

# 深井沿空留巷大变形锚注一体控制技术

于宪阳,王卫军\*,张自政,张佳华

(湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室,湖南 湘潭 411201;  
湖南科技大学 煤炭安全开采技术湖南省重点实验室,湖南 湘潭 411201)

**摘要:**在深部强采动应力环境下,沿空留巷变形量大、来压强烈、流变时间长。锚注一体控制技术可以将高预紧力锚索支护与注浆加固有机结合,有效控制围岩塑性区发展,提高围岩强度并修复受损锚固结构。在工作面前后采动影响剧烈区内,围岩内部裂隙发育,承载能力开始降低但锚固支护结构未发生大范围破坏,是注浆加固的最佳时机。在深井沿空留巷中采用锚注一体支护技术可以有效控制围岩变形,实现围岩长期稳定。

**关键词:**深井;沿空留巷;锚注一体;注浆锚索

**中图分类号:**TD353+.6      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2017)03-0022-05

## The Bolting and Grouting Combination Support Technique for Gob-Side Entry Retaining in Deep Mine

Yu Xianyang, Wang Weijun, Zhang Zizheng, Zhang Jiahua

(Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disasters for Southern Coal Mines,  
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** Influenced by high mining induced stress, surrounding rock has much deformation, and severe strata pressure long time creeping in gob-side entry retaining. The bolting and grouting combination support can control plastic zone expanding efficiently, improve rock strength and repair broken bolting system. In mining-influenced severe stage, the fissures expansion degree before and behind the face is increased acutely, the surrounding rock carrying capacity is decreasing, and bolting system is not much damaged. That also means the mining-influenced severe stage is suitable for grouting opportunity. Adopting the bolting and grouting combination support technique for gob-side entry retaining in deep mine can control the surrounding rock deformation effectively and achieve the long-term stability.

**Keywords:** deep mine; gob-side entry retaining; bolting and grouting combination; hollow grouting anchor cables

沿空留巷对增加煤炭资源回收率、优化采掘比、降低冲击低压发生概率具有重要作用,是实现无煤柱卸压连续开采的重要依托,技术优势和经济效益显著<sup>[1]</sup>。近年来,随着巷道围岩控制理论、矿井采掘机械设备、支护材料与技术的快速发展,深井、大采高、复杂围岩等多种条件下的沿空留巷都得以成功实施<sup>[2-6]</sup>。在深部强采动应力环境下,工作面后方被保留下来的巷道断面空间维护方面仍面临严峻挑战<sup>[7,8]</sup>。保留巷道上的老顶围岩将经历长期的旋转下沉过程,使得留巷围岩长期处于采动应力影响之下。在此过程中,

收稿日期:2017-02-28

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51434006)

\*通信作者,E-mail:wjwang@hnust.edu.cn

巷道围岩内的原生及再生结构面将逐步扩展,围岩呈现出松散破碎、来压时剧烈、变形量大、长时流变的特点<sup>[9]</sup>。本文以潘一东矿 1252(1)工作面沿空留巷为工程背景,研究深井沿空留巷大变形锚注一体控制技术。回采前采用锚注一体主动控制技术,修复受损的锚固结构,将破碎围岩重新胶结成一个承载整体,重构巷道围岩承载结构。实践表明,针对深井沿空留巷采用锚注一体控制技术可以取得较好效果。

## 1 工程概况

1252(1)工作面倾向长度 264 m,走向长度 1 730 m,平均埋深超过 800 m。回采煤层 11-2 煤平均厚度 2.3 m。工作面轨道顺槽沿空留巷,属于典型的深井沿空留巷工程。工作面为复合直接顶,赋存不稳定,厚度 0.0~8.4 m,一般由不同层厚的泥岩、砂质泥岩、11-3 煤构成。工作面基本顶为层厚 0.0~11.0 m 的中细砂岩。工作面岩层典型赋存情况见图 1。工作面煤岩层产状为  $160^{\circ}\sim 195^{\circ}$ ,  $\angle 3^{\circ}\sim 9^{\circ}$ 。根据现有资料分析,该工作面断层不发育,水文地质条件简单,主要充水水源为煤层顶板砂岩裂隙水。

综合柱状	岩性	厚度/m	岩性描述
	粉细砂岩	0~8.0 4.0	浅灰色,细粒结构为主,岩石较坚硬
	炭质泥岩	0~0.5 0.3	灰黑色,泥质结构
	砂质泥岩	0~5.1 3.3	灰色,砂泥质结构
	炭质泥岩	0~0.2 0.1	灰黑色,泥质结构
	中细砂岩	0~11.0 4.0	浅灰色~灰白色,细粒结构为主
	砂质泥岩	0~8.4 2.5	灰色,砂泥质结构
	11-2煤	1.7~3.4 2.7	黑色,以块状暗煤为主
	砂质泥岩	1.2~10.4 5.9	灰色,砂泥质结构,岩石性脆
	炭质泥岩	0~0.5 0.3	灰黑色,炭泥质结构

