

利用经验公式计算“两带”高度

——信湖煤矿八一采区811工作面以浅及814工作面以浅为例

冷 傲, 王来斌, 樊迎军

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2021年11月29日; 录用日期: 2021年12月16日; 发布日期: 2021年12月23日

摘 要

2017年我国重新修订《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤章程》即“三下”规程通过对已观测成果进行总结归纳提出计算导水裂隙带、冒落带高度的经验公式, 本文以信湖煤矿八一采区为例, 通过采区煤层覆岩条件、煤层及煤层间距特征, 合理选取经验公式, 对采区“两带”高度进行计算, 为煤岩柱留设提供依据。

关键词

“三下”规程, 经验公式, 导水裂隙带, 冒落带

Calculation of “Two Zones” Height by Empirical Formula

—Shallow 811 Working Face and Shallow 814 Working Face in Bayi Mining Area of Xihu Coal Mine

Ao Leng, Laibin Wang, Yingjun Fan

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

Received: Nov. 29th, 2021; accepted: Dec. 16th, 2021; published: Dec. 23rd, 2021

Abstract

In 2017, China revised the articles of Association for the retention and coal pressure of coal pillars in buildings, water bodies, railways and main shafts and lanes. By summarizing the observed results, the empirical formula for calculating the height of water diversion fracture zone and caving

zone is put forward. Taking Bayi mining area of Xihu coal mine as an example, the empirical formula is reasonably selected through the coal seam overburden conditions, coal seams and interlayer conditions in the mining area. The height of “two zones” is calculated to provide a basis for the retention of coal and rock pillars.

Keywords

“Three Down”, Procedures Empirical Formula, Water Conducting Fracture Zone, Caving Zone

Copyright © 2021 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

自上世纪 80 年代,我国煤矿能源发展迅速,成为了世界上最大的能源开发国和消耗国,在我国发电体系中,超过七成来自煤炭发电,因此煤炭资源在我国中的地位是不可取代的[1] [2] [3]。我国煤矿在近松散层开采覆岩倒水裂隙带上覆含水层有导致顶板水害事故发生的可能[4] [5]。为保证煤矿开采的安全,矿区会留设大量煤岩柱,工作面顶板覆岩特征不同,采动等级不同,煤岩柱的类型也就不同,本次研究通过收集信湖煤矿八一采区及临近采区的钻孔资料的收集与整理,对八一采区 811 工作面以浅及 814 工作面以浅作为研究区开展了松散层特征、煤层及覆岩特征的研究,对“两带”高度通过“三下”规程经验公式进行了计算,为后续对煤岩柱的类型的判断、煤岩柱的高度设计,对后续煤岩柱的可行性评价研究提供了依据[6] [7] [8] [9] [10]。

2. 国内外研究现状

1828 年比利时的格诺特提出了“垂线理论”1968 年,英国矿山局颁布了海下采煤条例,明确规定了对覆岩的组成、厚度、采厚的要求,由此条例进行开采。豪斯于 1889 年提出了“分带理论”,俄罗斯于 1973 年对于中粘土层的厚度、煤厚、采动条件等变化确定了安全采深的有关水体下的开采规定章程[11] [12] [13]。1986 年我国出版的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤章程》,后于 2000 年进行了重新修订,2017 年又进行了新的修订该章程即为“三下”章程,其中对已观测的成果进行归纳总结分析,提出了计算“两带”的经验公式,即为“三下”经验公式对后续的研究提供了帮助[14]梁洪根据“三下”规程,通过 UDEC 数值模拟的方法,对洞口富水岩层下安全开采煤岩柱的尺寸进行了合理的缩小;王洋通过经验公式和相似材料模拟实验的方法,对皖北百善煤矿浅部压煤合理留设煤岩柱进行了研究[15]。

覆岩破坏的影响因素较为复杂,随着煤矿不断的开采,地质条件将会越来越复杂,开采条件也会随之变化,如何保证煤矿安全也将成为重要研究课题和更高的挑战。通过前人的研究越来越多的方法投入到覆岩破坏的研究当中如:经验计算法、类比,利用软件进行数值模拟、相似材料模拟实测等[16] [17] [18] [19] [20]。

