

景谷凹陷钾盐地质调查 JG-2 井钻探施工技术

易强忠¹, 王应科¹, 黎光朋¹, 喻忠伟², 汪林², 李启彪¹

(1. 云南地质工程第二勘察院有限公司, 云南昆明 650200;

2. 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井是为进一步查明云南思茅盆地勐野井组钾盐资源而布置于景谷凹陷的调查井, 地层岩性主要为泥岩、砂岩、泥砾岩和石盐等, 在施工中存在井壁坍塌、缩径、钻头泥包、超径、岩心溶蚀、石盐矿层中机械钻速低、砂岩裂缝性漏失等问题。通过使用“无钾镁基饱和盐水钻井液”关键技术、改进钻头结构及使用PDC钻头、采用桥塞堵漏方法, 较好地解决了岩心溶蚀、漏失、钻头泥包、钻探效率低等问题, 最终完钻井深1829.44 m, 完钻口径133 mm, 盐层矿心采取率97.38%, 取得了优质的钾石盐岩心和钻井质量。其施工技术经验可为以后同类工程提供借鉴。

关键词: 钾盐地质调查; 岩心溶蚀; 钻头泥包; 无钾镁基饱和盐水钻井液; 桥塞堵漏; 绳索取心

中图分类号: P634; TD87 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0358-07

Drilling and construction technology of Well JG-2 of potash geological survey in Jinggu sag

YI Qiangzhong¹, WANG Yingke¹, LI Guangpeng¹, YU Zhongwei², WANG Lin², LI Qibiao¹

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

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

Abstract: Potassium salt mine is one of the minerals urgently needed in our country. JG-2 well is a geological data survey well arranged in Jinggu sag in order to further identify the potassium salt resources of Mengyejing Formation in Simao Basin, Yunnan Province. The formation lithology is mainly mudstone, sandstone, breccia and stone salt, etc. During the construction, the hydration expansion and spalling of mudstone and breccia caused the safety hazards of shaft wall collapse, diameter reduction and bit balling. Potassium salt rock layer is easy to dissolve, dissolution leads to super diameter, core dissolution, diamond bit in stone salt layer mechanical drilling rate is low, sandstone fracture leakage and other problems. By using the key technology of “Potassium-magnesium-based saturated brine drilling fluid”, improving the bit structure, using PDC bit and using bridge plug plugging method, the problems of core dissolution, leakage, bit balling and low drilling efficiency are better solved. The drilling depth is 1829.44m and the drilling diameter is 133mm. Salt bed core recovery rate of 97.38%, obtained high quality potassium rock core and drilling quality. This paper summarizes the technical experience and existing problems in the smooth implementation of JG-2 well, which can provide reference experience for similar projects in the future.

Key words: geological survey of potassium salt; core dissolution; bit balling; potassium-free magnesium-based saturated brine drilling fluid; bridge plug plugging; wire-line coring

0 引言

钾盐矿是被列入我国急缺的矿种之一。云南

思茅盆地中唯一的工业钾盐矿床是勐野井组盐矿^[1-2], 景谷含盐带位于思茅盆地最北端, 景谷地区

收稿日期: 2023-02-27; 修回日期: 2023-05-29 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.056

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, 从事地质与钻探工程管理与研究工作, 云南省楚雄市固业路809队(675000), 1936987252@qq.com。

引用格式: 易强忠, 王应科, 黎光朋, 等. 景谷凹陷钾盐地质调查 JG-2 井钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 358-364.

YI Qiangzhong, WANG Yingke, LI Guangpeng, et al. Drilling and construction technology of Well JG-2 of potash geological survey in Jinggu sag[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 358-364.

目前尚未发现工业钾盐矿,但存在较好的钾矿化特征,1967年完钻的ZK-15(井深550.87 m)和近期完钻的JG-1井(井深1706 m),皆因设备能力不足未钻穿含盐层及勐野井组层位,在研究区尚有深部的含盐、含钾情况未详细了解。2022年,中国地质科学院矿产资源研究所在以往地质、钻孔资料基础上于景谷凹陷芒卡盐矿近盐丘中心布置了JG-2井钻井任务,目的为钻穿含盐层及勐野井组层位,获取盐层真实厚度、钾矿化及分布、盐层成因等基础地质资料。

