

垃圾收运问题研究现状与热点分析——基于文献计量法

袁林^{1,2} 郎春¹ 林嘉仪¹

1 西藏大学工学院

2 西藏大学 西藏自治区高原重大基础设施智慧建造与韧性安全技术创新中心

DOI:10.12238/eep.v7i11.2347

[摘要] 为分析垃圾收运领域的研究脉络、关键节点及趋势问题。基于1994–2024年CNKI数据库和1989–2024年Web of Science核心数据库中的期刊论文,采用CiteSpace软件对垃圾收运领域的相关文献进行可视化分析,绘制科学知识图谱。结果显示:近10年来垃圾收运领域的文献发文量总体呈现明显的上升趋势;中英文文献中对垃圾收运研究较多的机构主要有上海理工大学、上海电机学院、重庆交通大学、Universidade de Lisboa、Parthenope University Naples、International Business Machines Corporation等;中英文文献中关于垃圾收运研究出现频率较高的关键词有“生活垃圾”、“垃圾收运”、“Management”、“Waste Collection”等;“生活垃圾”、“收运系统”和“Routing Problem”是垃圾收运问题的核心研究主题;“路径优化”、“垃圾分类”、“Internet of Things”和“Recovery”是近3年垃圾收运研究的重点及未来的发展趋势。本文能够为垃圾收运领域未来的研究方向提供参考。

[关键词] 垃圾收运; 文献计量; 研究热点; 发展趋势

中图分类号: R124.3 文献标识码: A

Research Status and Hotspot Analysis of Waste Collection and Transportation problem – Based on Bibliometric Methods

Lin Yuan^{1,2} Chun Lang¹ Jiayi Lin¹

1 School of Engineering, Tibet University

2 Plateau Major Infrastructure Smart Construction and Resilience Safety Technology Innovation Center, Tibet University

[Abstract] To analyze the research trajectory, key nodes, and trend issues in the field of waste collection, this study conducted a visual analysis of relevant literature using the CiteSpace software based on journal articles from the CNKI database from 1994 to 2024 and the Web of Science Core Database from 1989 to 2024. The results show that the number of literature publications in the field of waste collection has shown a clear overall upward trend in the past decade; The institutions that have conducted more research on waste collection in both Chinese and English literature include University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai Dianji University, Chongqing Jiaotong University, Universidade de Lisboa, Parthenope University Naples, and International Business Machines Corporation; The high-frequency keywords in both Chinese and English literature on waste collection research include “Domestic Waste”, “Waste Collection”, “Management”, and “Waste Collection”; “Domestic Waste”, “Collection System”, and “Routing Problem” are the core research themes in the field of waste collection; “Path Optimization”, “Garbage Classification”, “Internet of Things”, and “Recovery” are the current research focuses and future development trends in the field of waste collection. This study can provide reference for the future research direction in the field of waste collection.

[Key words] Waste Collection and Transportation; Bibliometrics; Research Hotspots; Development Trend

引言

垃圾收运阶段是垃圾处置系统中的关键环节,对于垃圾处理的效率、质量以及耗资具有重要影响作用。为促进资源的合

理利用、污染物的有效处置、环境风险的可防可控,垃圾收运问题已经成为了国内外学术界共同关注的研究热点。汪楚乔等^[1]依据《IPCC 2006年国家温室气体清单指南2019修订版》及《温

