

# 薄煤层坚硬顶板工作面“主动承载引导泄压”沿空留巷技术研究与应用

尹岩, 甘超

(山东能源枣矿集团滨湖煤矿, 山东 枣庄 277500)

**摘要** 本研究聚焦沿空留巷技术, 综合运用理论分析、数值模拟、工业性试验和现场观测等多元方法, 结合滨湖矿实际地质条件, 系统开展巷道支护参数与施工工艺的优化研究。在此基础上, 提出了一种“主动支护、导卸”的沿空留巷技术。在沿空留巷中, 采用了锚索梁主动承受、切顶爆破卸压、U型钢腿被动支撑等方法, 主动承担顶板受力, 降低巷侧力。同时, 采用切顶预裂法, 使采空区顶板完全垮落, 解除留巷区的顶板压力, 达到“留得住, 割得开, 放得下”的目的。研究表明, 该沿空留巷技术可有效达成“结构稳定、应力可控、施工高效”的技术目标。

**关键词** 煤矿; 沿空留巷; 主动承载引导泄压

**中图分类号**: TD82

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.24.042

## 0 引言

薄煤层坚硬顶板工作面的沿空留巷技术是当前煤炭开采领域的关键技术之一, 对于提高煤炭资源回收率、实现矿井可持续发展具有重要意义<sup>[1]</sup>。其中, “主动承载引导泄压”沿空留巷技术作为一种创新方法, 旨在通过科学合理的支护设计与顶板管理, 有效控制巷道围岩变形, 确保开采安全<sup>[2]</sup>。本研究聚焦该技术的理论分析与现场应用, 以期为同类地质条件下的煤炭开采提供技术参考<sup>[3]</sup>。

## 1 薄煤层坚硬顶板工作面“主动承载引导泄压”沿空留巷技术研究概述

### 1.1 具体研究内容

本研究针对当前沿空留巷技术难题, 在深入调研的基础上, 创新地提出一套可行的优化方法。其关键是将锚索和钨钢网复合补强支撑技术应用于提高巷道的整体稳定性。同时, 提出一种新型的“集中管预裂爆破”方式, 通过对爆破能量的精准调控, 提高冒落度, 实现留巷工作面卸压减压。

在支撑技术方面, 本研究在对传统支撑材料和支撑方式进行研究的基础上, 对其性能进行了积极的探索。将锚索和W钢条组合在一起, 可以有效地提高巷道的承载力, 降低顶板和底板的变形。该方法的实施, 为实现沿空留巷提供了更加可靠的技术保证。在此基础上, 重点对聚能钢管预裂法的应用效果进行了研究,

提出了一种新的高效破碎方法——聚能管定向爆破技术。该工艺既有利于顶板破断, 又可明显降低留巷区内应力集中, 从而提高巷道的稳定性与安全性<sup>[4]</sup>。

### 1.2 切顶卸压自成巷机理及顶板结构演化力学分析

在矿山施工中, 切顶卸压法是实现自成巷的重要手段。在留巷过程中, 相同部位的巷道因受采动影响, 其力学结构特征也有很大差异。为此, 本项目将材料力学和弹性力学相结合, 对留巷过程中围岩结构进行合理简化, 并提出相应的支护措施。

假设覆岩顶板受力均匀, 切顶与不切顶的力学模式随留巷进行而改变。在初期, 顶板基本不变, 与巷道围岩一起形成了一种“固支梁”结构; 同时, 由于切顶工作的进行, 顶板岩层被切割为简支梁, 其受力状况也随之改变。

为了更好地揭示顶板结构的演变规律, 本项目以留巷期顶板结构为研究对象, 运用力学解析法, 对顶板结构进行细致的力学推演与计算。新型环境保护装备作为近年来的热门研究方向, 其在真实工作环境中的性能表现备受关注。目前, 对于其在连续工作状态下的可靠度、失效率等关键性能指标的评价, 尚需依据大量的实际操作数据进行综合分析<sup>[5]</sup>。由于这些数据的缺失, 新型环境保护装备的技术成熟度问题依旧突出, 成为制约其向智能化、自动化方向进一步发展的核心因素之一。

### 1.2.1 工作面超前未切顶阶段

回采前和回采的临界期是保证巷道围岩稳定的关键期。这一时期,为了实现对顶板的提前控制,保证了巷道结构的稳定,对切顶留巷进行了精细的布置,并对其进行了合理的布置。在顶板未被切掉之前,覆岩顶保持着它的完整性,并和周围的围岩形成一个比较稳定的整体<sup>[6]</sup>。尤其是两帮顶面,其顶板可以看作是一种固支梁式结构。这样的结构特点,使巷道顶板既能经受住水平或垂直两个方向的多重力,还能承受一定的弯矩。在不考虑倾斜角度的条件下,将巷道顶板及两帮的受力特性抽象成两端固支梁受力模型。该三阶超静定结构在稳定和承载能力上都有突出的优势,在相同的工况下,它显示出了更好的工作性能。所以,此时的井巷是最平稳的一段时间。为保证这种稳定状态的维持,就必须密切注意巷道围岩的动态变化,并适时采取相应的支护措施,以应对可能发生的地质条件或外部因素的影响。同时,结合科学的监测和分析方法,对围岩的稳定性进行评价,为下一步的回采工作提供可靠的安全保证。

