

# 煤矿采矿工程中巷道支护技术的优化与创新

任炎斌 赵瑞杰 王炎凯

山西襄矿晋平煤业有限公司 山西长治 046203

**【摘要】**随着煤炭资源的深部开采和复杂地质条件的不断出现,巷道支护作为煤矿采矿工程中的关键环节,对保障矿井安全生产具有重要意义。传统巷道支护技术在适应复杂地质环境方面存在一定局限,亟需在理念、材料、结构与施工方法等方面进行优化与创新。本文基于当前煤矿巷道支护现状,深入分析常见支护方式存在的问题,并探讨了锚杆支护、锚网支护、喷锚支护等多种支护形式的优化思路与工程实践。结合现代智能化监测技术及新型支护材料的应用,提出一套具有前瞻性和实用性的巷道支护优化策略。研究表明,通过支护技术的系统创新,可有效提升巷道稳定性,延长使用寿命,降低维修成本,为煤矿安全高效生产提供坚实保障。

**【关键词】**煤矿采矿工程;巷道支护技术;优化;创新

**【中图分类号】**TD353

**【文献标识码】**A

Optimization and Innovation of Tunnel Support Technology in Coal Mining Engineering

Ren Yanbin Zhao Ruijie Wang Yankai

Shanxi Xiangkuang Jinping Coal Industry Co., Ltd. Shanxi Changzhi 046203

**【Abstract】**With the continuous emergence of deep mining of coal resources and complex geological conditions, roadway support, as a key link in coal mining engineering, is of great significance in ensuring the safety production of mines. Traditional roadway support technology has certain limitations in adapting to complex geological environments, and there is an urgent need for optimization and innovation in concepts, materials, structures, and construction methods. This article is based on the current status of coal mine roadway support, deeply analyzes the problems existing in common support methods, and explores the optimization ideas and engineering practices of various support forms such as anchor rod support, anchor mesh support, and spray anchor support. A forward-looking and practical optimization strategy for tunnel support is proposed by combining modern intelligent monitoring technology and the application of new support materials. Research has shown that through systematic innovation in support technology, tunnel stability can be effectively improved, service life can be extended, maintenance costs can be reduced, and solid guarantees can be provided for safe and efficient production in coal mines.

**【Key words】**coal mining engineering; Roadway support technology; Optimization; innovation

## 引言

煤炭作为我国基础能源之一,在能源结构中长期占据主导地位。随着煤矿资源向深部转移,采矿工程面临的地质环境日益复杂,岩体稳定性问题日趋严重,巷道支护的重要性愈加突出。巷道支护不仅关系到矿井生产的连续性与安全性,更是实现绿色、安全、高效采矿的前提条件。目前,传统的巷道支护技术仍然广泛应用于煤矿生产中,但在应对软岩、大变形、高地压等极端工况时,常常表现出支护失效、变形过大、维护困难等问题。因此,研究适用于不同地质条件的高效、经济、可靠的支护技术成为当务之急。本文将从煤矿巷道支护技术的现状出发,分析存在的技术短板与实际挑战,并结合新材料、新工艺和智能化手段,对支护技术的优化与创新路径进行系统研究,旨在为煤矿采掘作业提供理论支持与技术指导。

## 1 巷道支护技术的现状分析

### 1.1 传统支护方式概述

在我国煤矿生产实践中,巷道支护手段经过多年发展,形成了较为成熟的几种形式。木支护因其取材容易、施工快捷而在早期得到广泛使用,但其强度和耐久性远不能满足现代深井、高地压巷道的要求。钢支护,如工字钢、U型钢等,具备良好的承载性能和变形适应能力,尤其适用于围岩不稳定区域,但造价较高,施工周期相对较长,不利于快速掘进。砌碛支护一般用于永久性主运或主进风巷,稳定性强但对施工环境要求高,后期维护工作量大。锚杆支护近年来逐渐成为主流,结合锚网、喷浆形成复合支护结构,兼顾强度和施工效率,是当前支护系统中最具代表性的技术之一。

### 1.2 现有支护技术的问题

尽管传统支护方式在大多数巷道条件下仍发挥着基础

作用,但其局限性也日益显现。首先,在面对软岩、大变形及深部高地压等复杂环境时,部分支护结构容易出现破坏或变形失控,适应能力不足。其次,某些传统工艺仍依赖人工作业,施工效率低,尤其在抢进掘进条件下难以满足工期要求。此外,目前巷道支护缺乏实时信息反馈机制,监测手段滞后,存在安全隐患。再者,现有支护材料多以钢材、木材为主,存在腐蚀、锈蚀、老化等问题,使用寿命受限,维护成本高,难以适应现代煤矿智能化发展的需求。

