

采煤工作面顶板岩性对底板破坏影响的分析研究

陈齐山, 鲁海峰

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2025年5月16日; 录用日期: 2025年6月19日; 发布日期: 2025年7月7日

摘要

以淮南地区某采煤工作面为例。在恒定底板岩性的基础上, 基于FLAC^{3D}数值模拟软件, 通过构建出不同岩性组合的顶板采动破坏模型, 对煤层开采过程中的底板破坏发育特征进行研究, 以分析顶板岩性对底板破坏深度的影响。结果表明: 采煤工作面底板破坏深度受顶板岩性的影响且随着顶板坚硬程度的提升, 底板最大破坏深度也随之提高。

关键词

底板破坏, 顶板岩性, FLAC^{3D}

Analysis and Research on the Influence of Roof Lithology in Coal Mining Faces on Floor Failure

Qishan Chen, Haifeng Lu

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

Received: May 16th, 2025; accepted: Jun. 19th, 2025; published: Jul. 7th, 2025

Abstract

Taking a coal mining face in the Huainan area as an example. Based on the constant floor lithology and using the FLAC^{3D} numerical simulation software, by constructing roof mining failure models with different lithology combinations, the development characteristics of floor failure during the coal seam mining process were studied to analyze the influence of roof lithology on the floor failure depth. The results show that the failure depth of the floor of the coal mining face is affected by the

lithology of the roof, and as the hardness of the roof increases, the maximum failure depth of the floor also increases accordingly.

Keywords

Floor Failure, Roof Lithology, FLAC^{3D}

Copyright © 2025 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

随着我国工业化进程的不断推进,对于能源的需求也在不断增加。由于我国在能源结构上存在“缺气、少油、相对富煤”的资源特征,所以在未来相当时间内,煤炭仍将是我国的主导能源[1]。然而在煤层开采过程中,时常有水害问题发生,给我国能源安全与工人生命财产都带来极大隐患,因此亟需重视水害防治工作[2] [3]。

采动底板破坏规律对煤矿安全生产有重要意义。诸多学者对煤层开采底板破坏规律和深度进行了研究。唐孟雄教授用弹性理论知识推导出煤层底板任意点的应力计算公式,提出通过计算岩石的强度指数来预计煤层底板的破坏深度;孟祥瑞等根据工作面前方支承压力分布规律,建立了底板任意一点应力计算的弹性力学模型,从而计算出煤层底板破坏深度和规律[4];李萍等利用“井-地-孔”联合微震监测技术,并采用 MC 算法最终获得底板破坏深度[5]。此外,另有朱术云等学者探讨底板岩性及组合结构对变形破坏的机制等等。这些学者通过理论分析和监测技术都对采动煤层底板破坏深度和规律进行了研究。

通过检索文献可知,国内外诸多学者对煤层开采时不同底板岩性组合效应研究成果较多,但对于顶板岩性对底板破坏影响的研究相对较少[6]。针对上述问题,以淮南地区某采煤工作面为例,通过 FLAC^{3D} 数值模拟软件并结合三下规范公式,分别构建出“坚硬”“中硬”两种不同类型的数值计算模型,通过分析判断不同的顶板组合结构在采动条件下对底板破坏深度的影响,为承压水上煤层开采提供参考。

2. 地质概况及数值模拟建立

2.1. 地质概况

淮南地区该采煤工作面平均煤厚 4 m, 平均煤层倾角 1.5°, 结构复杂。常见 1 层夹矸, 主要为泥岩和炭质泥岩, 厚 0.35~0.61 m, 煤层直接顶、底分别为砂质泥岩和粉砂岩, 属稳定煤层。其中影响工作面生产的含水层自上而下有新生界松散含水层、二叠系砂岩裂隙含水层及石炭系太原组灰岩水含水层。

2.2. 软件选择与模型建立

FLAC^{3D} [7] 软件是一款三维显示有限差分计算程序。它运用混合离散分区技术以及显示拉格朗日算法, 是当下最为出色的“两带”高度数值模拟计算软件之一。

在使用 FLAC^{3D} 数值模拟软件对地层进行建模时, 由于地层分布十分复杂, 采动范围内涉及的地层往往达数十层甚至数百层, 模型的岩性组合如按实际地层按层分布, 会大大增加岩层参数的数据量, 且地层之间的分界线有时也不很明显, 层与层之间的力学关系也比较复杂。因此在建模时, 往往根据现场实际地质情况, 将现场复杂的地层模型进行合理处理, 从复杂地层中抽象出合理的数值模型[8]。

