

文章编号: 1673-3363-(2014)04-0580-07

# 深井大采高工作面沿空掘巷窄煤柱宽度研究

冯吉成, 马念杰, 赵志强, 张浩, 余子明

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

**摘要** 为解决深井大采高工作面留设大煤柱导致回收率低的难题, 运用理论计算、数值分析及现场工程实测的方法, 研究了深井大采高工作面开采条件下不同煤柱宽度时煤柱两侧塑性区分布和采掘扰动对巷道变形的影响, 得到窄煤柱的合理尺寸。结果表明: 确定合理煤柱尺寸时应充分考虑煤柱自身稳定性和采掘影响下巷道围岩变形量; 掘进期间沿空掘 5~6 m 宽煤柱时破碎严重, 煤柱宽度至少 7 m 才能达到自身稳定要求, 而回采期间煤柱宽度至少需 8 m, 此时巷道围岩变形量相对较小, 综合确定煤柱宽度 8 m 为最优方案。现场监测表明: 11030 工作面进风平巷两帮最大变形量为 1 210 mm, 顶底板最大变形量为 620 mm, 能够满足安全生产要求。

**关键词** 深井; 大采高; 沿空掘巷; 窄煤柱; 塑性区; 数值模拟

**中图分类号** TD 353

**文献标志码** A

## Width of narrow coal pillar of roadway driving along goaf at large height mining face in deep mine

FENG Jicheng, MA Nianjie, ZHAO Zhiqiang, ZHANG Hao, YU Ziming

(Faculty of Resource & Safety Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract** In order to solve the problem of low recovery of wide coal pillar at large height mining face in deep mine, the effect of plastic area distributions of the two sides of coal pillar and driving disturbance on the roadway deformation under conditions of different width of narrow coal pillar when mining at large height mining face in deep mine have been studied by theoretical calculation, numerical analysis and site engineering measurement. Thus the reasonable width of narrow coal pillar is determined. The results show that the stability of coal pillar and the deformation of roadway surrounding rock affected by driving should be taken into consideration to determine the reasonable width of coal pillar. The coal pillar is seriously crushed when its width of roadway driving along goaf is 5 to 6 m while driving, but it can achieve stability when its width is not less than 7 m. The width needs no less than 8 m while mining, and consequently the deformation of floor and coal pillar is less severe. So it is the optimal decision when the width of coal pillar is 8 m. field monitoring indicates that, the maximum deformation of the two sides of intake airflow roadway in 11030 workface is 1 210 mm, and that of roof and floor is 620 mm, which can meet the requirements of safety production.

**Key words** deep mine; large mining height; roadway driving along goaf; narrow coal pillar; plastic zone; numerical simulation

收稿日期: 2013-09-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51234005, 51204187)

作者简介: 冯吉成(1985—), 男, 黑龙江省牡丹江市人, 博士生, 从事巷道围岩控制方面的研究。

E-mail: 389832929@qq.com

Tel: 15210567563

近年,国内外学者对窄煤柱护巷合理尺寸进行了深入的研究<sup>[1-4]</sup>。柏建彪等<sup>[5-6]</sup>研究了综采工作面沿空掘巷窄煤柱的合理宽度。王家臣等<sup>[7]</sup>将研究深入至厚煤层综放开采窄煤柱沿空掘巷煤柱的留设。李学华<sup>[8]</sup>、马其华<sup>[9]</sup>、郑西贵<sup>[10]</sup>等对小煤柱的应力分布及其巷道控制理论进行了系统的研究。司鑫炎<sup>[11]</sup>、姜鹏飞<sup>[12]</sup>、吴士良等<sup>[13-17]</sup>根据不同地质条件分别采用现场实测、理论计算和数值计算等方法对窄煤柱合理宽度进行了研究。但以往研究大多都以理论分析为主导,且适用于较小采高开采条件下窄煤柱(1~6 m)合理尺寸的计算,对深井大采高开采条件下窄煤柱的合理尺寸鲜有研究。赵固二矿留设 30 m 煤柱护巷,过大的煤柱造成煤炭资源严重损失,较宽的区段煤柱在工作面回采后形成应力集中,影响邻近区段的开采和底板巷道的稳定性。

本文在理论计算的基础上,应用数值模拟分析及现场工程实测的方法对深井大采高工作面沿空掘巷合理窄煤柱宽度进行了综合分析研究,并将研究成果应用在赵固二矿 11030 工作面中,达到了安全高效开采的目的。

