

# 泥浆脉冲式随钻测量系统在高位定向孔中的应用

胡振阳, 张甲迪, 郝世俊, 赵永哲

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:**近年来,煤矿井下随钻测量系统由于其效率高、精度准的优点,已被广泛应用于煤矿瓦斯治理、地质构造勘探及水害防治中。通过在山西临汾市德通煤业现场实际应用泥浆脉冲随钻测量系统,对比中心通缆式测量装置与泥浆脉冲测量装置的精度和效率,证实新型泥浆脉冲仪器钻进效率高、节约成本、工作稳定,具有高安全性和可靠性的特性。可在高位定向孔中推广应用。

**关键词:**随钻测量系统;泥浆脉冲;钻时;精度

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)03-0020-05

## Mud pulse measuring while drilling system used in high position directional drilling

HU Zhenyang, ZHANG Jiadi, HAO Shijun, ZHAO Yongzhe

(Xi'an Research Institute of China Coal Research Institute, Xi'an Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** In recent years, the coal mine MWD system has been widely applied in CBM drainage, geological exploration and prevention and control of water disasters due to its advantages of high efficiency and accuracy. Through the field application of the mud pulse MWD system in Detong Coal Industry of Linfen city, Shanxi Province, the accuracy and efficiency of the wireline survey tool and the mud pulse survey system is compared. The result demonstrates that the mud pulse system can be widely used in high position directional holes.

**Key words:** MWD; mud pulse; drilling time; accuracy

煤矿瓦斯灾害是矿山生产过程中的主要危害之一,约束着煤矿安全高效开采<sup>[1]</sup>。目前针对瓦斯灾害主要有本煤层瓦斯治理和采空区瓦斯治理两种方式,其中采空区瓦斯治理主要包括高抽巷和高位定向钻孔两种方式<sup>[2]</sup>。本次应用主要利用中煤科工集团西安研究院有限公司生产的 ZDY6000LD 型钻机及山东中探机械公司生产的 BW600/10 型往复式泥浆泵进行施工,对比中心通缆式测量装置与泥浆脉冲测量装置两种不同测量装置施工的精度与钻进效率<sup>[3]</sup>。

根据德通煤业 2201 工作面瓦斯治理需要,在 2201 工作面回风巷布设两个钻场,两钻场中心距为 300 m,每个钻场按设计布置 4 个定向钻孔,其中 1 号钻场使用 YHD2-1000 型有线随钻测量系统<sup>[4]</sup>,2 号钻场使用 YHD3-1500 型泥浆脉冲测量系统(MWD),钻机均使用 ZDY6000LD 型钻机和

BW600/10 型往复式泥浆泵,其目标层位均为煤层顶板裂隙带下部、冒落拱上部区域<sup>[5]</sup>。

### 1 测量系统组成及特点

YHD2-1000 型有线随钻测量系统主要由防爆计算机、防爆键盘、防爆数据存储器和防爆测量探管组成<sup>[6]</sup>。YHD2-1000 型测量系统的主要特点为利用中心式通缆钻杆作为传输介质,如图 1 所示,工具面调整实时传输,校正精度高,传输速率快,但对于复杂地层无法采用定向技术,需更换回转钻具进行复合钻进,因此工艺繁杂,钻进效率低<sup>[7]</sup>。

YHD3-1500 型泥浆脉冲随钻测量系统主要由防爆计算机、防爆键盘、防爆数据存储器、防爆测量探管和防爆压力变送器等五部分组成<sup>[8]</sup>,如图 2 所示。其中防爆探管主要由测量短节、电池筒、驱动短节及

收稿日期:2018-09-29 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.03.004

基金项目:中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金项目“煤矿井下无线随钻测量钻进技术工程示范”(编号:2016XAYMS33)

作者简介:胡振阳,男,汉族,1976 年生,地质工程专业,硕士,从事煤矿井下定向钻进及地面煤层气定向钻井技术等方面的研究工作,陕西省西安市高新区锦业一路 82 号, huzhenyang2001@163.com。

引用格式:胡振阳,张甲迪,郝世俊,等.泥浆脉冲式随钻测量系统在高位定向孔中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):20-24.

HU Zhenyang, ZHANG Jiadi, HAO Shijun, et al. Mud pulse measuring while drilling system used in high position directional drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):20-24.

