

煤层采动工作面开采上限提高理论与数值模拟研究

宋 涛

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年7月7日; 录用日期: 2022年7月20日; 发布日期: 2022年7月27日

摘 要

提高煤矿工作面开采上限, 作为如今矿业公司提高产量与减少资源浪费最有效的方式。7₂41与8₂41工作面作为4采区浅部开采工作面, 为避免由于采动引起的导水裂隙带沟通“四含”含水层。通过矿区7、8煤实测“两带”发育高度实测值, 与相关垮采比、裂采比数值。联系“三下规程”中的理论经验公式及数值模拟技术计算本工作面“两带”高度发育值。经过比较最终采用类比法计算的两带发育高度值作为结果, 分别为垮落带11.73 m、导水裂隙带40.12 m。煤层顶板岩性经研究确定为中硬岩性, 保护层厚度取3A (A表示煤层厚度)为10.2 m。即7₂41工作面防水煤柱高度取50.32 m, 将开采上限提高20 m。大大促进了煤矿的经济效益。

关键词

含水层, 防水煤柱, 裂隙带, 开采上限

Theoretical and Numerical Simulation Research on Raising the Mining Upper Limit of Coal Mining Working Face

Tao Song

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

Received: Jul. 7th, 2022; accepted: Jul. 20th, 2022; published: Jul. 27th, 2022

Abstract

Raising the upper limit of coal mining face mining is the most effective way for mining companies

to increase production and reduce waste of resources. The 7₂₄₁ and 8₂₄₁ working faces are the shallow mining working faces of the 4th mining area, in order to avoid the water-conducting fracture zone caused by mining to communicate with the “four-bearing” aquifer. Through the actual measurement of the “two belts” in the mining areas 7 and 8, the measured value of the development height, and the relevant value of the mining ratio and the mining ratio. According to the theoretical empirical formula and numerical simulation technology in the “Three Lower Regulations”, the height development value of the “two belts” of this working face is calculated. After comparison, the developmental height values of the two zones calculated by the analogy method are used as the result, which are 11.73 m for the caving zone and 40.12 m for the water-conducting fracture zone. The lithology of the roof of the coal seam is determined to be medium-hard lithology through research, and the thickness of the protective layer is taken as 3A (A represents the thickness of the coal seam) as 10.2 m. That is, the height of the waterproof coal pillar of the 7₂₄₁ working face is taken as 50.32 m, and the mining upper limit is increased by 20 m. Greatly promote the economic benefits of coal mines.

Keywords

Aquifer, Waterproof Coal Pillar, Fracture Zone, Mining Upper Limit

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. 引言

矿井水害是导致我国地下煤炭资源开采事故发生的主要影响因素之一。根据有实际资料记载以来的统计记录,发现在采动条件下由于“两带”高度发育沟通松散层含水层,导致发生多次煤层顶板突水事故造成巨大的经济损失,且严重威胁井下工作人员人身安全及相关工作生产计划。钱鸣高院士及其研究团队[1]根据煤炭资源及环境调查后,依据实际生产提出煤矿绿色开采技术。之后,越来越多的煤炭安全开采行业的专家对地表及地下水体下煤炭开采,防水安全煤柱预留高度[2]-[7]问题开始了大量的研究。由于各学者研究的主体影响因素与研究方法不同,继而产生的结论也存在差异,如雷恒太通过利用实际实测数据与数学统计方法相结合建立“DM-M 预计模型”[8],利用相互结合的方法计算出防水煤柱高度值;刘瑞新等[9] [10] [11]专家通过分析实测的两带发育高度,并利用大量的实测数据进行统计总结,既而推导模拟出合适的理论公式计算相应的防水煤柱高度。陈陆望等一系列专家[12] [13] [14] [15] [16]通过利用当下科技,将理论研究已计算机模拟相结合,通过在模拟软件中模拟采动过程中的覆岩破坏过程并得出两带发育规律,计算出相应条件下的防水煤柱预留高度;进而提高工作面开采上限,减少资源浪费提高产量。

