

基于 CiteSpace 的建筑工程智能运维研究现状及发展趋势分析

李懿峰, 隋丽辉

上海电机学院, 上海 201306

DOI:10.61369/ERA.2026080027

摘 要 : 目前, 随着大数据、物联网与人工智能技术的发展, 传统建筑运维模式面临数字化转型的挑战, 为研究建筑工程智能运维领域的研究现状与发展趋势, 本文选取中国知网数据库 2007 年至 2025 年间的 412 篇文献作为样本, 利用 CiteSpace 软件进行可视化分析。研究发现, 国内建筑工程智能运维相关的研究发文量整体呈现上升趋势, 自 2019 年起进入高速增长阶段, 学界对智能运维的关注度持续提升; 核心作者与研究机构分布呈现局部集中、整体分散的特点, 多局限于小团体协作, 跨机构合作频率较低。关键词分析表明, 智能运维、大数据、人工智能及数字孪生是当前的研究热点, 数字孪生作为突现强度最高的关键词, 用数字孪生作为核心技术, 运维模式由被动处置向主动预测转变。未来研究需建立统一数据接口标准, 增强仿真模型动态交互能力, 推动建筑全生命周期数据互联, 制定行业标准。

关 键 词 : 智能运维; 可视化分析; 数字孪生

Analysis of Research Status and Development Trends in Intelligent Operation and Maintenance of Construction Engineering Based on CiteSpace

Li Yifeng, Sui Lihui

Shanghai Dianji University, Shanghai 201306

Abstract : Driven by advancements in big data, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence, traditional construction operation and maintenance (O&M) modes encounter digital transformation challenges. This study selects 412 documents from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) database spanning 2007 to 2025 for visual analysis via CiteSpace 6.3.3. Results indicate domestic publication volume follows an upward trajectory, entering a rapid growth phase since 2019 and reflecting sustained academic interest. Core authors and research institutions display local concentration alongside overall fragmentation; collaboration remains restricted to small groups with low cross-institutional frequency. Keyword analysis identifies intelligent O&M, big data, AI, and digital twins as research hotspots. Digital twin technology exhibits the highest burst strength, facilitating the transition of O&M modes from passive response to proactive prediction. Future research must establish unified data interface standards, enhance simulation model interaction, promote full life-cycle data interconnection, and formulate industry standards.

Keywords : intelligent operation and maintenance; visual analysis; digital twin

现目前我国城镇化加快、建筑工程规模持续扩大, 传统运维模式已无法满足现代化管理需求, 人工巡检效率低、易存在误差, 难以及时排查设备与安全隐患。信息技术发展推动行业数字化转型, 大数据、物联网、人工智能为建筑管理提供新方法^[1]。智能运维依托新技术实现从被动发现问题到主动预测隐患的转变, 可延长建筑寿命、降低能耗, 也为智慧城市建设奠定基础^[2]。本文基于 CNKI 数据库, 运用 CiteSpace 对 2007~2025 年智慧运维的相关文献进行可视化分析, 探讨发文趋势、核心作者、研究机构及关键词演变, 旨在揭示研究热点与前沿动态, 并提出思考与展望。

一、数据来源和研究方法

(一) 数据来源

本文以中国知网 (CNKI) 学术期刊数据库为目标数据源, 时间跨度为 2007 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日。初步检索共获得

了 486 篇相关文献, 随后对检索结果进行了人工去重与筛选, 剔除会议通知、新闻报道、征稿启事及相关性较低的文献, 最终获得 412 篇有效文献^[3]。

(二) 研究方法

本文利用可视化分析软件 CiteSpace 处理获取的文献样本,

四、研究热点分析

（一）高频关键词及其共现分析

在 CiteSpace 中导入 412 篇参考文献,设置时间范围 2007~2025 年,时间切片为 1 年,Node Types 选择为 Keywords,每个时间切片选择 Top50,选择“Purning Sliced Network”叠加“Pruning The Merged Network”以及“Pathfinder”进行网络裁剪^[5]。生成关键词共现图谱(图4)。图中显示关键词节点共 292 个,关键词之间的连线为 430 条,网络密度为 0.0101。连线数大于节点数,表明关键词之间的联系较为紧密。节点大小代表关键词出现的频次,节点越大,关键词出现的频次越高^[6]。根据 CiteSpace 后台数据提取出排名前 20 的高频关键词,如表 3 所示。

