

# 滇西南钾盐调查 MK-3 大口径超深井 绳索取心钻进工艺

吕利强<sup>1,2</sup>

(1.中国煤炭地质总局第四水文地质队,河北 邯郸 056000;  
2.中煤地华盛水文地质勘察有限公司第四分公司,河北 邯郸 056000)

**摘要:**滇西南中生代盐盆地钾盐资源调查评价项目 MK-3 井,设计井深 2700 m,全孔取心,岩心直径 $\geq 80$  mm,一般井段岩心采取率达到 80%以上,盐岩段岩心采取率 $>95\%$ 。工程技术要求高,施工难度大。施工中遇到了地层坍塌、涌水、掉块、盐岩溶蚀等问题,通过采用氯化镁饱和盐水冲洗液,HXY-9B 型钻机取心钻进、TSJ-2000 型水源钻机扩孔钻进,分级下管隔离等措施,圆满完成了钻探任务。完钻井深 2701 m,岩心采取率 90%,盐岩段岩心采取率达 98.65%,终孔口径 127 mm,岩心直径 81 mm。经地球物理测井,各项指标都达到了设计要求。刷新了国内 CHD127 标准绳索取心钻杆 P 口径钻探深度的记录。

**关键词:**钾盐资源调查;大口径超深井;绳索取心钻进;涌水;复杂情况处理

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)03-0053-06

## Application of wireline core drilling technology in the large-diameter and ultra-deep potash survey well MK-3 in southwestern Yunnan

LÜ Liqiang<sup>1,2</sup>

(1.The Fourth Hydrogeological Team of China National Administration of Coal Geology,  
Handan Hebei 056000, China;

2.The Fourth Branch of CNACG Huasheng Hydrogeological Exploration Co., Ltd., Handan Hebei 056000, China)

**Abstract:** The MK-3 well was drilled for investigation and evaluation of potash resources in the Mesozoic salt basin in southwestern Yunnan with the design depth of 2700m, full hole coring and the core diameter not less than 80mm, the core recovery more than 80% over the non-ore bearing section, and more than 95% over the ore-bearing section. The technical requirements were demanding and it was difficult to drill. During drilling, problems such as stratum collapse, water gushing, stone falling and salt rock dissolution were encountered. The drilling task was successfully completed by adopting measures such as magnesium chloride saturated brine drilling fluid, coring with HXY-9B drilling rig, reaming with TSJ-2000 water well drilling rig, multiple tiers of casing for staged sealing off. The well was completed at depth of 2701m with average core recovery rate 90%, and 98.65% over the ore-bearing section. The final hole diameter was 127mm, and the core diameter was 81mm. Geophysical well logging indicated that each index has met the design requirement. It breaks the record of drilling depth by CHD127 standard wire coring drill pipe for "P size" in China.

**Key words:** potash salt resources survey; large-diameter and ultra deep well; wireline coring; gushing water; complex case handling

## 0 引言

2018 年,我单位承揽了中国地质科学院矿产资源研究所的“滇西南中生代盐盆地钾盐资源调查评

价项目 MK-3 井”的施工任务。该项目地处云南省普洱市江城县,地理环境恶劣,工程技术要求高,施工难度大;井深 2700 m,全孔取心,岩心直径 $\geq 80$

**收稿日期:**2019-07-23; **修回日期:**2020-02-21 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.03.009

**作者简介:**吕利强,男,汉族,1976 年生,副队长,高级工程师,从事水文水井、地热井、盐井、大口径工程井、小口径取心井等钻探技术的施工和管理工作,河北省邯郸市邯山区水文路 2 号。

**引用格式:**吕利强.滇西南钾盐调查 MK-3 大口径超深井绳索取心钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):53-58.

LÜ Liqiang. Application of wireline core drilling technology in the large-diameter and ultra-deep potash survey well MK-3 in southwestern Yunnan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):53-58.