## 2 巷道支护技术的优化路径

### 2.1 支护理念的更新

随着采矿深度的不断增加和地质条件的日益复杂,传统“以围岩承载为主、支护结构辅助”的被动支护理念逐渐暴露出局限性。在复杂地压环境下,被动支护往往是在岩体变形或破坏发生之后才发挥作用,难以及时控制围岩稳定。现代巷道支护理念正在发生根本性转变,强调“主动支护”为主,通过在围岩变形初期便介入加固手段,从源头上延缓或抑制裂隙扩展、岩层分离等失稳行为。主动支护不仅提升了支护结构的可靠性,也增强了巷道系统对突发地质变化的适应能力。通过科学布置锚杆、预应力装置和多点加固手段,使围岩参与承载,形成“围岩-支护”协同承载的新机制。这种理念的更新,是实现长期巷道稳定和延长使用寿命的重要基础。

### 2.2 支护结构的优化

支护结构的优化是提高煤矿巷道稳定性和延长使用寿命的核心手段,其关键在于不同支护形式之间的有机组合与适应性提升。其中,组合支护系统是一种在实际工程中被广泛采用的优化结构。通过将锚杆、锚网、喷射混凝土以及钢带等多种支护手段集成在同一支护体系中,实现“点-面-体”多维一体化支护。这种结构既能有效约束围岩的局部松动,又能增强整体岩体的稳定性,特别适用于断层发育、节理裂隙发达的复杂地质条件下。在组合支护中,锚杆负责将岩体内部结构连接成整体,锚网与钢带形成面状约束,喷浆则进一步增强围岩表面的黏结力与密封性,使得支护结构形成良好的协同效应。

另一方面,预应力锚杆系统在支护结构中的引入,标志着“主动支护”理念的具体实践。通过在锚杆安装时施加一定的预紧力,使其在岩体尚未发生显著变形前就开始工作,能够更早介入围岩稳定的控制过程。这种“预加载”方式不仅有效提升了岩体的抗剪与抗拉强度,还可以压密裂隙带,延缓裂缝扩展,显著提高巷道整体的抗变形能力。特别是在深部应力集中区域或围岩自稳能力较差的区域,预应力锚杆支护的优势更加突出。

随着采掘深度的增加及软岩变形问题日益严重,柔性支护结构也逐渐进入支护优化设计的视野。传统刚性支护在大变形条件下极易失稳,而柔性结构则具有较强的适应能力,

能够在一定范围内允许岩体发生受控变形,从而缓解应力集中带来的破坏风险。柔性支护常采用可变形钢带、可控让压装置或缓冲元件,其原理是“有限让压、吸收能量”,在保证支护功能的前提下,实现巷道围岩应力的再分配与缓释,从而有效延长支护系统的服务周期。总体而言,支护结构的优化不仅体现在结构本身的强化,更体现为结构间的协同、结构与地质环境的匹配,以及支护系统与施工过程的融合,是实现煤矿巷道高效、稳定、安全运营的关键支撑。

### 2.3 施工工艺改进

锚杆支护作为巷道加固的主要手段,其施工效率和锚固质量直接关系到整体支护效果。在传统水泥锚固材料中,固化时间长、早期强度低的问题较为突出,尤其在快速掘进和高频次支护的作业条件下,往往成为制约工程进度的瓶颈。为解决这一问题,树脂类锚固剂的应用应运而生。这类材料具有初凝快、强度高、适应性强等特点,通常在几分钟内即可实现快速固结,大大缩短锚杆施工与成型的等待时间。同时,树脂锚固对围岩水分和温度的适应性较强,适合潮湿或复杂地质环境,减少了传统水泥类锚固材料易受环境影响导致强度波动的问题。在多种矿井试验中也已表明,使用树脂锚固剂不仅提升了单根锚杆的承载能力,而且支护体系的整体稳定性也得到显著增强,有效推动了巷道施工“掘支平衡”的实现,支护效率与安全性同步提升。

随着煤矿机械化水平的持续提高,支护施工逐步向自动化与智能化方向发展。传统手工支护方式存在劳动强度大、操作不一致、效率波动等问题,严重影响了作业的安全性和质量可控性。而如今,机械化支护设备如全液压锚杆机、喷浆机器人、锚固剂自动注入系统等广泛应用,不仅加快了作业速度,也提高了施工标准化程度。例如,全液压锚杆钻机能够实现自动推进、钻孔、锚固等一体化作业,缩短施工周期,同时显著降低作业人员暴露在工作面前的时间,降低了井下作业风险。自动喷浆机械则通过精准控制喷射量与厚度,提升了喷层的均匀性与粘结质量。机械化的广泛介入使得支护工程从“依赖经验”向“依赖技术”转变,实现了作业效率、支护质量和人员安全的多重提升。

现代煤矿生产强调系统化与协调化,支护作业的效率不仅取决于单一工艺的提升,更需要整体流程的有机衔接。信息化调度系统的引入,正是在这一背景下发挥着重要作用。通过建立以时间轴为主线的动态施工管理平台,实现支护、掘进、运输、通风等各作业环节的数据实时共享与指令协调。例如,调度系统可以根据支护作业进度自动调整掘进计划,避免支护滞后造成的安全隐患。同时,系统还可监控施工设备的运行状态与材料库存,提前预警潜在问题,减少人为失误。信息化手段还为支护施工质量追踪和分析提供了数据支撑,使管理人员能够在第一时间发现异常并进行干预。通过这种“流程再造+智能调度”的模式,巷道支护施工从以往的经验驱动逐步转向数据驱动与系统决策,实现更高层次的协同作业和安全管理。

