

定向钻进技术与装备在穿层定向长钻孔中的应用

宋传祥¹, 贾楠生¹, 季文森², 张尚旺¹

(1. 兖矿东华建设有限公司, 山东 邹城 273500; 2. 贵州怡德稳健钻探工程有限责任公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要:针对硫磺沟煤矿工作面常规施工单孔深度不足、有效孔段短、钻进施工效率低、钻孔孔径小等诸多问题,提出采用窄体式ZDY4000LD(C)型履带钻机、第二代随钻测量系统(YHD2-1000(A)型)等附属定向设备进行穿层定向长钻孔成孔技术,以提高钻孔成孔精度、钻孔深度,增大钻孔孔径等参数,减小煤层因受采动影响,导致工作面瓦斯涌出量增大的问题。现场试验施工了4个大直径穿层定向长钻孔,孔深300 m以上钻孔成孔率达到100%,孔深最深399 m,最大钻孔孔径193 mm,钻进总进尺1581 m,平均孔深395.25 m,钻孔抽采效率显著增加。其中3号钻孔最大抽采混合流量8.3 m³/min,最大抽采纯量1.6 m³/min,瓦斯抽采浓度51%,瓦斯抽采效果显著。

关键词:定向钻进装备;定向钻进技术;穿层定向钻孔;钻进效果;随钻测量

中图分类号:TD713⁺.3;P634.7 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)08-0083-06

Application of directional drilling technology and equipment in cross-bed directional long hole drilling

SONG Chuanxiang¹, JIA Nansheng¹, JI Wenmiao², ZHANG Shangwang¹

(1. Yankuang Donghua Construction Co., Ltd., Zoucheng Shandong 273500, China;

2. Guizhou Yide Wenjian Drilling Engineering Co., Ltd., Guiyang Guizhou 550000, China)

Abstract: In light of the problems such as insufficient single hole depth, short effective hole interval, low drilling efficiency, small drilling diameter, etc. with conventional drilling from the working face at Liuhuanggou Coal Mine, it was proposed to use the narrow compact ZDY4000LD (C) type crawler drill, and directional drilling tools and accessories such as the second generation MWD system (YHD2-1000 (A)) to drill cross-bed directional long holes so as to improve drilling accuracy, and increase hole depth and drilling diameter, while reduce increased working face gas emission problems due to coal mining. Four directional, large diameter, cross-bed long holes were field test-drilled with depth over 300m, hole completion rate up to 100%, the deepest depth of 399m, the largest diameter of Ø193mm, the total drilling footage of 1581m, average depth of 395.25m, and significant increase in borehole gas extraction efficiency. Among them, the No. 3 borehole provided the maximum extraction mixed flow rate of 8.3m³/min, the maximum extraction net volume 1.6m³/min, and the gas extraction concentration 51%, resulting in significant gas extraction effect.

Key words: directional drilling equipment; directional drilling technology; cross-bed directional drilling; effect of drilling; MWD

瓦斯灾害是矿山建设与生产过程中的主要灾害之一,其危险性与破坏性巨大,给煤矿安全生产造成很大的隐患和经济损失^[1]。近年来,随着煤矿综采工艺的发展,工作面回采速度加快,大大提高了生产效率,但与此同时工作面瓦斯涌出量剧增,

带来安全生产隐患,成为制约煤矿安全高效开采的关键因素^[2]。

煤矿工作面采用综合机械化放顶煤工艺,具有工作面回采距离长、回采速度快等优势。但因工作面受采动影响,导致采放落煤、开采层煤壁、采空区

收稿日期:2021-01-18; 修回日期:2021-05-12 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.08.013

作者简介:宋传祥,男,汉族,1970年生,高级工程师,副总工程师兼兖矿地质灾害防治工程研究中心主任,探矿工程专业,硕士,长期从事地质勘探及管理工作,山东省邹城市东滩路1029号,scx1208@163.com。

引用格式:宋传祥,贾楠生,季文森,等.定向钻进技术与装备在穿层定向长钻孔中的应用[J].钻探工程,2021,48(8):83-88.

SONG Chuanxiang, JIA Nansheng, JI Wenmiao, et al. Application of directional drilling technology and equipment in cross-bed directional long hole drilling[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 83-88.

