

# 断层破碎带岩巷分步联合支护技术

易厚<sup>1</sup>, 李青锋<sup>1</sup>, 郝海龙<sup>2</sup>, 王章文<sup>2</sup>

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 淮南矿业(集团)有限责任公司 顾桥矿, 安徽 淮南 232131)

**摘要:**以顾桥矿断层为例,探索断层破碎带岩巷分步联合支护技术.顾桥矿南翼胶带机大巷掘进过程中遇断层破碎带,高地应力环境引起软弱破碎围岩体加速蠕变,造成原支护方案失效.分析构造带附近巷道围岩控制的难点及其支护机制,对顾桥矿南翼胶带机大巷掘进过断层破碎带支护优化方案,提出采用分步联合支护设计理念,基于西原体流变模型,确定了合理二次支护时机;最终顺利通过了断层破碎带,并取得了理想的支护效果.针对构造带附近巷道支护,提高围岩的完整性对巷道围岩的控制至关重要,支护过程中的适度让压,可使各种支护手段在时间和空间上有效结合,最终充分发挥并提高围岩的自身承载能力.

**关键词:**深井岩巷;软岩;断层破碎带;分步联合支护

中图分类号:TD350.1

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2015)04-0001-04

## Fractional step and combined support technique of rock roadway in fault broken belt

YI Hou<sup>1</sup>, LI Qingfeng<sup>1</sup>, XI Hailong<sup>2</sup>, WANG Zhangwen<sup>2</sup>

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Guqiao Coal Mine, Huainan Mining Industry Group Limited Liability Company, Huainan 232131, China)

**Abstract:** With the fault broken belt at Guqiao Coal Mine as an example, this paper studies the fractional step and combined support technique of rock roadway. There are fault fracture zones in the sealing - tape machine main roadway of the south limb in Guqiao Mine, and high ground stress deduced the rapid creep of weak broken wall rock, giving rise to the failure of the original support scheme. This paper also analyzes the difficulties of controlling entry stability for structure belt and its support mechanism, and in accordance with the optimized scheme for the Guqiao Mine, the design idea for fractional step and combined support was proposed. Based on the west protomer rheological model, the rational secondary support opportunity is confirmed. It goes through the fault fracture zone with the width. Moreover, the ideal support effect is obtained. Regarding the roadway support around structural belt, it is vital to improve the integrity of the surrounding rocks for the control of roadway rocks, with the proper yield during the process of support. The variety of support method can be combined effectively in time and space, and ultimately the carrying capacity of the surrounding rocks could be fully developed and improved.

**Key words:** deep well rock roadway; soft rock roadway; fault broken belt; fractional step and combined support

深部巷道支护属于一种特殊的地下工程问题<sup>[1,2]</sup>,高地应力场常引发深部巷道围岩的严重变形破坏,使得常规支护手段难以维持巷道围岩的稳定,尤其是当巷道在软弱岩体中掘进遇到断层等地质构造时,应针对围岩特点对围岩进行支护<sup>[3,4]</sup>.在深井软岩支护系统中,任何一种单一支护体的特性曲线都不能满足

深部软岩巷道围岩的变形要求;因此,为解决深部软岩巷道的支护问题,必须采取综合治理、联合支护的方法<sup>[5,6]</sup>。

顾桥矿南翼胶带机大巷埋深 800 m,属深部巷道;围岩属遇水易软化弱膨胀性岩石。巷道掘进过程中遇多个断层破碎带,采用常规锚网索+U 型钢可伸缩支架支护后,围岩持续、快速变形,长时间很难稳定。本文以顾桥煤矿南翼胶带机大巷穿越断层地质异常带支护工程实践为背景,探讨了深井岩巷软弱破碎围岩的支护对策。

## 1 工程概况及巷道失稳分析

### 1.1 工程概况

南翼胶带机大巷为顾桥矿中央区与南区联接的主要运输大巷,巷道掘进过程中遇 6 个断层,最大断层落差 30 m,影响范围达 60 m;原支护设计采用常规锚网索+U 型钢可伸缩支架支护,巷道施工半年后,受断层破碎带的影响,出现喷浆表面开裂,巷道快速、持续变形,锚杆、锚索拉断,巷道底板底臃等现象,此时支护体已无法维持巷道的稳定。

### 1.2 巷道失稳分析

1)高地应力。南翼胶带机大巷,埋深为 800 m,属深井巷道,实测巷道附近最大水平主应力为 28.8 MPa,地应力水平已经达到了一般泥岩的抗压强度,这种地应力环境下,巷道开挖后巷道的表面岩体会很快遭到破坏。地应力是影响巷道围岩变形的重要因素之一。

