

文章编号:1673-9469(2009)02-0070-04

复杂条件下煤巷支护方案数值模拟优化分析

刘鹏,王春波

(河北工程大学 土木工程学院 河北 邯郸 056038)

摘要:以河北金能集团东庞矿2610综采工作面巷道为背景,应用有限差分软件(FLAC)模拟巷道的开挖和支护,以围岩中锚杆和锚索不发生破坏为目标函数,对巷道支护方案进行优化分析。模拟结果表明,采用优化后的支护方案,能够使巷道围岩变形大大降低,围岩完整性增加。工程实践证明,取得了良好的技术经济效果,为煤巷支护优化设计提供了一种可行方法。

关键词:煤巷;数值模拟;支护设计;优化分析

中图分类号:TD823

文献标识码:A

The optimization analysis of numerical simulation of coal-lane's support in the complex condition

LIU Peng, WANG Chun-bo

(School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The process of coal-lane's digestion and support are simulated by the two-dimensional finite-different computer codes (FLAC) on the ground of 2610 working place belonging to Dongpang Mining of Jinniu Energy Corporation of Hebei and the design of support is optimized aimed at anchor rod or anchor cable in the surrounding rock unbroken. The simulation results showed that the plastic zone reduced largely and integrity of surrounding rock increased after applying optimum support parameters to coal lane. The actual project confirms perfectly that it is a feasible method in the support of coal mine and acquires very well effects of technology and economy.

Key words: coal-lane; numerical simulation; support design; optimization analysis

随着我国煤炭资源开采深度的增加,使井巷位于更高的地应力环境中,特别是在构造活动强烈,残余构造应力大且岩体工程特性较差的地区,巷道的开挖和支护难度大大增加^[1]。深部岩体的地质力学特点决定了深部巷道支护与浅部具有明显的区别,有些在浅部地应力状态下表现为硬岩特征的岩石,在深部高应力状态下则表现出大变形、大地压、难支护的软岩特性^[2]。目前我国绝大部分煤矿开采已进入深部(600m以下),而深部巷道支护设计尚无成熟的方法,大部分情况是根据经验进行支护^[3-5]。

近年来,非线性数值模拟软件在工程设计、开挖以及支护方面起到了重要的指导作用^[6]。本文应用FLAC软件,以东庞煤矿2610综采工作面

巷道为背景,模拟巷道开挖、支护,进行巷道支护方案的优化分析,以期在实际应用中取得较好的效果。

1 工程概况

东庞矿2610工作面北临2608工作面(已回采),水文地质条件复杂,受2#煤顶板砂岩水、2608老巷水、钻孔水的影响较大;煤层厚度为3.0m~5.2m,平均为4.5m,煤层倾角为70°~32°,平均为14°,煤种为焦煤;老顶为细砂岩,厚度为2.25m,岩性特征为灰色,全层发育含菱铁质的透镜体及条带,波状层理;直接顶为粉砂岩,厚度为1.32m,岩性特征为灰黑色,向下颜色略深,可见植物化石,菱铁质呈

条带出现;直接底为粉砂岩,厚度为 3.28m,岩性特征为深灰色,含有植物根部化石及镜煤化现象。

2 计算模型构建与力学参数选取

2.1 构建计算模型

2610 工作面埋深 498.78m,该工作面左侧留有 5m 的煤柱,近邻 2608 工作面采空区,考虑采空区的影响,模型水平方向上取 100m,这样既可以模拟已开挖煤层对地表的影响和采空区周边围岩的响应状态,又可以模拟 2610 工作面巷道开挖的影响;根据岩层情况,垂直方向上取 56.5m。模型的左右边界限制水平向移动,下边界固定,上边界自由,将巷道上部 447.98m 的岩体作为竖向荷载加到模型的上边界上。上部岩体平均容重 25kNm^{-3} ,即模型上边界加载为 11.2MPa。力学模型如图 1 所示。2610 综采工作面巷道沿煤层顶板掘进,采用梯形断面,巷宽 \times 巷中高为 4.5m \times 3.5m,如图 2 所示。