遗煤、邻近煤岩层瓦斯涌出居高不下,造成回风巷以及上隅角瓦斯浓度超限^[3-5]。目前工作面瓦斯治理已形成多种工艺方式^[6-8],有上隅角埋管采空区瓦斯抽采^[9]、高位走向长钻孔瓦斯抽采^[10]等方式,但上隅角埋管采空区抽采方式工程量大,瓦斯抽采效率有限,抽采效果不佳^[11];高位走向长钻孔需要在顶板上部挖掘钻场,导致巷道施工量大,设备搬迁不方便,钻场通风、坡度较高等复杂问题,存在极大安全隐患^[12]。由于钻进设备能力不足、以及钻具限制,造成钻孔成孔率低、钻孔孔径小和钻孔轨迹不可控等问题,影响瓦斯抽采效率^[13]。基于此,本文提出采用煤矿用履带式全液压坑道钻机、随钻测量系统以及附属配套定向机具,结合定向钻进轨迹控制技术,施工穿层定向长钻孔,以此提高钻孔成孔率、钻孔深度以及钻孔孔径,实现工作面瓦斯高效抽采,大大降低工作面瓦斯浓度,实现安全高效生产。

1 工作面概况

硫磺沟矿区(9-15)08号煤层位于西山窑组下段下部,是井田内主要可采煤层,也是主采煤层,是

井田唯一特厚煤层。全井田发育,其厚度变异系数为13.92%,全区稳定可采,为稳定煤层,可采指数为100%。(9-15)煤层在09、10号煤层之间存在夹矸,夹矸最大厚度约7 m。(9-15)08号煤层厚度自东向西逐渐增厚,煤厚33.36~35.69 m,平均34.53 m,工作面煤层倾角21°~25°,平均倾角23°。开采方式为走向长壁后退式综采放顶煤采煤法,由于放顶面积大,导致瓦斯大量涌出,对安全生产造成威胁。

工作面采用普通回转钻机钻进施工煤层预抽瓦斯孔,但由于钻机能力不足以及钻具的局限性,施工钻孔浅、钻孔孔径小,钻孔轨迹不可控,一般孔深不超过100 m,且有效抽采孔径小,导致抽采能力不足。另外高位钻场施工长钻孔存在轨迹盲区,造成有效抽采段偏离抽采区域,导致瓦斯抽采效果不理想,且浪费大量钻孔进尺,最终影响工作面瓦斯治理效果。因此迫切需要一种行之有效的瓦斯治理技术。

(9-15)08号煤层顶底板岩性见表1,综合地层情况见表2。

表1 (9-15)08号煤层及顶底板岩性

Table 1 Lithology of (9-15) 08 coal seam and roof and floor

地层名称	岩性	岩层厚度/m	岩性表述
基本顶	细砂岩	1.28~7.79	泥质细砂岩,顶部有一层炭质泥岩
直接顶	粉砂岩	1.01~5.42	浅灰色,致密块状,含植物根系化石
(9-15)08号煤层	煤	33.36~35.69	条痕为黑色带褐色,光泽暗淡,硬度较大,韧性较强
直接底	炭质泥岩	3.55~5.67	灰白色,厚层铝土质泥岩,块状结构,顶部含植物根系化石
基本底	粉砂岩	3.46~5.03	灰色,铝土质、铝质粉砂岩,块状结构

2 穿层定向长钻孔抽采卸压瓦斯方案

根据(9-15)08号工作面实际情况,回风巷道处于未卸压(9-15)08号煤层中,工作面回采进行放顶煤垮落时采空区大量瓦斯涌出,危及安全生产,降低瓦斯涌出量是瓦斯治理的关键因素。因此采空区高效瓦斯抽采技术,也就是穿层定向长钻孔技术是减少采空区瓦斯涌出量的关键有效方法。

采用穿层定向长钻孔进行卸压煤层瓦斯抽采时,利用定向钻进轨迹控制技术,按照预设的钻孔轨迹层位,将钻孔调整至目标层位,保持钻孔延伸至目标靶区范围内直至终孔。最后进行(9-15)08号煤

层段扩孔工艺,下套管稳孔壁方法,利用先导钻进扩孔技术,增大钻孔孔径,加大瓦斯抽采通道半径。利用该技术瓦斯抽采效果显著提高,有效减少了(9-15)08号煤层卸压瓦斯涌出量。

3 穿层定向长钻孔配套设备及技术

3.1 穿层定向长钻孔配套装备

3.1.1 钻机

ZDY4000LD(C)型煤矿用履带式全液压坑道钻机,属于低转速大转矩钻机,体积宽度小、移动灵活、布局合理,适合穿层定向长钻孔施工,其结构如图1所示。该定向钻机采用多个独立的液压回路实

