

顶板高位定向钻孔在青龙煤矿瓦斯治理中的应用

代 茂¹, 徐书荣¹, 梁道富¹, 蔡天亮¹, 曹建明²

(1. 贵州黔西能源开发有限公司青龙煤矿, 贵州 毕节 551500;

2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:顶板高位定向钻孔是进行上隅角瓦斯治理的关键技术措施。针对青龙煤矿顶板裂隙瓦斯治理需要及复杂顶板高位定向钻孔成孔难题,阐述了顶板高位定向钻孔的技术原理和技术优势;基于“三带”理论综合确定了高位定向钻孔的层位,并优化钻具组合和钻进工艺参数。在青龙煤矿 11615 工作面完成 5 个顶板高位定向钻孔的施工,最大孔深达到 612 m,单孔最大瓦斯纯流量达到 2.79 m³/min,瓦斯浓度达到 23.4%,有效地保证了工作面的安全回采。

关键词:青龙煤矿;高位定向钻孔;层位;钻具组合;瓦斯抽采

中图分类号:P634.7;TD712+.62 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)10-0058-04

Application of roof directional borehole in gas control in Qinglong Coal Mine

DAI Mao¹, XU Shurong¹, LIANG Daofu¹, CAI Tianliang¹, CAO Jianming²

(1. Qinglong Coal Mine, Guizhou Qianxi Energy Development Company Limited, Bijie Guizhou 551500, China;

2. Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: The high position directional borehole is a key technical measure for gas control in the upper corner. In view of the need for gas control of roof cracks in Qinglong Coal Mine and the difficulty in drilling high position directional boreholes in the complex roof, the technical principle and technical advantages of high position directional boreholes are expounded. Based on the theory of “three zones”, the horizons of high position directional boreholes are determined, and the drilling tool combination and drilling parameters are optimized. At the No. 11615 working face of Qinglong Coal Mine, five high position directional boreholes were completed in the roof with the maximum hole depth at 612m, the maximum gas flow rate of the single hole at 2.79m³/min, and the gas concentration up to 23.4%, which effectively ensured mining at the working face.

Keywords: Qinglong Coal Mine; high position directional borehole; layer; drilling tool combination; gas extraction

0 引言

煤层开采后顶板覆岩产生移动和破断,促使顶板覆岩产生大量采动裂隙,包括离层裂隙和穿层裂隙,采动效应导致周围煤岩体卸压增透效应增强,煤岩层透气性显著增加,大量卸压瓦斯积聚在覆岩采动裂隙及采动区内,在通风风流的影响下,卸压瓦斯在工作面上隅角聚集,引起超限,从而影响工作面安全回采^[1-4]。目前,针对上隅角瓦斯治理难题,主要采用采空区埋管、顶板高抽巷、常规顶板高位钻孔等方式进行瓦斯抽采^[5-7]。但采空区埋管瓦斯治理效

率低;顶板高抽巷需要施工专门的瓦斯抽放巷道,施工成本高、周期长;常规顶板高位钻孔轨迹不可控、钻孔深度浅,容易造成瓦斯抽采不连续、抽采时间短等问题,这些问题都极大地制约了煤矿上隅角瓦斯治理^[8]。基于此,提出采用顶板高位定向钻孔进行上隅角瓦斯治理^[9-12]。

1 青龙煤矿地质概况

青龙煤矿为煤与瓦斯突出矿井,属于近距离煤层群开采,主要可采煤层为 16 号、17 号和 18 号煤

收稿日期:2019-05-07; 修回日期:2019-08-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.10.010

作者简介:代茂,男,汉族,1991 年生,助理工程师,矿井通风与安全专业,从事煤矿开采技术相关研究工作,贵州省毕节市黔西县谷里镇青龙煤矿贵州黔西能源开发有限公司,844364872@qq.com。

引用格式:代茂,徐书荣,梁道富,等.顶板高位定向钻孔在青龙煤矿瓦斯治理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):58-61,74.
DAI Mao, XU Shurong, LIANG Daofu, et al. Application of roof directional borehole in gas control in Qinglong Coal Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):58-61,74.

