

黔阳煤矿坡地露头煤柱留设分析研究

陈月

(山西工程技术学院 矿业工程系, 山西 阳泉 045000)

[摘要] 为了分析在水体下开采煤层后上覆岩层及地表的变形破坏规律, 以及讨论地表煤层露头留设防水煤(岩)柱尺寸合理性的问题, 以黔阳矿区某煤矿为工程背景, 计算具有代表性的2号地质勘探线剖面的各煤层的垮落带及导水裂缝带高度, 并根据计算结果采用 UDEC 对可采煤层进行开采模拟, 得到地表下沉和水平位移及地表破坏情况的分析结果。结果表明: 留设合理高度的安全防(隔)水露头煤柱至关重要, 尺寸过大, 则压煤量多, 资源浪费严重; 尺寸过小, 则可能导致灾害性的溃水等事故; 断层加大裂缝带的扩展, 开采过程中还应留足断层煤柱。

[关键词] 煤层露头; 安全煤柱; 合理高度; 断层煤柱

[中图分类号] TD822.3 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 03-0075-04

Study on Outcrop Coal Pillar Layout in the Slope of Qianyang Coal Mine

为防止在水体下采煤易发生的溃水、溃砂等事故, 必须留设一定范围的安全防水煤岩柱。不同学者^[1-12]对水体下采煤引起的覆岩变形及破坏规律、垮落带及导水裂缝带高度的计算等问题均进行了大量研究, 成果十分突出。钱鸣高^[1]院士提出的关键层理论对采场上覆岩层及地表活动的规律研究指出新的方向; 许延春等^[2-4]系统研究了第三系砂砾岩含水层下开采的覆岩规律和煤柱留设方式; 邵月琴^[5]从煤层自身的赋存环境以及人工施工等影响因素对煤层露头煤柱的留设进行了分析; 牛心刚^[6]等指出断层突水措施, 不论注浆加固或是疏水卸压都需留设防水煤岩柱, 并提出了位于大倾角正断层上盘的煤层防水煤柱留设宽度的数学模型; 王睿等^[12]提出了巨厚松散含水层下防水安全煤柱的计算模型和理论, 并采用 FLAC^{3D} 软件进行数值模拟, 检验了提出模型的合理性。本文依据《“三下”采煤规范》^[13]的设计要求和规范, 结合黔阳矿区某煤矿的特殊水文地质条件, 计算出各个煤层开采的导水裂缝带高度和露头防水煤柱高度; 再由计算结果进行数值模拟, 评估大气降水和地表水对矿井开采的影响程度, 对可能发生的水害影响和地质灾害提供防治措施和建议^[14-15]。

1 地质概况

该矿煤层倾角范围较大, 总体 10°~50°, 大部分 15°~30°, 从浅部至深部逐渐减小。区内地质构造呈单斜且走向上的倾向倾角变化趋势小, 但断层

发育, 地质构造属中等复杂。该矿区主要可采煤层为 1 号, 2 号, 3 号, 4 号, 6 号, 8 号煤层, 全区可采煤层为 1 号, 2 号, 3 号煤层, 大部可采煤层为 4 号煤层, 局部可采煤层有 6 号和 8 号煤层。各煤层具体发育参数见表 1。

表 1 各煤层发育参数特征

| 煤层 | 间距/m | 全层厚度/m | 可采情况 | 稳定程度 |
|----|----------------------------------|------------------------|------|------|
| 1 | 至 P _{3c} 底界 平均 14.90 | 0.82~2.90 1.57 (21) | 全区可采 | 较稳定 |
| 2 | 3.90~15.20 10.50 | 0.77~2.45 1.54 (21) | 全区可采 | 较稳定 |
| 3 | 8.95~27.10 20.05 | 0.99~3.59 2.50 (21) | 全区可采 | 较稳定 |
| 4 | 3.85~19.05 3.77 | 0~3.15 1.69 (22) | 大部可采 | 较稳定 |
| 5 | 1.00~10.15 4.89 | 0~1.32 0.55 (22) | - | 不稳定 |
| 6 | 1.25~11.91 9.80 | 0.25~1.75 0.92 (22) | 局部可采 | 不稳定 |
| 7 | 4.05~17.40 6.10 | 0~1.41 0.62 (22) | - | 不稳定 |
| 8 | 3.20~14.20 13.00 | 0.37~4.83 1.20 (22) | 局部可采 | 不稳定 |

