

引用格式: 光峰涛, 李琳, 卢晓丹. 中国电力技术创新时空分异及其来源[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1324-1334. [Guang F T, Li L, Lu X D. Spatiotemporal heterogeneity and sources of electricity technology innovation in China[J]. Resources Science, 2023, 45(7): 1324-1334.] DOI: 10.18402/resci.2023.07.04

中国电力技术创新时空分异及其来源

光峰涛^{1,2}, 李琳^{1,2}, 卢晓丹¹

(1. 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 武汉 430078; 2. 中国地质大学(武汉)绿色金融与资源环境创新研究院, 武汉 430078)

摘要:【目的】电力技术创新是推动能源技术革命的关键。本文旨在明确中国电力技术创新的战略取向, 摸清电力技术创新的时空演变规律及原因, 为加快推进中国电力技术创新提供科学依据。【方法】基于H02类专利统计数据, 通过构建绝对指标、相对指标和特化系数对中国2001—2020年电力技术创新的时空分布特征进行了评价, 并运用Dagum基尼系数和方差分解技术, 从空间和专利结构两个维度解析了电力技术创新的空间分异演化规律及其来源。【结果】①电力技术创新水平呈提升态势, 且表现出由东向西递减的规律, 创新能力主要集聚在电力产品的形状、构造及电力方法运用等方面; ②发明专利特化系数的空间分异程度较实用新型专利更大, 属于实用新型专利特化类的地区数量多于属于发明专利特化类的地区数量; ③相比区域内差异和超变密度而言, 区域间差异对电力技术创新空间分异的驱动效应更大; 实用新型专利对电力技术创新空间分异的驱动效应越来越强, 而发明专利则相反。【结论】研究结果对因地制宜统筹区域电力技术创新均衡发展, 探索提升中国电力技术创新水平的有效路径有重要参考价值。

关键词: 电力技术创新; H02类专利; 时空特征; Dagum基尼系数; 方差分解技术

DOI: 10.18402/resci.2023.07.04

1 引言

加快推进能源革命是中国保障新发展格局, 掌握世界发展主导权的重要基础和驱动力。党的二十大报告指出, 要加快规划建设新型能源体系, 积极参与应对气候变化全球治理。电力作为传统化石能源的重要转换载体, 其绿色转型发展是能源革命的关键, 而这离不开电力技术创新水平的提升。电力技术创新作为能源技术创新最活跃的方向, 在很大程度上决定着中国能否占领世界能源科技制高点。当前, 中国电力技术创新能力显著提升, 重大技术装备自主化不断取得新的进展。然而, 电力行业的能源科技自主创新研究基础还较为薄弱, 有效的技术源头尚未形成, 在研发投入机制、创新体制机制、企业主体地位等方面存在不同程度的问

题, 中国电力技术还未从真正意义上完成由技术模仿到技术领先的转变, 东中西地区电力技术创新能力呈现明显的不均衡状态。因此, 亟需明晰中国电力技术创新的战略取向, 摸清电力技术创新的时空演变规律及其原因, 这有助于强化中国总体创新驱动效应, 对中国“双碳”目标顺利实现至关重要。

电力技术创新作为技术创新在电力领域的具体实践, 具备技术创新的多层次、多因素、多学科交叉的基本特征, 这使其很难全面、系统、完整地界定与衡量, 故而不同科学者对其测度所给予的偏重和倾向也不同。在对整体技术创新水平和能源技术创新的测度方面, 评价指标体系构建与数据包络分析(DEA)及其衍生方法较常被使用(但该类方法不能将绿色技术的投入和产出与一般的技术进

收稿日期: 2023-03-01 修订日期: 2023-05-19

基金项目: 国家社会科学基金项目(22FGLB009)。

作者简介: 光峰涛, 男, 山西运城人, 副教授, 研究方向为电力技术创新与能源转型。E-mail: guangft@126.com

通讯作者: 李琳, 女, 山东鱼台人, 讲师, 研究方向为资源环境经济与政策研究。E-mail: smile.linli@outlook.com

2023年7月

步分开,测量结果会有一定程度的误差^[11]。创新水平还可采用专利数量和研发人员数量来衡量^[2]。例如,对可再生能源技术或节能减排技术创新水平,可根据国际专利分类(International Patent Classification, IPC)绿色库存分类代码获得可再生能源发明的专利授权数据,使用永久存量法测度可再生能源专利的知识存量(RPATS)来衡量^[11,3-7];同时,使用专利衡量技术创新水平的方式也被运用到微观层面和不同行业^[8,9]。在区域差异方面,针对区域创新水平空间差异研究较多^[10-12],总的来说,东部沿海地区始终是中国先进创新技术的高度集聚区^[13,14],中部地区部分中心城市也有较强的创新驱动动力,并呈现很强的空间相关性^[15,16]。在能源与电力技术创新的驱动因素方面,安同良等^[17]的研究证实,减少技术差距、促进经济赶超发展是有效提升区域发展平衡性、协调性的重要途径和手段;Norberg-Bohm^[18]提出了能源领域的诱导技术创新理论,认为研发投资和新市场是能源技术创新活动发展和扩散的诱导因素;Guo等^[19]指出,创新政策、创新投入、创新能力和创新组织是能源技术创新的4个重要要素;Sovacool等^[20]认为,产品的技术改进、能源的高效替代和创新系统的组合升级能够促进能源技术创新和可持续发展行为;徐乐等^[21]发现,重点产业通过引导投资政策来提高重点行业的新能源技术创新,通过放宽环境规制抑制新能源技术创新。近年来,高昂的能源价格、碳价格和严格的环境约束,也对能源技术创新提出了更高的要求^[22-24]。这些研究为能源技术创新能力提升提供了科学参考,但对电力技术创新研究的针对性不强。

