

带压开采首采工作面底板破坏深度研究

代革联¹ 杨 韬¹ 郭国强² 牛 超¹ 薛小渊¹

(1. 西安科技大学 地质与环境学院 陕西 西安 710054; 2. 中国煤炭科工集团西安研究院有限公司 陕西 西安 710077)

摘 要: 为得到离柳矿区柳家庄煤矿8号煤层首采工作面底板破坏发育特征,采用数值模拟及现场实测相结合的方法,研究了80101首采工作面底板破坏裂隙的发育形态及深度、不同工作面宽度条件下的底板破坏深度发育特征;根据压水判别依据,确定了5组底板破坏探测孔裂隙发育深度的实测数据。数值模拟结果表明:未受相邻采场采动应力影响下的首采工作面底板破坏深度发育较小,底板破坏在工作面走向上呈倒马鞍形,即工作面端部两侧底板破坏深度最大,最大破坏带向外侧倾斜为剪切破坏为主;工作面中部底板破坏深度小,以拉张破坏为主;底板破坏深度受工作面宽度影响较大,底板采动破坏深度与工作面宽度呈线性变化。现场实测结果表明,柳家庄煤矿80101首采工作面底板破坏深度为16.32~16.92 m,验证了数值模拟的有效性,同时为离柳矿区下组煤带压开采提供了基础资料。

关键词: 底板破坏; 首采工作面; 压水试验; 工作面长度

中图分类号: TD745; TV213

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)08-0056-05

Study on failure depth of seam floor in first coal mining face with pressurized mining

Dai Gelian¹, Yang Tao¹, Guo Guoqiang², Niu Chao¹, Xue Xiaoyuan¹

(1. School of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to have the floor failure development features of the first coal mining face in No. 8 seam of Liujiazhuang Mine in Liliu Mining Area, the numerical simulation and the site measurement combined method was applied to study the development status and depth of the floor failure and cracks in No. 80101 first coal mining face and the floor failure depth development features under the different mining width. According to the distinguishing basis of the pressurized water, there were five groups of the site measured data of the crack development depth from the floor failure detection hole determined. The numerical simulation results showed that without any influences of the mining stress from the neighboring mining face, the floor failure depth development of the first coal mining face was small and the floor failure was in a reversed saddle shape along the face strike. That is to say that at the face ends, the failure depth of the two side floors was max and the outward inclination of the max failure zone was mainly in a shearing failure. The failure depth at the middle of the coal mining face was small and was mainly in a tensile failure. The failure depth of the floor was highly affected by the width of the coal mining face and the mining failure depth of the floor and the width of the coal mining face were varied in a linear. The site measured result showed that the floor failure depth of No. 80101 first coal mining face in Liujiazhuang Mine was 16.32~16.92 m and the validity of the numerical simulation was approved and the basic information would be provided to the pressurized mining in the lower group seam in Liliu Mining Area.

Key words: floor failure; first coal mining face; pressurized water test; mining face length

0 引 言

带压开采是我国华北型煤田下组煤开采过程中

面临的主要底板水害问题,其中涉及的底板含水层富水性、底板隔水层的阻隔水能力、底板采动裂隙三个因素是评价预测底板突水的最基本的指标。目前

收稿日期: 2016-06-10; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.08.010

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41272388); 西安科技大学培育基金资助项目(201607)

作者简介: 代革联(1968—),男,陕西西安人,副教授。通讯作者: 牛超,讲师, Tel: 13255586402, E-mail: 13255586402@126.com

引用格式: 代革联, 杨 韬, 郭国强, 等. 带压开采首采工作面底板破坏深度研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(8): 56-60.

Dai Gelian, Yang Tao, Guo Guoqiang et al. Study on failure depth of seam floor in first coal mining face with pressurized mining[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 56-60.

