

中俄东线楚州盐穴储气库配套钻井液技术

薛雨¹, 张新悦¹, 王立东²

(1. 中国石油天然气股份有限公司西气东输管道分公司, 江苏 镇江 212000;

2. 中国石油天然气股份有限公司盐穴储气库技术研究中心, 江苏 镇江 212000)

摘要:楚州盐穴储气库是中俄东线配套储气库, 具有重要建设意义。在楚州地区钻井施工时, 上部东台组、盐城组地层易渗漏, 粘土易造浆, 下部浦口组含盐地层易溶蚀扩径和坍塌。针对楚州地区地层特点和施工难点提出采用分段钻井液技术: 一开采用聚合物钻井液, 防止表层漏失和坍塌; 二开上部采用盐水聚合物钻井液, 防止缩径和石膏侵; 盐层段采用饱和盐水聚合物钻井液防止盐岩溶解。通过现场 3 口资料井对上述钻井液技术进行了验证, 3 口井钻井过程顺利, 井径规则, 未发生任何井下复杂情况, 井身质量较高, 盐层段岩心采取率均在 99% 以上。所形成的钻井液技术对建库钻井具有很好的指导意义。

关键词: 钻井液; 盐穴储气库; 饱和盐水聚合物; 楚州盐矿

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)09-0040-05

Drilling fluid technology for Chuzhou salt-cavern gas storage for Sino-Russian east gas pipeline

XUE Yu¹, ZHANG Xinyue¹, WANG Lidong²

(1. China National Petroleum Corporation West-East Gas Pipeline Branch, Zhenjiang Jiangsu 212000, China;

2. China National Petroleum Corporation Salt-cavern Gas Storage Technology Research Center, Zhenjiang Jiangsu 212000, China)

Abstract: The Chuzhou salt-cavern gas storage facilities is supporting gas storage for Sino Russian East Line; thus, it is of great construction significance. During the drilling operation in the Chuzhou area, the upper Dongtai and Yancheng formations are prone to leak, and the clay is prone to make slurry. The salt formations in the lower Pukou formation are prone to erode, expand and collapse. Drilling fluid technology for different well sections was used according to stratum characteristics and construction difficulties in the Chuzhou area. The polymer drilling fluid was used to prevent surface leakage and collapse in the first well section. The salt water polymer drilling fluid was used to prevent shrinkage and gypsum invasion in the upper part of the second section and the saturated brine polymer drilling fluid was used to prevent salt dissolving in the salt layer section. The above drilling fluid technology has been verified by 3 wells in the field. The drilling process of the 3 wells was smooth, the well diameter was regular, no downhole complications occurred, the quality of the well was high, and the coring rate of the salt layer was above 99%. The drilling fluid technology can provide good guidance for drilling of gas storage wells.

Key words: drilling fluid; salt-cavern gas storage; saturated brine polymer; Chuzhou Salt Mine

中石油正在积极建设中俄东线配套楚州盐穴储气库来保障长三角地区的天然气供应。钻井是储气库建设过程中必不可少的环节, 钻井的质量和效率决定着储气库的建设成本和注采开发进度^[1], 而钻井液在确保安全、优质、快速钻井中起着越来越重要

的作用。国内对于油气藏储气库钻井液做了大量研究^[2-5], 但目前还未见到专门针对盐穴储气库的钻井液研究。穿越盐膏层时国内外主要采用高密度饱和盐水钻井液^[6-10], 其密度基本都大于 1.7 g/cm³, 盐膏层深度也都在 3500 m 以深。相对而言盐穴储

收稿日期: 2018-10-08; **修回日期:** 2018-10-23 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2019.09.003

基金项目: 中国石油天然气集团公司重大专项“地下储气库关键技术研究与应用”(编号: 2015E-40)

作者简介: 薛雨, 男, 汉族, 1987 年生, 工程师, 油气田开发工程专业, 硕士, 从事盐穴储气库钻井技术研究工作, 江苏省镇江市南徐大道 60 号商务 A 区 D 座, xqdsxueyu@petrochina.com.cn。

引用格式: 薛雨, 张新悦, 王立东. 中俄东线楚州盐穴储气库配套钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(9): 40-44.

XUE Yu, ZHANG Xinyue, WANG Lidong. Drilling fluid technology for Chuzhou salt-cavern gas storage for Sino-Russian east gas pipeline[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9): 40-44.