室气体协议》,构建了生活垃圾收运环节的温室气体排放量核算方法;陈杰皓等^[2]通过实证案例研究了数字技术在城市生活垃圾分类全链条中的不同应用场景;魏璐瑶等^[3]以江苏省和贵州省典型乡村为案例,探讨发达地区与欠发达地区乡村在垃圾收运处理的政策制度、实施方式和居民参与度等方面的差异性特征;张燕^[4]从树立垃圾分类理念、增加垃圾收运投入与设备、加快可回收资源技术及相关政策研究等方面为北京市生活垃圾管理提出建议;肖建华等^[5]研究了城市分类垃圾收运问题,并提出了基于总成本最小化的多周期多车舱垃圾分类收运车辆路径优化模型;张矢宇等^[6]以武汉市杨园街道为例,针对生活垃圾收运物流系统进行仿真建模,并提出了一系列优化方案;李婷婷等^[7]以车辆运输成本、固定成本和碳排放成本之和最小化为目标,构建了一种垃圾车辆低碳收运路径优化模型;赵天瑞等^[8]综述了生活垃圾运输回收模型的发展历程与现状,指出基于GIS和人工智能的规划优化方法是当前研究的热点,并强调了与“两网融合”需求相契合的未来发展方向;李明月等^[9]以优化时间成本和环境成本为目标,提出了一种基于GIS技术与改进蚁群算法的垃圾收运路径规划方法;周双牛等^[10]以最短路径和最小化碳排放量为目标,构建了一种绿色垃圾收运路径优化模型,并设计改进DMBSO算法进行求解;Trifa, S等^[11]回顾了发展中国家在固体废物收集成本和路径优化中应用的数学模型和方法,并介绍了用于解决路径问题的GLS等优化方法;Zhang等^[12]以在不确定环境下实现运输成本最小化和居民满意度最大化为目标,构建了一种求解城市固体废物的多次收集和运输的优化模型,并通过CPLEX验证模型的有效性;Wang等^[13]提出了在认知不确定性下的车辆路径规划模型及其算法,研究了在突发事件下如何调整市政固体废物的收运规划问题;Arribas, CA等^[14]提出了一种结合组合优化、整数规划和GIS工具对城市固体废物收集系统设计的方法;Al-Refaie, A等^[15]以最小化运输成本并最大化集群需求的满意度为目标,提出了一种优化垃圾容器集群的数学模型;Wan等^[16]提出了一种基于云-边缘-终端的同步决策与控制系统,通过实时数据收集与边缘计算分析,优化市政固体废物收集与运输系统的同步操作,有效提升了系统效率与运输成本控制。

既有文献针对垃圾收运问题提出了大量的解决方案和优化技术,但缺乏对垃圾收运问题开展研究现状、热点及其趋势方面的分析。鉴于此,本文以CNKI数据库和Web of Science核心数据库中的期刊文献作为研究对象,采用CiteSpace软件从发文量、发文机构、关键词等维度对垃圾收运问题既有文献进行系统性分析,揭示垃圾收运问题的研究现状、热点及发展趋势,为后续相关研究提供切实的经验借鉴。

1 研究方法和数据来源

1.1 研究方法

CiteSpace可视化软件是一种常用于科学文献计量分析的工具,包含发文量、发文机构、发文作者、关键词分析等功能,并绘制科学知识图谱直观展示相关领域的研究脉络、关键节点

及趋势问题,研究运用CiteSpace6.3软件对垃圾收运领域的中英文文献进行文献计量可视化分析。

1.2 数据来源

以1994–2024年CNKI数据库和1989–2024年Web of Science核心数据库的相关文献为研究对象。CNKI数据库以“垃圾收运”为主题词进行检索,共筛选出331篇与垃圾收运问题相关度较高的期刊文献,用以反映中文文献关于垃圾收运问题的研究进展和热点问题。Web of Science核心数据库采用布尔逻辑表达式((“waste collection”or “garbage collection” or “solid waste collection”) and (“transportation” or “logistics” or “management”); (“waste collection”or “garbage collection”) and (“route optimization”or “route planning” or “routing algorithm”); (“smart waste collection” or “IoT waste collection”) and (“internet of things”or “IoT”or “sensor-based systems”); (“municipal solid waste collection” or “urban waste collection”) and (“efficiency” or “logistics optimization” or “cost analysis”); (“waste sorting”or “garbage classification”) and (“waste collection” or “garbage transportation”) and (“impact” or “effectiveness”); (“waste collection” or “solid waste collection”) and (“sustainability” or “environmental impact” or “sustainable logistics”); (“garbage truck” or “waste collection vehicle”) and (“route optimization” or “vehicle routing problem” or “fleet management”))进行检索,共筛选出1458篇期刊文献,选取的文献涵盖了收运路径优化、智能收运系统设计、垃圾分类对收运效率的影响等多方面研究,用以反映英文文献关于垃圾收运问题的研究进展和热点问题。