依据三下规范公式及现场钻孔取芯结果, 对工作面上覆岩层进行简化处理时, 根据不同的岩层合并结果, 最终将该采区工作面顶板基岩分别设置为“坚硬”及“中硬”两种类型, 所建立模型如图 1 所示。模型尺寸为 $400\text{ m} \times 300\text{ m} \times 281\text{ m}$, 采高为 4 m 。设置上覆土体厚度为 320 m , 以一定竖向作用力代替其自重。两模型中下列地层厚度相同: 含水层厚度 50 m , 隔水层厚度 90 m , 直接底泥岩厚度 8 m , 砂岩厚度 9 m , 太灰含水层厚度 50 m 。中硬顶板模型基岩自上至下分别由风化带(20 m)、砂质泥岩(20 m)、粉砂岩(15 m)、砂岩(15 m)组成。而坚硬顶板模型基岩由上至下分别由风化带(20 m)、泥岩(15 m)、中砂岩(10 m)、粉砂岩(10 m)、砂岩(15 m)组成。分别设置模型网格水平尺寸为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$, 为减少运算时间, 将距煤层最近的各地层竖直网格尺寸根据其自身厚度不同分别设置为 1 m 、 2.5 m 、 3 m 等。设置开采长度为 100 m , 共分 20 次开采完成, 每次开采长度均为 5 m 。

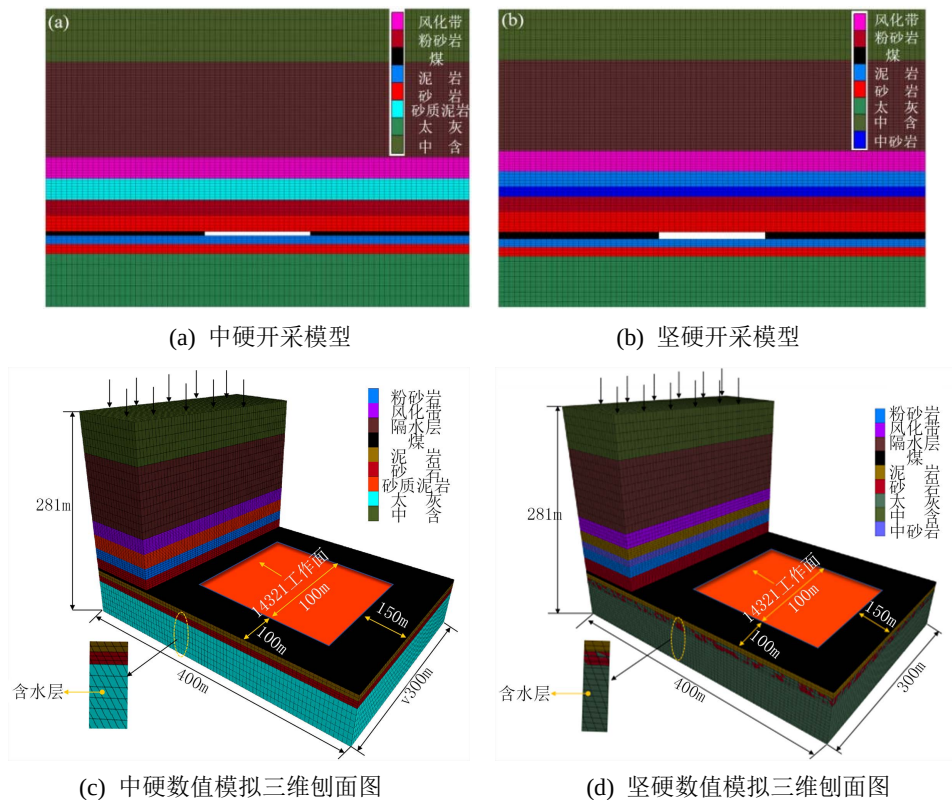


Figure 1. Numerical simulation coal seam grouping model

图 1. 数值模拟煤层分组模型

2.3. 材料参数选择

数值模拟计算采用 Mohr-Coulomb 准则, 依据实验室所做的顶底板岩石力学性质测试资料。在模型块体的前、后和左、右边界, 采用零位移边界条件[9]。本次模型参数如表 1 所示。

