

城市排水管网运维研究热点与前沿趋势

王红红¹ 王俊岭^{1*} 王晨晨¹ 张现国²

1 北京建筑大学, 城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室

2 北京首创生态环保集团股份有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i4.4444

[摘要] 为探析排水管网运维研究现状、前沿热点和发展趋势,以2017年1月至2023年6月WOS核心数据库相关文献为样本数据,采用CiteSpace软件,从发文特征、发文国家、研究机构、文献共被引、关键词聚类等方面进行可视化分析。结果表明,2017年至2023年期间,排水管网运维研究总体呈现良好发展态势,研究成果显著。该领域主要热点可归纳为城市水资源回收再利用、水处理、深度学习、资产管理和合流制管网系统5个方面。此外,大数据、信息化与排水管网运维的耦合是重点研究前沿。

[关键词] 排水管道; 管网运维; CiteSpace; 可视化分析

中图分类号: TU992.4; F294.9 **文献标识码:** A

Research hotspots and cutting-edge trends in the operation and maintenance of urban drainage networks

Honghong Wang¹ Junling Wang^{1*} Chenchen Wang¹ Xianguo Zhang²

1 Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment, Ministry of Education

2 Beijing Capital Ecological Environmental Protection Group Co., Ltd

[Abstract] To explore the current status, cutting-edge hotspots, and development trends of drainage network operation and maintenance research, relevant literature from the WOS core database from January 2017 to June 2023 was taken as sample data. CiteSpace software was used to visually analyze and draw a knowledge graph from the aspects of publication characteristics, publication countries, research institutions, co citation, keyword clustering, etc. The findings indicate that between 2017 and 2023, there has been a generally positive development trend in the study on drainage network operation and maintenance, and the research findings are outstanding. In terms of the quantity of articles issued, China came in first place (151 articles, or 21.30%). Delft University of Technology is the research institution with the greatest number of international publications. Urban water recycling and reuse, water treatment, deep learning, asset management, and merging system pipe network systems can be considered the five primary hotspots in this subject. In-depth research should be done in the future in the areas of cross-institutional and cross-disciplinary cross-fertilization, intelligent operation and maintenance of pipeline networks based on artificial intelligence, and the control of related epidemics in sewage and wastewater. In addition, the coupling of big data, information technology, and drainage network operation and maintenance is a key research frontier.

[Key words] Drainage pipes; Pipe network operation and maintenance; CiteSpace; Visualization and analysis

排水管网是智慧城市建设中的重要一环,其结构状况和运行安全直接影响城市发展及生态环境建设^[1]。随着排水管网的使用和老化,各种管道缺陷(如障碍物、裂缝和腐蚀)影响了排水管网的输送能力,带来了一系列的资源、生态和环境问题^[2]。目前,许多国家及地区的排水管网已运行了30年到100多年,即出现超期服役状态。管网的早期检测为城市排水系统的正常运行

提供了技术保障,可替代人工作业的管道检测机器人系统应运而生^[3-5]。融合人工智能、大数据、地理信息系统等先进技术,采用先进的排水专业技术体系是为城市排水规划、建设、管理工作的可靠支撑,是实现排水管网空间数据更新和设施动态管理的重要基础^[6-8]。本文采用文献计量学及其可视化方法,对近年来排水管网运维现状、研究热点与前沿进行分析,以期在智慧

城市背景下为我国城市基础设施运维提供指导。

1 国内外研究概况

目前,国内外研究者在有关排水管网运维做了大量的研究工作,主要集中在排水管网政策条例完善^[9]、管道状态评估^[10]及排水管网信息管理^[11]等。由于排水管网系统的整体性、系统性、关联性和科学性,不同国家及地区制定了相应的排水管网管理办法及政策。中国2023年2月起施行的《城镇污水排入排水管网许可管理办法》对排水户进行分级分类管理,还明确将信用管理引入许可管控体系。然而,由于管道内部的复杂性、管网运行的动态性及人工智能的挑战性,上述研究仍存在不全面之处^[12]。在排水管网运维领域,关于研究热点和前沿趋势的总结较为有限,很少有学者使用可视化和图形化的文献计量分析工具(如Citespace)来探讨相关文献、国家、作者和引用文献之间的内部关系。

