

# 动压影响下的软岩巷道加固治理技术研究

徐佑林<sup>1</sup>, 张 辉<sup>2</sup>

(1. 贵州理工学院 矿业工程学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘 要:**针对动压影响下软岩巷道围岩变形强烈、难支护的技术难题,以湾田煤矿运输下山为研究对象,采用理论分析建立了巷道塑性范围计算模型,得出顶部及两帮的最大塑性区范围分别为 9.8、13.6 m,同时对比分析了动压对塑性区发育范围的影响,得出巷道上覆工作面采动对巷道稳定性存在明显影响。结合巷道围岩窥视结果及理论计算得到的巷道塑性区破坏范围,提出浅部和深部注浆相结合的全断面双壳锚注加固支护技术,并进行了井下工业性试验。实践表明,采用双壳注浆后进行全断面高预应力锚网支护能有效控制强烈动压影响软岩巷道围岩变形。

**关键词:**软岩巷道;动压影响;锚注加固;全断面支护

中图分类号:TD353 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2018)01-0068-06

## Research on reinforcement and treatment technology for soft rock roadway under dynamic pressure

XU Youlin<sup>1</sup>, ZHANG Hui<sup>2</sup>

(1. School of Mining Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China;

2. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** According to the serious surrounding rock deformation and difficult support technical problems of the mine soft rock roadway under the influences of the dynamic pressure, take a transportation dip in Wantian Coal Mine as a study object, a theoretical analysis was applied to establish a plastic scope calculation model of the mine roadway and a maximum plastic zone scope obtained in the top and two sidewalls was 9.8 m and 13.6 m individually. Meanwhile, a comparison and analysis were conducted on the dynamic pressure affected to the development scope of the plastic zone and the mining operation of the coal mining face in the overburden strata above the mine road could have obvious influences to the stability of the mine roadway. In combination with the peering results from the surrounding rock of the mine roadway and the theoretical calculation, the failure scope of the plastic zone in the mine roadway was obtained, a full cross section double-shell bolt and grouting reinforcement support technology combined with the shallow and depth grouting was provided and the industrial trial in the underground mine was conducted. The practices showed that after the double-shell grouting applied, the full cross section high pre-stressed bolt and steel mesh support could effectively control the surrounding rock deformation of the soft rock roadway under the influences of the serious dynamic pressure.

**Key words:** mine soft rock roadway; dynamic pressure influences; anchoring and grouting reinforcement; full sectional support

## 0 引 言

软岩具有强度低、自承能力差、变形速度快、

难以维护等特点,导致巷道底鼓、顶板冒落成为巷道围岩控制的主要技术难题<sup>[1-2]</sup>。由于软岩吸水泥化、膨胀,强度急剧下降,加剧了巷道的变

收稿日期:2017-09-28;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.01.009

基金项目:贵州省自然科学基金资助项目(黔科合基础[2016]1068);贵州省教育厅青年科技人才成长资助项目(黔科合基础[2016]1068);国家安全生产监管总局重特大事故防治关键技术研究资助项目(guizhou-0003-2017AQ)

作者简介:徐佑林(1983—),男,贵州贵阳人,副教授,博士。通讯作者:张 辉,副教授,博士,E-mail:caikuangzhang@163.com

引用格式:徐佑林,张 辉.动压影响下的软岩巷道加固治理技术研究[J].煤炭科学技术,2018,46(1):68-73,111.

XU Youlin, ZHANG Hui. Research on reinforcement and treatment technology for soft rock roadway under dynamic pressure[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(1): 68-73, 111.

