

重污染企业技术创新与减污降碳耦合协调研究

易佳敏, 王金龙, 杨 伶

(中南林业科技大学商学院, 长沙 410004)

摘要: 在“双碳”背景下,通过测度企业技术创新与减污降碳之间的耦合协调关系,并在此基础上通过面板向量自回归模型进一步探究其耦合协调的影响因素,以厘清重污染企业协调发展的现状。实证结果表明,技术创新与减污降碳耦合协调度的变动主要取决于企业技术创新水平,2012—2021年的耦合协调度整体在勉强协调和中级协调间浮动,主要集中在初级协调阶段,其耦合协调效应良好。环境规制和数字化程度对耦合协调度的影响显著为正,能够促进耦合协调发展。

关键词: 重污染企业; 技术创新; 减污降碳; 耦合协调度; PVAR模型

中图分类号: F427 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)06-0132-08

经济发展取之于自然用之于社会,即在物质上根植于生态环境,人类对生态服务的需求又构成了经济发展得以持续的前提。与此同时,经济活动的过度集聚、非优集聚以及粗放的发展模式伴生了环境污染和生态失序。如工业化进程的快速推进,带来资源的大规模消耗、污染物和碳排放的不断增加,致使环境恶化,进一步破坏了经济与环境的良性循环。如何改变这种“此消彼长”的不平衡发展模式成为可持续发展的重点。基于此,我国“十四五”规划提出在生态文明建设上要以降碳为重要战略方向,在经济社会高质量发展上要以加快推进科技创新为关键举措,从而实现经济发展与环境保护的协调发展。落实至重污染制造业上,即要加快制造业结构调整、转型升级等以实现其高质量发展。在此之前亟须厘清重污染制造业企业技术创新与减污降碳的发展水平以及二者的协调效应。

1 文献综述

技术创新是经济社会发展的第一驱动力,能够有效抑制污染物和碳的排放,推动企业高质量发展。技术创新常被用作中介变量,较多研究与其他变量的因果关系,少数研究与其他变量的耦合关系。例如,郭凌军等^[1]研究发现环境规制强化了绿色创新对地区环境污染的直接抑制及抑制溢出效应;范德成和张修凡^[2]发现碳减排联盟对企业低碳

技术创新有正向影响;谢荣辉^[3]的研究结果表明技术进步呈现显著的污染密集型特征,能够有效减少环境污染的排放;郑季良和王少芳^[4]通过耦合评价模型得出宝钢公司技术创新对节能减排的影响大于节能减排对技术创新的反作用;颜青等^[5]通过中介效应模型实证了绿色技术创新对制造业高质量发展产生积极的正向促进作用;汪明月等^[6]研究发现企业绿色技术创新行为能够显著改善其环境绩效,其中末端治理技术创新对其的改善效果最明显。

减污降碳协同增效是促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手。现阶段学者们对制造业污染排放和碳排放的研究区域主要集中在行业、产业和地域,研究内容主要围绕制造业排放趋势预测、协同减排研究和排放驱动影响因素分析以及针对某一政策或措施的效果进行评估或测算等方面。其中,驱动因素的研究方法包括可拓展随机性的环境影响评估(stochastic impacts by regression on population, affluence and technology, STIRPAT)模型^[7]、结构分解法(structural decomposition analysis, SDA)^[8]和面板向量自回归(panel vector autoregression, PVAR)模型^[9-10]等。冯俊华和臧倩文^[9]研究发现工业企业技术创新与碳排放效率前期存在明显正向作用效果,后期影响逐渐减小并产生负向效应。朱晴艳和田启波^[11]运用动态回归

收稿日期: 2023-12-12

基金项目: 国家自然科学基金(22BJY094);湖南省研究生科研创新项目(CX20220759);长沙市软科学项目(KH2302003)

作者简介: 易佳敏(2000—),女,湖南衡阳人,硕士研究生,研究方向为生态技术经济及管理;通信作者王金龙(1982—),男,湖南株洲人,博士,副教授,研究方向为生态经济与环境管理。

模型研究发现工业污染智力投资可以显著提高技术创新水平。叶芳羽等^[12]采用双重差分模型评估碳排放交易政策的减污降碳效应及作用机制,发现该政策有显著的减污降碳协同效应,同时可以通过绿色技术创新和污染产业转移实现污染的减排。

总体而言,学者们对企业技术创新与减污降碳的耦合协调关系的研究较少。其主要研究内容多为技术创新与节能减排、碳排放强度、碳排放效率的关系或减污降碳协同关系;研究尺度更多偏向宏观,如国家层面、地域层面、行业层面等;研究方法多为因果研究,研究二者的耦合较为少见;驱动因素的研究方法多采用线性回归、空间计量、Tobit 等模型,存在内生性问题。基于此,本文以重污染制造业企业为研究对象,探究技术创新与减污降碳的耦合协调效应,并在此基础上通过面板向量自回归模型进一步探究其耦合协调的影响因素,以厘清重污染制造业企业协调发展的现状。

