

彭涛,龙良良,刘凯祥,等. 基于煤层顶板抽水试验的含水层水力联系研究[J]. 矿业安全与环保,2019,46(3):66-69.
文章编号:1008-4495(2019)03-0066-04

技术经验

基于煤层顶板抽水试验的含水层水力联系研究

彭涛¹,龙良良¹,刘凯祥¹,王生全¹,牛超¹,刘洋²,刘慧³

(1. 西安科技大学地质与环境学院,陕西西安710054; 2. 中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西西安710077;
3. 陕西地矿九〇八环境地质有限公司,陕西西安710600)

摘要:为给曹家滩井田2⁻²煤层先期开采地段提供技术保障,在分析矿井各含(隔)水层水文地质特征的基础上,结合地面抽水试验结果,对2⁻²煤层上覆含水层的水力联系进行综合评价。研究结果表明:矿井主要充水含水层为直罗组、延安组和风化基岩含水层,其中风化基岩段存在一定厚度的强富水层;萨拉乌苏组与风化基岩含水层不存在水力联系,证实了保德组红土在井田内有良好的隔水效果,直罗组与风化基岩含水层具有一定的水力联系,延安组与直罗组含水层一般不存在水力联系或相互补给有限。

关键词:曹家滩井田;含水层;风化基岩;水力联系;抽水试验

中图分类号:TD74 **文献标志码:**A

Study on Aquifer Hydraulic Connection based on Pumping Test of Coal Seam Roof

PENG Tao¹, LONG Liangliang¹, LIU Kaixiang¹, WANG Shengquan¹, NIU Chao¹, LIU Yang², LIU Hui³

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

2. CCTEG Xi'an Research Institute, Xi'an 710077, China;

3. The 908 Environmental Geology Co., Ltd. of Shaanxi Geological and Mineral, Xi'an 710600, China)

Abstract: In order to provide technical support for the pre-mining section of 2⁻² coal seam in Caojiatan Coal Mine, based on the analysis of hydrogeological characteristics of each aquifer and aquifuge, combined with the results of ground pumping test, this paper comprehensively evaluated the hydraulic connection of the overlying aquifer of 2⁻² coal seam. The results show that the main water-filled aquifers in the mine are Zhiluo Formation, Yan'an Formation and the weathered bedrock aquifer, and the weathered bedrock section has a strong water-rich layer with a certain thickness; there is no hydraulic connection between the Sarawusu Formation and the weathered bedrock aquifer, which confirms that the red soil of the Baode Formation has good water-blocking effect in the minefield, the Zhiluo Formation aquifer has a certain hydraulic connection with the weathered bedrock aquifer, the Yan'an Formation aquifer and the Zhiluo Formation aquifer generally have no hydraulic connection or have limited mutual replenishment.

Keywords: Caojiatan Coal Mine; aquifer; weathered bedrock; hydraulic connection; pumping test

受复杂地质条件的制约,综采工作面的采前地

质评价已成为煤矿安全生产的必由之路,而对水文地质条件的分析又是采前地质评价中的重要内容之一^[1-6]。陕(西)北曹家滩井田建井期间,主、副斜井掘进时均出现过较大涌水现象,特别是进入风化基岩段含水层时涌水量高达158 m³/h,同时还出现冒顶现象,因此,首采煤层(中侏罗统延安组2⁻²煤层)上覆含水层的水文地质特征及水力联系是煤层开采前的重要研究内容。由于煤炭资源勘查阶段井田内

收稿日期:2018-09-19;2019-05-25 修订

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41807192);陕西省教育厅2018年度专项科学研究计划项目(18JK0518)

作者简介:彭涛(1988—),男,河南固始人,博士,讲师,主要从事煤田地质和矿井地质方面的教学和科研工作。
E-mail:512022882@qq.com。

勘探工作较少,对煤层顶板各含水层的控制程度较低,水文地质基础性工作薄弱,各含水层之间水力联系情况不清,因此无法满足矿井正常生产的需要。而抽(放)水试验是目前探查含水层之间水力联系常用和可靠的途径之一^[7-13]。

笔者在分析各含(隔)水层水文地质特征的基础上,结合水文补勘阶段的地面抽水试验结果,对曹家滩井田 2^{-2} 煤层上覆含水层的水力联系进行了综合评价,研究成果可为 2^{-2} 煤层安全开采提供参考。

