

景谷凹陷钾盐调查 JG-2 井饱和氯化镁盐水 钻井液技术

易强忠¹, 熊正强^{*2}, 周兴华¹, 汪林³

(1. 云南地质工程第二勘察院有限公司, 云南昆明 650200; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083;
3. 中国地质调查局昆明自然资源调查中心, 云南昆明 650100)

摘要: JG-2 井位于云南省普洱市景谷傣族彝族自治县凤山镇, 构造位置属思茅盆地景谷凹陷, 完钻深度 1829.44 m。钻遇地层主要为泥岩、砂岩、泥砾岩、石盐岩、钾石盐岩等, 泥岩易发生水化膨胀剥落、造成井壁坍塌危害, 局部松散砂岩易坍塌掉块, 而石盐岩、钾石盐岩易溶蚀形成坍塌超径和盐矿心采取率低等安全和质量隐患。针对 JG-2 井上述施工难题, 进入石膏脉盐岩地层后, 采用饱和氯化镁盐水钻井液钻进, 圆满地完成了工程钻井与取心任务, 解决了钾石盐岩等盐矿心溶蚀、石盐岩粗颗粒不易携带、钻头泥包及松散砂岩坍塌掉块等技术难题, 顺利取全盐岩层顶板与底板等岩心, 获取了优质的石盐岩、钾石盐岩等盐矿心, 全井平均岩(矿)心采取率达 97.5%, 且未发生溶蚀。本文成功经验可为从事类似钾盐钻探工程提供借鉴和参考。

关键词: 饱和氯化镁盐水钻井液; 钾石盐; 钾盐调查; 绳索取心

中图分类号: P634.6; TE254 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)05-0088-07

Saturated magnesium chloride brine drilling fluid technology for the potassium salt survey Well JG-2 in Jinggu Sag

YI Qiangzhong¹, XIONG Zhengqiang^{*2}, ZHOU Xinghua¹, WANG Lin³

(1. Yunnan Geological Engineering Second Prospecting Institute Co., Ltd., Kunming Yunnan 650200, China;

2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China;

3. Kunming Center of Natural Resources Survey, China Geological Survey, Kunming Yunnan 650100, China)

Abstract: Well JG-2 is located in Fengshan Town, Jinggu Dai and Yi Autonomous County, Pu'er City, Yunnan Province. The structural location belongs to Jinggu Sag of Simao Basin, and the completion depth is 1829.44m. The lithology of drilling strata are mainly mudstone, sandstone, mud conglomerate, halilith, sylvinite and so on. The mudstone is prone to hydration expansion and spalling, resulting in wellbore collapse hazards. Local loose sandstone is prone to collapse, while halilith and sylvinite are easy to dissolve to form hole enlargement and low salt core recovery rate. In view of the above construction problems, saturated magnesium chloride brine drilling fluid was used when entering the gypsum vein salt formation to successfully complete the engineering drilling and coring tasks. The technical problems such as the dissolution of salt cores such as sylvinite, difficulty to carry coarse particles of salt, bit balling and collapse of loose sandstone were solved. Full salt cores containing the roof and floor part were successfully taken, and high-quality salt cores such as halilith and sylvinite were obtained. The average core recovery rate of the whole well was 97.5% without dissolution. The successful experience of this paper can provide reference for similar potassium salt

收稿日期: 2023-04-05; 修回日期: 2023-06-04 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.05.013

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“重点含盐盆地锂钾资源调查评价”(编号: DD20221913)

第一作者: 易强忠, 男, 汉族, 1971年生, 钻探副总工程师, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事地质与钻探工程管理与研究, 云南省楚雄市固业路 809 队, 1936987252@qq.com。

通信作者: 熊正强, 男, 汉族, 1985年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻井液技术研究与应用工作, 北京市海淀区学院路 29 号, xiongzq1012@126.com。

引用格式: 易强忠, 熊正强, 周兴华, 等. 景谷凹陷钾盐调查 JG-2 井饱和氯化镁盐水钻井液技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(5): 88-94.

