

文章编号:1673-3363(2008)02-0150-04

龙口海域软岩巷道锚注支护试验研究

王波¹, 高延法¹, 朱伟², 贾君莹¹

(1. 中国矿业大学 力学与建筑工程学院, 北京 100083;

2. 煤炭科学研究总院 唐山研究院, 河北 唐山 063012)

摘要: 针对龙口海域软岩巷道支护困难的问题,探讨了锚注支护技术在海域软岩巷道中的应用。为了研究注浆加固效果,首先进行了室内岩石注浆加固试验,结果表明,注浆岩体强度比未注浆情况下有了很大程度的提高;然后采用数值模拟软件FLAC^{3D},对海域软岩巷道锚注支护前后围岩变形情况进行了数值模拟,计算结果表明锚注支护能有效控制海域巷道的变形,并根据计算结果得出了巷道的变形规律;最后进行了现场支护试验,并对锚注支护后的巷道围岩变形进行了监测。监测结果表明,锚注支护能显著提高围岩的强度和承载能力,有效控制海域软岩巷道的损伤变形。

关键词: 软岩巷道; 锚注支护; 数值模拟; 注浆实验

中图分类号: TU 457 **文献标识码:** A

Experimental Study of Bolt-Grouting Support System in Soft Rock Roadway of Longkou Sea Area

WANG Bo¹, GAO Yan-fa¹, ZHU Wei², JIA Jun-ying¹

(1. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. Tangshan Branch, China Coal Research Institute, Tangshan, Hebei 063012, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of supporting soft rock wall under sea area, we studied the bolt grouting technique to solve this problem. Firstly, grouting reinforcement experiment was performed in lab to study the support effect. The results show that strength of grouted rock mass is greatly enhanced compared with that of the rock mass without being grouted. Deformation rule of surrounding rocks before and after the bolt grouting is studied by using the numerical software FLAC^{3D}, indicating that the bolt-grouting system is helpful for controlling the deformation of soft roadway in sea area. In-situ supporting test was carried out in a coal mine and rock deformation was also monitored, showing that bolt grouting system can greatly enhance the strength and bearing capacity of surrounding rocks and effectively control damage deformation of soft rock wall under sea area.

Key words: roadways of soft rock; bolt-grouting support; numerical simulation; grouting test

龙口海域巷道围岩具有强度低、碎胀性和遇水膨胀软化特征的复合型软岩,巷道流变特征明显,单一支护方式难以控制围岩变形。为此,本文探讨以锚注为核心的锚、喷、注联合支护体系在海域软

岩极破碎巷道支护中的应用。

近几年来,许多专家学者对软岩巷道的锚注支护问题进行了研究,文献[1]提出锚杆与注浆有机结合加固软岩巷道的思路,发明了外锚内注式新型

收稿日期: 2007-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(50474029); 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAB16B00); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2006CB202200)

作者简介: 王波(1981-),男,山东省阳谷县人,博士,从事地下工程和软岩工程方面的研究。

E-mail: wangbo.94@163.com Tel: 13426356067

锚杆及其加固软岩巷道新技术,成功地将该技术用于旗山矿软岩动压巷道的加固工程.文献[2]基于对软岩巷道国内外支护现状的分析,并针对其破坏特点,提出了以内注浆锚杆为核心的锚注支护体系,来解决深部高应力极软岩巷道支护难题.文献[3]采用有限元数值模拟软件,对深部软岩巷道锚注支护前后围岩变形破坏规律进行了数值模拟,对锚注支护前后围岩的应力、位移及塑性区的变化情况进行了系统分析.文献[4-6]也对软岩巷道、不良岩层巷道、软弱围岩巷道锚注支护问题进行了研究和工程实践,取得了丰硕的成果.

1 岩石注浆加固试验

为研究巷道围岩的注浆加固效果,在实验室内进行岩石的注浆实验^[7-8].为此,研制了岩石注浆实验仪,如图 1a.该实验仪由压力箱、液压活塞与压力表、过滤器与卸压阀等组成.加固实验过程如图 1b 所示.岩石注浆实验,采用 425# 水泥,水灰比 1:1,注浆压力 10 MPa,注浆加压时间 3~5 min.