1 地质概况

曹家滩井田地处陕西省榆林市北部,属于榆神矿区I期规划区,井田面积约108 km²,设计生产能力1500万t/a,含煤地层为中侏罗统延安组。2018年上半年,建井工作已基本完成,井田采用斜井开拓方式,共分为4个水平,分别布置在 2^{-2} 煤层、 3^{-1} 煤层、 4^{-3} 煤层和 5^{-3} 煤层4个可采煤层中。

井田规划首采煤层为一水平的 2^{-2} 煤层,首采盘区为12盘区,先期开采地段为12盘区的东区。 2^{-2} 煤层为特厚煤层,平均厚度11.2 m,走向近南北,倾向朝西,倾角平缓(小于1°),设计采用分层开采方式,先回采上分层,再回采下分层。上分层采高为6.0 m,下分层采高约为5.2 m,全部垮落法控制顶板。目前首采盘区的首采122106工作面已开始安装。井田南部的金鸡滩、杭来湾和榆树湾井田已经开采多年,井田盘区分布及水文补勘位置见图1。

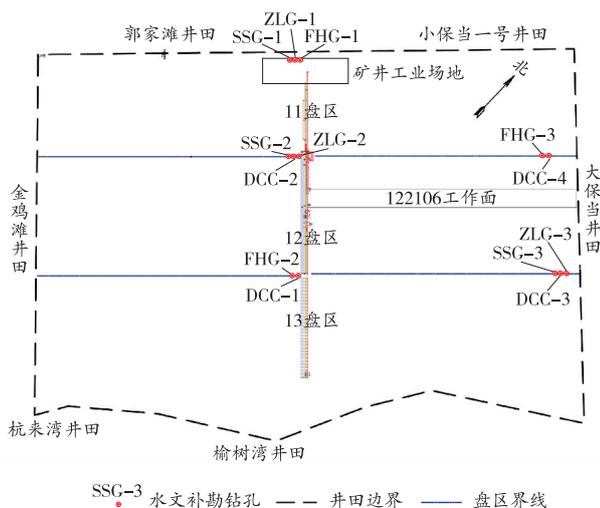


图1 曹家滩井田盘区分布及水文补勘位置示意图

2 水文地质条件

根据地下水的赋存条件及水力特征,曹家滩井田内 2^{-2} 煤层上覆地层主要包括4个含水层和2个

隔水层,其空间组合关系见图2。

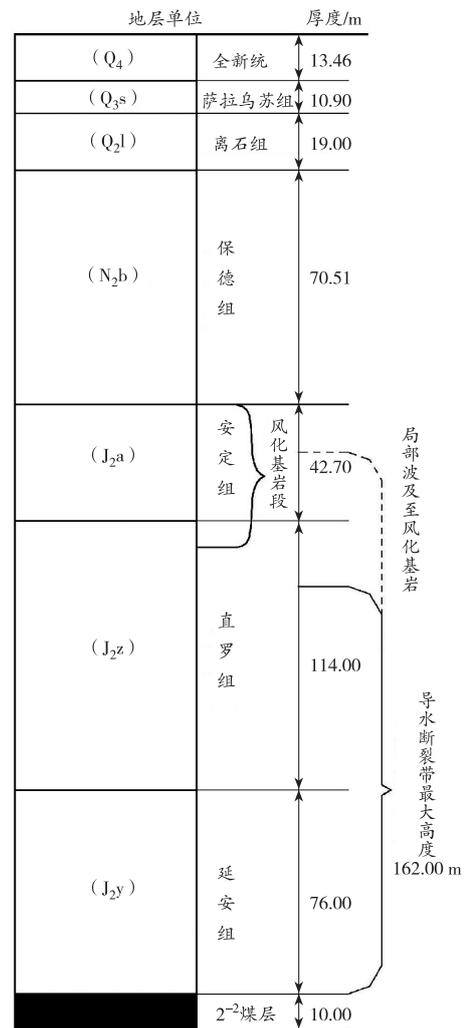


图2 曹家滩井田含(隔)水层空间组合关系示意图

2.1 含水层

1) 第四系上更新统萨拉乌苏组孔隙潜水含水层(Q_{3s})。该含水层岩性以粉、细砂为主,结构疏松,未固结成岩,厚度0~20.00 m,平均厚度10.90 m。主要分布于井田内地形相对低洼处,多被全新统积沙(Q₄)覆盖,在低洼处与其构成统一含水层,极易接受大气降水的补给。

