

基于Web of Science核心数据库的2003~2023年交通碳排放文献计量分析

李妍睿¹, 杜可洵¹, 陈晓贤¹, 张容瑞^{2*}, 黄夏银³

¹南京师范大学环境学院, 江苏 南京

²华泰联合证券有限责任公司, 江苏 南京

³江苏省环境工程技术有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2025年9月18日; 录用日期: 2025年10月21日; 发布日期: 2025年10月31日

摘要

近年来, 交通运输领域的碳排放已成为全球碳减排目标的重要挑战之一。该文通过文献计量学方法, 利用VOSviewer和CiteSpace对2003~2023年间Web of Science核心数据库中有关交通碳排放的研究文献进行系统梳理, 旨在明确该领域的发展趋势与研究热点。研究发现: (1) 近20年该领域发文量持续增长, 尤其自2015年起显著上升。中国在该领域的研究产出居全球首位, 其次为美国 and 英国; 中国科学院是最高产的机构, 主要研究成果发表于*Sustainability*期刊。(2) 通过核心文献的关键词可视化分析, 研究热点主要集中在碳排放影响因素、能源及碳减排政策等方面。相关研究为交通碳排放提供了理论支持, 未来应将理论应用于实践, 特别关注电力驱动等低碳技术及可再生能源应用等。

关键词

交通碳排放, 文献计量学, VOSviewer, CiteSpace, 研究热点

Bibliometric Analysis of Transportation Carbon Emissions Literature from 2003 to 2023 Based on the Web of Science Core Database

Yanrui Li¹, Kexun Du¹, Xiaoxian Chen¹, Rongrui Zhang^{2*}, Xiayin Huang³

¹School of Environment, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

²Huatai United Securities Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

³Jiangsu Environmental Engineering Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

*通讯作者。

文章引用: 李妍睿, 杜可洵, 陈晓贤, 张容瑞, 黄夏银. 基于 Web of Science 核心数据库的 2003-2023 年交通碳排放文献计量分析[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(10): 1483-1499. DOI: 10.12677/aep.2025.1510163

Abstract

In recent years, carbon emissions in the transportation sector have become a major challenge in achieving global carbon reduction targets. This study systematically reviews and analyzes research on transportation carbon emissions from 2003 to 2023 using bibliometric methods, specifically VOSviewer and CiteSpace, based on data from the Web of Science database. The aim is to clarify the development trends and research hotspots in this field, providing insights for future research. The results show that: (1) Over the past two decades, the number of publications in this field has steadily increased, with a significant rise since 2015. China leads the world in research output, followed by the United States and the United Kingdom. The Chinese Academy of Sciences is the most prolific institution, with most research published in the journal Sustainability. (2) Keyword visualization of core literature reveals that the main research hotspots focus on the factors influencing carbon emissions, energy, and carbon reduction policies. These studies have provided theoretical support for the field, and in the future, it is crucial to apply theory to practice, particularly focusing on low-carbon technologies such as electric propulsion and the use of renewable energy.

Keywords

Transportation Carbon Emissions, Bibliometrics, VOSviewer, CiteSpace, Research Hotspot

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球碳排放量的快速增长引发了一系列气候问题,《全球升温 1.5℃特别报告》强调了气候行动的紧迫性,并指出如果未来几年内不采取有效措施减缓碳排放,全球变暖将在未来几十年内超过 1.5℃。此警告突显了各行各业共同减少碳排放的必要性。同时根据国际能源署的报告,交通运输部门碳排放约占全球总排放的四分之一[1],是仅次于能源生产的第二大排放源[2]。预计未来该部门的能源需求和碳排放将继续增长。

目前,交通碳排放的研究多聚焦于驱动因素分析[3]-[5]、碳排放效率[6]-[8]、核算方法[9]-[11]、碳达峰路径[12]-[14]、排放预测[15]-[17]、碳排放与经济增长的关系[18]-[20]等。在文献综述的相关研究中,学者们经常采用内容分析法,例如 Mao [21]等人从发展绩效评估、影响机制分析和发展路径探索回顾了交通运输业绿色发展研究进展。Malladi [22]等人对可持续运输的路径问题进行了全面回顾。但是现有研究大多从微观角度切入,缺乏对该领域整体发展的系统总结。此外,内容分析法受限于样本量,难以客观揭示研究的全貌。

为解决这些局限,本研究引入文献计量学(Bibliometrics) [23]这一系统分析方法。Van Eck 等人[24]研发的 VOSviewer 和 Chen 等人[25]研发的 CiteSpace 是当前文献计量学分析中被广泛应用的软件[26]。VOSviewer 利用概率论进行数据标准化,能够展示合作关系及其强度[27]。而 CiteSpace 则基于集合论的统计标准化方式[28],能够更有效地揭示研究领域的发展规律、研究热点等[29]。这两种工具在文献计量学研究中互为补充,能为学术交流提供重要支持[30]。例如, Lin [31]等人利用 CiteSpace 和 VOSviewer 两

种可视化分析软件,分析了抑郁症的研究现状和趋势。Deng [32]等人利用这两种方法研究了多病共存和衰弱研究的新兴趋势。然而,目前尚未有研究系统运用文献计量学方法对交通碳排放领域进行分析。

基于此,本研究结合传统文献综述与可视化分析工具 VOSviewer 1.6.20 软件、CiteSpace 5.7.R5 软件对 Web of Science (核心集合)近 20 年来交通碳排放领域相关文献进行计量分析,以图谱的形式展现该领域的发展现状,深入探讨各热点主题以及前沿研究,旨在系统性地总结交通碳排放的研究脉络,为交通行业的碳减排的未来发展提供思路。

2. 数据来源

本研究从 Web of Science (核心集合)数据库中检索相关文献,检索式为 TS = (“transport carbon emission*” OR “carbon emission* from transport*” OR “low-carbon transportation” OR “zero carbon transport” OR “traffic carbon emission*” OR “carbon neutral transportation” OR “carbon peak in transportation” OR “green transportation” OR “sustainable transport”),时间跨度从 2003 年 1 月 1 日到 2023 年 12 月 31 日,文献类型为 Articles,所得检索结果为 2499 条。为提高文献相关度,本研究对文献主题、摘要等进行总结与归纳,最后筛选出文献共 637 篇,其中涉及 48 个研究领域,来源于 73 个国家 789 个研究机构的 1788 位作者,发表在 199 种期刊上。

3. 文献分析

3.1. 发文量及国家分析

分析文献产出变化有助于评估交通碳排放领域的研究趋势和进展[33]。根据图 1,2003~2023 年间该领域论文的发文量呈上升趋势,Logistic 回归分析的 $R^2 = 0.96$,拟合效果良好。尽管 2010 年发文量略有下降,但总体呈现增长趋势。2011~2015 年期间,发文量逐年增加,尤其在 2015 年第 21 届联合国气候变化大会后,发文量大幅上升;2016~2023 年,发文量迅速增长,2023 年达到 144 篇,创历史新高。近 20 年的发文量增长趋势表明随着国际政策引领,学者对该领域的关注持续加深。

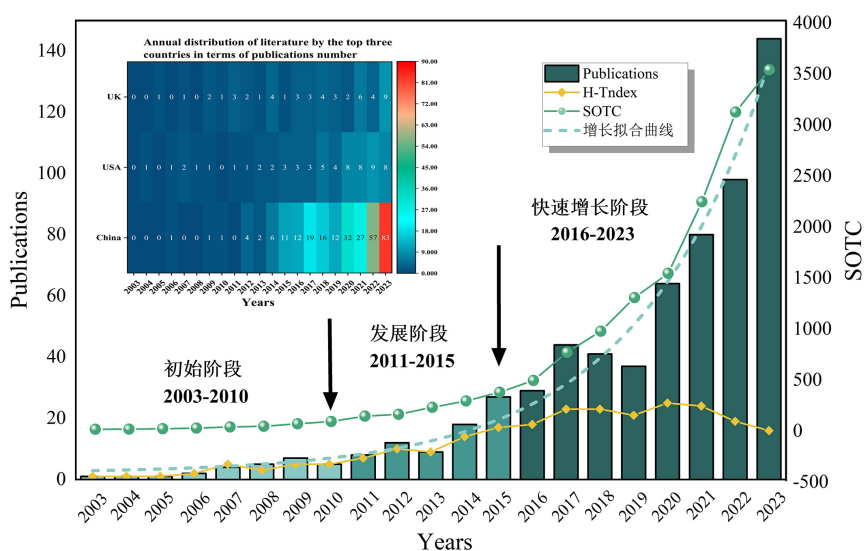


Figure 1. Publication trend

图 1. 发文量趋势

根据表 1 可知,中国在交通碳排放领域的贡献位居全球第一,美国和英国分别位居第二和第三。中

国自 2006 年起逐步参与该研究领域，在 2023 年发表了 83 篇论文，占当年三国总发文量的 83.00%。这一趋势表明，中国“双碳”政策的实施有效推动了学术产出。此外，H 指数和被引量分析表明，2020 年 H 指数达到高峰后略有下降，但被引量逐年增长，尤其在 2017 年后显著上升，说明研究成果被广泛认可和引用。

