

现代化工

煤矿开采中地质条件对巷道稳定性的影响及应对策略

赵洁洁

陕西韩城天久注浆勘探有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8339

[摘要] 煤矿开采过程中,不同的地质结构、岩层分布以及地下水的存在,都会直接影响巷道的变形、破坏以及塌方等安全风险。尤其在复杂的地质环境中,矿井巷道的稳定性面临着更大的挑战。岩石的应力分布、地层的软硬不均以及突水等因素,均可能导致巷道围岩发生位移或应力集中,从而危及矿工的安全和采矿作业的顺利进行。因此,如何在开采过程中有效识别并应对这些地质因素,确保巷道的稳定性,成为煤矿安全管理中的核心问题之一。本文重点分析地质条件对巷道稳定性的影响,并研究保障巷道稳定性的策略,期望为煤矿安全生产提供理论依据和技术支持。

[关键词] 煤矿开采;地质条件;巷道稳定性

The influence of geological conditions on roadway stability in coal mining and corresponding strategies

Zhao Jiejie

Shaanxi Hancheng Tianjiu Grouting Exploration Co., Ltd.

[Abstract] During coal mining, different geological structures, rock distribution, and the presence of groundwater can directly affect the deformation, damage, and collapse of tunnels and other safety risks. Especially in complex geological environments, the stability of mine tunnels faces greater challenges. The stress distribution of rocks, uneven hardness of strata, and water inrush can all cause displacement or stress concentration in the surrounding rock of tunnels, thereby endangering the safety of miners and the smooth progress of mining operations. Therefore, how to effectively identify and respond to these geological factors during the mining process, ensure the stability of the roadway, has become one of the core issues in coal mine safety management. This article focuses on analyzing the impact of geological conditions on the stability of tunnels and studying strategies to ensure tunnel stability, with the aim of providing theoretical basis and technical support for coal mine safety production.

[Key words] coal mining; Geological conditions; roadway stability

引言

煤矿开采作为能源产业的重要组成部分,其生产安全与效率直接关系到国家能源战略与经济发展。巷道作为煤矿开采的运输、通风与人员通行通道,其稳定性是保障生产连续性与人员安全的关键。然而,煤矿开采往往面临复杂的地质条件,包括岩层强度差异、构造应力集中、地下水活动等,这些因素共同作用导致巷道变形、破坏甚至坍塌,严重威胁煤矿安全生产。因此,深入研究地质条件对巷道稳定性的影响机制,并提出有效的应对策略,对于提升煤矿开采的安全性与效率具有重要意义。

1.地质条件对巷道稳定性的影响

1.1 岩层性质的影响

岩石的强度直接决定了巷道的承载能力。高强度岩石具有较强的抗压和抗拉能力,能够有效地抵抗外部应力的作用,保持巷道的形状稳定。而低强度岩石则在受到开采扰动时容易发生破坏和变形,导致巷道的失稳。尤其是在煤矿开采的初期阶段,岩层的强度差异往往会导致巷道支护压力的急剧变化,从而增加巷道失稳的风险^[1]。岩石的变形特性也对巷道的稳定性产生重要影响。岩石的弹性模量和泊松比是其变形特性的主要参数。高弹性模量的岩石在受到外力作用时变形较小,能保持

较好的稳定性; 而低弹性模量的岩石则容易发生较大的塑性变形, 增加了巷道的维护难度, 并可能导致支护系统的失效。因此, 岩石的变形特性在设计巷道支护系统时需要特别关注。最后, 岩层的层理结构是岩石的天然构造, 其发育程度对巷道的稳定性有着显著影响。层理发育的岩层在受到应力作用时, 容易沿层理面发生滑动或劈裂, 形成局部破坏, 严重时可能导致巷道顶板的冒落或片帮现象。

