

# 煤矿井下精准对穿巷道疏放水孔定向成孔技术研究

冯达晖

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077)

**摘要:**针对钱营孜煤矿西三轨道上山精准对穿巷道疏放水钻孔施工距离长、精度要求高、地层断层成孔性差等技术难点,通过对大功率定向钻进装备优选、钻孔轨迹精确设计、钻孔轨迹精准控制、复合定向钻进强排渣等方面的技术研究,实现疏放水孔钻进至 443 m 从目标巷道预定区域精确对穿贯通,上下误差 0.19 m,水平位移误差 1.72 m,自 2017 年 10 月 28 日巷道贯通后,截止 2017 年 12 月 1 日总出水量 3200 m<sup>3</sup>,有效保障西三轨道上山和西三回风上山的掘进安全。

**关键词:**煤矿井下;精准对穿巷道;疏放水;定向成孔技术;轨迹设计和控制

**中图分类号:**P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)03-0033-04

**Research on Directional Hole-forming Technology of Drainage Hole for Accurate Targeting Underground Coal Mine Laneway/FENG Da-hui** (Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** In view of the technical difficulties of long distance drilling, high accuracy and poor fault formation in the drainage hole construction for uphill Xisan rail laneway construction in Qianyingzi coal mine, through the technical study on optimization choice of high-power directional drilling equipments, precise design and control of drilling trajectory and strong slag discharge by composite directional drilling, the drainage hole was drilled 443m accurately targeting the predetermined site of laneway with the up-down error of 0.19m and the horizontal displacement error of 1.72m. By the end of December 1, 2017, the total discharge amount reached 3200m<sup>3</sup>, the tunneling safety of uphill rail and uphill return air channel are effectively protected.

**Key words:** underground coal mine; accurate targeting at laneway; water discharge; directional hole-forming technology; design and control of drilling trajectory

煤矿井下定向钻进技术由于能够实现长钻孔定向钻进和对钻孔轨迹的主动控制,目前广泛应用于本煤层瓦斯抽采钻孔施工、顶板高位钻孔、顶(底)板梳状瓦斯抽采钻孔、探放水钻孔、地质勘探钻孔以及顶(底)板注浆加固钻孔等岩层钻孔施工<sup>[1-6]</sup>。煤矿井下定向钻进主要可分为两大目标,一是依据目标层位的轨迹布置定向钻进;一是依据终孔位置的精准定向钻进。一般而言,前者对精度的要求相对较低,而对于要求终孔位置的精准定向,对钻孔轨迹设计、轨迹控制精度等方面都有很高的要求<sup>[7-10]</sup>。

皖北煤电钱营孜煤矿已掘巷道积水,考虑经济性和可行性,针对复杂地质条件,对当前施工装备和技术进行研究,制定合理的定向钻进技术方案,顺利完成精准对穿巷道放水孔施工,实现预期放水目标。通过研究和应用,对精准对穿巷道的定向钻孔施工

技术有了一定的研究,积累了宝贵经验,为下一步拓展应用奠定了基础。

## 1 研究背景

### 1.1 研究目的

钱营孜煤矿西三采区西三轨道上山、西三回风上山的上部施工段因积水停止掘进,2 条巷道内均有 40 m 巷道积水,为解决从西风井巷道接力排水困难,减少排水电量消耗,实现煤矿安全、低成本生产目标,在与积水停头位置高差 100 m 左右的西三胶带石门附近布置钻场,施工放水孔,利用高差实现自流排水。如图 1 所示。

### 1.2 地质条件

巷道区域岩性为泥岩,块状,紫红斑,纵向裂隙发育,岩层产状 $122^{\circ}\angle 16^{\circ}$ 。钻孔将揭露 $S_2$ 煤层及

收稿日期:2018-02-05

作者简介:冯达晖,男,汉族,1968 年生,钻探装备制造中心副主任,矿山机电专业,硕士,主要从事煤矿井下钻探技术与装备制造、生产管理与推广应用工作,陕西省西安市高新区锦业一路 82 号,1191775203@qq.com。

