

近直立巨厚煤层覆岩活动规律及支架工作阻力研究

许猛堂¹, 张 炜², 王旭锋³, 刘洪林⁴, 管伟明⁴, 周 睿⁵

(1. 贵州理工学院 矿业工程学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 中国矿业大学 物联网研究中心, 江苏 徐州 221116;
3. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116; 4. 新疆大学 地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047;
5. 煤科集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘 要:为研究近直立巨厚煤层开采覆岩活动规律,指导近直立巨厚煤层开采实践及支架选型,基于相似材料物理模拟试验,建立了覆岩呈散体结构的“支架-围岩”相互作用力学模型,得到支架工作阻力的计算式。研究表明:在大尺寸开采空间和多次分层重复扰动影响下,覆岩块体将呈现“散体”结构状;工作面支架所承受的载荷为上覆岩层自然平衡拱内松散岩体自重,支架的支护阻力不仅与支架宽度、控顶距及松散岩体抗压强度有关,还与工作面长度相关,且随着煤层工作面长度的增加呈线性增加。结合工程实例,验证了理论推导的合理性,研究成果对于分析近直立巨厚煤层的支架工作阻力,合理选择支架具有重要的工程意义。

关键词:近直立巨厚煤层;散体结构;顶板控制;工作面长度;支架工作阻力

中图分类号:TD325 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)01-0076-05

Study on overburden strata movement law above near vertical super-thick seam and working resistance of powered support

Xu Mengtang¹, Zhang Wei², Wang Xufeng³, Liu Honglin⁴, Guan Weiming⁴, Zhou Rui⁵

(1. School of Mining Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China; 2. Research Center for Internet of Things, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 3. School of Mining Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 4. School of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China; 5. Shenyang Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Shenyang 110000, China)

Abstract: In order to analyze the movement laws of overlying strata in suberect and extra-thick coal seam mining, and provide basis for its engineering practice and selection of hydraulic support, based on the physical simulation experiment of similar materials, the authors built the mechanical model of rock-support interaction characteristics with bulk structure of overlying strata to obtain the calculation formula of working resistances of support. The studies show that the overlying strata will be bulk structure under the conditions of large-scale mining space and repeated mining disturbance, and hydraulic support load is the dead weight of loosen rock mass in the natural equilibrium arch of overlying strata. The hydraulic support resistance is not only closely related to the width, roof distance of hydraulic support, and the compressive strength of loosen rock mass, but also to the length of working face, and the hydraulic support resistance increases with the increase of the working face length. The rationality of the theoretical derivation is verified by engineering example, and the research results could provide great significance to the analysis of support resistance and the reasonable selection of support types in suberect and extra-thick coal seam mining.

Key words: suberect and extra-thick coal seam; bulk structure; roof control; length of working face; support resistance

收稿日期:2016-12-13;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2017.05.013

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2015CB251600);国家自然科学基金资助项目(51474206,51404254);贵州省科学技术基金资助项目(黔科合J字[2015]2072号);贵州省教育厅自然科学研究资助项目(黔教合KY字(2015)427号)

作者简介:许猛堂(1986—),男,江苏连云港人,副教授,博士。Tel:18785117852, E-mail: xmtcumt@126.com

引用格式:许猛堂,张 炜,王旭锋,等.近直立巨厚煤层覆岩活动规律及支架工作阻力研究[J].煤炭科学技术,2017,45(5):76-80.

Xu Mengtang, Zhang Wei, Wang Xufeng, et al. Study on overburden strata movement law above near vertical super-thick seam and working resistance of powered support[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 76-80.

0 引 言

我国巨厚煤层分布较广,主要分布于鄂尔多斯盆地、吐哈盆地、准东煤田、胜利煤田、抚顺煤田、先锋盆地、小龙潭矿区以及昭通煤田等地^[1],尤其是新疆地区伊犁、吐哈、库拜等预测资源量超过 100 亿 t 的煤田中都赋存有单层厚度大于 20 m 以上的巨厚煤层,准东煤田探明有单层厚度达 80 m 以上的巨厚煤层^[2],沙尔湖煤田更有单层厚度达 200 m 以上的巨厚煤层^[3]。