## 1 工程概况

赵固二矿位于太行山南麓、焦作煤田东部,主采煤为二<sub>1</sub>煤,埋深约 700 m,平均厚度 6 m 左右。煤层结构比较简单,煤质变化很小,煤类单一,层位稳定,全区可采。煤质为低中灰、特低硫、低磷、一级含砷、较高软化温度、较高热稳定性、高强度、弱结渣性、易选~较难选的无烟煤。

二<sub>1</sub>煤层直接顶板厚度约 0~8 m,以砂质泥岩顶板为主;基本顶为厚度平均约 6 m 的砂岩;底板以砂质泥岩为主。

已回采完的 11010 工作面采用分层走向长壁综合机械化采煤工艺,11030 工作面拟采用大采高一次采全高采煤工艺,目前正在回采的 11050 工作面采用大采高一次采全高采煤法。

在 11010 工作面采完稳定后,拟在 11030 工作面内采用大采高窄煤柱沿空掘巷技术。该工作面突水系数为 0.09 MPa/m,小于突水临界值;绝对瓦斯涌出量为 8 m<sup>3</sup>/min,相对瓦斯涌出量为 1.6 m<sup>3</sup>/t,无煤与瓦斯突出危险;煤尘无爆炸性,不易自燃;无热害、地温正常。

11010, 11030 和 11050 工作面布置如图 1。

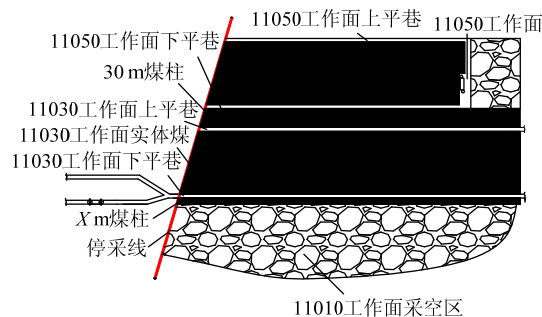


图1 工作面巷道布置平面图

Fig.1 Planar graph of roadway layout on working face

## 2 窄煤柱合理宽度设计

### 2.1 采空区侧煤柱塑性区分析

#### 2.1.1 基本顶断裂位置理论计算

大采高沿空掘巷拟沿煤层顶板掘进,根据矿山压力与岩层控制理论<sup>[1]</sup>的铰接梁结构原理(如图 2),其上覆岩体通过巷道顶板与巷道发生作用,直接顶垮落后,基本顶在煤体侧的断裂线深入煤壁内,破断形成弧形三角块 B 后,以煤体之上的断裂线为轴,向下旋转、下沉,直至在采空侧形成图 2 中的铰接结构。该结构的稳定性与基本顶岩层的断裂位置密切相关,断裂线位置通过影响下方煤柱的应力和变形,进而影响沿空巷道的稳定性。

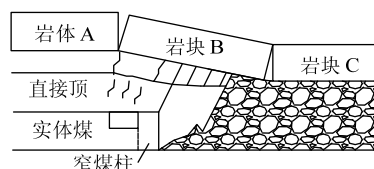


图2 大采高沿空掘巷窄煤柱上覆岩体的断裂图

Fig.2 Overlying rock fracture of narrow coal pillar of roadway driving along goaf at large mining height

研究认为,工作面回采后,采空侧基本顶破断位置位于煤体弹塑性交接处<sup>[1]</sup>。对于中厚煤层煤体弹塑性应力区分布建立其相对应计算力学模型如图 3 所示。应力极限平衡区宽度即断裂位置距上区段采空侧煤壁距离  $X_0$  的计算如式(1)<sup>[3]</sup>所示。

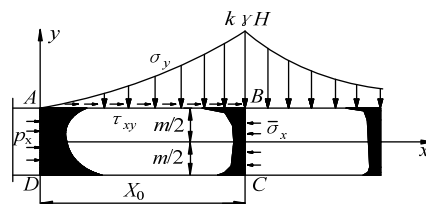


图3 煤层界面应力计算简图

Fig.3 Calculation diagram of coal seam interface stress

$$X_0 = \frac{mA}{2 \tan \varphi_0} \ln \left[ \frac{K\gamma H + \frac{C_0}{\tan \varphi_0}}{\frac{C_0}{\tan \varphi_0} + \frac{p_x}{A}} \right] \quad (1)$$

