

基于CiteSpace技术的公路隧道领域智能技术应用现状及发展方向分析

周楚鸿*, 陈家栋, 洪志龙, 曾嘉令

西京学院, 陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室, 陕西 西安

收稿日期: 2023年8月11日; 录用日期: 2023年9月2日; 发布日期: 2023年9月13日

摘要

为全面了解信息化技术在公路隧道工程中的发展及应用, 定性分析了信息智慧化在公路隧道工程中的基本研究, 定量分析了信息智慧化在公路隧道工程的研究现状, 利用CiteSpace可视化工具深入挖掘信息化在公路隧道工程中的存在问题、发展瓶颈和研究趋势, 并给出相应的解决办法及研究思路。通过文献综述发现, 公路隧道工程领域已开展了大量信息智慧化研究, 但各阶段信息智慧化发展不均衡, 实际应用也存在一定局限性, 需深入探索监控量测、大数据、数据元等智能技术在公路隧道工程全生命周期的交叉融合, 促进公路隧道工程领域信息智慧化研究的协同发展。

关键词

公路隧道, 智能建造, 信息技术, 可视化分析, 文献计量分析

Analysis of Current Application and Development Direction of Intelligent Technologies in the Field of Highway Tunnels Based on CiteSpace Technology

Chuhong Zhou*, Jiadong Chen, Zhilong Hong, Jialing Zeng

Shaanxi Key Laboratory of Safety and Durability of Concrete Structures, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: Aug. 11th, 2023; accepted: Sep. 2nd, 2023; published: Sep. 13th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 周楚鸿, 陈家栋, 洪志龙, 曾嘉令. 基于 CiteSpace 技术的公路隧道领域智能技术应用现状及发展方向分析[J]. 土木工程, 2023, 12(9): 1203-1210. DOI: 10.12677/hjce.2023.129139

Abstract

To comprehensively understand the development and application of information technology in highway tunnel engineering, this study qualitatively analyzed the basic research of information intelligence in highway tunnel engineering and quantitatively analyzed the current research status. Utilizing CiteSpace visualization tool, the study further explored the existing issues, development bottlenecks, and research trends in the application of information technology in highway tunnel engineering. Corresponding solutions and research approaches were proposed. Through literature review, it was found that a considerable amount of research has been conducted in the field of information intelligence in highway tunnel engineering. However, the development of information intelligence in different stages is uneven, and practical applications are somewhat limited. It is necessary to explore the cross-integration of intelligent technologies such as monitoring and measurement, big data, and data elements throughout the entire life cycle of highway tunnel engineering, to promote the collaborative development of information intelligence research in this domain.

Keywords

Highway Tunnels, Intelligent Construction, Information Technology, Visual Analysis, Bibliometric Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高速公路的建成在很大程度上缓解了西部交通运输和国防建设中面临的压力[1]。例如，青藏铁路是一项宏伟的工程，其中包括复杂和极具挑战性的高原、高寒、高海拔、大地震等复杂地质条件。为确保青藏铁路的顺利实施，修建了长达 1824 km 的高原铁路隧道[2]。京沪高速铁路(北京~上海)是中国第一条高海拔地区铁路。在北京至上海这一世界上海拔最高、最长的高速铁路区间中有 5 座隧道。这些隧道穿过了 200 多座山峰和 90 多座山谷，穿越了全国大部分地区[3]。中国第一条高速公路是全长 478 km、穿越北京至张家口的京藏高速公路。这条高速公路于 1984 年开工建设，其中长 936 km 路段采用隧道方式通过，占线路总长度的 85% 以上，它是中国第一条高海拔高速公路[4]，经济不断发展的趋势推动着西部大开发战略实施和城市化进程加快发展，公路隧道工程将进一步发展[5]。智能建造技术正推动着公路隧道发展的不断转变，模块化生产提升了施工效率，缩短工期。而智能自动化设备可以降低人力投入，节约成本。同时借助监控系统实时监控，降低了工程的安全风险。最后，3D 打印和可再生能源等智能新材料的使用，进一步的节能减排[6]。

