

DOI: 10.7672/sgjs2025230001

施工物料智能管控文献知识图谱分析与讨论*

黄茜¹, 陈隽^{1,2}

(1. 同济大学土木工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092)

[摘要] 在传统建筑业向智能化、信息化转型的国家战略背景下, 智能建造相关研究蓬勃发展, 施工物料智能管控是智能建造的核心环节。为系统了解国内外施工物料智能管控的研究现状, 从中国知网(CNKI)和Web of Science(WoS)数据库中, 分别检索近15年共206篇中文文献和116篇英文文献, 采用CiteSpace软件对其发文数量、收录期刊、关键词共现、关键词聚类和关键词突现进行分析。结果表明, 国外相关研究开始较早且涉及范围更广, 研究主体为高校, 主要关注物料质量智能检测与控制、供应链管理智能化以及视觉感知和深度学习等技术。而国内研究内容较分散, 研究主体为企业, 主要关注当前实践中面临的具体问题。随着智能建造相关理论不断丰富, 智能化技术、设备飞速发展, 施工物料全生命周期智能管控可能成为未来研究热点和趋势。

[关键词] 施工物料; 智能建筑; 管控; CiteSpace; 知识图谱

[中图分类号] TU17

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)23-0001-10

Analysis and Discussion on Mapping Knowledge Domains of Intelligent Management and Control for Construction Materials

HUANG Qian¹, CHEN Jun^{1,2}

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. State Key Laboratory of Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Against the backdrop of the national strategy for transformation of the traditional construction industry towards intelligence and informatization, research related to intelligent construction has been thriving. the intelligent management of construction materials is a key component for intelligent construction. To systematically understand the current research status of intelligent management for construction materials both domestically and internationally, a total of 206 Chinese articles and 116 English articles published in the past 15 years were retrieved from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science (WoS) databases, respectively. CiteSpace software was used to analyze the number of publications, journals, keyword co-occurrence, keyword clustering, and keyword burst detection. The results show that, international research has a longer history and broader scope, with universities as the main research entities, and research hotspots focus on advanced methodologies for material quality control, intelligent supply chain management and new technologies, such as visual perception and deep learning, while domestic research hotspots are relatively dispersed, with enterprises as the main research entities, and research hotspots focus on specific problems encountered in current practices. With the continuous enrichment of theories related to intelligent construction and the rapid development of intelligent technologies and equipment, the full lifecycle intelligent management and control of construction materials may become a future research focus and trend.

Keywords: construction materials; intelligent building; management and control; CiteSpace; mapping knowledge domains

* 同济大学 2022 年度学科交叉联合攻关项目 (2022-3-YB-06)

[作者简介] 黄茜, 博士研究生, E-mail: 806486774@qq.com

[通信作者] 陈隽, 博士, 教授, E-mail: cejchen@tongji.edu.cn

[收稿日期] 2025-03-11

0 引言

2016年,住房和城乡建设部强调,加快推进建筑业信息化是发展战略的重要组成部分,也是转变发展方式、提质增效、节能减排的必然要求^[1]。2020年,提出推动智能建造与建筑工业化协同发展,有效助力建筑业转型升级,打造升级版“中国建造”,为跨领域、全方位、多层次产业深度融合提供应用场景,实现建筑业高质量发展的总体目标^[2]。

在中国知网网站检索1986—2023年以智能建造为主题词的文献数量,如图1所示,研究热度自2016年起呈指数型上升趋势。

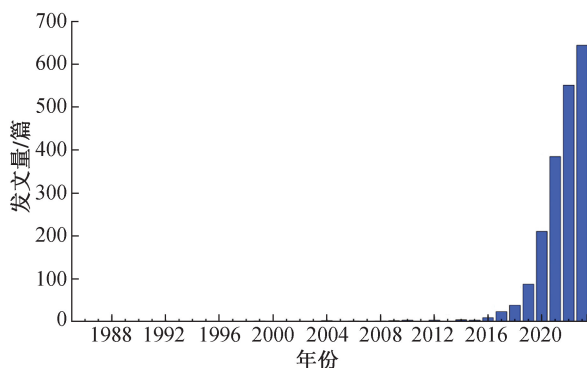


图1 智能建造领域的文献数量(中国知网)

Fig.1 Literature number in the field of intelligent construction (CNKI)

智能建造主要包括智能设计与规划、智能装备与施工、智能防灾与减灾和智能运维与管理模块。其中,建筑施工智能化是实现建造全过程智能化的重要环节,而施工物料智能管控又是施工智能化的核心^[3]。

施工物料具有种类繁多、需求量大、使用时间不明确、物料不能精准供应等特点,是影响建筑施工成本和进度的重要资料^[4]。施工物料费占项目总费用的60%以上,且大型项目往往边设计、边施工,难以在建设初期准确得知各阶段所需施工物料的数量^[5]。施工物料管控主要指对施工物料从材料生产、运输、进场、加工、现场耗用直至工程实体核算的施工全过程,进行库存、运输与质量管控,分为电子化、数字化和智能化阶段。施工物料管控电子化指物料管理人员将现场纸笔记录的信息录入计算机形成电子表格,避免纸质文件丢失,该方式被大部分项目采用,但易受人为因素影响,如数据录入错误、人为篡改等,且管理效率低下,信息难以及时有效传递^[6]。为解决上述问题,必须充分运用数字化、信息化手段,加强系统间的协同管理。施工物料管控数字化指通过包含物料需求计划、采购

管理、出入库管理、库存管理和物料统计及消耗分析的数字化物料管理平台,打破全流程信息交互壁垒,提升物料管理效率。施工物料管控智能化指在数字化管理基础上,采用智能化技术采集、处理和应用物料管理平台所需信息^[7],如智能盘点库存数量、实时掌握物料动态等,有效缩短清点物料时间,且在一定程度上降低人为干预的可能性,保证施工物料质量。

本文采用文献计量法,基于CiteSpace软件知识图谱绘制与分析功能,对施工物料智能管控领域文献展开量化分析,可视化展示该领域的研究现状和研究热点。

1 文献来源

CiteSpace是基于引文分析理论的信息可视化软件,可将研究领域的大量文献数据,绘制成引文网络的可视化知识图谱,用于探索研究热点、研究前沿、研究趋势^[8]。

本文选用CNKI和WoS数据源。首先,均采用高级检索方式检索数据库,文献检索时间段为2009-01-01—2024-02-29,所用检索式和筛选方式如表1所示。为确保文献及分析质量,对287篇CNKI中文文献、649篇WoS英文文献进行阅读和人工筛选、确认,最终获得206篇CNKI中文有效文献、116篇WoS英文有效文献。

