

# 宁晋石盐田 Y9 - Y10 井组对接连通钻修井技术

张 旭

(河北省煤田地质局第二地质队,河北 邢台 054001)

**摘要:**随着水平对接连通技术不断地发展与完善,各个领域都开始引用,盐井采卤引用该技术更是取得了良好的效果。宁晋石盐田为组建采卤生产井组,决定对已完井多年的 Y10 井先进行修井,然后新建水平定向井 Y9 井对接连通。从井身结构、钻具组合、钻井液配方、钻进参数和钻进过程等多方面对两井组的对接连通进行了系统的总结,为该区以后卤水的开采提供了地质依据与实践经验。

**关键词:**水平对接连通;盐井采卤;修井;钻井

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)09-0069-05

## Intersection drilling and workover of the well pair Y9 - Y10 in Ningjin Rock Salt Field

ZHANG Xu

(Hebei Coalfield Geolog Bureau Second Geological Team, Xingtai Hebei 054001, China)

**Abstract:** With the continuous development and improvement of horizontal well intersection drilling technology, it has been used in various fields, especially in salt brine mining wells. In the context of workover and drilling of the well pair of Well Y10 and Well Y9 in Ningjin Rock-salt Field, this paper systematically summarizes the well structure, drilling tool assembly, drilling fluid formulation, drilling parameters and drilling process, which provides valuable geological basis and practical experience for brine exploitation in this area.

**Key words:** horizontal well intersection; salt well brine mining; workover; drilling

宁晋县境内蕴藏着丰富的岩盐、石油、天然气、煤炭、地热资源,其中岩盐资源储量大,品位好,开采价值高。宁晋盐矿为钙盐型,饱和卤水中有害离子含量很低,一经采出即符合国家一级饱和卤水标准,生产成本低,且生产能力强,采卤能力可持续开采上百年。宁晋石盐田的主要地质灾害是地应力集中、地震频发、盐层蠕动<sup>[1]</sup>,很容易造成盐井套管变形错断、盐层溶腔缩小、通道堵塞等状况。为组建采卤生产井组,决定对已完井多年的 Y10 井先进行修井,新建水平定向井 Y9 井的开工时间根据其修井进度而定,避免因裸孔等待时间较长,给对接造成影响,影响整体工程进度。通过对设备的选取、施工工艺的制定和多方面的配合,完成了两井的对接连通,实现了采卤生产。2018 年 1 月 2 日至 6 月 3 日进行的 Y9 - Y10 井组钻修井工程为河北中盐龙祥盐化

有限公司为完成 60 万 t/年制盐项目中的一对井。

### 1 矿区地理及地质概况

#### 1.1 地理概况

本区位于河北省邢台市宁晋县大陆村镇草厂村、张家庄附近,两井井距 320 m,西距宁晋县城约 25 km,区内有 308 国道穿过,可通往京珠高速公路,东部有深(泽)新(河)公路贯通,可通往附近县城,各乡镇之间也有公路相连,交通便利。

#### 1.2 构造

本区处太行山东麓冲积平原,地势低平,由西北向东南缓倾斜,按大地构造单元划分,河北省辖区内以东西向的尚义-赤城断裂为界划分出板缘(尚义-赤城断裂以北)与板内(尚义-赤城断裂以南)两个 I 级构造单元。在板内则根据沉积建造、岩浆活

收稿日期:2019-07-01; 修回日期:2019-07-30 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.09.008

作者简介:张旭,男,汉族,1987 年生,勘查技术与工程专业,主要从事矿产资源勘查工作,河北省邢台市高开区北康庄辰光工业园,mtedzhangxu@163.com。

引用格式:张旭.宁晋石盐田 Y9 - Y10 井组对接连通钻修井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):69-73.

ZHANG Xu. Intersection drilling and workover of the well pair Y9 - Y10 in Ningjin Rock Salt Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):69-73.