mm,一般井段取心率达到80%以上,盐岩段取心率>95%。这在国内没有成功先例,我单位相关技术人员经过反复研究、论证,从施工工艺、设备选型和配套、钻具及工器具的选用等方面进行了优化,顺利地完成了施工任务,完钻井深2701m,刷新了国内CHD127标准绳索取心钻杆P口径钻探深度的记录<sup>[1]</sup>,达到了甲方和郑绵平院士的高度评价,同时,本孔也被评为“2019年探矿工程十大新闻”之一。

## 1 项目概况

滇西南勐野井地区钾盐钻探工程MK-3井是中国地质科学院矿产资源研究所滇西南中生代盐盆地钾盐资源调查评价最重要的工程之一。工作区位于云南省普洱市江城县委藏乡。

该井的目的是:主探研究区中侏罗统和平乡组海相钾盐矿床,兼探勐野井组钾盐矿床,明确研究区深层钾盐资源潜力。查明地层序列,建立一个可供钾盐勘查参照的“标杆地层柱”;利用对全套岩心的综合配套测试分析,获取成盐、成钾物质基础和来源等准确可靠的第一手地质、地球化学信息,提供海相—海陆交互成盐盆地成钾的理论参数,提炼成盐聚钾的地质模型;通过钻探揭露地层,可进一步分析验证构造(盐构造)模拟及物探分析结果。

### 1.1 预计钻遇地层

预想本井钻遇地层自上而下为第四系Q,白垩系曼岗组 $K_{1m}$ 、景星组 $K_{1j}$ ,侏罗系坝注路组 $J_3b$ 、和平乡组 $J_2hp$ ,详见表1。

### 1.2 钻井要求及设计

表1 预计钻遇地层

Table 1 Expected formation to be drilled

系	组	深度/m	厚度/m	岩性
第四系(Q)	冲积层、坡积物	0~18	18	河床砂砾冲积层,与下伏地层不整合接触
白垩系(K)	曼岗组( $K_{1m}$ )	18~540	522	紫红、棕红色细粒石英砂岩为主,与钙泥质粉砂岩互层,夹灰紫色砂砾岩
	景星组( $K_{1j}$ )	540~1620	1080	黄白色中细粒石英砂岩,杂色泥岩互层,夹深灰色钙质泥岩、粉砂岩及灰白色细粒石英砂岩,局部碳质页岩煤线。与下伏地层不整合接触
侏罗系(J)	坝注路组( $J_3b$ )	1620~1770	150	暗紫红色粉砂质泥岩、泥岩
	和平乡组( $J_2hp$ )	1770~2700	930	棕红色钙泥质粉砂岩夹灰绿色钙质粘土岩、薄层碳酸盐及膏盐岩。底部约1900~2400m为岩盐层、石膏层、盐类岩层,夹灰绿色钙质泥岩、粉砂岩及薄层泥灰岩

井深2700m,全井取心,岩心直径 $\leq 80$ mm,取心率达到80%以上,盐岩段取心率>95%。终孔层位侏罗系和平乡组。

钻孔设计如图1所示。

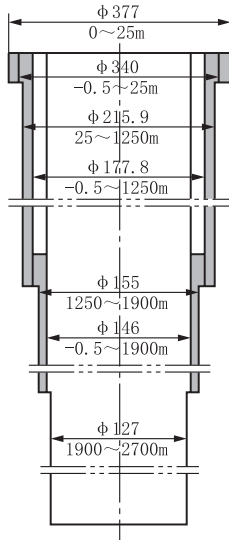


图1 钻孔设计

Fig.1 Borehole design

### 1.3 投入设备(见表2)

表2 主要设备<sup>[2]</sup>

Table 2 Main equipment

序号	名称	型号	单位	数量	备注
1	钻机	HXY-9B	台	1	
2	钻机	TSJ-2000	台	1	扩孔
3	泥浆泵	BW280-30	套	2	
4	泥浆泵	3NB-350	套	1	扩孔
5	振动筛	ZDS-40	台	1	
6	除砂器	ZQJ200×2	台	1	
7	除泥器	CNJ-10×4	台	1	
8	离心机		台	1	

