

基于 CiteSpace 的煤矿沿空留巷 知识图谱可视化分析

孙旭鹏, 张自政*, 徐世强, 罗佳豪, 覃疏捷

(湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 为系统揭示煤矿沿空留巷领域的研究热点、研究主体的合作特征(包括作者合作网络与机构协作关系)以及研究热点的演进路径与前沿趋势, 基于 CiteSpace 知识图谱技术, 对 1994 年—2023 年中国知网(CNKI)收录该领域的 3 727 篇文献进行可视化分析。研究表明:(1)沿空留巷领域发文量的时序特征反映该领域研究动态呈现技术引入、应用推广、技术升级、高速增长及调整转型这 5 个阶段的演化规律, 政策规划与深部开采需求是核心驱动因素;(2)作者合作网络呈“紧密内聚型”, 柏建彪、华心祝等学者主导围岩控制研究, 但机构间合作密度低(0.001 1), 协同创新不足, 易导致数据孤岛;(3)“切顶卸压”“数值模拟”等技术成为近年研究焦点, 智能化决策与绿色材料研发是转型方向。综合研究结果可见, 未来需深化 AI 与大数据技术应用、构建跨学科平台、完善数据共享机制, 以推动沿空留巷技术向智能化、标准化跨越。

关键词: 沿空留巷; CiteSpace; 知识图谱; 可视化分析; 信息化技术

中图分类号: TD82

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2025)01-0016-08

Visualization Analysis of Knowledge Graph of Gob-side Entry Retaining in Coal Mine Based on CiteSpace

SUN Xupeng, ZHANG Zizheng, XU Shiqiang, LUO Jiahao, QIN Shujie

(School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: To reveal the research hotspots, the collaboration characteristics of research subjects (including the author collaboration networks and institutional collaboration relationships), and the evolution path and frontier trends of research hotspots in the field of gob-side entry retaining, a visual analysis is conducted on 3 727 papers in this field published in CNKI from 1994 to 2023, based on the CiteSpace knowledge mapping technology. The research shows that firstly, according to the temporal characteristics of the number of published papers, the research dynamics in the field of gob-side entry retaining have evolved through five stages, i.e. technology introduction, application promotion, technology upgrading, rapid growth, and adjustment and transformation. Policy planning and the demand for deep mining are the core driving factors. Secondly, the author collaboration network is of a “tightly cohesive type”, with scholars, such as Bai Jianbiao and Hua Xinzhu leading the research on surrounding rock control. However, the collaboration density between institutions is low (0.001 1), indicating insufficient collaborative innovation and a tendency towards data silos, and lastly, technologies such as “roof cutting and pressure relief” and “numerical simulation” have become the focus of recent researches, while intelligent decision-making and green material development are the transformation directions. In conclusion, the research results suggest that in the future, it is necessary to deepen the application of AI and big data technologies, build cross-disciplinary platforms, and improve data sharing mechanisms to

收稿日期: 2024-02-15

基金项目: 湖南省教育厅重点资助项目(24A0359); 湖南省优秀青年自然科学基金资助项目(2024JJ4021)

* 通信作者, E-mail: 1010096@hnust.edu.cn

promote the leap of gob-side entry retaining technology towards intelligence and standardization.

Keywords: gob-side entry retaining; CiteSpace; knowledge graph; visual analytics; information technology

沿空留巷能够较好地实现无煤柱护巷,是有利于矿井安全生产和改善矿井技术经济效果的一项重要护巷技术^[1]。煤炭绿色开采和智能开采已成为煤炭行业的发展趋势和研究热点,在信息化技术快速发展的背景下,云计算、大数据、人工智能、数值模拟以及三维可视化等理论方法和先进技术逐步应用于该行业^[2]。同时,我国煤炭开采技术不断发展,开采强度日益增加,导致浅部煤炭资源逐渐枯竭,深部开采成为资源接续的必然选择,其重要性日益凸显^[3],深部开采面临的地质条件复杂性(如高地应力、强流变性)对沿空留巷技术提出了更高要求。值得注意的是,尽管数字信息化技术为深部巷道围岩控制提供了新路径,但现有研究仍主要集中于沿空留巷效果评价和围岩变形监测等传统方向^[4],当前技术体系在智能化决策支持(如数字孪生建模)^[5-6]与精准化控制(如自适应支护)^[7-8]等新兴领域的应用转化存在显著缺口,亟需构建多技术融合的智能决策框架。

