

# 高预应力锚网索分段支护技术在回采巷道中的应用

白世民<sup>1</sup>,杜才溢<sup>2</sup>,张玉江<sup>2,3,4</sup>

(1. 延安市禾草沟一号煤矿有限公司, 陕西 延安 717300; 2. 太原理工大学 矿业工程学院, 太原 030024;  
3. 山东能源临沂矿业集团有限责任公司, 山东 临沂 276017; 4. 山东能源集团 博士后科研工作站, 济南 250014)

**摘要:**分析了5#煤层工作面回采巷道变形破坏的主要表现及引起巷道变形破坏的主要原因,提出了采用高预应力分段锚网索的支护方案,对地质构造等特殊地带进行特殊补强支护,并在15207工作面回风顺槽进行了实践。结果表明:采用新的支护方案后,巷道两帮变形量累计75 mm,顶板下沉量累计25 mm,工作面回风顺槽离层总量约12 mm。实践证明,该支护方式在控制15207工作面回风顺槽顶板离层和巷道围岩变形破坏方面均取得了较好的效果,提高了巷道稳定性,也为类似条件下的巷道支护提供了借鉴。

**关键词:**预应力;锚网索;回采巷道;变形破坏

中图分类号:TD441

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application of Segmented Support Technology with High Prestress Bolt-Mesh-Cable in Mining Roadway

BAI Shimin<sup>1</sup>, DU Caiyi<sup>2</sup>, ZHANG Yujiang<sup>2,3,4</sup>

(1. Hecaogou No. 1 Coal Mine Co., Ltd., Yan'an 717300, China;  
2. College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;  
3. Linyi Shandong Energy Mining (Group) Co., Ltd., Linyi 276017, China;  
4. Post-doctoral Research Station, Shandong Energy (Group) Co., Ltd., Ji'nan 250014, China)

**Abstract:** This paper analyzes the major deformation and failure in working face of No. 5 coal seam as well as their causes, and puts forward a supporting scheme with high prestressed segmented bolt-mesh-cable. The study carried out reinforcement support for the special zones of geological structures in the gateway of return airway along 15207 working face. The results show that, after the new support method was adopted, the cumulative deformation of the two sides of the roadway was 75 mm, the roof subsidence was 25 mm, and the total separation of the gateway of return airway was about 12 mm. The application proved that this support method has achieved better effects in controlling the separation of the gateway of the return airway and the deformation and failure of the surrounding rock, and has improved the roadway stability, which could provide a reference for the roadway support under similar conditions.

**Key words:** prestress; mining roadway; bolt-mesh-cable; deformation and failure

收稿日期:2020-03-30

基金项目:山西省应用基础研究项目(201801D221342);山西省高等学校科技创新项目(2019L0181)

作者简介:白世民(1974—),男,四川南充人,本科,工程师,从事矿山岩层控制方面的研究和技术管理工作, E-mail: 3515854048@qq.com

我国煤炭储采比相对较低,给煤炭资源的可持续发展带来严重挑战<sup>[1]</sup>。井下围岩环境复杂多变,如何维持回采巷道稳定是确保工作面安全生产,实现煤炭资源可持续发展的影响因素之一<sup>[2]</sup>。锚网索支护作为主动支护的一种,可对巷道围岩进行及时、有效支护,能实现对巷道围岩变形的有效控制<sup>[3-6]</sup>。康红普等<sup>[7-10]</sup>总结了多年来我国煤矿巷道支护技术所取得的研究成果,指出以往很多矿井仅限于普通锚网索支护研究和实践,对预紧力锚网索支护认识不足,在井巷支护中多采用普通锚杆和锚索进行支护,在设计和施工过程中对预应力未加以要求,锚杆和锚索预应力普遍较低,锚网索支护体系不能给予巷道围岩体充分的支护作用,不利于调节和提高巷道围岩的自身强度和稳定性;金银财等<sup>[11]</sup>针对某矿高瓦斯煤层巷道围岩变形大、破坏范围广、易发生瓦斯突出等问题,提出高预应力强力支护系统,有效控制了巷道围岩变形;张力生等<sup>[12]</sup>基于对浅埋高应力巷道变形原因分析,提出采用高预应力锚杆支护技术对枣泉矿 11201 回风巷进行支护,现场监测结果表明,采用该支护技术后,巷道围岩变形降低 80%,有效地控制了围岩变形。上述研究为采用高预应力锚杆支护技术进行围岩变形控制提供了理论依据。基于此,本文结合禾草沟一矿围岩特性、地应力等实际因素,决定在 15207 工作面回采巷道实施高预应力锚网索支护技术,以达到控制顶板离层、控制围岩变形破坏和提高巷道稳定性的目的。