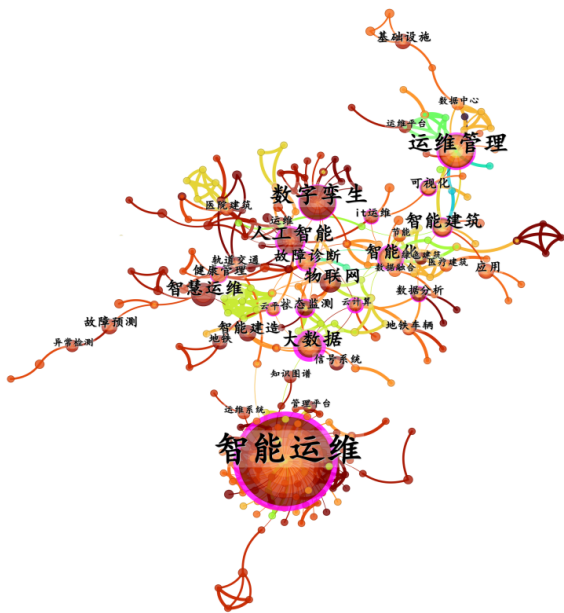


图4 中国知网智能运维关键词共现图谱

表3 智能运维相关研究排名前20的关键词

序号	关键词	频次	中心度	年份	序号	关键词	频次	中心度	年份
1	智能运维	178	0.87	2016	11	智能建造	7	0.04	2019
2	运维管理	30	0.23	2007	12	健康管理	5	0.1	2022
3	数字孪生	26	0.18	2021	13	应用	5	0.02	2019
4	人工智能	16	0.32	2020	14	故障预测	5	0.03	2022
5	大数据	15	0.76	2017	15	状态监测	5	0.21	2017
6	物联网	13	0.09	2017	16	基础设施	5	0.02	2021
7	智能建筑	13	0.19	2012	17	可视化	5	0.12	2019
8	智慧运维	13	0.04	2023	18	运维	4	0.03	2016
9	智能化	11	0.23	2014	19	信号系统	4	0	2021
10	故障诊断	8	0.23	2014	20	轨道交通	4	0.05	2021

在表3统计的高频关键词中,出现频次最高的是“智能运维”,共出现了178次,中介中心度为0.87,首次出现的年份是2016年;“运维管理”的出现频次是30次,中心度为0.23,首次出现的年份是2007年,说明在2007年就已经出现了建筑工程运维管理的概念,但早期传统的运维管理模式无法满足较高的运维需求;“大数据”的中介中心度达到0.76,这说明数据挖掘与处理与智能化运维绑定,促进了智能运维的全面铺开。“人工智能”一词出现在2020年,中心度为0.32,体现了智能运维的研究重心从数据统计转向使用复杂算法来作出运维决策。“数字孪生”作为2021年后兴起的热点,频次达到26次,标志着智能运维的研究进入了从传统运维到依靠信息技术落地实践的新阶段。

（二）高频关键词及其聚类分析

本文在关键词共现图谱的基础上,利用 Citespace 软件生成关键词聚类图谱(图5)。图中显示了排行前10的关键词聚类,后台数据显示 ModularityQ=0.8117,通常认为 Q>0.3 代表聚类结构显著,数值越大说明聚类效果越好。Mean Silhouette=0.9663, S>0.5 时表示合理;S>0.7 表示非常合理且令人信服^[7]。由此可见本次聚类结果的可信度非常显著。通过对共现网络中紧密相关的词汇进行归纳,能够识别出研究领域的关键板块与知识结构。

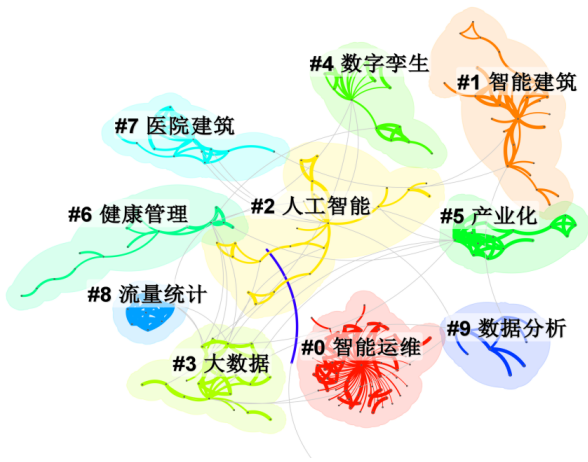


图5 中国知网智能运维关键词聚类图谱

本文选取了智能运维研究领域前10个互相连接、具有较高的联系和延展性的聚类,并根据后台数据整理了关键词聚类信息表。

从图5和表4可以看出,聚类#0(智能运维)、#2(人工智能)、#3(大数据)与#4(数字孪生)构成了整个智能运维的技术体系。大数据与物联网技术(#3)负责监控建筑运行状态,收集故障、隐患等问题数据,人工智能、专家系统与数字设计(#2)负责对采集的数据作出决策。数字孪生(#4)则构建虚拟模型,尝试实现故障预警、情景构建等模拟技术。智能运维正从数据采集到虚拟交互中解决目前建筑工程中所遇到的运维问题,也体现了智能运维的研究正从信息化手段向数字化转变。

