



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

污水处理行业产学研专利产出时空演变研究

封丽¹ 郭泊池² 石亮³ 李伟⁴

1. 河海大学图书馆 南京 210098;
2. 南京奥凯知识产权服务有限公司 南京 210000;
3. 上海海事大学图书馆 上海 200135;
4. 新疆水利水电科学研究院 乌鲁木齐 830049

摘要: [目的/意义] 我国污水处理行业地区创新发展和产学研创新产出不均衡现象较为突出, 解构专利产出驱动因素, 揭示其时空演变特征, 为促进行业创新区域均衡发展提供决策依据。[方法/过程] 基于专利文本分析、LMDI 分解模型和空间自相关分析方法对我国 2000—2023 年污水处理行业产学研专利授权量的空间动态演变及驱动因素进行分析, 并探讨主要驱动效应在省区尺度的空间差异特征。[局限] 受数据所限, 没有开展研发经费投入、区域水平等因素影响下的驱动效应分析。[结果/结论] 研究表明 2015 年开始专利数量增幅明显增大, 2020 年达到峰值, C02F1/00、C02F1/28 分类下的专利申请量增幅显著。节能环保产业规模效应和污水处理行业份额效应是驱动产学研专利授权量增加的主要因素。产学研内驱效应有明显差别, 企业内驱效应在研究期内正负交替, 院校和科研单位在大部分时期以负效应为主, 研究期末表现出明显的正效应。企业和院校的内驱效应在省区空间尺度上呈现显著聚集特征。

关键词: 驱动效应; 空间计量; 污水处理; 产学研; 专利

中图分类号: G306

Study on the Spatial and Temporal Evolution of Industry-University-Research Institute Patent Output in Sewage Treatment

FENG Li¹ GUO Bochi² SHI Liang³ LI Wei⁴

1. Library of Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Nanjing Aokai Intellectual Property Services Co., Ltd., Nanjing 210000, China;
3. Library of Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China;
4. Xinjiang Institute of Water Resources and Hydropower Science, Wulumuqi 830049, China

基金项目 中国博士后科学基金面上项目“环境污染突发事件的时空数据挖掘及协同治理机制研究”(2019M650108); 江苏省高校哲学社会科学研究一般项目“科技创新团队视角下技术多元化对专利颠覆性及其创新绩效的影响研究”(2024SJYB0038); 江苏省高校图工委教改研究课题一般项目“AIGC 驱动下工科院校大学生知识产权素养教育实施路径研究与探索”(2024JTYB07)。

作者简介 封丽(1982-), 硕士, 馆员, 主要研究方向为数据分析与挖掘; 郭泊池(1988-), 学士, 工程师, 主要研究方向为知识产权信息服务; 石亮(1984-), 博士, 馆员, 主要研究方向为知识组织, E-mail: liangshi@shmtu.edu.cn; 李伟(1980-), 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为水资源节约利用。

引用格式 封丽, 郭泊池, 石亮, 等. 污水处理行业产学研专利产出时空演变研究[J]. 情报工程, 2024, 10(6): 93-105.

Abstract: [Objective/Significance] The imbalance between regional innovation development and Industry-University-Research Institute innovation output in China's sewage treatment industry is quite prominent. Deconstructing the driving factors of patent output, revealing its spatiotemporal evolution characteristics, and providing decision-making basis for promoting regional balanced development of industry innovation. [Methods/Processes] Based on the patent text analysis, LMDI decomposition model, and spatial autocorrelation analysis method, this paper analyzes the spatial dynamic evolution and driving factors of Industry-University-Research Institute patent authorization in China's sewage treatment industry from 2000 to 2023, and explores the spatial differences of the main driving effects at the provincial scales. [Limitations] Due to data limitations, no analysis was conducted on the driving effects of factors such as research and development funding investment and regional economic level. [Results/Conclusions] Research has shown that since 2015, the number of patents has increased significantly, reaching its peak in 2020. The number of patent applications under categories C02F1/00 and C02F1/28 has also increased significantly. The scale effect of the energy-saving and environmental protection industry and the share effect of the sewage treatment industry are the main factors driving the increase in the number of patent authorizations. There should be a significant difference in the internal driving effect of Industry-University-Research Institute. The internal driving effect of enterprises alternates between positive and negative during the research period, while the negative effect is mainly observed in universities and research institutions during most of the period. At the end of the research period, there is a clear positive effect. The internal driving effects of enterprises and universities exhibit significant clustering characteristics at the provincial scale.

Keywords: Driving Effect; Spatial Econometric Analysis; Sewage Treatment; Industry-University-Research Institute; Patent

引言

污水处理技术的创新与应用是深入打好水污染防治攻坚战的重要保障,对于全面落实“绿水青山就是金山银山”的发展理念,改善城镇人居环境,促进城市治理体系和治理能力的现代化,推动经济高质量发展具有重要的作用。

《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》中明确要求,到2025年,全国城市生活污水的集中收集率应力争超过70%,县城的污水处理率达到95%以上^[1]。随着“十四五”规划的推进实施,各地多措并举,积极推进污水处理行业创新发展^[2-4]。专利是评估一个地区或机构科技研发能力及技术创新程度的关键性指标^[2]。从地区分布看,我国污水处理领域的专利正处于迅猛发展的阶段,但主要集中在东部地区,中西部地区相对落后^[5]。从创新主体看,产学研(企业、院校、科研单位)三大类型中,

企业授权专利占比最高,根据 incoPat 数据库统计,2000—2023年,污水处理行业产学研三大创新主体的专利授权量比值为81:15:4。可见,我国污水处理行业地区创新发展不均衡、产学研创新产出不均衡现象较为突出,在此背景下,本文以我国污水处理行业专利授权量为数据信息,从产学研三大创新主体专利产出角度,分析专利授权量的空间动态轨迹,解构专利授权量增减的主要驱动因素,并阐明主要驱动因素在省级区域尺度上的空间差异特征,以期准确把握污水处理行业创新产出的时空演变趋势,为制定针对性创新扶持政策,促进污水处理行业区域均衡发展提供借鉴参考。