2)水文地质条件。构造带附近围岩体松软脆弱,强度低,胶结差,多为砂质泥岩、泥岩,含伊利石为 10%,高岭石达 50%,属遇水易软化弱膨胀性岩石。岩体裂隙发育,常伴随裂隙水涌出现象。

3)原支护手段不合理。锚网索支护强度不够,仅在巷道顶部布置 3 组锚索梁,无法抵抗巷道帮部及肩窝处的围岩变形。同时,众学者针对高应力软岩支护系统的研究认为<sup>[5,7]</sup>,传统的一次成巷技术中各种支护体同时施工,由于各支护体支护特性存在差异,一次成巷技术无法保障充分发挥各单一支护所固有的性能。

顾桥矿南翼胶带机大巷掘进过程中遇断层破碎带时,巷道所处的位置地应力高,围岩完整性差,围岩为遇水易软化弱膨胀性岩石,且存在裂隙水,围岩体快速蠕变,引起巷道变形失稳,支护失效,其本质是支护体系的支护特性不能满足巷道围岩的变形要求。

## 2 分步联合支护技术理论分析

为了解决顾桥矿南翼胶带机大巷掘进过程中遇断层破碎带的支护难题,通过分析围岩的变形监测数据,基于西原体流变模型,对高应力水平下软弱围岩巷道围岩体的流变特性进行分析,用 lsqcurvefit 函数对实测巷道变形数据进行最小二乘拟合,得出了围岩的二次支护时机;引入分步联合支护技术,对南翼胶带机大巷进行支护,取得了良好的支护效果。

### 2.1 高应力围岩流变及支护时机

众多学者对岩石的流变性进行了研究<sup>[8,9]</sup>,按照的应变与时间的关系,将岩石蠕变过程划分为瞬时变形阶段、初始蠕变阶段、稳定蠕变阶段、加速蠕变阶段四个阶段,在深井岩巷中必须采取合理的支护手段避免围岩加速蠕变阶段的出现;将岩石流变研究成果应用于支护实践时<sup>[10,11]</sup>,提出了“适当让压”的理念,使围岩充分释放一部分变形能后选择合适的支护时机进行二次支护,以实现巷道围岩的长期稳定控制。

#### 2.1.1 流变模型分析

采用西原体流变模型,对高应力水平下软弱围岩巷道围岩体的流变特性进行分析<sup>[12]</sup>,对时间  $t$  进行 Laplace 逆变换,得到围岩流变位移的表达式(1):

$$u_r(t) = \frac{(\sigma_0 - \sigma_s)(1 + \mu)R_p^2}{r} \left[ \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left( 1 - e^{-\frac{E_2}{\eta} t} \right) + \frac{1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_0}}{\eta} t e^{A \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_s} - 1 \right) (t - t_0)} \right]. \quad (1)$$

塑性区半径  $R_p$ :

$$R_p = R_0 \left[ \frac{\sigma_0 + C \cot \varphi}{P_i + C \cot \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}}. \quad (2)$$

取  $t_0 = 0$  将(1)式简化为

$$u_r(t) = a(a_0 + a_1 e^{b_1 t} + a_2 t e^{b_2 t}). \quad (3)$$

式中,  $a = \frac{(\sigma_0 - \sigma_s)(1 + \mu)R_p^2}{r}$ ,  $a_0 = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}$ ;  $a_1 = -\frac{1}{E_2}$ ;  $a_2 = \frac{1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_0}}{\eta}$ ;  $b_1 = \frac{E_2}{\eta}$ ;  $b_2 = A(\frac{\sigma_0}{\sigma_s} - 1)$ ;

$E_1, E_2$ : 胡克体和开尔文体的弹性系数;  $\eta$ : 黏滞系数;  $\sigma_s$ : 发生加速流变时的临界应力水平;  $R_p$ : 塑性区半径;  $P_i$ : 支护抗力;  $\sigma_0$ : 原岩应力;  $t_0$ : 岩体达到应力水平  $\sigma_0$  的时间;  $R_0$ : 开挖巷道的半径;  $r$ : 岩体内一点到巷道中心的距离;  $C$ : 围岩内聚力;  $\varphi$ : 岩体内摩擦角;  $\mu$ : 泊松比;  $A$ : 应力系数, 正常数。