该含水层富水性不均一,单位涌水量(q)为0.022 0~0.166 9 L/(s·m),渗透系数(K)为0.218 0~1.326 7 m/d。该含水层总体属透水性强、富水性弱—中等的含水层。

2) 风化基岩裂隙承压水含水层。井田内基岩上部的安定组或直罗组受古地形地貌影响,岩石顶面受到不同程度的风化,结构杂乱,松软易碎,孔隙增大,透水性增强,节理裂隙显现,故被称为“风化基岩”,后期被土层和沙层所覆盖。风化基岩主要分布于安定组地层上部,但是局部的安定组较薄区,整个

安定组均被风化,特别是在井田东部还波及到直罗组地层上部。

该段岩性以中、细粒砂岩为主,岩性破碎,呈灰黄色、黄绿色,短柱状;厚度为3.60~51.33 m,平均厚度20.00 m。 q 为0.024 15~0.146 75 L/(s·m), K 为0.188 5~0.355 8 m/d。该含水层富水性总体属于弱—中等,且水文补勘阶段资料显示,风化基岩上部有一层1.5~2.0 m厚的半成岩沙化层,含水量非常大。但是由于上部被较厚的土层所覆盖,所以正常情况下受上部含水层补给条件差。

3) 侏罗系中统直罗组孔隙裂隙承压含水层(J_2z)。该含水层全区分布,该层上部岩性以灰绿色、蓝灰色团块状泥岩、粉砂岩为主,夹细粒长石砂岩,下部为灰白色中、粗粒长石砂岩夹灰绿色泥岩、粉砂岩,厚度为21.70~186.40 m,平均厚度114.00 m。 q 为0.000 926~0.036 200 L/(s·m), K 为0.000 926~0.060 900 m/d。总体来说,该层段富水性弱,但是在井田东部该层顶部遭受风化,含水性略强于下部正常岩段。

4) 侏罗系中统延安组孔隙裂隙承压含水层(J_2y)。该段岩性主要为粉砂岩、细砂岩,泥质胶结或钙质胶结,结构致密,裂隙发育微弱,透水性差;厚度为0~90.58 m,平均厚度76.00 m。 q 为0.000 460 327~0.001 982 918 L/(s·m), K 为0.000 263 603~0.001 585 421 m/d。总体来说该层段富水性弱。

2.2 隔水层

1) 第四系中更新统离石组黄土相对隔水层(Q_21)。广布全区,厚度为1.00~45.00 m,平均厚度为19.00 m,岩性以灰黄色亚黏土为主,局部地段夹沙层透镜体,分布不连片,含大量钙质结核。总体来说,离石组可与下伏的保德组红土共同作为井田内的相对隔水层。

2) 新近系上统保德组红土(N_2b)。该段岩性呈棕红、浅紫红色,以亚黏土为主,含大量层状钙质结核,局部钙质结核富集成层。该段红土一般结构致密,半坚硬状,含水微弱,透水性差,厚度为2.13~134.35 m,平均厚度为70.51 m,总体变化趋势为井田中部向东、西、西南逐渐变薄。由于井田内保德组红土全区发育,所以不存在“天窗”。总体来说,保德组红土是先期开采地段较为稳定的隔水层。

此外,由于与曹家滩井田南部毗邻的榆树湾、金鸡滩和杭来湾井田均已经开采延安组上部煤层多年,引起了地下水流场的变化,致使曹家滩井田内直罗组和延安组含水层水对邻近区域进行补给,水位向南部方向逐渐降低,而并未和2个含水层的底板

起伏形态保持一致;但是萨拉乌苏组含水层水位却未受周边井田开采的影响。因此也说明了保德组红土隔水层下部未接受萨拉乌苏组含水层的补给。

2.3 矿井充水含水层

煤层开采产生的顶板导水裂隙是矿井主要的涌水通道之一^[14-15]。根据曹家滩井田邻近矿井的实测数据显示,开采2⁻²煤层时,顶板裂采比可以达到27。因此,按照曹家滩井田生产规划的首采煤层2⁻²煤层上分层采高6.0 m计算,导水断裂带最大高度为162.00 m。根据各含水层平均厚度推断出井田内开采2⁻²煤层上分层时,导水断裂带高度全部发育至直罗组含水层,局部还波及到风化基岩段。