本文旨在采用文献计量学及其可视化方法,以深入挖掘该领域的研究现状、知识基础和研究前沿。以2017年至2023年Web of Science 核心合集数据库收录的有关排水管网评估、缺陷分类、检测及分割相关的文献为研究样本,对排水管网运维研究的发文特征、研究国家机构、共被引、关键词聚类等方面进行可视化分析。

2 文献检索与研究方法

2.1文献检索。为确保原始数据的全面、准确和高度可信性,以Web of Science(以下简称WOS)核心合集数据库为检索库,检索式为TS=(Classification OR detection OR assess OR Segmentation) AND TS=(sewer*);检索时间段为2017-01-01至2023-06-01,经Citespace进行数据预处理,最终获得709篇文献样本。

2.2研究方法。本文选用CiteSpace 6.2.R2(64位)软件作为主要工具,利用Microsoft Excel 2021软件处理数据;使用Origin 2018软件进行绘图,对2017年至今排水管道缺陷领域进行可视化分析,涉及项目有发文特征分析、国家、机构、作者及出版来源贡献分析、学科类别分析、文献共被引分析、热点主题分析及研究趋势分析等。在图谱中,节点的大小通常表示节点的重要性或影响力,与出现频次(Count frequency, Cof)或被引频次(Cited frequency, CF)有关^[13]。

3 结果与分析

3.1发文特征分析。为探索不同年份在该领域的总体研究水平和发展状态,从发表时间的角度出发,将年份、发文量和国家之间的关系进行整合分析^[14]。在2017年至2023年期间,国内外排水管网运维研究领域相关英文发文量总体趋势呈稳定趋势。究其原因,排水管道的缺陷、老化及安全问题日益严峻,城市化背景下新建建筑物和基础设施需要与原有的排水系统整合,这可能导致更频繁的管网非正常运行问题。

在这一严峻背景下,一方面,许多国家和城市正在研究创新技术来预测或解决排水管道可能带来的破裂、渗漏和堵塞等问题。另一方面,人工智能应用到排水管道领域是一个相对较新的发展。2017年,深度学习在各个领域取得了突破性的成果,包括

计算机视觉。基于计算机视觉来智能识别管道图像这一跨越性理念为排水管道检测的内业工作提供了新思路和新方向。

3.2国家、机构、作者及出版来源贡献分析。为更全面客观了解不同国家及机构的研究现状,利用CiteSpace进行国家、机构、作者及出版来源贡献分析。从发文量来看,截至2023年6月,全球共有76个国家参与了该研究,其中贡献最多的是China(中国,151篇),其次是USA(美国,122篇)、Canada(加拿大,75篇)、England(英国,55篇)和Germany(德国,53篇)。这些相关研究发表在Water(47篇)、Science of the total environment(33篇)和Water science and technology(33篇)等209种刊物上,这些刊物被广泛认可并具有较高的影响因子,这一指标从某种程度上反映了期刊的权威性和影响力。发文量居于首位的中国,BC=0.14,说明中国对排水管网运维领域相关研究的重视度高,且与其他国家合作积极主动。美国在该领域发文量居于第二位,BC值高达0.38,表明美国为该领域研究的主要国家,可知,美国与其他国家合作更为频繁和密切,在国际范围内占据主导地位,或许与美国颁布了一系列水资源规划、管理、协调与水污染控制政策、法规和标准存在直接联系。总之,各个国家应增强与其他国家的合作力度,政府也应大力鼓励和支持本国科研工作者提升国际活跃度。

