

Study on stability and support of soft rock roadway in coal mine

ZewenLi Sheng Wang Cong Chen Bin Yu

Sichuan Furong South Sichuan Construction Engineering Co., Ltd., Yibin, Sichuan, 644000, China

Abstract

This study investigates the stability and support design of a soft rock tunnel in a coal mine in Guizhou. Using the FLAC3D numerical simulation software, the stability of surrounding rock during tunnel excavation and support was systematically analyzed. A three-dimensional computational model was established to analyze key parameters such as stress, displacement, plastic zones, and maximum shear strain. The results show that the combined support system of anchor bolts, cable bolts, and shotcrete effectively controls surrounding rock deformation and ensures the overall stability of the tunnel. Under the support, the roof displacement is 2.2 cm, the floor heave is 0.42 cm, and plastic zones and maximum shear strain do not form through-going failure. The surrounding rock deformation remains controllable, indicating that the tunnel is stable. This study provides an effective theoretical basis and practical reference for the support design of similar soft rock tunnels in coal mines.

Keywords

Tunnel; Stability; Flac3D; Support Function1

某煤矿软岩巷道稳定性及支护研究

李泽文 王盛 陈聪 余斌

四川芙蓉川南建设工程有限公司, 中国 · 四川 宜宾 644000

摘 要

本文研究了贵州某煤矿软岩巷道的稳定性及支护设计, 采用FLAC3D数值模拟软件对巷道开挖及支护过程中的围岩稳定性进行了系统分析。通过建立三维计算模型, 分析了巷道的应力、位移、塑性区及最大剪切应变等关键指标。研究结果表明, 选用锚杆、锚索与喷浆结合的支护方式能够有效控制巷道围岩变形, 确保巷道的整体稳定性。在支护作用下, 巷道顶板沉降位移为2.2cm、底板隆起位移为0.42cm, 且塑性区和最大剪切应变均未发生贯通性破坏, 围岩变形处于可控范围, 表明巷道稳定性良好。该研究为类似煤矿软岩巷道的支护设计提供了有效的理论依据和实践参考。

关键词

巷道; 稳定性; Flac3D; 支护作用

1 引言

煤矿巷道的稳定性和支护分析是矿山安全生产中的关键问题之一。巷道的稳定性直接关系到矿工的生命安全、矿山的正常生产以及矿体资源的合理开发。随着煤矿开采深度的不断增加, 矿山地下环境的复杂性也日益提升, 巷道稳定性面临的挑战愈加严峻^[1]。支护系统的选择和优化不仅要考虑到岩土层的力学性质, 还要综合考虑地下水、气候变化以及长期开采对矿体的影响。因此, 煤矿巷道的稳定性分析与支护设计, 成为确保矿山安全生产、提高采矿效率的重要手段^[2]。

国内外学者对巷道稳定性及支护已做了大量研究, 杨

庚^[3]软岩巷道的稳定性和支护分析是矿山安全生产的关键问题, 随认为着开采深度的增加, 软岩层的复杂性使得巷道稳定性面临更大挑战, 需考虑其低抗压强度、高变形性及地下水、气候变化等因素, 合理优化支护系统以确保矿山安全生产。李永超^[4]等认为厚层软岩作为锚固层不合理, 锚杆支护范围小且支护强度低, 导致围岩变形严重, 而全锚索支护通过均化应力和强化锚固, 能有效锚固软岩并优化支护效果, 现场应用中通过调整锚索长度和间距优化支护方案, 显著减少了顶板塑性区和围岩变形, 取得了良好效果。史彦平^[5]以平舒煤矿 15 号煤顶底板泥岩巷道变形严重, 提出的锚索桁架支护结构通过稳定锚固点、提高顶板承载能力和适应顶板变形, 有效控制了软弱顶底板巷道变形, 为类似软岩巷道支护提供了参考。安俊孝^[6]等以雅店煤矿二号主排水仓为背景, 研究发现高应力软岩巷道变形受围岩膨胀性黏土矿物含量和高地应力的影响, 提出的全断面锚注支护技术通

【作者简介】李泽文(1982-), 中国四川泸县人, 本科, 工程师, 从事采矿工程研究。

过注浆改性和锚索加固，有效提高围岩强度和结构完整性，显著控制了巷道围岩变形，取得了良好的控制效果。

因此本文以贵州某矿山巷道工程为研究对象，基于 FLAC3D 数值模拟软件建立了三维计算模型，对巷道开挖及支护过程中的围岩稳定性进行系统分析，通过锚杆 + 锚索喷浆联合支护作用下分析巷道的稳定性，研究结果可为类似工程提供意见。