式中： $m$  为工作面采高， $m$ ； $A$  为侧压系数； $\varphi_0$  为煤体内摩擦角， $(^\circ)$ ； $C_0$  为煤体黏聚力， $\text{MPa}$ ； $K$  为应力集中系数； $\gamma$  为上覆岩层平均体积力， $\text{kN/m}^3$ ； $H$  为巷道埋深， $m$ ； $p_x$  为上区段工作面巷道煤帮的支护阻力， $\text{MPa}$ ； $\mu$  为泊松比。

由式(1)可得，采空区侧煤柱塑性区边界即侧向基本顶断裂位置主要受煤层厚度、开采深度、煤层界面力学性质和应力集中系数等因素影响。据赵固二矿实际工程条件，11010 工作面采用分层开采，

上分层采高  $m=3\text{ m}$ ，应力集中系数  $K=2.5$ ，巷道埋深  $H=700\text{ m}$ ，测压系数  $A=\mu/(1-\mu)=0.56$ ， $\gamma H=17.5\text{ MPa}$ ，巷帮支护阻力  $p_x=0.2\text{ MPa}$ ，通过在赵固二矿取芯进行煤体物理力学实验得到  $\varphi_0=29^\circ$ ， $C_0=2\text{ MPa}$ ，得出侧向基本顶的断裂位置  $X_0=3.94\text{ m}$ 。

2.1.2 基本顶断裂位置数值模拟分析

根据 11010 工作面的地质情况，应用  $\text{FLAC}^{3\text{D}}$  模拟软件，模型采用摩尔-库仑准则，模型的长度 $\times$ 宽度 $\times$ 高度为  $400\text{ m}\times50\text{ m}\times60\text{ m}$ 。模型上表面施加均匀的垂直应力  $H\gamma=672\text{ m}\times25\text{ kN/m}^3=16.8\text{ MPa}$ ，模型下表面垂直位移固定。数值模拟采用的实际煤层巷道顶底板力学参数见表 1。

表 1 巷道顶底板的层位特征及力学参数

Table 1 Strata characteristics and mechanical parameters of roof and floor of roadway

类别	煤岩名称	视密度/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	抗拉强度/MPa	内摩擦角/( $^\circ$ )	黏聚力/MPa
上位基本顶	砂质泥岩	2 600	2.92	1.35	1.5	32	5
	细粒砂岩	2 700	3.33	2.00	2.5	35	8
基本顶	砂岩	2 800	3.57	2.46	4.0	38	10
直接顶	砂质泥岩	2 600	2.92	1.35	1.5	32	5
煤层	二 <sub>1</sub> 煤层	1 500	1.27	0.49	1.0	29	2
直接底	砂质泥岩	2 600	2.92	1.35	1.5	32	5
基本底	灰岩	2 900	3.81	3.48	5.5	40	15
	砂质泥岩	2 600	2.92	1.35	1.5	32	5

11010 工作面回采结束后，分析采煤工作面边缘煤体垂直应力分布特征，如图 4 所示。

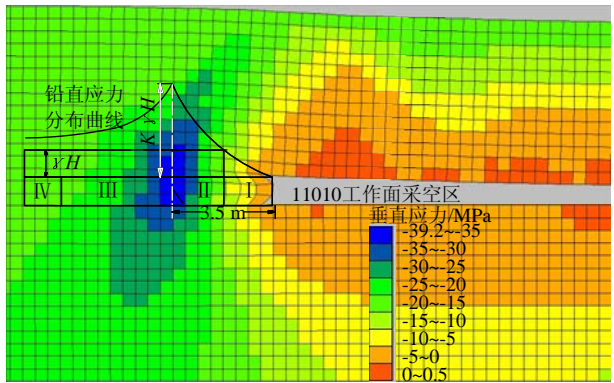


图 4 边缘煤体垂直应力分布特征图

Fig.4 Characteristics of vertical stress distribution of edge coal

由图 4 可知：11010 工作面开采结束后，煤体破裂区(图中 I 区)在距离工作面煤壁的 1.5  $m$  范围内，应力受采动影响变得很小，范围在 5~15  $\text{MPa}$  之间，小于原岩应力 17.5  $\text{MPa}$ ；煤体塑性区(图中 II 区)在距离工作面煤壁的 1.5~3.5  $m$  范围内，应力