动和地球物理特征等,又进一步划分出Ⅱ级构造单元3个,分别为太行山断褶带、燕山断褶带和冀东南沉积区<sup>[2]</sup>。本区分布于冀东南沉降区之束鹿断凹<sup>[3]</sup>之中,向西为晋县断凹,向东为新河断凸。区内盐矿层总体走向北东,倾向南东,地层倾角近似 $1^\circ$ 。在以往钻井施工过程中未遇到断层,盐矿层呈缓倾斜的单斜发育,断层稀少,对盐矿层影响不大。

### 1.3 地层特征

钻孔所揭露的地层自上而下依次为:第四系,新近系明化镇组、馆陶组,古近系东营组、沙河街组一段(未揭穿)。

第四系:主要为冲积、洪积、风积、湖积成因的砂质粘土、泥质砂土、中细砂、砂砾及粘土组成,下部为红黄色、棕黄色泥质砂土、砂质粘土及砂砾透镜体,底部为杂色粘土夹砂砾层,分选差,偶见砾石,砾石呈棱角状一次棱角状,砾径 $2\sim 15$  mm。

新近系明化镇组( $N_2m$ ):岩性主要由棕红、棕黄、少量灰绿、紫红色泥岩、砂质泥岩,少量石英长石细砾以及石英中粗、粉细砂岩组成,主要成分为石英、长石、粘土矿物,局部见少量砾石。新近系馆陶组( $N_1g$ ):岩性为棕红、灰绿、棕黄色泥岩与灰白、浅黄色石英中细、粗砂岩与石英、长石细砾岩呈不等厚互层分布,下部发育一层灰白色粗砂岩,主要成分为石英、长石,分选中等,次棱角状至次圆状,含有砾石,砾径 $2\sim 5$  mm。

古近系东营组( $E_3d$ ):岩性主要为棕红、灰绿、紫红、少量褐黄色泥岩、砂质泥岩与灰白色砂岩互层,中部夹有灰白色泥灰岩薄层,胶结程度较好,偶见肉红色长石细砾。古近系沙河街组一段( $E_3s^1$ ):上部岩性以棕红、暗棕红、灰绿色泥岩、砂质泥岩,夹棕红、灰绿、灰白色粉细砂岩薄层,夹若干层泥灰岩薄层;下部主要为灰、深灰泥灰岩、灰白色、灰色白云质泥岩与岩盐互层,性脆、易碎,胶结程度好,结晶程度较好,偶见少量硬石膏颗粒;底部岩性主要为褐红色白云质泥岩、灰色泥灰岩<sup>[4]</sup>。

各组地层厚度及深度情况见表1。

## 2 施工过程

### 2.1 Y10井修井过程

Y10井是2011年已完钻的直井,此次修井任务是对其进行通井、洗井建槽、起下仪器、配合Y9井对接连通等。

表1 Y10、Y9井地层厚度及埋深统计表

井号	地层厚度/埋深/m				
	Q	$N_2m$	$N_1g$	$E_3d$	$E_3s^1$
Y10	525/525	495/1020	540/1560	715/2275	618.79(未揭穿)/2893.79
Y9	500/500	510/1010	540/1550	730/2280	582.73(未揭穿)/2862.73

### 2.1.1 设备选取

修井工作选取了TSJ3000型钻机,3NB-1300型泥浆泵,12V190、WD6135型柴油机,XYRMGS-1对接仪器等相关配套设备。

### 2.1.2 井身结构(见表2)

表2 Y10井井身结构

序号	井径/mm	井段/m	套管外径×壁厚(钢级)/mm	下入套管井段/m
1	345	0~537.36	273.1×8.89(J55)	0~536.86
2			177.8×9.19(N80)	0~2097.46
3	244.5	537.36~2846.24	177.8×10.36(N80)	2097.46~2846.24
4	152.4	2846.24~2893.79	裸眼	

### 2.1.3 钻具组合

该井通井顺畅,直接通井扫孔至井深2876.40 m,采用的钻具组合为: $\varnothing 152.4$  mm牙轮钻头+ $\varnothing 121$  mm钻铤+ $\varnothing 89$  mm钻杆。

### 2.1.4 通井参数(见表3)

表3 通井参数

井段/m	钻头		钻进参数			
	尺寸/mm	型号	钻压/kN	转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	泵量/( $L \cdot s^{-1}$ )	泵压/MPa
0~2876.40	152.4	牙轮	10	460	12	8

### 2.1.5 钻井液配方及参数

扫孔钻进以低固相水基钻井液作为循环介质,其具体参数见表4。

表4 钻井液参数

井段/m	密度/( $g \cdot m^{-3}$ )	漏斗粘度/s	pH值	含砂量/%
0~2876.40	1.08~1.17	16~17	8	0.1

## 2.2 Y9井钻井过程

### 2.2.1 设备选取

钻井工作选取了ZJ30型钻机,3NB-1300型泥浆泵,12V190型柴油机、NCS-300型除砂器、PLM

- MWD 连续测斜仪等相关配套设备。

## 2.2.2 井身结构(见表 5)

表 5 井身结构  
Table 5 Wellbore structure

序号	井径/mm	井段/m	套管外径/mm	井段/m
1	346.1	0~539.90	273.1	0~539.74
2	241.3	539.90~2877.07	177.8	0~2872.28
3	152.4	2877.07~3101.83		裸眼