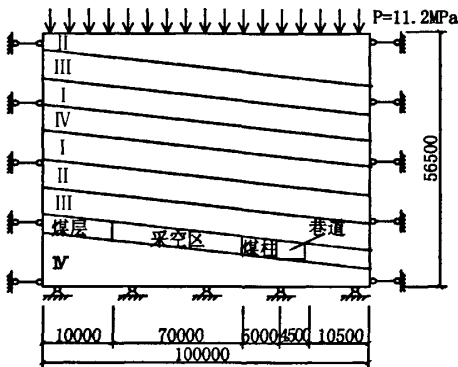


图1 力学模型示意图

Fig.1 Schematic diagram of mechanical model

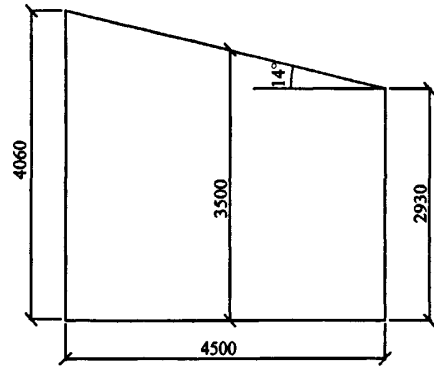


图2 巷道断面图

Fig.2 Roadway sectional drawing

2.2 主要计算参数

模型模拟九层岩层、四类岩石,岩层倾角 14° ,岩层物理、力学参数见表 1,其中采空区岩层参数按直接顶考虑,并乘以一个 0.3 的折减系数。

2.3 支护方案优化设计

1) 初始支护参数。锚杆:顶锚杆 $\phi = 22\text{mm}$, $L = 2400\text{mm}$,间排距 1.2m,布置 4 根,两侧顶锚杆向外倾斜 15° ;帮锚杆 $\phi = 16\text{mm}$, $L = 1800\text{mm}$,间排距 1.2m,上帮 4 根,下帮 3 根,两帮的下侧锚杆向下倾斜 30° 。药卷参数:低稠度 $\phi = 23\text{mm}$ 树脂药卷, S2360 双速药卷,搅拌时间不大于 30s, Z2360 中速药卷,搅拌时间 30s,等待时间大于 120s。

锚索长度为 8.5m,孔径为 $\Phi 28\text{mm}$,分三种情况:1 根时布置于顶板中央;2 根时布置于两侧(图 3a 所示);3 根时布置于中央和两侧(间距为 1 200mm)。

表 1 计算模型各类岩石参数

Tab.1 Various rock parameters of computation model

岩层类型	密度 (Kg/m^{-3})	体积模量 (GPa)	抗压强度 (GPa)	剪切模量 (GPa)	内聚力 (MPa)	内摩擦角 ($^\circ$)	抗拉强度 (MPa)
岩石类型 I	2480	17	0.6	0.3	1.0	30	0.573
岩石类型 II	2480	45.5	2.5	2.5	4.0	31	0.819
岩石类型 III	2500	22.3	1.5	1.0	1.0	28	0.489
岩石类型 IV	2600	27.5	1.8	1.5	1.5	29	0.513
煤层	1800	13	1.44	0.19	0.4	27	0.217
采空区	2300	6.69	0.45	0.3	0.3	25	0.147

2) 设定目标函数。以围岩中的锚杆和锚索不发生破坏为目标函数,对初始支护参数进行数值模拟分析优化。锚杆单元轴向在拉伸应力作用下达到屈服状态,用拉应变破坏极限理论来模拟锚杆的破坏,锚杆节点单元段的平均轴向塑性应变 ϵ_p^x ,并考虑锚杆的弯曲塑性应变,总塑性拉应变 ϵ^p 由下式计算:

$$\epsilon^p = \sum \epsilon_p^x + \sum \frac{d}{2} \frac{\theta_p}{L} \quad (1)$$

式中 d - 锚杆的直径,mm; L - 锚杆段的长度,m; θ - 锚杆的平均旋转角,(°)。

如果应变超过了极限拉应变,认为锚杆已经破坏。

FLAC 中的锚索单元,不仅考虑了局部加固的影响,还考虑了沿着全长变形的作用,锚索表面到钻孔表面的相对变形 u^t 和剪切力 F^t ,单位长度锚索的 F^t 与锚固剂刚度 K_{bond} 之间的关系为

$$F^t = K_{bond} u^t \quad (2)$$

通常情况下, K_{bond} 可以在实验室通过拉拔试验测得,也可通过计算得到。由锚固剂和岩石界面处的剪应力方程来定义剪切应力^[6]

$$\tau_c = \frac{G}{(D/2 + t)} \cdot \frac{\Delta u}{\ln(1 + 2t/D)} \quad (3)$$

式中 Δu - 单元和围岩材料之间的相对位移,mm; G - 锚固剂的剪切模量,GPa; D - 锚索直径,mm; t

- 环带厚度,mm。

因此,锚固剂的剪切刚度为

$$K_{bond} = \frac{2\pi G}{\ln(1 + 2t/D)} \quad (4)$$

3 计算结果及分析

在模拟了 2608 工作面回采影响的基础上,根据初始支护参数对 2610 综采工作面巷道的支护参数进行优化分析,评价结果见表 2 所示。

表 2 优化支护结果

锚索数量 (根)	锚杆间排距 (mm)			结果评价
	顶板	左帮	右帮	
1	620	650	660	锚杆密度太大
2	820	750	790	较为合理
3	1020	880	830	顶板锚杆间距太大