形<sup>[3-4]</sup>。煤矿巷道是动态变化的生产过程,采动影响下的软岩巷道变形也是影响巷道围岩变形的关键<sup>[5-6]</sup>。

文献[7]针对深部动压软岩巷道底鼓、围岩变形难控制等难题,提出了锚注支护方案等的综合控制技术,取得了显著的经济效益;王其洲等<sup>[8]</sup>针对U型钢支架支护动压影响巷道强烈变形的支护难题,采用数值模拟方法,研究U型钢支架-锚索协同支护作用机理,提出了U型钢支架-锚索协同支护技术;史泽坡等<sup>[9]</sup>针对峰峰矿区某矿软岩巷道围岩变形规律,采取壁后充填注浆+U型钢支架薄弱部位补强技术,实现支护-围岩承载结构共同承载;魏海涛等<sup>[10]</sup>针对伽师铜矿遇水泥化性破碎软岩巷道经常出现顶板垮塌和边帮变形问题,通过矿岩物理力学试验和岩石软化特征测试等室内研究手段,分析了该类软岩的相关力学特性和破坏机理;许兴亮等<sup>[11]</sup>根据泥质巷道的变形破坏特点,提出采用过程监测和动态优化控制围岩变形的的方法,形成泥化软岩巷道动态过程控制技术。除此之外,针对动压影响下软岩巷道的加固支护手段还存在注浆加固、锚网喷隔绝水分以及U型棚支护等<sup>[12-15]</sup>,但是针对动压影响下的泥化软岩的研究较少。

因此,笔者针对湾田煤矿采动影响下的软岩巷道破碎情况进行实测,分析巷道变形原因,优化巷道支护设计,以便有效控制巷道变形,延长巷道有效使用时间,降低返修率,对解决动压作用下软岩巷道的支护难题具有一定的指导作用。

## 1 工程背景及特征

湾田煤矿首采区布置有3条下山,分别为回风下山、运输下山以及轨道下山,布置在18煤底板岩层中,3条下山位于井田中部,矿井采用两翼开采,留设煤柱非常小,基本与下山边界相切,且煤层开采顺序错乱,因此在3条下山上部形成复合煤柱,在多次采动下巷道均发生了严重的变形,笔者主要以运输下山巷道的优化支护为例进行分析。

1) 巷道位置及基本情况。运输下山布置在一采区回风下山东侧,与回风下山相距20 m,以21°倾角从+1 602.5 m标高顺煤层底板至+1 408 m标高(距18煤层底板水平距离56 m),长度543 m,半圆

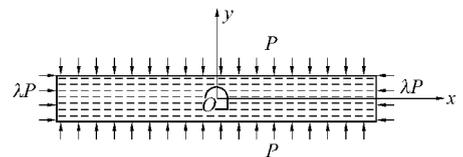
拱断面,净宽为4.4 m,墙高为1.6 m,净断面积为11.88 m<sup>2</sup>,掘进断面积为12.97 m<sup>2</sup>,水沟断面为300 mm×300 mm,运输下山通过回风联络巷形成通风系统,运输下山装备带式输送机、吊挂无极绳人车、防尘水管(支管)等,作为一采区煤炭运输、行人、进风等之用。

2) 巷道原有支护方式。原支护采用锚网喷支护。锚杆采用右旋等强粗螺纹钢锚杆 $\phi 18$  mm×2 000 mm,间排距1 000 mm×1 000 mm;锚索采用1×7股钢绞线 $\phi 15.24$  mm×7 300 mm,间排距2 000 mm×2 000 mm,每排3根;锚固剂采用K2335树脂锚固剂。

因受多次动压影响,巷道底鼓特别剧烈,经多次挖底后,巷道顶板和两帮变形严重,已经不能满足巷道正常运输和通风要求,巷道进行整体返修,采用U29架棚支护,排距700 mm,锚索+槽钢补强加固,锚索采用1×7股钢绞线 $\phi 15.24$  mm×7 300 mm,排距1 000 mm×700 mm。巷道返修后,底鼓依然强烈,U型棚穿入底板,顶板下沉严重,返修后2个月内巷道收缩量达到50%。持续的大变形很难满足该水平巷道长期服务的需要。

## 2 巷道围岩破碎情况分析

1) 巷道围岩变形破坏机理。为了研究无支护条件下的巷道围岩破坏机理,采用当量半径的方法<sup>[16]</sup>,将半圆拱形巷道简化为双向不等压圆形巷道,建立力学模型如图1所示。



