

承压含水层下综放开采覆岩破坏特征模拟

李子豪

安徽理工大学矿业工程学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2023年6月4日; 录用日期: 2023年7月5日; 发布日期: 2023年7月11日

摘要

在分析朱仙庄矿水文地质条件的基础上, 采用经验公式、数值分析、相似模拟等方法, 分析了8106工作面覆岩顶板的“三带”发育过程, 考虑采动应力与渗流的耦合作用, 研究了随工作面的推进上部含水层的渗流演变规律。结果表明: 随工作面不断推进, 8106回采工作面采空区裂隙发育高度约为110 m, 与经验公式法的计算结果基本一致; 通过数值模拟和相似模拟实验分析得到含水层受采动影响发生渗流现象, 孔隙水未进入到回采工作面采空区。为保证8106工作面的正常回采, 提出数值分析、理论计算与相似模拟三者结合互相验证的方法, 综合分析判断裂隙发育特征, 其结果基本一致, 研究过程对类似工程条件下的煤层安全生产开采具有一定的借鉴意义。

关键词

含水层, 综放开采, 导水裂隙带, 数值模拟, 相似模拟

Simulation of Overlying Rock Failure Characteristics in Fully Mechanized Top Coal Caving Mining under Confined Aquifer

Zihao Li

School of Mining Engineering, Anhui University of Technology, Huainan Anhui

Received: Jun. 4th, 2023; accepted: Jul. 5th, 2023; published: Jul. 11th, 2023

Abstract

On the basis of analyzing the hydrogeological conditions of Zhuxianzhuang Mine, empirical formulas, numerical analysis, similarity simulation and other methods were used to analyze the development process of the “three zones” of the overlying rock roof in 8106 working face. The

coupling effect of mining stress and seepage was considered, and the seepage evolution law of the upper aquifer as the working face advanced was studied, thereby predicting the risk of water inrush from the roof. The results show that with the continuous advancement of the working face, the height of crack development in the goaf of the 8106 mining face is 110 m, which is basically consistent with the calculation results of the empirical formula method; Through numerical simulation and similar simulation experiments, it was found that the aquifer undergoes seepage under the influence of mining, and the pore water did not enter the goaf of the mining face. In order to ensure the normal mining of 8106 working face, this article proposes the fracture development characteristics obtained from numerical analysis, theoretical calculation, and similar simulation. The results are basically consistent, and the three methods are mutually verified and supplemented. The research results have certain reference significance for coal seam mining under similar engineering conditions.

Keywords

Aquifer, Fully Mechanized Top Coal Caving Mining, Hydraulic Fracture Zone, Numerical Simulation, Similarity Simulation

Copyright © 2023 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. 引言

煤层开采后,煤层和围岩发生结构性破坏,冒落带、裂隙带和弯曲下沉带覆岩在顶板自下而上的变形破坏后形成的两带(冒落带和裂隙带)高度会严重影响矿井的安全生产[1],一旦导水裂隙带与地下水接触就会直接涌向掘进工作面,就会引发淹井事故。

综放开采已成为我国煤层开采的主要方式,但综放开采导致顶板导水裂隙带发育高度大且特征十分复杂,极易与地下水相通,对采面安全生产造成隐患,因此确定顶板导水裂隙带的发育高度,对矿井安全生产意义重大。目前确定覆岩破坏高度的方法主要有经验公式法、冲洗液法和物探等,现有的研究和生产规范中关于覆岩两带高度确定主要涉及于薄煤层和中厚煤层的综采或普采,并不适用于综放开采。

但对特厚煤层开采覆岩裂隙发育规律及受采动影响下含水层渗流演变过程的相关研究较少[2]。因此,本文在前人研究的基础上,以朱仙庄煤矿 8106 工作面为研究背景,采用经验公式、相似模拟实验以及数值模拟相结合的方法,对承压含水层下综放开采覆岩采动破坏进行模拟特征研究,得出覆岩的两带高度,为指导本矿井的安全生产和类似工程条件下两带高度的确定提供参考及过程研究。

