

文章编号: 1673-3363-(2013)05-0735-04

倾斜煤层防水煤岩柱尺寸留设的技术优化研究

王志强, 陈超凡, 王磊, 李鹏飞, 郭晓菲, 高运

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要 采用传统方法对4[#]煤层需要留设的防水煤岩柱尺寸进行计算, 分析结果认为传统方法对于倾斜煤层防水煤岩柱中央弹性核区存在重复计算的问题, 因此造成留设的防水煤岩柱尺寸偏大。为了改善传统方法存在的弊端, 在保证安全的前提下对4[#]煤层屈服区尺寸进行计算并考虑覆岩移动角度的影响, 得到设计方法优化后的防水煤岩柱尺寸。为了进一步提高采区回采率, 综合分析煤岩柱留设的共性问题, 提出巷道布置的优化方案。研究结果表明, 设计优化后留设防水煤岩柱的尺寸仅为原方法的42.42%, 综合起坡段带来的三角煤损结合防水煤岩柱尺寸, 优化后的煤炭损失仅为原方法煤炭损失的45.42%, 按照采区设计的推进长度计算, 相邻工作面之间可多采出煤炭资源近1.58 Mt。另外, 优化方案中起坡段回采工艺可以改善工作面倾角大带来的设备稳定性的问题。

关键词 倾斜煤层; 防水煤岩柱; 覆岩移动角; 屈服区; 巷道布置

中图分类号 TD 822

文献标志码 A

Research on reasonable size of waterproof pillar in mining inclined coal seam

WANG Zhi-qiang, CHEN Chao-fan, WANG Lei, LI Peng-fei, GUO Xiao-fei, GAO Yun

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

Abstract In the study, we calculated the pillar size of 4[#] coal seam with the traditional method, the analysis result showed that repeated calculation was existed in calculation of the central elastic area of the waterproof pillar in inclined seam, which results in oversized waterproof pillar left. In order to improve the disadvantages of traditional methods, in the premise of ensuring safety, we calculated the yield zone size of 4[#] seam, considered the impact of the overburden rock moving angle and we obtained the reasonable waterproof pillar size after the design method had been optimized. In order to further improve the recovery rate in the mining area, we comprehensively analyzed the common problems of coal pillar design and proposed optimization. Findings showed that the size of waterproof coal pillars after the design was optimized is only 42.42% of the size calculated in traditional method. Integrated the triangle coal loss of the slope segment and combined with a waterproof coal pillar size, coal loss after optimization is only 45.42% of the one in traditional method. It is calculated according to the push length of the mining area designed that nearly more than 1.58 Mt of coal can be mined between the adjacent faces. In addition, the recovery technology from the slope sections can improve the stability of equipments, which caused by the large inclination in working face.

Key words inclined coal seam; waterproof pillar; overlying rock moving angle; yielded zone; roadway layout

收稿日期: 2013-07-13

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目—青年教师科研专项(2011QZ06); 国家级大学生创新训练计划项目(201211413014)

作者简介: 王志强(1980-), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 讲师, 博士, 硕士生导师, 从事现代采矿技术、长壁工作面矿压理论研究。

E-mail: wzhiqianglhm@126.com

Tel: 13810796225

防水煤岩柱留设是矿井防治水工作的重要措施,其作用是预防采场上方各类型水涌入巷道或者工作面^[1]。本文基于倾斜煤层两相邻工作面之间防水煤岩柱留设尺寸的优化问题展开。目前,对这种类型的老空区防水煤岩柱设计是通过岩移影响带宽度确定非核区煤柱的宽度,由于设计将煤柱和岩柱统一计算导致计算出的煤柱宽度过大,严重浪费了煤炭资源^[2-4]。本文拟在对传统留设方法进行优化的基础上,进一步提出相应的改革措施,在防止相邻老空区溃水的前提下,缩小留设煤岩柱的宽度,提高回采率,延长矿井服务年限。