2 垃圾收运研究发文量与发文机构分析

2.1 发文量分析

图1给出了CNKI文献年度发文量统计。由图1可知:(1)1994年至2000年之间该领域的发文数量较少,几乎没有显著增长。这一阶段可能是垃圾收运相关研究的初始发展期,研究关注度较低。(2)2000年后,发文数量逐渐增加,尤其在2010年以后,年度发文量出现了较为明显的上升。这可能是因为垃圾分类、垃圾处理等环境问题日益受到重视,促使更多科研工作者投入到相关研究中。(3)发文数量在2017年至2023年之间呈现出明显的快速增长,尤其是2022年达到峰值。这一时期的爆发式增长可能得益于全球对环境问题的关注,以及中国在垃圾分类和垃圾处理政策上的持续推动。

图2给出了Web of Science文献年度发文量统计。由图2可知:(1)从1989年至2010年,年度发文量相对较低且波动较小,大部分年份的发文量保持在20篇以下,显示出该领域在早期的研究热度较为有限。在此期间,垃圾管理问题虽已被部分国家和地区所重视,但作为具体环节的垃圾收运尚未成为研究的核心焦点。(2)自2010年起,年度发文量逐渐攀升,尤其是在2016年后,

该领域的研究迎来了显著的增长。这一增长趋势表明,随着全球城市化进程的加快以及环境保护政策的推行,垃圾收运的研究重要性不断提升。2016年后的快速增长可能与以下因素密切相关:一方面,全球范围内的垃圾管理系统面临更加复杂的挑战,特别是在城市化进程中,垃圾收运的效率和可持续性问题的逐渐凸显;另一方面,政府和研究机构对可持续发展目标的推动也促使了相关领域的研究兴起。

结合图1和图2可知:中英文文献关于垃圾收运问题的研究发文量在整体上呈上升趋势,尤其在近十年中,垃圾收运领域的研究逐渐成为热点。相比英文文献的年度发文量,中文文献在垃圾收运领域的发文量具有一定差距。

