

深埋运输顺槽巷道支护优化设计与应用

李 杰 席文渊

内蒙古科技大学矿业与煤炭学院 内蒙古包头 014010

摘要: 为有效解决深埋巷道掘进后发生的一系列支护安全事故,以某矿运输顺槽巷道为研究背景,针对其深埋、大围压、围岩弱承载的特点,且巷道掘进后原支护条件下巷道依旧变形严重不能满足巷道稳定性,因此采用现场实测和FLAC 3D数值模拟的方法,对锚杆、锚索支护方案做出优化设计。结果表明:数值模拟与现场实测对比发现,使用优化的支护方案能够有效的对巷道进行稳定性控制。

关键词: 深埋巷道; 联合支护; 支护优化; 数值模拟; 工程实测

Optimization design and application of support for deep-buried transport channeling roadway

Jie Li, Wenyuan Xi

School of Mining and Coal, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia, 014010, China

Abstract: In order to effectively address a series of safety incidents related to support systems that occur after deep roadway excavation, this study is conducted against the backdrop of a certain mine's transportation haulage roadway. Given the characteristics of deep burial, high ground pressure, and weak rock load-bearing capacity in this roadway, it is observed that the original support conditions do not prevent significant deformation of the roadway after excavation, compromising its stability. As a result, a combination of field measurements and FLAC 3D numerical simulations are employed to optimize the design of anchor rods and anchor cable support schemes. The results indicate that, through a comparison between numerical simulations and field measurements, the use of optimized support schemes can effectively enhance the stability control of the roadway.

Keywords: Deep Buried Roadway; Combined Support; Support Optimization; Numerical Simulation; Engineering Measurement

引言:

煤炭是我国主要能源,随着开采深度增加,深部巷道围岩控制需要更持久的稳定性^[1-5]。侯公羽等^[6]总结了巷道支护方法和理论,并提出了围岩与支护互作用的全过程解析法。针对某矿运输顺槽巷道的深埋、大围压、弱承载特征,以及原支护方案的不足,通过现场实测和FLAC^{3D}数值模拟,优化设计了锚杆、锚索联合支护方案,为类似工程提供参考。然而针对不同的围岩特征需要提出不同的支护方案^[7],针对某矿运输顺槽巷道深埋、大围压、围岩弱承载的特点,且巷道原支护方案不能满足巷道稳定性,为了增强巷道稳定性与安全性,通过现场实测和FLAC^{3D}数值模拟,对锚杆、锚索联合支护方案进行优化设计,可为相似工程提供参考。

一、工程概况

某矿2035工作面运输顺槽巷道位于侏罗系中统延安组粉细粒砂岩的5#煤层中,埋深678m,顶底板为细粒砂岩和泥岩。巷道走向长1800m,沿煤层顶板掘进,断面为矩形,宽5.5m,高3.5m。原支护方案不能有效控制巷道稳定性,为保证运输工作,需优化设计支护方案。

二、巷道破坏分析及支护优化

1. 原支护方案

锚杆-锚索组合支护,铁丝网防护,喷射混凝土护表。锚杆规格为 $\Phi 20 \times 2000$ mm左旋螺纹钢锚杆,间距1.0m,排距2.0m,每排5根,锚固力65KN。锚索尺寸为 $\Phi 17.8 \times 5000$ mm,间距1.5m,排距2.0m,每排4根,锚固力180KN。两边锚索距中心线1.25m。两帮3排垂直锚

杆, 间距1.0m, 排距2.0m。顶底角锚杆距中心线0.5m。具体布置方式如图1所示。

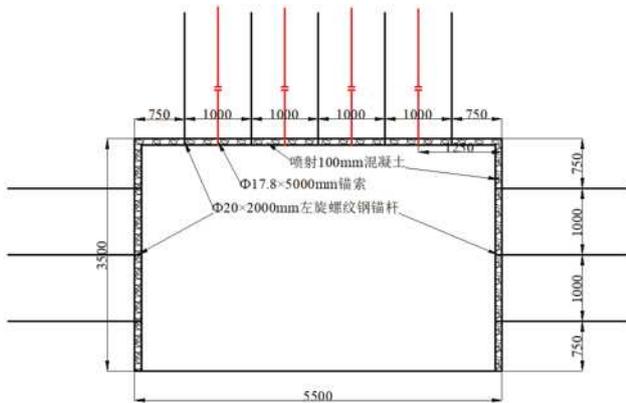


图1 原支护布置形式

2. 支护失效机理分析

泥岩巷道胀裂。由于泥岩膨胀率高, 开挖过程中的工程用水和开挖后的裂隙导水通道, 诱发了巷道顶底板泥岩的胀裂。底板底鼓。2035工作面回风顺槽未对底板支护, 工作面开采后, 巷道围岩压力升高, 引起底板两角应力集中和底鼓现象, 影响了围岩稳定性和巷道变形。支护失效。原支护方案未考虑高应力影响, 锚杆、索不能有效锚固老顶, 围岩裂隙未填补, 导致工作面开采后巷道围岩大变形。

