

破碎围岩巷道支护技术研究及工程应用

凌涛¹, 王卫军^{1,2}, 彭文庆^{1,2}, 姚广³, 郭罡业¹, 王金¹

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室 湖南 湘潭 411201; 3. 湖南科技大学 土木工程学院 湖南 湘潭 411201)

摘要: 以平煤六矿新建斜井巷道穿越采空区为工程背景, 采用数值计算分析、现场监测等方法研究了采空区覆岩破断及其矿压显现特征。针对斜井穿越采空区段围岩破碎的特点, 提出了金属网+全断面U型钢+反底拱连锁梁+浇筑混凝土+壁后注浆的支护方案, 其通过“双壳支护”形成的内外承载结构能在很大程度上提高采空区破碎岩体的整体性。现场监测表明: 斜井穿越采空区段巷道两帮的移近量为26 mm, 顶底板移近量为47 mm, 达到了有效控制巷道围岩变形的目的。

关键词: 斜井; 采空区; 支护技术; 数值分析

中图分类号: TD3

文献标识码: A

Research on supporting technology of crushed surrounding rock roadway and its' engineering application

LING Tao¹, WANG Wei - jun^{1,2}, PENG Wen - qing^{1,2}, YAO Guang³, GUO Gang - ye¹, WANG Jin¹

(1. School of Mining and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Hu'nan Xiangtan 411201, China; 2. Hunan Provincial key laboratory of safe mining techniques of coal mines, Hunan University of Science and Technology, Hu'nan Xiangtan 411201, China; 3. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Hu'nan Xiangtan 411201, China)

Abstract: Based on the engineering background of new inclined roadway through mined - out area in the Pingdingshan Sixth Mine, the numerical analysis and field monitoring are used to study the overburden rock fracture characteristics and its mine pressure in mined - out area. Aiming at the characteristics of broken surrounding rock in mined - out area when the inclined roadway passed through this area, the supporting plan of metal net + whole section U - shape steel + bottom - arch linkage girder + concreting + backfill grouting is put forward. The internal and external bearing structure formed by “Double - shell support” can largely improve the integrity of broken rock mass in mined - out area. Field monitoring shows that in the mined - out area passed through by inclined roadway convergence of ribs is 26 mm, and convergence between roof and floor is 47 mm, and the goal of effectively controlling roadway surrounding rock deformation is achieved.

Key words: inclined shaft; mined - out area; supporting technology; numerical analysis

破碎岩层巷道的围岩控制是煤矿开采过程中的一个难题, 一般的支护方式难以维持巷道的稳定, 国内外学者对此进行了大量研究: 王卫军^[1]等指出在牛马司水井头煤矿采用高强度锚杆、强力锚索和注浆加固围岩的“高阻让压、高强度”支护

方案能有效控制高应力极软破碎岩层巷道的稳定; 李树清^[2]等针对斜岭煤矿破碎巷道提出了先浅部、再深部的“多步注浆”施工工艺, 取得了良好效果; 赵文华^[3]针对松软破碎的围岩提出了一种柔模混凝土巷道支护结构, 将柔模混凝土硃体与

收稿日期: 2014 - 04 - 01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51374105); 湖南省教育厅资助项目(12cy013, 13C308); 湖南科技大学研究生创新基金资助项目(S130003)

作者简介: 凌涛(1988 -), 男, 湖南岳阳人, 助理工程师, 研究生, 从事巷道围岩控制方面的研究。

表1 数值计算参数

Tab. 1 Numerical parameters

岩(煤)层名称	容重 /g·cm ⁻³	单轴抗压强度 /MPa	单轴抗拉强度 /MPa	粘聚力 /MPa	内摩擦角/ ^o	弹性模量 /GPa	泊松比
砂质泥岩	2.32	14	1.12	0.52	30	4.38	0.32
中细粒砂岩	2.71	186.9	4.67	4.25	37	11.65	0.17
泥质粉砂岩	2.50	22	1.80	4.25	31	11.65	0.21
丁 ₅₋₆ 煤层	1.6	12	1.43	1.50	18	0.45	0.42
中粒石英砂岩	2.71	186.9	4.67	4.25	37	11.65	0.17
泥质粉砂岩	2.66	58.43	1.80	4.25	31	11.65	0.64