气库井深浅,一般不超过 2000 m,地层承压能力低,若采用高密度钻井液,容易发生井下漏失。盐矿钻井通常采用欠饱和或饱和盐水钻井液^[11-15],钻井时大部分存在井眼溶蚀严重,井径扩大率偏大以及卡钻或钻具脱落等复杂情况,井身质量远低于盐穴储气库井的要求。相比于土耳其盐穴储气库,楚州盐矿埋藏深,夹层多,地质条件更为复杂,土耳其盐穴储气库钻井液技术^[16-19]不能完全适用于楚州。为此,根据楚州盐矿地层建立一套适用于楚州储气库的钻井液体系是楚州储气库钻井工作面临的一个重要难题,对加快储气库建设,提高经济效益,具有十分重要的意义。

1 地质及工程概况

楚州储气库位于江苏省淮安市淮安区(原楚州区),其地层从上至下分为东台组、盐城组、赤山组和浦口组,其中浦二段上盐亚段第三岩性组合为盐层,地质条件较好,是建库的目标层段,楚州储气库地层分布见表 1。楚州储气库钻井一开为进入浦口组 50 m 后完钻,二开为进入主力盐层 20 m 后完钻,井身结构见表 2,生产井采用二开井身结构,资料井出于取心及承压试验的需要采用三开井身结构。

表 1 楚州储气库地层分布表

Table 1 Stratigraphic distribution at Chuzhou gas storage

地 层		主要岩性特征	
组 段	亚段 岩性组合		
东台		灰色粉砂质粘土,下部含砾砂层	
盐城	盐二	灰棕色砂、粘土,粉砂粘土互层	
	盐一	缺失	
赤山	赤二	剥蚀	
	赤一	砖红色粉细砂岩	
浦口	浦三	暗棕色粉砂质泥岩、粉砂岩、含石膏	
		第四	灰色泥质岩和钙芒硝岩
	上盐	第三	灰白色盐岩
		第二	褐灰色钙芒硝岩
		第一	灰色盐岩和钙芒硝岩
浦二	中淡化	泥质粉砂岩、细砂岩	
	下盐	暗棕色灰黑色泥岩、膏质泥岩、粉细砂岩,硬石膏,钙芒硝与盐岩互层	
浦一		咖啡色泥岩夹砂岩、云质泥岩、泥质粉砂岩	

楚州储气库在建库钻井时需要解决以下问题来保证安全钻进:(1)表层的不成岩粘土有存在井口塌陷的风险;(2)东台组、盐城组上部地层成岩性差、胶结疏松、易渗漏和垮塌,盐城组中下部粘土易造浆;

表 2 楚州储气库钻井井身结构

Table 2 Drilling wellbore structure of Chuzhou gas storage

序号	钻头直径/m	套管外径/mm	类型	水泥返高	备 注
导管	660.4	508	导管		
一开	444.5	339.7	表层套管	地面	套管下入白垩系浦口组三段以下 50 m
二开	311.2	244.5	生产套管	地面	套管下入深度揭开主力盐群 20 m
三开	215.9		裸眼		资料井

(3)盐城组与赤山组之间有断层且新老地层交界,易漏失和地层失稳;(4)浦三段中含有石膏,其钙离子将污染钻井液;(5)进入主力盐层,盐岩受钻井液溶蚀存在扩径现象,同时盐岩中夹杂的泥岩存在蠕变缩径及垮塌的风险;(6)浦二段含有芒硝层,其受温度影响溶解度变化大,下部可能欠饱和,但循环上部可能结晶,造成摩阻大甚至卡钻,容易发生井下复杂情况。

2 钻井液技术

根据上述地层特点及施工难点,钻井液确定原则为:(1)上部东台组、盐城组和赤山组地层存在漏失风险,因此钻井液需具有防漏失的性能;(2)确保盐层段井径规则。根据以上原则,钻井时采用分段钻井液方案:一开井段采用具有较好井眼净化能力的聚合物钻井液,防止上部地层发生漏失和水化膨胀;二开上部井段通过缓慢加入 NaCl,从淡水钻井液逐步转换成饱和盐水钻井液;二开下部井段采用饱和盐水钻井液,来防止盐层的溶蚀及蠕变,钻井液密度 1.3~1.35 g/cm³;三开井段采用的钻井液体系和性能指标与二开下部井段相同,钻井液设计方案见表 3。