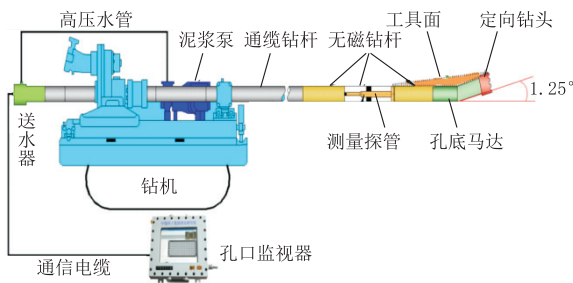


图 1 YHD2-1000 型随钻测量系统连接示意图

Fig.1 Schematic diagram of YHD2-1000 type MWD system assembly

脉冲发生器组成<sup>[9]</sup>。泥浆脉冲仪器主要的特点为利用清水或者泥浆作为传输介质,信号传输强度大;在钻进过程中可采用复合钻进方式通过复杂地层或平滑钻进;无需等待测量信号,减少钻进时间;无需中心式通缆钻杆配合,节约成本,提高了钻进效率。

### 2 钻孔轨迹设计

本次高位定向钻孔主要用于采空区上隅角瓦斯

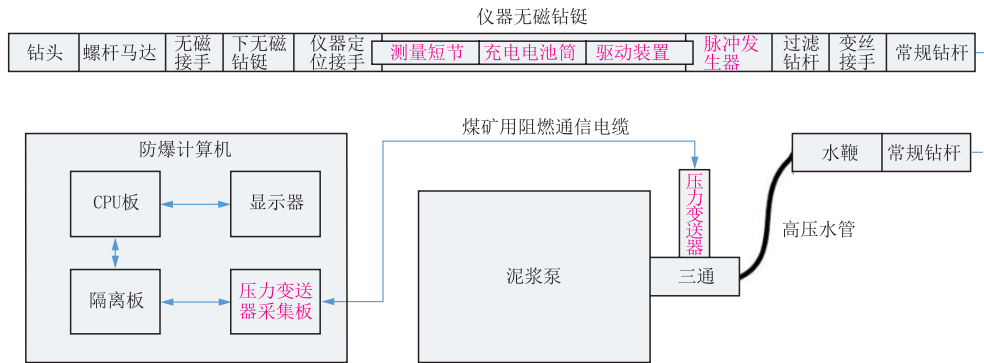


图 2 YHD3-1500 型泥浆脉冲随钻测量系统连接示意图

Fig.2 Schematic diagram of YHD3-1500 mud pulse MWD system assembly

治理,钻孔设计既要考虑钻孔瓦斯抽放效果,同时也要考虑钻孔成孔性<sup>[10]</sup>。在采空区上岩石层依次分布冒落带、裂隙带和弯曲下沉带<sup>[11]</sup>。其中冒落带破碎裂隙非常发育,裂隙带上部以离层裂隙发育为主,下部则为破碎发育为主,弯曲下沉带则不发育<sup>[12]</sup>。根据采空区裂隙发育情况及高位钻孔抽采原理,要求钻孔主层位布置理想位置在裂隙带。钻孔的有效抽放高度要大于冒落带的高度,但不能超越裂隙带的最高高度<sup>[13]</sup>。综上所述,最终钻孔垂直方向上布置在顶板以上 35~47 m,水平方向上距巷帮 28~40 m。

1 号钻场采用 YHD2-1000 型有线随钻测量系统,钻孔数为 4 个,其孔深均为 390 m,剖面层位为 47、44、41、38 m,平面层位为 40、36、32、28 m。设计轨迹见图 3。

2 号钻场采用 YHD3-1500 型泥浆脉冲测量系统,钻孔数为 4 个,其孔深均为 480 m,剖面层位为 47、44、41、38 m,平面层位为 40、36、32、28 m。设计轨迹见图 4。

