

# 伪硬顶高地压水患巷道围岩综合控制技术 及工程应用

高明仕<sup>1</sup>, 张农<sup>1</sup>, 张连福<sup>2</sup>, 王超<sup>3</sup>, 窦林名<sup>1</sup>, 许兴亮<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 能源与安全工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 淮北矿业集团 桃园煤矿, 安徽 宿州 234116;  
3. 中国矿业大学 分析测试中心, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 不同顶板岩性组成对巷道围岩稳定性影响很大, 特别是对遇水软化、风化程度高的伪硬顶板, 必须区别对待。通过岩层粉末的 X 射线衍射试验测定了 7<sub>2</sub>44 工作面伪硬顶板——砂岩物相组成, 掌握了该项板岩石遇水岩性衰减强度弱化、岩面风化损伤滑移断裂原因的微观组成结构, 进一步分析了锚固体承载结构预应力损失锚固失效的内在机理, 指出这类伪硬顶高地压水患巷道, 最核心的问题是治水, 解决了水患, 伪硬顶就是真硬顶。在强度高预拉力锚杆支护技术体系的基础上, 通过围岩内部适量注浆、表面喷混凝土封闭措施, 减弱和消除地下水对煤岩体及锚固体的影响。针对该类巷道提出的“三区三项三支护”围岩综合控制思想及技术, 在现场初步得到了成功应用, 为该类煤层巷道的锚杆支护技术提供了参考和借鉴。

**关键词:** 采矿工程; 伪硬顶; 衍射试验; 风化损伤; 锚固失效; 三区三项三支护; 工程应用

**中图分类号:** TD 32

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2005)21 - 3996 - 07

## SYNTHETICAL CONTROL TECHNIQUE AND ENGINEERING APPLICATION TO ROADWAY WITH FALSE-HARD ROOF HIGH SURROUNDING PRESSURE AND WATER DISTURBANCE

GAO Ming-shi<sup>1</sup>, ZHANG Nong<sup>1</sup>, ZHANG Lian-fu<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>3</sup>, DOU Lin-ming<sup>1</sup>, XU Xing-liang<sup>1</sup>

(1. School of Mining and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;  
2. Taoyuan Coal Mine, Huaibei Mining Industry Group, Suzhou 234116, China;  
3. Analysis and Test Centre, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** The composition of the roof rock has a great influence on the stability of the roadway surrounding, especially for those roadway with the false-hard roof, which will be easily weathered or be weakened when encountering water. The composition of the false-hard roof rock sampled from the 7<sub>2</sub>44 working face was determined with the X-ray diffraction experiment. The mineral composition of the false-hard roof was obtained. The results explain why the roof rock strength becomes weak encountering water or weathering. The inherent mechanism of the loss of the prestressed bolting and loosening between bolts and surrounding rock was analyzed. On the basis of these analysis, the conclusion that the key technique is water control in such condition is proposed. False-hard roof can turn into true-hard roof when no water invading. Based on the supporting technique system of the high strength and high prestressed bolting, rock grouting and surface guniting can decrease or even avoid the water influence on the bolts, surrounding rock and coal. At last, a comprehensive measure, named three

**收稿日期:** 2005 - 03 - 25; **修回日期:** 2005 - 05 - 09

**基金项目:** 国家自然科学基金重大项目(50490270); 教育部博士点专项基金项目(20030290017)

**作者简介:** 高明仕(1970 -), 男, 1992年毕业于中国矿业大学采矿工程系采矿工程专业, 现为博士研究生, 主要从事矿山压力与岩层控制、深井开采煤岩动力灾害防治方面的研究工作。E-mail: cumt\_gms@163.com。

zones-three roofs-three supporting techniques, has been put forward and applied successfully in the 7<sub>2</sub>44 roadway. This technique can be used in the similar roadway supporting.

