

基于FLAC^{3D}采动巷道围岩支护参数优化分析

Optimization Analysis of Wall Rock Support Parameters of Mining Roadway Based on FLAC^{3D}

邹 剑(鄂尔多斯市煤炭安全生产监管综合执法局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要:183_下03胶顺顶板为泥岩,受采动影响,顶板极易破碎,为了提高巷道的支护强度,需要对原锚网索支护参数进行优化。通过布置不同锚杆密度、锚索长度,设计了5种支护方案,采用FLAC^{3D}模拟5种方案支护情况下巷道围岩应力和位移变化情况,得到锚杆支护越密、支护强度越高,顶板变形量越小;锚索支护越短,顶板变形量越小。结合矿井的经济效益,确定锚网索支护最合理参数。通过监测顶板变形量可知,优化参数后支护强度明显提高,在动压影响下能够保证巷道安全。

关键词:动压; 支护参数; 顶板变形量; 锚网索

中图分类号: TD322 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)05-0049-04

Abstract: The roof of 183_{down} 03 belt conveyor roadway is mudstone which can be easily broken under the influence of mining. In order to improve the strength of roadway support, the parameters of original bolt-mesh-cable support need to be optimized. Five support schemes are designed by using different anchor bolt density and anchor cable length. According to the stress and displacement changes of roadway wall rock in five support schemes simulated by FLAC^{3D}, the results show that the roof deformation is smaller as the density of anchor bolt becomes higher and vice versa. The most reasonable parameters of bolt-mesh-cable support are determined in combination with economic benefits of mine. By monitoring roof deformation, it can be seen that the support strength is improved significantly after parameter optimization, and the roadway safety can be guaranteed under dynamic pressure.

Key words: dynamic pressure; support parameters; roof deformation; bolt-mesh-anchor

1 前言

由于我国煤炭资源开采强度大,除陕西、内蒙古等一些地区外,大部分服务年限较长的矿井已进入深部开采^[1]。随着开采深部的增加,复杂的地质条件给矿井回采后支护增加了难度^[2]。尤其是软岩巷道,顶板易破碎,在采动动压影响下,巷道围岩变形量大,如果不能及时采用有效的支护措施,巷道极易出现冒顶、片帮等事故,影响工作面的安全回采^[3-5]。183_下03胶顺顶板为泥岩,岩层强度低,受183_下03工作面多次采用影响,顶板极易破碎,本文通过模拟不同参数锚网索支护巷道围岩变形量,结合矿井经济效益,确定最合理支护参数,确保巷道受动压影响时围岩不发生大的变形破坏。

2 工作面概况

183_下03胶顺位于十八采区中部,南距北区西部辅运巷4.7 m,东距183_上02胶顺11 m,西距183_上03胶顺140 m,北至设计停采线以南80.5 m位置;掘进期间分别与十八采回风巷、北区西部胶带巷立交,立交岩柱分别为1.9 m、6.6 m。183_下03胶顺掘进层位位于3_上、3_下煤层之间,顶底板主要为泥岩,岩层强度低,易破碎,底板主要为砂质泥岩、中粗砂岩,岩层相对较为坚硬。掘进过程中受3煤顶板砂岩水影响,巷道围岩遇水软化,在动压影响下,巷道围岩变形量大,尤其是顶板极易破碎,给巷道的支护带了困难,应及时采用有效的支护措施提高围岩稳定性,控制巷道变形破坏。

183_下03胶顺掘进后采用锚网索支护,由于巷道围岩强度低,受动压影响后,巷道围岩稳定性差,需要对原有的支护参数进行优化。支护参数决定巷道围岩的稳定性,锚杆、锚索的规格和间排距决定着巷道围岩支护强度^[6-7]。为了选择更合理的支护参数,需要对比锚杆、锚索不同参数巷道围岩变形量,

[作者简介] 邹剑(1988-),男,内蒙古鄂尔多斯人,中级工程师,本科,从事煤矿安全管理工作。

[基金项目] 基于煤岩动静复合载荷破坏特征的掘进巷道突出致灾机理研究(SKLGDUK1918)

[引用格式] 邹剑. 基于FLAC^{3D}采动巷道围岩支护参数优化分析[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(5): 49-52.