2 研究现状分析

2.1 文献总体特征

206篇CNKI有效文献来自102本期刊,涉及405名作者、243个机构。116篇WoS有效文献来自69本期刊,涉及427个作者、54个国家和地区及275个机构。以下定量分析均针对CNKI和WoS有效文献。

2.2 年度发文量

年度发文量的变化趋势能够反映国内外研究热度的总体变化趋势。2009—2024年,施工物料智能管控年度发文量变化如图2所示。中英文文献数量随时间的变化如下:①2011年以前为起步阶段,全球施工物料智能管控研究较少,中英文年度发文总量 ≤ 5 篇;②2012—2023年为快速发展阶段,随着新一代人工智能技术发展和工业4.0概念的提出,中英文文献数量均呈持续上升趋势。

在2012—2023年快速发展阶段,中文文献共203篇,占总有效文献数的98.5%;英文文献106篇,占总有效文献数的91.4%。同时,2020年度中文文献达32篇,2022年度英文文献达25篇。说明近10多年来,国内、国际均更加重视施工物料的智

表 1 检索式和筛选方式

Table 1 Retrieval formula and screening method

领域	数据库	检索式	筛选方式	有效文献/篇
施工物料智能管控	CNKI	[主题:施工物料+钢材+混凝土+预制构件]AND[篇名:管控+管理+数量统计+质量检测(模糊)]AND[关键词:智能+建筑信息模型+RFID+二维码+机器学习+深度学习+图像处理+计算机视觉+点云+大数据(模糊)]	去除作者、刊名、发表时间等信息不全,重名、无关文献及报纸、科技成果类文章	206
	WoS	TS=(construction material OR steel OR bar OR rebar OR concrete OR precast component OR prefabricated component) AND TI=(management OR count OR quality OR diameter) AND TS=(artificial intelligence OR BIM OR RFID OR QR code OR machine learning OR deep learning OR computer vision OR point cloud OR IoT OR big data)	去除重名、无关文献	116

注: +和 OR 为逻辑运算符“或”; AND 为逻辑运算符“与”; TS 表示主题; TI 表示篇名

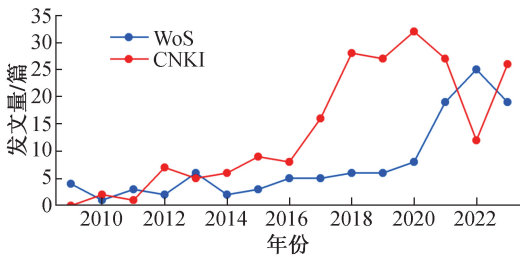


图 2 CNKI 及 WoS 数据库年度发文章量变化

Fig. 2 Annual number of publications in CNKI and WoS databases

能管控研究, 预计研究热度将继续保持。

2.3 文献收录期刊

文献收录期刊的自身水平, 可在一定程度上反映现有研究质量, 以及学界和业界的重视程度。有

效文献发文章量前 10 的中英文期刊如表 2 所示。10 本中文期刊共收录 47 篇文章, 占全部有效文献的 23%。发文章量最多的是《施工技术(中英文)》, 共 11 篇。10 本英文期刊共收录 53 篇, 占全部有效文献的 46%。刊文章量最多的是 *Automation in construction*, 共 20 篇。进一步分析文献作者和内容发现, 英文文献的作者绝大部分来自高校, 主要涉及三维点云技术及计算机视觉技术等在施工物料管控中的应用。中文文献作者大多来自施工企业或企业研究所, 侧重在混凝土质量管理、装配式建筑施工物料管控以及 BIM 在工程构件管理中的应用等。因此, 施工物料智能管控研究受国际权威期刊关注和认可, 而国内研究仍处于具体场景初步探索阶段。

表 2 文献检索数量排名前 10 的期刊

Table 2 Top 10 journals in terms of the number of literature retrievals

来源	排名	期刊	发文章/篇	占比/%
CNKI 数据库	1	施工技术(中英文)	11	5.34
	2	建筑施工	6	2.91
	3	工程技术研究	5	2.43
	4	建筑技术	5	2.43
	5	土木建筑工程信息技术	4	1.94
	6	工程质量	4	1.94
	7	四川水泥	3	1.46
	8	广东土木与建筑	3	1.46
	9	铁路技术创新	3	1.46
	10	铁道建筑技术	3	1.46
WoS 数据库	1	<i>Automation in construction</i>	20	17.2
	2	<i>Journal of construction engineering and management</i>	6	5.17
	3	<i>Buildings</i>	5	4.31
	4	<i>Journal of building engineering</i>	5	4.31
	5	<i>Engineering construction and architectural management</i>	4	3.45
	6	<i>Construction and building materials</i>	4	3.45
	7	<i>Remote sensing</i>	3	2.59
	8	<i>Sustainability</i>	2	1.72
	9	<i>Advanced engineering informatics</i>	2	1.72
	10	<i>Advances in civil engineering</i>	2	1.72

3 知识图谱分析

3.1 关键词共现分析

关键词共现分析是知识图谱分析的基础,高频关键词和高中介中心性关键词可揭示研究领域的重要知识。将 CiteSpace 有效文献中的关键词作为节点,合并同义词,得到国内外施工物料智能管控研究的关键词共现网络图谱(见图3)。图中,节点大小表征关键词出现频次,颜色表征关键词出现年份(冷色调表示出现时间较早、暖色调表示出现时间较晚)。进而,统计频次 ≥ 8 的关键词,如表3所示。

