

# 成渝城市群绿色交通技术创新效率 时空演变及影响因素

侯鑫

(重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400000)

**摘要:** 运用超效率 SBM-DEA 模型对成渝城市群 16 个城市 2001—2020 年的绿色交通技术创新效率进行测度, 并使用面板 Tobit 模型分析其影响因素。结果表明, 成渝城市群绿色交通技术创新效率在 2001—2012 年间处于低水平波动态势, 在 2013—2020 年增长速率较快; 在 2020 年沿成渝双核发展主轴线形成了“中心-外围”空间分布格局, 城市间差距较明显; 根据面板 Tobit 模型回归结果来看, 交通产业区位熵、科研人员数量、环境规制强度等均对成渝城市群绿色交通技术创新效率具有显著促进作用。

**关键词:** 成渝城市群; 绿色交通技术创新效率; 超效率 SBM-DEA 模型; 面板 Tobit 模型

**中图分类号:** K921; K927 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)24-0061-10

随着改革开放进程逐渐迈入新时期, 传统的高环境投入、高资源消耗、高环境污染的经济社会发展模式已严重制约了我国绿色可持续发展<sup>[1]</sup>。绿色技术创新是可持续发展与科技创新的重要共同立足点, 国内绿色技术创新相关产业起步较晚, 在当今全球化竞争日趋激烈的背景下技术进步速度落后于部分发达国家。因此, 大力发展绿色技术在我国具有紧迫性与现实性<sup>[2-3]</sup>。其中, 交通运输业为碳排放的主体行业之一<sup>[4]</sup>。2021 年《国家综合立体交通网规划纲要》明确提出了“加快推进绿色低碳发展, 交通运输领域二氧化碳排放尽早达峰”的要求。关注绿色交通技术创新效率进步, 推进绿色交通技术的发展, 对我国实现碳达峰、碳中和的远景目标具有重大意义。从新能源汽车产业角度来看, 新能源汽车产业作为推动产业结构转型升级的战略支撑点, 可以有效减少交通领域碳排放<sup>[5]</sup>。成渝地区 2001—2020 年新能源汽车产业相关专利占绿色交通专利的 78.76%, 在区域绿色交通技术创新中占有绝对主导地位。因此, 绿色低碳交通技术的发展深刻影响着成渝城市群新能源汽车产业的发展, 也为成渝地区实现交通产业高质量产业升级、践行中国绿色之路提供了一定方向指引<sup>[4-7]</sup>。成渝城市群作为我国六大汽车产业集群之一, 具有产业互补的一体化优势、巨大的市场前景和丰富的人才与原材料资源<sup>[6]</sup>。

在“汽车低碳电动化”的浪潮中其新能源汽车产量虽增速高于全国平均水平, 但从 2000 年起, 成渝地区新能源汽车产量低于东部等新能源汽车产业布局较早的地区, 从事新能源汽车合作创新活动的关键创新主体数量也显著落后于东部地区, 创新资源的配置效率同样低于全国平均水平, 创新资源的配置效率仍有较大提升空间。因此推进成渝城市群绿色交通技术创新效率(green transportation technology innovation efficiency, GTTIE)相关研究, 提高成渝城市群新能源汽车产业综合发展水平, 推动成渝城市群绿色交通技术创新效率进步有助于发挥成渝城市群作为“西部陆海新通道”核心节点的辐射作用, 引领以新能源汽车产业为主导的绿色交通产业走向国际, 牵引带动西部地区乡村振兴的发展和高水平开发开放具有显著意义<sup>[6-9]</sup>。

目前, 较多研究学者针对绿色技术内涵及其创新效率进行了较为深入的研究。Brawn 和 Wield<sup>[10]</sup>提出绿色技术的概念, 指出相比于过分追求经济效益而忽略环境影响的传统技术, 绿色技术具有更大的可持续发展价值。王郁蓉<sup>[11]</sup>指出环境变量对绿色技术创新过程可能存在的影响, 提出了绿色技术的创新流程。当前绿色技术创新效率的研究主要聚焦于行业整体或区域整体绿色技术效率的测度与评价、时空演变及其影响因素三个方面, 而针对

收稿日期: 2024-06-24

作者简介: 侯鑫(1998—), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向为城市地理。

绿色交通技术的相关研究极为匮乏。①绿色技术创新效率测度与评价。效率测度方法主要集中于以随机前沿分析(stochastic frontier analysis, SFA)为代表的参数法<sup>[12]</sup>,以及以数据包络法(data envelopment analysis, DEA)为代表的非参数法<sup>[13]</sup>。为了剥离外部环境对效率值的影响,张江雪和朱磊<sup>[1]</sup>利用四阶段 DEA 模型,将我国工业企业技术创新过程分为四个阶段探究不同阶段工业企业技术创新效率的变化情况,结果显示东部地区的平均纯技术创新效率最高,而中西部地区平均纯技术创新效率偏低。②绿色技术创新效率时空演变。目前聚焦于全国、省域及东部较发达区域的研究较丰富<sup>[14-16]</sup>,主要结论为,绿色技术创新效率在空间上呈现东部地区高、中西部地区低的分布状态,东部地区是我国主要绿色技术创新区,而其他地区持续保持较低绿色技术创新效率。分区域来看,长三角区域的绿色技术创新效率呈现“W”形变化特征,长三角东南部地区的绿色技术创新效率相对稳定,而中、西南部地区变动明显,整体呈现连片集聚发展特征。周亮等<sup>[2]</sup>认为中国城市绿色发展效率水平存在一定的“尺度效应”,多等级城市群绿色发展效率存在“国家级城市群>区域性城市群>地方性城市群”倒金字塔递减的规律。③绿色技术创新效率影响因素研究。绿色技术创新效率受到来自城市外部以及城市内部的多种因素的叠加影响。当前探究绿色技术创新效率影响因素的研究使用的模型大多为具有空间效应的空间杜宾(Tobit)模型、空间误差、空间滞后模型等<sup>[16-17]</sup>。总体来看,影响区域绿色技术创新效率水平的主要因素为科研投入水平、经济发展水平、产业结构、对外开放程度、环境规制强度等<sup>[14-15]</sup>。