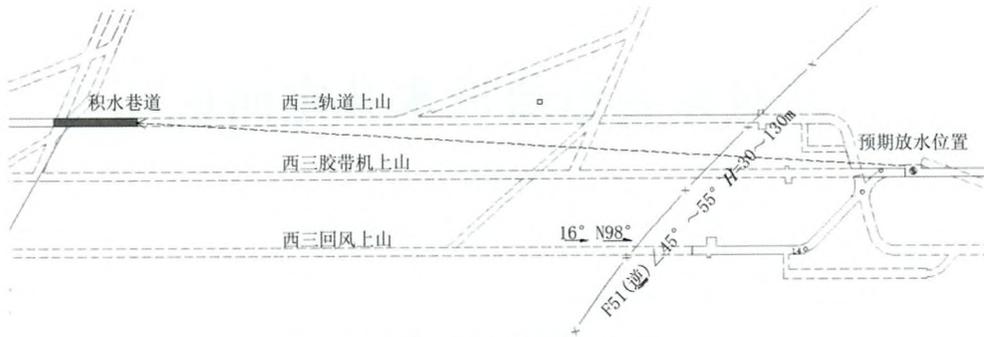


图1 积水巷道和预期放水位置示意图

下部岩层,主要为泥岩、细砂岩。

钻孔轨迹拟穿过 F51 逆断层,断层倾角 45°, 断层距 ±30 m, 断层破碎带平均宽度 40 m 左右。具体岩层柱状图见表 1。

表1 岩层柱状分布

|     |                   |   |
|-----|-------------------|---|
| 3m  | 3 <sub>2</sub> 煤层 | 黑色,条痕褐黑色,鳞片状结构                              |
| 3m  | 细砂岩               | 灰色,含少量植物碎片,裂隙发育,夹少量薄层煤线,下部含砂质,局部粉砂岩         |
| 7m  | 粗砂岩               | 灰白色成分以石英为主,次为长石,次棱角状,分选较好,钙质胶结,含少量磷铁结核,少量裂隙 |
| 10m | 泥岩                | 灰色,夹少量紫斑,局部含菱铁鲕粒及结核,局部含植物化石,少量滑面            |
| 3m  | 粉砂岩               | 灰色,含植物碎片化石,夹薄层煤线                            |

西三采区主要充水水源为 3<sub>2</sub> 煤层顶、底板砂岩裂隙水,最大涌水量约 30 m<sup>3</sup>/h。

西三回风上山巷道积水段约 46.8 m, 积水范围标高 -502.8 ~ -517.5 m, 积水量约 610 m<sup>3</sup>, 动水量约 7 m<sup>3</sup>/h。西三轨道上山巷道积水段约 42.7 m, 积水范围标高 -514.2 ~ -525.9 m, 积水量约 516.2 m<sup>3</sup>, 动水量约 3 m<sup>3</sup>/h。钻孔贯通目标为标高较低西三轨道上山停头位置。

## 2 精准对穿巷道定向成孔技术

### 2.1 钻孔轨迹设计

定向钻进钻孔轨迹设计三要素: 钻孔目的; 开孔点、终孔点相对位置; 特殊地层条件。钻孔目的确定钻孔类型, 开孔、终孔位置确定孔深和轨迹, 复杂地层条件则需要相对应的特殊考虑。

钻孔轨迹设计一般流程为: 确定开孔、终孔点; 选取钻孔轨迹地层层位; 形成布孔方案; 确定开孔倾角和方位角; 形成轨迹数据并画成曲线图。

钱营孜矿定向放水孔目的是精准对穿积水巷道实现排水, 理想终孔点应为巷道相对较低点, 且巷道断面宽 5 m, 中心高 3.7 m, 根据开孔点、终孔点的相对位置, 开孔位置到巷道断面平距 > 420 m, 高差 > 100 m, 考虑到仪器测量误差、轨迹控制误差以及其他影响, 同时提高精准对穿巷道准确度, 将终孔点选在积水巷道左帮, 穿透高度位于巷道中部, 钻孔平面预想布置如图 1 所示。若因测量误差或其他环境因素未能一次穿透贯通, 则只需在适当位置向右开分支孔后继续钻进贯通。

钻进层位在稳定的泥岩和砂岩地层中, 若出现塌孔, 则开分支在稳定层位施工。1 号孔开孔设计主要参数: 设计孔深 450 m, 开孔方位 281°, 开孔倾角 6°, 终孔相对高差 105 m, 终孔相对水平位移 421.8 m。

