

# 预掘回撤通道应力转移技术

周泽<sup>1</sup>, 朱川曲<sup>1\*</sup>, 王峰<sup>2</sup>, 黄友金<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 2. 冀中能源邢台矿业集团 技术部, 河北 邢台 054000)

**摘要:** 针对采动巷道支护困难, 常规支护手段无法有效控制巷道变形的问题, 提出预掘综采工作面回撤通道作为采动巷道卸压巷道的方案, 在不增加矿井工程量的前提下改变采动巷道应力环境, 并利用数值模拟软件对预掘回撤通道的卸压过程及卸压效果进行了分析。结果表明: 预掘回撤通道可以作为卸压巷, 一定程度上切断了超前支承压力向采动巷道的传递, 采动应力在回撤通道附近集中, 从而减小了采动巷道的围岩应力; 同时, 预掘回撤通道可以实现工作面的快速搬家倒面, 保证矿井正常接替。以上研究为缓解采动巷道开采扰动并实现工作面的快速搬家倒面提供了一种新思路。

**关键词:** 预掘回撤通道; 应力转移; 采动应力; 采动巷道

**中图分类号:** TD322      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-9102(2017)03-0050-06

## The Technology of Stress Transfer by Pre-Excavating Equipment

Zhou Ze<sup>1</sup>, Zhu Chuanqu<sup>1</sup>, Wang Feng<sup>2</sup>, Huang Youjin<sup>1</sup>

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
2. The Technology Department, Jizhong Energy Xingtai Mining Group Co. Ltd., Xingtai 054000, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulty of mining influenced roadway supporting and the regular support techniques cannot control the surrounding rock deformation effectively, this paper puts forward that the pre-excavation equipment remove gateway of fully mechanized coal mining face as the pressure released gateway of the mining influenced roadway, which will not add work amount to relief the stress of the mining influenced roadway. And the release effect and the relief process have been simulated and analyzed by numerical simulation software. Results show that pre-excavation equipment remove gateway can, to a certain extent, cut off abutment pressure transfer to the front mining influenced roadway, the mining stress concentrates on the equipment remove gateway, and consequently relieves the surrounding rock stress of the mining influenced roadway. Meanwhile, the pre-excavation of the equipment remove gateway can realize the quick movement of working face, and keep normal alternation of mine working face. The above researches have provided a new method for both relief of the mining stress of mining influenced roadway and realization of the quick movement of working face.

**Keywords:** pre-excavation of equipment remove gateway; stress transfer; mining stress; mining influenced roadway

在采动影响下, 巷道围岩呈现裂隙发育、变形量大以及变形持续时间长等特征<sup>[1-3]</sup>, 导致采动巷道的支护困难; 尤其是在采动巷道服务年限较长的情况下, 巷道容易受到多次采动影响, 巷道围岩破坏更加严重, 致使巷道无法正常运营, 需要进行反复维修, 不仅浪费大量的人力物力而且影响矿井的正常生产。

当巷道受到多次采动影响, 常规支护手段无法有效控制围岩变形, 必须与其它技术手段相结合以控制巷道围岩变形<sup>[4-6]</sup>。常采用的技术手段有应力转移技术<sup>[7-9]</sup>, 即通过在巷道底板或顶板中开掘巷道并进

收稿日期: 2017-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51474104); 湖南省煤矿安全开采技术重点实验室开放基金资助项目(201403)

\* 通信作者, E-mail: cqzhu@hnust.edu.cn

行松动爆破,形成卸压带,从而将巷道围岩应力转移到深部,降低巷道围岩浅表的应力,从而有效控制巷道围岩变形.卸压方法<sup>[10-12]</sup>主要包括巷道卸压法<sup>[13,14]</sup>、周边卸压和开采卸压,而无论是何种卸压方法,都需要在巷道内或巷道周围实施附加工程,在一定程度上增加了矿山工程量.

为此,考虑到综采工作面的搬家倒面需在停采线附近开掘回撤通道以撤出工作面设备,本文拟采用在工作面前方与采动巷道之间预掘回撤通道的方案,在不增加矿山工程量的情况下,通过回撤通道改变并降低采动巷道的应力环境.