根据优化结果,通过技术、经济比较,决定实际支护采用 2 根锚索的方案进行实际支护,考虑到巷道两帮位移较大,与矿方讨论后决定在两帮增加锚索支护,帮锚索长度为 4.5m,布置见图 3b 所示。

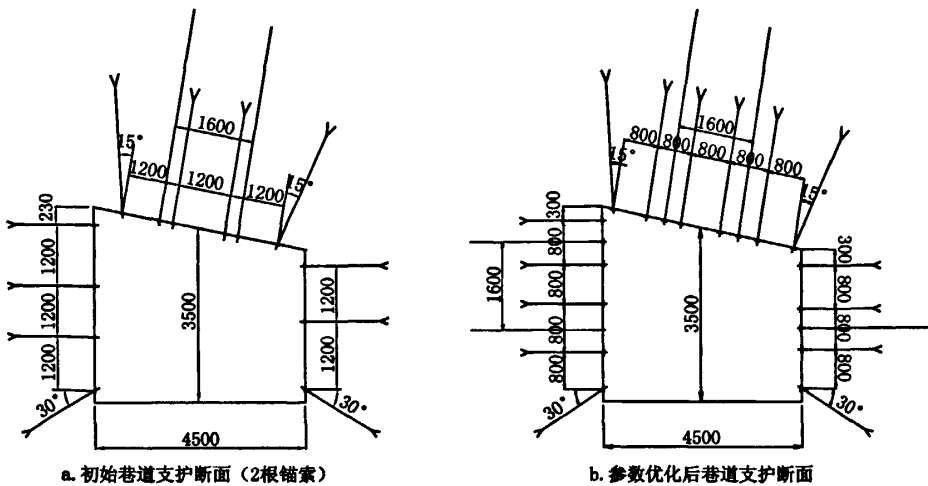


图3 巷道支护断面

Fig. 3 The support sectional drawing of roadway

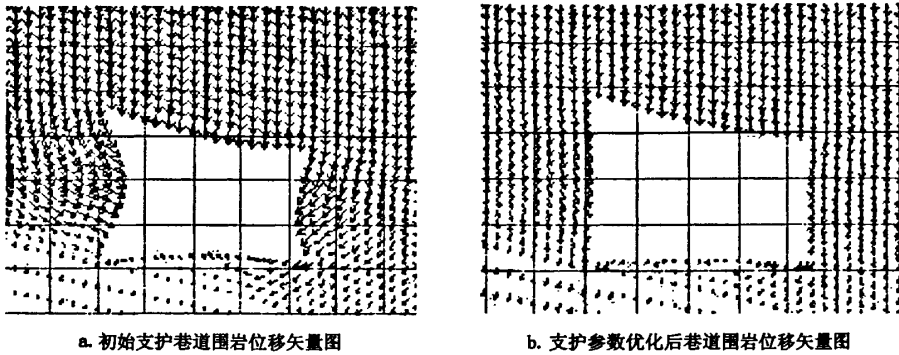


图4 巷道围岩位移矢量图

Fig.4 Adjacent formation displacement vector drawing of roadway

对优化数值模拟情况分析如下:

3.1 围岩变形分析

图4a和图4b分别为初始支护和支护优化后巷道围岩位移场分布规律,图4a显示,初始支护巷道两帮的水平位移和顶板的竖向位移都很大,并且底鼓现象严重,围岩变形每时步最大位移达0.8871m,而支护优化后巷道围岩变形每时步最大位移为0.2689m,降低了70%,围岩竖向和水平向位移明显减少,底鼓量降低,完全能够满足正常的回采作业。

3.2 围岩塑性区分布

数值模拟结果显示,支护参数优化后,巷道围岩的塑性区大大降低。初始支护巷道围岩处于弹性状态的岩体很少,大部分岩体处于屈服状态或曾经屈服过;支护参数优化后巷道围岩受剪屈服区域明显减小,围岩受剪屈服的区域主要发生在巷道的边角处,底板岩体受拉屈服的区域也有所降低,从而有效地控制了巷道的底鼓量。优化支护后巷道的围岩大部分处于弹性状态,岩体受力性能较好,围岩和锚杆(索)共同组成的支护体系是支护成功的关键,发挥了很好的效果。