3. 支护方案优化

针对2035工作面回风顺槽原支护方案失效原因, 从支护参数与支护方案上进行优化设计。为解决巷道胀裂问题, 将左旋螺纹钢锚杆改为注浆锚杆, 利用浆液固结岩体, 增强支护位置的整体稳定性, 防止巷道周围岩体胀裂和离层。为改善巷道底鼓严重问题, 先铲平隆起部位, 维护巷道断面面积, 再对底板做反底拱处理。为加强顶板和两帮的稳定性控制, 将左旋螺纹钢锚杆换为注浆锚杆, 并增加锚杆和锚索的长度, 使其能有效打入老

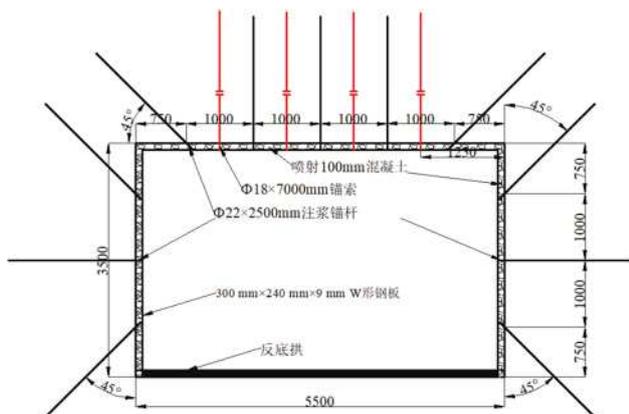


图2 优化支护后布置形式

顶。同时对两帮进行金属钢板护帮, 配合锚杆使用。为减轻顶底角位置围岩应力集中和破坏, 调整顶板顶角锚杆入锚角度为45°。优化后的支护布置形式如图2所示。

三、数值模拟分析支护效果

1. 初始模型构建

为验证优化后的联合支护方案的有效性, 运用FLAC^{3D}建立数值模拟模型。建立模型的尺寸为50×50×50m, 其中网格数量为290000个、节点个数为295689个, 同时采用摩尔-库伦准则。模型的边界条件设置如下: 模型底部设置固定, 在X方向上左右表面位移设置为0, 顶部加载15.4Mpa载荷以模拟埋深为628m时的地下岩层受力情况。岩性参数如表1所示。

表1 岩性参数表

岩层名称	岩性参数					
	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内摩擦角/°	内聚力/Mpa	抗拉强度/Mpa	密度
顶板粗砂岩	6.60	5.20	40	2.80	2.40	2680
顶板细粒砂岩	5.30	3.30	38	2.30	1.80	2470
5#煤	1.10	0.33	29	1.30	1.10	1470
底板泥岩1	3.60	2.40	34	2.10	1.60	2540
底板泥岩2	4.50	3.40	37	2.60	1.90	2610

2. 原支护效果分析

FLAC^{3D}模拟2035工作面回风顺槽巷道原支护过程, 支护后顶板压应力逐渐增加, 岩层下沉如图3所示。巷道四角拉应力集中, 顶板最大下沉271mm。原支护时, 两帮X轴方向水平应力先快速增加, 后缓慢增加, 两帮偏移速率先高后低, 最大偏移210mm。如图4所示。

