

祁东煤矿8₂32工作面导水裂隙带发育高度研究

赵保新, 吴家峰

安徽理工大学, 地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年2月28日; 录用日期: 2022年3月31日; 发布日期: 2022年4月7日

摘要

煤层开采的同时常常伴随很多灾害的发生, 本文为了防止开采后产生裂隙贯通上覆水体, 导致发生水害, 对祁东煤矿8₂32工作面导水裂隙带发育高度进行预计。运用数值模拟和两种规范经验公式的方法对其导水裂隙带发育高度进行了预测研究, 并与实测结果进行比较。通过研究得出: 不考虑顶板预裂时, 8₂32工作面采动覆岩导水裂隙带高度预计值为64.13 m; 考虑顶板预裂时, 8₂32工作面采动覆岩导水裂隙带高度预计值为55.27 m。相同条件下数值模拟结果比经验公式结果更接近实际。

关键词

数值模拟, 经验公式, 对比分析, 导水裂隙带

Study on the Development Height of Water Conducting Fracture Zone in 8₂32 Working Face of Qidong Coal Mine

Baoxin Zhao, Jiafeng Wu

School of Earth and Environment, Anhui University of Technology, Huainan Anhui

Received: Feb. 28th, 2022; accepted: Mar. 31st, 2022; published: Apr. 7th, 2022

Abstract

Coal seam mining is often accompanied by many disasters. In order to prevent cracks from penetrating the overlying water body and causing water damage after mining, this paper predicts the development height of water diversion fracture zone in 8₂32 working face of Qidong Coal Mine. The development height of water conducting fracture zone is predicted by using numerical simulation and two normative empirical formulas, and compared with the measured results. Through the research, it is concluded that when the roof pre crack is not considered, the estimated height

of the mining overburden water diversion fracture zone in 8₂32 working face is 64.13 m; When considering the pre splitting of the roof, the height of the mining overburden water diversion fracture zone in 8₂32 working face is expected to be 55.27 m. Under the same conditions, the numerical simulation results are closer to the reality than the empirical formula results.

Keywords

Numerical Simulation, Empirical Formula, Comparative Analysis, Water Flowing Fractured Zone

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

自投产以来,先后在 3₂22、7₁14、7₁30、6₁30、7₁21 等 8 个工作面发生 17 次“四含”突水事故,经济损失巨大,对矿井安全和生产接续造成严重影响。本文通过预测祁东煤矿 8₂32 工作面导水裂隙带发育高度,合理确定工作面回采上限;为 8₂32 工作面近水体下安全开采提供基础技术保障,具有指导作用。

目前,我国对于导水裂隙带的发育规律进行研究,并提出了多种探测方法,总结多种经验计算公式。本文选用其中二种规范计算公式和 Flac3D 模拟结果对比分析[1]-[6]。导水裂隙带的发育至临近或导通上部水体将发生突水危险。由于煤层赋存条件不同,覆岩垮落形成“三带”的空间形态也不同,大致分为“马鞍形”、抛物线形和不对称拱形,其中“马鞍形”较为常见。

“马鞍形”导水裂隙带主要出现在近水平、缓倾斜(0~35°)煤层中[7]。工作面到一定长度时,顶板垮落,上部岩层将出现垮落或者弯曲等变化。冒落岩层上部出现水平和垂向裂缝,形成裂缝带。在裂缝带上部,岩层表现为弯曲下沉,但没有断裂,即形成了弯曲下沉带。由于中部岩层处于弯曲状态,低于推进方向两侧的裂隙发育高度,所以就形成了较为对称的“马鞍形”结构。此类结构比较容易在两端形成导水通道,引起涌水量增大。松散承压含水层下采煤如图 1 所示。

