

# 三软煤层回采巷道支护中钻孔卸压技术

李 树 彬<sup>1,2</sup>

(1. 中国煤炭科工集团重庆研究院, 重庆 400037; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037)

**摘要:** 为有效解决软岩巷道支护难题, 提出并研究了钻孔卸压与U型钢联合支护方式。采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件分析了卸压钻孔对巷道围岩变形及应力转移作用机理, 模拟结果表明, 实施卸压钻孔后, 巷道围岩的变形量减小, 巷道周边围岩应力峰值向深部转移, 巷道处于应力降低区。现场试验结果表明: 采用钻孔卸压与U型钢联合支护方案, 巷道两帮最大移近量193 mm, 降低55%, 巷道顶底板最大移近量267 mm, 降低55%, 巷道支护状况得到明显改善。

**关键词:** 软岩巷道支护; 回采巷道; 卸压钻孔; 数值模拟; 围岩变形

中图分类号: TD325 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2012)06-0029-04

## Borehole Drilling and Pressure Releasing Technology Applied to Mining Gateway Support in Three Soft Seam

LI Shu-bin<sup>1,2</sup>

(1. Chongqing Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Chongqing 400037, China;

2. State Key Lab of Gas Disaster Monitoring, Control and Emergency Technology, Chongqing 400037, China)

**Abstract:** In order to effectively solve the support problems of the mine soft rock roadway, the borehole drill and pressure releasing and U type steel combined support method was provided and studied. The FLAC<sup>3D</sup> numerical simulation software was applied to study the function of the pressure releasing borehole to the surrounding rock deformation and stress migration mechanism of the mine roadway. The simulation results showed that after the pressure released borehole completed, the deformation value of the gateway surrounding rock was reduced, the stress peak of the surrounding rock along the gateway was moving forward to deep inside and the gateway was in the stress reduced area. The site test results showed that with the application of the borehole pressure released and U type steel combined support plan, the max convergence between the two sidewalls of the gateway was 193 mm and was reduced by 55%, the max convergence between the roof and floor of the gateway was 267 mm and was reduced by 55%. Thus the support conditions of the gateway were remarkably improved.

**Key words:** support of mine soft rock roadway; mining gateway; pressure released borehole; numerical simulation; surrounding rock deformation

随着我国煤矿开采深度的日益增加以及开采条件的日趋复杂, 许多矿区先后都出现了用传统的支护方法难以控制的软岩巷道<sup>[1-3]</sup>, 巷道围岩表现出明显的大变形、大地压、难支护、长时间持续流变等软岩特性。对于巷道为三软煤层巷道时, 且回采巷道均是沿煤层底板掘进的巷道, 其掘进和维护方面普遍存在支护难度大、巷道维护费用高及安全性差等问题, 采用传统的锚网支护及U型钢支护难以取得良好的支护效果。通过对相关资料的查阅,

卸压技术是将巷道周边围岩内的高应力区向围岩深部转移, 从而使高应力围岩转化为可以支护的低应力围岩, 最终达到减小巷道围岩变形目的一种支护技术<sup>[4-8]</sup>, 尤其是在深井巷道、三软煤层巷道支护中可以达到较好的支护效果。通常采用的巷道卸压方法主要有: 在巷道周边围岩中开槽、切缝、钻孔卸压、松动爆破、无煤柱开采、掘巷道卸压等多种形式。其中的钻孔卸压技术具有施工方便, 施工速度快, 不影响施工工期等特点<sup>[9-12]</sup>。针对传统的

收稿日期: 2012-01-07; 责任编辑: 曾康生

作者简介: 李树彬(1985—), 男, 河南浚县人, 硕士。Tel: 18602319790, E-mail: lishubin09@163.com

网络出版时间: 2012-06-15 10:27:00; 网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.29\\_008.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.29_008.html)

引用格式: 李树彬. 三软煤层回采巷道支护中钻孔卸压技术 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (6): 29-32.

锚网支护及U型钢支护方式无法在三软煤层中取得较好的支护效果,笔者提出并利用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件对钻孔卸压与U型钢联合支护方式进行了研究,并进行现场试验,取得较好支护效果。

## 1 钻孔卸压原理

由围岩松动圈理论<sup>[5]</sup>可知,巷道开挖以后,巷道周围存在一个松动圈(破碎区)、塑性变形区和弹性变形区,巷道支护的对象就是巷道围岩松动圈和塑性变形区所产生的碎胀力。卸压支护的基本原理如下:在巷道掘进及服务期间,采用人工的方法对围岩的碎胀变形进行有控制的释放,使巷道周边形成的应力峰值向远离巷道周边的围岩深部转移,使巷道处于应力降低区中,以此达到有效维护巷道的目的。钻孔卸压的机理是:合理布置的钻孔可以引起巷道深部围岩首先发生结构性破坏,从而形成一个弱化区和弱化带(图1a),引起巷道周边围岩内的高应力向深部转移,从而使巷道周边附近围岩处于低应力区,有利于巷道围岩的稳定(图1b)。