围岩形成一个共同体,以柔模混凝土硐体的刚度和强度抑制围岩进一步的变形和破裂;方新秋^[4]等提出先用U型钢可缩性支架进行支护,后用锚注与锚梁网索联合支护,该二次支护方法在薛湖煤矿西翼轨道大巷得到应用,控制破碎围岩变形效果明显;刘泉声^[5]等针对顾北煤矿软岩破碎巷道底臃提出采用混凝土反拱地坪+深浅孔注浆+高预应力组合锚索综合处置技术。平煤六矿新建斜井将穿越采空区,该采空区覆岩均已破坏垮落,且采空区内积水、积气也给巷道施工带来安全隐患,掘进工作面面临条件极其复杂,先掘后支等常规的掘进技术已经不能满足冒落破碎中掘进的安全要求,为解决这一难题,本文以现有研究成果为基础^[6-11]提出“先临时支护,后永久支护”的方案,该方案保证了掘进工作面的安全,也解决了采空区内围岩破碎巷道稳定性差的难题。

1 工程概况

平煤六矿新建皮带明斜井井口位于工业广场老斜井北侧,斜长1575 m,倾角17°47',预计在斜井斜长为1020 m的位置将直接揭露丁₅₋₆煤层采空区,丁₅₋₆煤层已经于1993~1995年采过,且斜井下方多处煤层已经开采,已采煤层上覆围岩受到采动的影响,使得采空区邻近岩层裂隙充分发育,形成的冒落带范围较大,因而采空区附近围岩破碎且易冒落,增加了斜井巷道支护的困难。

通过X射线衍射仪对该矿围岩矿物成份进行分析可知,该矿岩层中含石英7.5%,珍珠石5.2%,高岭石79.4%,利蛇纹石3.7%,蒙脱石4.5%,其中含高岭石、蒙脱石等粘土矿物较多,此种围岩遇水后容易软化、膨胀,影响斜井巷道稳定。

2 “三带”确定的数值模拟

2.1 计算模型及参数

本次模拟采用FLAC^{3D}进行。根据现场开挖和

计算研究的需要,模型的边界条件为:下边界的位移为零;左、右、前、后边界采用水平构造应力;上边界为自由边界。为了提高安全系数,在本次分析中侧压系数定为1。根据地质及相关资料,围岩采用摩尔-库仑(Mohr-Coulomb)屈服准则。矿体和主要岩层的力学参数列于表1所示。

2.2 计算结果分析

由图1~图2的计算结果可知,丁₅₋₆煤层采空区上覆岩层应力整体分布较为均匀,采空区上方有一定程度的应力释放,但释放范围不大,这是由于采空区上方的垮落岩石被压实应力重新分布而引起的;采空区中央岩层位移较大,直接影响明



(a) 水平应力



(b) 垂直应力

图1 煤层开采引起的上覆岩层应力变化

Fig.1 Stress changes of overburden caused by coal mining



图2 煤层开采引起的上覆岩层移动

Fig.2 Movement of overburden caused by coal mining

斜井开挖岩层的稳定,影响的范围主要位于明斜井斜长为 980~1 150 m 左右,这段岩层主要表现为采空区引起的冒落带和裂隙带。

3 支护方案的确定

3.1 支护原理

目前巷道支护大多在传统的支护方式上通过优化支护参数和加大支护强度来实现巷道稳定,如锚网索喷联合支护、U 型钢支护、锚注支护等支护技术,主要围绕提高围岩强度、合理支护技术和减小围岩应力等方面进行支护^[12]。不同于一般的岩层巷道,破碎岩层围岩由于煤层开采导致覆岩破坏严重,形成了较大的破碎区和塑性区,加上周围煤层开采采动的影响,岩体强度较低。因此此类巷道的围岩控制首先要阻止破碎岩体的垮落,其次要提高围岩自身强度,加强自承能力。

文章在此引入“双壳支护”的概念^[12-13],并拓展其内涵,本文中“表面承载壳”指具有“高强度、大刚度”的支护方式形成的支护承载结构,“内部承载壳”是指注浆体。当巷道掘进时,先通过巷道表面承载壳阻止破碎围岩的垮落,控制塑性区和破碎区范围扩大,然后通过注浆对破碎围岩进行修复,提高围岩的残余强度,形成巷道内部承载壳。巷道围岩表面和内部形成两个壳体共同形成支护结构,既能抵御巷道深部的高应力作用,又能阻止巷道表面围岩进一步破碎,另外,在两层壳体之间的柔性层还可以吸收围岩深部高应力对巷道作用后产生的变形能,起到让压的作用,整体上增强支护结构抗变形能力,提高了巷道的稳定性。