表 3 楚州储气库钻井液设计方案

Table 3 Drilling fluid design for Chuzhou gas storage

序号	钻井液体系	钻井液功能
导管	钠土浆	防止表层坍塌
一开	聚合物钻井液	抑制造浆,防止漏失、垮塌
二开	上部:盐水聚合物钻井液;下部:饱和盐水聚合物钻井液	防止盐岩溶蚀、蠕变及缩径、泥岩坍塌和石膏污染
三开	饱和盐水聚合物钻井液	防止盐岩溶蚀和石膏污染

2.1 导管 Ø660.4 mm 井眼

开钻前以优质的膨润土加纯碱配制膨润土浆 60 m³,密度 1.10 g/cm³,粘度 45~50 s,膨润土加量 5 t 左右,纯碱的加量为膨润土的 5%~8%。由

于井眼大,应随钻加入适量的提粘剂控制合理的钻井液粘切,使钻井液具有良好的悬浮携带能力,同时排量要达到 $45\sim 50\text{ L/s}$,以确保钻屑顺利返出。钻完进尺后,大排量充分洗井,循环干净井眼内的沉砂,起钻前配制稠浆保证下套管固井顺利。

2.2 一开 $\varnothing 444.5\text{ mm}$ 井眼

开钻前配制钻井液总量 100 m^3 ,往配浆水中加入 $0.2\%\text{ Na}_2\text{CO}_3$ 再用配浆泵加入 5% 的膨润土,水化时间 $>24\text{ h}$ 。使用膨润土浆开钻,钻井液中加入 $0.2\%\sim 0.3\%\text{ PMHA-II}$ 、 $0.4\%\sim 0.5\%\text{ NH}_4\text{HPAN}$ 进行预处理,调整好钻井液性能后方可开钻。钻进中随时补充 PMHA-II 、 COATER 、 NH_4HPAN ,以提高钻井液的抑制能力和包被能力。

东台组、盐城组上部成岩性差,胶结疏松,易渗漏和垮塌,钻进过程中做好井漏预防工作,并储备足够数量的堵漏材料。钻进中加入零滤失井眼稳定剂(LXJ-1)、单向封闭剂(KD-23),配合使用超细碳酸钙(QS-4)随钻堵漏,保持良好的悬浮携带能力和造壁性能,确保井壁稳定。盐城组中下部地层含造浆粘土,钻进中加强监测,注意钻井液性能变化,加足抑制包被剂 PMHA-II (或 COATER)抑制造浆。由于盐城组与赤山组之间新老交界地层和断层,需要避免产生漏失和地层失稳现象,若出现漏失按防漏堵漏措施执行;若出现地层剥垮等失稳情况,及时补充防塌剂(含量 $\leq 2\%$),可配加 $1\%\sim 2\%\text{ FT-1}$ 和 $2\%\sim 3\%\text{ QS-4}$,改善泥饼质量,提高钻井液封堵防塌性能,并将钻井液密度提高至设计上限,防止井壁坍塌。在加防塌剂的同时,配合加入稀释剂,调整钻井液流变性能。

一开为 $\varnothing 444.5\text{ mm}$ 大井眼井段,钻井液要有较好的携砂及悬浮能力,合理使用固控设备,配合人工清砂,降低钻井液中的劣质固相。工程要保持双泵循环,保持泵排量 $>50\text{ L/s}$,确保钻屑及时从井底被带至地面。该井段应勤短起下钻,修复井眼,减少虚泥饼的形成,保持井壁干净。由于盐穴储气库井固井段井径扩大率要求小于 10% ,除钻井液适当提高粘切外,工程上不得定点循环,合理选择钻井参数。钻至下套管层位,要短起下钻并进行充分循环钻井液,修整井壁、清洁井眼,确保电测、下套管、固井作业顺利。

2.3 二开 $\varnothing 311.2\text{ mm}$ 井眼

二开前处理好水泥侵,调整好原浆性能钻进至

进入浦口组二段含盐系地层 200 m 之前将钻井液转换为饱和盐水钻井液。控制合适的膨润土含量,以利于钻井液流变性能的调整和固相含量的控制,在维护过程中采取等浓度等体积的处理方法。由于饱和盐水钻井液转化过程中盐的加入及地层中盐的溶入,在维护处理时要及时补充烧碱,保持体系的 pH 值^[20],以避免 pH 值降低,影响钻井液性能。

二开进入盐层后钻井液技术重点为确保 Cl^- 含量维持在 $1.8\times 10^5\text{ mg/L}$ 以上,需要定期对钻井液中的 Cl^- 含量进行监测,及时补充 NaCl 。同时加入抗盐结晶剂防止盐的重结晶而发生井下复杂情况。