2. 工程概况

煤厚 4.5~28.7 m,平均 15 m;煤层结构简单;煤层倾角 3°~33°,平均 12°。煤层中含有不稳定的泥岩夹矸,煤层厚度变化大,为工作面煤层走向变化较大,走向 155°~220°、倾向 65°~130°、倾角 3°~33°。矿井水位地质勘探得到,对工作面掘进及回采可能构成影响的充水水源有:煤层顶板砂岩裂隙水、“五含”水、“四含”水、8105 采空区老空水及钻孔水。煤层开采采用一次采全高综采技术,顶板采用全部垮落法管理,岩层柱状如图 1 所示。由经验公式计算可得朱仙庄煤矿裂隙发育高度为 71.26~116 m,但由于 8 煤层上方 100.77 m 处存在厚含水松散层,且上覆岩层地质条件复杂,因此煤层开采受到影响,为保证 8106 工作面安全回采采用相似模拟试验进一步验证。

岩性	柱状	岩层厚度/m
泥岩		16.60
含水层		10.00
下隔水层		25.00
砂砾层		7.71
粉砂		6.81
砂砾层		2.03
细砂		5.11
砂砾层		5.52
泥岩		20.53
细粒砂岩		3.82
7煤层		1.33
粉砂岩		2.40
泥岩		4.35
粉砂岩		3.27
细粒砂岩		10.65
粉砂岩		2.25
8煤层		8.20
粉砂岩		6.43
细粒砂岩		6.77
泥岩		6.84

Figure 1. Rock columnar
图 1. 岩层柱状

3. 相似模拟实验

3.1. 实验方案设计

结合朱仙庄煤矿 8106 工作面现场实际开采条件，试验方案的相关参数如下所述。

1) 容重相似比。由 8106 工作面岩层柱状图可知，研究区顶底板以粉砂岩为主，根据经验设计容重相似比为 3:5。

2) 几何相似比。安徽理工大学能源与安全学院试验大厅拥有 $3\text{ m} \times 0.3\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的平面相似模拟实验台，根据经验设计几何相似比为 1:100，搭建 $3\text{ m} \times 0.3\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 物理相似模拟实验模型，模拟现场走向长为 300 m，宽为 30 m，高为 120 m 的煤岩层范围。

3) 应力相似比。根据模型几何相似比 1:100，模型高度 1.2 m，模拟现场实际断面高度为 120 m 的煤层，模型上方上覆岩层高度为 320 m，经计算取应力相似比为 1:150。

4) 时间相似比。由于模型和原型中重力加速度相等，取时间相似比为 1:10，即每 2 h 相当于现场 20 h，采用分步开挖的方式代替工作面回采的过程，试验设计进度为 5 cm/2h (一天开挖 60 cm)，模拟现场实际进度为 4.2 m/d。

5) 试验参数及配比。按照上述相似常数及现场条件(顶底板岩层的厚度、岩性及强度等)换算成模型中的参数，并确定相应的配比。相似材料以细砂为骨料，以石灰和石膏为胶结物，经多次反复调整材料配比，获得各层相似材料的最佳配比表，见表 1。

Table 1. Rock mechanical parameters
表 1. 岩石力学参数

岩性	抗压强度/MPa	泊松比	容重/(KN/m ³)	砂:石灰:石膏
中粒砂岩石	0.250	0.22	15.30	5:0.7:0.4
粉砂岩	0.280	0.20	15.50	5:0.7:0.3
泥岩	0.160	0.24	15.00	10:0.5:0.5
煤层	0.070	0.30	7.90	11:0.5:0.5
细砂岩	0.360	0.25	15.60	8:0.6:0.4
岩浆岩	0.540	0.18	27.86	7:0.7:0.3

3.2. 试验结果

模型采面开切眼，随后向右推进，开挖推进至 10 cm、20 cm 时直接顶尚未垮落，如图 2 所示，开挖推进至 40 cm 时，直接顶出现第一次垮落，此时导水裂隙带尚未发育；如图 3 所示，开挖推进至 100 cm 时，直接顶垮落的区域显著增大，导水裂隙带随及发育，达到 33 m，顶板垮落带垂直高度不再增加，稳定在 10 m；如图 4 所示，开挖推进至 110 cm 时，直接顶垮落区域增大，导水裂隙带发育高度达到最大值 42 m；如图 5、图 6 所示，随着开挖推进距离的不断扩大，煤层顶板垮落的区域不断扩大，但导水裂隙带高度不再发生变化，稳定在 42 m；如图 7 所示，具体冒落带、裂隙带高度随推进距离变化规律曲线。