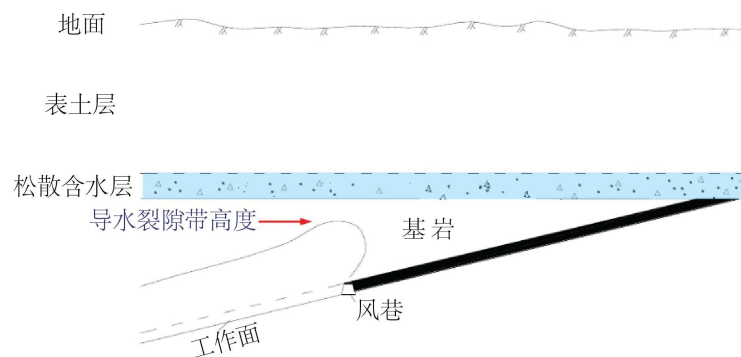


Figure 1. Schematic diagram of coal mining under loosely confined aquifers

图 1. 松散承压含水层下采煤示意图

2. 地质概况

祁东煤矿位于安徽省宿州市东南部。其采区地质构造较为简单,基本为单斜构造,无大的褶曲,但

煤层产状有一定起伏, 自西向东, 煤层倾向由北西向转为北东向, 通过精查及三维地震补充勘探, 全区发育断层 63 条, 其中: 正断层 47 条, 逆断层 16 条。绝大多数断层 < 10 m。

矿井主要含煤地层为石炭二叠系, 可采煤层 10 层, 其中主采煤层 5 层(3₂、6₁、7₁、8₂、9)。8₂ 煤位于下石盒子组的下部, 上距 8₁ 煤层 7~18 m, 平均 11 m 左右; 下距 8₂ 煤 10~21 m, 平均 15 m 左右。煤层厚度 0~5.54 m, 平均 1.65 m, 为全区大部可采的较稳定煤层。煤层结构复杂, 多数点具 1~2 层夹矸; 煤层顶板以砂岩为多, 少泥岩、粉砂岩。

3. 采动导水裂带发育高度数值模拟研究

3.1. 模型建立

FLAC^{3D} 数值模拟在导水裂隙带、防隔水煤岩柱留设和断层等方面有着比较显著研究前景[8] [9] [10] [11]。能够比较有效的反应模拟覆岩的塑性破坏, 为了进一步分析研究 8₂32 工作面采动覆岩变形破坏特征, 本节基于 FLAC^{3D} 进行覆岩破坏规律数值模拟研究[12] [13]。

对模型边界条件设定如下: 底(下)部边界采用全约束边界条件, 即 X、Y 和 Z 向位移均为零; 左右边界、前后边界为约束边界条件, 即 X 向、Y 向均固定(水平位移为零), Z 向为自由边界; 模型上边界为自由边界, 不予约束。

为了建立的模型尽可能的与实际开采工况吻合, 同时考虑合理的简化, 以 8₂32 工作面内的 27-28₂ 钻孔柱状的覆岩岩性分布为参考, 以祁东煤矿已有的岩性物理力学参数和主要岩性常规测试结果为依据, 建立长宽高尺寸 600 m × 200 m × 130 m 的数值计算模型, 如图 2 所示。模型中岩层的物理力学参数如表 1 所示。根据岩层埋深情况, 模型顶部施加 9.2 MPa 的补偿荷载, 另外在松散层底板施加 2.8 MPa 的渗透压模拟“四含”水压作用。

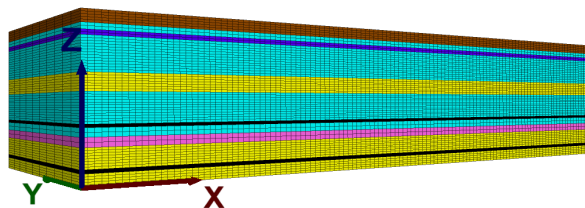


Figure 2. FLAC^{3D} numerical model of 8232 working face
图 2. 8₂32 工作面 FLAC^{3D} 数值模型图