**Key words:** mining engineering; false-hard roof; X-ray diffraction experiment; weathered damage; losing of the prestressed bolting; three zones-three roofs-three supporting techniques; engineering application

## 1 引言

经过“八五”、“九五”科技攻关,煤巷锚杆支护技术逐步得到完善和成熟,目前已基本形成了一套适合于我国煤矿特点的从锚杆设计、支护材料到施工工艺、安全监测等方面相对比较完善和成熟的高强高预拉力锚杆支护技术体系<sup>[1~3]</sup>,在 I~III 类顶板条件下已广泛应用,在 IV~V 类煤巷顶板条件下逐渐得到使用,解决了不稳定层厚度 8~10 m 以下的各类复合顶板;  $f$  值 0.2 以上的各种散、软、破碎煤体;综采(综放)工作面两道一眼;采深为 600~1 000 m 的各类深井高地应力巷道等支护技术难题<sup>[4~9]</sup>,但对于高地压水患煤层巷道的锚杆支护难题,目前国内外在这类条件下的现场工业性试验报道还很少见,更未见有成功的案例报道。这类煤层巷道矿山现场主要采用 U 型钢棚支护,围岩变形量大,巷道在使用过程中多次翻修也难以保证安全使用。笔者曾将该类煤层巷道的锚杆支护难题称作我国煤巷锚杆支护技术难题的“两朵乌云”之一<sup>[10]</sup>。本文将针对这一难题,结合具体的工程实例作一些尝试性研究,以期推动这一难题的解决。

## 2 工程概况

### 2.1 巷道地质概况

淮北桃园矿 7<sub>2</sub>44 工作面位于第一水平北四采区上山右翼第二阶段,工作面区段运输平巷埋深 450 m,煤层倾角 25°。工作面构造较简单,未揭露断层,但顶板破碎,易冒顶。水文地质条件较复杂,老顶砂岩裂隙水发育,采掘过程中顶板出现滴水、淋水、涌水现象,最大涌水量为 20 m<sup>3</sup>/h,正常涌水量为 15 m<sup>3</sup>/h。煤层有自然发火倾向,地温较高,地压大。煤层赋存综合柱状图见图 1,由图 1 可知,7<sub>2</sub>煤层顶板为 1.79 m 粉砂岩直接顶,再上为 1.3 m 中砂岩老顶,其上又是 1.8 m 左右的粉砂岩,通常情况下这类砂岩顶板的岩性强度高,弹性模量大,抗变形能力强。试验巷道(段)平面位置及与周边巷道关系见图 2。

岩石名称	厚度/m	综合柱状	岩性描述
粉砂岩	1.81		浅灰色状、波状层理,有滑面
中砂岩	1.32		浅灰色、块状,有菱铁波状层理发育
粉砂岩	1.79		浅灰色、块状,有滑面现象
7 <sub>2</sub> 煤	1.3(0.3) 0.3		上部黑色块状构造往下为条带状夹少量镜煤条带,弱玻璃光泽
泥岩	1.20		灰色、致密,岩性较松软
煤	0.71		黑色、块状,玻璃、弱玻璃光泽
粗细砂岩	1.22		灰色、块状,局部有植化碎片
细砂岩	2.12		灰色、块状,有水平层理

图 1 7<sub>2</sub>煤层赋存综合柱状图

Fig.1 Composite column of 7<sub>2</sub> coal seam

### 2.2 巷道里段施工现状

该巷道里段(7<sub>2</sub>44 工作面里机巷先期已掘出,见图 2)采用锚杆锚索联合支护、局部地段辅以矿工钢棚支护的方式,现场支护效果:巷道围岩整体向巷内移动很大,巷中高由施工初期的 2.2 m 变为 1.5 m,并已拉底两次,两帮由最初的 3.4 m 收缩为 2.6 m,表现出很强的四周来压型,说明地压很高;部分帮角锚杆破断失效,顶部不少锚杆托盘穿脱钢带;矿用工字钢梯形支架支护巷段梯形支架形成倒扎角;锚杆和工字钢联合支护段,因刚度不匹配,不能同步协调承载,形不成有效支护。特别是顶、帮渗水地段锚固普遍失效,巷道围岩急剧膨胀变形,巷道断面收缩严重,多数地段甚至出现局部冒顶(笔者下井当班就碰到两起)。在无水区同样存在顶板破碎断裂下沉现象,由此可知,本巷道砂岩顶板岩性特殊,不同平常所见到的砂岩顶板,其组成成分极大影响着岩层的物理力学性质。