## 2 钻探施工情况

### 2.1 表层套管

使用TSJ-2000型水源钻机,3NB350型泥浆泵,全面钻进至25m(进入基岩5m),下入 $\Phi 340$ mm表层护管,水泥固井。

钻具组合: $\Phi 377$ mm钻头+ $\Phi 203$ mm钻铤+ $\Phi 89$ mm钻杆。

### 2.2 一开

使用 HXY-9B 型钻机, BW280-30 型泥浆泵, 采用  $\Phi 127$  mm 取心钻头+扩孔器+绳索取心双管钻具+SYC122 型绳索取心液动锤+CHD127 绳索取心钻杆组合<sup>[3]</sup>, 取心钻进到 901 m 时地层涌水, 涌水量达到  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ , 井口压力 0.2 MPa, 冲洗液加重到  $1.20 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 钻进时压力平衡, 冲洗液性能稳定, 停钻时井内涌水, 每起一次钻都要调整、补充冲洗液。由于绳索取心钻具内外管间隙很小, 只有 5 mm, 冲洗液加重后固相含量增多, 钻具内结垢, 内管就不能顺利上下。强行钻进到 1250 m 时, 700 m 处开始坍塌, 每次下钻都要冲扫很长时间, 无法继续绳索取心钻进。

后换用 TSJ-2000 型水源钻机, 3NB350 型泥浆泵扩孔(钻具组合为  $\Phi 215.9$  mm PDC 钻头+ $\Phi 165$  mm 钻铤 3 柱+ $\Phi 89$  mm 钻杆), 下入  $\Phi 177.8$  mm 套管 1250 m, 水泥固井。

在  $\Phi 177.8$  mm 套管内下入  $\Phi 146$  mm $\times$ 6 mm 带接箍套管做衬管, 减小钻具与井壁的环状间隙, 降低钻具摆动, 增加高速旋转钻具的稳定性和安全性。

### 2.3 二开

采用  $\Phi 127$  mm 取心钻头+扩孔器+绳索取心钻具+SYC122 型绳索取心液动锤+CHD127 绳索取心钻杆组合, 取心钻进到 1900 m, 井内坍塌、掉块、涌水等现象严重, 钻具多次被卡, 无法继续钻进。随后换用 TSJ-2000 型钻机先拔出  $\Phi 177.8$  mm 套管内的  $\Phi 146$  mm 衬管(0~1250 m), 再扩孔(钻具组合为  $\Phi 155$  mm PDC 钻头+ $\Phi 121$  mm 钻铤 3 柱+ $\Phi 89$  mm 钻杆)<sup>[4]</sup>。

扩孔后, 下入  $\Phi 146$  mm 套管。由于套管总质量达到 50 t, 钻机最大提升能力仅为 64 t(640 kN); 套管材质为 20 钢, 壁厚 6 mm, 虽有接箍但丝扣强度较低, 起拔 0~1250 m 套管过程中曾脱扣 3 次。为了确保下管安全, 采取分段下入法: 1150~1900 m 段下入  $\Phi 146$  mm $\times$ 8 mm 无箍丝扣套管(与  $\Phi 177.8$  mm 套管重叠 100 m), 水泥封固, 套管上口接“特制大口”作为“插座”, 以便与上段套管紧密连接; 0~1150 m 段下入  $\Phi 146$  mm $\times$ 6 mm 接箍丝扣套管, 底部接特制“插头”与下部套管“插座”紧密配合。

### 2.4 三开

采用  $\Phi 127$  mm 取心钻头+扩孔器+绳索取心钻具+CHD127 绳索取心钻杆取心钻进至 2700 m。

## 2.5 钻进参数(见表 3)

表 3 钻进参数<sup>[5]</sup>  
Table 3 Drilling parameters

钻 头	钻头 直径/ mm	钻 压/ kN	转速/ ( $r \cdot$ $\text{min}^{-1}$ )	冲洗液量/ ( $L \cdot$ $\text{min}^{-1}$ )	孔段/m
		30~40	600~800	220~260	0~1000
金刚石取心	127	40~50	400~800	200~240	1000~2000
		60~70	200~400	180~220	2000~2700
牙轮或 PDC	215.9	100~160	60~80	>800	扩孔钻进
牙轮或 PDC	155	80~120	60~80	>800	扩孔钻进

