

# 松软破碎顶板巷道支护技术研究与应用

郝峻青<sup>1</sup>, 赵军<sup>2</sup>

(1. 西山煤电股份有限公司 西铭煤矿, 山西 太原 030053; 2. 大同煤矿集团有限责任公司 技术中心, 山西 大同 037003)

**摘要:** 为了解决大同侏罗纪 15 号煤层松软破碎顶板巷道支护技术难题, 对该煤层及顶底板岩层进行了物理力学性质测试, 在此基础上分析了巷道顶板类型, 针对煤层顶板实际情况, 阐述了及时支护、可缩性支护、大工作阻力、整体加固的破碎顶板巷道支护原则, 通过理论计算确定了煤层巷道围岩锚固支护方案。现场试验表明: 选择的支护方案和支护参数能够有效地控制巷道围岩变形, 巷道顶板的最大离层值为 13 mm, 支护材料用量下降了 10%, 保证了巷道安全使用, 取得了明显的经济效益。

**关键词:** 破碎顶板; 锚固支护; 围岩控制; 煤巷; 支护监测

中图分类号: TD353.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2011)03-0018-04

## Research and Application of Support Technology to Gateway with Soft and Broken Roof

HAO Jun-qing<sup>1</sup>, ZHAO Jun<sup>2</sup>

(1. Ximing Mine, Xishan Coal and Electric Power Group Corporation Limited, Taiyuan 030053, China;

2. Technology Center, Datong Coal Mine Group Corporation Ltd., Datong 037003, China)

**Abstract:** In order to solve the support technical difficulty of the gateway with soft and broken roof in No. 15 seam of the Jurassic Period in Datong Mining Area, the physical mechanics property test and measurement was conducted on the seam and the roof and floor strata. Based on the circumstance, the roof type of the gateway was analyzed. According to the actual conditions of the seam roof, the paper stated the principles of the on time support, the yield support, the high working resistance support and the integrated reinforcement for the gateway with broken roof. The theoretical calculation was applied to determine the surrounding rock anchoring support plan of the seam gateway. The site experiment showed that the support plan and the support parameters selected could be effectively to control the surrounding rock deformation of the gateway. The max bed separation value of the gateway roof would be 13 mm. The support material consumption was reduced by 10%. Thus the safety application of the gateway could be ensured and the obvious economic benefits were obtained.

**Key words:** broken roof; anchorage support; surrounding rock control; seam gateway; support monitoring and measurement

永定庄矿为大同矿区首个开采侏罗系 15 号煤层矿井, 该煤层为不稳定煤层, 煤层直接顶板为厚 2.3~3.5 m 松软破碎的炭质泥岩, 其层理、节理裂隙极其发育, 固结性差, 煤层赋存区域内断层较为发育, 巷道顶板易随掘随冒。即使在掘进阶段顶板泥岩暂不冒落, 也易风化破碎, 煤巷存在支护难, 围岩变形量大、破坏严重、维护费用高等问题<sup>[1]</sup>。为此, 进行了 15 号煤层破碎顶板巷道支护技术研究, 实施后取得了良好的技术经济效果。

## 1 煤层赋存特征及力学特性测试

1) 煤层赋存特征。由钻孔资料和 21701 运输巷揭露可知, 15 号煤层本区赋存稳定, 结构简单,

层理、节理较发育, 由北向南逐渐变薄, 厚度为 1.43~2.57 m, 平均 2.05 m。煤层由北向南会出现厚为 0.14 m 的夹矸, 倾角为 0~1°, 直接顶为炭质泥岩, 节理裂隙发育、性松软, 易破碎, 平均厚度为 2.55 m; 炭质泥岩之上近 1 m 的范围为 2 层薄煤和粉砂岩互层, 再上为厚 9.14 m 的灰白色粉细砂岩互层, 坚硬、性脆, 煤层底板为褐色粉砂岩。15 号煤层综合柱状如图 1 所示。

2) 力学特性测试。试验样本取自 15 号煤层及顶底板岩层, 煤层及顶底板岩层各取 3 组煤、岩样, 选择掏芯法从采掘进工作面直接选取, 规格为 250 mm×250 mm×150 mm, 所取煤、岩样没有明显裂隙并能辨别清楚层位, 满足煤、岩物理力学试