1 相关研究

目前在专利产出影响因素研究领域,传统回归模型(Ordinary Least Squares, OLS)、空

间滞后模型 (Spatial Lag Model, SLM) 是常用的计量分析工具^[6-8]。为避免经典回归分析方法中的“伪回归”及“内生性”问题,刘志迎等^[9]较早地构建了反映长江经济带专利产出变化的LMDI分解模型,综合考量区域经济结构、区域研发强度、区域创新效率及整体经济发展4个驱动因素对长江经济带创新产出的影响。LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index) 驱动效应分解模型最初由Ang^[10-11]提出,因为其可以有效解决残差项和零值问题,被广泛地运用于能源消耗和环境污染的因素分解研究领域^[12-14]。在刘志迎等探索应用于专利分析领域之后,蔡中华等^[15]利用LMDI模型对我国PCT国际专利申请量的增长驱动因素进行了分解,将其归因于规模效应、结构效应和强度效应。陈爱萍等^[16]基于LMDI模型,采用中国上市公司绿色技术专利申请数据,构建包括绿色专利研发优先序、绿色专利份额和研发活动规模的因素分解模型。魏莱等^[17]基于黄河流域绿色专利申请数据,运用LMDI与M-R模型从时间与空间两方面分析经济增长、产业结构、能源结构、碳强度、研发效率对黄河流域绿色技术创新的影响。与传统影响因素回归分析方法相比,LMDI方法在辅助宏观政策制定方面体现出较强的适用性^[16]。

基于专利数据自身具有的地理空间属性,采用空间自相关分析技术对该数据进行空间计量分析,发掘揭示空间上的聚集性和相关性,是专利计量分析的常用方法。张玉明等^[18]将专利数据应用于空间自相关分析,以揭示不同省份区域间创新产出的空间相关模式。此后,空间自相关广泛应用于旅游^[19]、风电^[20]、绿色低

碳^[21]等不同产业创新水平空间分布特征研究。

从现有研究看,尽管LMDI模型和空间分析模型分别被广泛用于研究专利产出驱动因素和专利地理位置属性的空间演变特征,但将两种方法结合起来,特别是综合利用LMDI分解模型和空间分析模型来探讨驱动因素空间差异性的研究还鲜有报道。已有学者从大学视角进行专利产出的空间相关性分析^[7, 22],但从产学研三大主体创新产出视角开展的专利空间动态特征对比研究还比较少见。在污水处理行业,虽然已有部分学者运用专利分析方法研究本行业创新发展态势^[2-5, 23],但没有从产学研视角细化专利授权主体类型,也未深入开展驱动因素分解及其空间相关性研究。基于此,本文以2000—2023年污水处理行业专利授权量为研究对象,采用专利文本分析法、LMDI分解模型和空间自相关分析方法,分析产学研三类创新主体专利授权量的空间动态演变特征及驱动影响因素,并探讨主要驱动效应在省区尺度的空间差异特征。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 专利文本分析法

专利文本分析是专利计量分析常用的方法^[24-26],其核心在于利用数据分析工具对专利文本数据进行处理与分析,旨在提炼出其中的有用信息。研究者可采纳文本分析技术对专利文献中的关键术语、技术属性及叙述内容进行分析,以此来辨识技术特征传递的隐性信息和演变趋势。

2.1.2 驱动因素分解方法

本文研究的创新主体有三类：企业、院校、科研单位。首先依据 Kaya 恒等式将某类创新主体专利授权量 (Q_i) 分解如下：

$$Q_i = \frac{Q_i}{W} \times \frac{W}{T} \times T \quad (1)$$

式中： Q_i 代表第 i 类创新主体专利授权量； W 代表污水处理行业专利授权总量； T 代表节能环保产业专利授权总量。 $\frac{Q_i}{W}$ 表示第 i 类创新主体专利授权量占污水处理行业专利授权总量的比重，比重越大，表明此类创新主体在行业内创新产出主导性越强，该指标是反映创新主体自身主观能动性的内驱因素； $\frac{W}{T}$ 表示污水处理行业专利授权量占节能环保产业专利授权总量的比重，污水处理是节能环保产业中的核心领域^[4]，该指标从专利产出角度反映了污水处理行业的重要性，代表污水处理行业在节能环保产业中的份额； T 代表节能环保产业专利授权总量，反映了节能环保产业的创新研发活动总规模。综上，式 (1) 表示产学研各类创新主体专利授权量受到创新主体自身内驱因素、污水处理行业份额以及节能环保产业创新总体规模等三类因素的共同影响。

依据 LMDI 分解模型， t 期相对于 $t-1$ 期第 i 类创新主体专利授权量的变化量 ΔQ_i 可以表示为：

$$\Delta Q_i = \Delta Q_{i1} + \Delta Q_{i2} + \Delta Q_{i3} \quad (2)$$

$$\Delta Q_{i1} = \frac{Q_i' - Q_i^{t-1}}{\ln(Q_i' / Q_i^{t-1})} \times \ln\left(\frac{Q_i' / W_i}{Q_i^{t-1} / W_{i,t-1}}\right) \quad (3)$$

$$\Delta Q_{i2} = \frac{Q_i' - Q_i^{t-1}}{\ln(Q_i' / Q_i^{t-1})} \times \ln\left(\frac{W_i / T_i}{W_{i,t-1} / T_{i,t-1}}\right) \quad (4)$$

$$\Delta Q_{i3} = \frac{Q_i' - Q_i^{t-1}}{\ln(Q_i' / Q_i^{t-1})} \times \ln\left(\frac{T_i}{T_{i,t-1}}\right) \quad (5)$$