### 2.2 设备选型和配置

(1) 定向钻机。根据本次设计孔深约 450 m 施工要求, 且存在大断层、泥岩地层等不良地质条件, 选用中煤科工集团西安研究院有限公司设计生产的 ZDY12000LD 型大扭矩钻机, 配套 BLY460 型泥浆泵车。BLY460 型泵车具有大流量和高泵压, 能够满足正常钻进和大排量冲孔排渣要求。

(2) 随钻测量系统。考虑在复杂地层钻进中测量的可靠性、稳定性和测量传输速度, 最终确定选用 YHD2-1000(A) 型有线通缆测量系统。

(3) 钻杆和钻头。根据钻机型号和测量系统, 定向钻杆配套确定外径为 Ø89 mm 通缆钻杆, 单根长度 3 m, 配套性好, 强度高, 对于轻微卡钻事故可以大扭矩和起拔处理。同时, 根据施工需要配备 Ø89 mm 整体式螺旋钻杆, 穿断层破碎带时, 螺旋钻杆具有较好的排渣能力。定向钻进用钻头配套为 Ø120 mm 复合片钻头, 扩孔钻头为 Ø120/153、153/193

mm。

(4)螺杆马达。考虑钻进地层需要和钻具配套,螺杆马达选用为  $\varnothing 89$  mm 四级马达;若遇到局部较硬地层,则考虑采用回转钻进方式穿过硬岩段提高钻效或考虑提高扭矩换用五级马达。

(5)其他根据防治水要求,孔口安装护孔套管,选用  $\varnothing 146$  mm 套管,长度  $< 15$  m;配套安装相应的孔口防喷装置和孔口阀门。

主要设备和材料配置如表 2 所示。

表 2 主要设备和配套钻具材料

| 序号 | 设备/材料名称  | 规格型号                              |
|----|----------|-----------------------------------|
| 1  | 钻机       | ZDY12000LD                        |
| 2  | 泵车       | BLY460                            |
| 3  | 通缆钻杆     | $\varnothing 89$ mm, $L = 3$ m    |
| 4  | 整体螺旋钻杆   | $\varnothing 89$ mm, $L = 1.5$ m  |
| 5  | 螺杆马达     | $\varnothing 89$ mm 四级            |
| 6  | PDC 钻头   | $\varnothing 120$ mm              |
| 7  | PDC 扩孔钻头 | $\varnothing 120/153, 153/193$ mm |
| 8  | 随钻测量探管   | YHD2-1000T(A)                     |
| 9  | 防爆计算机    | KJD311                            |
| 10 | 孔口防喷装置   |                                   |

### 2.3 钻进工艺方法

煤矿井下定向钻进工艺方法,主要有滑动定向钻进、回转复合钻进和螺旋钻杆常规回转钻进。

(1)滑动定向钻进。滑动定向钻进是定向钻孔常用施工方法。钻进过程中,钻杆不回转,泥浆泵提供高压水驱动螺杆马达回转带动钻头回转切削破碎岩石,通过调整螺杆马达弯外壳的朝向来控制钻孔轨迹,图 2(a)所示。该钻进方式主要用于钻孔造斜和轨迹纠偏。

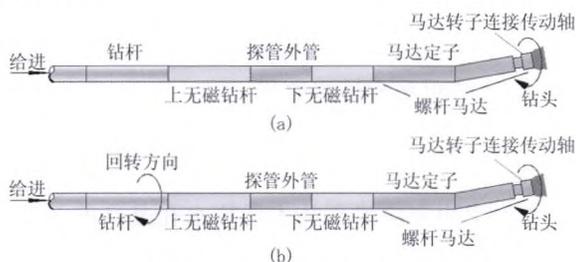


图 2 滑动定向钻进与旋转复合钻进工艺原理图

(2)复合定向钻进。钻进过程中,泥浆泵向孔底泵送高压水驱动孔底马达转子带动钻头转动,同时,钻机带动钻具回转并向钻具施加钻压,从而实现复合碎岩的钻进方法<sup>[11-12]</sup>,如图 2(b)所示。复合钻进一般是稳斜钻进,与滑动定向钻进相比,钻进岩层时能够大大提高钻进效率,减小摩擦阻力,降低系统