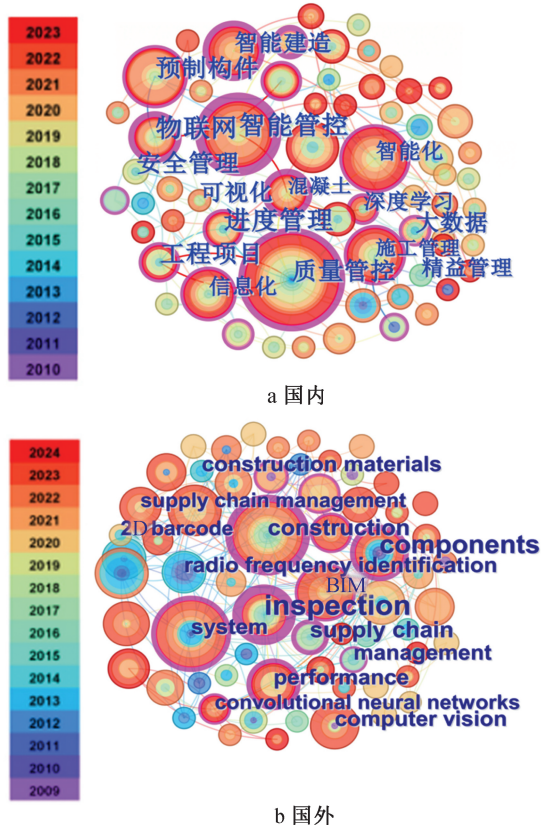


图3 关键词共现网络

Fig. 3 Co-occurrence networks of keywords

由图3、表3可知,在施工物料智能管控领域,国内研究热点有质量管控、智能管控、智能化、预制构件、物联网、进度管理和安全管理等;国外研究热点包括 inspection (检测)、components (构件)、construction(施工)、BIM(建筑信息模型)和 RFID(射频识别)等。

3.2 关键词聚类分析

关键词聚类分析有助于发现某领域相关研究的分布情况,本文采用对数似然比进行关键词聚类分析。在该算法中,聚类编号越小,表明该类文献研究规模越大、研究热度越高。此外,聚类模块值(Q 值)和聚类平均轮廓值(S 值)是共现网络模块化的评价指标,网络 Q 值和 S 值越大,表示该网络聚类效果越好。 Q 值 >0.3 说明聚类结构显著, S 值 >0.5 说明聚类合理, S 值 >0.7 说明该聚类结果令人信服。

在中文文献的关键词聚类分析中, Q 值为0.77, S 值为0.95,聚类结果合理且适用于分析。共得到12个聚类模块,依次为预制构件、混凝土、进度管理、智能建造、质量、桥梁工程、文本挖掘、建筑材料、施工管理、图像处理、地下工程和信息技术,如图4a所示。

在英文文献的关键词聚类分析中, Q 值为0.79, S 值为0.93,聚类可信度高。最终得到12个聚类模块,依次为RFID(射频识别技术)、computer vision(计算机视觉)、big data(大数据)、supply chain management(供应链管理)、supply chain(供应链)、construction sites(施工现场)、deep learning(深度学习)、precast concrete elements(预制混凝土构件)、objects(物体)、inventory control(库存控制)、accuracy(准确性)和point cloud(点云),具体结果如图4b所示。

表3 关键词共现频次(≥ 8 次)

Table 3 Co-occurrence frequency of keywords (≥ 8 occurrences)

来源	关键词	年份	共现频次/次	来源	关键词	年份	出现频次/次
CNKI 数据库	质量管控	2010	32	WoS 数据库	construction	2015	15
	智能管控	2017	19		system	2011	15
	预制构件	2012	18		BIM	2015	11
	智能化	2013	16		tracking	2009	11
	施工管理	2010	14		design	2020	9
	信息化	2015	13		inspection	2009	9
	物联网	2012	12		deep learning	2018	8
	智能建造	2019	11		model	2013	8
	混凝土	2010	10		performance	2014	8
	二维码	2015	9		RFID	2009	8

注:年份为该关键词首次共现时间

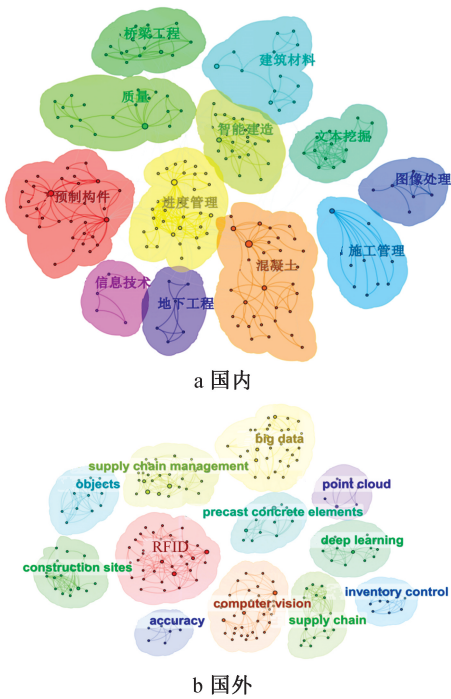


图 4 文献关键词聚类

Fig. 4 Keywords clustering of literature

3.3 中文文献关键词特征分析

根据关键词聚类图,汇总得到中文文献各聚类的基本特征(见表4)。可见,各类自身紧密程度非常高(>0.90),可做进一步挖掘分析。由表4可知,中文文献的研究内容侧重如下方面。

1) 管控对象

当前对施工物料的研究侧重混凝土、钢材、预制构件方面。

对混凝土进行质量、运输调度、用量管控,能够有效提高工程质量,降低项目成本、提升施工效率。应在如下阶段进行混凝土质量智能化管控:①生产阶段,基于大数据和神经网络,动态调控、实时监控

混凝土配合比参数,以有效控制混凝土含水量^[9],或通过材料标识牌、样品流转卡和检验公示卡等不断录入、更新混凝土原材料信息,实现混凝土原材料质量全过程追溯^[10],或利用传感器、监控设备等智能化技术,对生产中的原材料投入、搅拌过程、成品检测等关键参数进行实时监控,同时采集数据,从而提高混凝土产品质量稳定性^[11];②养护阶段,结合智能传感装置、智能养护装置、信息化管理平台,实现混凝土养护喷淋过程全自动化^[12];③现场施工阶段,应用物联网和传感器实时监控混凝土流动性、温度、浇筑速度等参数,以识别异常情况,并高效监控混凝土浇筑质量^[13]。在搅拌车上安装GPS,以及时监控车辆运行路线,发送调度指令,向司机提供最佳的行车路线,提高搅拌车派送效率^[14]。在施工现场进出口设置车牌识别装置,将搅拌车进出场时间信息上传云端数据库,便于管理人员远程进行实时监控^[15]。通过工地现场地磅称重系统管控混凝土用量,结合视频监控和红外线感应装置,避免空车称重的现象,并保证过磅数据准确无误,实现人员精简、计量规范及运输流程整合^[16],或基于BIM模型,自动比对材料出场数据和实际称重数据,并将数据上传至云端数据库,使建筑工地-混凝土搅拌站-项目材料管理部门实现信息共享和有机联动^[15]。