YI Qiangzhong, XIONG Zhengqiang, ZHOU Xinghua, et al. Saturated magnesium chloride brine drilling fluid technology for the potassium salt survey Well JG-2 in Jinggu Sag[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5): 88-94.

drilling projects.

Key words: saturated magnesium chloride brine drilling fluid; sylvite; potassium salt survey; wire-line coring

0 引言

云南景谷地区尚未发现工业钾盐矿,但存在相对较好的钾矿化特征^[1-3]。为进一步扩大文卡盐矿区的钾盐找矿成果,力争钻穿勐野井组(厚度 57~1124 m),确立文卡矿区钾盐成矿模式,中国地质科学院矿产资源研究所在云南省思茅盆地西区中部景谷凹陷部署了一口钾盐地质调查井——JG-2 井。JG-2 井目的含盐层位主要是下白垩统勐野井组,盐层矿石类型主要为含泥砾石盐岩、泥砾质石盐岩,盐层矿物组份主要为石盐,其次有钾石盐、硬石膏等。

以往在 JG-2 井附近完成的可借鉴钻孔有 2 个。其中,ZK-15 孔于 1967 年 12 月施工完钻,位于 JG-2 井井口的北东东向,孔深 96.59~550.87 m 均为含盐地层,但限于当时的施工设备能力,550.87 m 深度即终孔,更深部的含盐、含钾地层未被揭露。

部署在景谷地区某钾盐地质调查井,采用氯化钠盐水钻井液施工,由于氯化钠加量不足及钻井液性能较差,局部盐矿心采取率<50%。后期通过提高氯化钠加量至饱和以及改善盐水钻井液性能,盐矿心采取率达到 98%,但含盐岩心均存在不同程度地溶蚀问题,导致盐矿心直径与质量未满足要求(见图 1)。通过技术总结与分析,造成景谷地区钾盐调查盐矿心溶蚀、采取质量差等问题的原因主要是采用的钻井液体系不合理以及钻井液性能维护不当。

目前钾盐钻探工程主要采用卤水钻井液^[4-6]、饱和氯化镁盐水钻井液^[7-9]、复合性饱和盐水钻井液^[10-11]、镁基钻井液^[12]和油基钻井液^[13-14]。例如,新



图 1 以往钻孔采用氯化钠盐水钻井液获取的盐矿心

Fig.1 The rock core obtained by sodium chloride drilling fluid

疆罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探 LDK02 孔采用卤水钻井液^[6]施工,解决了地层坍塌严重、卤水配浆胶体稳定性差等难题。云南江城钾盐 MK-1 井、MK-2 井和 MK-3 井的盐岩层段均采用饱和氯化镁盐水钻井液^[7-9]施工,解决了钾盐等盐岩易溶蚀、取心质量差等问题,盐矿心采取率均达 95% 以上。老挝甘蒙省钾盐钻探工程在钾石盐和光卤石矿层段采用由“饱和氯化钠+约 30% 氯化镁”溶液配制的复合性饱和盐水钻井液^[10]施工,盐矿心采取率达 90% 以上。老挝农波矿区南部钾盐钻探工程采用多功能剂配制的盐水钻井液和镁基钻井液^[12]施工,光卤石岩心采取率达 90% 以上。

1 JG-2 井概况与施工难点

1.1 JG-2 井概况

JG-2 井设计井深 1800 m。2022 年 7 月 8 日开钻,2022 年 12 月 9 日完钻,完钻井深 1829.44 m。JG-2 井钻遇地层为第四系、白垩系曼宽河组、白垩系勐野井组与景星组,地层岩性主要为棕红色泥砾岩、青灰色泥岩与粉砂岩等,具体详见表 1。