表 2 (9-15)08 号煤层综合地层情况

Table 2 Comprehensive stratigraphic conditions of (9-15) 08 coal seam

层位	层次	煤层及标志层	厚度/m	岩 性 描 述
侏罗系西 山窑组下 段	1	粉砂岩	4.17	灰黑色,细平行层理,夹细砂岩条带
	2	泥岩	2.35	灰黑色,含炭质,中间夹煤线
	3	4~5 号煤层	6.15	黑色,属全亮型煤,油脂光泽
	4	粉砂岩	2.12	灰黑色,泥质胶结,具塑性、易膨胀
	5	7 号煤层	2.09	黑色,全亮型煤,以亮煤为主,油脂光泽
	6	粉砂岩	0.96	灰色,泥质粉砂岩,平行层理
	7	细砂岩	1.41	灰色,钙细砂岩,夹植物炭屑
	8	泥岩	10.15	灰色,粉砂质泥岩,夹植物炭屑
	9	粉砂岩	2.01	灰色,泥质粉砂岩,平行层理
	10	细砂岩	2.42	灰白色,致密块状,平行层理,泥质胶结
	11	粉砂岩	2.11	浅灰色,含泥质,致密、块状,含植物根系
	12	(9-15)08 号煤层	33.8	黑色,光泽暗淡,密度中等,硬度较大,平坦状断口 为主,块状结构,为暗淡型煤
	13	炭质泥岩	4.63	黑色,上部含钙质,下部含砂质,块状
	14	粉细砂岩互层	4.95	细砂岩为主,含大量植物碎屑化石,薄层状

现集成设计,占用空间小,维护保养方便,有效降低钻机能耗。转速和转矩可分别在 60~210 r/min 与 1050~4000 N·m 无级调变,钻机自动化程度高。



图 1 ZDY4000LD (C) 型定向钻机

Fig.1 ZDY4000LD (C) directional drilling machine

3.1.2 随钻测量系统

钻孔轨迹按照预设的目标层位精准钻进是定向钻进技术的关键,钻孔轨迹各项参数能够实时显示,保证钻孔轨迹在地层空间中具体位置。

YHD2-1000(A)型随钻测量系统示意图 2。测量精度为:倾角测量范围 $-90^{\circ}\sim+90^{\circ}$,允许误差 $\pm 0.2^{\circ}$;方位角测量范围 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$,允许误差 $\pm 1.5^{\circ}$;工具面向角测量范围 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$,允许误差 $\pm 1.5^{\circ}$ 。

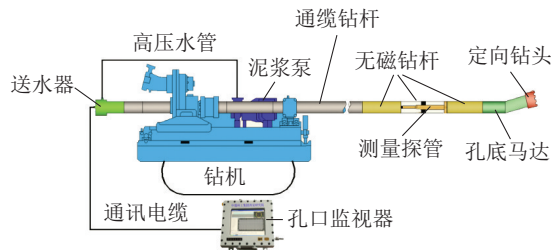


图 2 YHD2-1000(A)型随钻测量系统示意

Fig.2 Schematic diagram of YHD2-1000(A) MWD system

3.1.3 附属配套定向机具

(1) 钻杆: $\varnothing 73$ mm 普通钻杆, $\varnothing 73$ mm 整体式螺旋通缆钻杆, $\varnothing 73$ mm 无磁钻杆。

(2) 螺杆马达: $\varnothing 73$ mm 螺杆马达 (1.25° 弯角), 长度 2.85 m。

(3) 随钻测量送水器: 可实现送水器不用拆卸即可测量孔内测量探管信号, 提高施工效率。

3.2 定向钻进技术

目前煤矿井下定向钻进技术与装备取得了长足的进步并不断发展与完善^[14-16]。定向钻进技术是指采用人工造斜工具使钻孔按设计要求进行延伸钻到预定目标的一种钻进方法。装备采取 ZDY4000LD (C) 型定向钻机、随钻测量系统以及螺杆钻具, 进行定向钻进施工时, 整体式螺旋通缆钻杆、无磁钻杆等钻具不发生转动, 在钻机给进压力推进下滑动钻进,

