

杜君武,董振波.雅店煤矿4号煤层开采导水裂隙带高度研究[J].矿业安全与环保,2018,45(5):78-82.
文章编号:1008-4495(2018)05-0078-05

雅店煤矿4号煤层开采导水裂隙带高度研究

杜君武^{1,2},董振波³

(1. 西安科技大学 能源学院,陕西 西安 710054; 2. 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室,陕西 西安 710054;
3. 陕西华彬雅店煤业有限公司,陕西 咸阳 713507)

摘要:为研究雅店煤矿4号煤层开采导水裂隙带发育高度,首先采用 UDEC 数值模拟方法分析了煤层开采后覆岩破坏规律、应力分布规律和导水裂隙带发育高度;其次采用理论计算方法和工程类比法确定4号煤层47个钻孔的导水裂隙带高度,并根据现场钻孔实测数据,对比得出导水裂隙带突破煤层上方洛河组含水层(K11)的范围及深度;最后综合考虑数值模拟、理论计算、工程类比和现场实测结果,得出4号煤层导水裂隙带平均高度为205~214 m,最大裂采比为20。研究结果表明:4号煤层开采覆岩导水裂隙带大部分已突破洛河组含水层底界,矿井正常生产时应采取有效措施确保安全开采。

关键词:综放开采;导水裂隙带;数值模拟;理论计算;工程类比

中图分类号:TD745;TD163 **文献标志码:**B

Research on the Height of Water Flowing Fractured Zone in No. 4 Coal Seam of Yadian Coal Mine

DU Junwu^{1,2}, DONG Zhenbo³

(1. College of Energy, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of
Western Mine Exploitation and Hazard Prevention, Ministry of Education, Xi'an 710054, China;
3. Shaanxi Huabin Yadian Coal Industry Co., Ltd., Xianyang 713507, China)

Abstract: In order to study the development height of water flowing fractured zone in No. 4 coal seam of Yadian Coal Mine. Firstly, the failure law of strata, stress distribution law and the development height of water flowing fractured zone were numerical simulated by using UDEC. Secondly, the height of water flowing fractured zone of 47 boreholes in No. 4 coal seam was determined by theoretical calculation method and engineering analogy method. The range and depth of the Luohe formation aquifer (K11) when water flowing fractured zone broke above the coal seam were obtained by comparison according to the field data. Finally, under the comprehensive consideration of numerical simulation, theoretical calculation, engineering analogy and field measurement, it was concluded that the average height of water flowing fractured zone of No. 4 coal seam was from 205 m to 214 m, and the maximum crack in mining height was 20. The results show that most of water flowing fractured zone in No. 4 coal seam have broken through the bottom boundary of Luohe formation aquifer, and effective measures should be taken to ensure safe mining during normal production.

Keywords: fully mechanized caving mining; water flowing fractured zone; numerical simulation; theoretical calculation; engineering analogy

煤矿五大自然灾害中,因水引发的系列问题愈演愈烈,存在许多亟待解决的现场问题^[1-3]。有些

矿井面临水下采煤的问题^[4],当煤层上方存在含水层、采空区积水等情况时,生产过程就必须考虑煤层开采导水裂隙的发育情况^[5-8]。导水裂隙一旦沟通含水区域,会造成地表生态水位下降、环境恶化等问题,同时会引发矿井水灾,严重影响矿井效益和人员安全。探明煤层开采覆岩破坏情况及预测裂隙带高度是保证水下安全开采的关键^[9-10]。揭示煤层开采覆岩裂隙发育规律,在确定导水裂隙带发育高度的

收稿日期:2017-09-18;2017-11-15 修订

基金项目:西安科技大学能源学院青年创新基金项目
(2210116003)