从所检索的文献来看,虽然中外学者们对绿色创新效率领域进行了较为深入有效的研究,但还存在一些不足:第一,当前的研究区域主要集中于相对较发达区域如长三角区域、长江经济带等,研究尺度主要着眼于省域乃至更大区域(东、南、西、北部地区),对成渝城市群等西部重要经济增长极的相关研究较为匮乏。成渝城市群作为我国新能源产业西延的重要承接区域<sup>[18]</sup>,其新能源汽车产业相对落后,相关零部件生产制造专业化程度较低<sup>[8,19]</sup>,研究其绿色交通技术创新效率的时空演变与影响因素对推动区域新能源汽车交通产业高质量发展,打造国家西部高质量发展“绿色高地”具有积极影响。第二,鉴于数据原因,当前的研究内容主要集中于区域总体绿色技术创新效率上,而对细分行业

的绿色技术创新效率的研究较为匮乏,如关于绿色交通技术的创新效率则鲜有学者有所关注。第三,当前较多学者在测度绿色技术创新的效率时忽视了传统 DEA 模型中松弛变量及非期望变量对结果的影响。综上,在考虑非期望产出和松弛变量的基础上,使用超效率基于松弛值的数据包络分析(slack-based measure-measure-data envelopment analysis, SBM-DEA)模型测度成渝城市群各城市绿色交通技术的创新效率并对其进行完全排序,并使用面板 Tobit 模型全面测度各因素对成渝城市群绿色交通技术创新效率的影响情况。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区域概况及数据来源

#### 1.1.1 研究区域概况

成渝城市群主要包括四川的成都、德阳、绵阳等 15 个地级市和重庆主城区及其万州、涪陵、綦江等 27 个下辖区(县)。由于数据局限性,将涉及的重庆市主城区及其辖区作为整体单元。此区域总面积为 18.5 万 km<sup>2</sup>,2018 年常住人口总数为 9 500 万人,2021 年 GDP 总量为 7.4 万亿元。既有研究表明,成渝城市群交通建设水平较差,其基础设施密度以及高等级交通网络比例上显著落后于沿海城市群;西部地区绿色技术创新效率显著落后于东部地区<sup>[14,19-20]</sup>。同时成渝城市群也是我国西南地区绿色技术创新基础较好但又是生态环境问题多发且生态安全任务重大的敏感区域<sup>[21-22]</sup>,因此推进成渝城市群绿色交通技术创新相关领域研究,对认识区域绿色交通技术创新能力演化规律及内在机理,促进成渝城市群一体化发展,构建西部地区新时代绿色、创新、开放高地具有重要意义。

#### 1.1.2 数据来源

除了绿色交通技术专利申请量、空气质量、交通行业碳排放的数据来源于《中国城市统计年鉴》(2002—2021 年)、《四川省统计年鉴》(2002—2021 年)。期望产出中的绿色交通技术专利申请量数据以万方数据知识服务平台为数据源,基于国际专利分类表(international patent classification, IPC)分类体系识别绿色交通专利的方法,获取并建构了 2001—2020 年中国城市绿色交通专利申请时空数据库。空气质量(城市年均 PM<sub>2.5</sub>)数据来源于华盛顿大学大气成分分析组(Atmospheric Composition Analysis Group of Washington University)对中国 PM<sub>2.5</sub> 的区域估计。交通行业碳排放数据来源于《中国能源统计年鉴》《省级温室气体排放清单

指南(试行)》、各级政府发布的碳排放清单指南,其中部分缺省数据通过联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)排放因子数据库进行补充<sup>[23]</sup>。

根据已有研究的相关经验<sup>[24-30]</sup>并结合具体研究内容,考虑数据的可得性和科学性,选用考虑到成渝城市群的经济、产业、科学发展条件以及代表绿色环保水平的相关指标,从投入与产出两个层级来构建最终的指标评价体系。

(1)绿色交通技术创新投入。结合已有研究来看,当前大多数研究主要从资本投入要素、劳动力要素与资源消耗量来构建投入指标体系<sup>[25,29]</sup>,结合研究内容并考虑数据可得性与有效性,选取 R&D 经费、R&D 人员数量、全市用电量三个指标来衡量城市绿色交通技术创新相关资源的投入情况。

(2)期望产出。专利是城市技术创新的重要源泉。绿色交通专利申请量相比于环境研发投入、绿色产品和其他指标具有更高的可获得性和更广泛的覆盖范围<sup>[31]</sup>,同时在评价国家绿色技术创新能力时,采用绿色专利进行评价也更被经济合作与发展组织(OECD)等国际组织认可<sup>[32-35]</sup>。故使用城市绿色交通技术专利申请量来代指成渝城市群各城市绿色交通技术创新的期望产出水平。同时,城市的环境质量与创新能力具有一定相关性,环境质量更好的城市在技术创新方面具有更好的表现<sup>[31]</sup>,技术创新更好的城市有更多的动力与保持更好的环境质量,故使用城市年平均空气质量指数来代指环境质量,衡量各城市绿色交通技术创新对城市的环境改善能力。

(3)非期望产出。绿色技术是能减少污染、降低能耗、改善生态的技术体系。一般情况下,废水、废气、固废排放量越低,城市绿色技术创新效率越高。结合研究内容及相关文献<sup>[15,26,29]</sup>,选取交通行业碳排放量、工业废水排放量、二氧化硫排放量、工业烟尘排放量 4 个指标衡量各城市绿色交通技术创新过程产生的不利影响。综上,最终构建的成渝城市群各城市绿色交通技术创新效率评价体系如表 1 所示。