$P$ —垂直应力,MPa; $\lambda$ —侧压系数

图1 巷道力学模型

Fig.1 Mechanical model of roadway

根据外接圆半径法,巷道的当量半径 $r$ 为

$$r = [(2a + b) + b^2 / (2a + b)] / 4 \quad (1)$$

式中: $a$ 为巷道墙高,取1.6 m; $b$ 为巷道宽度,取4.4 m。

根据式(1)计算得到巷道的当量半径 $r = 2.54$  m。取巷道的任一截面为研究对象,采用平面应变问题的方法,根据双向不等压状态下圆孔周围的应力分布函数,求出直角坐标系下截面中任一点( $x$ 、

y)的巷道围岩应力分布函数。

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{P}{2}(1+\lambda) + \frac{P r^2}{2 \rho^2}(1-3\lambda) \cos 2\theta - \frac{P}{2}(1-\lambda) \times \\ &\quad \left[ 1 - 2 \frac{r^2}{\rho^2}(1-2 \cos^2 2\theta) \right] \\ \sigma_y &= \frac{P}{2}(1+\lambda) + \frac{P r^2}{2 \rho^2}(3-\lambda) \cos 2\theta + \frac{P}{2}(1-\lambda) \times \\ &\quad \left[ 1 - 2 \frac{r^2}{\rho^2}(1-2 \cos^2 2\theta) \right] \\ \tau_{xy} &= -\frac{P}{2}(1+\lambda) \frac{r^2}{\rho^2} \sin 2\theta + \frac{P}{2}(1-\lambda) \times \\ &\quad \left( 4 \frac{r^2}{\rho^2} - 6 \frac{r^4}{\rho^4} \right) \sin 2\theta \cos 2\theta \end{aligned} \right. \quad (2)$$

式中： $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\tau_{xy}$ 为别为双向不等压条件下巷道的最大主应力、最小主应力和剪应力； $\rho$ 为极半径，m； $\theta$ 为极角，(°)。

根据岩石破坏的摩尔-库仑准则，将应力圆的半径与圆心到摩尔包络线的距离之差作为判断巷道围岩是否破坏的标准<sup>[17]</sup>，建立极半径  $\rho$  和极角  $\theta$  的函数关系  $f(\rho, \theta)$  为

$$f(\rho, \theta) = d - r_1 \quad (3)$$

应力圆半径  $r_1$  为

$$r_1 = \sqrt{\left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (4)$$

应力圆圆心到摩尔包络线的距离  $d$  为

$$d = \frac{|x \tan \theta - y + c|}{\sqrt{\tan^2 \varphi + 1}} \quad (5)$$

其中： $x = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ ， $y = 0$ ； $\varphi$  为巷道围岩的内摩擦角，(°)； $c$  为巷道围岩的黏聚力，MPa。

令  $f(\rho, \theta) = 0$ ，巷道围岩塑性区即极半径  $\rho$ ，得到巷道塑性区发育范围随极角  $\theta$  的变化，巷道塑性区发育范围大致呈椭圆形分布，巷道顶板及底板破坏深度约为 9.8 m，两帮破坏深度约为 13.6 m，如图 2 所示。结果表明在水平方向即巷道两帮方向塑性区发育范围较大。

2)考虑动压影响的巷道塑性区。根据巷道的具体地质条件及工程实际，建立 FLAC<sup>3D</sup> 三维数值分析模型，模型尺寸为 55 m×20 m×55 m，具体如图 3 所示。模拟应力环境分为 2 种，一种是恒定的上覆岩层应力，另一种考虑顶部工作面开采动压影响条

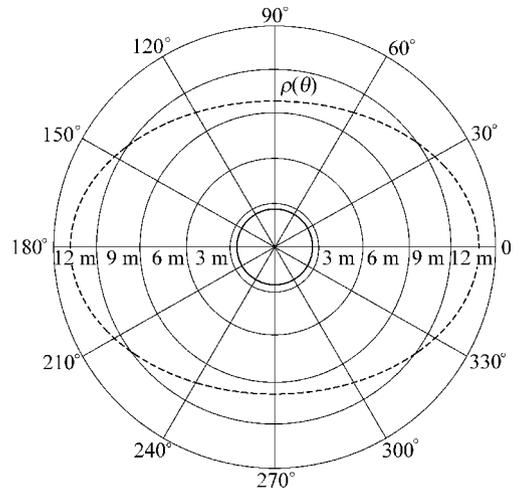


图 2 巷道围岩塑性区发育范围

Fig.2 Development range of plastic zone of roadway surrounding rock

件的情况。由于本文研究巷道距工作面底板距离为 56 m，经计算采动系数在 1.2~1.5。因此为了保证巷道在采动应力最大时仍能保持稳定，故取最高应力为原岩应力的 1.5 倍。2 种情况下的塑性区模拟结果如图 4 所示。