2. 工作面工程地质与水文地质条件

2.1. 工程地质

本次研究工作面在4采区位于井田北部,主体工作面开采深度为-190 m~-800 m,倾向宽约2000~2500 m,走向长约1500~2000 m,面积约5.00 km²。本次主要研究的7₂₁₄与8₂₁₄工作面为4采区7煤与8煤煤层综采面,其工作面煤层厚度分别为0.72~3.62 m与0.41~3.35 m,平均厚度为2.19 m和1.65 m。另外,从表1可以看出,7₂₄₁工作面7煤顶板砂泥比为0.12~0.61,平均值为0.29,表明工作面煤层上覆岩层岩

性为软弱到中硬类型,主体以泥岩、粉砂岩为主。8₂41 工作面 8 煤顶板砂泥比为 0.153~0.620,平均为 0.376,即工作面煤层顶板与 7 煤相似以软弱到中硬的粉砂岩与泥岩为主。

Table 1. Shallow face roof lithology table

表 1. 浅部工作面顶板岩性表

钻孔号	7 煤顶板砂泥比	7 煤直接顶板岩性	8 煤顶板砂泥比	8 煤直接顶板岩性	备注
2010-3	0.28	泥岩	0.434	粉砂岩	工作面外
15-10	0.28	泥岩	0.416	粉砂岩	工作面内
16-2	0.18	泥岩	0.195	粉砂岩	工作面外
16-3	0.13	泥岩	0.212	中砂岩	工作面外
2013-4	0.15	泥岩	0.232	粉砂岩	工作面外
2018-8	0.42	泥岩	0.467	粉砂岩	工作面外
2018-9	0.37	泥岩	0.414	火成岩	工作面外
2018-11	0.37	泥岩	0.596	细砂岩	工作面内
2018-12	0.12	泥岩	0.153	粉砂岩	工作面内
2019-18	0.19	泥岩	0.389	粉砂岩	工作面内
2020-11	0.45	泥岩	0.508	粉砂岩	工作面内
2020-12	缺失	缺失	0.302	粉砂岩	工作面内
2021 水 5	缺失	缺失	0.329	泥岩	工作面外
2021 水 6	0.61	泥岩	0.620	泥岩	工作面外

依据上述数据得出浅部开采煤层顶板覆岩类型属软弱~中硬类型。后续计算中取中硬岩体为标准进行。

2.2. 水文地质

1) 松散层第三隔水层

本次研究区域内“三隔”组成以粘土与砂质粘土(夹薄砂层)为主,中下部分地段见有泥灰岩及钙质粘土。“三隔”为煤层上覆主要隔水层(组)。其主要使得松散层下部“三含”地下水及其下部“四含”无直接水力联系。其中主要研究 7₂41、8₂41 两工作面内及附近钻孔得第三隔水层有效厚度为 44.25~70.1 m,平均 63.4 m。其中钻孔揭露最大厚度为 70.1 m。7₂41、8₂41 工作面东南部三隔厚度较厚,但总体均匀,变化不大。

2) 松散层第四含水层

4 采区“四含”岩性复杂,其组成主要为粘土质砂及中细砂等,少量钻孔揭露含水层较厚其含有砂层。经过研究与实验得出研究区的含水层主体呈现渗透性差,富水性弱的特点。主要研究区域 7₂41 与 8₂41 工作面范围内,从实际钻孔揭露情况来看,7₂41、8₂41 工作面内多数钻孔未揭露出“四含”,统计调研的钻孔中揭露出“四含”厚度最大为 5.9 m,平均厚度 1.19 m。综合分析出研究区域内“四含”分布不稳定,且部分地区出现缺失。