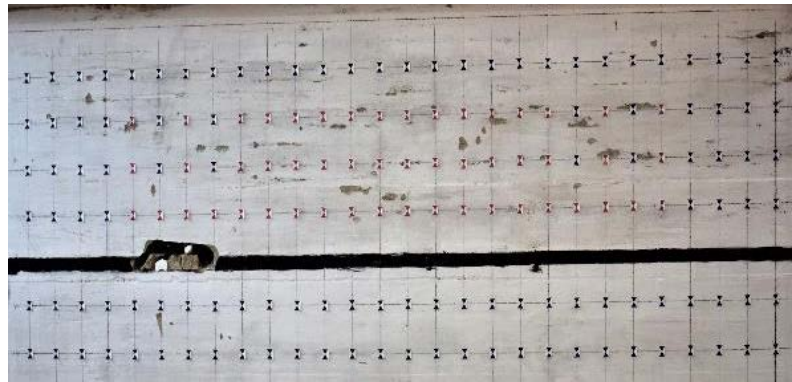


Figure 2. Advance 40 cm
图 2. 推进 40 cm

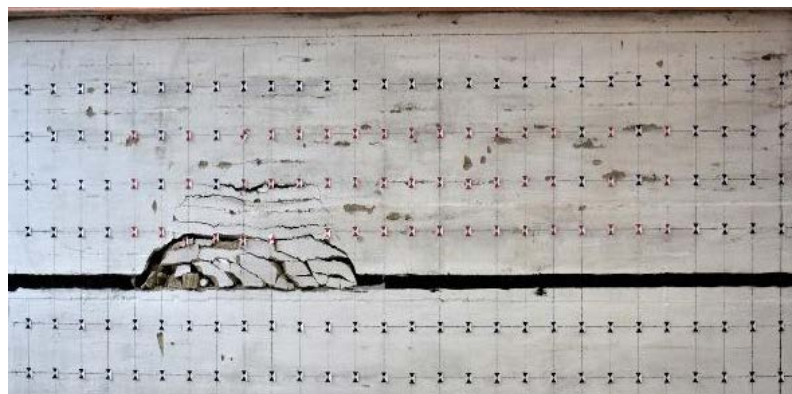


Figure 3. Advance 100 cm
图 3. 推进 100 cm

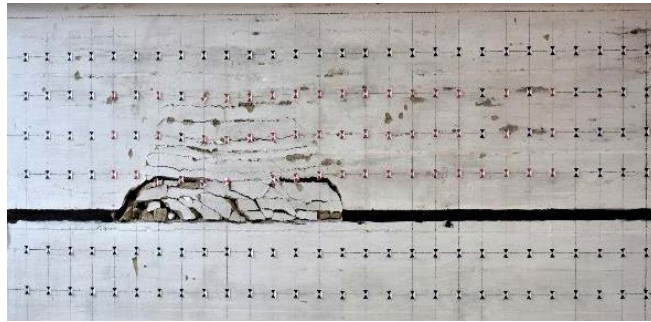


Figure 4. Advance 110 cm
图 4. 推进 110 cm



Figure 5. Advance 170 cm
图 5. 推进 170 cm

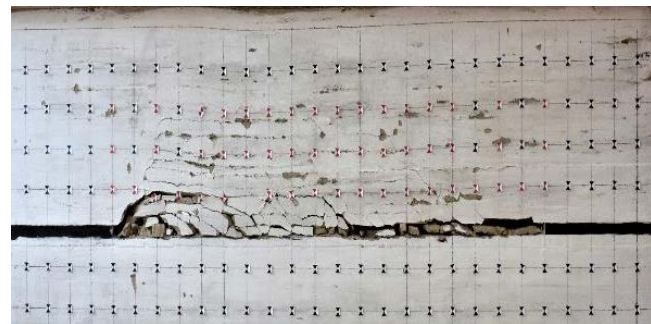


Figure 6. Advance 200 cm
图 6. 推进 200 cm

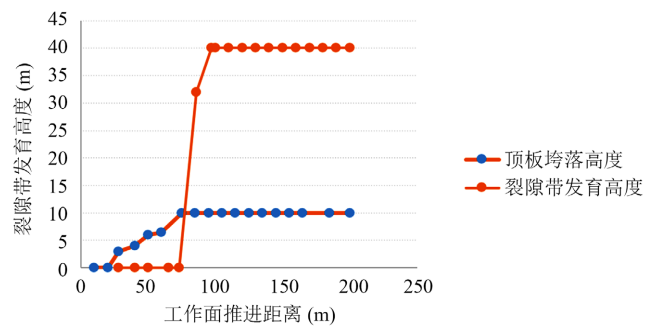


Figure 7. Curve chart of height of falling zone and crack zone with advance distance
图 7. 冒落带、裂隙带高度随推进距离的曲线图

3.3. 实验结果分析

基于相似模拟试验可知,推进至 100 cm 时,直接顶垮落的区域显著增大,导水裂隙带也随之发育,达到 33 m,顶板垮落带垂直高度不再增加,稳定在 10 m;继续推进至 110 cm 时,直接顶垮落的区域增大,导水裂隙带发育高度达到最大值 42 m,随推进距离的不断增大,导水裂隙带高度不再发生变化,稳定在 42 m。