选择既能保证稳定性,又能保证经济效益的支护参数^[8-10]。根据183_下03胶顺地质条件,设计了5种不同的支护方案,具体见表1。

3 支护数值模拟分析

3.1 模拟方案

采用FLAC^{3D}分别模拟183_下03胶顺采用5种不同支护方案时,巷道围岩应力及位移变化情况,根据应力集中和围岩变形量情况,确定最合理的支护参数^[11-12]。建立40 m × 20 m × 50 m的力学模型,垂直方向施加17 MPa应力,材料参数见表2。

3.2 模拟结果分析

1) 无支护分析

183_下03胶顺巷道掘进后,应力平衡状态被打破,若不及时进行支护,巷道围岩受动压影响,周边围岩变形量大。变形情况如图1所示。

表1 不同方案支护参数表

方案	支护方式	直径×长度/ mm×mm	布置 方式	间排距/ mm×mm	外露长度/ mm
1	顶板锚杆	18×2000	矩形	800×800	<50
	两帮锚杆	16×1800		800×800	<50
	锚索	15.24×9000	一字	2000×2000	<350
2	顶板锚杆	18×2000	矩形	1000×1000	<50
	两帮锚杆	16×1800		1000×1000	<50
	锚索	15.24×9000	一字	2000×2000	<350
3	顶板锚杆	18×2000	矩形	1200×1200	<50
	两帮锚杆	16×1800		1000×1000	<50
	锚索	15.24×9000	一字	4000×2000	<350
4	顶板锚杆	18×2000	矩形	1000×1000	<50
	两帮锚杆	16×1800		1000×1000	<50
	锚索	15.24×8500	一字	2000×2000	<350
5	顶板锚杆	18×2000	矩形	1000×1000	<50
	两帮锚杆	16×1800		1000×1000	<50
	锚索	15.24×8000	一字	2000×2000	<350

表2 183_下03胶顺材料参数

岩层	弹性模量 G/GPa	密度/ kg·m ⁻³	摩擦角 f/(°)	黏结力 C/MPa	抗拉强度 T/MPa	抗压强度 T/MPa
粉砂岩	8.0	2600	22	6.0	8.0	55
3 _上 煤	1.5	1450	24	1.5	1.5	13
砂质泥岩	2.5	2550	29	2.6	2.5	25
泥岩	2.3	2200	32	2.4	2.2	23
3 _下 煤	1.2	1420	20	1.2	1.0	12
砂质泥岩	1.7	2500	23	1.9	1.7	18
粉砂岩	3.2	2300	26	3.3	3.0	32

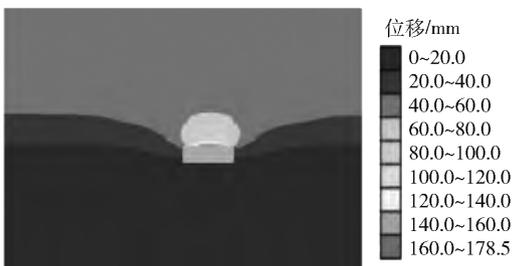


图1 无支护巷道围岩变形情况

由图1可知,若183_下03胶顺掘进后不进行支护,巷道顶板受垂直应力影响,出现应力集中现象,周边围岩变形量大,最大顶板变形量为178 mm;巷道两帮和底板受巷道掘进扰动影响,周边围岩形成应力降低区,变形量相对于顶板有了明显减小,最大两帮和底板变形量分别为40 mm、20 mm。

2) 不同支护方案分析

采用FLAC^{3D}模拟183_下03胶顺采用5种不同支

护方案时可知,采用锚网索支护后,巷道围岩的高集中应力向周边转移,使巷道的承载能力增大,围岩变形量,尤其是顶板变形量有了明显的减小。通过分析5种支护方案,采用方案1、2进行支护后,巷道围岩应力集中情况相似,明显小于方案3。因此,巷道支护时增加锚杆的密度,可以避免围岩出现应力集中,提高了围岩的支护强度。

183_下03胶顺采用5种不同支护方案后,巷道周边围岩最大变形量情况,具体见表3。

由表3可知,183_下03胶顺采用锚网索支护后,巷道周边围岩变形量相对未支护时有了明显减小。采用方案1、方案2时,巷道围岩变形量基本相同,最大顶板变形量减少64 mm以上,两帮和底板变形量分别减少10 mm左右;采用方案3时,最大顶板变形量仅减少42 mm,两帮和底板变形量均基本无变化。由此可知,方案1、2的支护效果相对于方案3