## 1 工程概况

禾草沟一矿位于子长矿区西南部,矿井构造为由东向西倾伏的单斜构造,伴有波状起伏,倾角  $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ,无岩浆活动迹象,井田南部有一条东西走向的断层,断距较小,井田构造属简单型。禾草沟一矿现主采 5# 煤层,平均埋深 130 m,煤层厚度 0.51~2.67 m,平均厚度 1.9 m。煤层含 1~3 层夹矸,夹矸为粉砂岩或泥质粉砂岩。5# 煤层顶底板综合柱状图如图 1 所示。

层位	柱状图	岩性	厚度/m
5#煤顶板		细砂岩	4.7
		粉砂质泥岩	0.7
		泥质粉砂岩	1.6
		粉砂岩	1.2
		油页岩	0.9
		铝质泥岩	2.2
		油页岩和泥岩	0.9
5#煤		煤	1.9
5#煤底板		泥质粉砂岩	0.7
		粉砂质泥岩	2.9

图 1 煤层层综合柱状图

Fig. 1 Comprehensive histogram of coal strata

目前,15209 工作面正在回采,相邻 15207 工作面需要准备,两工作面区段煤柱留设净宽度为 20 m。15207 工作面采用走向长壁后退式全部垮落的综合机械化采煤方法,采用跟顶跟底开采。15207 工作面由回风顺槽、运输顺槽及切眼构成,回风顺槽分段情况如图 2 所示,工作面两顺槽巷及切眼均采用矩形断面,断面尺寸为  $4.2\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ 。

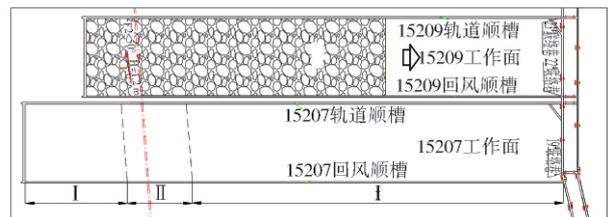


图 2 回采顺槽分段情况

Fig. 2 Segmented condition of mining gateway

## 2 原支护条件下巷道变形破坏分析

### 2.1 原有支护方案

5# 煤层的 15209 和 15211 工作面已经掘进完毕,顺槽断面为  $4.2\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ ,采用锚网索支护。15209 回风巷顶板及两帮支护参数如表 1 所示。

表 1 15209 回风顺槽顶板及两帮支护参数

Table 1 Supporting parameters of roof and two sides of gateway of return airway in 15209 working face

15209 回风巷	支护材料	规格/mm	材质	间排距/mm	备注	
顶板	普强锚杆	$\Phi 20\times 2\ 200$	左旋无纵筋螺纹钢	$800\times 900$	每孔用 CK2360 树脂锚固剂一支	
	锚索	$\Phi 17.8\times 7\ 300$	预应力钢绞线	$1\ 800\times 2\ 700$	“五花”布置,每孔用 CK2360 树脂锚固剂二支	
	托盘	锚杆	$120\times 120\times 10$	Q235 钢	$800\times 900$	
		锚索	$300\times 300\times 10$		$1\ 800\times 2\ 700$	

表 1(续)