3. 研究区概况

3.1. 地理概况

本文研究区为八一采区 8 煤层隐伏露头附近的区块,即 811 和 814 工作面以浅的区块,东西长约 1400 m,南北长约 3000 m,深度 790~850 m,共有 13 个钻孔,见图 1。

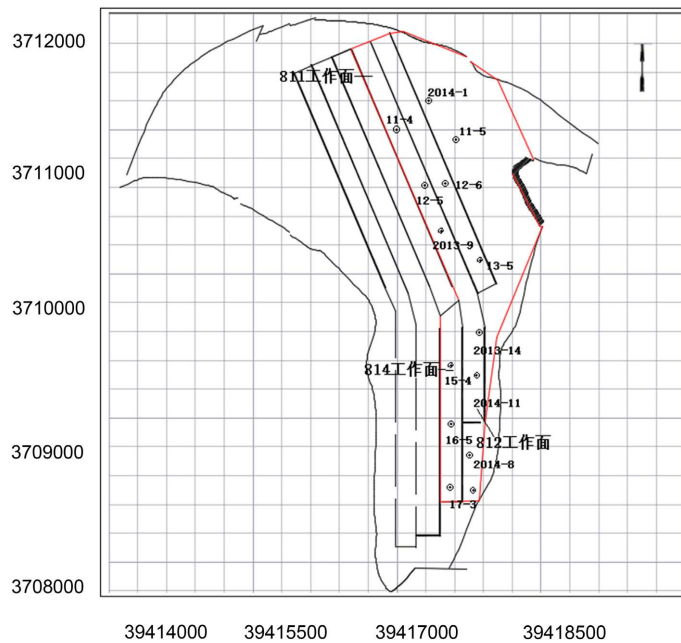


Figure 1. Schematic diagram of study area in Bayi mining area of Xinhu coal mine
图 1. 信湖煤矿八一采区研究区示意图

3.2. 地质条件

3.2.1. 地层

信湖煤矿八一采区内地层为隐伏型，未见基岩裸露。根据采区内钻孔资料，地层包括二叠系下石盒子组、上石盒子组、石千峰组，新近系、第四系。论文研究的 8 煤层位于二叠系下石盒子组。

3.2.2. 地质构造

1) 褶皱

研究区内共有 3 处褶皱，分别为孙大庄背斜、董新楼向斜、王大庄背斜。

2) 断层

研究区内共有 7 条大断层 44 条小断层，均为正断层，小断层落差均小于 10 m，对煤层开采影响小。大断层 F1 断层为采区东部边界断层，走向 NS，倾向 E，倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，区内落差 500~1200 m，落差由南向北逐渐增大，延展长度 3200 m，对煤层开采影响大；Df19 正断层，位于采区东南边界，走向 NNE，倾向 SEE，倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，区内落差 60~280 m，延展长度 1700 m，并向区外发展，对煤层影响较大其余大断层落差均小于 100 m，主要走向为北北东和北东东方向，倾向为南东东和北北西方向，影响煤层赋存形态，图 2。

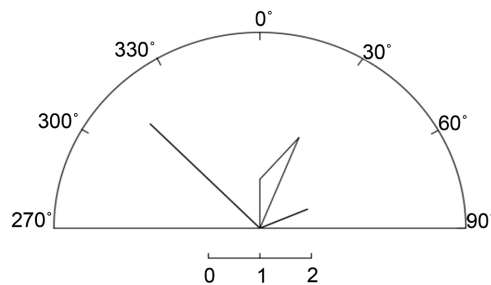


Figure 2. Fault map of the study area
图 2. 研究区断层玫瑰花图

4. 研究区松散层及覆岩基本特征

4.1. 松散层埋藏特征

通过 Surfer 图来看, 研究区内基岩面埋深起伏较小, 由西北方向东南方向埋深有逐渐减小趋势, 孔 2018-4 基岩面埋深较大, 松散层较厚, 研究区北侧 811 工作面以浅, 基岩面埋深较小, 松散层较薄, 图 3。