JG-2井设计井深1800 m,最终完钻井深1829.44 m,全井平均岩心采取率97.5%。取全、取准了盐岩矿层顶、底板岩心,在1776.16 m时钻穿勐野井组,顺利完成了施工任务,达到了设计目的,为确立景谷含盐带文卡矿区钾盐成矿模式提供了详细、可靠的基础地质资料。

本文针对JG-2井施工中采用的钻井工艺和可溶性钾盐矿地层钻井液技术进行了分析与总结,重点分析了岩心溶蚀、钻头泥包和机械钻速低、裂缝性漏失等问题产生的原因,对解决上述问题取得的成功经验与方法进行了总结,为类似可溶性钾盐矿地层钻孔施工提供相应的技术参考。

1 钻井概况

1.1 地质概况

项目区位于思茅凹陷盆地北西端的景谷中生界凹陷盆地内,夹持于澜沧江断裂和无量山-营盘山断裂之间。JG-2井钻遇地层情况如下:

第四系(Q):0~20.10 m,棕红色、棕黄色风化粘土夹碎石。

白垩系上统曼宽河组(K_2mk):20.10~299.22 m,厚279.10 m,岩性以浅灰紫—灰紫色粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩为主。

勐野井组(K_1me):299.22~1776.16 m,厚1476.94 m,岩性为石盐矿层夹泥质粉砂岩、泥砾岩,粉砂质泥岩。

景星组(K_1j):1776.16~1829.44 m,岩性为棕红色、青灰色泥岩,粉砂质泥岩夹少量白色砂岩。

1.2 钻井设计

设计井深1800 m,直井,全井段取心,

钻穿勐野井组目的层后,钻入下白垩统扒沙河组40 m即可完钻。

设计质量要求:

(1)全井取心率 $>85\%$,盐岩段及盐岩段顶、底板的岩矿心取心率 $>90\%$;完井岩心直径 >70 mm。

(2)深度0~1000 m井斜角 $\geq 5^\circ$,深度1800 m井斜角 $\geq 10^\circ$,采用防磁陀螺仪进行井身质量监控。

(3)平均井径扩大率 $\leq 15\%$,最大井径扩大率 $\leq 20\%$ 。

(4)完井井深误差率 $<1\%$ 。

(5)钻井液处理剂应为不含钾的高纯度处理剂,目的层段使用无钾镁基饱和盐水钻井液。

(6)完井后10天内进行地球物理测井。

2 钻井施工情况

2.1 钻井设备

根据钻井设计参数,考虑钻井目的为钻穿勐野井组可能加深需要,选用HXY-9B型钻机,该钻机在大直径绳索取心工艺及深孔取心钻探中施工有较大的优势和能力^[3]。

依据HXY-9B型钻机安装尺寸与卷扬机提升能力、钻井设计参数,钻塔选择SGXZ-24型。考虑可能钻遇含气层需安装井控设备,采用了规格为12500 mm \times 12000 mm \times 2200 mm的井架平台,承载力2000 kN(见图1)。绳索取心钻杆选择在云南江城MK-3井(终孔2700 m)^[4]和重庆页岩气田页1井(终孔1803 m)有成熟使用经验的CHD127系列。



图1 HXY-9B钻机与平台

配套辅助设备为:BW300/16-D型泥浆泵;J1/A-2/E48-90F-3T型振动筛,TGLW350-N型离心机,QJQ200型泥浆清洁器,25 m³泥浆罐等。

地质设计要求测斜仪器具备防磁干扰,采用了

XBY-2GW型无缆陀螺测斜仪,该测斜仪通过测量各测点空间位置获取数据(井斜角、方位角、井深),可使用配套软件计算得出井身轨迹和偏心距^[5]。立轴倾角须采用地质罗盘与XBY-2GW型陀螺仪配合校准^[6]。

2.2 井场建设

井场布置依据地形地貌、工程特点、行业文化、设备运行的要求进行功能区的合理规划,同时满足“绿色勘查”要求。周围设置了封闭的铁皮围栏和铁门、应急出口,井场内设置了防滑、防尘的水泥硬化便道,井场周围设置排水沟做到清污分流。应急池、废液处理池、堆砂坑采取了防渗漏、防污染措施,体现了“绿色勘查、文明施工”精神^[7](见图2)。