Table 1. Physical and mechanical parameters of rock formations

表 1. 岩层物理力学参数表

序号	岩性	厚度/m	深度/m	容重 N/m ³	体积模量 /Pa	剪切模量 /Pa	摩擦角/°	粘聚力/Pa	抗拉强度 /Pa
1	松散层	10	10	2600	6.50E+10	6.20E+10	24	3.20E+06	5.10E+05
2	泥岩	5	15	2430	9.50E+09	6.60E+09	36	8.50E+05	1.60E+06
3	细砂岩	4	19	2500	1.67E+10	1.70E+10	40	6.80E+06	3.80E+06
4	泥岩	27	46	2450	9.50E+09	6.60E+09	36	8.50E+05	1.60E+06
5	中砂岩	14	60	2700	1.50E+10	1.40E+10	37	5.00E+06	2.20E+06
6	泥岩	24	84	2580	9.50E+09	6.60E+09	36	2.40E+06	1.40E+06
7	7 煤	2.5	86.5	1400	1.10E+10	1.10E+10	40	2.00E+07	2.50E+06

Continued

8	泥岩	7	93.5	2580	9.50E+09	6.60E+09	36	2.40E+06	1.40E+06
9	粉砂岩	7.5	101	2500	8.30E+09	6.25E+09	37	3.50E+06	1.50E+06
10	中砂岩	16.2	117	2520	1.70E+10	1.40E+10	39	3.50E+06	1.82E+06
11	8 ₂ 煤	2.8	120	1400	1.10E+10	1.10E+10	40	2.00E+07	2.50E+06
12	中砂岩	10	130	2560	1.70E+10	1.40E+10	39	5.10E+06	3.60E+06

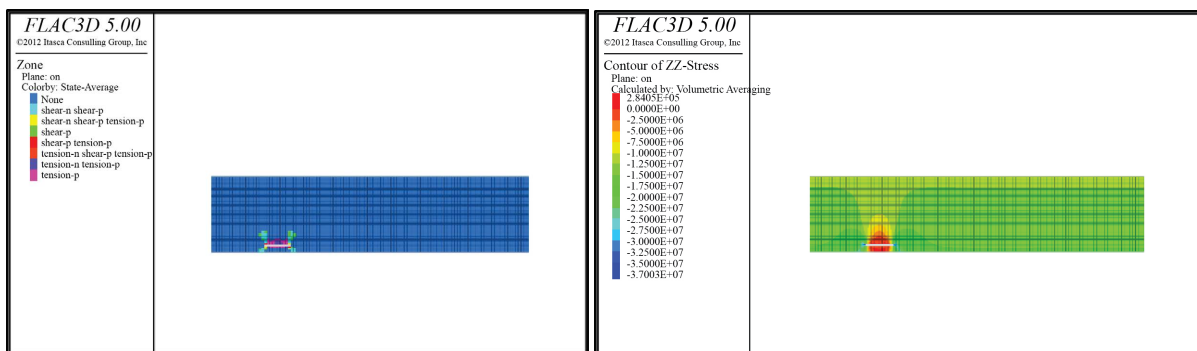
3.2. 模拟开采过程及结果

FLAC^{3D} 软件采用塑性本构模型可以显示符合屈服准则的区域, 根据塑性区确定破坏区域的范围, 可以比较直观地查看模型垮落和破坏情况。本次模拟将主要以块体的破坏、应力分布、裂隙分布等作为主要的判别依据。

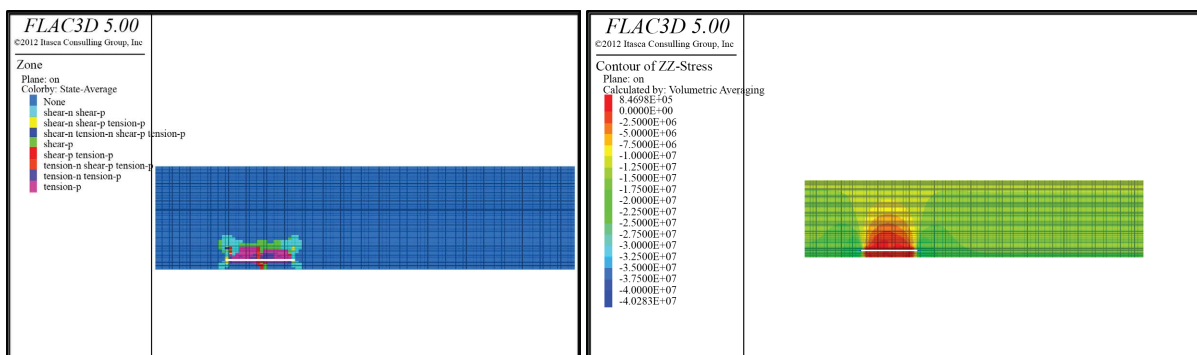
由于研究工作面采长较长, 主要分析工作面走向开采 50 m、100 m、200 m、250 m、400 m 竖向塑性区域和垂直应力的变化, 选取的剖面均为采空区中间位置(如图 3)。

