

# 宁夏固原采卤井施工技术

王勇军, 谭现锋, 邵立宁, 杜志强  
(山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253017)

**摘要:**结合宁夏固原采卤井的地质概况、盐井技术参数及要求、钻探设备、钻井工艺等方面对采卤井施工进行了介绍,重点阐述了钻井液、固井、水平井对接施工等关键工艺措施,并列出了施工中出现的粘土侵、含石膏泥岩缩径垮塌、大斜度井段沉砂等突出问题,并就其处理方法进行了分析探讨,总结了采卤井施工经验。

**关键词:**采卤井;造斜;水平井对接;钻井液;固井

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)11-0021-05

**Construction Technology of Brine Wells in Guyuan of Ningxia/WANG Yong-jun, TAN Xian-feng, SHAO Li-ning, DU Zhi-qiang** (Shandong Province Lubei Geology Project Reconnaissance Institute, Dezhou Shandong 253015, China)

**Abstract:** Based on geological survey, salt well technical parameters and requirements, drilling equipments, drilling technology and other aspects in the brine well in Guyuan of Ningxia, this paper introduces the brine well construction, focuses on the key technical measures of drilling fluid, cementing and butt construction, etc. and lists the outstanding issues appeared in the construction, such as clay mixing into drilling fluid, gypsum-containing shale necking collapse and sand setting in high angle wells segment, the processing methods are analyzed and the experiences and lessons of brine well construction are summarized.

**Key words:** brine well; whipstocking; horizontal butted well; drilling fluid; cementing

## 1 工程简介

宁夏固原采卤井井结构设计为水平对接井,我院负责施工的井号为J9-J10、J27-J14两对采卤井,工程地点位于宁夏固原市。主要工作内容包括:井组定位、钻井、综合录井、地球物理测井、取样化验、固井、盐井完井等相关内容。

## 2 工程概况

### 2.1 地质概况

采卤井设计目的层为白垩系乃家河组( $K_{n1}$ )岩盐。矿区由上至下地层依次为第四系黄土、粘土、砂质粘土,古近系清水营组泥岩、砂质泥岩,白垩系下统乃家河组泥岩、含泥盐岩、含盐泥岩、泥质白云岩、含白云质盐岩、白云岩、盐岩。

### 2.2 采卤井技术参数及要求

#### 2.2.1 采卤井技术参数

采卤井设计深度1151~1442.2 m,井组间距200 m,对井水平距离300 m,造斜率 $0.4^\circ/\text{m}$ ,曲率半径 $R=143.2\text{ m}$ ,水平(斜直)井段长150 m左右。

#### 2.2.2 采卤井技术要求

(1)直井段:井深误差 $<0.5\%$ ,井斜 $<2^\circ$ ,测点间距30 m,相邻测点方位角变化不得超过 $45^\circ/30\text{ m}$ ,井斜度变化不超过 $1.5^\circ/30\text{ m}$ 。按勘探井设计施工,钻获有工业价值的岩盐矿层后下 $\text{Ø}177.8\text{ mm}$ 技术套管固井,完井方式为先期完井。 $\text{Ø}177.8\text{ mm}$ 技术套管下深至最下部盐层顶界以上1~2 m,下深具体数据根据实钻结果现场确定,各次固井水泥浆均返出地面。 $\text{Ø}152\text{ mm}$ 钻头钻开水泥塞并钻进至盐层底界以下15~20 m终孔,并在最下部首采盐层底界以上1~2 m处进行定点循环建槽。

(2)定向水平井段:依据水平井设计轨迹施工,结合直井及水平井直井段的钻探资料确定造斜点深度,确保造斜段平均造斜率、水平段长度符合设计要求,“中靶”误差 $<1\text{ m}$ 、确保连通。