螺杆马达转子带动钻头进行回转钻进破碎岩石。根据钻孔设计轨迹参数,通过调整工具面向角,使钻孔实际轨迹按照设计轨迹延伸直至钻进目标靶区或者靶点。

4 现场试验

4.1 穿层定向长钻孔设计

根据(9-15)08号工作面轨道顺槽实际情况,目前进入未卸压实体煤中的巷道距离为400 m,在回风巷开拓1个钻场,钻场布置4个定向钻孔,封孔管采用 $\Phi 127$ mm的铁质套管全程下入煤层并进入岩层2~3 m,利用穿层定向长钻孔抽采卸压瓦斯。根据(9-15)08号工作面综合地层情况(表2),(9-15)08号煤层顶板与泥岩段之间有厚度为6.54 m的粉砂岩、细砂岩,为了考虑穿层定向长钻孔成孔效果,将定向长钻孔布置在砂岩中,提高穿层定向长钻孔的覆盖面积及利用率。穿层定向长钻孔设计参数如表3所示。

表3 穿层定向长钻孔设计参数
Table 3 Design parameters of cross-bed directional long boreholes

孔号	距煤顶板 高度/m	距回风巷 距离/m	一级孔 径/mm	二级孔 径/mm	孔深/m
1	2	0	193	98	390
2	2	3	193	98	390
3	2	6	193	98	390
4	2	9	193	98	390

4.2 穿层定向长钻孔施工工艺

4.2.1 钻孔结构

一级孔径193 mm,孔深自开孔位置至煤岩交界处,下入 $\Phi 127$ mm铁质套管;二级孔径98 mm至终孔。

套管型号及长度: $\Phi 127$ mm铁质套管,长度为自开孔位置至煤岩交界处。

4.2.2 开孔

开孔采用普通回转钻进工艺,主要目的是安装孔口管和孔口四通装置,并连接抽采系统,实现边钻边抽采,防止钻孔施工过程中瓦斯超限。

(1)先导孔采用“ $\Phi 98$ mm PDC 钻头+ $\Phi 73$ mm 大通径宽翼片螺旋钻杆”钻具组合,在煤层中回转钻进至煤岩交界处。

(2)二次扩孔采用“ $\Phi 133$ mm PDC 扩孔钻头+ $\Phi 73$ mm 大通径宽翼片螺旋钻杆”钻具组合,回转扩孔钻进至煤岩交界处。

(3)三次扩孔采用“ $\Phi 193$ mm PDC 扩孔钻头+ $\Phi 73$ mm 大通径宽翼片螺旋钻杆”钻具组合,回转扩孔钻进至煤岩交界处。

(4)按设计要求下入 $\Phi 127$ mm铁质套管,并进行注浆固管。

4.2.3 定向钻进

定向钻进主要采用滑动钻进工艺,同时在钻孔轨迹参数变化较小阶段,可以采取复合定向钻进工艺^[16]。

采用的定向钻具组合: $\Phi 98$ mm PDC 钻头+ $\Phi 73$ mm 液动螺杆马达+孔口供电测量系统+ $\Phi 73$ mm 整体式螺旋随钻测量钻杆,钻进至目标孔深。

4.2.4 封孔

采用聚氨酯封孔器、电动注浆泵、 $\Phi 127$ mm 铁质套管(2 m/根)、 $\Phi 40$ mm 注浆管(返浆管)、塑料软管、封孔袋、聚氨酯、水泥等材料。采用“两堵两注”封孔方法,对钻孔外段20 m范围带压注浆封孔。两堵是采用聚氨酯封孔器封堵,封堵段为钻孔0~2 m和18~20 m处;两注是对中间2~18 m段两次带压注水泥浆。第一次注浆返浆后,关闭返浆球阀,加压注浆,压力达到0.5 MPa时停止注浆,间歇2 h后,待浆液沉淀,水分渗透到煤体再次加压注浆,注浆泵压力达到1.5 MPa后,注浆结束。

4.3 穿层定向长钻孔施工情况

现场试验施工了4个大直径穿层定向长钻孔,1号孔深399.0 m,2号孔深394.5 m,3号孔深394.5 m,4号孔深393.0 m,最大钻孔孔径193 mm,钻进总进尺1581 m,平均孔深395.25 m,施工统计如表4所示,实钻轨迹如图3所示。

5 瓦斯抽采效果

硫磺沟煤矿(9-15)08号工作面4个穿层定向长钻孔施工完毕,开始检测瓦斯抽采效果。于2020年11月1日开始检测瓦斯负压抽采,4个穿层定向长钻孔均显示瓦斯数据,截止到2021年1月7日共67 d持续稳定抽采。其中3号钻孔最大抽采混合流量达到8.3 m³/min,最大抽采纯量1.6 m³/min,瓦斯抽采浓度51%。4个钻孔平均瓦斯纯量1.17 m³/min,瓦斯抽采效果显著。4个钻孔瓦斯抽采数据见表5。