由于导水断裂带高度均未发育到萨拉乌苏组含水层,且风化基岩含水层上部存在稳定的保德组红土和离石组黄土隔水层,因此井田内未来开采2⁻²煤层时主要的充水含水层包括延安组、直罗组和风化基岩;特别是一旦采动裂隙导通至风化基岩含水层时,可能会出现水量突然增加的涌(突)水现象。

3 水力联系分析

为探查煤层顶板各含水层之间是否存在水力联系,在水文补勘阶段进行了多组多孔地面抽水试验,其水位变化情况见表1。

表1 多孔抽水试验水位变化情况

抽水/观测层位	编号	孔号	类别	最大降深/m
萨拉乌苏组/风化基岩	1 [#]	DCC-2	抽水孔	64.76
		SSG-2	观测孔	0.00
	2 [#]	DCC-3	抽水孔	62.42
		SSG-3	观测孔	0.02
直罗组/风化基岩	3 [#]	DCC-1	抽水孔	41.77
		FHG-2	观测孔	0.02
	4 [#]	DCC-4	抽水孔	51.60
		FHG-3	观测孔	1.01
		5 [#]	ZLG-1	抽水孔
FHG-1	观测孔		0.02	
延安组/直罗组	6 [#]	DCC-2	抽水孔	155.42
		ZLG-2	观测孔	0.08

3.1 萨拉乌苏组与风化基岩水力联系

探查萨拉乌苏组与风化基岩含水层水力联系的2组(1[#]组、2[#]组)抽水试验历时曲线见图3。在对DCC-2孔和DCC-3孔风化基岩含水层进行抽水试验过程中,观测萨拉乌苏组含水层水位变化的SSG-2孔和SSG-3孔水位无任何变化或变化甚微。

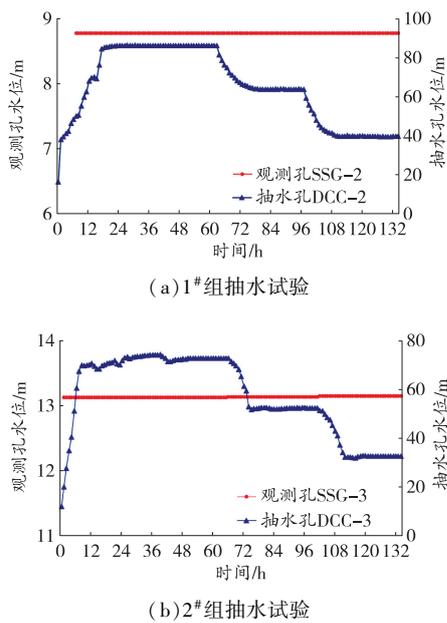


图3 萨拉乌苏组与风化基岩抽水试验历时曲线图

由表1和图3可知,2个抽水孔在抽水24 h后,随着抽水水量的减小,水位开始逐渐恢复至初始水位;且水质分析结果显示2个含水层的离子差异较大。

因此,萨拉乌苏组含水层和风化基岩含水层相互独立,未发现水力联系。说明了2个含水层之间的保德组红土分布稳定,具有良好的隔水效果。

3.2 直罗组与风化基岩水力联系

探查直罗组和风化基岩含水层水力联系的抽水试验历时曲线见图4。由表1可知,在对DCC-1抽水孔和ZLG-1抽水孔直罗组含水层进行抽水试验过程中,观测风化基岩含水层水位变化的FHG-2观测孔和FHG-1观测孔水位变化甚微,且2个抽水孔在抽水24 h后,随着抽水水量的减小,水位开始逐渐恢复至初始水位。但由图4可知,在对DCC-4抽水孔直罗组含水层进行抽水试验时,观测风化基岩含水层水位变化的FHG-3观测孔水位发生一定变化,从5.22 m变至6.23 m共变化了1.01 m。且DCC-4孔直罗组含水层和FHG-3孔风化基岩含水层水化学类型相同,均为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^+$ 型。