近些年来,专家学者们对深部巷道围岩的控制技术及信息化技术在该领域中的应用开展了多方面的研究。在深部矿井巷道的围岩控制方面,柏建彪等^[9]采用理论分析和现场试验的方法,阐明了深部巷道围岩控制的基本原理,提出深部巷道围岩控制的基本技术和控制过程,并成功应用于工程实践;何满潮等^[10]对深部开采与浅部开采的岩石工程力学特性的差异进行综合分析,主要考察恶劣环境下的“三高一扰动”的力学特性转化特点、矿井转型的四个方面以及六大灾害表现形式,并且指出深部工程岩体力学系统为非线性力学系统,提出在深部开采的巷道围岩控制中,今后的研究重点为深部开采工程中的基础研究。信息化技术在该领域中的应用方面,王信等^[11]、兰建功等^[12]设计一种基于光纤光栅的在线监测系统,实现了对巷道支护过程中的应力变化情况的实时监测;张国锋等^[13]针对深井高应力区域切顶卸压沿空成巷工艺需求,研发多级联动的矿压智能监测平台,集成传感技术与通信模块,有效监测切顶卸压沿空成巷过程中的矿压及围岩稳定性变化;武继胜^[14]通过整合多源数据分析、三维数值仿真与工程实证方法,构建基于贝叶斯网络与决策树算法的双模型预测体系,运用所建模型开展沿空留巷可行性评估,并制定巷道支护优化方案,形成具有普适性的技术评价体系;CHEN 等^[15]提出“柔模混凝土墙沿空留巷技术”,将信息化技术融入巷道围岩稳定性控制中,采用 FLAC^{3D}数值模拟技术构建采动应力与塑性区演化的动态模型,分析工作面推进过程中围岩应力峰值转移规律及顶板破断特征,基于现场监测系统实时反馈巷道变形、充填体承载状态及锚杆应力数据,动态调整支护参数并实施滞后支护措施;张自政等^[4]梳理了沿空留巷技术的发展历程及研究现状,针对围岩力学参数反演问题建立了智能反演 workflow,提出支护参数智能优选设计方法,并指出沿空留巷地质参数等数据积累较少,限制了信息化技术在该领域的应用。

综上所述,当前我国专家学者对沿空留巷领域的研究主要集中于深部矿区开采中沿空留巷的巷道支护、深部巷道的围岩控制,信息化技术与沿空留巷技术的结合尚处于起步阶段,而沿空留巷技术与 AI、大数据等信息化技术结合交叉是未来研究的发展趋势。为了更全面、更深入地了解该领域的研究发展现状,本文利用 CiteSpace 软件的知识图谱技术,基于文献计量分析方法,对我国煤矿沿空留巷领域的相关文献进行可视化分析,进而揭示该领域的研究热点和演化趋势。

1 数据来源与研究框架构建

1.1 数据来源

本研究以中国知网(CNKI)数据库中相关学术期刊论文为数据来源,以“沿空留巷”为主题进行检索,选择“矿业工程”学科,研究时段设为 1994 年—2023 年,最终得到相关文献 3 727 篇;在 CNKI 数据库中将文献以 RefWorks 的格式导出,使用 CiteSpace 软件对文献的作者、研究机构和关键词等进行知识图谱可视化分析。