采用 XY-9B 型钻机施工,配备 BW300/16 型泥浆泵、JQJ200 型泥浆清洁器和 TGLW350N 型离心机,采用三开井身结构及绳索取心钻进工艺,井身结构见图 2。导管 0~31.05 m:先采用 $\Phi 152$ mm 复合片钻头无水或微水无泵反循环钻进取心,然后采用 $\Phi 311$ mm 钻头扩孔再下入 $\Phi 245$ mm 套管至井深 31.05 m;一开 31.05~201.17 m:采用 $\Phi 152$ mm 金刚石绳索取心钻进工艺取心,然后采用 $\Phi 215.9$ mm 钻头扩孔,再下入 $\Phi 194$ mm 套管至井深 201.17 m;二开 201.17~470.67 m:采用 $\Phi 152$ mm 金刚石绳索取心钻进工艺取心,然后采用 $\Phi 171$ mm 钻头扩孔,再下入 $\Phi 146$ mm 套管至井深 468 m;三开 470.67~1829.44 m:采用 CHD $\Phi 127$ mm 钻头口径增大外径至 $\Phi 133$ mm 的金刚石绳索取心钻进工艺取心,裸眼完钻。

1.2 JG-2 井施工难点

(1) 299.22 m 以深钻遇地层主要为棕红色泥岩或泥砾岩,这些泥岩岩粉悬浮在钻井液中,导致钻井液的固相含量增加及发生钻头泥包等问题,影响钻

表1 JG-2井钻遇地层表
Table 1 Drilling strata by Well JG-2

地 层	井段/m	厚度/m	岩 性
第四系	0~20.10	20.10	灰褐、棕黄色粘土,碎块、角砾
白垩系			
曼宽河组	20.10~299.22	279.10	以浅灰紫—灰紫色粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩为主,局部夹薄层状—中层状粉砂质泥岩、泥岩
勐野井组	299.22~1776.16	1476.94	棕红色泥砾岩,青灰、棕红色含泥砾或泥砾质石盐岩、灰紫色粉砂岩与泥质粉砂岩、粉砂岩为主
景星组	1776.16~1829.44	53.28	棕红色、粉砂质泥岩,青灰色泥岩、粉砂质泥岩夹少量白色砂岩; 1819.08~1829.44 m为棕红色构造角砾岩,角砾成分为泥岩、粉砂质泥岩、砂泥质、钙质胶结,角砾呈次棱角状

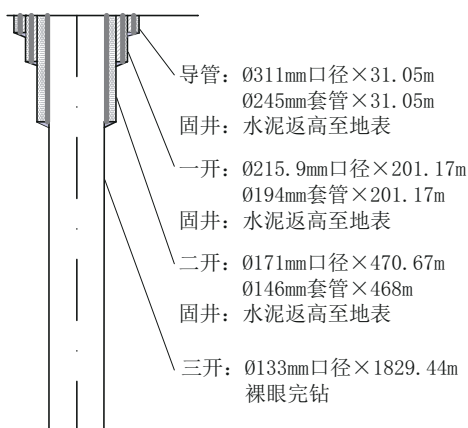


图2 JG-2井井身结构

Fig.2 Well structure diagram of Well JG-2

进效率;而砂岩井段裂隙发育、松散破碎易造成井壁坍塌、掉块。

(2)勐野井组顶板富钾杂卤石岩心及盐岩层段岩心遇水溶蚀,易出现岩心采取质量差、井径扩大等问题。

(3)三开 $\varnothing 133$ mm绳索取心钻探工艺要求盐水钻井液在滤失量与粘度控制方面保持协调平衡,即实现较低的粘度与良好的护壁性能^[15]。

