

# 煤矿水害精准探查钻探技术

金鑫, 郭辉

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:**为了保证煤矿井下安全生产,对煤矿水害精准探查钻探技术进行了系统的分析与研究。针对桑树坪煤矿 3110 工作面 230 m 皮带巷道物探探测结果,对富水异常区域布设探查钻孔,采用随钻测量定向钻探技术与常规回转钻探技术相结合的钻探方法进行区域探查试验。桑树坪煤矿现场试验结果表明,精准钻探技术能通过富水区域空间位置灵活布设钻孔的方式对煤矿井下富水异常区域进行探查,同时,可以有效地推断出地质异常区域范围,避免异常富水区域突水淹井事故,确保了桑树坪矿 11 号煤巷道的安全掘进,为煤矿区地质异常区探测提供技术支持,为煤矿井下安全生产提供保障。

**关键词:**精准探查;钻探技术;防治水;定向钻进技术;富水异常区域;煤矿水害

**中图分类号:**P634;TD265.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)03-0049-04

## Drilling technology for precise exploration of coal mine water hazards

JIN Xin, GUO Hui

(Xi'an Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp.,  
Xi'an Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** In order to ensure underground coal mine safety production, systematic analysis and research has been conducted on precise exploration drilling technology. According to the geophysical prospecting results of the 230m belt gateway at Working Face - 3110 in Sangshuping Coal Mine, the exploration boreholes were designed for the abnormal water-rich area, and the regional exploration test was carried out by using MWD drilling combined with conventional rotary drilling. The test results in Sangshuping Coal Mine showed that the precise drilling technology allowed flexible deployment of exploration boreholes in space to explore the abnormal water-rich area in the underground coal mine; meanwhile the area of the geophysical abnormal region can be effectively deduced to avoid the water inrush and flooding accident in the larger water-rich area, ensuring safety of the No.11 gateway in Sangshuping Coal Mine. It can provide technical support for the detection of geological abnormal areas in coal mines and guarantee the safe production of coal mines.

**Key words:** precise exploration; drilling technology; water prevention and control; directional drilling technology; water-rich abnormal region; coal mine water hazard

近年来,国内煤矿区应用井下随钻测量定向钻进技术探查治理水患已成为主流手段,并逐渐将该技术应用于异常区域超前探测中,达到提前预报的目的<sup>[1-7]</sup>。利用随钻测量定向钻探手段进行水害探查钻孔施工,具有钻孔轨迹实时测量、精确可控、一孔多分支、覆盖范围广等优势,但也存在施工周期较长、坚硬岩层施工效率较低、施工开孔段存在探测盲区等问题<sup>[8-12]</sup>。采用精准钻探技术,即随钻测量定

向钻探技术与常规回转钻探技术相结合的方式进行水害探查,可以弥补上述不足,即定向长钻孔远距离精准探测配合常规回转短钻孔消除探测盲区,进而达到精准探查矿区水害的目的。本文结合陕西韩城矿区 11 号煤层底板的地质条件,采用随钻测量定向钻探技术与常规回转钻探技术相结合的方式进行 11 号煤层底板水害探查,为巷道安全掘进提供保障。

**收稿日期:**2019-06-10; **修回日期:**2019-08-14 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.03.008

**作者简介:**金鑫,男,蒙古族,1984 年生,副研究员,钻井工程专业,硕士,主要从事煤矿区定向钻探技术及其装备配套研究工作,陕西省西安市高新区锦业一路 82 号,jinxin1@cctegxian.com。

**引用格式:**金鑫,郭辉.煤矿水害精准探查钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):49-52,58.

JIN Xin, GUO Hui. Drilling technology for precise exploration of coal mine water hazards[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):49-52,58.