跨国合作模式的表现见图 2。可以观察到，中国在交通碳排放领域的合作网络中处于中心位置，与美国、英国等国家建立了直接合作关系，并通过第三方国家与印度、德国等建立了间接合作关系。这表明中国在该领域具有重要的影响力和领导地位。然而，尽管多国参与合作，发文国家仍然集中在少数几个国家，顶部效应明显。

从以上数据分析可以看出，交通碳排放领域的研究在过去 20 年取得了显著进展，成为全球关注的重点。少数国家扮演着主导角色，其他国家则需要加强合作和提升研究能力，以共同应对全球气候变化和碳减排的挑战。

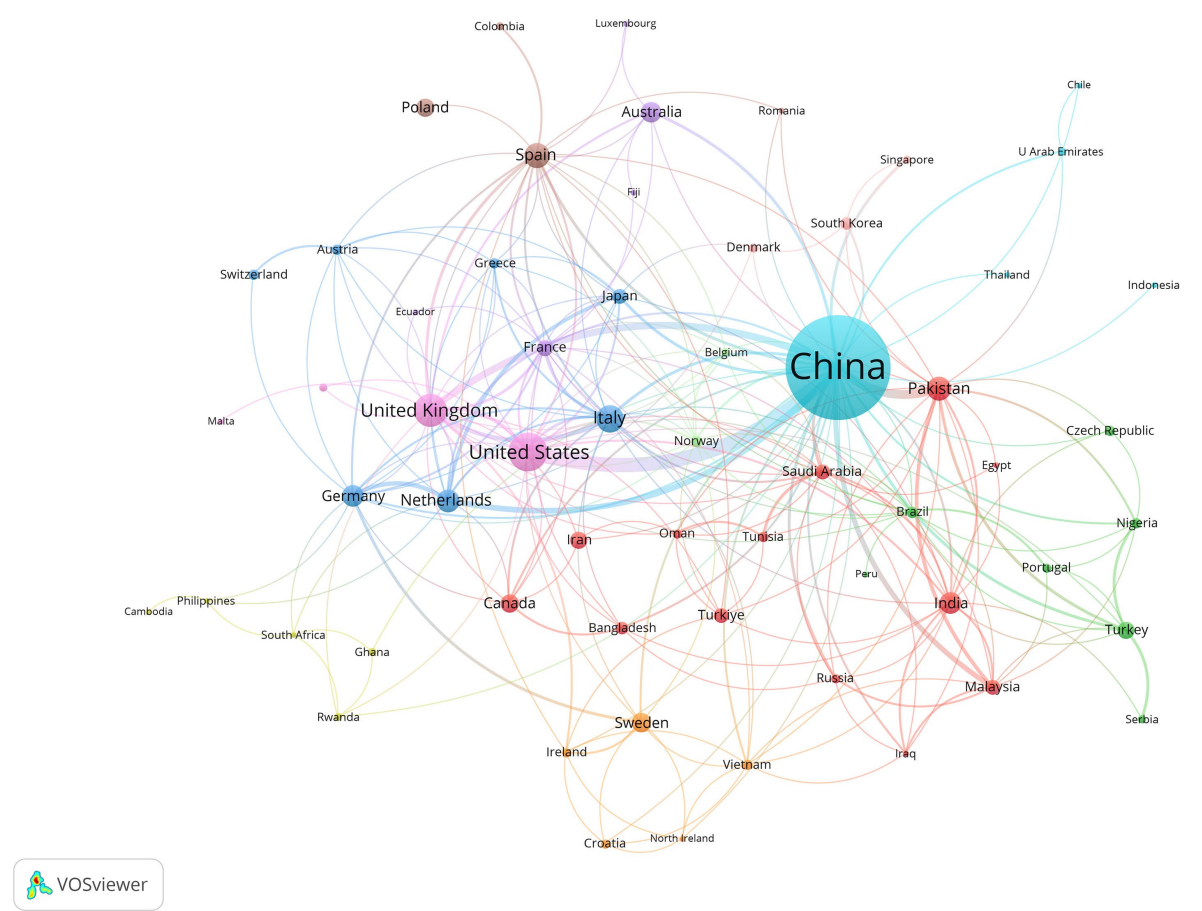


Figure 2. Collaboration country co-occurrence network
图 2. 合作国家共现网络

Table 1. The top 10 countries by number of publications
表 1. 发文量排名前 10 的国家

序号	国家	发文量	被引量	平均被引	H 指数
1	中国	284	7284	25.65	45

续表

2	美国	63	1864	25.59	21
3	英国	50	1950	39	23
4	意大利	31	978	31.55	17
5	德国	28	998	35.64	17
6	西班牙	25	426	17.04	11
7	瑞典	25	734	29.36	13
8	澳大利亚	24	1077	44.88	14
9	荷兰	22	916	41.64	13
10	印度	20	698	34.9	11

3.2. 机构分析

根据 VOSviewer 1.6.20 的分析，交通碳排放研究领域的英文文献涉及 789 个研究机构，通过合作网络的可视化展示了这些机构近年来的活跃程度。图 3 显示，雅典国立科技大学和乌得勒支大学等国外机构较早开始该领域的研究，而中国的研究机构起步较晚。图 4 显示，被引量排名前 10 的机构中，仅 3 所为中国机构，而发文量前 10 的机构均为中国机构。尽管中国在该领域起步较晚，当前影响力有限，但近年来的研究贡献显著，显示出良好的发展前景。

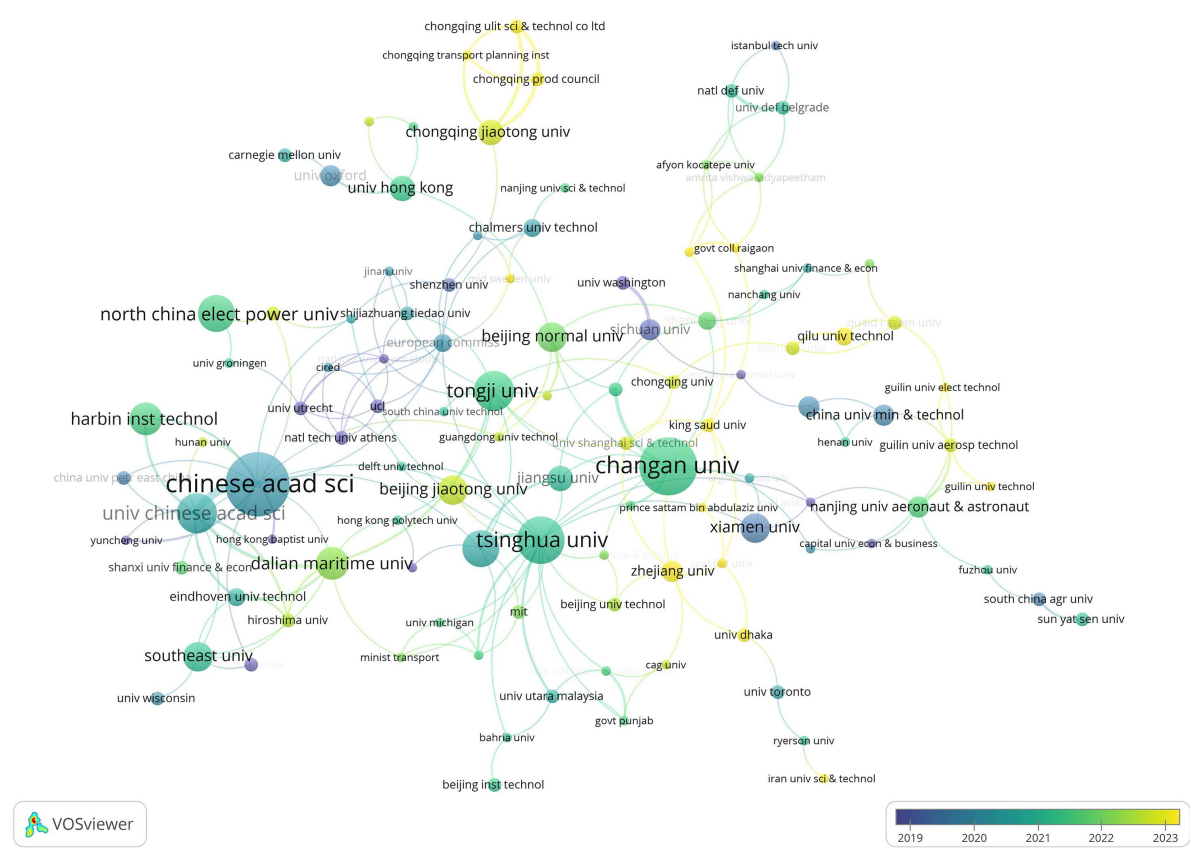


Figure 3. Institution time tag graph of literature on transportation carbon emissions from 2003 to 2023
图 3. 2003~2023 年交通碳排放相关文献机构时间标签图