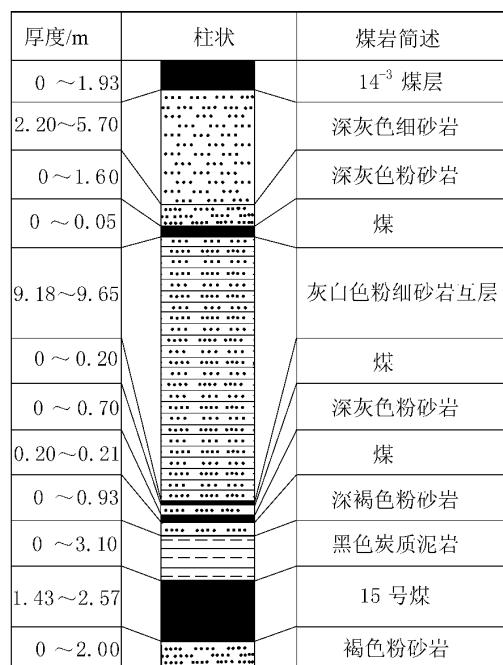


图 1 15 号煤层综合柱状图

验测试的要求。实验室将煤、岩块经专用设备加工成标准试样，经过烘干等一系列程序，然后通过专

用设备进行力学参数测试<sup>[2]</sup>。15 号煤层及顶底板物理力学参数见表 1。

## 2 巷道顶板类型分析

1) 岩石坚硬程度。由试验获得巷道顶板炭质泥岩的单轴抗压强度为 26.3 MPa，巷道两帮煤体的单轴抗压强度为 19.8 MPa，巷道底板粉砂岩的单轴抗压强度为 64.8 MPa。岩石坚硬程度的定量指标可用实验室测试的岩石的单向抗压强度近似代替。永定庄矿 15 号煤层巷道的顶板（炭质泥岩）及煤帮属于较软岩石类型，底板（粉砂岩）则属于较硬岩石类型。

2) 岩体完整程度。岩体完整性指数  $K_v$  应采用实测值，但由于受测试条件的限制，可用岩体体积节理数  $J_v$  按表 2 对应确定。岩体体积节理数  $J_v$  应针对不同的工程地质岩组或岩性段，选择有代表性的露头或开挖壁面进行节理统计。除成组节理外，对延伸长度大于 1m 的分散节理亦应予统计，已为硅质、铁质、钙质充填再胶结的节理不予统计。

表 1 15 号煤层及顶底板物理力学参数

岩性	厚度/m	单轴抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
粉细砂岩互层	9.14	81.8	9.1	22.20	33.0	21.5	0.26	2.49
粉砂岩	0.47	33.6	7.4	15.40	35.0	17.6	0.26	2.62
炭质泥岩	3.50	26.3	2.3	5.90	28.9	13.3	0.27	2.50
15 号煤	2.05	19.8	1.1	3.45	30.0	8.1	0.28	1.35
粉砂岩	1.00	64.8	6.9	17.80	32.0	22.2	0.24	2.65

表 2  $J_v$  与  $K_v$  对照

$J_v$	$K_v$
<3	>0.75
3~10	0.75~0.55
10~20	0.55~0.35
20~35	0.35~0.15
>35	<0.15

对永定庄矿 15 号煤层巷道围岩的岩体体积节理数  $J_v$  的统计结果表明，永定庄煤矿 15 号煤层回采巷道围岩岩体的完整性指数  $K_v$  在 0.20~0.51，巷道围岩属较破碎型，顶板属破碎型顶板。

## 3 松软破碎围岩巷道支护原则

进行巷道围岩控制时应根据不同的围岩条件及

力学环境条件确定不同的围岩控制原则，使围岩处于不同的稳定状态。对于破碎围岩巷道具有松动变形特征，即巷道开挖后都要发生强度破坏并产生松动变形区，在适当控制之下，松动区岩体仍具有一定的承载能力。较大松动区存在的情况下用较小的支护力（不小于松动载荷）仍可使围岩处于平衡状态。因此，破碎围岩所形成的稳定状态为松动性稳定状态<sup>[3]</sup>。与此相适应，支护应遵循使围岩处于松动性稳定状态的支护原则。

1) 及时支护原则。松软破碎顶板产生失稳的本质原因是支护的初期刚度不足，即支架与围岩形成平衡之前围岩就已经发生了过大变形，超出了形成稳定状态所允许的最大变形量，从而发生破坏失稳。这主要是由于支护开始发挥作用时，围岩通常

已经产生了较大变形，而这种变形是在没有任何限制的自由状态下产生的，在此变形过程中，围岩极易发生变形不均、危岩掉落等现象，从而造成巷道断面形状不规则，进而导致支护结构受力不均、围岩破坏范围扩大等不利于巷道稳定状态形成的结果。因此，支护要及时，应使支护具有一定的初期预应力，使围岩变形及早受到一定控制，以防止围岩发生强度破坏、减小甚至丧失承载能力。