2.3. 含水层富水性

依据 4 采区 2021 水 5 和 2021 水 6 两钻孔抽(注)水试验结果(见下表 2),得到两钻孔单位涌水量为 $q = 0.00108 - 0.00250 \text{ L/(s.m)}$ 。由于实验中得出的钻孔单位涌水量并未依据“煤矿防治水细则”换算为统一

形式。得到的两孔的抽(注)水试验单位涌水量 $q = 0.00105 - 0.00243 \text{ L/(s.m)}$ 。此外, 总结矿井对其他含水层进行相关的抽(注)水试验, 得到其单位涌水量为 $q = 0.00142 - 0.0713 \text{ L/(s.m)}$ 。按煤矿防治水细则(2018)可知, “四含”的富水性为弱富水性。

Table 2. Results of water injection test of “four-contained” working face
表 2. 工作面“四含”注水试验结果

钻孔号	含水层厚度 M (m)	单位涌 q (L/s.m)	渗透系 K (m/d)	按照防治水细则换算过后的单位涌水量 (L/(s.m))
2021 水 5	2.98	0.00250	0.073	0.00243
2021 水 6	0.88	0.00108	0.116	0.00105

3. 工作面“两带”高度计算

3.1. 经验公式计算

首先利用《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》里的中硬覆岩计算公式(1)与(2)来预计两带高度[17] [18] [19] [20]; 由于采区采动等级为 I 级, 即为“不允许导水裂隙带顶点波及松散孔隙弱含水层水体”。因此, 防水煤岩柱厚度计算公式(3)为:

$$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2 \quad (1)$$

$$H_l = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6 \quad (2)$$

式中, H_m ——工作面垮落高度, m; H_l ——工作面导水裂隙带高度, m; $\sum M$ ——煤层最大采厚, m, 为安全考虑, 实际计算时, 将 ± 2.2 、 ± 5.6 实际计算取值为+2.2、+5.6, 取工作面采高 3.4 m 和 2.6 m 进行计算。

$$H_s = H_l + H_b \quad (3)$$

式中, H_s ——防砂煤岩柱厚度, m; H_l ——为裂隙带高度, m; H_b ——保护层厚度, m;

7₂41 工作面两带高度分别为:

$$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2 = 11.92 \text{ (m)}$$

$$H_l = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6 = 43.21 \text{ (m)}$$

$$H_s = H_l + H_b = 43.21 + 10.2 = 53.41 \text{ m}$$

8₂41 工作面两带高度分别为:

$$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2 = 10.53 \text{ (m)}$$

$$H_l = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6 = 39.11 \text{ (m)}$$

$$H_s = H_l + H_b = 39.11 + 2.6 \times 3 = 46.91 \text{ m}$$

根据上述经验公式计算出 7₂41、8₂41 工作面的垮落带和导水裂隙带发育高度, 计算出 7₂41 垮采比为 3.51、裂采比为 12.70, 8₂41 垮采比为 4.05、裂采比为 15.04。

Table 3. The statistics table of the measured values of the two roof strips of the mined working face
表 3. 已回采工作面顶板两带实测值统计表

煤层	工作面	采厚/m	实测垮落带高度/m		实测导水裂隙带高度/m		采煤方法
			高度/m	垮采比	高度/m	裂采比	
7 ₂	7 ₂ 111	2.9	10.0	3.45	34.2	11.8	综采
7 ₂	7 ₂ 11	2.9	9	3.1	33	11.38	综采
8 ₂	8 ₂ 11	2.9	8.8~9.1	3.8~4.0	34.7~35.5	15.1~15.4	综采