1.2 研究框架

本研究基于已采集的文献数据,对沿空留巷研究领域的发文趋势进行分析,通过比较各时间段的发文

量,划分出该领域研究发展的 5 个阶段,并对每个阶段的特点进行描述和总结;在 CiteSpace 可视化分析中,通过分析文献的作者及研究机构信息,生成可视化知识图谱,突出展示沿空留巷领域重要发文作者和研究机构的发文特点,揭示核心作者与机构的影响力分布及协作网络结构特征,映射当前领域学术共同体的协作模式与知识扩散路径;最后以文献中出现的关键词为基础,绘制出关键词共现、关键词聚类以及关键词突现知识图谱,可视化地分析煤矿沿空留巷研究领域的研究热点及其演化趋势^[16]。

2 煤矿沿空留巷研究动态分析

2.1 基于发文量动态的沿空留巷技术演进特征分析

文献发文量作为技术成果产出活跃度的核心表征指标,其时序变化趋势能直观反映该领域研究动态的演进特征。1994 年—2023 年煤矿沿空留巷研究领域的文献发文量统计结果如图 1 所示。

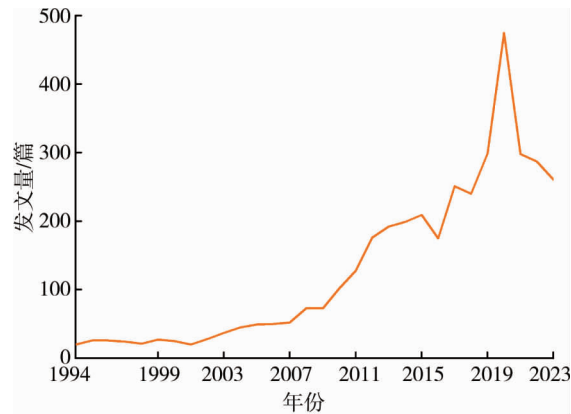


图 1 煤矿沿空留巷领域文献年发文量变化趋势

由图 1 可知,1994 年—2023 年煤矿沿空留巷领域的研究动态可以分为 5 个发展阶段。

1) 技术引入与探索阶段:1994 年—2003 年,该领域研究的年发文量维持在 37 篇以下,年增幅不足 10%。该阶段的煤矿沿空留巷技术尚处于工程试验与小规模应用阶段。尽管全球能源需求扩张推动煤炭产量增长,但井下巷道设计仍以传统煤柱支护工艺为主导,相关理论研究集中于围岩变形经验公式与刚性支护参数优化。这一时期的技术局限性(如厚煤层大断面巷道留巷复用率低、支护成本高等)导致沿空留巷领域学术成果产出量增幅平缓^[1],且学术成果多局限于薄及中厚煤层工况。

2) 应用推广及政策驱动阶段:2003 年—2007 年,年发文量缓慢增加至 52 篇。该阶段内中国经济高速增长拉动煤炭消费量激增,深部开采与资源回收率提升成为行业刚需,需求倒逼沿空留巷技术创新。同时以国家“十五”科技计划为契机的政策扶持,促进高预应力锚索支护与围岩-充填体协同作用机理的研究,推动技术应用从薄及中厚煤层向厚煤层等复杂工况扩展。

3) 技术升级阶段:2008 年—2013 年,年发文量为 73~192 篇。该阶段沿空留巷的相关技术研究热度急剧攀升,且随着煤炭资源开采向深部转移及“绿色矿山”政策的推动,以锚杆-注浆协同支护为核心的围岩主动控制理论成为主流,沿空留巷技术向高应力、强采动条件拓展。国家“十二五”科技支撑计划将沿空留巷列为安全高效开采及资源回收利用的重点课题,年发文量突破 150 篇,研究焦点转向充填材料性能优化与采动裂隙定量预测,为技术规模化应用奠定理论基础。

4) 高速增长阶段:2014 年—2019 年,年发文量为 199~299 篇。在智能化矿山建设浪潮下,远程监测系统^[13]、数值仿真平台^[17-18]等技术融入沿空留巷设计,推动研究主题向多学科交叉延伸。2016 年《煤炭工业发展“十三五”规划》明确无煤柱开采技术产业化目标,驱动年发文量增速达 20%,研究机构合作网络扩张至高校-企业-装备厂商三方联动,成果转化效率显著提升。