2) 可缩性支护原则。支护应具有较强的可缩性，以适应巷道围岩的大变形特征，如锚固结构支护，以防止支护力与围岩压力达到平衡之前支护系统就发生破坏、失稳。

3) 大工作阻力原则。松动变形特征分析结果表明，松动变形具有一定的可控制性。因此，在适应围岩大变形特征的同时，支护应具有较高的支护阻力，以使围岩的大变形特征得到一定程度的制约，如高强锚杆(索)等，从而在防止围岩发生垮塌、冒落等失稳现象的同时，对巷道的变形性失稳(因断面收缩率太大从而使有效面积太小而影响正常使用)也起到一定的控制作用。

4) 整体加固原则。采取适当的加固措施以提高围岩强度，既可增加破碎围岩稳定状态的安全性及可持续时间，还可扩大松动性稳定状态支护方式的使用范围，即通过提高破碎围岩的强度，使松动性稳定状态支护方式适用于原本不具备条件的巷道围岩控制。如锚网、锚网和W钢带(钢筋梁)、注浆、喷射混凝土相结合的方式，使锚固结构组成一个整体承载结构，提高锚固结构的整体效果。即通过金属网、W钢带等构件使破碎顶板形成具有一定承载能力的整体锚固体，从而利用锚固体的抗压和抗剪切能力控制围岩的变形<sup>[4]</sup>。永定庄煤矿15号煤层21701巷原有锚杆锚索联合支护时，锚杆、锚索并没有通过金属网、W钢带等构件使破碎顶板形成整体锚固体结构，这也是巷道存在支护困难，围岩变形量大、破坏严重、维护费用高等问题的主要原因之一。巷道顶板岩层软弱破碎时，巷道围岩的矿压特征主要取决于顶板的变形、破坏等现象的发生和发展。当顶板岩层发生破坏而产生松动变形区时可运用自然冒落拱理论对顶板稳定性进行分析，即拱外岩体形成平衡结构而处于稳定状态，拱内岩体重则为顶板压力。

破碎顶板整体锚固结构厚度应根据破碎顶板的

岩性特征确定，顶板锚杆支护宜采用组合梁理论、挤压加固和悬吊理论相结合，同时配以金属网、W钢带(或钢筋梁)等构件使破碎顶板形成整体锚固结构并确保锚杆(索)能够将顶板中潜在的拱形载荷体悬吊于深部稳定岩层结构之中<sup>[5]</sup>。

#### 4 巷道锚固支护设计

根据永定庄煤矿井下实际情况和松软破碎围岩的锚固支护理论研究成果，对15号煤层全煤巷道松软破碎顶板锚固进行了支护设计，8916综采工作面的5916巷道断面形状为矩形，断面尺寸3.8 m×2.6 m，掘进面积9.88 m<sup>2</sup>，巷道支护方案为“预应力锚杆+金属网+W钢带+锚索补强”整体锚固支护方式。

1) 顶板支护。锚杆杆体为高强左旋螺纹钢筋，规格为φ20 mm×2 200 mm，杆尾螺纹M22，配以金属拱形高强度托板，带万向球，规格为100 mm×100 mm×10 mm。锚固方式为树脂加长锚固，锚固长度为1 310 mm，树脂药卷2支，一支为K2335型(孔底)，另一支为Z2360。采用W钢带护顶，钢带规格3 400 mm×185 mm×3.2 mm。金属网片为12号铅丝金属网，规格1 800 mm×1 000 mm。锚杆布置：顶锚杆间距800 mm，排距900 mm，每排5根锚杆，其中两肩角锚杆与垂线20°外斜布置。锚杆锚固力100 kN，预紧力50 kN。

锚索长度为6 000 mm，为φ15.24 mm级低松弛预应力钢绞线，布置形式为“212”式，间距为1 600 mm，排距为1 800 mm，锚固力250 kN，预紧力100 kN。树脂锚固剂3支，1支为K2335型(孔底)，另2支为Z2360，锚固长度为1 420 mm，锚索垂直顶板布置。

2) 巷帮支护。支护方案：锚杆+网支护。锚杆杆体为普通金属锚杆，帮锚杆长度1 700 mm，拱形高强度托板，规格120 mm×120 mm×10 mm。三排五花式布置，间距600 m，排距750 m，锚固力50 kN，预紧力30 kN，树脂锚固剂Z2360一只。两帮采用不同材质的护帮网，左帮采用金属菱形网，规格为3 700 mm×1 700 mm；右帮采用尼龙网片，规格为10 000 mm×1 700 mm。大同矿区侏罗系15号煤层松软破碎顶板条件下5916巷道锚固支护参数如图2所示。

