

应用研究·煤矿·

预应力锚注技术在深部区域巷道围岩控制中应用

Application of prestressed grouted anchor technology in surrounding rock control of deep roadway

韩少勇 (山东能源集团肥城矿业公司工程管理科, 山东 泰安 271600)

摘要: 矿井开采深度不断增大, 地压随之增大, 导致巷道支护难度增大。为解决深部高应力围岩支护问题, 本文运用 COMSOL 软件进行了原岩巷道断面和预应力锚注支护巷道断面围岩应力分布数值模拟, 模拟得出预应力锚注技术可有效控制巷道顶板应力集中问题, 并可有效控制顶板岩石失稳问题。将预应力锚注技术应用到某矿 11034 运输巷支护中, 预应力锚注技术有效解决了深部高应力巷道内围岩支护问题。

关键词: 高应力; 预应力锚注; 数值模拟; 巷道支护

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2021)04-0034-03

Abstract: With the increasing mining depth, the ground pressure increases, which leads to the difficulty increase of roadway support. In order to solve the problem of deep high-stress surrounding rock support, this paper uses COMSOL software to carry out numerical simulation of surrounding rock stress distribution in both primary rock roadway section and prestressed grouted anchor support roadway section, and the simulation results show that prestressed grouted anchor technology can effectively control the stress concentration of roadway roof and the instability of roof rock. Prestressed grouted anchor technology is applied to the support of 11034 haulage roadway in a mine, proving that it can effectively solve the problem of surrounding rock support of deep high-stress roadway.

Key words: high-stress; prestressed grouted anchor; numerical simulation; roadway support

1 前言

近年来, 矿井开采深度不断延伸, 导致矿井掘进巷道围岩应力不断增大, 严重影响巷道支护稳定性。原始的巷道支护方式无法满足巷道支护要求。针对高应力围岩支护问题, 我国相关领域专家已经做出诸多研究^[1-3], 并取得一定的研究成果, 主要有中空注浆锚杆和高强注浆锚杆, 但由于操作较为复杂, 施工程序较多, 严重影响支护效率。

本文以某矿 11034 工作面运输巷掘进为背景, 采用预应力锚注技术对巷道进行支护, 运用 COMSOL 进行了预应力锚注技术应变模拟研究。

2 11034 运输巷概况

11034 工作面长 1 129 m, 宽 186 m, 主采煤层 3# 煤层, 岩层中间夹矸, 上下分层见夹着一层泥质粉砂

岩, 顶板为泥岩, 底板为泥质粉岩。根据勘查, 距离地表最小距离 1 300 m, 属于典型的埋深大、高应力区域。掘进过程中有少量水渗出, 围岩为软岩, 支护难度大。煤层柱状图如图 1 所示。

3 围岩应变数值模拟研究

假设巷道周围煤岩为均匀介质, 巷道顶板粉砂岩、底板泥质粉岩均为均匀介质, 岩层内应力分布均匀。所使用软件为有限元软件, 模拟介质结构在弹性范围内的应变情况^[4-6]。

11034 运输巷巷道断面设计为半圆拱形, COMSOL 模拟所用几何模型和巷道设计断面尺寸为 1:1 比例。几何模型如图 2 所示。

3.1 巷道未支护围岩应力分布模拟

巷道未进行支护时, 巷道承受的竖直方向的应力为 200 MPa, 水平方向应力为 120 MPa。不同岩层基本参数见表 1。

本文采用固体应力瞬态模型, 模拟出巷道断面受到应力 30 d 时的应力分布情况。应力分布如图 3 所示。

[作者简介] 韩少勇(1979-), 男, 汉族, 山东肥城人, 本科, 工程师, 现从事矿山技术与安全管理工作。

[引用格式] 韩少勇. 预应力锚注技术在深部区域巷道围岩控制中应用[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(4): 34-36+53.

层号	柱状 1:200	厚度/m	岩性描述
		2.0	煤黑, 块状, 半暗型煤, 夹矸为炭质泥岩
2#煤层 上分层		2.4	上部为浅灰色泥岩, 下部为薄层状泥质粉砂岩, 显水平层理
2#煤层 下分层		1.0	煤黑, 块状, 半暗型煤, 夹矸为炭质泥岩
		5.60~16.60 11.00	上部为浅灰色泥岩, 泥质粉砂岩。中部为浅灰色薄层状粉砂岩。下部为浅灰色细砂岩, 显水平层理, 富道理柯达木, 轮叶, 大羽羊齿植物叶化石, 含薄层状菱铁矿结核
		1.8	煤黑色, 块状, 以亮煤为主, 条带状结构, 为半亮煤, 少见镜煤, 内生裂隙发育, 夹矸2~5层为棕褐色高岭石泥岩和炭质泥岩
		1.0	浅灰色泥质粉砂岩, 显水平层理
3#煤层 上分层		1.7	煤黑色, 块状, 半亮型煤, 内生裂隙发育
3#煤层 下分层		0.40~1.40 1.05	上部为浅灰色泥岩, 下部为薄层状泥质粉岩, 显水平层理
13#		0.13~0.30 0.20	煤黑, 块状, 半暗型煤, 内生裂隙发育