2 工程地质概况

矿区地层主要由古生界至新生界的沉积岩层构成，含煤地层多位于石炭系、二叠系或侏罗系中，岩性包括砂岩、泥岩、粉砂岩和煤层等。煤层顶底板岩性对巷道稳定性至关重要：直接顶板常为泥岩或粉砂岩，底板则以泥岩或砂岩为主。这些岩层的工程性质差异显著，可划分为坚硬岩组（如厚层砂岩）、半坚硬岩组（如粉砂岩）和软弱岩组（如泥岩），

其中软弱岩组易遇水软化、稳定性较差。

3 数值计算分析

3.1 数值计算模型的建立

根据图示，所建立的矿山煤巷数值计算模型的尺寸为：x 轴长度 50 米、z 轴深度 -28 米、y 轴宽度 20 米，模型结构和支护方式如图 1 所示。在计算过程中，四周及底部边界设定为固定，模拟实际工作环境中的约束条件。该模型采用摩尔 - 库伦本构模型来描述岩土体力学特性，相关的岩土体力学参数如表 1 所示，包括内摩擦角、黏聚力、弹性模量等。支护设计则采用表 2 中所列的支护参数，确保煤巷的稳定性和安全性。通过精确的数值计算和合理的边界条件设置，结合摩尔 - 库伦本构模型和支护参数，本研究能对煤巷稳定性进行系统分析，为矿山设计提供理论依据和技术支持。

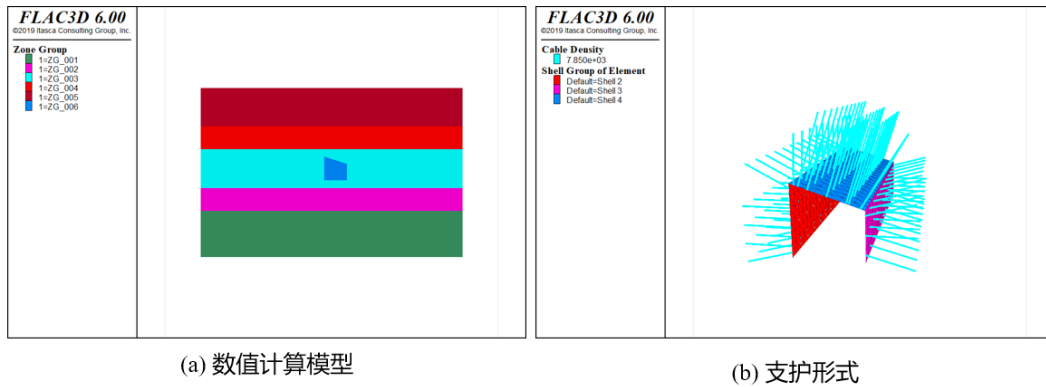


图 1 数值计算模型及支护方式

表 1 岩体力学参数

岩石	弹性模量 /GPa	泊松比	粘聚力 MPa	摩擦角 /°	容重 /KN · m ⁻³
泥岩	1.42	0.25	0.26	32.5	2335
煤	1.21	0.26	0.12	30.3	1400
粉质泥岩	1.96	0.24	0.29	33.5	2456
粉砂岩	2.26	0.23	0.45	33.6	1400
砂岩	3.56	0.22	0.53	34.5	2530

表 2 支护参数表

支护形式	Flac3D	杨氏模量	泊松比
锚杆	Cable	200GPa	0.2
喷浆	Shell	24GPa	0.2

3.2 应力分析

巷道开挖完成后，由于临空面的形成，原岩应力的变化是不可避免的。在这一过程中，原岩的应力状态由压应力逐渐转变为拉应力，从而可能导致巷道发生破坏。这种应力变化对巷道的稳定性产生重要影响。根据图 1 所示，在支护作用下，巷道整体保持在压应力状态，具体表现为 zz 方向的应力为 1.23 kPa，xx 方向的应力为 0.21 kPa。通过这种支

护设计的有效施加，巷道的应力状态始终处于压应力范围，从而确保了巷道的整体稳定性。由此可以推断，在当前支护条件下，巷道处于一个稳定的状态，未出现因拉应力引发的破坏风险。因此，支护系统的作用对于巷道的安全性起到了至关重要的保障作用。

3.3 塑性区及最大剪切应变分析

巷道开挖后，围岩的应力状态发生重分布，开挖打破了原岩应力平衡，导致围岩应力重新分布。在巷道周边，切向应力集中而径向应力显著降低，当应力组合满足岩体的屈服条件时，岩体便进入塑性状态，形成塑性区，巷道开挖完成后主要发生剪切破坏，但塑性区并未贯通，结合最大剪切应变云图可知最大剪切应变并未贯通，因此认为巷道处于稳定状态。