钢材仓储管控通过二维码记录材料数量分类、质检批次等相关信息,解决钢材出入库、移位时信息记录繁杂和轧制批信息传递延时的问题^[17-19]。

目前,预制构件管控以信息管控、质量管控为主。预制构件信息管控可应用RFID、二维码、BIM、物联网等技术,储存构件所有生产信息,便于信息查询、管理和质量溯源^[20-24]。预制构件质量直接关

表 4 国内相关文献聚类高频主题词

Table 4 High-frequency clustered keywords of domestic related literature

聚类 ID	关键词数量/个	聚类紧密程度	平均年份	聚类标签	主题词
0	34	0.97	2018	预制构件	预制构件、物联网、流通领域、IoT、大体积混凝土
1	34	0.94	2017	混凝土	混凝土、信息化、人工智能、高层建筑、云计算
2	33	0.95	2018	进度管理	进度管理、智能管控、BIM、安全管理、大型复杂桥梁
3	25	0.93	2019	智能建造	智能建造、铁路隧道、钢材、协同平台、智能传感器
4	19	0.98	2017	质量	质量、智能化、特高拱坝、物料系统、管控
5	18	0.90	2020	桥梁工程	桥梁工程、装配式、配准、高位料仓、监督管理
6	14	0.98	2016	文本挖掘	文本挖掘、工业化、城市高架、两化融合、全面质量管理
7	13	0.95	2018	建筑材料	建筑材料、检测、建筑工程、管理、区块链
8	11	0.99	2017	施工管理	施工管理、视觉信息、公路、无人机、多运动目标跟踪
9	7	0.90	2021	图像处理	图像处理、碾压混凝土坝、层间结合、抗剪试验、胶结坝
10	6	0.97	2020	地下工程	地下工程、安全质量、智慧工程、系统应用、智能管控
11	5	0.97	2019	信息技术	信息技术、物资管理、系统集成、工程项目、BIM

系到整个工程质量,可采用三维点云识别预制构件中钢筋骨架的尺寸特征,完成 BIM 逆向建模,输出钢筋直径、间距、关键尺寸等指标报告^[25]。

2) 管控技术

智能技术能够显著提高物料管控效率,促进精益化管理^[26],故该方面涉及的技术非常广泛。

目前,通过 4D-BIM 施工模拟控制复杂工程中的回填混凝土质量^[27]。在物料登记方面,结合 RFID 技术,使预制构件原材料生产加工、现场使用等各阶段信息实现无缝连接,完善了预制构件全生命周期管理^[28-31]。在物料搬运方面,与物联网等技术相结合,实时监控物料运输、优化现场调度,提升物料管理效率^[32-33]。

神经网络和深度学习等技术具有出色的预测性能,如应用神经网络模型预测混凝土坍落度、28d 强度,为混凝土质量管理提供数据支持^[34-35];基于图像处理技术,对砂石骨料面积、粒径、粒形等多参数进行检测,再利用深度学习评定砂石骨料的质量等级,从原材料层面保证混凝土质量^[36]。而三维点云技术具有可保留三维空间中的原始几何信息、对光照条件和遮挡具有较强的鲁棒性、灵活性高、数据密度可变性等优势,可自动提取预制构件尺寸^[37],还可检测 3D 打印混凝土的成形质量、几何误差^[38]。

3.4 英文文献关键词特征分析

在英文文献中,聚类高频主题词如表 5 所示,进

一步剔除与施工物料智能管控无关的关键词后,可将相关英文文献研究热点大致分为施工物料质量控制、供应链管理和建筑施工智能化。

1) 施工物料质量控制

施工物料质量关乎建筑工程整体质量,采用智能技术检测物料质量,有助于建立高效的施工物料质量管理体系。在混凝土原材料加工阶段,可结合深度学习和距离变换拓扑技术,识别骨料颗粒形状,评价骨料制造质量^[39]。在构件生产、安装阶段,采用三维点云技术,检测、评估预制构件的表面平整度、尺寸误差、表观缺陷等^[40-42],或识别钢筋网片、钢筋笼规格及钢筋间距,以确定钢筋布置质量^[43-45]。在混凝土振捣检测阶段,可应用计算机视觉和神经网络训练模型,将训练好的模型部署到移动设备上,以协助现场施工人员检测混凝土振捣质量^[46]。在材料使用阶段,可将双频无芯片 RFID 传感器贴附在材料表面,监测材料介电常数,从而监控被测材料的质量^[47]。

2) 供应链管理智能化

施工物料生产、使用和维护涉及多方参与者,其供应链管理面临信息碎片化、信息共享受限等挑战。因此,物料信息的高效开放管理对材料管控、成本优化、施工管理等意义重大^[48]。目前供应链管理智能化主要通过 RFID、互联网和区块链技术实现,能够有效提高材料检查效率,降低项目成本,解

表 5 国外相关文献聚类高频主题词

Table 5 High-frequency clustered keywords of foreign related literature

聚类 ID	关键词数量/个	聚类紧密程度	平均年份	聚类标签	主题词
0	38	0.911	2013	RFID	RFID, scenarios, components, materials management, precast production
1	35	0.961	2016	computer vision	computer vision, mirror-aided scanning, quality monitoring, precast concrete element, terrestrial laser scanner(TLS)
2	32	0.839	2020	big data	big data, prediction, image classification, knowledge, real-time monitoring
3	28	0.909	2019	supply chain management	supply chain management, blockchain, construction supply chain, precast components, mobile lidar scanner
4	18	0.923	2015	supply chain	supply chain, scaffolding, concrete technology, embedded sensors, project planning and design
5	18	0.95	2022	construction sites	construction sites, YOLOv3, non-destructive testing (NDT), structural health monitoring (SHM), prediction of concrete properties
6	13	1	2019	deep learning	deep learning, KCF, object tracking, material classification, object counting
7	13	0.936	2015	precast concrete elements	precast concrete elements, BIM, dimensional and surface quality assessment, laser scanning, geometric quality inspection
8	13	1	2015	objects	objects, band, MHZ, terrestrial laser scanner (TLS), dimensional compliance control
9	11	1	2013	inventory control	inventory control, obsolescence, steel, RFID, BIM
10	7	1	2022	accuracy	accuracy, criterion, discrepancy feedback, laser, flying voxel method
11	6	0.917	2015	point cloud	point cloud, PCCR-Net, terrestrial lidar, construction quality monitoring, precast concrete components