2.3 井身结构

井身结构的设计须考虑全井取心,且岩心采取

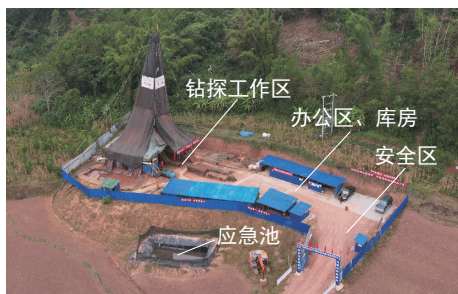


图2 井场布置情况

率要求高和岩心直径要求大、满足盐矿层顶板止水质量及物理测井的要求。采取小径取心,大径扩孔下管的结构,严格固井封隔上部复杂地层和盐矿层顶板,在实际钻进过程中依据地层变化进行调整,JG-2井实际井身结构如下:

导管:0~31.05 m,取心口径为152 mm,钻穿第四系松散层,扩孔口径为311 mm,Ø245 mm套管下至31.05 m,目的为封隔地表疏松、垮塌、地表水层,建立井口,固井水泥浆返至地面。

一开:31.05~201.17 m,取心口径为152 mm,本井地质预测100 m前后见盐层,工程设计须在含盐层顶板前30 m下入技术套管固井止水,原设计钻深70 m,实际钻至井深201.17 m,因岩层倾角陡未揭露勐野井组及盐层,考虑施工效率及成本等因素,在获取委托方批准后进行了Ø215.9 mm扩孔、下Ø194 mm套管、固井工作。

二开:201.17~470.67 m,取心口径为152 mm,本开次已进入盐层140.28 m,考虑进入下部钾石盐矿层对钻井液性能维护需求,以及封隔盐层顶板及上部易溶蚀坍塌井段,进行了Ø171 mm扩孔、下Ø146 mm套管(下深468.00 m)、固井工作。

三开:采用Ø133 mm钻头钻至1829.44 m裸眼完钻。完钻井身结构见表1和图3。

表1 完钻井身结构数据

开序	井深/m	钻头尺寸/mm	套管尺寸/mm	套管下入层位	套管下深/m	水泥浆上返情况/m	完成岩心直径/mm
导管	31.05	311	245	曼宽河组	31.05	地面	124
一开	201.17	215.9	194	曼宽河组	201.17	地面	100
二开	470.67	171	146	勐野井组	468.00	地面	100
三开	1829.44	133	裸眼完井	/	/	/	78

2.4 钻井施工技术及钻具组合

导管段井深31.05 m,地层为第四系松散砂粘土,属于“见水即散”的取心困难地层,使用Ø60 mm钻杆+Ø146 mm岩心管+Ø152 mm复合片钻头组合进行无泵反循环钻进,在第四系松散地层达到了98.75%的岩心采取率。钻进至20.65 m时由于司钻操作失误,Ø60 mm钻杆于14.45 m折断,处理中因第四系堆积土层松软,“鱼顶”被挤入井壁而无法锥套事故“落鱼”,通过绕障技术^[8]用时4天处理好。继续钻进至31.05 m后测井斜为1.02°,与井口(仪器

误差0.22°)偏差在允许范围,采用Ø311 mm多级肋骨复合片钻头扩孔下入Ø245 mm套管固井,测量井斜为0.78°,达到防斜开直、封隔地表水层目的。

一开地层为曼宽河组粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩,岩石可钻性较好,但研磨性较强,采用S130 mm孕镶金刚石绳索取心钻进,钻具组合为:Ø152 mm钻头(加大钻头直径^[9])+Ø152.5 mm扩孔器+Ø130 mm钻具+Ø130 mm绳索取心钻杆。钻至66.40 m见石膏脉盐层标志后更换钻井液体系为“无钾镁基饱和盐水钻井液”,至井深201.17 m时采用Ø