### 2.3 钻井设备

本项目设计井深1151~1442.2 m,其中包括水平对接井,依据钻机负荷及水平对接钻进的特点及要求,确定选择的钻机负荷能力及配置能够满足

收稿日期:2016-01-27;修回日期:2016-06-13

作者简介:王勇军,男,汉族,1984生,工程师,长期从事大口径深孔钻探施工技术与生产管理,山东省德州市大学东路1499号,wyjcd511@sina.com;谭现锋,男,汉族,1977年生,研究员,地质工程专业,长期从事地热、钾(岩)盐、卤水、页岩气、干热岩等深部资源钻探的施工与管理工作,geotan1977@126.com。

2000 m 及以深井深的需要<sup>[1]</sup>,设备工况良好,设备防护与安全设施齐全,动力与传动系统效率高,循环与钻井液净化维护处理系统能够满足不同井段对排量、钻井液性能维护与钻井液储备的要求,本项目所投入的主要钻井设备见表1。

### 3 主要工艺措施

#### 3.1 钻具组合(见表2)

#### 3.2 钻井液

##### 3.2.1 钻井液性能(见表3)

##### 3.2.2 钻井液配方(见表4)

表1 主要钻井设备表

名称	型号	数量
钻机	T SJ - 2600	1台
井架	J J 135/31 - K	1副
泥浆泵	3NB - 500	1台
固控系统	ZJ30/25	1套
美国精确对接仪	RMRS	1台
撬装式测井绞车	测深 3500 m	1台
DST 有线随钻测量仪	DST - 2	1台
钻杆	Ø89 mm(18°坡)	1500 m
钻铤	Ø203、159、121 mm	400 m
无磁钻铤	Ø165、121 mm	2根
螺杆钻具	Ø172 mm(1.75°、2.0°)	3根
	Ø121 mm(1.5°、1.75°)	4根

表2 钻具组合表

序号	钻具类型	钻头、钻具组合参数
一开	钟摆钻具	Ø311.1 mm 牙轮钻头 + Ø203 mm 钻铤 × 2 根 + Ø311 mm 螺扶 1 个 + Ø177.8 mm 钻铤 × 6 根 + Ø89 mm 钻杆 + 133 方钻杆
二开	钟摆钻具(直井段)	Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø177.8 mm 钻铤 × 2 根 + Ø215 mm 螺扶 1 个 + Ø155.8 mm 钻铤 × 9 根 + Ø89 mm 钻杆 + 133 方钻杆
	螺杆钻具(定向井段)	Ø215.9 mm 牙轮钻头 + Ø172 mm 单弯 1.75° 螺扶 + Ø177.8 mm 定向短节 + Ø177.8 mm 无磁钻铤 + Ø89 mm 加重钻杆 + Ø89 mm 钻杆 <sup>[2]</sup> + 133 方钻杆
三开	满眼钻具(直井段)	Ø152.1 mm PDC 钻头 + Ø121 mm 钻铤 × 15 根 + Ø89 mm 钻杆 + 108 方钻杆
	螺杆钻具(定向井段)	Ø152.1 mm PDC 钻头 + Ø121 mm 单弯 1.75° 螺扶 + Ø121 mm 定向短节 + Ø121 mm 无磁钻杆 + Ø89 mm 加重钻杆 + Ø89 mm 钻杆 + 108 方钻杆 <sup>[3]</sup>

表3 钻井液性能参数表

孔 段	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	漏斗粘 度/s	API 失水量/[mL· (30 min) <sup>-1</sup> ]	API 滤饼 厚度/mm	pH 值	含砂量/ %	静切力/ Pa	动切力/ Pa	塑性粘度/ (mPa·s)	动塑 比
0~210 m	<1.10	35~50	6~10	<1	8~9	<0.5				
210 m~造斜点上 100 m	<1.15	35~45	3~6	<1	9~10	<0.5	2~3	5~9	26.5~42.5	>0.5
造斜点上 100 m~设计孔深	1.30~1.36	35~45	2~4	<0.8	9~10	<0.5	1~2	5~9	26.5~42.5	>0.5