1 工程背景及存在问题分析

1.1 工程背景

某矿设计年产 120 万 t,主采 4[#]煤层。煤厚平均 6.2 m,煤层倾角 32°,工作面长度 150 m,由井田中部向东直到自然边界连续推进范围约 2 100 m。煤层结构与地质构造均简单,采用综合机械化放顶煤一次采全高开采方法,两巷均沿煤层底板布置。在已回采结束的 1410 工作面生产实践表明:正常涌水量 5 m³/min,最大涌水量 8 m³/min,已回采结束的工作面垂高 80 m,现工作面相邻采空区积水会威胁到 1411 工作面的安全生产,因此需要留设合理的防水煤岩柱宽度以确保安全。

1.2 防水安全煤岩柱留设的传统计算方法

两工作面之间防水煤柱的计算应考虑采动的破坏和影响作用,煤柱的两侧由于支承压力作用,煤层片帮,产生裂隙,形成屈服带,成为强渗透区,该部分煤体基本丧失隔水能力,真正起隔水作用的是煤柱中间部分,即煤柱的核区。因此,将工作面间有效防水煤柱划分为 3 部分(见图 1),即 1410 工作面岩移影响带煤柱 L_1 、1411 工作面岩移影响带煤柱 L_3 和煤柱中间带(弹性核区) L_2 ^[5-6]。

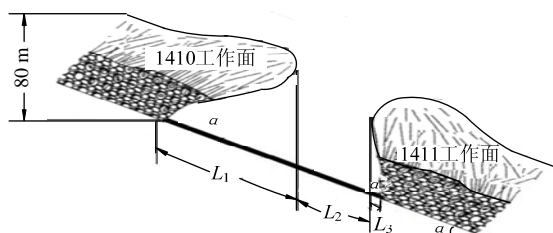


图1 防水煤岩柱留设示意图

Fig.1 Layout of waterproof pillar

利用覆岩移动角度和采场导水断裂带高度相结合的方法确定 L_1 和 L_3 ,其计算公式为:

$$\begin{aligned} L_1 &= H_f \cos(\delta - \alpha) / \sin \delta \cos \alpha \\ L_3 &= H_f \cos(\delta + \alpha) / \sin \delta \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

式中: H_f 为导水断裂带高度,据经验公式取 13 M; δ 为岩移角,由生产实践取 50°。

煤柱中间带计算常用的方法有以下 2 种:

第 1 种,按照材料力学简支梁的力学模型:

$$L_2 = 0.5KM(3p/K_p)^{1/2} \quad (2)$$

式中: K 为安全系数,取 2~5; M 为煤层厚度或采高, m; p 为水头压力, MPa; K_p 为煤的抗拉强度, MPa。

第 2 种,按照经验计算方法:

$$L_2 = p/T_s + 10 \quad (3)$$

式中 T_s 为突水系数。

参数选择: 1) 煤层平均采厚 6.2 m; 2) 本区水文地质条件比较清楚,构造比较简单,取 $K=2.5$; 3) $K_p=0.5$ MPa; 4) 1410 工作面采空区最大积水标高 -920 m,采空区最低标高点 -1 000 m,采区间煤柱承受水压 0.8 MPa; 5) $T_s=0.06$ MPa/m。

按照式(1)计算得到: $L_1=140.86$ m, $L_3=20.57$ m。按照式(2)计算得到煤柱中间带宽度为 17 m,按照经验公式(3)计算得到煤柱中间带宽度为 23.3 m,取 2 种计算结果的最大值,则煤柱中间带(弹性核区)宽度为 23.3 m。因此,工作面间煤柱宽度 $L=L_1+L_2+L_3=184.73$ m。