15209 回风巷	支护材料	规格/mm		材质	间排距/mm	备注
顶板	钢筋网	网孔:100×100 网片:2 300×1 000		Φ5.5 mm 钢筋		
		钢带	锚杆	4 000×80		
	锚索		2 200×100	Φ18 mm 钢筋		
左帮	锚杆	Φ20×2 000		玻璃钢	1 000×1 600, 局部:1 000×1 000	每孔用 CK2360 树脂锚固剂一支,挂矿用塑料网
右帮	锚杆	Φ16×1 900		螺纹钢		
左帮和右帮	木托盘	200×400×60		木质	1 100×1 600	

此外,若遇地质变化或现有支护形式不能满足需要时,可及时采取其他有效形式加强支护,并根据现场实际情况另行编制加强支护措施。锚杆锚固力不低于 80 kN,顶锚杆初始预紧力矩不低于 150 N·m,二次紧固后预紧力距不低于 260 N·m。帮锚杆预紧力为 40 kN,并按要求进行二次紧固,每根锚杆外露长度 10~50 mm,每根锚索外露长度 150~250 mm,锚索预紧力矩不低于 130 N·m。锚固力不小于 220 kN,锚索张拉为 25~28 MPa,不得低于 25 MPa。

## 2.2 巷道矿压显现分析

对 15209 运输顺槽现场调研发现,采用原支护时,该巷道 1 125 m 附近沿空侧巷帮上部鼓出约 300 mm,部分帮锚杆托盘被螺母压穿,顶锚杆托盘切入顶板。在 970~840 m 处,由于受断层影响,实体煤侧巷帮沿夹矸交界面鼓出,且有碎块掉落,破碎高度约 1 m,深度约 300 mm。该处玻璃钢锚杆锚固范围为钻孔 300~500 mm 范围内,由此可见锚杆无法起到预期的支护作用。另外,该段巷道还存在底臃和顶板下沉,底臃量约 300 mm。对两帮采取一定补强支护后,矿压显现剧烈程度至 780 m 处明显减小。15209 工作面运输顺槽在邻近工作面巷道掘进、工作面采动以及超前支承压力的影响下,巷道围岩处于塑性状态,15209 工作面超前支承压力的影响对其变形影响更敏感,因此需尽量减少巷道受采动影响的次数。

## 2.3 巷道变形破坏机理分析

基于对 15209 运输顺槽围岩变形的现场调研结果,对 15207 运输顺槽的围岩变形破坏机理进行分析。15207 运输顺槽顶板岩层为油页岩、泥岩和铝质泥岩;底板岩层为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,均为软弱岩层,整体性较差,承载能力较弱。受邻近工作面采动影响和本工作面回采及超前支撑压力影响,巷道围岩极易发生较大变形,巷道维护困难。

此外,由图 2 可知,15207 工作面需穿越  $F_2$  断层,在  $F_2$  断层影响区域(区域 II)内,巷道围岩较为破碎,整体性更差,承载能力更弱。在区域 II 内

15207 运输顺槽围岩更易发生较大变形,产生底臃、片帮和冒顶等工程问题,甚至会造成煤岩突出。因此,对区域 II 内 15207 运输顺槽需采取加强支护,以确保巷道围岩稳定,为工作面安全回采提供保障。

## 3 巷道支护方案优化

### 3.1 区域 I 支护方案

由于区域 I 内 15209 运输顺槽围岩变形较大,因此基于 15207 运输顺槽顶底板围岩条件,对区域 I 内的 15207 运输顺槽支护方案进行优化,优化后的具体支护参数如下。

#### 3.1.1 锚杆支护系统

巷道顶板采用  $\Phi 20$  mm×2 200 mm 的 Q335 预应力锚杆,锚杆间排距为 800 mm×1 000 mm。非小煤柱沿空掘巷段实体帮采用  $\Phi 16$  mm×1 800 mm 的矿用螺纹钢锚杆,小煤柱沿空掘巷段的实体帮则采用  $\Phi 18$  mm×1 800 mm 的矿用螺纹钢锚杆;工作面侧帮采用  $\Phi 20$  mm×1 800 mm 的玻璃钢锚杆;帮锚杆 3-2-3 布置,间距 1000 mm。配合使用 K2360 树脂锚固剂。锚杆间排距误差控制在  $\pm 50$  mm 以内。同时,配合使用金属网/塑料网+钢筋梯护表,其中顶板采用  $\Phi 10$  mm 钢筋梯+ $\Phi 5.5$  mm 钢筋网,间隔一排布置;两帮为塑料网,实体侧帮可在锚杆托盘下放置废旧皮带做成的垫防止切断网片。