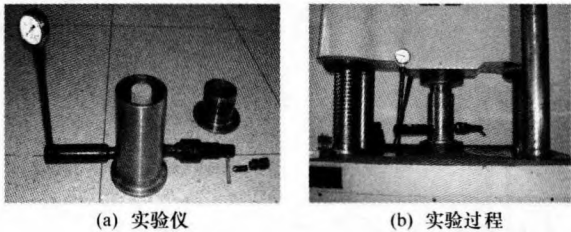


图 1 岩石注浆加固实验
Fig.1 Experiment for grouting into rocks

实验结果表明:破裂岩石的强度可以提高为原来的 1.2~2 倍.而使用聚胺脂注浆加固实验结果是:破裂岩石强度可以提高 0.67~1.05 倍.两种注浆加固实验岩石强度提高比率如表 1.

表 1 注浆加固前后岩石强度对比表
Table 1 Comparison of rock strength before and after grouting

浆液类型	试件名称	注浆前峰后 残余强度/ MPa	注浆加固后 残余强度/ MPa	强度 提高比率/ %
水泥浆	灰砂岩	0.1	1.22	112
	红砂岩 1#	3.5	3.50	0
聚胺脂	红砂岩 2#	2.1	4.3	105
	黄砂岩	3.3	6.5	97
	煤	4.5	7.5	67

2 锚注支护巷道围岩变形数值模拟

运用国际通用有限差分法分析软件 FLAC^{3D} 程序进行数值模拟分析. FLAC^{3D} 采用的是快速拉格朗日方法,它基于显式差分法来求解运动方程和

动力方程,利用显式有限差分方法为岩土工程提供有效的分析.

2.1 地质力学模型的建立

在建模过程中,一般要针对分析的问题将实体模型进行合理的简化,目的是使得网格划分相对简单,交界网格过渡平滑,可大大缩短计算时步.计算选定巷道形状为直墙半圆拱,宽 4 m,高 4 m,其中墙高 2 m,拱高 2 m,断面积 10.28 m².埋深在 350 m 左右.计算模型的水平和垂直宽度取为硐室跨度的 10 倍,确定模型尺寸为 40 m×40 m×40 m($x \times y \times z$),建模岩体结构为块裂结构.

2.2 材料参数的选取

根据巷道围岩岩性确定相应的数值计算参数,见表 2.

表 2 围岩物理力学参数
Table 2 Mechanical parameters of surrounding rock

岩性名称	密度/ (kg·m ⁻³)	体积模量/ GPa	剪切模量/ GPa	抗拉强度/ MPa	内聚力/ MPa	内摩擦角/(°)
砂质泥岩	2 500	4.0	2.5	0.5	2.0	33
泥岩	1 650	3.0	2.0	0.002	0.01	20

2.3 数值模型的建立

对模型进行网格划分,生成 FLAC^{3D} 数值模型.模型的边界条件为: z 方向顶面为自由面,加垂直方向的应力为 16 MPa,底面 z 方向位移约束; x 方向左右侧面加水平方向的应力为 14 MPa.划分网格及初始平衡状态见图 2,模型由 10 800 个单元、12 111 个节点组成.

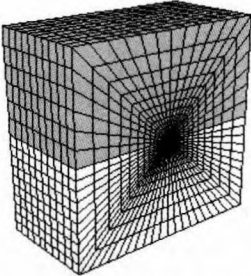


图 2 网格划分及模型初始状态
Fig.2 Grid dividing and initial balance state of model

2.4 数值模拟结果与分析

表 3 为变形量统计表.图 3 为未支护巷道和锚注支护巷道的垂向位移场,图 4 为未支护巷道和锚注支护巷道的水平位移场.

表 3 巷道变形情况
Table 3 Deformation of roadway

巷道	最大变形量/mm					
	底板	顶板	顶底板	左帮	右帮	两帮
无支护	504.8	403.1	907.9	120.3	120.1	240.4
锚注	140.6	113.9	254.5	36.6	36.6	73.2

