

水工环地质

新疆塔什店矿区导水裂隙带发育高度预测

路兵¹, 杨海博²

(1. 新泰市自然资源和规划局, 山东 新泰 271200; 2. 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院, 山东 济南 250000)

摘要: 上覆岩层具有含水层的煤层开采有煤层透水的潜在危险性, 有效预测导水裂隙带发育高度对预防开采过程中煤层透水具有重要意义。新疆塔什店矿区一号矿井具有 7 层煤层, 亟需开展导水裂隙带发育高度预测, 评估上覆含水层对煤层开采的影响程度。本文采用典型有限差分软件 FLAC3D, 对塔什店矿区一号矿井煤层开采覆岩发育规律进行模拟分析, 揭示多层煤层开采时导水裂隙带与上覆含水层的位置关系。结果显示, 在煤层推进长度为 600 m 时, 煤层开挖后上覆含水层底板产生较小程度的下沉。导水裂隙带高度扩展至 8-1 煤层顶板以上 30~40 m, 距含水层底板仍有 57~67 m 距离, 煤层开采导水裂隙带难以扩展至该含水层。各煤层开挖后, 含水层底板位置的垂直应力与开挖前相差较小。该研究成果可有效指导塔什店矿区一号矿井煤层开采活动。

关键词: 导水裂隙带; 数值模拟; 多层煤层开采; 塔什店矿区

中图分类号: TD745

文献标识码: A

doi: 10.12128/j.issn.1672-6979.2024.08.004

引文格式: 路兵, 杨海博. 新疆塔什店矿区导水裂隙带发育高度预测[J]. 山东国土资源, 2024, 40(8): 23~28. LU Bing, YANG Haibo. Development Height Predication of Transmission Fissure Zone in Tashidian Mining Area in Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Shandong Land and Resources, 2024, 40(8): 23~28.

0 引言

随着我国煤炭开发利用程度加剧, 东部地区煤炭资源日渐枯竭, 产量萎缩。中部地区受资源与环境约束的矛盾日益加剧, 资源开发加速向生态环境相对脆弱的西部地区转移^[1~4]。在生态环境脆弱的西部地区, 受到含水层影响的煤炭层开采不仅可能威胁煤矿生产工作, 还可能引起地下水位大幅度下降, 导致一系列的生态环境问题^[5~6]。

冒落带与裂隙带合称为导水裂隙带, 为开采造成的破坏影响范围^[7]。导水裂隙带的分布形态和最大高度是开展水体下采煤的关键数据, 其主要受到覆岩力学性质和不同煤层开采厚度的影响^[7~8]。研究预测裂隙带的发育高度, 确定多层煤层开采时导水裂隙带与上覆含水层的位置关系, 对防止矿井突水事故的发生和生态环境保护具有重要指导意义^[9~11]。

目前, 导水裂隙带的主要研究方法有理论分析、

物理相似模拟、数值模拟、现场实测等^[12~16]。其中, 数值模拟能够获取采矿中覆岩冒落过程的足够信息, 预测给定开采条件下覆岩应力、位移、塑性区演化规律, 得到以往研究者的广泛应用^[17~18]。新疆塔什店矿区一号矿井具有 7 层煤层, 亟需开展导水裂隙带发育高度预测, 评估上覆含水层对煤层开采的影响程度。为此, 本文以新疆库尔勒塔什店矿区一号矿井为例, 采用 FLAC3D 数值模拟对各煤层开采导水裂隙带发育高度进行对比分析, 预测矿井 7 层煤开采过程中覆岩含水层对矿井现场生产的影响程度, 为矿井工作面布置、采区接续等安全生产提供理论指导。

1 研究区概况

塔什店矿区一号矿井位于新疆库尔勒市塔什店煤矿区东北角(图 1), 为沉积盆地的边缘, 属低山丘陵地带, 地势西高东低, 北高南低^[19~20]。该区属暖温带大陆性干旱气候, 年平均气温 11.4℃, 年平均降