式中： ΔQ_{i1} 表示创新主体内驱因素变化引起的专利授权量变化，定义为内驱效应； ΔQ_{i2} 表示污水处理行业份额变化引起的专利授权量变化，定义为份额效应； ΔQ_{i3} 表示节能环保产业创新活动规模变化引起的专利授权量变化，定义为规模效应。综上，创新主体专利授权量的变化可以通过内驱效应、份额效应和规模效应三方面的综合影响来分解，如果分解效应为正值，则起到正向促进作用，反之，起到负向抑制作用。

2.1.3 空间自相关分析方法

空间自相关是指同一个变量在不同空间位置上的相关性。当某个变量的相似性在空间上聚集在一起的时候，就表现为正的空间自相关性；相反，当某个变量的差异性在空间上聚集在一起的时候，就表现为负的空间自相关性。空间自相关分为全局自相关和局部自相关。全局自相关用于描述一个现象的整体分布，判断该现象在空间上是否具有聚类特征，但不能准确指出其集中的位置。局部空间自相关用于衡量聚合空间单元相对于整个研究区域的空间相关性是否足够显著。

全局莫兰指数 (Moran's I) 是用以描述区域空间特征要素全局自相关的常用指标，计算公式为：

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j \omega_{ij} (a_i - \bar{a})(a_j - \bar{a})}{(\sum_i \sum_j \omega_{ij}) \sum_i (a_i - \bar{a})^2} \quad (6)$$

式中， n 为研究对象总数； i 和 j 代表第 i 和第 j 个研究对象； ω_{ij} 是研究对象的空间权重； a_i 和 a_j 是研究对象的空间属性值； \bar{a} 是全部研究对象空间属性值的平均值。得出莫兰指数后，需要进行显著性检验，常假设变量的空间分布

服从正态分布，通过服从标准正态分布的 z 统计量来判断地区间的空间相关性，计算公式为：

$$z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}} \quad (7)$$

式中， $E(I)$ 是莫兰指数的期望， $\text{Var}(I)$ 是方差。在 $p=0.1$ 的检验水准下，当 $|z|>1.65$ 时，表明地理事物之间存在空间相关性。

本文采用局部莫兰指数分析专利产出的驱动效应在全国各省区之间的空间聚集特征。局部莫兰指数 I_i 主要用于验证研究对象是否存在相似值或相异值的局部集聚现象，计算公式如下：

$$I_i = \frac{(a_i - \bar{a}) \sum_j \omega_{ij} (a_j - \bar{a})}{\sum_j (a_j - \bar{a})^2 / n} \quad (8)$$

若计算所得 I_i 为正，表示区域 i 与其临近区域均为高值区，属于高高 (H-H) 聚集或者区域 i 与其临近区域均为低值区，属于低低 (L-L) 聚集，即区域 i 存在相似值的空间聚集。若计算所得 I_i 为负，表示区域 i 与其临近区域呈相反的值，区域 i 为高值则其临近区域为低值，属于高低 (H-L) 聚集，反之则属于低高 (L-H) 聚集，即区域 i 存在相异值的空间聚集。

2.2 数据来源与处理

本文的数据来源于 incoPat 科技创新情报平台。专利类型限定为授权发明专利和实用新型专利，时间为 2000 年 1 月至 2023 年 12 月，省区范围包括 31 个省、自治区和直辖市（不含港澳台）。污水处理行业专利按照国际专利分类 IPC 号检索，共计 372316 件，按照 incoPat 数据库申请人类别划分功能，可进一步获取企业、院校、科研单位的专利数量。在 incoPat 数据库自有的新兴产业分类中检索节能环保产业专利，

共计 2571650 件。基于上述数据，采用 EXCEL 进行专利文本分析和驱动因素分解计算，采用 ArcGIS 自带的 toolbox 工具箱进行空间自相关分析，数据分析结果图件采用 EXCEL 绘制。

3 结果分析

3.1 总体特征分析

3.1.1 总体技术分布特征

表 1 展示了我国污水处理行业的技术分布，揭示了污水处理技术研究的热点领域，可以看出，C02F1/00 分类下的水、废水或污水处理技术的研究集中度居首位，其专利申请数量显著超过其他技术领域。紧随其后的是 C02F1/28 吸附法、C02F101/30 有机化合物、C02F1/52 悬浮杂质的絮凝或沉淀，以及 C02F1/44 渗析法、渗透法或反渗透法等技术分支，这些领域的专利申请量也颇为可观，均超过 3 万件，表明这些技术分支同样是中国污水处理技术研究的重要方向。

3.1.2 省区技术分布特征

表 2 所示为我国污水处理行业主要省区的技术分布，可以看出，江苏省在污水处理行业申请的专利数量最多，相较于其他地区专利数量遥遥领先。广东省专利数量占据第二，浙江省占据第三。其次为山东省、北京市、上海市、安徽省、四川省、湖北省和天津市，分别位列第四至第十。从国内各省区的技术分布来看，各省区的专利申请仍主要集中在 C02F1/00，各省区均在 C02F1/00 布局的专利数量最多，其次是 C02F1/28，与国内整体技术分布基本一致。

表 1 我国污水处理行业技术分布

分类号	类别	数量
C02F1/00	水、废水或污水的处理	72128
C02F1/28	吸附法（离子交换法入 C02F1/42；吸附剂的组成入 B01J）	47600
02F1/30	有机化合物	38210
C02F1/52	悬浮杂质的絮凝或沉淀	37506
C02F1/44	渗析法、渗透法或反渗透法	37099
C02F9/04	至少有一个化学处理步骤	25574
cC02F9/14	至少有一个生物处理步骤	25067
C02F101/20	重金属或重金属化合物	23253
C02F101/16	氮的化合物，例如氨	21154
C02F1/72	氧化法	21056