图 1 工作面岩层典型综合柱状图

巷道掘进断面宽×高为 5 000 mm×3 400 mm,巷道顶板采用锚网索联合支护。锚杆型号为  $\Phi 22$  mm×2 500 mm,间排距为 900 mm×800 mm,每孔 2 卷 Z2360 树脂锚固剂,设计锚杆预紧力矩为 200 N·m,锚固力 120 kN。高强预应力锚杆配合 M5 型钢带及 10# 菱形金属网联合支护,钢带长度 4 800 mm。薄层直接顶段锚索“3-3”形式布置,基本顶直覆段“3-0-3-0”形式布置。锚索规格为  $\Phi 22$  mm×7 300 mm,每孔 3 卷 Z2380 树脂锚固剂,设计锚索预紧力 80~100 kN。顶板锚索梁采用 14# 槽钢,长度 2 600 mm。巷道帮部采用锚网联合支护。锚杆型号为  $\Phi 22$  mm×2 500 mm,间排距为 750 mm×800 mm,每孔 1 卷 Z2380 树脂锚固剂,设计锚杆预紧力矩为 200 N·m,锚固力 120 kN。高强预应力锚杆配合 M5 型钢带及 10# 菱形金属网联合支护。

## 2 留巷大变形锚注一体控制技术机理

### 2.1 沿空留巷围岩变形特征

根据沿空留巷围岩变形速度变化趋势,可以将巷道划分为采动影响剧烈段、采动影响缓和段及采动影响趋稳段,在不同工作面地质条件下每段长度会有所不同。工作面前后采动影响剧烈段内伴随着直接顶破碎、逐步冒落,老顶断裂、旋转下沉。在上覆岩层稳定结构破坏并剧烈运动过程中,巷道围岩内支承应力重新分布并急剧变化。采用 U 型钢等被动支护的巷道围岩将会由于剧烈变形而失去承载能力。相对地,采用锚杆系统主动支护的巷道围岩虽然也产生较大变形,然而围岩-锚杆承载体系可以保留大部分的支承能力,为锚注、注浆等二次补充加强支护提供基础条件。随着老顶岩层逐步旋转触矸,采动影响缓和段内老顶形成稳定的砌体梁铰接结构。这一阶段内虽然巷道围岩支承应力逐步降低,但如不采取有效的围岩修复手段,围岩-锚固支护结构将继续损伤弱化,并使得围岩塑性区向深部扩展,伴随着巷道变形量的不断增加。随着冒落矸石被压实,采动影响趋稳段内老顶活动基本稳定,深井沿空留巷条件下加固不合理的巷道变形呈现出软岩流变的特征。在上方围岩从剧烈运动到逐步趋于稳定的长期过程中,采动应力作用下的巷道围岩裂隙逐步扩展,呈现出松散破碎,长时变形的特性,必须采用及时合理加固技术。

### 2.2 锚注一体控制技术原理

锚索梁支护技术对控制回采巷道变形具有较好的效果。然而,普通预应力锚索在采动巷道变形过程

中,存在普遍的退锚、抽丝、剪断、托盘破坏等失效现象.中空注浆锚索内含注浆管,采用高强度螺旋肋预应力钢丝制作,相比同直径普通锚索,锚固强度提高15%以上,并且延伸性增加5%以上.树脂药卷端锚预紧后注浆,浆液可以通过注浆管的出浆孔注入破碎煤层,实现锚固加固和注浆固结一体化,中空注浆锚杆结构形式见图2.