3.2 支护效果的数值模拟

为了保证支护效果,采用 FLAC^{3D} 软件模拟了 4 种支护方案的效果,方案一是无支护;方案二是锚杆+锚索支护;方案三是全断面 U 型钢支护;方案四是全断面 U 型钢+混凝土浇筑+壁后注浆支护。结果如图 3 所示:

从图 3 的位移云图可知,随着支护强度的增加,巷道各部位变形逐渐变小(如表 2),由于采空区围岩较为破碎,无支护的条件下巷道各部位变形量最大,方案四在方案二和方案三的基础上进行了壁后注浆和混凝土浇筑,巷道稳定性明显改善,这说明方案四有利于巷道的稳定,特别是进行注浆后,提高了岩体的整体性和承载能力。

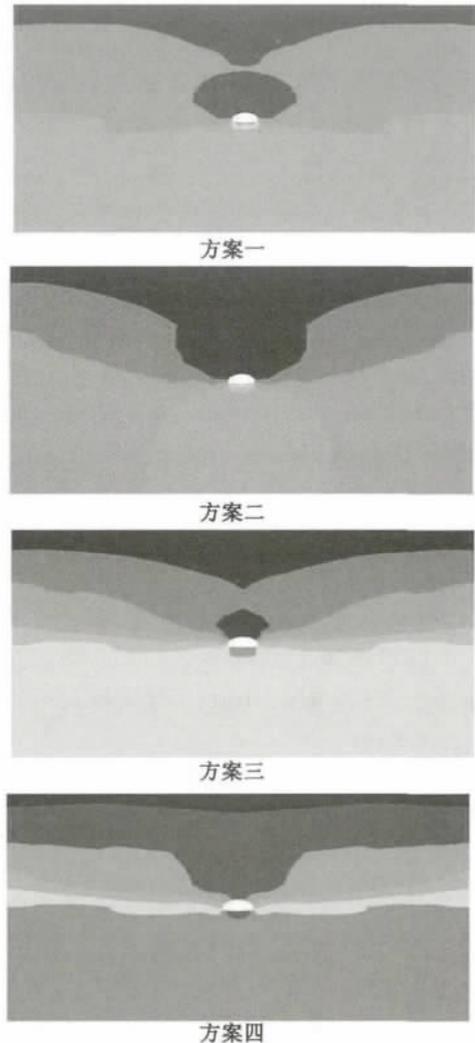


图3 位移云图

Fig.3 Cloud picture of displacement

表 2 不同支护方案巷道变形量

Tab.2 Deformation of roadway by different support scheme

方案	底鼓量/mm	顶板下沉量/mm
方案一	1 500	1 200
方案二	489.4	395.4
方案三	55.1	321.4
方案四	42.6	267.5

3.3 支护方案及参数

根据巷道破坏变形的特点及支护原理,新建斜井的支护主要围绕以下几点展开:一加强初期支护强度,阻止破碎区范围扩大;二修复围岩,提高破碎围岩承载能力;三封闭围岩,防止围岩遇水软化、膨胀。

根据相似模拟、数值计算及理论分析的结果,确定如下支护方案:

(1) 金属网。金属网为 $\Phi 6$ mm, 网格 100 mm \times 100 mm, 规格为 1 000 mm \times 800 mm; 金属网接茬处必须有钢筋梯子梁将其上紧并紧贴岩面, 网间搭茬长度不少于 100 mm, 钢筋梯子梁由直径 12 mm 圆钢焊制而成。

(2) 全断面 U 型钢 + 底拱连锁梁。采用带底拱的 U_{36} 型钢支架刚性连接; 相邻底拱之间采用三道长度为 1 m 的 U_{36} 型钢底盘连接, 用 $\Phi 16$ mm \times 180 mm 的螺栓固定在底拱上, 用卡缆固定底盘; 每架棚子八道拉杆, 支架间距为 500 mm; 全断面铺设直径为 4 mm, 规格为 40 mm \times 40 mm 的编制网; 木背板规格: 850 mm \times 100 mm \times 30 mm, 间距 500 mm。

(3) 浇筑混凝土。厚 500 ~ 671 mm, 立模浇筑, 混凝土强度 C30。

(4) 壁后注浆。注浆孔长度为 3 m, 其中顶拱注浆孔的间排距为 2 100 m \times 2 100 m; 帮部注浆孔的间排距为 2 100 m \times 2 100 m, 注浆材料采用水泥 - 水玻璃双液浆。