2 机理分析

技术创新作为企业核心竞争力的保证,是实现可持续发展和社会长期效益的有效途径。减污降碳作为从排放口控制污染物的直接有效形式,是改善外部环境的重要具体实践途径。而重污染企业的技术创新往往与污染治理有关,一方面重污染企业希望通过污染治理技术提升,从而达到减污降碳的效果;另一方面企业不愿承担过高的研发风险。在此背景下,资本不够雄厚和技术不够进步的重污染企业往往会倾向于排放污染物,以缴纳排污费或环保行政处罚费用来逃避技术创新。但这种情况下重污染企业无法持久发展,极易受外部环境和内部资源配置的影响。同时,重污染企业的减污降碳能力也能够倒逼技术创新。究其原因离不开重污染企业经济利益最大化的诱引,一方面,作为重污染企业排污排碳是其环境治理和生产末端治理的主要部分,如果只追求经济利益的最大化,盲目扩大产能,致使末端污染物不断堆积,加重末端污染治理的压力,往往会引发企业资金断链。因此重污染企业无法只追求利益而不断排污,它必须能够治理并改善排污状况才可能保持良好状态。另一方面,环境规制能通过环保补助和合法化的排污费或环保税等刺激技术创新与减污降碳的协调发展。合法化的排污排碳能够让企业提前规划生产计划和研发计划,有利于企业生产效率的提升,同时政府的环保补助能够短暂支持重污染企业的研发和

污染治理。

总的来说,重污染企业技术创新是减污降碳的强大动力,其发展水平的提高是减污降碳水平提升的根本保障;同时减污降碳压力也会在一定程度上刺激技术创新的产出。技术创新水平和减污降碳水平的耦合协调度反映的是两个系统的耦合协调发展状态,只有协同提升才更能促进重污染企业实现绿色可持续发展。因此,重污染企业应该以绿色可持续发展的长短期目标相适应为前提,实现技术创新与减污降碳的协调发展。

3 研究设计

3.1 指标体系构建

3.1.1 技术创新评价指标

基于冯俊华和臧倩文^[9]、贾春香和张燕^[10]的研究,本文从创新投入与产出维度选取评价指标。研发投入作为技术创新的启动基础,能够反映企业对创新的资金支持力度。因此,选取研发投入强度这一相对数指标来表示创新的投入。技术创新产出是创新投入所获得的成功效益,主要通过企业获得和申请的发明专利和使用新型的数量来衡量。

3.1.2 减污降碳评价指标

参照毛捷等^[13]、王浩等^[14],从污染物排放和碳排放两个维度构建减污降碳评价指标体系。污染物排放主要包括大气污染物和水体污染物。因此,采用污染排放当量与营业收入的比值来衡量污染物的排放强度,碳排放则采用企业碳排放总量与营业收入的比值进行衡量。其中污染排放当量的计算参考《中华人民共和国环境保护法》中对污染物排放当量的定义,以及毛显强等^[15]和陈晓红等^[16]对局部污染物排放当量的计算方法,具体计算公式如下:

$$AP = aD_{SO_2} + bD_{NO_x} + cD_{Dust} + dD_{COD} + eD_{NH_3-N} \quad (1)$$

式中: D 为各污染排放物的排放量,其系数为各污染物所对应的污染当量值(表 1)。

在考虑指标体系构建的可行性、全面性、系统性等原则的基础上,结合重污染企业的发展现状,参照相关学者的做法,构建技术创新与减污降碳评价指标体系,具体如表 2 所示。

3.2 研究方法

3.2.1 功效系数法

由于原始数据存在量纲等差异,需要对数据进行标准化处理,具体公式如下:

表 1 污染物当量值

类别	污染物	符号	污染当量值/kg
大气污染物	二氧化硫	SO ₂	0.95
	氮氧化物	NO _x	0.95
	烟尘	Dust	2.18
水体污染物	化学需氧量	COD	1.00
	氨氮	NH ₃ -N	0.80

表 2 技术创新与减污降碳评价指标体系

系统	指标	内涵	熵值法/%	属性
技术创新	研发投入强度	研发投入/营业收入	38.85	正
	研发产出成果	ln(专利获得数+1)	26.78	正
		ln(专利申请数+1)	34.37	正
减污降碳	污染排放强度	污染排放当量/营业收入	81.92	负
	碳排放强度	碳排放总量/营业收入	18.08	负

$$u_{ij} = \frac{U_{ij} - \min U_{ij}}{\max U_{ij} - \min U_{ij}} \times 0.9 + 0.1 \quad (2)$$

$$u_{ij} = \frac{\max U_{ij} - U_{ij}}{\max U_{ij} - \min U_{ij}} \times 0.9 + 0.1 \quad (3)$$