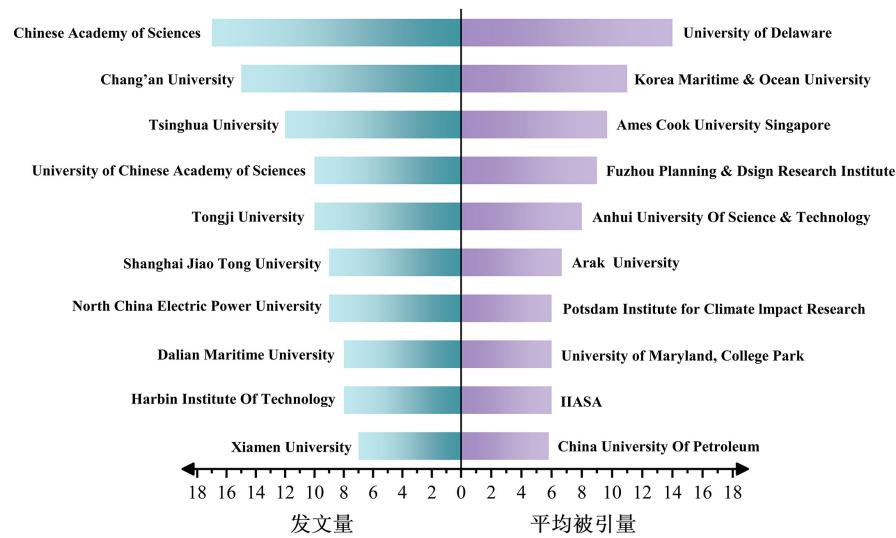


Figure 4. Comparison chart between the number of published documents and the top 10 institutions with the average
图 4. 发文量与平均被引量前 10 机构对比图

3.3. 作者合作网络分析

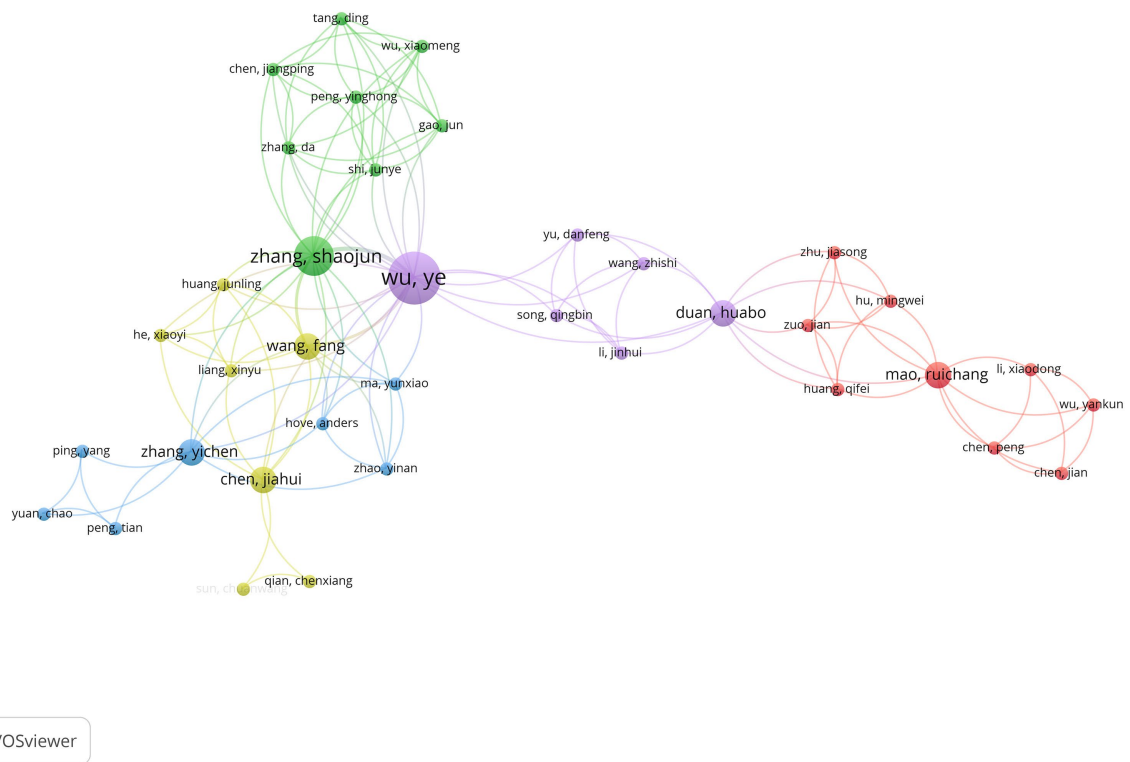


Figure 5. Co-occurrence map of authors
图 5. 文献作者合作共现图谱

通过 VOSviewer 1.6.20 对作者进行统计分析，发现共有 1788 位研究者在交通碳排放领域发表了论文。根据学者 Price [34] 的观点，高产作者群体贡献了该领域一半的研究成果。本研究根据普莱斯定律统

计出交通碳排放领域核心作者共 126 位，核心论文共 425 篇。中国作者林伯强发文最多(6 篇)，研究内容聚焦于能源消费[35]、碳排放脱钩效应[36]等；其次是 Loo, Becky P. Y.，研究内容聚焦于减碳政策[37]、碳排放影响[38]等。大多数作者仅发表过 1 篇论文，共 1531 位，占总论文数的 85.63%，远高于洛卡特定律中的 60.79% [39]。这表明，尽管该领域受到广泛关注，研究者多为独立个体，团队合作较少，主要依赖少数高产作者的贡献。

英文文献核心作者合作关系图(图 5)显示，文献核心作者形成了以 Wu Ye、Zhang Shaojun、Wang Fang 等为核心的科研团队，但科研团队之间联系较少。知识流动呈现“局部密集、整体稀疏”的特征，这种结构虽有利于团队内部深度挖掘，但也可能限制跨团队、跨领域的知识融合与创新扩散。

3.4. 期刊分析

有 199 种期刊发表了交通碳排放相关文献，表 2 列出了载文量前十的期刊。*Sustainability* 以 71 篇论文的发文量居首，但其平均被引量(10.83)和影响因子(3.6)较低，影响力有限；*Journal of Cleaner Production* 发文量为 45 篇，但其平均被引量高达 40.02，影响因子高达 10.2，说明该期刊刊载的论文质量较高且关注度大；虽然 *Applied Energy* 发文量较低，但其影响因子最高，显示其学术影响力强；*Science of the Total Environment* 同样发文量较少，但其平均被引量 66.00 和影响因子 8.6，反映出其期刊得到广泛认同。

Table 2. Top 10 journals by article count
表 2. 载文量排名前 10 的期刊

序号	期刊名	发文量	被引量	平均被引量	影响因子(近五年)
1	<i>Sustainability</i>	71	769	10.83	3.6
2	<i>Journal of Cleaner Production</i>	45	1891	40.02	10.2
3	<i>Transportation Research Part D: Transport and Environment</i>	20	704	35.20	7.8
4	<i>Energies</i>	19	252	23.26	3
5	<i>Energy</i>	12	554	46.17	8.2
6	<i>Environment Development and Sustainability</i>	10	157	15.70	4.7
7	<i>Sustainable Cities and Society</i>	8	122	15.25	10
8	<i>Science of The Total Environment</i>	7	462	66.00	8.6
9	<i>Transport Policy</i>	7	347	49.57	5.9
10	<i>Applied Energy</i>	6	202	33.67	10.4

4. 研究热点与研究前沿

4.1. 研究热点

4.1.1. 关键词聚类分析

运用 CiteSpace5.7.R5 作关键词聚类，生成关键词聚类图谱(图 6)和聚类相关指标(表 3)，根据聚类结果显示，共识别出 9 个主要聚类，从#0 到#9 数字越小，表明该聚类中包含的关键词越多，研究热度越高。所有聚类的轮廓值均大于 0.5，表明聚类结果合理且结构显著。