为维持钻井液性能稳定,钻进中加入 CMS 、 SMP 、 HV-CMC 等护胶来调整流变性能;加大 SMP 、 SPNH 等抗温、抗盐材料的用量,来控制钻井液 HTHP 失水量,改善泥饼质量和增加抗温能力。同时,为了保证正常钻进,需要使钻井液维持较强的剪切稀释性,以提高悬浮和携带能力。加足防塌剂 FT-1 ,钻进中继续补充并保持防塌剂的含量 $\leq 2\%$ 。钻井液中防塌剂和高聚物、磺化处理剂可产生协同增效作用,有效地稳定井壁。将处理剂配成胶液,在充分溶解后再加入。避免处理剂干粉不能在饱和盐水钻井液中充分发挥效能。

在钻井液中可添加适量的防腐剂,来抑制盐水对管具材料及循环系统的腐蚀^[21]。同时加强岩性分析判断和短起下钻,来给钻井液维护提供依据。

做好固控设备的维护与使用工作,有效平衡体系固相组分,以净化保优化,将无用固相含量降至最低,以细目振动筛为主,结合人工清砂,有效地控制钻井液中有害固相,降低泥饼表面的粗糙度,控制合理的膨润土含量,添加适量润滑剂,提高泥饼的润滑能力,来提高钻具在井眼内的安全性。

二开完钻后,应进行短起下钻,充分循环钻井液,性能均达设计要求后,方可起钻,确保电测、下套管顺利完成。

2.4 三开 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 井眼

虽然饱和盐水钻井液有很强的抗污染能力,但为了维持其原有性能,三开钻塞时,仍需做好抗钙、除钙处理,来降低扫塞过程中钙离子的污染。三开井段维护措施与二开下部井段相同。

2.5 钻井液性能参数

楚州储气库施工钻井液性能见表4,三开钻井液性能参数同二开下部井段钻井液性能参数。

表 4 楚州储气库钻井液性能
Table 4 Performance of drilling fluids for Chuzhou gas storage

序号	钻井液体系	常 规 性 能					流 变 性 能			MBT/ (g· L ⁻¹)	固相 含量/ %	HTHP 失水 量/mL
		密度/ (g·cm ⁻³)	马氏粘 度/s	API 失水 量/mL	泥饼厚/ mm	含砂 量/%	pH 值	塑性粘度/ (mPa·s)	N 值			
导管	膨润土	1.10	40~75									
一开	聚合物	1.10~1.15	40~55	<8	0.7	0.5	8~9	10~15	0.8			
二开上部	盐水聚合物	1.15~1.35	45~60	<5	0.5	0.4	9~11	15~20	0.4~0.6	55~60	<18	<13
二开下部	饱和盐水聚合物	1.30~1.36	45~75	<5	0.5	0.3	9~11	20~25	0.5~0.7	55~60	<18	<13

3 应用效果评价

采用以上钻井液技术,在楚州储气库成功实施资料井 3 口,有效地解决了井眼净化、井壁稳定等问题,3 口井均未发生任何井下复杂情况和事故。说明该钻井液体系与楚州地区地层特性配伍性较好,能够满足钻井工程的需要。

3.1 钻井施工顺利

上部地层采用聚合物钻井液,钻进过程中通过保持钻井液中大分子的有效含量,并随钻加入适量的封堵剂,控制滤失量<8 mL。施工时钻井液粘度变化不大,起下钻顺利,说明该钻井液体系能够有效抑制上部地层造浆,防止漏失,保证良好的泥饼质量和防塌性能。

进入盐层后转换为聚合物饱和盐水润滑钻井液体系,根据钻井液性能补充适当的提粘剂、润滑剂和抗盐结晶剂,整个二开三开过程施工顺利,盐层段井径规则(见表 5),未发生因为盐岩溶解而形成的“大肚子”井眼或者因为盐层塑性流动缩径而造成的卡钻现象,测井一次成功率 100%。资料井工序繁多,包括取心、地应力测试、静置 7 d 后井温测井、VSP 测井、非造腔段回填、气密封试压等多道工序。通过上述钻井液措施的综合应用,3 口井纯钻进时间仅占总施工时间的 25%左右,缩短了钻井周期。