聚类#6(健康管理)和#9(数据分析)更加注重保障工程的安全运行。建筑结构和机械部件通常需要定时维护,研究人员通过故障预测、故障诊断及异常感知技术,用历史数据与实时监测

数据比对，识别出运行参数的偏差，提前识别并干预安全隐患。聚类 #8 中的流量统计与系统设计与实现确保网络设备与维护人员之间的协同效率。

聚类 #1 中，更多体现的是智能建筑与基础设施的综合监控，聚类 #7（医院建筑）的重点则放在公共建筑的运维监控。聚类 #0 与 #9 中涉及的城市轨道交通、地铁车辆等，说明智能运维目前广泛应用在轨道交通领域方面。聚类 #5 包含光伏电站、产业化，显示了智能运维的研究方向延伸到新能源领域应用。从表 4 看出，智能运维的研究覆盖了不同应用场景，说明智能运维已经从理论探索阶段进入了现实生产和生活。

（三）高频关键词及其时序分析

时间线视图（Timeline）可清楚地表达技术的演进、各聚类单元的时间演化特征及各聚类之间的关系^[8]。在上文关键词聚类图谱的基础上，进一步使用 Citespace 软件生成智能运维时间轴图谱（图 6）与智能运维时序图谱（图 7），并提取出对应的高频词（表 5）。根据关键词信息及其所呈现的共现特征，将研究进程分为 3 个阶段。

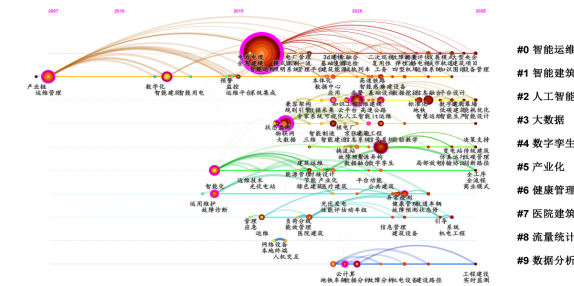


图 6 中国知网智能运维高频关键词时间轴图谱

表 5 高频关键词时序分布表

年份		关键词
第一阶段 2007~2015		运维管理；产业链；智能建筑；数字化；智能用电；智能化；故障诊断
第二阶段 2016~2020	2016~2017	运维平台；智能运维；大数据；物联网；状态监测
	2018~2020	人机交互；智能建造；人工智能；数据分析；数据融合
第三阶段 2021~2025		数字孪生、基础设施、IT 运维；智慧运维、健康管理、故障预测、耗能优化；信号系统

第一阶段，智能建筑、电器初现，智能运维的概念也随之出现，由于缺乏高效数据采集处理手段，学术研究更多的是管理体制与流程优化。2014 年起，智能化、故障诊断这类概念出现，智能运维研究视角由行政管理转向运维管理，为后续技术集成奠定基础。

第二阶段前期，智能运维概念在 2016 年正式确立，2017 年兴起的大数据、物联网、状态监测等技术实现了实时感知与处理海量数据，推动运维模式从事后维修转向故障预测。后期，智能建造、可视化贯穿了设计、施工与运维数；2020 年人工智能广泛应用，智能运维实现从单一技术到多技术融合。

第三阶段，智能运维实际应用到具体项目。数字孪生技术可生成项目与设备虚拟模型，提升运维决策科学性；同年研究向信

号系统、轨道交通等复杂工程领域发展。2022~2023 年，健康管理、故障预测、智慧运维成为研究热点，研究目标从发现问题向预判问题转变。由表 5、图 6~7 可知，智能运维研究路径为信息化管理到数字化感知再到智慧化决策的进步。

（四）关键词突现

关键词突现分析是通过识别特定时间内频次剧增的词汇，捕捉该领域的研究前沿与热点转向。将上文关键词共现图谱进一步处理得到 2007~2025 年智能运维研究的 16 个高突现值关键词，按照突现开始年份由远到近的顺序进行排列，如图 8 所示。

