

淮南矿区深部煤巷支护难度分级及控制对策

张 农, 王 成, 高明仕, 赵一鸣

(中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 系统分析淮南矿区深部煤巷围岩赋存的地质特征、控制难度和应力状态等因素, 确定影响煤巷稳定及锚杆支护选型的最主要和敏感因素为巷道顶板应力强度指数、帮部煤体松散范围系数、顶板软弱岩层不安全因子 3 个综合指标, 通过大量测试矿区深部巷道围岩地应力和煤岩试块物理力学性能, 对这 3 个综合指标体系进行科学合理分类, 在此基础上划分深部煤层巷道围岩稳定性控制难度级别, 针对各难度级别, 提出以新型“三高”(高强度、高预拉力、高刚度)锚杆控制技术为基础的深部煤巷围岩控制对策。应用该方法对矿区几个典型矿井的深部煤层巷道围岩稳定程度进行难度分级, 采取针对性技术措施和支护参数, 维护巷道稳定。研究成果在淮南矿区获得全面应用, 对我国煤矿深部煤层巷道支护技术具有一定的理论意义和实用价值。

关键词: 采矿工程; 深部开采; 煤巷; 围岩稳定分级; 控制技术; 工程实践

中图分类号: TD 32

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2009)12 - 2421 - 08

ROADWAY SUPPORT DIFFICULTY CLASSIFICATION AND CONTROLLING TECHNIQUES FOR HUAINAN DEEP COAL MINING

ZHANG Nong, WANG Cheng, GAO Mingshi, ZHAO Yiming

(School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: On the basis of systematic analysis of geological characteristics and controlling difficulty of deep surrounding rocks, stress conditions, three sensitive factors that influence roadway stability and bolting selection were determined. Through extensive tests on deep roadway underground stress, physico-mechanical properties of both coal and rock, a comprehensive 3-index system, namely roof stress strength index, rib loose broken coefficients and unsafe weak roof indicator, was established to make scientific classification of roadway stability and propose corresponding controlling techniques as well. The whole set of deep roadway bolting technology highlighted by “three-high”, i. e. high strength, high pretension force and high stiffness was presented. After several successful engineering practices, research results have been adopted in Huainan colliery, showing great theoretical and practical values to deep coal roadway support in China.

Key words: mining engineering; deep coal mining; coal roadway; classification of surrounding rock stability; controlling technique; engineering practice

1 引 言

淮南矿区近年逐步进入深部开采, 潘三煤矿延

伸水平煤层巷道埋深已达到 800 m 以下, 顾桥煤矿和丁集煤矿第一水平分别达到 -780 和 -860 m, 新区主采煤层强度为 7~13 MPa, 顶底板围岩强度 20~30 MPa。因此, 从埋深 500~600 m 进入 700~

收稿日期: 2009 - 03 - 20; **修回日期:** 2009 - 07 - 06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50674085); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET - 06 - 0478); 中国矿业大学科技基金资助项目(2006B002)

作者简介: 张 农(1968 -), 男, 博士, 1989 年毕业于中国矿业大学采矿工程专业, 现任教授, 主要从事巷道围岩控制方面的教学与研究工作。E-mail: zhangnong@126.com

800 m 的较深范围内煤层巷道已显现出很多深部矿压的特征, 主要表现为巷道变形量增大、变形时间延长, 围岩内的构造应力或水平应力增大, 围岩破碎严重, 锚杆、锚索破断增多, 顶板垮冒的危险性增大, 巷道维修困难^[1, 2], 如图 1 所示。



(a) 卡缆破坏



(b) 锚喷失效

图 1 矿区深部煤巷变形破坏状况照片

Fig.1 Typical photographs of roadway destroyed in deep coal mining

现场支护实践表明, 原先的锚梁网支护设计、支护参数已不能满足控制深部巷道围岩变形的要求, 也不能适应深部巷道的安全要求^[3~7], 深部煤巷支护技术难题对生产安全的制约作用日益突出。但从工程实践看, 矿区内不同矿井、同一矿井的不同区域巷道矿压显现特征也不尽相似, 难以形成指导性的技术。因此, 提出适应矿区煤巷围岩稳定的综合指标及开展矿区深部煤巷的支护难度的分级, 对整个矿区深部煤巷支护技术发展具有很大的推动作用; 同时, 对我国煤矿深部煤层巷道支护技术具有一定的理论意义和实用价值。