## 3 顶板岩层物相组成衍射试验

### 3.1 试验过程

在该巷道现场取手感和色泽明显不同的直接顶砂岩岩样两块,在中国矿业大学分析测试中心进行岩样粉末的物相分析——X 射线衍射试验:采用日本理学(Rigaku)公司制造的 D/Max - 3B 型 X 射线衍射仪,测试条件: Cu 靶, K $\alpha$  辐射,石墨弯晶单

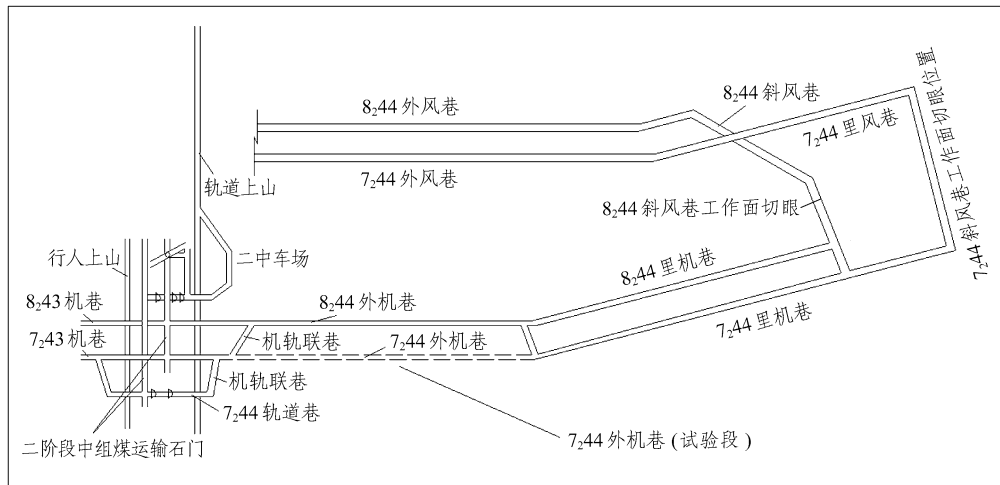


图2 试验巷段平面位置示意图  
Fig.2 Plane layout of the test roadway

色器。狭缝系统：DS(发散狭缝)：1°；RS(接收狭缝)：1°；SS(防散射狭缝)：0.15 mm；RSM(单色器狭缝)：0.6°。X 射线管电压：35 kV，X 射线管电流：30 mA。

(1) 定性分析扫描方式：连续扫描，扫描速度：3°/min，采样间隔：0.02°。

(2) 定量分析扫描方式：步进扫描，扫描速度：0.25°/min，采样间隔：0.01°。

### 3.2 分析测试结果

#### 3.2.1 定性分析结果

利用粉末衍射联合会国际数据中心(JCPDS-ICDD)提供的各种物质标准粉末衍射资料(PDF)，并按照标准分析方法进行对照分析结果表明：1# 样品主体成分为高岭石( $Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$ )，有部分非晶态的煤使高岭石相应部分的衍射信息提高，有部分石英( $SiO_2$ )、少量的伊蒙混层、蒙脱石等粘土和长石( $(Na, Ca)AlSi_3O_8/(Na, K)AlSi_3O_8$ )、菱铁矿( $FeCO_3$ )等矿物。2# 样品有较多的石英、高岭石，有部分伊利石( $KAl_2(OH)_2(AlSi_4O_{10})$ )、伊蒙混层、长石和少量的菱铁矿、方解石( $CaCO_3$ )等矿物。试验样品的 X 射线衍射图谱见图 3, 4。