作者简介:杜君武(1988—),男,陕西渭南人,硕士,助理工程师,从事矿山压力与岩层控制方面的研究。E-mail: jwy666@126.com。

基础上,优化工作面布置方式及开采方法,可实现煤炭开采地下水位保护和防止矿井突水事故的双重目的^[11]。笔者以雅店煤矿4号煤层综放开采工作面为背景,采用数值模拟、理论计算、工程类比和现场实测相结合的方法,确定4号煤层开采导水裂隙带发育高度,以指导矿井安全生产。

1 矿井概况及水文地质情况

雅店煤矿位于彬长矿区北部东侧,西至泾河,东南及西南与胡家河井田相邻,北以四郎河为界,东西长约19.0 km,南北宽约2.5 km,设计生产能力为4.0 Mt/a,主采1、4号煤层。研究对象为4号煤层,开采初期4号煤层与1号煤层无重叠关系,不受1号煤层开采影响。4号煤层工作面倾向长度200 m,煤层厚度0.8~20.0 m,平均厚度11.9 m,平均倾角5°,为近水平—缓倾斜煤层,采用大采高低位放顶煤方法开采,开采高度最大为4.0 m,放顶煤高度为6.0 m左右,采放比为1.0:1.5,煤层埋深为417.9~632.3 m,直接顶板以泥岩、砂质泥岩为主,底板以泥岩为主,遇水易膨胀。

根据水文地质资料,4号煤层与洛河组含水层底界间距为110.6~184.2 m,平均间距为144.8 m。

含水层自上而下依次为孔隙潜水含水层和基岩裂隙含水层两种。前者为第四系全新统冲洪积孔隙含水层(Q4),厚度为0~10 m,地下水埋深0.5~5.0 m,水位年变幅0.8~1.5 m,单位涌水量0.7~3.0 L/(s·m),属中等—强富水含水层;后者主要为白垩系下统洛河组砂岩孔隙裂隙含水层(K11),全区分布,地表无出露,是4号煤层上方主要含水层,富水性中等。平均厚度342.9 m,钻探施工中1-3、1-5、2-1、3-5、3-6等钻孔出现涌水现象,涌水量为20.0~30.0 m³/h。

2 导水裂隙带发育高度数值模拟

2.1 数值模型设计

根据矿井2-4钻孔数据,采用UDEC数值模拟软件建立首采工作面走向剖面开采模型,研究煤层开采后覆岩破坏、应力分布规律,以及导水裂隙带发育高度上限。模型尺寸为600 m×280 m,上边界施加相当于290 m埋深的覆岩载荷,模拟煤层的埋深为540 m;下边界及左右边界固定,将岩性相似的岩层合并;煤层倾角平均5°,建模时按水平煤层处理;为消除边界效应,模型左右各留设50 m边界煤柱。煤层力学参数如表1所示。

表1 煤岩层力学参数

岩层类别	厚度/m	密度/(kg·m ⁻³)	抗拉强度/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)	体积模量/MPa	切变模量/MPa
中粒砂岩	124	2 280	1.8	2.8	34.2	17 826	9 685
砾岩	51	2 540	1.9	3.6	34.6	21 667	13 000
粗粒砂岩	24	2 520	1.8	2.6	34.2	12 153	6 944
粉砂岩	19	2 570	2.1	3.8	35.0	16 090	10 121
中粒砂岩	27	2 490	2.1	2.5	33.8	14 000	8 400
粉砂岩	5	2 420	1.1	2.0	33.4	6 818	3 516
4号煤层	11	1 280	0.5	0.3	39.1	303	156
粉砂岩	21	2 560	1.3	2.4	34.2	12 133	7 280

2.2 数值模拟结果分析

2.2.1 导水裂隙发育规律

煤层开采后直接顶首先垮落,垮落岩块呈不规则状态分布于采空区。当推进距离达到老顶极限跨距时,老顶初次断裂。采空区上方覆岩形成拱形结构,拱的边缘位置为覆岩受拉区域,该区域竖向(斜交)裂隙是主要的导水通道。研究煤层开采覆岩垮落后形成的竖向(斜交)裂隙的范围是判断导水裂隙发育规律的关键。

