

DOI: 10.13347/j.cnki.mkaq.2017.08.061

# 迎采掘进巷道合理煤柱宽度确定

康继忠<sup>1</sup>, 孙毅<sup>1</sup>, 杨建雄<sup>1</sup>, 神文龙<sup>1</sup>, 赵强<sup>2</sup>

(1.中国矿业大学, 江苏 徐州 221116; 2.中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

**摘要:**针对东易煤矿4102工作面回风巷道迎4101回采工作面掘进带来的巷道布置难题,综合数值模拟、理论计算等方法,对距4101工作面不同距离处的侧向支承应力分布、顶板挠度分布和不同宽度煤柱内部塑性区分布进行了分析。结果显示,支承应力和挠度值呈“驼峰状”分布;当巷道布置在挠度峰值内侧时,煤柱内部仍有弹性稳定区,保证了煤柱稳定性和承载能力,结合东易煤矿实际生产条件,最终确定了东易煤矿4102回风平巷的护巷窄煤柱宽度为7 m。

**关键词:**迎采掘巷;窄煤柱;数值模拟;理论计算;顶板挠度;煤柱宽度

中图分类号:TD322

文献标志码:A

文章编号:1003-496X(2017)08-0223-04

## Determining Reasonable Pillar Width of Roadway Driven Heading for Adjacent Advancing Coal Face

KANG Jizhong<sup>1</sup>, SUN Yi<sup>1</sup>, YANG Jianxiong<sup>1</sup>, SHEN Wenlong<sup>1</sup>, ZHAO Qiang<sup>2</sup>

(1.China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China;

2.Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of roadway layout of the roadway heading for adjacent advancing coal face in Dongyi Mine, combined the methods of numerical modeling calculation and theoretical analysis, we study the lateral support stress distribution, roof deflection distribution of different places around 4101 working face and plastic zone distribution in different width of coal pillar. It shows that the distribution shape of lateral support stress and deflection value is like “hump shape”, and there is the elastic stability zone in the coal pillar when the roadway is arranged at the inside of the peak of deflection, which ensures strong carrying capacity of the coal pillar. Combined actual production conditions in Dongyi Mine, and finally it is determined that the narrow pillar width is seven meters.

**Key words:** roadway driven heading for adjacent advancing coal face; narrow pillar; numerical simulation; theoretical calculation; roof deflection; pillar width

回采巷道掘进期间为避免受到邻近工作面的采动影响,一般选邻近工作面回采完毕,采空区岩层活动稳定后的下区段回采巷道掘进。但遇到采掘交替紧张或单翼采区布置等情况时,煤矿需在邻近工作面回采的同时掘进下一工作面回采巷道。留设宽煤柱不仅导致资源采出率降低,而且巷道维护难度大<sup>[1-2]</sup>。相较于传统的宽煤柱护巷,留设窄煤柱具有提高煤炭采出率、改善巷道应力环境等优点<sup>[3]</sup>。近年来,窄煤柱护巷技术在国内外煤矿中得到了广泛的运用<sup>[4-6]</sup>。与传统的留设窄煤柱掘巷不同,迎回采面留设窄煤柱掘巷,巷道要经历上区段工作面采空区顶板岩层破断、回转下沉、触矸压实稳定全过程,

变形剧烈。大量的现场实践和理论<sup>[7-9]</sup>证明,迎回采面掘进巷道的区段煤柱宽度决定着巷道围岩受动压影响程度,是巷道围岩控制成功的关键参数。

### 1 工程概况

东易煤矿4101、4102工作面采掘平面示意图如图1。东易煤矿所开采4-1煤层东南部的剩余煤层,煤层平均厚度6 m,属全区稳定可采的厚煤层,煤层埋深260 m。该煤层结构简单,岩性多为高岭石、泥岩和砂质泥岩。该煤层直接顶为砂岩,底板为砂质泥岩及泥岩。为了避免采掘接替紧张问题并提高回采巷道的维护效果,该矿决定改变以往的大煤柱护巷方式,即4102工作面回风平巷试验迎采掘进窄煤柱护巷技术,在4101工作面继续推进的同时掘进

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(KYLX16\_0559)