表 2 我国主要省区技术分布统计表

IPC 分类	江苏	广东	浙江	山东	北京	上海	四川	湖北	福建	安徽
C02F1/00	8103	7377	4763	5186	2319	2423	2051	1994	2032	2063
C02F9/04	6208	4655	3581	3669	2532	1775	1889	1495	1558	1314
C02F9/14	5668	4524	3578	2789	3575	2008	1926	1605	1457	1185
C02F9/02	5052	5715	3793	3067	1486	1572	1516	1164	1541	1315
C02F1/28	4211	2911	2347	2386	1956	1359	1060	1131	962	1064
C02F1/44	3927	4185	3174	2183	2202	1531	875	686	941	565
C02F1/52	3775	2125	1898	2419	1723	1194	1085	983	771	997
C02F101/30	3359	2273	1579	1546	1786	1067	752	835	600	665
C02F3/34	2469	1857	1449	1244	1852	917	560	727	506	479
C02F9/00	2173	1843	1132	1330	973	752	601	614	475	498

3.1.3 专利数量趋势

通过对污水处理行业的专利年申请量进行统计分析，国内专利总体申请趋势如图 1 所示。总体来看，2000 年后污水处理行业专利申请数量呈上涨趋势，其中 2000—2014 年专利年申请量呈稳步上升的缓慢发展趋势，2015 年国务院印发《水污染防治行动计划》，制定了水污染防治的工作目标及指标等，进一步推动了污水处理的发展，因此自 2015 年开始专利申请量涨幅明显增大，污水处理行业也步入快速发展期，

2020 年达到高峰。2021—2022 年专利年申请量小幅下降。

3.1.4 技术演进趋势

图 2 是我国污水处理行业近十年技术演进趋势图，可以看出，国内污水处理行业在 C02F1/00- 水、废水或污水的处理，C02F1/28- 吸附法，C02F101/30- 有机化合物，C02F1/52- 悬浮杂质的絮凝或沉淀，C02F1/44- 渗析法、渗透法或反渗透法，C02F101/20- 重金属或重金属化合物等技术方向的专利申请量基本呈现逐年