(4)三开井段裸眼时间长,且破碎带较多、裂隙发育严重,给钻孔护壁、岩屑携带、岩心保护带来新的问题与挑战。

(5)石盐岩屑颗粒粗、易沉砂,对钻井液的悬浮与携带能力有较高的要求。

(6)盐矿心采取质量要求高,全井盐岩段及盐岩段顶、底板的盐矿心取心率 $>90\%$,且不能使用含钾离子的盐水钻井液施工。

因此,针对JG-2井上述施工难点问题,并满足绳索取心钻进工艺,要求使用的盐水钻井液必须具

备优良的抑制钾石盐和石盐溶解能力、优良的护壁护心性能、较低的固相含量和较低的黏度。

2 钻井液选择

JG-2井钻井设计要求钻井液处理剂不得含钾元素,以避免影响岩心样品成分分析。而前期景谷地区某钾盐地质调查井使用饱和氯化钠盐水钻井液施工,仍存在盐矿心溶蚀、岩心直径与质量未满足要求等问题。因此,通过总结分析现有钾盐钻探钻井液应用等资料,采用高溶解度盐抑制低溶解度盐溶解的原理,最终选用北京探矿工程研究所研制的饱和氯化镁盐水钻井液技术施工。该钻井液具有优良的抑制钾卤石等盐矿溶解能力和泥岩水化分散性能以及良好的流变性能等特点,主要材料有氯化镁、钠膨润土、抑溶剂、接枝淀粉GSTP、降失水剂GPNA、增粘剂GTQ、包被剂GGBJ、稀释剂及润滑剂等。饱和氯化镁盐水钻井液中各处理剂的主要作用见表2。

推荐使用的饱和氯化镁盐水钻井液为:氯化镁

表2 处理剂名称及其作用

Table 2 Names and functions of additives

处理剂	作 用
氯化镁	抑制剂,抑制钾石盐、石盐溶解
抑溶剂	降低高溶解性矿体的溶解速度及溶解度对温度的敏感性
降失水剂GPNA	降低钻井液的滤失量
增粘剂GTQ	提高钻井液的黏度和切力,降低钻井液的滤失量
接枝淀粉GSTP	降低钻井液的滤失量
包被剂GGBJ	絮凝沉淀岩粉
钠膨润土	提高钻井液的黏度和切力,降低滤失量

饱和溶液+0.2%~1%抑溶剂+0~1%钠膨润土+0.3%~0.5% GPNA+0.3%~0.5% GSTP+0.3%~1% GTQ+0.1%~0.2% GBBJ。以配方“氯化镁饱和

溶液+0.3%抑溶剂+1%钠膨润土+0.5% GPNA+0.5% GSTP+0.5% GTQ+0.1% GBBJ”为例,室内对其进行性能测试评价,结果见表3。

表3 饱和氯化镁盐水钻井液性能测试结果

Table 3 Performance test results of saturated magnesium chloride brine drilling fluid

实验条件	苏式漏斗黏度/s	表观黏度/ mPa·s	动塑比/ [Pa/(mPa·s)]	静切力/ (Pa/Pa)	API滤失量/ mL	相对膨胀降低率/%
未陈化	25	14.5	0.21	0.25/0.5	4	88.4
室温陈化 16 h	40	27	0.35	1/1.5	4	88.9

从表3可看出,新配制的饱和氯化镁盐水钻井液具有良好的流变性、抑制性以及较低的滤失量。而室温陈化16 h后钻井液的粘度与静切力均增加,但是钻井液仍具有较低的粘度,满足绳索取心钻进工艺要求。这是因为饱和氯化镁溶液中水的活度低,加入的聚合物处理剂在饱和氯化镁溶液中溶胀分散速度慢,使得新配制的饱和氯化镁盐水钻井液黏度较低。但是,当在室温陈化16 h后,聚合物处理剂在饱和氯化镁溶液中已充分地分散,使得陈化后的饱和氯化镁盐水钻井液黏度增加。因此,现场应用时要注意此问题,避免新配制的饱和氯化镁盐水钻井液在循环几周后出现黏度大幅地增加,导致泵压增加进而影响钻进效率。

3 饱和氯化镁盐水钻井液现场应用

3.1 现场不同井段钻井液使用配方

一开井段使用聚合物钻井液钻进至66.40 m,岩心出现石膏脉盐层标志。为确保顺利采取盐矿层顶

板岩心,将钻井液转换为无固相的饱和氯化镁盐水钻井液。一开、二开钻井液使用配方为:1 m³饱和氯化镁盐水+1~5 kg抑溶剂+5 kg GSTP+5 kg GPNA+5~10 kg GTQ+1 kg GBBJ+3~5 kg 润滑剂+3~5 kg 消泡剂。