4. 数值模拟

由于在相似模拟实验中无法观测孔隙水实际渗流情况[3],为进一步研究采动影响下上部含水层孔隙水的渗流演化规律,根据朱仙庄煤矿 8106 回采工作面实际的工程地质条件,采用 3DEC 有限差分软件对工作面上覆岩层进行分析。

模型尺寸为:长 × 宽 × 高 = 300 m × 150 m × 155 m,煤层厚度为 10 m,底板基岩 30 m,顶板基岩厚度为 30 m,地表表层厚度 20 m。模型模拟长度共 300 m,左右两侧各留 35 m 煤柱,工作面推进长度为 230 m。模型在 $x = 0$ m、 $x = 300$ m、 $y = 0$ m、 $y = 150$ m、 $z = 0$ m 五个边界上均为法向位移约束,限制边界在水平方向上的位移模型上部地表为自由面。数值计算模型如图 8 所示。

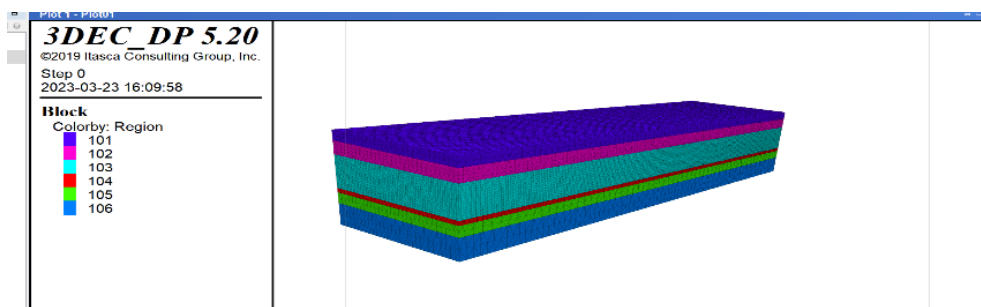


Figure 8. Numerical model diagram of working face

图 8. 工作面数值模型图

煤层开采过程中,覆岩裂隙发育情况可分为裂隙产生 - 裂隙发育 - 裂隙压实三个阶段[4],如图 9 所示,裂隙的产生和发育是由相邻岩层之间的受力状态、岩石力学性质的差异,导致产生变形及破坏的作用不一致,产生大量的离层裂隙,使得离层的岩层失去了上下岩层之间的相互作用力,在垂直方向上出现应力降低,均处于卸压状态;随着工作面向前推进,破碎岩体逐渐充满采空区,裂隙被压实,覆岩下沉缓慢,最终达到应力平稳,趋于原岩应力裂隙压实状态。