2 矿区深部煤巷围岩稳定分级

2.1 围岩稳定分级指标的确定

巷道围岩分类是巷道支护的基础, 邹喜正等^[8~14]进行了这方面的研究, 根据不同参数指标对巷道围岩进行了科学合理的分类, 这些研究对我国煤矿巷道顶板分类及支护技术发挥了很大作用。但不同矿区煤层赋存条件不同, 因而分类的指标选择也就有所差别。

淮南矿区深部煤巷主采煤层强度都处于中等偏软或软弱破碎状态, 硬度系数为 0.7~1.3, 硬度区别在 0.5 左右, 因此, 采用煤体硬度指标进行分类不敏感。

从顶板岩性分析看, 矿区深部煤系地层多为 IV, V 类围岩, 岩性松散, 层理节理发育, 泥岩以高岭石为主, 易风化, 遇水易膨胀, 受水的影响较突出, 整体岩层强度低, 稳定性差, 利用岩性开展分类也不敏感。

从断面形状和大小看, 煤巷普遍采用矩形断面, 以保持顶板完整, 有利于回采工作面的快速推进^[15], 同时矿区采掘工艺相对稳定, 因而巷道跨度和断面积不构成支护难度分级因素。

从实际情况看, 上述单一因素难以准确区分矿区巷道支护难度, 从潘三、谢桥、顾桥和望峰岗等深部矿井大量的实测点看, 主采煤层顶板的赋存结构区别较大, 有些是坚硬砂岩或完整厚层泥岩直覆, 比较稳定; 有些是多层泥岩煤线交错分布, 累计厚度大, 稳定性差; 从中国矿业大学和中国科学院武汉岩土力学研究所完成的数十个点的地应力测试看, 围岩应力状态区别较大, 采用能够反映这些差异性特征的综合指标容易对矿区矿压显现特征开展有效地分类。由此确定影响煤巷围岩稳定及锚杆支护方案选型的 3 个综合指标:

(1) 巷道顶板应力强度指数

巷道顶板 10 m 范围内岩层的赋存性质和状态是选择锚固形式和顶板支护方式的关键因素, 最大水平应力与 10 m 范围内顶板中围岩强度加权平均值的比值, 即巷道顶板应力强度指数可以很好反映顶板赋存性质和状态。

(2) 巷道煤体松散系数

巷道煤体松散系数是指煤体松散破碎范围和锚杆的锚固支护长度之间的比值关系。

(3) 顶板不安全因子

顶板不安全因子是指顶板 10 m 范围内强度小于 25 MPa 或厚度小于 0.3 m 的岩层厚度之和与总厚度的比值, 称为顶板不安全因子。

2.2 围岩稳定分级指标的分类

根据矿区巷道围岩地应力、煤岩物理力学性质测定结果及巷道煤层赋存柱状图, 对巷道的顶板应力强度指数、煤体松散系数、顶板不安全因子 3 个综合指标进行划分。

(1) 巷道顶板应力强度指数分类

表 1 为淮南矿区几个典型巷道顶板应力强度指数, 据此将巷道按顶板应力强度指数分为 3 类, 详见表 2。

表 1 几个典型巷道顶板应力强度指数

Table 1 Roof stress strength index in several typical roadways

矿井名称	工作面编号	10 m 范围内顶板中围岩强度加权平均值 σ_c /MPa	σ_{hmax} /MPa	σ_{hmax}/σ_c
潘三矿	1261(3)	22.56	12.95	0.574
	14102(1)	29.09	12.95	0.445
谢桥矿	12418	31.97	11.04	0.345
	1212(3)	29.49	11.04	0.374
顾桥矿	1113(3)	33.50	20.10	0.600
	1115(1)	24.11	20.10	0.834
望峰岗矿	511C(3)	26.80	24.00	0.896

表 2 巷道顶板应力强度指数的基本划分

Table 2 Basic division of roadway roof stress strength index

类型	类别	参考指标 K
I	高应力顶板	>0.8
II	中应力顶板	$0.5\sim 0.8$
III	低应力顶板	<0.5

(2) 煤体松散系数分类

表 3 给出了几个典型巷道煤体松散系数。当 $K \geq 1.5$, 记为 a 类, 大松动破碎巷道; 当 $K < 1.5$, 记为 b 类, 小松动破碎巷道, 如表 4 所示。