根据关键词共现图谱和聚类相关图谱，本研究对该领域的核心研究主题进行归纳，主要包括以下 3 个方面：

- (1) 低碳交通技术发展与优化。包括的聚类有#1 life cycle assessment、#4 electric vehicles、#8 carbon

footprint、#9 green logistics。其中聚类#4 electric vehicles 和#9 green logistics 的轮廓值最高,表明领域的研究主题高度集中。从关键词聚类之间的联系来看,交通碳排放研究呈现出明显的跨学科融合趋势。例如, #4 electric vehicles 与#2 renewable energy 的紧密关联体现了工程技术与环境科学的交叉; #0 transport sector 与#7 transport policy 的共现反映了政策研究与行业实践的深度融合; #1 life cycle assessment 与#8 carbon footprint 的结合则展示了系统科学与环境管理的协同。这种多学科交叉融合不仅拓展了研究视野,也为构建“技术-政策-行为”一体化的交通碳减排体系提供了理论支撑。在具体研究中,这种跨学科融合表现为从单一技术研发向全系统优化的转变。电动汽车作为交通行业的脱碳主力,其减排效益通过电池技术[40]、充电基础设施优化[41]和生命周期碳排放管理[42]的协同作用实现。Yang [43]等学者采用生命周期评估法发现,插电式混合动力汽车以及电池电动汽车的碳排放量均低于内燃机汽车。Kanishk Shah [44]等学者进一步指出,采用钠离子和氧化还原液流电池等新型技术,并配合先进的回收工艺,可以大幅减少电动汽车在其整个生命周期内的碳足迹,该研究既涉及材料科学的电池技术创新,又包含能源科学的可再生能源方案,还通过环境科学的碳足迹核算验证减排效益,成为三大学科协同的典型案例。同时,充电基础设施的碳足迹也不可忽视,Beloev 等学者[45]的研究表明,在充电站配套建设光伏系统,可减少全生命周期碳排放高达 37%。由此可知,电动汽车的碳减排效果在很大程度上取决于电力来源的清洁程度,这凸显了将可再生能源整合到充电基础设施中的重要性。同时,绿色物流与上述技术创新相结合,其通过对运输系统进行规划、控制、管理和实施,关注整个物流和运输过程的生命周期中的绿色实践和可持续性,提高物流效率并减少污染物排放[46]。如 Bi 等[47]提出的基于 AHP-TOPSIS 方法的都市配送优化模型,通过科学选址和路径规划使环境效益、经济效益和社会效益可以得到显著提高,碳排放可以有效地减少。目前研究重点已从单一技术研发转向“车-电-网-路”协同优化,但电池回收碳核算、跨境物流排放分配等挑战仍需突破。未来需构建覆盖全产业链的碳足迹评估体系,推动低碳交通技术从局部优化向系统减排转变。

(2) 可持续交通政策与城市治理。包括的聚类有#0 transport sector、#3 urban design、#5 climate change、#7 transport policy。从城市治理的全局视角来看,构建“全球气候治理-行业政策引导-城市转变与落实”多层次政策体系是实现交通低碳转型的核心保障。具体而言, #5 climate change 与#7 transport policy 的共现反映了环境科学与公共政策研究的深度交叉,如 2015 年联合国气候变化峰会上通过的《巴黎协定》设定了严格的温控目标[48],2020 年我国发布的《新能源汽车产业发展规划》则通过电动化路径将这一全球目标转化为具体的行业政策。#0 transport sector 与#3 urban design 的关联则展现了城市规划与交通工程的学科融合。这一融合催生了多元化的评估方法体系,主要包括成本效益分析[49]、模糊环境下城市交通系统可持续性评估的多标准决策方法[50]、系统动力学模型[51]、贝叶斯网络分析方法[52]、数据环境分析[53]、以及静态和动态弹性复合框架[54]。例如 Rajak 等[55]提出的模糊逻辑评估框架通过量化经济、社会、环境及系统有效性等多维指标,计算模糊可持续交通指数,为城市交通治理提供科学依据。Bongardt 等[56]强调政策工具的设计需结合本地化数据与全球标准,以确保其适用性和有效性。这些评估方法不仅能够识别交通系统的关键问题,还能为差异化政策的制定提供支持,以实现可持续交通目标[57]。而在具体政策实施方面,采用碳税激励政策[58]、碳交易政策[59]、摩托车停车管理和免费公交服务[60]、提高车辆燃油效率、制定废气排放和燃油经济性标准、推动电力和电气化铁路脱碳政策[61]等均在一定程度上推动了可持续交通的发展。例如 Sadawi 等[62]开发的区块链框架通过智能合约技术实现了碳交易的自动化与透明化,这一创新有效解决了传统碳市场中的监管难题。然而,单靠一项政策不太可能实现气候目标,政策组合更能够减少更多排放并且更具成本效益,表明政策之间存在互补或协同效应[63][64]。由此可见,可持续交通政策的有效实施依赖于多层次治理体系的协同,以及科学评估与本地化政策的结合。

未来研究应进一步探索政策组合的优化路径以及科学评估方法,基于本地实际情况选取合适的政策组合,发挥政策间的最大协同效应。

(3) 能源转型与社会行为变革。包括的聚类有#2 renewable energy、#6 making behavior。两类聚类的高频共现清晰揭示了能源科学、社会科学与交通技术科学的跨学科融合趋势。交通领域的深度脱碳不仅需要技术革新和政策引导,还依赖于能源系统的结构性变革和公众行为的根本性转变。在能源使用方面,化石燃料面临储量枯竭和碳排放的双重问题[65],因此,能源结构转型成为必然趋势,而从传统化石燃料向可再生能源的转变不仅能降低碳排放强度,还能重塑交通能源供给新模式。研究表明,交通运输部门是最具电气化潜力的部门之一,电动汽车具有缓解气候变化[66]、提高能源安全[67]等优势。当电动汽车充电所需的电力来自可再生能源,则其可被认为是零排放车[68]。因此,新能源汽车,特别是电动汽车,作为能源转型的关键载体,环境效益与电力来源的清洁化程度紧密相连。由此可知提高电动汽车的生产技术和增加可再生能源发电比例将有助于实现交通运输领域的脱碳目标。而在能源提取方面,车联网(V2G)技术通过整合分布式可再生能源与传统电网,能进一步优化能源提取与分配效率。例如 Fathabadi [69]设计的具有 V2G 技术的电网连接式太阳能电动汽车充电站能最优地利用太阳能产生电能来为电动汽车充电,从而实现碳减排,该研究融合了能源科学的“分布式能源管理理论”和交通技术科学的“车网互动技术”,成为跨学科融合的典型实例。同时这一实例也充分证明,将清洁能源整合到电网中,能够为碳减排工作提供强大助力。此外,交通能源转型正在重塑大众用能习惯,一方面,智能充电、车联网等技术的出现使被动消费者转变为主动参与,使得公众的日常出行直接融入双碳进程;另一方面,政策宣传、环保宣传教育活动推动绿色出行的选择[70]。这种从能源转型到社会行为变革充分彰显了二者相互促进、相辅相成的紧密关系,并且凸显了多学科理论与方法的深度耦合,而这也正是实现可持续发展的核心动力所在。