5) 调整转型阶段:2020 年—2023 年,年发文量最高为 475 篇,最低 261 篇。该阶段的学术成果受“双碳”目标及煤矿智能化升级提速影响^[19-20],发文量冲高至 475 篇(2020 年)后逐步回落,研究模式从规模

扩张转向精细化创新,基于 AI 的支护参数自适应决策、低能耗充填材料^[4]研发成为新增长点,2021 年—2023 年年发文章量维持在 260 篇以上,表征技术体系成熟化和向高质量研究转型的趋势。

2.2 文献作者分布分析

以国内煤矿沿空留巷领域研究的发文作者为数据基础,运用 CiteSpace 软件绘制出文献作者合作网络的知识图谱,如图 2 所示。研究时间段为 1994 年—2023 年,时间切片设置为 2 a,选择每个时间切片中发文章量按降序排序的前 25 位作者;作者名的字号和结点大小与其发文章量呈正相关关系,结点之间的连线表示作者之间合作发文的关系,作者结点的连线数越多,说明该作者在煤矿沿空留巷领域的中心度越高,与其他作者的合作也相对更紧密。图 2 中右下角的图谱颜色分级用于标注作者之间合作发生的时间远近,颜色越深表示合作时间越近,颜色越浅表示合作时间越久远。



图2 煤矿沿空留巷领域研究文献作者合作网络

由图 2 可知:煤矿沿空留巷领域研究的发文作者结点共有 903 个,连接线共有 920 条,结点连线密度为 0.002 6,由此来看作者之间的联系不密切,但从作者合作网络中可以看到作者合作形式以小团队为主,团队内作者联系较为紧密,团队之间几乎没有合作,同一团队的作者合作发表论文的数量较多。柏建彪是该领域的最大贡献者之一,其发表的论文数量多达 53 篇,发文章量排行第一,其次是华心祝和陈勇,分别发表论文 34 篇和 31 篇。图 2 还清晰地展示出诸多子网的结构,华心祝、柏建彪、陈勇和张农等学者处于网络的核心位置,表明他们在该领域具有较高的学术地位和影响力,这些核心学者与众多其他学者建立了广泛的合作关系,形成一个紧密的学术合作网络;该网络还呈现出明显的聚类现象,不同聚类代表不同的研究方向或研究团队。例如,柏建彪和华心祝聚焦于矿山岩体力学和巷道支护技术的研究^[1,9,21-24],他们与陈勇、张自政等学者紧密合作,共同探讨深部、软岩、动压巷道及沿空留巷围岩控制理论 and 支护技术^[4,9,25-29]。这种聚类现象不仅反映了学者们在研究方向上的分工与合作,也体现了该领域内知识的多元化和交叉融合。此外,网络中还存在一些边缘节点,这些节点代表的学者虽然与核心学者的合作较少,但丰富了整个网络的结构,为该领域的研究提供了更多的视角和可能性。

该作者合作网络图谱揭示了该研究领域内学者之间的“紧密内聚型”合作模式,为了解该领域的知识结构和学术生态提供重要参考。

2.3 研究机构合作网络演化分析

利用 CiteSpace 软件中的结点类型分析机制,选择“Institution”选项,对机构进行细致研究。研究时段和时段切片参数设置与发文作者统计相同,选择每个时间切片中发文章量位于前 20 的机构,研究机构名称均显示一级研究机构,得到我国煤矿沿空留巷研究领域的发文机构分布图谱,如图 3 所示。图 3 中机构名称的字号和节点大小反映机构发文章量的多少,机构之间的合作关系通过连接线表示,结点之间的连线数量表示机构之间合作关系的密切程度,连线的颜色表示合作关系发生的时间远近,连线颜色越深代表合作时间越近,越浅则代表合作时间越早。

