

# 平朔井工三矿区段煤柱宽度优化研究

李 安 静

(中煤平朔煤业有限责任公司 井工三矿, 山西 朔州 036006)

**摘 要:** 区段煤柱的留设宽度是影响回采巷道围岩稳定性的重要因素, 平朔井工三矿工作面区段煤柱宽度一直采用经验值 20 m, 为优化区段煤柱宽度, 提高资源采出率, 采用现场实测、理论计算和数值模拟方法对平朔井工三矿合理区段煤柱宽度进行了研究。煤柱应力实测表明: 井工三矿 9104 与 9105 工作面间 20 m 煤柱宽度有一定的富裕量, 根据极限平衡理论计算与数值模拟结果, 平朔井工三矿区段煤柱合理宽度应大于 12 m。

**关键词:** 区段煤柱; 煤柱宽度; 煤柱应力; 地震 CT 探测; 数值模拟

**中图分类号:** TD322 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336 (2012) 04-0045-04

## Study on Width Optimization of Sectional Coal Pillar in Pingshuo No. 3 Underground Mine

LI An-jing

(No. 3 Underground Mine, China Coal Pingshuo Coal Company Ltd., Shuozhou 036006, China)

**Abstract:** The width of the sectional coal pillar would be an important factor affected to the surrounding stability of the mining gateway. The width of the sectional coal pillar in coal mining face of Pingshuo No. 3 Underground Mine is an experienced value of 20 m. In order to optimize the width of the sectional coal pillar and to improve the resources recovery rate, a site measurement, theoretical calculation and numerical simulation method were applied to study the width of the rational sectional coal pillar in Pingshuo No. 3 Underground Mine. The stress measurement of the coal pillars showed that the 20 m width coal pillar between No. 9104 coal mining face and No. 9105 coal mining face in No. 3 Underground Mine could have certain surplus. According to the ultimate balanced theoretical calculation and the numerical simulation results, the rational width of the sectional coal pillar in Pingshuo No. 3 Underground Mine should be over 12 m.

**Key words:** sectional coal pillar; width of coal pillar; coal pillar stress; seismic CT detection; numerical simulation

区段煤柱的留设宽度是影响回采巷道围岩稳定性的重要因素, 为了计算煤柱的强度, 国外学者在试验、实例调查和理论分析的基础上, 提出了 10 余种煤柱强度计算公式<sup>[1]</sup>, 国内学者主要基于弹性断裂力学提出了大板理论<sup>[2]</sup>, 发展完善了极限平衡理论<sup>[3]</sup>。而对于如何计算煤柱所承受的荷载, 国内外学者主要提出了压力拱理论、有效区域理论和威尔逊理论<sup>[1]</sup>。由于煤矿开采条件的复杂性, 至今世界各国还没有一种公认的护巷煤柱的设计标准, 矿区大多采用某个经验公式。国内目前对区段煤柱宽度留设主要是基于钻孔煤粉量变化规律<sup>[4]</sup>、煤柱应力变化规律、相似模拟、数值模拟以及高精

度微地震<sup>[5]</sup>等方面的研究。对于特厚煤层综放工作面区段煤柱宽度的留设研究较少, 如何减小煤柱宽度, 提高资源采出率, 是特厚煤层综放开采需要解决的关键问题之一。平朔井工三矿 9 号煤层属于特厚煤层, 区段煤柱留设宽度一直沿用经验数据 20 m, 随着 9101 和 9103 工作面的陆续回采完毕, 区段煤柱没有发生明显破坏, 能够保证工作面的顺利回采<sup>[6]</sup>。为进一步优化区段煤柱宽度, 提高采区资源采出率, 在 9105 工作面开展了相关研究。

### 1 煤层概况

平朔井工三矿 9105 综放工作面走向长 943.6

收稿日期: 2012-02-02; 责任编辑: 朱拴成

作者简介: 李安静 (1965—), 男, 江苏沛县人, 高级工程师, 现任中煤平朔煤业有限责任公司井工三矿总工程师。

网络出版时间: 2012-04-17 09:53:16; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120417.0953.012.html>

引用格式: 李安静. 平朔井工三矿区段煤柱宽度优化研究 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (4): 45-48.