模拟结果如图1所示,可以看出,当工作面推进到60 m时,直接顶大范围垮落,垮落高度为31 m,垮

落区域外一定范围内覆岩受拉应力作用,竖向(斜交)裂隙发育,形成拱形导水裂隙圈,拱高53 m,等于覆岩导水裂隙带发育最大高度。当工作面推进到120、180 m时,垮落带高度分别为69、96 m,拱形导水裂隙圈高度为107、126 m。当工作面推进到240 m时,垮落带高度为149 m,拱形裂隙带高度188 m。当工作面推进到270 m时,采空区中部上覆岩层逐渐压实,竖向裂隙和离层裂隙闭合,但采空区两边缘上部覆岩竖向(斜交)裂隙明显发育,裂隙圈高度在209 m左右,其高度趋于稳定,说明已达到充分采动,随着工作面的继续推进,导水裂隙带最大高度变化不大。

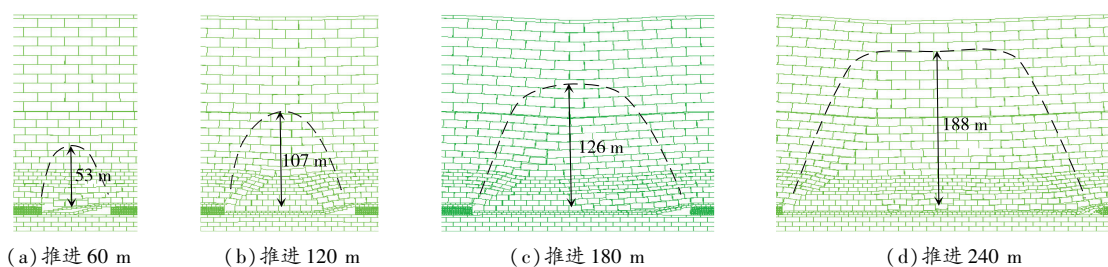


图1 工作面不同推进距离时导水裂隙发育高度

2.2.2 覆岩移动规律

随着工作面的推进,采空区上方覆岩竖直位移由下至上逐渐减小。当覆岩竖直位移量不一致时,会发生离层,产生离层裂隙。由于离层裂隙的存在,离层上方覆岩受自重和上部载荷影响,在两端产生拉应力,导致覆岩竖向(斜交)裂隙产生。采空区两侧上方覆岩产生的竖向(斜交)裂隙呈正“八”字形分布。当工作面推进距离为60~240 m时,离层裂隙不断向上发展,导水裂隙带高度不断增加。在工作面推进距离大于270 m后,覆岩竖向位移一致,采空区上方离层裂隙基本闭合,导水裂隙带趋于稳定。

示未突破),见表2。

表2 4号煤层导水裂隙带高度

孔号	分层开采 高度 H_L /m	突破高度 $H_{突}$ /m	综放开采 高度 H'_L /m	突破高度 $H'_{突}$ /m
1-1	246.7	107.4	162.7	23.5
1-2	254.4	114.9	165.6	26.1
1-3	126.2	13.3	105.8	-7.1
1-4	171.3	21.8	130.1	-19.4
30	149.5	22.5	118.9	-8.1
2-1	260.7	117.1	168.0	24.3
2-2	261.4	116.1	168.2	22.9
2-3	222.0	76.8	153.0	7.7
2-4	152.3	27.6	120.4	-22.2
3-1	217.6	69.1	151.2	2.6
3-2	253.0	91.5	165.1	3.7
3-3	183.3	55.6	135.9	8.2
3-4	245.2	94.9	162.2	11.9
4-1	256.4	104.5	166.4	14.5
4-2	258.6	106.6	167.2	15.1
4-3	202.1	49.9	144.5	-7.7
4-4	220.6	70.0	152.4	1.8
4-6	165.7	16.8	127.3	-21.6
4-7	119.2	4.3	101.6	-13.2
5-1	262.9	112.9	168.7	18.7
5-2	229.2	70.4	155.9	-2.9
5-3	221.3	80.1	152.7	11.5
5-4	233.3	78.3	157.5	2.5
5-6	164.3	41.1	126.6	3.4
6-1	260.7	76.5	168.0	-16.3
6-3	174.8	37.4	131.8	-5.6
6-4	216.1	77.2	150.5	11.6
7-1	256.5	95.9	166.4	5.8
7-4	272.7	115.7	172.2	15.2