1.3 问题分析

从计算结果来看,这种设计方法需要保留煤柱宽度的尺寸非常大,造成资源回收率低,对于类似工程背景的矿井面临着储量即将枯竭的现状,该问题更加突出,因此需要改变其现状,延长矿井服务年限。事实上对防水煤岩柱设计只需满足 2 个方面即可: 1) 设计的煤柱要有足够的弹性核区,用以抵御采空区积水的侧向静水压力; 2) 防水岩柱宽度的大小,应能保证其两侧的最大导水断裂带高度不能相互贯通。另外,分析计算发现,图 1 中岩移影响带实际已包含煤柱中央的弹性核区,存在重复计算的问题,因此造成煤柱留设的值偏大。因此,需要从煤柱和岩柱 2 个方面进行优化设计^[7],在保证矿井安全生产的基础上改进采煤方法,以达到提高回收率的目的。

2 煤岩柱宽度的优化

2.1 防水煤柱宽度的留设

如前所述,工作面之间真正起隔水作用的是煤

柱的弹性核区。因此,工作面间煤柱划分为3部分: 1410 工作面采空区形成的残余支承压力影响带煤柱 L'_1 、1411 生产工作面侧向支承压力影响带煤柱 L'_3 和煤柱中间带 L'_2 , 如图2所示。

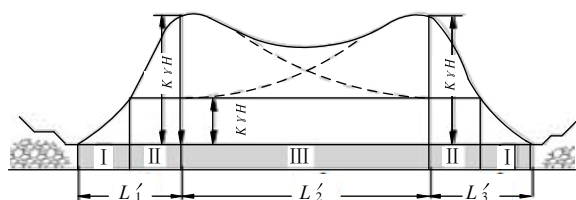


图2 双侧采动条件下煤柱内分区示意图

Fig.2 Schematic diagram of stress zoning under the conditions of double sides mining

影响煤柱屈服区宽度的因素有很多,包括:煤层厚度 M 、煤柱与顶底板界面的黏聚力 C 和摩擦角 φ 、煤柱极限强度 τ 、煤体的侧向约束力 p_x 、屈服区与核区界面处的侧压力系数 β 、开采扰动因子 d , 以及煤层的倾角 α 。对此,采用如下公式进行煤柱屈服区宽度计算:

$$x = \frac{Md}{2 \tan \varphi \cos \alpha} \left\{ \beta \ln \frac{C + \tau \tan \varphi}{C + (p_x \tan \varphi) / \beta} + \tan^2 \varphi \right\} \quad (4)$$

式中: $d=1.5 \sim 3$, $\varphi=1^\circ \sim 35^\circ$, $C=0.1 \sim 3 \text{ MPa}$, $\beta=0.25 \sim 0.4$, 煤柱的极限抗剪强度值依据现场实测 $\tau=5.5 \text{ MPa}$, $M=6.2 \text{ m}$ 。该矿开采条件存在如下几个特点: 1) 1410 综合机械化放顶煤工作面推进速度较低,最低时每天仅推进 1 m ; 2) 开采煤层上覆岩层裂隙较为发育,因此煤柱受到的扰动影响较为强烈; 3) 由于煤层倾角较大,1410 工作面开采期间对下方煤柱的扰动偏小,而 1411 工作面开采期间煤柱的破坏程度加剧。综合上述因素,从安全的角度考虑,确定取值接近其分布范围的上限,即 d 取 2.8 , $\beta=0.27$, $C=1.08 \text{ MPa}$, $\varphi=24^\circ$; 采区内的煤柱没有加固,故其侧向约束力 $p_x=0$ 。根据式(4)计算煤柱屈服区宽度 $x=24.76 \text{ m}$ 。

不考虑岩移影响的前提下,仅仅依据煤柱中部存在弹性核,计算得到能够保持煤柱稳定的宽度尺寸: $L=2x+L_2=2 \times 24.76+23.3=72.82 \text{ m}$ 。其中, 23.3 是按照考虑突水的经验式(3)计算得出的。