表 1 城市绿色交通技术创新效率评价体系

| 类型 | 指标构成   | 变量          | 单位                       |
|----|--------|-------------|--------------------------|
| 投入 | 资本要素   | R&D 经费      | 万元                       |
|    | 劳动力要素  | R&D 人员数量    | 百人                       |
|    | 资源消耗要素 | 全市用电量       | 10 亿 kWh                 |
| 产出 | 期望产出   | 绿色交通技术专利申请量 | 个                        |
|    |        | 空气质量        | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|    | 非期望产出  | 交通行业碳排放     | t                        |
|    |        | 工业废水排放量     | 千 t                      |
|    |        | 二氧化硫排放量     | 百 t                      |
|    |        | 工业烟尘排放量     | 百 t                      |

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 包含非期望产出的超效率 SBM-DEA 模型

传统 DEA 模型运用线性回归的方式进行效率测度分析,没能考虑到投入产出的松弛变量的影响,使结果产生一定误差。2001 年 Tone 提出的 SBM-DEA 模型在有效的解决投入松弛性问题的同时加入了非期望产出部分,更有效地贴合绿色技术创新的相关研究内涵<sup>[15]</sup>。但普通 SBM-DEA 模型的测度结果通常会出现多个决策单元效率值同时为 1 的情况,不能比较这些决策单元之间的效率大小。Tone 改进了安德森与彼得森(Anderson 和 Peterson),1993 年提出的超效率方法,将普通 SBM-DEA 模型与超效率方法相结合,提出超效率 SBM 模型,解决了对各有效决策单元进行完全排序的问题。综上,选取可以有效解决松弛性问题和对各决策单元实现完全排序的含非期望产出的超效率 SBM 模型测度成渝城市群各城市绿色交通技术的创新效率,具体模型如下:

$$\min \rho^* = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{m=1}^M s_m^x / x_{jm}^t}{1 - \frac{1}{l+h} \left( \sum_{l=1}^L s_l^y / y_{jl}^t + \sum_{h=1}^H s_h^b / b_{jh}^t \right)} \quad (1)$$

约束条件:

$$\text{s. t. } \begin{cases} x_{jm}^t \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j^t x_{jm}^t + s_m^x \\ y_{jl}^t \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j^t y_{jl}^t - s_l^y \\ b_{jh}^t \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j^t b_{jh}^t - s_h^b \\ \lambda_j \geq 0, s_m^x \geq 0, s_l^y \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $\rho^*$  为城市绿色交通技术创新效率的测算值;  $n$  为决策单元个数;  $m, l, h$  分别为投入、期望产出和非期望产出要素个数;  $s_m^x, s_l^y, s_h^b$  分别为相应投入、期望产出和非期望产出的松弛变量;  $x_j^t, y_j^t, b_j^t$  分别为决策单元在  $t$  时期的投入、期望产出和非期望产出。

### 1.2.2 面板 Tobit 模型

通过超效率 SBM-DEA 模型所测得的成渝城市群各城市的效率值的最小值均大于 0,即该效率值左侧受限点为 0,为截断数据,符合 Tobit 模型(受限因变量回归)使用的基本条件。综上构建面板数据并使用面板 Tobit 模型进行成渝城市群绿色交通技术创新效率影响因素分析。具体模型如下:



$$\begin{aligned} GTTIE = & \beta_0 + \beta_1 TransLG_{it} + \beta_2 SRN_{it} + \beta_3 RD_{it} + \\ & \beta_4 PGP_{it} + \beta_5 Environ\_Regu_{it} + \beta_6 FDI_{it} + \\ & \beta_7 Ind\_Str_{it} + \beta_8 Air\_Qua_{it} + \epsilon_{it} \quad (3) \end{aligned}$$

式中: GTTIE 为成渝城市群各城市的绿色交通技术创新效率值;  $\beta_i (i = 1, 2, \dots, 8)$  为解释变量的估计系数;  $\beta_0$  为常数项;  $\epsilon_{it}$  为随机误差; TransLG 为交通产业区位熵; SRN 为科研人员数量; RD 为研发投入; PGP 为人均 GDP; Environ\_Regu 为环境规制强度; FDI 为外商直接投资额; Ind\_Str<sub>*it*</sub> 为产业结构; Air\_Qua 为空气质量; *i* 为 (*i* = 1, 2, ..., 16) 16 个省市地区; *t* 为年份。

## 2 成渝城市群 2001—2020 年绿色交通技术创新效率特征分析

### 2.1 时序演变特征

根据前文选择的模型及构建的相关评价体系, 运用 MAXDEA 软件对成渝城市群总体及个体 2001—2020 年绿色交通技术创新效率进行测度, 并计算成渝城市群整体及各城市各年度的平均技术创新效率值。

如表 2 所示, 2001—2020 年成渝城市群平均 GTTIE 的前 3 位为成都、资阳、德阳; 后 3 位为自贡、乐山、达州。成渝城市群的总体 GTTIE 在 2001—2012 年间处于相对较低效率的波动状态, 总体创新效率在 0.200 值左右。在这期间, 绿色交通技术的创新仍处于较低水平的起步探索阶段, 各城市、各部门、各创新体系尚未形成成熟的创新体系及创新流程。

如图 1 所示, 从 2013 年开始, 成渝城市群的总体 GTTIE 水平开始以较大速度提高。2013—2020 年期间, 成渝城市群的 GTTIE 仅在 2017 年出现小幅下滑波动, 总体创新效率从 0.198 上升至 0.610。由于党的十八大以后, 国家交通运输部印发了关于《加快推进绿色循环低碳交通运输发展指导意见》的通知, 鼓励各地交通产业迈向绿色转型发展之路。2016 年《成渝城市群发展规划》发布, 构建成渝高质量经济发展城市群, 助力成渝地区构建绿色技术发展高地, 促进成渝城市群产业转型及整体的高质