m, 倾向长 295.0 m。工作面北为一采区东翼回风巷, 南与 9104 综放工作面相邻, 东邻井田边界线, 西为一采区南翼辅助运输大巷。地面标高 +1 455—+1 475 m, 工作面标高 +1 228.0—+1 277.5 m, 地表为黄土丘陵, 大部分被森林覆盖, 沟谷发育。所采煤层为 9 号煤层, 煤层结构复杂, 厚 9.18~10.86 m, 平均 10.25 m, 煤层倾向 -5~14°。直接顶为中砂岩, 厚度为 0.6~1.5 m, 平均 1.10 m。局部见伪顶, 岩性为沙质泥岩和炭质泥岩, 易于脱落, 厚度 0.2~0.4 m。基本顶为粗砂岩, 厚度 11.5~16.3 m, 平均 14.85 m; 直接底为细砂岩, 厚度 1.9~3.0 m, 平均 2.50 m; 基本底为泥岩, 厚度 3.52~5.85 m, 平均 4.73 m。

2 煤柱应力实测研究

煤柱应力测量能够直接反应煤柱受力状况, 较全面掌握煤柱应力分布特点和回采对煤柱的采动影响范围, 为优化煤柱宽度提供基础。煤柱应力测量主要有 2 种方法: ①钻孔应力计测量法, 即测量煤壁内某一点受工作面采动影响的应力变化情况, 此方法的缺点是不能测量某一区域内各点的煤体应力变化情况; ②微地震 CT 方法<sup>[7]</sup>, 即在煤壁一侧通过人工激发震动事件, 另一侧接收地震波通过被测区域的速度、时间及衰减系数, 研究相关参数与煤体应力的对应关系, 反演被测区域煤体的应力分布状况, 此方法只能测量区域煤体的静态受力情况。笔者将以上 2 种煤体应力测量方法相结合, 优势互补, 研究井工三矿区段煤柱合理宽度。

1) 煤柱应力实测方案。为监测区段煤柱采动应力动态变化情况, 测站位于工作面辅助运输巷开切眼前方 100 m, 测站布置 8 台钻孔应力计 (编号 1—8 号), 长度分别为 5、6、7、8、9、10、11、13 m, 间距 5 m。钻孔应力计布置如图 1 所示。

在辅助运输巷尾部进行微地震 CT 探测, 探测方案如图 2 所示。检波器 (探头) 间距为 4 m, 炮间距 (炮孔间距) 为 2 m, 共激发 30 炮。探测范围走向平均长度 52 m。

2) 实测结果。目前井工三矿 9014 及 9105 工作面区段煤柱宽度为 20 m, 9105 工作面正在回采, 9104 工作面主运输巷已经掘好。钻孔应力计实测结果表明 (表 1), 煤柱侧向应力呈马鞍形分布, 如图 3 所示, 煤柱侧向支承压力峰值区位于工作面后

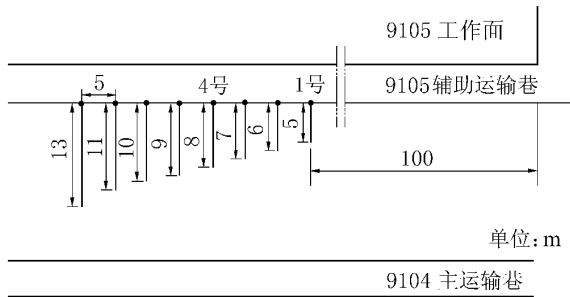


图 1 钻孔应力计布置示意

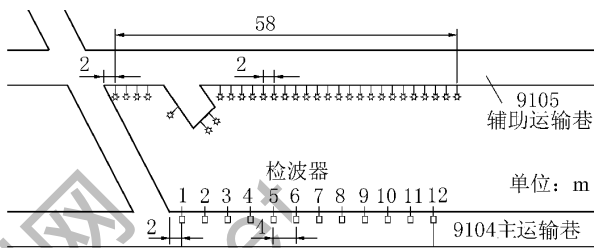


图 2 微地震探测方案

方, 煤柱应力集中系数为 1.04~1.22, 平均 1.12; 煤柱内应力峰值点距煤帮距离为 5 m, 至煤帮 9 m 处应力降至最低。

表 1 区段煤柱应力分布特征

应力计 编号	初始应 力/MPa	稳定应 力/MPa	峰值应 力/MPa	最大应力 集中系数
1	5.51	4.97	6.04	1.22
2	3.20	2.74	3.13	1.14
3	3.93	3.37	3.79	1.12
4	3.15	3.02	3.36	1.11
5	5.26	5.02	5.22	1.04
6	2.36	2.29	2.50	1.09
7	6.88	6.69	7.76	1.16
8	4.73	4.66	4.93	1.06