### 3 定向钻孔施工

#### 3.1 定向钻进工艺流程(见图 5)

本次施工钻孔为两级孔身结构,对应的钻具组合

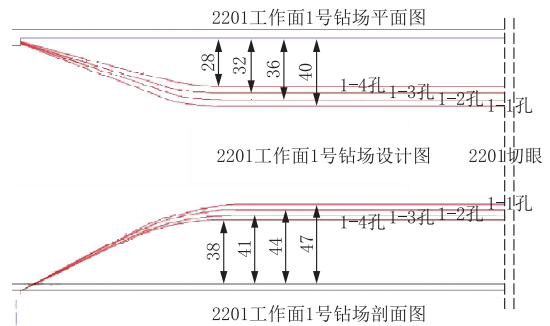


图 3 1 号钻场轨迹设计图

Fig.3 Drilling trajectory design for the first site

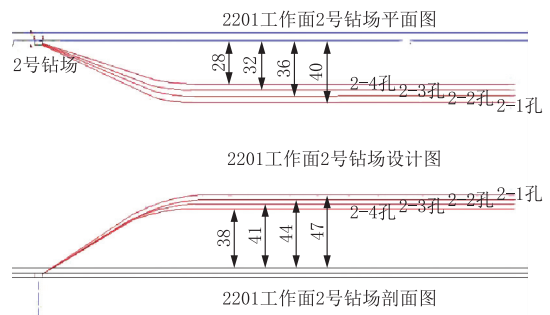


图 4 2 号钻场轨迹设计图

Fig.4 Drilling trajectory design for the second site

如下。

- (1)一级孔身结构施工用钻具组合。

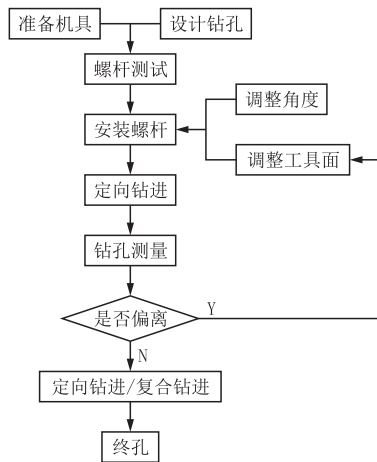


图5 定向钻进工艺流程

Fig.5 Directional drilling process

开孔:  $\text{O}98$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}94$  mm 扶正器 +  $\text{O}73$  mm 定向钻杆串;

一级扩孔:  $\text{O}98/153$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}73$  mm 回转钻杆串;

二级扩孔:  $\text{O}153/193$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}73$  mm 回转钻杆串;

孔口管规格及下入深度:  $\text{O}168$  mm 钢套管, 1.5 m/根, 孔口管下至煤层顶板以上, 进入到稳定岩层中, 注浆、固孔。

(2) 二级孔身结构施工用钻具组合。

定向钻进孔段:  $\text{O}98$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}73$  mm 孔底马达 +  $\text{O}73$  mm 下无磁钻杆 + 随钻测量系统 +  $\text{O}73$  mm 上无磁钻杆 +  $\text{O}73$  mm 通缆钻杆串。

扩孔孔段:  $\text{O}98/133$  mm PDC 扩孔钻头 +  $\text{O}73$  mm 回转钻杆串<sup>[14]</sup>。

在本次数据分析中不考虑扩孔时间, 只计算定向时间。

### 3.2 岩性

井田主要含煤地层为上石炭统太原组和下二叠统山西组。德通矿目前开采的为山西组的 2 号煤层, 可采煤层平均总厚度 6.38 m, 属厚煤层, 块度大、裂纹少、强度高、耐磨性好。具体地层岩性见表 1。

### 3.3 钻孔施工

现场施工共完成 2 个钻场, 8 个钻孔。1 号钻场完成 4 个钻孔, 总进尺 1560 m; 2 号钻场完成 4 个钻孔, 总进尺 1920 m。施工过程中, 泥浆泵排量均为 195 L/min, 泵压最高达 6 MPa。施工过程中均采用二开钻进方式, 一开钻进后扩孔, 下入  $\text{O}168$  mm 套管, 候凝结束, 二开使用  $\text{O}98$  mm 钻头钻进至设计孔深。

表 1 2 号煤及顶板岩性

Table 1 The lithology of 2# coal and roof

岩性	厚度/m	岩性说明
细砂岩	12.3	灰色, 细粒结构, 石英、长石组成
泥岩	5.3	灰—灰色、泥质结构, 含植物根部化石, 夹粉砂岩薄层
细砂岩	17.6	灰色, 细粒结构, 由石英、长石组成, 顶部深灰色
泥岩	9.8	深灰色, 泥质结构, 含植物根部化石, 夹粉砂岩薄层
细砂岩	5.5	灰色, 薄层状, 细粒结构
2 号煤	6.4	呈银灰色, 具金属光泽。质硬而多孔
泥岩	1.3	深灰、泥质结构, 含大量植物根部化石