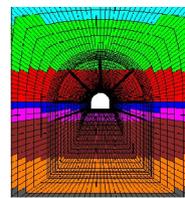


图 3 巷道数值模型

Fig.3 Numerical model of the roadway

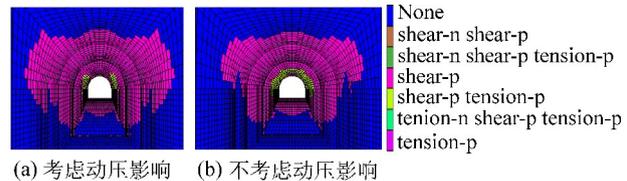


图 4 动压影响下巷道塑性区域对比

Fig.4 The plastic zone comparison of roadway under the influence of dynamic pressure

由图 4 可以看出，在考虑动压影响下的巷道塑性区范围要明显超过不考虑动压影响的塑性区发育范围。特别是在顶部与两帮的交接处，塑性区大范围扩展。由此可见，巷道上覆工作面的采动对巷道稳定性存在明显的影响。

3)巷道破碎范围的现场实测。上述巷道的塑性范围是在不加支护的情况下计算得到的，为了获得原有支护条件下的巷道围岩破碎范围，采用钻孔

窥视仪对巷道围岩破碎情况进行观测,测试地点为湾田煤矿3条下山,如图5所示,共布置6个测站,每个测站布置3个测孔,分别为顶板和两帮,顶板钻孔深18 m,两帮钻孔斜长20 m。

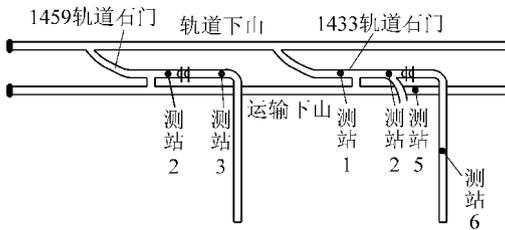


图5 钻孔窥视仪测站布置

Fig.5 Layout of measuring station for borehole peeping instrument

钻孔成像仪不同深度的围岩破碎情况如图6及图7所示,巷道围岩存在破碎区和大量的空洞区,且空洞区基本连到一起,岩层胶结节理裂隙发育,局部出现较大的破碎带。因此,若采用单纯的锚杆支护或者是U型棚+锚杆补强支护时,锚杆长度取2.4 m时,锚杆锚固段正好位于距离孔口2.25~2.35 m的空洞区,导致锚杆不能得到有效锚固,不利于锚索承载能力的发挥。而围岩的破碎使得锚杆锚固力急剧下降,锚杆失效,进而造成巷道围岩进一步失稳破坏。

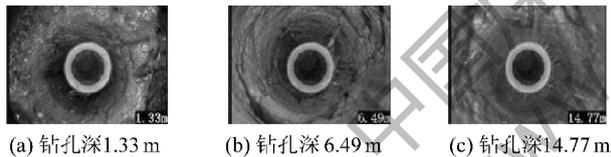


图6 巷道帮部钻孔成像

Fig.6 Drilled image at the side of roadway

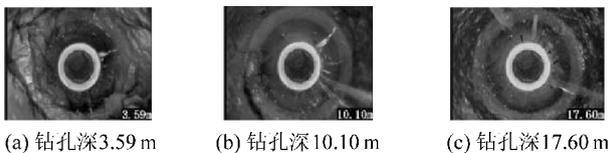


图7 巷道顶部钻孔成像

Fig.7 Drilled image at the top of roadway

### 3 全断面锚注加固方案

1) 加固方案的确定。根据巷道地质条件、现场钻孔实地勘查,考虑到巷道后期受到的采动影响,针对运输下山巷道提出巷道修复与围岩加固设计方案。

由于湾田煤矿大部分巷道经历一次或多次扩修后,巷道围岩已经发生较大范围的变形破坏,围岩结构松散,自身承载能力差。因此,在进行巷道修复

时,必须对破碎围岩体采取加固措施,恢复围岩的完整性,改善破碎围岩结构状态。根据运输下山巷道现有支护的特点及围岩结构发育探测结果,笔者拟采用双壳全断面锚注加固技术进行支护,支护方案如图8所示。