2.2 防水岩柱宽度的留设

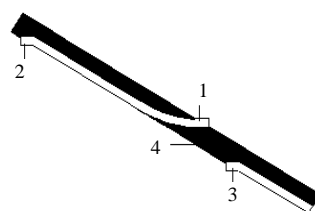
按照要求,在防水岩柱两侧最高处的导水断裂带不能互相贯通的基础上,需要有一定的保护带厚度,即图1中的 $L_2 \geq 0$,即岩柱尺寸不小于 161.43 m

即可。

综合看来,采用式(4)按照煤柱屈服区进行计算并考虑导水断裂带不沟通的前提下,对传统方法进行修正后,在一定程度上降低了需要留设煤岩柱的尺寸。

3 开采方案的优化

从式(1), (2), (4)可以看出,防水煤柱的留设均与一次采出高度有关,因此,如果能够改善留设煤柱两侧一次采出高度,即可减小工作面间煤柱留设的尺寸,因此在4#煤层采用如下布置方式,如图3所示。



1—1410 工作面区段进风巷; 2—1410 工作面区段回风巷;
3—1411 工作面区段回风巷; 4—留设煤柱

图3 开采方案优化示意图

Fig3 Schematic diagram of optimized mining plan

如图3所示,工作面区段进风巷沿煤层顶板布置,回风巷沿煤层底板布置,即采用错层位外错式巷道布置的方式^[8]。由于已开采结束的1410工作面下部分降低了一次采出高度,最低处仅 3 m ,按照式(1)计算得到岩移影响下的 $L_1=57.8 \text{ m}$, $L_2=20.57 \text{ m}$,并不再对煤柱中部进行累加,得到防水岩柱宽度为 78.37 m 。而按照式(4)计算得到煤柱的屈服宽度仅仅为 10.16 m ,得到防水煤柱尺寸为 43.62 m 。按照最大化考虑,防水煤岩柱宽度仅仅为 78.37 m ,为原计算方法的 42.42% 。

由于1410工作面区段进风巷需要沿着煤层顶板布置,因此需要存在1个起坡段以便将进风巷送至煤层顶板,如图4所示。图中,标号1所示为沿煤层顶板布置巷道, a 表示起坡段, b 表示工作面正常布置段, a 为煤层倾角,取 32° 。煤层厚度 6.2 m ,巷道的尺寸宽 \times 高= $4.8 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。由于相邻溜槽最大可抬升角度为 3° ,因此从 b 段最右侧开始逐节按 3° 进行抬升10节溜槽,当布置第11节溜槽时,抬升 2° ,正好过渡到水平。事实上, 32° 已经接近大倾角煤层角度的下限,对于长壁式放顶煤开采工作面来说,超过 18° 即对设备的稳定性造成较大的影响,因此,此处基于缩小防水煤岩柱而采用的沿煤层顶

板布置巷道工作面造成的起坡段带来另外一个优点,即在工作面下部改善了工作面的角度,从而提高了设备的稳定性。另外,从回采工艺的角度考虑,起坡段会降低一次采出煤厚,结合放顶煤一次采出煤厚不低于5 m的要求,除在起坡段靠近沿煤层顶板巷道一侧保留3架支架不放顶煤外,常规的放顶煤工作面一般也保留2~3架端头支架不放顶煤,其余部分正常放顶煤开采即可。