### 1 工程概况

2号和3号煤层是某矿的主采煤层,其工作面的设计停采线为距前方采动巷道30m,在以往的工作面回采过程中,超前支承严重影响工作面前方运输下山、回风下山及轨道下山巷道群严重的变形失稳,多数地段需要反复扩刷,严重影响矿井的正常生产并增加了成本投入,其相对位置如图1所示.同时,工作面的搬家倒面一般是待停采后再掘进回撤通道巷,这种方法搬家倒面耗时较长.为提高矿井搬家倒面速度,同时缓解工作面前方巷道群采动应力影响强烈的问题,考虑在工作面停采线附近,工作面与前方巷道群之间预掘回撤通道,从而提高工作面搬家倒面的速度并对工作面前方采动巷道进行卸压.

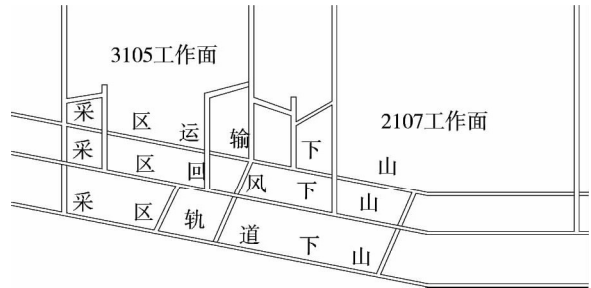


图1 工作面前方巷道群

### 2 工作面前方支承压力分析

煤体的承载能力随着远离煤体边缘而明显增长.在距煤体边缘一定宽度内,存在着煤体的承载能力与支承压力处于极限平衡状态,运用岩体的极限平衡理论,极限平衡区内支承压力可按以下公式计算:

$$\sigma_y = \frac{N_0}{\xi} e^{\frac{2fx}{m\xi}} \tag{1}$$

式中: $N_0$ 为顶板煤体自撑力, $N_0 = \tau_0 \cot \varphi$ ;  $\zeta$ 为三轴压力系数, $\zeta = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$ ;  $m$ 为煤层开采厚度; $f$ 为煤层与顶底板接触面的摩擦系数, $f = 0.5$ ;  $x$ 为煤体边缘距离; $\varphi$ 为顶板煤体的内摩擦角.

由上式可知,在极限平衡区内,超前支承压力与煤体边缘距离  $x$  呈正相关;超前支承压力亦与顶板煤体自撑力呈正相关,故对于工作面前方受超前支承压力影响的巷道,可通过强制切顶的方式来减弱受力影响,因此,若在工作面与前方采动巷道间开掘一条巷道,可以切断工作面支承压力的传递,缓解前方采动巷道的压力.

### 3 回撤通道卸压机理数值分析

#### 3.1 数值模拟方案

为了研究和分析预掘回撤通道对工作面前方采动巷道的影响,设计2种模拟方案,即分别模拟在不预掘回撤通道和预掘回撤通道的情况下,对工作面开采过程中前方采动巷道的应力环境、围岩表面变形以及塑性区进行监测和分析.煤层开采厚度模型设计为240m×80m,运输下山尺寸为5m×3m.模型图以及巷道位置如图2所示,模拟中各岩层力学参数如表1所示.

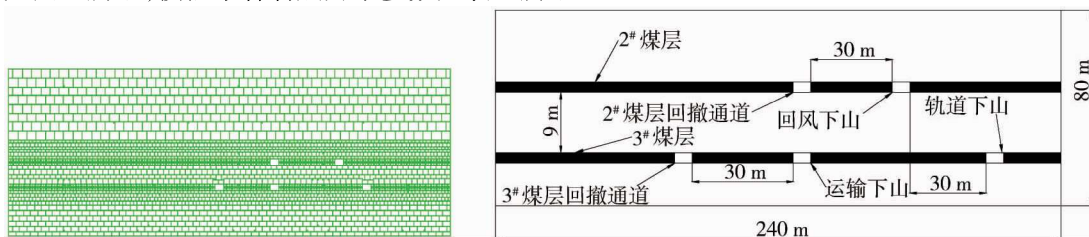


图2 模型图

表1 各模拟方案岩(煤)参数

岩层	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内摩擦角/(°)	内聚力/MPa	抗拉强度/MPa
页岩	2 440	3.88	2.91	35	6.0	3.3
泥岩	2 330	2.77	2.08	28	4.0	2.8
煤层	1 500	6.00	2.10	25	3.0	1.6

