

# 巷道围岩变形分析及巷道支护技术研究

鲁建明

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司 山西 忻州 034000

**摘要:** 随着矿产资源开采深度与强度持续攀升,巷道围岩变形失稳问题愈发严峻。本文聚焦于巷道围岩变形分析与支护技术研究。首先阐述巷道围岩变形特征,包括顶板风化潮解、软弱夹矸挤出等情况。接着深入剖析影响巷道围岩变形的诸多因素,如高地应力、岩石特性、地质构造及开采扰动等。随后探讨围岩变形机理,涵盖弹塑性变形、流变特性及损伤演化。最后介绍多种巷道支护技术,如锚杆、锚索、喷浆及联合支护技术。通过系统研究,旨在为巷道围岩变形控制及支护设计提供理论依据与实践指导,保障巷道安全稳定。

**关键词:** 巷道围岩; 变形分析; 巷道支护; 技术研究

**引言:** 在煤炭等地下资源开采过程中,巷道作为重要的运输、通风及人员通行通道,其稳定性至关重要。然而,受多种因素影响,巷道围岩常出现变形问题,这不仅影响巷道正常使用,还可能引发安全事故。巷道围岩变形是一个复杂的过程,涉及地质条件、开采活动等多方面因素。不同地质条件下的巷道,其围岩变形特征和机理存在差异。准确分析巷道围岩变形特征、影响因素及机理,是制定有效支护措施的前提。因此,深入研究巷道围岩变形分析及支护技术,对于保障地下开采安全、提高生产效率具有重大现实意义。

## 1 巷道围岩变形特征

### 1.1 巷道顶板风化潮解

巷道顶板风化潮解是较为常见的围岩变形特征之一。在地下环境中,顶板岩石长期暴露,受水分、空气以及微生物等作用,其内部矿物成分发生化学反应,导致岩石结构逐渐疏松、强度降低。特别是在湿度较大、通风条件不佳的巷道中,风化潮解现象更为明显。随着时间推移,顶板岩石可能出现剥落、掉块等情况,严重时甚至会引发顶板冒落事故,对巷道内设备及人员安全构成威胁。因此,及时识别顶板风化潮解迹象并采取相应措施至关重要。

### 1.2 软弱夹矸挤出

软弱夹矸挤出也是巷道围岩变形的重要表现。在巷道掘进过程中,当遇到含有软弱夹矸的岩层时,由于软弱夹矸的强度远低于周围岩体,在巷道开挖后,围岩应力重新分布,软弱夹矸在两侧坚硬岩体的挤压作用下,会向巷道空间挤出。挤出的软弱夹矸不仅会缩小巷道有效断面,影响通风和运输,还可能导致巷道局部应力集中,进一步加剧围岩变形和破坏,给巷道的正常使用和维护带来极大困难<sup>[1]</sup>。

## 2 巷道围岩变形影响因素分析

### 2.1 高地应力的影响

高地应力是导致巷道围岩变形的重要力量。在深部开采或地质构造应力集中区域,巷道周围岩体承受着巨大的原始应力。当巷道开挖后,原始应力平衡被打破,应力重新分布,在巷道周边形成高应力集中区。这种高应力会使围岩产生强烈的弹塑性变形,甚至引发破裂、松动,导致巷道收敛、底鼓等变形现象。而且,高地应力作用下,围岩变形速度快、持续时间长,对巷道稳定性的破坏极为显著。

### 2.2 岩石特性的影响

岩石特性对巷道围岩变形起着基础性作用。不同岩石具有不同的物理力学性质,如岩石的强度、硬度、脆性、节理裂隙发育程度等。强度高、完整性好的岩石,抵抗变形和破坏的能力强,巷道围岩变形相对较小;而强度低、节理裂隙发育的岩石,在应力作用下容易发生破裂、滑动,导致围岩变形加剧。此外,岩石的吸水性、膨胀性等特性也会影响围岩变形,如遇水膨胀的岩石会因吸水而产生体积膨胀,进而挤压巷道空间。

### 2.3 地质构造的影响

地质构造是影响巷道围岩变形的天然因素。断层、褶皱、节理等地质构造的存在,破坏了岩体的完整性,使岩体成为不连续介质。在巷道开挖过程中,这些地质构造部位容易成为应力集中区,围岩变形往往更为剧烈。例如,断层带内岩石破碎,强度低,在应力作用下容易发生坍塌、冒落;褶皱轴部应力集中,围岩变形和破坏也较为严重。地质构造的复杂程度直接影响着巷道围岩变形的程度和范围。

### 2.4 开采扰动的影响

开采活动对巷道围岩变形有着显著影响。在煤矿开

采中,工作面的推进会引起上覆岩层的运动和变形,这种运动和变形会通过岩层传递到巷道围岩,导致巷道围岩应力重新分布,产生附加应力。同时,开采过程中的爆破作业会产生强烈的震动波,对巷道围岩造成冲击破坏,使围岩的裂隙进一步扩展、贯通,降低围岩的强度和稳定性。