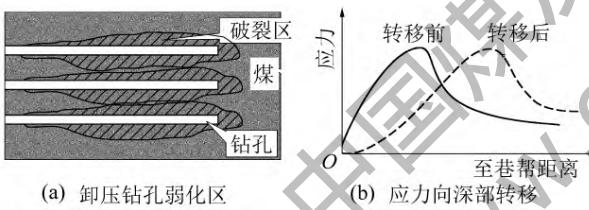


图1 钻孔卸压原理

## 2 钻孔卸压数值模拟

采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件分析卸压钻孔对巷道围岩表面位移的影响以及对巷道周边围岩应力转移的影响。

### 2.1 模型的建立

模拟的巷道为永华一矿2201工作面运输巷,地面标高为+327.8—+348.2 m,井下标高为-25.42—-76.09 m,煤层倾角平均15°,煤层平均厚度4.5 m,煤层普氏系数小于0.3。

取2201工作面运输巷为研究对象,巷道所处岩层倾角15°,卸压钻孔垂直于巷道两帮布置。模型截面尺寸为60 m×40 m,巷道按照实际的几何参数模拟,形状为半圆拱,拱高1.6 m,拱半径1.4 m,巷道采用U型钢进行支护,计算时采用Shell和Beam单元来模拟U型钢,计算模型采用摩

尔—库仑模型,模型水平边界限制水平方向的位移;底边为固定约束,即X、Y和Z三个方向上均无位移,模型沿轴向即垂直向没有位移,模拟巷道煤层及其顶底岩体力学参数见表1。

表1 煤层及顶底板岩体力学参数

层位	岩性	容重/ (kN·m <sup>-3</sup> )	T/MPa	φ/(°)	C/MPa	V/GPa	τ/GPa
基本顶	粉砂岩	25.6	2.10	30	1.20	1.70	1.50
直接顶	炭质泥岩	24.4	0.10	22	0.10	0.25	0.20
煤层	煤	15.5	0.05	18	0.06	0.15	0.10
直接底	炭质泥岩	24.4	0.10	22	0.10	0.25	0.20
基本底	砂质泥岩	26.6	0.08	20	0.85	0.20	0.15

注: T为抗拉强度; φ为内摩擦角; C为黏聚力; V为体积模量; τ为剪切模量。

### 2.2 监测线布置

为了分析钻孔卸压实施前后巷道围岩的受力及围岩变形情况,在巷道的表面上布置2条监测线,分别监测巷道的顶底板及两帮的受力状态及变形情况,其具体位置如图2所示。

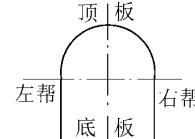


图2 巷道监测线布置示意

### 2.3 模拟结果分析

1) 图3反映了卸压前后巷道周边围岩的变形情况,由图3a可知,采用钻孔卸压前,巷道左帮位移为+200 mm,右帮位移为-200 mm,钻孔卸压后,巷道左帮位移控制在+80 mm,右帮位移为-80 mm;由图3b可知,采用钻孔卸压前,巷道顶板位移为-100 mm,底板位移为+130 mm,钻孔卸压后,巷道顶板位移控制在-50 mm,底板位移控制在+85 mm;即采用卸压钻孔后,巷道的顶板、底板及两帮位移量都有较大的减小,巷道变形得到了有效控制。

2) 由图4巷道周边围岩应力分布规律可知,采用钻孔卸压前,巷道围岩应力最大值为13 MPa,距离巷帮仅为5 m左右,巷道处于高应力中,单一以U型钢支护方式不能较好地控制巷道变形,实施钻孔卸压后,巷道围岩应力最大值虽达到15 MPa,但距离巷帮较远,达11 m左右,巷道围岩应力峰值向巷道深部转移,并且巷道周边围岩应力

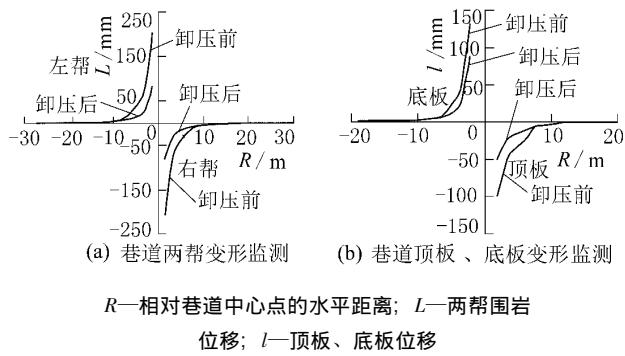


图3 卸压前后巷道围岩位移分布

得到了有效释放, 其应力值明显降低, 巷道处于应力降低区, 有利于巷道维护。

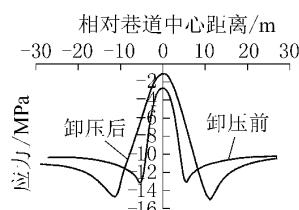


图4 卸压前后巷道周边围岩应力分布

综合以上分析, 可以得出钻孔卸压对控制巷道围岩变形和围岩应力向深部转移起到了较好的作用, 采用钻孔卸压技术后, 巷道围岩表面变形量得到了减小, 巷道围岩的应力向深部转移, 对于巷道围岩的变形起到了一定的控制作用。