当前的研究仍有进一步拓展的空间:一是现有研究多集中于对区域整体科技创新和能源技术创新水平的测度,缺乏对电力行业技术创新水平的特定衡量;另外,技术创新水平的衡量方式多样,构建指标体系等方法全面但实操性不强,容易因为数据缺失等因素难以测算;二是现有研究鲜有对电力技术创新时空规律和分异来源展开深入探索与讨论。因此,本文首先采用H02专利表征中国各省2001—2020年电力技术创新水平,通过构建绝对指标、相对指标和特化系数评价电力技术创新的时空分布特征,然后运用Dagum基尼系数评估电力技术创新的空间分异程度及其来源,再运用方差分解技术探究发明和实用新型专利两大创新品种对空间分异的影响,以期为中国电力技术创新水平整体提升,推动电力技术创新向均衡状态迈进,缓解区域经济发展的非均衡性,提出针对性和建设性建议。

2 指标数据与研究方法

2.1 指标数据

电力技术是以适应和满足人类社会需要为目的,创造和发展起来的与电力系统运行相关的知识、手段、方法和技能等。进一步,立足电力生产过程,考虑电力系统的构成,可将电力技术分成发电技术、输变电技术和配电技术3类。鉴于此,本文从产出视角出发,采用《国际专利分类表2020版》中的H02类专利表征电力技术创新水平。H02类专利涉及电力的发电、输变电、配电等环节,其下主要包含表1所示的9个品种。

本文采用的专利数据系通过检索IncoPat专利数据库而得。因IncoPat专利数据库只包括发明和

表1 H02类专利的分类及定义

Table 1 Classification and definition of H02 patents

分类号	定义
H02B	供电或配电用的配电盘、变电站或开关装置
H02G	电缆或电线的安装,或光电组合电缆或电线的安装
H02H	紧急保护电路装置
H02J	供电或配电的电路装置或系统;电能存储系统
H02K	电机(电动继电器入H01H 53/00;直流或交流电力输入变换为浪涌电力输出入H02M 9/00)
H02M	用于电功率变换的电路或装置,或用于控制或调节此种电路或装置的设备
H02N	其他类目不包含的电机
H02P	电动机、发电机或机电变换器的控制或调节;控制变压器、电抗器或扼流圈
H02S	由红外线辐射、可见光或紫外光转换产生电能,如使用光伏(PV)模块

实用新型两类专利,而不包括外观设计专利,因此本文选择通过发明专利和实用新型专利的数据加和来测度电力技术创新水平。需要说明的是,相较实用新型专利而言,发明专利的技术创新程度和技术重要性都更高,因而实现转化和应用的机会也就更多。发明专利数据采用发明专利申请量而非授权量,这主要基于以下两点考虑:①发明专利过长的审查周期致使其授权量呈现出一定的时间滞后性,若以专利授权量来衡量电力技术创新水平则可能会面临一定的信息失真问题;②发明专利的授权量所涵盖的信息基本上能够被其申请量所覆盖,两者间表现出很强的线性关系^[8]。研究区域包括中国30个省份(港澳台与西藏由于数据缺失未予考虑)。各地区年末人口总数来源于2001—2021年的《中国统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 Dagum 基尼系数及其按子群分解的技术

本文采用Dagum基尼系数对电力技术创新的空间分异进行测度并按地区进行分解。基尼系数作为分析经济社会发展指标空间分异的典型方法,已在多个领域得到了广泛地应用,如工业技术创新^[25]、薪酬收入^[26]、碳排放强度^[27]、能源消费^[28]等。尽管基尼系数具有很强的适用度和实用性,但在基尼系数的早先应用中,其被认为是不能分解的,直到Dagum^[29]提出了按子群对基尼系数进行分解的技术,即Dagum基尼系数。与传统的基尼系数、泰尔指数等不平等指标相比,Dagum基尼系数有两方面的突出优势:①能够清晰阐明经济社会发展指标空间分异的来源,可以将地区间的总体差距分解为群体内差异、群体间差异以及超变密度三部分;②可以捕捉子样本的分布特征,有效解决样本间重叠问题。

基尼系数 G 的计算公式如下:

$$G(y) = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2k^2 \bar{y}} \quad (1)$$

式中: y 为被评估指标,在本文中指以H02类专利表征的电力技术创新; k 和 n 分别为个体数和种群数,在本文中任意一个省份代表一个个体,将所有省份依照传统区划标准分为东、中、西3个地区,任意一

个地区构成一个种群; $n_j(n_h)$ 表示种群 $j(h)$ 所包含的个体数; $y_{ji}(y_{hr})$ 表示种群 $j(h)$ 内个体 $i(r)$ 的H02类专利数量; \bar{y} 为全样本均值。

依照Dagum基尼系数分解技术,将基尼系数分解成群体内差异 G_w 、群体间差异 G_b 和超变密度 G_1 ,如式(2):

$$\begin{cases} G_w = \sum_{j=1}^m G_{jj}(y) \cdot p_j \cdot s_j \\ G_b = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} \cdot D_{jh} \cdot (p_j s_h + p_h s_j) \\ G_1 = \sum_{j=2}^m \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} \cdot (1 - D_{jh}) \cdot (p_j s_h + p_h s_j) \end{cases} \quad (2)$$

式中: G_{jj} 为种群 j 内个体基尼系数; D_{jh} 为种群 j 和种群 h 个体间的交叉影响; $F_j(F_h)$ 为种群 $j(h)$ 的累积概率密度函数; $p_j = n_j/k$, $s_j = n_j y_j / n \bar{y}$ 。

2.2.2 方差分解技术

方差分解技术用于测算不同专利类别对地区间H02类专利数量差距的贡献,以从专利结构维度探明电力技术创新产出空间分异的来源。该方法的原理是将研究总体拆分成若干个构成要素,进而依据总体方差等于总体与各要素协方差之和的原则,计算不同要素的地区差距对总体差距的贡献。在本文中,研究总体为H02类专利的总数量 y ,拆分为发明专利 y_1 和实用新型专利 y_2 ,即有如下等式关系存在:

$$y = y_1 + y_2 \quad (3)$$

依据方差分解思路,H02类专利的总数量 y 的方差可以分解为:

$$\text{var}(y) = \text{cov}(y, y_1) + \text{cov}(y, y_2) \quad (4)$$

式中: $\text{var}(y)$ 为 y 的方差; $\text{cov}(y, y_1)$ 为 y 和 y_1 的协方差; $\text{cov}(y, y_2)$ 为 y 和 y_2 的协方差。