式中： u_{ij} 为第 i 个子系统的第 j 项指标的序参量。

3.2.2 综合发展水平评价模型

综合发展水平评价模型如下：

$$U_i U_p = \sum_{i=1}^n w_i u_i$$

式中： U_i 、 U_p 分别为技术创新综合指数和减污降碳综合指数； w_i 为技术创新或减污降碳指标层第 i 个指标的权重； u_i 为通过熵值法得出的第 i 个指标的数据无量纲化处理结果。

3.2.3 耦合协调度模型

根据技术创新与减污降碳综合发展指数，构建技术创新与减污降碳耦合协调度模型。

$$C = \frac{2 \sqrt{U_p U_i}}{U_p + U_i} \quad (4)$$

$$T = \lambda U_p + \mu U_i \quad (5)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (6)$$

式中： C 为耦合度； T 为综合协调指数； D 为耦合协调度； λ 和 μ 为待定系数。本文认为技术创新与减污降碳对企业发展一样重要，即 λ 和 μ 均取值 0.5。为了更加直观地反映技术创新与减污降碳两者的耦合协调效应，参照王少剑等^[17]，将其划分为以下类型(表 3)。

3.2.4 面板向量自回归模型

由于 PVAR 模型比传统的向量自回归(vector autoregression, VAR)模型在克服微观数据短缺和时间跨度较短的问题上更具优势，能够更好地分析变量间动态关系，同时可以有效解决变量间内生性问题。因此采用 PVAR 模型对技术创新与减污降碳耦合协调度的影响因素进行研究。具体计量模型为

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j y_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} + \delta_{i,t} \quad (7)$$

式中： y_{it} 为技术创新与减污降碳耦合协调度； i 为各重污染制造业企业； t 为年份； j 为滞后阶数； α_i 为企业的固定效应； β_0 为截距； $\varepsilon_{i,t}$ 为时间效应； $\delta_{i,t}$ 为随机扰动项。

3.3 数据说明

根据 2012 年中国证监会修订的《上市公司行业分类指标》，选定农副食品加工业以外的 11 个重污染制造业行业为研究对象，结合上市公司环保核查行业分类管理名录，筛选出制造业企业。并对样本的数据进行如下筛选：剔除 ST、*ST 的上市公司；剔除 2012—2021 年期间行业类型有所变动的企业；剔除数据缺失严重的公司。最终获得 2012—2021 年 309 家重污染制造业企业的数据。其中，上市公司财务数据和发明专利数量等数据来自中国经济金融研究数据库(China Stock Market & Accounting Research Database, CSMAR)，企业污染物排放和碳排放总量数据来自上市公司年报、社会责任报告、环境部门网站等。

4 实证分析

4.1 技术创新与减污降碳耦合协调分析

根据耦合协调度模型计算得出重污染企业技术创新与减污降碳的耦合协调度。如图 1 所示，两者的耦合协调分类在 2012—2021 年的分布呈现“纺锤形”，不存在不协调和优质协调，主要集中在勉强协调至中级协调之间。说明在此期间重污染企业的技术创新与减污降碳的耦合协调呈现两系统较为协同的稳定状态。

2012—2021 年企业的耦合协调度跨度平缓，且

表 3 技术创新与减污降碳耦合协调度类型

D	0~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1
类型	不协调	濒临协调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调
符号	I	II	III	IV	V	VI	VII

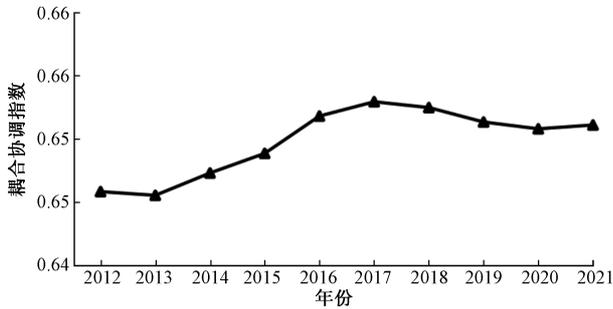


图1 技术创新与减污降碳耦合协调指数

较为集中,其样本企业耦合协调度分布区间为 $[0.55, 0.85]$,即勉强协调至中级协调阶段。耦合协调度年度均值集中在初级协调阶段。2012—2018年企业技术创新与减污降碳耦合协调度整体呈现波动上升的良好趋势。说明在国家提倡节能减排、实现双碳目标的背景下,企业对污染排放和碳排放减排的实施效果趋向良好,且存在少许波动状态。2019—2021年呈现微弱下降态势,主要是受新冠肺炎疫情的影响。如图2所示,减污降碳指数的变化趋势较之技术创新指数更为平缓,且耦合协调度的下降主要取决于重污染企业的技术创新水平高低。多数学者们研究发现技术创新具有一定的滞后性,即技术创新与减污降碳的耦合协调度也受技术创新滞后性的影响,存在一定滞后性。