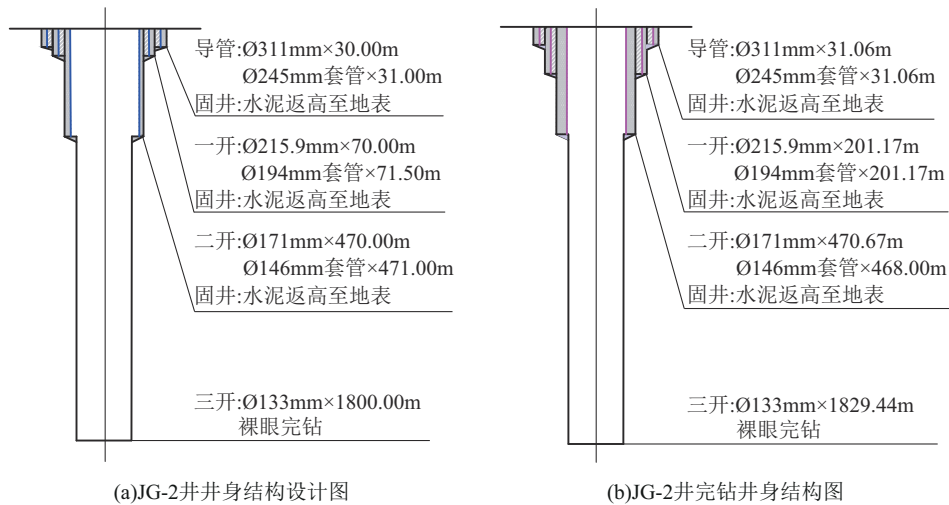


图3 JG-2井完钻井身结构

215.9 mm 钻头扩孔下入 $\text{O}194$ mm 套管固井。由于砂岩具有强研磨性,在高转速钻进条件下 $\text{O}130$ mm 绳索取心钻杆壁薄,磨损很快,为预防钻杆断裂事故发生,钻进 48 h 即须提钻检查、更换过度磨损的钻杆,增加了施工辅助时间,严重限制了绳索取心优势的发挥。

二开地层为粉砂岩、泥岩、泥砾质石盐岩,采用与一开相同的钻具组合钻进取心至 470.67 m,更换 $\text{O}171$ mm 钻头扩孔后下入 $\text{O}146$ mm 技术套管固井,达到了封隔岩盐层顶板及以上含水层目的。本井段是揭露盐岩层顶板重点井段,须做好钻井液性能维护,钻进至 330.39 m 顺利揭露盐岩层顶板,保证了岩(矿)心采取率及盐矿心质量。钻进至 428.29 m 石盐岩时,由于纯石盐岩研磨性极弱,孕镶金刚石钻头机械钻速由 3.5 m/h 下降至 1.5 m/h,对钻进效率产生了较大的影响,及时定制了 PDC 钻头进行后续钻进工作。

三开地层为粉砂岩、泥岩、泥砾岩和石盐岩,互层分布频繁交替出现,采用 CHD127 金刚石(PDC)绳索取心钻进,钻具组合: $\text{O}133$ mm 钻头(钻头直径由 $\text{O}127$ mm 加大至 $\text{O}133$ mm)+ $\text{O}133.50$ mm 扩孔器+ $\text{O}119$ mm 绳索取心钻具+ $\text{O}133.50$ mm 上扶正+ $\text{O}119$ mm 弹卡室(弹卡挡头)+ $\text{O}114.5$ mm 绳索取心钻杆,裸眼完钻,井深 1829.44 m。

本井采用绳索取心技术为主的工艺钻进,充分利用了其机械钻速快、辅助时间占比小、岩心采取率高等优点^[10],尤其是随井深的延伸优势非常明显。

2.5 钻进参数的使用

本井钻遇各类岩层互层分布频繁,反复交替出现,对钻进参数的控制带来较大的困难,在岩层倾斜严重时加密测斜,根据监测数据指导钻进参数的控制。

导管段地层为砂、粘土,采用小钻压、低转速,开孔钻具做到“满、刚、长、直”,达到防斜保直效果^[11]。

一开井段使用小钻压防斜,二开、三开上部提速阶段采用正常钻压,三开下部(1200 m 以深)适当控制钻压、转速以保证井内安全。

完整、未溶蚀地层(如一开、二开砂岩、粉砂岩、盐岩)尽量开高转速;钻进裂隙破碎地层、软硬互层及产状陡倾易斜地层时(如二、三开泥砾岩、粉砂岩、盐岩)适当控制转速;在软泥岩层中钻进适当限制转速。

绳索取心工艺钻进环空小易产生高泵压,造成井壁被冲刷而不稳定,对泵量存在较大的限制^[12]。在钻头直径增大和增加环空体积条件下,可根据泵压安全限值选择最大流量,以达到良好的排屑、护壁效果。