图 4 和图 5 呈现聚类效果显著,模块度 Q 值高达 0.827 ($Q>0.3$ 表明显著聚类结构),平均轮廓值 S 为 0.896 ($S>0.5$ 表明聚类合理性高).根据图 4 分析发现,“沿空留巷”作为核心主题,与“切顶卸压”“数值模拟”“巷旁充填”“围岩控制”“高水速凝材料”“空间锚栓加固网”和“锚杆支护”等关键词紧密关联,共同构成煤矿沿空留巷技术的研究热点,这些关键词在研究热点关联网络(图 5)中也得到了印证,充分说明围岩稳定性和支护方法的重要性.数值模拟和柔模混凝土等技术手段在优化支护方案和提高围岩控制效果方面发挥了关键作用,体现该领域研究的多学科交叉特点.未来研究可聚焦于充填材料性能优化、数值模拟精度提升以及标准化技术的推广,以推动煤矿沿空留巷技术的进一步发展和应用.

3.2 突现性关键词识别与强度分析

为动态识别煤矿沿空留巷研究主题的时序演化特征,在关键词共现与聚类分析(图 4、图 5)的基础上,采用文献关键词突现性检测算法,识别 1994 年—2023 年突现强度前 25 位关键词的突现时间段,并筛选掉其中重复和不具有代表性的关键词,生成关键词突现分布如表 1 所示,其中“突现强度”量化关键词出现频率的增长程度,数值越大表明该主题在突现期内关注度提升越显著;“起始年”和“骤减年”界定热点的活跃阶段,表征该关键词对应的理论技术对政策激励或工程技术需求的阶段性响应.

表 1 煤矿沿空留巷研究关键词突现强度及时序分布

关键词	突现强度	起始年	骤减年	关键词	突现强度	起始年	骤减年
协同承载	8.79	1994	2009	锚索	8.39	2005	2013
堆喷外加剂	8.79	1994	2009	锚杆支护	7.90	2005	2014
堆喷工艺	8.18	1994	2007	Y 型通风	8.57	2008	2014
储备型技术	8.16	1994	2011	数值模拟	6.41	2015	2016
密集钻孔	7.85	1994	2007	深井	6.48	2016	2019
定向预裂	7.74	1994	2007	切顶卸压	35.74	2020	2023
一体化防治	6.97	1994	2010	补强支护	11.31	2021	2023
巷道围岩变形	6.63	1994	2004	留巷	9.26	2021	2023
高水速凝材料	8.25	1995	2012				

根据表 1 可知,1994 年—2023 年,煤矿沿空留巷领域的研究热点发生了显著的变化,其阶段性变化与行业技术需求及政策导向高度吻合.

1994 年—2012 年,以支护工艺优化与材料创新为研究核心,“协同承载”“堆喷外加剂”“高水速凝材料”等关键词反映了浅部开采时代对巷道稳定性提升的迫切需求.此阶段通过“十一五”科技计划推动高预应力锚索支护技术研发,初步揭示了围岩-充填体协同作用机理,但技术应用仍局限于薄及中厚煤层工况.

2005 年—2014 年,深部开采需求激增驱动技术向支护体系革新与通风效能提升转型.关键词“锚索”“锚杆支护”“Y 型通风”的集中突现,标志着围岩主动控制理论的深化与技术体系的逐步完善.在“十二五”绿色矿山政策驱动下,锚杆-注浆协同支护技术成为主流,巷道支护强度提升,适用范围扩展至厚煤层及高地应力环境.

2015 年后,深部复杂地质条件推动技术向精准化与智能化跃迁.“数值模拟”与“深井”的时序衔接揭示了技术探索向工程实践的过渡特征^[32-34].数值模拟依托其经济性与可视化优势,成为深井围岩应力场预测的核心工具,其应用普及受益于 2016 年《能源技术革命创新行动计划》的政策倾斜.2020 年,“切顶卸压”以 35.74 的超高突现强度成为技术制高点,该技术以“切顶短壁梁”理论为基石,结合矿压智能监测平台实现围岩应力动态调控,通过典型案例(如韩家湾煤矿工程)验证了该技术可将留巷稳定周期延长至传统工艺的 3.2 倍^[35].