### 3.2 预掘回撤通道对前方采动巷道浅表位移影响

为考察在工作面开采过程中预掘回撤通道对工作面前方采动巷道的影 响,在工作面前方的运输下山和回风下山的巷道顶、底板及两帮中分别设置 1 个监测点.通过对比不同方案在工作面开采过程中的位 移,分析预掘回撤通道对采动巷道的影 响.各个方案运输下山和回风下山的围岩表面位移如表 2 所示.

表2 工作面前方运输下山巷道围岩表面位移

		mm			
巷道	方案	顶板下沉量	底鼓量	左帮变形	右帮变形
运输下山	未预掘回撤通道	51.2	37.3	20.0	19.60
	预掘回撤通道	54.9	40.5	16.1	17.60
回风下山	未预掘回撤通道	75.8	19.7	102.0	1.93
	预掘回撤通道	76.7	18.1	96.1	0.91

由表 2 可知:在预掘回撤通道 的情况下,工作面前方巷道围岩的底板及帮部变形都有不同程度的减 小,尤其是回风巷道的两帮变形有较大幅度的减小.说明,由于工作面与运输下山之间存在回撤通道,回撤 通道破坏了工作的开采扰动在岩层中的传播,从而减小了工作面的开采扰动对前方运输下山的影响.

### 3.3 预掘回撤通道对前方采动巷道应力分布影响

在 2 号工作面的推进过程中,采动岩层中垂直应力分布如图 3 所示.