注:(1)扩孔钻进过程中, 如 HXY-9B 型钻机效率低, 可换用 TSJ-2000 型钻机及配套设备;(2)金刚石钻头的胎体硬度视地层在 HRC25~35 之间选用。

## 3 施工遇到的问题及解决措施

### 3.1 涌水

#### 3.1.1 现象

根据以往施工经验, 该地区白垩系曼岗组、景星组砂岩有多层含水层, 且具有不均一性, 含水层埋深 500~1200 m, 水头压力 0.2~0.4 MPa, 水量  $1.4 \sim 120 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

本井从 901 m 发现涌水, 到 1200 m 涌水量稳定在  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ , 二开在 1700~1900 m 段也出现涌水现象。钻遇涌水层后, 冲洗液性能不能保持, 各项指标忽大忽小, 井内很不稳定, 不能正常钻进, 因此基本是在“钻一堵一钻”反复中施工。每次涌水情况和堵漏措施也不尽相同。

#### 3.1.2 措施

##### 3.1.2.1 平衡钻进

(1)根据井口水头高度和涌水点深度, 测算涌水压力在 0.5 MPa 左右。

(2)根据涌水压力, 计算平衡钻进需要, 调整冲洗液密度至  $1.10 \sim 1.20 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 实现平衡钻进。

(3)冲洗液密度调至下限时, 钻具回转钻进时不涌不漏, 停止回转或上下钻具时井内涌水, 冲洗液很快被稀释、性能被破坏; 冲洗液密度调至上限时, 钻具静止时冲洗液性能稳定, 钻具回转时冲洗液消耗。

钻具回转时由于离心力作用冲洗液对井壁压力相对增大, 另外绳索取心钻具与井壁间隙极小, 钻具上下时钻头相当于活塞在井筒内抽吸<sup>[6]</sup>。

总之, 绳索取心钻进遇涌水时, 很难完全实现平衡钻进。

##### 3.1.2.2 水泥封堵

钻过涌水层,把钻具下到井底密封井口真空注入水泥浆:选用G级油井水泥,添加速凝剂(氯化钙)。此种方法简单易行,但效果不是很好,成功率较低,往往刚钻透水泥塞井内又涌水,不能彻底解决问题<sup>[7]</sup>。

### 3.1.2.3 套管隔离

套管隔离涌水段是相对最稳妥的方法。

(1)下管深度要超过涌水层50 m以深(本井第一次下入 $\varnothing 177.8$  mm套管1250 m,第二次下入 $\varnothing 146$  mm套管1900 m),穿过含水层进入泥岩段。否则水从套管底脚反流进套管,水泥很难封堵,下了套管也起不到隔离作用;

(2)固井:水泥封固要超过涌水层以深50 m,套管垂吊,固定在井口,用环形钢板与外层套管固定,然后外管侧面开洞,外接导管引流(即使使用套管也很难彻底封堵涌水)<sup>[8]</sup>。

套管外水泥上返太多易把涌水从套管底口“逼回”套管内,使套管失去隔离作用。

## 3.2 井漏

### 3.2.1 现象

本区块地层漏失概率较小,但也有漏失现象发生,消耗量在 $2\sim 5$  m<sup>3</sup>之间。特别是到盐岩段换用饱和盐水冲洗液后,冲洗液密度增大,对地层的压力增大;或者上下钻具时的抽吸作用,把地层压漏。

### 3.2.2 措施

#### 3.2.2.1 调浆堵漏

利用堵漏材料进行堵漏。在冲洗液中加入堵漏材料随钻堵漏(FD-2型复合堵漏剂和ZK-12型酸溶性膨胀堵漏剂)。如果随钻堵漏效果不好,可以静止(憋压)堵漏:在冲洗液中加入地层压力增强剂和KKDF-1型复合堵漏剂,必要时加入大裂隙堵漏剂和锯末、稻壳等,注到漏失井段,静止8~12 h或静止憋压堵漏<sup>[9]</sup>。