3.2. 类比法计算“两带”高度

此前,本矿先后进行了 7₂ 煤层的 7₂11 和 7₂111 工作面、8₂ 煤 8₂11 工作面两带发育高度实际测量,“两带”发育实测高度值见表 3。本矿已回采 7₂ 煤层实测垮采比为 3.1~3.45,裂采比为 11.38~11.8; 8₂ 煤层的垮采比为 3.8~4.0,裂采比为 15.1~15.4。7₂41 工作面参照 7₂111 和 7₂11 工作面两带数据最大值,计算得出垮落带高度 11.73 m,垮采比为 3.45;裂隙带高度 40.12 m,裂采比为 11.8。8₂41 工作面参照 8₂11 工作面两带数据最大值计算得出垮落带高度 10.4 m,垮采比为 4.0;裂隙带高度 40.04 m,裂采比为 15.4。

经过经验公式及类比法计算后得出实际防水煤柱预留高度取类比法计算值,即防水煤柱取值为 50.32 m。

4. 采动条件下工作面数值模拟两带发育规律

4.1. 建立模型

本次模型的长取 500 m,宽 400 m,高 170 m(如图 1 所示),模拟覆岩层厚度为 165 m,模型顶部为“四含”含水层,厚 10 m,底部水压 1.7 MPa,下邻风化带厚 15 m。“四含”下为倾角为 16°的煤岩层组。煤层厚度取均值厚度 3.5 m,模型中煤层顶底板依据钻孔揭露设计为泥岩、粉砂岩、砂岩等岩层组成的复合顶底板。

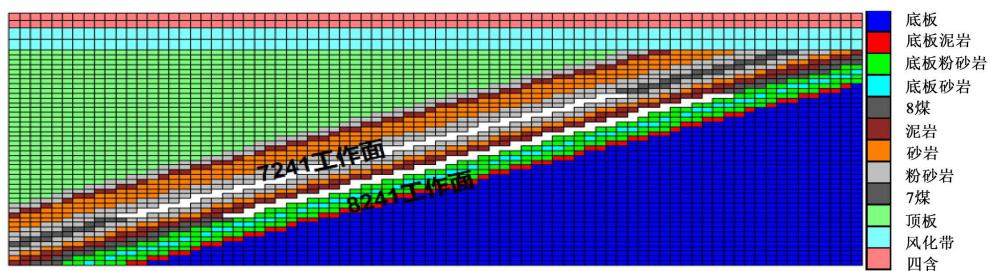


Figure 1. Mining model of 7₂41 and 8₂41 working faces

图 1. 7₂41 与 8₂41 工作面采动模型

4.2. 数值模拟结果分析

1) 工作面采动条件下覆岩动态运移规律。7₂41 工作面回采初,其对松散层土体的位移影响较小。伴随工作面回采持续推进 20 m、40 m、60 m 后,煤层顶板开始出现下沉、底板出现隆起现象,并随着工作面推进逐渐加大;此外,随着工作面回采推进至 80 m 时(如下图 2 所示),顶板位移量急增出现顶板垮落现象,随后顶板垮落宽度快速拓展。当模型工作面回采至 100 m 时,煤层顶板覆岩出现下沉急增,随后慢慢区域稳定,最终覆岩处于压实状态。模拟中的煤层顶板下沉量最大值为 0.252 m。由于 8₂41 工作面处于 7₂41 工作面下方,两工作面相距较近;随着 8₂41 工作面推进,对本已处以压实状态的 7 煤覆岩产生二次扰动,顶板覆岩进一步发生沉降,最大可达 0.299 m。

