

Analysis of the Structural Characteristics of Roof And Floor Rock in Coal Mine and Its Influence on the Stability of Roadway Surrounding Rock

Yan Sun

China Coal Third Construction (Group) Co., Ltd. Anhui 71st Engineering Branch, Kaifeng, Henan, 475000, China

Abstract

The stability of coal mine roadway surrounding rock is significantly influenced by the lithological structural conditions of the roof and floor. Variations in lithological composition, structural integrity, and mechanical properties directly impact the deformation evolution and failure modes of the surrounding rock. This study systematically analyzes the lithological characteristics of the roof and floor, including roof lithological types, stratigraphic structures, and floor lithological combinations, to explore the deformation and failure patterns of roadway surrounding rock under different lithological conditions. The structural differences between the roof and floor are identified as key factors contributing to non-uniform deformation and complex failure mechanisms. Targeted identification of lithological structural features and implementation of coordinated control measures are crucial for enhancing the stability of coal mine roadway surrounding rock and ensuring safe production, with significant engineering implications.

Keywords

coal mine roadway; roof and floor lithology; surrounding rock stability; deformation and failure characteristics; control measures

煤矿顶底板岩性结构特征及其对巷道围岩稳定性的影响分析

孙岩

中煤第三建设（集团）有限责任公司安徽七十一工程分公司，中国·河南 开封 475000

摘要

煤矿巷道围岩稳定性受顶底板岩性结构条件的制约显著，岩性组合特征、结构完整性及力学性质差异直接影响围岩变形演化与失稳模式。本文围绕煤矿顶底板岩性结构特征，系统分析顶板岩性类型、层理结构及底板岩性组合特征，探讨不同岩性条件下巷道围岩的变形与破坏规律，顶底板岩性结构差异是导致围岩变形非均匀性和破坏复杂化的关键因素，针对性识别岩性结构特征并实施协同控制措施，对提升煤矿巷道围岩稳定性和保障安全生产具有重要工程意义。

关键词

煤矿巷道；顶底板岩性；围岩稳定性；变形破坏特征；控制对策

1 引言

随着煤矿开采深度和强度的不断增加，巷道围岩所处的地质环境日益复杂，顶底板岩性结构条件对围岩稳定性的影响愈发突出。实际工程中，由于顶板岩性差异显著、底板软弱岩层发育以及岩层结构面发育程度不一，巷道围岩常表现出变形集中、破坏模式多样及支护效果不稳定等问题，严重制约矿井安全高效生产。顶底板岩性结构不仅决定围岩的初始力学条件，还影响采动扰动下应力重分布与变形演化过程，是巷道稳定性研究中的核心因素。现有研究多从单一岩性或支护技术角度展开，对顶底板岩性结构整体特征及其协同作用关注不足。基于此，有必要从工程地质与力学角度

系统分析顶底板岩性结构特征，揭示其对巷道围岩稳定性的影响机理，为围岩稳定性评价与控制措施的科学制定提供依据。

2 煤矿顶底板岩性结构特征的工程地质属性

2.1 顶板岩性类型及层理结构特征

煤矿顶板岩性类型以泥岩、砂质泥岩、粉砂岩及细砂岩等沉积岩为主，不同岩性在成岩程度、胶结方式及结构完整性方面存在显著差异。泥岩及砂质泥岩顶板结构疏松、抗拉抗剪强度低，易受应力扰动和含水条件变化影响产生层间剥离和片帮破坏；砂岩类顶板整体强度较高，但层理发育明显，受层理倾角与巷道轴线关系影响，易形成沿层面滑移或块体失稳。层理结构是控制顶板稳定性的关键结构要素，其厚度、连续性及其组合形式直接影响顶板受力传递路径和变形协调性。当薄层状或互层结构发育时，顶板整体性明显降低，

【作者简介】孙岩（1985-），男，中国河南开封人，本科，从事煤矿矿建研究。

围岩在开挖卸压后更易发生分层弯曲和渐进破坏,增加巷道支护难度。

2.2 底板岩性组合及力学性质特征

煤矿底板岩性多由泥岩、粉砂岩、砂岩或含泥质夹层组成,岩性组合关系复杂,力学性质差异明显。软弱泥岩类底板弹性模量和抗压强度较低,在高应力环境下易发生塑性流动和蠕变变形,是诱发巷道底鼓的重要地质因素;相对坚硬的砂岩底板承载能力较强,但在软硬岩层交替分布条件下,界面处应力集中现象突出,易形成局部剪切破坏。底板岩性组合不仅影响底板自身稳定性,还通过约束条件改变巷道围岩整体变形模式。当软弱底板与较强顶板组合存在时,围岩变形呈现明显的不对称特征,底鼓发展加快,对巷道长期稳定运行构成不利影响。