此外,重污染企业的减污降碳等环境污染治理行为的实施也受外部经济环境影响。如2019—2021年受新冠肺炎疫情的影响,国内经济大环境不景气,重污染企业的盈利下降,出现大量裁员等紧缩财政的措施,而作为大规模投入又见效慢风险高的研发经费被不断削减,由此引发连锁反应,导致重污染企业技术创新与减污降碳耦合协调程度降低。由政府实施的环境规制同样对重污染企业环境行为有影响,强制性的环境法规和温和的政府环保补助会刺激重污染企业调节技术创新与减污降碳的协调关系,在有足够资金资源支持的前提下,

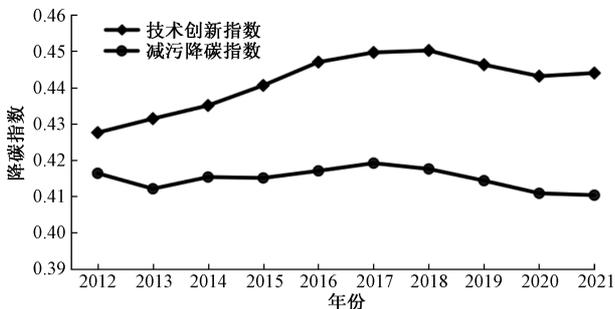


图2 技术创新与减污降碳指数

一般企业愿意做出亲环境行为。2012—2018年,耦合协调度呈现稳步缓增状态,其缘由可能是经济环境蓬勃发展。一是时代鼓励企业进行数字化转型,特别是对改善重污染企业而言,数字转型能够提升企业的生产效率;二是“双碳”等政策支持与推动,能源的清洁化成为政府鼓励的重点,特别是重污染企业,政府对能够使用清洁能源的重污染企业采取补助补贴等行为,以激励重污染企业进行绿色转型。

4.2 重污染企业耦合协调的影响因素

4.2.1 变量设定

厘清技术创新与减污降碳的协调效应后,进一步研究重污染制造业企业的协调发展现状。从内外环境出发结合各学者的相关研究,以企业规模、生产效率、能源结构、环境规制和数字化程度为解释变量,探究其对耦合协调度的动态影响^[18-23]。相关变量的测度及定义如表4所示。

用营业收入总额衡量企业规模(Size),以避免企业规模大小对结果的影响。企业内部能源结构(ES)用化石燃料燃烧碳排放占企业碳排放总量比值来反映,化石能源消费占比越大,企业碳排放越多,减污降碳难度越大。环境规制(ER)用实际缴纳的排污费或环保税与营业收入的比值衡量,实际缴纳税费越多,说明企业对环境污染治理的成本越高。企业数字化程度(Dig)参考赵宸宇等^[23]的做法,用数字化相关词频进行统计,数字化程度越高,企业技术创新与减污降碳的效率会有一定程度上的提升。企业生产效率(TFP)用全要素生产率衡量,生产效率越高,技术创新与减污降碳的强度相对越大。

4.2.2 单位根检验及滞后阶数确定

采用同质根检验(LLP)和异质根检验(PP)对模型中各变量进行平稳性检验,结果表明D、ES、ER、Dig、TFP和Size这6个变量均拒绝原假设,即均通过了平稳性检验,可以建立PVAR模型进行实证研究。检验结果如表5所示。

表4 各变量测度及定义

变量名称	变量符号	变量说明
耦合协调度	D	耦合协调度
能源结构	ES	化石燃料燃烧碳排放/碳排放总量
环境规制	ER	实际缴纳的排污费或环保税/营业收入
数字化程度	Dig	数字化相关词频
生产效率	TFP	企业全要素生产率
企业规模	Size	营业收入总额

表5 面板单位根检验结果

变量	LLC 检验	PP 检验	结果
lnD	-18.017***	28.588***	平稳
lnES	-25.777***	54.443***	平稳
lnER	-26.201***	51.654***	平稳
lnDig	-31.526***	25.547***	平稳
lnTFP	-18.522***	23.011***	平稳
lnSize	-16.355***	3.336***	平稳

注：*、**、***分别表示通过10%、5%、1%的显著性检验。

表6 PVAR 最优滞后阶数选择

滞后阶数	BIC	AIC	HQIC
1	-641.945*	-64.925*	-279.568*
2	-442.443	-57.763	-200.859
3	-219.508	-27.168	-98.715

注：* 对应的阶数为模型在该准则下的最优滞后阶数。

根据赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)、贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)和最小信息准则(Hannan-Quinn information criterion, HQIC)判断各变量间的最优滞后阶数。其最优滞后阶数为1期。

