

基于 CiteSpace 的地铁施工安全研究热点及前沿分析

张影^{1,2,*} 谷迎迎^{1,2} 尚岩³ 田茹梦^{1,2} 彭磊⁴

1 河南理工大学应急管理学院 2 河南理工大学安全与应急管理研究中心

3 河南省烟草公司焦作市公司 4 河南理工大学能源科学与工程学院

DOI:10.12238/jsse.v2i2.8088

[摘要] 为客观有效的分析地铁施工安全领域的研究脉络与前沿动态,选择知网作为本文的文献检索引擎,将2000年—2023年的文献作为数据来源。利用文献计量学的理论和方法,采用动态网络分析的信息可视化技术和工具(CiteSpace)对地铁施工安全主题相关的文献进行分析,得到地铁施工安全领域的时间脉络、研究作者及机构可视化图谱、关键词共现图、关键词演进图和关键词突现图,从而表现出地铁施工安全领域的知识架构与演变规律。结果表明:(1)地铁施工安全领域论文研究数量总体表现出上升趋势,并在2008年呈现出论文数量暴增现象;作者的合作网络来看,有小型网络关系以及核心团队的出现,吴贤国发文量最多;机构之间合作交流密切,北京市轨道交通建设管理有限公司、北京交通大学土木建筑工程学院发文数量最多。(2)地铁施工安全领域研究热点有地铁隧道、数值模拟、地铁施工技术。研究前沿以现场监测、基坑开挖、安全工程、风险评估、数值模拟等为核心的科学问题。

[关键词] 地铁施工安全; CiteSpace; 知识图谱; 可视化分析

中图分类号: X947 **文献标识码:** A

Research Hotspots and Frontier Analysis of Subway Construction Safety Using CiteSpace

Ying Zhang^{1,2,*} Yingying Gu^{1,2} Yan Shang³ Rumeng Tian^{1,2} Lei Peng⁴

1 School of Emergency Management, Henan University of Technology

2 Research Center for Safety and Emergency Management, Henan University of Technology

3 Henan Tobacco Company Jiaozuo City Company

4 College of Energy Science and Engineering, Henan University of Technology

[Abstract] To objectively analyze the research context and frontier trends in subway construction safety, CNKI was chosen as the literature search engine, using literature from 2000 to 2023 as the data source. Using bibliometric methods and the information visualization technology and tool, CiteSpace, for dynamic network analysis, literature related to subway construction safety was analyzed. The chronological sequence, visualization maps of research authors and institutions, co-occurrence maps of keywords, evolution maps of keywords, and emergence maps of keywords in subway construction safety were obtained, demonstrating the knowledge architecture and evolution patterns in this field. The results show that:(1) The overall number of research papers in subway construction safety shows an upward trend, with a sharp increase in 2008. From the perspective of the author's collaborative network, small network relationships and core teams have emerged, with Wu Xianguo having the highest number of publications. There is close cooperation and exchange among institutions, with Beijing Rail Transit Construction Management Co., Ltd. and the School of Civil Engineering and Architecture at Beijing Jiaotong University having the highest number of publications.(2) The research hotspots in subway construction safety include subway tunnels, numerical simulation, and subway construction technology. The research frontiers focus on scientific issues such as on-site monitoring, excavation of foundation pits, safety engineering, risk assessment, and numerical simulation.

[key words] Subway construction safety; CiteSpace; knowledge map; Visualization Analysis

引言

作为承载着交通功能的载体,地铁已经成为我国城市发展中必不可少的基础设施。地铁施工一般地处市区繁华路段,居民密集,周期较长。近年,许多已建成或在建的地铁工程,施工的建设与安全矛盾日益凸显,引发了较多安全事故。不同类型事故所造成的后果有明显差异,物体打击、高空坠落等容易造成个人伤亡,坍塌、火灾、爆炸等易造成群死群伤^[1]。如2008年杭州地铁湘湖站基坑坍塌事故,造成21人死亡,被认定是历史上中国地铁最严重的坍塌事故。