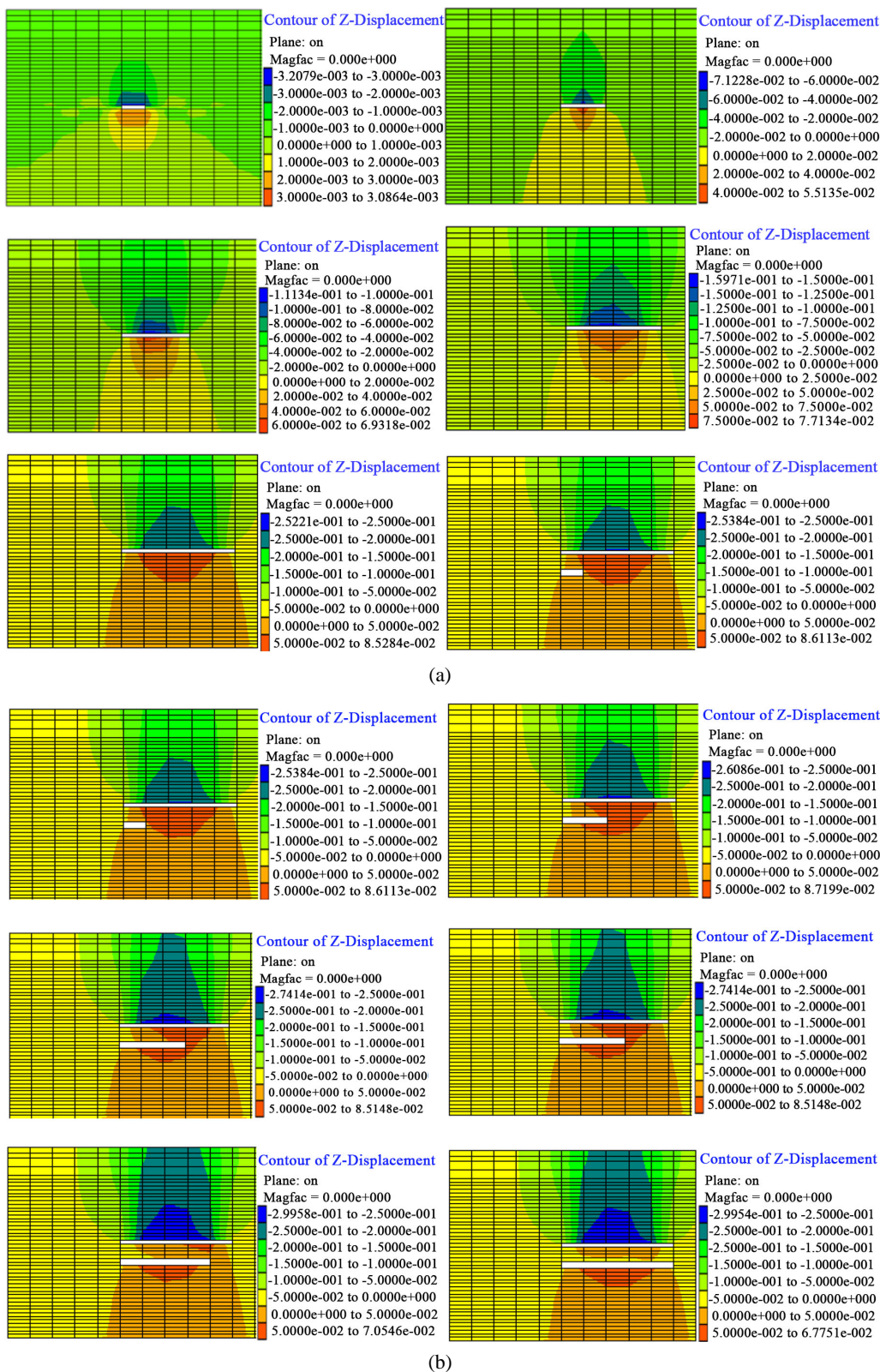


Figure 2. Cloud map of roof surrounding rock displacement during the advancing process of working face (a) (b). (a) 7₂41 working face roof displacement cloud map; (b) 8₂41 working face roof displacement cloud map

图 2. 工作面推进过程中顶板围岩位移云图(a) (b)。(a) 7₂41 工作面顶板位移云图；(b) 8₂41 工作面顶板位移云图

5. 结论

1) 通过比较经验公式、类比法、数值模拟技术的计算结果, 结合三种结果的误差及矿井实际环境, 最终取 7₂41 工作面的垮落带高度为 11.73 m。导水裂隙带高度为 40.12 m。