4.2.3 面板矩估计及模型检验

根据F检验和Hausman检验结果,确定用固定效应模型进行回归。在进行GMM估计前,选用前向均值差分法以消除个体效应和时间效应,并以各变量滞后1期为工具变量,对模型参数进行估计,结果如表7所示。

表7 PVAR 模型面板矩估计结果

变量	L. lnD	L. lnES	L. lnER	L. lnDig	L. lnTFP	L. lnSiz
lnD	0.563*** (17.25)	-0.014 (-0.58)	0.012** (5.33)	0.002** (2.23)	0.002 (0.16)	0.009*** (3.32)

注：*、**、***分别表示通过10%、5%、1%的显著性水平检验；括号内为Z值。

根据面板矩估计结果可知,耦合协调度、环境规制、数字化程度、企业规模和生产效率在滞后1期对耦合协调度的影响均为正向,能源结构在滞后1期对耦合协调效应有负向影响。其中,耦合协调度对自身的正向作用较大;能源结构负向作用效果较为明显;环境规制对耦合协调度正向影响大于数字化程度;企业规模和生产效率对耦合协调度有微弱正向作用。

当伴随矩阵中所有特征根的模值均小于1时,建立的面板向量自回归模型是合理的。如图3所示,其特征根均小于1,说明本文建立的PVAR模型是稳定的。

4.2.4 脉冲响应及方差分解

通过脉冲响应能够直观地了解重污染制造业

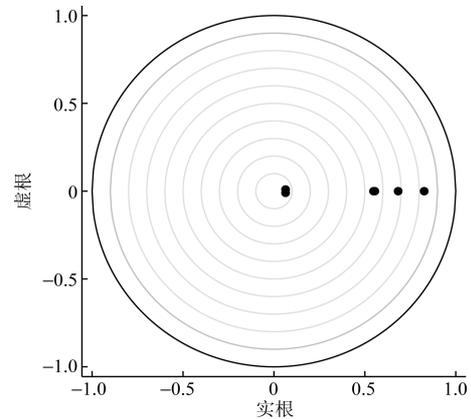


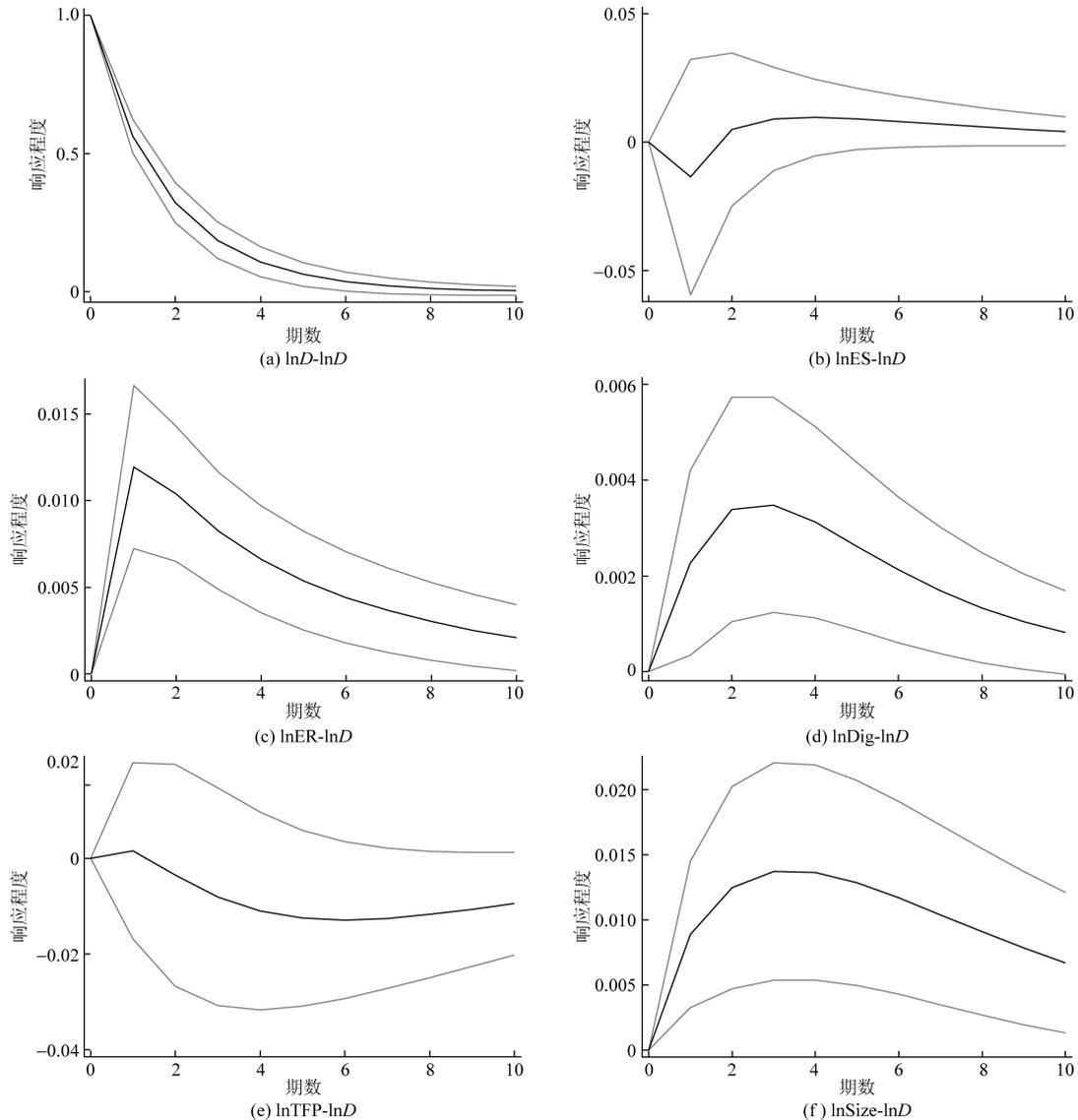
图3 PVAR 模型的AR根

企业技术创新与减污降碳耦合协调度和各变量之间的动态影响过程。利用蒙特卡罗模拟得到滞后10期的脉冲响应轨迹如图4所示。由脉冲响应图和GMM估计结果可以看出:

由图4(a)可知,耦合协调度自身(D)对耦合协调度的冲击,总体上表现为正向效应,且随着滞后期数的增加,其作用效果开始减弱。其中冲击效应在当期最为显著,在第10期冲击效应趋近于0。说明耦合协调度具有较强的自我增强作用且持续时间长,但随着时间推移对自身的作用不断减弱。

由图4(b)可知,能源结构(ES)对耦合协调度产生负向作用,总体上随滞后阶数的增加作用效果逐渐减弱。其中滞后1期冲击效应达到最大,滞后2期出现拐点且此后的影响趋于平稳。说明以化石燃料为主要能源的制造业企业前期污染排放量和碳排放量较大,且由于企业对环境的治理时效一般晚于产生污染的时点。由此造成了前期污染较为严重的问题,而后期企业通过适当调整能源结构或控制排放、循环利用等阶段的污染物和碳的排放量,达到稳定甚至向好状态。