收稿日期: 2023-11-27; 修订日期: 2024-01-23; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 路兵(1985—), 男, 山东潍坊人, 高级工程师, 主要从事水工环地质及矿产开发工作; E-mail: xtdhke@163.com

水量 58.6 mm, 年潜在蒸发量为 2 788.2 mm。井田内无水系, 南部发育的小冲沟, 仅在降水大时偶有短暂水流, 一般多呈干涸状态。发源于博斯腾湖的孔雀河从井田外东南部由东向西流过, 孔雀河流量常年稳定, 平均年径流量为 12.1 亿 m³。

塔什店矿区一号矿井整体为单斜构造, 地层构造较简单, 井田内控制全区、大部、局部可采煤层 7 层, 从下至上编号为 13、12、10、9、8-3、8-2 和 8-1

号煤, 可采煤层总厚 21.92 m, 煤层倾角 4°~24°。在 8-1 煤上覆的第三系渐新统一中新统桃树园组孔隙裂隙含水层, 压力水头达 0.44 MPa, 经 44 个钻孔揭露, 其厚度达 64.91~158.00 m, 平均厚 116.48 m。该含水层井田内单位涌水量 0.1 L/(s·m) < q < 1.00 L/(s·m), 渗透系数 0.046 9~0.228 8 m/d, 属中等富水性, 为煤矿开采主要充水水源。

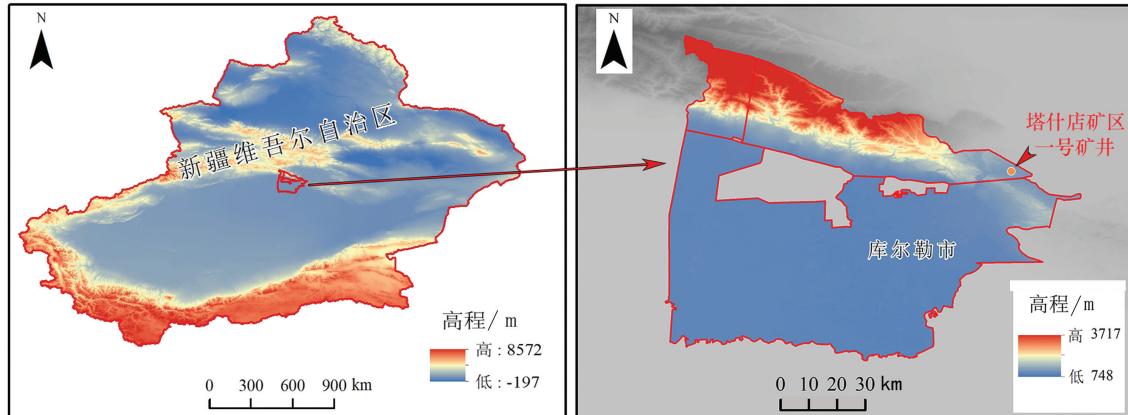


图 1 研究区位置图

2 数值模拟

2.1 数值模型

FLAC3D 数值模拟软件广泛应用于岩土工程等相关方向^[17,21]。其通过调整三维网格中的多面体单元来拟合实际结构。在外力作用下, 当材料发生屈服流动后, 网格能够相应发生变形和移动。FLAC3D 采用了显式拉格朗日算法和混合-离散分区技术, 能够准确地模拟材料的塑性变形、破坏和流动^[22-24]。该模拟软件采用显式的“时间推进”有限体积解方案; 对于每一个时间步长, 计算步骤如下: 由节点速度导出新的应变速率; 利用本构方程由应变速率和前一时刻的应力计算新的应力; 利用运动方程由应力和力推导出新的节点速度和位移。其中, 应变张量计算公式为:

$$\zeta_{ij} = -\frac{1}{6V} \sum_{i=1}^4 (v_i^l n_j^{(l)} + v_j^l n_i^{(l)}) S^{(l)} \quad (1)$$