Table 1. Petrophysical and mechanical parameters of the working face

表 1. 工作面岩石物理力学参数

岩性	弹性模量 E/GPa	泊松比 ν	粘聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	抗拉强度 R_t/MPa
风化带	2.5	0.3	0.65	30	2350	0.35
粉砂岩	6.5	0.25	3	32	2460	2.7

续表

煤	4.9	0.32	1.1	30	1680	0.9
泥岩	9.75	0.24	1.8	26	2460	1.0
砂岩	10	0.20	21	36	2670	3.4
砂质泥岩	7.2	0.33	2.6	27	2340	0.18
太灰	8.2	0.24	25	36	2640	4
中含	4.2	0.32	28	25	2310	1.2
中砂岩	4.1	0.16	0.2	35	2540	2.5

3. 模拟结果分析

随着工作面不断推进,煤层底板在剪应力与张应力等多种混合应力叠加作用下发生破坏[10]。中硬顶板分层开采模型开采过程中底板破坏发育特征如图 2 所示。当煤层工作面推进至 20 m 时,底板两侧破坏开始下延(如图 2(a)),此时底板破坏最大深度达到 9 m,随着采煤工作面不断推进,煤层底板破坏深度不断增大,当煤层工作面推进至 60 m 时,底板破坏最大深度达到 16 m,且在此后的开采过程中,底板破坏深度始终保持不变。