决各参与者间信息不对称的问题。如使用 RFID 标签,通过互联网向供应链参与者提供材料仓库储存、出场准备和装载运输等过程的数量检验和定位信息,提高流程生产率^[49-50],并持续追踪材料进场后的堆放、吊装和安装过程,实现整个施工过程的物料控制^[51]。

3) 建筑施工智能化

建筑钢筋等物料进场时需要核对数量和尺寸,有研究采用计算机视觉和神经网络技术实现物料的高效检查。如基于手机拍摄的图像,利用卷积神经网络实现对钢筋、圆钢管、方钢管的快速计数^[52-54],并能够结合标记物智能识别钢筋尺寸规格^[55];或采用无人机收集的建筑工地图片或视频,开发基于深度学习的鲁棒目标检测方法,自动计算钢筋混凝土柱中的钢筋数量^[56]。

4 相关领域研究热点数据挖掘

关键词突现性指一定时期内关键词出现频率快速增加,可反映该时段研究热点或研究趋势的转变。追踪国内外文献关键词中的突现词,有利于掌握某领域研究热点的演化动态,进而预测该领域研究的发展趋势^[57]。

通过对中文文献和英文文献进行关键词突现分析,分别得到不同时期内按突现强度排序的前 15 个关键词,如表 6、7 所示。中文文献突现关键词出现时间为 2012—2023 年,英文文献为 2009—2024

年。英文文献突现关键词首次出现时间更早,时间分布更均衡且时间跨度更长。

中文文献中出现最早的突现词为人工智能,表明物料管控领域开始便有结合人工智能的需求和动力。持续时间最长的突现词是质量,构成 2013—2017 年领域研究重点。突现强度最高的是智能管控,表明是国内研究热点。中文文献突现词持续到 2023 年的有智能管控、施工管理、数字孪生,表明施工过程中的智能管控是当下国内研究重点、热点。

英文文献出现最早的突现关键词是 tracking, RFID,表明早期研究侧重于物料跟踪和信息管理。突现词持续到 2024 年的有 design, supply chain management, machine learning, deep learning, BIM, computer vision,说明国外研究更关注智能技术与方法,表明这些是近几年的研究热点,可能成为未来一段时间的研究趋势。时间跨度 ≥ 5 年的突现词有 tracking, RFID, design, supply chain management,涉及建筑建造各阶段,表明该领域的国际研究覆盖面更广,国内研究仍需之前的基础上进行探索,并寻找研究创新点。

5 结语

5.1 结论

1) 从论文发表数量上看,施工物料智能管控研究的中英文文献发文量呈逐年增长趋势,总体呈从平稳起步到快速发展的阶段特征。

表 6 国内相关领域研究前 15 个突现关键词

Table 6 Top 15 emerging keywords in domestic research

关键词	突现强度	开始年份	结束年份	2010—2023年
人工智能	1.78	2012	2014	
质量	1.47	2013	2017	
电子标签	1.29	2013	2014	
云计算	1.34	2014	2014	
信息化	1.15	2015	2016	
互联网	1.41	2016	2018	
精益管理	1.16	2016	2017	
云平台	1.23	2017	2017	
高层建筑	1.10	2017	2019	
预制梁	1.07	2020	2020	
区块链	1.07	2020	2020	
智能管控	2.16	2021	2023	
预制构件	1.16	2021	2021	
施工管理	1.43	2022	2023	
数字孪生	1.29	2022	2023	

注:开始、结束年份为关键词成为热点的时间范围;红色线条代表该关键词成为学术研究热点的具体历时阶段,浅蓝色代表节点还未出现,深蓝色表示节点开始出现

表7 国外相关领域研究前15个突现关键词

Table 7 Top 15 emerging keywords in foreign research

关键词	突现强度	开始年份	结束年份	2009—2024年
tracking	3.82	2009	2014	
RFID	3.79	2009	2014	
technology	3.07	2011	2014	
supply chain	1.52	2015	2018	
construction	1.44	2017	2018	
performance	1.47	2019	2020	
design	2.08	2020	2024	
Internet	1.92	2020	2021	
model	1.76	2020	2021	
supply chain management	1.38	2020	2024	
artificial intelligence	2.40	2021	2022	
machine learning	1.74	2021	2024	
deep learning	2.22	2022	2024	
BIM	2.19	2022	2024	
computer vision	1.76	2022	2024	

注:开始、结束年份为关键词成为热点的时间范围;红色线条代表该关键词成为学术研究热点的具体历时阶段,浅蓝色代表节点还未出现,深蓝色表示节点开始出现

2)从文献收录期刊分布来看,国外权威期刊更关注和认可施工物料智能管控领域的论文质量和学术影响力。

3)从发文机构来看,国内研究主要由施工企业或科研企业主导,侧重于实践应用;而国外研究主要来自高校科研机构,研究范围更广泛,并注重新技术的应用与探索。国内研究更关注实际需求,但由于施工物料智能管控技术的复杂性、前沿性,单纯依靠企业或研究所的力量可能导致创新深度不足。因此,企业应积极与高校和科研机构合作,形成企业出题、高校答题的良性循环,结合实际需求推动理论创新,通过理论创新提升实践水平。

4)从研究热点和研究趋势来看,国内早期在施工物料智能管控领域的研究热点为人工智能和质量管控。近几年物料智能管控逐渐成为国内研究重点。国外施工物料智能管控的研究热点为物料跟踪、供应链管理和智能技术。区块链、物联网、大数据、人工智能等技术的融合与集成应用,成为提升施工物料智能管控效率、精度的关键。通过这些技术协同应用,实现了更高效的物料追踪、更智能的供应链管理和更精准的施工过程控制。