表 3 几个典型巷道煤体松散系数

Table 3 Loose broken coefficients of rib in several typical roadways

矿井名称	工作面编号	煤体松散破碎范围/m	锚固支护长度/m	煤体松散破碎范围/锚固支护长度
潘三矿	1261(3)	4.33	2.5	1.73
	14102(1)	4.72	2.5	1.89
谢桥矿	12418	3.77	2.5	1.51
	1212(3)	2.77	2.5	1.11
顾桥矿	1113(3)	3.38	2.5	1.35
	1115(1)	4.44	2.5	1.78
望峰岗矿	511C(3)	4.77	2.5	1.91

表 4 围岩松动破碎范围系数划分

Table 4 Division of loose broken coefficient of rib

类型	类别	参考指标 K
a	大松动破碎巷道	≥ 1.5
b	小松动破碎巷道	< 1.5

煤体松散破碎范围按照圆形巷道的塑性区半径^[2]由下式近似求得

$$R = r_0 \left[\frac{(P + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{P_i + c \cot \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \quad (1)$$

式中: P 为原岩应力, $P = \rho g H$; P_i 为支架阻力, 取 0 时, 可得巷道的极限塑性区半径; r_0 为巷道半径(取值见表 5)。

表 5 几个典型巷道煤体赋存地质力学性质

Table 5 Geomechanical properties in several typical roadways

名称	工作面编号	r_0 /m	ρ /(kg · m ⁻³)	H /m	P /MPa	c /MPa	φ /(°)	P_i /MPa
潘三矿	1261(3)	2.50	2 450	780.00	19.11	0.80	27.42	0
	14102(1)	2.50	2 470	862.70	21.31	0.86	27.46	0
谢桥矿	12418	2.65	2 430	674.90	16.40	0.67	27.31	0
	1212(3)	2.40	2 440	570.00	13.91	0.62	27.10	0
顾桥矿	1113(3)	2.70	2 445	600.00	14.67	0.75	27.20	0
	1115(1)	2.65	2 450	795.16	19.48	0.80	27.40	0
望峰岗矿	511C(3)	2.60	2 460	670.00	16.48	0.78	27.46	0

(3) 顶板不安全因子分类

按表 6 计算值划分: 当 $K \geq 0.4$, 记为甲类, 为不安全顶板巷道; 当 $K < 0.4$, 记为乙类, 为安全顶板巷道。具体情况见表 7。

表 6 几个典型巷道的顶板不安全因子确定

Table 6 Calculation of roof unsafe factor in several typical roadways

名称	工作面编号	总厚度 /m	不稳定层厚度 /m	不稳定层厚度/总厚度
潘三矿	1261(3)	10	4.55	0.455
	14102(1)	10	3.29	0.329
谢桥矿	12418	10	2.02	0.202
	1212(3)	10	3.70	0.370
顾桥矿	1113(3)	10	1.45	0.145
	1115(1)	10	3.97	0.397
望峰岗矿	511C(3)	10	7.70	0.770

表7 顶板的不安全因子参考指标

Table 7 Reference index of roof unsafe factor

类型	类别	参考指标 K
甲	不安全顶板	≥ 0.4
乙	安全顶板	< 0.4

2.3 深部煤巷支护难度级别的确定

上面分级指标的三因素都为综合因素，分别反映了2个指标之间的相对关系，也是反映巷道围岩条件的基本性质和特点，便于矿区掌握和现场操作进行相应的归类。三因素交叉组合，并结合实际情况，将深部煤巷围岩稳定分级划分为以下4级(见表8)，由此确定淮南矿区几个典型深部煤巷支护难度级别(见表9)。

3 矿区深部煤巷围岩稳定控制对策

深部煤巷矿压显现强烈，对初始支护强度有更高的要求，本文作者提出的新型“三高”锚杆支护可以满足深部煤层巷道围岩控制的要求：

(1) 高预拉力：锚杆预拉力的大小对顶板稳定性具有决定性的作用。当预拉力大到一定程度时，锚杆长度范围内和锚杆长度以上的顶板离层得以消除。同时顶板的垂直压力被转移到巷道两侧岩体纵深，巷道两侧附近岩体的压力减少，片帮现象缓和。