巨厚煤层开采具有产量高、矿井生产工作面少等特点,但对覆岩及地表的破坏程度较一般开采条件严重^[4]。目前对普通厚度煤层开采岩层及地表的移动机理的认识比较深入,国内外学者对 3~20 m 厚煤层开采地表及岩层移动活动规律^[5-7]及支架选型方面^[8-10]做了大量的研究,但对 20 m 以上巨厚煤层开采覆岩活动规律认识还处于探索阶段,尤其是近直立巨厚煤层开采方法所引起的岩层移动及支架选型方面研究还较少^[11]。

由于在大尺寸开采空间和多次分层重复扰动条件下,近直立巨厚煤层覆岩将会呈现“散体”结构,现有的理论对岩层移动与“围岩-支架”关系方面的研究大多基于钱鸣高院士的“砌体梁”理论^[12]、关键层理论^[13-14]与宋振骐院士的传递岩梁理论^[15],而对于整个上覆岩层呈“散体”结构研究较少。基于此,笔者通过研究近直立巨厚煤层开采覆岩活动规律,并建立了相应的支架与散体围岩作用关系力学模型,分析支架合理支护工作阻力,成功应用于工程实践,为近直立巨厚煤层开采提供技术支撑。

1 工程概况

小红沟煤矿位于乌鲁木齐市东北部, B₁₊₂煤层埋深约为 60 m。煤层总厚平均约为 30 m,倾角 87°~89°(近直立煤层)。煤层+660—+600 m 水平工作面地表赋存厚 30 m 的第四系黄土层,下方 30 m 大多为泥岩、砂质泥岩与泥砂岩互层,工作面开采高度为 60 m,长度为 30 m,工作面走向长度 1 100 m,轨道巷沿 B₁煤层顶板布置,运输巷沿 B₂底板煤层布置,工作面巷道成平行状态布置。采用综放分层开采方法,煤层分层开采段高度为 20 m,采煤机开采高度为 3 m,放顶高度为 17 m, B₁₊₂煤层覆岩柱状及力学性能参数见表 1,煤层赋存及地表起伏状况如图 1 所示。

表 1 煤层覆岩柱状及力学性能参数
Table 1 Mechanical performance parameters of overlying strata in coal seam

编号	岩性	厚度/ m	弹性 模量/ GPa	密度/ (kg·m ⁻³)	抗压 强度/ MPa	黏聚 力/ MPa	内摩 擦角/ (°)
1	黄土层	30	5.0	1 700	—	0.50	—
2	砂质泥岩	8	38.0	2 500	23.0	3.50	32.0
3	泥岩	6	10.8	1 700	25.7	1.60	38.5
4	泥砂岩互层	9	16.5	1 900	32.8	8.30	38.0
5	泥岩	7	10.8	1 700	25.7	1.60	38.5
6	煤	60	13.0	1 500	18.3	1.54	30.0

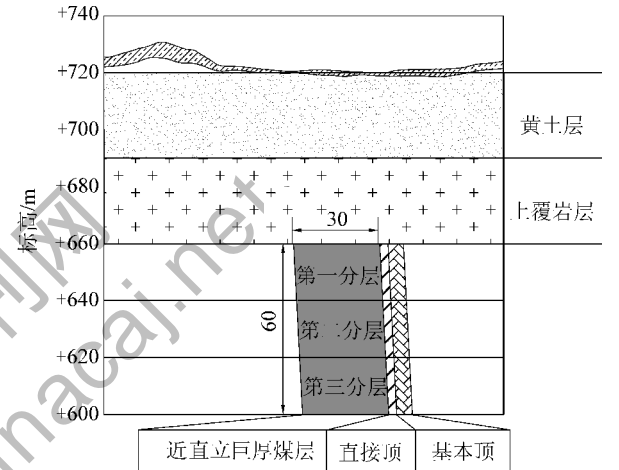


图 1 B₁₊₂煤层赋存及工作面地质条件
Fig. 1 Geological occurrence and hosting condition of B₁₊₂ coal seam

2 覆岩散体结构物理模拟分析

2.1 模拟模型的建立

物理模型铺设规格为:长、宽、高分别为 1.3、0.3、1.2 m。几何比为 1:135;容重比为 1:1.67;时间比为 1:10;材料强度相似比为 1:167。近直立巨厚煤层开采物理模拟模型如图 2 所示。