5.2 存在的问题与展望

1)施工物料智能管控平台多为项目专用开发,缺乏普遍适用性,难以在不同项目间推广,数据难以在不同场景间共享。

2)由于建筑物追求个性化设计,施工现场环境

多变、施工人员操作方式不同,物料管控深度学习模型在复杂施工场景中的精确性、鲁棒性面临挑战。

基于当前研究热点和研究趋势,建议从以下方面展开进一步研究:①发展物料管理的标准化流程,未来应注重施工物料智能管控平台的模块化设计和标准化开发,并制定详细的物料智能管理操作规程,促进不同系统和部门间的协同工作;②实现结合多源数据的物料状态监控,未来可利用不同环节和设备等数据,如文字、图像、位置信息等,结合智能算法,实现物料状态实时动态监控;③推进施工物料全生命周期智能管控,未来还要进一步构建从采购、生产、运输、存储到使用的施工物料全生命周期智能管控系统,并结合全流程数据进行综合评估,以提出优化建议,实现精益化管理。

参考文献:

- [1] 2016—2020年建筑业信息化发展纲要[J]. 建筑安全, 2017, 32(1):4-7.
Outline of informatization development for construction industry during 2016—2020[J]. Construction safety, 2017, 32(1):4-7.
- [2] 廖玉平. 加快建筑业转型 推动高质量发展——解读《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》[J]. 中国勘察设计, 2020(9):20-21.
LIAO Y P. Accelerating the transformation of construction industry and promoting high-quality development—interpretation for guiding opinions on promoting the coordinated development of intelligent construction and building industrialization [J]. China engineering consulting, 2020(9):20-21.
- [3] 穆永刚. 狭小空间条件下盾构隧道物料运输技术 [J]. 施工

- 技术(中英文), 2023, 52(7): 77-80, 89.
- MU Y G. Material transportation technology of shield tunnel in narrow space [J]. Construction technology, 2023, 52(7): 77-80, 89.
- [4] 公婷婷, 苏振民. 基于 KanBIM 和物联网的施工物料管控平台研究[J]. 现代电子技术, 2020, 43(17): 16-19.
- GONG T T, SU Z M. Research on construction material control based on KanBIM and IoT [J]. Modern electronics technique, 2020, 43(17): 16-19.
- [5] 张强. SCM 环境下的建筑物料管理[J]. 建筑经济, 2013(9): 29-32.
- ZHANG Q. Management of construction material under SCM environment [J]. Construction economy, 2013(9): 29-32.
- [6] 唐海英, 黄胜, 孙辉, 等. 公路施工企业 ERP 与现场物料管理深度融合的应用研究[J]. 公路, 2020, 65(2): 199-204.
- TANG H Y, HUANG S, SUN H, et al. Application research on deep integration of ERP and field material management in highway construction enterprises [J]. Highway, 2020, 65(2): 199-204.
- [7] 武玉林. 数字化物料管理系统现状应用分析及改进策略[J]. 中国物流与采购, 2024(1): 114-115.
- WU Y L. Application analysis and improvement strategy of digital material management system [J]. China logistics & purchasing, 2024(1): 114-115.
- [8] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- LI J, CHEN C M. CiteSpace: text mining and visualization in scientific literature [M]. Beijing: Capital University of Economics and Business Press, 2016.
- [9] 丁廉营, 马明刚, 严良平, 等. 基于全过程的混凝土生产质量智能化管控及实践[J]. 水力发电, 2023, 49(2): 55-62.
- DING L Y, MA M G, YAN L P, et al. Intelligent control and practice of concrete production quality based on whole process [J]. Water power, 2023, 49(2): 55-62.
- [10] 郑宇, 占成元, 秦晓豪. 二维码在混凝土原材料质量管理的应用[J]. 工程质量, 2023, 41(12): 55-58.
- ZHENG Y, ZHAN C Y, QIN X H. Application of quick response (QR) code in quality management for concrete raw materials [J]. Construction quality, 2023, 41(12): 55-58.
- [11] 赵涛. 信息化技术在混凝土生产企业精细化管理中的应用研究[J]. 居舍, 2023(34): 165-168.
- ZHAO T. Research on application of information technology in fine management for concrete production enterprises [J]. Residence, 2023(34): 165-168.
- [12] 孙龙隆. 智能管控技术在混凝土质量控制中的应用分析[J]. 地产, 2019(19): 141, 145.
- SUN L L. Application analysis of intelligent management and control technology in concrete quality control [J]. Real estate, 2019(19): 141, 145.
- [13] 余传波. 建筑项目智能化施工质量管理优化探讨[J]. 砖瓦, 2023(8): 108-111.
- YU C B. Discussion on optimization of intelligent construction quality management for building projects [J]. Brick-tile, 2023(8): 108-111.
- [14] 何葭. 商品混凝土智能化运输调度监控系统研究[J]. 四川建材, 2019, 45(7): 12-13.
- HE Y. Research on monitoring and management system of commercial concrete intelligent transportation dispatching [J]. Sichuan building materials, 2019, 45(7): 12-13.
- [15] 伍小平, 李鑫奎. 基于 BIM 的混凝土施工全流程智慧管控系统研究与应用[J]. 建筑施工, 2018, 40(12): 2048-2050.
- WU X P, LI X K. Research and application of smart control system for whole process of concrete construction based on BIM [J]. Building construction, 2018, 40(12): 2048-2050.
- [16] 夏鹏飞. 磅房管理系统在混凝土称重中的智能化应用[J]. 建筑施工, 2021, 43(2): 286-288.
- XIA P F. Intellectualization application of weighing room management system in concrete weighing [J]. Building construction, 2021, 43(2): 286-288.
- [17] 胡林波. 基于二维码技术的钢材仓储管理系统[J]. 电子元件与信息技术, 2021, 5(4): 15-18.
- HU L B. Steel storage management system based on 2D code technology [J]. Electronic components and information technology, 2021, 5(4): 15-18.
- [18] 任学宏. 基于二维码跟踪的钢材线棒产品生产下线管理信息系统设计[J]. 甘肃科技, 2020, 36(18): 16-18.
- REN X H. Design of production line management information system for steel wire rod products based on QR code tracking [J]. Gansu science and technology, 2020, 36(18): 16-18.
- [19] 张瑞雪. 钢铁企业成品库存智能化可行性研究[J]. 科技视界, 2015(13): 226-227.
- ZHANG R X. Feasibility study on intelligent management of finished product inventory in steel enterprises [J]. Science & technology vision, 2015(13): 226-227.
- [20] 孙旭, 徐志祥. RFID 技术在混凝土预制构件管理系统项目中的作用[J]. 科技传播, 2012(5): 86, 59.
- SUN X, XU Z X. Role of RFID technology in management system project of precast concrete members [J]. Public communication of science & technology, 2012(5): 86, 59.
- [21] 陈峰. 基于 RFID 技术的管理系统在预制混凝土构件质量控制中的应用研究[J]. 福建建设科技, 2021(4): 34-36.
- CHEN F. Research on application of management system based on RFID technology in quality control of precast concrete components [J]. Fujian construction science & technology, 2021(4): 34-36.
- [22] 邹家丽, 郑焕奇. 信息管理系统在建筑预制构件生产中的应用[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(11): 70-73.
- ZOU J L, ZHENG H Q. Application of information management system in prefabricated component production of buildings [J]. Guangdong architecture civil engineering, 2019, 26(11): 70-73.
- [23] 谢天圣, 陈丽, 柳娜, 等. 基于 BIM 技术的装配式建筑预制构件跟踪管理[J]. 建筑技术, 2020, 51(5): 534-537.
- XIE T S, CHEN L, LIU N, et al. Tracking management of precast component based on BIM [J]. Architecture technology, 2020, 51(5): 534-537.
- [24] 刘琨. 基于 BIM+IoT 的装配式混凝土构件智能管控研究[J].