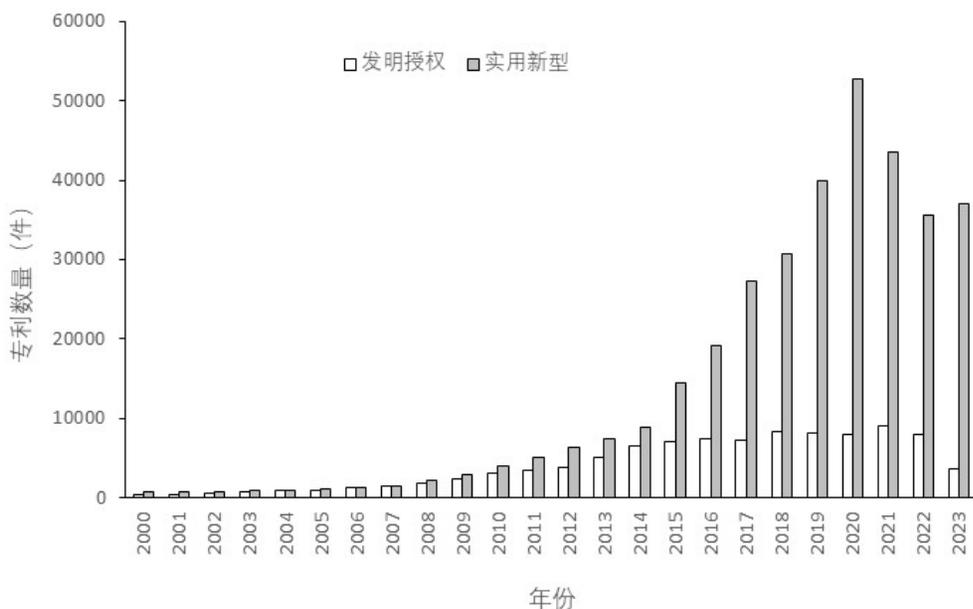


图 1 我国污水处理行业专利申请趋势

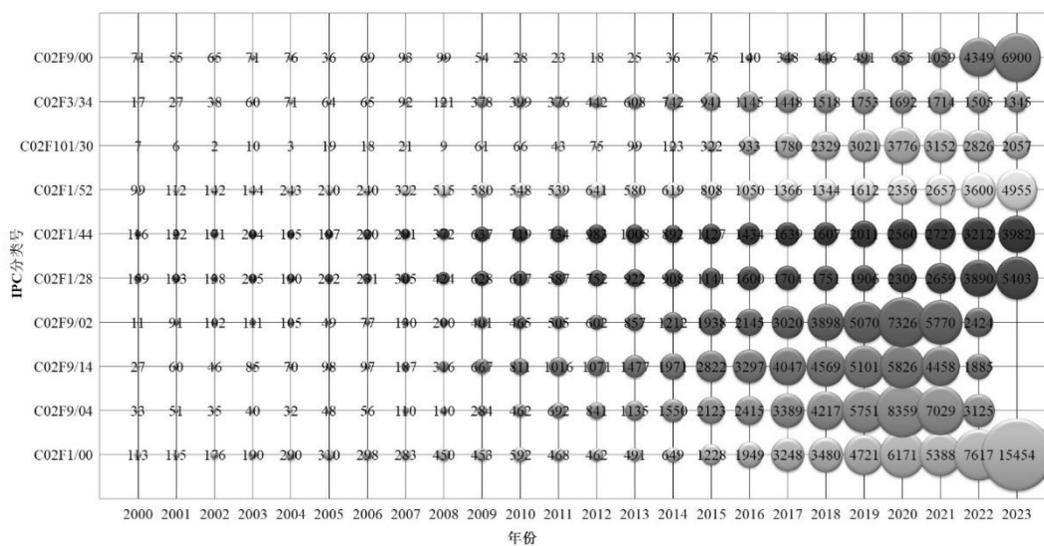


图 2 我国污水处理行业技术演进趋势分析

上升的趋势，尤其是 C02F1/00、C02F1/28 近两年专利申请量涨幅显著，这反映出近两年的研究热点主要集中在这两个领域。

3.2 驱动因素分解分析

2000—2023 年企业、院校、科研单位专利授权量变化的 LMDI 驱动因素分解结果如图 3—

5 所示。

企业是污水处理行业专利授权的主体。企业授权专利数量在 2000—2021 年持续增加，特别是从 2011 年开始，专利年授权量超过 1000 件，2021 年专利授权量超过 15000 件，随后的 2022—2023 年，专利授权量下降明显。从驱动效应上看，企业授权专利数量的增加主要受到

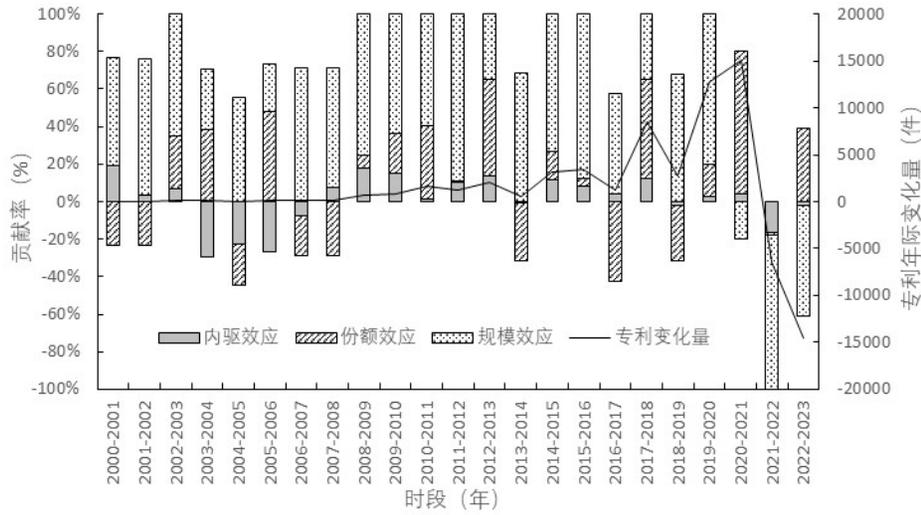


图3 企业专利授权量变化驱动效应分解

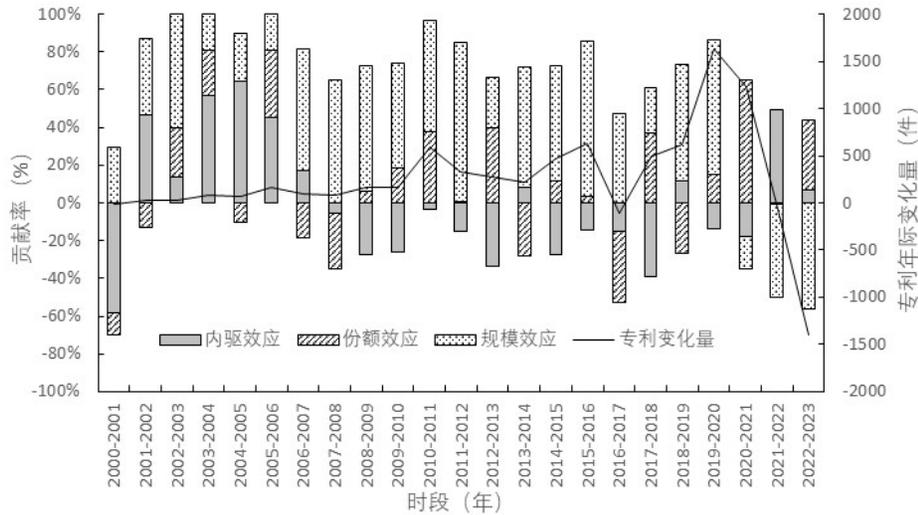


图4 院校专利授权量变化驱动效应分解

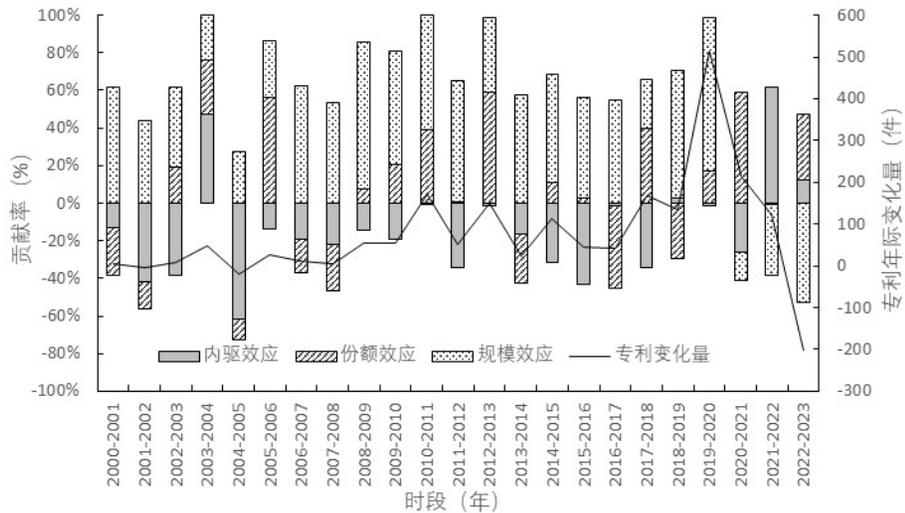


图5 科研单位专利授权量变化驱动效应分解

节能环保产业规模效应和污水处理行业份额效应的正向驱动。企业自身内驱效应在各阶段表现不一，分阶段看，在研究初期，2007年之前，企业内驱效应不足，在一定程度上抑制了专利数量的增加，2008至2021年，企业内驱效应显著增强，大幅促进了专利数量的增加，但近年来受疫情影响，企业生产活力减弱，其内驱效应由正转负，导致了专利数量的减少。