式中: ζ_{ij} 为应变张量; V 为体积; v_i 和 v_j 为速度分量; n 为指向外侧的单位法向量; l 为节点; S 为表面积。此外, 应力张量计算公式为:

$$\Delta\sigma_{ij} = \Delta\check{\sigma} + \Delta\sigma_{ij}^C \quad (2)$$

式中: $\Delta\sigma_{ij}$ 为应力张量; $\Delta\check{\sigma}$ 为旋转应力增量; $\Delta\sigma_{ij}^C$

为应力修正量。

结合塔什店一号井相关地质资料, 基于井筒检查孔具体柱状图, 确定煤层赋存模型(图 2)。在不影响模拟结果的前提下, 模型图中部分厚度较小且岩性相近的岩层(如细砂岩和粉砂岩)合并为一层, 生成数值模型(图 3)。模型建立过程中, 考虑现场覆岩运动稳定范围, 沿煤层走向方向模型长度取 1 000 m; 沿高度方向, 包括主要含水层及所有可采煤层在内的岩层高度取 700 m。模型上方 230 m 岩层以垂直应力的形式施加于模型上表面。上覆 230 m 岩层平均容重取 22 kN/m³, 则施加的垂直应力为 5.06 MPa。由于模型倾向方向全部开挖, 其具体厚度对模拟结果无影响, 考虑网格数量对计算速度的影响, 在模型倾向方向取 100 m。

2.2 模拟分析

模型建立完成后进行 8-1 煤开挖试验。煤层开挖时, 在模型左右两侧分别留设 200 m 边界煤柱, 则沿走向方向, 煤层推进长度为 600 m。为有效监测含水层位移情况, 在含水层底板位置设置监测线, 监测含水层底板位置应力、位移具体情况。开挖区域及监测线设置如图 4 所示。结合现场煤层开采具体情况, 600 m 开挖范围内上覆岩层足以达到充