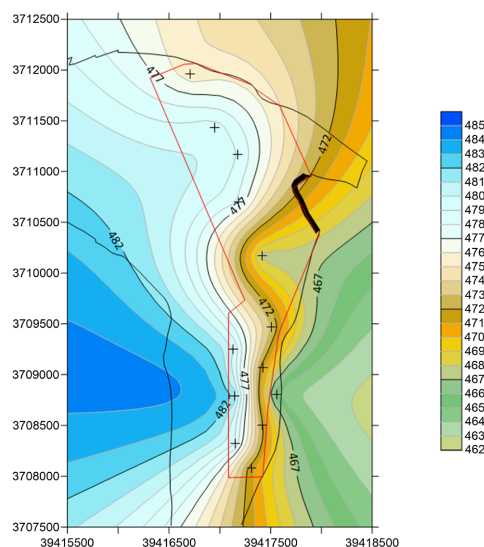


Figure 3. Contour map of loose layer thickness

图 3. 松散层厚度等值线图

4.2. 8 煤层覆岩特征

据研究区及附近钻孔, 8 煤层上覆基岩柱的厚度靠近松散层的工作面 811 及北侧钻孔表现出覆岩厚度较小, 远离松散层的工作面 812、工作面 814 覆岩厚度较大, 上、下石盒子组地层部分缺失, 东部的深部岩柱厚度较大, 多数钻孔仅显示上石盒子组地层缺失, 研究区覆岩厚度 77.91~368.5 m, 平均厚度 252.84。从基岩面至 8₁煤层顶板的基岩柱岩性构成, 可知, 研究区砂岩厚度 26.15~166.85 m, 平均厚度 92.38 m, 泥岩厚度 35.35~268.97 m, 平均厚度 145.52 m 砂泥比 0.31~2.19 平均 0.83, 岩性以泥岩与砂岩为主, 见表 1, 图 4、图 5。

Table 1. Statistical table of lithologic composition of from bedrock face to 8₁ coal seam

表 1. 基岩面至 8₁煤层范围内基岩岩性构成情况统计表

钻孔名称	8 煤顶板到基岩面 距离(m)	砂岩累计厚 度(m)	泥岩累计厚 度(m)	砂岩占比 (%)	泥岩占比(%)	砂泥比
11-5	77.91	39.96	35.35	53.06	46.94	1.13
13-5	134	57.25	66.02	46.44	53.56	0.87
12-6	119.25	28.15	86.9	24.47	75.53	0.32
15-4	368.5	94.51	268.97	26.00	74.00	0.35
16-5	354.9	166.85	175.2	48.78	51.22	0.95
16-6	322.81	164.96	75.43	68.62	31.38	2.19
17-3	357.1	146.42	199.43	42.34	57.66	0.73

Continued

2013-1	144.7	55.2	78.22	41.37	58.63	0.71
2013-14	268.6	76.84	157.07	32.85	67.15	0.49
2013-15	347.6	77.85	249.23	23.80	76.20	0.31
2014-9	331.57	86.38	188.18	31.46	68.54	0.46
2014-11	319.43	103.09	205.97	33.36	66.64	0.50
2018-4	199.78	93.29	92.58	50.19	49.81	1.01

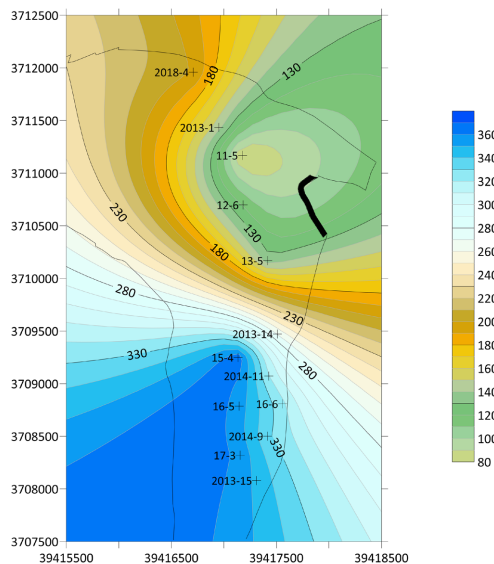


Figure 4. Contour map of the distance from the roof of coal seam 8_1 to the bedrock surface
图 4. 8_1 煤层顶板至基岩面距离等值线图

