

新安煤矿 16 煤导水裂隙带高度研究

王琳琳, 魏久传, 尹会永, 谢道雷

(山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:结合新安煤矿开采技术和水文地质条件,以岩石力学实验资料为基础,分别采用“三下开采规程”法、类比法、经验公式法和数值模拟法对新安煤矿 16 煤开采导水裂隙带高度进行综合对比研究。计算结果表明:数值模拟法可对裂隙带发育高度直观显示,并和最终确定的导水裂隙带高度一致;综合确定新安煤矿 16 煤的最大导水裂隙带高度为 30 m,防水煤柱高度 35.5 m,为确定 16 煤合理开采上限提供理论依据。

关键词:导水裂隙带;岩石破裂过程分析系统(RFPA);数值模拟;开采上限

中图分类号:TD745

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)01-0040-06

The Height of Water Flowing Fractured Zone of 16 Coal Seam in Xin'an Coal Mine

Wang Linlin, Wei Jiuchuan, Yin Huiyong, Xie Daolei

(College of Geology Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: A comprehensive and comparative study was accomplished here on the height of water flowing fractured zone of 16 coal seam in Xin'an coal mine based on the computational data from rock mechanics experiment. With consideration of the exploitation technical conditions and hydrogeological conditions, the study used RFPA software for analysis and combined the method in “three-underground mining regulations”, analogy method, empirical formula method, and numerical simulation method. The results indicate that numerical simulation method can intuitively display the development of fractured zone, and the calculation result of numerical simulation method is highly consistent with the finally located height. The maximum height of water flowing fractured zone was 30 m and the height of waterproof pillar was 35.5 m. The results provide the theoretical basis for the 16 coal seam upper mining limit.

Key words: water flowing fractured zone; rock failure process analysis (RFPA); numerical simulation; upper mining limit

煤层开采过程中产生的岩层采动破断裂隙是矿井突水的通道,开展导水裂隙带研究,为开采设计提供依据。目前,确定导水裂隙带高度的方法主要有经验公式法、物理相似材料模拟法、现场测定法、类比法和经验公式法等,近年来,由于计算机的飞速发展,数值模拟法被广泛使用^[1-4]。单一方法确定导水裂隙带高度具有一定的局限性,采用多种方法综合确定的方式,可以取长补短,使计算结果更加准确、合理。针对新安煤矿安全开采已有许多研究成果^[5-7],但对煤矿最大导水裂隙带的研究较少,尤其是利用数值模拟方法的研究成果更少。新安煤矿曾多次发生突水事故,如 2000 年 3 煤发生顶板砂岩突水,因此,为避免类似事件发生,基于新安煤矿开采技术条件、水文地质条件及岩石力学试验资料,分别选择“三下开采规程”法、类比法、经验公式法以及数值模拟等方法,综合确定新安煤矿 16 煤最大导水裂隙带高度,为确定 16 煤的合理开采上限提供理

收稿日期:2013-01-10

基金项目:中国煤炭工业协会 2011 年度科学技术指导性计划项目(MTKJ2011-369);山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室开放课题(DMSM201012)

作者简介:王琳琳(1988—),女,山东泰安人,硕士研究生,主要从事矿井水害防治的研究。E-mail:wanglinlin826@163.com

论依据。

1 研究区水文地质背景

新安煤矿位于滕北煤田西南部,地处山东省滕州市西侧,济宁市微山县北部留庄镇境内。研究区大部分为湖区,陆地地势平坦,为滨湖冲积平原。其含煤地层为石炭—二叠纪地层。井田位于滕县背斜的北翼及北羊庄向斜的南翼,基本为一倾向北西的单斜构造;构造较发育,以中、新生代断裂为主,并伴有较多的次级褶皱,其复杂程度属中等偏复杂类型。主要含水层有第四系砂层,山西组 3 煤顶底板砂岩,太原组三、五、八、九、十_下灰,奥陶系石灰岩等。

2 最大导水裂隙带的确定

新安煤矿 16 煤层位于太原组下部,直接顶板为十_下灰岩,底板为灰岩、砂岩及泥岩,煤层厚度 0.76~1.65 m,平均 1.27 m,变异系数为 16%,可采性指数为 1.00。煤层含一层夹矸(偶见二层夹矸),厚度 0.02~0.64 m,夹矸为泥岩、炭质泥岩和炭质粉砂岩,煤层结构简单。16 煤是全区赋存的稳定性煤层。