对接连通示意图见图 1。

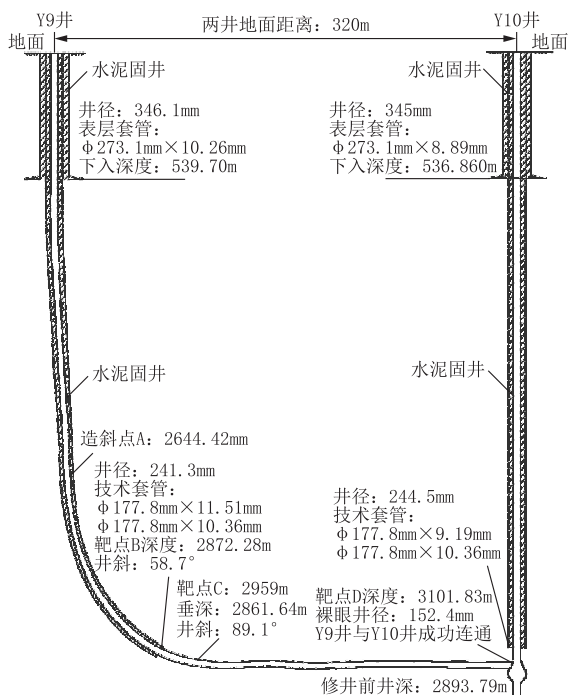


图 1 Y9 井与 Y10 井对接连通井身剖面图

Fig.1 Cross-section of connection of Well Y9 and Well Y10

## 2.2.3 钻具组合

一开直井段(0~539.90 m)钻具组合为:  $\text{O}346.1$  mm 牙轮钻头 +  $\text{O}172$  mm 钻铤 +  $\text{O}165$  mm 钻铤 +  $\text{O}127$  mm 钻杆。

二开直井段(539.9~2644.42 m)钻具组合为:  $\text{O}241.3$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}172$  mm 钻铤 +  $\text{O}165$  mm 钻铤 +  $\text{O}127$  mm 钻杆<sup>[5]</sup>。

二开造斜段(2644.42~2877.07 m)钻具组合为:  $\text{O}215.9$  mm 牙轮钻头 +  $\text{O}172$  mm 螺杆(1.75°) +  $\text{O}165$  mm 定向直接头 +  $\text{O}165$  mm 无磁钻铤 +  $\text{O}127$  mm 钻杆。为了顺利下入  $\text{O}177.8$  mm 技术套管,又使用  $\text{O}241.3$  mm PDC 钻头从 2664.42 m 扩孔至 2877.07 m。

二开增斜段(2877.07~2952 m)钻具组合为:

$\text{O}152.4$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}120$  mm 螺杆(2°) +  $\text{O}120$  mm 定向直接头 +  $\text{O}89$  mm 无磁钻杆 +  $\text{O}89$  mm 钻杆。

三开水平段(2952~3101.83 m)钻具组合为:  $\text{O}152.4$  mm PDC 钻头 +  $\text{O}120$  mm 螺杆(1.5°) +  $\text{O}120$  mm 定向直接头 +  $\text{O}89$  mm 无磁钻杆 +  $\text{O}89$  mm 钻杆。

## 2.2.4 钻进参数(见表 6)

表 6 钻进参数  
Table 6 Drilling parameters

井段/m	钻 头		钻 进 参 数	
	外径/mm	类型	钻压/kN	泵压/MPa
0~539.90	346.1	牙轮	10~50	2~5
539.9~2644.42	241.3	PDC	30~50	3.5~12
2644.42~2877.07	215.9	牙轮	30~50	3.5~12
2644.42~2877.07	241.3	PDC	20~50	3.5~12
2877.07~3101.83	152.4	PDC	20~50	12~17

## 2.2.5 钻井液配方

一开:0~539.9 m 采用低固相粗分散钙处理钻井液<sup>[6]</sup>。配方为:1 m<sup>3</sup> 水 + 4% 钠膨润土 + 0.1% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.1% CMC。