表 5 资料井钻井情况
Table 5 Drilling conditions of data wells

井号	生产时 间/h	纯钻进 时间/h	时效/ %	二开井 深/m	二开井径 扩大率/%
1 井	3628	1003.17	27.65	1880	7.30
2 井	4124	1004.67	24.35	1648	6.68
3 井	3394	767.08	22.60	1796	7.22

3.2 取心收获率高

进入盐层段,为保证盐岩层不被溶解,形成规则的井径,必须确保钻井液中含盐量达到饱和。施工时将钻井液密度提高至设计上限 1.35 g/cm³,并不

断补充 NaCl,使 Cl⁻ 含量始终大于 1.8×10⁵ mg/L,同时加入足量的抗盐抗高温降滤失剂和羧甲基淀粉,控制 API 失水量<5 mL,适当提高钻井液的粘度,以防止盐岩层的溶解。3 口井盐层段岩心采取率均在 99%以上(见表 6)。

表 6 资料井取心情况
Table 6 Cores of data wells

井号	取心进尺/m	岩心长/m	岩心采取率/%
1 井	483.83	480.11	99.20
2 井	300	298.33	99.44
3 井	50	49.78	99.56

3.3 钻井液费用占比低

3 口井采用以上钻井液技术,并配合合理的钻井施工工艺,实现了优质、安全施工,整个施工过程中未发生任何因钻井液原因而导致的井下复杂情况。钻井液费用仅占钻井总费用的 7%,降低了钻井成本。

4 结论

(1)采用分段钻井液技术,通过 3 口资料井的现场成功应用,证明制定的钻井液技术对策可行,能够保证楚州储气库钻井施工的质量和安全。

(2)楚州储气库一开地层采用高粘切、抑制性强的聚合物钻井液,工程上保持双泵循环,加强短起下,能够有效抑制上部地层造浆,确保井壁稳定。

(3)针对二开含盐层系,进入主力盐层前及时转换成饱和盐水聚合物钻井液,确保 Cl⁻ 含量维持在 1.8×10⁵ mg/L 以上,提高钻井液粘度,防止盐层溶解,保证盐层段岩心采取率。

(4)提高各井段固控设备使用率,降低钻井液中无用的固相含量,保持钻井液性能稳定,能减少阻卡事故的发生。

参考文献(References):

- [1] 代长灵,杨光,薛让平.长庆靖边储气库关键钻井技术[J].天然气勘探与开发,2016,39(1):65-69.