目前，公路隧道工程建设领域已逐步采用信息智慧化技术，通过信息技术能够实时感知隧道围岩和支护结构受力状态及变化规律，结合模型的预测预警功能，达到工程现场施工安全高效的目标[7]。包括超前地质预报技术、隧道内钻孔雷达检测技术、隧道内三维激光扫描系统等。智能建造技术与信息技术的结合是一种新型的施工方法和理念，它采用先进的传感器和信息技术将传统的公路隧道施工现场的人、机、料、法、环等要素进行智能化识别、定位及决策管理，并对信息进行感知、获取和分析处理。通过无线通信和信息智能传输等手段，将现场信息及时传输到电脑中存储起来[8]。通过智能分析，对现场状

态进行分析之后给出相应的处理措施。通过智能监控系统,对隧道施工的各个环节进行实时动态监测、故障诊断与识别以及预测预报[9]。找寻公路隧道工程优化参数的最优解,未来随着科技的发展,信息智慧化技术将占据着更加重要的地位。综上所述,本文将利用 CiteSpace 可视化工具研究近几年智能技术在公路隧道领域中的应用现状,并分析今后智能化驱动下公路隧道的技术发展方向。

2. 信息智慧化在公路隧道工程中的应用现状

信息智慧化在公路隧道工程中的研究主要体现在智能监测与数据收集、智能化控制、智能化维护这3个方面。

2.1. 智能监测与数据收集

当前大型、超大跨隧道工程已成为我国基础设施建设的重要领域和技术难点,由此,隧道建设安全质量问题成为隧道行业面临的重要挑战之一[10]。以传统监测手段难以实现对施工过程中围岩状态的实时感知和有效监测。在此背景下,信息智慧化技术应运而生。

对于公路隧道而言,围岩状态感知是智能建造中围岩智能加固与自适应支护技术中的关键环节,是实现隧道工程全生命周期安全、经济、绿色施工关键支撑[11],尤其对于长大深埋隧道,更涉及机械、自动化、信息等多个学科领域的交叉融合。目前,对于围岩状态感知技术进行了大量研究和探索。相关研究工作主要包括:(1) 基于岩土力学理论,发展了现场声波测试、静载试验等的非接触式测试技术[12];(2) 采用高精度传感器全面监测围岩,包括应力应变传感器、地应力传感器、温度传感器等。通过数据分析、处理与模拟计算相结合的方式,获得围岩力学参数变化情况。(3) 利用激光扫描、表面监测、振动等方法,开展隧道围岩损伤和破坏机理研究[13]。以此来实现对公路隧道现场工况的智能监测与数据收集。

2.2. 智能化控制

面对公路隧道工程复杂的工况信息,应用智能化控制技术对公路隧道的各个方面进行优化控制,做到信息的及时反馈。(1) 智能化通风控制技术可以通过传感器监测空气中的 CO、CO₂、PM 2.5 等有害气体浓度和温湿度等参数,自动调整通风量,保障隧道内的空气质量和人员安全。(2) 利用智能化灯光控制技术智能化灯光控制技术,自动调整灯光亮度,保障隧道内的能见度和驾驶员的安全。(3) 预警系统可以通过视频监控、火灾、泄露、交通事故等传感器监测隧道内的异常情况并自动进行预警和报警,提高公路隧道的安全性。(4) 智能化交通流量控制技术可以通过交通流量传感器和车辆识别系统监测隧道内的车辆流量,自动调整车速和车流量,保障公路隧道的正常运行。进一步优化智能控制技术,实现实时的信息反馈。

2.3. 智能化维护

另一方面,根据上述预测信息的结果实施维护和修复,智能化维护主要体现在:(1) 结合监控设备并利用智能算法对数据进行分析,提高巡检的效率和准确性。(2) 通过互联网等技术,实现对公路隧道设施设备的远程监测和诊断,提高故障处理的效率。(3) 基于历史数据和运行状态,采用机器学习等技术进行数据分析,预测设备故障的发生。