二开:539.9~2580.93 m 采用低固相粗分散钙处理钻井液。配方为:1 m<sup>3</sup> 水 + 4% 钠膨润土 + 0.1% NaOH + 0.3% KPAM + 0.2% CMC + 0.6% ~ 0.9% NH<sub>4</sub>HPAN。

2580.93~2877.07 m 采用低固相粗分散钙处理饱和盐水钻井液<sup>[7]</sup>。配方为:1 m<sup>3</sup> 水 + 5% 钠膨润土 + 0.3% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.1% NaOH + 0.2% ~ 0.3% KPAM + 0.7% PAC + 5% SMP - 2 + 33% NaCl。

三开:2877.07~3101.83 m 用低固相粗分散钙处理饱和盐水钻井液。配方为:1 m<sup>3</sup> 水 + 5% 钠膨润土 + 0.3% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.1% NaOH + 0.2% ~ 0.3% KPAM + 0.7% PAC + 5% SMP - 2 + 33% NaCl。

为了减少井下高温(2600 m 以深温度 > 80°)对钻井液的影响,加大了耐高温 KPAM、PAC 的使用量,比例由 1% 提高至 1.5%。钻井过程中转盘负荷加重,起下钻摩阻较大,在保证钻井液性能稳定的同时,尽可能降低钻井液中的有害固相,同时加大石墨等润滑剂的使用,比例由 1% 提高至 1.4%,减少泥饼摩擦系数,提高泥饼质量。每 2 h 对钻井液进行全套性能检测,特殊情况如涌水、漏水、调浆等加密检测,以便及时对钻井液性能进行调整。

## 2.2.6 钻井液性能

膏盐层和软泥层的蠕变变形<sup>[1]</sup>,致使井眼瞬时缩径,导致起下钻遇卡;多套不同的压力层系地层共存,易发生卡钻。

石盐层的溶解,形成大肚子井眼,粉砂岩或硬石膏团块,遇矿化度低的水会溶解,盐溶的结果导致泥页岩、粉砂岩、硬石膏团块失去支撑而坍塌<sup>[8]</sup>,钻井液密度不易控制。表7为各井段钻井液具体参数<sup>[9]</sup>。

表7 各井段钻井液参数

Table 7 Drilling fluid parameters for each interval

井段/m	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	漏斗粘 度/s	滤失 量/mL	泥饼 厚/mm	pH 值
0~539.9	1.10~1.20	20~25	<15	<1.0	7~8
539.9~2580.93	1.10~1.20	20~25	<15	<1.0	7~8
2580.93~2877.07	1.30~1.40	40~60	<5	<1.0	7~8
2877.07~3101.83	1.35~1.40	40~60	<5	<0.5	7~8

针对盐岩遇水溶解,石膏、泥岩地层遇水不稳定特点,不同的层段采用不同种类的钻井液配比<sup>[10]</sup>,对冷却钻头、携带岩屑、保护井壁和盐层、接近连通时能够平衡两孔间压力,起到了重要的作用。

### 2.2.7 钻进过程

一开直井段:1月29日—2月1日,使用牙轮钻头,钻至井深539.90 m;至2月3日完成了测井、下表层套管、固井等工作,随后候凝72 h。

二开直井段:2月26日—3月28日,使用牙轮钻头钻至井深2644.42 m。

二开斜井段:3月31日—4月1日,使用PDC钻头钻至井深2721.19 m;测井后于4月9日继续钻进至2877.07 m;4月13日使用 $\text{O}241.3$  mm牙轮钻头扩孔至井深2877.07 m,随后下入技术套管至井深2872.28 m处;14日固井后候凝3 d。斜井段钻进时每50~60 m短起下钻具,特别在井斜 $50^\circ \sim 65^\circ$ 井段,经常起下钻具。要及时活动钻具,防止岩屑沉积卡钻,采用短起下钻具和分段循环钻井液的方法清除岩屑。

增斜段:4月25—29日,使用 $2^\circ$ 螺杆钻钻进至2952 m。

水平井段:4月30日—5月13日,改用 $1.5^\circ$ 螺杆继续钻进至3101.83 m至两井连通。

### 2.2.8 对接连通

两井对接连通后,在替浆过程中出现了Y10井井内沉积的岩粉堵塞了连通通道现象,处理后无果,故决定Y9井尽快下钻通井。Y9井通井至2700.56 m处遇阻,随后开始划眼,划至3019 m处岩粉堵塞严