1.2 构造应力的影响

构造应力是地壳运动过程中积累的弹性应变能, 这种应力在煤矿开采过程中会释放并作用于巷道围岩, 影响巷道的稳定性。构造应力的大小、方向以及分布特征直接决定了巷道围岩的应力分布与变形特征。在构造应力集中区域, 由于应力的集中, 巷道围岩所承受的应力往往远超其承载能力, 容易导致岩层的破裂与失稳, 造成巷道的局部崩塌或整体垮塌。特别是在断层带、褶皱等构造异常区域, 构造应力的影响更加显著。在这些区域, 构造应力可能导致巷道轴线与应力方向的不一致, 进而加剧巷道的侧向压力, 增大围岩的变形幅度。例如, 在褶皱构造发育的矿区, 巷道穿越褶皱轴部时, 由于轴部的应力集中效应, 巷道极易发生挤压变形, 造成顶板冒落或片帮等现象; 而在褶皱翼部, 随着构造应力的释放, 巷道的围岩可能出现拉张破坏, 形成裂隙或开裂, 导致巷道的失稳和支护难度的增加。此外, 构造应力的方向性也是影响巷道稳定性的关键因素。在巷道开采过程中, 如果开采面与构造应力的方向存在较大角度, 可能导致围岩在受到应力作用后出现较大的变形, 增加了巷道支护的难度和风险。

1.3 水文地质条件的影响

地下水不仅能够降低岩石的强度和稳定性, 还可能导致一系列地质灾害, 如岩层滑动、软化和膨胀等。在软岩区域, 地下水的作用尤为显著。水分的渗透使软岩发生软化, 导致岩石强度急剧下降, 同时增加了其塑性变形的可能性。这种变形导致巷道围岩的稳定性下降, 进而增加了巷道塌方、冒顶等事故发生的风险。软岩区域的地下水渗透作用尤其显著, 它能够加速围岩的风化和腐蚀, 进一步削弱巷道的承载力, 使得巷道支护难度增大。除此之外, 地下水通过岩层裂隙渗透至巷道内部时, 会加剧巷道围岩的侵蚀与破坏, 特别是在岩石裂隙发育的地区, 水流的渗透作用容易形成滑坡、泥石流等次生灾害, 导致巷道失稳^[2]。

1.4 煤层赋存条件的影响

煤层的厚度变化会对巷道掘进过程中的支护要求产生重要影响。在煤层厚度较大的区域, 掘进时需要频繁调整支护参数, 以适应煤层围岩的变化。这不仅增加了施工的难度, 还可能提高施工成本, 因为较厚的煤层往往伴随较大的围岩压力, 需要采取更加坚固的支护措施, 以确保巷道的稳定性。煤层的倾角对巷道的受力状态和变形特征具有直接影响。大倾角的煤

层通常会导致巷道的侧向压力增大, 容易发生侧向滑动或倾倒, 这种现象在开采过程中尤为突出。为了防止这种情况的发生, 通常需要采用特殊的支护措施, 如加强巷道两侧的支护强度, 或者使用倾斜支护结构, 确保巷道的稳定性。煤层的埋深对巷道的围岩应力有着决定性的影响。随着埋深的增加, 巷道围岩所承受的应力逐渐增大, 导致变形幅度加剧。在深部煤层开采时, 围岩的强度通常较低, 容易发生塑性变形, 因此需要加强支护结构的强度与密度。深埋煤层的开采往往需要更高的支护密度和更加复杂的支护方案, 以应对增加的围岩应力和可能的变形。

