

智慧水文研究中知识图谱可视化分析

杨 艺, 徐保超

(青岛市水文中心, 山东 青岛 266400)

【摘 要】为充分了解智慧水文的研究进展与现状,基于 2010—2024 年中国知网(CNKI)中“智慧水文”相关研究文献,采用文献计量和可视化的方法,利用 CiteSpace 软件构建关键词共现、聚类、时间线、突现词的各类可视化知识图谱,明确研究领域的时间脉络、热点演变和发展趋势。结果表明:智慧水文相关发文量逐年增长,其发展与国家政策息息相关,2017 年开始出现快速发展趋势;经聚类分析与时间线推演发现,智慧水文的技术发展依然是未来主要研究方向,水文、智慧水文、数字流域、智慧水利是主要聚类群体,且共被引程度较高;国内智慧水文的研究需要向数字孪生、“四预”等新方向继续深化;知识图谱构建可以对复杂的水文问题进行可视化分析与展示,提高研究效率与质量。

【关键词】智慧水文;知识图谱;可视化;聚类共现分析

【中图分类号】P33

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-03-0012-04

Visualization Analysis of Research Knowledge Graph for Smart Hydrology

YANG Yi, XU Baochao

(Hydrology Center of Qingdao Municipality, Qingdao, Shandong 266400, China)

Abstract: To fully understand the research progress and status of smart hydrology, based on the relevant research literature on "smart hydrology" from CNKI during 2010—2024, this paper adopts bibliometric and visualization methods, and uses CiteSpace software to construct various visual knowledge maps of keyword co-occurrence, clustering, timeline, and burst terms, so as to clarify the temporal context, hotspot evolution, and development trends of the research field. The results show that the number of publications related to smart hydrology has increased year by year, and its development is closely related to national policies, showing a rapid development trend since 2017. Through cluster analysis and timeline deduction, it is found that the technological development of smart hydrology will remain the mainstream research direction in the future. Hydrology, smart hydrology, digital watershed, and smart water resources are the main clustering groups with a high degree of co-citation. Domestic research on smart hydrology needs to be further deepened in new directions such as digital twin and "Four Preventions". The construction of knowledge graphs can realize visual analysis and display of complex hydrological problems, improving research efficiency and quality.

Key words: Smart hydrology; Knowledge graph; Visualization; Clustering and co-occurrence analysis

水文既是政府水资源管理的核心,也是水利领域发展的基石。在经济、社会、城市、政府、水利领域均面临重大转型的同时,新时代也赋予了水文事业新的要求与责任。

为创新水文发展,长江委于 2016 年首先提出了“四个水文”的发展理念,“智慧水文”作为理念之一开始走入大众视野。在智慧城市与智慧政府的双重背景下,2019 年水利部正式发布《加快推进智慧水利指导意见》和《智慧水利总体方案》,启动三年行动^[1]。2021 年中共中央、国务院发

布的“十四五”规划中,明确要求“构建智慧水利体系”^[2]。同年,水利部国家发展改革委印发《全国水文基础设施建设“十四五”规划》,水利部印发《水文现代化建设规划》^[3]。政府的大力支持,促成了水利、水文的智慧研究热潮。但是,由于智慧水文研究时间较短,文献数量有限,单独进行相关文献的梳理,其体量过于薄弱。因此,本文基于 2010—2024 年中国知网(CNKI)中“智慧水文”相

收稿日期:2025-09-16

作者简介:杨艺(1994—),女,助理工程师

关研究文献(经过筛选后共得到 484 篇文献),采用文献计量和可视化的方法,构建关键词共现、聚类、时间线、突现词的各类可视化知识图谱,梳理智慧水文发展脉络和主题演变,为国内智慧水文领域的下一步发展提供参考^[4]。

CiteSpace 软件是目前应用比较广泛的利用学术数据库进行文献数据分析的软件,通过数据收集、数据预处理、知识抽取与融合等步骤,按照一定的结构构建相关知识图谱,使其通过可视化的展示,呈现某一相关研究领域的研究进展与热点^[5]。

1 研究方法

基于 CiteSpace 软件,将筛选后的中文文献导入 CiteSpace, v.6.3.R1 (64-bit) Advanced 中,进行文献计量的可视化分析,设置时间范围为 Timespan:2010—2024 (切片长度 Slice Length=1),筛选采用 G-index 标准进行选择, $k=25$ 。将文件参数设置为 LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, E=1.0 来构建文献关键词网络集群视图,得到网络节点数 $N=337$, 连线数 $E=498$ (网络密度 Density=0.008 8)。