目前不少学者对地铁施工安全领域进行深入研究。在对该领域数值模拟研究方面:赵昊楠等人依托ABAQUS有限元软件建立全地层三维数值模型,预测冻结温度场发展特性,并与现场实测温度数据进行验证,从而更加科学地指导工程施工^[2]。任建喜等人以西安地铁5号线某区间工程为背景,采用中隔壁法、交叉中隔壁法等不同的施工开挖方式进行模拟计算来确定在大断面黄土暗挖地铁隧道的合理施工办法^[3]。大规模的项目难以进行实验研究,利用计算机软件进行数值模拟,通过数值模拟结果与实际监测数据对比验证其正确性,能够更加科学地指导施工建设工作。在对地铁施工安全风险评估方面,常用的定量方法有人工神经网络(ANN)、支持向量机(SVM)、贝叶斯网络(BN)^{[4][5]}等:吴波等人运用主成分法、灰色关联-TOPSIS构建多尺度综合评价模型,对广州地铁某车站项目的施工期进行安全风险评估^[6]。王乾坤等人探究地铁深基坑施工安全风险因素动态作用规律,提出基于DEMATEL和FCM的地铁深基坑施工安全风险动态分析方法^[7]。总体而言,这些研究为地铁施工安全领域的理论研究和实践应用奠定了基础。

上述研究成果有助于地铁施工安全领域经验的积累并具有强大的指导价值。然而目前对该领域的综述研究较少,缺乏对地铁施工安全领域的研究热点与前沿分析。因此,本文运用文献计量学对地铁施工安全领域的文献进行梳理,分析二十年来的历史进程、研究热点、前沿动态与未来发展趋势,旨在能为地铁安全工作者开拓新的研究思路提供支持。

1 数据来源与研究方法

本文数据取自中国知识资源总库(CNKI)以提高数据的可靠性,采用高级检索方式,统计年份为2000—2023年,主题为地铁施工或城市轨道交通施工且含安全,删除与主题不相关的文献,一共得到精确匹配检索结果2418篇。本文以此为基础分析地铁施工安全相关文献的整体情况。

文献计量学是指通过文献中的主要作者、机构、期刊、关键词等特征与数据,运用理论统计的方法与手段,对某个相关的科技领域研究状况与发展趋势进行说明、评估与预测,从而对主要作者、文献及其相互联系进行有效识别^[8]。CiteSpace能够通过绘制知识图谱对文献进行分时段、动态化、多元化的信息可视化分析^[9]。该方法在图书情报学^[10]、中医药学^[11]、教育管理^[12]、经济管理^[13]、计算机科学^[14]等方面应用广泛。因此,本文利用文献计量学和数据分析软件CiteSpace对国内的地铁施工安全领域研究文献进行回顾与分析。

2 结果分析

2.1 发文量分析及时间特征

一个领域的科学研究进展如何,可以从其论文成果的时间分布中得到反映。(图1)展示了地铁施工安全领域的发文量随时间变化关系。从图中我们可以看出,我国对该领域研究在2008年是个明显的拐点,发文数量明显增长。据此,将地铁施工安全领域的研究可分为三个阶段。第一个阶段2000年—2007年处于起步阶段,我国在1981年北京和1995年上海正式开通地铁建设,只在少数大城市中开通,规模不大、关注度不高所以发表文章数量较少,发展趋势较慢。第二阶段2008年—2017年快速发展阶段,该时期较之前一阶段文章数量明显提高。由于2008年奥运会以及2010年世博会申办成功,北京和上海以及其他城市开启了轨道建设高潮^[15]。并且由于建设规模的增大,施工事故频发,尤其是2008年杭州地铁湘湖站基坑坍塌事故造成21人死亡^[16],国家对于地铁施工安全问题也更加重视。第三阶段2018年—2023年缓慢下降阶段,国家安全监管总局等相关部门监测到事故发生频率增加后会开展“运动式”隐患排查治理专项活动,发布铁路建设工程生产安全重大事故隐患判定标准等^[17],从而呈现出事故数量暂时回落,所以对于该领域关注度有所下降^[18]。