3 导水裂隙带高度确定方法

3.1 导水裂隙带高度理论计算

4号煤层顶板单向抗压强度为45.3 MPa,属于中硬岩层。根据地质报告,得到47个煤层厚度钻孔数据,钻孔范围与4号煤层可采范围一致,可全面掌握4号煤层空间赋存状况和导水裂隙发育对煤层开采的影响程度。4号煤层厚度变化范围为7.7~20.9 m,煤层顶板至含水层高度变化范围为96.9~167.4 m。

目前,国内对于厚煤层导水裂隙带高度的计算公式主要有《矿区水文地质工程地质勘探规范》中分层开采计算公式、综放开采导水裂隙带高度计算公式、《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[12],以及各大矿井根据大量实测数据总结出的经验公式^[13]。

分层开采法导水裂隙带高度计算公式如下:

$$H_L = \frac{100 \sum M}{3.3n + 3.8} + 5.1 \quad (1)$$

综放开采法导水裂隙带高度计算公式如下:

$$H'_L = \frac{100M}{0.26M + 6.88} \pm 11.49 \quad (2)$$

式中: H_L 为分层开采导水裂隙带高度, m; H'_L 为综放开采导水裂隙带高度, m; M 为煤层采高, m; n 为开采分层数, $n=1$ 。

将47个钻孔数据分别代入式(1)和式(2),得到导水裂隙带高度和突破洛河组底界范围(负号表

表2(续)

孔号	分层开采 高度 H_L/m	突破高度 $H_{突}/m$	综放开采 高度 H'_L/m	突破高度 $H'_{突}/m$
7-5	200.9	67.2	144.0	10.3
214	114.3	17.4	98.6	1.7
8-1	229.0	59.2	155.9	-14.0
8-2	113.6	3.0	98.2	-12.4
8-3	139.6	13.8	113.5	-12.4
8-4	271.3	103.9	171.7	4.3
8-5	229.0	87.2	155.9	14.1
9-1	246.1	82.5	162.5	-1.1
9-2	136.8	14.1	111.9	-10.8
9-3	191.0	45.9	139.5	-5.6
9-4	268.6	105.4	170.8	7.5
9-5	224.8	63.5	154.1	-7.2
124	236.8	74.1	158.9	-3.8
10-1	299.0	144.2	181.0	26.3
10-2	161.4	30.2	125.2	-6.1
11-1	216.4	60.1	150.6	-5.2
207	145.4	18.7	116.7	-10.0
14-1	284.4	122.8	176.3	14.6

由表2可知,采用分层开采法计算,47个钻孔的导水裂隙带高度全部突破洛河组含水层底界,突破率为100%。采用综放开采法计算,47个钻孔中有26个钻孔的导水裂隙带高度突破洛河组含水层底界,突破率为55.3%。

3.2 类似地质条件工程类比分析

雅店煤矿与下沟煤矿同处彬长矿区,距离较近,地质条件、地形地貌、水文特征均十分相似,工作面煤层采高、埋深、基岩岩性类似,下沟煤矿采用导水裂隙带高度范围能够有效指导矿井安全生产。下沟煤矿导水裂隙带高度计算依据兴隆庄煤矿的经验公式,故雅店煤矿的导水裂隙带高度计算也可参考兴隆庄煤矿的计算方法,其计算公式(上分层未开采时)如下^[14]:

$$H'' = (9.0 \sim 11.3)M \quad (3)$$

式中: H'' 为经验公式法计算的导水裂隙带高度,m; M 为煤层采高,m。

下沟煤矿平均采高9.9 m,兴隆庄煤矿平均采高7.1 m,都采用综采放顶煤采煤方法。由于采放厚度较大,裂隙带高度会明显增加^[15],运用式(3)计算时,系数取11.3。