(2) 高强度：由于强烈动压影响，高预拉力锚杆荷载增加很大，杆体及配套螺母、托盘强度必须适应动压大变形的特点；在高预拉力的基础上，进

表8 深部煤巷围岩稳定分级

Table 8 Classification of roadway stability in deep coal mining

级别	分级描述	参考指标
一级	非常难支护型	I类顶板应力强度指数、a类煤体松散系数、甲类顶板不安全因子
二级	较难支护型	I类顶板应力强度指数、a类煤体松散系数、乙类顶板不安全因子
		I类顶板应力强度指数、b类煤体松散系数、甲类顶板不安全因子
		II类顶板应力强度指数、a类煤体松散系数、甲类顶板不安全因子
三级	中等难度型	III类顶板应力强度指数、a类煤体松散系数、甲类顶板不安全因子
		II类顶板应力强度指数、b类煤体松散系数、甲类顶板不安全因子
		II类顶板应力强度指数、b类煤体松散系数、乙类顶板不安全因子
		II类顶板应力强度指数、a类煤体松散系数、乙类顶板不安全因子
		III类顶板应力强度指数、b类煤体松散系数、甲类顶板不安全因子
四级	容易支护型	III类顶板应力强度指数、a类煤体松散系数、乙类顶板不安全因子
		I类顶板应力强度指数、b类煤体松散系数、乙类顶板不安全因子

表9 淮南矿区几个典型深部煤巷支护难度分级确定

Table 9 Classification and ascertain of supporting difficulty in several typical deep roadways of Huainan colliery

矿井名称	工作面编号	顶板应力强度指数		煤体松动破碎指数		顶板的不安全因子		煤巷围岩支护难度分级归类
		计算值	类别	计算值	类别	计算值	类别	
潘三矿	1261(3)	0.574	II类顶板应力强度指数	1.73	a类大松动破碎巷道	0.46	甲类不安全顶板	二级 (较难支护型)
	14102(1)	0.445	III类顶板应力强度指数	1.89	a类大松动破碎巷道	0.33	乙类安全顶板	三级 (中等难支护型)
谢桥矿	12418	0.345	III类顶板应力强度指数	1.51	a类大松动破碎巷道	0.202	乙类安全顶板	三级 (中等难支护型)
	1212(3)	0.374	III类顶板应力强度指数	1.11	b类小松动破碎巷道	0.37	乙类安全顶板	四级 (容易支护型)
顾桥矿	1113(3)	0.600	II类顶板应力强度指数	1.35	b类小松动破碎巷道	0.15	乙类安全顶板	三级 (中等难支护型)
	1115(1)	0.834	I类顶板应力强度指数	1.77	a类大松动破碎巷道	0.40	甲类不安全顶板	一级 (非常难支护型)
望峰岗矿	511C(3)	0.896	I类高应力顶板	1.91	a类大松动破碎巷道	0.77	甲类不安全顶板	一级 (非常难支护型)

一步实现高阻让压的工作状态, 限制围岩变形。

(3) 高刚度: 保持初始工作载荷依赖于护表材料的性能, 锚杆载荷向围岩的扩散和增荷速度依赖于增大护表构件的刚度和强度; 因此, 护网、托盘和钢带的抗变形能力必须进一步升级, 并适应强动压影响, 达到高增阻限制变形的工作状况。

以新型“三高”锚杆控制技术为基础, 结合具体巷道围岩条件及特征, 选定合理的支护参数和配套加强支护方案。支护对策如表 10 所示。

4 工业型试验

经过 3 a 多的试验研究, 该支护技术在淮南矿区取得了较好的使用效果, 完成 7 460 m 深部煤巷锚杆支护的工业性试验, 从巷道支护材料费、工时费、巷道维修费和设备租赁费方面计算成本, 共计节约支护成本 1 674.33 万元, 推广应用长度 89 000 m,

节约成本约 2.35 亿元, 取得了非常显著的经济技术效果, 获得了大量的观测数据和第一手资料, 深井煤巷的支护试验与研究取得了初步成功, 达到了预期的研究目的。矿区试验及推广应用情况汇总见表 11。