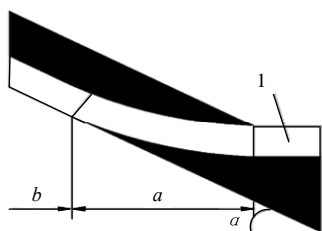


图4 工作面起坡段示意图

Fig4 Schematic diagram of working face up slope section

从图4还可以看出,由于1410工作面存在1个起坡段,因此人为技术因素造成其下方存在1个三角煤损区域,虽然前述已经给出技术优化后的留设煤柱尺寸为原方法留设尺寸的42.42%,但是没有考虑三角煤炭损失,在此需要针对综合回采率进行比较分析:按照原方法计算,防水煤岩柱留设尺寸不低于184.73 m,考虑6.2 m的煤层真厚度,沿工作面的剖面计算得到煤岩柱的面积为1201.27 m²;技术优化后,工作面之间的煤炭损失分为2部分,即1410工作面起坡段下方的三角煤损以及工作面之间保留的78.37 m防水煤岩柱,经计算,其面积损失为545.7 m²,其损失量仅仅为传统留设方法的45.42%。按照向东推进2100 m计算,工作面采出率按照85%计算,仅仅在1410与1411工作面之间即可多回采1.58 Mt煤炭资源。可以看出,技术优化后在提高煤炭回采率方面是非常可观的。

4 结 论

针对倾斜煤层工作面间防水煤岩柱的留设展开研究,首先对传统留设防水煤岩柱计算方法进行分析,认为在保证煤柱中间存在弹性核以及导水裂隙带不沟通的前提下,对煤柱中间带存在重复计算的问题,造成防水煤岩柱留设尺寸偏大。因此,按照煤柱屈服区结合煤柱中间带的设计方法并考虑覆岩移动角度的影响,对防水煤岩柱的留设尺寸进行分析,与原计算方法相比极大地提高了采出率。为了

进一步减小留设煤柱的尺寸,分析了设计方法的共性问题,提出了采煤方法的改革。计算结果表明该方法可以有效降低上山方向覆岩移动角度对防水煤岩柱尺寸留设的影响,优化后的煤岩柱尺寸仅为原计算方法的42.42%,而且,优化方案中起坡段回采工艺可以改善工作面倾角大造成设备稳定性的条件。最后综合起坡段带来的三角煤损结合防水煤岩柱尺寸,优化后的煤炭损失仅为原方法煤炭损失的45.42%,按照采区设计的推进长度计算,相邻工作面之间可多采出煤炭资源近1.58 Mt。

参考文献:

- [1] 何国清,杨伦,凌庚娣,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [2] 邓祥月,韩明新,孟斌. 论述防水煤岩柱的留设原则及计算方法[J]. 煤炭技术, 2001, 20(6): 30-34.
DENG Xiang-yue, HAN Mining-xin, MENG Bin. Talking about the set rules and calculation methods of water proof pillar[J]. Coal Technology, 2001, 20(6): 30-34.
- [3] 白有社,岳正喜. 彬长矿区保水与采煤分析[J]. 山西煤炭, 2008(2): 45-48.
BAI You-she, YUE Zheng-xi. Analysis on water conservation and coal mining in Binchang mining area[J]. Shanxi Coal, 2008(2): 45-48.
- [4] 孙学阳,夏玉成. 采煤工作面内及区段间煤柱宽度的理论计算[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(1): 15-18.
SUN Xue-yang, XIA Yu-cheng. Calculation of width of coal pillar at working face and stage coal pillar[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(1): 15-18.
- [5] 吴立新,王金庄,郭增长. 煤柱设计与监测基础[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [6] 吴立新,王金庄. 煤柱宽度的计算公式及其影响因素分析[J]. 矿山测量, 1997(1): 22-25.
WU Li-xin, WANG Jin-zhuang. Coal pillar width calculation formula and analysis of influential factors[J]. Mine Surveying, 1997(1): 22-25.
- [7] 刘洋,柴学周,李竞生. 相邻工作面防水煤岩柱优化研究[J]. 煤炭学报, 2009(2): 239-242.
LIU Yang, CHAI Xue-zhou, LI Jing-sheng. Optimization study on waterproofing coal and rock pillar between two working faces[J]. Journal of China Coal Society, 2009 (2): 239-242.
- [8] 赵景礼,吴健. 厚煤层错层位巷道布置采全厚采煤法: 中国, ZL98100544.6[P]. 2002-01-23.