#### 3.1.2 锚索支护系统

采用  $\Phi 17.8$  mm×7 300 mm 的预应力钢绞线锚索,锚索采用“五花”隔排布置,间距 1 800 mm,布置在两排锚杆间。每孔用 1 卷 CK2360 和 1 卷 K2360 树脂锚固剂。锚索托盘采用 300 mm×300 mm×12 mm 的碟型普强托盘。区域 I 巷道支护断面图如图 3 所示。

### 3.2 区域 II 支护方案

相对于区域 I 而言,区域 II 内的 15207 运输顺槽因受  $F_2$  断层影响,巷道围岩整体性更差、承载能力更低,因此需采取加强支护,优化后的具体支护参数如下。

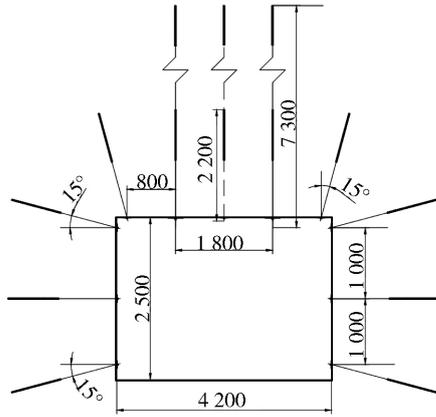


图3 区域Ⅰ巷道支护断面图(mm)

Fig. 3 Cross-sectional diagram of roadway support in region I

### 3.2.1 锚杆支护系统

顶板采用 $\Phi 20\text{ mm} \times 2\ 400\text{ mm}$ 的Q335预应力锚杆,锚杆间排距为 $800\text{ mm} \times 900\text{ mm}$ 。非小煤柱沿空掘巷段的实体帮采用 $\Phi 16\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$ 的矿用螺纹钢锚杆,小煤柱沿空掘巷段的实体帮则采用 $\Phi 18\text{ mm} \times 1800\text{ mm}$ 的矿用螺纹钢锚杆;工作面侧帮采用 $\Phi 20\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$ 的玻璃钢锚杆,帮锚杆3-2-3布置,间距 $1\ 000\text{ mm}$ 。每孔用1卷K2360树脂锚固剂。为确保锚固效果,锚杆间排距误差控制在 $\pm 50\text{ mm}$ 以内。同时,配合使用金属网/塑料网+钢筋梯护表,其中顶板采用 $\Phi 10\text{ mm}$ 钢筋梯+ $\Phi 5.5\text{ mm}$ 钢筋网,两帮为塑料网,实体侧帮可在锚杆托盘下放置废旧皮带做成的垫防止切断网片。

### 3.2.2 锚索支护系统

采用 $\Phi 17.8\text{ mm} \times 8\ 500\text{ mm}$ 的预应力钢绞线让压锚索,间距 $1\ 800\text{ mm}$ ,采用“2-2-2”隔排布置,布置在两排锚杆间,每孔采用1卷CK2360和1卷K2360的树脂锚固剂。托盘采用 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 的碟型普强托盘。采用让压管让压,让压距离为 $45\text{ mm}$ ,让压点为 $150\text{ kN}$ 左右。区域Ⅱ巷道支护断面图如图4所示。

### 3.2.3 预应力设计

锚杆预应力一般设计为杆体屈服强度的 $30\% \sim 50\%$ 。本方案中,顶板锚杆的预应力在 $40 \sim 60\text{ kN}$ ,玻璃钢锚杆按照 $40 \sim 45\text{ N} \cdot \text{m}$ 施加,采空区侧帮如采用 $\Phi 18\text{ mm}$ 螺纹钢锚杆,预应力 $30 \sim 40\text{ kN}$ ,采空区侧帮如采用 $\Phi 16\text{ mm}$ 螺纹钢锚杆,预应力 $25 \sim 33\text{ kN}$ ,锚索的预应力大于 $130\text{ kN}$ 。