4102 的回风平巷。

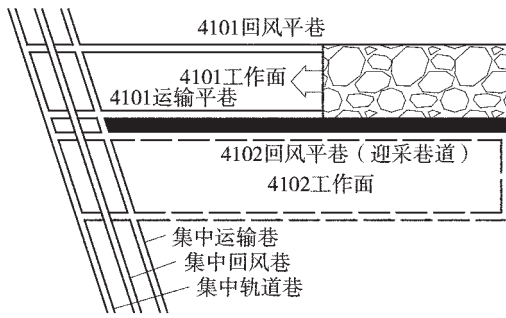


图 1 采掘工程平面示意图

## 2 煤柱宽度的确定

### 2.1 数值模型的建立

为确定对采掘巷道窄煤柱宽度,基于 4101 和 4102 工作面生产地质条件,综合考虑各因素,建立三维数值计算模型(图 2)。煤层厚度 6.0 m,采高 3.0 m,放煤高度 3.0 m,模型尺寸(长×宽×高) 209 m×150 m×88 m。边界条件为:底面固定,4 个侧面限制外法向运动,顶面为荷载已知的自由边界,施加与埋深相对应的垂直应力 5.75 MPa。水平侧压系数取为 0.8。岩层物理力学参数见表 1。

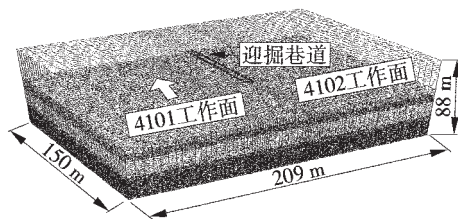


图 2 数值计算模型

表 1 岩石物理力学参数

岩层	密度 (kg·m <sup>-3</sup> )	体积 模量 K/GPa	剪切 模量 G/GPa	摩擦角 φ/(°)	黏聚力 C/MPa	抗拉 强度 σ <sub>t</sub> /MPa
上覆岩层	2 500	5.7	4.3	41	2.7	2.5
细砂岩	2 400	7.6	4.2	41	2.9	3.2
砂岩	2 450	6.1	4.0	39	2.3	2.8
4 <sup>-1</sup> 煤	1 700	1.8	0.7	21	1.0	1.3
泥岩	2 350	2.9	1.7	31	1.2	2.2
4 <sup>-2</sup> 煤	1 700	1.8	0.7	21	1.0	1.3
泥岩	2 350	2.9	1.7	31	1.2	2.2
细砂岩	2 400	7.6	4.2	41	2.9	3.2
泥岩	2 350	2.9	1.7	31	1.2	2.2
下覆岩层	2 500	5.7	4.3	41	2.7	2.5

### 2.2 采场侧向支承应力的分布

地下岩体受扰动前处于静力平衡状态,由于受工作面开挖影响,其应力将向四周实煤体转移,而侧向支承应力分布对巷道围岩稳定起着至关重要的作用。因此,本模拟重点在于分析侧向支承应力,现布置多个测点对 4101 工作面开挖后的侧向应力分布规律进行分析。

采用 Matlab 数学软件对侧向支承应力进行多项式拟合,所选基函数为幂函数,为尽量减小拟合误差,多项式最高次数为 11,如式(1)。

$$q(x) = a_{11}x^{11} + a_{10}x^{10} + a_9x^9 + a_8x^8 + a_7x^7 + a_6x^6 + a_5x^5 + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (1)$$

式中  $q(x)$  为应力,MPa;  $a_{11}, \dots, a_0$  为多项式拟合系数;  $x$  为距离工作面距离, m, 取[0, 50]。

各测点侧向支承应力及拟合结果如图 3。工作面开挖后,采场围岩应力迅速重新分布,在垂直于邻近工作面推进方向的方向上,围岩侧向支承应力分布呈“驼峰状”,首先在工作面近处呈急速上升趋势,到达应力峰值点后便缓慢下降,最终到达原岩应力水平;沿邻近工作面推进方向,侧向支承应力峰值大小逐渐增大,由工作面后方 100 m 处的 17.2 MPa 逐渐减小到工作面前方 20 m 处的 10.4 MPa,且其峰值点位置逐渐向工作面端头方向移动,由工作面后方 100 m 处的 12 m 左右逐渐移动到工作面前方 20 m 处的 5 m 左右。