通过对经验公式(3)计算值与实测值比较,下沟煤矿导水裂隙带高度误差最大为-13.94 m,最小为0.06 m,误差率不超过11.1%。兴隆庄煤矿计算值与实测值误差最大为5.83 m,最小为-1.03 m,误差率不超过7.8%。根据对下沟煤矿和兴隆庄煤矿导水裂隙带高度实测情况分析,公式(3)计算值与实测值较为接近,说明经验公式可信度较高。因此,雅店煤矿4号煤层裂隙带高度预计值可用公式(3)计算,将47个钻孔数据代入式(3)中,计算结果见表3,表3中 H'' 为工程类比法确定的导水裂隙带高度, $H'_{突}$ 为导水裂隙突破隔水层的高度。

表3 工程类比法计算导水裂隙带高度

孔号	H''/m	$H'_{突}/m$	孔号	H''/m	$H'_{突}/m$
1-1	193.8	54.5	6-1	205.1	20.9
1-2	200.0	60.5	6-3	136.2	-1.2
1-3	97.2	-15.7	6-4	169.3	30.4
1-4	133.3	-16.2	7-1	201.7	41.1
30	115.8	-11.2	7-4	214.7	57.7
2-1	205.1	61.5	7-5	157.1	23.4
2-2	205.7	60.4	214	89.6	-9.3
2-3	174.0	28.8	8-1	179.7	9.9
2-4	118.1	-24.6	8-2	89.0	-23.5
3-1	170.5	22.0	8-3	107.9	-17.9
3-2	198.9	37.4	8-4	213.6	46.1
3-3	143.0	15.3	8-5	179.7	37.8
3-4	192.7	42.4	9-1	193.3	29.7
4-1	201.6	49.7	9-2	105.7	-17.0
4-2	203.4	51.3	9-3	149.2	4.1
4-3	158.1	5.9	9-4	211.4	48.2
4-4	172.9	22.3	9-5	176.3	14.9
4-6	128.8	-20.1	124	185.9	23.2
4-7	91.5	-23.3	10-1	255.8	63.6
5-1	206.8	56.8	10-2	125.4	-5.8
5-2	179.8	21.0	11-1	169.5	13.6
5-3	173.5	32.3	207	112.6	-14.1
5-4	183.1	28.1	14-1	224.1	62.4
5-6	127.7	4.5			

由表3可以看出,有34个钻孔的导水裂隙带高度突破洛河组含水层底界,突破率为72.3%,说明4号煤层开采过程中,可能发生顶板突水的范围较大。

3.3 现场实测试验分析

为验证以上结果的可靠性,采用钻孔探测方法实测4号煤层导水裂隙带高度。基于钻孔注水方法探测导水裂隙带临界面最高位置,确定裂隙高度。现场钻孔原位实测布置3个钻孔,采用清水钻进,钻孔孔径10.8 cm,大于要求钻孔直径,完成探测后利用水泥砂浆封孔。通过统计3个钻孔冲洗液的消耗量,得出冲洗液消耗量与钻孔深度的关系。1号钻孔钻进过程中在297 m处有明显吸风现象,该深度为导水裂隙带顶界面,此处煤层埋深为420.2 m,采

厚为7.7 m,导水裂隙带高度为123.2 m,裂采比为16;2号钻孔位置采厚为13.5 m,导水裂隙带高度为270.0 m,裂采比为20;3号钻孔位置采厚为12.6 m,导水裂隙带高度为214.2 m,裂采比为17。