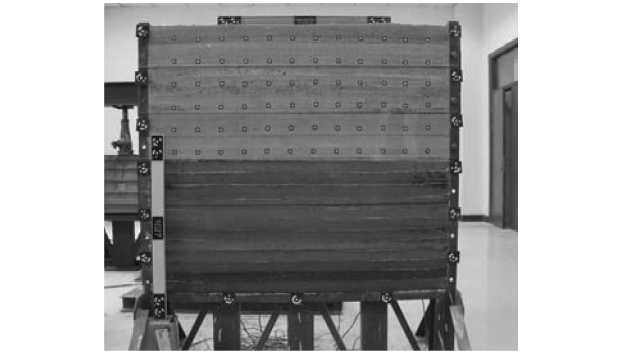


图 2 近直立巨厚煤层开采物理模拟模型
Fig. 2 Physical simulation model of suberect and extra-thick coal seam mining

2.2 模拟方案

煤层开采厚度达 60 m,采用分层开挖模式,开挖方案为:模型两端留设 15 cm 的边界煤柱,煤层分 3 次分层开采,每分层开采煤厚 20 m;开采时,用透明玻璃板挡住覆岩,防止覆岩块体向模型外倾倒。

2.3 结果与分析

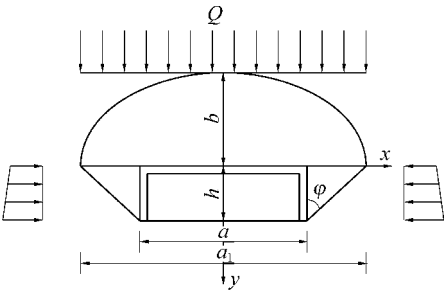
近直立巨厚煤层分层开采结束后覆岩结构演化规律如图 3 所示。覆岩巨厚煤层初次分层开采后,覆岩层破断形成块体结构,但覆岩块体呈杂乱无序状,不能形成稳定的整体铰接结构,地表塌陷明显(图 3a);巨厚煤层进入第 2 次分层开采后,在大尺寸开采空间和多次分层重复扰动影响下,部分覆岩块体将发生“二次破断”,覆岩无序程度进一步加剧,呈“散体”结构状态(图 3b);工作面进行第 3 次

分层开采时,工作面不会出现明显的周期性来压现象,工作面整个上覆岩层随采随冒,甚至覆岩完全破碎为粉末状(部分粉末状覆岩滑落出模型架)。由于边界效应的影响,在第 2、3 次分层开采时覆岩容易向采空区倾倒,则除去煤壁上方部分覆岩,不影响采空区上覆岩层活动规律。

3 采场支架受力模型分析

由相似材料模拟试验可知,近直立巨厚煤层的开采过程中,随着煤层分层开采的进行,采空区空间大幅度增加,覆岩移动范围急剧增大,上覆岩层最终将完全位于垮落带形成松散岩体。覆岩的破碎程度与裂隙发育程度对工作面压力分布有很大的影响,覆岩完全呈散体结构,需要重新构建支架-围岩作用模型。分层开采次数越多,顶板破碎程度越高,考虑顶板破坏后完全呈“散体”结构时围岩的压力,这种条件下围岩压力计算符合普氏理论的基本假设^[16],采用普氏理论计算近直立巨厚煤层开采工作面围岩压力。

根据普氏理论基本假设,建立近直立巨厚煤层工作面覆岩压力模型如图 4 所示。



Q—覆岩载荷;a—工作面长度;a₁—拱的最大跨度;
b—拱的最大高度;h—工作面高度;φ—岩石的内摩擦角

图 4 围岩压力计算模型

Fig. 4 Calculation model of surrounding rock pressure

通过普氏理论^[17]计算,可得拱曲线方程为

$$y = \frac{2x^2}{a_1 f} \tag{1}$$

其中:f为普氏系数;通常情况下 a 的取值远大于 h 的取值,可认为 a₁≈a。由式(1)可知,最大围岩压应力发生在工作面中间位置,可求得作用于支架上最大围岩压应力为