对式(4)两边同除以 $\text{var}(y)$,便可得到表示 y_1 和 y_2 的地区差距对电力技术创新空间分异的贡献份额,即:

$$100\% = \frac{\text{cov}(y, y_1)}{\text{var}(y)} + \frac{\text{cov}(y, y_2)}{\text{var}(y)} \quad (5)$$

2.2.3 特化系数

本文基于特化系数来分析中国2001—2020年各地区电力专利结构与全国平均水平的差异,并以

2023年7月

此为基础对地区进行分类。电力技术创新的结构特化系数构建如下:

$$T_{iq} = \frac{R_{iq}/R_i}{R_q/R} \quad (6)$$

式中: T_{iq} 为地区 i 电力 q 类别专利的特化系数; R_{iq} 为地区 i 电力 q 类别专利的数量; R_i 为地区 i 的电力专利数量总和; R_q 为全国电力 q 类别专利的数量总和; R 为全国电力专利数量总和。当 T_{iq} 的值为1时,说明地区 i 电力 q 类别专利的分布与全国平均水平相当;当 T_{iq} 的值大于1时,说明地区 i 电力 q 类别专利的分布较为集中,表现出“特化”特征;当 T_{iq} 的值小于1时,说明地区 i 电力 q 类别专利的分布较为分散,表现出“非特化”特征。

3 结果与分析

3.1 中国电力技术创新时序演化特征

2001—2020年,中国一直在加强电力技术创新,通过H02类专利分布发现(图1),每年H02类专利的总数量都在上涨。特别是在2007年之后,每年

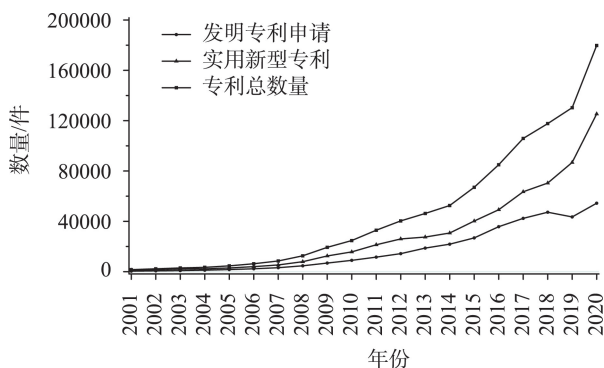


图1 2001—2020年H02类专利的分类数量

Figure 1 Number of classified H02 patents, 2001-2020

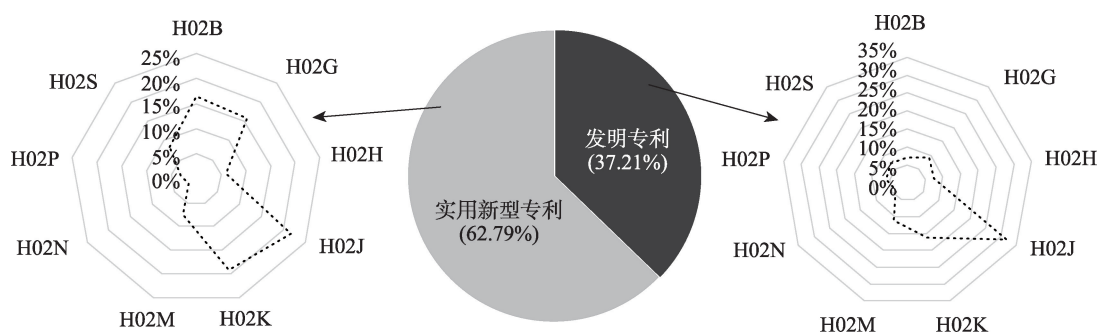


图2 2001—2020年电力技术创新的热点方向分布

Figure 2 Hotspot distribution of electric technology innovation, 2001-2020

H02类专利的总数量开始以较快的速率增长,这一发现与曲伟^[30]的研究相吻合,表明中国电力行业加快了技术升级和改造。“十二五”期间,国家将智能电网发展作为重点布局的产业,在这一时期智能电网建设的关键、共生技术取得长足进步,包括大规模可再生能源发电的接入技术、大电网互联及远距离输电及其相关控制技术等,使得H02类专利总数量由2011年的32953件增加到2015年的67071件,增长率高达103.54%。再者,2016年开启的能源技术革命,将高效太阳能利用技术、大型发电技术、高效燃气轮机技术等先进电力技术的发展作为重点任务,这在2017年H02类专利总数量相较2016年26.73%的增长率中有所体现。从不同专利类别来看,无论是发明专利还是实用新型专利均呈增长态势,但实用新型专利的总体增长量超过发明专利,且随着时间推移,实用新型专利和发明专利的数量差距逐渐拉大,究其原因很大程度上在于发明专利初审和实质性审查的难度更大、所需时间更长。

图2呈现了2001—2020年H02类专利各个品种的占比结构。从图中可以看出,中国电力工业的专利聚焦在电力产品的形状、构造及电力方法运用方面,实用新型专利的累计占比为62.79%,远高于发明专利的37.21%。同时,发明专利和实用新型专利的热点技术呈现出一定的相似性,都主要集中在H02J和H02K方面。H02J类专利的构成相对复杂,突出应用在电源方面,在电机和蓄电方面也有相当程度的应用;H02K类专利主要应用在电机方面,控制机械能的装置是其核心应用。此外,无论是发明专利方面还是实用新型专利方面,H02N类专利的