### 3 巷道围岩变形机理

#### 3.1 围岩的弹塑性变形

巷道开挖打破了原岩的应力平衡状态,围岩应力重新分布,进而引发弹塑性变形,这是巷道围岩变形的重要机理之一。(1)在巷道开挖初期,围岩处于弹性变形阶段。此时,岩石遵循胡克定律,应力与应变成正比关系。围岩所受应力小于其弹性极限强度,当外部应力消除后,变形能够完全恢复。这种弹性变形使得巷道周边岩体向巷道空间产生一定程度的收敛,不过变形量相对较小且较为均匀。(2)随着应力进一步增大,当超过岩石的弹性极限后,围岩进入塑性变形阶段。塑性变形具有不可恢复性,岩石内部结构发生破坏,产生永久变形。在塑性区内,岩石的强度降低,承载能力下降。塑性变形的表现形式多样,巷道顶板会出现下沉现象,两帮岩体向巷道内移近,底板则可能发生鼓起。(3)弹塑性变形的程度与多种因素密切相关,岩石的物理力学性质是关键因素,坚硬岩石的弹塑性变形相对较小,而软弱岩石则变形较大;应力大小和分布也起着重要作用,高应力区域围岩的弹塑性变形更为显著<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 围岩的流变特性

围岩流变特性是指岩石在恒定应力或应变作用下,其变形随时间持续发展的性质,这一特性对巷道围岩的长期稳定性有着深远影响。(1)围岩流变主要表现为蠕变、松弛和弹性后效三种形式。蠕变是围岩在恒定应力作用下,变形随时间不断增长的现象。它通常可分为三个阶段:初始蠕变阶段,变形速率较快,但随时间逐渐减缓;稳定蠕变阶段,变形以恒定速率持续增加;加速蠕变阶段,变形速率急剧增大,最终导致围岩破坏。松弛则是围岩在恒定应变条件下,应力随时间逐渐降低的过程。(2)围岩流变特性受多种因素制约,岩石的矿物成分、结构构造、含水量以及温度等都会对其产生影响。例如,含黏土矿物的岩石流变性通常更为显著;高温环境下,岩石的蠕变速率会加快。(3)在巷道工程中,围岩流变会导致巷道变形随时间不断增大,即使应力水平保持不变,也可能引发顶板下沉、两帮收敛和底鼓等问题,严重影响巷道的正常使用和安全。因此,深入研究围岩流变特性,对于准确预测巷道长期变形、合

理设计支护结构和保障巷道稳定具有重要意义。

#### 3.3 围岩的损伤演化

围岩损伤演化是巷道围岩在开挖及应力作用下,内部结构从完整逐渐劣化直至破坏的动态过程,深刻影响着巷道的稳定性。(1)在巷道开挖瞬间,围岩应力重新分布,产生应力集中现象。当局部应力超过岩石的强度极限,围岩内部开始萌生微裂纹和微孔洞,这便是损伤的起始阶段。这些初始损伤极为细小,肉眼难以察觉,但却是围岩劣化的开端。(2)随着时间推移和应力持续作用,初始损伤不断扩展、汇聚。微裂纹相互贯通,形成宏观裂纹,微孔洞则逐渐合并、长大,导致围岩的有效承载面积减小,强度和刚度降低,损伤进入发展阶段。此时,围岩的变形明显增大,巷道周边开始出现收敛现象,如顶板下沉、两帮移近等。(3)当损伤进一步加剧,宏观裂纹不断扩展,围岩的承载能力急剧下降,最终达到临界状态,发生失稳破坏。损伤演化过程受到多种因素影响,岩石的矿物成分、结构构造、应力状态、加载速率以及环境因素(如水、温度等)都会改变损伤演化的速度和模式。

### 4 巷道支护技术

#### 4.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术是巷道支护中应用广泛且效果显著的一种方式。(1)其工作原理基于悬吊理论、组合梁理论和加固拱理论等。通过锚杆将巷道周边不稳定岩层与深部稳定岩层相连,形成悬吊作用,防止岩层垮落;把多层岩层组合在一起,类似组合梁,提高岩层整体抗弯能力;在岩体中形成承载结构,即加固拱,增强围岩自身承载力。(2)锚杆支护具有诸多优势。施工相对简便,能快速安装,适应不同巷道断面和地质条件,在复杂地质环境下也能有效发挥作用。成本较低,与一些传统支护方式相比,可节省大量材料和人力成本。还能与围岩共同变形,提供持续支护力,有效控制围岩变形,保障巷道长期稳定。(3)锚杆支护类型多样,包括端头锚固、全长锚固等锚固方式,以及树脂锚杆、水泥锚杆等不同材质锚杆。可根据巷道围岩性质、应力状况等因素合理选择。同时,锚杆支护常与其他支护方式联合使用,如与锚索联合,形成锚杆-锚索联合支护体系,进一步增强支护效果,提高巷道安全性与稳定性,满足不同开采条件下巷道支护需求。