随着三开深度增加,为了提高盐水钻井液的悬浮及携带石盐钻屑颗粒的能力,在饱和氯化镁盐水钻井液中适当加入了低粘增效粉(LBM)或钠膨润土。并且,添加了磺化沥青以增加钻井液对微裂缝封堵、防止坍塌的能力。为解决陈化后的黏度增升偏大问题,减少膨润土加量,并加入少量的稀释剂GSY。三开井段钻井液使用配方为:1 m³饱和氯化镁盐水+1~5 kg抑溶剂+1~3 kg LBM或钠膨润土+5 kg GSTP+5 kg GPNA+5 kg GTQ+5 kg 磺化沥青+1 kg GBBJ+0~1 kg 稀释剂GSY+3~5 kg 润滑剂+3~5 kg 消泡剂。

不同井段钻井液实测性能见表4。

表4 钻井液分段性能

Table 4 Drilling fluid performance table of different sections

开次	密度/(g·cm ⁻³)	苏氏漏斗黏度/s	表观黏度/(mPa·s)	API滤失量/mL	泥饼厚度/mm	pH值	含砂率/%
一开	1.27~1.40	40~60	22.5~30	10~21	0.5~2	5~6	6
二开	1.27~1.35	28~37	25~33.5	8~11	≥0.3	5~6	1
三开	1.27~1.36	34~39	27~39	6~9	≥0.3	6~7	1~1.5

3.2 饱和氯化镁盐水钻井液配制与维护

3.2.1 配制方法

以一开、二开井段钻井液为例,三开井段钻井液配制类似,均在抑溶剂加入饱和氯化镁溶液之后。具体配制过程为:向体积1.2 m³配浆罐中泵入1 m³已冷却至室温的饱和氯化镁溶液,然后加入1~5 kg

抑溶剂,搅拌5 min。再依次加入5 kg GSTP、5 kg GPNA、3~5 kg 润滑剂,搅拌20~30 min。最后再加入5~10 kg GTQ、1 kg GBBJ、3~5 kg 消泡剂,搅拌20~30 min后即可使用。

现场配制饱和氯化镁溶液时,由于无水氯化镁与水接触后水化放热,溶液温度上升较快且产生高

温。为避免给人员安全、环境保护带来较大的危害与影响,专门配置了由柴油罐改装的罐(容积 3.6 m^3)用于配制饱和氯化镁溶液,具体见图3。



图3 配制氯化镁饱和溶液的罐

Fig.3 Canister for preparing saturated solution of magnesium chloride

3.2.2 维护措施

(1)严格按照钻井液配方配制,若钻井液性能需要较大调整时必须进行小样试验,确保调整后的钻井液性能满足井内安全需求。当钻井液的黏度偏高时,配制适量稀胶液与加入少量的稀释剂以降低黏度;当钻井液的黏度偏低时,可适当增加增粘剂和包被剂的加量,聚合物处理剂预先配制成胶液以便使用时减少分散时间。

(2)每个小班测试井口返出钻井液的性能,包括密度、苏氏漏斗黏度、中压滤失量、泥饼厚度、含砂量等。并观察与鉴别地层岩心岩性及层位,结合井内钻进参数和地层情况的变化及时调整钻井液性能。

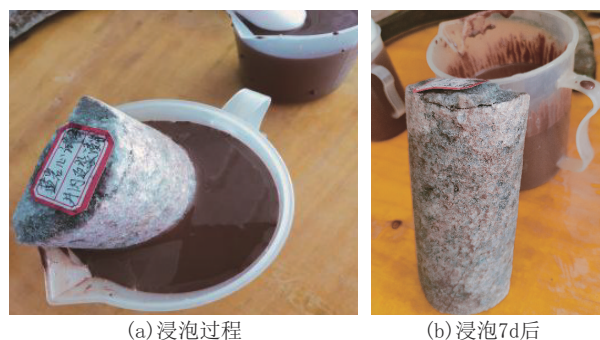
(3)进入目的层加密测试氯离子与镁离子的含量,确保钻井液中氯化镁达到饱和状态,并采用浸泡实验评价钻井液抑制石盐、钾石盐等溶解的性能。