由于篇幅所限, 下面以顾桥矿 1115(1)工作面轨道顺槽为例加以说明。

4.1 巷道地质条件及类别

顾桥矿 1115(1)工作面位于-780 m 水平, 北一采区, 工作面标高-622~-773.0 m, 地面标高+23.1~+24.03 m, 走向长 2 701.1~2 718.7 m, 平均 2 709.9 m, 倾斜长 229.4 m。工作面煤层赋存稳定, 工作面煤层厚度 2.5~3.61 m, 平均厚度 2.94 m, 倾角 3°~10°, 平均 5°。煤层结构复杂, 一般含 2~3 层炭质泥岩夹矸。直接顶为复合顶板, 由砂质泥岩、泥岩和 11-3 煤层组成, 直接底由泥岩和 11-1 煤层组成, 顶底板岩层组成及巷道层位如图 2 所示。

表 10 淮南矿区深部煤巷支护对策

Table 10 Controlling technique of deep coal roadway in Huainan colliery

级别	分级描述	参考指标	支护对策
一级	非常难支护型	I 类顶板应力强度指数, a 类松散系数, 甲类顶板不安全因子	顶板高强长锚杆锚索、锚索梁、桁架、M 钢带、高刚度钢网小间排距支护; 帮部长锚杆、走向锚索梁、M 钢带、高刚度钢网封闭支护, 并采用帮部桁架或单体锚索配合大托盘强力支护; 底角锚杆、锚索强化支护
二级	较难支护型	I 类顶板应力条件, a 类松散指数, 乙类顶板不安全因子; I 类顶板应力条件, b 类松散指数, 甲类顶板不安全因子; II 类顶板应力条件, a 类松散指数; 甲类顶板不安全因子; III 类顶板, a 类煤体松散指数, 甲类顶板不安全因子	顶板高强长锚杆、锚索梁、大托盘锚索、M 钢带、高刚度钢网或金属网; 帮部长锚杆、走向锚索梁、M 钢带、高刚度钢网或金属网, 底角锚杆、锚索强化支护
三级	中等难度型	II 类顶板应力条件, b 类松散指数; 甲类顶板不安全因子; II 类顶板应力条件, b 类松散指数; 乙类顶板不安全因子; II 类顶板应力条件, a 类松散指数; 乙类顶板不安全因子; III 类顶板, b 类煤体松散指数, 甲类顶板不安全因子; III 类顶板, a 类煤体松散指数, 乙类顶板不安全因子; I 类顶板应力条件, b 类松散指数, 乙类顶板不安全因子	顶板高强长锚杆、大托盘锚索或锚索梁、钢带、金属网联合支护, 帮部长锚杆、钢带、金属网强化支护, 底角锚杆强化支护
四级	容易支护型	III 类顶板, b 类松散指数, 乙类顶板不安全因子	顶板高强锚杆锚索、钢带、金属网; 帮部锚杆、钢带、金属网强化支护

表 11 试验及推广应用情况汇总

Table 11 Summary of engineering practice and application

矿井名称	工作面编号	巷道所属类型	试验巷道长度 /m	试验巷道节约支护成本/万元	施工效果	推广应用长度 /m	节约生产成本 /万元
顾桥	1115(1)	非常难支护型	2 100	265.60	好	25 000	6 638.50
潘三	1261(3)	较难支护型	2 460	588.48	良好	24 000	5 741.26
望峰岗	511C(3)	非常难支护型	1 350	312.09	良好	20 000	4 623.54
谢桥	12418	中等难支护型	1 550	508.16	好	20 000	6 556.90
合计			7 460	1 674.33		89 000	23 560.20