#### 4.2 锚索支护技术

锚索支护技术是巷道支护领域中一种极为关键且高效的技术手段,在保障巷道稳定方面发挥着不可替代的作用。(1)从原理上看,锚索通过高强度钢绞线等材

料,将巷道浅部不稳定围岩与深部稳定岩层紧密相连。它借助张拉设备对钢绞线施加预应力,在围岩中形成一个具有较高承载能力的压缩拱结构。这个压缩拱能够有效抵抗巷道围岩的变形和破坏,将围岩所承受的应力传递到深部稳定岩层,从而改善巷道周边的应力分布状态。(2)锚索支护具有显著的优势。其锚固深度大,能够深入到较稳定的岩层中,提供强大的锚固力,适用于深部高应力巷道以及地质条件复杂、围岩破碎严重的区域。而且,锚索的预应力可调,可根据巷道的实际受力情况进行精准施加,增强支护的针对性和有效性。(3)在实际应用中,锚索支护常与锚杆支护相结合,形成锚杆-锚索联合支护体系。锚杆主要控制巷道浅部围岩的变形,锚索则着重加固深部围岩,二者优势互补,大大提高了巷道支护的整体效果,有效延长了巷道的使用寿命,为矿井的安全高效生产提供了坚实保障。

#### 4.3 喷浆支护技术

喷浆支护技术是巷道支护中常用且有效的一种方法,在维护巷道稳定、保障安全生产方面发挥着重要作用。(1)喷浆支护的原理是将水泥、砂石等骨料与速凝剂等外加剂按一定比例混合,通过喷浆机以高压喷射到巷道围岩表面,迅速形成一层具有一定强度和厚度的混凝土支护层。这层支护层能够紧密贴合围岩,填充围岩表面的凹凸不平和裂隙,增强围岩的整体性和完整性。同时,混凝土支护层可以承受一定的围岩压力,阻止围岩的进一步风化、剥落和变形,将松散破碎的围岩胶结成一个整体,提高围岩的自承能力。(2)喷浆支护具有诸多优点。施工速度快,能够在短时间内完成大面积的支护作业,尤其适用于巷道掘进速度较快或围岩条件较差、需要及时支护的情况。喷浆层与围岩的粘结力较强,能有效传递应力,减少应力集中现象。而且,喷浆支护可以根据巷道的实际形状和尺寸进行灵活施工,适应性强,不受巷道断面形状的限制。(3)在实际应用中,为了保证喷浆支护的效果,需要严格控制混凝土的配合比、喷射厚度和喷射工艺等参数。同时,要做好巷道表面的清理和湿润工作,确保喷浆层与围岩的良好结合。通过合理应用喷浆支护技术,可以有效提高巷道的稳定性和安全性,降低巷道维护成本。

#### 4.4 联合支护技术

联合支护技术是综合运用多种支护方式,充分发挥不同支护手段的优势,以实现巷道高效、稳定支护的一种先进技术,在复杂地质条件下的巷道支护中成效显著。(1)常见的联合支护形式多样,如锚杆-锚索-金属网联合支护,锚杆可有效控制巷道浅部围岩的变形,锚索能深入深部稳定岩层提供强大锚固力,金属网则可防止围岩小块剥落,三者协同作用,增强围岩整体稳定性;还有锚喷支护与U型钢支架联合,锚喷支护能及时封闭围岩、填充裂隙,U型钢支架具有较高的强度和韧性,可承受较大变形,二者结合可适应围岩大变形的情况。

(2)联合支护技术的优势明显。不同支护方式相互补充,能应对多种复杂的地质条件和围岩应力状态。它可以充分发挥各支护结构的力学特性,提高支护系统的整体承载能力,有效控制巷道围岩的变形和破坏。而且,联合支护可根据巷道的实际状况进行灵活组合和调整,具有较强的适应性。(3)在实际应用中,需根据巷道的地质条件、围岩性质、开采深度等因素,科学合理地选择联合支护形式和参数。同时,要注重施工质量和各支护环节的衔接,确保联合支护系统能够形成一个有机的整体,为巷道提供可靠、持久的支护保障,保障矿井的安全生产和高效运营<sup>[1]</sup>。

#### 结束语

通过对巷道围岩变形分析可知,其变形受弹塑性变形、流变特性及损伤演化等多种机理共同作用,情况复杂且影响深远。而巷道支护技术作为保障巷道稳定的关键手段,锚杆、锚索、喷浆以及联合支护等技术各有优势且适用场景不同。未来,随着开采深度和难度的增加,巷道围岩变形问题将更为突出。我们需持续深入研究围岩变形机理,不断创新和优化支护技术,结合先进的监测手段,实现动态支护。

#### 参考文献

- [1]王维学.巷道掘进围岩变形分析与支护技术[J].江西化工,2020(03):408-409.
- [2]谷拴成,王彬,孙魏.巷道掘进围岩变形分析与支护技术[J].煤矿安全,2021,51(02):213-218.
- [3]孟秀峰,赵洪亮.矿掘锚分离巷道围岩变形特征分析及支护技术研究[J].煤炭工程,2021,49(09):64-66+71.