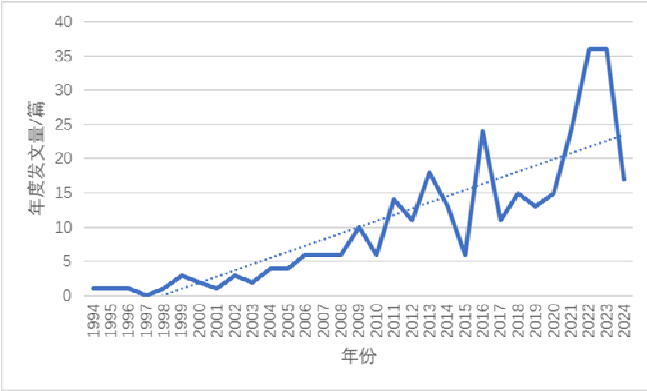


图1 CNKI文献年度发文量统计

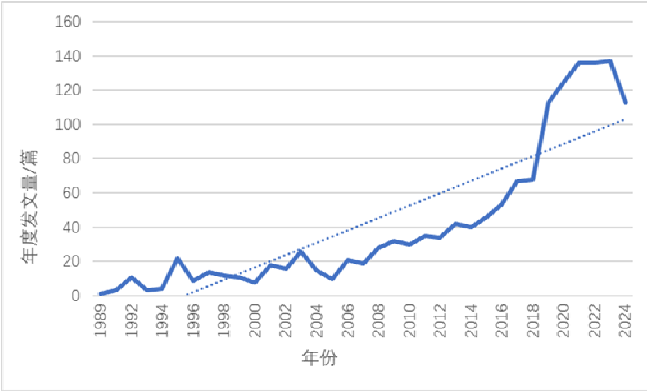


图2 Web of Science文献年度发文量统计

2.2 发文机构分析

表1给出了CNKI文献机构发文数量排序。由表1可知,中文文献排名前十的机构总发文量为58篇,占总发文量的17.5%,其中发文量较高的机构有上海理工大学、上海电机学院、重庆交通大学等。表2给出了Web of Science文献机构发文数量排序。由表2可知,英文文献排名前十的机构总发文量为102篇,约占总发文量的7.0%,其中发文量较高的机构有Universidade de Lisboa、Parthenope University Naples、International Business Machines Corporation等。结合表1与表2可知,垃圾收运领域的研究主要由多国、多领域、多研究机构共同推动,而非单一国家、单一领域或少数机构主导。

表1 CNKI文献机构发文数量排序

排序	发文数量	发文机构
1	13	上海理工大学
2	8	上海电机学院
3	7	重庆交通大学
4	5	兰州交通大学
5	5	重庆市环卫集团有限公司
6	5	中国城市建设研究院有限公司
7	4	北京工业大学
8	4	重庆交通大学
9	4	深圳市生活垃圾分类管理事务中心
10	3	清华大学

表2 Web of Science文献机构发文数量排序

排序	发文数量	发文机构
1	17	Universidade de Lisboa
2	12	Parthenope University Naples
3	12	International Business Machines Corporation
4	11	Iran University Science & Technology
5	10	Indian Institute of Technology
6	8	Islamic Azad University
7	8	Huazhong University of Science & Technology
8	8	Silesian University of Technology
9	8	University of Tehran
10	8	Chongqing University

3 垃圾收运研究关键词分析

3.1 关键词共现分析

表3给出了CNKI文献关键词出现频率排序。由表3可知,“生活垃圾”、“垃圾收运”和“收运系统”等关键词在中文文献中的出现频率极高,这些关键词反映了中文文献在垃圾收运领域中的更侧重生活垃圾收运系统方面的研究;此外,“蚁群算法”、“路径优化”作为优化类关键词出现频率较高,说明垃圾收运的优化问题已经成为中文文献的研究热点。

表4给出了Web of Science文献关键词出现频率排序。由表4可知，“Management”、“Waste Collection”和“Waste Management”等关键词在英文文献中的出现频率极高，这些关键词反映了英文文献在垃圾收运领域中更侧重垃圾管理方面的研究；此外，“Optimization”、“Model”作为优化类关键词出现频率较高，说明垃圾收运的优化问题也已经成为英文文献的研究热点。

表3 CNKI文献关键词出现频率排序

排序	频度	中心度	关键词
1	61	0.63	生活垃圾
2	41	0.37	垃圾收运
3	25	0.23	收运系统
4	25	0.23	垃圾分类
5	20	0.08	收运
6	19	0.15	餐厨垃圾
7	13	0.03	蚁群算法
8	12	0.08	收运模式
9	11	0.1	路径优化
10	12	0.03	分类收运

表4 Web of Science文献关键词出现频率排序

排序	频度	中心度	关键词
1	291	0.22	management
2	193	0.11	waste collection
3	192	0.07	waste management
4	169	0.29	garbage collection
5	144	0.09	municipal solid waste
6	129	0.05	optimization
7	128	0.1	model
8	123	0.03	solid waste
9	94	0.06	system
10	92	0.01	vehicle routing problem

3.2 关键词聚类分析

图3给出了CNKI文献关键词聚类图谱，图4给出了Web of Science文献关键词聚类图谱。图谱中不同颜色区域代表各个主题或领域的聚类，中心区域的关键词分布较为密集，且较大的字体代表了更为重要的关键词，反映了这些关键词在文献中被频繁引用。此外，集群规模与密集度反映了研究的深度与广度。

如图3所示，“生活垃圾”、“收运系统”等关键词位于红色区域(#0)，表明该方向是当前中文文献研究的核心主题，研究量较为丰富。“垃圾收运”和“餐厨垃圾”等关键词位于橙色区域(#1)和黄色区域(#2)，代表了中文文献的次要研究主题。如图4所示，“Routing Problem”关键词位于红色区域(#0)，表明路径问题是英文文献的核心研究主题。“The-Fly Garbage”和“Different Scenar”等关键词位于黄色区域(#1)及绿色区域(#2)，代表了英文文献的次要研究主题。