2021 年突现的“补强支护”与“留巷”可置于智能化框架下解读,为应对深部开采中围岩应力场动态演化与支护参数的高维非线性关系,“补强支护”可依赖机器学习算法实现支护参数的精准设计,“留巷”

则可利用低能耗充填材料响应绿色开采需求^[36]。然而,机构合作密度低至 0.001 1 暴露的数据孤岛问题,制约了“数值模拟-智能决策-工程验证”技术闭环的构建。

综合对表 1 的分析可知,我国煤矿沿空留巷技术发展呈现“被动承载”到“主动调控”的范式跃迁。这一技术转型是由复杂地质条件的深部开采技术倒逼效应与政策工具的迭代赋能共同驱动,其内核体现围岩控制的三重突破:从依赖材料强度的静态支护转向锚杆-注浆协同的主动加固体系,最终演化至切顶卸压智能调控技术。这种“经验依赖”转向“数据驱动”的范式重构,标志着煤矿开采技术已进入多源信息融合与智能决策协同的新发展阶段。

4 结论

1) 1994 年—2023 年,沿空留巷技术研究经历了技术引入、应用推广、技术升级、高速增长及调整转型 5 个阶段,年发文量从初期不足 37 篇增长至峰值 475 篇。政策(如“十三五”规划、“双碳”目标)与技术需求(深部开采、智能化)是推动研究规模扩张与转型的核心动力。

2) 作者合作网络呈现“紧密内聚型”特点,柏建彪、华心祝等核心学者主导了围岩控制与支护技术的研究,但跨团队合作较少;研究机构以高校为主,机构间合作密度低。高校-企业-装备厂商协同创新网络需进一步强化,消除数据孤岛,以突破数值模拟精度等技术瓶颈。

3) “围岩控制”“切顶卸压”“数值模拟”为核心主题,研究焦点从早期经验公式优化转向智能化决策;2020 年后“切顶卸压”成为技术爆发点,数值模拟技术为复杂条件的深井开采提供了关键支撑。未来 AI 与大数据将应用于支护参数自适应优化、矿压实时预警和智能参数反演系统开发,推动沿空留巷从“经验依赖”向“数据驱动”转型。

4) 信息化技术(光纤矿压监测、数值仿真)与沿空留巷技术的融合逐步深化,但数据积累不足仍制约其应用广度,未来需建立沿空留巷地质参数数据库与技术标准体系,并加强多学科交叉研究,此举措是解决数据孤岛、提升信息化应用效能的关键路径。

参考文献:

- [1] 华心祝.我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议[J].煤炭科学技术,2006,34(12):78-81.
- [2] 王世斌,侯恩科,王双明,等.煤炭安全智能开采地质保障系统软件开发与应用[J].煤炭科学技术,2022,50(7):13-24.
- [3] 侯朝炯,王襄禹,柏建彪,等.深部巷道围岩稳定性控制的基本理论与技术研究[J].中国矿业大学学报,2021,50(1):1-12.
- [4] 张自政,柏建彪,王襄禹,等.我国沿空留巷围岩控制技术研究进展与展望[J].煤炭学报,2023,48(11):3979-4000.
- [5] 李全生,刘举庆,李军,等.矿山生态环境数字孪生:内涵、架构与关键技术[J].煤炭学报,2023,48(10):3859-3873.
- [6] ZHANG Q, LIU J H, CHEN X. A literature review of the digital thread: definition, key technologies, and applications[J]. Systems, 2024,12(3):70.
- [7] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018(2):295-305.
- [8] 葛世荣,张晞,薛光辉,等.我国煤矿煤机智能技术与装备发展研究[J].中国工程科学,2023,25(5):146-156.
- [9] 柏建彪,侯朝炯.深部巷道围岩控制原理与应用研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(2):145-148.
- [10] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005(16):2803-2813.
- [11] 王信,李连庆.沿空留巷充填体应力变化光栅监测系统及应用[J].煤炭科学技术,2012,40(12):93-96.
- [12] 兰建功,张红俊.基于光纤光栅传感器的巷道矿压监测方法研究[J].煤炭技术,2022,41(2):121-124.
- [13] 张国锋,何满潮,俞学平,等.白皎矿保护层沿空切顶成巷无煤柱开采技术研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(4):511-516.
- [14] 武继胜.沿空留巷适应性预测及巷道支护技术研究[D].青岛:山东科技大学,2017.
- [15] CHEN D C, WANG X Y, WU S, et al. Study on stability mechanism and control techniques of surrounding rock in gob-side