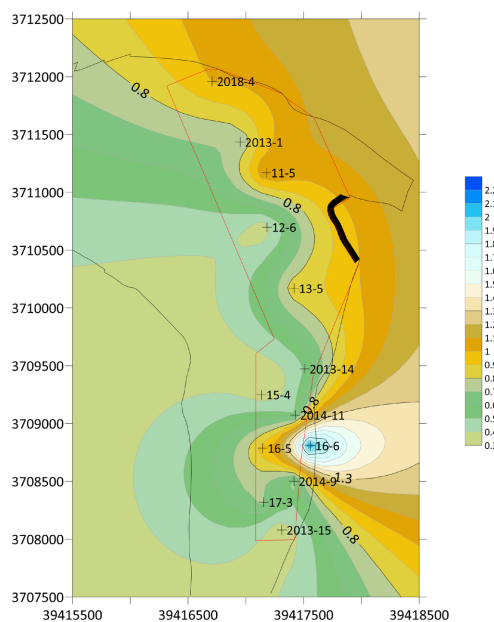


Figure 5. Contour map of overburden sand mud ratio of 8 coal seam
图 5. 8 煤层覆岩砂泥比等值线图

4.3.8 煤特征

4.3.1. 8₁ 煤特征

根据工作面 811 及以浅、工作面 814 及以浅上钻孔资料, 8₁ 煤厚度 0.85~3.88 m, 平均厚度 2.55 m, 煤层黑色, 条痕黑褐色, 条带状结构, 沫状, 玻璃光泽, 内生裂隙发育, 结构较简单。面积可采率 91%。煤层顶底板多以泥岩为主, 次为细砂岩和粉砂岩, 表 2, 图 6。

Table 2. Statistical table of thickness of 8coal seam by working face and nearby borehole

表 2. 工作面及附近钻孔揭露 8 煤层厚度统计表

孔号	8 ₁ 煤层底板标高(m)	8 ₁ 煤层厚度(m)	8 ₂ 煤底板标高(m)	8 ₂ 煤厚度(m)
11-5	-537.67	2.56	-541.12	3.05
12-6	-578.5	1.83	-582.63	2.85
13-5	-578.01	1.53	-582.73	3.2
15-4	-823.3	5.03	-827.73	3.1
16-5	-809.54	5.34	-813.86	3.15
16-6	-762.9	0.28	-767.08	3.15
2013-1	-603.87	2.05	-808.27	1.43
2013-14	-714.53	2.34	-607.91	2.36
2013-15	-797.61	5.31	-801.27	2.15
2014-9	-774.16	2.78	-777.73	2.23
2014-11	-765.33	1.5	-769.4	2.27

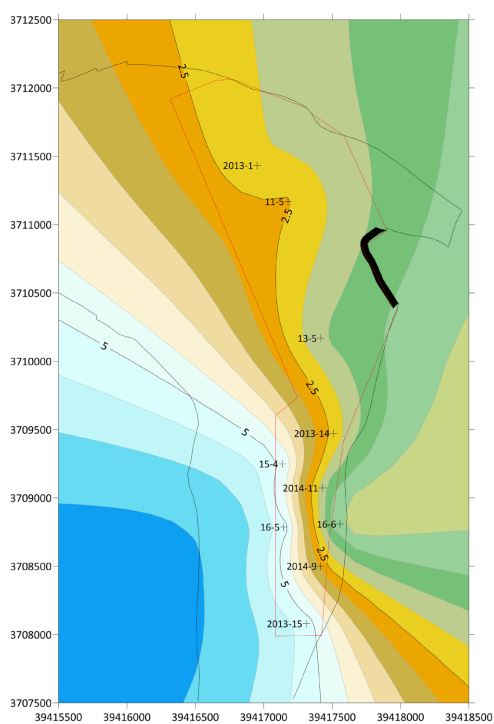


Figure 6. Contour map of 8₁ coal seam thickness

图 6. 8₁ 煤层厚度等值线图

4.3.2. 8₂煤层特征

根据工作面 811 及 814 以浅上钻孔资料, 8₂煤层厚度 1.41~2.84 m, 平均厚度 2.32 m。煤层黑色, 条痕黑褐色, 条带状结构, 沫状~碎块状, 局部片状, 玻璃光泽, 内生裂隙发育, 煤层顶底板多以泥岩、炭质泥岩为主, 次为细砂岩和粉砂岩。表 2, 图 7。8₂煤层厚度相对稳定, 煤层厚度同 8₂底板标高无直接联系。