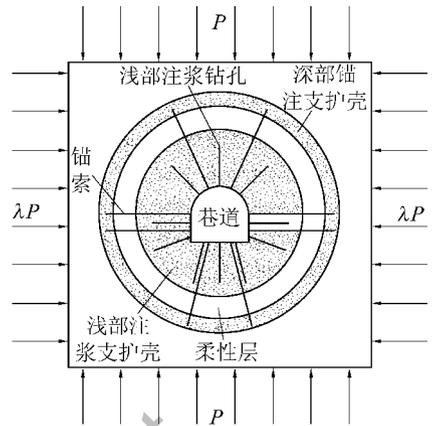
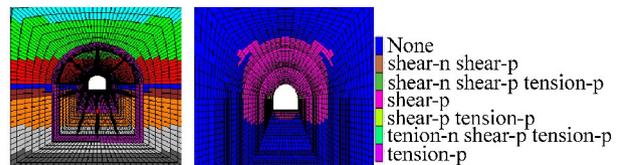


图8 双壳锚注加固机理示意

Fig.8 Schematic diagram of the mechanism of double shell anchorage reinforcement

2) 全断面锚注加固数值模拟结果分析。按照全断面锚注支护方式建立如图9a所示的数值模型,采用加强黏聚力及内摩擦角的方式模拟注浆加固,加固范围如图9a所示。模拟过程中同样采用1.5倍的应力模拟采动影响,最终得出的巷道塑性区范围如图9b所示。



(a) 全断面锚注模型 (b) 塑性区发育范围

图9 全断面锚注支护模拟

Fig.9 Simulation of full section anchorage and bolting support

由图9b与图4对比可以看出,采用双壳全断面锚注支护使得巷道的塑性范围大幅度减小,能够有效治理巷道底鼓,巷道两帮及顶部的塑性区范围也控制在深部注浆加固范围以内。

### 4 现场工业性试验

#### 4.1 双壳注浆加固实施方案

##### 4.1.1 浅部注浆加固

浅部注浆钻孔沿巷道断面帮顶底成排布置,注浆孔排距全部为2 000 mm,间距2 200 mm(受巷道变形量限制,每排分别均布5个和4个注浆孔交替

布置,间距并不一定为2 200 mm),三花布置,两帮注浆孔布置在拱顶直墙相接处和距底400 mm处。帮顶围岩注浆钻孔使用锚索钻机成孔,配备钻头直径30 mm。注浆孔深度为2 000 mm。巷道轴向两帮底部1列注浆孔下扎10°,其余注浆孔全部垂直于巷道围岩表面。注浆终止压力1 MPa左右,根据现场情况进行调整。

注浆材料采用水泥-水玻璃混合浆液,主要设备有ZBQ—15/6气动双液注浆泵、水泥搅浆机、储浆池、吸浆桶等。使用XPM添加剂,添加剂用量为水泥质量的8%~10%。水泥采用525硅酸盐水泥,水泥浆的水灰比0.7:1~1:1(根据现场注浆情况进行调整)。水玻璃浓度48~55°Bé(根据现场情况进行调整),模数 $M=2.8\sim 3.2$ 。水泥浆和水玻璃的体积比1:0.4~1:1。

4.1.2 深部注浆方案

深部注浆工艺参数与浅部注浆相一致,主要不同之处在于:①注浆孔布置与浅部注浆交叉三花眼布置;②注浆孔深度7 000 mm;③注浆材料为525硅酸盐水泥浆液(单液浆);④注浆终止压力4~6 MPa,根据现场情况进行调整。