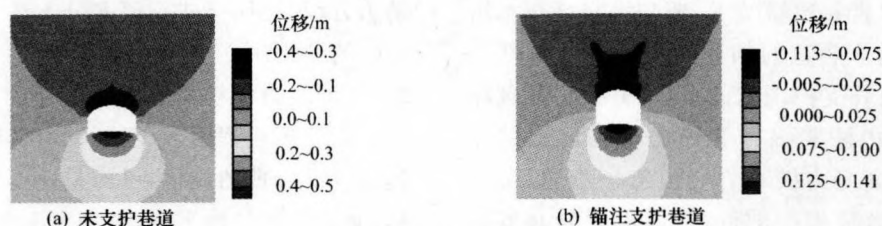


图 3 垂向位移场
Fig. 3 Horizontal displacement field

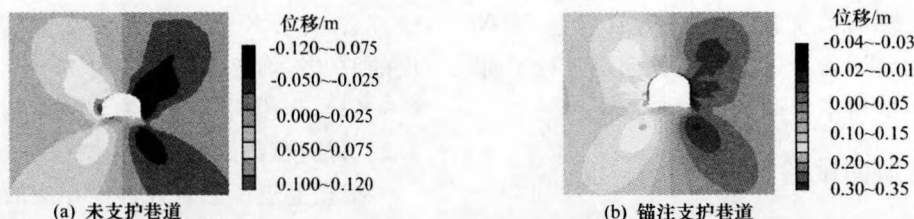


图 4 水平位移场
Fig. 4 Vertical displacement field

通过计算结果分析,锚注支护巷道相比无支护围岩变形量明显减小,顶板最大下沉量、底鼓量、顶底板移近量、两帮最大移近量下降幅度分别为 71.7%, 79.2%, 71.9%, 69.6%。

3 锚注支护现场试验

3.1 试验巷道支护概况

试验巷道位于海域-350 水平,围岩大部分为泥岩或砂质泥岩,巷道围岩节理、裂隙发育,松软破碎,巷道开掘后来压快,初期变形大。采用以锚注为核心的锚、喷、注联合支护体系。其支护结构如图 5 所示。对于顶板岩层非常破碎,随掘随冒地段,采用超前锚杆控制顶板。

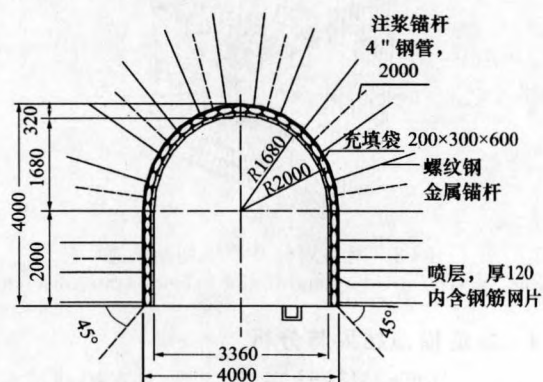


图 5 试验巷道锚注支护结构(mm)
Fig. 5 Structure of bolt-grouting support in testing roadway

普通锚杆选用材质为 20 MnSi 的建筑螺纹钢作为锚杆杆体,锚固力为 90 kN,间排距 800 mm×800 mm,规格为 $\phi 20$ mm×2 400 mm,顶帮注浆锚杆规格 $\phi 22$ mm×2 000 mm,封孔采用快硬水泥药

卷,间排距 1 600 mm×1 600 mm;底角注浆锚杆规格同顶帮锚杆,排距 1 600 mm,下扎角度 45°;喷射混凝土强度等级为 C20,喷层厚 120 mm,内含钢筋网片;采用水泥水玻璃单液浆,水泥采用 425# 普通硅酸盐水泥,水玻璃浓度 45 Be',用量为水泥重量的 3%~5%,石灰比 1:(0.7~1.0)。注浆压力 1.5~2.5 MPa。