### 2.3 顶板挠度的分布

由于煤系地层以沉积岩为主,将 4102 回风平巷顶板视为弹性梁结构模型,该模型在动态支承压力作用下产生挠曲变形,载荷简化为均布载荷  $q$ 。其弹性梁挠度<sup>[10]</sup>见式(2):

$$\omega = \frac{qx}{24EI} (l^3 - 2lx^2 + x^3) \quad (2)$$

式中  $\omega$  为挠度, m;  $q$  为载荷, MPa;  $l$  为顶板跨度,取 4 m;  $E$  为弹性模量,取 5 GPa;  $I$  为惯性矩,  $I = bh^3/12$ ;  $b$  为梁的宽度,取 1 m;  $h$  为顶板厚度,取 0.5 m。

将上节得到的各测点侧向支承应力  $q(x)$  代入式(2),可得移动侧向支承应力作用下各测点处挠度值分布规律,挠度曲线如图 4:在垂直于邻近工作面推进方向的方向上,顶板挠度值与承载应力“驼峰状”分布相似,即先在工作面端头附近急剧增加至峰值,后缓慢下降,最终在煤柱深部趋于平稳;沿邻近工作面推进方向,顶板挠度峰值逐渐减小,由工作面后方 100 m 的 1.05 m 降低到工作面前方 20 m 处的 0.65 m,且峰值位置逐渐向工作面端头移动,最终稳定在距端头 11 m 左右。