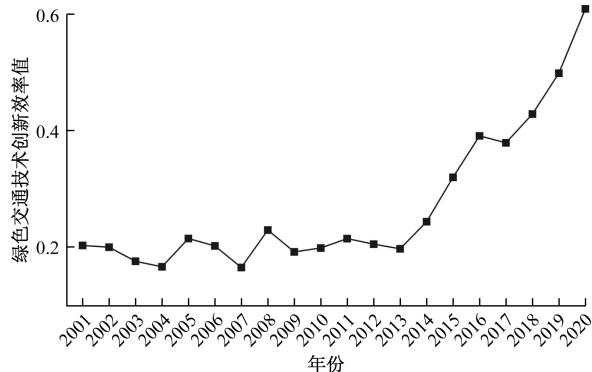


图1 成渝城市群 2001—2020 年平均 GTTIE

量发展。这些相关政策也直接和间接地促进了成渝城市群的交通行业的创新体系发展及总体 GTTIE 的提高。

### 2.2 空间分布特征

根据 2001—2020 年成渝城市群 16 个城市的 GTTIE 测度结果, 结合最佳自然断裂法, 利用 Arcgis10.5 软件进行各区域空间可视化绘图, 揭示成渝城市群各城市 GTTIE 的空间分异特征。根据时间节点来看, 2007 年成遂渝高速正式通车, 为区域交通创新资源要素流动创造了良好条件; 2013 年为党的十八大顺利召开后我国大力发展低碳绿色交通的元年。鉴于此, 将 2007 年与 2013 年作为分析成渝城市群 GTTIE 变化的关键节点。

根据最佳自然断裂法, 将成渝城市群 16 个城市分为高效率、中效率、低效率三个类型, 如图 2 所示。从 2001—2020 年整体来看, 成渝城市群总体 GTTIE 取得了显著提高。城市 GTTIE 空间分布格局由 2001 年的大多城市低水平, 零星城市中高水平逐渐转变为大多城市中高水平, 零星城市低水平, 并在 2020 年形成了以成渝双核发展主轴线为核心脉络同时向轴线两侧辐射的空间分布格局。

具体到城市而言, 2001—2020 年由低效率逐渐转变为中效率的城市为乐山、泸州、南充、绵阳; 由低效率逐渐转变为高效率的城为: 重庆、德阳、眉山; 由中效率逐渐转变为高效率的城为遂宁、资阳; 仅成都和雅安在 2001 年与 2020 年的城市 GTTIE 大体上保持相近, 分别为高效率和中效率。

分时间段来看, 2001—2007 年, 成渝城市群部分城市出现了随着经济社会的发展其 GTTIE 却降低的情况, 可能与这段时间内绿色交通技术仍处于发展起步阶段, GTTIE 波动情况较大, 各城市、组织内部未能形成统一的创新意识和构建完善的创新体系有关。2007—2013 年, 成渝城市群部分城市

表2 成渝城市群 2001—2020 年各城市平均 GTTIE 及排名

| 变量  | 成都    | 资阳    | 重庆    | 德阳    | 遂宁    | 眉山    | 广安    | 内江    |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 效率值 | 0.807 | 0.545 | 0.446 | 0.364 | 0.315 | 0.269 | 0.262 | 0.210 |
| 排名  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 变量  | 南充    | 雅安    | 绵阳    | 宜宾    | 自贡    | 泸州    | 乐山    | 达州    |
| 效率值 | 0.196 | 0.186 | 0.170 | 0.164 | 0.140 | 0.122 | 0.088 | 0.078 |
| 排名  | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |



基于审图号为 GS(2023)6767 号标准地图制作,底图无修改

图2 成渝地区双城经济圈绿色创新效率分布情况

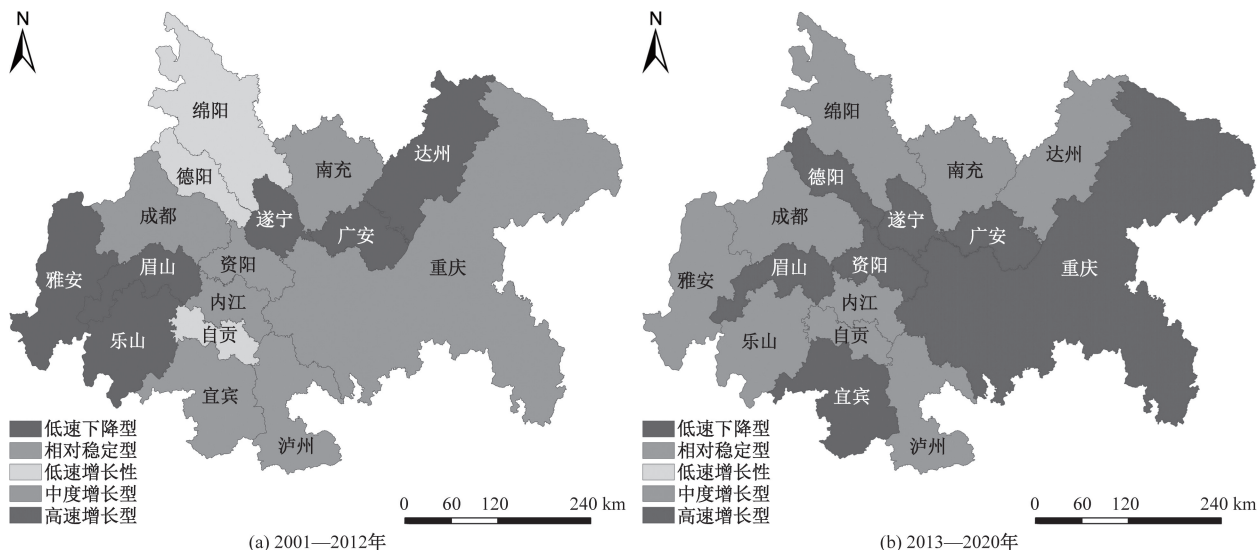
(德阳、资阳、内江、宜宾)GTTIE 由低水平转变为中水平,这些城市主要集中在成都附近或成渝发展中轴附近,可能在一定程度上受到成都等较高效率城市的辐射带动作用。但仍有部分城市(重庆、南充)GTTIE 出现降低情况,在此阶段城市绿色交通技术的技术创新效率或规模效率仍存在一定波动情况,绿色交通技术创新流程仍处在完善之中。从 2013—2020 年的变化来看,成渝城市群中的所有城市 GTTIE 都处于上升或稳定阶段,区域整体 GTTIE 处在稳定增大趋势中。党的十八大之后,国家坚定不移地走绿色发展之路,大力发展绿色产业,鼓励科技创新与绿色节能环保技术的发展,极大促进了成渝城市群各城市的 GTTIE 提升。