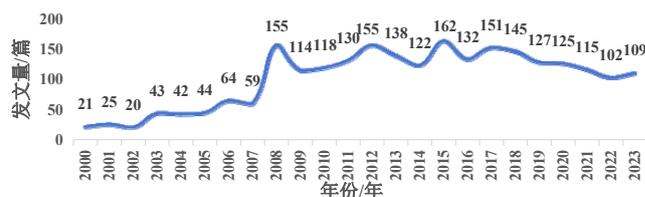


图1 地铁施工安全领域发文量随时间变化图

2.2 关键作者及研究机构分析

作者合作关系网络图谱可以发现某个研究领域学者之间的社会关系,为评价科研人员的学术影响力提供一个新的视角,有助于我们发现那些值得关注的科研人才^[19]。地铁施工安全领域作者合作图谱如图2所示,图中节点的大小代表作者的发文数量,节点之间的连线的粗细代表作者合作的强度,节点和线条由浅变深的颜色代表时间由远到近。从图中可知,在该领域研究以吴贤国、吴波、张顶立、任建喜、刘维宁等为主要核心,发文数量10篇以上的有10人,吴贤国发文量最多达到22篇,最高下载和被引的论文是基于贝叶斯网络的地铁施工风险管理研究^[20],发表在中国安全科学学报。从作者合作关系网络分布来看,国内地铁施工安全领域有小型网络关系以及核心团队的出现,但也有较为散乱的作者分布,因此要适时地加强同行间的交流与合作,以形成一支新生的研究队伍。

发文机构分析,共有节点645个,关系线375条,节点和线条颜色越深代表时间越近。从图3可知,地铁施工安全领域机构之间合作交流密切,以北京市轨道交通建设管理有限公司、北京交通大学土木建筑工程学院、西南交通大学土木工程学院等为代表的研究机构节点颜色由浅至深、跨度较大,得知其研究起步较早并且持续发展。而中南大学土木工程学院、广西大学土木建筑工程学院、济南轨道交通集团有限公司等是近几年在该领域研究较多的机构。