4.2 全断面锚杆(索)支护

锚索采用 $\phi 22\text{ mm}$ ,1×19股高强度低松弛预应力钢绞线,长度5 300 mm,采用1只K2350和3支Z2350;锚索托板采用300 mm×300 mm×14 mm高强度可调心托板及配套锁具,钢筋托梁采用直径为6 mm的钢筋焊接而成,锚索排距为1 200 mm,间距为1 100 mm,垂直于巷道布置,预紧力设计不低于250 kN。锚杆间距900 mm,排距1 200 mm,巷道支护参数如图10所示。

4.3 加固效果测试分析

通过测试锚索受力和巷道围岩位移分布情况进行围岩加固效果分析,采用十字布点法安设巷道表面位移监测断面,如图11所示。利用激光测距仪实测巷道加固后的顶底板及两帮移近量,每天测一次。使用300 mm×300 mm×15 mm平托板,作为锚索(杆)托盘安装锚索测力计,安装方法如图12所示。锚杆测力计初始安装时,记录标定系数值 $k$ ,并测量安装前后测力计接收仪读数,按与表面位移相同的观测频度进行观测。巷道两帮移近量及锚杆锚固力的测试结果如图13、图14所示。

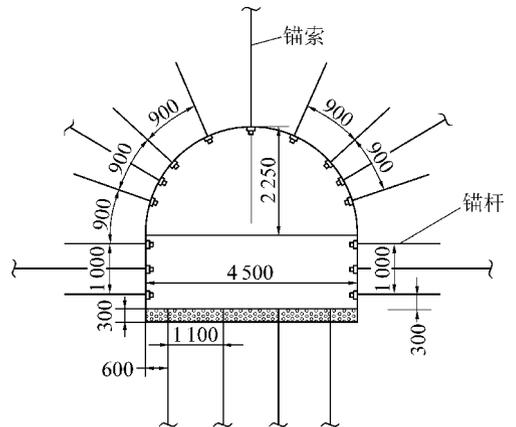


图10 巷道支护参数

Fig.10 Supporting parameter of roadway

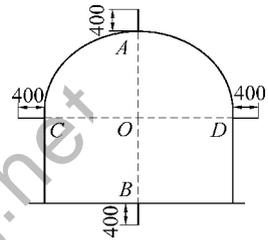


图11 巷道表面位移监测断面布置

Fig.11 Section layout of roadway surface displacement monitoring

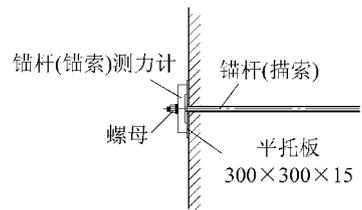


图12 锚杆测力计安装示意

Fig.12 The installation diagram of bolt dynamometer

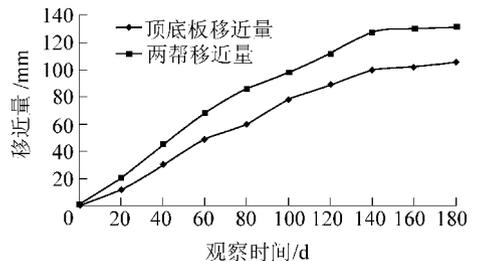


图13 巷道表面移近量测试结果

Fig.13 Test results of roadway surface displacement

由图13和图14可以看出,两帮移近量随着时间的增加逐渐增加,但增加幅度逐渐减小。两帮及顶底板移近量在3个月后逐渐稳定在13.8 cm及10.5 cm,这对于巷道的使用基本不产生影响。由帮部及顶部锚杆的锚杆受力实测结果可以看出,在锚

杆打入半个月左右后锚杆受力逐渐稳定,分别能够达到 60、90 kN,表明锚杆所处围岩结果完整,注浆效果好。

综上所述可以看出,采用笔者设计的巷道加固方案能够保证巷道的稳定,满足生产需求。

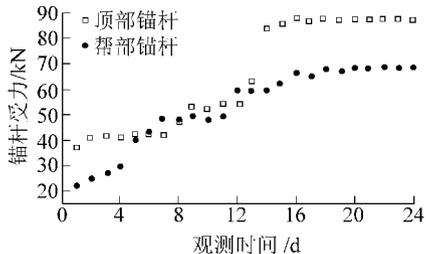


图 14 锚杆受力测试结果

Fig.14 Test results of bolt bearing force

## 5 结 论

1) 采用钻孔窥视仪进行围岩条件测试,认为采动引起巷道围岩的破碎使得锚杆锚固性能不好是造成巷道围岩变形破坏的重要原因。采用当量半径的方法计算获得巷道顶部及两帮的最大塑性区范围分别为 9.8 m 及 13.6 m。