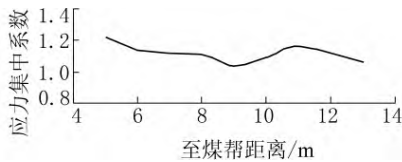


图 3 区段煤柱应力倾向分布

地震 CT 技术对煤体应力的实测结果如图 4 所示, 由图 4 可知, 应力异常区主要分布在煤柱的边角区域, 煤柱内部应力水平较低, 且均匀性较好, 煤柱内部大部分区域仍然保持相对稳定的原岩应力状态。图 4 中区域 A 内部仍存在 2 处应力异常区域, 因其距巷道相对较远, 判断其为煤岩体原生结

构异常所致。为定量描述煤柱受力特性, 分别测量各测点位置的侧向支承压力影响范围, 其平均值为 6.2 m, 即煤柱中部存在平均 7.6 m 的原岩应力区。

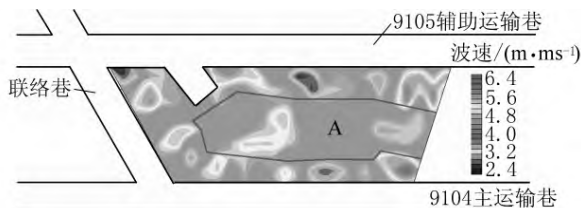


图4 微地震 CT 实测波速

以上 2 种煤体应力实测结果表明, 井工三矿 9104 及 9105 工作面之间的煤柱宽度为 20 m, 有一定的富裕量, 可缩短煤柱尺寸, 提高资源采出率。

### 3 煤柱宽度留设理论分析

为了使工作面巷道处于良好的维护状态, 必须使巷道处于围岩应力降低区域、围岩应力较小区域或原岩应力区, 避免处于高应力区, 其主要方法有 2 种: ①采用在本工作面与相邻工作面之间留设较宽煤柱的方法来保证本工作面回风巷或运输巷的稳定; ②使用小煤柱将巷道布置在应力较小区域, 采用沿空小煤柱护巷<sup>[8-9]</sup>。

回采与开掘巷道在煤柱边缘处会出现数倍于自身重力的集中应力, 而在边缘处煤柱的抗压强度比较低, 因此, 煤柱边缘部分都遭到不同程度的破坏。对于采准巷道的护巷煤柱, 回采空间 (采空区侧) 和回采巷道在煤柱两侧分别形成一个宽度为  $R_0$  与  $R$  的塑性变形区, 当煤柱宽度  $B$  小于煤柱两侧形成的塑性区宽度  $R_0$  与  $R$  之和时, 即煤柱两侧形成的塑性区相贯通时, 煤柱将失去其稳定性,

出现崩塌现象。

护巷煤柱保持稳定的基本条件是: 煤柱两侧产生塑性变形后, 煤柱中央仍处于弹性应力状态, 即在煤柱中央保持一定宽度的弹性核。对一次采全高的综放工作面护巷煤柱, 弹性核的宽度取 2 倍的巷道高度  $h$  即可, 故综放工作面区段煤柱宽度  $B$  计算式应为  $B \geq R_0 + 2h + R_0$ 。根据极限平衡理论可求得回采工作面周边煤体的塑性区宽度  $R_0$  为

$$R_0 = \frac{M\lambda}{2\tan\varphi_0} \ln \frac{K\gamma H + C_0/\tan\varphi_0}{C_0/\tan\varphi_0}$$

式中:  $M$  为煤层开采厚度, 取 10.25 m;  $\lambda$  为侧压系数,  $\lambda = \mu/(1 - \mu)$ , 其中  $\mu$  为泊松比, 取 0.22, 则  $\lambda = 0.282$ ;  $\varphi_0$  为煤体交界面内摩擦角, 取  $26.84^\circ$ ;  $C_0$  为煤体交界面黏聚力, 取 4.78 MPa;  $K$  为回采引起的应力集中系数, 按实测最大值 1.22 计算;  $H$  为开采深度, 取 200 m;  $\gamma$  为上覆岩层平均容重, 取  $25 \text{ kN/m}^3$ 。