采用莫尔银量法和 Cl^- 快速检测试剂监测钻井液中氯离子含量。66.40~330.39 m井段共测试8次;井深330.39 m出现石盐地层后加密监控,330.39~1520 m井段共计测试63次, Cl^- 含量均大于 352100 mg/L 。

采用 Mg^{2+} 快速检测试剂与普瑞森镁离子控制器监测钻井液中镁离子含量,盐岩矿层井段共计测试67次镁离子含量,均 $>120000\text{ mg/L}$ 。

为确保钻井液能抑制钾石盐矿等溶解性能,进

入盐层前采用浸泡实验评价石盐岩心(见图4)和 NaCl 、 KCl 试剂样品(见图5)在饱和氯化镁盐水钻井液中是否溶解。



(a) 浸泡过程 (b) 浸泡7d后

图4 石盐岩心浸泡实验

Fig.4 Soaking experiment of halite core



(a) NaCl 、 KCl 试样镁基泥浆浸泡96h (b) KCl 试样在清水中浸泡1h (c) NaCl 试剂在清水中浸泡30min

图5 NaCl 与 KCl 试剂样品在不同介质浸泡实验

Fig.5 Soaking experiment of NaCl and KCl reagent samples in different medium

从图4可看出,石盐岩心浸泡7天后无明显潮解溶蚀现象,岩心表面保持完整,无溶蚀。

从图5可看出, NaCl 、 KCl 试剂样品在饱和氯化镁盐水钻井液中浸泡长达96 h后仍未出现潮解溶蚀现象,而在清水浸泡10 min后发生明显潮解溶蚀。图4、图5浸泡实验结果充分表明该钻井液对钾石盐等矿层具有优良的抑溶性能,能达到保护盐层岩心的效果。

(4)泥岩、泥砾岩井段钻进产生的泥岩岩粉掺入钻井液中,导致钻井液固相含量和密度增加、泥饼虚厚,而且钻头与卡簧泥包和堵心问题均较为突出。通过配备离心机及时清除有害固相、加入润滑剂改变钻头表面亲水性从而预防钻头泥包、起钻前循环与倒杆间隙时间大排量($\geq 300\text{ L/min}$)冲洗钻头水道与井底等措施,有效解决了泥岩和泥砾岩地层钻

头泥包和卡簧抱心的危害(见图 6)。

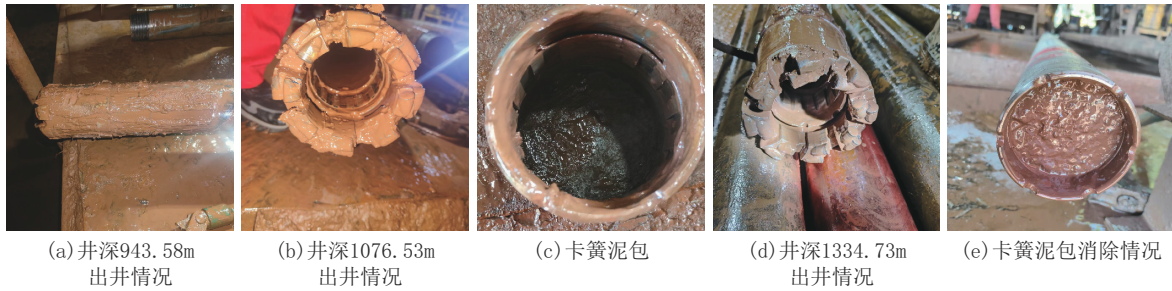


图 6 采取措施前后钻头与卡簧泥包情况对比

Fig.6 Comparison of bit and circlip balling before and after taking measures

(5)石盐岩粉在温差变化下产生盐析重结晶形成粗颗粒沉砂,而绳索取心钻具环空间隙小,饱和氯化镁钻井液切力不足导致粗颗粒石盐大多聚集于 150~500 m 井段。经过现场室内试验与现场测试对比,在钻井液中适当加入低粘增效粉或钠膨润土,可达到较好悬浮、携带石盐颗粒的效果。

3.3 饱和氯化镁盐水钻井液应用效果

JG-2 井采用饱和氯化镁盐水钻井液施工,优质地完成了取心任务,盐矿心采取率与岩心直径均超过工程设计要求,并保障工程顺利完钻。具体应用效果主要有:

(1)钻井液具有优良的抑溶效果和护心性能。井深 330.39 m 揭露盐岩层顶板,井深 1348.02 m 时钻穿盐岩层底板,均顺利取出了完整的石盐岩、钾石盐岩岩心样品,全井平均岩(矿)心采取率 97.51%。取出的含钾石盐岩、石盐岩等盐矿心表面光滑,未发生溶蚀(见图 7、图 8)。

(2)钻井液具有良好的护壁性能。三开 470.67~1829.44 m 井段主要为泥岩、石盐岩、泥砾



图 8 取出的盐层岩心

Fig.8 The photo of core containing salt

岩、粉砂质泥岩等地层,地层岩性变化较快。施工裸眼时间长达 94 d。但是,施工过程中井眼较为顺畅,井壁完整性较好,未发生坍塌卡钻或埋钻事故。二开井径扩大率为 14.03%,三开全井段平均井径为 149.8 mm,平均井径扩大率为 12.2%。

(3)钻井液具有良好的携带性能。钻进过程中没有出现提下钻遇阻现象,提下钻顺畅,完钻后测井顺利。

4 结论

(1)针对云南景谷凹陷钾盐调查 JG-2 井地层特点及施工难题,优选并成功应用了饱和氯化镁盐水钻井液技术,具体钻井液配方为:氯化镁饱和溶液 +0.1%~0.5% 抑溶剂 +0~1% 低粘增效粉或钠膨润土 +0.5% GPNA+0.5% GSTP+0.5%~1% GTQ+0.1% GBBJ+0.3%~0.5% 润滑剂 +0~0.5% 磺化沥青 +0~0.1% 稀释剂 GSY。

(2)JG-2 井 66.40~1829.44 m 井段采用饱和氯

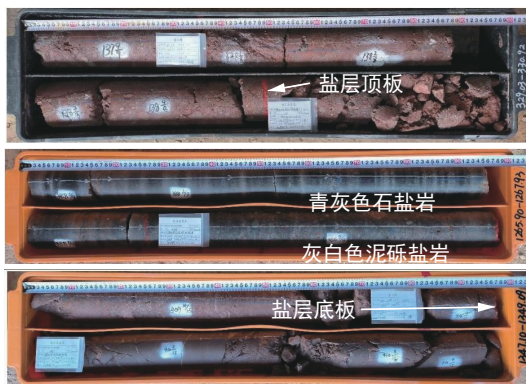


图 7 取出的含盐层顶板、底板及石盐岩心

Fig.7 The photo of roof and floor strata and halite core

化镁盐水钻井液施工顺利,井壁稳定性好,二开井段平均井径扩大率为14.03%,三开井段平均井径扩大率为12.2%;钾石盐岩等盐矿心表面未发生溶蚀,岩心采取质量高,平均岩心采取率达97.5%。现场应用结果充分表明,饱和氯化镁钻井液具有优良的抑制钾石盐和石盐等溶解能力、良好的流变性和悬浮携带能力、良好的护壁和护心效果,可为类似钾盐钻探工程提供借鉴和参考,在云南钾盐钻探工程中应用前景广阔。

参考文献(References):