由图4(c)可知,环境规制(ER)对耦合协调度产生正向影响,前期呈现显著正向作用,后期效应减弱,最终趋于平缓。其中滞后1期达到最大冲击效果,此后冲击不断减缓且逐渐平稳。说明环境规制前期对企业技术创新与减污降碳耦合协调度有正向刺激作用,即外部环境规制迫使企业不断进行创新的同时减少污染物和碳的排放量,以此实现对耦合协调效应的促进作用。后期由于企业创新投入和环保支出的占比逐渐增大,企业负担过重,难以保持耦合协调度的增长。最后随着企业管理和发展的不断成熟,再加上政府相关政策的支持,最终环境规制对耦合协调度的冲击效应趋于稳定。



中间曲线为脉冲反应函数,两侧曲线分别为5%、95%分位点的估计值

图4 各变量对耦合协调度的脉冲响应

由图4(d)可知,企业数字化程度(Dig)对耦合协调度的冲击,总体上为正向作用,且作用程度表现为先增后减的特征。其中冲击效应在滞后3期左右达到最大值,后期冲击效应趋于平缓。即企业数字化程度越高对耦合协调效应的正向作用效果越强。由于企业数字化是一个需要相关设备及技术、人员培训、管理改革等的过程,经此过程企业的技术创新能力得到提升,进而产生正向影响。后期企业数字化程度达到一定程度,对企业技术创新和减污降碳的影响逐渐减小,即对耦合协调度的影响减弱并趋于平缓。

由图4(e)可知,企业生产效率(TFP)对耦合协调效短期具有微弱的正向促进作用,后期呈现抑制作用。其中正向响应值在滞后1期左右达到最大,

后续期间对耦合协调度的影响转为负向并趋近平缓。说明前期企业的生产效率越高,其前端预防越好,生产过程中的损耗越少。后期受经济环境影响加之制造业企业生产流程的固化,而导致企业生产效率难以提升,开始挤占创新投入与污染治理的资金从而产生负向冲击效应。

由图4(f)可知,企业规模(Size)对耦合协调度的冲击,整体表现为随着滞后期数的增加正向冲击效应不断减弱。其中滞后1期、滞后2期和滞后3期呈现增速减缓的冲击,即企业规模在滞后1期的影响效果最明显,后期影响程度不断削弱;滞后4期后对耦合协调度的影响呈现减弱态势,最终趋向平稳。说明企业规模越大,其技术创新能力越强,企业投入研发的成本与付诸污染治理的成本也与污