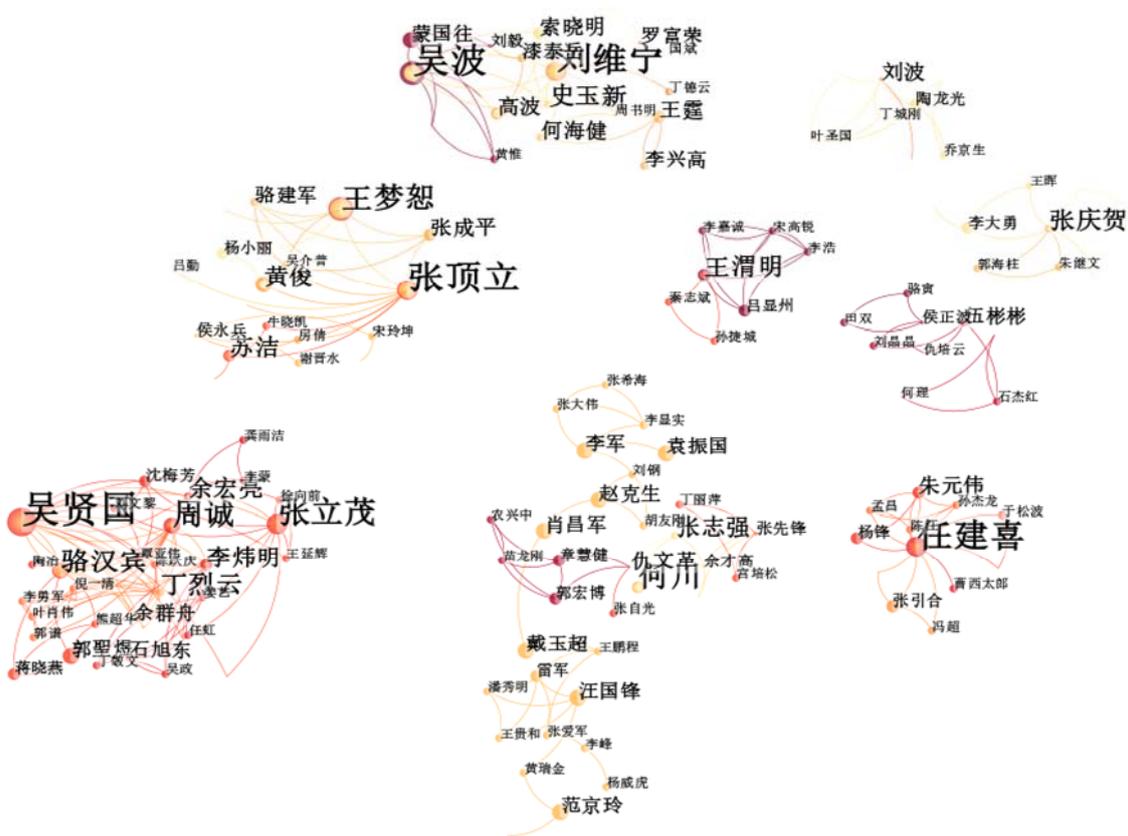


图2 地铁施工安全领域作者合作关系网络

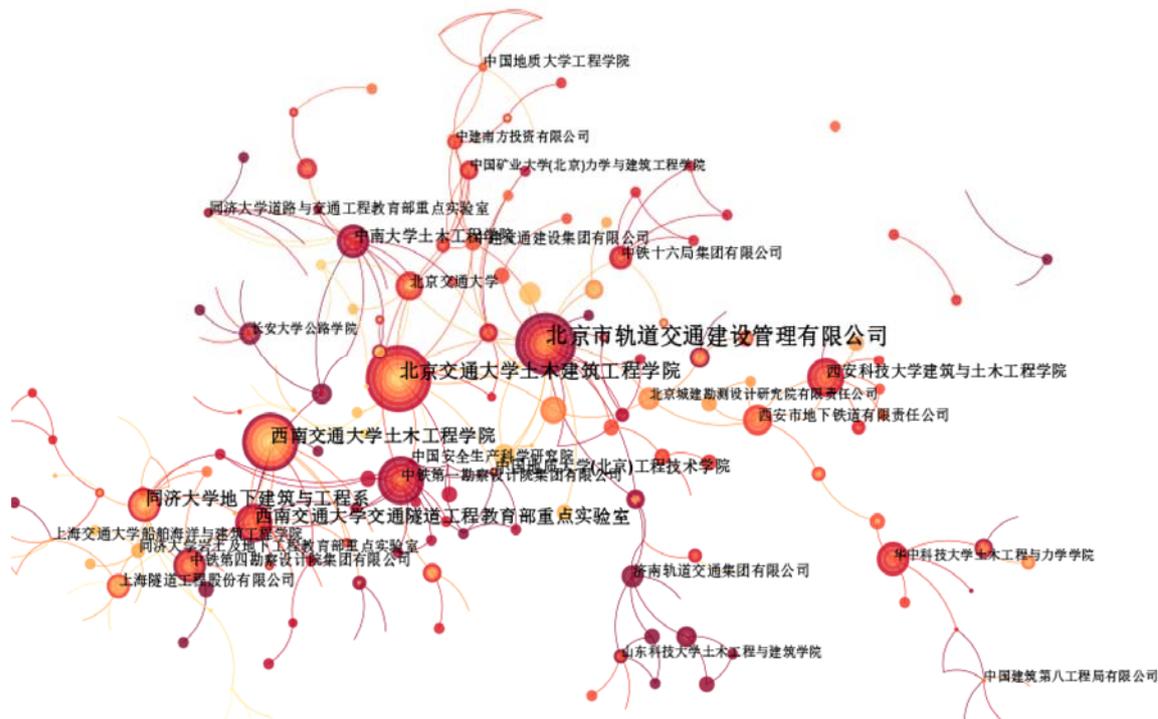


图3 地铁施工安全领域机构合作网络图谱

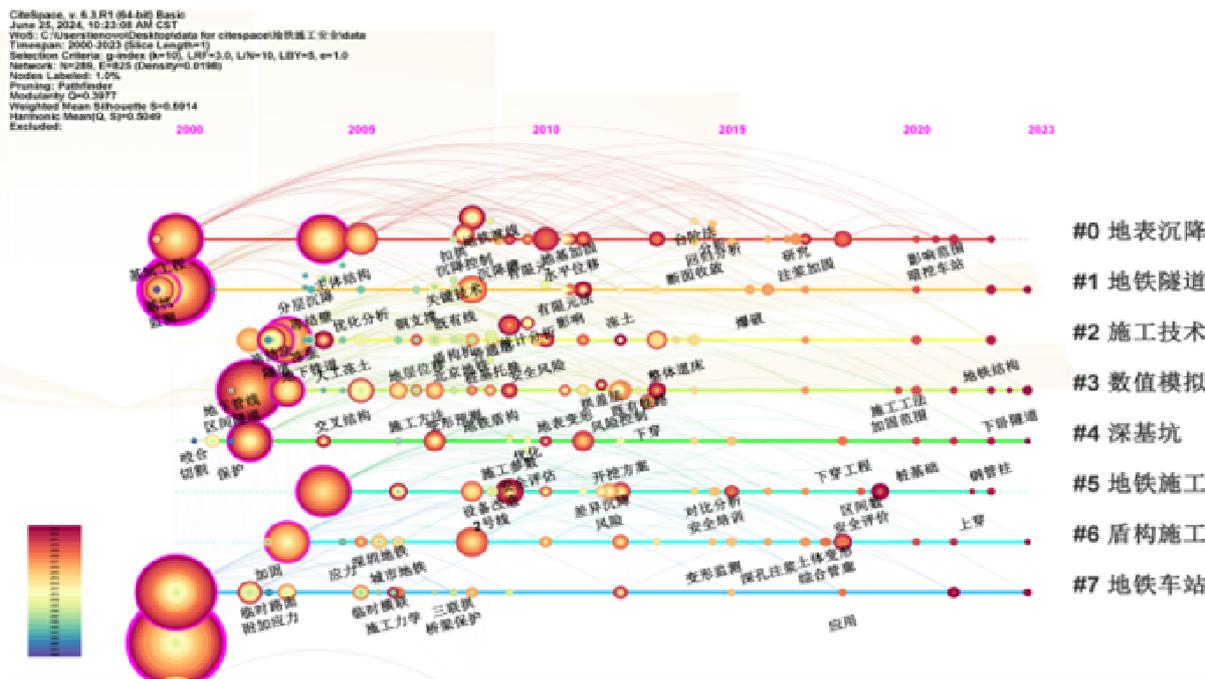


图5 地铁施工安全关键词演进图谱

2.3 研究热点及前沿分析

关键词是对某一领域研究成果的高度总结,从某种意义上来说,它能反映出该文献的主要研究内容,网络节点中心性是衡量节点重要性的一个关键指标^[21]。用CiteSpace对CNKI数据进行关键词可视化分析(图4),关键词节点共743个,线条2783条,文献频次100以上的高频关键词有10个,前三个分别是地铁(380次)、地铁车站(282次)、地铁隧道(243次)。将关键词数量以及中心性排名前10的导出整理(表1),发现地铁施工安全领域研究主要围绕着三个方向。