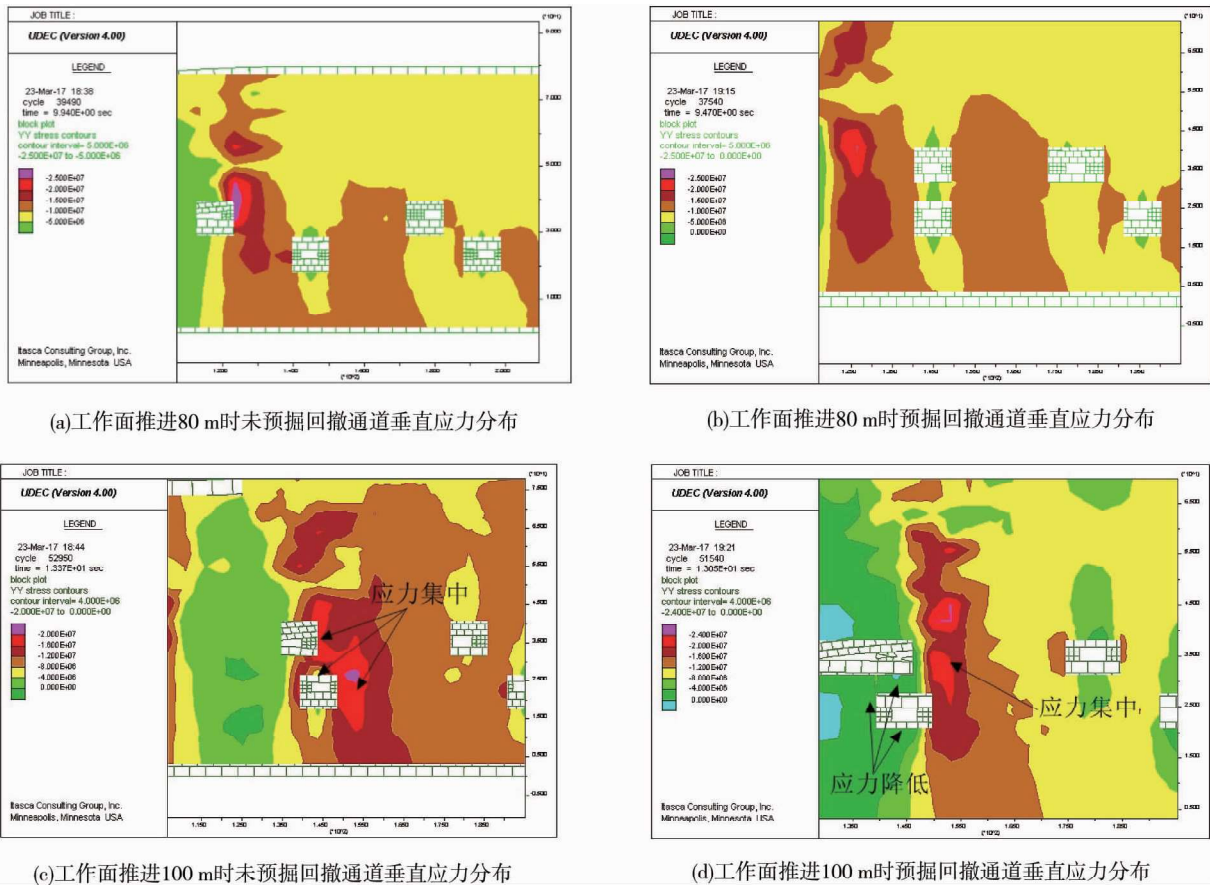


图3 采动岩层垂直应力分布

2 号煤层推进过程中垂直应力如图 3 所示.当工作面推进 60 m 时,距离工作面前方采动巷道群较远.由图 3a 和图 3b 可以看出,由于在回风下山与工作面之间存在运输下山和预掘的回撤通道,采动支撑压力向运输 巷道以及回撤通道帮部靠拢,同时,回风巷道受到运输下山以及回撤通道实体煤帮侧的支撑压力影响.

当不预掘回撤通道,工作面推进至 100 m,与运输下山较近时,运输下山的顶板以及两帮都出现了不同程度的应力集中现象,其应力集中高达 20 MPa,说明与工作面较近的运输下山受到了强烈的采动影响,如图 3c 所示。

当采用预掘回撤通道,工作面推进至 100 m,与运输下山较近时,运输下山的顶板以及工作面侧的帮部处于应力降低区.应力集中出现在其上方预掘回撤通道以及运输下山的实体煤帮处,在运输下山的实体煤帮处的应力集中为 16 MPa,如图 3d 所示.与图 3c 未预掘回撤通道相比,运输下山的应力环境有明显的改善.同时,由于应力集中出现在回撤通道处,造成回撤通道变形严重,因此,在工作面的推进过程中应当加强对回撤通道围岩变形的监测和支护。

综上所述,回撤通道的存在阻断了因煤层开采引起的超前支承压力的传播,削弱了超前支承压力对下山群巷道的影响.在工作面的推进过程中,应力集中区出现在回撤通道周围,应当对其实施合理的“锚-让”结合卸压钻孔技术,减弱和控制其围岩的变形破坏。

### 3.4 超前支承压力转移分析

#### 3.4.1 当工作面与回撤通道距离相对较远时

当回撤通道在工作面超前移动支承压力范围以外时,回撤通道不受工作面回采的影响.工作面前方煤体中的应力集中是超前支承压力作用形成的,而回撤通道巷两侧煤体深处产生的应力集中则是由巷道开挖后引起的应力重新分布所造成的.回撤通道与工作面之间还存在原岩应力区,此时,应力分布如图 4 所示。