- 工程技术研究,2021, 6(20): 137-138.
- LIU K. Research on intelligent management and control of prefabricated concrete components based on BIM+IoT[J]. Engineering and technological research,2021, 6(20): 137-138.
- [25] 齐成龙,陈桢,曾祥,等. 基于点云处理的预制构件钢筋骨架质量检测技术[J]. 铁路技术创新,2023(4): 11-17.
- QI C L, CHEN Z, ZENG X, et al. Quality inspection technology for prefabricated framework for steel reinforcement based on point cloud processing[J]. Railway technical innovation, 2023(4): 11-17.
- [26] 臧格格. 装配式建筑智能建造全过程管理研究[D]. 长沙:湖南大学, 2020.
- ZANG G G. Research on the whole process management of prefabricated building intelligent construction [D]. Changsha: Hunan University, 2020.
- [27] 王一峰. BIM技术及信息化技术在深坑酒店工程质量管理中的应用[J]. 工程质量, 2016, 34(10): 85-88.
- WANG Y F. Application of BIM and information technology in quality management in Shanghai Shimao Sheshan Excavation Hotel project[J]. Construction quality, 2016, 34(10): 85-88.
- [28] 张家昌,马从权,刘文山. BIM和RFID技术在装配式建筑全寿命周期管理中的应用探讨[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版),2015, 17(2): 39-41.
- ZHANG J C, MA C Q, LIU W S. Discussion on application of BIM and RFID technology in the life cycle management of prefabricated buildings [J]. Journal of Liaoning University of Technology (social science edition), 2015, 17(2): 39-41.
- [29] 姚彬峰,马小军. BIM和RFID技术在开放式建筑全生命周期信息管理中的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(10): 92-95, 104.
- YAO B F, MA X J. Application of BIM and RFID in open-building whole life cycle information management [J]. Construction technology, 2015, 44(10): 92-95, 104.
- [30] 曹新颖,鲁晓书,王钰. 基于BIM-RFID的装配式建筑构件生产质量管理[J]. 土木工程与管理学报,2018, 35(4): 102-106, 111.
- CAO X Y, LU X S, WANG Y. Quality management of component production of prefabricated building based on BIM-RFID[J]. Journal of civil engineering and management, 2018, 35(4): 102-106, 111.
- [31] 夏启朔,于德湖,蒋伟,等. 装配式建筑PC构件供应链智慧化管理研究进展[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(17): 55-66.
- XIA Q S, YU D H, JIANG W, et al. Intelligent management research progress of prefabricated building PC component supply chain[J]. Construction technology,2024, 53(17): 55-66.
- [32] 宋玟璟. 基于物联网的预制建筑信息管理系统设计[J]. 软件导刊,2020, 19(1): 195-199.
- SONG W J. Prefabricated construction information management system design enabled by the IoT [J]. Software guide, 2020, 19(1): 195-199.
- [33] 董嘉诚. 基于数字孪生的装配式建筑管理系统研究[D]. 西安:西安理工大学,2022.
- DONG J C. Research on prefabricated building management system based on digital twin [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2022.
- [34] 王琳娜,袁哲,王雷,等. 基于人工智能方法的混凝土企业质量管理[J]. 科技和产业,2012, 12(12): 150-154.
- WANG L N, YUAN Z, WANG L, et al. Quality management of concrete enterprises based on artificial intelligence methodologies [J]. Science technology and industry,2012, 12(12): 150-154.
- [35] 杜宇,斯仁东,吉旭. 基于智能算法的智能制造质量管理模型[J]. 山东化工, 2017, 46(23): 160-162.
- DU Y, SI R D, JI X. A quality management model for intelligence manufacturing based on intelligence algorithm [J]. Shandong chemical industry, 2017,46(23): 160-162.
- [36] 廖记登. 基于图像处理和深度学习的砂石骨料质量检测研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2021.
- LIAO J D. Research on sand and gravel aggregate quality detection based on image processing and deep learning [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2021.
- [37] 李东声. 基于点云数据的建筑构件尺寸质量智能检测算法研究[D]. 重庆:重庆大学, 2020.
- LI D S. Study on intelligent dimensional quality inspection of building component using point cloud data [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020.
- [38] 马梓焱. 面向3D混凝土打印的几何质量检测与混合现实辅助系统研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2022.
- MA Z Y. Research on geometric quality detection and mixed reality assistance system for 3D concrete printing [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2022.
- [39] ZANG B, PENG X, ZHONG X G, et al. Size distribution measurement and shape quality evaluation method of manufactured aggregate material based on deep learning [J]. Journal of testing and evaluation,2023,51(6): 4476-4492.
- [40] KIM M K, CHENG J C, SOHN H, et al. A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning [J]. Automation in construction, 2015, 49: 225-238.
- [41] MAALEK R, LICHTI D D, RUWANPURA J Y. Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction [J]. Remote sensing, 2019, 11(9): 1102.
- [42] WANG R X, WANG Y N, DEVADIGA S, et al. Structured-light three-dimensional scanning for process monitoring and quality control in precast concrete production [J]. PCI journal, 2021, 66(6): 17-32.
- [43] KIM M K, THEDJA J P P, CHI H L, et al. Automated rebar diameter classification using point cloud data based machine learning [J]. Automation in construction, 2021,122: 103476.
- [44] KIM M K, THEDJA J P P, WANG Q. Automated dimensional quality assessment for formwork and rebar of reinforced concrete components using 3D point cloud data [J]. Automation in construction, 2020, 112: 103077.