表3 不同支护方案周边围岩变形情况

方案	顶板变形量/mm	底板变形量/mm	两帮变形量/mm
1	114.9	10.0	30.2
2	110.9	10.2	31.6
3	135.6	20.3	40.0
4	112.6	10.0	30.1
5	112.8	10.0	30.0

更优,尤其是在控制顶板变形方面。

在模拟巷道围岩变形量时,在顶板设置监测点,监测巷道顶板变形量,根据方案1、2、3监测结果可知,巷道采用锚网索支护后,顶板变形量会逐渐增大,并逐渐趋于稳定。其中,方案1、2、3顶板变形量最终稳定值分别为117 mm、121 mm、133 mm,方案1、2顶板变形量小于方案3。同时,方案1、2顶板变形量达到稳定值的速率大于方案3,顶板变形量更趋于稳定。由此可知,支护时锚杆越密,巷道顶板下沉量越小,更快达到稳定状态。方案1、2支护效果相对方案3更优,方案1、2应力集中和围岩变形情况基本相同,在考虑矿井经济效益的情况下,采用方案2支护更合理。

方案2、4、5支护参数不同在于锚索长度,比较3种方案的顶板下沉量,最终稳定值分别为122.0 mm、

118.0 mm、118.2 mm,方案4、5变形量基本相同,采用方案5时锚索长度更短,考虑到经济效益,183_下03胶顺采用方案5支护为最优方案。方案5支护后巷道应力和位移变化图如图2所示。

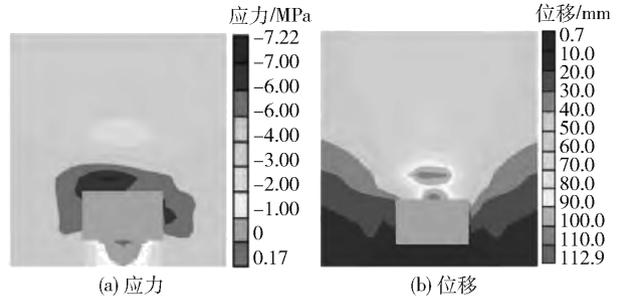


图2 方案5支护巷道围岩和应力示意图

由图2可知,183_下03胶顺采用方案5支护后,应力和位移情况均在可控范围内,结合相邻巷道支护情况,采用长度8 000 mm锚索能够控制围岩变形量,方案5为最合理支护方案。

4 工程实践

4.1 锚网索支护

根据模拟5种不同支护方案围岩应力和位移变化情况,结合183_下03胶顺相邻巷道支护情况,设计巷道锚网索支护参数,具体参数见表4。

表4 5102空巷锚网索支护参数

区域	锚杆(A3圆钢)		锚索(钢绞线)		锚网	
	规格/mm × mm	间排距/mm × mm	规格/mm × mm	间排距/mm × mm	类型	规格/mm × mm
顶板	φ18 × 2 000	1 000 × 1 000	φ15.24 × 8 000	2 000 × 2 000	钢筋网	1 200 × 2 600
两帮	φ16 × 1 800	1 000 × 1 000			金属网	1 200 × 5 000

183_下03胶顺顶板采用锚杆+钢筋网进行支护,锚索进行补强支护,每排布置6根锚杆,每梁布置3根锚索;两帮采用锚杆+金属网进行支护,至少布置3排锚杆。

由于巷道顶板变形量大,为进一步提高巷道顶板的支护强度,避免发生冒顶事故,采用21.6 mm × 10 000 mm的恒阻锚索进一步加固巷道顶板。根据巷道的宽度,共布置3列恒阻锚索,沿着垂直方向向顶板施工。其中,第1列布置在距巷帮0.4 m处,排距为0.1 m;第2列、第3列布置在已支护常规锚索中间位置,排距分别为0.2 m、0.4 m。

4.2 注浆加固

虽然对183_下03胶顺锚网索支护参数进行了优化,但巷道受183_下03回采时多次动压影响,顶板易出现围岩变形破坏。因此,需要对巷道进行二次注

浆加固,提高巷道围岩的承载能力,减小动压对围岩破坏的影响,注浆所用的设备及其参数见表5。

表5 注浆设备及参数

所需设备	型号	数量	备注
注浆泵	QB152 型便携式	1台	
注浆液	高速速凝材料		
注浆管	1.0 m	32根	
封口器		4个	袋式封孔方式
注浆枪		1把	混合液体用
风动爬子机	KHYD40DIA	1台	打注浆孔
高压胶管			
钻杆	1.5 m	6根	