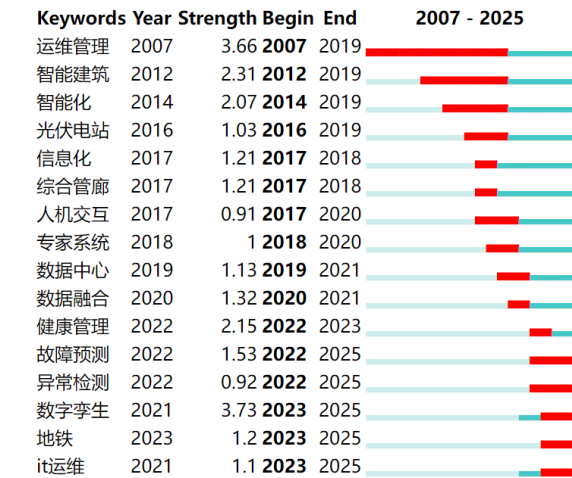


图 8 中国知网智能运维关键词突现图

图 8 可以看出，建筑工程智能运维研究呈现出明显的阶段性演进特征，“运维管理”突现强度为 3.66，持续时间 12 年，这是由于学术界需要长期探讨运维智能化技术的落地方案，“智能建筑”、“智能化”的出现，标志着智能运维管理理论通过硬件设施实现转化。2016 年后，智能运维应用于光伏电站、综合管廊等项目，研究拓展至能源设施与大型市政基础设施领域，“信息化”“人机交互”的出现让研究者发现，单纯的数据采集无法提升效率，需建立运维人员与系统的沟通机制。2020 年，数据融合技术为后续复杂算法的应用提供了数据标准。

“数字孪生”是当前智能运维的核心，突现强度为 3.73，是所有突现词中的最高值，影响至今，这一技术整合了物联网、BIM 与传感器技术，大幅度提升管理精度与响应速度，解决了传统运维中信息滞后的问题^[9]。

最新突现词组反映出运维管理从事后处置向事前预防转变。2022 年起，“健康管理”、“故障预测”与“异常检测”密集突现，原因是建筑工程结构的安全性对预防性维护有极高要求，更倾向于主动预测其中的故障及隐患。“it 运维”的最新突现，说明智能运维正在借鉴 IT 行业的全时监测治理经验来监控建筑工程全生命周期。

五、结论与展望

（一）研究结论

综合现有研究可知，我国智能运维研究始于 2007 年，2019 年

起发文量快速上升，2025年达峰值，学界对智能运维的研究关注度自2019年起持续提升。关键词分析显示，研究热点从基础运维管理转向大数据、人工智能与数字孪生融合的智能运维管理。因传统模式难以处理海量数据、及时排查故障隐患，学者为降低成本、保障运行安全研发自动化分析工具以预测故障。目前智能运维研究领域学者与机构合作网络密度较低，多以独立研究或小团体交流为主，跨机构合作及资源共享不足，制约了理论的创新。

（二）未来展望

本文提出未来研究方向为以下四个方面。第一方面是提升数

据处理水平，建立标准化数据接口，统一数据格式，降低算法学习难度，提高信息处理效率^[10]。第二方面，增强仿真模型动态交互能力，将虚拟模型与现实中的机械设备与建筑工程匹配更精密。第三方面，推动建筑工程全生命周期的数据互联。建设项目设计、施工阶段的数据应与运维阶段数据相互协同，闭环数据流，提升资产管理效率。第四方面，拓宽智能运维技术的应用场景，制定统一行业标准，加速建筑工程智能运维产业化进程，促使行业整体向数字化方向转型^[11]。

参考文献

[1]Turner C J,Oyekan O,Stergioulas L,et al.Utilizing industry4.0 on the construction site:challen-ges and opportunities[J] IEEE Transactions On In-dustrial Informat-ics,2021,17(2):746-756.

[2] 徐菓, 吴冯维, 王润哲. 新型基础测绘对智慧城市建设的作用探析 [J]. 工程与建设, 2024, 38(04): 803-805.

[3] 霍佳丽, 张玉琳, 赵蕾, 等. 我国期刊出版领域人工智能的应用与趋势探析 [J]. 传播与版权, 2024, (21): 10-15.

[4] 施臻峰, 龙凤, 葛察忠, 等. 中国生态环境政策研究发展脉络与展望——基于 CiteSpace 的国内文献计量分析 [J]. 环境科学与管理, 2024, 49(02): 22-27.

[5] 马智利, 雷吉峰. 我国宅基地使用权研究热点综述——基于 Citespace 的可视化分析 [J]. 中国房地产, 2021(09): 50-56.

[6] 尚希钰, 张慧芳, 曹玉清, 等. 基于文献计量学的结核病中医药基础研究全球研究现状及热点分析 [J]. 中国防痨杂志, 2025, 47(04): 482-497.

[7] 谭晓琳. 我国特色小镇高质量发展研究现状及未来展望——基于 Citespace 的可视化分析 [J]. 湖北第二师范学院学报, 2023, 40(03): 58-63.

[8] 安安. 城市老旧小区适灾韧性评价及提升策略研究 [D]. 青岛理工大学, 2023.

[9] 郑斯煜. 基于提示学习方法识别关键词语义功能的领域主题演化分析 [D]. 南京工业大学, 2024.

[10] 李昊旻. 基于智慧高速交通流优化与调度的人-车-路协同问题研究 [J]. 汽车画刊, 2024, (01): 137-139.

[11]Rojas, L; Peña, A and Garcia, J.AI-Driven Predictive Maintenance in Mining: A Systematic Literature Review on Fault Detection, Digital Twins, and Intelligent Asset Management[J]Applied sciences-basel,2025,15(6).