- DAI Changling, YANG Guang, XUE Rangping. Key drilling technologies for Jinbian Gas Storage, Changqing[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2016,39(1):65-69.
- [2] 刘明峰,熊腊生,赵福祥,等.储气库救援井文23-6J井钻井液技术[J].钻井液与完井液,2014,31(5):43-45.
LIU Mingfeng, XIONG Lasheng, ZHAO Fuxiang, et al. Drilling fluid technology for Well Wen23-6J[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2014,31(5):43-45.
- [3] 李称心,高飞,张茂林,等.新疆呼图壁储气库钻井液技术[J].钻井液与完井液,2012,29(4):45-48.
LI Chenxin, GAO Fei, ZHANG Maolin, et al. Drilling fluid technology for Hutubi gas storage in Xinjiang[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012,29(4):45-48.
- [4] 刘在桐,董德仁,王雷,等.大张坨储气库钻井液技术[J].天然气工业,2004,24(9):153-155.
LIU Zaitong, DONG Deren, WANG Lei, et al. Drilling fluid technology of Dazhangtuo gas storage[J]. Natural Gas Industry, 2004,24(9):153-155.
- [5] 南旭,杨勇,沈泉,等.双6储气库水平井钻井液技术[J].中国石油和化工标准与质量,2013,34(4):150.
NAN Xu, YANG Yong, SHEN Quan, et al. Horizontal well drilling fluid technology of Double-6 gas storage[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,34(4):150.
- [6] 路小帅,孙琳,王谱,等.塔河油田托甫台区复杂穿盐井快速钻井技术[J].石油机械,2014,42(12):1-5.
LU Xiaoshuai, SUN Lin, WANG Pu, et al. Drilling techniques for the complicated through salt layer well in block Tuofutai of Tahe Oilfield[J]. China Petroleum Machinery, 2014,42(12):1-5.
- [7] 赵晖,王西峰,叶勇刚,等.高密度饱和盐水钻井液在胜利油区的应用探讨[J].中国石油大学胜利学院学报,2017,31(2):25-27.
ZHAO Hui, WANG Xifeng, YE Yonggang, et al. Application and investigation of high density saturated brine drilling fluid in Shengli Oil Field[J]. Journal of Shengli College for China University of Petroleum, 2017,31(2):25-27.
- [8] 刘伟,李华坤,徐先觉.土库曼斯坦阿姆河右岸气田复杂深井超高密度钻井液技术[J].石油钻探技术,2016,44(3):33-38.
LIU Wei, LI Huakun, XU Xianjue. The application of ultra high density drilling fluids in complex deep wells at the right bank of the Amu Darya gas field in Turkmenistan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(3):33-38.
- [9] 孟庆生,江山红,石秉忠.塔河油田盐膏层钻井液技术[J].钻井液与完井液,2002,19(6):74-76.
MENG Qingsheng, JIANG Shanhong, SHI Bingzhong. Drilling fluid technology for drilling the gypsum salt bed in Tahe Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2002,19(6):74-76.
- [10] 陈红壮,黄河淳,高伟. TK1228井三开膏盐层钻井液技术[J].西部探矿工程,2010,22(9):29-32.
CHEN Hongzhuang, HUANG Hechun, GAO Wei. Drilling fluid technology for the third hole gypsum salt formation in Well TK1228 [J]. West-China Exploration Engineering, 2010,22(9):29-32.
- [11] 邝光升,孙宇,杨建军,等.云阳黄岭岩盐矿 ZK0001深孔取心技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):53-56.
KUANG Guangsheng, SUN Yu, YANG Jianjun, et al. Coring technology for deep hole ZK0001 of Huangling rock salt mine in Yunyang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):53-56.
- [12] 徐培远,袁志坚.青海盐溶地层钻探卤水水泥浆配方研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):41-44.
XU Peiyuan, YUAN Zhijian. Development and application of brine mud formula in salt soluble formation in Qinghai[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(6):41-44.
- [13] 陈金照.宁夏固原硝口岩盐矿钻探施工技术[J].中国煤炭地质,2016,28(4):67-70.
CHEN Jinzhao. Salt mine drilling technology in Xiaokou, Guyuan, Ningxia[J]. Coal Geology of China, 2016,28(4):67-70.
- [14] 王勇军,谭现锋,绍立宁,等.宁夏固原采卤井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):21-25.
WANG Yongjun, TAN Xianfeng, SHAO Lining, et al. Construction technology of brine wells in Guyuan of Ningxia[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(11):21-25.
- [15] 彭朝洪,肖长波,徐飞,叶舞凹陷 ZKX井深部盐层钻井液技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):28-32.
PENG Chaohong, XIAO Changbo, XU Fei. Drilling fluid technology for Well ZKX of deep salt bed in Yexian-Wuyuan depression[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):28-32.
- [16] 刘在同,王建伟.土耳其盐穴地下储气库大井眼钻井技术[J].石油钻采工艺,2015,37(2):32-34.
LIU Zaitong, WANG Jianwei. Large hole drilling technology for underground salt-cavern gas storage in Turkey[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015,37(2):32-34.
- [17] 余广兴.土耳其盐穴储气库盐层长筒取芯技术[J].中国石油和化工标准与质量,2014,34(1):112.
YU Guangxing. Long-barrel coring technology for salt-cavern gas storage in Turkey[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014,34(1):112.
- [18] 付洪涛.盐穴储气库井钻井关键技术研究与应用[D].西安:西安石油大学,2013.
FU Hongtao. Research and application on key technologies of salt-cavern gas storage well drilling[D]. Xi'an: Xi'an Petroleum University, 2013.
- [19] 余广兴.土耳其盐穴储气库钻井表层失返性漏失处理[J].内江科技,2017,38(4):38-39.
YU Guangxing. Treatment of circulation loss in overburden drilling in salt-cavern gas storage in Turkey[J]. Neijiang Science & Technology, 2017,38(4):38-39.
- [20] 李轩,黄维安,贾江鸿,等.盐水钻井液 pH 值影响因素和缓冲方法研究[J].钻井液与完井液,2018,35(1):21-26.
LI Xuan, HUANG Weian, JIA Jianghong, et al. Research on factors affecting pH value of saline drilling fluids and buffering methods of buffering[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018,35(1):21-26.
- [21] 周永璋.盐井钻井的盐水泥浆液中钻具的腐蚀与防护研究[J].腐蚀科学与防护技术,2008,20(6):424-428.
ZHOU Yongzhang. Research on corrosion and protection of drill tools in saline slurries for salt min drilling[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2008,20(6):424-428.