### 2.3 空间演化特征

根据最佳自然断裂法,将成渝城市群 16 个城市 2001—2012 年、2013—2020 年(党的十八大以后,由于相关政策激励,区域平均 GTTIE 在 2013 年开始迅速提高)的效率变化率分为 5 种类型:低速下

降、相对稳定、低速增长、中度增长和高速增长型,如图 3 所示。2001—2012 年成渝城市群各城市 GTTIE 变化率空间分布差异较大,总体来看,处于增长态势的城市(成都、德阳、成都、内江、自贡、重庆)大致沿 U 形分布,其余城市均处于相对稳定或下降态势。2013—2020 年区域总体 GTTIE 处于较高速率的增长状态,除了宜宾市的所有城市均处于相对稳定或增长状态,其中成渝中轴线上及邻近的城市总体上呈现高速增长态势,成渝双核发展主轴线以北的效率增长态势明显的的大于连线以南,区域整体效率的提升呈现“北快南慢”的格局。

对比来看,由下降型或稳定型转为增长型的城市为雅安、乐山、眉山、资阳、遂宁、广安、达州、南充、泸州;由中、低速增长型转化为高速增长型的城市为绵阳、重庆;由增长型转为相对稳下降型的城市为内江、自贡、宜宾;增长率变化态势基本保持稳定的城市为成都。值得注意的是,在 2013—2020 年区域总体绿色交通技术创新效率迅速增加的背景



基于审图号为 GS(2023)6767 号标准地图制作,底图无修改

图3 2001—2020年成渝城市群各城市 GTTIE 变化率

下,成都作为成渝城市群的2001—2020年平均 GTTIE 最高的城市,其 GTTIE 变化率仍与2001—2012年一样处于中度增长型,其原因可能为,成都拥有较好的绿色交通技术创新人才储备以及技术基础,创新体系更为完善,创新链路高效,但随着技术体系、政策水平的不断提高,部分创新资源的外溢,GTTIE 提升遇到了一定的“边际效应”现象,后续增长出现逐渐放缓的趋势。

为直观地刻画技术创新效率的空间演化特征,借助 Arcgis10.8 中的趋势分析工具,将成渝城市群各城市2001年与2020年 GTTIE 的高度属性值转化为三维透视图,如图4所示。如果趋势曲线为平直,则说明不存在明显趋势;反正则存在一定趋势<sup>[20]</sup>。图中 X、Y 轴分别表示成渝城市群的 GTTIE 在东西、南北方向上的趋势。

东西方向上来看,2001年成渝地区的西部 GTTIE 更高,2020年成渝地区的东部 GTTIE 更高;南北方向上来看,2001年与2020年的 GTTIE 分布都呈现倒 U 形格局,大致从成渝中轴线向南北方向逐渐减小,GTTIE 在成渝中轴线上形成了稳定的“中心-外围”分布特征。但2020年南北走向上

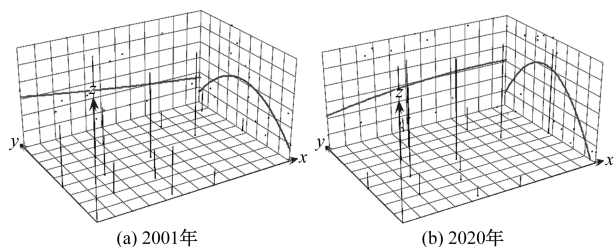


图4 2001年与2020年成渝城市群 GTTIE 空间趋势

GTTIE 呈现更强的“极化效应”,靠近成渝中轴线的城市相比于2001年表现出更高的 GTTIE。对比来看,东西方向上2001—2020年间成渝城市群整体 GTTIE 趋势由西高东低转变为东高西低,即东部地区 GTTIE 逐渐在区域中占据优势地位。

### 3 成渝城市群2001—2020年绿色交通技术创新效率影响因素

#### 3.1 变量选取

绿色交通技术创新效率受到多方面综合因素的影响,结合技术效率领域相关文献<sup>[24-31]</sup>,考虑数据可得性与系统性,引入可以反映城市经济社会发展水平、研发投入与人员储备水平、交通产业发展现状、环境现状、政府环境规制强度、受外资影响程度、第二产业优势度、环境现状水平等相关的变量来进行影响因素分析。

其中,基于刘传明和曾菊新<sup>[36]</sup>的做法,选取高速公路里程、公路密度、客运周转量、货运周转量、机场客运量等5个指标构建城市综合交通可达性评价体系,并在2014年之后根据数据统计口径的变化参照区位熵的计算公式计算得出新的指标数据。利用变异系数法求得各指标权重,最终采用加权求和法计算得出各地级市2001—2020年综合交通可达性得分,即城市交通产业区位熵,用以量化城市综合交通产业发展水平。计算公式如下:

$$K_{ij} = P_{ij} \frac{G_{ij}/Q_{ij}}{P_{ij}/D_{ij}} \quad (4)$$

$$H_{ij} = P_{ij} \frac{B_{ij}/C_{ij}}{P_{ij}/D_{ij}} \quad (5)$$



式中:  $K_{ij}$  与  $H_{ij}$  分别为客运周转量与货运周转量标准化处理后的数据;  $G_{ij}$ 、 $Q_{ij}$  分别为各地级市与当年全国总客运周转量;  $P_{ij}$ 、 $D_{ij}$  分别为各地级市与当年全国总人口;  $B_{ij}$ 、 $C_{ij}$  分别为各地级市与当年全国货运周转量。

$$A_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (6)$$

式中:  $X_{ij}$  为第  $i$  项  $j$  市的指标;  $A_{ij}$  为标准化处理后的数据。

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i} \quad (7)$$

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (8)$$

式中:  $V_i$  为第  $i$  项指标的变异系数;  $\sigma$  为第  $i$  项指标的标准差;  $\bar{X}_i$  为第  $i$  项指标的平均数;  $W_i$  为第  $i$  项指标的权重。