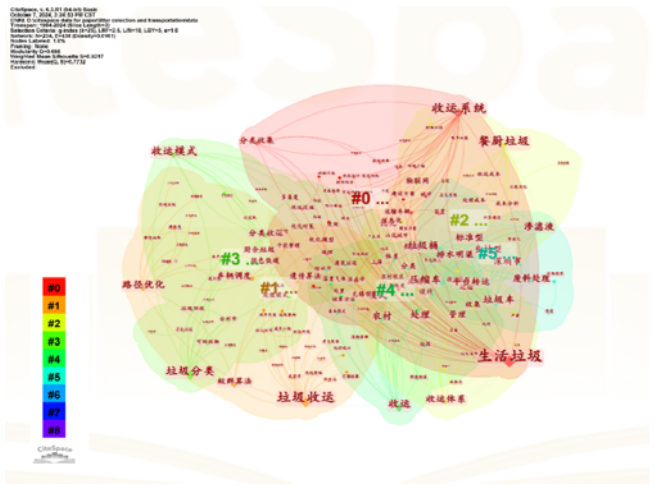


图3 CNKI文献关键词聚类图谱

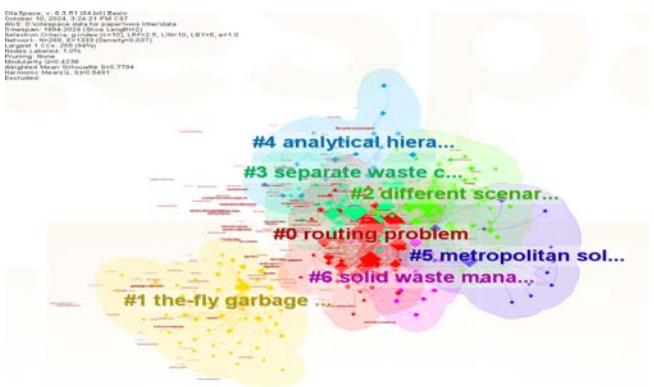


图4 Web of Science文献关键词聚类图谱

3.3 关键词突现分析

图5给出了CNKI文献关键词突现图谱，图6给出了Web of Science文献关键词突现图谱。图谱中红色条表示关键词在某段时间内的引用爆发，显示出该领域在学术研究中的高度活跃性，而青色线则代表关键词在文献中的出现但未表现出爆发性增长。

由图5可知,近三年中文文献的研究热点关键词包括“收集运输”、“垃圾分类”、“餐厨垃圾”、“路径优化”、“垃圾收运”和“优化研究”。“路径优化”以其显著的影响力(强度5.63)成为关注焦点,其研究重点在于废弃物收集与运输的路径优化设计。“垃圾分类”的研究(强度3.33)聚焦于分类收集系统的优化及公众参与机制的改进,旨在提升废弃物分类处理的效率和效果。“垃圾收运”(强度1.87)的研究聚焦于收集与运输环节的全流程优化,尤其是结合现代技术提升作业效率的探索。“餐厨垃圾”(强度1.64)的研究则集中于资源化利用和污染控制技术的开发与应用。“优化研究”(强度1.51)涵盖废弃物管理中广义优化问题的解决,包括算法设计与模型构建。“收集运输”(强度1.35)强调通过技术手段提升废弃物收集运输效率并降低运营成本。整体而言,这些研究热点反映了中文文献在垃圾处理领域中对于系统优化、资源利用与技术创新的持续关注,以及对实现高效、绿色废弃物管理的深入探索。