### 3 现场工业性试验

1) 试验巷道。本次试验在永华一矿2201工作面运输巷中进行, 2201运输巷沿煤层底板进行掘进, 原支护采用36U型钢棚支护, 巷道围岩变形量大, 单一以U型钢支护方式不能有效地控制围岩的剧烈变形。

2) 卸压钻孔与U型钢联合支护参数。通过对卸压机理及钻孔卸压的数值模拟研究, 本次采用钻孔卸压与U型钢联合支护的方式。采用36U型钢棚支护, 棚距为500 mm, 柱窝深200 mm, 内扎角85°, U型钢棚为三节结构, 支架之间用两副连板连接固定。沿煤层方向在巷道两帮施工卸压钻孔, 钻孔直径为89 mm, 长度为5 m, 排距为0.5 m, 巷道上、下帮各为3个钻孔, 其支护形式如图5所示。

3) 观测结果分析。在试验巷道中, 设置了4个围岩表面位移观测站, 观测了巷道的顶底板移近

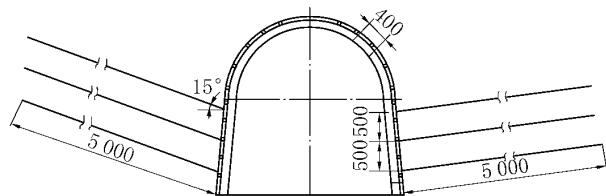


图5 卸压钻孔与U型钢联合支护

量、巷道两帮移近量的情况。现将典型的2个测站进行分析, 其2个测站的数据分别代表了未卸压段和卸压段的情况, 2个测站除了有无卸压钻孔不同之外, 其他支护参数均相同, 观测结果如图6、图7所示。

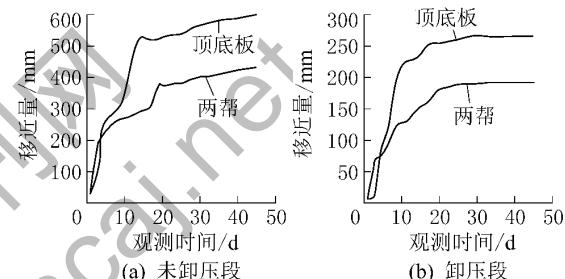


图6 巷道围岩变形

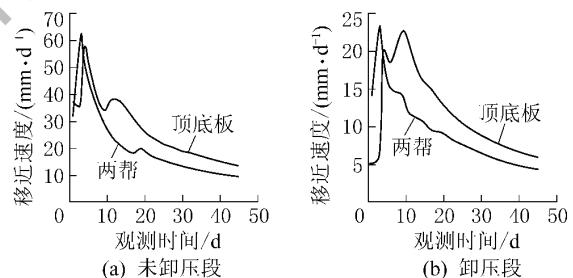


图7 巷道围岩移近速度

由图6可知, 未卸压段在建立测站初期, 巷道围岩累计变形变化较快, 两帮最大移近量为430 mm, 顶底板最大移近量为600 mm, 顶底板累计移近量大于两帮移近量, 巷道变形还没有停止, 围岩还没有稳定, 仍有增大的趋势; 卸压段在建立测站初期, 巷道围岩累计变形变化较大, 但在20 d后基本趋于稳定, 巷道两帮最大移近量为193 mm, 顶底板最大移近量为267 mm。由图7可知, 未卸压段在建立测站初期, 巷道两帮移近速度大于顶底板移近速度, 但在3 d后, 顶底板移近速度超过两帮, 两帮的平均移近速度为9.6 mm/d, 顶底板平均移近速度为13.3 mm/d, 巷道围岩变形速度仍然处于比较高的状态; 卸压段测点变形速度并不稳

定,但基本上也是先有短期的增大而后逐渐减小,在建立测站前4 d,巷道两帮移近量及两帮移近速度均大于顶底板移近量及移近速度,但4 d之后,顶底板的移近量及移近速度均超过两帮,其两帮及顶底板平均移近速度分别为4.2、5.9 mm/d。