2 煤层露头煤柱的预留计算

2.1 安全防隔水煤岩柱的计算

安全防隔水煤岩柱是为了防止导水裂缝带波及水体。其值可按式 (1) 计算:

$$H_{sh} \geq H_{li} + H_b \quad (1)$$

式中, H_{sh} 为防水安全煤岩柱垂直高度, m; H_{li} 为

[收稿日期] 2018-01-04

[作者简介] 陈月 (1989-), 女, 四川万源人, 硕士, 研究方向为岩土工程及煤矿开采。

[引用格式] 陈月. 黔阳煤矿坡地露头煤柱留设分析研究 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (3): 75-78.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.03.019

导水裂缝带最大高度, m; H_b 为保护层厚度, m。

2.2 各煤层垮落带高度及导水裂缝带计算

(1) 对于 $\leq 35^\circ$ 的缓倾斜及角度在 $35^\circ \sim 54^\circ$ 的中倾斜煤层, 当煤层顶板覆岩为坚硬、中硬、软弱、极软弱岩层或互层时, 单一煤层开采后的最大垮落带高度计算公式为:

$$H_m = \frac{M - W}{(k - 1) \cos\alpha} \quad (2)$$

式中, M 为煤层采厚, m; k 为冒落岩石碎胀系数, 取 1.2; α 为煤层倾角; W 为冒落过程中顶板的下沉值, 取 $0.1M$ 。

(2) 当上、下两层煤的最小垂距大于回采下层煤的垮落带高度时, 上、下层煤的导水裂缝带最大高度可分别按上、下层煤的厚度选用公式 (3) 或 (4) 计算, 取其中标高最高者作为两层煤的导水裂缝带最大高度。

$$H_{li} = \frac{100\Sigma M}{1.6\Sigma M + 3.6} \pm 5.6 \quad (3)$$

$$H_{li} = 20\sqrt{\Sigma M} + 10 \quad (4)$$

式中, ΣM 为煤层累计采厚, m。

(3) 当下煤层的垮落带触及到或完全处于上层煤范围内时, 本层煤的开采厚度可用于上层煤导水裂缝带高度的计算, 而上、下煤层综合开采厚度用于下层煤导水裂缝带高度的计算, 标高最大者取为该两层煤的导水裂缝带最大高度。其中上、下煤层综合开采厚度 M_{zh} 按公式 (5) 计算。

$$M_{zh} = M_x + \left(M_s - \frac{h_{s-x}}{y_x} \right) \quad (5)$$

式中, M_s 为上层煤开采厚度, m; M_x 为下层煤开采厚度, m; h_{s-x} 为上、下煤层之间的法线距离, m; y_x 为下煤层的冒高与采厚之比。

2.3 保护层厚度的选取

对于缓倾斜 ($0^\circ \sim 35^\circ$) 及中倾斜 ($36^\circ \sim 54^\circ$) 煤层, 顶板岩性中硬时, 防水安全煤岩柱的保护层厚度, 可根据有无松散层及其中黏性土层厚度选取。表 2 列出了中硬岩层防水安全煤岩柱的计算选择。

表 2 防水安全煤岩柱保护层厚度

| | | | | |
|------|-------------------|-------------------|-------------|------------|
| 覆岩岩性 | 松散层底部黏性土层厚度大于累计采厚 | 松散层底部黏性土层厚度小于累计采厚 | 松散层全厚小于累计采厚 | 松散层底部无黏性土层 |
| | 3A | 4A | 5A | 6A |
| 中硬 | 3A | 4A | 5A | 6A |