表4 钻井液配方表

孔 段	加量/(kg·m <sup>-3</sup> )										
	膨润土	纯碱	烧碱	抗盐降 失水剂	降失水 抑制剂	封堵 防塌剂	降粘剂	K-PAM	抗盐剂	重结晶 抑制剂	盐(Cl <sup>-</sup> )
0~210 m	50~70	3~5	2~3	3~5	3~5						
210 m~造斜点上 100 m	30~40	2~4	2~4	5~10	5~8	5~10	8~12	3~5			
造斜点上 100 m~设计孔深	6~8	2~4	2~5	10~15	10~15	5~10	5~10	5~8	8~10	3~5	250~300

##### 3.2.3 钻井液维护处理

一开井段(0~210 m):用预水化膨润土钻井液开钻,钻进中根据钻遇地层情况,补充提粘剂、降失水抑制剂,保持钻井液具有较强的携带和悬浮能力,满足大井眼钻进需要,同时控制钻井液失水性能,预防井壁失稳事故发生<sup>[4]</sup>。

210 m~造斜点上 100 m 井段:扫水泥塞后将水泥污染的钻井液排出,按配方加入各种处理剂胶液,调整钻井液性能至设计值。钻进中及时补充配

制好的浓度为 1.5% 的处理剂胶液<sup>[5]</sup>,细水长流的方式加入以维护钻井液,需稀释时加入低浓度的由稀释剂和降失水抑制剂配制的胶液,保持钻井液的抑制性,同时运用固控设备严格控制钻井液中的劣质固相含量。

造斜点上 100 m~设计孔深井段:在由聚合物钻井液体系转化为饱和盐水钻井液时,利用固控设备清除钻井液中劣质固相,同时将钻井液稀释至粘度 32 s 左右,将钻井液中的膨润土含量控制在 40

g/L 以下<sup>[6]</sup>,加盐至设计值,再加入抗盐、抗盐降失水剂、包被剂等处理剂配制的胶液调节钻井液性能至设计值,最后加入火碱调节钻井液 pH 值,钻进中补充由抗盐剂、火碱、降失水剂、防塌剂、抑制剂、包被剂配制的混合胶液维持钻井液性能。

### 3.3 固井

#### 3.3.1 注水泥设计(见表5)

表5 注水泥设计表

设计孔径/mm	套管尺寸/mm	钻井液密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	水泥浆返高/地面	水灰比	套管内水泥塞高度/m	水泥浆密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	水泥牌号
311	244.5	<1.15	地面	0.49	20	1.85	油井 G 级
215.9	177.8	1.30~1.35	地面	0.49	20	1.85	油井 G 级

#### 3.3.2 重点技术措施

(1)起钻下套管前以较大排量洗井,洗井时间不少于两个循环周。洗井循环中,应密切注意观察振动筛返出岩屑量的变化、钻井液池液面变化。同时要要进行承压试验,确保达到固井条件<sup>[7]</sup>。

(2)按设计要求使用套管扶正器,套管丝扣连接紧密。

(3)下套管过程中按要求及时灌好钻井液,下完套管后灌满钻井液后开泵循环,先小排量开泵,顶通建立循环泵压稳定后用大排量循环洗井2周,直至振动筛上无泥饼和岩屑、钻井液性能达到固井施工要求。

(4)注水泥作业前对现场施工水样、水泥及外加剂样品进行化验和相关试验。

(5)固井前严格检查固井设备,下灰系统、混浆系统、供气系统等是否符合施工要求,配合固井的钻井泵、柴油机、压风机、发电机、井控系统等设备进行试运转并运转正常,满足施工要求,确保固井施工的连续性。

(6)水泥附加量要足够,固井过程中严格按注水泥浆设计添加水泥、水、及外加剂,专人监测水泥浆密度,确保入井水泥浆密度达到设计要求。

(7)碰压、憋压均须在满足钻具、套管、附件、井口强度允许的范围内进行<sup>[8]</sup>。采取措施确保管内外压差始终被控制在安全的范围内,碰压后,稳压2~3 min 后泄压。