## 1 精准钻探技术

精准钻探技术是采用定向钻进技术进行顺层隐伏构造区域探查,确定出地质异常情况后,根据需要在垂直方向进行常规钻探探查,最终确定地质异常体的空间范围。

### 1.1 精准定向钻进技术

#### 1.1.1 精准定向钻进技术原理

精准定向钻进技术是采用随钻测量系统监测钻孔轨迹,螺杆马达提供孔底动力,随钻测量系统主要通过采集钻孔孔深、钻孔倾角、钻孔方位角等数据来生成钻孔实际轨迹。将测量参数分别代入公式(1)、公式(2)和公式(3)中,可以计算出钻孔实际轨迹中各点的精确坐标,并根据计算与设计的偏差来调整钻孔轨迹,其原理见图1。

$$X = \sum_{i=1}^n \Delta L_i \cos \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2} \cos \left( \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2} - \theta_0 \right) \quad (1)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n \Delta L_i \cos \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2} \sin \left( \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2} - \theta_0 \right) \quad (2)$$

$$Z = \sum_{i=1}^n \Delta L_i \sin \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2} \quad (3)$$

式中: $X$ ——第*i*个测点距离开孔点的水平位移, m; $\Delta L$ ——钻进过程中两测量点间距, m; $\alpha_i$ ——钻孔轨迹中第*i*个测点的倾角, ( $^\circ$ ); $\theta_i$ ——钻孔轨迹中第*i*个测点的方位角, ( $^\circ$ ); $\theta_0$ ——勘探线方位角, ( $^\circ$ ); $Y$ ——第*i*个测点距离开孔点的左右位移, m; $Z$ ——第*i*个测点距离开孔点的上下位移, m。

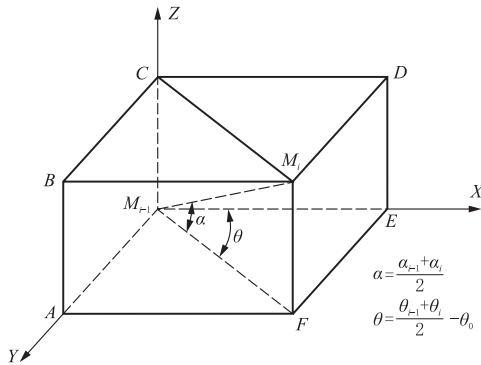


图1 钻孔轨迹测点坐标计算原理

Fig.1 Calculation principle of borehole survey point coordinates

#### 1.1.2 精准定向钻孔轨迹设计原则

在精准定向钻孔轨迹设计时,除了要遵循一般定向钻孔设计原则外<sup>[10]</sup>,还要实现异常区域的高效率、高精度、低盲区探查。

(1)精准定向钻孔要根据具体矿区的地质条件

进行合理布孔,尽可能实现异常区域全覆盖,精准高效的探明地层导、含水构造情况,为煤矿安全生产做好提前预报;

(2)精准定向钻孔在进行方位角和倾角设计时,要以降低钻孔弯曲强度、缩短钻孔探查盲区,精准进入目标层位。

#### 1.1.3 精准定向钻孔施工流程

根据《煤矿防治水规定》<sup>[13]</sup>,在精准定向钻孔施工过程中,采用 $\varnothing 153$  mm 四翼 PDC 钻头+转换接头+ $\varnothing 130$  mm 螺旋钻杆+ $\varnothing 73$  mm 钻杆的钻具组合,利用螺旋风压钻探技术,进行精准定向钻孔的开孔段施工,开孔后要下入 $\varnothing 127$  mm 孔口止水套管,至少下至稳定岩层内 15 m,井下注水泥浆封孔,候凝时间至少 48 h,进行耐压试验,合格后安装孔口防喷装置及高压球阀,按照钻孔设计进行施工。定向孔段施工中,采用三刀翼抛物线型复合片钻头配合螺杆马达水力驱动切削岩石,有线随钻测量系统测量钻孔轨迹<sup>[14]</sup>,严格按照要求每隔 3 m 进行一次轨迹测量,确保实际轨迹按照设计轨迹施工<sup>[15]</sup>。

### 1.2 精准常规钻进技术

精准常规钻孔施工原理与传统的回转钻进原理一致。在施工过程中,以探查地质异常区垂向距离为主要目的进行钻孔布置,一般钻孔孔深 $< 100$  m,施工过程中对止水套管要求与 1.1.3 节所述一致。