利用突水系数评价底板突水危险性的方法中仅考虑2个指标,即底板水压与隔水层厚度,而对以往考虑的底板破坏深度指标进行了剔除,但对于井田首采工作面的底板破坏深度发育情况却具有重要的意义。目前对煤层底板破坏深度的研究成果较多,研究方法及技术较为成熟,研究领域多为不同地质条件下的底板破坏深度发育规律及其形态、特征等。

王家臣等^[1]利用电剖面法实测了五阳煤矿6煤层底板破坏深度及工作面回采过程中底板岩层电性特征变化。许延春等^[2]针对大采深煤层,采用回归统计方法,改进了大采高、特厚煤层不同开采方式下的底板破坏深度;李飞等^[3]利用数值模拟方法,研究了复杂构造条件下的煤层底板岩体采动破坏规律;张平卿^[4]利用超声波技术探测了不同开采阶段底板破坏情况;于小鸽等^[5]结合实测资料,利用神经网络方法,分析了多因素对底板破坏的影响,并通过建立优化网络模型预测了肥城煤田底板破坏深度;卫兆祥等^[6]应用统计学理论、数值模拟、现场实测等手段,分析了桑树坪煤矿11煤层工作面底板破坏深度。以上研究对煤层底板破坏深度、发育规律及破坏形态进行了深入的探究,但对井田未受采动应力影响的首采工作面底板破坏深度并未开展相关研究。

笔者以河东煤田离柳矿区柳家庄煤矿首采工作面8号煤层采动底板为研究对象,利用压水技术对80101工作面底板采动破坏进行了实测,同时结合数值模拟方法,研究了首采工作面开采过程中底板应力分布及底板破坏特征,为河东煤田下组煤带压开采、底板水害防治提供了基础性成果。

1 研究区概况

1.1 矿井地质概况

柳家庄煤矿位于河东煤田中部的离柳矿区三交三号精查区中部,属柳林煤炭国家规划矿区的西北部。井田地层自下而上为奥陶系中统下马家沟组(O_2x)、上马家沟组(O_2s)、峰峰组(O_2f);石炭系中统本溪组(C_2b)、上统太原组(C_3t);二叠系下统山西组(P_1s)、下石盒子组(P_1x)、上统上石盒子组(P_2s)、石千峰组(P_2sh);新近系、第四系不整合于各时代老地层之上^[7-8]。其中,石炭-二叠系地层为本井田的主要含煤地层,其中可采煤层为山西组4、5号煤层和太原组8、9号煤层^[8-11]。

井田地层走向近南北,总体为一向西倾斜的单

斜构造,在单斜上发育有宽缓的褶皱构造,产状井田北部较陡,中部及南部较缓,井田内仅东北角5号煤层巷道揭露11条小型正断层,落差均小于5m,未发现陷落柱、岩浆侵入,构造简单^[12-15]。

井田内含水层组主要分为4组,即奥陶系灰岩含水层组、石炭系薄层灰岩含水层组、二叠系砂岩含水层组、第四系潜水含水层,中奥陶统岩溶裂隙含水层是威胁下组煤层开采的主要含水层,水位标高798m,其中峰峰组厚106m,以灰岩、泥灰岩为主,夹杂角砾状泥灰岩,钻孔单位涌水量 $0.46\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$;上马家沟组厚250m,岩溶较峰峰组发育明显,单位涌水量 $0.027\sim 0.556\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,其富水性显著增强。

1.2 首采工作面概况

80101工作面位于主水平(+624m)的801采区,为801采区首采工作面。工作面标高为+650—+680m,工作面走向长1270m,倾向长220m。煤层厚度平均为3.08m,倾角为 4° 。西部为80100工作面回风巷,东部为80102工作面运输巷,北部为井田边界,南部为8号煤层东轨道大巷。

工作面煤层底板距离奥灰含水层49.55~59.00m,平均55.66m,隔水层岩性为泥岩、沙质泥岩互层,含1~2层薄层灰岩或者泥灰岩。

2 首采工作面底板破坏数值模拟分析

2.1 工作面数值计算模型及其参数

1) 首采工作面模型。结合柳家庄煤矿8号煤80101工作面地层情况,模拟工作面倾斜方向宽度220m,两侧边界各留设60m煤岩柱;走向方向长度220m,两侧边界各留设60m煤岩柱;煤层厚度3m,工作面顶板上覆地层厚度300m,工作面底板地层厚度50m,计算模型走向长度为340m,倾向长度为340m,垂直高度353m。