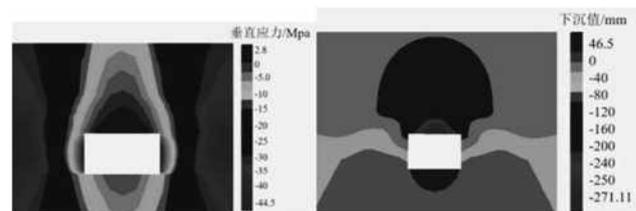


图3 原支护后顶板应力图、顶板下沉图

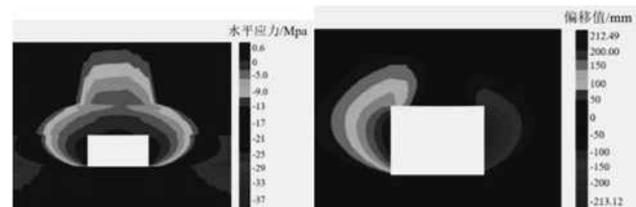


图4 原支护后X轴应力图、两帮偏移图

3. 优化后支护效果分析

模拟支护过程, 顶板压应力逐渐增加, 岩层下沉如图5所示, 最大下沉50mm, 在合理范围内。锚杆、锚索支护后, X轴水平应力降低, 两帮水平偏移减少, 最大

偏移100mm, 如图6所示。

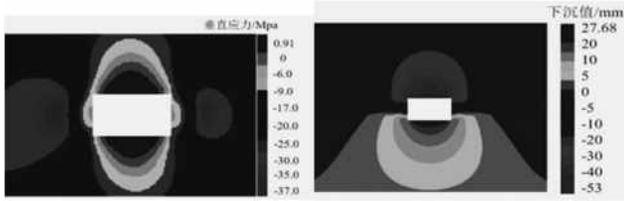


图5 支护顶板应力图、下沉图

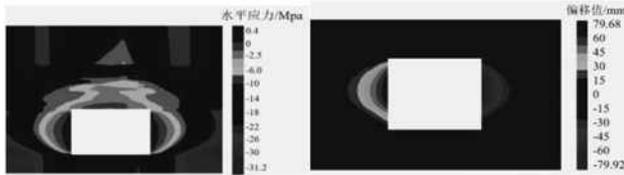


图6 支护X轴应力图、两帮偏移图

四、支护实测

掘进回风巷道, 布置锚杆锚索支护, 测点监测下沉与偏移值。巷道顶板及两帮变化规律如图7所示。

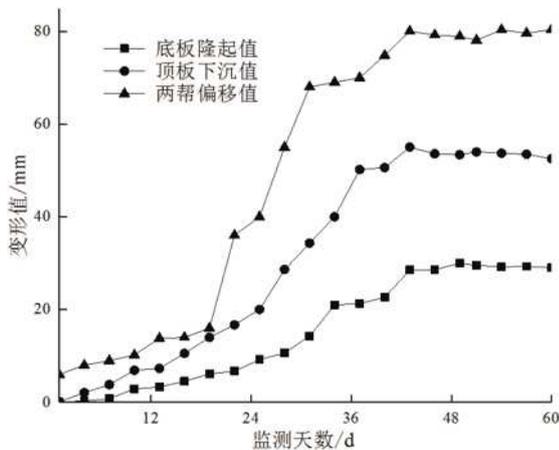


图7 巷道变形监测图

掘进初期, 原岩应力变化, 巷道变形速率高。掘进35~43天, 下沉、偏移、隆起达最大值, 分别为55mm、80.38mm、30mm。巷道趋稳, 支护优化设计合理。

五、结论

数值模拟和现场实测表明, 该联合支护方案能有效控制巷道变形, 可为类似情况提供参考。优化锚杆锚索联合支护参数为: 顶、帮锚杆 $\Phi 22 \times 2500\text{mm}$, 锚索 $\Phi 18 \times 7000\text{mm}$ 。

参考文献:

- [1]彭苏萍.建设“煤炭资源强国”的战略思考[J].煤炭经济研究, 2017, 37(11): 1.
- [2]武强, 涂坤, 曾一凡, 等.打造我国主体能源(煤炭)升级版面临的主要问题与对策探讨[J].煤炭学报, 2019, 44(06): 1625-1636.
- [3]王永中.全球能源格局发展的新动向[J].煤炭经济研究, 2022, 42(04): 1.
- [4]康红普.我国煤矿巷道锚杆支护技术发展60年及展望[J].中国矿业大学学报, 2016, 45(06): 1071-1081.
- [5]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.
- [6]侯公羽, 梁金平, 李小瑞.常规条件下巷道支护设计的原理与方法研究[J].岩石力学与工程学报, 2022, 41(04): 691-711.
- [7]康红普, 姜鹏飞, 杨建威, 等.煤矿千米深井巷道松软媒体高压锚注-喷浆协同控制技术[J].煤炭学报, 2021, 46(03): 747-762.