总之,智能信息技术已极大改进了公路隧道工程技术,接下来,利用可视化分析软件进一步研究智能信息技术在公路隧道工程的应用趋势。

3. 信息智慧化在公路隧道工程中的应用研究趋势

信息化在公路隧道领域有着广泛的研究与应用,为安全监控、生产建造、结构养维护提供了新理念、

新方法,而在实际建设中,考虑到生产造价、建造技术、维护成本等因素限制,信息化在公路隧道领域的应用还未能全面普及。综合考虑智能信息化在公路隧道领域的研究现状,利用 CiteSpace 文献分析工具,对中国知网(CNKI)数据库刊载的信息化与公路隧道的相关文献情况及研究热点进行可视化分析,总结中国研究现状、探索目前研究热点、发现未来研究趋势,并针对存在的问题提出发展建议,为信息化在公路隧道领域的相关研究智能化提供参考[14]。

CiteSpace 是由美国德雷塞尔大学陈超美教授于 2004 年开发出的一款可视化软件[15]。它能将复杂的学科知识通过数据挖掘、文献计量、公式计算等方法对研究热点进行分析,再通过巧妙的空间布局绘制可视化图谱并建立节点关联,从而分析研究对象间的共现关系与共引关系[16]。

数据来源于中国知网数据库,检索方式为基本检索,由于智能信息化涵盖范围十分广泛,如智能设计方面的拓扑优化、智能建造方面的 3D 打印等,难以尽数将所有文献统计分析,因此在检索过程中以信息化为主题,结合公路隧道,共检索出相关文献 120 篇,将目标文献按 CiteSpace 所需格式转码导出后,得到文献样本数据库。

对 CiteSpace 参数进行设置。为探索自 2000 年以来的人工智能在土木工程中的研究现状,选择时间切片(Time Slicing)为 2001 年至 2023 年,时间分区长度(Years PerSlice)为 1;术语资源(Term Source)勾选标题(Title)、摘要(Abstract)、作者关键词(Author Keywords)及关键词拓展(Keywords Plus),节点类型为 Keyword,连接强度算法为 Co-sine,视觉可视化效果为静态(Cluster View-Static)。

3.1. 文献发文量分析

年发文量代表科研成果的产出状况,是衡量智能信息化在公路隧道领域的研究热度与发展趋势的重要指标,如图 1 所示,2015 年之前论文年发表量基本维持在 1~15 篇,而 2015 年之后,随着人工智能技术上得到的重大突破,使得智能信息化在公路隧道领域的关注度持续高涨,伴随着中国工程行业逐步向西部山区发展,公路隧道施工量的不断加大,文献发表量逐年攀升。



Figure 1. The annual publication volume of intelligent information technology in the field of highway tunnels

图 1. 智能信息化在公路隧道领域的年发文量

3.2. 关键词频数分析

通过构建关键词共现网络,发现信息化在公路隧道领域的研究的节点和连线数量极大,每个节点代表文献若干篇,节点越大则关键词的词频就越大,与该主题的相关性就越强,节点间的连线代表关键词间的共现关系。为更加清晰地展示信息化在公路隧道领域的研究现状,在共性参数的基础上对关键词控制面板的阈值参数设为 5 (阈值 0 为展示全部关键词),从而隐藏频数较低的关键词,最终关键词共现网络如图 2 所示。经 CiteSpace 处理后显示的高频关键词统计如表 1 所示。

Table 1. High-frequency keyword statistics table
表 1. 高频关键词统计表

序号	关键词	频数	序号	关键词	频数
1	公路隧道	29	16	人工智能	3
2	隧道工程	24	17	初期支护	3
3	信息化	19	18	福建省	3
4	高速公路	18	19	监测	3
5	隧道	13	20	施工安全	3
6	监控量测	13	21	技术	3
7	智能建造	9	22	工程机械	2
8	施工	7	23	爆破技术	2
9	隧道施工	6	24	智慧建造	2
10	质量控制	6	25	地质雷达	2
11	数据元	5	26	反演分析	2
12	大数据	3	27	监控	2
13	安全管理	3	28	桥梁	2
14	设计	3	29	土木工程	2
15	数值模拟	3	30	预警	2