占比都是最低的,分别只有3.78%和1.75%,这主要由于该类专利只是作为其他类专利的补充。

3.2 电力技术创新的空间分异特征

3.2.1 绝对指标视角下电力技术创新的空间分异特征

中国电力技术创新的产出——H02类专利数量总和作为绝对指标,其空间分布大致表现出由东向西递减的规律,且东部沿海地区的H02类专利数量明显高于中西部地区(图3)。其中,东部地区的广东、江苏、浙江、北京、山东等省份排在电力技术创新的专利总产出数量前5位,占全国专利总产出数量的56.68%,折射出区域电力技术创新发展存在严重的不平衡问题。电力技术创新的空间分布格局与区域经济发展格局存在一定的映射关联。相比中西部地区,东部地区的经济发展较快,在资金、人才、管理等方面的优势突出,有相对更好的电力技术创新生态环境。此外,这种分布格局也反映了电力输入省份是当前电力技术创新的主要贡献者,这些省份由于电力资源的贫乏,有动力不断推动高端、高效、高质量电力产品的研发和创新。以典型电力输入省份——广东为例,“西电东送”已成为其电力的主要来源,外购电的比例由2002年的9.5%增长到2020年的30%以上,但与此同时,其产出的H02类专利数量占比达到全国的16.82%,是推动全

国电力技术创新产出增长的核心贡献者。

3.2.2 相对指标视角下电力技术创新的空间分异特征

由于从绝对指标视角对中国电力技术创新区域差距的分析没有将地区人口规模对电力技术创新的影响考虑在内,可能会引起结果偏差。因而进一步从相对视角出发,基于单位人口的H02类专利数量(专利件数/万人)开展分析。

相对指标视角下电力技术创新的空间分布情况如图4所示。从图中可以发现,绝对与相对视角下的电力技术创新空间分布评价结果有一定差异,后者呈现的空间分异相对更小。在相对指标视角下,单位人口的H02类专利数量少于7件/万人的地区有23个,约占总数的76.67%。究其原因在于中国各地区电力技术创新水平普遍不高,还有较大的提升空间。但需要注意的是,相对指标视角下中国电力技术创新水平“东高西低”的空间格局特征并没有发生改变,如何缩减区域电力技术创新水平的差异化应是推动以新能源为主体的新型电力系统构建所需面对的一个重要问题。从各地区相对指标的排名来看,前5位的省份包括北京、上海、天津、江苏、浙江,其人均H02类专利数量都在16件/万人以上,这些省份有较为成熟和系统的电力产品研发体系和专利体系。此外,西部地区有少数省份的排

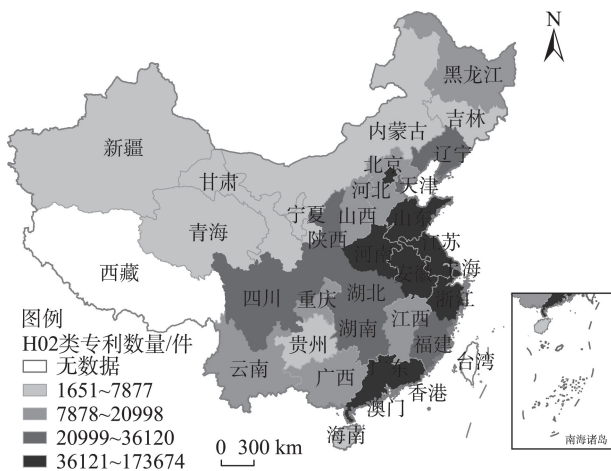


图3 绝对指标视角下中国电力技术创新的空间分异

Figure 3 Spatial differentiation of electric technology innovation in China from the perspective of absolute index

注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图无修改。

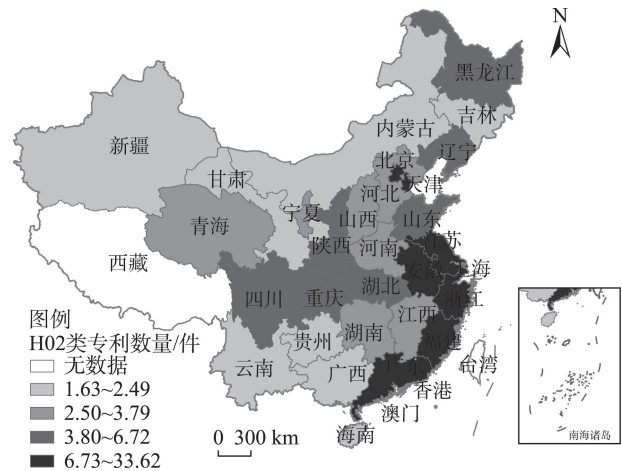


图4 相对指标视角下中国电力技术创新的空间分异

Figure 4 Spatial differentiation of electric technology innovation in China from the perspective of relative index

注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图无修改。

2023年7月

名攀升明显,典型的有青海、宁夏等。这些电力技术创新水平较低的省份拥有较低的人口密度,在考虑人口规模效应后,其人均电力H02类专利数量的计算结果偏好。

3.2.3 专利结构视角下电力技术创新的空间分异特征

专利结构是对不同类别专利间数量关系的刻画,对H02类下发明专利和实用新型专利的构成比例及演变趋势进行分析,能够明晰电力技术创新的战略取向和原始创新能力的强度。发明专利有着比实用新型专利更高的技术密集度和技术价值,更容易推动具有自主知识产权产品的形成。因而,一个地区发明专利的比例越高,这个地区电力行业原始创新能力的富集程度越高。专利结构的空分布既是电力技术创新产出地区分布的重要内容,也是地区电力技术创新水平和结构特征的清晰呈现。

图5汇报了H02类下各地区发明专利和实用新型专利的结构特化系数,并依据结构特化系数最大值所属的专利类别对不同地区进行了分类,相应的结果呈现在表2中。结合图5和表2发现:①与实用新型专利相比,发明专利特化系数的空间分异程度

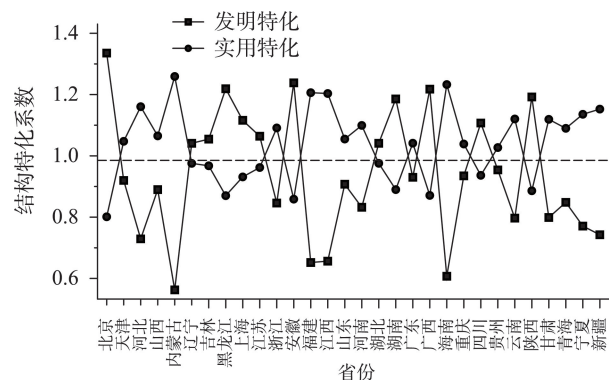


图5 各地区电力专利技术结构特化系数

Figure 5 Regional specialization coefficient of patent electric technology structure