表4 穿层定向长钻孔施工统计

Table 4 Drilling data of cross-bed directional long boreholes

孔号	距煤层顶板高度/m	距回风巷距离/m	煤层段扩孔深度/m	煤层段扩孔最大孔径/mm	下入套管深度/m	孔深/m
1	2.2	0.2	70.5	193	72	399
2	2.1	3.0	72.0	193	74	394.5
3	2.0	6.5	73.5	193	76	394.5
4	1.8	9.5	72.0	193	74	393

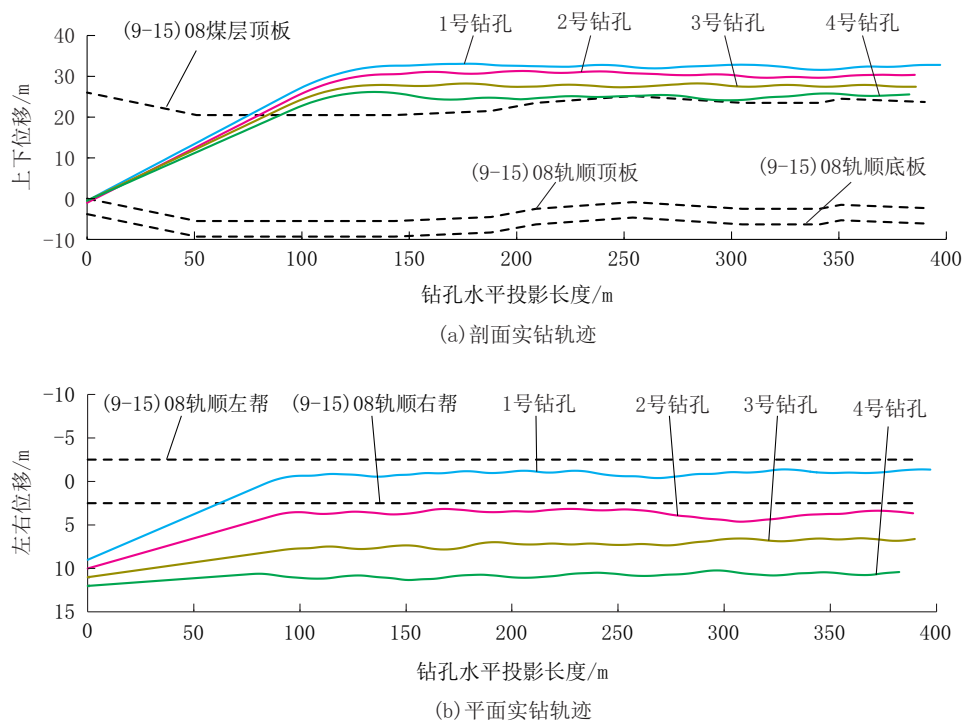


图3 穿层定向长钻孔实钻轨迹

Fig.3 As-drilled trajectories of the cross-bed directional long boreholes

表5 钻孔瓦斯抽采数据

Table 5 Gas extraction data of the boreholes

孔号	距煤层顶板高度/m	距回风巷距离/m	平均瓦斯浓度/%	平均抽采流量/(m ³ ·min ⁻¹)	平均瓦斯纯量/(m ³ ·min ⁻¹)
1	2.2	0.2	45	5.0	1.10
2	2.1	3.0	48	5.3	1.12
3	2.0	6.5	51	5.6	1.26
4	1.8	9.5	50	5.5	1.20

6 结语

(1)采用ZDY4000LD(C)型定向钻机、YHD2-1000(A)型随钻测量系统、配套定向钻具等,利用定向钻进技术精准控制钻孔轨迹按照预设的目标钻进延伸,大大提升了钻孔轨迹控制精度,提高了钻孔成

孔率,钻孔抽采效果显著提高。

(2)4个穿层定向长钻孔深度均突破300 m,最深孔深达到399 m,平均孔深395.25 m,钻孔孔径最大达到193 mm,突破了常规钻机能力不足的缺陷,大大提高钻孔抽采时效性。

(3)钻孔平均瓦斯纯量1.17 m³/min,钻孔长达67 d持续稳定抽采,保证了工作面瓦斯浓度处于安全区间,为煤矿综合机械化采煤提供了安全保障。

参考文献(References):