染排放量成正比,即企业减污降碳的力度越强。

为进一步研究被解释变量变化过程中不同解释变量对其的冲击作用,取滞后10期,分析各变量与耦合协调度相互影响的方差分解结果,结果如表8所示。

表8 PVAR 方差分解结果

滞后阶数	lnD	lnES	lnER	lnDig	lnTFP	lnSize
1	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	97.45	0.01	1.74	0.27	0.23	0.30
3	95.11	0.01	2.86	0.78	0.44	0.79
4	93.18	0.02	3.58	1.28	0.60	1.35
5	91.67	0.02	4.04	1.67	0.69	1.90
6	90.55	0.03	4.36	1.95	0.74	2.37
7	89.74	0.03	4.57	2.12	0.77	2.76
8	89.16	0.03	4.71	2.23	0.79	3.07
9	88.75	0.03	4.81	2.30	0.80	3.30
10	88.46	0.04	4.88	2.30	0.80	3.47

由表8可知,耦合协调度的变动有80%以上是由自身引起的。在6个变量中,自身对耦合协调度的贡献度最大,且随着期数的增加,作用程度不断减弱。能源结构、环境规制、企业数字化程度、企业生产效率和规模均从滞后2期开始对耦合协调度有所贡献,且整体表现为随滞后期数的增加,对耦合协调度的贡献度不断增加。6个变量除了耦合协调度自身,环境规制、企业数字化程度和企业规模对重污染制造业企业耦合协调度的贡献率较大,能源结构和企业生产效率对耦合协调度贡献度相对较小。能源结构的贡献度呈现缓慢增长且影响程度较微弱;环境规制对耦合协调度贡献率的增长速度前期大于后期,滞后9期左右趋向稳定;企业数字化程度前期增长速度大于后期,从滞后9期开始对耦合协调度的贡献度趋向平缓。企业生产效率的贡献度呈现微弱增长态势,且在滞后9期趋于平稳。企业规模前期增速大于后期,且贡献率较大。

综上,技术创新与减污降碳耦合协调度的提高是一个逐步积累的过程。重污染制造业的能源结构相对固定且变动较小;市场激励型环境规制对耦合协调度有长期正向促进作用;企业数字化前期投入研发致使其贡献率较低,后期数字化程度提高其作用效果显现。

5 结论与讨论

本文选取2012—2021年重污染制造业企业的面板数据,运用耦合协调度模型对技术创新与减污降碳耦合协调关系进行测度,进而分析企业耦合协调发展现状,在此基础上通过PVAR模型,对企业

技术创新与减污降碳耦合协调度的影响因素进行分析,最后对相关结果进行讨论。具体的研究结论如下:

第一,企业技术创新综合发展指数整体呈现上升态势,减污降碳强度总体呈现些微下降趋势,且减污降碳综合发展水平在一定范围内波动。两者对内外部刺激的敏感度和反应度有所差别,技术创新指数对内外刺激的反应具有滞后性且反应程度较明显。第二,重污染制造业企业技术创新与减污降碳两者耦合协调分类在2012—2021年的分布呈现“纺锤形”,耦合协调度整体在勉强协调和中级协调间浮动,主要集中在初级协调阶段,其耦合协调效应良好,且其变动主要取决于企业技术创新水平。第三,除耦合协调度自身以外,企业规模、能源结构、环境规制、数字化程度、企业生产效率对耦合协调度均有贡献,且其贡献具有滞后性。其中能源结构对耦合协调度具有负向作用,环境规制、企业数字化程度、企业生产效率和规模对耦合协调度具有正向作用。

结合以上结论可知,重污染制造业企业技术创新与减污降碳的协调发展现状良好。其中技术创新具有滞后性这一结果与主流学者的研究相符合;减污降碳指数的变化趋势与唐湘博等^[24]对我国减污降碳协同效应研究结论基本一致;此外,在耦合协调度的影响研究中,选取的指标多为企业内部影响因素,企业外部影响因素比如政府研发补助、污染治理补助等未纳入影响因素的研究。与此同时,内部影响因素的企业能源具体消耗量的数据获取难度大,本文根据化石能源消耗所产生的碳与企业碳排放总量的比值作为能源结构的衡量指标,即使能在一定程度上反映企业的用能方式,但仍存在局限性。总体而言,本文仅对重污染制造业企业技术创新与减污降碳的耦合协调发展现状及相关影响因素进行了研究,对耦合协调机制的研究还够不深入,后续应将驱动力与耦合协调度深度结合并形成机制,以明确驱动因素对重污染制造业企业可持续发展的作用机制。

参考文献

- [1] 郭凌军,刘嫣然,刘光富.环境规制、绿色创新与环境污染关系实证研究[J].管理学报,2022,19(6):892-900.
- [2] 范德成,张修凡.市场视角下碳减排联盟对企业低碳技术创新的影响[J].广东社会科学,2021(4):57-66.
- [3] 谢荣辉.绿色技术进步、正外部性与中国环境污染治理[J].管理评论,2021,33(6):111-121.