关键词是对文献内容的高度概括。由表 1 可知, 频数排名前 5 的关键词为公路隧道、隧道工程、信息化、高速公路、隧道, 在一定程度上代表了信息化在公路隧道领域的研究热点, 但不能代表近几年的发展趋势, 还需结合图 2 关键词共现网络进行综合分析。



Figure 2. Keyword co-occurrence network
图 2. 关键词共现网络

由图 2 可知,我国公路隧道领域的研究以信息化为核心,围绕监控量测、隧道工程、公路隧道等不同方向进行,整体上呈分散状,不局限于单一研究热点。其中与信息化技术相关的关键词,如监控量测、设计、预警等集中在一起,且这些关键词在表 1 中均有较高的频数,代表这些关键词相关性较强且研究较多,是促进公路隧道行业向高效、智能、可持续方向发展的关键。此外,图 2 的关键词共现网络是特定域中的静态表示,不能反映信息化在公路隧道领域内研究主题的变化,还应考虑关键词共现网络中的时间因素,结合时间可分析该时间段内的研究重点。

3.3. 关键词时序演进分析

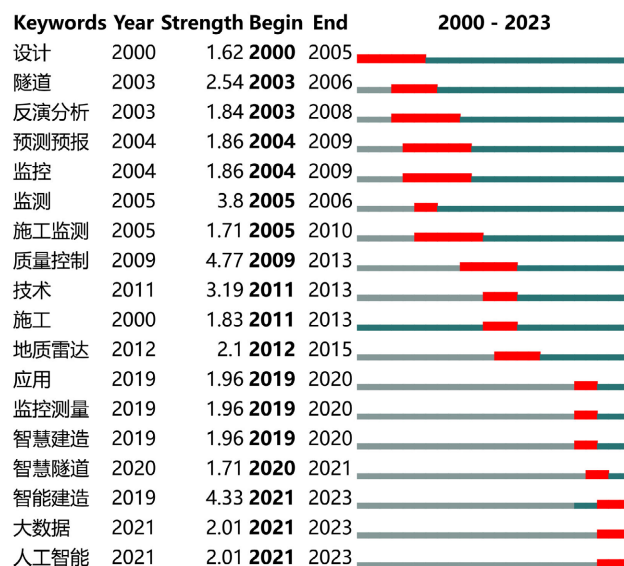
利用 CiteSpace 中的爆破检测算法,可统计一定时期内引起专家学者普遍关注的关键词,如图 3 所示,是信息化在公路隧道中相关文献的突现关键词统计。关键词强度值越高,代表所考虑时间间隔内得到的关注就越多;突现关键词在一定时期内可发生变化,反映出对应时期内的研究趋势,红色横线部分是关键词突现的时间范围,据此可判定该阶段的前沿主题。根据突现关键词的起止时间,将信息化在土木工程中的研究归纳为 2000~2015 年的初级阶段和 2015 年至今的现阶段。

信息化在公路隧道中研究的初级阶段(2000~2015 年)。在此阶段,突现关键词的时间跨度较长,均保持在 4 年左右,各个研究方向均衡发展,主要进行了隧道、反演分析、预测预报、监控、监测、施工监测、质量控制、技术、施工、地质雷达等初级信息化的探索,智能化程度较低。其中,质量控制的强度值为最高的 4.77,表明早期信息化在公路隧道领域的探索集中在质量控制的研究,随着信息化技术的不断进步,应用、监控测量、智慧建造、智慧隧道、智能建造等方向逐渐被众多学者所研究,尤其是智能建造的强度值达到了 4.33,在初级阶段中处于较高水平,表明后来专家学者主要进行智能建造的研究,促进了公路隧道领域智能信息化的发展。