2.1 “三下开采规程”法

根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》,计算 16 煤导水裂隙带高度。这种方法目前被我国煤矿现场技术人员广泛使用。

浅部 16 煤覆岩为中硬岩层,则 16 煤导水裂隙带高度 H_L 按公式(1)计算:

$$H_L = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} + 5.6 \quad (1)$$

其中: $\sum M$ —16 煤累计采厚,取 1.05~1.37 m; H_L —导水裂隙带高度,计算得 $H_L = 25.5 \sim 29.3$ m。

2.2 类比法

16 煤覆岩主要岩性为灰岩、泥岩和砂质泥岩,泥岩含量最多,属中硬类型。

部分相邻矿井开采 16 煤或相对于煤层的导水裂隙带发育高度的实测资料见表 1。

由表 1 可知:

①覆岩岩性对导水裂隙带发育的高度影响比较大,高强度覆岩岩性的导水裂隙带高度大于低强度覆岩岩性的高度;同一岩性类别中,岩性强度越大,裂隙带越高。

②根据以上实测资料,对比覆岩岩性及岩性结构,取裂采比 16.7,则 16 煤浅部取厚度 1.37 m,导水裂隙带高度: $H_L = 16.7 \times 1.37 = 22.9$ m。

2.3 经验公式法

新安煤矿相邻的柴里煤矿经验公式对新安煤矿具有一定的参考价值。由柴里煤矿经验公式(2),按坚硬覆岩类型计算:

$$H_L = \frac{100M}{2M+3} + 6.1 \quad (2)$$

其中:煤层厚度 M 取 1.37 m,预计结果为 30.0 m。

表 1 覆岩岩性、结构、开采方法与导水裂隙带高度的关系表
Tab. 1 Relationship between overburden rock lithology, structure, mining methods and the height of water flowing fractured zone

矿井名称	覆岩岩性	采高/m	裂高/m	裂采比
武所屯矿	灰岩、泥岩、砂岩	1.2	20.0	16.7
杨村矿	粉砂岩、泥岩、灰岩	1.6	20.2	12.6
杨村矿	灰岩、粉砂岩、泥岩	1.6	16.8	10.5
孙村矿	砂岩	1.4	19.6	13.6
济阳矿	砂岩、粉砂岩、泥岩	1.2	13.7	11.4
济阳矿	粉砂岩、泥岩、砂岩	1.3	16.3	12.5
类比法结果	灰岩、泥岩、砂质泥岩	1.4	22.9	16.7

2.4 数值模拟

2.4.1 RFPA 基本原理

数值模拟分析采用 RFPA(rock failure process analysis,岩石破裂过程分析系统)。RFPA^{2D}软件是一种能够模拟材料渐进破坏的数值试验工具,计算方法基于有限元理论和统计损伤理论。模拟基本思路:材料介质模型离散化,且假定离散化后的力学性质服从某种统计分布,从而利用弹性力学中的基元线弹性应力、应变求解方法,分析模型的应力、应变状态。

2.4.2 数值模拟过程及成果分析

1)数值模拟模型

采用的模型长 220 m,高 300 m。模型划分为 220×300 共 66 000 个单元,在模型顶部加相当于正常容重下 120 m 厚的第四系松散地层。16 煤层左右两端、底端固定。通过分步开挖来模拟 16 煤顶板破裂过程:模型计算沿走向自左侧 10 m 开挖,每步 2 m,共分 80 步。