### 1.3 钻探装备

施工采用的主要装备有 ZDY6000LD 型定向钻机、ZDY4000S 型钻机、ZDY3200S 型钻机,3NB-320/8-30 型泥浆泵,YHD1-1000(A)有线随钻测量系统, $\varnothing 73$  mm/四级/1.25 $^\circ$  螺杆钻具, $\varnothing 73$  mm 通缆钻杆等配套装备见表 1。

表 1 钻进装备  
Table 1 Drilling equipment

名称	规格型号	用途
煤矿用全液压坑道钻机	ZDY6000LD	定向钻进
	ZDY4000S	常规钻进
	ZDY3200S	常规钻进
泥浆泵	3NB-320/8-30	循环冲洗液
随钻测量系统	YHD1-1000	测量钻孔参数
螺杆钻具	$\varnothing 73$ mm/四级/1.25 $^\circ$	造斜及轨迹控制
中心式通缆钻杆	$\varnothing 73$ mm/L=3000 mm	冲洗液通道、信号传输媒介
无磁钻杆	$\varnothing 76$ mm/L=3000 mm	屏蔽磁场干扰

## 2 精准钻探技术应用实例

### 2.1 工程概况

韩城矿业有限公司桑树坪煤矿 3110 工作面回采前尚有 200 m 皮带巷未掘,对该巷道进行物探探测,结果显示 230 m 皮带巷道掘进方向存在强富水探测异常区域。因此,该巷道在掘进前必须要提前进行精准钻探探查。

### 2.2 定向钻孔施工情况

为了探明 230 m 皮带巷道物探异常区域富水情况,巷道底板下方及距离巷道 15、20 及 25 m 设计了 4 个定向钻孔,其中,探查定向钻孔为 Tz1 孔和

Tz2 孔,检查定向钻孔为 Jz1 孔和 Jz2 孔,具体定向钻孔实钻参数如表 2 所示,定向钻孔的实钻平面、剖面轨迹见图 2 和图 3。

表 2 精准定向钻孔参数

孔号	开孔孔段		终孔孔段		孔深/m	见水孔深/m	涌水量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	钻孔性质
	倾角/(°)	方位角/(°)	方位角/(°)	最大左右位移/m				
Tz1	-20	214	210	10.38	255	218	320	探查兼
Tz2	-20	214	210	1.23	210	210	280	注浆孔
Jz1	-20	222	210	14.35	303		0	检查孔
Jz2	-20	222	210	14.81	300		0	

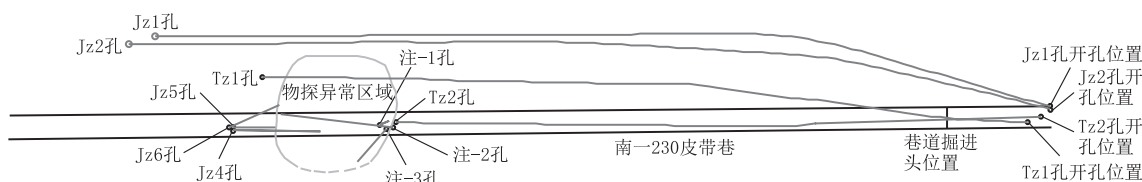


图 2 精准探查钻孔实钻平面轨迹  
Fig.2 Actual plane trajectory of precise exploration drilling boreholes