3.3. 模拟结果分析

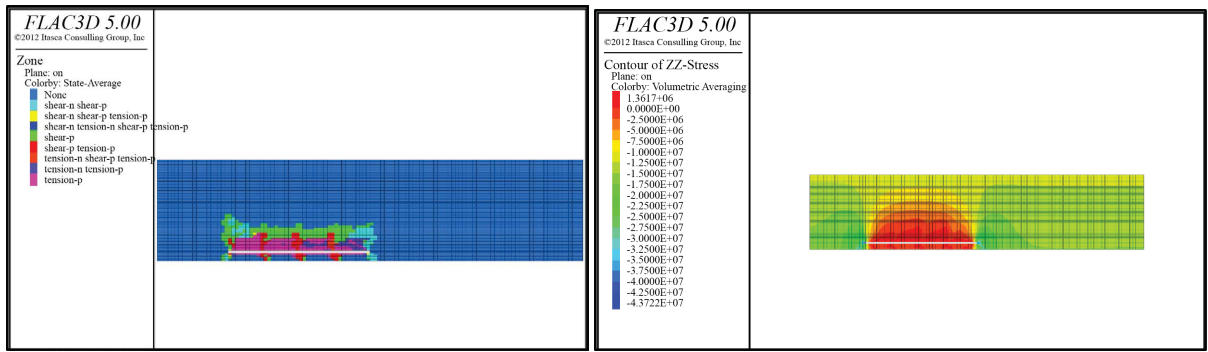
8₂32 工作面开采上限的确定, 主要是确定开采区域的采动导水裂隙发育高度。由模拟结果可以发现, 当 8₂32 工作面推进到距开切眼 100 m 时, 采空区直接顶在双向拉应力的作用下完全破坏, 剪切破坏区域延伸到了 7 煤底板, 塑性区高度达到 30.5 m; 当工作面推进到 200 m 时, 上覆岩层的裂隙发展更为明显, 塑性区范围逐渐增大, 延伸到 7 煤顶板厚层泥岩中, 破坏特征形成典型的“马鞍”形, 覆岩塑性区高度达到 49 m; 当工作面推进到 250 m 时, 塑性破坏区达到 54 m 左右; 工作面继续推进, 发现当工作面开