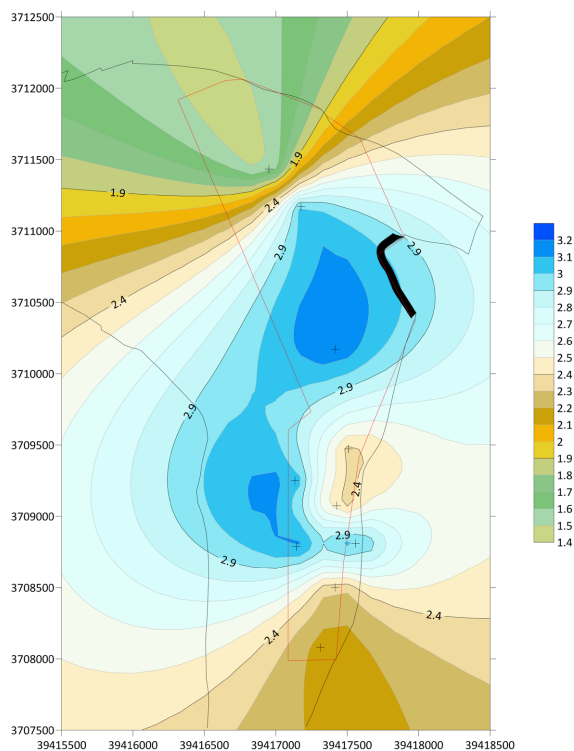


Figure 7. Contour map of 8₂ coal seam thickness

图 7. 8₂煤层厚度等值线图

4.3.3. 8₁、8₂煤层间距

研究区内 8₁、8₂煤层间距 3.17~3.86 m, 平局间距 1.86 m, 基本全为泥岩, 孔 2013-1、2014-11 存在岩浆岩, 原因为发生岩浆入侵, 研究区内工作面 812、814 处煤间距较大、工作面 811 以浅部分较小, 从南向北有逐渐增大趋势, 孔 2013-14 达到最大值, 研究区内孔 2018-4 并未揭露 8₂煤层, 故无煤间距数据, 见表 3, 图 8。

Table 3. Statistics of spacing between coal seams 8₁ and 8₂

表 3. 8₁、8₂煤层间距统计表

孔号	煤间距(m)	岩性	备注
2013-1	1.68	岩浆岩、泥岩	0.5 m 厚度岩浆岩 1.38 m 厚度泥岩
11-5	0.4	泥岩	
12-6	1.3	泥岩	
13-5	1.35	粉砂岩	

Continued

2014-11	3.33	岩浆岩、泥岩	1.5 m 厚度岩浆岩 1.88 m 厚度泥岩
2013-14	3.86	泥岩	
16-6	1.95	泥岩	
2014-9	1.37	泥岩	
2013-15	1.17	泥岩	
15-4	1.37	泥岩	
16-5	1.18	泥岩	
17-3	1.37	泥岩	

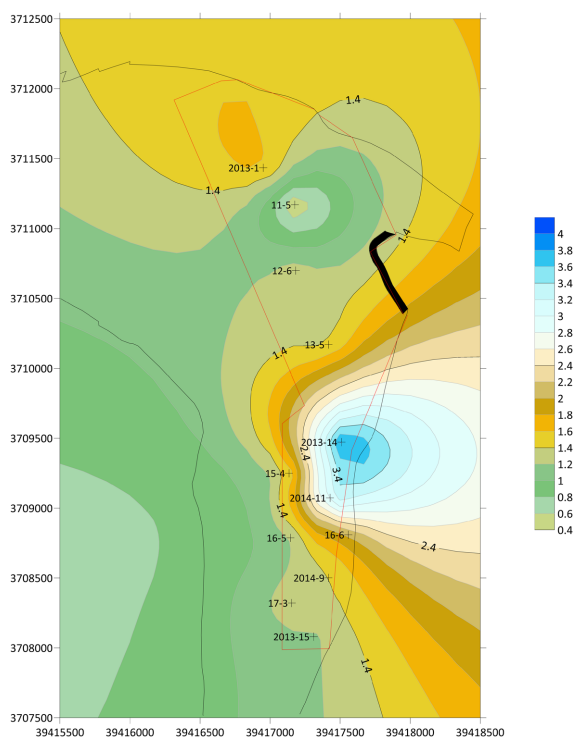


Figure 8. Contour line of spacing between coal seams 8_1 and 8_2 in the study area