- [1] 岳维好,高建国,李云灿,等.云南省勐野井式钾盐矿找矿模型及预测[J].地质与勘探,2011,47(5):809-822.
YUE Weihao, GAO Jianguo, LI Yuncan, et al. The prospecting model and prediction of the Mengyejing-type potash deposits in Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(5):809-822.
- [2] 安朝,许建新,韩积斌,等.云南兰坪-思茅盆地勐野井钾盐矿床盐构造特征及成因机制[J].盐湖研究,2015,23(4):15-23.
AN Zhao, XU Jianxin, HAN Jibin, et al. Salt structural features and genetic mechanism of the Mengyejing sylvite deposit in Lanping-Simao Basin, Yunnan[J]. Journal of Salt Lake Research, 2015, 23(4):15-23.
- [3] 苗忠英,郑绵平,娄鹏程,等.云南思茅盆地钾盐矿床的深源浅储成因模式——来自于Sr同位素的证据[J].中国地质,2022,49(6):1923-1935.
MIAO Zhongying, ZHENG Mianping, LOU Pengcheng, et al. The deep source and shallow mineralization model of potash deposits in the Simao Basin: Evidence from Sr isotope[J]. Geology in China, 2022, 49(6):1923-1935.
- [4] 王德敬,毛连义,赵长亮,等.柴达木盆地大浪滩钾盐勘探ZK06井涌钻孔施工工艺[J].地质装备,2010,11(03):32-34.
WANG Dejing, MAO Lianyi, ZHAO Changliang, et al. Construction technology for borehole ZK06 of potassium salt exploration in Dalangtan of Qaidam Basin[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2010, 11(3):32-34.
- [5] 王正浩,申立,宋仲科.卤水钻井液在青海钾盐矿层钻探中的应用研究[J].中国煤炭地质,2015,27(9):55-58.
WANG Zhenghao, SHEN Li, SONG Zhongke. Application of brine drilling fluid for drilling engineering of potassium salt deposits in Qinghai[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(9):55-58.
- [6] 张云,李晓东,赵岩,等.罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探LDK02孔冲洗液工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):57-62.
ZHANG Yun, LI Xiaodong, ZHAO Yan, et al. Drilling fluid for the potassium geological scientific drilling borehole LDK02 in Lop Nur Salt Lake[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9):57-62.
- [7] 王永全,崔秀忠,秦志坤.深部钾盐矿钻探技术及应用[J].矿床地质,2012,31(S1):1095-1096.
WANG Yongquan, CUI Xiuzhong, QIN Zhikun. Drilling technology and application of deep potash mines[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(S1):1095-1096.
- [8] 刘联群,秦志坤.云南江城钾盐基准井钻进工艺分析[J].中国煤炭地质,2014,26(11):57-60.
LIU Lianqun, QIN Zhikun. Potassium salt stratigraphic well drilling technology analysis in Jiangcheng, Yunnan[J]. Coal Geology of China, 2014, 26(11):57-60.
- [9] 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 south western Yunnan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3):53-58.
- [10] 刘维鹏,许青海,白宝云.可溶性固体钾镁盐矿工程地质特征分析及钻探技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):11-14.
LIU Weipeng, XU Qinghai, BAI Baoyun. Analysis on engineering geological characteristics of soluble solid K-Mg salt deposit and drilling technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(8):11-14.
- [11] 赵河江.老挝可溶性矿床钻探无固相饱和盐水钻井液护壁技术和堵漏方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):20-22.
ZHAO Hejiang. Drilling in soluble deposit by wall protection technique and leakage control with no solid saturated saltwater drilling fluid in Laos[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(10):20-22.
- [12] 黄卫东,付帆,陶士先.多功能抗污染剂在老挝农波矿区南部钾盐钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):21-24.
HUANG Weidong, FU Fan, TAO Shixian. Application of multifunctional antipollution agent for potash drilling in Laos[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(3):21-24.
- [13] 官述林,赵光贞,栾元滇,等.钾盐矿床钻探工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(07):25-28.
GONG Shulin, ZHAO Guangzhen, LUAN Yuangdian, et al. Drilling technology in potassium deposit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(7):25-28.
- [14] 唐孟龙,龙雪莲,程现峰.刚果奎卢盆地光卤石矿床钻井施工技术[J].中国井矿盐,2021,52(6):9-11.
TANG Menglong, LONG Xuelian, CHENG Xianfeng. Drilling technology of carnallite deposits in Kouilou Basin, Congo[J]. China Well and Rock Salt, 2021, 52(6):9-11.
- [15] 陶士先,纪卫军.地质钻探复杂地层冲洗液对策及应用案例[M].北京:地质出版社,2016:117-118.
TAO Shixian, JI Weijun. Countermeasures and Application Cases of Flushing Fluid in Complex Formations in Geological Drilling[M]. Beijing: Geological Press, 2016:117-118.

(编辑 王文)