经计算得, 塑性区宽度  $R_0 = 1.5 \text{ m}$ , 巷道高度  $h = 3.5 \text{ m}$ , 则区段煤柱宽度  $B \geq R_0 + 2h + R_0 = 10 \text{ m}$ 。

### 4 煤柱宽度数值模拟分析

为确定合理的煤柱宽度, 采用 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟软件研究区段煤柱宽度留设问题。采用煤柱宽度分别为 6、8、10、12、15、18、20 和 25 m 等 8 个方案进行模拟。煤柱破坏状态如图 5 所示, 煤柱应力分布如图 6 所示。从图 6 可见, 当煤柱宽度从 25 m 降低至 10 m 时, 区段煤柱内的应力分布呈现双峰状, 当煤柱宽度低于极限值后, 煤柱内的应力分布呈现单峰状, 其主要原因是: 随着煤柱宽度的

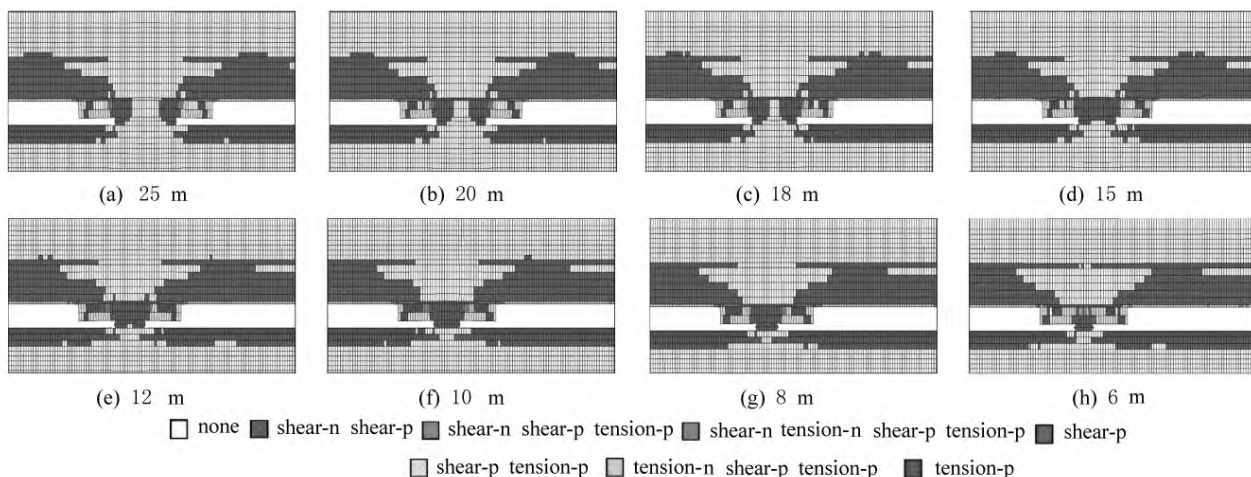


图5 不同宽度区段煤柱破坏状态模拟结果

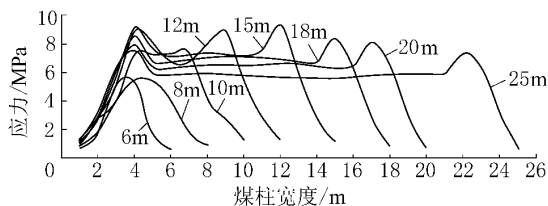


图6 不同宽度区段煤柱应力分布

减小,煤柱需要承受的顶板压力较大,煤柱内应力水平较高,当煤柱宽度低于极限值时,煤柱已无法承受顶板压力,导致煤柱两侧的塑性区连通,煤柱失稳,应力水平将显著降低。

当煤柱宽度为12 m时,应力峰值与之前相差不多,应力集中系数为1.45~1.86,当煤柱宽度小于10 m时,应力峰值显著降低,应力集中系数降低至1.08左右。数值模拟研究表明,井工三矿9104及9105工作面之间的煤柱宽度应大于12 m。