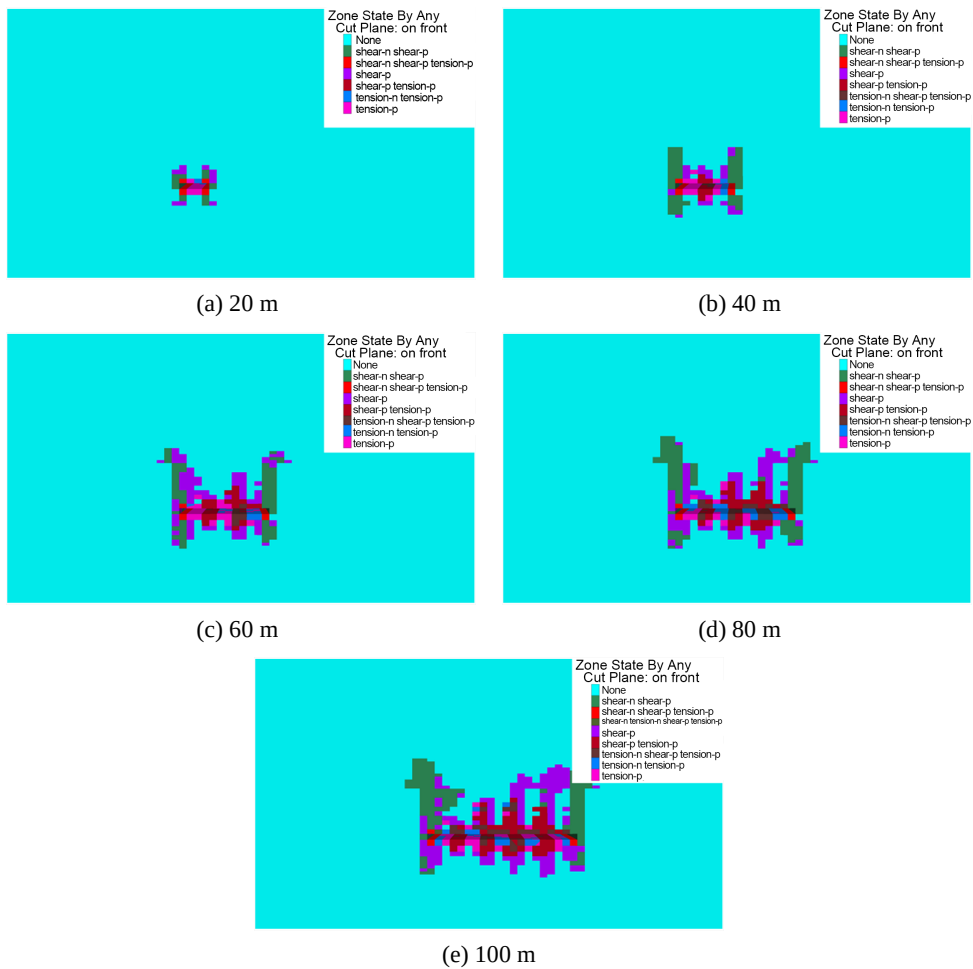


Figure 2. Mining failure characteristics of medium-hard roof model
图 2. 中硬顶板模型采动破坏特征

坚硬顶板模型开采过程中底板破坏发育特征如图 3 所示。当煤层工作面推进至 20 m 时, 底板两侧破坏开始下延(如图 3(a)), 此时底板破坏最大深度达到 6 m, 随着采煤工作面不断推进, 煤层底板破坏深度不断增大, 当煤层工作面推进至 80 m 时, 底板破坏最大深度达到 19 m, 且在此后的开采过程中, 底板破坏深度始终保持不变。