中空注浆锚索高预紧力的主动锚固支护方式与注浆固结破碎围岩支护方式有机结合,同步实现了全长锚固及高预应力锚固,提高围岩整体强度,优化支护结构受力形式,抑制围压破坏范围的不断扩展.中空注浆锚索的作用机理包含以下2个方面:(1)锚固作用.注浆后的锚索由端锚变为全长锚固,将锚索与围岩更有效地黏结,大幅强化锚索锚固效果.动压巷道锚索退锚、拉断、抽丝等失效现象得到有效控制,同时也使得退锚锚索仍能发挥部分支护效能,有效增加支护结构整体性及稳定性.中空注浆锚索可以提高杆体承载性能,其承载能力是普通锚索的3~8倍.(2)注浆固结作用.中空注浆锚索一般采用水泥浆液或化学浆液,浆液充填并胶结围岩内的裂隙,全面提高围岩的弹模、粘聚力、摩擦角等力学参数,裂隙端部的应力集中现象被减轻,围岩整体承载能力得以提高,受损的锚固结构得以修复.在注浆加固提高破裂煤岩力学性能的基础上,锚杆锚索协同控制围岩变形,锚杆优化浅部围岩抗剪强度,锚索吊顶深部围岩的承载能力.沿空留巷围岩在初始锚固支护及补充锚注一体加强支护作用下稳定性得到提高,可以在采动应力作用下保持稳定,防止塑形区恶性扩展.

在沿空留巷煤帮中施工中注浆锚索需要选择合理注浆时机.巷道掘进初期围岩较为完整,内部没有形成有效的渗流路径,此时注浆一般注浆量很少,加固效果差.如果注浆过晚,巷道帮部塑性区恶性扩展现象已经产生,锚固支护结构遭到破坏,巷道已经产生大变形破坏.在工作面前后采动影响剧烈区内,围岩进入破碎或塑性状态,内部裂隙发育,承载能力有所降低但围岩-锚固支护结构并未发生普遍破坏.在此时注浆可以迅速而及时提供锚固结构与围岩的粘结力,有效修复受损原有支护结构,将其胶结为承载整体.

### 3 工业性试验

#### 3.1 留巷支护参数

在掘进动压及围岩风化破碎影响下,回采前部分巷道支护出现失效情况,如帮部凸起,顶板兜漏等.为保证巷道在强烈采动影响下的稳定性,回采前对巷道进行补强加固.分别在顶板和帮部补打注浆锚索,通过锚固一体的方式固结破碎围岩.

将薄层直接顶段巷道掘进支护期间的“3-3”锚索布置加强为“5-5”形式,将基本顶直覆段巷道掘进支护期间的“3-0-3-0”加强为“6-6”形式.顶板中空注浆锚索规格为 $\Phi 22\text{ mm} \times 7\ 300\text{ mm}$ ,2卷Z2360树脂锚固剂,设计锚索预紧力80~100 kN.为保证锚索预紧力均匀地分布到围岩表面,采用 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ 高强度大托盘.锚索施工完成后及时注浆.

实体煤帮主要采用“3-3”走向锚索梁加固,如图3所示.煤帮中空注浆锚索规格为 $\Phi 22\text{ mm} \times 6\ 300\text{ mm}$ ,2卷Z2360树脂锚固剂,设计锚索预紧力80~100 kN.为保证锚索预紧力均匀地分布到围岩表面,采用 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ 高强度



图2 中空注浆锚索杆体及锚具

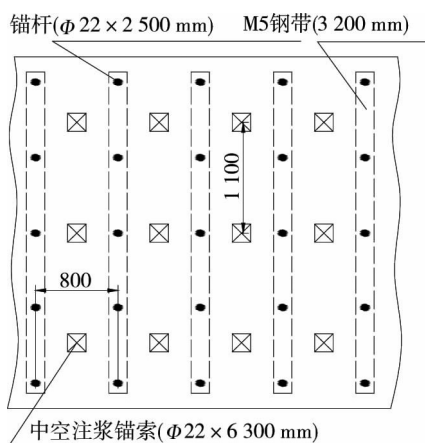


图3 采前实体帮加固方案及参数

大托盘或长 3.2 m 的 M5 型钢带作为锚索梁。锚索施工完成后在沿空留巷滞后段注浆。

巷道采用半原位沿空留巷,留巷宽度 4.2 m,充填墙体宽度为 3.0 m,高度为实际采高。充填材料为膏体混凝土,主要成分为硅酸盐、砂子、粉煤灰、水及添加剂等,膏体最终强度大于 15 MPa。为了保证留巷滞后段墙体上方顶板稳定性,在工作面前方采用撕帮处理。撕帮宽度 3.0 m,每排采用 4 根高强锚杆,锚杆型号为  $\Phi 22 \text{ mm} \times 2\ 500 \text{ mm}$ ,间排距为  $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ ,同时每排采用 1 根  $\Phi 22 \text{ mm} \times 7\ 300 \text{ mm}$  单体锚索,配合采用  $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$  高强度大托盘使用。