第一个方向是地铁隧道、隧道工程等,中国由于不同地区的地质环境差异性导致地铁隧道建设面临的困难复杂多样,如南京、上海地区软土地层,北京的砂卵石,广州的复合地层等^[22]。地铁隧道的临近节点有开挖、基坑、盾构法等,这证明复杂的地质环境推动了地铁隧道工法的优化,特别是盾构法对于隧道建设贡献巨大。第二个方向是数值模拟,如在判定为近接施工后,应对已有建筑物的影响进行预测和分析,以判断是否需采取相应的措施,并对其影响的范围、程度进行量化分析^[23]。数值模拟就是常用的预测分析方法,利用计算结果对工程中可能发生的问题进行预测分析并且给出优化的合理建议^[24]。第三个方向是地铁施工、施工技术、深基坑等,根据地铁施工事故统计,最频繁发生的事故类型是坍塌^[25]。地铁施工坍塌的救援难度以及后果严重程度明显高于其他类型事故,一旦发生极易造成群死群伤和经济损失。

(图6)是地铁施工安全关键词共现图谱,结合(图5)演进图谱的节点颜色变化情况(节点和线条随时间由冷色变为暖色)能够更加清晰的看出地铁施工安全领域的研究前沿。与研究热点不同,研究前沿能够突显动态变化和潜在的研究问题。