逐渐升高，应力范围在 17.5~39.2  $\text{MPa}$  之间；煤体弹性区(图中 III 区)在距离工作面煤壁的 3.5~8.5  $m$  范围内，应力逐渐减小，应力范围在 17.5~39.2  $\text{MPa}$ ，最大应力位置在 3.5  $m$  处，应力值为 39.2  $\text{MPa}$ ；在 8.5  $m$  以外的范围是煤体原始应力区(图中 IV 区)，应力值逐渐接近原岩应力。

模拟所得的最大垂直应力处位置距离工作面煤壁 3.5  $m$ ，与基本顶断裂位置理论计算值  $X_0=3.94\text{ m}$  基本吻合，表明基本顶断裂位置基本处在工作面煤壁垂直应力最大处。

2.2 巷道侧煤柱塑性区分析

为研究巷道煤帮帮破碎范围，依据现场实际工程地质条件，选取地质条件相同 11050 工作面下平巷作为试验巷道。11050 下平巷与 11030 工作面有 30  $m$  煤柱护巷。在 11050 下平巷掘巷扰动期间滞后迎头 20  $m$  进行松动圈的测试，分别选取 5 个断面的左右帮共 10 个测站进行实测，测站布置如图 5。

观测并处理后的 11050 下平巷掘巷扰动期间松动圈测试结果见表 2。

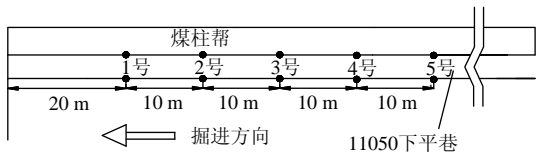


图 5 松动圈测站布置

Fig.5 Layout of test station of loose circle

表 2 11050 下平巷掘巷扰动期间松动圈测试结果

Table 2 Test results of loose circle during disturbance in 11050 crossheading roadway

滞后迎头距离/m	松动圈大小/m	
	煤壁帮	煤柱帮
20	2.0	2.2
30	2.2	2.4
40	2.3	2.6
50	2.3	2.5
60	2.2	2.6

受掘巷期间扰动影响，11050 下平巷滞后迎头 20~60 m 范围内，煤柱帮的松动圈大于煤壁帮，煤壁帮松动圈范围在 2.0~2.3 m 之间，煤柱帮松动圈范围在 2.2~2.6 m 之间。留设沿空掘巷煤柱需考虑煤柱两边的塑性破坏。根据采空区侧煤柱塑性区分析，深井大采高工作面采空区侧煤柱塑性区破坏约 4 m；根据巷道侧煤柱塑性区分析，深井大采高工作面巷道侧煤柱塑性区最大破坏约 2.6 m；因此，煤柱塑性区破碎总范围约为 6.6 m。

2.3 煤柱及沿空掘巷稳定性分析

2.3.1 煤柱宽度理论计算

根据沿空掘巷围岩控制理论<sup>[5]</sup>，为减小围岩移近量，保证巷道稳定并减少煤炭损失，煤柱宽度应尽可能小一些；但若煤柱过窄，则开掘巷道后煤柱易于迅速变形破裂而使锚杆安设在破碎围岩中，锚杆的支护作用降低。合理的护巷煤柱宽度  $Z$  应满足按图 6 计算的煤柱宽度。

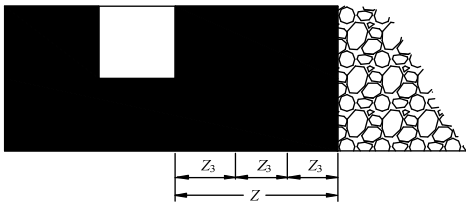


图 6 合理煤柱宽度计算示意图

Fig.6 Schematic diagram of calculation of rational width of coal pillar

$$Z=Z_1+Z_2+Z_3 \quad (2)$$

式中： $Z$  为煤柱尺寸，m； $Z_1$  为 11010 工作面开采

后在采空侧煤体中产生的塑性区宽度，3.94 m； $Z_2$  为考虑煤层厚度较大而增加的煤柱稳定系数，按  $(Z_1+Z_3) \times (20\% \sim 40\%)$  计算； $Z_3$  为锚杆有效长度，取 2.3 m。经计算得到煤柱合理宽度  $Z$  为 7.49~8.74 m。