图 8. 研究区 8_1 、 8_2 煤层间距等值线

5. 经验公式计算

5.1. 经验公式选择

依照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》[14]要求，留设防水安全煤(岩)柱的原则是保证开采生产的导水裂隙带不波及水体，研究区内煤层倾角 $<25^\circ$ ，小于要求 53° ，“四含”覆盖煤层露头，松散层底部粘土小于煤层厚度，煤层覆岩风化与未风化掩体岩性强度为中硬，故参照《三下》规程选取经验公式应为防(隔)煤岩柱两带计算公式：

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

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

式中： H_m ——为垮落高度(m)； H_l ——为导水裂隙带高度(m)； $\sum M$ ——煤层均厚(m)。为了安全起见，实际计算时， ± 2.2 、 ± 5.6 分别取+2.2、+5.6。

近距离煤层垮落带和导水裂隙带高度计算：下层煤的垮落带接触到或完全进入上层煤范围内时，上层煤的导水裂隙带最大高度采用本煤层开采厚度计算，下层煤的导水裂隙带最大高度则应采用上、下层煤的综合开采厚度计算，取其中标高最高者为两层煤的导水裂隙带最大高度。

$$M_z = M_2 + \left(M_1 - \frac{H_{1-2}}{Y} \right) \quad (3)$$

式中， M_z ——上下煤层的综合开采厚度(m)； M_1 ——上煤层开采厚度(m)； M_2 ——下煤层的综合开采厚度(m)； H_{1-2} ——上下煤层之间的法线距离(m)； Y ——下煤层的垮采比。

5.2. 经验公式计算

研究区钻孔资料中 8₁ 煤厚度 0.85~3.88 m，平均厚度 2.55 m，8₂ 煤层厚度 1.43~3.2 m，平均厚度 2.62 m，计算垮落带、导水裂隙带高度时应选取煤层开采厚度为 M_z ，表 4。

Table 4. 8 statistics of combined thickness of coal seams

表 4. 8 煤层厚度统计

孔号	8 ₁ 煤厚度(m)	8 ₂ 煤厚度(m)	8 煤层累计厚度(m)
11-5	2.56	3.05	5.61
12-6	1.83	2.85	4.68
13-5	1.53	3.2	4.73
15-4	5.03	3.1	8.13
16-5	5.7	3.15	8.85
16-6	0.28	3.15	3.43
2013-1	2.05	1.43	3.48
2013-14	2.34	2.36	4.7
2013-15	3.4	2.15	5.55
2014-9	2.78	2.23	5.01
2014-11	1.5	2.27	3.77

计算选取 8₁ 煤最大厚度 3.88 m，8₂ 煤最大厚度 2.84 m 计算得：

1) 垮落带

$$8_1 \text{ 煤层: } H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} + 2.2 = \frac{100 \times 3.88}{4.7 \times 3.88 + 19} + 2.2 = 12.62 \text{ (m)}$$

$$8_2 \text{ 煤层: } H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} + 2.2 = \frac{100 \times 2.84}{4.7 \times 2.84 + 19} + 2.2 = 10.98 \text{ (m)}$$

2) 裂隙带

$$8_1 \text{ 煤层: } H_1 = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} + 5.6 = \frac{100 \times 3.88}{1.6 \times 3.88 + 3.6} + 5.6 = 45.16 \text{ (m)}$$

煤层间距选择最大值 3.86m, 8_2 开采方式为放顶煤, 故煤层厚度选择 M_z

$$8_2 \text{ 煤层: } M_z = M_2 + \left(M_1 - \frac{H_{1-2}}{Y} \right) = 2.84 + \left(3.88 - \frac{3.86}{10.98 \div 2.84} \right) = 5.73 \text{ (m)}$$

$$H_1 = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} + 5.6 = \frac{100 \times 5.73}{1.6 \times 5.73 + 3.6} + 5.6 = 50.48 \text{ (m)}$$