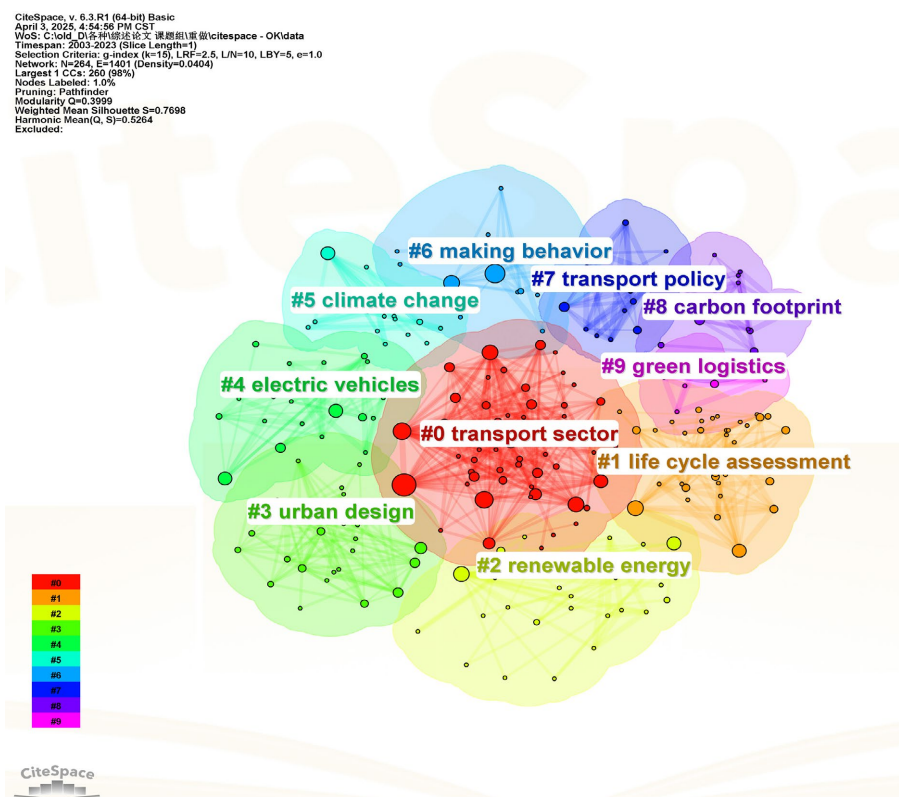


Figure 6. Keyword clustering map
 图 6. 关键词聚类图谱

Table 3. Keyword clustering
表 3. 关键词聚类指标

聚类 ID	节点数	轮廓值	平均年份	标识词(LLR 值最大的 5 个关键词)
#0	55	0.729	2016	transport sector ; CO ₂ emission; private sector investment; measurement method; mitigation measures
#1	42	0.703	2015	sustainable transport; life cycle assessment ; electric vehicle; design; automotive fleet analysis; electrification forecast
#2	32	0.724	2014	renewable energy ; green transport; sustainable development goals; carbon neutrality; traffic movement
#3	32	0.724	2017	built environment; urban design ; sustainable development; active transport; road transport; sensitivity analysis
#4	24	0.925	2010	electric vehicles ; infrastructure investment; green transportation; facility location; robust optimization
#5	21	0.838	2010	climate change ; sustainable transport; greenhouse gases; CO ₂ reduction; international climate regime
#6	18	0.794	2013	sustainable transport; making behavior ; same group; energy transition; new energy bus
#7	15	0.857	2008	sustainable transportation ; environmental innovation; transport emissions; transport policy ; public-private partnership
#8	15	0.779	2014	carbon footprint ; emission regulation; driving cycle; mitigation policies; climate change
#9	6	0.925	2011	circular economy; green logistics ; performance evaluation; green supply chain; economic growth

4.1.2. 研究前沿分析

突现关键词是指在某一特定时间段内频繁出现的关键词，其能揭示研究热点的时序变化，反映出近期的研究动向，预示未来的研究趋势[71]。根据关键词突现图 7 可知，交通碳排放领域的突现关键词可以分为三个阶段：2006~2014 年的早期前沿、2015~2019 年的中期前沿和近期前沿。

早期前沿阶段，研究主要集中在“能源(energy)”、“政策(policy)”、“温室气体排放(greenhouse gas emissions)”等关键词上。例如“能源(energy)”自 2006 年起突现，持续热度十年，突发强度为 6.22，反映出能源在全球低碳转型中的重要性。研究表明，电力相较于生物燃料和氢能源具有更大的优势，是交通低碳转型的关键途径[72]。此外，电池是新能源汽车最核心的技术，是决定电力驱动能否在未来取代传统燃油技术的关键[73]。同时，“政策 policy”强度达到 5.77，表明这一时期的研究重点集中在交通领域政策制定及能源需求识别上。例如 Winkler [74]等研究评估了电气化政策对 2050 年碳排放和能源需求的影响，建议减少汽车使用并制定合理政策以符合碳预算。Aggarwal 等人[75]指出交通领域能源消耗占比较大且与碳排放紧密相关，同时提出多种政策干预措施并分析其影响，进一步论证了能源在交通低碳转型中的重要性以及政策制定对交通领域能源需求和碳排放的关键作用。早期前沿表明，在交通碳排放领域，能源、政策及碳排放之间存在紧密联系，其关键作用体现在能源转型、政策引导以及降低排放等多个方面，为后续深入研究奠定了基础。

在 2015~2019 年中期前沿阶段，研究逐渐转向更具体的领域和技术，城市交通(urban transport)、分解分析(decomposition analysis)等关键词成为研究的热点。Long [76]分析了日本家庭私家车 CO₂ 排放的时空趋势及影响因素。Bo Wang 等[77]利用 LMDI 模型对中国客运和货运部门交通运输业碳排放进行因素分解，发现经济产出效应是碳排放增长的最大正向驱动力，运输强度效应是最大负向影响因素。识别交通碳排放驱动因素，有助于进一步探索实现交通运输低碳路径的举措[78]。

在最近的几年里，研究的重点进一步聚焦于生命周期评价(life cycle assessment)、可持续发展(sustainable development)、可再生能源(renewable energy)等关键词。随着人们环保意识的增强和技术的进步，新能源汽车逐渐取代传统燃油汽车成为主要的交通方式。前沿研究主要探讨车辆燃料代替、电池生产等问题。例如 Fulton [79]研究了电动汽车对消费者的成本效益和环境效益，以及可再生能源在交通领域的应用问题。Pranjal Barmand 等[80]研究讨论了电动汽车充电的可再生能源和相关技术。其他研究则使用生命周期评估方法，综合评估不同车辆对环境的影响。例如 Ghate [81]基于生命周期评估方法比较了地铁系统和快速公交系统的碳排放，发现地铁比 BRT 系统更节能。因此合理发展公共交通是解决私人车辆使用和碳排放水平增加的最关键措施之一。这表明，研究者们开始通过综合分析和评估来优化交通系统的可持续性，更加重视可再生能源在交通碳排放领域的应用和研究，这也是近期前沿的重点内容。

综合来看，这些关键词的突发时间与强度变化，清晰地展现了交通碳排放领域的研究热点从能源问题、政策影响到技术创新和可再生能源的应用，研究焦点逐步深化与扩展，为未来研究方向提供了有力参考。