### 3 新型支护材料与技术看新

#### 3.1 新型支护材料

在当前深部开采日益普遍的背景下,传统支护材料在耐久性与适应性方面已难以满足需求。高分子复合材料的应用逐渐增多,其具备高强度、耐腐蚀和质量轻的优势,不仅能在高湿、高腐蚀性环境下保持稳定,还便于运输与安装,显著提升施工效率。钢塑复合锚杆则是材料优化的又一典型,其内部为高强度钢材,外包塑料层,有效解决了金属材料在矿井中易锈蚀、寿命短的问题。此外,为提升喷射混凝土的整体性能,工程中常加入多功能添加剂,这类添加剂能增强混凝土的粘结力和抗裂性,并显著缩短早期凝固时间,适应快速支护需求。这些新材料的推广,不仅提升了支护系统的性能,也推动了煤矿支护技术向高效、绿色方向迈进。

#### 3.2 智能监测与数据分析技术

在支护系统智能化管理方面,实时监测与数据分析技术已逐渐成为不可或缺的一环。分布式光纤监测技术可沿支护结构全线布设,实时感知位移、应力与裂隙发展情况,实现“看不见的围岩变化”可视化,有效提升预警能力。物联网与传感器技术的结合,使每一根锚杆、每一段支护区域都能“开口说话”,实时将数据传输至地面监控中心,辅助工程师判断支护状态与调整策略。而借助大数据与人工智能的分析能力,系统可以自动学习历史数据,识别风险模式,预测未来稳定性趋势,提出针对性优化建议。这种从“事后处理”到“事前预判”的转变,标志着巷道支护正在向智慧化管理迈进,不仅提高了安全保障水平,也为煤矿现代化建设提供了技术支撑。

### 4 未来发展趋势

煤矿支护技术的未来发展趋势,将呈现出系统化、智能化和绿色化三大核心方向。其中,多维集成支护系统是构建高效、稳定巷道的基础。随着工程需求的不断提升,支护已

不再是单一材料或结构的简单堆砌,而是材料性能、结构优化与信息感知三者的深度融合。未来支护系统将在设计阶段就实现材料选择、受力分析、监测布局等多维度集成,通过结构协同与功能叠加,实现“支护即监测、施工即反馈”的一体化目标,真正构建起具备自适应能力的动态支护体系。

与此同时,数字化与智能化平台也将成为支护技术的“神经中枢”。以BIM(建筑信息建模)与IoT(物联网)为技术基础的巷道支护数字孪生系统正在逐步兴起。这一系统能够在设计阶段模拟不同地质条件下的支护响应,通过三维可视化手段直观呈现结构应力分布与材料配比,指导现场施工。在运维阶段,传感器收集的实时数据将同步更新到孪生模型中,管理者可基于此进行动态评估与远程控制,从而实现设计、施工、监测、养护的全过程智能管理,极大提升支护工作的科学性与响应速度。

绿色环保理念也将在支护领域发挥日益突出的作用。在“双碳”目标引导下,煤矿支护不再仅追求结构稳定性,更强调材料的环保性与施工过程的可持续性。新型可回收支护材料的推广使用,如环保型喷浆剂、可降解锚杆涂层等,正在逐步取代高污染、高能耗的传统材料。同时,支护工艺将更多采用低粉尘、低能耗设备,减少施工对环境的扰动。通过推动绿色矿山建设,支护技术正向“安全+环保”双目标靠拢,展现出更加负责任和可持续的发展趋势。

### 结束语

煤矿巷道支护技术作为保障矿井安全生产的关键环节,正在经历从传统模式向智能化、系统化、绿色化的深度转型。面对复杂多变的地质条件和高强度的生产要求,仅依靠传统支护方式已难以满足实际需求。通过优化支护结构、引入新型材料、提升施工工艺、构建智能监测系统,巷道支护技术正逐步走向高效、稳定、可持续的新阶段。未来,应进一步加强科技投入与产学研合作,不断推动煤矿巷道支护技术的创新发展,为我国煤炭工业的安全高效运行提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]王冬冬,陶彦名,李刚,等.煤矿采矿工程中巷道掘进和支护技术应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(23):67-69.DOI:10.13487/j.cnki.imce.026000.
- [2]林涛,李长河,裴东伦.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(20):175-177.DOI:10.13487/j.cnki.imce.025848.
- [3]李旭,郭猛.煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(19):127-129.DOI:10.13487/j.cnki.imce.025930.
- [4]李洋.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[C]//贵州煤炭经济2024年论文选编.永贵能源开发有限责任公司新田煤矿.2024.060543.
- [5]张大宁,李传国.煤矿采矿工程中巷道掘进和支护技术应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,025391.