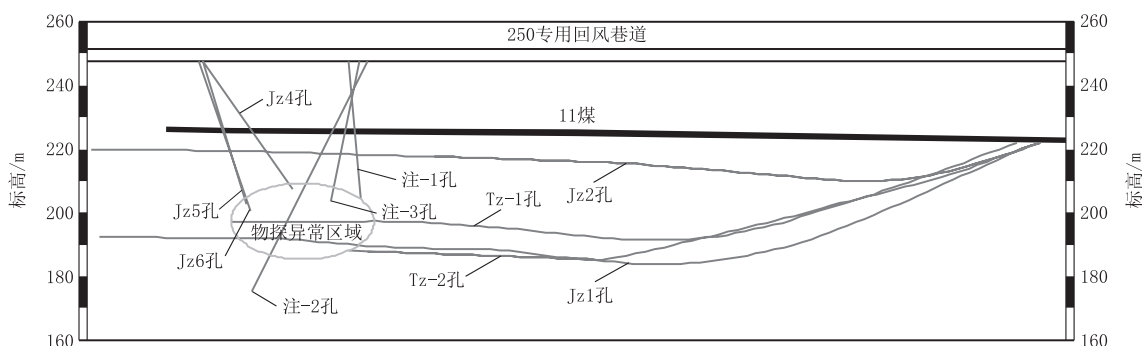


图 3 精准探查钻孔实钻剖面轨迹  
Fig.3 Actual section trajectory of precise exploration drilling boreholes

在施工过程中,最先施工的 Tz2 孔钻进至 210 m 孔内出水,涌水量为 280 m<sup>3</sup>/h,水压为 1.4 MPa,异常区富水性强。接着施工的 Tz1 孔钻进至 218 m 孔内出水,涌水量为 320 m<sup>3</sup>/h,水压为 1.4 MPa,218~255 m 为钻孔空送段,推断富水异常区域横向范围约 37 m。针对 Tz1 孔和 Tz2 孔进行注浆施工,连续注浆 215 d,累计注入水泥 4758 t,粉煤灰 5256 t,但孔口压力升高不明显,孔口压力为 1.6 MPa。最后施工,检查定向钻孔为 Jz1 孔和 Jz2 孔,钻孔均出水。

### 2.3 常规钻孔施工情况

为了进一步探明 230 m 皮带巷道物探异常区垂向发育情况,在其上部 250 m 专用回风巷道设计了 6 个常规钻孔,其中,探查常规钻孔为注-1 孔、注-

-2 孔和注-3 孔,检查常规钻孔为 Jz4 孔、Jz5 孔和 Jz6 孔,常规钻孔的具体参数及施工情况见表 3,常规钻孔实钻轨迹如图 2、图 3 所示。根据该工作面地质资料分析,定向钻孔孔口附近底板岩石裂隙发育,长时间采用定向钻孔孔口直接注浆存在孔口失

表 3 常规钻孔参数

钻孔编号	倾角/(°)	方位角/(°)	孔深/m	见水孔深/m	涌水量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	钻孔性质
注-1	-86	6	43.0	41.7	200	探查兼 注浆孔
注-2	-85	145	81.0		0	
注-3	-79	165	45.1	39.9	400	
Jz4	-55	30	49.0	49.0	80	检查孔
Jz5	-73	30	47.5	45.7	100	
Jz6	-71	10	49.7	49.1	32	

控、浆液顺裂隙流失等风险,因此注-1孔、注-2孔、注-3孔也兼作注浆通道使用。

在施工过程中,注-1孔钻至41.7 m出水,钻进至43 m涌水量最大,增至为200 m<sup>3</sup>/h。注-3孔钻进至39.9 m出水,钻进至45.1 m涌水量为400 m<sup>3</sup>/h,水压为1.2 MPa,其中39.9~40.7 m为钻孔空送段,推断富水异常区域垂向高度约为0.8 m。由于注-2孔施工过程中未出水,所以仅利用注-1孔和注-3孔进行注浆施工,连续注浆186 d(含注水时间),累计注入水泥5400 t,粉煤灰2250 t,但孔口压力升高不明显,孔口压力为1.4 MPa。这进一步确定了,该富水异常区域补给性强,采用水泥粉煤灰注浆无法封堵涌水通道。最后施工的Jz4孔、Jz5孔和Jz6孔检查定向钻孔均发生不同程度的涌水现象,这也验证了此种封堵效果不甚理想。