2) 采用数值模拟对巷道塑性区破坏进行研究,认为巷道受采动影响加剧了巷道塑性区的扩展。在数值模拟及现场实测的基础上提出了浅部和深部注浆相结合的双壳全断面锚注加固支护技术。

3) 利用数值模拟验证了双壳全断面锚注加固支护能够大幅减小巷道塑性区范围,现场工业性试验表明,双壳注浆加高预应力锚网支护能有效控制动压影响软岩巷道变形破坏。

### 参考文献 (References):

[1] 王波,王军,高昌炎.极软地层巷道围岩变形机理与控制技术研究[J].煤炭科学技术,2017,45(10):30-35.  
WANG Bo, WANG Jun, GAO Yanchang. Study on deformation mechanism and control technology of roadway surrounding rock in ultra soft strata[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(10): 30-35.

[2] 王宏生,陈超.六家矿软岩巷道底板鼓机理及控制研究[J].煤炭科学技术,2016,44(S1):80-85.  
WANG Hongsheng, CHEN Chao. Study on mechanism and control of floor heave in soft rock roadway of Liujia Mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(S1): 80-85.

[3] 阚甲广,张农,李桂臣,等.泥化巷道底板控制技术研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(3):356-360.  
KAN Jiaguang, ZHANG Nong, LI Guichen, et al. Floor controlling

technology of argillization roadway[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2011, 28(3): 356-360.

[4] 赵鹏涛.弱胶结软岩巷道支护技术及泥化矸石治理研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2014.

[5] 张德宝,张智纲.弱胶结软岩巷道锚网喷架联合支护技术[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2015,34(4):447-452.  
ZHANG Debao, ZHANG Zhigang. Anchor net spray and steel bracket combined supporting technology research on weakly cemented soft rock roadway[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2015, 34(4): 447-452.

[6] 蒋作函.渗水泥化巷道失稳机理与安全控制对策[D].徐州:中国矿业大学,2015.

[7] 汪占领.深部动压软岩巷道底板控制技术研究[J].煤炭工程,2017,49(7):55-57.  
WANG Zhanling. Research on floor heave control technology for deep roadway with dynamic pressure soft rock [J]. Coal Engineering, 2017, 49(7): 55-57.

[8] 王其洲,谢文兵,荆升国,等.动压影响巷道U型钢支架-锚索协同支护机理及其承载规律[J].煤炭学报,2015,40(2):301-307.  
WANG Qizhou, XIE Wenbing, JIN Shengguo, et al. Research on U-shape steel frame and anchor cable collaborative support mechanism and loading law of roadway under dynamical pressure impact [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(2): 301-307.

[9] 史泽坡,谢志洪,车明.跨采动压影响巷道围岩活动规律及其控制技术[J].煤矿安全,2015,46(9):44-46,50.  
SHI Zepo, XIE Zhihong, JU Ming. Activity laws and control technology of roadway surrounding rock influenced by overhead mining [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(9): 44-46, 50.

[10] 魏海涛,齐炎,张小刚,等.遇水泥化性破碎软岩巷道变形控制[J].有色金属(矿山部分),2017,69(6):96-99,104.  
WEI Haitao, QI Yan, ZHANG Xiaogang, et al. Deformation control of soft rock roadway with cementations crushing [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2017, 69(6): 96-99, 104.

[11] 许兴亮.泥化软岩巷道动态过程控制技术[C]//煤炭开采新理论与新技术——中国煤炭学会开采专业委员会2007年学术年会论文集,中国煤炭学会开采专业委员会,山西省煤炭学会,2007.

[12] 任海强,陶广美.受动压影响巷道注浆加固技术研究[J].煤炭科学技术,2016,44(3):22-25.  
REN Haiqiang, TAO Guangmei. Study on grouting reinforced technology of roadway affected by dynamic pressure [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 22-25.