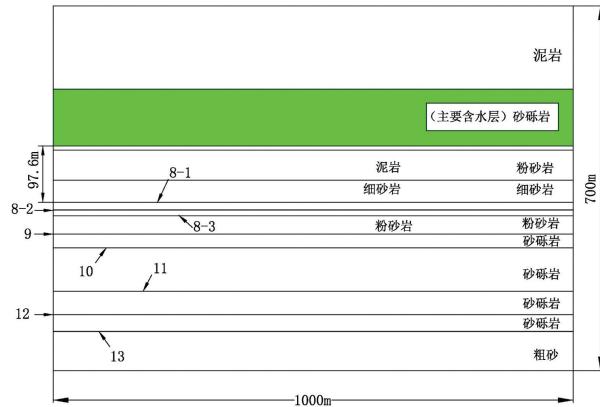


图 2 煤层赋存剖面示意图

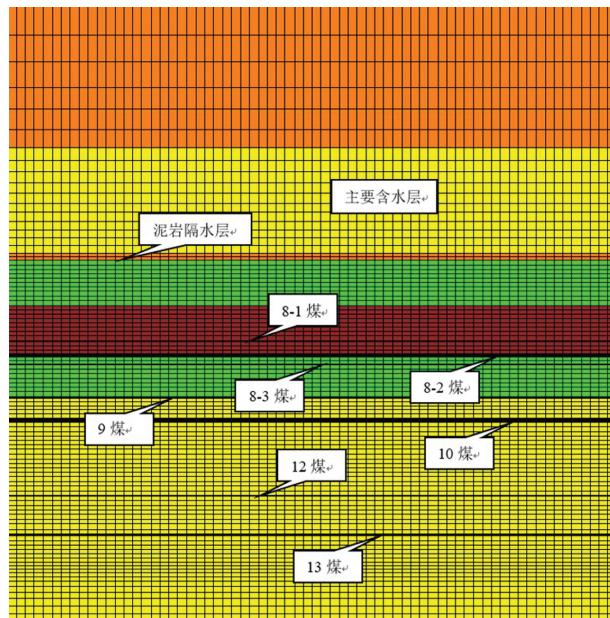


图 3 数值模型图

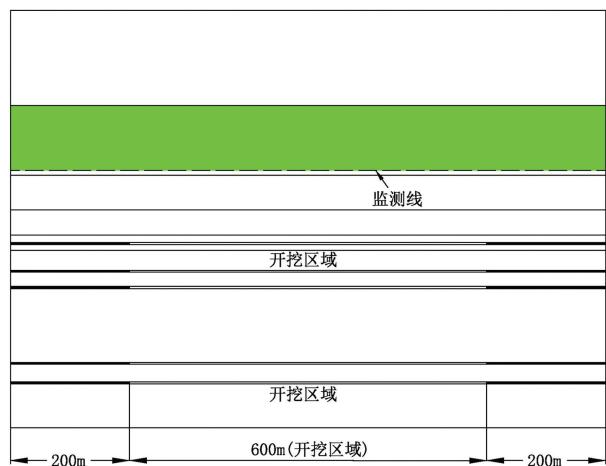


图 4 开挖区域及监测线设置图

分采动影响边界, 分析此时覆岩塑性区扩展规律, 结合覆岩应力、位移演化规律, 确定 8-1 煤采动后上

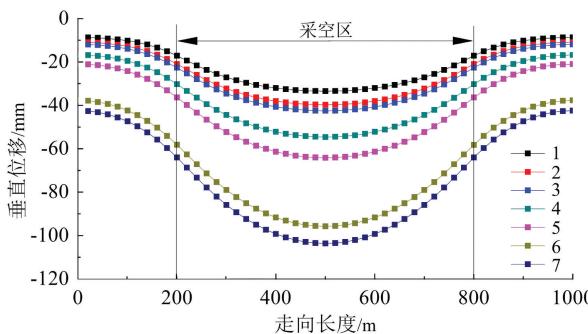
覆含水层对其的影响情况。

8-1 煤模拟完毕, 以同样的方式逐步进行 8-2 煤、8-3 煤、9 煤、10 煤、12 煤和 13 煤开挖, 并进行覆岩应力、位移、塑性区演化规律分析, 确定所有煤层全部开采后上覆塑性区扩展规律, 分析塑性区与上覆含水层的连接情况。