#### 3.2.2 定量分析结果

根据《金属材料定量相分析——X 射线衍射 K 值法》(GB5225 - 86)进行定量分析，结果见表 1。

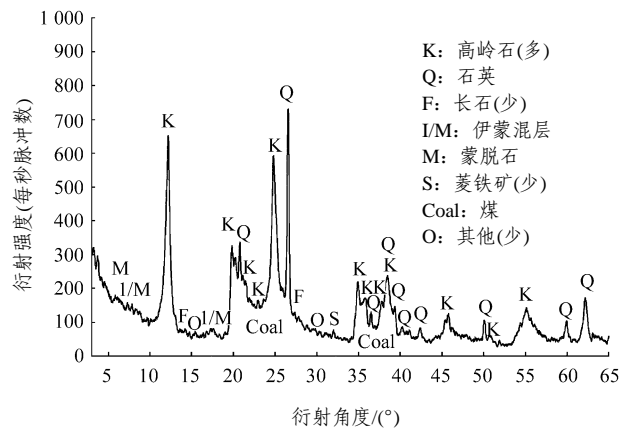


图3 1# 粉末样品的 X 射线衍射图谱  
Fig.3 X-ray diffraction of sample No.1

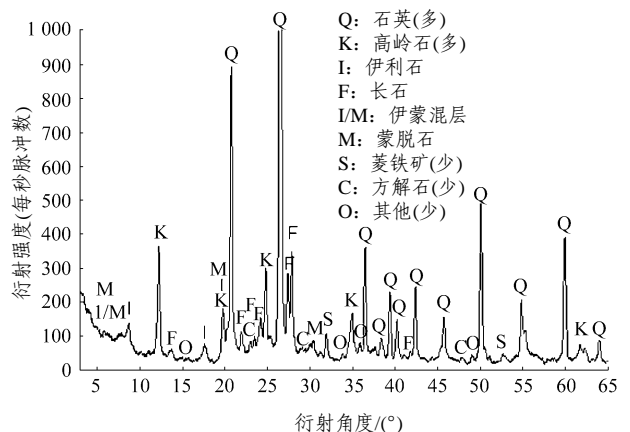


图4 2# 粉末样品的 X 射线衍射图谱  
Fig.4 X-ray diffraction of sample No.2

表 1 2 个样品 X 射线衍射定量分析结果

Table 1 Percentage of the two sample X-ray diffraction

%

名称	高岭石	石英	长石	伊利石	伊/蒙混层	蒙脱石	菱铁矿	方解石	其他(晶态)	其他(非晶态-煤)
1#	70	6	≤1		4	2	≤1		1	余量
2#	27	35	10	11	11	2	1	≤1		余量

由以上测定分析结果可知,同一巷道不同地段煤层直接顶板岩层组分相差很大,1<sup>#</sup>样品中高岭石就占到了70%,加上蒙脱石、伊/蒙混层总体接近80%、2<sup>#</sup>样品中高岭石、蒙脱石、伊/蒙混层总体含量超过了50%,这些粘土矿物的大量存在,大大影响了顶板砂岩的物理力学性质,特别是遇水及风化后强度急剧降低,因此,称这种貌似坚硬实质遇水软化和风化程度严重的砂岩顶板为伪硬顶。同时,通过在中国矿业大学岩层控制实验室对顶板岩块的主要物理力学参数的测定(见表2),可以进一步认识到这种伪硬顶的不可靠性和难维护性。

## 4 地下水、风化等因素对煤岩性能及锚固效果的影响

### 4.1 地下裂隙水对岩体物理力学性质的影响

地下裂隙水对岩体产生3种作用,即物理、化学和力学作用。物理作用主要有润滑作用、软化和泥化作用等,诱发本巷道顶板砂岩中的裂隙面、节理面和断层面等结构面发生剪切运动,同时软化顶底板自身抗变形强度。化学作用主要有离子交换、溶解溶蚀作用、水化作用、水解作用等,改变了岩土体中的矿物组成,增加了孔隙度及渗透性能,从而影响岩土体的力学性质。

### 4.2 裂隙水对锚固体锚固效果的影响

主要通过软化煤岩体加剧其膨胀变形,软化树脂锚固药卷周围岩体,致使锚杆里端锚固段失去稳定的内锚固点,锚杆张拉失去了稳定的“基础”;同时腐蚀锚杆杆体,损失锚杆的预拉力,降低了锚固体的预应力承载作用,使锚固效果大大降低,直至完全失去作用。