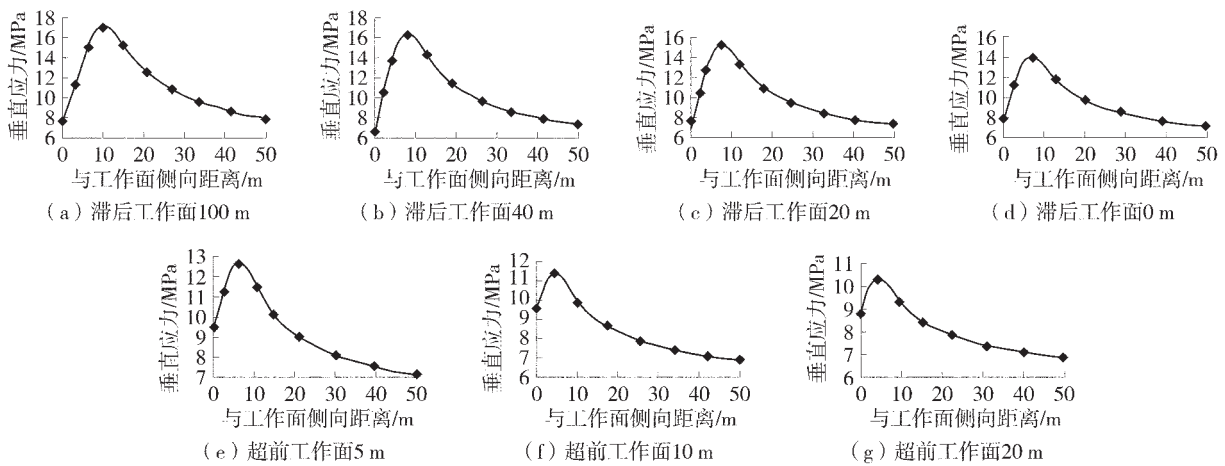


图 3 各测点侧向支承应力及其拟合曲线

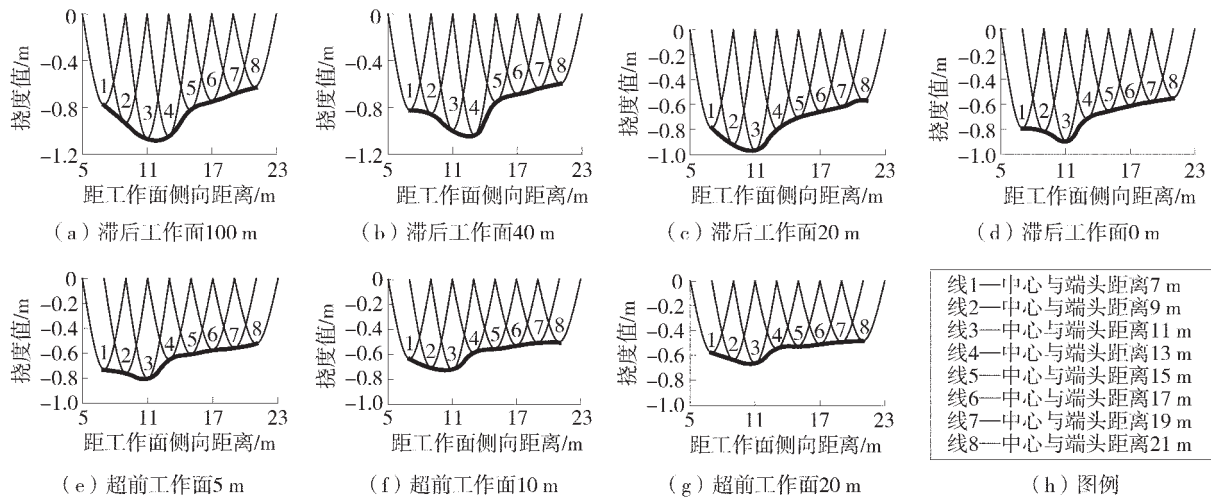


图 4 沿横截面顶板挠度曲线

迎回采面掘进巷道在工作面前方受超前动压影响剧烈,变形也较大,而在工作面后方峰值往深处转移,从巷道长期服务的角度,巷道应布置在挠度值较大处的内侧。初步将煤柱宽度选为 6~9 m。

2.4 煤柱内塑性区的分布

取模拟窄煤柱宽度为 3、6、8、11 m 4 个方案,巷道塑性区截面为工作面前方 40 m,塑性区分布云图如图 5。当窄煤柱宽度为 3~6 m 时,巷道围岩塑性区范围较大,且煤柱内无弹性稳定区或弹性稳定区较小,煤柱稳定性差,承载能力弱;当煤柱宽度为 6~11 m 时,巷道围岩塑性区明显减小,且煤柱内塑性区只存在于两侧浅部围岩中,内部为弹性稳定区,煤柱稳定性较好,承载能力强;若继续增加窄煤柱宽度,其内部弹性稳定区必然增加,窄煤柱稳定性也将增大,但将造成回采率的下降,浪费煤炭资源。

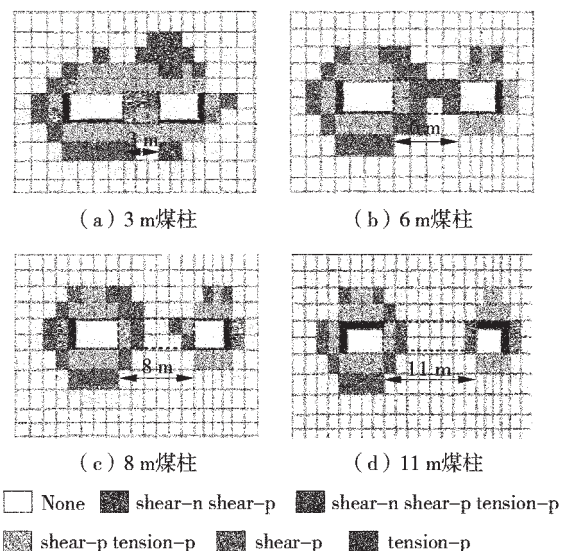


图 5 不同宽度煤柱内塑性区分布云图

结合之前的理论计算得到的顶板挠度值,且侧向支承压力峰值有在采空区后方往深部转移的趋势,最终确定东易煤矿4102回风平巷的护巷窄煤柱宽度为7 m。

### 3 工程应用

#### 3.1 巷道支护方案

根据东易煤矿现有巷道支护经验,经过适当调整,最终确定巷道支护方案如下:该段巷道两帮及顶板均采用 $\phi 22$  mm L2 400 mm的高强度大延伸率锚杆。顶板锚杆间排距为900 mm $\times$ 900 mm,配合钢筋梯子梁、金属网联合支护,并用 $\phi 17.8$  mm L7 300 mm的锚索进行补强支护,锚索间排距为2 400 mm $\times$ 2 700 mm;两帮锚杆间排距900 mm $\times$ 1 100 mm,配合钢筋梯子梁联合支护。4102回风平巷锚网索支护断面如图6。