压力;但这里主要目的是回转时提高排渣能力。

(3)常规回转钻进。在通过断层破碎带时,复合钻进无法通过时,则提钻后采用螺旋钻杆回转钻进方式提高排渣能力强行穿过断层破碎带,然后进行注浆对破碎带加固处理。

### 3 施工应用

2017 年 9 月 12 日—10 月 28 日在钱营孜煤矿西三轨道上山,施工定向放水孔,具体施工流程与情况如下。

(1)开孔扩孔。稳固钻机,调整角度后,开孔采用  $\varnothing 120$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 89$  mm 螺旋钻杆串,钻进至孔深 18 m;然后提钻逐级扩孔至 193 mm。

(2)下套管注浆固孔。下入  $\varnothing 146$  mm 孔口管 15 m,水泥封孔后做耐压试验,合格后进行下一步施工。

(3)下定向钻具钻进。依次连接  $\varnothing 120$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 89$  mm 孔底马达 +  $\varnothing 89$  mm 下无磁钻杆 + 随钻测量仪器 +  $\varnothing 89$  mm 上无磁钻杆 +  $\varnothing 89$  mm 通缆钻杆串,后按照设计轨迹进行钻进。期间根据地层条件和钻孔轨迹情况适当进行复合钻进。

(4)钻遇 F51 断层。当钻至断层位置时,在正常情况下若能够继续钻进,采用复合钻进方式继续钻进直至穿过断层;钻进压力异常无法正常钻进,则提钻后下入  $\varnothing 120$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 89$  mm 螺旋钻杆串,回转扫孔尽可能穿过断层,为确保断层破碎带孔段在钻进期间和排水期间的钻孔稳定,提钻后采用全孔注浆方式对破碎带区域进行注浆加固。

(5)继续定向钻进。注浆完成后进行回转扫孔,以确保断层破碎带区域地层稳定,然后下入定向钻具继续钻进,按照钻孔设计轨迹进行纠偏和轨迹控制,尽可能保证钻孔沿设计轨迹延伸。

(6)塌孔处理。继续钻进一定深度后,若局部出现轻微塌孔,可加入专用冲洗液进行冲孔排渣;若塌孔无法穿过,则回转扫孔后,下入局部封隔器进行封隔,然后对破碎区域局部逐渐进行处理。

(7)贯通巷道。钻进至最后 50 m 时,严格控制钻孔轨迹,每 3 m 测量一次,同时根据工具面角大小,预测钻头位置倾角和方位角,确保钻孔上下位移、左右位移与设计轨迹偏差  $> 0.5$  m,以保证最终能够顺利穿透。

### 4 施工效果分析

(1)现场施工放水孔在落差 105 m,水平位移 421.8 m,左右位移 23.3 m 的距离上,实现最终贯通,终孔位置实际位于巷道侧帮 2.2 m 高处,距离西三轨道上山停头断面 6.9 m;而根据测量仪器测量计算的实钻轨迹,终孔点位于侧帮距离巷道底 2.01 m,距离停头 5.18 m。终孔点测量值和实际值

对比如表 3 所示。钻孔轨迹如图 3 和图 4 所示。

表 3 钻孔设计值、测量值与实际值对比

| 钻孔参数 | 设计轨迹/m | 测量相对值/m | 实际相对值/m | 误差/m | 百米误差/m |
|------|--------|---------|---------|------|--------|
| 上下位移 | 105.0  | 2.01    | 2.2     | 0.19 | <0.1   |
| 水平位移 | 421.8  | 5.18    | 6.9     | 1.72 | 0.4    |