### 4.3 风化对岩体物理力学性质及锚固体锚固效果的影响

风化作用是一种表生的自然营力和人类作用的共同产物,是一种很复杂的地质作用,涉及到气温、大气、水分、生物、原岩的成因、原岩的矿物

成分、原岩的结构和构造等诸因素的综合作用。新鲜岩石的力学性质和风化岩石的力学性质有着较大的区别,特别是本巷道顶板岩层中普遍含有高岭石、伊蒙互层等风化程度很深的岩石,岩石的力学性质会明显降低。

## 5 “三区三顶三支护”围岩综合控制技术

针对本试验巷道不同区域不同顶板状况,以控制水患为突破口,采用锚、喷、注多种支护手段联合支护技术,治表治里,综合控制。

### 5.1 巷道围岩条件“三区三顶”分类

根据以上水患对岩体和锚固体性质的影响分析,依据顶板、巷帮有无水及出水量的大小将巷道顶帮分为三区。无水区:顶帮围岩干燥,无肉眼可见水迹;潮解区:顶帮有一方有水迹从而使煤岩表面出现潮解现象;渗流区:顶帮任一方有滴水或淋水现象。

根据顶板的完整性程度将其分为3种岩性特征的顶板。破碎顶:顶板岩层胶结程度低,开挖后自稳能力差,空顶自稳时间很短或随掘随冒;裂隙顶:顶板岩层块状胶结程度较高,开挖后自稳能力强,但岩层节理较发育,易出现预生裂隙;完整顶:顶板岩层成积性好,开挖后不立即支护也能保持完整,不破裂不变形。

### 5.2 “三支护”技术路线——锚喷注

#### 5.2.1 高强预应力支护体系——锚带网索

高性能预拉力锚杆,实现较大的预拉力,同时锚杆载荷超过杆体屈服强度后可以延伸,而不至于在尾部破断,通过杆体的伸长适应巷道围岩的大变形。另外锚杆附件如托盘、M型钢带之间几何形状和承载能力匹配,整体承载能力大、支护强度高<sup>[1]</sup>。

小孔径预应力锚索,由高强度预应力钢绞线、专用托盘、锁具和锚固剂组成,其中钢绞线内锚固

表2 7<sub>244</sub>机巷顶板岩块主要物理力学参数测定结果

Table 2 Test results of physico-mechanical parameters of the roof rock in 7<sub>244</sub> roadway

名称	单向抗压强度/MPa	抗压变形模量/GPa	单向抗拉强度/MPa	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	泊松比	粘聚力/MPa	内摩擦角/(°)	软化系数
1 <sup>#</sup> (自然状态)	35.40	3.13	2.30	2.420	0.255	6.6	35.1	
1 <sup>#</sup> (饱和状态)	24.76	2.40			0.286			0.70
2 <sup>#</sup> (自然状态)	131.10	22.20	5.24	2.529	0.207	15.5	37.2	
2 <sup>#</sup> (饱和状态)	116.70	12.40			0.235			0.89

段需安设毛刺和挡环,以满足搅拌树脂和锚固要求。锚索主要在复合顶板、巷道顶板跨度大、交叉点、高地压带等复杂困难条件下作为加强支护手段使用,可以有效加固控制4~6 m的岩层范围,预张力控制在60~80 kN范围内,可保持和锚杆预拉力匹配,并克服刚度低的缺陷。

### 5.2.2 喷射混凝土支护

在巷道围岩表面喷射一层混凝土,不仅可以适时封闭围岩,防止围岩表面风化,改善围岩表面性能,提高承载能力;同时混凝土初期的和易性可保证它起到一定的柔性支护作用,在围岩中形成一定范围的非弹性变形区,使围岩的自支撑能力得以充分发挥;另外,浆液封闭围岩表面后,顶板滴水 and 淋水现象减弱,大大改善施工现场作业环境。

