

膨胀花岗岩软岩巷道整体支护技术研究

侯克鹏, 朱 斌, 邓爱春, 杨八九

(昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093)

摘要: 为解决软弱岩体中巷道掘进、成巷困难和巷道变形等问题, 本文通过对膨胀花岗岩巷道围岩变形失稳机理进行研究和分析, 针对膨胀花岗岩软岩巷道掘进成巷中出现的具体情况, 提出顶、帮喷、锚、网+底板锚杆、反底拱加强整体支护技术方案。并运用三维有限元数值模拟对方案进行研究, 以应力分布、塑性区分布对两种方案进行对比分析后, 得出了第二种支护(支护方案二: 顶板及两帮采用 1.8 m 锚杆支护, 喷射混凝土厚度 10 cm, 间排距 0.75 m×1.0 m) 方案较优的结论。支护效果检测的结果表明, 巷道收敛变形在整改后逐渐变小, 三个月内基本趋于稳定, 说明了该支护技术方案的可行性, 具有广泛推广的现实意义。

关键词: 采矿工程; 膨胀; 花岗岩; 软岩巷道; 整体支护; 数值模拟

中图分类号: TD322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2008)00-0700-5

Study on whole supporting technology for soft rock roadway of bulgy granite

HOU Kepeng, ZHU Bin, DENG Aichun, Yang Bajiu

(Faculty of Land and Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract: To address the problem of tunneling difficulties and roadway deformation in soft rocks, this paper studied and analyzed the deformation and instability mechanism of bulgy granite roadway, proposed some whole supporting technology schemes. Using three-dimensional finite element numerical simulation, it studied the stress distribution and plastic zone distribution of these two schemes, found that the second one (supporting scheme 2 : 1.8 m bolt supporting for roof and two anchors, sprayed concrete thickness 10 cm, row and line space 0.75 m×1.0 m) is better. The results of supporting effect test showed that the convergence deformation in roadway becomes smaller gradually after the rectification and reform, it tends to be stable in three months, which explains the feasibility and practical significance of promoting this scheme.

Key words: mining engineering; bulgy; granite; soft rock roadway; whole supporting; numerical simulation

0 引言

近年来随着矿山开采深度的增加, 软弱岩体中巷道掘进、成巷困难和巷道变形等问题越显突出, 此类问题在云南锡业集团公司各个矿山都有不同程度的发生。其中较为严重的是采选分公司塘子凹 1725 巷道, 岩体的类型主要以风化花岗岩和大理岩为主, 本次研究的巷道段处于风化、膨胀的花岗岩中。1725 软岩巷道是为开采 33-1 矿体而进行的巷道掘进工程, 它是塘子凹坑 1725 中段的主要运输巷道, 对矿山今后的探矿工作也将起着重要的作用。

巷道在掘进、支护中遇到了困难。巷道破坏的特点有: 顶板下沉, 底板鼓起, 两帮膨胀向巷道内挤出, 巷道全断面收缩。由于在软岩中巷道掘进效率低下和变形严重, 严重制约着矿山的可持续发展 and 生产能力的提高, 同时也存在着引发生产安全事故、支护费用升高和返修工程量急剧增大等问题^[1]。因此, 对软岩巷道整体支护技术的试验研究就显得十分必要, 既具有理论意义, 又具有实用价值。

作者简介: 侯克鹏 (1966—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 地下工程及边坡工程。E-mail: zhbonly@163.com

1 花岗岩巷道变形失稳机理

对于巷道的变形机理，一方面是由于花岗岩含有大量的粘土矿物（蒙脱石、高岭石、累脱石等粘土矿物累计含量超过45%），因此它的变形机理与粘土矿物的膨胀机制有关，可以理解为花岗岩中的粘土矿物与水的作用机理；另一方面，花岗岩其自身强度因环境改变而降低，在地应力的作用下所表现出的碎胀变形机制^[2]。

由于花岗岩中含有膨胀性粘土矿物，花岗岩与水作用非常强烈，使得花岗岩具有很强的膨胀特性。试验表明^[3]：随着含水率的不断增加，膨胀力逐渐降低（如图1所示），该试验规律同膨胀率试验规律。膨胀力随时间的延长逐渐增大，最后趋于稳定状态，一般在2~3 h内（如图2所示）。在初始阶段膨胀力增长速度较快，呈非线性状态，初始快速膨胀的时间一般在1 h内，该结论与膨胀率试验结果基本一致。从试验结果可见，最大膨胀力达0.5 MPa。