### 1.2.2 工作面超前切顶阶段

在采煤工程中,最重要的一步就是超前切顶。在这一阶段,要对工作面前面的某一部位进行准确的预裂掏槽。其目的是利用人工构造的结构面,将采空区一端的顶板岩层与顶板分离开来。这一结构面的形成,使得工作面一侧煤壁上部的顶板由原本的固支端状态转变为简支端状态<sup>[7]</sup>。

简支端状态的形成,源于切缝所具备的一定角度。这个角度的巧妙设计,使煤壁对顶底板起到一定的支承作用,使顶板承受的载荷得到有效的分摊。该模型可保证顶板岩梁的高稳定度,且无大变形。但是,随着开采深度的增加,超前支承压力的影响也逐步显露出来,这给顶板岩梁的稳定带来了新的挑战。

为了保证板岩梁在超前切顶过程中的稳定性,必须采取一系列的工艺措施,以保证顶板的稳定性<sup>[8]</sup>。首先,必须准确地计算预裂掏槽的有关参数,以保证构造面的成形达到所期望的效果。其次,要加大对采场的地质情况的探测和分析,使之能够及时地发现和解决可能存在的问题。在此基础上,进一步加强对顶板梁围岩动力特性的研究,采用科学的监测手段与分析手段,对围岩的稳定状况进行评价,并对支护方案进行相应的调整。

### 1.2.3 工作面架后动压阶段

工作面架后动压阶段紧跟在采煤工作面后面,是采煤工程中非常重要的一个环节。在煤层开采过程中,由于顶板与工作面液压支架的联合支承,使得工作面端头的基本顶处于悬顶状态。在此期间,采空区顶板在开采过程中发生了明显的破落现象。

采空区的顶板悬顶面积一般都是通过预先的爆破切顶而得到控制的。但是,在冒落的矸石和基本顶的移动还没有达到稳定的条件以前,采空区常在顶板和垮落岩间产生裂隙,裂隙的出现对巷道围岩的稳定产生影响<sup>[9]</sup>。此时,采空区顶板岩层间将逐步形成一种“岩—梁”连接结构,这样的构造特征,可以将覆岩的负荷转移到更远处的固体煤体,也可以转移到采空区内。采空区顶板始终在不断移动,这一地带被称作“留巷动压区”。

为了保证留巷动压区的稳定,提出了相应的技术对策。首先,要加强对采空区顶板岩层断裂垮落的全过程进行监控和分析,从而能够及时地发现和解决可能存在的安全问题。其次,对采场液压支架的支护参数进行优化,使其具有较强的支撑能力,从而保证了主顶悬吊的稳定性。在此基础上,进一步研究采空区与冒落岩体间隙的动态变化规律,并提出相应的注浆加固方法,以降低采空区对巷道围岩稳定性的影响。

### 1.2.4 工作面架后稳定阶段

工作面架后稳定阶段是保证巷道围岩长期稳定的关键一环。采空区中冒落的矸石,随着开采的进行,会不断地受到压实作用,使其密度增大,承载力增大。同时,采空区上覆岩层的移动也逐渐变得平缓,直到最后趋于平稳。

此时,巷道中的临时支撑结构能够被安全地回收。在这种情况下,切缝一侧的顶板可以看作是一个两端用固体煤体支承的简支梁,另一端用采空区上卸下来的矸石来支承。这样的简支梁结构特点,保证了巷道顶板可以承受覆岩的荷载,并能将大量的荷载高效地转移到深部采空区。

特别要指出的是,将采空区矸石用锚索悬挂在顶板硬岩层中,构成了一个稳固的支护系统。在该系统中,锚索作为一种重要的悬吊功能,将矸石和硬岩紧密结合在一起,提高了整个巷道的稳定性<sup>[10]</sup>。简支梁两端用固体煤体及采空区矸石共同分担荷载,使应力进一步分散,降低了围岩变形与破坏的危险性。

为了保证回采场架后稳定期内的围岩稳定,需对其进行维修监控。首先,要加强对采空区矸石的压实状况的监控和分析,以保证其具有一定的承载力;其次,要对锚索悬挂状况进行周期性的检测,对可能出现的松动、损伤等问题进行及时的检测和解决。在此基础上,采用科学的监测与分析手段,对隧道围岩的稳定状况进行评价,并提出有针对性的养护维修计划。