4 结语


以东庞矿2610综采面巷道支护为背景,在给定初始支护参数(不必是可行的参数)的条件下,基于数值模拟手段对支护参数进行优化设计,得出更加合理,更加符合实际地质条件下的支护参数。目前该工作面已回采,巷道变形很小,证明该方法是一种可行的设计优化方法,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 赵先刚. 锚注联合支护技术在高应力松软围岩巷道中的应用[J]. 煤炭工程, 2007, (2): 83-94-95.
- [2] 刘高, 聂德高. 高应力软岩巷道围岩变形破坏研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(6): 726-730.
- [3] 董传彤, 杨万斌, 聂万利, 等. 复杂条件下沿空留巷支护实践[J]. 河北建筑科技学院学报, 2003, 20(3): 73-75.
- [4] 康红普. 回采巷道锚杆支护影响因素的FLAC分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, (5): 534-537.
- [5] 蒋金泉, 韩继胜, 石永奎. 巷道围岩结构稳定性与控制设计[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [6] 刘波, 韩彦辉. FLAC原理, 实例与应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [7] 牛双建, 杨大方, 马欢. 双排桩支护结构土压力的数值模拟[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(3): 180-184.

(责任编辑 闫纯有)

复杂条件下煤巷支护方案数值模拟优化分析

作者: [刘鹏](#), [王春波](#), [LIU Peng](#), [WANG Chun-bo](#)
作者单位: [河北工程大学土木工程学院, 河北, 邯郸, 056038](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2009, 26(2)
被引用次数: 1次

参考文献(7条)

1. [赵先刚](#) [锚注联合支护技术在高应力松软围岩巷道中的应用](#)[期刊论文]-[煤炭工程](#) 2007(02)
2. [刘高](#); [聂德高](#) [高应力软岩巷道围岩变形破坏研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2000(06)
3. [董彤彤](#); [杨万斌](#); [聂万利](#) [复杂条件下沿空留巷支护实践](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报](#) 2003(03)
4. [康红普](#) [回采巷道锚杆支护影响因素的FLAC分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 1999(05)
5. [蒋金泉](#); [韩继胜](#); [石永奎](#) [巷道围岩结构稳定性与控制设计](#) 1999
6. [刘波](#); [韩彦辉](#) [FLAC原理, 实例与应用指南](#) 2005
7. [牛双建](#); [杨大方](#); [马欢](#) [双排桩支护结构土压力的数值模拟](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2008(03)

本文读者也读过(10条)

1. [高明中](#). [GAO Ming-zhong](#) [软岩巷道“三锚”支护过程对巷道围岩稳定性影响](#)[期刊论文]-[安徽理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 29(1)
2. [刘绍山](#). [陈德芳](#). [张春营](#). [LIU Shao-shan](#). [CHEN De-fang](#). [ZHANG Chun-ying](#) [六家矿煤巷底臛控制措施的FLAC2D模拟分析](#)[期刊论文]-[煤炭技术](#) 2008, 27(10)
3. [刘波](#). [陶龙光](#). [李先炜](#) [节理化顶板锚杆支护数值模拟研究与应用](#)[会议论文]-1999
4. [贾国旗](#). [王应政](#). [Jia Guoqi](#). [Wang Yingzheng](#) [厚软煤巷支护技术的数值模拟研究](#)[期刊论文]-[中州煤炭](#) 2010(6)
5. [李玉梅](#). [高继顺](#). [郝天轮](#). [Li Yumei](#). [Gao Jishun](#). [Hao Tianlun](#) [倾斜煤层巷道稳定性与锚杆支护数值模拟研究](#)[期刊论文]-[山东煤炭科技](#) 2009(6)
6. [薛亚东](#). [张世平](#). [康天合](#) [回采巷道锚杆动载响应的数值分析](#)[会议论文]-
7. [徐遵玉](#). [李德忠](#). [奚小虎](#). [XU Zun-yu](#). [LI De-zhong](#). [XI Xiao-hu](#) [软岩巷道锚杆支护参数设计](#)[期刊论文]-[煤炭科技](#) 2009(4)
8. [高明中](#). [黄殿武](#). [GAO Ming-zhong](#). [HUANG Dian-wu](#) [软岩动压巷道“三锚”支护参数的正交优化设计](#)[期刊论文]-[安徽理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2005, 25(4)
9. [吴新生](#). [李庶林](#). [Wu Xincheng](#). [Li Shulin](#) [软岩巷道锚杆支护效果的数值模拟研究](#)[期刊论文]-[矿业研究与开发](#) 2000, 20(1)
10. [院雷](#). [邹胜水](#). [Yuan Lei](#). [Zou Shengshui](#) [巷道锚喷支护数值模拟研究](#)[期刊论文]-[黄金](#) 2010, 31(1)

引证文献(1条)

1. [兰永伟](#). [孙广义](#) [深部巷道底板锚杆支护数值模拟](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2010(6)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200902020.aspx