根据工作面矿压规律观测结果,工作面后方 150 m 时开始对帮部中空锚索进行注浆。为保证注浆效果先采用 C20 混凝土对帮部进行喷浆,喷层厚度 70~100 mm。浆液配比为水泥:黄沙:石子=1:2:2,水泥为 PO425 水泥,喷浆水灰比为 0.8~1.0,为提高喷层性能添加相当于水泥重量 2.5%~4.0% 的速凝剂。注浆浆液选用 PO425 水泥,水灰比 1:2。浆液中添加 ACZ-I 添加剂具有减水、增塑、增强、微膨胀效果。注浆顺序从上到下,注浆终孔压力为 6~8 MPa,稳压 3~5 min。

### 3.2 加固效果

在工作面前后安设监测站,监测巷道表面位移情况,尤其是注浆后围岩变形的控制情况,监测结果如图 4 所示。2 类顶板条件下巷道表面变形曲线相似。薄层直接顶条件帮部变形量约为 592 mm,其中实体煤帮变形量均占比约 90%。薄层直接顶条件下,巷道底鼓量为 928 mm,占顶底移近量的 79%。在滞后工作面 150 m 位置围岩变形速度表现出陡降趋势,这说明中空注浆锚索加固效果显著。在此之后,围岩变形速度逐步降低,煤帮侧变形速度约为 3 mm/d,底鼓速度趋近于 3.5 mm/d,巷道围岩进入稳定状态。稳定后的留巷实照见图 5。

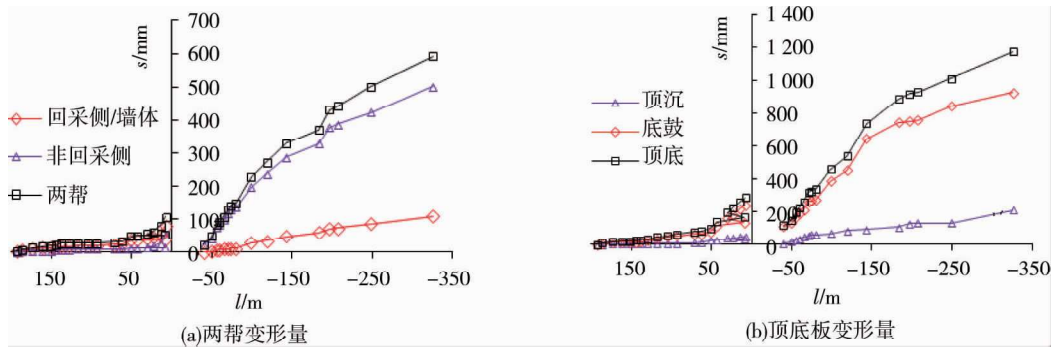


图 4 薄层直接顶巷道表面收敛曲线



图 5 1252(1)工作面沿空留巷实照

## 4 结论

1) 锚注一体支护技术将高预紧力锚索支护与注浆加固有机结合,同时实现高预应力和锚索全长锚固,有效控制围岩塑性区发展,提高围岩强度并修复受损锚固结构。

2)在工作面前后采动影响剧烈区内,围岩内部裂隙发育,承载能力开始降低但锚固支护结构未发生大范围破坏,是注浆加固的最佳时机.

3)在深井沿空留巷中采用锚注一体支护技术可以有效控制围岩变形,实现围岩长期稳定.

#### 参考文献:

- [1] 张农,韩昌良,阚甲广,等.沿空留巷围岩控制理论与实践[J].煤炭学报,2014,39(8):1635-1641.
- [2] 张农,陈红,陈瑶.千米深井高地压软岩巷道沿空留巷工程案例[J].煤炭学报,2015,40(3):494-501.
- [3] 巨峰,陈志维,张强,等.固体充填采煤沿空留巷围岩稳定性控制研究[J].采矿与安全工程学报,2015,32(6):936-942.
- [4] 孙晓明,刘鑫,梁广峰,等.薄煤层切顶卸压沿空留巷关键参数研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(7):1449-1456.
- [5] 康红普,牛多龙,张镇,等.深部沿空留巷围岩变形特征与支护技术[J].岩石力学与工程学报,2010,29(10):1977-1987.
- [6] 谭云亮,于凤海,宁建国,等.沿空巷旁支护适应性原理与支护方法[J].煤炭学报,2016,41(2):376-382.
- [7] 张农,张志义,吴海,等.深井沿空留巷扩刷修复技术及应用[J].岩石力学与工程学报,2014,33(3):468-474.
- [8] 孙晓明,刘鑫,梁广峰,等.薄煤层切顶卸压沿空留巷关键参数研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(7):1449-1456.
- [9] 姜鹏飞,张剑,胡滨.沿空留巷围岩受力变形特征及支护对策[J].采矿与安全工程学报,2016,33(1):56-62.