3 结果与讨论

3.1 位移演化结果

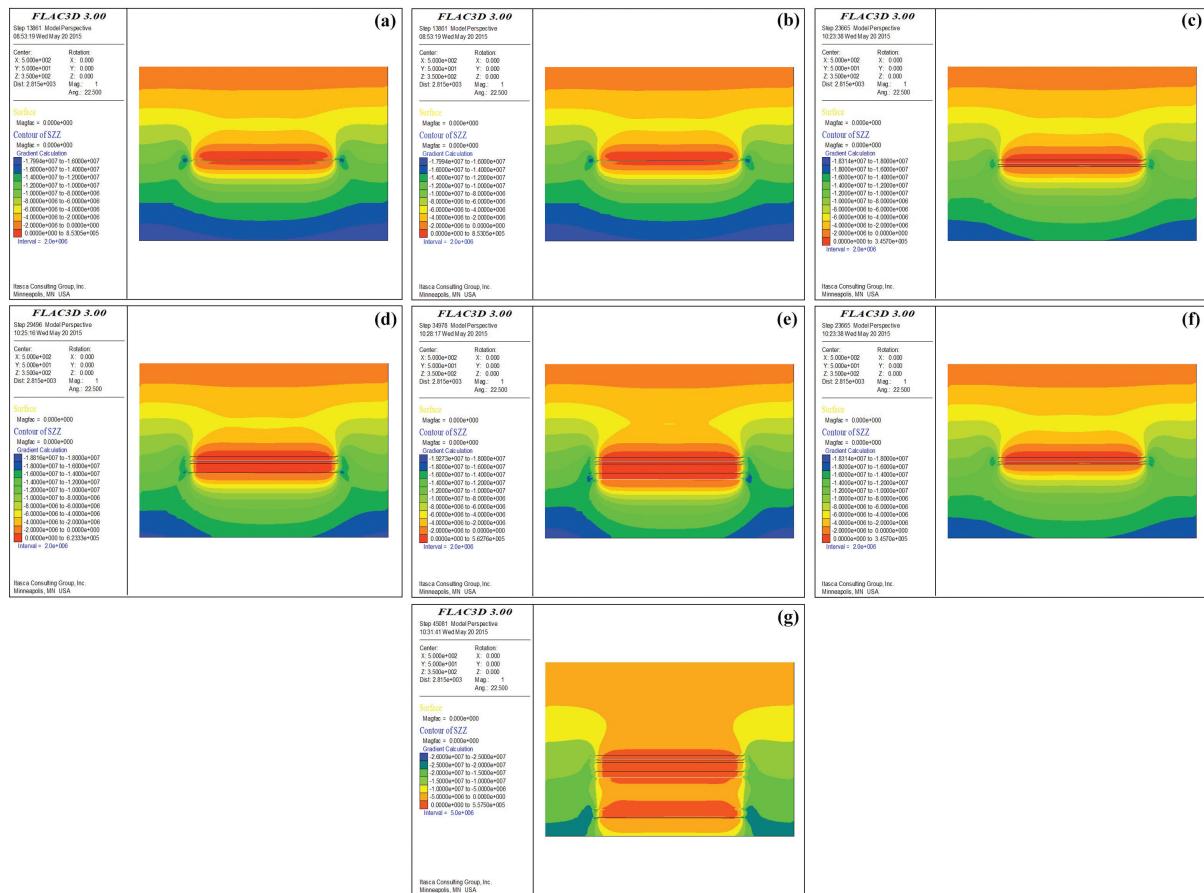
基于模型模拟数据, 在煤层推进长度为 600 m 的条件下, 各个煤层开挖后得到上方含水层底板垂直接位移演化规律(图 5)和覆岩垂直接位移演化云图(图 6)。



1—8-1 煤; 2—8-2 煤; 3—8-3 煤; 4—9 煤; 5—10 煤;
6—12 煤; 7—13 煤。

图 5 含水层底板位置垂直接位移演化规律

结果显示, 煤层开挖后采空区上覆岩体产生一定程度的下沉, 各煤层的顶板岩层下沉量较大, 导水裂隙带发育。但在含水层底板位置, 含水层近于发生整体下沉, 而且其下沉量较小。开挖煤层数逐渐增多, 导水裂隙带逐渐发育, 上覆含水层底板下沉量也逐渐增大。在 8-1 煤层采出后, 含水层最大下沉量为 33.47 mm; 8-2 煤层开采后含水层最大下沉量累计达到 39.77 mm; 8-3 煤层开采后, 其下沉量为 42.55 mm; 9 煤开采后, 其下沉量为 54.64 mm; 10 煤开采后其下沉量为 64.19 mm; 12 煤开采后其下沉量为 95.81 mm; 13 煤开采后其下沉量累计达到 103.70 mm。在煤层上覆含水层下方有一层 8 m 厚的泥岩隔水层, 则各个煤层开采产生的较小下沉量, 煤层开采导水裂隙带高度扩展至 8-1 煤层顶板以上 30~40 m 处, 与上覆含水层底板仍有 57~67 m 的有效隔水层保护带, 因此导水裂隙带难以扩展至上覆含水层。