3.2 巷道变形监测

为监测实验巷道变形情况,在巷道布置了 3 个表面位移测试断面,测试结果如图 6 所示。

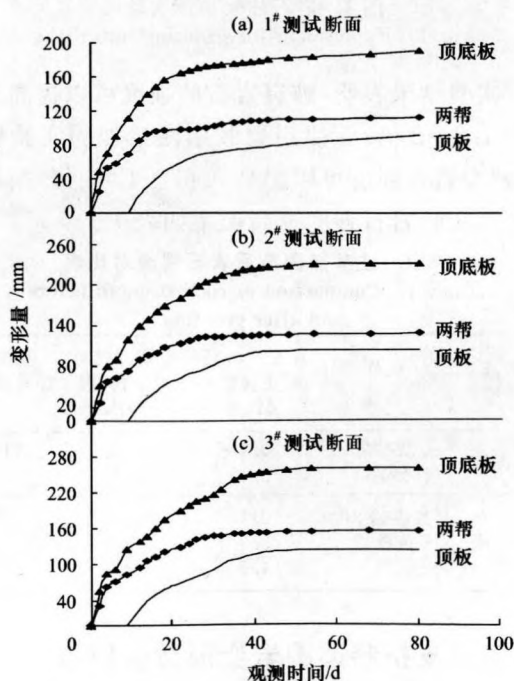


图 6 围岩表面位移
Fig. 6 Surface displacement curves of surrounding rocks

由图6可知,围岩的两帮位移量相对较小,两帮位移量平均为59.4 mm,最大为155 mm;顶板的下沉量则最小,平均为65 mm,最大110 mm.巷道锚注后两帮平均变形速率仅为0.387 mm/d,顶底平均变形速率仅为0.649 mm/d.可见锚注支护有效提高了支护结构的整体性和承载能力,有效地控制了深部高应力极软岩巷道的大变形,保证了巷道的稳定和矿井的正常生产.

4 结 论

1) 通过在实验室内进行岩石的注浆实验,实验结果表明:破裂岩石的强度可以提高为原来的1.2~2倍.而使用聚胺脂注浆加固实验结果是:破裂岩石强度可以提高0.67~1.05倍.

2) 利用FLAC^{3D}软件建立模型,计算软岩巷道在无支护和锚注支护条件下的变形,结算结果表明,锚注支护巷道相比无支护围岩变形量明显减小,顶板最大下沉量、底鼓量、顶底板移近量、两帮最大移近量下降幅度分别为71.7%,79.2%,71.9%,69.6%.

3) 龙口海域—350水平巷道锚注支护试验段观测结果表明:围岩的两帮位移量相对较小,两帮位移量平均为59.4 mm,最大为155 mm;顶板的下沉量则最小,平均为65 mm,最大110 mm.巷道锚注后两帮平均变形速率仅为0.387 mm/d,顶底平均变形速率仅为0.649 mm/d.

数值模拟和工程实践表明,锚注支护能够有效提高支护结构的整体性和承载能力,能有效控制海域软岩巷道的变形,保证了巷道的稳定和矿井的正常生产.

参考文献:

- [1] 杨新安,陆士良. 软岩巷道锚注支护理论与技术的研究[J]. 煤炭学报,1997,22(1):32-36.
YANG Xin-an, LU Shi-liang. Mechanism and technique of roof-bolting and grouting in weak rock tunnels[J]. Journal of China Coal Society, 1997,22(1): 32-36.
- [2] 王连国,李明远,王学知. 深部高应力极软岩巷道锚注支护技术研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,25(16):2889-2893.
WANG Lian-guo, LI Ming-yuan, WANG Xue-zhi. Study on mechanisms and technology for bolting and grouting in special soft rock roadways under high stress[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005,25(16):2889-2893.
- [3] 王连国,缪协兴,董健涛. 深部软岩巷道锚注支护数值模拟研究[J]. 岩土力学,2005,26(6):983-985.
WANG Lian-guo, MIAO Xie-xing, DONG Jian-tao. Numerical simulation research of bolt-grouting support in deep soft roadway[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005,26(6):983-985.
- [4] 杨新安,陆士良,葛家良. 软岩巷道锚注支护技术及其工程实践[J]. 岩石力学与工程学报,1997,16(2):171-176.
YANG Xin-an, LU Shi-liang, GE Jia-liang. The technology and practice of bolting and grouting support method at soft rock roadway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997,16(2):171-176.
- [5] 王红霞,杨新安,黄宏伟,等. 金川不良岩层巷道锚注支护试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(6):826-829.
WANG Hong-xia, YANG Xin-an, HUANG Hong-wei, et al. Experimental research on bolting and grouting support for bad rock roadway in Jinchuan[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001,20(6):826-829.
- [6] 刘全林,杨敏. 软弱围岩巷道锚注支护机理及其变形分析[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(8):1158-1161.
LIU Quan-lin, YANG Min. The analysis of bolting and grouting support mechanism and deformation of soft rock roadway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002,21(8):1158-1161.
- [7] 高延法,范庆忠,王汉鹏. 岩石峰值后注浆加固实验与巷道稳定性控制[J]. 岩土力学,2004,25(增):22-24.
GAO Yan-fa, FAN Qing-zhong, WANG Han-peng. Grouting reinforcement test of rock after peak value of strength and roadway stability control[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004,25(Supp):22-24.
- [8] 葛家良,陆士良. 注浆模拟试验及其应用的研究[J]. 岩土工程学报,1997,19(3):28-33.
GE Jia-liang, LU Shi-liang. Study on grouting simulation experiment and it's application[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1997,19(3):28-33.