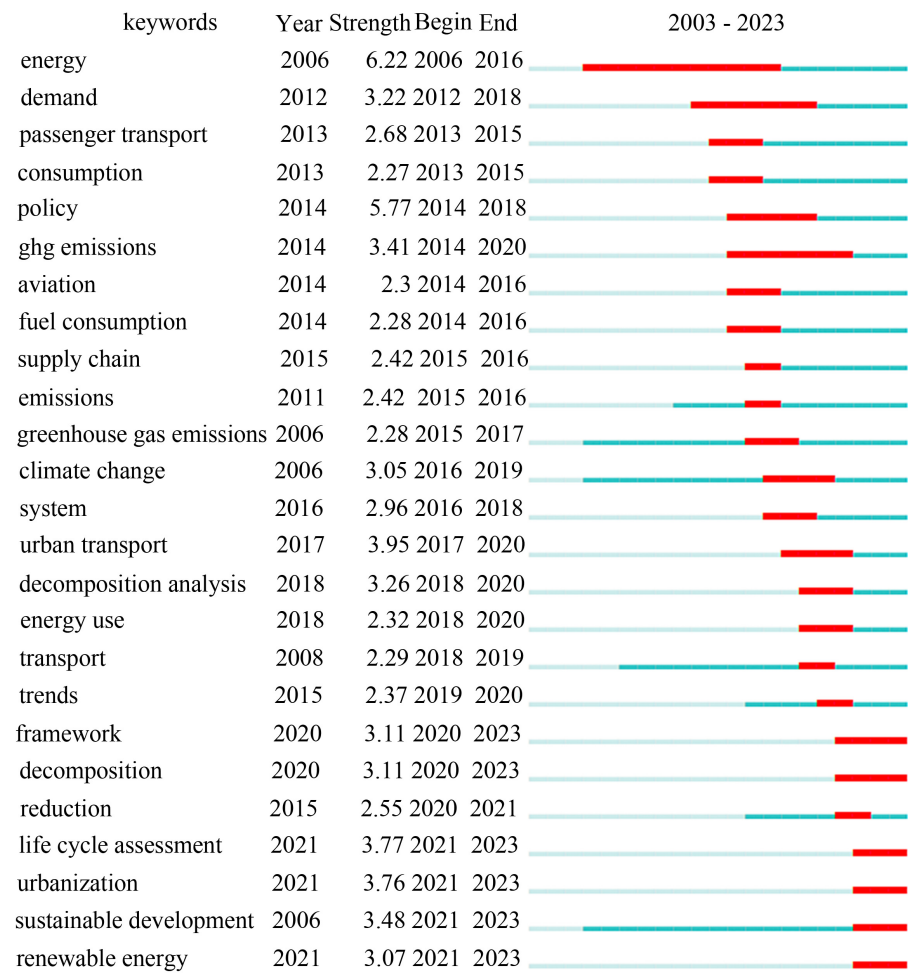


Figure 7. Keyword emergence graph
图 7. 关键词突现图

5. 讨论与结论

基于文献计量学方法，结合 VOSviewer 1.6.20 软件和 CiteSpace 5.7.R5 软件，对 2003 年至 2023 年间

交通碳排放领域的文献进行了可视化分析，总结了该领域的研究趋势和热点。

5.1. 研究趋势分析

从发文量趋势来看，交通碳排放研究自 2010 年起进入快速增长阶段，2020 年后发文量显著增加，这表明科研界对交通碳排放的关注度逐年提升；据文献来源国的分析可知，中国发文量居首且在国家合作网络中处于中心，同时，中国、美国、英国等国之间保持着较高的合作关系。然而中国机构在论文被引量与篇均被引方面仍落后于美国、英国等传统科研强国，一定程度反映出中国在该领域仍处于“量大于质”的发展阶段，未来需优化学术评价机制，强化对成果影响力与理论贡献的评估导向；构建“产学研用”协同攻关体系；深化高水平国际合作，积极参与 IPCC 等全球治理进程，在扩大国际话语权的同时，引进与培育顶尖人才，促进知识双向流动，从而实现质的突变。此外，中国科学院(Chinese Academy of Sciences)和美国特拉华州大学(University of Delaware)分别是发文量最高和被引量最高的机构。文献以 Wu Ye、Zhang Shaojun、Wang Fang 为核心作者团队，但科研团队之间联系不够密集。*Sustainability*、*Applied Energy*、*Transport Policy* 分别为发文量最多、影响因子最高、平均被引量最高的期刊。

5.2. 研究热点分析结论

(1) 关键词共现分析揭示了碳排放、环境影响、可持续交通系统等为当前针对交通碳排放领域研究核心议题，这与新能源汽车和可再生能源的应用趋势一致。

(2) 聚类分析结果显示当前研究呈现三大特征：1) 技术研发从单一技术创新转向“车-电-网-路”协同优化，特别是电池技术、充电基础设施和智能电网的融合发展；2) 技术应用与政策实施相辅相成；3) 评估体系从静态测算发展为动态耦合分析，整合了成本效益分析、模糊逻辑评估等跨学科方法。这种转变表明交通碳排放研究正形成“技术-政策-行为”的多维研究框架。

(3) 研究前沿分析可知研究内容从能源(energy)、政策(policy)等，延伸、转变至生命周期分析(life cycle assessment)、可持续发展(sustainable development)、可再生能源(renewable energy)等领域。这一转变具体表现为，以电力驱动为代表的低碳技术在研究中日益受到关注，成为焦点内容。这表明研究领域正从政策框架向更深层次的理论与实践融合迈进，预示着未来研究将更加重视注重综合性和系统性，这一趋势不仅反映了研究的深化与扩展，也为未来的研究方向提供了重要的参考依据。

5.3. 研究不足与未来展望

交通运输部门作为碳排放的主要来源，其研究尤为关键，但当前研究对电动汽车、智慧基础设施等技术路径关注过度，而对社会行为变革、交通公平性、供应链韧性等“软维度”议题探讨不足。基于本研究对该领域研究热点的系统梳理，未来交通领域可以在以下几个方面展开进一步研究。

(1) 深化低碳技术创新与系统优化

目前智能充电方法是通过分时充电策略实现降低运营成本与碳排放的双目标优化[80]，未来应积极拓展地热能、潮汐能等新型可再生能源在充电设施中的应用，探索快速充电技术等创新模式，并将供应链韧性、基础设施脆弱性等系统风险维度纳入技术评估框架，进一步完善低碳技术体系。在交通基础设施建设中，要重视基础设施对电网电力质量和稳定性的支持作用，探索研发先进的储能系统，优化电力传输与分配网络，利用智能电网技术实现电力供需的精准匹配。同时未来需构建覆盖全产业链的碳足迹评估体系，确保碳足迹的可追溯性，推动低碳交通技术从局部优化向系统减排转变。此外，需通过科学选址和路径规划提高绿色物流系统运输效率，实现环境、经济和社会的协同效益。

(2) 完善区域能源合作与联防联控

在区域能源合作研究中,当前研究方法虽能确定区域层面的能源潜力,但在区域内能源传输追踪上存在不足。未来需开发考虑输电线路容量的区域间能源流动跟踪方法,深入研究区域内详细的能源传输机制,加强区域联防联控机制研究。在特定地理区域构建多能互补系统,探索区块链支持的点对点能源交易等创新模式。

(3) 发展融合多维度影响的政策评估体系

减污降碳目标的实现,离不开各类环境政策的协同配合,未来政策评估应突破传统环境—经济二维框架,整合社会公平、区域均衡、可及性等非环境影响维度,并发展能够捕捉政策间交互效应与动态反馈的系统性评估模型,从而完善可持续交通政策评估。

(4) 强化政策协同与进行社会行为革新

政府应动态调整投资比例与重点,向低碳技术研发与绿色基建倾斜,同时,应创新性实施差异化政策,建议构建涵盖碳积分、共享充电、用能反馈等多层次激励实验平台,结合行为大数据与强化学习方法,识别不同群体在低碳转型过程中的行为响应规律与公平效应。此外,应实施绿色出行碳信用体系,设计包含碳积分、社区充电共享和用能反馈的多层次激励体系,促进公众从被动消费者转变为主动参与交通碳减排的主体,充分发挥社会行为变革在交通领域深度脱碳中的推动作用。加快推动智能交通应用,试点推广自动驾驶技术,推动交通低碳转型。

本文严格遵循了文献计量学的分析过程,对交通碳排放领域的研究趋势与热点进行了可视化分析。然而,本研究只选择了 Web of Science 数据库核心集,这在一定程度上限制了数据的全面性,在未来可考虑纳入其他数据库(如 CNKI)中的相关文献,并对比分析交通碳排放领域的研究异同,以更广泛和深入地探讨交通碳排放领域的研究。此外,在人为排除与研究主题无关的文献时存在一定的主观性,为了减少影响,可以在后期的研究采用更严格的筛选标准来确保文献的相关性和准确性。

参考文献

- [1] 刘派. 低载波比下永磁同步电机控制系统研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2022.
- [2] IEA (2021) Global Energy Review 2021: Assessing the Effects of Economic Recoveries on Global Energy Demand and CO₂ Emissions in 2021. International Energy Agency.
- [3] Zhu, C. and Du, W. (2019) A Research on Driving Factors of Carbon Emissions of Road Transportation Industry in Six Asia-Pacific Countries Based on the LMDI Decomposition Method. *Energies*, **12**, Article 4152. <https://doi.org/10.3390/en12214152>
- [4] Feng, D., Li, C. and Li, Y. (2024) Study on Spatial-Temporal Evolution, Decoupling Effect and Influencing Factors of Tourism Transportation Carbon Emissions: Taking North China as an Example. *Atmosphere*, **15**, Article 720. <https://doi.org/10.3390/atmos15060720>
- [5] Liu, J., Li, S. and Ji, Q. (2021) Regional Differences and Driving Factors Analysis of Carbon Emission Intensity from Transport Sector in China. *Energy*, **224**, Article ID: 120178. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120178>
- [6] Yu, Q., Yang, Y., Xiong, X., Sun, S., Liu, Y. and Wang, Y. (2021) Assessing the Impact of Multi-Dimensional Driving Behaviors on Link-Level Emissions Based on a Portable Emission Measurement System (PEMS). *Atmospheric Pollution Research*, **12**, 414-424. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.09.022>
- [7] Zhang, Q., Gu, B., Zhang, H. and Ji, Q. (2023) Emission Reduction Mode of China's Provincial Transportation Sector: Based on "Energy+" Carbon Efficiency Evaluation. *Energy Policy*, **177**, Article ID: 113556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113556>
- [8] Xu, H., Li, Y., Zheng, Y. and Xu, X. (2022) Analysis of Spatial Associations in the Energy-Carbon Emission Efficiency of the Transportation Industry and Its Influencing Factors: Evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review*, **97**, Article ID: 106905. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106905>
- [9] Wang, Q. and Zhu, H. (2024) Combined Top-Down and Bottom-Up Approach for CO₂ Emissions Estimation in Building Sector of Beijing: Taking New Energy Vehicles into Consideration. *Energy*, **290**, Article ID: 130302. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130302>
- [10] Vergel, K.B.N., Halil, J.U., Gomintong, C.L.C. and Marcelo, K.R.S. (2024) Estimation of Local Pollutant and Carbon