院校在污水处理行业专利授权数量变化趋势与企业类似，但在数量级上与企业有明显差距，2020年授权数量达到最高，超过1500件，约占企业授权数量的十分之一。节能环保产业规模和污水处理行业份额仍然是院校专利授权量增加的主要驱动因素。院校自身内驱效应在2002至2007年表现强劲，对专利数量增加发挥了显著的正效应，但在2008至2021年的绝大多数年份驱动效应为负，发挥了一定的抑制作用，近两年院校自身内驱效应又由负转正，体现了较强的正效应。

科研单位专利授权量的变化趋势与院校较为相似，同样在2020年授权量达到最大，超过500件，但其数量是产学研三类主体中最小的。

从整个研究期看，2021年以前，节能环保产业规模效应始终为正，是推动科研单位专利授权量增加的主要因素，相比之下，科研单位自身内驱效应在绝大多数年份为负值，是制约科研单位专利授权量增加的主要因素。近两年，在节能环保产业专利授权量大幅下降的背景下，科研单位自身内驱效应由负转正，对于维持污水处理行业专利授权量发挥了积极作用。

3.3 内驱效应空间差异性分析

从上述分析可以看出，企业、院校、科研单位三类创新主体的内驱效应具有明显差异性。为深入探究各创新主体内驱效应在各省区之间的差异性，以省区专利数据为样本深入分析各创新主体的内驱效应空间分布特征。为了降低专利数据的年际波动影响，对各省区逐年的原始数据进行了平均化处理，即使用“十五”“十一五”“十二五”“十三五”“十四五”这五个时期的年均值来进行不同时期的驱动效应分析。基于上述数据采用LMDI驱动因素分解方法，得到各省区各类创新主体的内驱效应，按照内驱效应的正负分类统计省区个数，结果见表3。

表3 省区产学研内驱效应类型统计表

		单位：个			
创新主体	效应类型	“十五”至“十一五”	“十一五”至“十二五”	“十二五”至“十三五”	“十三五”至“十四五”
企业	正效应	13	28	26	23
	负效应	18	3	5	8
院校	正效应	22	7	6	10
	负效应	9	24	25	21
科研单位	正效应	6	5	10	14
	负效应	25	26	21	17

从表3结果可以看出，在“十五”至“十一五”期间，院校在22个省区表现出了正效应，促进

了这些省区专利数量的增加。与之相比，科研单位在大部分省区表现为负效应，企业的正负

效应基本持平。在“十一五”至“十二五”期间，企业正效应的省区大幅增加至 28 个，企业内驱效应促进了这些省区专利数量的增加。相比之下，院校和科研单位在大部分省区表现为负效应，后续“十三五”“十四五”时期基本延续了这一特征。总体而言，省区企业内驱效应以正向为主，省区院校和科研单位内驱效应以负向为主，在研究期末即“十四五”时期，院校和科研单位为正效应的省区有增加趋势。

对企业、院校、科研单位三类创新主体的内驱效应分别进行全局空间自相关计算分析。针对各个时期分别计算莫兰指数值和对应的 Z 值、P 值，结果见表 4。可以看出，企业、院

校、科研单位三类创新主体在各个时期的内驱效应空间自相关性均通过了显著性检验 ($Z > 1.65$, $P < 0.1$)，表明具有显著的空间聚集特征，即内驱效应大的省区聚集在一起，低的省区聚集在一起。进一步对比分析莫兰指数绝对值的大小，可以看出，企业内驱效应和院校内驱效应的莫兰指数均呈现先增大后减少趋势，在“十二五”至“十三五”期间达到最大，说明这一时期的空间集聚特征最为显著。科研单位内驱效应的莫兰指数一直呈现增加趋势，但是数值均小于企业内驱效应和院校内驱效应的莫兰指数，说明科研单位内驱效应的空间聚集特征有所增加，但显著程度较弱。

表 4 不同时期产学研内驱效应的全局莫兰指数

创新主体	统计变量	“十五”至“十一五”	“十一五”至“十二五”	“十二五”至“十三五”	“十三五”至“十四五”
企业	Moran's I	0.2366	0.2859	0.3449	0.2366
	z 值	2.5188	3.0141	3.6203	2.7081
	p 值	0.0118	0.0025	0.0003	0.0068
院校	Moran's I	0.2193	0.2636	0.3721	0.2506
	z 值	2.4192	2.8729	3.9582	2.7306
	p 值	0.0156	0.0041	0.0001	0.0063
科研单位	Moran's I	0.0114	-0.0381	0.1228	0.1315
	z 值	1.7789	1.6641	1.6761	1.9438
	p 值	0.0863	0.0964	0.0899	0.0519

全局莫兰指数代表了整个区域的空间相关特性，为了深入揭示各个省区之间的空间聚集特征，进一步采用局部莫兰指数对各类创新主体内驱效应进行空间差异性分析，结果见表 5。

从企业内驱效应空间聚集特征看，“十五”至“十一五”时期，高高聚集区位于广西，表明这一地区企业授权专利数量显著增加，到了“十二五”“十三五”时期，高高聚集区转移

到了东部的山东、江苏、浙江、上海，表明这些东部省区企业正向内驱效应表现突出。到了“十三五”至“十四五”时期，高高聚集区又转移到了山西、河南等中部省区。与此同时，低低聚集区从东部的江苏、上海、浙江、安徽等省区逐步向西部内地转移，到了“十二五”至“十三五”时期，停留在宁夏、甘肃、青海、四川四个省区，表明这些西部内地省区企业专利数量增加不明显。