2.3.2 数值模拟计算

11030 工作面下平巷是沿煤层顶板掘进，宽×高为 4.8 m×3.3 m；顶板和帮部锚杆尺寸为  $\Phi 20$  mm×L2400 mm，顶部锚杆间排距为 800 mm×900 mm，帮部锚杆间排距为 900 mm×900 mm；顶板锚索尺寸为  $\Phi 21.6$  mm×L8250 mm，间排距为 1300 mm×900 mm；采用树脂药卷端头锚固。

根据赵固二矿生产地质条件，模拟煤柱尺寸分别为 5，6，7，8，9，10，15，20 m 等 8 种情况下，沿空掘巷期间和回采期间煤柱应力分布规律和巷道围岩位移分布规律。

模拟过程分为 4 步：第 1 步，原岩应力平衡计算；第 2 步，上区段 11010 工作面采动影响计算；第 3 步，本区段沿空掘巷掘进及锚杆支护计算；第 4 步，本区段 11030 工作面采动影响计算。

1) 不同煤柱尺寸应力分布规律

模拟掘巷和回采期间不同煤柱尺寸下煤柱应力分布规律如图 7 所示。

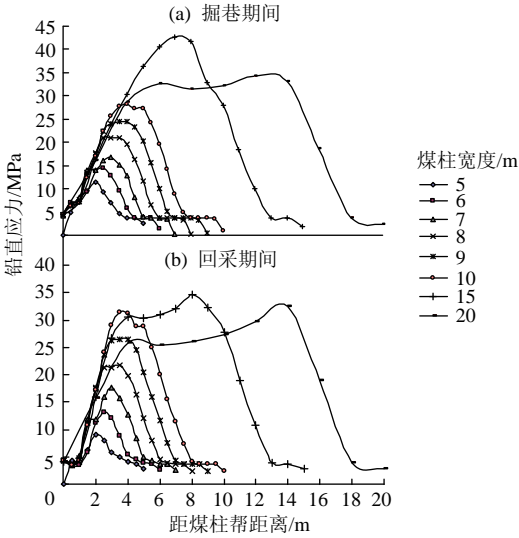


图 7 不同煤柱尺寸铅直应力曲线图

Fig.7 Vertical stress curves of different sizes of coal pillars

由图 7a 可知：

① 当煤柱宽度为 5~10 m 时，煤柱中应力呈单峰值抛物线分布，峰值位置不在煤柱中心，而是偏向煤柱靠巷道一侧，偏离距离约为 0.5 m；当煤柱变宽，如 15~20 m 时，煤柱中应力逐渐呈梯形分布，峰值位置逐渐从靠巷道一侧转移到靠采空区一侧，



偏离距离随煤柱宽度增加而增大, 20 m 煤柱时偏离距离约为 4 m。

② 当煤柱宽度较小, 如 5~6 m 时, 煤柱受上区段工作面回采和掘巷扰动影响严重破碎卸载, 煤柱中的垂直应力均小于原岩应力; 当煤柱变宽时, 煤柱承载能力随煤柱中心区域垂直应力增大而增强, 应力值高于原岩应力。

③ 当煤柱宽度为 7~20 m 时, 巷道侧与采空区侧塑性区破坏范围不随煤柱宽度变化而改变, 各煤柱宽度方向垂直应力低于原岩应力最大范围为 6.5 m, 其中巷道侧煤柱塑性区约为 2.5 m, 采空区侧煤柱塑性区约为 4 m, 与上述研究基本吻合。

因此, 为保证煤柱自身稳定, 掘巷期间初次扰动下留设的沿空掘巷煤柱尺寸不能低于 7 m。

由图 7b 可知:

① 与掘巷相比, 当煤柱宽度为 5~6 m 时, 由于煤体破碎但本身有一定残余强度, 应力集中程度小幅度升高, 但煤柱中的垂直应力均小于原岩应力; 当煤柱宽度为 7~10 m 时, 受掘进和超前采动影响, 煤柱进一步破碎卸压, 应力集中程度降低, 其中 7 m 煤柱中的垂直应力也逐渐均小于原岩应力; 当煤柱变宽时, 应力集中程度升高, 见表 3。