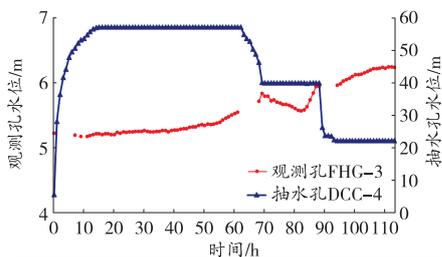


图4 直罗组与风化基岩抽水试验历时曲线图

根据该组抽水试验结果可知,直罗组含水层和风化基岩含水层之间存在一定的水力联系。这是由于安定组和直罗组地层直接接触,但是安定组被剥蚀风化,井田东部等区域直罗组上部遭受风化,致使风化基岩含水层和直罗组含水层直接相连,所以容易产生水力联系。

3.3 延安组与直罗组水力联系

探查延安组和直罗组含水层水力联系的抽水试验历时曲线见图5。可以看出,DCC-2抽水孔延安组抽水试验开泵14 h后,观测孔ZLG-2直罗组水位发生极小变化,持续至抽水孔DCC-2停泵前,最大降深仅为0.08 m,且水质分析结果显示2个含水层的离子差异较大。

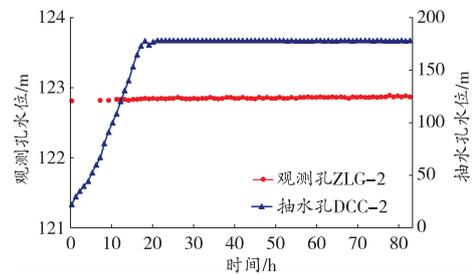


图5 延安组与直罗组抽水试验历时曲线图

根据该组抽水试验结果可知,直罗组含水层和延安组含水层之间未发现水力联系。这是由于2个含水层富水性均较弱,且延安组地层岩石多为泥质胶结或钙质胶结,结构致密,裂隙发育微弱,透水性差。但是由于这2个含水层直接接触,不排除局部发生水力联系的可能性。

4 结语

- 曹家滩井田开采 2^{-2} 煤层的主要充水含水层为直罗组、延安组和风化基岩含水层,其中直罗组和延安组含水层富水性较弱,但风化基岩段富水性属于弱—中等,且存在一定厚度的强富水层。
- 萨拉乌苏组与风化基岩含水层不存在水力联系,证实了保德组红土在井田内有良好的隔水效果;直罗组与风化基岩含水层具有一定的水力联系;延安组与直罗组含水层一般不存在水力联系或相互补给有限。

参考文献:

[1] 董书宁. 对中国煤矿水害频发的几个关键科学问题的探讨[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 66-71.
 [2] 武强, 崔芳鹏, 赵苏启, 等. 矿井水害类型划分及主要特征分析[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 561-565.

(下转第73页)

斯抽采效率。

4 结论

1) 软厚煤层液态 CO₂ 相变致裂后,不同致裂点的观测孔瓦斯浓度均有不同程度的提高,最高超过120%。瓦斯的有效抽采半径均为12.5 m,但与致裂点数无关。

2) 钻孔瓦斯浓度随致裂点数的增加而增大,近似呈线性关系。

3) 对煤层进行液态 CO₂ 相变多点致裂能有效提高瓦斯抽采浓度,但瓦斯抽采浓度随抽采时间的增加而下降。考虑到煤层瓦斯抽采的衰减特性,同时为了延长高瓦斯抽采效率的持续时间,可以在不同时间、不同位置对煤层进行致裂。

参考文献:

[1] 邓奇根,王燕,刘名举,等. 2001—2013年全国煤矿事故统计分析及启示[J]. 煤炭技术,2014,33(9):73-76.

[2] 郭继圣,张宝优. 我国煤层气(煤矿瓦斯)开发利用现状及展望[J]. 煤炭工程,2017,49(3):83-86.

[3] 申宝宏,刘见忠,张泓. 我国煤矿瓦斯治理的技术对策[J]. 煤炭学报,2007,32(7):673-679.

[4] 李磊,李中军,武文宾. 松软低透气性煤层井下水力压裂工艺技术研究[J]. 矿业安全与环保,2015,42(6):5-9.