$$\sigma_{\max} = \frac{a}{2f} \gamma \tag{2}$$

其中:γ为上覆岩层的平均容重。近直立巨厚煤层开采支架-围岩作用关系如图 5 所示,则上覆

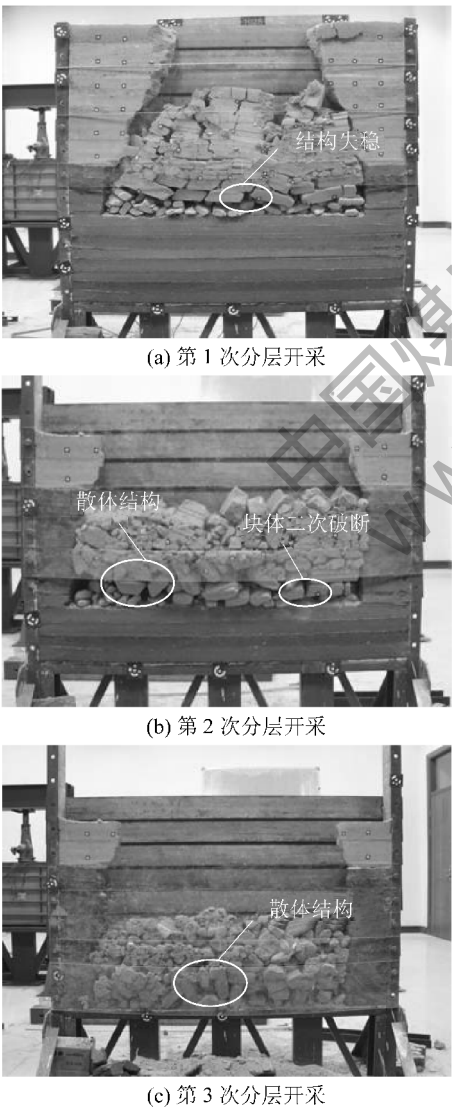


图 3 覆岩结构稳定性演化过程

Fig. 3 Evolution of overburden structural stability

岩层形成自然平衡拱控制顶板所需的支护阻力为

$$P_m \geq l_k c \gamma \frac{a}{2f} \quad (3)$$

式中: l_k 为支架的控顶距; c 为支架宽度。

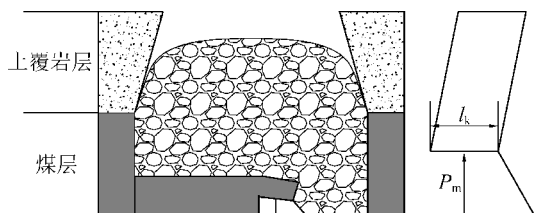


图5 近直立巨厚煤层开采“支架-围岩”作用关系

Fig. 5 Relationship between support and surrounding rocks of suberect and extra-thick coal seam mining

从式(3)可以看出,支架的支护阻力与工作面长度、支架宽度、控顶距及松散岩体抗压强度有关。因此,近直立巨厚煤层开采与普通厚度煤层开采支架比较,有如下特点:①近直立巨厚煤层开采上覆岩层压力大,需采用大支护阻力的支架;②支架所需工作阻力随着煤层工作面长度的增加而呈线性增加。

4 工程实例

小红沟煤矿工作面长度 L 为 30 m,覆岩平均容重 γ 为 $2.3 \times 10^4 \text{ N/m}^3$,控顶距 l_k 为 6 m,普氏系数 f 取 0.6,计算可得支架控制顶板所需的有效支护阻力 $P_m = 5175 \text{ kN}$ 。取支架的支护效率 μ 为 0.9,可得支架控制顶板所需的支护阻力为 5750 kN。

小红沟煤矿地表沉陷情况如图6所示,端头支架采用型号 ZFT15373/23/38 和 ZCH10536/20/38 各1架,中间支架采用型号 ZF6500/20/40 的支架18架,过渡支架采用型号 ZFG6800/20/40 的支架2架。目前已经开采完毕,开采过程中没有发生过异常情况。