图1 3#煤层岩层柱状图

表1 岩层基本参数表

岩性	密度 $\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	内摩擦角 $\phi / (^{\circ})$	弹性模量 E / GPa	内聚力 c / MPa	抗压强度 δ_c / MPa	抗拉强度 δ_1 / MPa	泊松比 μ
粉砂岩	2.46	38.9	89	8.9	96	8.9	0.33
泥质粉岩	2.76	46.9	77	8.3	76	6.3	0.21

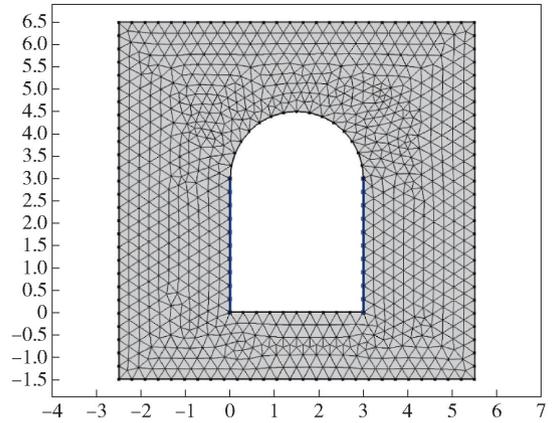


图2 模拟巷道几何模型

为了解顶板应力分布情况, 本文模拟得出中部位置到顶板距离 0~2 m 线型应力分布曲线^[7], 曲线图如图4所示。

由图3、4可知, 巷道正上方应力最大, 达到 $1.9 \times 10^8 \text{ Pa}$, 随着距离顶板位置越来越远, 应力逐渐降低, 最终趋于平稳。在距离顶板约 2 m 位置点应力基本趋于平稳, 此时应力约 $1.0 \times 10^8 \text{ MPa}$ 。

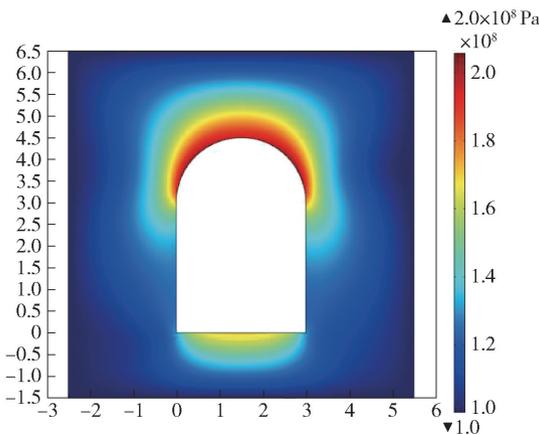


图3 30 d 时巷道断面应力分布云图

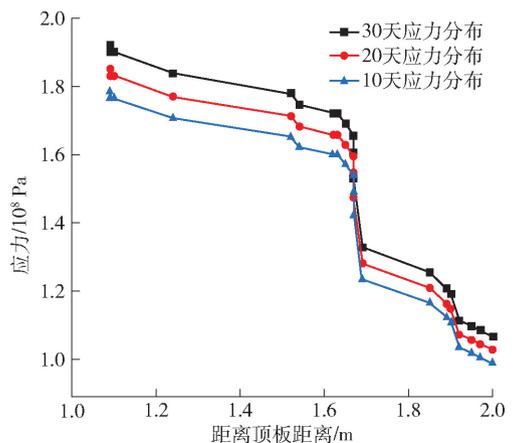


图4 顶板应力变化曲线图

3.2 巷道支护后围岩应力分布模拟

为了研究预应力注浆锚固后巷道围岩应力分布情况, 假设顶板每排实施预应力锚杆 5 根, 岩体周围所受的应力和原始应力模拟基本一致, 周围岩体基本参数和表1一致, 运用软件 COMSOL 进行数值模拟, 巷道周围应力分布如图5所示^[8-10]。

为定量研究巷道周围应力分布情况, 本文分别对巷道顶部锚杆不同时间段轴向应力分布情况进行了模拟, 模拟图如图6所示。

由图5、图6可知, 锚杆轴向应力分布均匀, 介于 $1.7 \times 10^8 \sim 1.9 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。15 d、20 d、30 d 三个时间段应力基本变化偏差较小。