### 5.2.3 岩层内部注浆

围岩注浆加固是利用浆液把围岩的各种弱面充实,并把弱面充填体和四周岩体重新胶结起来,从而提高围岩的整体稳定性及其力学性能,改善围岩的物理性能。锚杆支护巷道,注浆改善了破裂岩体的结构及力学性能,为锚杆提供了可锚的物质基础,达到了双层加固的效果<sup>[11]</sup>。对于本试验巷道而言,岩层内部注浆的根本目的是浆液封堵顶板岩层中的裂隙,使顶板涌水失去通道,减弱和消除裂隙水对煤岩体和锚固层的侵害,以保持锚杆(索)的预拉力,发挥锚固体整体的预应力承载性能。

马丽散是一种新型高分子化学注浆材料,可沿煤岩层或混凝土裂缝延展至所有裂隙(包括肉眼难以觉察的裂隙及在高压作用下重新张开的裂隙),然后发生膨胀和胶结作用,从而有效地加固煤、岩体,封堵裂隙。产品固化后抗压强度介于25~38 MPa,粘结力介于5~10 MPa。注入煤岩裂隙后,其良好柔韧性和粘结力保证了当煤、岩体受压变形后也不会开裂。

### 5.3 支护方案

根据上面顶板完整度和顶帮水患影响程度对顶帮所做的分区分类划定,针对该巷相应提出了“三区三项三支护”的围岩综合控制技术体系,具体如下:

无水区完整顶:锚带网、顶板单锚索、高帮底角单锚索、薄喷;

无水区裂隙顶:锚带网、顶板双锚索、高帮底角单锚索、薄喷;

无水区破碎顶:锚、顶板双锚索、高帮底角单锚索、薄喷;

潮解区完整顶:锚、顶板单锚索、高帮底角单锚索、加强喷;

潮解区裂隙顶:锚、顶板双锚索、高帮底角单锚索、加强喷;

潮解区破碎顶:锚、顶板双锚索、高帮底角单锚索、加强喷、顶注;

渗流区完整顶:锚、顶板双锚索、高帮双锚索或桁架、加强喷、帮顶注;

渗流区裂隙顶:锚、顶板双锚索、高帮双锚索或桁架、加强喷、帮顶注;

渗流区破碎顶:锚、顶板双锚索、高帮双锚索或桁架、加强喷、帮顶注。

### 5.4 具体支护参数设计

试验巷道设计断面为直墙斜梯形,主要支护设计参数及支护示意图见图5(限于篇幅,支护参数、具体施工过程及文字有略,支护示意图只给出3种技术联合支护图)。

#### 5.4.1 围岩表面喷射混凝土参数

(1) 在无水区顶、帮为防煤岩体风化喷薄层混凝土(薄喷):喷层厚度30~50 mm;直接在围岩表面进行喷射,以防煤岩进一步风化和潮解;

(2) 在顶、帮潮解区喷混凝土:喷层厚度70~100 mm;

(3) 混凝土配比:水泥:黄砂:石子=1:2:2;

(4) 喷射混凝土作业滞后迎头为10~20 m,在50 m范围内完成。

#### 5.4.2 煤岩体内注浆参数

(1) 在顶、帮渗流区进行煤岩层内部注浆:直径 $\phi=42$  mm,孔深3.5 m;高帮/顶板/底帮注浆孔采用2/2/1型布置方式。

(2) 注浆锚杆:长度3 000 mm,4分钢管制成;钢管底端1.5~2.0 m长度内错开钻孔,孔径由大逐渐变小,前端孔径 $\phi=8$  mm,后端孔径 $\phi=4$  mm。

(3) 浆液:新型堵水材料马丽散。

(4) 注浆量每孔4~8桶,注浆时间每孔20分钟左右,注浆压力:不小于8 MPa左右,具体数据按现场实际注浆情况而定。

(5) 注浆锚杆的位置:根据具体的渗水淋水位置施工注浆锚杆,再根据堵水效果决定是否加打注浆孔及是否补注,通常以一根注浆锚杆控制2.0 m<sup>2</sup>左右的面积计算注浆锚杆的数量。