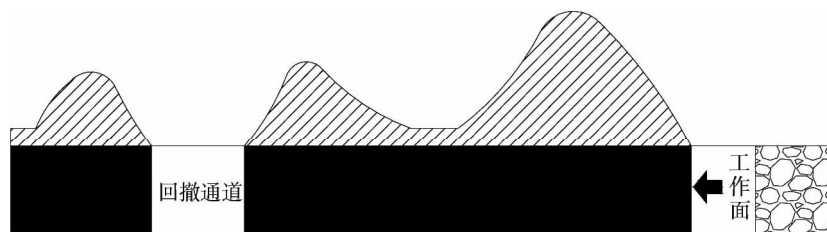


图 4 工作面距卸压巷较远时应力分布

#### 3.4.2 当工作面距离卸压巷较近时

回采工作面继续推进,工作面超前支承压力将会影响到回撤通道附近的应力分布.超前支承压力与回撤通道的应力逐步叠加、增大,工作面与回撤通道间的煤体中原岩应力区消失.随采场接近停采线,巷道实体煤帮侧的应力也会逐步增大,动压对通道的影响越来越强烈.应力分布如图 5 所示。

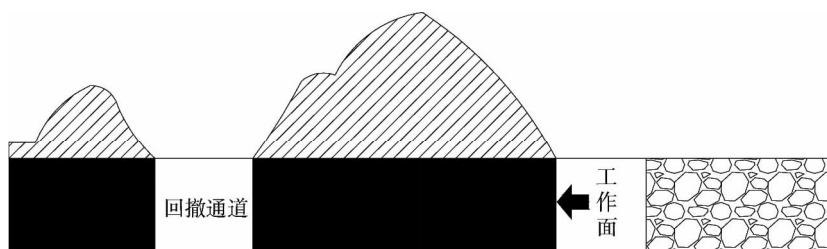


图 5 工作面与回撤通道较近时应力分布

#### 3.4.3 当工作面与卸压巷将要贯通时

随着工作面继续推进,工作面与卸压巷间的煤体所受支承压力超过煤体的极限承载能力后,煤体发生破坏,承载能力急剧下降,支承压力开始向回撤通道实体煤帮侧转移,此时通道左帮煤体应力超过右帮应力.外侧应力分布如图 6 所示。

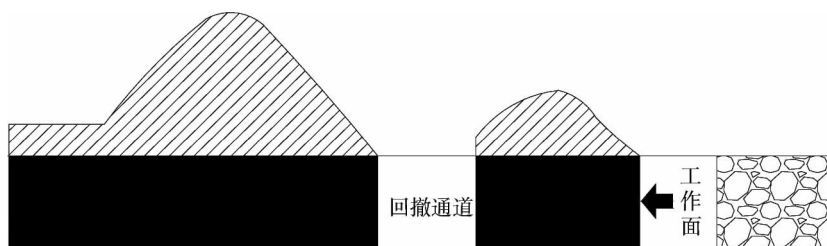


图 6 工作面与回撤通道将要贯通时应力分布

综上所述,当回采工作面进行推进时,由于预掘回撤巷的卸压作用,在一定程度上截断改变回采工作面移动超前支承压力正常的分布范围.此时,实现了下山群支承应力的转移.

### 4 工程应用

以 2 号煤层的 2109 工作面为工程对象,展开采用预掘回撤通道应力转移技术保护采动巷道,并通过现场应用实践,验证设计方案的合理性.在 2109 工作面下顺槽上帮沿停采线开口,以 270°方位角沿 2 号煤层掘进 130 m 与 2109 工作面上顺槽贯通(要求挑顶 600 mm,卧底板 400 mm)形成配巷.2109 工作面下顺槽配巷净断面:2.5 m×2.2 m.如图 7 所示.

为考察预掘的回撤巷道对工作面前方采区回风下山的应力卸载效果,在 2109 工作面下顺槽进行应力监测.煤层平面内的应力分布观测主要采用钻孔应力计,测站位于 2109 工作面下巷回采侧,位置为停采线以内 5 m 处,距一采区回风下山约 65 m;钻孔采用直径 42 mm 的钻头打孔,共布置 6 个孔,编号 1#~6#,每个测站钻孔深度分别为 3, 6,9,12,15,18 m,钻孔间隔 5 m.如图 8 所示.