表 5 不同时期产学研内驱效应的空间聚集区分布

创新主体	空间聚集类型	“十五”至“十一五”	“十一五”至“十二五”	“十二五”至“十三五”	“十三五”至“十四五”
企业	高高	广西	山东、江苏、上海、浙江、安徽	山东、江苏、上海、浙江	山东、山西、河南
	高低				
	低高		河南、江西、福建	安徽、福建	上海、安徽
	低低	江苏、上海、浙江、安徽	西藏	宁夏、甘肃、青海、四川	
院校	高高	山东、江苏、上海		甘肃、青海、西藏	
	高低	重庆	河南、安徽、江西、福建	河南、安徽、福建	山西、上海
	低高	吉林、辽宁、安徽			
	低低	贵州、广西	山东、江苏、上海、浙江	山东、江苏、上海、浙江	山东、河南、安徽
科研单位	高高			甘肃、四川	
	高低	吉林、内蒙古	内蒙古、河北、山东、江苏	河北、安徽	安徽
	低高	四川、广东			
	低低	辽宁、天津、河北		山东、江苏、上海、浙江	上海

从院校内驱效应空间聚集特征看，高高聚集区在“十五”至“十一五”时期，位于山东、江苏、上海，到了“十二五”至“十三五”时期，位于甘肃、青海、西藏。低低聚集区从西南的贵州、广西逐步转向东部的山东、江苏、上海、浙江，继而到中北部的河南、安徽。这些省区院校数量多，但授权专利数量增加不明显。“十一五”至“十三五”时期，安徽、福建两省处于相对稳定的高低聚集区，表明在这一时期，其周边省份江苏、浙江、广东等地院校专利产出明显不足。

从科研单位内驱效应空间聚集特征看，各省区科研单位内驱效应明显弱于企业和院校。高高聚集区仅出现在了“十二五”至“十三五”时期的甘肃、四川。低低聚集区在“十五”至“十一五”时期位于辽宁、天津、河北，在“十二五”至“十三五”时期位于山东、江苏、上海、浙江。这些东部省区科研单位授权专利数量增加不明显。

4 结论与建议

本文基于专利文本分析法、LMDI 分解模型和莫兰指数空间计量对 2000—2023 年污水处理行业产学研三类创新主体专利授权量的空间动态演变特征及影响因素进行分析，并探讨了主要驱动效应在省区尺度的空间差异特征。得到以下主要结论：

(1) 江苏、广东、浙江占据我国污水处理行业专利数量的前三位，C02F1/00 分类下的水、废水或污水处理技术的研究集中度居首位，紧随其后的是 C02F1/28 吸附法。自 2015 年开始专利申请量涨幅明显增大，污水处理行业也步入快速发展期，2020 年达到高峰，尤其是 C02F1/00、C02F1/28 近两年专利申请量涨幅显著。

(2) 产学研三类创新主体的专利授权量在 2010—2020 年均有显著增加趋势，特别是在“十三五”中后期，专利授权量大幅增加，这种趋势与国家在生态环境保护、污水处理及资源循

循环利用方面的一系列政策密不可分，特别是党的十九大以来，生态文明建设加快推进，《水污染防治行动计划》逐步落实，为行业创新发展，加快专利布局提供了政策保障。2021年以来，受新冠疫情、外部经济环境等影响，三类主体的年度专利授权量有所下降，其中企业授权量下降最为突出。相比之下，院校和科研单位授权量略有下降，客观上避免了污水处理行业专利授权量大幅减少，保障了该行业创新发展的多元化和可持续性。

(3)从驱动因素分解结果看，节能环保产业规模的发展壮大是产学研各主体专利授权量增加的主要驱动因素，在节能环保产业中，污水处理行业份额效应呈现一定的波动性，但总体上呈现正效应。三类主体内驱效应有明显差别，企业内驱效应在研究初期以负效应为主，中后期表现出明显的正效应，近期又转为负，这一变化趋势也反映了企业创新活动的周期性。院校和科研单位在大部分年份以负效应为主，但近两年表现出明显的正效应，这在一定程度上缓解了企业创新动力不足的问题，保障了污水处理技术的持续创新发展。

(4)从省区层面产学研内驱效应差异性看，企业内驱效应以正向为主，院校和科研单位内驱效应以负向为主，在研究期末，即“十四五”时期，院校和科研单位为正效应的省区有增加趋势。从企业内驱效应空间聚集特征看，“十五”至“十四五”时期，高高聚集区从广西移到了东部的山东、江苏、浙江、上海，继而又转移到了山西、河南等中部省区。从院校内驱效应空间聚集特征看，高高聚集区从东部的山东、江苏、上海，转移到甘肃、青海、西藏。从科研单位内驱效应空间聚集特征看，各省区科研

单位内驱效应明显弱于企业和院校。

上述结论反映出我国污水处理行业专利创新产出在各省区、产学研创新主体之间不平衡的问题。为促进污水处理行业区域均衡发展，推进产学研多主体创新，提出如下对策建议：

(1)我国污水处理行业创新产出已经呈现出一定的空间聚集特征，这表明我国的区域创新产出有明显的空间近邻溢出效应，相邻地区之间的创新行为相互影响。因此，应充分发挥高高聚集区的带头引领作用，利用区位优势、空间依赖等地理条件，继续加大区域间交流，扩大创新辐射范围，增大强度，推进高低聚集区向高高聚集区演化，实现区域双赢。