② 与掘巷相比, 巷道侧塑性区应力集中程度小幅度升高, 采空区侧塑性区应力集中程度大幅度降低; 其原因在于侧向基本顶在采空区边缘已发生断裂, 加上二次回采影响, 煤体上的顶板继续弯曲下沉, 支承压力向煤体深部转移, 采空区侧边缘煤体破碎程度加剧, 巷道侧煤体由于有实体煤帮共同支撑, 破碎范围和影响程度较采空区侧煤体小。

表 3 掘进和回采期间不同煤柱尺寸垂直应力峰值

Table 3 Peak of vertical stress of different sizes of coal pillars during tunneling and mining

煤柱宽度/m	掘巷稳定后垂直应力峰值/MPa	超前采动压力影响下垂直应力峰值/MPa
5	8.95	11.48
6	13.02	14.35
7	17.68	16.73
8	21.65	20.87
9	26.52	24.43
10	31.25	28.13
15	34.52	42.77
20	29.71	34.28

## 2) 不同煤柱尺寸巷道围岩位移分布规律

模拟掘巷和回采期间不同煤柱尺寸下巷道围

岩变形规律如图 8 所示。

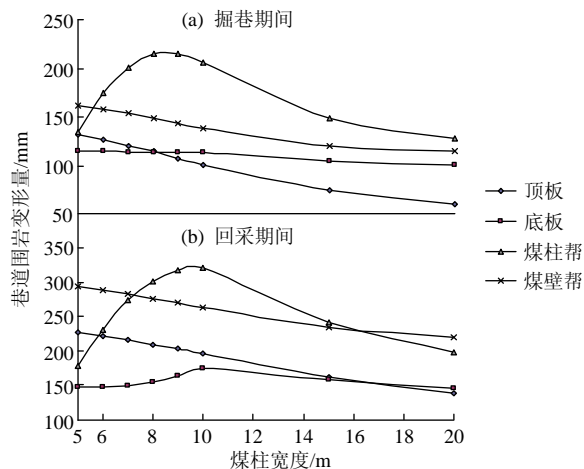


图 8 不同尺寸煤柱巷道围岩变形曲线图

Fig.8 Roadway deformation curves of different sizes of coal pillars

由图 8 可知:

① 无论掘进期间还是回采期间, 巷道顶板下沉量和煤壁帮变形量基本上都随煤柱宽度增加逐渐减小, 且两帮移近量都大于顶底板变形量; 当煤柱宽度为 5~10 m 时, 煤柱帮变形量和底鼓量随煤柱宽度增加而增大, 而当煤柱变宽时, 煤柱帮变形量和底鼓量随之下降。

② 从巷道围岩总体变形量看, 7 m 煤柱优于 8~10 m 煤柱, 但从煤柱自身稳定程度上看, 7 m 煤柱受二次回采影响, 煤柱进一步破碎卸压, 应力集中程度降低, 煤柱中的垂直应力均低于原岩应力; 当煤柱宽度为 8 m 时, 能够保证其自身稳定, 且从减小煤炭损失看, 8 m 煤柱也优于 9 m 和 10 m 煤柱。

因此, 赵固二矿大采高工作面沿空掘巷窄煤柱的合理宽度为 8.0 m。

## 3 工程实践

11030 工作面下平巷为进风平巷, 沿煤层顶板掘进, 只布置设备列车, 皮带则布置在上平巷。采用综掘综支工艺, 瓦斯涌出量 0.17~0.6 m<sup>3</sup>/min, 无煤与瓦斯突出危险, 单进水平约为 17 m。巷道支护断面图如图 9。

掘进阶段在构造附近、局部变形较大的断面布置表面位移观测站, 围岩变形量如图 10 a 所示。可以看出: 巷道掘进后 10 d 范围内围岩变形较剧烈, 35 d 后趋于稳定, 巷道两帮移近量为 440 mm, 顶底板移近量为 235 mm。回采阶段的观测结果如图 10 b 所示, 可以看出工作面前方 5~200 m 沿空巷道

围岩的变形情况,在工作面前方5 m处巷道两帮累计变形量为1 210 mm,顶底板累计变形量为620 mm。8 m煤柱条件下巷道在掘进和回采期间的变形量均能够满足矿井正常生产要求。