2)材料参数

根据矿井相关的钻孔岩石力学试验资料,并考虑现位岩体与岩石试件的差异,采用如表 2 所示力学参数。

表 2 数值模拟模型岩层参数表

Tab.2 Mechanical parameters of rock layers in numerical simulation model

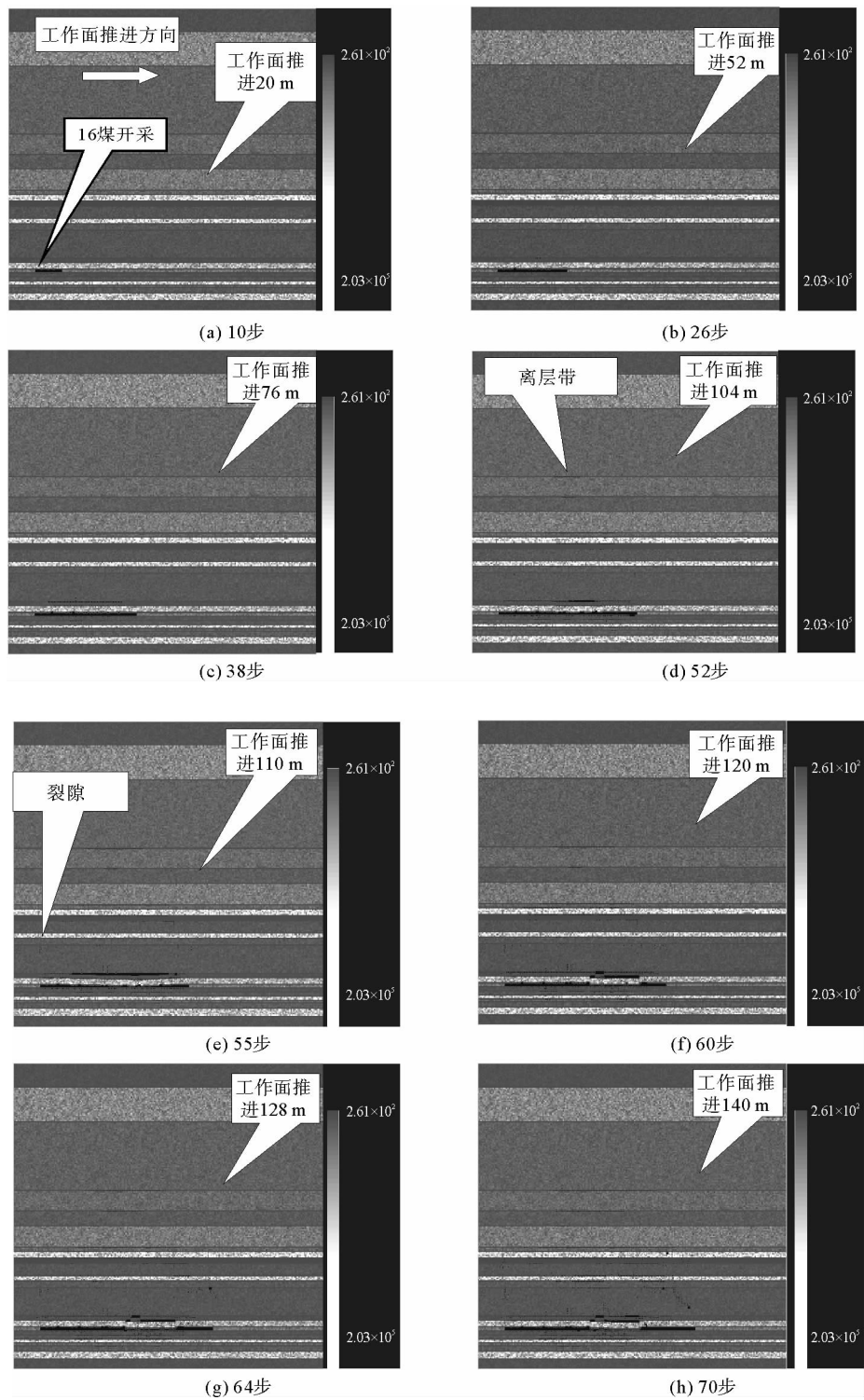
名称	弹性模量/MPa	抗压强度/MPa	泊松比	摩擦角/(°)	厚度/m
泥岩	9 486.037	26.8	0.11	33	1~17
粉砂	50 987.450	97.3	0.23	38	19~43
泥岩	21 343.580	66.0	0.13	30	45~94
泥质粉砂岩	27 272.360	94.8	0.16	36	96~109
粉砂岩	16 600.570	67.3	0.20	41	111~120
细砂岩	39 129.900	115.3	0.14	32	122~136
12 _F 煤	23 715.090	90.0	0.15	28	138~139
八灰	106 717.900	100.6	0.28	33	141~144
细砂岩	2 608.660	20.2	0.08	32	146~148
泥岩	13 043.300	44.8	0.07	30	150~157
九灰	98 417.640	116.9	0.22	36	159~161
细砂岩	15 414.810	89.0	0.12	35	163~166
砂质泥岩	13 043.300	55.2	0.13	36	168~187
泥岩	9 130.311	49.8	0.14	35	189~190
10 _F 灰	80 631.320	154.9	0.28	36	192~195
16 煤	35 572.640	100.0	0.16	29	197~199
泥岩	11 146.090	62.6	0.12	33	200~201
粉砂岩	14 229.060	67.3	0.19	38	203~204
十一灰	99 603.390	198.3	0.27	36	206~207
17 煤	23 715.090	100.0	0.18	28	209
砂质泥岩	16 600.570	61.6	0.16	33	211~213
粉砂岩	92 488.860	81.5	0.27	39	215~219
泥岩	9 841.764	42.8	0.13	34	221~227