层,煤层瓦斯含量高、透气性差,矿井绝对瓦斯涌出量 $165.56 \text{ m}^3/\text{min}$,矿井相对瓦斯涌出量 $80.65 \text{ m}^3/\text{t}$ 。目前,青龙煤矿采用保护层开采模式对被保护层煤层进行全面卸压,首先开采 16 号煤层。16 号煤层平均厚度 2.88 m 、瓦斯含量 $19.88 \text{ m}^3/\text{t}$ 、瓦斯压力 1.73 MPa 、硬度系数 0.37 。16 号煤层顶板岩层顶板以泥岩及粉砂质泥岩为主,次为粉砂岩,岩层稳固性极差,为不稳定顶板,采用全部垮落法管理顶板。长期以来,青龙煤矿主要采用高位钻孔配采空区埋管抽采上隅角瓦斯,治理效果不甚理想。

2 顶板高位定向钻孔瓦斯抽采机理

工作面回采后,顶板上覆岩层由于应力平衡破坏自下而上形成冒落带、裂隙带和弯曲下沉带,而裂隙带成为卸压瓦斯运移和存储的主要场所。随着工作面推进,采空区中部覆岩逐渐冒落压实,而在采空区的四周覆岩裂隙带内形成 O 形圈,且伴随整个工作面回采过程而向前移动^[2]。顶板高位定向钻孔是在工作面回采之前,在回风巷布置多个专用钻场,首先在煤层开上仰孔至煤层顶板,然后起出开孔钻具,下入定向钻具,利用随钻测量装备与技术进行定向先导孔施工,通过对钻孔轨迹的精确控制保证轨迹在 O 形圈裂隙带内有效延伸。顶板高位定向钻孔瓦斯抽采原理如图 1 所示。先导孔施工完成后,起出孔内钻具下入扩孔钻具进行全程扩孔,增大钻孔直径,使钻孔孔壁能有效沟通更多采动裂隙,其次,增大了卸压瓦斯的单位流通面积,从而达到提高瓦斯抽采效果的目的。由于顶板定向高位定向钻孔能在 O 形圈内长期稳定存在,因而能保证长时间、大流量的瓦斯抽采效果,有效降低工作面上隅角瓦斯浓度。同时,在多个钻场内施工顶板高位定向钻孔,保证钻孔轨迹在工作面回采方向上压茬搭接,有效保证工作面安全回采。相比于高抽巷及常规高位钻孔,高位定向钻孔具有施工周期短、覆盖范围广、钻

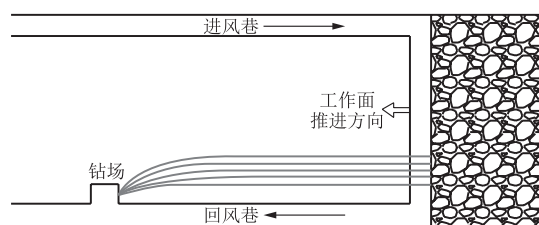


图 1 顶板高位定向钻孔瓦斯抽采原理图
Fig.1 Schematic diagram of gas extraction by high position directional boreholes

孔布置灵活、节约生产成本等优点。

3 顶板高位定向钻孔施工

3.1 钻孔层位的选择

顶板高位定向钻孔层位的优选是进行高效瓦斯抽采的技术关键,首先保证钻孔轨迹在 O 形圈内有效延伸;同时,由于青龙煤矿顶板岩层地质条件复杂,岩层稳定性较差,钻孔层位的选择还要保证利于成孔的地层条件。顶板覆岩冒落后形成“三带”的分布结构,根据公式(1)和公式(2)确定冒落带和裂隙带的发育高度(H_1 、 H_2),从而综合确定顶板高位定向钻孔的层位^[13-14]。其中 a 、 b 、 c 取值参照表 1, h 为煤层综采高度。

$$H_1 = \frac{100h}{6.2h + 10.0} \pm 2.5 \quad (1)$$

$$H_2 = \frac{100h}{ah + b} \pm c \quad (2)$$

表 1 a 、 b 、 c 取值表

Table 1 Values of a , b and c

岩性	a	b	c
坚硬岩石	1.2	2.0	8.9
中硬岩石	1.6	3.6	5.6
软弱岩石	3.1	5.0	4.0
极软弱岩石	5.0	8.0	3.0

青龙煤矿顶板岩层多以泥岩及粉砂质泥岩为主,确定 a 、 b 、 c 的值, h 取 2.88 ,然后代入到式(1)、式(2)中,冒落带高度范围为 $6.0 \sim 12.0 \text{ m}$,裂隙带高度范围为 $23.0 \sim 35.0 \text{ m}$ 。根据顶板岩层发育特征,综合确定顶板定向高位钻孔层位布置在 $25 \sim 30 \text{ m}$ 位置。