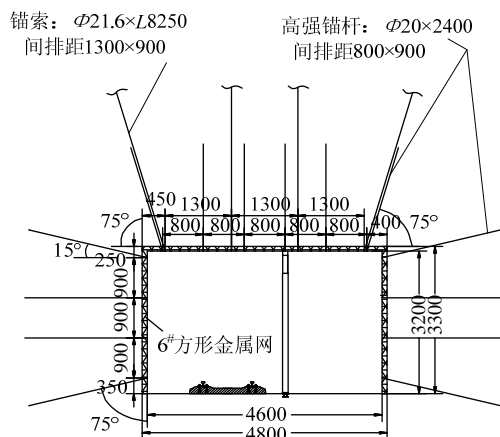


图9 巷道支护断面图 (mm)

Fig.9 Cross section of roadway support

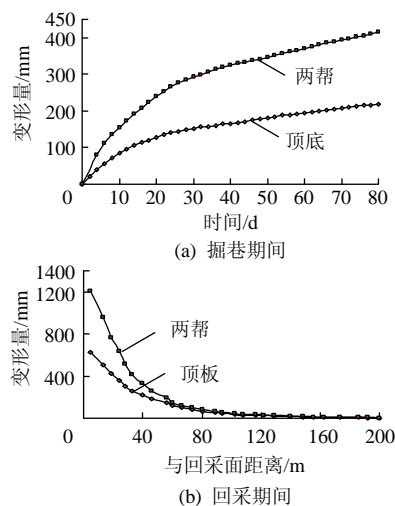


图10 沿空掘巷围岩变形图

Fig.10 Rock deformation of roadway driving along goaf

## 4 结 论

1) 大采高深井开采条件下沿空掘巷煤柱尺寸的留设需考虑巷道塑性破坏范围、侧向顶板岩层破坏位置的影响。经计算、模拟可得11030工作面采空区侧煤柱塑性区宽度可达4 m,巷道侧煤柱塑性区宽度可达2.6 m,受初次扰动影响的沿空掘巷煤柱宽度不能低于7 m。

2) 确定合理煤柱尺寸时除应充分考虑煤柱自身稳定性外,还应考虑采掘影响下巷道围岩变形量。回采期间沿空掘巷煤柱宽度至少需8 m能达到自身稳定要求,此时巷道围岩变形量相对较小。

3) 通过理论计算和数值模拟研究得出,受二次采动影响的沿空掘巷合理护巷煤柱宽度为8 m。赵固二矿现场监测表明:留设8 m的沿空掘巷煤柱,能够保证巷道变形量,满足矿井正常生产的要求,并减少了煤炭资源的损失,提高了矿井经济效益。

## 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: 218-226.
- [2] 陈炎光,陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994: 118-123.
- [3] 侯朝炯,李学华. 综放沿空掘巷围岩大、小结构的稳定性原理[J]. 煤炭学报, 2001, 26(1): 1-7.  
HOU Chaojiong, LI Xuehua. Stability principle of big and small structures of rock surrounding roadway driven along goaf in fully mechanized top coal caving face[J]. Journal of Coal Society, 2001, 26 (1): 1-7.
- [4] 马念杰,侯朝炯. 采准巷道矿压理论及应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995: 59-71.
- [5] 柏建彪. 沿空掘巷围岩控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006: 13-62.
- [6] 柏建彪,侯朝炯,黄汉富. 沿空掘巷窄煤柱稳定性数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(20): 3475-3479.  
BAI Jianbiao, HOU Chaojiong, HUANG Hanfu. Numerical simulation study on stability of narrow coal pillar of roadway driving along goaf[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(20): 3475-3479.
- [7] 贾双春,王家臣,朱建明,等. 厚煤层窄煤柱沿空掘巷中煤柱极限核区计算[J]. 中国矿业, 2011, 20(12): 81-84.  
JIA Shuangchun, WANG Jiachen, ZHU Jianming, et al. Calculating of the elastic central zone of narrow coal pillar along goaf of coal caving in the thick coal seam[J]. China Mining Magazine, 2011, 20(12): 81-84.
- [8] 李学华,姚强岭,丁效雷. 窄煤柱沿空掘巷围岩稳定原理与技术[J]. 煤矿支护, 2008(2): 1-9.  
LI Xuehua, YAO Qiangling, DING Xiaolei. Stability principle and technology of narrow coal pillar surrounding rock of roadway driving along goaf[J]. Mining Support, 2008(2): 1-9.
- [9] 马其华,王宜泰. 深井沿空巷道小煤柱护巷机理及支护技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 520-523.  
MA Qihua, WANG Yitai. Mechanism of narrow pillar protecting roadway and support technology of gob-side entry in deep mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26 (4): 520-523.
- [10] 郑西贵,姚志刚,张农. 掘采全过程沿空掘巷小煤柱应力分布研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4):