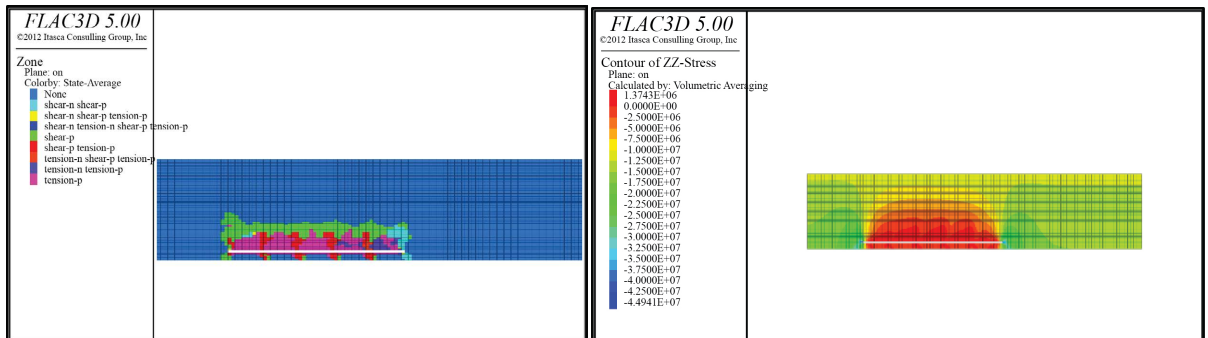
(a) 工作面开采 50 m 时塑性破坏场与垂直应力场规律



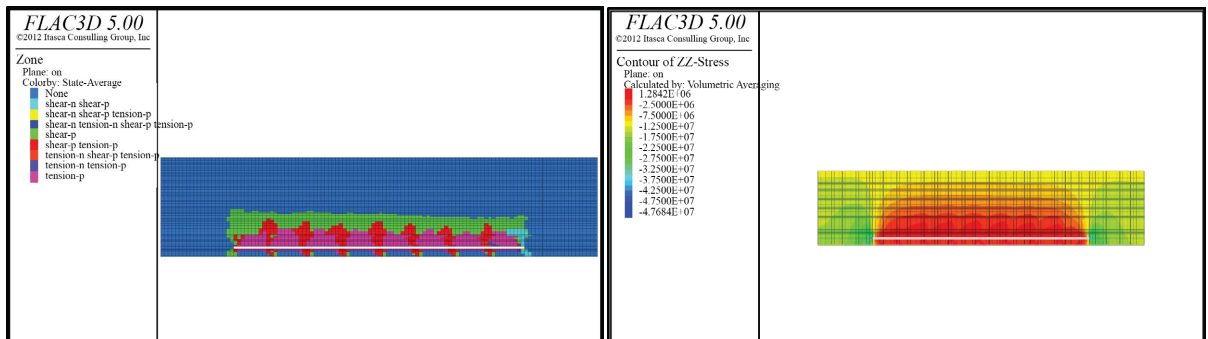
(b) 工作面开采 100 m 时塑性破坏场与垂直应力场规律



(c) 工作面开采 200 m 时塑性破坏场与垂直应力场规律



(d) 工作面开采 250 m 时塑性破坏场与垂直应力场规律



(e) 工作面开采 400 m 时塑性破坏场与垂直应力场规律

Figure 3. Law of plastic failure field and vertical stress field during mining

图 3. 工作面开采时塑性破坏场与垂直应力场规律

采推进到 400 m 时, 塑性区发育高度基本稳定在 54 m 左右, 从而说明煤层开采到 250 m 时, 岩层已达到充分采动, 岩体发生拉破坏以及最大主应力集中的高度位于煤层顶板以上约 54 m。之后随着工作面的推进, 煤壁前后方的破坏区宽度会增大, 塑性区高度则基本保持稳定, 反而由于开采区域的继续增大, 中部的裂隙发生一定程度闭合。

从图 3 中应力场分布规律可以看出, 煤壁前方形成应力增高区, 采空区为卸荷区。随着工作面的不断推进, 拉伸破坏区的范围逐渐增大, 相对应的上部剪切破坏区域也在不断扩大, 在整个推进过程中, 煤壁和开切眼处的围岩主要发生了剪切破坏, 总体来看, 塑性区的整体分布成马鞍形。

通过数值模拟结果显示, 8₂ 煤层采厚为 2.8 m 的条件下, 不考虑顶板预裂的作用, 覆岩导水裂隙发育高度约为 54.0 m。

4. 导水裂隙带发育高度对比分析

本文“三下”规范、“勘查”规范中的经验公式和实测结果对三采区 8₂32 工作面导水裂隙带发育高度进行预计[13][14][15], 并与 Flac3D 模拟结果进行对比分析。

4.1. 两种经验公式法预计结果

根据 8₂煤覆岩结果与力学参数, 煤层顶板均属中硬岩类。利用上述二个公式的计算结果, 如表 2 所示。

Table 2. The predicted results of the empirical formula for the height of the water-conducting fracture zone
表 2. 导水裂隙带高度经验公式预计结果表

工作面	采厚/m	规范	计算公式	计算结果/m
8 ₂ 32	2.8	“三下”规范	$H_{ii} = \frac{100\sum M}{1.6\sum M + 3.6} \pm 5.6$	34.65 (±5.6)
			$H_{ii} = 20\sqrt{\sum M} + 10$	43.46
		“勘查”规范	$H_t = \frac{100\sum M}{3.3n + 3.8} + 5.1$	44.54