### 3.4 水平对接施工技术

二开常规钻进至1100 m后,使用2.0°单弯

Ø172 mm 螺杆钻具定向造斜钻进,通过随钻检测仪实时监测钻孔轨迹参数,根据监测数据调整钻进参数,增斜钻进曲率控制在(0.35°~0.5°)/m,钻进至二开设计深度1260 m(井斜约65.1°)后进行电测井并结合现场岩屑编录准确判定层位,下入技术套管1259.8 m 并全段固井。三开采用常规钻具扫开水泥塞,首先下入1.75°单弯 Ø121 mm 螺杆钻具造斜钻进,增斜钻进曲率控制在(0.3°~0.5°)/m,同时加强现场地质录井工作,准确判定钻孔是否进入目的层,在钻进至1298.7 m 进入目的层,井斜82.7°。进入目的层后水平段采取螺杆+转盘回转相结合的复合钻进工艺,通过微增斜控制水平段的井眼轨迹,使其始终保持在目的层内,同时通过对点对接仪精确测量靶点与钻孔轨迹的方位、距离、高差等参数,计算并调节定向钻进参数,直至与直井连通,形成水平对接生产井组<sup>[9]</sup>。施工要点如下。

(1)认真检查下井螺杆钻具,确保其弯度与设计一致、定向键与弯曲方向一致,并在井口接方钻杆开泵试运转,确定其性能完好后下入井内。

(2)直井段钻完后,充分循环并调整好钻井液性能后起钻下入定向造斜钻具。下钻如遇阻,不得用螺杆钻具长时间在同一位置划眼,不能开泵硬压。

(3)下钻到底启动螺杆钻具时,必须将钻具脱离孔底0.3~0.5 m,观察并记录泵压,与螺杆钻具设计泵压值一致方可进行钻进,钻进时严格按设计要求加压。

(4)钻进中调整方位时,钻头应脱离井底一定距离(1~2 m),防止井底沉砂或缩径致使转动钻具时地面与井下不同步而造成人为误差。转动钻具角度大时,要分角度转动,每转动一定角度都要上下大幅度活动钻具,使储存在下部钻柱上的弹性扭转变形能释放<sup>[10]</sup>,保证孔底钻具转动方向与地面转动方向一致。

(5)随钻定向过程中要时时观察记录井斜角和方位角,并根据监测数据及时作出水平投影图和垂直剖面图,预测井眼轨迹变化,保证不出靶区。

(6)每次加单根前都要划眼1~3次,特别在井斜45°~65°井段,增加划眼次数,停泵无阻卡后方可接单根,防止岩屑沉积卡钻。做到早开泵、晚停泵,遇阻、遇卡不能硬压硬拔,应采取开泵小排量循环,活动钻具冲通。

## 4 施工中遇到的问题及解决方法

### 4.1 粘土侵

#### 4.1.1 问题及原因分析

直井 J9 二开开钻后钻井液逐渐增稠,随钻添加清水、稀释剂胶液稀释钻井液,至 326 m 后钻井液增稠厉害,影响钻井液流动,固控设备振动筛、除砂器被糊死,钻井液中含有大量的粘土颗粒<sup>[11]</sup>,现场测量钻井液粘度达到 92 s。根据现场钻井液状况及相关地层资料分析,此现象为钻开地层中的粘土侵入钻井液中,造成钻井液中粘土颗粒含量大量增加,从而使钻井液粘度上涨,影响钻井液流动和固控设备的使用。

#### 4.1.2 问题处理

根据现场的条件综合考虑,决定将钻井液提前转化为欠饱和盐水钻井液。首先将返出的部分稠钻井液排出并向钻井液中加入清水及稀释剂稀释,调节钻井液漏斗粘度至 32 s 左右;再向钻井液中加入 15% 的工业用盐,然后向钻井液中加入由稀释剂、抗盐剂、降失水剂组成的胶液,最后加入火碱调节钻井液的性能形成欠饱和盐水钻井液<sup>[12]</sup>,处理后钻井液性能为:密度 1.21 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度 42 s,失水量 9 mL/30 min,泥皮厚度 0.8 mm,pH 值 9。调整钻井液后钻进中钻井液还有增稠,施工中补充由清水、盐、火碱、稀释剂、抗盐剂、降失水剂组成的胶液维护钻进液的性能,现场测量钻井液性能为:密度 1.21 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度 40~50 s,失水量 8~9 mL/30 min,泥皮厚度 0.8 mm,pH 值 8~9,钻进到 560 m 顺利穿过上部造浆严重的粘土层,利用盐水钻井液的强抑制性解决了粘土侵的问题。