表2 依据结构特化系数的地区分类结果

Table 2 Results of regional classification based on structural specialization coefficient

发明专利特化类	实用新型专利特化类
北京、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、安徽、湖北、湖南、广西、四川、陕西	天津、河北、山西、内蒙古、浙江、福建、江西、山东、河南、广东、海南、重庆、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆

更严重,这与发明专利自身特点密不可分。H02类下的发明专利涵盖与电力产品制造、电力方法运用相关的各种专利。这些专利的产生不仅依赖良好的创新生态,也受气候环境、历史、地理等因素的影响。如东北地区,作为中国电力工业的摇篮,也是中国电力市场化改革的重要发源地^[31],这意味着辽宁、吉林、黑龙江3省要把提高电力自有知识产权产品研发水平摆在突出重要的地位。此外,东北地区气候寒冷的特点使得其电力系统的运行面临更为复杂严峻的挑战,这为推动发明创新创造提供了较好的外在驱动力。②属于实用新型专利特化类的地区数量多于属于发明专利特化类的地区数量,占总数的60%,说明整体而言,现阶段中国电力工业中具有高附加值的技术创新能力并不突出。具体来看,北京、安徽、黑龙江、广西4个省份的发明专利特化系数均在1.2以上,这些地区在电力工业发展中比较重视电力技术研发,表现出相对较强的自主创新能力。其中,广西地区多供电主体并存的格局致使该地区电力市场的竞争较为激烈,在一定程度上促进了该地区对电力自主创新的探索。

3.3 中国电力技术创新空间分异来源

在相对指标视角下,通过Dagum系数定量测度中国电力技术创新的空间分异程度,并从空间和专利结构两个维度解析中国电力技术创新空间分异来源。表3展示2001—2020年中国电力技术创新产出的基尼系数及其空间分解的测算结果。

(1)研究期内,中国电力技术创新的空间分异态势有所好转,中国电力技术创新产出的基尼系数下降,由2001年的0.5745下降到2020年的0.4295,累计降低25.23%。从变动趋势来看,基尼系数在2001—2020年呈不规则的“双峰”分布,经历了“波动上升—缓慢下降—短暂反弹—快速下降”的过程,两个峰值年份分别为2005年和2013年。2005年之前,基尼系数在波动中上升,在2003年有短暂下降后又延续之前的上涨趋势。2005年的基尼系数是0.6475,这是研究期内基尼系数的最大值,相比2001年累计增加12.70%,在这一时期中国电力技术创新的空间分异程度在加大,表现出明显的马太效应。从2006年开始,基尼系数呈现出稳定的下降态势,一路降至2012年的0.5516,累计下降14.80%,这

表3 2001—2020年中国电力技术创新产生的基尼系数及其空间分解

Table 3 Gini index and spatial decomposition of China's electric technology innovation output, 2001-2020

年份	G	区域内基尼系数			区域间基尼系数			贡献率/%		
		东部	西部	中部	东-西	东-中	中-西	G_w	G_b	G_l
2001	0.5745	0.4764	0.2417	0.1554	0.7542	0.6118	0.3119	31.05	67.95	1.00
2002	0.6172	0.5097	0.3802	0.2224	0.7869	0.6512	0.3897	32.05	65.43	2.52
2003	0.6054	0.5043	0.2743	0.1830	0.7543	0.7082	0.2540	31.85	64.83	3.32
2004	0.6244	0.5247	0.3894	0.2267	0.7599	0.7133	0.3334	32.85	62.53	4.62
2005	0.6475	0.5143	0.3685	0.2006	0.7982	0.7644	0.3290	31.60	65.36	3.05
2006	0.6234	0.5224	0.2976	0.1627	0.7815	0.6998	0.3029	32.15	64.85	3.01
2007	0.6229	0.5114	0.3579	0.1440	0.7802	0.7045	0.3187	31.89	65.00	3.11
2008	0.6156	0.5233	0.3010	0.1290	0.7711	0.6908	0.2799	32.37	64.54	3.09
2009	0.6046	0.4954	0.3892	0.1310	0.7717	0.6580	0.3621	31.52	64.56	3.93
2010	0.5768	0.4787	0.3942	0.1969	0.7251	0.6343	0.3657	31.76	61.43	6.81
2011	0.5713	0.4639	0.4616	0.2057	0.7172	0.6156	0.4208	31.58	60.33	8.09
2012	0.5516	0.4608	0.4445	0.2361	0.6769	0.6034	0.3977	32.29	57.33	10.38
2013	0.6119	0.5588	0.3969	0.2566	0.7189	0.6788	0.3600	34.72	56.77	8.51
2014	0.6039	0.5612	0.3567	0.2447	0.7160	0.6595	0.3375	34.82	57.59	7.59
2015	0.5454	0.4825	0.3441	0.2284	0.6651	0.6136	0.3138	32.96	58.20	8.83
2016	0.5156	0.4451	0.2827	0.2428	0.6521	0.5763	0.3019	31.48	59.64	8.87
2017	0.4890	0.4263	0.2566	0.2468	0.6162	0.5586	0.2827	31.24	58.14	10.61
2018	0.4918	0.4318	0.2222	0.2498	0.6293	0.5503	0.2794	31.10	60.10	8.80
2019	0.4657	0.4046	0.2296	0.1793	0.6012	0.5304	0.2427	30.71	61.78	7.51
2020	0.4295	0.3664	0.2175	0.1764	0.5680	0.4754	0.2443	29.95	63.72	6.33
均值	0.5694	0.4831	0.3303	0.2009	0.7122	0.6349	0.3214	32.07	62.12	5.82