注: $A = \frac{\Sigma M}{n}$, ΣM 为累计采厚, m, n 为分层层数。

选取具有代表性的 2 号地质勘探线剖面, 依据《“三下”采煤规范》的设计要求和规范, 结合该矿区的地质条件, 计算出了该剖面的开采煤层防水

煤柱高度, 见图 1 和表 3。

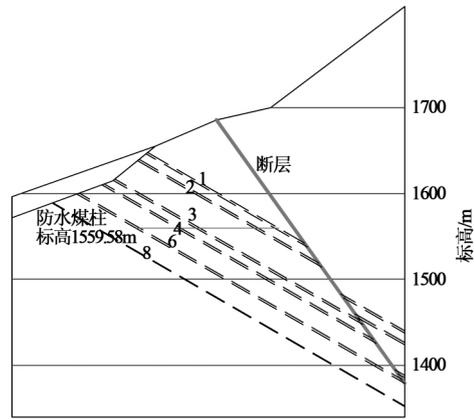


图 1 2 号剖面各煤层开采标高

表 3 2 号剖面各煤层防水煤柱高度

| 煤层 | 垮落带高度/m | 导水裂缝带高度/m | 防水煤柱高度/m | 剖面统一开采标高/m |
|----|---------|-----------|----------|------------|
| 1 | 15.07 | 44.06 | 55.66 | +1559.58 |
| 2 | 12.73 | 52.57 | 64.82 | |
| 3 | 15.12 | 44.12 | 55.76 | |
| 4 | 8.94 | 34.98 | 50.88 | |

3 数值模拟及结果分析

3.1 模型的建立及模拟过程

离散元数值计算方法对于解决不连续介质问题十分有效, 在岩土、矿冶和环境等多个领域广泛使用。而离散单元软件 UDEC (Universal Distinct Element Code) 是基于离散单元方法模拟非连续问题的通用二维数值计算软件, 特别适用于研究与采矿有关的静态和动态问题。本文选取具有代表性的勘探线 2 号地质剖面, 分析该剖面下各煤层工作面开采后上覆岩层及地表的变形破坏情况和导水裂缝带的分布情况。根据矿区的采矿条件, 确定模型长度 453.06m, 高度 480.94m; 固定的底部及左右边界为模拟边界条件。数值计算模型见图 2, 2 号剖面各煤层厚度及层间距见表 4。

表 4 2 号剖面各煤层参数

| 煤层编号 | 厚度/m | 层间距/m | 倾角/(°) |
|------|------|-------|--------|
| 1 | 2.90 | 10.11 | 30 |
| 2 | 2.45 | 31.67 | |
| 3 | 2.91 | 8.83 | |
| 4 | 1.72 | 22.10 | |
| 6 | 0.39 | 23.80 | |
| 8 | 0.57 | | |

模拟过程中的各岩层物理力学参数见表 5。由于 2 号剖面的 6 号煤层和 8 号煤层厚度小于 0.5m, 为不可采区域, 且因右侧正断层的分割作用, 致使 1 号煤层在开采标高以下的范围只有 30m 可采, 所

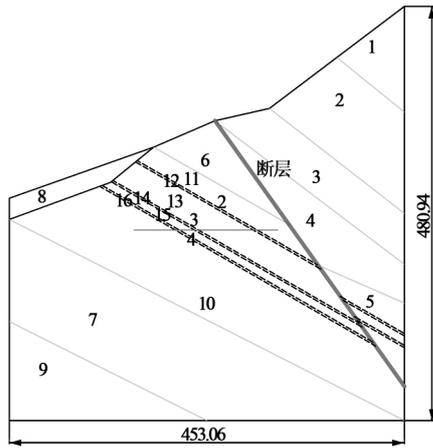


图 2 2号剖面数值计算模型

以本剖面未模拟 1 号、6 号、8 号煤层的开采情况。

表 5 各岩层物理力学性质

| 岩层 | 密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 体积模 量/GPa | 剪切模 量/GPa | 内摩擦角 $\phi/ (^{\circ})$ | 黏聚力 /MPa | 抗拉强 度/MPa |
|------|--|--------------|--------------|----------------------------|-------------|--------------|
| 煤层 | 1450 | 2.20 | 1.15 | 27.2 | 1.42 | 1.42 |
| 细砂岩 | 2620 | 12.49 | 8.28 | 42.0 | 11.48 | 2.76 |
| 粉砂岩 | 2550 | 11.34 | 7.85 | 37.5 | 12.32 | 5.30 |
| 砂质泥岩 | 2650 | 4.87 | 2.54 | 28.7 | 3.24 | 1.75 |
| 石灰岩 | 2380 | 9.24 | 6.65 | 32.4 | 6.84 | 2.47 |

具体过程为: 建立模型→检验模型→监测线布置→初始力平衡→2号煤层开采→3号煤层开采→4号煤层开采→分析上覆岩层及地表的最终变形破坏情况。每个可采煤层均开采第一区段, 工作面斜长 200m。