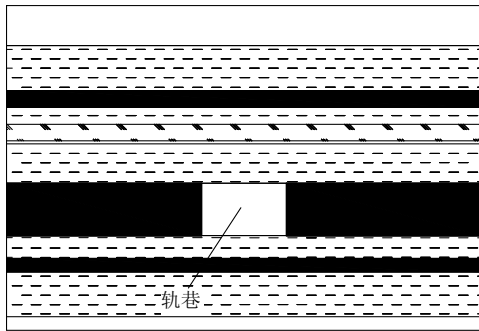


图2 试验巷道层位示意图

Fig.2 Layer position sketch of experimental roadway

根据前面围岩稳定分级归类计算, 该巷道属于一级(非常难支护型)维护巷道。

4.2 支护参数

(1) 巷道顶板采用 7 根左旋螺纹钢等强预拉力锚杆配合 4.8 m 长 M5 型钢带、钢塑网或 10#铁丝网联合支护, 锚杆规格为 $\phi 20$ mm - M22 - 2 500 mm, 每根锚杆采用 2 节 Z2380 型中速树脂药卷加长锚固, 锚杆间距 750 mm, 排距 800 mm。

(2) 巷道两帮采用 5 根左旋螺纹钢等强预拉力锚杆加 M5 型钢带(左帮钢带长 3.2 m, 右帮钢带长 3.0 m)、钢塑网或 10#铁丝网联合支护, 锚杆规格为 $\phi 20$ mm - M22 - 2 500 mm。每根锚杆采用 1 节 Z2380 型中速树脂药卷加长锚固; 左帮锚杆间距为

750 mm, 右帮锚杆间距为 700 mm; 排距为 800 mm。

(3) 每隔 2 排锚杆布置 3 套高预应力单体锚索, 钢绞线规格为 $\phi 17.8$ mm \times 6 300 mm, 同排的 3 根锚索间距为 1.2 m, 锚索距两帮均为 1.3 m。每孔采用 3 节 Z2380 中速树脂药卷加长锚固, 以保证锚固效果。单体锚索排距为 1.6 m, 锚索预紧力 80 kN, 锚固力不低于 200 kN, 托盘采用 400 mm \times 400 mm 的大托盘。

(4) 每隔 2 排锚杆布置一套高预应力锚索梁, 沿顶板中线两侧各 0.9 m 布置锚索钻孔, 眼孔深度 6.0 m, 锚索与顶板垂直, 钢绞线下铺设 2.2 m 轻型槽钢, 槽钢上两眼间距 1.8 m。每孔采用 3 节 Z2380 中速树脂药卷加长锚固, 以保证锚固效果; 预紧力 80 kN。

(5) 帮、顶破碎处, 施工 3~4 根锚杆加强, 锚杆规格及锚固要求同上。

(6) 巷道肩角处顶部锚杆适当带一定角度, 如图 3 所示。帮、顶锚杆扭矩不低于 150 N \cdot m, 机具扭矩不足时人工滞后加扭或采用 MQS - 90J2 型气扳机加扭。