反映该时期地区间电力技术创新差距有所缩小,与先进地区相比,后进地区电力技术创新发展步伐更快。但随后,基尼系数出现较大幅度的反弹,快速攀升到另一个峰值,即2013年的0.6119,相比2012年增加10.93%,意味着中国电力技术创新空间分异程度在这一年出现急剧强化,这可能与当年全国电能替代工作的全面开启有关,不同地区电能替代进程与形势的不同催生了基尼系数的反弹。随着2015年新一轮电力体制改革的开启以及2016年能源革命战略的实施,中国电力技术创新发展形势明显改观,基尼系数稳定向下。

(2)东中西部电力技术创新的非均衡发展是导致全国总体电力技术创新空间分异的首要贡献因素。区域间差距的贡献率在[56.77%,67.95%]区间内波动,在各年间均维持最大,明显高于区域内差距和超变密度的贡献率。从区域间差距贡献率的演变趋势来看,其呈U型分布,2013年为转折点,经历了“长期波动下降-快速上升”的动态变化;从区

域间差距来源来看,东-西部和东-中部地区间的基尼系数要远大于中-西部地区间的基尼系数,意味着东-西部和东-中部地区间电力技术创新的非均衡发展是造成区域间差距贡献率最主要原因。此外,尽管东-西部和东-中部地区间的基尼系数呈波动下降态势,但其仍处于中高水平。区域内差异是驱动电力技术创新空间分异的第二大贡献因素,其贡献率较为稳定,波动幅度不超过5%。分区域来看,东部地区内各省份的电力技术创新发展的非均衡状态最为突出,西部地区内各省份的电力技术创新发展较为相似。超密度的贡献率总体增长,由2001年的1.00%提升到2020年的6.33%,上调幅度达5倍之多,但仍是贡献率最小的因素。

表4为专利结构维度下电力技术创新空间分异特征演化的归因分析结果。从平均贡献率来看,实用新型专利是电力技术创新空间分异的首要来源要素。发明专利的贡献率为45.69%,小于实用新型专利54.31%的贡献率。从变化趋势来看,实用新型

2023年7月

表4 2001—2020年不同电力技术创新产出类别对空间分异的要素贡献(%)

Table 4 Factor contribution of different electric technology innovation output categories to the spatial differentiation, 2001-2020 (%)

年份	发明专利	实用新型专利
2001	54.25	45.75
2002	48.44	51.56
2003	47.32	52.68
2004	57.36	42.64
2005	48.55	51.45
2006	48.19	51.81
2007	46.89	53.11
2008	47.53	52.47
2009	43.54	56.46
2010	44.00	56.00
2011	41.64	58.36
2012	42.23	57.77
2013	44.22	55.78
2014	46.34	53.66
2015	46.07	53.93
2016	46.46	53.54
2017	44.04	55.96
2018	44.13	55.87
2019	39.30	60.70
2020	33.29	66.71
均值	45.69	54.31

专利对电力技术创新空间分异的驱动效应越来越强,而发明专利的驱动效应则越来越弱。发明专利的贡献率在经过一个平台期的长期波动后开始快速下降,下降阶段主要出现在2018—2020年这一期间,整个研究期内下降20.96%,而实用新型专利的贡献率则表现出完全相反的趋势,其上涨幅度同发明专利贡献率的下降幅度相当。

从空间-要素交叉视角探究专利类别与地区差距间的关联特征发现(表5),发明专利和实用新型专利对电力技术创新地区间总体差距的回归系数均为负值,但系数值存在明显差异。从回归系数的

绝对值来看,发明专利的增长驱动地区间电力技术创新收敛的效应大于实用新型专利。就区域内差距相关性结果和区域间差距相关性结果而言,发明专利和实用新型专利均对差距的缩小发挥了正向作用,且发明专利的作用效果相对较大。未来如何提升发明专利的产出强度是协调各省份间、各地区间在电力技术创新空间分异的重要内容。但相反的是,发明专利和实用新型专利对超变密度的回归系数显示为正,意味着这两类专利的增加会强化个体间的交互作用,且发明专利的强化效应更大。

4 结论与启示

4.1 结论

本文采用电力技术创新的产出H02类专利指标来表征我国地区电力技术创新水平,分别从绝对指标、相对指标、专利结构3个视角讨论了中国电力技术创新的时空特征,并通过Dagum基尼系数和方差分解技术,从空间和专利结构两个维度揭示了中国电力技术创新的空间分异程度及其来源。得出如下结论:

(1)2001—2020年,中国H02类专利总量不断增长,电力技术创新水平不断提升,且自2007年后增长速率明显提升;从结构来看,中国电力工业的专利仍聚焦在电力产品的形状、构造及电力方法运用方面;从空间分布来看,中国电力技术创新产出表现出由东向西递减的规律,且东部沿海地区的H02类专利数量要明显高于中西部地区。但由于中国各地区电力技术创新水平普遍不高,还有较大的提升空间,相对指标视角下的中国电力技术创新空间分异特征依旧存在,但差异相对较小。

(2)在专利结构视角下,与实用新型专利相比,由于H02类发明专利依赖良好的创新生态环境,也受气候环境、历史、地理等因素影响,发明专利特化系数的空间分异程度更大。其中,北京、安徽、黑龙

表5 基尼系数与专利类别来源的相关性

Table 5 Correlation between the Gini index and the patent categories

项目	发明专利	实用新型专利
基尼系数 G	$G = -0.437G_1 + 62.463$ ($R^2 = 0.843$)	$G = -0.238G_2 + 62.100$ ($R^2 = 0.876$)
区域内差距 G_w	$G_w = -0.152G_1 + 20.172$ ($R^2 = 0.683$)	$G_w = -0.085G_2 + 20.099$ ($R^2 = 0.752$)
区域间差距 G_b	$G_b = -0.350G_1 + 39.794$ ($R^2 = 0.882$)	$G_b = -0.179G_2 + 39.253$ ($R^2 = 0.809$)
超变密度 G_t	$G_t = 0.065G_1 + 2.497$ ($R^2 = 0.306$)	$G_t = 0.026G_2 + 2.747$ ($R^2 = 0.175$)

江、广西等表现出相对较强的自主创新能力。同时,由于当前中国电力行业中高附加值技术创新能力不突出,属于实用新型专利特化类的地区数量多于属于发明专利特化类的地区数量。