3.2 各煤层开采后的地表位移及破坏分析

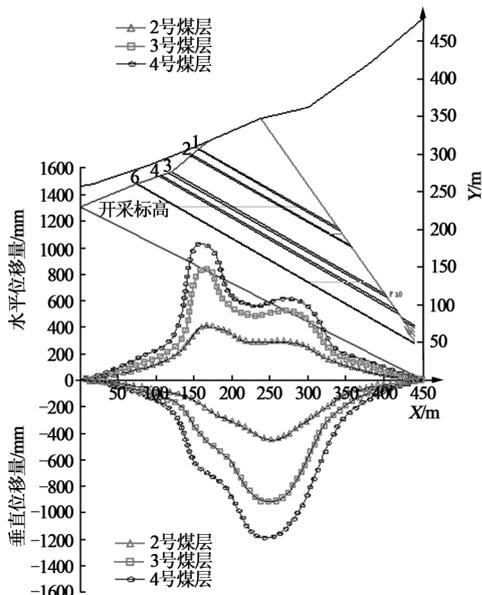


图 3 2号剖面地表下沉及水平移动曲线

3.2.1 水平移动及地表下沉分析

(1) 地表水平移动 由图 3 可知, 地表水平位移随着煤层的逐层开采而逐渐增大且均是向着山

体内部移动, 其水平位移曲线均呈驼峰形状波动, 水平位移在开采过程中出现两个峰值点, 2 号、3 号、4 号煤层的第 1 峰值点均出现在横坐标 150m 附近即 2 号煤层露头处, 峰值分别为 400mm, 900mm, 1100mm; 第 2 峰值点均出现在横坐标 250~275m 附近即断层露头处, 峰值分别为 300mm, 500mm, 600mm。以 2 号煤层露头为中心左右各 25m 范围内, 地表由剧烈拉伸变为剧烈压缩, 导致此处地表可能会形成地裂缝, 这些裂缝、裂隙若与采空区贯通极易造成地下水患。在 2 号煤层露头与断层露头之间的地表水平移动量变化不大, 该部分地表相对稳定。由于断层下盘开采后上盘岩体往采空区方向滑动导致其露头以上地表水平位移总体往山体内移动。

(2) 地表下沉 由图 3 可知, 地表垂直位移随着煤层的逐层开采其位移曲线均呈单峰形状波动, 最大下沉值分别为 400mm, 900mm, 1200mm, 峰值点位于横坐标 250~275m 附近即断层露头处, 垂直位移峰值与水平位移第 1 峰值基本相同, 说明地表移动系数为 1。且下沉曲线均呈尖底状, 说明第 1 区段未达到充分采动。第 1 区段开采后, 在采动影响范围内地表总体往采空区方向移动, 这部分地表位于坡面的下部, 可能引起中上部坡体产生危岩崩塌或滑坡。

3.2.2 不同煤层开采后覆岩与地表变形破坏

不同煤层开采后覆岩与地表的变形破坏情况如图 4 至图 6 所示。由图可知:

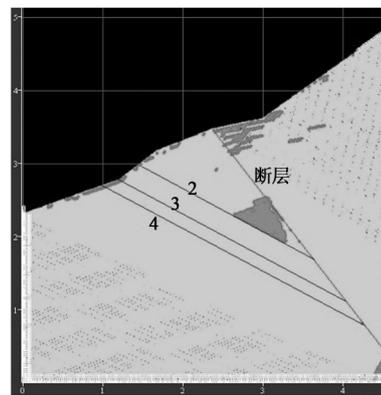


图 4 2号煤层开采后覆岩与地表的变形破坏情况

(1) 受采动和断层裂缝的双重影响, 2 号煤层开采后, 在其顶板和断层之间即横坐标 260~330m 的范围出现明显的破坏和深度达 0~40m 的裂隙; 受断层下盘的采动影响, 断层上盘露头附近的地表, 即横坐标 240~320m 范围产生了明显的破坏和 0~40m 范围的离层, 但开采后这两部分的裂隙尚未贯通。