导水裂隙带高度取值为 50.48 m。

6. 结论

根据“三下”规程, 松散层下含水层厚度小于煤层累计采厚, 煤层倾角小于 25° , 小于要求 53° , 覆岩风化与为风华带岩层属中硬, 采动等级为 I 级, 选取了经验公式。通过经验公式计算出“两带”高度, 8_2 煤开采方式为放煤顶, 故煤层厚度选取合并煤层厚度, 8_1 煤层垮落带 12.61 m, 8_2 煤层垮落带 10.98 m, 8_1 煤层导水裂隙带 45.16 m, 放顶煤开采时 8_2 煤层导水裂隙带合并开采高度 50.48 m。通过经验公式计算出的“两带”高度对后续保护层选取及煤岩柱类型、留设、设计高度等研究有着重要意义。

参考文献

- [1] 薛禹群, 朱学愚. 地下水动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- [2] 武强. 煤矿防治水手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2013.
- [3] 施小平. 煤层顶板松散承压含水层渗流突涌特性及制灾机理与防治研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [4] 朱宁宁, 袁店二矿 83 采区含水层下开采的煤岩柱留设研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.
- [5] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局, 国家能源局, 国家铁路局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[J]. 安全与健康, 2017(9): 36-37.
- [6] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿防治水细则[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2018.
- [7] 张永刚, 刘延欣, 吴宇亮. 厚松散层薄基岩下重复采动覆岩破坏高度综合研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(8): 72-75.
- [8] 韩云. 龙东矿 7125 综放工作面开采上限研究与确定[J]. 能源技术与管理, 2008(4): 63-64+90.
- [9] 杨春华. 7144 工作面近松散层开采上限研究与实践[J]. 煤矿开采, 2008, 13(2): 57-58+88.
- [10] 于永幸, 肖华强. 巨厚松散含水层压煤开采上限研究[J]. 煤矿开采, 2008, 13(2): 52-54+48.
- [11] Manca, G. and Curtin, K. (2012) Fuzzy Analysis for Modeling Regional Delineation and Development: The Case of the Sardinian Mining Geopark. *Transactions in GIS*, **16**, 55-79. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01300.x>
- [12] Pacina, J., Novák, K. and Popelka, J. (2012) Georelief Transfiguration in Areas Affected by Open-Cast Mining. *Transactions in GIS*, **16**, 663-679. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2012.01339.x>
- [13] Bogorny, V. and Avancin, H. (2011) Weka-STPM: A Software Architecture and Prototype for Semantic Trajectory Data Mining and Visualization. *Transactions in GIS*, **15**, 227-248. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01246.x>
- [14] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [15] 王洋. 综采一次采全高覆岩导水裂缝带高度综合探测及其演化分析[J]. 能源与环保, 2021, 43(5): 132-137.
- [16] 席杰, 王兆丰, 陈金生, 李学臣, 李艳飞, 马雄伟. 基于覆岩破坏传递的超前自卸压区影响宽度研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(6): 46-51.
- [17] 秦喜文. 小窑破坏区残煤综放开采覆岩破坏规律模拟研究[J]. 煤炭工程, 2021, 53(5): 121-124.
- [18] Wang, H., Qin, Y., Wang, H.B., Chen, Y. and Liu, X.C. (2021) Process of Overburden Failure in Steeply Inclined Multi-Seam Mining: Insights from Physical Modelling. *Royal Society Open Science*, **8**, Article ID: 210275.

<https://doi.org/10.1098/rsos.210275>

- [19] 陈旭江. 采空区覆岩破坏变形特征研究[J]. 煤, 2021, 30(3): 3-6+54.
- [20] Yang, B.B., Yuan, S.C., Liang, Y.K. and Liu, J.W. (2021) Investigation of Overburden Failure Characteristics Due to Combined Mining: Case Study, Henan Province, China. *Environmental Earth Sciences*, **80**, Article No. 143.
<https://doi.org/10.1007/s12665-021-09462-4>