(6) 注浆作业滞后迎头10~20 m,在50 m范围内完成。

### 5.5 应用情况

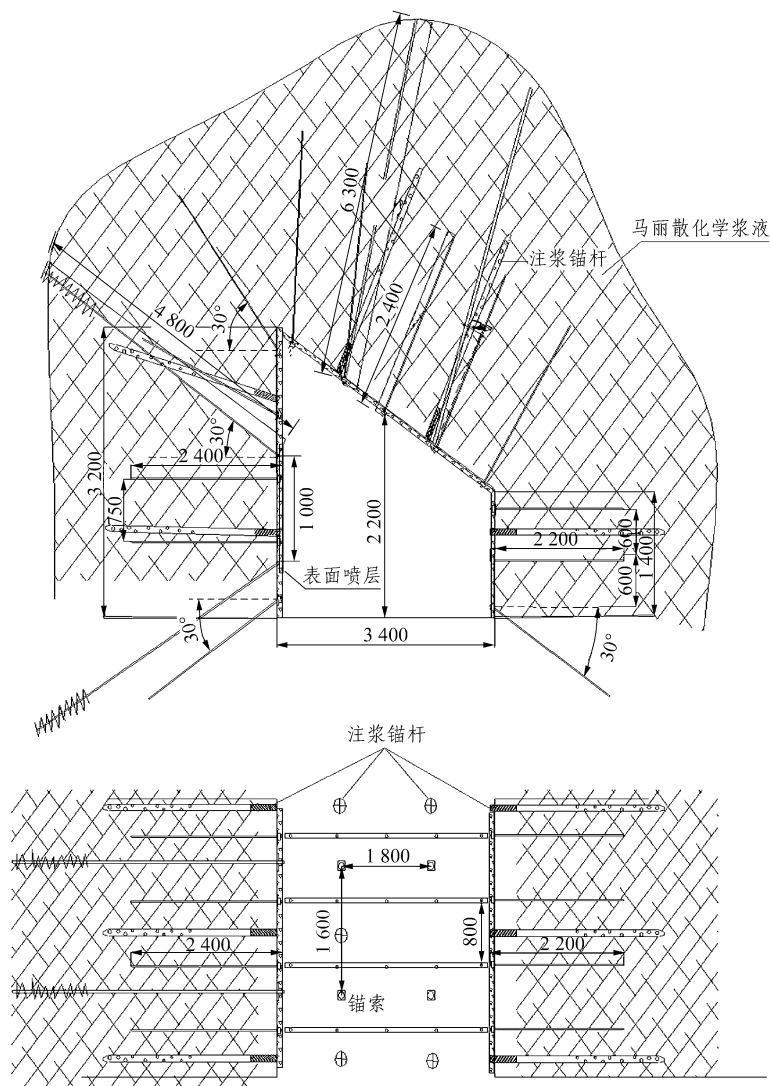


图 5 试验巷道锚喷注联合支护参数示意图(单位: mm)

Fig.5 Parameters of combined supporting technique for design entry(unit: mm)

目前, 巷道已进行现场工业性试验 100 余米, 从目前施工状况来看, 巷道顶板渗水和淋水得到了控制, 围岩四周基本不见水迹, 巷道变形量顶底最大 68 mm, 两帮相对移近量最大 103 mm。据锚杆拉拔试验(非破坏性)抽检结果, 顶部锚杆锚固力均大于 80 kN, 帮部锚杆锚固力均大于 50 kN, 帮顶锚索锚固力均大于 120 kN, 说明锚固效果良好, 未出现明显的锚固力衰减, 保证了支护效果, 从而使围岩结构稳定, 维护了巷道。

## 6 结 语

(1) 不同顶板岩性组成对巷道围岩稳定性影响很大, 特别是对遇水软化、风化程度高的伪硬顶板, 必须区别对待。本文通过岩层粉末的衍射试验测定了 7<sub>244</sub> 工作面伪硬顶板 - 砂岩岩分组成, 掌握了