2023/8/9 22:26

View Citation Burst History

Top 18 Keywords with the Strongest Citation Bursts



file:///D:/corpus/citespace/project/CO-DESC_history_view_burstness_ByStartingYear.html

Figure 3. Prominent keyword statistics graph

图 3. 突出关键词统计图

随着智能信息化研究的加深, 突现关键词的变化较为显著, 时间跨度基本保持在 2~3 年, 表明了信息化与智能化在公路隧道领域的高速发展期, 每过几年就有新的智能技术得到突破, 越来越多的专家学者加入公路隧道智能信息化的研究, 智能化程度也越来越深。未来将向着多领域多方向的发展目标前进。

4. 展望

运用 CiteSpace 软件对 2000 年以来我国信息智慧化在公路隧道工程领域的研究成果进行文献计量和可视化分析, 明确该领域的研究现状、研究热点和前沿主题, 结合公路隧道工程领域智能化发展的实际需要, 对今后的发展前景做出展望。

(1) 强化公路隧道工程领域的信息智能化研究深度, 随着人工智能技术的不断发展, 信息交互将变得更加智能化。人工智能将被应用于语音识别、自然语言处理、图像识别等领域, 让建设者能够更加自然地与计算机进行交互。当前大型、超大型公路隧道工程已成为我国基础设施建设的重要领域和技术难点, 同时, 根据上述可视化分析可知, 现阶段研究主要集中在神经网络、大数据和深度学习等方向, 相较于以往研究, 智能化程度越来越高, 接下来应深入探求更高水平的智能技术, 如智能算法、智慧隧道、强化学习等, 公路隧道工程领域的信息技术也将被应用于信息过滤和推荐, 让建设者获得更加符合个性和精准的信息。公路隧道信息化将向着更加智能化发展。

(2) 重视信息数据在公路隧道工程领域各方面的自然化交互, 未来信息交互将更加自然化。例如, 人们可以通过手势、眼神等方式进行交互, 而不需要使用键盘或鼠标。这对于信息交互的及时性有了显著的提升, 面对公路隧道工程复杂的工况信息, 也能做到信息的及时反馈, 同时, 检测信息的流通, 过滤信息, 也能让建设者及时获取有效的信息, 语音助手和智能音箱等设备也将变得更加自然, 让人们可以像与人类一样自然地交互。接下来应扩展信息智慧化技术在公路隧道工程领域的研究范围, 积极探索信息智慧化技术在公路隧道工程领域不同方向上的尝试。

(3) 加强公路隧道工程领域的信息智能化研究的安全性, 随着网络安全问题的不断增多, 未来的信息交互将更加注重安全性。例如, 人脸识别和指纹识别等技术将被广泛应用于信息交互, 以保护用户的隐私和安全。其次, 隧道内的监测数据、视频监控等信息涉及到用户隐私和安全, 需要加强数据安全和隐私保护措施, 确保数据不被恶意利用或泄露, 同时保护用户的合法权益。最后, 及时定位隧道内人员信息和反馈有害气体指数, 保护隧道内作业人员的安全, 提高信息预警的能力。

(4) 扩展更加便捷化的信息智能化交互方式, 未来信息交互将越来越便捷。例如, 随着虚拟现实技术的发展, 人们可以通过头戴式显示器等设备实现更加自然的交互方式。随着信息技术的不断发展, 未来公路隧道可以实现更好的设备互联互通性, 通过标准化的接口和协议, 实现设备之间的数据共享和协同工作, 从而提高信息化系统的整体性能和效率。

总之, 未来信息交互将不断发展和进步, 让人们能够更加智能、便捷、自然和安全地与计算机进行交互。

5. 总结

信息技术的快速发展, 开启了智能化时代, 抓住时代的机遇才能更好更快地发展隧道行业。本文通过分析信息智慧化技术在智能监测与数据收集、智能化控制、智能化维护等方面的应用, 总结了信息智慧化在公路隧道工程领域应用的相关内涵和特点, 结合 CiteSpace 可视化软件总结信息智慧化在公路隧道工程领域的研究趋势并进行展望, 得到以下结论:

(1) 信息智慧化在公路隧道工程领域中均有应用, 但整体智能化程度较低, 实际应用中智能监测与数据收集也存在一定局限性, 例如, 面对着复杂的围岩状态, 传统监测手段难以实现实时感知和有效监测,

接下来应加强公路隧道工程领域的信息智能化研究深度,朝着信息更加个性化和精准化方向发展。

(2) 重视信息数据在公路隧道工程领域各方面的交互,现有信息技术为我们收集了大量数据,但面对复杂多变的工况信息,除了为建设者提供精准有效的信息,更应向着自然化交互方向,接下来应积极探索信息智慧化技术在公路隧道工程领域不同方向上的尝试,让人们可以像与人类一样自然地交互。

(3) 随着网络安全问题的不断增多,未来的信息交互将更加注重安全性。智能化维护也是信息智慧化在公路隧道工程领域应用必不可少的,加强公路隧道工程领域的信息智能化研究的安全性,之后将向着提高信息预警性方向发展。

从上述分析中可以看出,信息智慧化技术具有广阔的发展前景。在未来,还将基于孪生模型结合其他信息技术研究建造过程中的具体实施细节,从而实现整个建筑行业的信息智慧化。

参考文献

- [1] 曹信红, 陆仁达. 以国家高速公路网为重点, 加快我国运输大通道建设[J]. 中国发展, 2005(4): 65-69.
- [2] 钱七虎. 中国岩石工程技术的新进展[J]. 中国工程科学, 2010, 12(8): 37-48.
- [3] 编辑部中国公路学报. 中国交通隧道工程学术研究综述·2022[J]. 中国公路学报, 2022, 35(4): 1-40.
- [4] 王洪宇. 京张高速铁路绿色设计与创新研究[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(5): 1-7.
- [5] 张可云, 杨丹辉, 赵红军, 陈晓东, 汤正仁. 数字经济是推动区域经济发展的新动力[J]. 区域经济评论, 2022(3): 8-19.
- [6] 李伟平. 公路隧道设计与施工的现状与问题探讨[J]. 公路, 2011(8): 293-298.
- [7] 李喆, 江媛, 姜礼杰, 黄文, 舒乐时, 梅勇兵, 李建斌. 我国隧道和地下工程施工技术与装备发展战略研究[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(10): 1717-1732.
- [8] 张俊儒, 燕波, 龚彦峰, 等. 隧道工程智能监测及信息管理系统的研究现状与展望[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(2): 567-579.
- [9] 张巨峰, 施式亮, 鲁义, 游波, 吴芳华, 吴宽. 大数据下瓦斯与煤自燃共生灾害智能预警系统: 数据特征、应用架构、关键技术[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(9): 60-66.
- [10] 万明富, 郝哲, 刘剑平, 刘斌. 超大跨公路隧道开挖与支护稳定性分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007(1): 71-73.
- [11] Shan, P.F., Yan, C.W., Lai, X.P., Sun, H.Q., Li, C. and Chen, X.Z. (2023) Evaluation of Real-Time Perception of Deformation State of Host Rocks in Coal Mine Roadways in Dusty Environment. *Sustainability*, **15**, Article No. 2816. <https://doi.org/10.3390/su15032816>
- [12] 张明聚. 岩土工程测试技术[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013: 225.
- [13] 刘德军, 仲飞, 黄宏伟, 左建平, 薛亚东, 张东明. 运营隧道衬砌病害诊治的现状与发展[J]. 中国公路学报, 2021, 34(11): 178-199.
- [14] 李君馨, 朱合华, 沈奕. 隧道智能施工研究的可视化分析与展望[J]. 土木工程学报, 2022, 55(S2): 1-11.
- [15] Chen, C.M. (2004) Searching for Intellectual Turning Points: Progressive Knowledge Domain Visualization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 5303-5310. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307513100>
- [16] Chen, C.M. (2005) CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **57**, 359-377. <https://doi.org/10.1002/asi.20317>