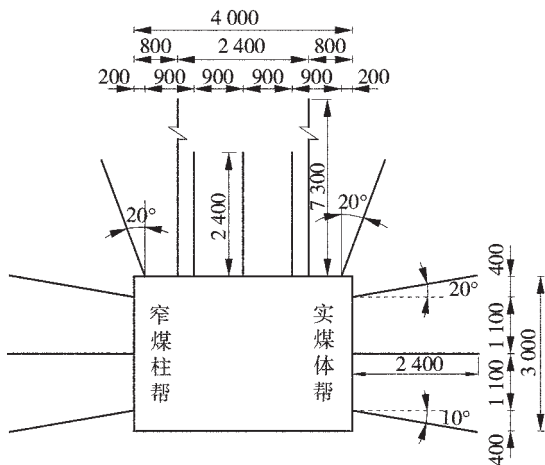


图6 4102回风平巷支护断面图

#### 3.2 现场应用效果

在4102回风平巷现场布置测点对巷道围岩表面位移进行观测。观测结果表明:掘进巷道在距邻近工作面较远时变形量较小;进入邻近工作面前方28 m范围内巷道围岩变形速度明显加快,在邻近工作面后方0~85 m范围是巷道变形的主要区域,其中在邻近工作面后方8~62 m范围内变形最剧烈,邻近工作面后方85~100 m后巷道变形逐渐趋于稳定;巷道基本稳定后顶底相对移近量为595 mm、两帮相对移近量为260 mm,巷道变形以底鼓为主。经历邻近工作面采动影响后,巷道的顶板、两帮控制效果较好,巷道变形主要发生在底鼓,后期通过对掘出的巷道底板进行卧底硬化,满足了巷道断面使

用要求。

### 4 结论

1)提出了迎采掘进窄煤柱护巷技术,依据煤柱侧向支承应力分布、顶板挠度值分布和煤柱塑性区分布,确定窄煤柱宽度为7 m。

2)垂直于邻近工作面推进方向的方向上,顶板挠度值呈“驼峰状”分布,顶板挠度峰值大小逐渐减小,峰值位置逐渐向工作面端头移动,最终稳定在距端头11 m左右。

3)工程实践证明,留设宽度合理的窄煤柱,可以有效地控制巷道围岩变形,后期通过对巷道进行卧底硬化,满足了巷道断面使用要求。

### 参考文献:

- [1] 侯朝炯,郭宏亮.我国煤巷锚杆支护技术的发展方向[J].煤炭学报,1996,21(2):113-118.
- [2] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰.煤巷锚杆支护[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999:12-16,186-189.
- [3] 柏建彪.沿空掘巷围岩控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2006:1-12.
- [4] 张科学,姜耀东,张正斌,等.大煤柱内沿空掘巷窄煤柱合理宽度的确定[J].采矿与安全工程学报,2014(2):255-262.
- [5] 李磊,柏建彪,王襄禹.综放沿空掘巷合理位置及控制技术[J].煤炭学报,2012(9):1564-1569.
- [6] 赵国贞,马占国,孙凯,等.小煤柱沿空掘巷围岩变形控制机理研究[J].采矿与安全工程学报,2010(4):517.
- [7] 王猛,柏建彪,王襄禹,等.迎采工作面沿空掘巷围岩变形规律及控制技术[J].采矿与安全工程学报,2012(2):197-202.
- [8] 李文峰,孙迎辉,杨波,等.迎回采面沿空掘巷围岩控制技术实践[J].煤炭工程,2010(2):24-26.
- [9] 于洋,王襄禹,薛广哲,等.迎采工作面沿空掘巷动态分段围岩控制技术[J].煤炭科学技术,2013(7):43-46.
- [10] 刘鸿文.材料力学[M].北京:高等教育出版社,2004.

作者简介:康继忠(1971—),男,山西柳林人,高级工程师,在读博士研究生,现任山西离柳焦煤集团公司总经理,从事煤矿安全生产技术与管理工作。

(收稿日期:2016-09-17;责任编辑:朱蕾)