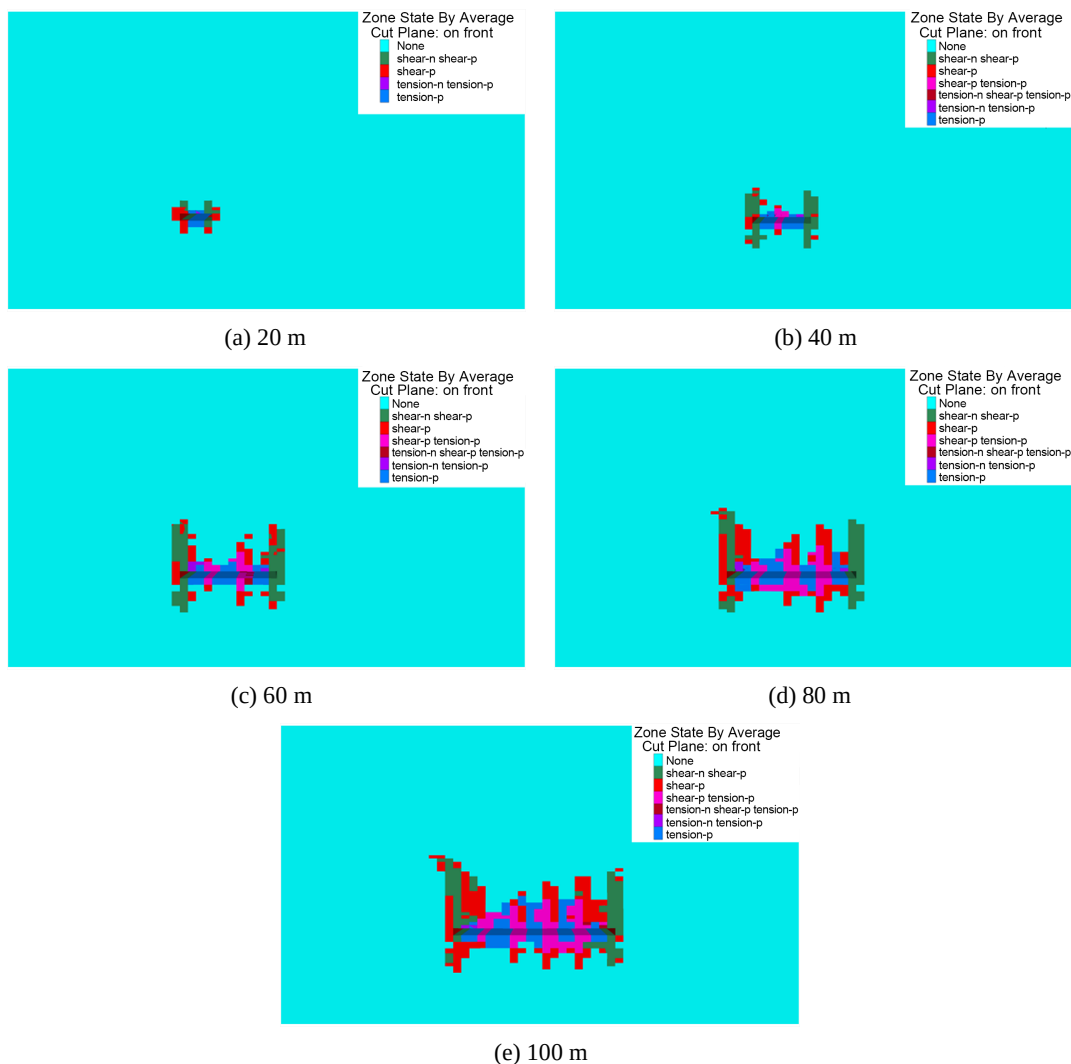


Figure 3. The mining failure characteristics of the full mining model of the hard roof
图 3. 坚硬顶板全采模型采动破坏特征

综上: 随着采煤工作面不断地推进, 坚硬顶板和中硬顶板条件下煤层底板破坏深度都表现为先增大后维持不变, 同时, 当工作面开采推进至 20 m 时, 中硬顶板条件下, 底板破坏深度达到 9 m, 高于坚硬条件下 6 m 的底板破坏深度, 随着工作面开采长度的不断增加, 底板破坏达到最大深度且趋于稳定时, 坚硬条件下, 煤层底板破坏深度达到 19 m, 高于中硬条件下的 16 m。

4. 结论

(1) 对比上述模拟结果可以得出, 随着开采活动进行, 底板受到的应力主要集中在工作面两端。同时, 随着工作面不断地推进, 工作面底板破坏深度也在不断地增大。当底板破坏深度达到某一最大值时, 底

板破坏深度不再随着工作面的推进变化, 而是趋于稳定。

(2) 采煤工作面底板破坏深度受到顶板岩性的影响且随着顶板坚硬程度的提升, 底板最大破坏深度也随之提高。

(3) 坚硬顶板条件下, 在煤层开采初期, 底板破坏深度小于中硬顶板条件下底板的破坏深度, 随着工作面开采长度的不断增加, 在底板破坏深度维持稳定后, 坚硬顶板条件下的底板破坏深度要高于中硬顶板条件下的底板破坏深度。

(4) 根据上述模拟结果, 在进行煤层开采时, 应先通过三下规范公式对煤层顶板类型进行定性, 依据不同的顶板类别在煤层开采时采取不同的顶底板支护方案。

参考文献

- [1] 袁亮. 深部采动响应与灾害防控研究进展[J]. 煤炭学报, 2021, 46(3): 716-725.
- [2] 李迎富, 曾凡刚. 新集二矿承压水上开采底板破坏深度研究[J]. 煤炭与化工, 2024, 47(8): 49-55.
- [3] 刘钦, 刘午. 多煤层采动围岩破坏规律及顶板老空水害防治研究[J]. 太原理工大学学报, 2023, 54(4): 692-699.
- [4] 孟祥瑞, 徐铖辉, 高召宁, 等. 采场底板应力分布及破坏机理[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1832-1836.
- [5] 李萍, 姜旭, 段建华, 等. 基于微震监测的工作面底板破坏曲面提取方法[J]. 煤炭工程, 2024, 56(11): 140-148.
- [6] 周乐, 姚多喜, 鲁海峰, 等. 采动条件下顶板岩体结构对底板采动效应的影响研究[J]. 煤炭技术, 2019, 38(10): 12-15.
- [7] 郭瑞瑞, 任建慧. 基于 FLAC3D 的浅埋厚煤层综放开采覆岩破坏规律研究[J]. 中国煤炭, 2022, 48(S1): 241-247.
- [8] 韩杨春, 蒋先龙, 高玉骐, 等. FLAC3D 建模技巧探讨及工程实例中的应用[J]. 科技资讯, 2014, 12(35): 28-29.
- [9] 宁明诚, 鲁海峰, 陈小艳. 非均匀顶板岩层对覆岩破坏的控制作用模拟研究[J]. 煤炭技术, 2024, 43(6): 109-113.
- [10] 曾一凡, 朱慧聪, 武强, 等. 我国不同类别煤层底板水害致灾机理与防控远景导向[J]. 煤炭学报, 2025, 50(2): 1073-1099.