3.2 钻具组合

(1)套管孔段钻进钻具组合:一开采用“ $\text{O}98 \text{ mm}$ 平底钻头+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 高韧性外平钻杆串+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 水便”钻具组合;二开采用“ $\text{O}98/153 \text{ mm}$ 扩孔钻头+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 高韧性外平钻杆串+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 水便”钻具组合扩孔至 153 mm ;三开采用“ $\text{O}153/193 \text{ mm}$ 扩孔钻头+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 高韧性外平钻杆串+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 水便”钻具组合扩孔至 193 mm 。

(2)先导孔定向钻进钻具组合: $\text{O}98 \text{ mm}$ 定向钻头+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 螺杆马达+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 下无磁钻具+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 探管外管+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 上无磁钻具+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 通缆钻杆串+ $\text{O}73 \text{ mm}$ 水便。

(3)扩孔钻进钻具组合: $\text{O}94/153\text{ mm}$ 扩孔钻头 + $\text{O}73\text{ mm}$ 高韧性外平钻杆串 + $\text{O}73\text{ mm}$ 水便。

3.3 成孔工艺技术

钻进过程中采用滑动定向钻进工艺,钻进过程中,钻杆不回转,泥浆泵提供高压水流作为孔底螺杆钻具旋转的动力,带动钻头旋转碎岩。煤矿井下定向钻进所用螺杆钻具万向轴都具有弯外壳结构,一般选用 1.25° 结构弯角螺杆钻具,通过螺杆钻具的工具面向角的调整而实现对孔轨迹控制调整,实现受控定向钻进,保证钻孔轨迹在目标层位延伸。定向钻机为孔内钻具提供近水平方向的钻压,并为调整工具面向角及提供回转动力。

钻进过程中,采用减压给进方式,严格把控给进压力,给进压力随着孔深的增加而逐步平稳递增,泥浆泵流量为 260 L/min ,钻进时根据泥浆泵压力表判断孔内工矿, $\text{O}73\text{ mm}$ 螺杆马达孔口空载启动时压力为 2 MPa ,在孔内泥浆泵压力会随着钻孔深度平稳递增,螺杆马达负载钻进时的泵压一般高于空载泵压 $0.5\sim 1\text{ MPa}$ 。

3.4 钻孔施工过程及注意问题

11615 工作面进行顶板高位定向钻孔施工,选用 ZDY6000LD(FA) 型定向钻机、配套 FMC 泥浆泵、YHD-1000(A) 随钻测量系统、 73 mm 通缆钻杆、定向钻头、扩孔钻头等,共完成 5 个钻孔的施工,累计进尺 2445 m ,各钻孔孔深如表 2 所示。钻孔轨迹剖面图及平面图见图 2 和图 3。

表 2 钻孔孔深
Table 2 Depth of boreholes

孔号	孔深/m	孔号	孔深/m
1	480	4	159
2	591	B4	612
3	603		

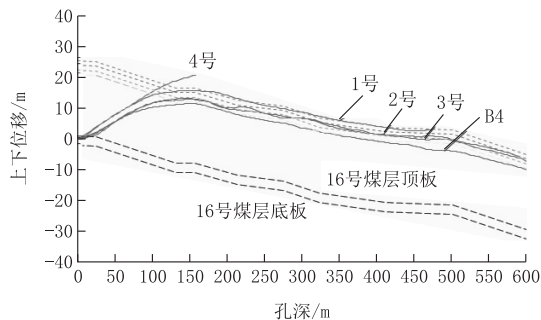


图 2 顶板高位定向钻孔轨迹剖面图

Fig.2 Profile of the high position directional borehole trajectory

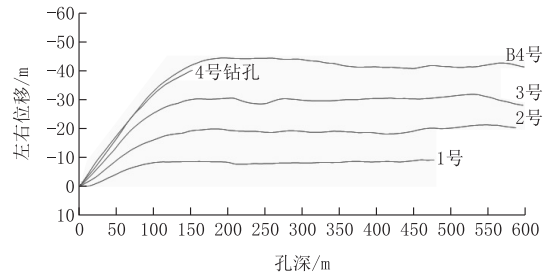


图 3 顶板高位定向钻孔轨迹平面图

Fig.3 Plan of the high position directional borehole trajectory

4 号钻孔由于在开孔时倾角过大,钻孔轨迹未能及时进入到预设层位,导致钻孔偏高,倾角过大而作为废孔终孔。结合施工过程中遇到的一些问题,在进行高位定向钻孔施工中还应注意以下问题:施工期间,由于各类客观因素,例如停电、停水、放炮、采面瓦斯点闭锁等影响施工,因此在施工过程中尽量减少或避免客观因素影响,能更大程度增加施工效率;钻进过程中,应稳定给进速度,加强冲孔,保证钻孔干净,控制起拔压力和回转压力,钻孔轨迹在剖面上尽量保证平直趋势,避免出现波谷,以利于钻渣排出,钻进过程中应注意观察孔口返水,如遇返水异常要及时处理。