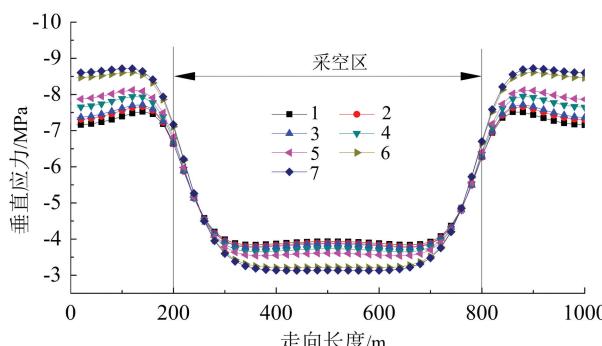


a—8-1 煤; b—8-2 煤; c—8-3 煤; d—9 煤; e—10 煤; f—12 煤; g—13 煤。

图 6 垂直位移演化云图

3.2 应力演化结果

在煤层推进长度为 600 m 的条件下,各个煤层开采后得到上方含水层底板位置垂直应力演化规律如图 7 所示,覆岩垂直应力演化云图如图 8 所示。



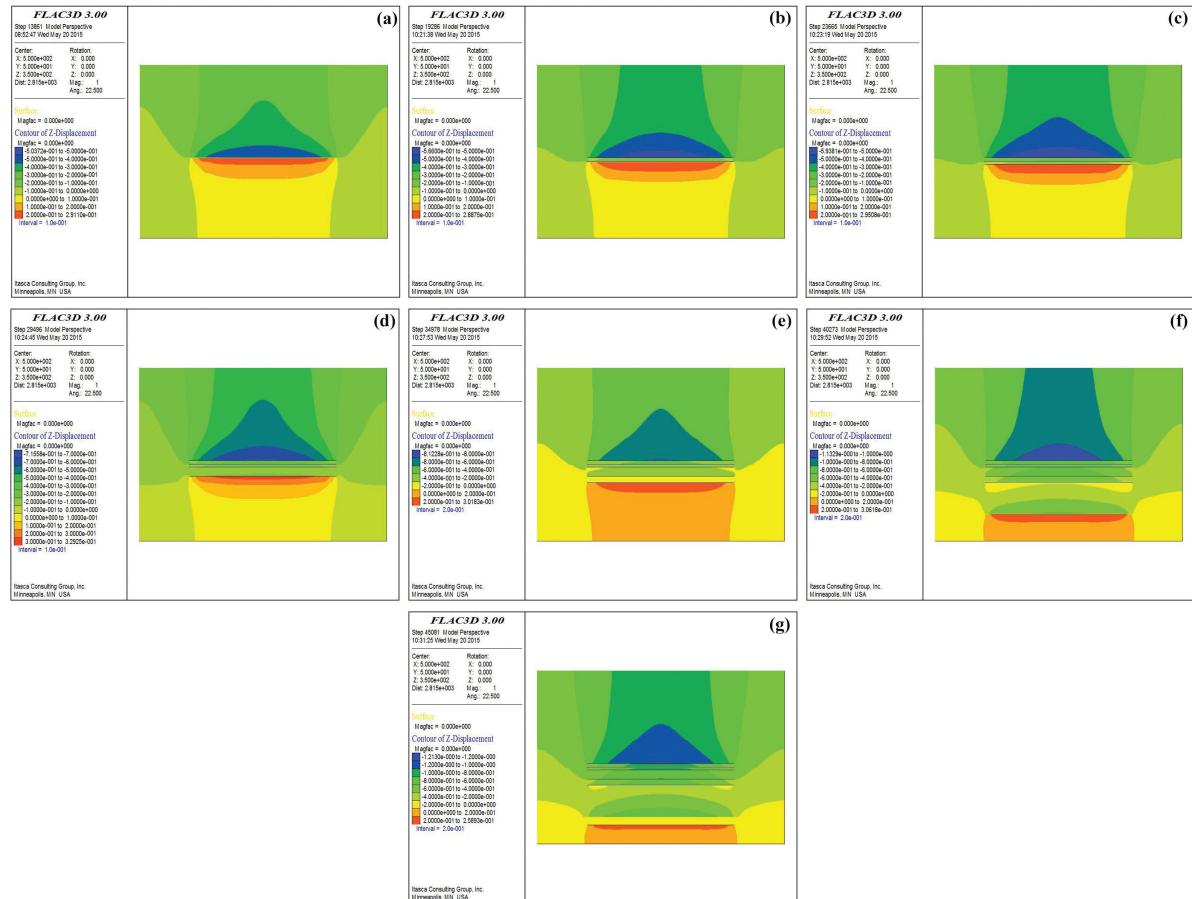
1—8-1 煤; 2—8-2 煤; 3—8-3 煤; 4—9 煤; 5—10 煤;