[13] 毕远志,孔一凡,蔡东红,等.高韧性纤维混凝土在深部软岩巷道支护中的应用[J].煤炭学报,2010,35(12):1969-1974.  
BI Yuanzhi, KONG Yifan, CAI Donghong, et al. Application of high toughness fibers concrete in deep soft rock roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(12): 1969-1974.

[14] 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.

- 采技术实践[C]//山东煤炭学会 2011 年工作会议暨薄煤层开采学术论坛论文,2011:81-83.
- [5] 盛国军,孙启生,宋华岭,等.薄煤层综采的综合创新技术[J].煤炭学报,2007,32(3):230-234.  
SHENG Guojun, SUN Qisheng, SONG Hualing, *et al.* The innovative mining technology of fully mechanized mining on thin coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(3): 230-234.
- [6] 张文胜,孙启生,宋华岭,等.田陈煤矿薄煤层综采与对拉工作面开采技术[J].中国矿业,2007,16(3):67-70.  
ZHANG Wensheng, SUN Qisheng, SONG Hualing, *et al.* The mining technology of fully mechanized mining, usual mining, rotation, hilt and double unit face on thin coal seam of Tianchen Mine [J]. China Mining Magazine, 2007, 16(3): 67-70.
- [7] 周伟,朱宗磊.薄煤层综采工作面转采及收尾技术研究[J].中国高新技术企业,2010(15):165-166.
- [8] 姚永,侯京壮.薄煤层综采工作面旋转调采技术研究[J].能源与节能,2011(8):10-11.  
YAO Yong, HOU Jingzhuang. Rotational adjustment mining technology research on machinery mining face of thin seam[J]. Energy and Energy Conservation, 2011(8): 10-11.
- [9] 邵文岗.沁裕煤矿薄煤层综采对拉工作面采煤工艺分析[J].山西煤炭,2014,34(6):12-13.  
SHAO Wengang. Mining technology on fully-mechanized double-unit faces of thin seams in Qinyu mine [J]. Shanxi Coal, 2014, 34(6): 12-13.
- [10] 田忠良.综采工作面过断层开采技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2015(7):165-167.  
TIAN Zhongliang. The study of mining technology of through fault in fully mechanized working face [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2015(7): 165-167.
- [11] 吴元进.潘二矿薄煤层综采工作面旋转回采技术总结[J].山东煤炭科技,2011(4):11-12.  
WU Yuanjin. The synthesis picks equipment in thin coal bed mining application [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2011(4): 11-12.
- [12] 王志营,王增,韩正展,等.深部复杂条件下综采工作面旋转调采及冲击地压与顶板管理[J].山东煤炭科技,2015(4):33-34.  
WANG Zhiying, WANG Zeng, HAN Zhengzhan, *et al.* Thin seam working face rotational adjustment mining and rock burst and roof managener under deep complex conditions [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2015, (4): 33-34.
- [13] SONG Hualing, WEN Guofeng, LI Jinke. The adjusting mining technology of combining fully mechanized with individual prop, rotating, hilt, irregular form, and double unit face on thin coal seam of Tianchen Mine [J]. Journal of Coal Science and Engineering (China), 2008, 14(1): 44-48.
- [14] 侯昌盛.极薄煤层综采连续缓沉覆岩运动规律及设备配套研究[D].青岛:山东科技大学,2012.  
and control measure of roadway deformation with fractured surrounding rock in deep mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(1): 1-7.
- [15] 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):3951-3964.  
KANG Hongpu. Study and application of complete rock bolting technology to coal roadway [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3951-3964.
- [16] 方新秋,赵俊杰,洪木银.深井破碎围岩巷道变形机理及控制研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(1):1-7.  
FANG Xinqiu, ZHAO Junjie, HONG Muye. Failure mechanism and control measure of roadway deformation with fractured surrounding rock in deep mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(1): 1-7.
- [17] 于洋,柏建彪,王襄禹,等.软岩巷道非对称变形破坏特征及稳定性控制[J].采矿与安全工程学报,2014(3):340-346.  
YU Yang, BAI Jianbiao, WANG Xiangyu, *et al.* Study on asymmetric distortion and failure characteristics and stability control of soft rock roadway [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31(3): 340-346.

(上接第 73 页)