2. 保障巷道稳定性的策略

2.1 优化巷道布置与设计

2.1.1 巷道轴线方向优化

巷道轴线方向的选择直接影响巷道的受力状态以及围岩的变形特征。在地质条件复杂的矿区, 巷道轴线与最大主应力方向的相对位置至关重要。为了减少地应力对巷道的侧向挤压, 通常应尽量使巷道轴线与最大主应力方向平行或与其成小角度相交, 这样可以有效减轻围岩的侧向压力, 降低巷道塌方和变形的风险。特别是在软弱围岩或者变形较大的地区, 轴线方向的优化能够显著减少由于不合理受力所引起的围岩不稳定。此外, 在复杂的地质环境中, 仅依靠传统的经验进行轴线设计可能无法确保巷道的稳定性, 因此应结合现代数值模拟技术, 通过对矿区地质条件的精确分析, 模拟不同轴线方向下巷道的应力分布和变形情况, 从而科学确定最优轴线方向。同时, 现场监测技术也能提供实时的围岩变形信息, 通过监测数据与数值模型的对比, 可以进一步验证轴线方向的合理性, 并在实际施工过程中对巷道的受力和变形进行动态调整。

2.1.2 巷道断面形状设计

在实际工程中, 巷道断面形状的选择应根据地质条件、围岩性质以及巷道的使用功能进行综合考虑。一般来说, 巷道周边应尽量保持圆滑形状, 以避免应力集中, 特别是在软岩区域, 圆形或椭圆形的断面可以较好地适应地应力的变化, 减少围岩的变形和破坏。圆形断面能够均匀分布围岩所受的地应力, 从而降低巷道变形和塌方的风险, 适合应用于软岩和变形较大的区域。对于软岩巷道, 由于其强度较低、易受外界压力影响, 采用圆形或椭圆形断面有助于提升巷道的稳定性, 减轻围岩变形。另一方面, 在硬岩区域, 尽管硬岩的强度较大, 但仍需保证巷道稳定性的前提下, 通常可以采用矩形或梯形断面。这些断面形状在保证稳定性的同时, 可以有效提高巷道的空间利用率, 满足生产和通行的需求。矩形断面适用于相对规整的硬岩区域, 能够提高巷道的空间效率, 特别是当巷道的开挖空间有限时, 矩形断面是一个有效的选择。梯形断面则在处理地层倾斜较大的地区时具有优势, 通过合理调整断面形状, 可以优化地应力的分布, 减少岩层滑动的风险^[3]。

2.1.3 巷道断面尺寸确定

在实际工程中,断面尺寸的设计需要在保证巷道的使用功能和施工安全的前提下,尽量减少断面面积,以降低围岩破裂范围和支护难度。在满足使用面积的基础上,尽量控制断面尺寸,减少开挖量,以降低开挖成本和支护成本。过大的巷道断面会导致不必要的围岩破裂,增加支护难度,增加成本。因此,合理的断面尺寸应在满足巷道正常使用的前提下,尽量缩小尺寸,以确保经济效益的最大化。对于软岩地区,由于软岩的变形能力较大,且容易在受力作用下发生塑性变形,因此需要适当增大巷道断面尺寸,以预留足够的变形裕量。这不仅能够避免巷道变形过大导致的使用不便,还能在巷道受力后保持足够的使用空间,确保生产作业的顺利进行。在此过程中,必须通过精确的数值模拟和现场监测手段,分析不同断面尺寸对围岩变形和巷道稳定性的影响,从而优化设计方案。

2.2 加强支护技术与材料应用

在巷道开挖后,及时采取有效的支护措施至关重要,能够有效防止围岩发生过度变形、破坏及坍塌,确保巷道的稳定性和使用安全。根据不同的地质条件、巷道用途以及围岩特性,应合理选择支护方式并选用合适的支护材料。目前,常见的支护技术包括锚喷支护、U型钢支护和锚网索支护等。随着科技的发展,支护材料和技术的不断创新,为巷道支护提供了更多的选择,并显著提升了支护效果和巷道的稳定性。

锚喷支护技术是常用于软岩和变形较大的巷道中,其通过锚杆和喷射混凝土形成一个整体的支护结构,有效地提高了围岩的抗变形能力和承载力。锚杆通过深入围岩形成稳定的锚固力,而喷射混凝土则覆盖在围岩表面,增强其抗压和抗拉强度。在软岩巷道中,锚喷支护技术能够有效限制围岩的变形,防止破坏的扩展,确保巷道的安全性。在实际施工中,锚杆的安装质量和喷射混凝土的厚度及强度直接影响支护效果,因此施工过程中应严格控制这些因素,确保支护体系的整体性和有效性^[4]。