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts

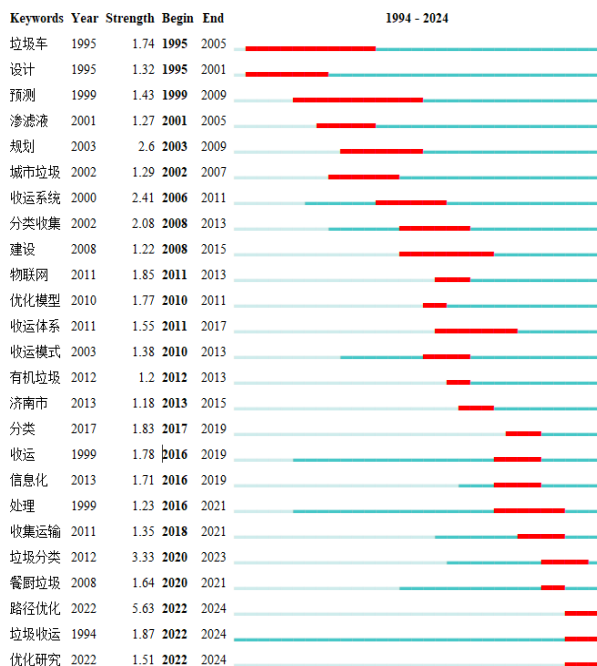


图5 CNKI文献关键词突现图谱

由图6可知,英文文献近三年的研究热点主要集中在“Internet of Things”、“Recovery”、“Sustainable Development”、“Location Routing Problem”和“Sustainability”。“Internet of Things”以其显著的影响力(强度4.99)成为关注焦点,其研究重点包括智能设备与传感器网络的广泛应用,特别是在垃圾管理、物流优化及环境可持续发展中的创新实践。“Recovery”的研究(强度4.21)则致力于优化固体废弃物管理和循环经济框架,推动资源高效利用和可持续发展目标的实现。与此同时,在全球气候变化背景下实现环境、社会和经济协调发展的“Sustainability”(强度4.18)、“Sustainable Development”

(强度3.85)研究也日益受到学术界的重视。此外,“Location Routing Problem”(强度3.73)聚焦废弃物的收集选址及运输路径优化研究。整体而言,这些热点反映了英文文献研究在智能技术与可持续发展结合的趋势,以及对优化资源利用和提升环境治理效率的持续追求。