(3)从空间分异测度结果来看,2001—2020年,中国电力技术创新产生的基尼系数呈不规则的“双峰”分布,经历了“波动上升—缓慢下降—短暂反弹—快速下降”的过程,整体上累计下降25.23%,中国电力技术创新的空间分异情况有所好转。相比区域内差异和超变密度而言,东、中、西部地区电力技术创新的非均衡发展对全国总体电力技术创新空间分异的驱动效应更大;实用新型专利对电力技术创新空间分异的驱动效应越来越强,而发明专利则相反。

4.2 启示

鉴于本文对中国电力技术创新水平时空分布特征与分异来源的阐释与分析,因地制宜统筹东中西部地区电力技术创新的均衡发展,对中国电力技术创新水平整体提升有重要意义。在促进东中西部电力技术创新均衡发展中,需结合各地实际发展情况,探索合适的电力技术创新路径。一方面,需将重心放在对空间分异效应较弱的发明专利上,并以实用新型专利为突破口,增强高附加值技术创新能力水平;另一方面,需要充分发挥东部发达省份的自主创新能力,带动西部地区创新持续跟进,发挥不同地区的要素优势,加快构建以新能源为主体的新型电力系统,推动电力行业转型升级。

电力技术创新水平提升是一条漫长而复杂的道路,是一个动态的、累积的、系统的、不确定的过程,是中国学术研究和政策制定亟需共同面对的重要理论和现实课题。本文从宏观层面揭示了中国电力技术创新水平的时空格局演变规律与分异特征来源,为电力技术创新水平提升提供了参考,但因仅采用专利数量来衡量区域电力技术创新,分析存在一定局限,电力技术创新水平测度与进一步机制分析是值得探讨的问题。同时,未来如何进一步缩小东中西部在电力技术创新发展中的显著差距,形成整体高效的电力系统,是削弱电力技术创新空间分异的重要方向。

参考文献(References):

- [1] Ren S Y, Hao Y, Wu H. Government corruption, market segmentation and renewable energy technology innovation: Evidence from China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113686.
- [2] Liu B, Liu Y T, Zhang A L. Heterogeneous impact of CO₂ emissions on renewable energy technology innovation between oil importers and exporters[J]. *Energy & Environment*, 2021, 32(2): 281–294.
- [3] 李杨. 政府政策和市场竞争对欧盟国家可再生能源技术创新的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(7): 1306–1316. [Li Y. Impact of government policy and market competition on renewable energy innovation in EU countries[J]. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1306–1316.]
- [4] Cheng Y Y, Yao X. Carbon intensity reduction assessment of renewable energy technology innovation in China: A panel data model with cross-section dependence and slope heterogeneity[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, DOI: 10.1016/j.rser.2020.110157.
- [5] 谢里, 陈宇. 节能技术创新有助于降低能源消费吗? “杰文斯悖论”的再检验[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(12): 77–91. [Xie L, Chen Y. Can energy-saving innovation help reduce energy consumption? Re-examination of the Jevons' paradox[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(12): 77–91.]
- [6] 叶琴, 曾刚, 戴劭劼, 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. [Ye Q, Zeng G, Dai S Q, et al. Research on the effects of different policy tools on China's emissions reduction innovation: Based on the panel data of 285 prefectural-level municipalities[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(2): 115–122.]
- [7] 张意翔, 成金华, 徐卓程, 等. 中国区域生态建设协调度评价及提升: 基于能源技术专利数据[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(6): 58–64. [Zhang Y X, Cheng J H, Xu Z C, et al. Evaluation and promotion of coordination degree of regional ecological construction in China: Based on patent data of energy technology [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(6): 58–64.]
- [8] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. *中国工业经济*, 2020, (12): 178–196. [Xu J, Cui J B. Low-carbon cities and firms' green technological innovation[J]. *China Industrial Economics*, 2020, (12): 178–196.]
- [9] 王红霞, 裴文乾. 城市人口多元化推进技术创新: 机理、验证与应对[J]. *上海经济研究*, 2022, (6): 51–61. [Wang H X, Pei W Q. Urban population diversification promotes technological innovation: Mechanism, verification and countermeasures[J]. *Shanghai*

