制、R&D投入与企业绿色技术创新能力[J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(11): 61-73.
- [40]叶琴, 曾刚, 戴劲勃, 等. 不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响——基于285个地级市面板数据[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 115-122.
- [41]万钢. 优化科技资源配置, 实施创新驱动发展战略[N]. 人民日报, 2014-08-13(7).

(本文责编: 辛 城)