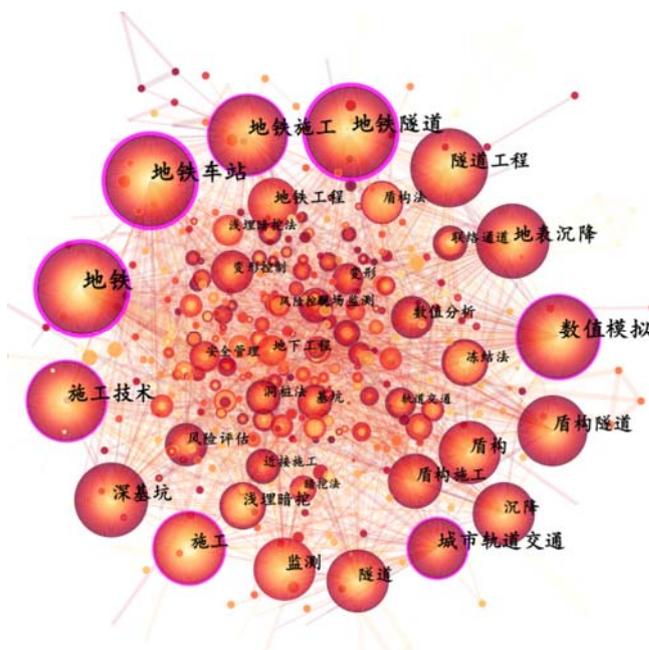


图4 关键词共现图谱

表1 地铁施工安全研究热点统计

关键词	数量	中心性
地铁	380	0.36
地铁车站	282	0.25
地铁隧道	243	0.25
数值模拟	230	0.19
地铁施工	156	0.18
施工技术	153	0.10
地表沉降	134	0.09
城市轨道交通	131	0.11
深基坑	112	0.09
盾构隧道	106	0.11

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts



图6 地铁施工安全关键词突现图谱

由关键词突现图谱可知, 25个突现词可分为三个阶段。2001—2007年主要关注的研究热点有地下连续墙、围护结构、隧道

工程、冻结法、浅埋暗挖法, 这些研究点大多数为地铁施工安全的基础性质研究, 较为关注施工技术。2010—2015年主要研究关注点在地铁工程、风险控制、监测、风险分析、控制措施、风险管理, 可以看出这个阶段开始注重地铁施工安全, 强调风险管理。在功效方面, 风险管理也是比应急管理能够从更基础层面避免损失的产生, 因此对于地铁施工面临的风险进行识别、分析和控制对于提高地铁施工安全至关重要。2017—2023年聚焦于现场监测、基坑开挖、安全工程、风险评估、数值模拟为核心的科学问题, 关注点更加向数字化与智能化转变, 是未来地铁施工安全方向的部分前沿。

3 结论

本文收集了2000年—2023年间知网中与地铁施工安全相关的文献, 使用知识图谱分析软件(CiteSpace)进行相关分析, 得出结论如下:

(1) 从时间脉络来看, 国内地铁施工安全领域研究经历了起步阶段、快速发展阶段和缓慢下降三个阶段。

(2) 从发文作者来看, 吴贤国、吴波、张顶立等是地铁施工安全领域的核心作者。从作者的合作网络来看, 有小型网络关系以及核心团队的出现。

(3) 从发文机构来看, 地铁施工安全领域的研究主要集中在高校和轨道交通公司, 不同机构之间合作交流密切。

(4) 从关键词分析来看, 地铁施工安全领域的研究热点有地铁隧道、数值模拟、地铁施工技术。研究前沿以现场监测、基坑开挖、安全工程、风险评估、数值模拟等为核心的科学问题。

在地铁施工全过程中, 施工阶段是事故多发的时期, 也是地铁安全管理重点与难点。在未来对地铁施工安全领域的研究重点会在上述基础上发展, 同时还存在需要突破的两个方面: 一是对于地铁施工安全技术方面的深入研究, 当前对这方面的研究关注度较低, 但在现实的施工建设过程中又是亟需。因此, 应加快对地铁施工安全相关技术问题的进一步研究。二是优化管理策略。良好的管理是关键, 大多数事故的发生都来源于人的不安全行为和物的不安全状态。在施工阶段中应急处置措施不当、违章指挥、隐患排查不彻底, 都会带来严重的后果。

4 致谢

感谢河南省哲学社会科学规划年度项目(项目编号: 2023 BSH009)、河南省软科学研究计划项目(项目编号: 2424004101 97)、河南理工大学2024年度安全学科“双一流”创建面上项目培育资助项目(项目编号: AQ20240748)、河南理工大学人文社会科学基金资助(项目编号: SKQT2024-11)、河南理工大学青年骨干教师资助计划(项目编号: 2023XQG-16)以上基金项目对本文的支持。

[参考文献]

[1] 刘婉莹. 地铁施工坍塌事故致因机理及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 江苏: 中国矿业大学, 2022.