3) 模拟过程

- ① 计算岩体的自重应力, 得到原始应力场, 把所有节点位移赋值为零, 保留应力场;
- ② 以 2 m 为步长向右推进;
- ③ 通过模拟确定煤层开采导水裂隙带发育高度。

4) 模拟结果及分析

随着工作面的推进上覆岩层发生变形, 破坏情况如图 1 所示。



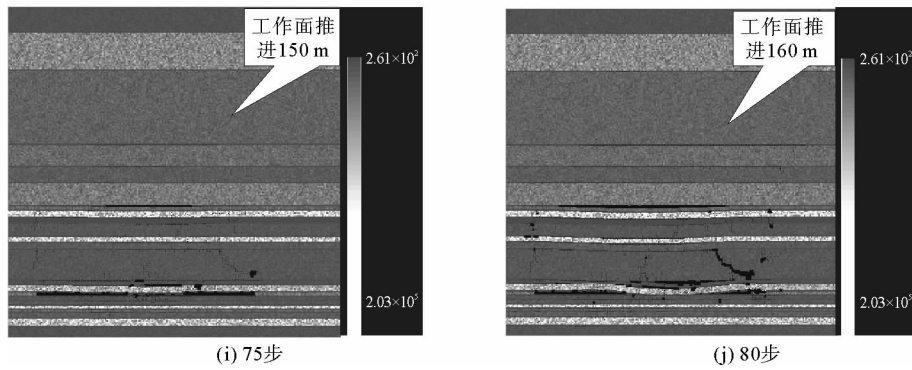


图 1 16 煤开采过程中弹性模量分布图

Fig. 1 Elastic modulus distribution in mining 16 coal process

通过 16 煤层开采过程中顶板及以上各层岩性的弹性模量分布(图 2)的变化过程可以看出,随着工作面的推进,其直接顶板十_下灰首先出现裂隙,当工作面推进 52 m 时,十_下灰上部的泥岩层也出现裂隙。当工作面推进至 104 m 时,上部 60 m 已形成明显的离层带;当工作面推进至 120 m 时,16 煤顶板裂隙发育高度已达 30 m;当工作面推进至 140 m 时,顶板直到九灰之间的裂隙已相互连通;到 160 m 时,裂隙带呈明显的“马鞍形”,裂隙发育最为明显;工作面从 120 m 到 160 m 推进过程中裂隙带高度没有明显增加。

因此,通过 RFPA^{2D} 软件进行数值模拟得到的弹性模量分布(图 2)的裂隙发育过程可以判断 16 煤最大导水裂隙带发育高度为 30 m。

2.5 综合确定

综合上述结果,预计导水裂隙带高度的结果见表 3。

表 3 导水裂隙带高度预计结果汇总表

Tab. 3 Expected height of water flowing fractured zone m

方法	三下开采规程	类比法	经验公式法	数值模拟
16 煤厚度 1.37	29.3	22.9	30	30

由表 3 可见,浅部 16 煤开采时,最大导水裂隙带高度在 30 m 左右。

3 防水煤岩柱

根据以往关于第四系下含水层段的勘探资料,该层位原始水位标高 +24.72 m,单位涌水量 $q=0.0508 \sim 0.1140 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$,渗透系数 $0.32 \sim 0.54 \text{ m}/\text{d}$,含水层富水性弱至中等。因此,16 煤浅部开采时需留设防水煤柱。

根据《煤矿防治水规定》附录三规定,煤层露头被松散富水性强的含水层覆盖时:

$$H_t = H_L + H_b \quad (3)$$

其中: H_t — 防隔水煤(岩)柱高度, m; H_L — 导水裂隙带最大高度, m; H_b — 保护层厚度。

1) 保护层厚度计算

新安煤矿 16 煤浅部区域,第四系下部普遍发育一层粘土或砂质粘土,该层粘土为灰白、灰黄至灰绿色,致密,细腻粘性强,具可塑性,厚度 2~20 m 左右。而 16 煤浅部最大厚度为 1.37 m,所以保护层厚度(松散层底部粘土层大于累计采厚):