- [4] 郑季良,王少芳.高耗能企业技术创新与节能减排系统耦合度分析[J].企业经济,2018,37(2):56-62.
- [5] 颜青,殷宝庆,刘洋.绿色技术创新、节能减排与制造业高质量发展[J].科技管理研究,2022,42(18):190-198.
- [6] 汪明月,李颖明,王子彤.工业企业绿色技术创新绩效传导及政府市场规制的调节作用研究[J].管理学报,2022,19(7):1026-1037.
- [7] 刘茂辉,岳亚云,刘胜楠,等.基于STIRPAT模型天津减污降碳协同效应多维度分析[J].环境科学,2023,44(3):1277-1286.
- [8] 姜钰卿,唐旭,任凯鹏,等.基于双层嵌套SDA的中国减污降碳驱动因素研究[J].系统工程理论与实践,2022,42(12):3294-3304.
- [9] 冯俊华,臧倩文.工业企业生态效率与科技创新耦合协调及影响因素研究[J].技术经济,2020,39(7):35-42.
- [10] 贾春香,张燕.基于PVAR模型的绿色技术创新对企业绩效的影响[J].生态经济,2023,39(3):63-69.
- [11] 朱晴艳,田启波.工业污染治理投资对区域技术创新水平及其差距的影响[J].科技管理研究,2022,42(9):215-221.
- [12] 叶芳羽,单汨源,李勇,等.碳排放权交易政策的减污降碳协同效应评估[J].湖南大学学报(社会科学版),2022,36(2):43-50.
- [13] 毛捷,郭玉清,曹婧,等.融资平台债务与环境污染治理[J].管理世界,2022,38(10):96-118.
- [14] 王浩,刘敬哲,张丽宏.碳排放与资产定价——来自中国上市公司的证据[J].经济学报,2022,9(2):28-75.
- [15] 毛显强,邢有凯,高玉冰,等.温室气体与大气污染物协同控制效应评估与规划[J].中国环境科学,2021,41(7):3390-3398.
- [16] 陈晓红,张嘉敏,唐湘博.中国工业减污降碳协同效应及其影响机制[J].资源科学,2022,44(12):2387-2398.
- [17] 王少剑,崔子恬,林靖杰,等.珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J].地理学报,2021,76(4):973-991.
- [18] 吴超,杨树旺,唐鹏程,等.中国重污染行业绿色创新效率提升模式构建[J].中国人口·资源与环境,2018,28(5):40-48.
- [19] 秦臻,倪艳,孙亚杰.湖北省绿色全要素生产率测算及影响因素分析[J].统计与决策,2019,35(12):139-142.
- [20] 冯俊华,臧倩文.重污染工业企业生态效率与技术创新耦合协调效应及影响因素研究[J].生态经济,2020,36(9):67-71.
- [21] 宋德勇,朱文博,丁海.企业数字化能否促进绿色技术创新?——基于重污染行业上市公司的考察[J].财经研究,2022,48(4):34-48.
- [22] 刘慧,白聪.数字化转型促进中国企业节能减排了吗?[J].上海财经大学学报,2022,24(5):19-32.
- [23] 赵宸宇,王文春,李雪松.数字化转型如何影响企业全要素生产率[J].财贸经济,2021,42(7):114-129.
- [24] 唐湘博,张野,曹利珍,等.中国减污降碳协同效应的时空特征及其影响机制分析[J].环境科学研究,2022,35(10):2252-2263.

Research on Coupling Coordination between Technology Innovation and Carbon Reduction in Heavy Polluting Enterprises

YI Jiamin, WANG Jinlong, YANG Ling

(Business School, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Under the background of “dual carbon”, the coupling and coordination relationship between enterprise technological innovation and pollution reduction and carbon reduction were measured. On this basis, the influencing factors of the coupling and coordination through panel vector autoregressive model were further explored, so as to clarify the current situation of the coordinated development of heavy polluting enterprises. The empirical results show that the change of coupling coordination degree between technological innovation and carbon reduction mainly depends on the level of technological innovation of enterprises. From 2012 to 2021, the coupling coordination degree fluctuates between the reluctant coordination and the intermediate coordination, mainly concentrates in the primary coordination stage, and the coupling coordination effect is good. The influence of environmental regulation and digitization degree on coupling coordination degree is significantly positive, which can promote the development of coupling coordination.

Keywords: heavy polluting enterprises; technological innovation; reduce pollution and carbon; coupling coordination degree; PVAR model

勘误表

年	卷	期	页	栏	行	误	正
2024	24	4	93	脚注	4	周海清	周海青