在参与该研究的219家机构中,除Delft University of Technology(荷兰代尔夫特理工大学)及Deltares(Deltares独立应用研究机构)外,发文量排名前5的机构中有3个来自于排名前5的国家。另外,有17所机构的发文量达到或超过10篇,中国(4所)和英国(3所)占比最多,表明研究机构的贡献与归属国家存在差异性。值得注意的是,Delft University of Technology(荷兰代尔夫特理工大学)是贡献最多的机构,共发表了27篇文章。多个国家的研究机构和研究人員共同参与项目,贡献不仅来自于机构所在国家,还涉及到合作研究人员所属国家。

2017年至今全球共有264位学者参与该领域研究,且他们之间约有220次合作。其中,发文量最多的作者是Zayed Tarek(14篇),排名第二的作者是Zhu David Z(9篇),他们均来自于加拿大,表明加拿大的研究者和管理者对排水管道运维领域关注力度较大。根据普莱斯(Price)提出的核心作者计算公式,M为论文篇数,Nmax为所统计时间段中最高产作者的论文数,发文数在M篇以上的作者为某领域核心作者^[15]。经统计,最高产作者为Concordia University的Zayed Tarek,发文14篇,求出M值2.8,即发文3篇以上的作者可认定为核心作者。以全部文献进行分析,结果表明,核心作者36位,占作者总数的13.64%,核心作者发表的论文190篇,占总文献的26.80%,未达到普莱斯提出的50%的指标,表明排水管网运维领域的核心作者群尚未形成。网络密度结果仅为0.0063,也验证了作者较为分散,暂未形成密集的合作群体。

3.3学科类别分析。将相关文献进行学科类别的统计筛分与总结分析,有助于推动排水管网运维领域的多学科合作和创新。排水管网运维领域的研究共涉及92个学科类别。Cof较高的学科类别为环境科学和水资源,表明其主导学科是环境科学类别;其次是土木工程、环境工程、建筑施工技术等工程技术

类别。可见,目前排水管网研究涉及领域丰富,这与该领域具有的跨学科性、工程实践性、动态性和数据驱动性等特点相关。基于联合国全球发展倡议,未来的排水管道缺陷研究趋势将呈现多学科交叉合作和多因素多层次复合研究的特点。这意味着该领域研究将超越单一学科的限制,综合考虑工程、环境和社会等多个因素,以实现更全面、系统的解决方案。

3.4文献共被引分析。利用CiteSpace进行文献共被引分析,高被引论文在一定程度上可以反映该领域代表性的科研实力与学术水平。2017年至2023年间,国际发文量居于首位的载文期刊是《Automation in Construction》,约占发文总量的2.24%,近五年影响因子为11.4,略低于《Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering》,说明虽然该期刊的学术影响力较高,但是在排水管网运维领域的综合影响力有待大力提升。

2017-2023年间,第一高被引论文作者是Srinath S. Kumar所在团队,该团队于2018年在Automation in Construction上发表了题为《Automated defect classification in sewer closed circuit television inspections using deep convolutional neural networks》的文章,CF为58。前三名高被引论文研究分属于排水管网运维不同方向,分别涉及管道缺陷分类、深度学习智能识别技术、管道状态评估等方面。在此基础上,结合该领域发文量和学科类别分析,推断排水管道检测识别这一基础性工作是管网运维的重中之重,尤其是人工智能与传统管道检测识别技术的多学科交叉耦合是实现排水管网智能运维的关键环节。

3.5关键词聚类分析。关键词聚类图谱共包含330个节点和616条连线(N=330,E=616)。在实践中,当聚类模块值(Q值) >0.3 时就意味着聚类结构显著^[16-17]。当平均轮廓值(S值)在0.7时,聚类是高效率令人信服的^[18]。结合关键词聚类图谱得到6个代表性的聚类标签,分别为#0 urban water(城市水资源)、#1 activated sludge(活性污泥)、#2 deep learning(深度学习)、#3 asset management(资产管理)、#4 combined sewer overflows(合流制排水)、#5 hydrogen sulfide(硫化氢)。