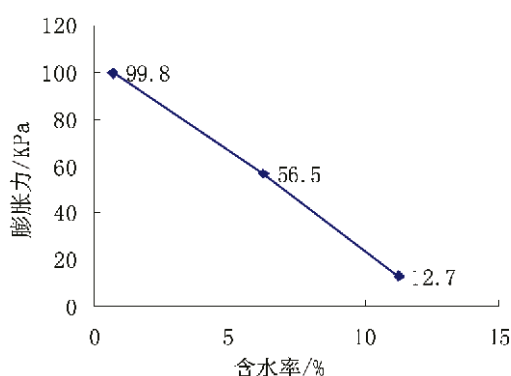


图1 试样膨胀力与含水率的关系

Fig.1 The relationship between sample's expansion and moisture content

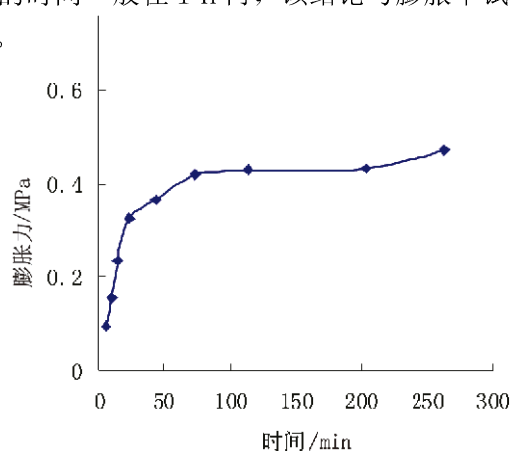


图2 试样膨胀力与时间的关系

Fig.2 The relationship between sample's expansion and time

该研究结果可以得到如下结论：

1) 支护强度和支护阻力应根据膨胀地压的大小，作适当的调整，过小的支护阻力不足以满足膨胀地压的控制要求；

2) 膨胀力与初始含水量密切相关，因此减少水的影响可以有效地减少支护外荷载的大小；

3) 从试验结果可见，最大膨胀地压达到0.5 MPa，即一般工程意义上的5 kg/cm²，塘子凹过去传统使用的一般木支护和金属厢支护是不能满足要求的；

4) 对于较大膨胀力的巷道支护，单纯依靠外力支护存在支护困难和费用较高等局限，因此充分发挥岩体的强度和减少膨胀的显现是必须考虑的重要措施。

云锡塘子凹风化花岗岩属于一种具有一定膨胀能力的岩体，该岩体的膨胀发生必须具备两个条件，膨胀的物质基础——含膨胀矿物的花岗岩；外部的激发条件——水或潮湿空气。缺少任何一个条件，膨胀均不会发生。风化花岗岩是客观存在的。那么，减少水的影响，控制水的渗入，将是工程中阻止花岗岩变形的主要途径。

风化花岗岩在水体的作用下初始膨胀速度最快，一般在30~60 min内膨胀已基本完成，后期膨胀比较缓慢，因此对花岗岩的处理和加固，可以考虑在巷道开挖后允许其变形，发生内部膨胀应力的释放，待变形稳定后再进行工程处理。但需要说明的是，花岗岩的变形是在水体的作用下不断发生的，水的渗透有一个时间过程，因此在实际的岩体中，该膨胀变形应有一定的时间。同时，随着浅层破坏，深部岩体的破坏将会在水体的作用下逐渐产生^[4]。

2 支护方案的确定

依据锚杆支护能使塑性破坏后易于松动的岩体形成具有一定承载能力并可适应围岩变形的平衡拱原理,巷道断面选用三心拱为最好,鉴于巷道围岩为松软破碎、易吸水膨胀的软岩,且有底鼓,对巷道底板必须封底支护,即对底板进行浇筑混凝土支护,并加反底拱,底拱与两帮喷、锚、网支护用墙柱混凝土连接^[5]。该巷道支护形式采用顶、帮喷、锚、网+底板锚杆、反底拱加强整体支护方式。

支护参数为:顶、帮:1)喷射混凝土:厚度10 cm,C250;2)锚杆: $\varphi 40$ mm管缝式锚杆,长1.8 m锚杆;3)网:2 m \times 1.6 m,10 cm \times 10 cm网度。底板:1)底部锚杆: $\varphi 40$ mm高强度螺纹钢锚杆,长1.8 m锚杆。底板5棵锚杆,边角扎脚锚杆侧墙向侧下方布置倾角为 $40^\circ\sim 50^\circ$,其余三棵应垂直于反拱面布置。2)反拱:C200钢筋混凝土,8#钢筋,反拱厚度25 mm,反拱大圆弧半径3 075 mm。墙柱混凝土:250 mm \times 655 mm(宽 \times 高),C400钢筋混凝土,加8#钢筋。

3 支护方案数值模拟分析研究

3.1 三维有限元数学模型的建立及其参数的选择

数值模拟的可靠性在一定程度上取决于所选择的计算模型,包括根据数值模拟的目的及矿山的实际情况进行的基本假说,没有实测数值。所以在本次计算中,模拟分两个步骤进行:

- 1) 利用两个方案对比对巷道顶板及两帮进行加固处理;
- 2) 在步骤1的基础上对底板进行加固处理。

其中步骤1考虑以下两种模拟方案:

支护方案一:顶板及两帮采用1.5 m锚杆支护,喷射混凝土厚度5 cm,间排距0.75 m \times 0.75 m;

支护方案二:顶板及两帮采用1.8 m锚杆支护,喷射混凝土厚度10 cm,间排距0.75 m \times 1.0 m;

本次计算模拟所采用参数以采选分公司类似矿体矿岩物理力学性质试验所得参数为准,如表1所示。

表1 矿体矿岩物理力学参数
Tab.1 The physical and mechanical parameters of orebody

岩性	密度 ρ / (g/cm ³)	弹性模 E /GPa	泊松比 μ	抗拉强度 σ_t /MPa	粘聚力 C /MPa	内摩擦角/ $^\circ$
大理岩	2.75	7.5	0.30	4.7	3.8	37
花岗岩	2.65	1.5	0.32	1.8	1.6	40
喷射混凝土	2.20	2.1	0.17	4.8	4.0	40
底板浇灌体	2.40	3.4	0.19	8.8	8.0	30

本次模拟考虑到现场施工条件限制,在三维有限元数值模拟时选定锚杆长度为1.5 m和1.8 m,其锚杆间排距为0.75 m \times 0.75 m和0.75 m \times 1.0 m两种。锚杆半径为0.02 m,其中顶板和巷道两帮采用普通的管缝式锚杆,弹性模量为95 GPa,底板采用高强锚杆,弹性模量为200 GPa。

3.2 三维有限元计算结果分析

- 1) 对步骤1中的两种方案进行综合分析

利用应力分布和塑性区分布对两种支护方案进行分析,模拟结果如下:

从图3~图6所示的模拟分布图可以看出:无论是从应力分布还是塑性区分布来说,第二种支护方案都是较优的。

- 2) 在步骤1的基础上对底板进行加固分析

在支护方案二的基础上,又提出了两种方案对底板进行加固。

- (1) 底部锚杆+平底浇灌底板联合支护底板。

- (2) 底部锚杆+反拱浇灌底板联合支护底板。在浇灌过程中,厚度均为25 cm。

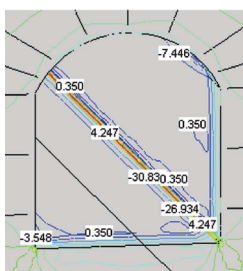


图3 支护方案一巷道最大主应力分布
Fig.3 The distribution of maximum main stress in roadway of supporting scheme 1

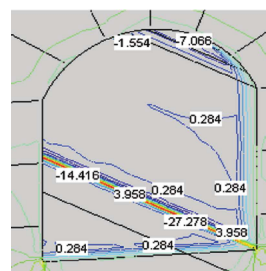


图4 支护方案二巷道最大主应力分布
Fig.4 The distribution of maximum main stress in roadway of supporting scheme 2

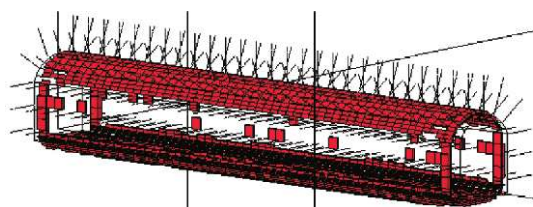


图5 支护方案一巷道塑性区分布
Fig.5 The plastic zone distribution in roadway of supporting scheme 1

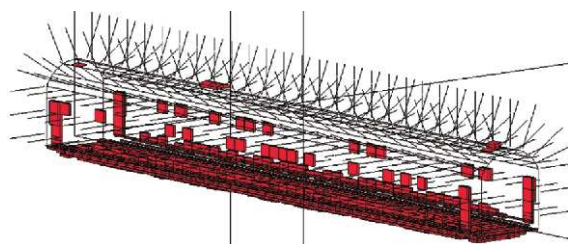


图6 支护方案二巷道塑性区分布
Fig.6 The plastic zone distribution in roadway of supporting scheme 2

从图3~图10的模拟结果看，在对底板进行平底浇灌后，底板最大压应力为26.325 MPa，最大拉应力为4.128 MPa，进行反拱浇灌后分别是26.773 MPa和4.050 MPa。再从塑性区的分布可以清楚的看到，利用反拱浇灌后底板的塑性区明显减少，因此论证了反拱浇灌较平底浇灌有较大的优越性。

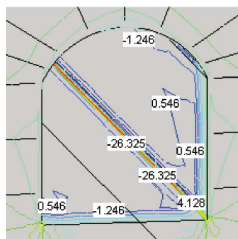


图7 底部锚杆+平底浇灌底板主应力分布
Fig.7 The distribution of maximum main stress in floor of bottom bolt+flat-bottom pour