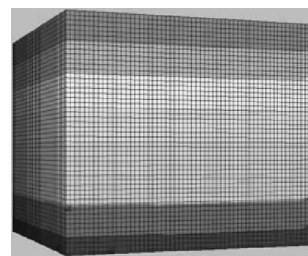


图1 80101工作面数值计算模型

Fig. 1 Numerical calculation model of No. 80101

2) 模型参数。根据本井田及周围井田对煤层

及岩层进行的岩石力学试验,确定了本次数值模拟所需要的岩层的岩石力学参数(表1)。

表1 首采工作面地层岩石力学参数
Table 1 Formation rock mechanics parameters in first coal mining face

岩性	厚度/ m	密度/ (kg·m ⁻³)	体积 模量/ GPa	剪切 模量/ GPa	黏聚 力/ MPa	内摩擦 角/(°)	抗拉 强度/ MPa
顶板	300	2 000	4.9	3.10	5.6	41.0	1.0
煤层	3	1 400	2.7	0.35	2.0	35.1	0.4
中粒 砂岩	1	2 540	3.5	2.10	4.4	35.0	1.5
砂质 泥岩	1	2 535	2.2	1.10	2.0	30.0	0.8
粉砂岩	1	2 650	3.5	2.10	10.9	38.0	4.8
泥岩	6	2 350	2.0	1.00	1.9	29.0	0.9
煤层	3	1 400	2.7	0.35	2.0	35.1	0.4
中粒 砂岩	4	2 540	3.5	2.21	4.4	35.0	1.5
泥岩	5	2 350	2.0	1.00	1.9	29.0	0.9
粉砂岩	1	2 650	3.5	2.10	10.9	38.0	4.8
泥岩	2	2 350	2.0	1.00	1.9	29.0	0.9
泥质 灰岩	1	3 420	5.7	3.90	22.9	43.0	6.3
泥岩	13	2 350	2.0	1.00	1.9	29.0	0.9
中粒 砂岩	1	2 540	3.5	2.10	4.4	35.0	1.5
泥岩	4	2 350	2.0	1.00	1.9	29.0	0.9
石灰岩	4	2 610	5.7	3.90	16.8	41.0	6.2
泥岩	3	2 350	2.0	1.00	1.9	29.0	0.9

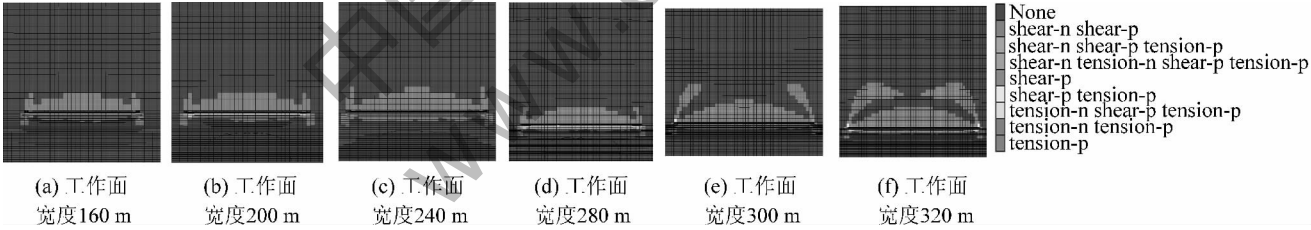


图3 不同工作面宽度条件下底板破坏深度

Fig. 3 Floor failure depth under condition of different mining face width

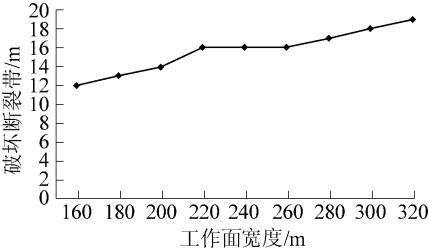


图4 不同工作面宽度底板受采动影响破坏曲线

Fig. 4 Failure curve affected by mining under condition of different mining face width

2.2 首采工作面底板破坏特征

1) 底板破坏发育形态。对建立的数值模型进行开挖计算,设置开挖距离为220 m,即推采方向的60~280 m区域,开挖步距为6 m。经求解收敛运算,获得采场围岩应力分布及底板破坏特征(图2)。