[2] 赵昊楠, 夏才初, 王兴开. 上海软土地层中地铁联络通道冻结法施工的温度场发展特性[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(1): 80-86.

- [3]任建喜,陈旭,曹西太郎.大断面黄土地铁隧道不同浅埋暗挖施工方法比较分析[J].城市轨道交通研究,2020,23(01):120-123.
- [4]Xianguo Wu,Huitao Liu,Limao Zhang,Mirosław J.Skibniewski,Qianli Deng,Jiaying Teng.A dynamic Bayesian network based approach to safety decision support in tunnel construction [J].Reliability Engineering and System Safety,2015,134:157-168.
- [5]Z.Z.Wang,C.Chen.Fuzzy comprehensive Bayesian network-based safety risk assessment for metro construction projects [J].Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research,2017,70:330-342.
- [6]吴波,蔡琦,刘聪,等.城市地铁车站施工安全风险多尺度评估模型及应用[J].安全与环境学报,2023,23(03):633-641.
- [7]王乾坤,朱科,郭佩文.DEMATEL和模糊认知图在地铁深基坑施工安全风险动态评估中的应用[J].安全与环境学报:1-10.
- [8]苗文文,王伟,邵志国.基于CiteSpace软件的地铁运营安全风险研究文献计量分析[J].城市轨道交通研究,2021,24(9):142-146.
- [9]张震宇,侯冠宇,张春华.产业结构升级研究进展、热点探析与趋势展望——基于CiteSpace文献计量分析[J].生态经济,2023,39(06):220-227.
- [10]侯剑华,胡志刚.CiteSpace软件应用研究的回顾与展望[J].现代情报,2013,33(04):99-103.
- [11]杨凡,左韬.基于CiteSpace和VOSviewer对于近20年中医治疗青光眼视神经病变的可视化分析[J].中医临床研究,2024,16(07):132-136.
- [12]柯文涛.工具的祛魅:CiteSpace在教育研究中的应用与反思[J].重庆高教研究,2019,7(05):117-128.
- [13]侯冠宇,胡宁宁,熊金武.数字普惠金融对家庭风险金融资产配置行为的影响研究[J].湖南社会科学,2022,(04):44-51.
- [14]陈丹妮,赵剑冬,邓熊娜,等.我国智能优化算法的研究现状——基于CiteSpace的可视化分析[J].计算机应用与软件,2023,40(04):251-256.
- [15]任敦法.世博会展示“城市轨道交通,让生活更美好”——“2010中国(上海)轨道交通国际论坛暨《城市轨道交通研究》理事会年会”侧记[J].城市轨道交通研究,2010,13(06):1-3+110-113.
- [16]张旷成,李继民.杭州地铁湘湖站“08.11.15”基坑坍塌事故分析[J].岩土工程学报,2010,32(S1):338-342.
- [17]《铁路建设工程生产安全重大事故隐患判定标准》发布[J].建筑安全,2023,38(10):1.
- [18]闫惠娇.我国地铁建设事故致因分析与管理对策研究[D]:[硕士学位论文].辽宁:大连理工大学,2022.
- [19]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(02):242-253.
- [20]吴贤国,丁保军,张立茂,等.基于贝叶斯网络的地铁施工风险管理研究[J].中国安全科学学报,2014,24(01):84-89.
- [21]朱彪彪,曹伟,虞鹏鹏,等.基于CiteSpace的地质大数据与人工智能研究热点及前沿分析[J].地学前缘,1-20.
- [22]《中国公路学报》编辑部.中国交通隧道工程学术综述·2022[J].中国公路学报,2022,35(04):1-40.
- [23]王琳,罗志华,张晗.地铁车站深基坑开挖对临近建筑物影响的三维有限元分析[J].建筑结构,2021,51(S1):1928-1934.
- [24]尹利洁,李宇杰,朱彦鹏,等.兰州地铁雁园路站基坑支护监测与数值模拟分析[J].岩土工程学报,2021,43(S1):111-116.
- [25]胡群芳,秦家宝.2003—2011年地铁隧道施工事故统计分析[J].地下空间与工程学报,2013,9(03):705-710.

作者简介:

张影(1988—),女,汉族,河南南阳人,博士,副教授,研究方向:城市风险管控与应急管理。