4 瓦斯抽采效果分析

钻孔施工完成后,从 2017 年 1 月 11 日开始连接瓦斯负压抽放管进行连抽。由图 4 可以看出,瓦斯浓度与纯流量都经历了上升-稳定-下降三个周期,上升阶段,总管路瓦斯浓度从 12.8% 上升到 15.3% ,瓦斯纯流量 $3.99\text{ m}^3/\text{min}$ 上升到 $5.54\text{ m}^3/\text{min}$;稳定周期内,总管路瓦斯浓度保持在 14% 以上,瓦斯纯流量保持在 $4.5\text{ m}^3/\text{min}$ 左右;下降阶段,总管路瓦斯浓度下降至 6.8% 以上,瓦斯纯流量下降至 $0.26\text{ m}^3/\text{min}$,这与工作面的推进引起采空区覆岩冒落密切相关。以 2 号孔瓦斯抽采数据进行具体说明^[9,15],如图 5 所示。

(1) 上升期,煤层顶板以上采动裂隙发育程度低,采空区中部顶板覆岩首先冒落,采空区两侧的导气裂隙带发育高度滞后于采空区中部导气裂隙带的发育,因而先期瓦斯浓度和瓦斯纯流量较低。当顶板初次冒落后,瓦斯纯流量和瓦斯浓度急剧增加,瓦斯浓度从 7.8% 上升到 23% ,瓦斯纯流量 $0.8\text{ m}^3/\text{min}$ 上升到 $2.67\text{ m}^3/\text{min}$ 。

(2) 稳定期,随着工作面的推进,顶板覆岩周期

性冒落,受工作面采动效应影响,采空区两侧的导气裂隙带向上发展,顶板覆岩裂隙进一步扩展贯通,构成瓦斯运移和存储的主要通道和场所,因而能保证高浓度、大流量瓦斯抽采效果。瓦斯浓度维持在 20% 以上,瓦斯纯流量保持在 $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右。

(3) 下降期,当工作面推进过钻孔孔底时,采空区冒落覆岩裂隙闭合,逐渐趋于压实状态,孔口负压对卸压瓦斯的影响减小,因而钻孔瓦斯浓度和纯流量逐步衰减,瓦斯浓度下降至 10.5%, 瓦斯纯流量下降至 $0.16 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

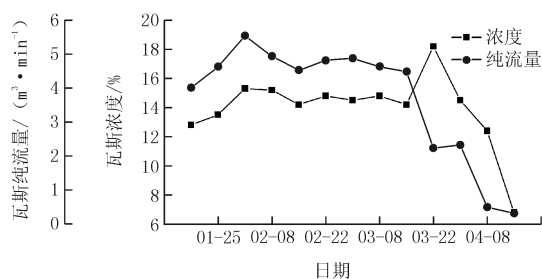


图 4 11615 轨顺瓦斯总管路瓦斯抽采情况

Fig.4 Total production of gas extraction at No.11615 track gallery

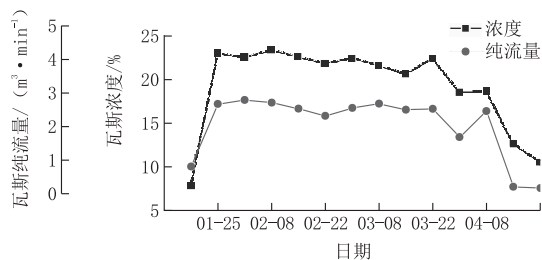


图 5 11615 轨顺 2 号钻孔瓦斯抽采情况

Fig.5 Production of gas extraction from No.2 drill hole at No.11615 track gallery

5 结论

(1) 利用顶板高位定向钻孔进行采空区瓦斯抽采和上隅角瓦斯治理在原理上是可行的,相较于常规高位钻孔和高抽巷,具有钻孔轨迹控制精度高、覆盖范围广、施工周期短等优势。