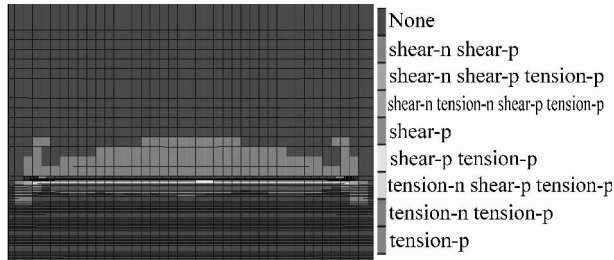


图2 底板破坏发育形态

Fig. 2 Damage development morphology of floor

本次开挖工作面为正方形,由采动底板破坏模拟结果可以看出,底板破坏塑性区在工作面走向上呈倒马鞍形,即工作面端部两侧底板破坏深度最大,最大破坏带向外侧倾斜为剪切破坏为主;工作面中部底板破坏深度小,以拉张破坏为主。

2) 不同采宽条件下的底板破坏深度。为了研究采宽对底板破坏的影响,将工作面宽度设置为160、200、240、280、300、320 m,并将推采长度相应的进行设置,经模拟运算获得了不同采宽下的底板破坏情况(图3),结果表明工作面宽度越大、底板受采动影响破坏深度亦越大。在工作面宽度为160~320 m时底板受采动影响破坏深度随着工作面宽度基本呈线性变化规律。

3 首采工作面底板破坏实测分析

3.1 探测孔布置

根据柳家庄煤矿80101工作面地质条件,选择钻孔注水方法对底板破坏裂隙发育情况进行现场实测,为获得底板破坏深度发育形态及最大深度,结合数值模拟结果,在80102工作面运输巷设置一组5个钻孔(表2),探测孔斜向下穿过保护煤柱进入

80101 工作面水平投影距离 8.5 m。钻孔进入 80101 工作面垂深最大 28.21 m, 钻孔水平投影长度为 38.5 m。钻孔终孔落点水平距离 5 m, 测试钻孔间距 1 m, CS5 钻孔距离终采线 40 m(图 5)。工作面推进到距离 CS1 钻孔 50 m 时开始测试。观测孔布置完毕后, 按照探测设计对观测孔段进行封堵、压水测试, 最终采集数据 300 余组。

表 2 探测孔布置

钻孔 编号	倾角/(°)	孔深/m	方位角/ (°)	测试段深度/m	
				起	止
CS1	-15	39.34	270	30.54	39.34
CS2	-19	40.41	264	31.40	40.41
CS3	-24	42.50	258	33.00	42.50
CS4	-30	46.00	252	35.80	46.00
CS5	-36	51.40	246	39.90	51.40

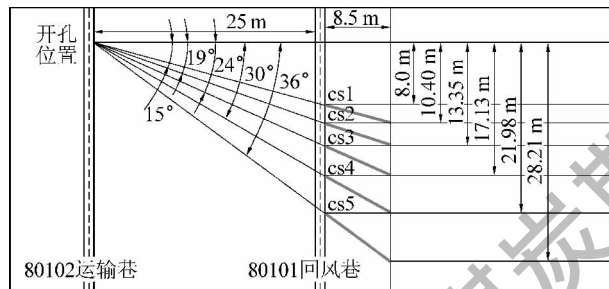


图 5 80101 工作面底板探测孔剖面图

Fig. 5 Probe hole sectional of No. 80101 working face floor

3.2 探测结果分析

本次试验采用柱塞法注水确定采动破裂深度, 工作面由北向南推进, CS1—CS4 号钻孔单柱塞压水试验结果如图 6 所示。探测结果表明, CS1—CS3 号钻孔在工作面回采过 5~10 m 后单柱塞注水量均有明显变化, CS4 号钻孔在工作面回采过后没有明显变化, 因此未对 CS5 号钻孔进行继续测量, 在双柱塞测量中以 CS1—CS3 号钻孔中各测点为主。根据压水探测裂隙的判别标准, 压水试验后, 压水处岩石渗透系数为

$$K = \alpha Q / (LP)$$

式中: Q 为压水试验时的稳定流量, m^3/d ; P 为压水试验段时施加的压力, MPa ; L 为压水段长度, m ; α 为经验系数, 取 1.0~1.2。