综上,最终选取城市交通产业区位熵、科研人员数量、科学研发投入、科研人员数量、政府环境规制强度、城市经济发展水平、外商直接投资额、城市产业结构和城市空气质量等 8 个变量作为解释变量,相关数据描述及数据来源如表 3 所示。

3.2 实证分析

通过构建 2001—2020 年 16 个城市的面板数据,运用 Stata17.0 软件对成渝城市群 GTTIE 的影响因素进行分析。对自变量进行多重共线性分析,结果表明,自变量的方差膨胀因子均小于 10,各自变量之间不存在多重共线性。由于面板 Tobit 模型为非线性模型,其估计系数并非边际效应,估计结果仅说明因素的影响方向,不能解释因变量和自变量之间的具体影响大小<sup>[23]</sup>,对其原始回归结果的估计系数进行转换后的回归结果如表 4 所示。

根据表 4 回归结果来看,2001—2020 年交通产业区位熵(交通产业综合发展优势度)、人力资本、人均 GDP、空气质量均通过 1%水平下的显著性检

验,环境规制通过 10%水平下的显著性检验,且系数均为正。城市交通产业综合发展优势度(交通产业区位熵)对提升城市绿色交通技术创新效率具有显著正向的促进作用,较高的城市综合交通可达性可以有效地促进与周边城市的人员、设备、资源和资金往来,提高知识、资金、创新人才的流动性,进而促进城市的绿色交通技术创新效率提升。人力资本较强的城市通常具有更好的城市综合水平以及更容易形成完善、高效的技术创新链路和知识要素流动网络,有利于促进城市的 GTTIE 提高。经济水平更高的城市具有更高的 GTTIE。人均 GDP 反映了城市综合经济发展水平,人均 GDP 更高的城市具有更完善丰富的人才、资本、技术要素流动体系以及更强的绿色交通技术创新动力,有助于提高城市整体的 GTTIE。较好的环境现状会促使城市更有动力进行环保绿色等相关经济、技术活动来维持或改善城市环境。环境规制方面,来自政府层面的压力与规制可以给企业与相关机构带来动力促使其进行绿色创新,同时环境规制强度的提升,有利于促进经济向生态化、集约化方向发展<sup>[37]</sup>,促进城市 GTTIE 提升。

表 4 回归结果

| 变量             | 2001—2020 年         | 2001—2010 年         | 2011—2020 年         |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| TransLG        | 0.326***            | 0.955***            | 0.384***            |
| SRN            | 0.239***            | 0.131               | 0.168**             |
| RD             | -0.144              | -0.313              | -0.056              |
| PGP            | 0.651***            | 0.282               | 0.808***            |
| Environ_Regu   | 0.070*              | 0.023               | 0.071**             |
| FDI            | -0.032              | 0.175**             | -0.111**            |
| Ind_Str        | -0.233***           | -0.136              | -0.209***           |
| Air_Qua        | 0.028***            | 0.035***            | 0.040***            |
| 常数项            | -0.186*             | 0.124**             | 0.238**             |
| LR test        | Prob>=chibar2=0.000 | Prob>=chibar2=0.000 | Prob>=chibar2=0.000 |
| Log likelihood | 119.353             | 121.558             | 112.360             |
| 观测值            | 320                 | 160                 | 160                 |

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平。

表 3 变量描述与数据来源

| 变量类型  | 变量名称         | 变量解释             | 数据来源            |
|-------|--------------|------------------|-----------------|
| 被解释变量 | 绿色交通技术创新专利数量 | 城市绿色交通相关专利申请数量   | 万方专利 数据库        |
| 解释变量  | 交通产业区位熵      | 量化城市交通产业发展相对优势度  | 中国城市统计年鉴、政府网站爬虫 |
|       | 人力资本         | 衡量城市绿色技术创新人才基础   |                 |
|       | 科学研发投入       | 衡量政府研发支持力度       |                 |
|       | 人均 GDP       | 衡量城市的经济发展水平      |                 |
|       | 环境规制强度       | 衡量政府对绿色相关产业的重视程度 |                 |
|       | 外商直接投资额      | 衡量外资对绿色交通技术的影响情况 |                 |
|       | 产业结构         | 衡量城市第二产业所占比重     |                 |
|       | 空气质量         | 衡量城市环境现状         |                 |

科学研发投入的回归系数为负,且未通过显著性检验。这可能与2001—2020年间中国绿色交通技术创新的主体主要来源于相对独立于政府的企业有关<sup>[31]</sup>,企业为绿色交通技术创新的主体,政府直接对科研机构、大学的资金投入对城市整体的GTTIE的影响尚不明显。也有可能2001—2020年其他行业或产业相较于交通产业获得的政府关注及投入更多,间接削弱了科学研发投入对绿色交通技术创新效率的影响有关。在绿色交通技术领域,应促进政府与企业、科研机构、学校等创新主体的联结,提高创新投入的精准度,实现更高效的创新投入体系。

产业结构(第二产业占比)通过1%水平下的显著性检验,其系数为负。以第二产业为主的产业结构对城市GTTIE有着显著的抑制作用。这一结论与现有相关研究类似<sup>[31]</sup>,2001—2020年期间成渝地区城市仍以第二产业为主导,而专利申请及相关产业主要与通信、服务、科研等第三产业相联系,完善的第三产业可能更有利于创新链路与体系的完善,进而提高创新资源配置效率。

为验证回归结果的稳定性,将2001—2020分为两个时间段:2001—2010年、2011—2020年分别进行相同的回归,结果如表3所示,整体样本回归结果并未因时间差异而产生明显变异。