## 5 结 论

1) 通过采用2种优势互补的煤体应力实测方法,研究9104及9105工作面围岩应力分布情况,研究表明,20 m的区段煤柱宽度有一定的富裕量,可进一步缩小。

2) 运用极限平衡理论计算表明,煤柱两侧的塑性区宽度为1.5 m,以2倍巷道高度为安全系数,井工三矿9104及9105工作面煤柱宽度应不小于10 m。

3) 通过数值模拟研究表明,当煤柱宽度大于极限值时,区段煤柱内的应力分布呈现双峰状,当

煤柱宽度低于极限值后,煤柱内的应力分布呈现单峰状;当煤柱宽度小于12 m时,应力集中系数降低至1.08左右,井工三矿9104及9105工作面之间的煤柱宽度应大于12 m。根据上述分析结果,最终确定区段煤柱留设宽度可从目前的20 m降低到12 m,由此每推进1 km可解放煤炭资源约11.48万t,增加效益4 000余万元。

## 参考文献:

- [1] 吴立新,王金庄,郭增长,等.煤柱设计与监测基础[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.
- [2] 白 矛,刘天泉.条带法开采中条带尺寸研究[J].煤炭学报,1983,8(4):19-25.
- [3] 侯朝炯,马念杰.煤层巷道两帮煤体应力和极限平衡区的探讨[J].煤炭学报,1989,14(4):21-29.
- [4] 张开智,夏均民,陈志巧.钻孔煤粉量变化规律在区段煤柱合理参数确定中的应用[J].山东科技大学学报:自然科学版,2003,22(2):51-53.
- [5] 孔令海,姜福兴,刘 杰,等.特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度的微地震监测[J].煤炭学报,2009,34(7):871-874.
- [6] 天地科技股份有限公司开采设计事业部.平朔井工三矿浅埋煤层综放开采矿压显现规律研究和应用[R].北京:天地科技股份有限公司开采设计事业部,2011.
- [7] 杨文采,李幼铭.应用地震层析成像[M].北京:地质出版社,1993.
- [8] 刘增辉,康天合.综放煤巷合理煤柱尺寸的物理模拟研究[J].矿山压力与顶板管理,2005,22(1):24-26.
- [9] 韩承强,张开智,徐小兵.区段小煤柱破坏规律及合理尺寸研究[J].采矿与安全工程学报,2007,24(3):370-372.

(上接第59页)

- [7] 刘明举,潘 辉,李拥军,等.煤巷水力挤出防突措施的研究与应用[J].煤炭学报,2007,32(2):168-171.
- [8] 马中飞,俞启香.水力卸压防止承压散体煤和瓦斯突出机理[J].中国矿业大学学报,2007,36(1):103-106.
- [9] 马中飞,俞启香.工作面水力卸压防突作用的数值模拟[J].中国安全科学学报,2006,16(10):27-31.
- [10] 马中飞.综采工作面水力超前卸压防突技术的理论与应用研究[D].徐州:中国矿业大学,2005:55-56.
- [11] 刘建新,李志强,李三好.煤巷掘进工作面水力挤出措施防突机理[J].煤炭学报,2006,31(2):183-186.
- [12] 李 平.水力挤出技术在突出煤层中的应用[J].煤炭科学技术,2007,35(8):45-47.
- [13] Diaz Aguado M B, Gonzalez Nicieza C. Control and Prevention of Gas Outbursts in Coal Mines, Biosa Olloniego Coalfield, Spain [J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 69(4): 253-266.
- [14] 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.
- [15] 胡千庭,周世宁,周心权.煤与瓦斯突出过程的力学作用机理[J].煤炭学报,2008,33(12):1368-1372.
- [16] 王立彬,燕 乔,毕明亮.黏度渐变型浆液在砂砾石层中渗透扩散半径研究[J].中国农村水利水电,2010(9):68-71.
- [17] 孔祥言.高等渗流力学[M].合肥:中国科技大学出版社,2010:42-49.
- [18] 孙斌堂,凌贤长,凌 晨,等.渗透注浆浆液扩散与注浆压力分布数值模拟[J].水利学报,2007,37(11):1402-1407.
- [19] 杨秀竹,雷金山,夏力农,等.幂律型浆液扩散半径研究[J].岩土力学,2005,26(11):1803-1806.