1.1 关键词共现分析方法

关键词共现分析方法是一种提取文献内容重点,从而进行频率分析的技术。这种方法通过统计不同关键词在文献中出现的频率,帮助研究人员了解关键词之间的关系和潜在的主题结构,为确定下一步的分析方向提供基础数据。

1.2 关键词聚类分析法

聚类分析方法是一种根据节点强度进行分组的技术。这种方法通过识别关键词之间的关系,帮助更好地理解数据的结构和主题,有效地揭示数据中的潜在模式和趋势。一般聚类分析有模块值和轮廓值 2 个指标。其中:Modularity(聚类模块)以 Q 表示,一般认为 $Q>0.3$ 代表着聚类结构显著,其值越大网络聚类效果越好;Silhouette(聚类平均轮廓值)以 S 表示,一般认为 $S>0.5$ 代表着聚类合理, $S>0.7$ 代表着聚类是令人信服的,越接近于 1,说明网络同质性越好。

1.3 关键词突现分析法

通过关键词突现分析,可以更直观了解到现研究主题词或者关键词的突现强度,明确突现特

征。这种分析方法可以识别出不同时间、不同文献中最具影响力的主题,从而更好地把握信息的核心内容,为进一步研究提供有力的支持。

2 知识图谱可视化分析与结果

2.1 文献发文量可视化分析

发文量可视化分析,可以更直观地说明理论研究领域的发展趋势和发展水平。通过中国知网(CNKI)检索智慧水文研究领域 2010—2024 年的有效文献共计 484 篇,其年度发文量整体呈上涨趋势。2010—2017 年国内智慧水文整体相关研究少,2017 年以后发文趋势逐渐增多,2019—2020 年发展平稳,2020 年后再次出现大幅增长,2024 年总体发文量会再创新高。通过趋势分析,可以看出整体发文数量与国家政策息息相关,尤其 2019 年、2021 年随着国务院、水利部相关正式文件的发布,都出现发文量的小幅增长^[6]。就目前来看,智慧水文相关研究领域还有很大的发展空间,应继续对相关研究进行更深一步的探索,从而丰富国内智慧水文领域的理论知识,完善理论框架的搭建。

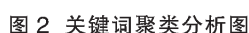
2.2 关键词共现分析

通过关键词共现分析如图 1 所示,可以解读关键词与关键词之间的相关性,反映领域内相关热点问题,其节点越大代表关键词出现的频率越高^[7]。从图 1 可以看出,关键词共 337 个,线条共有 498 条。以“智慧水文”为中心向四周进行辐射,主要有智慧水利、信息化、数字孪生、水文信息、水文监测等,这说明智慧水文与这些关键词之间的共现关联度上较强,而较为边缘的主题关键词还需要学者不断进行补充。

2.3 关键词聚类分析与热点演进

为进一步研究智慧水文领域的结构,获取该研究领域的热点主题,基于关键词进行聚类分析,如图 2 所示。

依据网络结构和聚类的清晰度,可以得到模块值和平均轮廓值。图 2 中模块值 $Q=0.702 7$ 代表聚类结构显著,平均轮廓值 $S=0.924 9$ 代表着聚类结果是合理且令人信服的。综上所述,关键词聚类图进行聚类分析是有结构显著、高效可信的。图 2 中,每个聚类的标签都是共现网络中的关键词,各聚类模块的文献量根据数值从小到大



从整个发展时间线来看,如图3所示,2010—2016年这一阶段,随着云计算、物联网、大数据的发展,水文发展渐渐由传统水文向信息化水文转变,信息化在这一阶段较为活跃,同时影响着其他关键词的演进;因国务院、水利部等相关政策的连续出台,2017—2021年这一阶段开始

名称	聚类大小	Silhouette 值	平均年份	Label (LLR)主要关键词
#0 水文	43	0.942	2017	水文;信息化;大数据;人工智能;对策
#1 智慧水文	33	0.96	2018	智慧水文;水文信息;综合平台;水文服务;水资源
#2 数字流域	28	0.919	2014	数字流域;防洪减灾;虚拟仿真;离线地图
#3 智慧水利	27	0.833	2019	智慧水利;思考;新时期;优化设计