6—12 煤; 7—13 煤。

图 7 含水层底板位置垂直应力演化规律

煤层开挖后,在开挖区域上下一定范围内形成

卸压带。含水层底板位置埋深 277 m,该处位置岩层平均容重取 23 kN/m³,对应该位置原岩应力约 6.371 MPa,则在 8-1 煤层采出后,含水层底板位置垂直应力降低为 3.932 MPa,此时该处应力降低为原岩应力的 61.7%;8-2 煤层开采后含水层底板位置应力降低为原岩应力的 61.1%,为 3.893 MPa;8-3 煤层开采后,含水层底板垂直应力降低为 3.868 MPa,为原岩应力的 60.7%;9 煤开采后,其垂直应力降低为 3.731 MPa,此时该处应力降低为原岩应力的 58.6%;10 煤开采后其垂直应力降低为 3.610 MPa,为原岩应力的 56.7%;12 煤开采后其垂直应力降低为 3.218 MPa,此时该处应力降低为原岩应力的 50.5%;13 煤开采后其垂直应力降低为 3.135 MPa,为原岩应力的 49.2%。总体上含水层底板随着各煤层开采后,垂直应力呈下降趋势,含水层底板无裂隙扩展,导水裂隙高度稳定在 8-1 煤层顶板以上 30~40 m 的范围内。



a—8-1 煤; b—8-2 煤; c—8-3 煤; d—9 煤; e—10 煤; f—12 煤; g—13 煤。

图 8 含水层底板垂直应力演化云图

4 结论

(1) 塔什店矿区一号矿井在煤层推进长度为600 m时,煤层开挖后覆岩产生一定程度的下沉,但下沉量较小,导水裂隙带高度为30~40 m,距含水层底板有57~67 m的有效隔水层保护带,煤层开采导水裂隙带难以扩展至上覆含水层。

(2) 煤层开挖后,在开挖区域上下一定范围内形成卸压带。各煤层开挖后,受卸压作用的影响,在含水层底板位置的垂直应力与开挖前相差较小。

参考文献:

- 谢克昌.中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究[M].北京:科学出版社,2014:1~20.
- 严晓辉,杨莘,高丹,等.我国煤炭清洁高效转化发展研究[J].中国工程科学,2022,24(6):19~25.
- 鲁晓威,李洪亮,刘红,等.济宁泰安菏泽地区采煤塌陷地复垦措施探讨[J].山东国土资源,2021,37(7):54~59.

- 4 郑国栋,尹亚军,刘康,等.山东省采煤塌陷地综合治理实践与思考[J].山东国土资源,2021,37(7):75~80.
- 5 顾大钊,曹志国,李井峰,等.煤矿地下水水库技术原创试验平台体系研制及应用[J].煤炭学报,2023:1~14.
- 6 顾大钊.煤矿地下水水库理论框架和技术体系[J].煤炭学报,2015,40(2):239~246.
- 7 魏世荣,赵延林,戚春前,等.多煤层开采导水裂隙带发育与覆岩破坏高度规律[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(2):18~26.
- 8 高保彬,刘云鹏,潘家宇,等.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.
- 9 曹艳玲,田振环,王琳.海域煤层防水安全煤柱估算方法评述:以山东省黄县煤田梁家煤矿扩大区(西海域)为例[J].山东国土资源,2016,32(2):73~76.
- 10 王继芳,韩廷宝,杜显彪,等.滕县煤田滨湖煤矿16煤层开采充水条件浅析[J].山东国土资源,2016,32(1):41~46.
- 11 李军,朱世芳,安茂国,等.隐伏铁矿井充水机理分析与防治水措施[J].山东国土资源,2022,38(6):33~40.
- 12 许家林,王晓振,刘文涛,等.覆岩主关键层位置对导水裂隙带高度的影响[J].岩石力学与工程学报,2009,28(2):380~385.