4 控制效果及监测分析

为验证支护方案的合理性和可靠性, 项目组成员对斜井巷道特别是穿越采空区地段的位移变形情况进行了长达 220 天的观测。

由图 4 可知, 支护初期巷道位移变形较大, 50 天以后变形速率趋于稳定, 围岩变形能得到较好地控制, 其中顶底板移近量为 47 mm, 两帮移近量 26 mm。结果表明: 本项目组提出的支护方案在斜井穿越采空区段围岩进行支护后, 巷道支护效果较好, 其变形量较小, 符合生产要求。

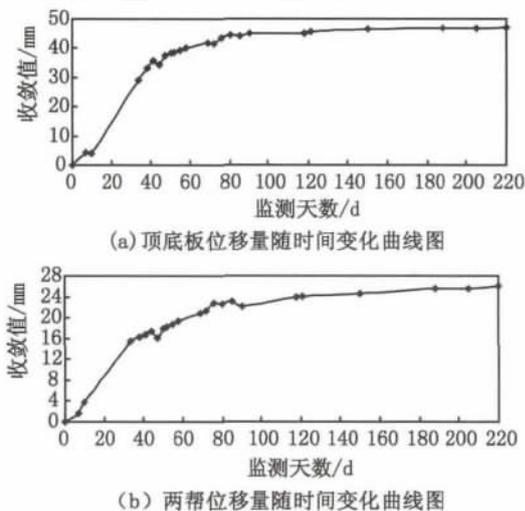


图4 围岩变形曲线图

Fig.4 Deformation curves of rock

5 结论

1) D_{5-6} 煤层开采后覆岩破坏严重, 其保护煤柱周围属于应力增高区, 对于此类巷道围岩的支护, 应尽力维护围岩的整体完整性, 提高围岩的自承能力, 形成内部结构, 与外部支护结构能够良好的协调工作。

2) 确定了“金属网 + 全断面 U 型钢 + 底拱连锁梁 + 浇筑混凝土 + 壁后注浆”的高阻刚性支护方案, 很好的解决了采空区围岩松散, 自承载结构能力差的围岩控制技术难题。

3) “先临时支护, 后永久支护”的方式能确保巷道掘进过程安全, 可供类似掘巷工程借鉴。

参考文献:

- [1] 王卫军, 彭刚, 黄俊. 高应力极软破碎岩层巷道高强度耦合支护技术研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(2): 223-228.
- [2] 李树清, 王卫军, 潘长良, 等. 斜岭煤矿破碎软岩巷道注浆加固技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(2): 13-15.
- [3] 赵文华. 松软破碎围岩巷道柔模混凝土支护研究与实践[D]. 西安: 西安科技大学, 2004.
- [4] 方新秋, 赵俊杰, 洪木银. 深井破碎围岩巷道变形机理及控制研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(1): 1-7.
- [5] 刘泉声, 刘学伟, 黄兴, 等. 深井软岩破碎巷道路底臃原因及处置技术研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 566-571.
- [6] 王宏伟, 姜耀东, 赵毅鑫, 等. 软弱破碎围岩高预应力支护技术与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4): 474-480.
- [7] 宗义江, 韩立军, 郗建明. 极破碎软岩巷道失稳机理与动态迭加耦合支护技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(3): 356-362.
- [8] 尹达君. 富水破碎顶板大断面开切眼围岩控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(5): 35-38.
- [9] 杨开安, 赵茂森, 肖子兴, 等. 厚层破碎复合顶板巷道锚注支护技术[J]. 西安科技大学学报, 2013, 33(4): 390-393.
- [10] 陈新明, 郗进海. 高应力大断面破碎围岩巷道二次强力支护支架设计[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(6): 565-570.
- [11] 余伟健, 高谦, 张周平, 等. 深埋大跨度软岩硐室让压支护设计研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(1): 40-47.
- [12] 孙利辉, 杨本生, 杨万斌, 等. 深部巷道连续双壳加固机理及试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(5): 686-691.
- [13] 冯宇峰, 屠世浩, 贾帅, 等. 复杂条件下破碎围岩双壳支护巷道修复技术研究[J]. 中国煤炭, 2013, 39(7): 54-57.

(责任编辑 王利君)