2023年7月

- Journal of Economics, 2022, (6): 51-61.]
- [10] 张宗和, 彭昌奇. 区域技术创新能力影响因素的实证分析: 基于全国30个省市区的面板数据[J]. 中国工业经济, 2009, (11): 35-44. [Zhang Z H, Peng C Q. An empirical research of regional technological innovation ability influence factors: Based on 30 provinces in China[J]. China Industrial Economics, 2009, (11): 35-44.]
- [11] 李勇辉, 沈波澜, 胡舜, 等. 生产性服务业集聚空间效应与城市技术创新: 基于长江经济带108个城市面板数据的实证分析[J]. 经济地理, 2021, 41(11): 65-76. [Li Y H, Shen B L, Hu S, et al. Spatial effect of producer services agglomeration and urban technological innovation: Empirical analysis based on panel data of 108 cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2021, 41(11): 65-76.]
- [12] 韩永楠, 葛鹏飞, 周伯乐. 中国市域技术创新与绿色发展耦合协调演变分异[J]. 经济地理, 2021, 41(6): 12-19. [Han Y N, Ge P F, Zhou B L. Evolution and differentiation of coupling coordination between technological innovation and green development in Chinese cities[J]. Economic Geography, 2021, 41(6): 12-19.]
- [13] Lin S F, Lin R Y, Sun J, et al. Dynamically evaluating technological innovation efficiency of high-tech industry in China: Provincial, regional and industrial perspective[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2021, DOI: 10.1016/j.seps.2020.100939.
- [14] Miao C L, Duan M M, Zuo Y, et al. Spatial heterogeneity and evolution trend of regional green innovation efficiency: An empirical study based on panel data of industrial enterprises in China's provinces[J]. Energy Policy, 2021, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112370.
- [15] 王俊松, 颜燕, 胡曙虹. 中国城市技术创新能力的空间特征及影响因素: 基于空间面板数据模型的研究[J]. 地理科学, 2017, 37(1): 11-18. [Wang J S, Yan Y, Hu S H. Spatial pattern and determinants of Chinese urban innovative capabilities: Base on spatial panel data model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(1): 11-18.]
- [16] Wang Q, Chen Y, Guan H S, et al. Technological innovation efficiency in China: Dynamic evaluation and driving factors[J]. Sustainability, 2022, 14(14): 8321.
- [17] 安同良, 魏婕, 舒欣. 中国制造业企业创新测度: 基于微观创新调查的跨期比较[J]. 中国社会科学, 2020, (3): 99-122. [An T L, Wei J, Shu X. The measurement of innovation in Chinese manufacturing enterprises: An intertemporal comparison based on innovation micro-surveys[J]. Social Sciences in China, 2020, (3): 99-122.]
- [18] Norberg-Bohm V. Creating incentives for environmentally enhancing technological change: Lessons from 30 years of U. S. energy technology policy[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2000, 65(2): 125-148.
- [19] Guo P B, Wang T, Li D, et al. How energy technology innovation affects transition of coal resource-based economy in China[J]. Energy Policy, 2016, 92: 1-6.
- [20] Sovacool B K, Newell P, Carley S. et al. Equity, technological innovation and sustainable behaviour in a low-carbon future[J]. Nature Human Behaviour, 2022, 6: 326-337.
- [21] 徐乐, 赵领娣. 重点产业政策的新能源技术创新效应研究[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 113-131. [Xu L, Zhao L D. New energy technology innovation effect of key industrial policy[J]. Resources Science, 2019, 41(1): 113-131.]
- [22] Lin B Q, Chen Y F. Does electricity price matter for innovation in renewable energy technologies in China? [J]. Energy Economics, 2019, 78: 259-266.
- [23] 齐绍洲, 张振源. 碳金融对可再生能源技术创新的异质性影响: 基于欧盟碳市场的实证研究[J]. 国际金融研究, 2019, (5): 13-23. [Qi S Z, Zhang Z Y. Research on the heterogeneity influence of carbon finance on renewable technology innovation: Evidence from EU ETS[J]. Studies of International Finance, 2019, (5): 13-23.]
- [24] 李凡, 朱缤绮, 孙颖. 环境政策、制度质量和可再生能源技术创新: 基于32个国家的实证分析[J]. 资源科学, 2021, 43(12): 2514-2525. [Li F, Zhu B Q, Sun Y. Environmental policy, institutional quality and renewable energy technology innovation: An empirical analysis of 32 countries[J]. Resources Science, 2021, 43(12): 2514-2525.]
- [25] Zhang L, Ma X, Ock Y, et al. Research on regional differences and influencing factors of Chinese industrial green technology innovation efficiency based on Dagum Gini coefficient decomposition[J]. Land, 2022, DOI: 10.20944/preprints202111.0534.v1.
- [26] 方芳, 李实. 中国企业高管薪酬差距研究[J]. 中国社会科学, 2015, (8): 47-67. [Fang F, Li S. Research on the disparity in the remuneration of senior management in Chinese enterprises[J]. Social Sciences in China, 2015, (8): 47-67.]
- [27] 张卓群, 张涛, 冯冬发. 中国碳排放强度的区域差异、动态演进及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(4): 67-87. [Zhang Z Q, Zhang T, Feng D F. Study on regional differences, dynamic evolution and convergence of carbon emission intensity in China[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2022, 39(4): 67-87.]
- [28] 王强, 周侃, 林键. 中国城乡家庭能源平等变化特征分析[J]. 地理学报, 2022, 77(2): 457-473. [Wang Q, Zhou K, Lin J. Changes in energy equality between urban and rural households in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(2): 457-473.]
- [29] Dagum C. A new model of personal income distribution: Specification and estimation[J]. Economie Appliquée, 1997, 30(3): 413-437.

- [30] 曲伟. 中国电力行业的专利信息分析研究[J]. 图书情报工作, 2014, 58(S1): 167-170. [Qu W. Patent information analysis of China's power industry[J]. Library and Information Service, 2014, 58(S1): 167-170.]
- [31] 苑舜. 东北电力辅助服务市场的创新与成效[J]. 电力设备管理, 2020, (8): 18-19. [Yuan S. Innovation and effect of northeast electric power auxiliary service market[J]. Electric Power Equipment Management, 2020, (8): 18-19.]

Spatiotemporal heterogeneity and sources of electricity technology innovation in China

GUANG Fengtao^{1,2}, LI Lin^{1,2}, LU Xiaodan¹

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China; 2. Research Institute for Green Finance and Resource and Environmental Innovation, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China)

Abstract: [Objective] Electric technology innovation is the key to promote energy technology revolution. This study aimed to clarify the strategic orientation of the electric technology innovation in China and examine its spatiotemporal pattern and sources, to provide a scientific evidence for accelerating China's electric technology innovation. [Methods] Based on the statistical data of H02 patents, this study evaluated the spatial and temporal distribution characteristics of China's electric technology innovation by constructing an absolute index, a relative index, and structural specialization coefficient. It analyzed the sources of the spatial differentiation of electric technology innovation from two dimensions of space and patent structure by using the Dagum Gini index and variance decomposition. [Results] The results show that: (1) The level of electric technology innovation showed an upward trend, and it decreased from the east to the west. The innovation capacity was mainly concentrated in the shape, structure, and application of electric products. (2) The spatial differentiation degree of the invention patent specialization coefficient was larger than that of the utility model patent, and the number of regions belonging to the utility model patent specialization category was more than that of the invention patent specialization category. (3) Compared with intraregional variation and superimposed over density, the interregional variation had a greater driving effect on the spatial differentiation of electric technology innovation. The utility model patents had a stronger driving effect on the spatial differentiation of electric technology innovation, while invention patents had the opposite effect. [Conclusion] This study contributes to coordinate the balanced development of regional electric technology innovation and explore the effective ways to improve the level of electric technology innovation.

Key words: electric technology innovation; H02 patents; spatiotemporal characteristics; Dagum Gini index; variance decomposition