在183_下03胶顺顶板、两帮分别布置4个、3个、3个注浆钻孔,注浆参数见表6。

表6 183_下03胶顺注浆参数

注浆压 力/MPa	注浆深 度/m	仰角/ (°)	注浆 量/m ³	孔径/ mm	扩散半 径/m	间距/ m	排距/ m
4	5	10	1.55	15.1	1.45	1	3

5 效果检验

183_下03胶顺受动压影响,顶板变形量大,采用锚网索支护+注浆加固后,通过设置监测点监测巷道顶板变形量,验证支护效果。

根据监测结果可知,在监测的一个月时间内,巷道顶板变形量先增加,后逐渐趋于稳定,稳定值为88 mm,巷道顶板的变形得到了控制,支护取得了良好的效果,即使在动压影响下,顶板变形量不影响巷道的安全。

6 结论

(1) 183_下03胶顺顶板为泥岩,岩层强度低,受183_下03工作面多次采动影响,顶板极易破碎,为了提高巷道围岩的支护强度,需要对锚网索支护参数进行优化。通过布置不同锚杆密度、锚索长度,设计了5种支护方案,采用FLAC^{3D}模拟5种方案支护情况下,巷道围岩应力和位移变化情况,确定最合理支护参数。

方案1、2、3锚杆支护密度不同,方案2、4、5锚索支护长度不同,根据模拟结果可知,锚杆支护越密,支护强度越高,顶板变形量越小;锚索支护越短,顶板变形量越小。结合矿井的经济效益,确定采用方案5,即顶板锚杆规格18 mm×2 000 mm,两帮锚杆规格16 mm×1 800 mm,间排距均为1 000 mm×1 000 mm;锚索规格为15.24 mm×8 000 mm,间排距2 000 mm×2 000 mm。

(3) 巷道采用锚网索支护后,通过在巷道顶板、两帮分别布置4个、3个、3个注浆钻孔,对巷道进行

注浆加固,进一步提高巷道围岩承载能力,减小动压对软岩顶板的破坏作用。通过监测顶板变形量验证支护效果,在监测的一个月时间内,顶板变形量在安全范围内,优化参数后的支护能够保证动压巷道的安全。

[参考文献]

- [1] 许志军. 多次采动应力影响区域掘进煤巷变形特征与锚索桁架系统控制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.
- [2] 吕坤. 采动影响下特厚煤层巷道围岩支护技术[J]. 煤矿安全, 2021, 52(2): 105-112.
- [3] 杜鹏荣. 迎采动巷道动态分段支护技术研究[J]. 煤炭技术, 2020, 39(12): 23-25.
- [4] 武建山, 赵星智, 明展鸿, 等. 动压巷道围岩加固技术研究[J]. 能源技术与管理, 2020, 45(5): 82-84.
- [5] 郭东杰. 双侧采动应力扰动下盘区大巷加固支护技术研究[J]. 煤炭工程, 2020, 52(10): 39-43.
- [6] 李云鹏, 崔峰, 杨文化, 等. 采动影响下破碎围岩巷道支护参数设计及其效果评价[J]. 中国矿业, 2020, 29(S2): 265-270.
- [7] 王欢, 杨春鹤, 檀小胜. 留小煤柱沿空掘巷受采动影响围岩变形规律与支护技术研究[J]. 煤炭工程, 2020, 52(S1): 53-57.
- [8] 巩志力. 采动影响下巷道围岩变形破坏特征[J]. 能源与环境, 2020, 42(9): 220-223.
- [9] 周向文. 特厚煤层回采巷道围岩破坏特征及控制技术[J]. 陕西煤炭, 2020, 39(5): 20-24, 39.
- [10] 袁亚文. 综采工作面采动压力影响下巷道支护技术研究[J]. 陕西煤炭, 2020, 39(5): 40-43.
- [11] 徐祝贺, 肖鹏, 李晓斌. 特厚煤层采动影响巷道控制技术[J]. 煤炭技术, 2020, 39(6): 8-11.
- [12] 贾后省, 潘坤, 刘少伟, 等. 采动巷道煤帮变形破坏规律与控制技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2020, 37(4): 689-697.