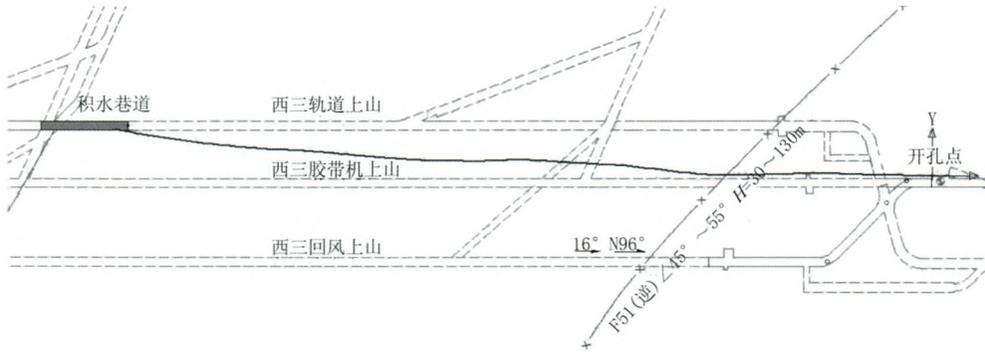


图 3 钻孔实钻轨迹平面图

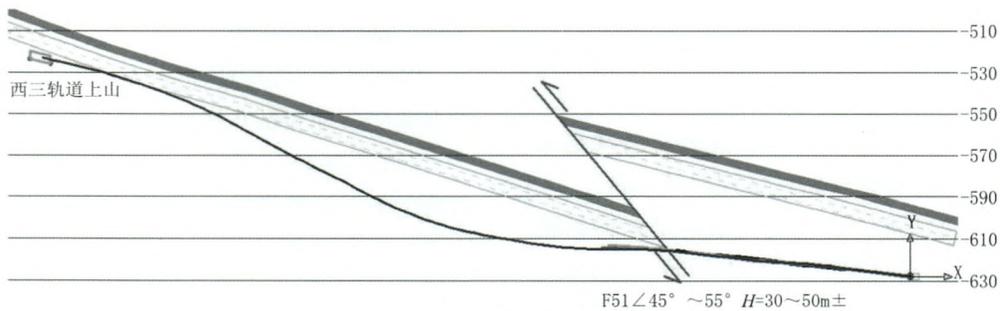


图 4 钻孔实钻轨迹剖面图

(2)精确对穿巷道防水孔施工主要在于定向钻进随钻测量系统的测量精度,倾角 $\pm 0.2^\circ$ ,方位 $\pm 1.5^\circ$ ,同时还在于精确的轨迹设计和轨迹控制。在设计钻孔轨迹时,严格按照现有测量点数据,精确标定开孔点和终孔巷道断面的坐标位置,进行精确的钻孔设计,优先稳方位、调倾角;在钻孔施工时,严格控制钻孔轨迹,让实钻轨迹尽可能沿着设计轨迹延伸。

(3)钻孔穿过 F51 断层破碎带时,采用复合钻进和螺旋钻杆回转钻进方式,有利排渣,保证定向钻具安全,顺利穿过 40 m 以上破碎带并进行全孔高压注浆加固,加固后钻孔稳定,保证后续施工安全,该方法用于解决钻进中破碎带塌孔问题,确保钻孔稳定和施工安全具有一定的效果。

(4)放水孔顺利对穿积水巷道后,平均排水量  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ,螺旋钻具回转扫孔后最大排水量  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ;

后期为保证钻孔顺畅和排水持续性将钻孔放置孔内直至与砂岩裂隙水出水量接近时提钻,截止 12 月 1 日累计总排水量  $3200 \text{ m}^3$  左右,其中排放巷道积水  $1100 \text{ m}^3$  以上,提钻后保持  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  的孔隙水出水量,达到很好的排水效果。

### 5 结语

本次应用定向成孔技术的放水孔是目前两淮地区最深的精确定向对穿钻孔。在深度 443 m 钻孔中实现了上下误差 0.19 m,百米误差  $<0.1 \text{ m}$ ;水平误差 1.72 m,百米误差 0.4 m 的极高精度。

精准对穿巷道放水孔的顺利贯通,有效排出巷道积水,相对于水泵接力抽排和掘进巷道的排水方式,节省了大量的电量消耗和人力物力财力,创造了良好的经济效益。

(下转第 41 页)