(2)省区之间污水处理行业专利产出不均衡现象较为明显，总体看东南、华北地区要优于西北、西南地区。应鼓励西北地区、低低聚集区通过设立人才飞地、设置创新平台分中心、地方研发基地等形式积极引进创新领先地区的技术力量，同时选派科技人员到创新领先地区进修交流，培育壮大本地创新主体，逐步实现低低聚集区向高低聚集区演进。

(3)企业是污水处理行业创新的主要力量，与之相比院校和科研单位创新产出较为薄弱，这一方面与创新主体数量紧密相关，企业数量远大于院校和科研院所，另一方面也反映了院校、科研单位创新主观能动性不足问题。政府应出台鼓励政策，加大院校、科研单位成果转化力度，促进产学研各主体在污水处理行业的合作，将院校、科研单位的人才优势与企业自身发展需求相结合，推进污水处理行业的产学研联合创新。

本研究也存在以下三点局限：一是受数据

资料所限,驱动因素分解过程中以专利授权量作为主要数据源进行分解分析,未能考虑产学研各创新主体研发经费投入、各省区国民经济水平等其他影响创新产出的因素;二是本次研究主要聚焦省级区域,没有将地市或县区级等更精细的空间单元作为研究对象,在空间特征分析的精细化程度上有所不足;三是本研究没有考虑产学研合作网络下的专利产出特征。今后,考虑研发经费投入、区域经济水平、产学研合作网络等影响下的驱动因素分解及精细化空间特征分析研究有待拓展深化。

参考文献

- [1] 国家发展改革委,住房和城乡建设部.“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划[EB/OL].(2021-06-06)[2024-2-15].https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202106/t20210611_1283168_ext.html.
- [2] 许美芳,黄晓东,魏家香,等.基于专利分析视角的浙江省污水治理技术态势研究[J].浙江农业学报,2018,30(12):2121-2128.
- [3] 许美芳,金李杰,楼昭涵,等.长三角一体化视角下的污水治理专利计量分析[J].浙江农业科学,2021,62(7):1428-1432,1460.
- [4] 周运迪,赵晗,邱传虹,等.江苏省污水处理及其再生利用专利分析研究[J].江苏科技信息,2022,39(24):30-34.
- [5] 王淼薇,雷一东.我国污水处理领域专利地图分析[J].复旦学报(自然科学版),2013,52(1):99-104.
- [6] 于伟,张鹏.我国省域专利授权分布及影响因素的空间计量分析——基于2007—2009年统计数据的实证研究[J].宏观经济研究,2012(6):83-86.
- [7] 沈能,周晶晶.我国大学专利产出的空间分布及趋同特征——基于空间计量分析[J].科研管理,2013,34(S1):133-139.
- [8] 张明倩,柯莉.“一带一路”跨国专利合作网络及影响因素研究[J].软科学,2018,32(6):21-25,29.
- [9] 刘志迎,陈侠飞.基于LMDI模型的长江经济带创新产出变化的驱动效应分析[J].研究与发展管理,2016,28(6):61-70.
- [10] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide[J]. Energy Policy, 2005(33): 867-871.
- [11] ANG B W. LMDI decomposition approach: a guide for implementation[J]. Energy Policy, 2015(86): 233-238.
- [12] CHO J H, SOHN S Y. A novel decomposition analysis of green patent applications for the evaluation of R&D efforts to reduce CO₂ emissions from fossil fuel energy consumption[J]. Journal of Cleaner Production, 2018(193): 290-299.
- [13] FUJII H, MANAGI S. Trends and priority shifts in artificial intelligence technology invention: A global patent analysis[J]. Economic Analysis and Policy, 2018(58): 60-69.
- [14] FUJII H. Decomposition analysis of green chemical technology inventions from 1971 to 2010 in Japan[J]. Journal of Cleaner Production, 2016(112): 4835-4843.
- [15] 蔡中华,余薇佳.我国PCT国际专利申请量增长的驱动因素分析——基于LMDI方法[J].科技管理研究,2016,36(20):143-148.
- [16] 陈爱萍,陈会英.基于LMDI的中国上市公司绿色专利分解分析[J].情报杂志,2020,39(9):103-109,32.
- [17] 魏莱,彭佑元.黄河流域绿色技术创新时空演化分解分析——来自绿色专利数据的证据[J].河南科学,2023,41(11):1687-1696.
- [18] 张玉明,李凯.中国创新产出的空间分布及空间相关性研究——基于1996-2005年省际专利统计数据的空间计量分析[J].中国软科学,2007(11):97-103.
- [19] 王毅.我国旅游产业科技创新能力时空演变研究[D].南京:南京师范大学,2015.
- [20] 张建宇.风力发电产业专利技术研发概况、研发热点与演进路径研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2020.
- [21] 彭聪,吕拉昌.中国低碳技术专利的时空格局及影响因素——基于中国284个地级及以上城市数据的实证分析[J].技术与创新管理,2023,44(4):424-434.
- [22] 桂还官尚.近十年我国高校专利产出数量的空间差异性分析[D].兰州:西北师范大学,2017.
- [23] 王曼娜,陈晨,陈晓芬,等.我国再生水领域的研究和应用趋势——基于博硕士论文与专利的分析[C]//中国环境科学学会.2014中国环境科学学会学术年会论文集.成都:四川大学,2014:1167-1174.
- [24] 赵阳.面向企业技术创新的专利技术信息挖掘与分析研究[J].现代情报,2020,40(12):84-89.
- [25] 朱佳林.我国高校图书馆知识产权服务研究热点及前沿可视化分析[J].图书馆工作与研究,2022(2):77-84,95.
- [26] 秦奋,高健,宋妙茹.双碳背景下基于区位熵方法的绿色专利文献计量研究[J].图书馆工作与研究,2024(1):80-88.