4 结语

本文以贵州某矿山巷道工程为背景，采用 FLAC3D 数值模拟软件，对二采区回风下山巷道开挖与支护过程中的围岩稳定性进行了系统的计算与分析，主要得出以下结论：

采用锚杆 + 锚索结合喷浆的支护形式，经过数值模拟

分析,得出在支护作用下巷道整体处于压应力状态。具体来说,zz方向的应力为1.23 kPa,xx方向的应力为0.21 kPa,这表明在支护体系的作用下,巷道围岩整体受到了压应力的约束,有效避免了由于拉应力引发的破坏。因此,支护系统的设计确保了巷道处于安全、稳定的应力状态。

在控制围岩变形方面,支护体系表现出显著的效果。数值模拟结果表明,该支护体系能够有效抑制巷道开挖后的应力重分布和塑性区的扩展,保持围岩的稳定性。具体来看,巷道顶板的沉降位移为2.2 cm,底板隆起位移为0.42 cm,两帮内挤位移分别为1.45 cm和1.24 cm,所有这些位移均控制在较低水平,远未达到破坏性水平。这说明该支护体系在开挖过程中对围岩变形的抑制作用显著,有效保证了巷道

的整体稳定性。

根据塑性区云图及最大剪切应变云图分析,巷道开挖后,围岩主要发生剪切破坏,且塑性区的范围相对有限,未形成贯通性破坏。进一步分析发现,最大剪切应变分布也没有出现贯通性裂隙。这种塑性区与最大剪切应变的“未贯通”状态表明,在所选支护方案下,围岩的变形被有效控制,未形成连通的破坏面。围岩仍保持较高的自承能力,未出现大规模的变形或破坏,巷道整体处于稳定状态。

综上所述,采用锚杆+锚索结合喷浆的支护方案能够有效保障巷道的围岩稳定性,通过合理的支护措施有效控制了应力重分布和围岩变形,确保了巷道的安全和稳定,为类似矿山巷道工程提供了宝贵的技术参考。

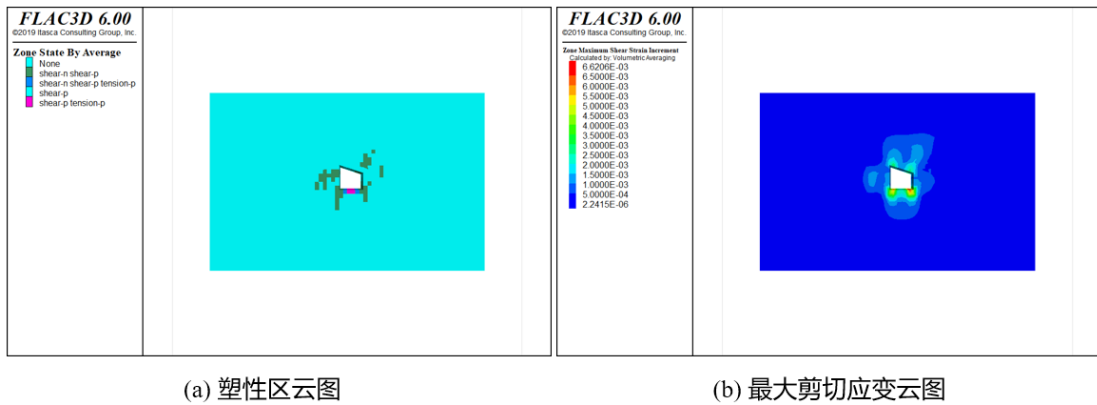


图 4 巷道开挖塑性区及最大剪切应变云图

参考文献

[1] 邹先龙,赵博.条带充填工作面巷道围岩稳定性数值模拟分析[J].煤,2025,34(09):19-24.

[2] 苑飞.南阳坡煤矿小煤柱巷道围岩变形机理与不对称性研究[J].山东煤炭科技,2025,43(08):62-67.

[3] 杨庚.大深度软岩巷道底鼓机理及加固方案的应用研究[J].煤炭与化工,2025,48(08):29-32.

[4] 李永超,王印,罗刚,等.回采巷道厚层软岩直接顶全锚索支护机制及应用[J].矿业科学学报,2025,10(04):775-784.

[5] 史彦平.平舒煤矿泥岩顶底板巷道变形机理与控制技术研究[J].煤炭与化工,2025,48(07):18-21+25.

[6] 安俊孝,程利兴,胡伟,等.高应力软岩巷道全断面锚注支护研究及应用[J].煤炭工程,2025,57(07):53-59.

[7] 芦盛亮.基于FLAC3D的高抽巷围岩稳定性数值模拟分析[J].煤矿现代化,2025,34(01):52-57+65.

[8] 杨庚.大深度软岩巷道底鼓机理及加固方案的应用研究[J].煤炭与化工,2025,48(08):29-32.