(2) 通过理论分析,结合顶板岩层工程地质特征,综合确定顶板高位定向钻孔层位在煤层以上 20~25 m。针对青龙煤层顶板复杂岩层高位定向钻孔成孔难题,通过优化钻具组合和钻进工艺参数,成功实施完成 5 个高位定向钻孔,最大钻孔深度达到 612 m。

(3) 工作面回采期间,抽采瓦斯浓度高、流量大,上隅角瓦斯浓度保持在临界值以下,有效保证了工

作面安全回采,同时也验证了顶板高位定向钻孔在青龙煤矿瓦斯治理中优势所在。

参考文献(References):

- [1] 袁亮.卸压开采抽采瓦斯理论与煤与瓦斯共采技术体系[J].煤炭学报,2009,34(1):1-8.
YUAN Liang. Theory of pressure-relieved gas extraction and technique system of integrated coal production and gas extraction[J]. Journal of China Coal Society, 2009,34(1):1-8.
- [2] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等.岩层控制的关键层理论[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.
QIAN Minggao, MIAO Xiexing, XU Jialin, et al. Key strata theory in ground control[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2000.
- [3] 李春元,张勇,李佳,等.采空区瓦斯宏观流动通道的高位钻孔抽采技术[J].采矿与安全工程学报,2017,34(2):391-397.
LI Chunyuan, ZHANG Yong, LI Jia, et al. Highly-located boreholes drainage technology of gas macroscopic flow channel in goaf[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017, 34(2):391-397.
- [4] 孙荣军,李泉新,方俊,等.采空区瓦斯抽采高位钻孔施工技术及其发展趋势[J].煤炭科学技术,2017,45(1):94-99,213.
SUN Rongjun, LI Quanxin, FANG Jun, et al. Construction technology and development tendency of high level borehole for gas drainage in goaf[J]. Coal Science and Technology, 2017,45(1):94-99,213.
- [5] 王沉,杨帅,江成玉,等.高瓦斯突出煤层工作面采空区瓦斯防治技术研究[J].贵州大学学报(自然科学版),2019,36(1):42-47.
WANG Chen, YANG Shuai, JIANG Chengyu, et al. Research on gas prevention and control technology in gob of high gas outburst coal seam[J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2019,36(1):42-47.
- [6] 张伟.紫金煤业高抽巷合理层位的确定[J].山东煤炭科技,2018(6):90-92.
ZHANG Wei. Determination of reasonable horizon of high pumping alley in Zijin Coal Industry[J]. Shandong Coal Technology, 2018(6):90-92.
- [7] 赵会波.顶板走向高位钻孔在综放面上隅角瓦斯治理中应用[J].煤炭工程,2018,50(12):69-72.
ZHAO Huibo. Application of roof high position borehole along strike in working face upper corner gas control[J]. Coal Engineering, 2018,50(12):69-72.
- [8] 宋卫华,李幼泽,韩彦龙,等.高瓦斯综放工作面高抽巷合理层位的确定[J].煤炭科学技术,2017,45(4):72-76.
SONG Weihua, LI Youze, HAN Yanlong, et al. Determination on rational layer position of high level gas drainage gateway for high gassy fully-mechanized top coal caving mining face[J]. Coal Science and Technology, 2017,45(4):72-76.
- [9] 许超,刘飞,方俊.高位定向长钻孔瓦斯抽采技术及抽采效果分析[J].煤炭工程,2017(6):78-81.
XU Chao, LIU Fei, FANG Jun. Effect analysis of gas drainage with high level directional long drilling[J]. Coal Engineering, 2017(6):78-81.

(下转第 74 页)