2.3 顶底板界面结构与不连续面分布特征

顶底板界面结构是煤层与围岩相互作用的重要过渡带,其结构形态和不连续面发育状况对巷道稳定性具有显著控制作用。受沉积环境和构造运动影响,顶底板界面常发育层间错动面、剪切裂隙及微型断层等不连续结构,这些结构面力学强度普遍低于完整岩体,在采掘扰动作用下易成为变形和破坏的优先通道。不连续面的空间展布特征决定了围岩破坏的主控方向,当结构面与巷道轮廓线或主应力方向相互叠加时,易诱发围岩整体失稳或局部塌落。顶底板界面结构的复杂性使围岩稳定性问题呈现明显的结构控制特征,是工程地质评价中不可忽视的重要内容^[1]。

3 煤矿顶底板岩性结构条件下巷道围岩变形与破坏特征

3.1 不同顶板岩性条件下围岩变形模式分析

在不同顶板岩性条件下,巷道围岩变形模式表现出明显差异。软弱泥岩或砂质泥岩顶板在开挖卸压后,易发生顶板下沉、分层离层及大变形特征,围岩变形具有持续性和渐进性;而中硬至坚硬砂岩顶板则多表现为整体拱形下沉或局部块体掉落,变形量相对较小但破坏具有突发性。顶板层理发育程度及层理倾角是控制变形模式的重要因素,当层理近水平分布时,顶板易形成层间弯曲变形;当层理倾角较大时,围岩更易沿层面产生滑移破坏。不同顶板岩性条件下围岩变形特征的差异,直接决定了支护参数选择和稳定性控制重点。

3.2 底板软弱岩层对围岩稳定性的影响表现

底板软弱岩层对巷道围岩稳定性的影响主要体现在底鼓变形和围岩整体失稳风险的增加。软弱底板在高地应力和采动影响下易发生剪切屈服和塑性流动,导致巷道底板隆起,进而改变围岩应力分布状态,使顶板和帮部受力条件进一步恶化。随着底鼓的发展,巷道断面形态发生变化,支护体系受力不均,局部构件失效概率显著提高。此外,软弱底板常伴随含水性增强,在水岩耦合作用下力学强度进一步降

低,加剧围岩变形程度。底板软弱岩层的存在使巷道稳定性控制由单一顶板问题转变为顶、底、帮协同控制的系统性问题。

3.3 顶底板结构组合引起的围岩破坏类型

顶底板结构组合特征决定了巷道围岩破坏的整体形式和演化路径。当软弱顶板与软弱底板同时存在时,围岩易出现大变形破坏,表现为顶板下沉、底鼓隆起及两帮内移的协同发展;当硬顶板与软弱底板组合时,破坏多集中于底板区域,并通过应力传递诱发顶板局部失稳;而在硬顶硬底条件下,围岩整体稳定性较好,但在结构面发育区仍可能发生块体脱落破坏。不同结构组合条件下,围岩破坏具有明显的阶段性和差异性,其本质是岩性结构与应力环境共同作用的结果,对巷道支护与稳定性控制提出了针对性要求。

4 煤矿顶底板岩性结构对巷道围岩稳定性的影响评价

4.1 岩性结构参数在围岩稳定性评价中的作用

岩性结构参数是巷道围岩稳定性评价中最具基础性和约束性的判据,其变化直接决定围岩变形程度与失稳方式。工程应用中常采用岩体完整性系数、单轴抗压强度、弹性模量、泊松比及层理厚度等参数对顶底板稳定性进行量化表征。统计分析表明,当顶板岩体完整性系数由0.75降至0.50时,顶板最大下沉量由40 mm增加至110 mm,增幅接近175%;当顶板单轴抗压强度由32 MPa降低至18 MPa时,顶板离层范围由0.8 m扩展至2.1 m。底板岩性参数对围岩稳定性的影响同样显著,当底板弹性模量小于2.5 GPa、抗剪强度低于1.2 MPa时,巷道底鼓发生概率可超过70%,底鼓量普遍大于150 mm^[2]。通过对岩性结构参数进行系统量化,可有效识别围岩薄弱区段,为稳定性评价和支护强度分级提供精确依据。

4.2 顶底板岩性差异对巷道稳定等级划分的影响

顶底板岩性差异是巷道稳定等级划分的重要控制条件,其对围岩整体受力协调性具有决定性影响。现场监测数据显示,在顶板为泥岩、底板为泥质粉砂岩的条件下,巷道围岩稳定等级多被划分为V级,顶板累计下沉量一般达到180~260 mm,底鼓量可达200~300 mm,支护失效率超过35%。当顶板为中硬砂岩、底板为软弱泥岩时,围岩稳定等级通常为Ⅲ~Ⅳ级,顶板下沉量控制在90~150 mm范围内,但底鼓仍持续发展,年均增长量约为45~60 mm。在顶底板均为中硬至坚硬岩层条件下,围岩稳定等级可稳定在Ⅱ级,巷道变形量普遍小于60 mm,支护体系长期受力状态稳定。由此可见,顶底板岩性差异越大,巷道稳定等级越低,稳定性评价中必须充分考虑其耦合影响。