(7) 为了不影响施工进度, 3 根单体锚索中间的锚索可以滞后综掘机后面安装, 滞后距离不能超过 20 m。

巷道锚杆(索)支护布置如图 3 所示。

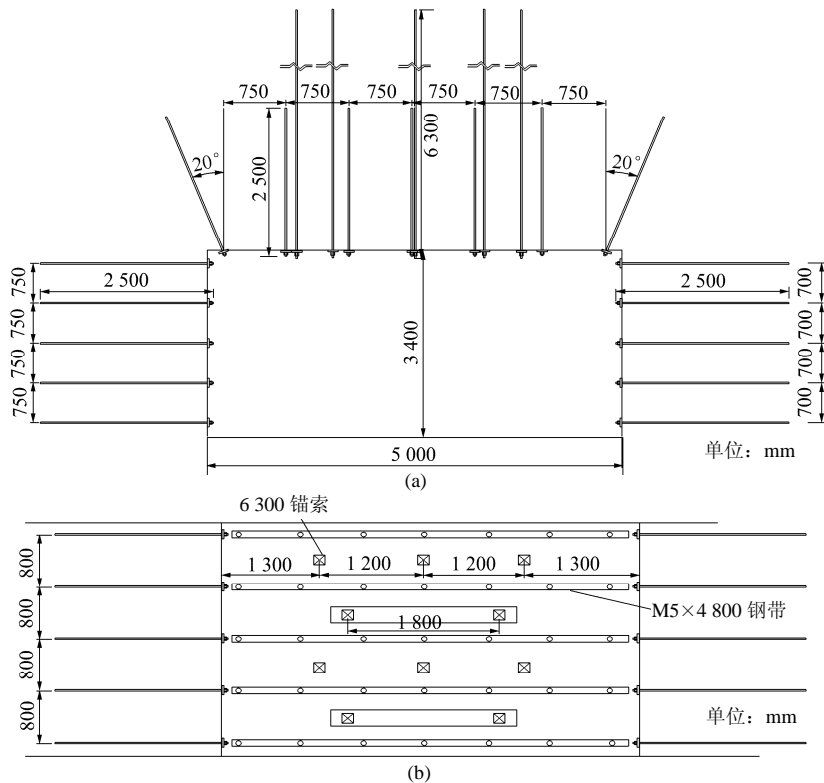


图3 巷道锚杆(索)支护布置图

Fig.3 Distribution sketch of bolting(cable) for roadway

4.3 支护效果

在掘进和回采期间,进行了相关矿压观测。由于回采巷道通常采用卧底处理巷道底板,因此巷道围岩表面位移观测以顶板下沉和两帮移近为主,如图 4 所示。

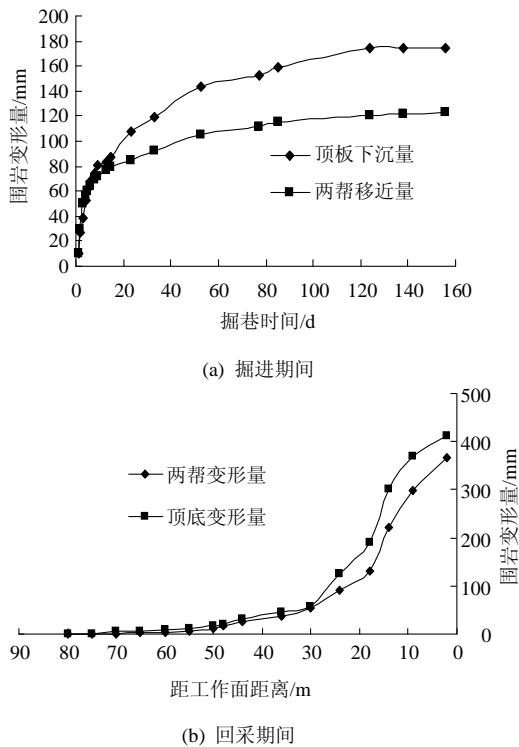


图 4 巷道围岩变形情况

Fig.4 Deformation of roadway surrounding rock during driving

从图 4 可以看出,巷道围岩整体变形量不大,直到回采期间工作面上下端头位置,顶板下沉量累积达到 650 mm 左右,两帮移近量达到 550 mm 左右,总体位移量在“三高”锚杆支护可控范围内,有效维护了巷道,保证了工作面安全生产。巷道整体支护效果见图 5。



图 5 巷道整体支护效果

Fig.5 Supporting effect of roadway

5 结 论

(1) 在系统分析了矿区深部围岩的赋存特征、控制难度和应力状态的基础上,应用矿区煤(岩)巷围岩地应力和地质力学性能测定成果,采用巷道顶板应力强度指数、巷道煤体松散系数、顶板不安全因子 3 个综合指标,对矿区深部煤层巷道围岩稳定性控制难度进行了科学合理的分级归类,进而提出以“三高”(高强度、高预紧力和高刚度)锚杆控制技术为基础的针对性控制对策。

(2) 根据巷道围岩稳定分级判据,确定了淮南矿区几个典型深部煤层巷道围岩稳定分级,采取了针对性技术措施和支护参数,成功进行了现场工业性试验,实现了工作面安全生产。

(3) 提出的深部煤层巷道围岩稳定分级及其对应控制对策等研究成果,对我国煤矿深部煤层巷道支护技术具有一定的理论意义和实用价值。

参考文献(References):

- [1] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.(HOU Chaojiong, GUO Lisheng, GOU Panfeng. Bolting support of roadway[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1999.(in Chinese))
- [2] 陈炎光, 陆士良, 徐永圻. 中国煤矿巷道围岩控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.(CHEN Yanguang, LU Shiliang, XU Yongqi. Control technology of surrounding rock of roadway in China[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1994.(in Chinese))
- [3] 袁 亮. 淮南矿区煤巷稳定性分类及工程对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增 2): 4 790 - 4 794.(YUAN Liang. Stability classification of coal roads in Huainan mining area and engineering countermeasures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(Supp.2): 4 790 - 4 794.(in Chinese))
- [4] 何满潮. 深部的概念体系及工程评价指标[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2 854 - 2 858.(HE Manchao. Conception system and evaluation indexes for deep engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2 854 - 2 858.(in Chinese))
- [5] 靖洪文. 深部巷道大松动圈围岩位移分析及应用[M]. 徐州: 中国