4 结论与展望

(1)从发文特征来看,中国发文量(151篇,占比21.30%)居于首位,但BC值低于发文量第二位的美国(122篇,占比17.21%),可能原因是研究者或机构在学术合作、交流和跨领域合作方面有所欠缺。政府及机构应促进开展跨学科研究合作、积极参与学术交流、寻求合作机会,并建立有效的合作平台和机制来促进信息流动和共享,推动学术领域的发展和革新。(2)从热点前沿来看,排水管网运维的内涵及外延仍在不断扩充和延伸,落实到具体工程应用和实践路径上,必须将研究集中在大数据、人工智能、创新检测技术(3D激光雷达)、增强现实技术(AR)及物联网技术(IoT)等方面。近年来,基于深度学习的排水管道状态评估是重点研究前沿,城市水资源回收再利用是主要研究方向。

[参考文献]

[1]曾伟杭.城镇排水管网内部缺陷检测关键技术应用浅析[J].人民珠江,2022,43(S2):101-105.

[2]Zhang M,Liu Y,Wu J,etal. Index system of urban resource and environment carrying capacity based on ecological civilization[J].Environmental Impact Assessment Review,2018,68:90-97.

[3]程义.城市地下管道检测机器人设计[D].湖北工业大学,2018.

[4]王俊岭,邓玉莲,李英,等.排水管道检测与缺陷识别技术综述[J].科学技术与工程,2020,20(33):13520-13528.

[5]李若晗.城市污水管道检测、评价与影响因素研究[D].清华大学,2016.

[6]新一代人工智能发展规划[J].科技创新与生产力,2017(08):2+121.

[7]林思,李睿菁.“智慧水库”平台建设思路探讨——以广西凤亭河水库为例[J].人民珠江,2023,44(S1):58-62+68.

[8]吴荣安.基于GIS城市排水管网管理系统设计与实现[D].山东大学,2015.

[9]王军红,马东春,范秀娟,等.北京市排水及再生水管理问题及对策研究[J].北京水务,2019(4):25-29.

[10]波锋.基于机器视觉的排水管道缺陷检测算法研究[D].广东工业大学,2015.

[11]王美秋.排水管网信息管理系统设计[D].同济大学,2007.

[12]Gunatilake A, Piyathilaka L, Tran A, et al. Stereo Vision Combined With Laser Profiling for Mapping of Pipeline Internal Defects[J]. Ieee Sensors Journal, Piscataway: Ieee-Inst Electrical Electronics Engineers Inc,2021,21(10):11926-11934.

[13]陈悦,陈超美,刘则渊,等.CiteSpace知识图谱的方法论功能[J].科学学研究,2015,33(2):242-253.

[14]段海煦,曾维华,陈家军.基于可视化分析的“生态、环境、资源”承载力研究[J].中国环境科学,2023,43(09):5031-5040.

[15]史书侠,李海亮,杨华.2005-2010年《情报科学》刊出论文作者分析[J].情报科学,2012,30(2):277-281.

[16]郑彦宁,许晓阳,刘志辉.基于关键词共现的研究前沿识别方法研究[J].图书情报工作,2016,60(4):85-92.

[17]J E M N. Fast algorithm for detecting community structure in networks.[J].Physical review.E, Statistical,nonlinear, and soft matter physics,2004,69(6Pt2).

[18]陈悦,陈超美,胡志刚,等.引文空间分析原理与应用—CiteSpace实用指南[M].北京:科学出版社,2014.

作者简介:

王红红(1995--),女,汉族,山西运城人,硕士学位,初级职称,研究方向:排水管网缺陷智能检测。

通讯作者:

王俊岭(1973--),男,汉族,河南长葛人,博士,副教授,研究方向:给排水管道系统。