具体来看,交通产业区位熵对城市GTTIE的提升作用趋弱,其原因可能是由于“边际效应”,各城市的绿色交通技术创新体系已逐渐形成,最初的产业基础优势对城市GTTIE的提升相对弱化。SRN科研人员数量在2001—2010年的回归系数为正,但未通过显著性检验;2011—2020年通过1%水平下的显著性检验,其系数为正,说明科研人员对提高GTTIE的作用随着时间推移表现出越来越显著的作用。FDI外商直接投资额在2001—2010年与2011—2020年两个时间段都通过5%水平下的显著性检验,但FDI在2001—2010年段对城市GTTIE起促进作用,而在2011—2020年段起到抑制作用。原因可能为,截至2009年,FDI资金中的50%以上投资于制造业<sup>[38]</sup>,21世纪初期外资进入这些城市时能够为发展水平相对较低的交通产业带来较为先进的技术和人才,可以在一定程度上提高绿色交通技术创新效率水平。随着各城市的人才、技术和资金积累水平的逐渐升高,创新体系的逐渐成熟,以中高污染产业为主的外向型经济反而不利于绿色交通技术等绿色技术创新效率的提高。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

绿色交通技术创新的发展在一定程度上反映了我国绿色技术发展的缩影,是实现碳中和、碳达峰战略的重要组成部分,也是应对全球气候变暖等全球性问题的有力抓手。通过超效率SBM-DEA模型计算出成渝城市群16个城市2001—2020年的绿色交通技术创新效率值并分析了其时空演变过程,使用面板Tobit模型探讨了成渝城市群2001—2020年各城市绿色交通技术创新效率的影响因素,得出以下结论。

(1)成渝城市群的总体绿色交通技术创新效率在2001—2012年间处于相对低效率的波动状态,总体创新效率为0.200。党的十八大以后,成渝城市群的总体绿色交通技术创新效率从2013年开始以较快的速度增长,并在2020年达到0.610,区域整体绿色交通技术创新效率进步显著,城市间差距明显。

(2)2001—2020年,成渝城市群在2020年形成了以成渝双核发展主轴线为核心脉络同时向轴线两侧辐射的GTTIE空间分布格局。

(3)2001年成渝地区的西部GTTIE更高,2020年成渝地区的东部GTTIE更高;南北方向上来看,2001年与2020年的GTTIE分布都呈现倒U形格局,GTTIE在成渝中轴线上形成了稳定的“中心-外围”分布特征。

(4)面板Tobit模型表明2001—2020年,较强的交通产业优势度、更充足的科研人员储备、更高的人均GDP、更高的环境规制强度、更佳的空气质量均对成渝城市群绿色交通技术创新效率提高具有显著正向影响。而以第二产业为主的产业结构对城市GTTIE有着显著的抑制作用。

### 4.2 讨论与建议

(1)集环境保护与技术创新于一身的绿色技术创新,被誉为“21世纪最大经济机遇”和“资本加速器”,是联系经济发展与生态建设的桥梁,是实现产业变革和打破环境困局的关键技术之一<sup>[39]</sup>。成渝城市群绿色交通技术创新效率的空间分布已沿成渝中轴线形成明显的“中心-外围”特征,城市间绿色交通技术创新效率差距较大,为提高区域整体绿色交通技术效率,成渝城市群应建立完善统一的区域交通产业发展监督、调配机制,提高资源配置效率,加强区域交通产业联动性,加强产业链与创新链协同发展,促进城市层级体系中核心大城市与周边中



小城市之间上下游交通产业协同集聚,发挥较高级城市知识溢出和规模经济效应的带动辐射作用推动产业结构优化升级。

(2)对比徐波和王润娟<sup>[40]</sup>关于成渝城市群绿色创新效率研究来看,相比于整体绿色创新效率,交通产业绿色创新效率提高速度更为迅速。但截至2019年,成渝城市群整体绿色交通技术创新效率(0.500)仍低于同期成渝城市群整体绿色创新效率(0.920)。可以看出,成渝城市群绿色交通技术创新效率提高十分明显,但仍具备较大的提升空间,交通行业绿色技术创新体系、资源配置效率以及产业协同集聚水平相比于区域整体行业仍具有一定差距。成渝地区应加强交通产业创新规划、协调、监督机制建设,增加交通产业研发投入,提高交通产业创新投入精准度,推进交通基础设施建设,提升高创新效率城市技术、人才的溢出和辐射作用水平,推动区域绿色交通技术创新效率高质量提升。