该项板岩石遇水岩性衰减、岩面风化损伤滑移断裂原因的微观组成结构, 进一步分析了锚固体预应力损失锚固失效的内在机理。

(2) 这类伪硬顶高地压水患巷道, 最核心的问题是水患, 必须先治水再护巷, 解决了水患, 伪硬顶就是真硬顶, 通过围岩内部适量注浆、表面喷砼封闭措施, 减弱地下水对岩体及锚固体的影响效果, 岩层才能发挥自身作用和锚杆(索)一起组成预应力承载结构。

(3) 针对该类巷道采取的“三区三项三支护”围岩综合控制思想及技术, 在现场初步得到了成功应用, 为该类煤层巷道的锚杆支护技术提供了参考和借鉴。

### 参考文献(References):

[1] 张 农, 高明仕, 许兴亮. 煤巷预应力支护体系及其工程应用[J].

- 矿山压力与顶板管理, 2002, (4): 1 - 4.(Zhang Nong, Gao Mingshi, Xu Xingliang. Prestressed supporting system of roadway and its engineering application[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2002, (4): 1 - 4.(in Chinese))
- [2] 侯朝炯, 郭历生, 勾攀锋, 等. 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, et al. Coal Seam Roadway Rockbolting[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1999.(in Chinese))
- [3] 陈炎光, 陆士良. 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. China Colliery Roadway Surrounding Rock Controlling[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1994.(in Chinese))
- [4] 林崇德. 煤巷软弱顶板锚杆支护机理与技术研究[博士学位论文][D]. 徐州: 中国矿业大学, 1999.(Lin Chongde. Study on the mechanism and technique of rockbolting in soft-weak roof of coal mine roadways[Ph. D. Thesis][D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2001.(in Chinese))
- [5] 杨双锁. 回采巷道围岩控制原理及锚固结构的适应性研究[博士学位论文][D]. 徐州: 中国矿业大学, 2001.(Yang Shuang suo. Study on the control theory of gate roadways surrounding rock and the adaptability of the bolting structure[Ph. D. Thesis][D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2001.(in Chinese))
- [6] 柏建彪. 综放沿空掘巷围岩稳定性原理及控制技术研究[博士学位论文][D]. 徐州: 中国矿业大学, 2002.(Bai Jianbiao. Study on the control theory and technique of roadway driving along next goaf for fully-mechanized face[Ph. D. Thesis][D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2002.(in Chinese))
- [7] 柏建彪, 侯朝炯, 杜木民, 等. 复合顶板极软煤层巷道锚杆支护技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 53 - 56.(Bai Jianbiao, Hou Chaojiong, Du Mumin, et al. On bolting support of roadway in extremely soft seam of coal mine with complex roof[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(1): 53 - 56.(in Chinese))
- [8] 高明仕, 徐金海, 张农, 等. 松软煤层沿底施工三维锚索支护技术[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, (2): 4 - 7.(Gao Mingshi, Xu Jinhai, Zhang Nong, et al. Supporting technology of 3-dimension anchor-cable when the roadway must be driven along the bottom in the loose thick coal seam[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2003, (2): 4 - 7.(in Chinese))
- [9] 高明仕, 张农, 成隆. 综放沿空掘巷窄煤柱合理宽度的确定[J]. 矿山压力与顶板管理, 2004(3): 4 - 7.(Gao Mingshi, Zhang Nong, Cheng Long. Optimal width of the pillar for roadway driving along next goaf for fully-mechanized face[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2004, (3): 4 - 7.(in Chinese))
- [10] 高明仕, 张农, 窦林名, 等. 我国煤巷锚杆支护技术的“两朵乌云”[J]. 能源技术与管理, 2004, (2): 1 - 4.(Gao Mingshi, Zhang Nong, Dou Linming, et al. Two big problems of the roadway bolt-supporting technique in China[J]. Energy Technology and Management, 2004, (2): 1 - 4.(in Chinese))
- [11] 张农. 软岩巷道滞后注浆围岩控制研究[博士学位论文][D]. 徐州: 中国矿业大学, 1999.(Zhang Nong. Study on the surrounding rock controlling with soft rock roadway lag-grouting [Ph. D. Thesis][D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 1999.(in Chinese))