工作面底板采前渗透系数 K_1 、采后渗透性系数 K_2 的变化, 反映了采动对底板的破坏程度。以采后和采前渗透系数的增量 ($\Delta K = K_2 - K_1$) 及比值 (K_2/K_1)

$K_1 \geq 2$) 作为底板破坏深度的判别指标。

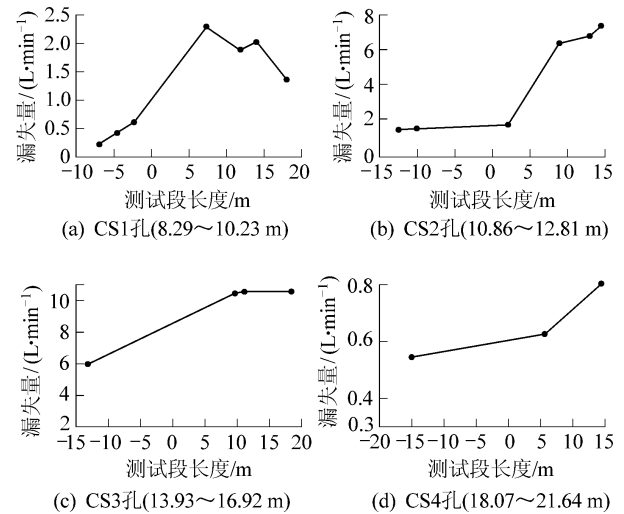


图 6 各探测孔测点压水量变化曲线

Fig. 6 Pore water pressure probe measuring point change graph

表 3 CS3 号钻孔各测试段渗透系数

Table 3 Permeability of each test section in

测试深度/m	$K_1 / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	$K_2 / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	K_2 / K_1	$\Delta K / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
13.93	0.919	0.551	0.60	-0.367
14.53	2.756	66.332	24.10	63.575
15.13	1.286	10.933	8.50	9.647
15.72	4.410	3.583	0.81	-0.827
16.32	7.625	50.530	6.63	42.904
16.92	0.459	0	0	-0.459

根据判别公式计算 CS3 号钻孔各测点开采前与开采后的渗透系数, 经分析认为底板破坏深度位于 CS3 号钻孔第 5 个测点与第 6 个测点之间, 经对比可以获得 8 号煤层采动过程中底板破裂带的动态发育特点, 最终分析认为 80101 首采工作面底板破坏深度最大处在工作面后方 7~15 m 处, 最大破坏深度为 16.32~16.92 m。

4 结 论

1) 柳家庄煤矿 80101 工作面底板受采动影响的破坏深度模拟计算为 16 m, 现场实测 80101 工作面底板破坏数值为 16.32~16.92 m。

2) 通过对柳家庄煤矿 8 号煤层不同工作面宽度底板受采动影响破坏模拟计算结果的对比, 可以得出柳家庄煤矿 8 号煤层在模拟工作面宽度范围

内,底板受采动影响破坏深度随着工作面宽度基本呈线性变化规律。

3) 柳家庄煤矿8号煤层首采工作面在未受采动影响条件下底板破坏深度明显较小,该数值可作为河东煤田下组煤开采带压评价的基础材料,为后续采动应力影响下的底板破坏深度作对比研究。

参考文献(References):