- [1] 孙荣军,李泉新,方俊,等.采空区瓦斯抽采高位钻孔施工技术与发展趋势[J].煤炭科学技术,2017,45(1):94-99.
SUN Rongjun, LI Quaxin, 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.
- [2] 方新秋,耿耀强,王明.高瓦斯煤层千米定向钻孔煤与瓦斯共采机理[J].中国矿业大学学报,2012,41(6):885-892.
FANG Xinqiu, GENG Yaoqiang, WANG Ming. Kilometer directional drilling: Simultaneous extraction of coal and gas from a high gas coal seam[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(6):885-892.
- [3] 董洪凯.高突矿井瓦斯抽采防突评价体系的构建及应用[J].煤炭科学技术,2016,44(2):84-88.
DONG Hongkai. Application and establishment on evaluation system of gas drainage and outburst prevention to high outburst mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(2):84-88.
- [4] 胡智芳.区域瓦斯治理方案及效果分析[J].工矿自动化,2018,44(8):19-23.
HU Zhifang. Regional gas control scheme and effect analysis[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(8):19-23.
- [5] 陈殿赋,鲁义.工作面上隅角瓦斯综合治理技术的研究及应用[J].煤炭科学技术,2013,41(10):57-59.
CHEN Dianfu, LU Yi. Research and application on comprehensive gas treatment technology in upper corner of working face[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(10):57-59.
- [6] 林柏泉,张仁贵.U型通风工作面采空区瓦斯涌出及其治理[J].煤炭学报,1998(2):45-50.
LIN Baiquan, ZHANG Rengui. Gas emission from the goaf of U-shaped ventilated working face and its treatment[J]. Journal of China Coal Society, 1998(2):45-50.
- [7] 卢平,方良才,童云飞,等.深井煤层群首采层Y型通风工作面采空区卸压瓦斯抽采与综合治理研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(3):456-462.
LU Ping, FANG Liangcai, TONG Yunfei, et al. Study on gas drainage and comprehensive treatment of unloading gas in goaf of Y-type ventilation face in the first mining layer of deep coal seam group[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30(3):456-462.
- [8] 马骏驰.顶板高位斜交钻孔治理采空区瓦斯技术研究[D].淮南:安徽理工大学,2013.
MA Junchi. Oblique borehole goaf governance roof high technology research [D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2013.
- [9] 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.
- [10] 李川.黄陵矿区定向长钻孔瓦斯预抽技术试验研究[J].中国煤炭,2015,41(2):110-113.
LI Chuan. Research on gas pre-drainage via directional long borehole drilling in Huangling mining area [J]. China Coal, 2015, 41(2):110-113.
- [11] 董燕飞,李小平,王永.大直径钻孔代替横贯埋管抽采上隅角瓦斯浅析[J].山东煤炭科技,2019,14(11):113-115.
DONG Yanfei, LI Xiaoping, WANG Yong. Analysis of gas drainage in the upper corner by large diameter drilling instead of cross buried pipe[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2019, 14(11):113-115.
- [12] 段会军,郝世俊,王毅.定向钻进技术与装备在顶板大直径长钻孔中的应用[J].煤矿机械,2020,41(10):145-148.
DUAN Huijun, HAO Shijun, WANG Yi. Application of directional drilling technology and equipment in roof large diameter long hole[J]. Coal Mine Machinery, 2020, 41(10):145-148.
- [13] 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.
- [14] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下1800m水平定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2015,43(2):109-113.
SHI Zhijun, LI Quanxin, YAO Ke. Underground mine 1800m horizontal directional drilling technology and equipment [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2):109-113.
- [15] 姚宁平,姚亚峰,方鹏,等.我国煤矿坑道钻探装备技术进展与展望[J].钻探工程,2021,48(1):81-87.
YAO Ningping, YAO Yafeng, FANG Peng, et al. Advances and outlook of coal mine tunnel drilling equipment and technology[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(1):81-87.
- [16] 姚克.煤矿井下智能化钻机及问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):48-52,71.
YAO Ke. Intelligent drilling rig for coal mines and discussion on problems[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(10):48-52,71.
- [17] 于成凤,金新,曹建明.贵州大湾煤矿复杂地层井下定向钻进施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):24-27.
YU Chengfeng, JIN Xin, CAO Jianming. Downhole directional drilling construction technology in complex formation of Dawan Coal Mine in Guizhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(3):24-27.

(编辑 荐华)