- Dioxide Emissions of Road and Rail Transportation in the Philippines. *Asian Transport Studies*, **10**, Article ID: 100133. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2024.100133>
- [11] Liu, J., Li, J., Chen, Y., Lian, S., Zeng, J., Geng, M., *et al.* (2023) Multi-Scale Urban Passenger Transportation CO₂ Emission Calculation Platform for Smart Mobility Management. *Applied Energy*, **331**, Article ID: 120407. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120407>
- [12] Godil, D.I., Yu, Z., Sharif, A., Usman, R. and Khan, S.A.R. (2021) Investigate the Role of Technology Innovation and Renewable Energy in Reducing Transport Sector CO₂ Emission in China: A Path toward Sustainable Development. *Sustainable Development*, **29**, 694-707. <https://doi.org/10.1002/sd.2167>
- [13] Lin, S., Gao, Y., Xu, S., Wu, T. and Li, M. (2024) Carbon Emissions Reduction Path of Logistics Industry in Hebei, China: Based on Internal Factors. *Environmental Research Communications*, **6**, Article ID: 105002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad7924>
- [14] Zhang, L., Wu, S., Leng, K. and Zhu, J. (2024) Carbon Emission Reduction Pathways for Taxis Based on the Whole Life Cycle. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **132**, Article ID: 104236. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104236>
- [15] Li, C., Zhang, Z. and Wang, L. (2023) Carbon Peak Forecast and Low Carbon Policy Choice of Transportation Industry in China: Scenario Prediction Based on STIRPAT Model. *Environmental Science and Pollution Research*, **30**, 63250-63271. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26549-6>
- [16] Wu, X., Chen, L., Zhao, J., He, M. and Han, X. (2024) CNN-GRU-Attention Neural Networks for Carbon Emission Prediction of Transportation in Jiangsu Province. *Sustainability*, **16**, Article 8553. <https://doi.org/10.3390/su16198553>
- [17] Huo, Z., Zha, X., Lu, M., Ma, T. and Lu, Z. (2023) Prediction of Carbon Emission of the Transportation Sector in Jiangsu Province-Regression Prediction Model Based on GA-SVM. *Sustainability*, **15**, Article 3631. <https://doi.org/10.3390/su15043631>
- [18] Tang, Y. and Jiang, H. (2023) Analysis of the Decoupling Effect and Driving Factors of Carbon Emissions from the Transportation Sector in Guangdong Province. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 18744. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45492-7>
- [19] Wang, F. and Xu, H. (2021) Decoupling Elasticity of Carbon Emissions and Economic Growth of Transportation Industry in Zhejiang Province and Its Influencing Factors. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, **22**, 750-759.
- [20] Wu, Y., Zhou, Y., Liu, Y. and Liu, J. (2022) A Race between Economic Growth and Carbon Emissions: How Will the CO₂ Emission Reach the Peak in Transportation Industry? *Frontiers in Energy Research*, **9**, Article 778757. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.778757>
- [21] Mao, Y. and Li, X. (2023) A Review of Research on the Impact Mechanisms of Green Development in the Transportation Industry. *Sustainability*, **15**, Article 16531. <https://doi.org/10.3390/su152316531>
- [22] Malladi, K.T. and Sowlati, T. (2018) Sustainability Aspects in Inventory Routing Problem: A Review of New Trends in the Literature. *Journal of Cleaner Production*, **197**, 804-814. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.224>
- [23] Pritchard, A. (1969) Statistical Bibliography or Bibliometrics. *Journal of Documentation*, **25**, 348-349.
- [24] van Eck, N.J. and Waltman, L. (2009) Software Survey: Vosviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, **84**, 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- [25] Chen, C. (2004) Searching for Intellectual Turning Points: Progressive Knowledge Domain Visualization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 5303-5310. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307513100>
- [26] 孙帅, 钱琪, 王鑫国, 等. 基于文献计量学的黄芩研究现状及热点分析[J]. 药物评价研究, 2023, 46(1): 198-207.
- [27] 陈多长, 罗玉莹. 基于文献计量学的住房不平等研究[J]. 建筑与文化, 2023(10): 112-115.
- [28] 张丽, 邢晨, 景筠. 重症肌无力生活质量研究的现状和热点分析——基于 Web of Science 数据库的文献计量学分析[J]. 中国神经免疫学和神经病学杂志, 2023, 30(1): 39-45.
- [29] 李仙仙, 邓清月, 和映玉, 等. 基于 CiteSpace 和 VOSviewer 可视化分析药食同源中药罗汉果的发展态势[J]. 中草药, 2023, 54(17): 5664-5676.
- [30] 徐刘杰, 王成梁, 戴坚, 等. 国外高等职业教育研究热点——基于知识图谱的可视化分析[J]. 职业教育研究, 2022(6): 82-89.
- [31] Lin, J., Ling, F., Huang, P., Chen, M., Song, M., Lu, K., *et al.* (2022) The Development of Gabaergic Network in Depression in Recent 17 Years: A Visual Analysis Based on Citespace and Vosviewer. *Frontiers in Psychiatry*, **13**, Article 874137. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.874137>
- [32] Deng, P., Liu, C., Chen, M. and Si, L. (2023) Knowledge Domain and Emerging Trends in Multimorbidity and Frailty Research from 2003 to 2023: A Scientometric Study Using Citespace and Vosviewer. *Health Economics Review*, **13**,