1 号钻场实钻轨迹图如图 6 所示。

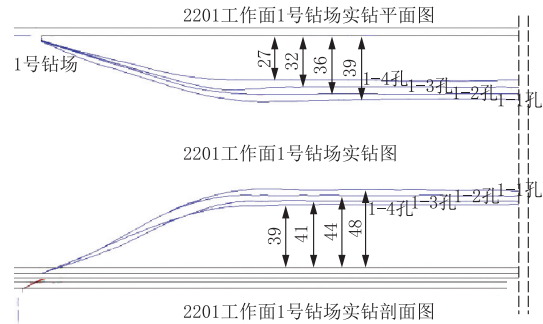


图 6 1 号钻场实钻轨迹图

Fig.6 Actual drilling trajectory at the first site

2 号钻场实钻轨迹图如图 7 所示。

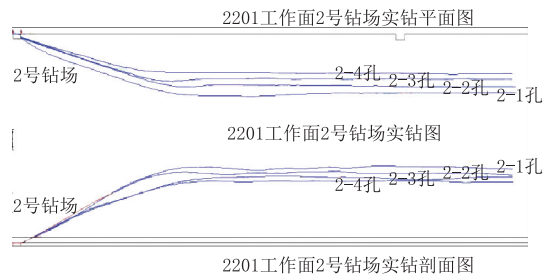


图 7 2 号钻场实钻轨迹图

Fig.7 Actual drilling trajectory at the second site

## 4 参数分析

### 4.1 轨迹分析

对比图 3 和图 6、图 4 和图 7 可知, 两种定向测量系统在实钻中对轨迹控制的可操作性强, 基本可以按照预想的轨迹施工, 满足精度要求。具体参数见表 2。

### 4.2 钻时分析

2201 工作面 1 号钻场于 2017 年 9 月 13 日早开钻, 至 10 月 25 日早班终孔, 历时 42 d 完工。

1-1 孔于 2017 年 9 月 13 日早班开钻, 9 月 20 日早班终孔; 1-2 孔于 2017 年 9 月 26 日夜班开钻,

表 2 2 种测量方式钻孔精度对比  
Table 2 Comparison of drilling precision of the two measurement methods

孔号	设计平距	设计剖距	实际平距	实际剖距
1-1	40	47	39.1	48.5
1-2	36	44	33.8	44.6
1-3	32	41	33.1	40.6
1-4	28	38	29.6	36.3
2-1	40	47	38.5	47.9
2-2	36	44	37.3	42.8
2-3	32	41	31.7	40.2
2-4	28	38	28.9	37.1

10 月 4 日早班终孔;1-3 孔于 2017 年 10 月 8 日中班开钻,10 月 15 日早班终孔;1-4 孔于 2017 年 10 月 18 日中班开钻,10 月 25 日早班终孔。

2201 工作面 2 钻场于 2017 年 11 月 12 日早开钻,至 2018 年 1 月 24 日早班终孔,历时 73 d 完工。

2-1 孔于 2017 年 11 月 12 日早班开钻,11 月 25 日早班终孔;2-2 孔于 2017 年 11 月 30 日夜班开钻,12 月 16 日早班终孔;2-3 孔于 2017 年 12 月 20 日中班开钻,2018 年 1 月 5 日早班终孔;2-4 孔于 2018 年 1 月 10 日中班开钻,2018 年 1 月 24 日早班终孔。

通过在施工 8 个钻孔的过程中,对每一根钻杆的钻进时间进行记录,并且记录相应的钻遇地层岩性,对同一层位、同一平距的钻孔进行分析,由于两钻孔的长度不一,截取 2 号钻场 390 m 之前的钻时进行对比。对比结果如图 8~11 所示。

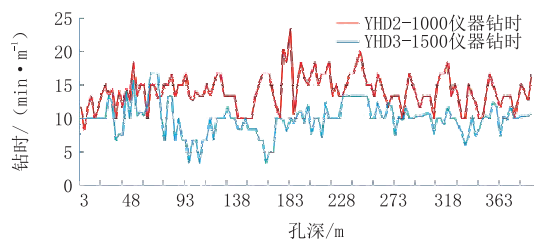


图 8 YHD2-1000 与 YHD3-1500 仪器 1 号钻孔钻时对比图  
Fig.8 Comparison of drilling time curves of YHD2-1000 and YHD3-1500 at the first hole