### 4.2 含石膏泥页岩孔段缩径塌孔

#### 4.2.1 问题及原因分析

水平井 J10 二开钻进至 728 m 时,遇含石膏泥页岩地层,钻井液被污染,钻井液性能下降。现场测量井口返出钻井液性能:漏斗粘度 63 s、密度 1.26 g/cm<sup>3</sup>、失水量 15 mL/30 min、pH 值 7.5、泥皮厚度 1.2 mm。继续钻进过程中,钻井液性能进一步恶化,井口返出大量块状岩屑,孔壁出现剥落坍塌,至 759 m 停钻调整钻井性能。

针对这一情况,从物理和化学 2 个方面对含石膏泥页岩井壁失稳进行了分析得出:(1)石膏侵入到钻井液中使钻井液性能降低,降低了钻井液的护壁能力;(2)充填在泥页岩缝隙中的石膏吸收钻井液

中的水发生膨胀,导致井壁泥页岩剥落垮塌<sup>[13]</sup>。

#### 4.2.2 问题处理

根据现场综合分析,决定短起钻具并调整钻井液性能,起钻过程中 710~750 m 孔段有阻力,经多次开泵倒划眼才将钻具起至表层套管内,随后对钻井液性能进行了调整,首先对钻井液进行了稀释,将钻井液粘度降低到 35 s,随后向钻井液中添加工业用盐至饱和<sup>[14]</sup>,最后加入由火碱、稀释剂、降失水剂、防塌剂、包被剂组成的混合胶液调节钻井液性能,调节后钻井液性能为:漏斗粘度 38 s、密度 1.3 g/cm<sup>3</sup>、失水量 6 mL/30 min、pH 值 9、泥皮厚度 0.8 mm。随后下钻至 706 m 处遇阻,随即开泵扫孔,扫孔过程中持续向钻井液中加入处理剂胶液维持钻井液性能,在扫孔至 740 m 时上返岩屑较多,经过近 2 h 的循环后,岩屑上返逐渐减少,继续扫孔至 759 m 开始正常钻进,直至钻进至 1210 m 二开终孔再无此类事故发生。

### 4.3 大斜度井段沉砂较多

#### 4.3.1 问题及原因分析

水平井 J10 技术套管下深 1259.8 m,三开扫开固井水泥塞后采用 Ø152.1 mm PDC 钻头 + Ø121 mm 螺杆钻具钻进,振动筛、除砂器上无岩屑,接单根后孔底有沉淀,随着钻进进行孔内沉砂逐渐增多,钻进至 1286 m 时接单根孔底沉砂达到 6.5 m,此时井斜为 75.9°,现场测量钻井液性能为:漏斗粘度 35 s、密度 1.31 g/cm<sup>3</sup>、失水量 11 mL/30 min、pH 值 11.5、泥皮厚度 0.8 mm。此时还是螺杆定向钻进,因此施工风险极大。现场综合分析造成此现象主要有 2 方面的原因:(1)扫水泥塞过程中钻井液被水泥污染,携带能力变弱;(2)由于孔壁不规则、不圆滑,加之泥浆泵排量低、上返速度慢,影响岩屑上返。

#### 4.3.2 问题处理

根据现场综合分析结果,决定从 2 方面着手解决此问题。

(1)调整钻井液使之具有较好的携带能力和悬浮能力。具体方案为:向钻井液中添加高粘包被剂将钻井液由粗分散饱和盐水钻井液转化为饱和盐水聚合物钻井液,适当提高钻井液粘度,添加水解聚丙烯腈钠盐、聚阴离子纤维素、磺化沥青等处理剂调节钻井液的失水、润滑、护壁等性能<sup>[15]</sup>,经处理后钻井液性能为:漏斗粘度 47 s、密度 1.31 g/cm<sup>3</sup>、失水量 5.5 mL/30 min、pH 值 10、泥皮厚度 0.6 mm。