### 3.3 支护效果分析

为了解15207工作面回风顺槽在高预应力锚网索支护及局部地段配合补强支护条件下的支护效果,在15207回风顺槽布置了十字观测点,普通地段

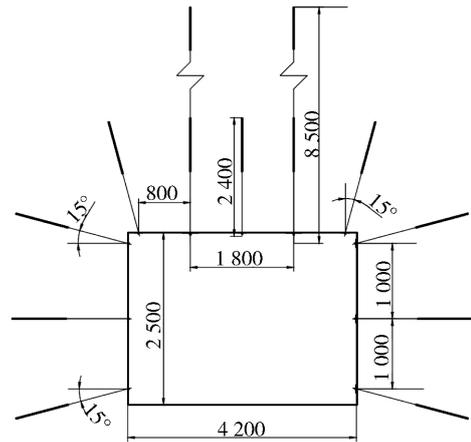


图4 区域Ⅱ巷道支护断面图(mm)

Fig. 4 Cross-sectional diagram of roadway support in region II

巷道围岩变形情况如图5所示。

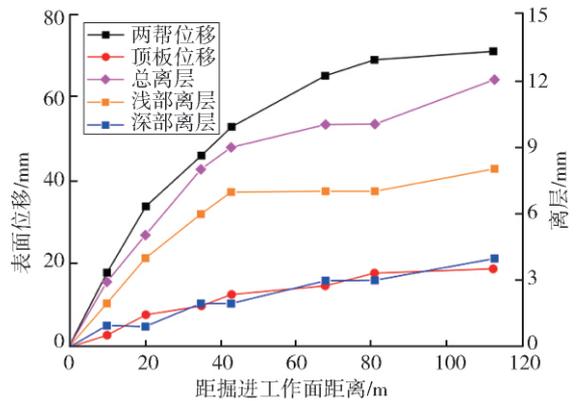


图5 围岩表面位移变化与顶板离层位移变化

Fig. 5 Variation of surrounding rock surface displacement and roof separation displacement

由图5可知,随着距掘进工作面距离的增加,巷道围岩位移量逐渐增加,巷道两帮累计变形量为 $75\text{ mm}$ ,顶板下沉量累计为 $25\text{ mm}$ ,分别为设计断面的 $5\%$ 和 $4\%$ ,相比于原支护条件下巷道收敛变形量明显降低。

为了进一步掌握高预应力支护对顶板离层的控制,对顶板岩层变化进行窥视,其结果如图5所示。由图5和现场观测可知,15207工作面回风顺槽离层总量约为 $12\text{ mm}$ ,其中深度小于 $3\text{ m}$ 的浅部离层约为 $7.4\text{ mm}$ ,深度超过 $3\text{ m}$ 的深部离层约为 $4\text{ mm}$ ,浅部离层量约占总离层量的 $65\%$ ,说明相比原支护顶板离层得到了明显的控制。

对地质构造、淋水区等特殊地带进行现场观测可知,该特殊区域未见支护体系失效现象,未出现明显的顶板下沉、帮臃和底臃,且“网兜”现象也得到了明显的控制。由此认为,通过对支护方案进行优化,采用高预应力锚网索支护体系并配合局部地段补强支护的支护方式,可有效地控制15207工作面回风

顺槽围岩收敛变形和破坏,支护效果较原支护明显提升,达到了预期的巷道围岩控制目标。

## 4 结论

1)通过现场调研禾草沟一矿5#煤层顶底板围岩赋存特征,分析了原支护方案下巷道变形破坏的影响因素。

2)对15207工作面回风顺槽的支护进行优化,提出了采用高预应力分段锚网索的支护方案。高预

应力锚网索支护相比于普通锚网索支护,具有更大的支护刚度和强度,能够给巷道围岩及时有效的高强度支护,促使巷道围岩发挥其自身承载能力,可有效抑制巷道在开挖初期的弯曲和拉伸变形,确保巷道围岩的稳定性和整体性。