Article No. 46. <https://doi.org/10.1186/s13561-023-00460-9>

- [33] 李杰, 刘家豪, 汪金辉, 等. 基于 FSJ 的火灾安全学术地图研究[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(12): 1760-1765.
- [34] Price, D. (1963) Little Science, Big Science. Columbia University Press.
- [35] Lin, B. and Du, Z. (2017) Can Urban Rail Transit Curb Automobile Energy Consumption? *Energy Policy*, **105**, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.038>
- [36] Raza, M.Y. and Lin, B. (2020) Decoupling and Mitigation Potential Analysis of CO₂ Emissions from Pakistan's Transport Sector. *Science of the Total Environment*, **730**, Article ID: 139000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139000>
- [37] Tsoi, K.H., Loo, B.P.Y. and Banister, D. (2021) "Mind the (Policy-Implementation) Gap": Transport Decarbonisation Policies and Performances of Leading Global Economies (1990-2018). *Global Environmental Change*, **68**, Article ID: 102250. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102250>
- [38] Loo, B.P.Y. and Li, L. (2012) Carbon Dioxide Emissions from Passenger Transport in China since 1949: Implications for Developing Sustainable Transport. *Energy Policy*, **50**, 464-476. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.044>
- [39] Lotka, A.J. (1926) The Frequency Distribution of Scientific Productivity. *Journal of the Franklin Institute*, **202**, 271-274. [https://doi.org/10.1016/s0016-0032\(26\)91166-6](https://doi.org/10.1016/s0016-0032(26)91166-6)
- [40] Zhao, G., Wang, X. and Negnevitsky, M. (2022) Connecting Battery Technologies for Electric Vehicles from Battery Materials to Management. *iScience*, **25**, Article ID: 103744. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103744>
- [41] Zhang, X., Gao, Q. and Pan, H. (2022) Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure under the Background of Big Data. *Journal of Control and Decision*, **10**, 374-381. <https://doi.org/10.1080/23307706.2022.2082567>
- [42] Li, L., Yue, C., Ma, S., Ma, X., Gao, F., Zheng, Y., et al. (2023) Life Cycle Assessment of Car Energy Transformation: Evidence from China. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05736-1>
- [43] Yang, L., Yu, B., Yang, B., Chen, H., Malima, G. and Wei, Y. (2021) Life Cycle Environmental Assessment of Electric and Internal Combustion Engine Vehicles in China. *Journal of Cleaner Production*, **285**, Article ID: 124899. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124899>
- [44] Shah, K. and Kaka, F. (2022) Reduction of Carbon Footprint of Electric Vehicles by Using Battery Alternatives and Integrated Photovoltaics. *Materials Today: Proceedings*, **57**, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.440>
- [45] Beloev, I., Gabrovska-Evstatieva, K. and Evstatiev, B. (2017) Compensation of CO₂ Emissions from Petrol Stations with Photovoltaic Parks: Cost-Benefit and Risk Analysis. *Acta Technologica Agriculturae*, **20**, 85-90. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0017>
- [46] Ren, R., Hu, W., Dong, J., Sun, B., Chen, Y. and Chen, Z. (2019) A Systematic Literature Review of Green and Sustainable Logistics: Bibliometric Analysis, Research Trend and Knowledge Taxonomy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, Article 261. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010261>
- [47] Bi, K., Yang, M., Zahid, L. and Zhou, X. (2020) A New Solution for City Distribution to Achieve Environmental Benefits within the Trend of Green Logistics: A Case Study in China. *Sustainability*, **12**, Article 8312. <https://doi.org/10.3390/su12208312>
- [48] Ma, M., Cai, W., Cai, W. and Dong, L. (2019) Whether Carbon Intensity in the Commercial Building Sector Decouples from Economic Development in the Service Industry? Empirical Evidence from the Top Five Urban Agglomerations in China. *Journal of Cleaner Production*, **222**, 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.314>
- [49] de Rus, G., Socorro, M.P., Valido, J. and Campos, J. (2022) Cost-Benefit Analysis of Transport Projects: Theoretical Framework and Practical Rules. *Transport Policy*, **123**, 25-39. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.04.008>
- [50] Ngossaha, J.M., Ngouna, R.H., Archimède, B. and Nlong, J.M. (2017) Sustainability Assessment of a Transportation System under Uncertainty: An Integrated Multicriteria Approach. *IFAC-PapersOnLine*, **50**, 7481-7486. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1064>
- [51] Boulanger, P. and Bréchet, T. (2005) Models for Policy-Making in Sustainable Development: The State of the Art and Perspectives for Research. *Ecological Economics*, **55**, 337-350. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.033>
- [52] Tang, J., Heinimann, H., Han, K., Luo, H. and Zhong, B. (2020) Evaluating Resilience in Urban Transportation Systems for Sustainability: A Systems-Based Bayesian Network Model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **121**, Article ID: 102840. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102840>
- [53] Fancello, G., Uccieddu, B. and Fadda, P. (2014) Data Envelopment Analysis (D.E.A.) for Urban Road System Performance Assessment. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, **111**, 780-789. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.112>
- [54] Chen, H., Zhou, R., Chen, H. and Lau, A. (2022) Static and Dynamic Resilience Assessment for Sustainable Urban Transportation Systems: A Case Study of Xi'an, China. *Journal of Cleaner Production*, **368**, Article ID: 133237.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133237>
- [55] Rajak, S., Parthiban, P. and Dhanalakshmi, R. (2016) Sustainable Transportation Systems Performance Evaluation Using Fuzzy Logic. *Ecological Indicators*, **71**, 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.031>
- [56] Bongardt, D., Schmid, D., Huizenga, C., *et al.* (2011) Sustainable Transport Evaluation: Developing Practical Tools for Evaluation in the Context of the CSD Process. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- [57] Illahi, U. and Mir, M.S. (2021) Assessment of Transport Sustainability Using a Hybrid Approach: A Comparison of Four Metropolitan Cities of India. *Case Studies on Transport Policy*, **9**, 703-714. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.03.008>
- [58] Qiu, R., Xu, J., Xie, H., Zeng, Z. and Lv, C. (2020) Carbon Tax Incentive Policy Towards Air Passenger Transport Carbon Emissions Reduction. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **85**, Article ID: 102441. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102441>
- [59] Heinrichs, H., Jochem, P. and Fichtner, W. (2014) Including Road Transport in the EU ETS (European Emissions Trading System): A Model-Based Analysis of the German Electricity and Transport Sector. *Energy*, **69**, 708-720. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.061>
- [60] Cheng, Y., Chang, Y. and Lu, I.J. (2015) Urban Transportation Energy and Carbon Dioxide Emission Reduction Strategies. *Applied Energy*, **157**, 953-973. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.126>
- [61] Shukla, P.R. and Dhar, S. (2015) Energy Policies for Low Carbon Sustainable Transport in Asia. *Energy Policy*, **81**, 170-175. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.021>
- [62] Sadawi, A.A., Madani, B., Saboor, S., Ndiaye, M. and Abu-Lebdeh, G. (2021) A Comprehensive Hierarchical Blockchain System for Carbon Emission Trading Utilizing Blockchain of Things and Smart Contract. *Technological Forecasting and Social Change*, **173**, Article ID: 121124. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121124>
- [63] Dimanchev, E. and Knittel, C.R. (2023) Designing Climate Policy Mixes: Analytical and Energy System Modeling Approaches. *Energy Economics*, **122**, Article ID: 106697. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106697>
- [64] Zhang, R. and Hanaoka, T. (2022) Cross-Cutting Scenarios and Strategies for Designing Decarbonization Pathways in the Transport Sector toward Carbon Neutrality. *Nature Communications*, **13**, Article No. 3629. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31354-9>
- [65] Lie, K.W., Synnevgård, T.A., Lamb, J.J. and Lien, K.M. (2021) The Carbon Footprint of Electrified City Buses: A Case Study in Trondheim, Norway. *Energies*, **14**, Article 770. <https://doi.org/10.3390/en14030770>
- [66] Zhang, H., Song, X., Xia, T., Yuan, M., Fan, Z., Shibasaki, R., *et al.* (2018) Battery Electric Vehicles in Japan: Human Mobile Behavior Based Adoption Potential Analysis and Policy Target Response. *Applied Energy*, **220**, 527-535. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.105>
- [67] Zhu, L., Wang, P. and Zhang, Q. (2019) Indirect Network Effects in China's Electric Vehicle Diffusion under Phasing Out Subsidies. *Applied Energy*, **251**, Article ID: 113350. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113350>
- [68] Richardson, D.B. (2013) Electric Vehicles and the Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy Integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **19**, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.042>
- [69] Fathabadi, H. (2017) Novel Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with the Capability of Vehicle-To-Grid. *Solar Energy*, **142**, 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.037>
- [70] Yang, D. and Sun, S. (2022) Research on the Impact of Social Propaganda and Guidance Policies on Public Green Travel Intention: Evidence from China. *Frontiers in Sustainability*, **3**, Article 927584. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.927584>
- [71] Yue, T., Liu, H., Long, R., Chen, H., Gan, X. and Liu, J. (2020) Research Trends and Hotspots Related to Global Carbon Footprint Based on Bibliometric Analysis: 2007-2018. *Environmental Science and Pollution Research*, **27**, 17671-17691. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08158-9>
- [72] Gibbins, J., Beaudet, A., Chalmers, H. and Lamperth, M. (2007) Electric Vehicles for Low-Carbon Transport. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers—Energy*, **160**, 165-173. <https://doi.org/10.1680/ener.2007.160.4.165>
- [73] Hu, S., Liu, Z., Tan, Y., Cheng, X., Chen, Z. and Long, Z. (2022) The Status Quo and Future Trends of New Energy Vehicle Power Batteries in China—Analysis from Policy Perspective. *Energy Reports*, **8**, 63-80. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.082>
- [74] Winkler, L., Pearce, D., Nelson, J. and Babacan, O. (2023) The Effect of Sustainable Mobility Transition Policies on Cumulative Urban Transport Emissions and Energy Demand. *Nature Communications*, **14**, Article No. 2357. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37728-x>
- [75] Aggarwal, P. and Jain, S. (2016) Energy Demand and CO₂ Emissions from Urban On-Road Transport in Delhi: Current and Future Projections under Various Policy Measures. *Journal of Cleaner Production*, **128**, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.012>

-
- [76] Long, Y., Huang, D., Lei, T., Zhang, H., Wang, D. and Yoshida, Y. (2020) Spatiotemporal Variation and Determinants of Carbon Emissions Generated by Household Private Car. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **87**, Article ID: 102490. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102490>
- [77] Wang, B., Sun, Y., Chen, Q. and Wang, Z. (2018) Determinants Analysis of Carbon Dioxide Emissions in Passenger and Freight Transportation Sectors in China. *Structural Change and Economic Dynamics*, **47**, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2018.08.003>
- [78] Achour, H. and Belloumi, M. (2016) Investigating the Causal Relationship between Transport Infrastructure, Transport Energy Consumption and Economic Growth in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **56**, 988-998. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.023>
- [79] Fulton, L. (2020) A Publicly Available Simulation of Battery Electric, Hybrid Electric, and Gas-Powered Vehicles. *Energies*, **13**, Article 2569. <https://doi.org/10.3390/en13102569>
- [80] Barman, P., Dutta, L., Bordoloi, S., Kalita, A., Buragohain, P., Bharali, S., *et al.* (2023) Renewable Energy Integration with Electric Vehicle Technology: A Review of the Existing Smart Charging Approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **183**, Article ID: 113518. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113518>
- [81] Ghate, A.T. and Qamar, S. (2020) Carbon Footprint of Urban Public Transport Systems in Indian Cities. *Case Studies on Transport Policy*, **8**, 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.01.005>