$$H_b = 4A \quad (4)$$

其中: A — 累计采厚,取 1.37 m。所以,16 煤开采时,计算得 $H_b = 5.5 \text{ m}$ 。

2) 导水裂隙带最大高度

新安煤矿 16 煤最大导水裂隙带高度为:

$$H_L = 30 \text{ m}.$$

3) 防隔水煤(岩)柱高度

新安煤矿 16 煤开采防隔水煤(岩)柱高度利用公式(3)得:

$$H_f = H_L + H_b = 35.5 \text{ m}.$$

即 16 煤开采时,浅部需要的防水煤岩柱高度为 35.5 m,可将此数据作为确定开采上限的依据。

4 结论

1) 利用 RFPA^{2D} 软件进行数值模拟,可以较直观地确定导水裂隙带高度,与其他方法相比更接近最终确定的最大导水裂隙带高度。

2) 模拟结果表明,裂隙带经历了一个产生—发展—闭合稳定的变化过程,相应地,裂隙带导水能力也经历了由小变大再变小直至稳定的过程。

3) 通过多种方法确定新安煤矿 16 煤层最大导水裂隙带高度为 30 m,16 煤开采防水煤岩柱高度 35.5 m,为开采上限提供理论依据,为煤层安全开采提供重要参数。

参考文献:

- [1] 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[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000:13-18.
- [2] 张杰,侯忠杰. 浅埋煤层导水裂隙发展规律物理模拟分析[J]. 矿山压力与顶板管理,2004(4):32-34.
Zhang Jie, Hou Zhongjie. The simulation experiment analysis of the shallow coal seam water fluid crack's development law [J]. Ground Pressure and Strata Control, 2004(4):32-34.
- [3] 刘树才,刘鑫明,姜志海,等. 煤层底板导水裂隙演化规律的电法探测研究[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(2):348-356.
Liu Shucui, Liu Xinming, Jiang Zhihai, et al. Research on electrical prediction for evaluating water conducting fracture zones in coal seam floor[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(2):348-356.
- [4] 王东,王猛,谢桥煤矿 1201(3) 工作面覆岩导水裂缝带高度预测[J]. 煤矿安全,2008:14-17.
Wang Dong, Wang Meng. Forecast about height of water suture zone in overlying strata of 1201(3) working face in Xieqiao mine[J]. Mine Safety, 2008:14-17.
- [5] 李涛,黄西亮,元立金. 新安煤业公司 32、33 采区通风系统改造方案[J]. 煤矿安全,2012,43(9):175-177.
Li Tao, Huang Xiliang, Qi Lijin. Ventilation system transformation scheme in 32[#] and 33[#] mining area of Xin'an coal industry company[J]. Mine Safety, 2012, 43(9):175-177.
- [6] 李涛. 新安煤业无煤柱开采的实践[J]. 煤矿安全,2012,43(10):143-145.
Li Tao. Practice of non-pillar mining in Xin'an coal industry[J]. Mine Safety, 2012, 43(10):143-145.
- [7] 彭慧芳,魏久传,尹会永,等. 基于主成分分析法的底板突水危险性评价[J]. 煤矿开采,2012,17(6):101-104.
Peng Hui Fang, Wei Jiuchuan, Yin Huiyong, et al. Evaluation of floor water-burst danger based on principal components analysis[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(6):101-104.
- [8] 陈荣华,白海波,冯梅梅. 综放面覆岩导水裂隙带高度的确定[J]. 采矿与安全工程学报,2006,23(2):220-223.
Chen Ronghua, Bai Haibo, Feng Meimei. Determination of the height of water flowing fractured zone in overburden strata above fully-mechanized top-coal caving face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2):220-223.
- [9] 李艳波,赵伏军,申培文,等. 沈家湾煤矿导水裂隙带发育高度研究[J]. 矿业工程研究,2009,24(3):31-33.
Li Yanbo, Zhao Fujun, Shen Peiwen, et al. On the height of water flowing fractured zone in Shenjiawan coal mine[J]. Mineral Engineering Research, 2009, 24(3):31-33.
- [10] 杨贵. 综放开采导水裂隙带高度及预测方法研究[D]. 青岛:山东科技大学,2004.
- [11] 贺桂成,肖富国,张志军,等. 康家湾矿含水层下采场导水裂隙带发育高度预测[J]. 采矿与安全工程学报,2011,28(1):122-126.
He Guicheng, Xiao Fuguo, Zhang Zhijun, et al. Prediction of the height of the transmissive fractured belt of a mining stope under aquifer in Kangjiawan mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(1):122-126.

(责任编辑:高丽华)