- 矿业大学出版社, 2001.(JING Hongwen. Displacement analysis of the big broken rock zone and its application to deep mine[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2001.(in Chinese))
- [6] 张农, 高明仕. 煤巷高强预应力锚杆支护技术与应用[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(5): 524 - 527.(ZHANG Nong, GAO Mingshi. High-strength and pretension bolting support of coal roadway and its application[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2004, 33(5): 524 - 527.(in Chinese))
- [7] 赵一鸣, 张农, 阚甲广, 等. 深井松散煤巷超高强预应力组合锚杆支护技术[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(2): 222 - 225.(ZHAO Yiming, ZHANG Nong, KAN Jiaguang, et al. Super-high prestress combination bolts for deep mine coal roadway[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(2): 222 - 225.(in Chinese))
- [8] 邹喜正. 煤矿巷道围岩稳定性分类[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.(ZOU Xizheng. Stability classification of the roadway surrounding rock in coal mine[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1995.(in Chinese))
- [9] 朱浮声, 郑雨天, 谭云亮, 等. 锚杆支护回采巷道围岩类型的最优模糊识别[J]. 煤炭学报, 1997, 22(3): 265 - 269.(ZHU Fusheng, ZHENG Yutian, TAN Yunliang, et al. Optimal fuzzy identification of rock type in gateway with roof bolting support system[J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22(3): 265 - 269.(in Chinese))
- [10] 周保生, 朱维申, 李术才. 综放回采巷道围岩稳定性分类的研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(5): 469 - 472.(ZHOU Baosheng, ZHU Weishen, LI Shucai. Stability classification of mining roadway for fully mechanized sublevel caving face[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 469 - 472.(in Chinese))
- [11] 宫凤强, 李夕兵, 高科. 地下工程围岩稳定性分类的突变级数法研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2008, 39(5): 1 082 - 1 087.(GONG Fengqiang, LI Xibing, GAO Ke. Catastrophe progression method for stability classification of underground engineering surrounding rock[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2008, 39(5): 1 082 - 1 087.(in Chinese))
- [12] 许传华, 任青文. 地下工程围岩稳定性的模糊综合评判法[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(11): 1 852 - 1 855.(XU Chuanhua, REN Qingwen. Fuzzy-synthetic evaluation on stability of surrounding rock masses of underground engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(11): 1 852 - 1 855.(in Chinese))
- [13] 谢本贤, 陈沅江, 史秀志. 深部岩体工程围岩质量评价的IRMR法研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2007, 38(5): 987 - 992.(XIE Benxian, CHEN Yuanjiang, SHI Xiuzhi. IRMR method for evaluation of surrounding rock quality in deep rock mass engineering[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2007, 38(5): 987 - 992.(in Chinese))
- [14] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.(QIAN Minggao, SHI Pingwu. Mining pressure and strata control[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.(in Chinese))
- [15] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.(KANG Hongpu, WANG Jinhua. Rock bolting theory and complete technology for coal roadways[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2007.(in Chinese))

下期内容预告

下期《岩石力学与工程学报》将主要发表下列内容的文章:

- (1) 真三轴荷载条件下大型地质力学模型试验系统的研制及其应用;
- (2) 边坡和坝基抗滑稳定分析的三维矢量和法及其工程应用;
- (3) 高地应力条件下卸荷速率对锦屏大理岩力学特性影响规律试验研究;
- (4) 基于边界元法各向异性岩石的裂纹传播路径分析;
- (5) 盐岩力学特性应变率效应的试验研究;
- (6) 端部消波和加密锚杆支护洞室抗爆能力模型试验研究;
- (7) 溜砂坡大规模失稳动力学机制试验研究;
- (8) 湖南某节理边坡稳定性分析的细观损伤力学法。