采用最小二乘曲线拟合程序对围岩变形数据进行拟合, 得出流变参数<sup>[13]</sup>。南翼胶带机大巷实测巷道附近最大水平主应力为 28.8 MPa, 巷道半径  $R_0$  取 3 m。结合现场断层处的岩性及岩体赋存状况, 取  $C$  为 0.73 MPa,  $\varphi$  取  $32^\circ$ ,  $\sigma_s$  取 14.4 MPa,  $\mu$  取 0.25。巷道掘进支护后支护抗力  $P_i = 0.16$  MPa。参数代入式(3), 得出巷道围岩表面岩体( $r = R_0$  处)的流变方程为式(4):

$$u_r(t) = 279.6(a_0 + a_1 e^{b_1 t} + a_2 t e^{b_2 t}). \quad (4)$$

采用 Matlab 最小二乘法 (lsqcurvefit 函数), 依据初次支护后顶板变形监测数据对式(4)中的参数进行拟合求解, 如图 1 所示, 当误差值达到最小 (Resnorm = 24.71) 后, 得出各系数; 再折算出 4 个流变参数  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\eta$  和  $A$ , 计算得到的流变参数为: 弹性系数  $E_1 = 3.786$  GPa, 弹性系数  $E_2 = 5.867$  GPa, 黏滞系数  $\eta = 863.57$  GPa/d, 应力系数  $A = 0.035 \times 10^{-3}$ 。

### 2.1.2 二次支护时机探讨

二次支护的目的是为了使围岩变形能得到充分的释放, 并且采用二次加强支护将围岩稳定地控制住; 因此二次支护的时机应为围岩的稳定蠕变或减速蠕变阶段。

对式(1)求导可得围岩流变速度为式(5):

$$u'_r(t) = \frac{(\sigma_0 - \sigma_s)(1 + \mu)R_p^2}{r} \left\{ \frac{1}{\eta} e^{-\frac{E_2}{\eta} t} + \frac{(1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_0})}{\eta} e^{A(\frac{\sigma_0}{\sigma_s} - 1)t} \left[ A \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_s} - 1 \right) t + 1 \right] \right\} \quad (5)$$

巷道围岩流变速度  $u'_r(t)$  达 0.2 ~ 0.35 mm/min 时进行二次支护为宜<sup>[13]</sup>, 将计算得出的参数代入式(5), 得出  $t$  为 8 ~ 11 d。

即巷道开挖进行锚网索喷一次支护后, 一周左右再施工 U 型钢可伸缩支架并进行喷、注浆二次支护较为适宜。

## 2.2 分步联合支护技术

深部巷道围岩流变持续时间长、初期变形大, 只有合理有序的分步联合支护才能适应深部软岩巷道围岩的变形<sup>[5-8]</sup>; 通过对高应力软岩巷道围岩应力及其变形机理分析得到, 要实现对深井构造带巷道围岩的控制, 应着从以下关键问题入手。

1) 注浆固结断层破碎带围岩。一是为了修复损伤区围岩, 提高围岩的完整性和整体强度, 为后期支护创造良好的条件; 二是为了调节围岩应力集中, 将巷道浅表的高应力向围岩深处转移, 使锚注加固区与深层稳定岩体联结成一体, 增大围岩承载圈的范围, 以使围岩受力均匀, 减小构造带应力集中的影响。

2) 锚网索耦合施工充分发挥支护体支护特性。由于断层破碎带内应力分布复杂, 锚杆采用螺纹钢, 具有一定的延伸率, 抗拉强度高, 但抗剪强度低, 而锚索采用钢绞线, 不仅抗拉强度高, 同时抗剪强度也高, 适合复杂应力条件, 通过锚杆、锚索耦合支护, 允许围岩适度的变形, 以释放围岩内部应力, 充分调动巷道深部围岩与浅部支护体共同承载矿山压力。

3) 分布联合支护控制围岩稳定。锚联网初次支护“适当让压”, 使围岩释放一部分变形能后, 采用 U 型钢可伸缩支架并进行喷、注浆二次加强支护, 以实现围岩的长期稳定控制。

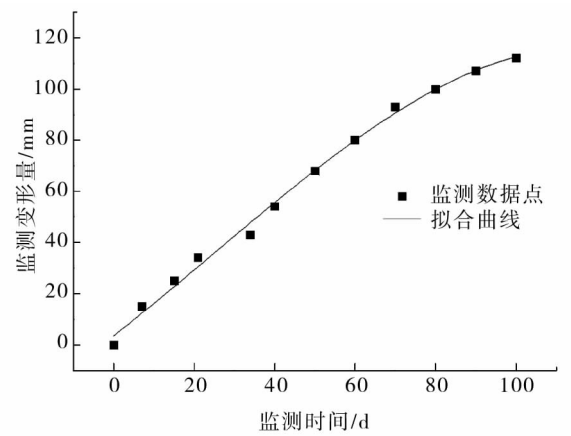


图1 监测点变形量及其拟合曲线

### 3 断层破碎带分步联合支护

#### 3.1 分步联合支护方案

1) 超前预注浆. 采用短掘短注的方式, 以 10 m 为一个循环, 对掘进方向超前范围内顶帮围岩进行预加固, 注浆范围为巷道轮廓线外 5 m, 使破碎围岩胶结成整体, 提高围岩整体性, 用以保证施工安全和巷道按标准成型。