3)实践表明,采用高预应力锚网索支护,同时配合补强支护措施可有效地控制巷道的收敛变形量,确保巷道成型尺寸,该巷道自施工完毕至工作面回采结束,整体状况较好,达到了预期的支护效果。

### 参考文献:

- [1] 冯国瑞,张玉江,戚庭野,等.中国遗煤开采现状及研究进展[J].煤炭学报,2020,45(1):151-159.  
FENG Guorui,ZHANG Yujang,QI Tingye,et al. Status and research progress for residual coal mining in China[J]. Journal of China Coal Society,2020,45(1):151-159.
- [2] 张玉江,邱守强,王金刚,等.高应力软岩硐室加固技术及应用[J].煤炭工程,2013,5(6):73-75,79.
- [3] 司红勇.高预应力锚索锚杆联合支护技术在东峰煤矿的应用[J].煤炭与化工,2018,41(2):56-58,61.  
SI Hongyong. Application of high prestressed anchor bolt joint support technology in Dongfeng Mine[J]. Coal and Chemical Industry,2018,41(2):56-58,61.
- [4] 翟旭宏.高预应力支护在大断面切巷的应用分析[J].机械管理开发,2018,33(8):139-140.  
ZHAI Xuhong. Application and analysis of high pre-stressed support in cutting roadway with large section[J]. Mechanical Management and Development,2018,33(8):139-140.
- [5] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.  
KANG Hongpu,WANG Jinhua,LIN Jian. Study and applications of roadway support techniques for coal mines[J]. Journal of China Coal Society,2010,35(11):1809-1814.
- [6] 王吉峰.浅埋煤层大断面巷道支护技术优化[J].煤,2020,29(1):39-41.  
WANG Jifeng. Optimization of support technology for large cross-section roadway in shallow seam[J]. Coal,2020,29(1):39-41.
- [7] 康红普.我国煤矿巷道锚杆支护技术发展60年及展望[J].中国矿业大学学报,2016,45(6):1071-1081.  
KANG Hongpu. Sixty years development and prospects of rock bolting technology for underground coal mine roadways in China[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2016,45(6):1071-1081.
- [8] 刘晓恒,王锴,江帅等.煤矿掘进巷道锚杆支护方式的应用与分析[J].煤矿机电,2013(12):71-73.  
LIU Xiaoheng,WANG Kai,JIANG Shuai,et al. Application and analyse of bolting support ways for mine excavation drift[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology,2013(2):71-73.
- [9] 曹国栋.煤矿掘进巷道锚杆支护方式的应用与分析[J].当代化工研究,2019(12):50-51.  
CAO Guodong. Application and analysis of bolt support in coal mine tunneling roadway[J]. Modern Chemical Research,2019(12):50-51.
- [10] 张楠.煤矿掘进巷道锚杆支护方式的应用与技术分析[J].山西化工,2019,39(3):172-174.  
ZHANG Nan. Application and technical analysis of bolt support in driving roadway of coal mine[J]. Shanxi Chemical Industry,2019,39(3):172-174.
- [11] 金银财,王子越.高预应力强力支护系统在高瓦斯煤层巷道中的应用[J].煤炭技术,2019,38(2):97-99.  
JIN Yincui,WANG Ziyue. Application of high strength pretensioned stress and intensive bolting system in high gassy coal roadways[J]. Coal Technology,2019,38(2):97-99.
- [12] 张力生,汪占领,陈治中,等.浅埋深高应力煤巷锚杆支护技术研究[J].煤矿开采,2011,16(2):63-65.  
ZHANG Lisheng,WANG Zhanling,CHEN Zhizhong,et al. Technology of anchored-bolt supporting shallow-buried coal roadway with high stress[J]. Coal Mining Technology,2011,16(2):63-65.

(编辑:樊敏)