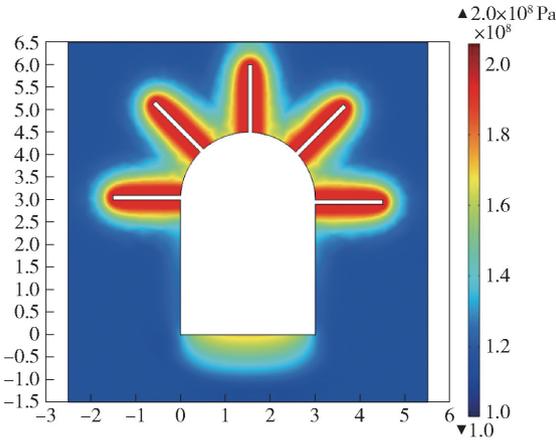


图5 锚固巷道周围应力分布云图

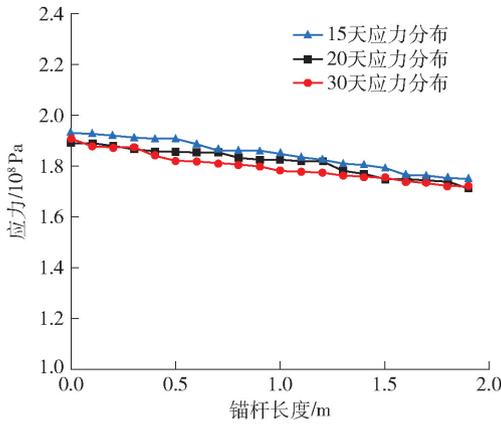


图6 锚杆轴向应力分布曲线图

3.3 模拟分析

分析巷道进行预应力锚注技术和未进行预应力锚注技术巷道周围岩石应力分布情况可知,巷道未实施预应力锚固技术时,巷道顶板围岩应力分布比较集中,而且整个顶板应力分布范围较大,水平方向应力延伸至左、右巷帮上。当进行了预应力锚注技术后,顶板围岩应力平均分布在锚杆上,并有效解决了巷帮应力延伸的问题。

4 现场应用

基于本文数值模拟研究成果,在11034运输巷支护过程中使用预应力锚注技术,锚固技术实施过程中,锚杆布置情况如图7所示。

巷道实施完成预应力锚注技术之后,运用速凝水泥进行了锚喷,底板进行了网片注浆铺设。锚杆均采用钢制锚杆,φ30 mm,锚杆施工密度为0.5 m × 0.5 m,支护完成后安装了顶板离层仪等监测设备进行了围岩变形监测。观测发现预应力锚注支护巷道区域在180 d的周期内未出现巷道断面垮落现象,巷道整体未出现大幅度变形。分析顶板离层仪监测

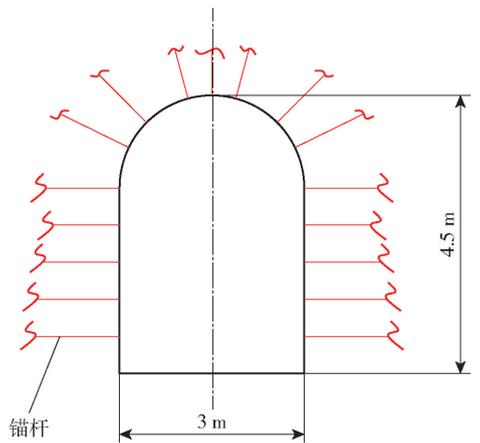


图7 巷道段锚杆布置图

数据,顶板离层仪数据稳定。

5 结论

本文针对深部高应力巷道支护问题,运用耦合数值模拟研究和现场应用考察的方法进行了相关研究,得出以下结论:

- (1)原始岩层状态进行开挖过程中,深部巷道断面顶板承受的应力最大,最大可达到 1.9×10^8 Pa,顶板应力向两帮传递。
- (2)运用预应力锚注技术的巷道顶板应力被锚杆承接,巷道顶板应力被传递到锚杆上后,有效解决了顶板岩石竖向离层问题,可有效控制顶板垮落。
- (3)通过现场考察分析,预应力锚注技术有效解决了深部巷道顶板岩石垮落、行帮大幅平移等问题,保证了支护巷道长时间完成性。

综上所述,预应力锚注技术从理论和实践上均可行。

[参考文献]

- [1] 单仁亮,彭杨皓,孔祥松,等. 国内外煤巷支护技术研究进展[J]. 岩石力学与工程学报,2019,38(12):2377-2403.
- [2] 孟庆彬,韩立军,张帆舸,等. 深部高应力软岩巷道耦合支护效应研究及应用[J]. 岩土力学,2017,38(5):1424-1435,1444.
- [3] 王卫军,袁超,余伟健,等. 深部大变形巷道围岩稳定性控制方法研究[J]. 煤炭学报,2016,41(12):2921-2931.
- [4] 张海洋. 云驾岭矿深部回采巷道围岩稳定性评价及支护技术研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2017.
- [5] 余伟健,冯涛,王卫军,等. 南方复杂条件下的薄煤层开采巷道围岩支护问题及对策[J]. 煤炭学报,2015,40(10):2370-2379.