根据 8₂32 工作面煤层赋存厚度, 取 2.8 m 作为工作面设计开采厚度。《“三下”规范》中经验公式法预计结果: 导水裂隙带高度为 34.65 (式一)~43.46 m (式二), 为采高的 12.4~15.5 倍; 《“勘查”规范》中经验公式法预计结果显示: 导水裂隙带高度为 44.54 m, 为采高的 15.9 倍。利用“勘查”规范中经验公式计算的导水裂隙带高度比“三下”规范中经验公式计算的结果略大。

4.2. 实测结果

对无实测数据的矿井, 可以参考类似地质采矿条件矿区的实测数据、水体下开采成功经验或者依据覆岩类型按对应公式计算[16]。

祁东煤矿进行了大量的“两带”高度观测, 但关于 8₂煤层开采工作面仅 1 个, 即 8₂31 工作面 D15 钻孔实测数据, 该数据是在顶板预裂爆破的条件下。在未进行顶板预裂爆破条件下的实测数据, 没有涉及 8₂煤层, 主要集中在 3 煤、6 煤和 7 煤开采工作面。通过煤层顶板岩性统计, 发现在煤层顶板以上 60 m 范围内的岩性比例中, 7₁煤与 8₂煤中的砂岩占比接近, 6₁煤砂岩占比最低, 9 煤砂岩占比居中, 从本矿区已有经验的参考性上讲, 顶板岩性最具参考性的为 7₁煤层。

以往 7₁煤层开采工作面实测结果中, 存在个别数值偏高的情况, 在本次分析中不予考虑, 其正常实测结果与 8₂31 工作面 D15 钻孔实测结果如表 3 所示。

Table 3. The statistical table of the measured results of the height of the water-conducting fractures in the overlying rock during the mining of the 7₁ and 8₂ coal seams in Qidong Coal Mine

表 3. 祁东煤矿 7₁与 8₂煤层开采覆岩导水裂隙带发育高度实测结果统计表

工作面	孔号	导水裂隙带高度/m	采高/m	裂采比	顶板条件
7 ₁ 14	D1	62	3.0	20.67	未预裂
	D3	54.9	2.4	22.90	未预裂
	D4	53.7	2.4	22.40	未预裂

Continued

7 ₁₃₀	D5	29.51	2.85	10.35	预裂
	D6	28.51	2.93	9.73	预裂
7 ₁₃₁	D11	41.95	3.5	11.98	预裂
8 ₂₃₁	D15	55.28	2.8	19.74	预裂

根据表 3 所示, 在未进行顶板预裂的条件下, 7₁ 煤层开采工作面覆岩导水裂隙带高度与采高比值为 20.67~22.90; 在进行顶板预裂的条件下, 7₁ 煤层开采工作面覆岩导水裂隙带高度与采高比值为 9.73~11.98, 而 8₂₃₁ 工作面覆岩导水裂隙带高度与采高比值为 19.74, 该测试结果与 7₁ 煤相差较大, 分析认为可能存在一定误差, 但该工作面与 8₂₃₂ 工作面邻近且无其他 8₂ 煤数据。从安全的角度考虑, 选择 22.90 和 19.74 分别作为未预裂和预裂顶板条件下 8₂₃₂ 工作面煤层开采覆岩导水裂隙带高度与采高比值的参考值。

4.3. 总结

根据 8₂₃₂ 工作面煤层赋存条件, 取 2.8 m 作为工作面设计开采厚度。通过上述分析, 预计 8₂₃₂ 工作面不进行顶板预裂和进行顶板预裂条件下覆岩导水裂隙带的发育高度分别为 64.12 m 和 55.27 m。本节综合利用经验公式、实测结果分析、理论计算与数值模拟等方法对 8₂₃₂ 工作面开采覆岩导水裂隙带发育高度进行了分析, 具体结果如表 4 所示。

Table 4. The predicted results of the development height of the water-conducting fracture zone