表 2 西岭勘查区钻孔纠斜数据

| 钻孔编号    | 设计孔深/m | 纠斜孔深/m  | 所用时间/d | 纠斜效果/(°)  |
|---------|--------|---------|--------|-----------|
| ZK88-18 | 2360   | 1300    | 2      | -1.2      |
| ZK92-5  | 1990   | 805     | 1      | -1.3      |
| ZK92-7  | 1600   | 600/620 | 1/2    | -1.1/-0.8 |
| ZK88-15 | 1680   | 706.15  | 3      | -0.5      |
| ZK92-9  | 1800   | 850     | 2      | -1.1      |
| ZK88-19 | 2500   | 822.42  | 2      | -1.2      |
| ZK90-6  | 1700   | 535     | 2      | -1.1      |
| ZK84-16 | 1500   | 256     | 1      | -0.9      |
| ZK92-11 | 1900   | 879     | 1      | -1.0      |
| ZK92-8  | 1670   | 819     | 2      | -0.8      |
| ZK86-6  | 1520   | 800     | 1      | -1.1      |
| ZK96-11 | 2000   | 350     | 1      | -1.2      |
| ZK72-12 | 2400   | 401/422 | 2/1    | -0.8/-0.9 |
| ZK88-16 | 1800   | 800     | 2      | -1.2      |

同时还减轻了人力、物力、财力的消耗,增大了产出投入比,为公司创造了很好的经济效益。

Ø108 mm 钻具扶正器与测斜仪定向辅助的套管偏心楔一体式岩心钻探纠斜法的研发是在传统处理措施的基础上进行改进与创新的,设备技术原理

简单,操作方便,实用性高,使用成本低,应用效果明显,在西岭勘查区得到了广泛应用。两种钻孔质量保证措施的研发为业内深孔钻探增加了可借鉴的技术手段,具有很高的推广价值。

#### 参考文献:

- [1] 吴翔,杨凯华,蒋国盛.定向钻进原理与应用[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2006.
- [2] 汤凤林,A. Γ.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [3] 孙建华,王林钢,梁健,等.深孔小直径绳索取心钻进施工调研分析和技术建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):12-17.
- [4] 王扶志,张心剑,全在平.陀螺仪定向纠斜法在中关铁矿区的应用实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6):40-42.
- [5] 蒋鹏飞,唐英杰,于同超.陀螺偏心纠斜法的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(4):20-22.
- [6] 陈天成.定向纠斜技术[J].西部探矿工程,1999,11(5):35-37.
- [7] 刁长河.岩芯钻探的防斜和纠斜[J].新疆有色金属,2016,(4):1-2.
- [8] 刘广志.金刚石深孔钻探孔斜问题与纠斜措施[J].地质与勘探,1989,25(1):55-57.

#### (上接第 36 页)

复合钻进配合高压全孔注浆的综合处理方式,成功穿越破碎带,加固钻孔,保证破碎、易塌孔段孔壁的稳定,这是实现复杂地层条件下近水平定向钻孔施工的行之有效的工艺方法。

精准对穿巷道所采用的定向成孔技术在钻孔轨迹选择上有较大的可操作性和精确性,在掘进和采煤超前导洞、老空区探放水和瓦斯、特殊地质构造勘探和加固处理以及局部救援巷道贯通等方面可以得到更广泛运用。

#### 参考文献:

- [1] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下水平定向钻进技术与装备的新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):12-16.
- [2] 张杰,姚宁平,李乔乔.煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用[J].煤矿安全,2013,44(10):131-134.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 姚宁平,张杰,张国亮,等.晋城矿区井下梳状钻孔瓦斯抽采技术体系[J].煤炭科学技术,2015,43(2):88-91.
- [6] 方俊,陆军,张幼振,等.定向长钻孔精确探放矿井老空水技术及其应用[J].煤田地质与勘探,2015,43(2):101-105.
- [7] 任鹏飞.定向长钻孔在母杜柴登煤矿顶板探放水中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):17-19.
- [8] 石浩,张杰.煤矿井下精确定向探放水技术[J].煤矿安全,2015,46(2):64-67.
- [9] 黄寒静.煤矿井下定向钻孔施工测量精度验证与应用[J].煤矿安全,2017,48(5):19-21.
- [10] 许超.基于复合钻进技术的煤层瓦斯抽采定向钻孔施工[J].煤矿安全,2015,46(4):130-133.
- [11] 刘卫卫,彭旭,王庆,等.煤层顶板砂岩水定向钻孔预疏放效果检验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):62-64,68.
- [12] 刘建林,李泉新.基于轨迹控制的煤矿井下复合定向钻进工艺[J].煤矿安全,2017,48(7):78-81.