2) 初次支护. 巷道开挖后, 立即进行锚网索喷支护, 锚杆规格为  $\Phi 22 \times 2\,500$  mm, 锚索规格为  $\Phi 21.8 \times 8\,200$  mm; 锚杆间排距为  $800\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ , 锚索间排距  $1\,000\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ ; 采用 PSA32.5 普通硅酸盐水泥喷浆, 厚度为 100 mm。

3) 二次支护. 一周后施工 U 型钢可伸缩支架, 并进行喷、注加强支护; U 型钢可伸缩支架棚距为 500 mm, 采用 PSA32.5 普通硅酸盐水泥进行喷浆, 采用 425 普通硅酸盐水泥进行注浆。

#### 3.2 支护效果监测

按原设计常规锚网索 + U 型钢可伸缩支架支护方式施工巷道 50 m, 施工后半年内巷道断面面积由原来的  $20.09\text{ m}^2$  变为  $9.16\text{ m}^2$ , 变形量达 50%; 采用优化后的分步联合支护方案时, 半年内巷道断面面积由原来的  $20.09\text{ m}^2$  变为  $18.67\text{ m}^2$ , 变形量仅为 7%, 采用分步联合支护后巷道变形在 15 d 左右基本趋于稳定, 如图 2 所示, 支护效果比较理想。

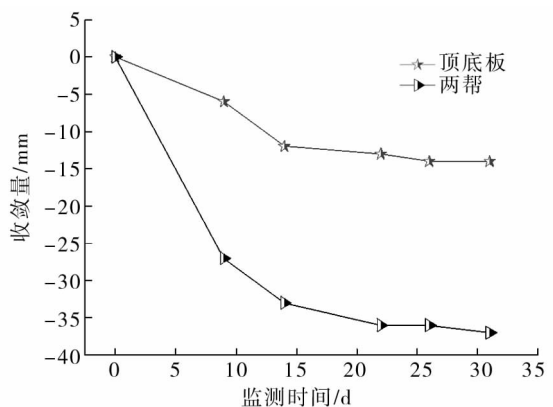


图 2 巷道表面围岩监测曲线

### 4 结论

1) 合理二次支护时机为初次支护 7 d 左右; 采用分步联合支护的方法顺利穿过了地质异常带, 可以取得理想的支护效果。

2) 针对构造带附近巷道支护, 提高围岩的完整性对巷道围岩的控制至关重要; 支护过程中的适度让压, 可使各种支护手段在时间和空间上有效结合, 最终充分发挥并提高围岩的自身承载能力, 实现巷道的支护稳定。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘泉声, 康永水, 白运强. 顾桥煤矿深井岩巷破碎软弱围岩支护方法探索[J]. 岩土力学, 2011, 32(10): 3097-3104.
- [3] 王炯. 唐口煤矿深部岩巷恒阻大变形支护机理与应用研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2011.
- [4] 何满潮. 深部开采工程岩石力学研究现状及其展望[C]//第八届全国岩石力学与工程学术大会论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 2004: 88-94.
- [5] 靖洪文, 李元海, 赵保太, 等. 软岩工程支护理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [6] 郑颖人. 地下工程锚喷支护设计指南[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988.
- [7] 陈宗基. 中国土力学岩体力学中若干重要问题的看法[J]. 土木工程学报, 1963, 9(5): 36-40.
- [8] 伍国军, 陈卫忠, 曹俊杰, 等. 工程岩体非线性蠕变损伤力学模型及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(6): 1184-1191.
- [9] 崔希海, 付志亮. 岩石流变特性及长期强度的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 1021-1024.
- [10] 齐珺. 深部岩体非线性蠕变规律的研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2004.
- [11] 余伟健, 高谦. 高应力构造带巷道围岩控制机理及工程实践[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2012.
- [12] 李青麒. 软蠕变参数的曲线拟合计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(5): 559-564.
- [13] 张农, 高明仕, 许兴亮. 煤巷预拉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.