4 首采区导水裂隙综合预计

根据理论计算、数值模拟、工程类比及现场实测数据,统计分析雅店煤矿4号煤层开采时导水裂隙带发育高度、裂隙带高度与采高的比值(裂采比),其数值对比见表4。

表4 不同方法得到的导水裂隙带高度及裂采比

方法类别	导水裂隙带高度/m			裂采比		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
理论计算(分层开采)	299	114	212	20	8	13
理论计算(综放开采)	172	98	153	12	7	11
工程类比	255	89	205	19	8	15
现场实测	270	123	214	20	16	18
数值模拟			209			19

由表4可见,理论计算结果过于保守,不利于指导矿井安全开采;数值计算和工程类比法得出的导水裂隙带高度与现场实测结果基本一致,平均导水裂隙带高度为205~214 m,平均裂采比为15~19,最大裂采比为20。为保证矿井安全开采,防止顶板突水事故,保证矿井开采安全程度最大化,导水裂隙带高度取214 m,裂采比取20较为合适。

5 结论

1)根据数值模拟结果,雅店煤矿4号煤层采空区边缘上部覆岩竖向(斜交)裂隙发育明显,裂隙圈最大高度为190 m。采空区两侧上方覆岩产生的竖向(斜交)裂隙呈正“八”字形分布。

2)采用分层开采法计算的导水裂隙全部突破洛河组含水层底界,突破率为100%;采用综放开采法计算的导水裂隙突破率为55.3%;采用工程类比法计算的导水裂隙突破率为72.3%。因此,4号煤层开采时,顶板突水的范围较大,现场生产过程中应加强探放水工作,以防发生突水事故。

3)理论计算结果过于保守,不利于指导矿井安全开采;数值计算和工程类比法得出的导水裂隙带高度与现场实测结果基本一致,4号煤层开采时导水裂隙带高度平均在205~214 m,最大裂采比为20。

参考文献:

- [1] 张世青,魏春臣,郁志伟,等.近水平煤层综放开采导水裂隙带高度研究[J].煤炭工程,2014,46(11):96-101.
- [2] 高召宁,应治中,李铭.生态脆弱矿区煤层覆岩隔水特征及保水开采实验研究[J].矿业安全与环保,2015,42(2):12-15.
- [3] 赵兵朝,刘樟荣,同超,等.覆岩导水裂隙带高度与开采参数的关系研究[J].采矿与安全工程学报,2015,31(4):634-638.
- [4] 余学义,王金东,赵兵朝.机械化开采条件下导水裂隙带发育高度研究[J].煤炭工程,2012,31(10):83-85.
- [5] 刘伟韬,陈志兴,张茂鹏.覆岩裂隙带发育高度数值模拟和现场实测[J].矿业安全与环保,2016,43(1):57-60.
- [6] 周海涛,姜振泉,朱术云,等.河下分层采煤导水断裂带发育规律研究[J].矿业安全与环保,2014,41(2):5-8.
- [7] 马雄德,王苏健,蒋泽泉,等.神南矿区采煤导水裂隙带高度预测[J].西安科技大学学报,2016,36(5):664-668.
- [8] 赵子浩,刘进晓,王来河,等.近水平煤层覆岩导水裂隙带高度预测与实测[J].矿业安全与环保,2017,44(2):66-69.
- [9] 李学良.基于FLAC^{3D}的采动区覆岩破坏高度数值模拟研究[J].煤炭技术,2012,31(10):83-85.
- [10] 张辉,朱术云,李秀哈,等.综放开采覆岩导水裂隙带高度研究[J].工矿自动化,2015,41(1):10-13.