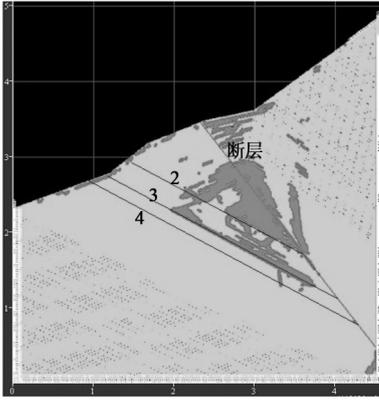


图 5 3 号煤层开采后覆岩与地表的变形破坏情况

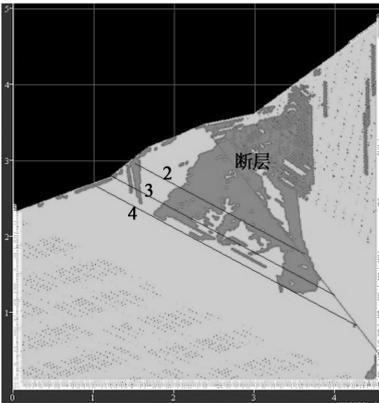


图 6 4 号煤层开采后覆岩与地表的变形破坏情况

(2) 3 号煤层开采后，采空区上部的裂缝带发展到横坐标 200~380m 的范围，垂直方向上已穿过断层进入断层上盘，断层上盘裂缝高度在 20~30m 之间，并与地表的裂缝带之间有 20~25m 的距离，将要形成贯通裂隙。

(3) 4 号煤层开采后采空区裂缝带向上发展并与地表裂隙贯通，地表水可沿这些裂隙进入采空区并软化裂缝带范围内的泥质岩层。由于累积采高的增大和采空区的扩大，2 号煤层露头附近即横坐标 140~155m 处也产生了一组裂隙，此组裂隙深度约 40m，距采空区约 20m，地表水可能进入这些裂缝致岩层面被软化。

4 结 论

(1) 断层对裂缝带的扩大起了重要作用。

(2) 4 号煤层工作面的开采对覆岩及地表的变形破坏影响最大，其开采导致裂缝带贯通到地表，

并形成 2 号煤层露头附近的一组裂隙，地表水可沿这些裂缝进入井下采空区，造成水患。

(3) 2 号剖面附近煤层因受断层的影响，按现在的露头煤柱设计，导水裂缝带会通达地表，可能导致中上部山体失稳诱发滑坡或危岩崩塌，危及坡脚一带的民房。因此 2 号剖面煤柱高度要增加，先暂时不开采断层附近下盘的煤层，在开采断层上盘的煤层时还应留足断层煤柱，且在开采过程中对地表出现的裂缝应及时封堵。

[参考文献]

[1] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.

[2] 许延春, 刘世奇. 水体下综放开采的安全煤岩柱留设方法研究 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (11): 1-5.

[3] 许延春, 郭文视, 王 潇, 等. 露头区工作面边界防水煤岩柱留设方法 [J]. 煤矿安全, 2017, 48 (3): 133-136.

[4] 许延春. 综放开采防水煤岩柱保护层的“有效隔水厚度”留设方法 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (3): 305-308.

[5] 邵月琴. 煤层开采影响露头煤柱留设的主要因素分析 [J]. 河北煤炭, 2007 (2): 16-17.

[6] 牛心刚, 张永将, 马海峰, 等. 采动和强承压水作用下大倾角断层防水煤柱宽度研究 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (S1): 75-77.

[7] 高洪烈. 隐伏煤田区煤层露头煤柱的留设条件研究 [J]. 中国煤田地质, 1993 (4): 46-50, 70.

[8] 袁焕章. 隐伏煤层露头煤柱留设的研究与预计 [J]. 中国煤田地质, 1996 (3): 52-54, 57.

[9] 刘 洋, 伍永平, 王永胜. 断层上盘防水煤柱合理宽度研究 [J]. 西安科技大学学报, 2010, 30 (5): 523-529.

[10] 栗秋实. 巨厚第四系下煤矿充水条件与煤柱留设的分析 [J]. 煤炭技术, 2009, 28 (7): 151-152.

[11] 尹尚先. 陷落柱防水煤柱留设对围岩变形影响的数值模拟研究 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (2): 179-182.

[12] 王 睿, 孟召平, 谢晓斌, 等. 巨厚松散层下防水煤柱合理留设及其数值模拟 [J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39 (1): 31-35.

[13] 胡炳南, 张华兴, 申宝宏. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.

[14] 国家煤矿安全监察局. 煤矿防治水规定 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.

[15] 徐永圻. 煤矿开采学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.

[责任编辑: 周景林]

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎惠登广告
 电话: (010) 84262728 (010) 84262052 传真: (010) 84262728 电子信箱: MKKC@chinajournal.net.cn