研究的热点随着时间、政策、社会发展等一直进行动态的转变。在科学研究中需要时刻跟踪前沿课题,助力中心研究的深入发展。利用突现

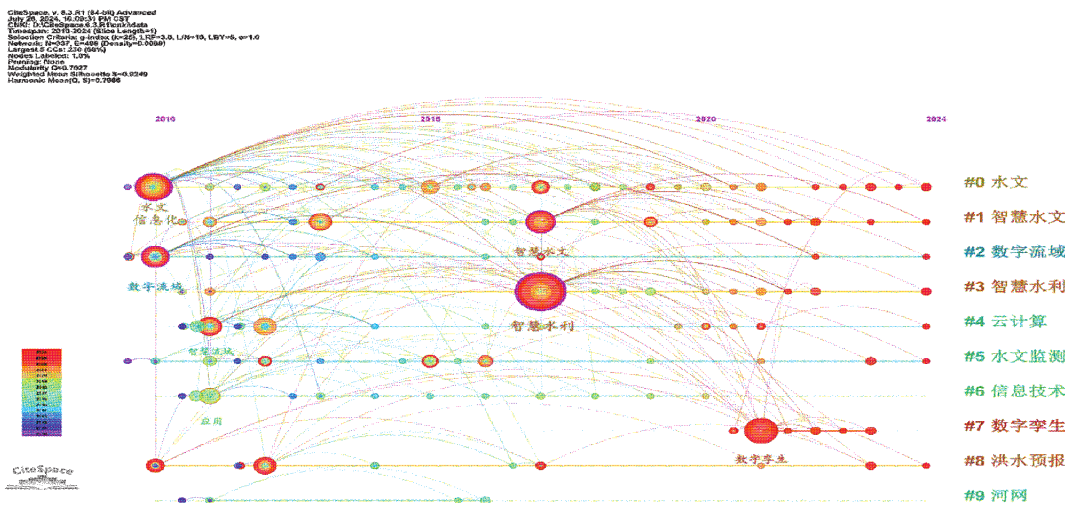


图3 关键词时间线图

词进行研究分析,得到结果如图4所示。2010—2016年,突现词汇主要集中在数字流域、自动化、云计算、水文信息、智慧流域、大数据等,这一时期的水文建设主要集中在初期信息化规划及建设上。2017—2022年,突现词汇主要有智慧水文、智慧水利、数字孪生、“四预”(预报、预警、预演、预案),且数字孪生、“四预”均是近年新型热点关键词,会持续影响接下来的发展,这一时期结合国家政策,结合新兴技术手段大力发展水文、水利智慧建设,且依托综合平台,为智慧水文的发展构建新型发展现形式。

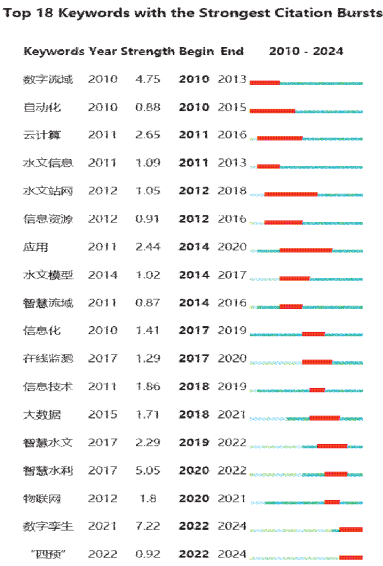


图4 突现词分析图

3 结 语

1)运用知识图谱技术可以对复杂的智慧水文

研究问题进行可视化分析,提高研究效率与质量。

2)2010—2024年智慧水文相关领域的研究热点主要集中于信息化、水文、智慧水文、智慧水利、数字孪生、数字流域等方面,反映了智慧水文研究发展的脉络与特征。

3)通过分析发现,国内智慧水文的发展遵循着“政策-理论-实践”的闭环发展思路,政策影响理论,理论指导实践,实践结果反哺政策制定。

4)未来研究中,新兴信息技术与智慧水文系统建设的结合依然还是智慧水文研究发展的重点。同时,要关注与数字孪生、“四预”等方面的发展相结合。

参考文献

[1] 水利部印发水利业务需求分析报告、智慧水利指导意见和总体方案[J].水利信息化,2019(4):40.

[2] 曾焱,程益联,江志琴,李暨.“十四五”智慧水利建设规划关键问题思考[J].水利信息化,2022(1):1-5.

[3] 李博远,朱金峰.加快推进水文现代化 大力提升水文测报与服务能力——访水利部水文司司长林祚顶 [J]. 中国水利,2021(24):32-33,38.

[4] 陈述,纪勤,陈云,等.基于知识图谱的智慧水利研究进展[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):143-153.

[5] 朱晓林.基于 CiteSpac 的国内工程审计领域研究热点与趋势分析[J].华北水利水电大学学报(社会科学版),2021(4):64-73.

[6] 曾金凤. 东江源区智慧水文的设计与实现 [J]. 人民珠江,2018,39(3):11-15.

[7] 刘宇轩,位涛,刘仲秋.中国智慧水利研究知识图谱分析[J].水利信息化,2021(6):10-15.

(责任编辑 崔春梅)