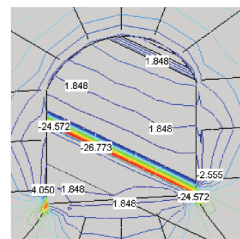


图8 底部锚杆+反拱浇灌底板主应力分布
Fig.8 The distribution of maximum main stress in floor of bottom bolt+reversed arch pour

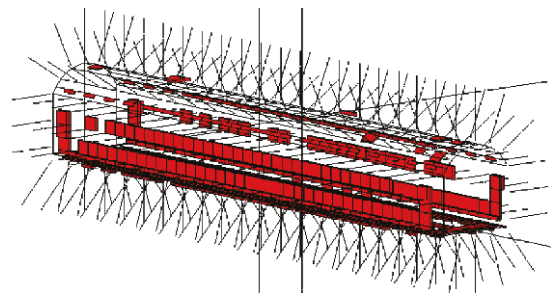


图9 底部锚杆+平底浇灌底板塑性区分布
Fig.9 The plastic zone distribution in floor of bottom bolt+flat-bottom pour

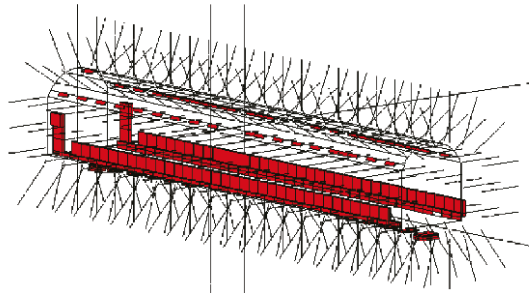


图10 底部锚杆+反拱浇灌底板塑性区分布
Fig.10 The plastic zone distribution in floor of bottom bolt+reversed arch pour

4 支护效果检测

在本次试验研究过程中,于2006年7月至12月开展了现场监测工作,重点对1725东巷整改巷道两帮变形情况进行长期和系统的现场监测,监测获得的数据资料如图11所示。

如图11所示,从1#、3#、4#、6#测点4个半月收敛变形趋势图看(2#、4#测点中途被破坏),巷道收敛变形在经历2个月左右的快速变形后已经基本趋于收敛,最大变形量在7cm,最小变形量在4cm左右,巷道顶底相对变形也很小,可以认为巷道收敛变形在整改后3个月左右已经基本趋于稳定。由此也验证了本次试验所采用的整体支护技术方案的可行性。

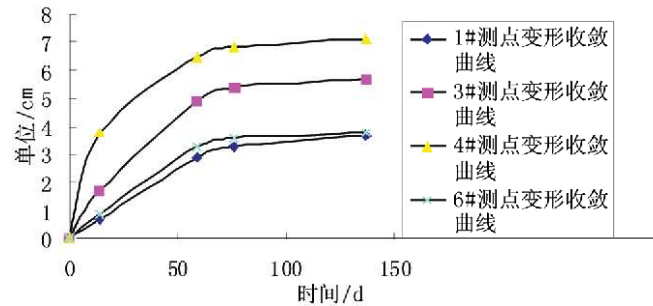


图11 各测点4个半月收敛变形趋势图
Fig.11 Convergence deformation trends of all measuring points in four and a half months

5 结论

该风化、膨胀显著的花岗岩巷道,返修费用较高,折合每米巷道达2844元。如果在新掘进类似巷道中直接进行反拱处理,则可大大降低相关成本和施工费用。与采选分公司软岩巷道多次整改(整改周期一般为3~4个月)的综合成本5000元/m相比,采用该施工方法节省成本2156元/m。因此,该工艺具有广泛推广的现实意义。

[参考文献] (References)

- [1] 晏玉书. 我国煤矿软岩巷道围岩控制技术现状及发展趋势[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
YAN Y S. The status and development trend of Chinese coal mine soft rock tunnel control technology[M]. Xuzhou: China University of Mining Press, 1996. (in Chinese)
- [2] 李国富. 高应力软岩巷道变形破坏机理与控制技术研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003(2): 50~52.
LI G F. Study on soft rock deformation mechanism and control technology in high stress[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2003(2): 50~52. (in Chinese)
- [3] MADSEN F T. 膨胀岩石室内试验 ISRM 建议方法草案[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 604~613.
MADSEN F T. Suggested methods for laboratory testing of swelling rocks[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(4): 604~613. (in Chinese)
- [4] 杨庆. 膨胀岩与巷道稳定[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
YANG Q. Roadway expansion of rock and stability[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995. (in Chinese)
- [5] 何满潮. 中国煤矿软岩巷道支理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
HE M C. China coal mine soft rock roadway support theory and practice[M]. Xuzhou: China University of Mining Press, 1996. (in Chinese)