- 459-465.
- ZHENG Xigui, YAO Zhigang, ZHANG Nong. Stress distribution of coal pillar with gob-side entry driving in the process of excavation & mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(4): 459-465.
- [11] 司鑫炎, 王文庆, 邵文岗. 沿空双巷合理煤柱宽度的数值模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 215-219.
- SI Xinyan, WANG Wenqing, SHAO Wengang. Numerical research on reasonable width of coal pillar in the double gob-side entries[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 215-219.
- [12] 姜鹏飞, 康红普, 张剑, 等. 近距煤层群开采在不同宽度煤柱中的传力机制[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(3): 345-349.
- JIANG Pengfei, KANG Hongpu, ZHANG Jian, et al. Mechanism of load-transfer between coal pillars with different widths in mining the short-range seams[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28 (3): 345-349.
- [13] 吴士良, 安伯超, 程元祥. 深井沿空巷道合理小煤柱尺寸的确定[J]. 煤矿开采, 2006, 11(2): 54-56.
- WU Shiliang, AN Bochao, CHENG Yuanxiang. Confirmation of reasonable pillar dimension of roadway along gob in deep mine[J]. Coal Mining Technology, 2006, 11(2): 54-56.
- [14] 张仰强, 程波, 季卫宾. 基于地应力测量的综放沿空巷道合理护巷煤柱尺寸的设计研究[J]. 煤炭工程, 2012(12): 4-6.
- ZHANG Yangqiang, CHENG Bo, JI Weibin. Design on reasonable pillar size of fully mechanized caving roadway based on ground stress measurement[J]. Coal Engineering, 2012(12): 4-6.
- [15] 杨吉平. 沿空掘巷合理窄煤柱宽度确定与围岩控制技术[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 39-43.
- YANG Jiping. Rational width of narrow coal pillar and control technology of surrounding strata at roadway driven along goaf[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2013, 32(1): 39-43.
- [16] 王晨辉, 汪苗盛. 孤岛工作面沿空掘巷合理窄煤柱宽度模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2013, 32(6): 735-740.
- WANG Chenhui, WANG Miaosheng. Simulation on reasonable width of narrow coal pillar on gob-side entry at island coal face[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2013, 32(6): 735-740.
- [17] 周华龙, 李开学, 田卫东, 等. 数值模拟确定沿空掘巷合理煤柱宽度[J]. 煤炭开采, 2012, 15(1): 23-25.
- ZHOU Hualong, LI Kaixue, TIAN Weidong, et al. Numerical simulation of rational width of coal pillar for roadway driven along gob[J]. Coal Mining Technology, 2012, 15(1): 23-25.

## 第七届国际矿业科学与技术大会征稿启事

### 1 论文征集

由中国矿业大学主办的“第七届国际矿业科学与技术大会”将于 2015 年 4 月 26—29 日在江苏省徐州市中国矿业大学召开, 现已开始征集论文。欢迎国内外采矿科学与技术领域的专家、学者踊跃投稿。本次大会以“现代矿山的生态、安全与可持续发展”为主题, 探讨、交流矿业科学与技术领域的最新研究进展、面临的机遇和挑战以及该领域的发展前景。

### 2 大会主要议题

- (1) 绿色开采与生态矿山(含能源战略)
- (2) 矿山安全与职业健康
- (3) 矿山力学与行为控制
- (4) 煤炭洁净化与低碳利用
- (5) 矿山智能化开采设备与技术
- (6) 矿产资源与新型能源开发

### 3 论文摘要具体要求

论文作者需提交一篇 300 字左右的信息型英文论文摘要(包括目的、方法、内容、结果和结论), 通过大会专门网站以 Microsoft Word 附件形式在线提交。

### 4 大会网站

有关大会的最新消息将及时在大会网站(<http://icmst2015.cumt.edu.cn>)上发布, 大会征文摘要模板等可在该网站下载。

### 5 论文摘要投稿截止时间 2014 年 8 月 31 日

### 6 大会工作语言

大会工作语言为英语, 论文撰写及报告均须使用英语。

第七届国际矿业科学与技术大会秘书处  
2014 年 4 月 10 日