2) 对比之前的地质生产报告, 利用数值模拟的方法将煤层采动条件下上覆岩层破坏形式进行分析, 确定了两代发育高度、提高开采上限。大大提高了工作面的经济产值、避免了资源浪费。

3) 工作面基岩面标高在-137.02 m~-148 m 之间, 矿井初步设计时 7₂煤预留设防水煤柱为煤层露头下垂深 80 m 区域, 该工作面原回采上限为-220 m, 经过理论与数值模拟计算讨论, 最终选择取类比法计算防水煤柱高度为 50.32 m, 作为 7₂41 工作面实际取值, 得到现开采上限为-200 m。

参考文献

- [1] 钱鸣高, 许家林, 缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报, 2003(4): 5-10.
- [2] 杨本水, 王从书, 阎昌银. 中等含水层下留设防砂煤柱开采的试验与研究[J]. 煤炭学报, 2002(4): 342-346.
- [3] 周刚, 李世平, 张晓龙, 等. 微山湖下断层煤柱留设与开采技术的模拟试验[J]. 煤炭科学技术, 1997, 25(5): 13-16.
- [4] 彭文庆, 王卫军, 李青峰. 不同断层倾角条件下防水煤柱合理宽度的研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(2): 1089-1094.
- [5] 赵兵朝, 刘樟荣, 同超, 等. 覆岩导水裂缝带高度与开采参数的关系研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2015, 32(4): 634-638.
- [6] 孟召平, 高延法, 卢爱红, 等. 第四系松散含水层下煤层开采突水危险性 & 防水煤柱确定方法[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(1): 23-29.
- [7] 孙希奎, 马光军, 徐新启. 第四系底界粘土岩性对提高开采上限的影响分析[J]. 煤矿安全, 2004, 35(6): 31.
- [8] 雷恒太. 新型垮落带高度计算方法研究[J]. 煤炭与化工, 2015, 38(9): 1-3.
- [9] 许延春, 李俊成, 刘世奇, 等. 综放开采覆岩“两带”高度的计算公式及适用性分析[J]. 煤矿开采, 2011, 16(2): 4-7+11.
- [10] 郭忠平, 文志杰, 王付清. 厚冲积层下厚煤层分层开采提高开采上限的研究[J]. 煤炭学报, 2008(11): 1220-1223.
- [11] 刘瑞新. 松散含水层下提高开采上限的研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 56-59.
- [12] 王睿, 孟召平, 谢晓彤, 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] 涂敏, 桂和荣, 李明好, 等. 厚松散层及超薄覆岩厚煤层防水煤柱开采试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004(20): 3494-3497.
- [14] 陈陆望, 桂和荣, 李一帆. UDEC 模拟厚松散层及超薄覆岩条件下开采防水煤柱覆岩突水可能性[J]. 水文地质工程地质, 2007(1): 53-56+61.
- [15] 鹿亮亮, 邵明喜, 曹思文, 张锐, 刘彬. 薄基岩特厚煤层工作面提高开采上限综合研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(5): 54-57. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2016.05.023>
- [16] 张明, 刘传武, 赵武升. 应用数值模拟方法研究煤层覆岩破坏规律[J]. 煤炭科技, 2003(4): 6-7. <https://doi.org/10.19896/j.cnki.mtkj.2003.04.003>
- [17] 郭祥瑞. 邹庄煤矿 7401 工作面综放开采防水煤柱留设研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [18] 霍晓斌. 浅埋大采高工作面覆岩破坏规律及导水裂隙带发育高度研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2018.
- [19] 郭之标. 临涣矿区中煤组采动覆岩变形破坏特征及两带发育高度研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2020. <https://doi.org/10.26918/d.cnki.ghngc.2020.000162>
- [20] 李淑军. 柠条塔矿近距离煤层群开采覆岩破坏及裂隙带发育高度研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2019.