## 2 薄煤层坚硬顶板工作面“主动承载引导泄压”沿空留巷技术研究创新点及应用

1. 本研究创新地提出留巷顶板锚杆主动承载的方法,并在此基础上对其进行研究。本项目拟利用锚杆的强韧化与稳定性,有效地分散、减小巷旁的荷载,以达到简化巷道支护的目的。与常规支护方法相比,锚索支护在沿空留巷中具有明显优势,且可有效降低支架费用,是沿空留巷理念上的重大突破。本项目的创新之处在于将进一步完善矿山支护技术体系,并为其在矿山工程中的应用提供一种全新的思路。

2. 在巷道支护与顶板治理的施工技术上,本文创新性地采用了一种新型的预裂爆破技术,即切顶钻孔与聚能钢管相结合的预裂爆破方法。该技术通过对爆破能量的精准控制以及起爆方向的精确设定,实现了留巷顶板与采空区顶板的有效、安全分离。在爆破过程中,采空区顶板能够得到充分的冒落,从而实现有效的卸压效果,极大地缓解了留巷区域的应力集中问题。实践表明,该新型预裂爆破技术的应用,使得留巷效果得到了显著的改善,不仅提高了巷道的稳定性与安全性,还有效降低了支护成本与维护难度。此外,该技术还为矿山工程中的顶板治理问题开辟了一条崭新的技术途径,具有重要的学术价值与实践意义。随着该技术的不断推广与优化,将在矿山工程中发挥更加重要的作用。

3. 单体支撑在巷道支护中的创新应用。在该巷道支护工程中,为了提高支护结构的整体强度与稳定性,创新性地引入了单体支撑技术。通过对支护结构进行深入的分析与研究,结合巷道地质条件与开采需求,对支护参数及结构布置进行了科学的优化与设计。实践表明,通过合理的单体支撑布置,能够显著提升支护强度,有效防止“无冲程单体”现象的发生,从而确保巷道的稳定与安全。与常规支护方法相比,单体支撑技术的应用不仅提高了支护效果,还降低了支护成本,为巷道支护工程提供了新的技术思路与实践经验。

4. 钢网窝窝法在帮部支护中的创新应用。针对巷

道帮部支护的难题,创新性地提出了钢网窝窝法,并将其成功应用于矸石山中的巷道支护。该方法通过在巷道帮部锚固钢筋网,并利用冒落的废石对钢筋网下部进行挤压,形成定根点,从而有效防止老塘跑矸现象的发生。钢网窝窝法的应用不仅显著改善了巷道的整体稳定性,还提高了支护结构的抗冲击与抗变形能力。此外,该支护技术还具有成本低、施工简便、环保节能等优点,为矿山工程中的巷道支护问题提供了一种新的解决方案与技术思路。

## 3 结束语

“主动承载引导泄压”沿空留巷技术在煤炭开采领域展现出了显著的理论价值与实践意义。该技术不仅实现了煤矿资源的合理高效开采,有效提高了资源回收率,还大幅度降低了巷道开挖量,对煤炭生产的可持续性发展具有深远影响。从技术层面来看,“主动支承一卸压”技术从根本上解决了煤矿开采过程中连续性不足的问题,通过优化巷道支护结构与顶板管理策略,显著提升了巷道养护条件与开采安全性。此外,该技术在实践应用中表现出良好的适应性与稳定性,对同类地质条件下的煤炭开采提供了重要的技术参考与示范,具有较高的推广与应用价值。

## 参考文献:

- [1] 王智珍.大采深薄煤层坚硬顶板的控制技术与应用[J].矿业装备,2023(03):66-67.
- [2] 赵中伟.基于薄煤层坚硬顶板工作面的沿空留巷技术研究[J].能源与节能,2022(12):136-138,192.
- [3] 郭瑞兵.薄煤层坚硬顶板工作面沿空留巷技术研究[J].能源与节能,2022(03):88-91.
- [4] 曾煜.蒋庄矿薄煤层坚硬顶板回采巷道支护优化及应用[D].徐州:中国矿业大学,2024.
- [5] 孙艳清,房端强,刘森虎.坚硬顶板薄煤层沿空留巷底鼓控制技术[J].内蒙古煤炭经济,2024(02):7-9.
- [6] 赵法森,吴城乐,林科文,等.坚硬顶板薄煤层开采沿空留巷关键技术研究[J].煤炭工程,2023,55(08):6-11.
- [7] 秦玄烨,张英华,黄志安,等.深井薄煤层保护层坚硬顶板破断机理及控制技术[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(11):4010-4020.
- [8] 耿帅康.坚硬顶板薄煤层保护层开采卸压增透及瓦斯灾害治理技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2022.
- [9] 原少宏.寺河煤矿薄煤层综采面坚硬顶板控制技术[J].煤,2022,31(11):106-108.
- [10] 张宪军.薄煤层综采工作面坚硬顶板弱化技术研究[J].中国矿山工程,2021,50(01):36-38.