通过以上观测结果总结可知,采用钻孔卸压与U型钢联合支护后,巷道顶底板移近量、两帮移近量均比未卸压时降低55%左右,其巷道两帮及顶底板的平均移近速度比未卸压时移近速度降低55%左右,巷道围岩得到了较好的控制,因此钻孔卸压与U型钢联合支护方案取得了较好的效果。

## 4 结 论

卸压技术是将巷道周边围岩内的高应力区向围岩深部转移,从而使高应力围岩转化为可以支护的低应力围岩,最终达到减小围岩变形目的一种支护技术。利用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件分析了钻孔卸压对巷道围岩变形及巷道周边围岩应力转移的作用,即实施钻孔卸压后,巷道围岩的变形量减小,围岩应力峰值向深部转移,巷道处于应力降低区。工业试验表明,钻孔卸压与U型钢联合支护技术完全可以适用于三软煤层回采巷道,取得了较好的支护效果和经济效益,为矿井的高产高效提供了技术保障。采用钻孔卸压和U型钢联合支护的技术,降低了巷道的维修量和维修频率,将应力向巷道深部转移,杜绝了以前边掘边修、前掘后修的状况,提

(上接第28页)

砂层中具有良好渗透扩散性质,其加固体扩散直径最大为401.2 mm,且扩散均匀规律,扩散直径沿注浆导管方向逐渐变小。因此水玻璃-氯化钙注浆超前支护技术更适合于细砂层巷道的超前加固。

### 参考文献:

- [1] 黄正荣,朱伟,梁精华,等.浅埋砂土中盾构法隧道开挖面极限支护压力及稳定研究[J].岩土工程学报,2006,28(11): 2005-2009.
- [2] 黄戬.裂隙岩体中隧道注浆加固理论研究及工程应用[D].长沙:中南大学,2011: 4-41.
- [3] 邹超.砂土层中超细水泥注浆机理的试验研究[D].淮南:安徽理工大学,2006: 29-53.
- [4] 罗恒.注浆理论研究及其在公路工程中的应用[D].长沙:中南大学,2010: 42-55.

高了有效进尺,保证了工作面的正常回采,技术效果显著;同时改善了巷道支护状况,保证了有效通风断面,取得了较好的效果。

### 参考文献:

- [1] 付国彬,姜志方.深井巷道矿山压力控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1996: 5-14.
- [2] 李大伟,侯朝炯.低强度软岩巷道大变形围岩稳定控制试验研究[J].煤炭科学技术,2006,34(3): 36-39.
- [3] 彭巍.大雁矿区深部软岩支护的研究与实践[J].煤炭科学技术,2010,38(12): 39-42.
- [4] 侯朝炯.采准巷道矿压与控制的技术发展途径[J].矿山压力与顶板管理,1995,12(3): 105-108.
- [5] 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: 227-232.
- [6] 王襄禹,柏建彪,李伟.高应力软岩巷道全断面松动卸压技术研究[J].采矿与安全工程学报,2008,25(1): 37-40.
- [7] 王襄禹.高应力软岩巷道有控卸压与蠕变控制研究[D].徐州:中国矿业大学,2008: 9-11.
- [8] 王永岩.软岩巷道变形与压力分析控制及预测[D].阜新:辽宁工程技术大学,2001: 82-85.
- [9] 刘红岗,徐金海.煤巷钻孔卸压机理的数值模拟与应用[J].煤炭学报,2003,28(4): 37-38.
- [10] 段克信.用巷帮松裂爆破卸压维护软岩巷道[J].煤炭学报,1995,20(3): 311-316.
- [11] 王喜兵,王海君.高应力区卸压开采方法研究[J].矿业工程,2003,1(4): 18-11.
- [12] 吕渊,徐颖.深井软岩大巷深孔爆破卸压机理及工程应用[J].煤矿爆破,2005(4): 30-33.

- [5] 高志刚.马丽散注浆加固在综采面顶板管理中的应用[J].煤矿开采,2005,10(5): 53-54.
- [6] 谢忠党,杨永强.马丽散加固技术在处理冒顶中的应用[J].河北煤炭,2005(1): 27-28.
- [7] 孙永明,华萍.水玻璃化学灌浆材料的发展现状与展望[J].吉林水利,2005(9): 13-14.
- [8] 王越云.超前小导管注浆在上白隧道穿越砂层中的应用[J].山西建筑,2011,37(5): 188-189.
- [9] 余继光,蔡振雷,左清泉.化学注浆加固技术在巷道大冒落带的应用[J].中州煤炭,2008(2): 71-72.
- [10] 赵善同.粉细砂层注浆加固施工技术[J].科学之友,2009(14): 17-18.
- [11] 曾君刚.超前小导管注浆施工参数试验研究[J].山西建筑,2010(4): 66-67.
- [12] 肖昌军,王晓刚.超前小导管注浆技术在北京地铁10号线劲松站粉细砂地层加固中的应用[J].铁道标准设计,2008(12): 231-233.