- [1] 王家臣,许延春,徐高明.矿井电剖面法探测工作面底板破坏深度的应用[J].煤炭科学技术,2010,38(1):97-100.
Wang Jiachen, Xu Yanchun, Xu Gaoming. Application of mine electric profiling method to detect floor failure depth of coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 97-100.
- [2] 许延春,杨扬.大埋深煤层底板破坏深度统计公式及适用性分析[J].煤炭科学技术,2013,41(9):129-132.
Xu Yanchun, Yang Yang. Applicability analysis on statistical formula for failure depth of coal seam floor in deep mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 129-132.
- [3] 李飞,张金陵,段李宏.煤层底板采动裂隙演化规律数值模拟研究[J].煤炭科学技术,2014,42(4):37-39.
Li Fei, Zhang Jinling, Duan Lihong. Numerical simulation study on evolution of mining dynamic fracture for seam floor[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 37-39.
- [4] 张平卿.基于超声波技术的采煤扰动底板破坏深度探测[J].煤炭科学技术,2015,43(5):118-121.
Zhang Pingqing. Detection on floor failure depth caused by mining disturbances based on ultrasonic technology[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(5): 118-121.
- [5] 于小鸽,韩进,施龙青,等.基于BP神经网络的底板破坏深度预测[J].煤炭学报,2009,34(6):731-736.
Yu Xiaoge, Han Jin, Shi Longqing, et al. Forecast of destroyed floor depth based on BP neural networks[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(6): 731-736.
- [6] 卫兆祥,郭小铭.韩城矿区内下组煤开采底板扰动破坏规律研究[J].煤炭工程,2016,48(2):75-78.
Wei Zhaoxiang, Guo Xiaoming. Study on floor disturbance and failure of lower group coal mining in Hancheng Mining Area[J]. Coal Engineering, 2016, 48(2): 75-78.
- [7] 刘叶青.柳林矿区4#煤层底板井下矿压破坏带深度实测研究[J].中国煤炭地质,2015,27(12):33-35.
Liu Yeqing. Study on coal No.4 floor underground pressure fracture zone depth measuring in Liulin Mining Area[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(12): 33-35.
- [8] 许延春,李江华,姚依林,等.河东煤矿一采区底板突水危险性研究[J].煤矿开采,2012,17(3):89-92.
Xu Yanchun, Li Jianghua, Yao Yilin, et al. Analysis of floor water-burst danger in 1st mining region of Hedong Colliery[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(3): 89-92.
- [9] 杨磊,蓝航.近直立特厚煤层水平分段开采围岩应力变化规律[J].煤炭科学技术,2015,43(7):25-28.
Yang Lei, Lan Hang. Surrounding rock stress evolution law of sectional mining in nearly vertical ultra thick seam[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(7): 25-28.
- [10] 程志恒,齐庆新,李宏艳,等.近距离煤层群叠加开采采动应力-裂隙动态演化特征实验研究[J].煤炭学报,2016,41(2):368-374.
Cheng Zhiheng, Qi Qingxin, Li Hongyan, et al. Evolution of the superimposed mining induced stress-fissure field under extracting of close distance coal seam group[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(2): 368-374.
- [11] 张通,袁亮,赵毅鑫,等.薄基岩厚松散层深部采场裂隙带几何特征及矿压分布的工作面效应[J].煤炭学报,2015,40(10):2261-2267.
Zhang Tong, Yuan Liang, Zhao Yixin, et al. Distribution law of working face pressure under the fracture zone distribution characteristic of deep mining[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(10): 2261-2267.
- [12] 刘伟韬,刘士亮,宋文成,等.基于薄板理论的工作面底板隔水层稳定性研究[J].煤炭科学技术,2015,43(9):144-148.
Liu Weitao, Liu Shiliang, Song Wencheng, et al. Study on stability of mining face floor aquiclude based on Thin Plate Theory[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(9): 144-148.
- [13] 李江华,许延春,谢小锋,等.采高对煤层底板破坏深度的影响[J].煤炭学报,2015,40(2):303-309.
Li Jianghua, Xu Yanchun, Xie Xiaofeng, et al. Influence of mining height on coal seam floor failure depth[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(2): 303-309.
- [14] 孙广京,朱斯陶,姜福兴,等.深井特厚煤层工作面强烈动压区安全开采技术[J].煤炭学报,2015,40(1):13-18.
Sun Guangjing, Zhu Sitao, Jiang Fuxing, et al. Safe mining technology at strong dynamic pressure area in deep extra-thick coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(1): 13-18.
- [15] 刘伟韬,刘士亮,姬保静.基于正交试验的底板破坏深度主控因素敏感性分析[J].煤炭学报,2015,40(9):1995-2000.
Liu Weitao, Liu Shiliang, Ji Baojing. Sensitivity analysis of controlling factors on failure depth of floor based on orthogonal experiment[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(9): 1995-2000.