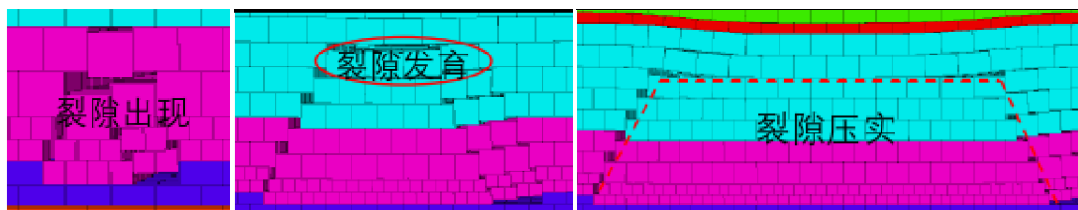


Figure 9. Fissure generation-Fissure development-Fissure compaction stage

图 9. 裂隙产生 - 裂隙发育 - 裂隙压实阶段

5. 结论

受回采工作面的影响,含水层在自身重力和岩层间挤压的双重作用下,孔隙水发生了渗透现象[5]。

工作面推进 30 m 时, 如图 10 所示, 此时回采工作面的回采活动对含水层的渗透影响较小, 孔隙水压处于较为稳定的状态; 工作面推进 80 m, 如图 11 所示, 受采动活动的影响, 含水层出现小范围的渗流现象, 回采工作面前方含水层受采动影响的波动较小; 工作面推进 120 m 时, 如图 12 所示, 含水层受采动影响较为强烈, 含水层水压渗透范围进一步扩展; 工作面推进 190 m 时, 如图 13 所示, 含水层水压渗透颇为明显, 隔水层部分区域被水侵蚀发生破坏, 水压明显向下方运动扩展, 但孔隙水未通过隔水层进入工作面采空区。综合分析相似模拟试验、经验公式及数值模拟的相关结果, 此时裂隙发育最高处与含水层间的岩层高度为 15 m 左右。研究过程对类似工程条件下的煤层安全生产开采具有一定的借鉴意义。



Figure 10. Advance 30 m

图 10. 推进 30 m

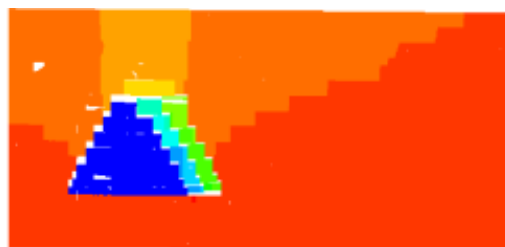


Figure 11. Advance 80 m

图 11. 推进 80 m

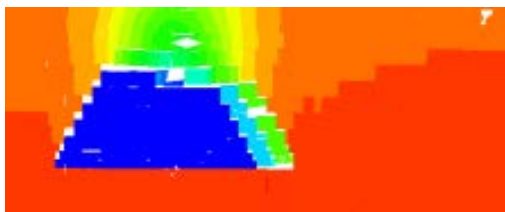


Figure 12. Advance 120 m

图 12. 推进 120 m

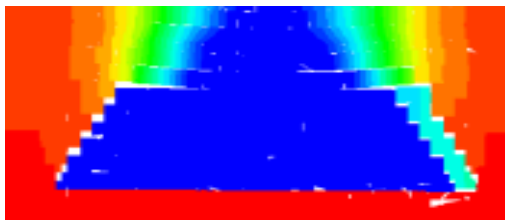


Figure 13. Advance 190 m

图 13. 推进 190 m

参考文献

- [1] 柴伦炜. 井间超高密度电法探测基桩的模拟及应用[J]. 物探与化探, 2022, 46(5): 1283-1288.
- [2] 王红胜, 张胜伟, 李斌, 李磊, 郭卫彬, 肖双双. 近距离煤层群综放开采覆岩导水裂隙发育规律[J]. 西安科技大学学报, 2022, 42(4): 629-636.
- [3] 赵杨杉, 姜杰, 晏雁, 王洁. 组合三维与真三维高密度电法探测对比分析[J]. 中国煤炭地质, 2022, 34(10): 66-70.
- [4] 黄昊冉, 吴云星, 冯春燕, 谷艳昌, 庞琼, 周稳忠. 基于高密度电法探测与渗流监测的土石坝渗漏隐患综合研判[J]. 水力发电, 2022, 48(8): 55-60.
- [5] 张广超, 陶广哲, 曹志国, 赵勇强, 徐祝贺, 李友, 左昊. 考虑垮落岩体应变硬化特性的采场覆岩破坏特征研究[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(3): 46-52.