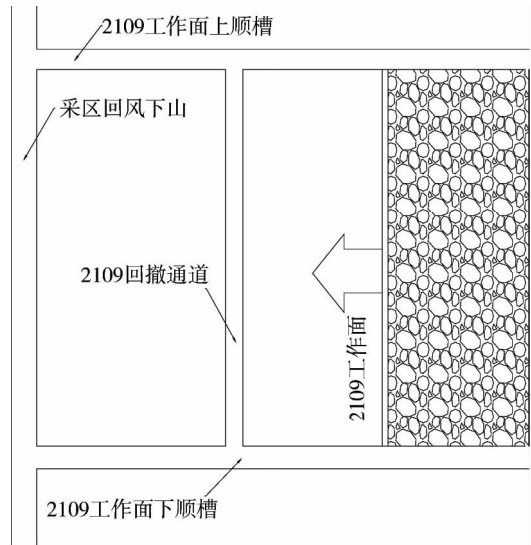
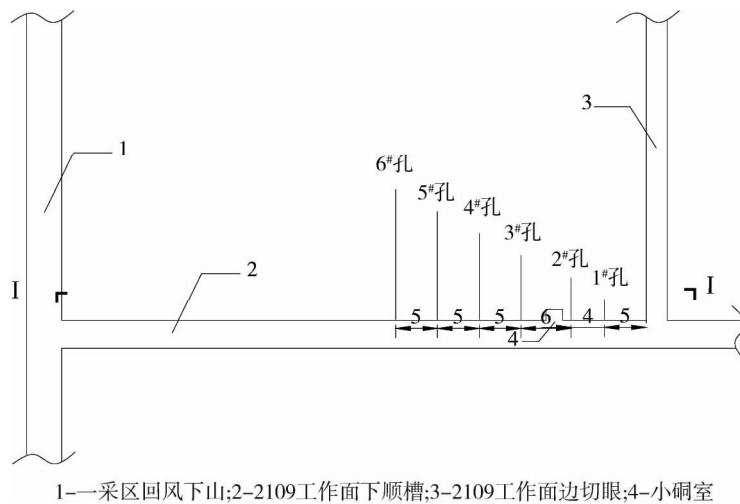


图 7 预掘回撤通道布置



1—采区回风下山;2—2109 工作面下顺槽;3—2109 工作面边切眼;4—小硐室

图 8 2109 下顺槽测站钻孔布置平面

安装深度为 3 m 和 6 m 的钻孔应力计的压力增量变化如图 9 所示.

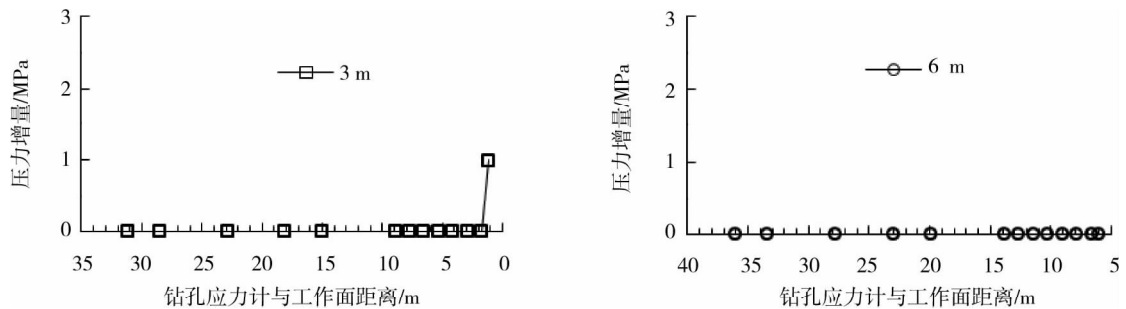


图 9 钻孔应力计压力增量变化

从图 9 中可知,在 2109 工作面距离停采线 30 m,即 3 m 深度钻孔应力计与工作面距离为 31.2 m 时,

3 m深度的钻孔应力计没有监测到压力的增量.随着工作面的继续向前推进,直到工作面推进到与钻孔应力计的距离为1.2 m时,即2109工作面到达停采线时,3 m深度的钻孔应力计监测到了值为1 MPa的应力增量.而与3 m深度钻孔应力计相邻的6 m深度的钻孔在整个全程中,均未监测到应力增量,3 m深度和6 m深度钻孔应力计水平距离为4.9 m,说明2109工作面回采引起的采动附加应力场的传播范围在2109下顺槽口仅为1.2~6.1 m.