#### 3.2.2.2 降低冲洗液密度

搞好冲洗液净化工作,本井除使用振动筛、除砂器外还增加了离心机除泥(砂),降低含泥、砂量;调

整冲洗液性能,降低密度<sup>[10]</sup>,稳定冲洗液性能。

#### 3.2.2.3 操作方面

冲洗液中适量加入润滑剂,防止泥包钻头;上下钻具速度要慢,减少钻具的抽吸作用,降低作用于井壁的激动压力。

#### 3.2.2.4 水泥封堵

在漏失层段注入水泥浆封堵:绳索取心钻进时钻具与孔壁间隙太小(单边只有3 mm),为安全起见,密封井口直接泵注水泥浆;水源钻机扩孔时可以把钻具下至漏失井段泵注水泥浆或者把钻具下至漏失井段上部密封井口泵注水泥浆。

## 3.3 井塌

本井共出现2段井内坍塌、掉块现象。第一次在722~1100 m段,景星组砂岩,这是因为钻遇含水层后冲洗液性能被破坏,甚至清水浸泡致使井壁失稳,通过下管成功隔离;第二次是在2544 m处,和平乡组泥砂岩,这是因为地层本身破碎,致使掉块,通过无钾镁基饱和盐水冲洗液中添加氯化钙,提高冲洗液密度和切力,成功抑制了地层的坍塌<sup>[11]</sup>。

## 3.4 盐岩层钻进取心困难

### 3.4.1 现象

本井分别在2443和2643 m处钻遇2层钾盐。钾盐层一般与石膏夹杂、互层,极易溶蚀,常出现岩心表面凹凸不平、取心率低、岩心直径变细,甚至取不上心等现象;盐岩层不稳定,易发生掉块、坍塌卡钻和粘钻事故。

### 3.4.2 措施

#### 3.4.2.1 采用合理的冲洗液类型及性能

为保证盐岩矿心的直径和采取率,在进入预测盐岩层前200 m换用无钾饱和和镁基盐水冲洗液:水+MgCl<sub>2</sub>+HQ+GS+包被剂+PAN+高效稀释剂+GLUB+消泡剂<sup>[12]</sup>。Cl<sup>-</sup>浓度18%。

调整其性能,使其具有良好的携屑、悬浮、润滑等性能(见表4)。

表4 冲洗液性能<sup>[13]</sup>

Table 4 Drilling fluid performance

井段/m	冲洗液类型	常规性能				
		密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	粘度/s	API失水量/[mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	泥饼厚/mm	pH值
1600以浅	聚合物冲洗液	1.05~1.20	22~40	<15	<1	9~11
1600以深	无钾饱和和镁基盐水冲洗液	1.25~1.34	22~35	<8	<0.5	5.5~6

### 3.4.2.2 采用合理的取心工具

4.5 m 长的取心器内外筒不易保持同心,内管晃动厉害,容易弯曲,影响取心率。因而选用 3 m 长的取心器,本区钾盐层夹杂石膏和光卤石,可钻性不是太高,再者,盐岩层埋藏太深,不宜频繁起下钻更换钻头。我们一直使用 XJS122 型锯齿形金刚石钻头(外径加大到 127 mm),胎体硬度为 HRC25~35,效果较好。

## 3.5 其它技术措施

### 3.5.1 提高钻效

1300 m 以浅使用了 SYC122 型绳索取心液动锤,钻效比不用液动锤时提高了 1.5~2 倍。

### 3.5.2 改进夹持器

钻进到 1600 m 时,钻具质量达到近 30 t,钻具被夹扁变形,严重者内管不能通过,原配的两瓣型夹持器不能很好地保护钻具,而且有溜钻危险。我们改进了原用的夹持器:换用三瓣、加长卡瓦型夹持器,使钻具周圈受力面积更大、更匀称,既安全又有效地保护了钻具不变形<sup>[14]</sup>。