(2)提高泥浆泵的排量,由 20.5 L/s 提高至 25 L/s,泵压由 7.5 MPa 上涨至 9.8 MPa。

由于使用的螺杆钻具不能在一个位置长期循环,以防止在该处形成台阶,因此现场冲孔到底后决定减压缓慢钻进将孔底沉砂冲出,钻压由 80 kN 降至 20 kN,进尺速度由 11 min/m 降至 35 min/m,钻进 1 h 后振动筛上开始出现上返岩屑,继续轻压慢钻 1 h 后开始加压至 80 kN 正常钻进,该单根钻进结束后停泵试探孔底无沉砂,后续钻进中持续补充处理剂胶液,以维持钻井液性能,直至钻进至 1439.8 m 对接成功无沉砂过多现象发生。

## 5 结语

此井是我单位首次在该地区施工盐井对接井,也是该地区首次施工盐井对接井。通过选用合理的钻探设备、钻进参数,优化钻井液性能,特别是采用弯度适宜的螺杆、随钻监测系统及先进的点对点对仪,一次性中靶,圆满地完成了该井的施工任务,为该地区后续采卤井的施工积累了经验。

(1)施工过程中使用欠饱和盐水钻井液顺利穿过了上部厚层粘土地层,利用欠饱和盐水钻井液的强抑制性解决了粘土侵的问题。

(2)使用饱和盐水钻井液配合火碱、稀释剂、降失水剂、防塌剂、包被剂等钻井液处理剂成功穿过了中部易坍塌、缩径含石膏泥页岩地层。

(3)使用饱和盐水聚合物钻井液,并通过调整泵量、泵压成功解决了大斜度井段孔内沉砂多、携带能力差等诸多问题。同时施工中也暴露了我们在前期准备工作方面做的不够,对地层资料的掌握不够完整,缺少对钻进施工过程出现问题的预判与预防措施。在后续的工作中还应加强对地层资料的收集

掌握、加强对钻井液的研究,优化钻井液配方,使之能适应该地区不同井段的需要,避免事故发生,提高钻井效率。

## 参考文献:

- [1] 武汉地质学院,等. 钻探工艺学中册[M]. 湖北武汉:地质出版社,1981.
- [2] 柯学,王吉文,朱杨,等. 热德拜油田水平井优快钻井配套技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):26-31.
- [3] 臧加利. HH12P103 水平井优快钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):9-12.
- [4] 史冲谦,王善举,马文英,等. 靖南地区水平井钻井液技术研究及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):1-4,13.
- [5] 王勇军,赵长亮,郑宇轩,等. 牛热四井膏泥岩钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):33-34.
- [6] 景龙,徐树. 沧州深部盐矿钻探施工关键技术探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):8-12.
- [7] 陈庭根,等. 钻探工程理论与技术[M]. 山东东营:石油大学出版社,2000.
- [8] 中国石油勘探与生产分公司工程技术与监督处. 钻井监督[M]. 北京:石油工业出版社,2003:16-173.
- [9] 商敬秋,武程亮,刘汪威,等. 无键槽直井的定向中靶作业[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):13-16.
- [10] 罗艳珍,乌效鸣,朱恒银,等. 明光苏巷石盐钾盐矿区钻孔地层造浆的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):38-40.
- [11] 江天涛,周铁芳,等. 受控定向钻探技术[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [12] 王勇军,赵长亮,张明德,等. 垦利东兴地区深层卤水普查井钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):28-31.
- [13] 赵岩,仲玉芳,王卫民,等. S/D—2 井欠饱和盐水钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):41-43.
- [14] 刘永贵,张洋,徐用军. 深层水平井双聚氨基钻井液技术研究与应[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):11-16.
- [15] 唐继平,王书琪. 盐膏层钻进理论与实践[M]. 北京:石油出版社,2004.