2109下顺槽应力在线监测测站未监测到大规模的工作面超前支承压力,经分析主要有以下几方面原因:

1)2号煤层的厚度较薄,首采区2号煤厚度1.10~1.35 m,平均1.23 m,所以超前支承压力强度较小,传播范围较局限.

2)2109工作面上顺槽停采线附加揭露了大断层,导致2109工作面在停采线前方做了大幅度的调斜,仅2109工作面下端口到达设计停采线位置,上端口距离停采线距离仍超过40 m,所以2109工作面在停采线附近的采动影响范围较小.

3)2109工作面在停采线前方设计并施工了回撤通道,并且在回撤通道内进行了钻孔爆破卸压工作,切断了顶板中超前支承压力的向前传播.

## 5 结论

1)预掘回撤通道可以作为卸压巷,一定程度上切断了超前支承压力向下山巷道群的传递,使得下山群巷道的应力集中发生了转移,从而减小了下山区域的围岩应力.

2)在经受掘进和采动影响的双重作用下,回撤通道围岩破坏严重,维护困难,稳定性差.因此,对卸压巷围岩控制进行全面系统的研究,是保证工作面快速搬家和正常生产的关键所在.在回撤通道内应当实施“锚-让”结合的支护技术,保证卸压效果,实现合理卸压以保护下山巷道群.

3)运输下山受到工作面近距离重复采动的影响,变形最为剧烈,因此巷道维护最为困难,在实际生产过程中,应不断加强对运输下山的支护并严格监测其围岩的变形破坏情况.

## 参考文献:

- [1] 袁亮,薛俊华,刘泉声,等.煤矿深部岩巷围岩控制理论与支护技术[J].煤炭学报,2011(4):535-543.
- [2] 柏建彪,侯朝炯.深部巷道围岩控制原理与应用研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(2):145-148.
- [3] 吴建亭.深部巷道变形、破坏过程及其稳定控制技术研究[J].矿业安全与环保,2011,38(4):38-41.
- [4] 李学华,万志军,朱传章,等.药壶爆破锚注法治理巷道底鼓的参数研究[J].矿山压力与顶板管理,1999,16(3):170-172.
- [5] 何富连,邹喜正,瞿群迪,等.采动软岩巷道卸压工程的设计与实践[J].矿山压力与顶板管理,2002,19(1):40-42.
- [6] 何富连,陈见余,邹喜正.综放沿空巷道围岩卸压控制研究[J].煤炭学报,2000,25(6):589-592.
- [7] 王御宇,李学锋,李向东.深部高应力区卸压开采研究[J].矿冶工程,2005,25(4):4-7.
- [8] 王襄禹,柏建彪,胡忠超.基于变形压力分析的有控卸压机理研究[J].中国矿业大学学报,2010,39(3):313-317.
- [9] Exadaktylos G E, Stavropoulou M C. A closed-form elastic solution for stresses and displacements around tunnels[J]. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 2002,39(7):905-916.
- [10] Sonmez H, Gokceoglu C, Ulusay R. Indirect determination of the modulus of deformation of rock masses based on the GSI system[J]. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 2004,41(5):849-857.
- [11] 赵祉君,张同森.顶部卸压技术卸压参数确定及应用[J].矿山压力与顶板管理,2005,22(2):66-67.
- [12] 何荣兴,任风玉,丁航行,等.巷道卸压法应力迁变规律及卸压参数的确定[J].东北大学学报(自然科学版),2015,36(10):1457-1460.
- [13] 张伟杰,兰思栋.高应力下卸压巷道围岩破坏机理及卸压过程数值分析[J].矿冶工程,2014,34(4):34-38.
- [14] 郑西贵,李学华,赵立新,等.巷外掘巷保护巷道的应力转移技术[J].矿山压力与顶板管理,2005,22(4):46-50.