#### 2.4 钻孔施工情况分析

精确探查钻探技术在桑树坪矿230 m皮带巷道中的应用,顺利探明了富水异常区域的范围、涌水量、水压等水文信息,其中Jz1、Jz2定向钻孔探明了富水异常区域边界与230 m皮带巷道平面距离小于14.35 m,Tz1、Tz2定向钻孔探明了富水异常区域横向范围宽度约37 m,常规钻孔探明了富水异常区域垂向高度约0.8 m,综合各钻孔水文信息可知,富水异常区域最大涌水量为400 m<sup>3</sup>/h,最大水压为1.4 MPa。通过对富水异常区域的精确探查,建议调整桑树坪煤矿230 m皮带巷掘进方案,应预留足够安全厚度的防水煤柱进行后续巷道掘进。

### 3 结语

精确探查钻探技术可以结合异常区域的地质条件及其在矿井中的空间位置,灵活布设施工地点,可以精确探查煤矿井下底板富水情况。同时,在异常区域精确探查过程中,可以根据煤矿生产掘进的需要优先探查某一方向上的异常边界,超前预报异常区域水文地质信息,避免较大异常富水区域突水淹井事故,为煤矿采煤掘进方案更改争取时间,也为煤矿安全生产提供可靠的技术支持。

#### 参考文献(References):

[1] 虎维岳. 矿山水害防治理论与方法[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 1-15.  
HU Weiyue. Theory and method of mine water disaster prevention and control[M]. Beijing: China Coal Industry Publish-

- ing Home, 2005: 1-15.
- [2] 虎维岳. 浅埋煤层回采中顶板含水层涌水量的时空动态预测技术[J]. 煤田地质与勘探, 2016, 44(5): 91-96.  
HU Weiyue. Water inflows prediction technique of water inflow from roof aquifer during extraction of shallow seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(5): 91-96.
- [3] 陈娟, 赵耀江. 近十年来我国煤矿事故统计分析及其启示[J]. 煤炭工程, 2012, 44(3): 137-139.  
CHEN Juan, ZHAO Yaojiang. Statistic analysis and prevent measures on China coal mine accident in resent ten years[J]. Coal Engineering, 2012, 44(3): 137-139.
- [4] 赵祥龙, 金鑫. 水平定向钻孔探放煤层顶板砂岩水技术及其应用[J]. 煤矿机械, 2016, 37(5): 135-137.  
ZHAO Xianglong, JIN Xin. Technology and application of horizontal directional detection and drainage of roof sandstone water of coal seam[J]. Coal Mine Machinery, 2016, 37(5): 135-137.
- [5] 金鑫, 段会军, 尚荣, 等. 煤矿薄隔水层开采奥灰水害定向钻探防治技术[J]. 煤矿安全, 2017, 48(10): 86-90.  
JIN Xin, DUAN Huijun, SHANG Rong, et al. Ordovician limestone water prevention and control by directional drilling technology in coal mining above thin impermeable layer[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(10): 86-90.
- [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.  
FANG Jun, LU Jun, ZHANG Youzhen, et al. Technology and application of precise detection and drainage of goaf water by directional long borehole[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(2): 101-105.
- [7] 王永全, 周兢. 钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(11): 35-41.  
WANG Yongquan, ZHOU Jing. Application of drilling technology in coal mine water hazard control[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11): 35-41.
- [8] 方俊, 石智军, 李泉新, 等. 新型煤矿井下定向钻进用有线随钻测量装置[J]. 工矿自动化, 2015, 41(8): 1-5.  
FANG Jun, SHI Zhijun, LI Quanxin, et al. Novel cable measurement while drilling device used for directional drilling in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(8): 1-5.
- [9] 刘宗伟, 宋建成. 随钻测斜系统离线式数据同步方法研究[J]. 工矿自动化, 2017, 43(9): 59-65.  
LIU Zongwei, SONG Jiancheng. Research on off-line data synchronization method of measuring while drilling system[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(9): 59-65.
- [10] 燕南飞. 定向长钻孔在煤矿奥灰水害防治中的应用[J]. 煤矿安全, 2016, 47(4): 165-167.  
YAN Nanfei. Application of directional drilling technology for Ordovician limestone water prevention and control in mine[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(4): 165-167.
- [11] 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.  
LI Quanxin, SHI Zhijun, SHI Haiqi. The application of directional drilling technology in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(2): 85-88.