### 3.5.3 判断内管到位情况

钻进到 2000 m 时,投放内管到位时在地面听不到声音,手摸钻具感觉不到震动,开泵泵压也无明显升高,不能准确判断内管是否准确到位座挂。经常出现由于内管不到位而导致起大钻的情况。用打捞矛投送辅助时间大大增加。

我们开泵用冲洗液泵送,又购置了医用听诊器贴在钻具上,能清晰地听到内管到位撞击悬挂器的声音,较好地解决了由于内管不到位,经常起大钻的问题。

## 4 取得的成果

2018 年 7 月 20 日开钻,2019 年 6 月 22 日终孔,历时 335 d,其中纯钻 150 d,共完成钻探进尺 2701 m,获取岩心 2431 m,岩心采取率 90%;钻遇钾盐 2 层,累计厚 144.20 m,获取盐心 142.25 m,盐心采取率达 98.65%;终孔口径 127 mm,岩心直径 81 mm。经地球物理测井,各项指标都完全达到设计要求。工程质量优良。受到了甲方和主管院士郑绵平的好评。

## 5 几点建议

### 5.1 膨胀套管封堵

无论涌水、漏失、坍塌等复杂情况,都要准确记录起止位置,在复杂井段 $>80$  m,调浆、水泥封堵不能解决,而又不宜套管隔离的情况下,可以尝试使用膨胀管隔离:先把复杂井段扩孔,然后下入相应规格的膨胀套管,膨胀后内径略大于原孔径,既能形成“铁井壁”,又可不变径继续钻进<sup>[15]</sup>。

### 5.2 衬管

衬管内径比下级钻头直径大 3~4 mm 即可;衬管与套管间每 50 m 要加装一个橡胶扶正套<sup>[16]</sup>,确保衬管居中、稳定;衬管与套管的环状间隙要在地面封严,严防杂物落入、卡阻,造成起拔困难;衬管可加工成反扣连接,以防起拔困难时用正扣钻具即可倒反<sup>[16]</sup>。

### 5.3 扩孔

宜配备 24 m 以上的大吨位钻塔(承载能力达到钻具最大重力的 2 倍以上)和大排量泥浆泵,扩孔时启用钻机转盘,无需更换钻塔。

## 参考文献(References):

- [1] 朱恒银,王强,杨展,等.深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M].武汉:中国地质大学出版社,2014.  
ZHU Hengyin, WANG Qiang, YANG Zhan, et al. Research and application of diamond drill bits in deep geological drilling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2014.
- [2] 伍晓龙,朱芝同,董向宇,等.小口径油气地质调查井的问题与工程实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):27-32.  
WU Xiaolong, ZHU Zhitong, DONG Xiangyu, et al. Problems and field cases of small-diameter oil and gas geological survey wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):27-32.
- [3] 周宗奇,熊家勤,余慎军.SYZX75 绳索取心液动锤在破碎地层中的应用[J].中国煤炭地质,2011,23(1):64-65.  
ZHOU Zongqi, XIONG Jiaqin, YU Shenjun. Application of wire-line coring hydraulic hammer in crumbling strata[J]. Coal Geology of China, 2011,23(1):64-65.
- [4] 罗治奇.中放废液处置场强自然造斜地层钻进的防斜纠斜[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):9-12.  
LUO Zhiqi. Deviation prevention and correction for intermediate level waste liquid disposal field in strong natural whipstocking stratum drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(12):9-12.
- [5] 四川省峨眉山四零三建设工程公司.金刚石绳索取心钻进操作规程[S].  
Sichuan Ermeishan No.403 Construction Engineering Company. Operating procedure for diamond wire-line core drilling[S].
- [6] 刘晓阳,李大昌,叶雪峰.中国铀矿第一科学深钻施工概况[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):297-299,304.  
LIU Xiaoyang, LI Dachang, YE Xuefeng. Introduction of first

- 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)