[5] 宋维源,王忠峰,唐巨鹏. 水力割缝增透抽采煤层瓦斯原理及应用[J]. 中国安全科学学报,2011,21(4):78-82.

[6] 王兆丰,范迎春,李世生. 水力冲孔技术在松软低透突出煤层中的应用[J]. 煤炭科学技术,2012,40(2):52-55.

[7] 侯松,翟文杰,董浩. 低透气性煤层深孔预裂爆破增透技术应用[J]. 煤炭技术,2017,36(1):206-208.

[8] 赵宝友,王海东. 我国低透气性本煤层增透技术现状及气爆增透防突新技术[J]. 爆破,2014,31(3):34-37.

[9] 韩颖,史晓辉,雷云,等. 液态 CO₂ 相变致裂增透预抽瓦斯技术试验研究[J]. 煤矿安全,2017,48(10):17-20.

[10] 罗朝义,江泽标,郑昌盛,等. 低透煤层 CO₂ 相变致裂增透解吸技术的应用[J]. 西安科技大学学报,2018,38(1):59-64.

[11] 王兆丰,李豪君,陈喜恩,等. 液态 CO₂ 相变致裂煤层增透技术布孔方式研究[J]. 中国安全生产科学技术,2015,11(9):11-16.

[12] 雷云,刘建军,张哨楠. CO₂ 相变致裂本煤层增透技术研究[J]. 工程地质学报,2017,25(1):215-221.

[13] 邹永滔. 煤与瓦斯突出煤层 CO₂ 相变致裂增透技术试验研究[J]. 煤矿安全,2018,49(3):5-8.

[14] 李豪君,王兆丰,陈喜恩,等. 液态 CO₂ 相变致裂技术在布孔参数优化中的应用[J]. 煤田地质与勘探,2017,45(4):31-37.

[15] LU Tingkan, WANG Zhaofeng, YANG Hongming, et al. Improvement of coal seam gas drainage by under-panel cross-strata stimulation using highly pressurized gas[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,2015,77:300-312.

(责任编辑:李 琴)

(上接第69页)

[3] 曾建平. 宁夏红墩子矿区红二井田水文地质分析及水害预防[J]. 矿业安全与环保,2012,39(5):60-62.

[4] 李志伟,陈德明,梁向阳,等. 门克庆井田水文地质条件对矿井开采顺序的影响[J]. 煤田地质与勘探,2018,46(2):124-129.

[5] 张立其,刘洋,方刚. 陕北浅埋煤层采空区积水下安全开采技术研究[J]. 煤田地质与勘探,2015,43(6):60-64.

[6] 周瑞,耿杰,李俊杰. 太原西山煤田杨庄井田煤层突水危险性分析[J]. 中国煤炭,2018,44(3):127-131.

[7] 吴铁卫,刘士君,张冀,等. 鹤岗矿区新陆煤矿主要含水层之间水力联系分析[J]. 中国煤炭地质,2016,28(1):44-47.

[8] 赵宝峰,马莲净. 基于多含水层放水试验的顶板水可疏降性评价[J]. 煤炭工程,2018,50(3):71-74.

[9] 方俊,张杰. 定向长钻孔超前疏放顶板水技术在枣泉煤矿的应用[J]. 煤炭工程,2016,48(7):56-59.

[10] 杨建,赵彩凤. 基于工作面顶板疏放水的含水层水力联

系研究[J]. 矿业安全与环保,2015,42(5):84-86.

[11] 刘国旺,常浩宇,郭均中. 唐山矿塌陷区积水与矿井潜在水力联系研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(8):223-227.

[12] 翟晓荣,沈书豪,张海潮,等. 基于 MODFLOW 的含水层间水力联系分析研究[J]. 水文地质工程地质,2015,42(6):8-11.

[13] 李全胜. 古交矿区峰峰组与上马家沟组水力联系及意义[J]. 山西焦煤科技,2017(6):35-39.

[14] 鲁建国,李飞帆,张新国,等. 深部厚冲积层下综放开采导水裂隙带高度实测[J]. 中国煤炭,2017,43(11):60-63.

[15] 张国奇,吕晓磊,李东发,等. 半固结砂岩含水层下综放开采“两带”高度实测研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(1):183-185.

(责任编辑:李 琴)