表 4. 导水裂隙带发育高度预计结果

编号	预计方法	预计结果/m	顶板条件
1	经验公式	“三下规程”	34.65 (±5.6)
2			未预裂
3			未预裂
4	数值模拟	FLAC ^{3D}	44.54
5			未预裂
6	实测对比分析	55.27	预裂

5. 结论

1) 从安全的角度考虑, 选择不同预计方法中的最大值作为预计结果, 即: 采厚 2.8 m 的条件下, 不考虑顶板预裂时, 8₂₃₂ 工作面采动覆岩导水裂隙带高度预计值为 64.13 m; 考虑顶板预裂时, 8₂₃₂ 工作面采动覆岩导水裂隙带高度预计值为 55.27 m。

2) 两种经验公式预计结果与实际附近工作面相差过大, 不可取; 在 8₂₃₂ 工作面不进行顶板预裂 Flac3D 模拟结果, 覆岩导水裂隙发育高度约为 54.0 m。于其结果相差不大, 可以一定程度提高开采上限。模拟过程中, 煤壁和开切眼处的围岩主要发生了剪切破坏, 总体来看, 塑性区的整体分布成“马鞍形”。为该矿 8₂₃₂ 工作面留设防水煤(岩)柱高度提供参考。

参考文献

- [1] 贺亮亮, 杨磊, 郭云, 王飞, 李贵娟. 综放采煤工作面顶板导水裂隙带发育高度研究[J]. 陕西煤炭, 2021, 40(6): 165-168+195.
- [2] 徐维, 刘德旺, 尹尚先, 姜涛. 东曲矿 28806 工作面导水裂隙带发育规律研究[J]. 煤炭技术, 2019, 38(9): 118-121.

- [3] 陈鑫. 杭来湾煤矿导水裂隙带发育高度数值模拟研究[J]. 中国煤炭, 2019, 45(3): 55-59+74.
- [4] 韩新哲. 采煤导水裂隙带发育高度计算公式概述[J]. 价值工程, 2018, 37(20): 235-236.
- [5] 王建宁, 刘伟韬, 宋文成. 覆岩采动导水裂隙带发育高度数值模拟与测试分析[J]. 煤炭技术, 2017, 36(10): 149-151. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2017.10.059>
- [6] 丛森, 程建远, 王云宏, 段建华. 导水裂隙带发育高度的微震监测研究[J]. 中国矿业, 2017, 26(3): 126-131.
- [7] 吴改梅, 付玉平, 李佳伦. 缓倾斜煤层导水裂隙带发育规律研究[J]. 太原科技大学学报, 2021, 42(5): 407-411+417.
- [8] 周卫东. 五沟煤矿 1012 工作面 F14 断层防水煤柱合理留设技术研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2020. <https://doi.org/10.27784/d.cnki.gahjz.2020.000014>
- [9] 刘世奇, 胡小龙, 张罗迅. 基于 AutoCAD 的 FLAC^{3D} 断层模拟快速建模方法[J]. 煤矿安全, 2018, 49(5): 135-138. <https://doi.org/10.13347/j.cnki.mkaq.2018.05.035>
- [10] 刘浩, 刘启蒙. 基于 FLAC^{3D} 对断层注浆效果的模拟分析[J]. 煤炭技术, 2018, 37(2): 156-158. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2018.02.058>
- [11] 朱磊, 柴敬, 文杰. 综放开采导水裂隙带发育高度数值模拟分析[J]. 煤炭技术, 2017, 36(2): 159-161.
- [12] 杨彪. 基于 FLAC^{3D} 的薄基岩区覆岩破坏高度数值模拟研究[J]. 能源与环保, 2017, 39(1): 76-79.
- [13] 高保彬, 刘云鹏, 潘家宇, 袁恬. 水体下采煤中导水裂隙带高度的探测与分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S1): 3384-3390.
- [14] 余学义, 刘俊, 王鹏, 赵兵朝. 特厚煤层分层开采导水裂隙带高度探测研究[J]. 中州煤炭, 2013(7): 4-7+11.
- [15] 傅佩河. 浅埋深煤层合理确定开采上限技术研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2004.
- [16] 袁喜东. 榆神矿区导水裂隙带发育规律研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2017.