重,加压、短时间复合钻进亦不通。经我队生产、地质技术人员和中盐龙祥公司相关技术人员共同商讨,为避免出现新轨迹井眼,决定提钻换用牙轮钻头和螺杆再下钻通井,最终于5月23日两井再次连通。

两井采用了“点对点”高精度对接连通技术,Y10井下入XYRMGS-1型号对接仪器,Y9井下入PLM-MWD连续测斜仪器,一次对接成功,对接成果见垂直剖面图(图2)和水平投影图(图3)。

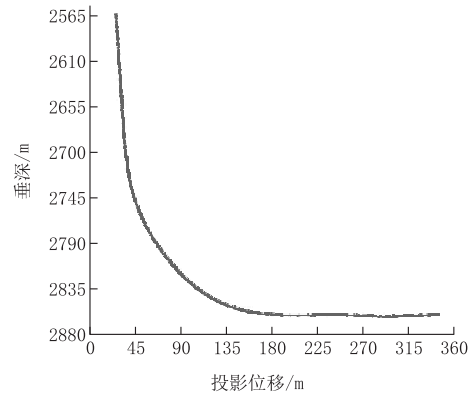


图2 连通垂直剖面图

Fig.2 Vertical section view of horizontal well

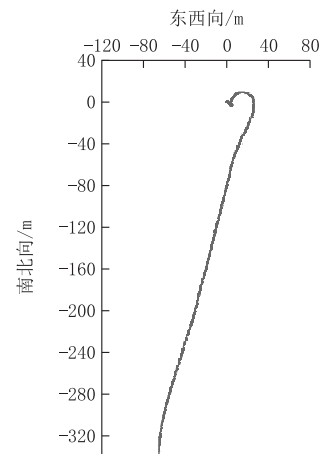


图3 水平投影图

Fig.3 Plan projection

### 2.2.9 采卤生产

两井连通后先用Y9井泥浆泵注入清水,经井底通道循环至Y10井,待钻井液全部替换完后停泵;Y10井开泵,经井底通道循环至Y9井,溶解岩盐生成卤水,再经采卤管道返至中盐卤池;随后由中盐建槽泵接替泥浆泵进行循环,实现了两井的采卤生产。前10 d内统计数据注水压力 $1.89 \sim 4.72$  MPa,采卤量 $60 \sim 100$   $\text{m}^3/\text{h}$ 。两井连通后进入试采期,尽可能加大注水量,增加出卤量<sup>[11]</sup>。

### 3 施工安全保障措施

#### 3.1 防卡钻措施<sup>[12]</sup>

往钻井液中加入润滑剂,改善钻井液的润滑性;从严格控制钻井液滤失量,尤其是 API 中压失水量,降低泥饼厚度;定向钻进时,每钻进 30~50 m 短起下一次,及时清除岩屑床,防止岩屑卡钻<sup>[13]</sup>;钻具中配合使用震击器,有助于解卡<sup>[14]</sup>。

#### 3.2 对接连通及连通后的操作注意事项

事先铺设井口地面管线,不要影响修井设备的安装和拆卸;Y9 井钻井时,维持钻井液密度 1.38~1.42 g/cm<sup>3</sup>,另外储备钻井液 60 m<sup>3</sup>,以备连通后钻井液需要。Y9 井打开钻井液回灌管路,提钻,并且确保井口时刻灌满钻井液,维持钻井液对井壁盐层的平衡压力,防止盐层蠕动缩径<sup>[15]</sup>造成连通通道堵塞。在确保 Y9 井钻井液充足的情况下,Y10 井适度打开井口阀门泄压,流量控制在 5 m<sup>3</sup>/h 左右,逐渐实现两井的钻井液平衡。