- scientific drilling for uranium in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1): 297-299,304.
- [7] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-15,24.  
SUN Binglun, CHEN Shixun, TAO Shixian. Discussion and practice on wall protection with slurry in deep-hole drilling in complicated formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(5):13-15,24.
- [8] 孙丙伦,孙友宏,张敏,等.深部找矿钻探技术与实践[M].北京:地质出版社,2013.  
SUN Binglun, SUN Youhong, ZHANG Min, et al. Deep mineral exploration drilling technology and field use[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [9] 张元清,宋健.长白矿区复杂地层多金属矿深孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):13-16.  
ZHANG Yuanqing, SONG Jian. Deep hole construction technology for polymetallic mine in complex formation of Changbai Mine Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(12):13-16.
- [10] 孙丙伦.深部找矿组合钻探技术研究[D].长春:吉林大学,2009.  
SUN Binglun. Study on combine drilling technology of deep mine prospecting[D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [11] 吴棣华.关于深孔岩心钻探的若干情况和看法[J].地质与勘探,1980(2):59-63.  
WU Dihua. Some situations and views on deep hole core drilling[J]. Geology and Exploration, 1980(2):59-63.
- [12] 巫相辉,董光明.钻井液配制技术及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(5):22-24.  
WU Xianghui, DONG Guangming. Drilling fluid preparation technology and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(5):22-24.
- [13] Catalin Ivan,李双占,雷明平,等.处理井漏问题的新方法[J].国外油田工程,2003(9):20-22.  
Catalin Ivan, LI Shuangzhan, LEI Mingping, et al. A new method for treating circulation loss[J]. Foreign Oilfield Engineering, 2003(9):20-22.
- [14] 孙建华,陈师逊,刘秀美,等.小直径特深孔绳索取心口径系列及钻柱方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):1-5,17.  
SUN Jianhua, CHEN Shixun, LIU Xiumei, et al. Diameter series and drill pipe scheme for wire-line coring with small diameter in ultra-deep borehole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(8):1-5,17.
- [15] 班金彭,畅利民,代云鹏,等.黔西南水银洞金矿涌水坑道钻探难点与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):14-20.  
BAN Jinpeng, CHANG Limin, DAI Yunpeng, et al. Challenges and countermeasures for water kicks in tunnel drilling at Shuiyindong Gold Mine in Southwest Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):14-20.
- [16] 何勇,苏时才,陈杨,等.高压涌水及高含硫化氢页岩气井绳索取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):23-28.  
HE Yong, SU Shicai, CHEN Yang, et al. Wire-line core drilling technology in shale gas wells with high pressure gushing water and high H<sub>2</sub>S content[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(8):23-28.

(编辑 周红军)

## (上接第 52 页)

- [12] 金鑫,杨忠,冯武宏.煤矿井下硬岩定向钻进 PDC 钻头选型及试验分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):77-79,84.  
JIN Xin, YANG Zhong, FENG Wuhong. The selection and test analysis of PDC bit for directional drilling in hard rocks of coal mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(5):77-79,84.
- [13] 国家安全生产监督管理局,国家煤矿安全监察局.煤矿防治水规定[M].北京:煤炭工业出版社,2009:48-49.  
State Administration of Work Safety, National Coal Mine Safety Administration. Regulations on prevention and control of water in coal mines[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing Home, 2009:48-49.
- [14] 金鑫,段会军,崔岩波,等.桑树坪矿煤层底板注浆加固定向钻孔钻进技术[J].煤炭工程,2018,50(1):45-47,51.  
JIN Xin, DUAN Huijun, CUI Yanbo, et al. Drilling technology of directional drilled borehole for grouting reinforcement of coal seam floor in Sangshuping Coal Mine[J]. Coal Engineering, 2018,50(1):45-47,51.
- [15] 石浩.精准定向钻进技术在煤矿水害治理应用[J].煤炭工程,2018,50(3):75-78.  
SHI Hao. Application of precision directional drilling technology in coal mine water hazard treatment[J]. Coal Engineering, 2018,50(3):75-78.

(编辑 韩丽丽)