- entry retaining with flexible formwork concrete wall[J]. Journal of Central South University, 2023,30(9):2966-2982.
- [16] 陈宝辉,李旭,王甜甜,等.基于 CiteSpace 的中国煤矿地质保障知识图谱可视化分析[J].煤矿安全,2023,54(11):164-172.
- [17] 郭力,赵静,元永国. FLAC^{3D} 在巷道支护中的模拟分析[J].山西焦煤科技,2011,35(3):20-22.
- [18] 田龙. FLAC^{3D} 在巷道支护中的数值模拟分析[J].内蒙古煤炭经济,2014(1):92.
- [19] 王琦,何满潮,王允偲,等.切顶卸压无煤柱自成巷研究进展与展望[J].采矿与安全工程学报,2023,40(3):429-447.
- [20] 何满潮,王琦,吴群英,等.采矿未来:智能化 5G N00 矿井建设思考[J].中国煤炭,2020,46(11):1-9.
- [21] 华心祝,李琛,刘啸,等.再论我国沿空留巷技术发展现状及改进建议[J].煤炭科学技术,2023,51(1):128-145.
- [22] 柏建彪,周华强,侯朝炯,等.沿空留巷巷旁支护技术的发展[J].中国矿业大学学报,2004,33(2):183-186.
- [23] 柏建彪,张自政,王襄禹,等.高水材料充填沿空留巷应力控制与围岩强化机理及应用[J].煤炭科学技术,50(6):16-28.
- [24] 柏建彪,李文峰,王襄禹,等.采动巷道底鼓机理与控制技术[J].采矿与安全工程学报,2011,28(1):1-5.
- [25] 陈勇,柏建彪,王襄禹,等.沿空留巷巷内支护技术研究与应用[J].煤炭学报,2012,37(6):903-910.
- [26] 陈勇,柏建彪,朱涛垒,等.沿空留巷巷旁支护体作用机制及工程应用[J].岩土力学,2012,33(5):1427-1432.
- [27] 张自政.沿空留巷充填区域直接顶稳定机理及控制技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2016.
- [28] 张自政,柏建彪,王卫军,等.沿空留巷充填区域直接顶受力状态探讨与应用[J].煤炭学报,2017,42(8):1960-1970.
- [29] 张自政,柏建彪,陈勇,等.浅孔爆破机制及其在厚层坚硬顶板沿空留巷中的应用[J].岩石力学与工程学报,2016,35(增刊1):3008-3017.
- [30] 徐超,杨通,王凯,等.基于 Citespace 的煤与瓦斯共采研究知识图谱分析[J].煤炭科学技术,2023,51(增刊1):86-95.
- [31] 谷雷,朱权洁,李莹莹,等.基于 CiteSpace 的瓦斯灾害智能预警文献可视化分析[J].华北科技学院学报,2021,18(2):20-27.
- [32] 吕龙.祥升煤矿 6 号煤柔模混凝土沿空留巷技术研究与应用[J].煤矿现代化,2022,31(1):1-3.
- [33] 张农,陈红,陈瑶.千米深井高地压软岩巷道沿空留巷工程案例[J].煤炭学报,2015,40(3):494-501.
- [34] 高峰,谢福星.深井沿空留巷全生命周期控制实践与效果分析[J].建井技术,2020,41(4):10-14.
- [35] 白铭波,霍军鹏,马小宁,等.韩家湾煤矿沿空留巷技术及矿压显现规律[J].陕西煤炭,2021,40(4):53-58.
- [36] 张吉雄,张强,巨峰,等.深部煤炭资源采选充绿色化开采理论与技术[J].煤炭学报,2018,43(2):377-389.