### 参考文献

- [1] 张江雪,朱磊. 基于绿色增长的我国各地区工业企业技术创新效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2012, 29(2): 113-125.
- [2] 周亮,车磊,周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. 地理学报, 2019(10): 2027-2044.
- [3] 王海龙,连晓宇,林德明. 绿色技术创新效率对区域绿色增长绩效的影响实证分析[J]. 科学与科学技术管理, 2016, 37(6): 80-87.
- [4] 刘俊伶,孙一赫,王克,等. 中国交通部门中长期低碳发展路径研究[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(5): 513-521.
- [5] 施晓倩,李笑诺,杨建新. 低碳交通电动汽车碳减排潜力及其影响因素分析[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 385-394.
- [6] 陈泽军. 以成渝新能源汽车区域市场一体化助推全国统一大市场建设[J]. 决策咨询, 2023(6): 35-38.
- [7] 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.
- [8] 计方,刘星. 产业链视角下成渝经济圈新能源汽车产业政策协同性研究[J]. 企业经济, 2022, 41(5): 137-150.
- [9] 惠瑜,刘润芳. 数字普惠金融、绿色技术创新与乡村振兴[J]. 科技和产业, 2024, 24(6): 67-72.
- [10] BRAWN E, WIELD D. Regulation as a means for the social control of technology[J]. Technology Analysis and Strategic Management, 1994(3): 498-504.
- [11] 王郁蓉. 我国各区域企业绿色技术创新绩效比较研究[J]. 技术经济, 2012, 31(10): 52-59.
- [12] CHI A S, KAKIAPPA P K. Gauging the sources of growth of high-tech and low-tech industries: the of Korean manufacturing[J]. Australian Economic Papers, 2005, 44(2): 170-185.
- [13] 高轩宇. 绿色经济背景下新能源汽车企业技术创新效率研究[J/OL]. 经营与管理: 1-13[2024-06-14]. https://doi:10.16517/j.cnki.cn12-1034/f.20230712.008.
- [14] 岳梦婷,刘军,黄丽. 中国区域生态文明发展水平时空演变及影响因素—基于绿色技术创新视角[J]. 生态经济, 2021, 37(9): 208-215.
- [15] 罗良文,梁圣蓉. 中国区域工业企业绿色技术创新效率及因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 149-157.
- [16] 孙燕铭,湛思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素[J]. 地理研究, 2021, 40(10): 2743-2759.
- [17] 刘建翠,郑世林. 中国工业绿色发展的技术效率及其影响因素研究—基于投入产出表的分析[J]. 城市与环境研究, 2019(3): 37-54.
- [18] 刘雅琴,余谦. 新能源汽车产业技术创新网络的时空演化与创新集聚[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2020, 41(6): 36-44.
- [19] 刘颖琦,宋泽源,高宏伟,等. 中国新能源汽车10年推广效果研究:空间效应视角[J]. 管理评论, 2023, 35(3): 3-16.
- [20] 黄言,宗会明,罗舒畅,等. 中国超大城市群陆路交通网络格局及可达性比较研究[J]. 现代城市研究, 2019(4): 24-32.
- [21] 黄跃,李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化[J]. 地理研究, 2017, 36(7): 1309-1322.
- [22] 方创琳. 中国城市群形成发育的政策影响过程与实施效果评价[J]. 地理科学, 2012, 32(3): 257-264.
- [23] 丛建辉,刘学敏,赵雪如. 城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(4): 19-26.
- [24] 钱丽,肖仁桥,陈忠卫. 我国工业企业绿色技术创新效率及其区域差异研究——基于共同前沿理论和DEA模型[J]. 经济理论与经济管理, 2015(1): 26-43.
- [25] 成琼文,贺显祥,李宝生. 绿色技术创新效率及其影响因素——基于我国35个工业行业的实证研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2020, 26(2): 97-107.
- [26] 卢丽文,宋德勇,黄琛. 长江经济带城市绿色全要素生产率测度——以长江经济带的108个城市为例[J]. 城市问题, 2017(1): 61-67.
- [27] 余奕杉,卫平. 中国城市绿色全要素生产率测度研究[J]. 生态经济, 2021, 37(3): 43-52.
- [28] 张在旭,黄卓琳. 中国省际绿色技术创新效率测度及影响因素研究[J]. 资源与产业, 2020, 22(6): 1-8.
- [29] 何育静,蔡丹阳. 长三角工业企业绿色技术创新效率及其影响因素分析[J]. 重庆社会科学, 2021(1): 49-63.
- [30] 何枫,祝丽云,马栋栋,等. 中国钢铁企业绿色技术效率研究[J]. 中国工业经济, 2015(7): 84-98.
- [31] 段德忠,杜德斌. 中国城市绿色技术创新的时空分布特征及影响因素[J]. 地理学报, 2022, 77(12): 3125-3145.

- [32] 刘建翠, 郑世林. 研发投入对中国区域全要素生产率的影响研究——基于 DEA-Tobit 模型[J]. 城市与环境研究, 2018(4): 17-37.
- [33] HAŠČIČI I, MIGOTTO M. Measuring environmental innovation using patent data[R]. OECD Environment-Working Papers. Paris: OECD Publishing, 2015.
- [34] HAŠI ČI I, SILVA J, JOHNSTONE N. Climate mitigation and adaptation in Africa: evidence from patent data [R]. OECD environment working papers. Paris: OECD Publishing, 2012.
- [35] HAŠI I, SILVA J, JOHNSTONE N. The use of patent statistics for international comparisons and analysis of narrow technological fields[R]. OECD Science, Technology and industry Working Papers. Paris: OECD Publishing, 2015.
- [36] 刘传明, 曾菊新. 县域综合交通可达性测度及其与发展水平的关系——对湖北省 79 个县域的定量分析[J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2209-2221.
- [37] 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.
- [38] 许晓燕, 赵定涛, 洪进. 绿色技术创新的影响因素分析——基于中国专利的实证研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2013, 19(2): 29-33.
- [39] 赖小东, 詹伟灵. 企业绿色技术创新内涵及影响机理评述[J]. 科技和产业, 2021, 21(10): 320-327.
- [40] 徐波, 王润娟. 绿色创新效率时空演变及影响因素研究——以成渝地区双城经济圈为例[J]. 中国西部, 2022(4): 85-95.

## Spatio-temporal Evolution and Influencing Factors of Green Transportation Technology Innovation Efficiency in Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration

HOU Xin

(College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400000, China)

**Abstract:** Based on the super-efficiency SBM-DEA model of non-expected output, the innovation efficiency of green transportation technology in 16 cities of Chengdu-Chongqing urban agglomeration from 2001 to 2020 was measured, and the panel Tobit model was used to analyze its influencing factors. The results show that the innovation efficiency of green transportation technology in Chengdu-Chongqing urban agglomeration fluctuates at a low level from 2001 to 2012, and increases at a higher rate from 2013 to 2020. In 2020, an obvious “center-periphery” spatial distribution pattern of green transportation technology innovation efficiency is formed along the Chengdu-Chongqing dual-core development main axis, but the gap between cities is still obvious. According to the regression results of panel Tobit model, transport industry location entropy, the number of researchers, environmental regulation intensity all have significant promoting effects on the innovation efficiency of green transport technology in Chengdu-Chongqing urban agglomeration.

**Keywords:** Chengdu-Chongqing urban agglomeration; innovation efficiency of green transportation technology; super-efficiency SBM-DEA model; panel Tobit model