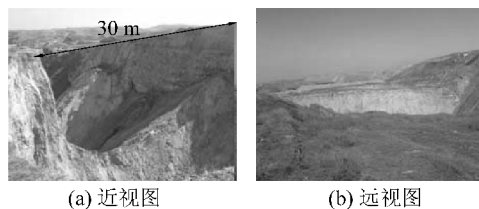


图6 地表塌陷情况

Fig. 6 Situation of surface subsidence

5 结论

1)在大尺寸开采空间和多次分层重复扰动影

响下,近直立巨厚煤层开采覆岩块体不能形成稳定的整体铰接结构,将呈现“散体”结构状。

2)推导出近直立巨厚煤层开采支架工作阻力的解析计算式,得出支架的支护阻力与工作面长度、支架宽度、控顶距及松散岩体抗压强度有关,且随着煤层工作面长度的增加呈线性增加。

3)结合工程实例,验证了理论推导的合理性,近直立巨厚煤层开采需要使用大支护阻力支架,且工作面长度需控制在一定范围内。

参考文献(References):

- [1] 王东东,邵龙义,刘海燕,等.超厚煤层成因机制研究进展[J].煤炭学报,2016,41(6):1487-1497.
Wang Dongdong, Shao Longyi, Liu Haiyan, et al. Research progress in formation mechanisms of super-thick coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(6): 1487-1497.
- [2] 李晶,庄新国,周继兵.新疆准东煤田西山窑组巨厚煤层煤相特征及水进水退含煤旋回的判别[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(S2):104-114.
Li Jing, Zhuang Xinguo, Zhou Jibing. Coal facies characteristic and identification of transgressive/regressive coal-bearing cycles in a thick coal seam of Xishanyao formation in Eastern Junggar coalfield, Xinjiang [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(S2): 104-114.
- [3] 许猛堂.新疆巨厚煤层开采覆岩活动规律及其控制研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.
- [4] 张东升,刘洪林,范钢伟,等.新疆大型煤炭基地科学采矿的内涵与展望[J].采矿与安全工程学报,2015,32(1):1-6.
Zhang Dongsheng, Liu Honglin, Fan Gangwei, et al. Connotation and prospect on scientific mining of large Xinjiang coal base [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 32(1): 1-6.
- [5] 王新丰,高明中,李隆钦.深部采场采动应力、覆岩运移以及裂隙场分布的时空耦合规律[J].采矿与安全工程学报,2016,33(4):604-610.
Wang Xinfeng, Gao Mingzhong, Li Longqin. Spatiotemporal coupling law of mining pressure, strata movement and fracture field distribution in deep stope [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2016, 33(4): 604-610.
- [6] 于斌,朱卫兵,高瑞,等.特厚煤层综放开采大空间采场覆岩结构及作用机制[J].煤炭学报,2016,41(3):571-580.
Yu Bin, Zhu Weibing, Gao Rui, et al. Strata structure and its effect mechanism of large space stope for fully-mechanized sublevel caving mining of extremely thick coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(3): 571-580.
- [7] 姜耀东,杨英明,马振乾,等.大面积巷式采区覆岩破坏机理及上行开采可行性分析[J].煤炭学报,2016,41(4):801-807.
Jiang Yaodong, Yang Yingming, Ma Zhenqian, et al. Breakage mechanism of roof strata above widespread mined-out area with roadway mining method and feasibility analysis of upward mining