根据数据分析可以得出:1 号钻场 1 号孔中心通缆式测量方式的平均钻时为 14.05 min/m,2 号钻场 1 号孔 MWD 测量方式的平均钻时为 9.88 min/m;1 号钻场 2 号孔中心通缆式测量方式的平均钻时为 16.11 min/m,2 号钻场 2 号孔 MWD 测量方式的平均钻时为 11.71 min/m;1 号钻场 3 号孔中心通缆式测量方式的平均钻时为 16.19 min/m,

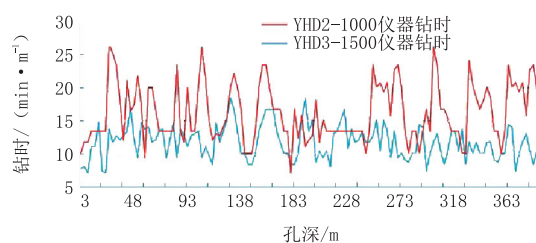


图 9 YHD2-1000 与 YHD3-1500 仪器 2 号钻孔钻时对比图  
Fig.9 Comparison of drilling time curves of YHD2-1000 and YHD3-1500 at the second hole

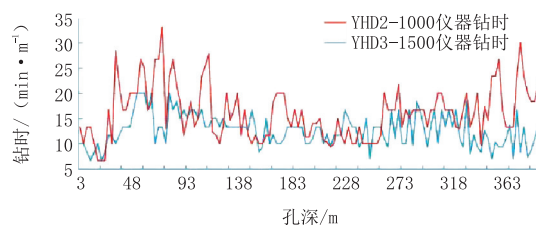


图 10 YHD2-1000 与 YHD3-1500 仪器 3 号钻孔钻时对比图  
Fig.10 Comparison of drilling time curves of YHD2-1000 and YHD3-1500 at the third hole

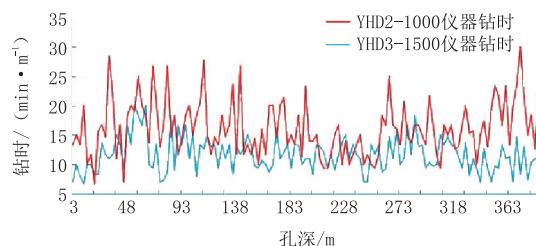


图 11 YHD2-1000 与 YHD3-1500 仪器 4 号钻孔钻时对比图  
Fig.11 Comparison of drilling time curves of YHD2-1000 and YHD3-1500 at the fourth hole

2 号钻场 3 号孔 MWD 测量方式的平均钻时为 12.63 min/m;1 号钻场 4 号孔中心通缆式测量方式的平均钻时为 16.15 min/m,2 号钻场 4 号孔 MWD 测量方式的平均钻时为 11.62 min/m。2 种测量方式平均钻时对比见表 3。

表 3 2 种测量方式平均钻时对比  
Table 3 Average drilling time comparison of the two measurement methods

孔号	中心通缆测量方式平均钻时	MWD 测量方式平均钻时
1	14.05	9.88
2	16.11	11.71
3	16.19	12.63
4	16.15	11.62

### 5 结论

本次工程在德通煤业 2201 工作面的 2 个钻场,从相同层位及相似岩性对中心通缆式测量系统与泥

浆脉冲测量系统的钻进效率进行数据分析,现场实践表明:

(1)从钻孔轨迹精度上,2种仪器均满足设计要求,可按照设计轨迹进行施工,达到预期层位,满足抽采瓦斯目的。

(2)从钻时上明显可以看出,YHD3-1500型泥浆脉冲测量系统优于常规通缆式测量系统,主要包括以下几个原因:①YHD3-1500型泥浆脉冲仪器以泥浆作为传输介质,在测量时无需等待信号传出,加杆后继续钻进,数据随泥浆信号传送;②在轨迹达到平稳段后可采用复合钻进,降低孔内复杂风险,增加钻进效率<sup>[15]</sup>。

(3)本次工程应用表明,YHD3-1500型泥浆脉冲测量系统不但可以满足定向技术要求,并且加强了钻具强度和信号传输强度,同时提高了钻进效率与安全性,对煤矿井下定向钻孔技术和钻孔装备的发展起到显著作用<sup>[16]</sup>。