- attention in electrical specialty of fabricated buildings [J]. *Electrical technology of intelligent buildings*, 2022, 16(6): 121-124.
- [6] 杜兴,常立强. 装配式建筑电气管线分离率的提高措施与计算方法[J]. *智能建筑电气技术*, 2023, 17(2):116-119.
DU X, CHANG L Q. Improvement and calculation of separation rate of electrical pipelines in assembled buildings[J]. *Electrical technology of intelligent buildings*, 2023, 17(2):116-119.
- [7] 吴旭辉,王春燕. 装配式建筑电气设计关键技术分析[J]. *建筑电气*, 2021, 40(7):42-47.
WU X H, WANG C Y. Analysis of key technologies in electrical design of assembled buildings[J]. *Building electricity*, 2021, 40(7):42-47.
- [8] 闫茹飞. 中等户型装配式住宅模数化空间与电气接口设计研究[D]. 长沙:湖南大学, 2021.
YAN R F. Research on modular space and electrical interface design of medium-sized prefabricated residences [D]. Changsha: Hunan University, 2021.
- [9] 蔡泽浩,刘耀辉,付素娟. 装配式住宅建筑管线分离技术应用探讨[J]. *住宅产业*, 2020(7):43-45.
CAI Z H, LIU Y H, FU S J. Application exploration of pipeline separation technique in prefabricated residential buildings[J]. *Housing industry*, 2020(7): 43-45.
- [10] 吕良. 智能家居系统集成下室内空间交互体验设计研究[J]. *城市建筑空间*, 2024, 31(12):122-124.
LÜ L. Interactive experience design of indoor space under the integration of smart home system[J]. *Urban architecture space*, 2024, 31(12):122-124.
- [11] 李峰,余龙,李浩. 装配式建筑正向设计创作理论研究与实践[J]. *建筑技艺*, 2023, 29(7):98-100.
LI F, SHE L, LI H. Theoretical research and practice of forward design creation of prefabricated buildings [J]. *Architecture technique*, 2023, 29(7):98-100.
- [12] 井关和朗,李逸定. KSI住宅可长久性居住的技术与研发[J]. *建筑学报*, 2012(4):33-36.
JING G H L, LI Y D. Technology and research and development of KSI residential sustainable residence [J]. *Architectural journal*, 2012(4):33-36.
- [13] 姜涌,关文民,朱宁,等. 集合住宅卫生间同层排水方式比较——既有住区建筑更新的工业化技术研究[J]. *西部人居环境学刊*, 2018, 33(5):28-33.
JIANG Y, GUAN W M, ZHU N, et al. Methodology of same-floor drainage of toilets; technical issues in apartment unit renovation[J]. *Journal of human settlements in West China*, 2018, 33(5):28-33.
- (上接第10页)
- [45] YUAN X, SMITH A, MOREU F, et al. Automatic evaluation of rebar spacing and quality using LiDAR data: field application for bridge structural assessment [J]. *Automation in construction*, 2023, 146: 104708.
- [46] REN B Y, WANG H D, WANG D, et al. Vision method based on deep learning for detecting concrete vibration quality[J]. *Case studies in construction materials*, 2023, 18: e02132.
- [47] SUWALAK R, LERTSAKWIMARN K, PHONGCHAROENPANICH C, et al. Dual-band chipless RFID sensor for a material quality monitoring application [C]//2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 2016.
- [48] BASHEER M, ELGHAISH F, BROOKS T, et al. Blockchain-based decentralised material management system for construction projects [J]. *Journal of building engineering*, 2024, 82: 108263.
- [49] MOON S, XU S Z, HOU L, et al. RFID-aided tracking system to improve work efficiency of scaffold supplier: stock management in Australasian supply chain [J]. *Journal of construction engineering and management*, 2018, 144(2): 04017115.
- [50] YIN S Y L, TSERNG H P, WANG J C, et al. Developing a precast production management system using RFID technology [J]. *Automation in construction*, 2009, 18(5): 677-691.
- [51] LEE J H, SONG J H, OH K S, et al. Information lifecycle management with RFID for material control on construction sites [J]. *Advanced engineering informatics*, 2013, 27(1): 108-119.
- [52] LI Y, LU Y J, CHEN J. A deep learning approach for real-time rebar counting on construction site based on YOLOv3 detector [J]. *Automation in construction*, 2021, 124: 103602.
- [53] LI Y, CHEN J. Computer vision-based counting model for dense steel pipe on construction sites [J]. *Journal of construction engineering and management*, 2022, 148: 04021178.
- [54] HERNÁNDEZ-RUIZ A C, MARTÍNEZ-NIETO J A, BULDAIN-PÉREZ J D. Steel bar counting from images with machine learning[J]. *Electronics*, 2021, 10(4):402.
- [55] SHIN Y, HEO S, HAN S, et al. An image-based steel rebar size estimation and counting method using a convolutional neural network combined with homography [J]. *Buildings*, 2021, 11(10): 463.
- [56] WANG S, KIM M, HAE H, et al. The development of a rebar-counting model for reinforced concrete columns: using an unmanned aerial vehicle and deep-learning approach[J]. *Journal of construction engineering and management*, 2023, 149(11):4321164.
- [57] 侯耀钧,陈启斌,王朝旭,等. 基于 CiteSpace 的国内外人工湿地研究动态与未来展望[J]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(4):1275-1286.
HOU Y J, CHEN Q B, WANG C X, et al. Research trends and future prospects of constructed wetlands at home and abroad based on CiteSpace [J]. *Journal of environmental engineering technology*, 2023, 13(4):1275-1286.