- [J].Journal of China Coal Society,2016,41(4):801-807.
- [8] 王国法.工作面支护与液压支架技术理论体系[J].煤炭学报,2014,39(8):1593-1601.
Wang Guofa.Theory system of working face support system and hydraulic roof support technology[J].Journal of China Coal Society,2014,39(8):1593-1601.
- [9] 王家臣,王 蕾,郭 尧.基于顶板与煤壁控制的支架阻力的确定[J].煤炭学报,2014,39(8):1619-1624.
Wang Jiachen, Wang Lei, Guo Yao.Determining the support capacity based on roof and coal wall control[J].Journal of China Coal Society,2014,39(8):1619-1624.
- [10] 任艳芳,宁 宇,徐 刚.浅埋深工作面支架与顶板的动态相互作用研究[J].煤炭学报,2016,41(8):1905-1911.
Ren Yanfang, Ning Yu, Xu Gang.Dynamic interaction between support and roof in shallow coal seam[J].Journal of China Coal Society,2016,41(8):1905-1911.
- [11] 张宏伟,荣 海,陈建强,等.近直立特厚煤层冲击地压的地质动力条件评价[J].中国矿业大学学报,2015,44(6):1053-1060.
Zhang Hongwei, Rong Hai, Chen Jianqiang, et al.Geo-dynamic condition evaluation method for rockburst in syberect and extremely thick coal seam[J].Journal of China University of Mining & Technology,2015,44(6):1053-1060.
- [12] 钱鸣高,缪协兴,何富连.采场“砌体梁”结构的关键块分析[J].煤炭学报,1994,19(6):557-563.
Qian Minggao, Miao Xiexing, He Fulian.The analysis of key piece for structure of stopp voussoir beam[J].Journal of China Coal Society,1994,19(6):557-563.
- [13] 钱鸣高,缪协兴,何富连,等.采场液压支架与围岩耦合作用机理研究[J].煤炭学报,1996,21(1):40-44.
Qian Minggao, Miao Xiexing, He Fulian, et al.Research on the coupling mechanism between the stope support and surrounding rock[J].Journal of China Coal Society,1996,21(1):40-44.
- [14] 钱鸣高,缪协兴,许家林.岩层控制中的关键层理论研究[J].煤炭学报,1996,21(3):225-230.
Qian Minggao, Miao Xiexing, Xu Jialin.Theoretical study of key stratum in ground control [J].Journal of China Coal Society,1996,21(3):225-230.
- [15] 宋振骥.实用矿山压力控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1988.
- [16] 沈明荣,陈建峰.岩体力学[M].2版.上海:同济大学出版社,2015.
- (上接第75页)
- Ma Xiongde, Wang Sujian, Jiang Zequan.Prediction on the height of water-flowing fractured zone in southern Shennan Mine[J].Journal of Xi'an University of Science and Technology,2016,36(5):664-668.
- [14] 邵小平,武军涛,张嘉凡.上行开采覆岩裂隙演化规律与层间岩层稳定性研究[J].煤炭科学技术,2016,44(9):61-66.
Shao Xiaoping, Wu Juntao, Zhang Jiafan.Study on crack evolution law of overburden strata and stability of interlayer rock in upward coal mining[J].Coal Science and Technology,2016,44(9):61-66.
- [15] 李 涛,冯 海,王苏健,等.微电阻率扫描成像测井探测采动土层导水裂隙研究[J].煤炭科学技术,2016,44(8):52-55,73.
Li Tao, Feng Hai, Wang Sujian, et al.Study on micro resistivity scan imaging logging applied to detectwater flow cracks of mining soil layer[J].Coal Science and Technology,2016,44(8):52-55,73.
- [16] 杨俊哲.7 m大采高综采工作面导水断裂带发育规律研究[J].煤炭科学技术,2016,44(1):61-66.
Yang Junzhe.Study on development law of water conducted zone in fully-mechanized mining face with 7 m mining height[J].Coal Science and Technology,2016,44(1):61-66.
- [17] 李春元,张 勇.深埋薄基岩顶板来压与底板破坏深度关系[J].煤炭科学技术,2016,44(8):74-79.
Li Chunyuan, Zhang Yong.Relationship between deep depth and thin base rockroof pressurized and floor failure depth[J].Coal Science and Technology,2016,44(8):74-79.
- [18] 许大洋,李晓泉,王兄威.基于COMSOL的顶板运移规律及渗流特性研究[J].广西大学学报,2016,41(5):1714-1723.
Xu Dayang, Li Xiaoquan, Wang Xiongwei. Study on migration rules and seepage characteristics of roof based on COMSOL[J].Journal of Guangxi University,2016,41(5):1714-1723.
- [19] 白利民,尹尚先,李 文.综采一次采全高顶板导水断裂带发育高度的计算公式及适用性分析[J].煤田地质与勘探,2013,41(5):36-39.
Bai Limin, Yin Shangxian, Li Wen.Calculation formula of water conducting zone height in roof for fully mechanized mining and its adaptability analysis [J].Coal Geology and Exploration,2013,41(5):36-39.
- [20] 刘 玥,姚有利,宁掌玄.小壕兔二号井田导水断裂带发育高度预计与数值模拟[J].中国煤炭,2016,42(7):51-54.
Liu Yue, Yao Youli, Ning Zhangxuan.Prediction and numerical simulation of height of water flowing fractured zone in Xiaohaotu No.2 mine field[J].China Coal,2016,42(7):51-54.