#### 参考文献(References):

- [1] 姚宁平.我国煤矿井下近水平定向钻进技术的发展[J].煤田地质与勘探,2008,36(4):78-80.  
YAO Ningping. Development trend of nearly horizontal directional drilling technology in coal mines of China[J]. Coal Geology & Exploration, 2008,36(4):78-80.
- [2] 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.  
SUN Rongjun, LI Quanxin, FANG Jun, et al. The construction technology and development trend of borehole for gas extraction in goaf[J]. Coal Science and Technology, 2017,45(1):94-99.
- [3] 段会军,郝世俊,武建军.高位定向钻孔在综放工作面上隅角瓦斯抽采中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):215-218.  
DUAN Huijun, HAO Shijun, WU Jianjun. Application of high-position directional drilling hole for gas extraction at upper corner in fully mechanized caving face[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):215-218.
- [4] 石智军,温榕,方俊,等.煤层井下定向钻进用随钻测量系统的研制[J].煤炭科学技术,2013,41(3):16-20,69.  
SHI Zhijun, WEN Rong, FANG Jun, et al. Research and development on drilling measuring system of directional drilling in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2013,41(3):16-20,69.
- [5] 石智军,董书宁,姚宁平,等.煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2013,41(3):1-6.  
SHI Zhijun, DONG Shuning, YAO Ningping, et al. Technology and equipment of horizontal measuring directional drilling in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2013,41(3):1-6.
- [6] 徐秀杰,陈若铭,罗良波,等.HZMWD无线随钻测量与传输系统的研制与应用[J].新疆石油天然气,2008,4(4):66-68,76.  
XU Xiujie, CHEN Ruoming, LUO Liangbo, et al. The research and application of HZMWD[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2008,4(4):66-68,76.
- [7] 姚宁平,张杰,李泉新,等.煤矿井下定向钻孔轨迹设计与控制技术[J].煤炭科学技术,2011,39(10):53-57.  
YAO Ningping, ZHANG Jie, LI Quanxin, et al. Tracing design and control technology of directional drilling borehole in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2011,39(10):53-57.
- [8] 李霄尖,姚精明,何富连,等.高位钻孔瓦斯抽放技术理论与实践[J].煤炭科学技术,2007,35(4):16-21.  
LI Xiaojian, YAO Jingming, HE Fulian, et al. Theory and practices on high level borehole gas drainage technology[J]. Coal Science and Technology, 2007,35(4):16-21.
- [9] 李泉新.煤矿井下定向钻孔轨迹设计与计算方法[J].煤矿安全,2014,45(2):141-144.  
LI Quanxin. Design and calculation method of directional borehole trajectory in coal mine underground[J]. Safety in Coal Mines, 2014,45(2):141-144.
- [10] 金新.顶板岩层定向卸压瓦斯抽采钻孔钻进关键技术[J].煤田地质与勘探,2016,44(3):124-127.  
JIN Xin. The key technology for drilling pressure-releasing gas drainage hole in roof strata[J]. Coal Geology & Exploration, 2016,44(3):124-127.
- [11] 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 equipment for large diameter and long hole with high direction of roof[J]. Mining Research and Development, 2015,35(7):92-97.
- [12] 李泉新,石智军,史海岐.煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J].煤田地质与勘探,2014,42(2):85-88,92.  
LI Quanxin, SHI Zhijun, SHI Haiqi. The application of directional drilling technology in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2014,42(2):85-88,92.
- [13] 孙荣军,石智军.随钻测量定向钻进技术在煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工中的应用研究[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集.北京:地质出版社,2011:228-235.  
SUN Rongjun, SHI Zhijun. Research on application of directional drilling technology in underground gas extraction and drilling[C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Sixteenth National Exploration Engineering (Drilling and Tunneling) Academic Conferences. Beijing: Geological Publishing House, 2011:228-235.
- [14] 许超,李泉新,刘建林,等.煤矿瓦斯抽采定向长钻孔高效成孔工艺研究[J].金属矿山,2011,(6):39-41,55.  
XU Chao, LI Quanxin, LIU Jianlin, et al. Research on high efficient long directional drilling process for gas drainage in coal mine[J]. Metal Mine, 2011,(6):39-41,55.
- [15] 黄红飞.煤矿井下随钻测量定向钻进技术探究[J].陕西煤炭,2018,37(3):137-139.  
HUANG Hongfei. Research of measurement while drilling and directional drilling technology in coal mine[J]. Shaanxi Meitan, 2018,37(3):137-139.
- [16] 高珺.矿用随钻测量系统中数据传输技术研究[J].中州煤炭,2016,(4):115-117,121.  
GAO Jun. Research on data transmission technology in mine-used MWD systems[J]. Zhongzhou Coal, 2016,(4):115-117,121.

(编辑 韩丽丽)