U型钢支护技术广泛应用于大变形和高地应力区域。由于其具有合理的断面形状和较高的支护强度,U型钢支护能够有效抵抗围岩的变形与破坏,保持巷道的稳定性。与其他支护方式相比,U型钢支护具有良好的空间利用性,并能承受较大的外力作用。在施工过程中,需要确保U型钢的规格和布置符合设计要求,并严格控制挂网喷浆的厚度与质量,以确保支护结构的坚固性和持久性。

锚网索支护技术结合了锚杆、锚索和金属网的优点,适用于复杂地质条件下的巷道支护。锚杆和锚索能够深入围岩深层提供稳定的锚固力,而金属网则能够覆盖围岩表面,防止小块岩石脱落,减少坍塌的风险。此技术通过多个支护元件的协同作用,有效提升了支护系统的稳定性和可靠性。在实际施工中,应确保锚杆、锚索的安装质量以及金属网的铺设质量,以保证

支护体系的整体效能。

2.3 完善检测与预警系统

位移监测技术是巷道稳定性监测的基础手段之一。通过在巷道关键部位安装位移传感器,可以实时跟踪巷道的变形情况,尤其是对地质条件复杂、易变形的巷道,位移监测具有重要意义。当巷道发生位移超出预设的安全阈值时,传感器会及时传递信息,触发报警机制,提示相关人员采取应急处理措施,防止进一步变形和失稳。通过连续的监测与数据积累,位移监测不仅能够预警突发的失稳风险,还能为巷道长期稳定性提供科学依据,帮助制定合理的支护方案。

应力监测系统则提供了对围岩力学状态的实时了解。通过在巷道内安装应力传感器,可以监测围岩的应力分布和变化趋势。应力集中或异常变化往往是巷道失稳的前兆。通过监测这些变化,能够及时调整支护强度和加固措施,避免由于应力不均导致的围岩破裂和巷道塌方。在应力监测的过程中,数据不仅可以反映巷道的即时状态,还能够通过对历史数据的比对分析,发现潜在的应力变化趋势,为未来的巷道设计和维护提供参考^[5]。

预警机制的建立是保障巷道稳定性的核心环节。系统通过设定一系列预警值和报警程序,将监测数据与设定的安全阈值进行比对。一旦某项监测数据超过预警值,系统会自动启动报警程序,并通知相关人员及时采取措施。此外,定期对监测数据进行分析 and 评估,结合实际地质条件和巷道用途,能够为工程管理者提供科学决策依据,发现潜在的安全隐患并采取有效的预防措施。

3. 结语

综上所述,煤矿开采中的地质条件对巷道稳定性具有重要影响。复杂的地质结构、岩层变化以及地下水等因素,可能引发巷道的变形、破坏和塌方等安全问题。为了有效应对这些挑战,必须结合实际的地质条件,采取科学合理的措施保障巷道的稳定性。通过合理的支护设计、精确的开采工艺以及先进的监测技术,能够实时掌握巷道的应力分布和变形情况,及时发现潜在的安全隐患,从而避免事故的发生。

[参考文献]

- [1]张江伟.复杂地质条件下煤切巷支护方案的优化研究[J].能源与节能,2025,(05): 335-338.
- [2]喻明.煤矿开采工程巷道掘进和支护技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025,(09): 25-27.
- [3]安党佳.巷道围岩变形分析及巷道支护技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(08): 40-42.
- [4]陈丽.地质构造对煤矿开采安全性的影响及应对策略[J].内蒙古煤炭经济,2025,(08): 178-180
- [5]雷亮,邬永利,田永青,等.复杂地质条件下煤矿掘进支护技术要点及应用难点[J].内蒙古煤炭经济,2025,(07): 178-180.