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts

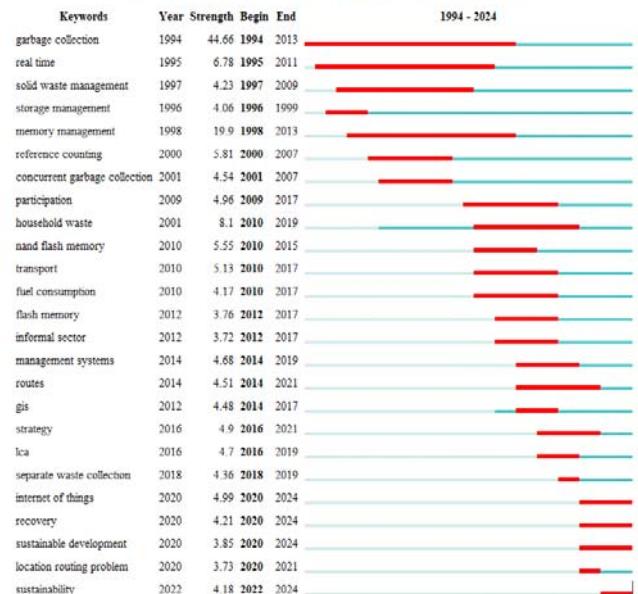


图6 Web of Science文献关键词突现图谱

4 结论

本文采用CiteSpace软件对1994-2024年CNKI数据库和1989-2024年Web of Science核心数据库中的垃圾收运领域相关文献绘制科学知识图谱及可视化分析,进一步分析垃圾收运领域的研究脉络、关键节点及趋势问题。研究结果显示:(1)近10年来垃圾收运领域的文献发文量呈现明显的总体上升趋势,但相比英文文献在垃圾收运领域的发文量,中文文献在垃圾收运领域的发文量需要进一步拓展;(2)中英文文献中对垃圾收运研究较多的机构主要有上海理工大学、上海电机学院、重庆交通大学、Universidade de Lisboa、Parthenope University Naples、International Business Machines Corporation等;(3)中英文文献中关于垃圾收运研究出现频率较高的关键词有“生活垃圾”、“垃圾收运”、“Management”、“Waste Collection”等;“生活垃圾”、“收运系统”和“Routing Problem”是垃圾收运问题的核心研究主题;“路径优化”、“垃圾分类”、“Internet of Things”和“Recovery”是近3年垃圾收运研究的重点及未来的发展趋势。总体而言,垃圾收运领域的研究在过去三十年中经历了从缓慢增长到快速发展的阶段,尤其是近年来研究热度持续上升,展现出良好的科研产出势头。这一趋势与全球及中国对垃圾处理和环境保护关注度的不断提高密切相关,预计未来该领域研究将持续保持增长,进一步推动垃圾收运理论与实践的有机结合。

[基金项目]

中央引导地方科技发展资金项目(LSKJ202462); 西藏自治区大学生创新创业训练计划项目(S202410694014)。

[参考文献]

[1]汪楚乔,史晓凯,李艳萍,等.生活垃圾收运环节温室气体排放量核算方法研究[J].环境科学研究,2024,37(5):1127-1136.

[2]陈杰皓,胡宇鹏,费凡,等.基于数字技术的城市垃圾分类全链条模式构建及案例研究[J].资源科学,2024,46(04):687-699.

[3]魏璐瑶,李兰,蔡荣.发达与欠发达地区乡村垃圾收运处理的差异性分析[J].环境监测管理与技术,2023,35(06):71-75.

[4]张燕.北京市现行生活垃圾管理体系存在问题及对策[J].环境卫生工程,2011,19(06):40-42.

[5]肖建华,张文雪,潘钰雅,等.基于分类垃圾收运时效性的多周期多车舱路径优化研究[J/OL].中国管理科学,1-15[2024-11-14].

[6]张矢宇,王自由,褚宇航.基于Python的城市生活垃圾收运物流系统仿真与优化[J].兰州大学学报(自然科学版),2023,59(3):358-363+370.

[7]李婷婷,邓社军,陆曹烨,等.一种基于改进蚁群算法的垃圾车辆低碳收运路径优化方法[J].公路交通科技,2023,40(5):221-227+246.

[8]赵天瑞,郭威,唐晓秘,等.面向“两网融合”场景的垃圾收运与回收体系规划研究进展[J/OL].环境工程,1-13[2024-11-14].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2097.X.20221214.1545.001.html>.

[9]李明月,李俐频,左薇,等.基于GIS与改进蚁群算法的垃圾收运路径规划[J].环境工程学报,2022,16(07):2388-2396.

[10]周双牛,李稚,王喆.低碳视角下改进DMBSO算法的垃圾收运路径优化[J].科学技术与工程,2021,21(23):9932-9939.

[11]Trifa S, Loukil T M, Louati A. Review of solid waste collection cost and route optimization in developing countries [C]//2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management(LOGISTIQUA).IEEE,2022:1-9.

[12]Zhang S, Zhang J, Zhao Z, et al. Robust optimization of municipal solid waste collection and transportation with uncertain waste output: A case study[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering,2022:1-22.

[13]Wang Z, Huo J, Lam J S L. The vehicle routing programming of municipal solid waste collection under cognitive uncertainty[J]. Transportation Journal,2024.

[14]Arribas CA, Blazquez CA, Lamas A. Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems[J]. Waste Management & Research,2010,28(4):355-363.

[15]Al-Refaie A, Al-Hawadi A, Fraij S. Optimization models for clustering of solid waste collection process[J]. Engineering Optimization,2021,53(12):2056-2069.

[16]Wan M, Qu T, Huang M, et al. Cloud-edge-terminal-based synchronized decision-making and control system for municipal solid waste collection and transportation[J]. Mathematics, 2022,10(19):3558.

作者简介:

袁林(1996—),男,汉族,重庆潼南人,助教,硕士,西藏大学工学院,生态交通。