巷道采用EBZ160型掘进机完成掘巷、装载工

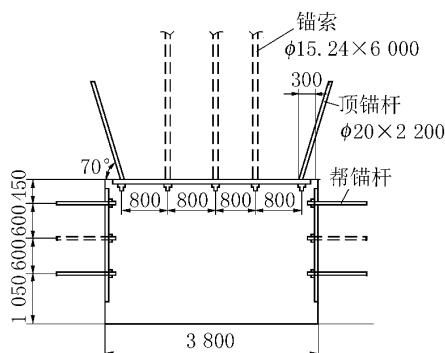


图2 锚固支护技术参数

序, 使用SZD800/11G型带式转载机将煤运至带式输送机, 然后转载运至915带式输送机, 使用液压钻完成支护工序。巷道严格按设计尺寸施工, 确保工程质量。

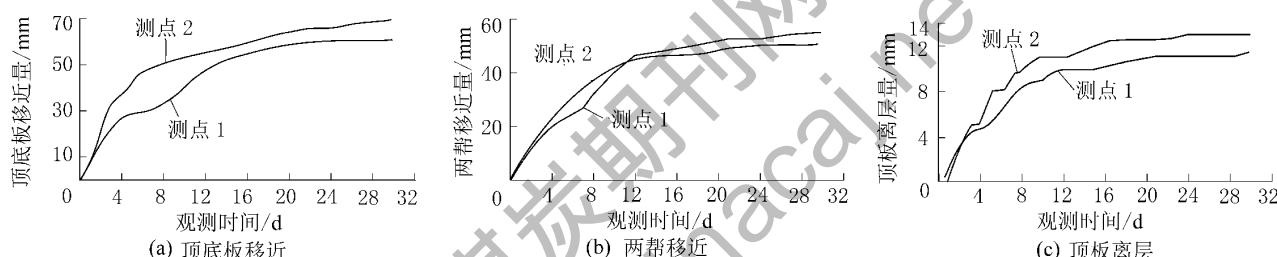


图3 巷道围岩变形监测

2) 顶板离层监测。顶板离层采用LBY-1型顶板离层指示仪进行监测。测点沿巷道走向每隔30~50 m布置1个, 测点离层仪安设在巷道顶板中线位置, 其中深基点固定在锚索上方稳定岩层内300 mm, 浅基点固定在锚杆端部位置。图3c为顶板离层监测曲线。从监测结果看, 14 d后基本处于稳定, 巷道最大顶板离层值为13 mm。说明在预应力锚杆支护作用下, 巷道顶板基本稳定。

## 6 支护效果分析

永定庄矿15号煤层巷道锚固支护参数确定后, 在309盘区8916综采工作面的5916巷进行了工业性试验。巷道围岩移动监测结果表明: 巷道表面位移量很小, 锚固区内顶板没有发生较大的离层现象, 围岩变形属小变形范围, 顶板变形影响范围为3.2 m(至砂岩层底部), 顶板软岩和泥岩是主要的变形岩层, 巷帮变形影响范围为1.7 m。巷道支护按设计参数实施后, 不仅显著提高了巷道支护效果和安全程度, 从根本上改善了巷道围岩力学状况, 而且使生产条件明显改善, 减轻了工人劳动强度。

## 5 支护质量监测

巷道支护效果监测是锚固支护设计全过程中的重要组成部分, 是支护质量评判的重要依据。为此, 在施工巷道布置了测区, 对锚杆支护巷道的表面位移量, 顶板离层情况进行了监测。

1) 巷道表面位移监测。巷道表面位移采用十字布点法观测。沿巷道设计走向方向每隔30~50 m布置1个测点, 当围岩条件较好时, 可每隔50~100 m布置1个测点。巷道表面位移曲线如图3a和图3b所示。从目前的监测数据看, 巷道顶底板的最大移近量69 mm, 两帮的最大位移量55 mm, 7 d后基本处于稳定状态。这说明该巷道预应力锚杆的支护效果较好, 能够控制巷道的表面变形。

度, 大幅提高了巷道掘进速度, 缩短了准备工期, 支护材料使用量下降了10%, 巷道维护费用降低了21%, 有力地缓解了采掘接替紧张的局面。

## 参考文献:

- [1] 吴汉庭. 锚杆锚索技术在大同矿区的推广应用 [J]. 煤矿开采, 2004, 10 (2): 31~33.
- [2] 田瑞云, 姚社军. 锚杆与锚索联合支护复合顶板 [J]. 煤炭科学技术, 2004, 32 (1): 70~72.
- [3] 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.
- [4] 康红普. 煤巷锚杆支护成套技术研究与实践 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (21): 3596~3964.
- [5] 陈炎光, 钱鸣高. 中国煤矿采场围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.

**作者简介:** 郝峻青(1963—), 男, 山西清徐人, 高级工程师, 从事煤矿开采技术与管理工作。Tel: 0351-7020129, E-mail: hbhqg2009@163.com