- [13] 林海飞,李树刚,成连华,等.覆岩采动裂隙演化形态的相似材料模拟实验[J].西安科技大学学报,2010,30(5):507-512.
- [14] 赵高博,郭文兵,娄高中,等.基于覆岩破坏传递的导水裂隙带发育高度研究[J].煤田地质与勘探,2019,47(2):144-150.
- [15] 于水,黄克军,杨建辉.曹家滩煤矿首采面导水裂隙带高度研究[J].陕西煤炭,2020,39(S1):42-46.
- [16] 林建成,郭林生,李可,等.覆岩采动裂隙演化规律相似材料模拟试验[J].陕西煤炭,2021,40(2):14-18.
- [17] 臧浩,种衍飞,冯堂武,等.基于 FLAC~(3D)数值模拟的老采空区剩余沉降量分析计算:以山东枣庄安博化工项目为例[J].山东国土资源,2015,31(7):55-58.
- [18] 孙振洋,鹰骏三号井田 2 煤层顶板“两带”高度数值模拟研究[J].煤炭与化工,2023,46(1):60-64.
- [19] 蒲朝阳,邓昀,邵公育,等.塔什店矿区一号矿井井筒检查孔施工工艺研究[J].煤炭技术,2016,35(10):41-44.
- [20] 崔德广,霍少磊.新疆库尔勒市塔什店矿区一号矿井涌水量预测[J].中国西部科技,2011,10(14):47.
- [21] 王绪民,雷志超,李剑.基于 FLAC3D 的斜坡塔基础稳定性研究[J].地下水,2021,43(6):185-188.
- [22] BOCK S. New open-source ANSYS-SolidWorks-FLAC3D geometry conversion programs[J]. Journal of Sustainable Mining, 2015, 14(3): 124-132.
- [23] FENG W, WERE P, LI M, et al. Numerical study on hydraulic fracturing in tight gas formation in consideration of thermal effects and THM coupled processes[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2016, 146: 241-254.
- [24] LU X, MENGEN S, WANG P. Numerical simulation of the composite foundation of cement soil mixing piles using FLAC3D[J]. Cluster Computing, 2019, 22(4): 7965-7974.

Development Height Predication of Transmission Fissure Zone in Tashidian Mining Area in Xinjiang Uygur Autonomous Region

LU Bing¹, YANG Haibo²

(1. Xintai Bureau of Natural Resources and Planning, Shandong Xintai 271200, China; 2. Shandong Zhengyuan Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Shandong Ji'nan 250000, China)

Abstract: The mining of coal layers with aquifers in overlying strata has the potential risk of seepage. It is of great significance to effectively predicate the development height of the water conducting fracture zone to prevent the coal seam from permeability during mining. There are 7 coal layers in No. 1 mine of Tashidian mining area in Xinjiang Uygur Autonomous Region. It is urgent to carry out the predication of the development height of transmission fissure zones and evaluate the influence of overlying aquifers on coal layers mining. In this paper, typical finite difference software FLAC3D has been used to simulate and analyze the overlying rock development law of coal seam mining in No. 1 coal mine of Tashidian mining area. The position relationship between the transmission fissure zone and the overlying aquifer has been revealed. It is showed that when the coal layer advancing length is 600m, the bottom of the overlying aquifer will sink to a small degree after coal layer excavation. The height of transmission fissure zone extends to 30~40m above the roof of 8~1 coal layer, and there is still a distance of 57~67m from the aquifer floor. It is difficult for the transmission fissure zone of coal seam mining to expand to the aquifer. After the excavation of each coal seam, the difference in vertical stress in the position of the aquifer floor is small compared with that before excavation. The research results can effectively guide the coal layer mining activities of No. 1 coal mine in Tashidian mining area.

Key words: Transmission fissure zone; numerical simulation; multiple coal layers mining; Tashidian mining area