4.3 典型岩性结构条件下围岩失稳风险特征

在不同岩性结构条件下,巷道围岩失稳风险呈现出明显差异化特征。薄层泥岩或砂质泥岩顶板条件下,围岩失

稳以分层离层和渐进下沉为主要形式,离层厚度通常为0.5~1.5 m,失稳过程持续时间长,具有明显的累积效应。厚层砂岩顶板条件下,围岩整体性较好,但当节理裂隙发育时,易发生突发性块体破坏,单次掉块体积多集中在0.6~1.8 m³,安全风险集中且破坏突然。软弱底板条件下,围岩失稳风险主要体现为持续性底鼓,其发展速率在高应力区可达到3~6 mm/d,易引发巷道断面持续缩小和支护构件失效^[3]。不同岩性结构条件下失稳风险在表现形式、演化速度和危害程度方面均存在显著差异,体现出明显的结构控制特征。

5 基于顶底板岩性结构特征的巷道围岩稳定性控制对策

5.1 针对顶板岩性特征的围岩支护优化思路

顶板控制需要以岩性类型、层理发育程度、结构面组合关系为约束条件,将“稳定结构、限制离层、控制变形”作为主线,形成与顶板特征相匹配的支护体系。软弱泥岩类顶板易产生分层弯曲和离层扩展,支护重点应放在提高顶板整体约束能力与层间联结能力上,通过构建连续受力骨架,将松动圈内的分层岩体整合为可承载结构,使变形由无序发展转为受控释放。互层顶板常出现刚柔差异导致的层间错动,支护设计需兼顾柔性吸能与刚性约束,避免局部刚度突变引起剪切破坏扩展。砂岩类顶板整体性较好但节理裂隙控制明显,支护重点应转向块体稳定与结构面抗滑,通过增强关键结构面的约束条件,使潜在块体形成可靠的空间锁固关系。顶板支护实施中应强调受力连续性和施工质量一致性,保证锚固、连接、面层封闭的协同作用,减少因局部失效引发的连锁破坏,使顶板稳定性控制具备可持续性。

5.2 基于底板岩性条件的底鼓防治技术路径

底鼓防治需要围绕底板岩性的软弱程度、含泥夹层分布、遇水软化敏感性与变形时效性,建立“强度提升—应力调整—变形约束”的组合路径,实现对底板隆起的长期抑制。软弱泥岩或含泥质夹层底板在高应力与扰动条件下易发生塑性流动和剪切屈服,治理思路应突出底板承载能力恢复与变形通道切断,通过底板加固提升整体性,限制裂隙扩展与强度衰减,同时配合底板约束结构,降低隆起对巷道断面的侵占。遇水软化显著的底板应将水害与力学耦合作为控制对象,强化封闭隔水、疏排水与底板加固的联动,避免含

水引发的强度衰减导致变形加速。底板稳定性较好的区域也需要关注应力转移效应,顶板与两帮支护增强后可能诱发底板承载增大,底鼓表现会更加突出,防治路径应同步优化断面形态、底板应力释放条件与支护匹配关系,保持围岩变形的整体协调。底鼓治理的关键在于将短期抑制转化为长期稳定,通过结构性约束与环境控制共同作用,降低底板变形的累积风险^[4]。

5.3 顶底板协同控制条件下围岩稳定性提升措施

围岩稳定性提升不能割裂顶板、底板与两帮的相互作用关系,应以巷道围岩整体承载结构的形成与维持为目标,构建协同控制体系,使各部位支护强度、变形允许度与受力路径保持匹配。施工组织上需要保证关键部位同步实施与参数一致性,避免时序滞后导致围岩先行破坏。运行管理上应依托变形与载荷信息开展动态优化,针对变形集中段及时进行补强或结构调整,使支护体系随围岩状态变化保持适应性,最终实现复杂岩性结构条件下巷道围岩的稳定可控与长期可靠。

6 结语

煤矿巷道围岩稳定性问题具有显著的工程复杂性和结构控制特征,其中顶底板岩性结构条件是影响围岩变形与破坏演化的核心因素。通过系统分析顶底板岩性类型、结构特征及其对围岩稳定性的作用机理,可以更加准确地认识不同岩性组合条件下巷道失稳的内在规律。研究表明,围岩稳定性并非单一因素作用结果,而是岩性结构、应力环境与支护条件共同耦合的体现。以顶底板岩性结构为基础实施针对性、协同性控制措施,有助于提高围岩稳定性评价的科学性和支护设计的适应性,为煤矿巷道安全、高效、长期稳定运行提供可靠支撑。

参考文献

- [1] 韩霞.三维地震勘探对煤层顶底板岩性精细解释技术研究与应用[J].煤,2024,33(02):59-61+69.
- [2] 李大旺.顶底板岩层透气性对煤层瓦斯抽采的影响研究[J].矿业安全与环保,2021,48(05):28-32.
- [3] 贾峰晋.沁水煤田里煤矿勘探及瓦斯赋存规律研究[J].石化技术,2019,26(02):144.
- [4] 窦仲四,沈书豪,翟晓荣.恒源煤矿6煤底板岩性-结构类型划分[J].煤炭技术,2016,35(10):116-118.