### 4 总结及建议

(1) 各个井段要密切注意钻井液性能参数的变化,根据所遇地层及时调整。

(2) 水平连通井采卤较单井循环采卤有着资源利用率高,投资小回报高,卤水产量大浓度高的特点。

(3) 两井连通后,应加大注水量,短期内不要停止循环采卤,以免造成连通通道的堵塞。

(4) 优化钻具组合,能增大直井段、斜井段与水平段的钻进能力与效率,加大各个生产环节质量把控,最大限度地减少设备故障与事故的发生。

(5) 本区可采盐层较厚,若裸眼段、水平段过长,长时间开采容易造成砂堵,建议裸眼段控制在 150 m 左右,水平段控制在 100 m 左右。

### 参考文献 (References):

- [1] 曾义金,陈勉.深层盐膏岩蠕变规律研究[J].石油钻采工艺,2002,24(6):1-3.  
ZENG Yijin, CHEN Mian. Laws study on deep salt-bed creeping[J]. Petroleum Drilling and Production Technology, 2002, 24(6):1-3.
- [2] 河北省煤田地质局第二地质队.河北省宁晋-辛集石盐田石盐资源普查报告[R].邢台:河北省煤田地质局第二地质队,2016.  
Hebei Goalfield Geology Bureau Second Geological Team. Survey report on rock salt resources in Ningjin-Xinji Salt Field, Hebei Province[R]. Xingtai: Hebei Goalfield Geology Bureau Second Geological Team, 2016.
- [3] 宋金保,高亮.宁晋-辛集石盐田石盐矿床特征及其成因探讨

- [J].能源与环保,2017,39(11):131-134.  
SONG Jinbao, GAO Liang. Characteristics and genesis of halite deposit in Ningjin-Xinji halite field[J]. China Energy and Environmental Protection, 2017,39(11):131-134.
- [4] DZ/T 0212-2002,盐湖和盐类矿产地质勘查规范[S].  
DZ/T 0212-2002, Specifications for salt-lake, salt mineral exploration[S].
- [5] SY/T 5172-1996,直井下部钻具组合设计方法[S].  
SY/T 5172-1996, Design method of downhole BHA[S].
- [6] 徐德安.盐井水平对接钻井技术[J].钻采工艺,2003,26(4):3-5.  
XU De'an. Drilling technology of horizontal space-dock salt well [J]. Drilling & Production Technology, 2003,26(4):3-5.
- [7] 徐同台.井壁不稳定地层的分类及泥浆技术对策[J].钻井液与完井液,1996,13(4):42-45.  
XU Tongtai. Classification of unstable strata on wellbore wall and mud technology countermeasure [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 1996,13(4):42-45.
- [8] SY/T 6709-2008,膏盐层钻井技术规程[S].  
SY/T 6709-2008, Drilling technology rules for gypsolith and salt formation[S].
- [9] 赵岩,黄键.宁晋盐岩勘探孔钻井液施工研究[J].西部探矿工程,2013(9):27-28,32.  
ZHAO Yan, HUANG Jian. Study on drilling fluid construction for salt rock exploration hole in Ningjin[J]. West-China Exploration Engineering, 2013(9):27-28,32.
- [10] 李海涛.钻井液在钻井各阶段的作用[J].中国石油和化工标准与质量,2012,32(3):140.  
LI Haitao. The role of drilling fluid in various stages of drilling[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2012,32(3):140.
- [11] 周铁芳,向军文.采卤对接井钻井技术及在井矿盐开采中的应用[J].中国井矿盐,1996(1):16-18.  
ZHOU Tiefang, XIANG Junwen. Drilling technology of brine mining butt wells and its application in well and mine salt mining[J]. China Well and Rock Salt, 1996(1):16-18.
- [12] 王联浩,朱培民.盐井钻探及对接连通技术[J].中国井矿盐,2013,44(1):15-16,20.  
WANG Lianhao, ZHU Peimin. Salt well drilling and docking and connectivity technology[J]. China Well and Rock Salt, 2013,44(1):15-16,20.
- [13] 黄丽萍.机械法清除岩屑床的探讨[J].钻采工艺,2002,25(3):22-23,2.  
HUANG Liping. Study on clearance cuttings bed by using mechanical method [J]. Drilling & Production Technology, 2002,25(3):22-23,2.
- [14] 孟胜涛,汪雪松,向东,等.随钻震击器在钻井中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2012,32(7):142.  
MENG Shengtao, WANG Xuesong, XIANG dong, et al. Application of while-drilling jar in drilling[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2012,32(7):142.
- [15] 冯志军,刘德平,卓云,等.川东泥页岩及石膏盐层缩径卡钻分析及对策[J].钻采工艺,2010,33(5):123-125.  
FENG Zhijun, LIU Deping, ZHUO Yun, et al. Analysis and countermeasure of diameter shrinkage and sticking in mud shale and gypsum salt layer in Eastern Sichuan[J]. Drilling & Production Technology, 2010,33(5):123-125.

(编辑 韩丽丽)