(下转第86页)

容进行连续观测:厂房基础无附加沉降,基坑顶部最大水平位移为 17 mm,最大沉降为 9 mm,地下水位总体上无变化,基坑侧壁个别点存在渗漏,采取有效措施堵漏。目测观察基坑止水封底帷幕表观均匀、完整,无开裂、隆起等现象。监测结果表明:基坑支护体系安全性满足要求,抗浮锚杆—止水封底帷幕有效阻断基坑内外的水力联系,显著减小了基坑因降水作业对周边环境的影响。

3 结语

1)采用抗浮锚杆—止水封底帷幕的组合体可有效抵抗地下水浮力,显著减小封底帷幕厚度,有效消除了因基坑降水作业对周边环境的不利影响,保护了地下水资源。

2)以抗浮锚杆—止水封底帷幕组合体顶升破坏模型提出的渗流稳定分析计算方法力学关系清晰,计算结果满足工程需要。

3)旋喷桩封底止水帷幕的关键是对施工高程、桩锚位置、桩体锚杆体垂直度的控制,确保桩体有效咬合连成整体并保证设计厚度。抗浮锚杆—止水封底帷幕为在深厚富水地层的深基坑工程中进行封闭降水提供了新的参考,具有一定推广应用价值。

参考文献:

- [1] 周火焱,王华钦,张维泉.悬挂式止水在基坑工程中的应用[J].岩土工程学报,2012,34(S1):470-473.
- [2] 丁洲祥,龚晓南,俞建霖,等.止水帷幕对基坑环境效应影响的有限元分析[J].岩土力学,2005,26(S1):146-150.
- [3] 王昆泰,胡立强,吕凯歌.悬挂式帷幕条件下基坑渗流特性的计算分析[J].建筑科学,2010,26(1):81-84.
- [4] 汪玉松,毛绪美,冯晓腊.某深基坑水平封底止水工程

失败原因分析及经验[J].勘察科学技术,2004(6):46-48.

- [5] 乔玉荣.某U形槽基坑工程地下水控制措施研究[J].铁道勘察,2015(1):71-72.
- [6] 樊玲,陈俊,尹小波,等.强富水厚层砂卵石深基坑突水三道防线技术研究[J].交通科学与工程,2012,28(2):1-7.
- [7] 丛竺,杨小平,刘庭金.强透水砂层运营地铁隧道正上方基坑施工关键技术[J].施工技术,2015,44(13):51-55.
- [8] 孙玉永,周顺华,肖红菊.承压水基坑抗突涌稳定判定方法研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(2):399-405.
- [9] 李镜培,张飞,梁发云,等.承压水基坑突涌机制离心模型试验与数值模拟[J].同济大学学报(自然科学版),2012,40(6):837-842.
- [10] 王军玺,吴伟雄,李琼,等.承压水基坑突涌的水力劈裂[J].土木建筑与环境工程,2015,37(4):105-111.
- [11] 王宝德,高海彦,陈学光.高承压水地区超深基坑突涌分析与处置[J].施工技术,2012,41(22):98-100.
- [12] 阳吉宝,田全红,吴顺.苏州嘉润广场深基坑支护设计承压水处理[J].施工技术,2016,45(S2):35-39.
- [13] 胡云华.临江高承压水超深基坑开挖抗突涌分析与对策——以南京纬三路长江隧道梅子洲风井基坑为例[J].隧道建设,2015,35(11):1194-1201.
- [14] 周铮.深基坑工程采用RJP工法封底加固以取代抽降承压水的方法及工程应用[J].建筑结构,2016,46(S):742-745.
- [15] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

(责任编辑:李 琴)

(上接第82页)

- [11] 黄庆享.浅埋煤层保水开采岩层控制研究[J].煤炭学报,2017,42(1):50-55.
- [12] 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.
- [13] 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(2):

4-7.

- [14] 黄阳,刘宁,王智华.彬长矿区导水裂隙带高度的确定方法[J].陕西煤炭,2010(6):40-43.
- [15] 戴露,谭海樵,胡戈.综放开采条件下导水裂隙带发育规律探测[J].煤矿安全,2009(3):90-92.

(责任编辑:陈玉涛)