- HE Manchao, LI Xueyuan, LIU Bin, et al. Study on processing method of drilling data for three-dimensional modeling of engineering rock mass[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(11): 1821-1826.
- [5] 赵洪波, 何远信, 张俊岭. 三维地质建模应用于以钻代槽的方法研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(10): 166-170. ZHAO Hongbo, HE Yuanxin, ZHANG Junling. Application of three-dimensional geological modeling in drilling instead of trenching[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(10): 166-170.
- [6] 向昆明, 刘汪威, 陈剑垚, 等. 三维地质建模在土耳其天然碱对接井设计中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(10): 2-6. XIANG Kunming, LIU Wangwei, CHEN Jianyao, et al. Application of 3D geological modeling in Turkey Trona Solution Mining Project design[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(10): 2-6.
- [7] 慕冬冬, 付晶晶, 胡正欢, 等. BIM技术在深基坑工程设计中的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(S1): 773-776. MU Dongdong, FU Jingjing, HU Zhenghuan, et al. Application of BIM technology in the deep excavation engineering design[J]. Construction Technology, 2015, 44(S1): 773-776.
- [8] 宋仁波, 王细元, 王月香, 等. 基于GIS协同AutoCAD和Google SketchUp的三维地质建模方法研究[J]. 工程地质学报, 2013, 21(5): 709-715. SONG Renbo, WANG Xiyuan, WANG Yuexiang, et al. GIS coordinating AutoCAD and Google SketchUp based 3D geological modeling method[J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(5): 709-715.
- [9] 陈晓曦. AutoCAD Civil3D三维地质建模方法初探[J]. 地球, 2013, 203(3): 94-96. CHEN Xiaoxi. A preliminary study on AutoCAD Civil 3D geological modeling method[J]. The earth, 2013, 203(3): 94-96.
- [10] 高升, 邓小云. 锚杆式挡土墙的Revit族创建与应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(1): 90-94. GAO Sheng, DENG Xiaoyun. Creation and application of Revit Family of anchor rod retaining wall[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering And Architecture, 2015, 7(1): 90-94.
- [11] 李强, 龚翼, 陈伟. Autodesk Civil 3D在精确地形建模中应用的几点体会[J]. 水利规划与设计, 2008(1): 51-53. LI Qiang, GONG Yi, CHEN Wei. Some experiences in the application of Autodesk Civil 3D in accurate terrain modeling[J]. Water Resources Planning and Design, 2008(1): 51-53.
- [12] 胡宇琦. 浅谈BIM技术在深基坑中的应用[EB/OL]. http://www.lcbim.com/h-nd-963.html#_np=103_337; 2017-05-23/2019-02-01. HU Yuqi. Application of BIM technology in deep foundation pit[EB/OL]. http://www.lcbim.com/h-nd-963.html#_np=103_337; 2017-05-23/2019-02-01.
- [13] 彭曙光. BIM技术在基坑工程设计中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2012, 14(5): 129-131. PENG Shuguang. Application of BIM technology in the excavation engineering design[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2012, 14(5): 129-131.
- [14] 刘远亮. 基坑开挖对邻近地铁隧道影响的Midas GTS三维数值模拟分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(1): 70-72. LIU Yuanliang. Midas GTS 3D numerical simulation analysis on influence of foundation pit excavation to subway tunnel[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(1): 70-72.
- [15] 杨生彬, 刘志伟. 深基坑复合支护技术三维数值模拟研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11): 32-34. YANG Shengbin, LIU Zhiwei. 3D numerical simulation study on composite supporting technology of deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(11): 32-34.

(编辑 周红军)

(上接第61页)

- [10] 方俊, 石智军, 李泉新, 等. 顶板高位定向大直径长钻孔钻进技术与装备[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(7): 92-97. FANG Jun, SHI Zhijun, LI Quanxin, et al. Drilling technology and equipments on directional high level and long borehole with large diameter in roof[J]. Mining Research and Development, 2015, 35(7): 92-97.
- [11] 赵建国. 煤层顶板高位定向钻孔施工技术与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6): 137-141. ZHAO Jianguo. Construction technology and development tendency of high level directional drilling in seam roof[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6): 137-141.
- [12] 朱弘杰. 高位钻孔与采空区埋管联合抽放技术的数值模拟[J]. 山西焦煤科技, 2019, 43(1): 11-13. ZHU Hongjie. Numerical simulation of combined drainage technology with high level borehole and gob pipe laying[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2019, 43(1): 11-13.
- [13] 王耀锋, 聂荣山. 基于采动裂隙演化特征的高位钻孔优化研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(6): 86-91. WANG Yaofeng, NIE Rongshan. Study on high level borehole optimization based on evolving characteristics of mining induced fracture[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 86-91.
- [14] 闫保永. 高位定向长钻孔钻进工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(4): 55-58. YAN Baoyong. Study on drilling technique of high level directional long borehole[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(4): 55-58.
- [15] 林柏泉, 李庆钊, 杨威, 等. 基于千米钻机的“三软”煤层瓦斯治理技术及应用[J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 1968-1973. LIN Baiquan, LI Qingzhao, YANG Wei, et al. Gas control technology and applications for the three-soft coal seam based on VLD-1000 drilling systems[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(12): 1968-1973.

(编辑 韩丽丽)