钻进参数使用情况见表 2。

2.6 钻井液

钾盐矿为典型的水溶性地层,具有易溶解、溶蚀特性,钻井液的选择是决定钾盐矿钻进取心质量好坏的关键,钾盐矿取心效果较好的为油基钻井液、饱和氯化镁盐水钻井液^[13],本井在考虑环保、节约成本和不得使用含钾处理剂情况下,选择使用了“无钾镁基饱和盐水钻井液”体系。

表2 JG-2井钻进参数配合

开序	钻头		取心工艺	钻进参数				上返流速/ (m·s ⁻¹)	钻井液密度/ (g·cm ⁻³)
	直径/mm	类型		钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa		
导管	152	复合片	单管无泵反循环	3~5	119				
一开	152	金刚石	绳索取心	6~7	240	155~190	1.5~2.0	0.53~0.65	1.05~1.32
二开	152	金刚石	绳索取心	14~16	240~484	155~190	1.5~2.5	0.53~0.65	1.30~1.32
三开	133	金刚石	绳索取心	12~15	240~338	155~300	2.5~3.5	0.72~1.12	1.33~1.37
		PDC	绳索取心	11~13	119~338	155~300	2.5~3.5	0.72~1.12	1.33~1.37

钻井液配方:45% 镁盐卤水 1 m³+0.5% LBM+0.5% 抑溶剂+1% 增粘剂 GTQ+1% 接枝淀粉 GSTP+5% 降滤失剂 GPNA+0.2% 包被剂 GB-BJ+0.4% 磺化沥青+0.1% 有机硅抑制剂 GSY-1^[14]+3% 润滑剂 GLUB+5% 消泡剂。

性能指标:密度 1.30~1.36 g/cm³,粘度 34~43 s,失水量 6~9 mL/30 min,pH 值 6~7,动切力 6~8 Pa,静切力 0.5~2.5 Pa。

一开前期采用高分子聚合物钻井液钻进取心,至 66.40 m 出现石膏脉盐层标志时更换为“无钾镁基饱和盐水钻井液”。对钾盐矿岩心的保护和井壁稳定起到了至关重要的作用,在 470.67 m 以深长裸眼钻进中,井壁无明显坍塌、溶蚀扩径情况发生,完钻物探测井平均井径扩大率为 12.2%,符合设计要求。

镁基饱和盐水钻井液的无固相特点使其具有良好的流变性能,可满足绳索取心小环空钻进的大排量循环排屑要求,充分发挥了金刚石绳索取心采心率高的优势。在 330.39 m 时顺利取到盐岩层顶板岩心,后续施工中取出完整石盐、钾石盐矿心,其表面光滑,未发生溶蚀(见图 4)。

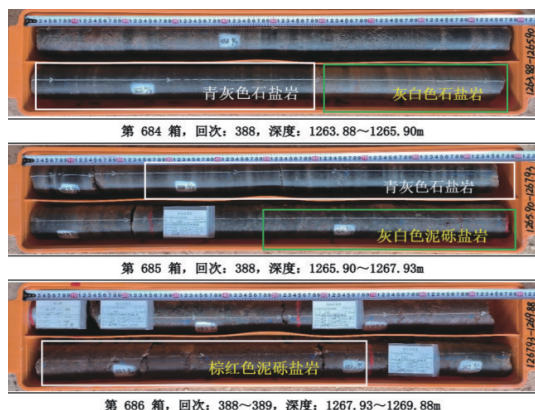


图4 完整石盐岩(矿)心

2.7 井控管理

要求设计井深未满足地质目的时需加深钻进,直至钻穿勐野井组目的层,为应对钻遇含气层安全风险,必须安装井控装置,井控设备采用 2SFZ18-35 型防喷器组、FS0705 型四通、TF8-5/8×7"-35 型套管头、井控管汇等^[15],同时定制安装了 Ø114.5 mm 绳索取心钻杆半封闸板解决防喷器闸板与绳索钻杆的配套技术问题。

3 存在问题及解决方法

(1)428.29 m 后石盐岩、砂岩、泥岩及泥砾岩互层分布频繁交替出现,由于纯石盐岩研磨性极弱和特殊粒晶结构的原因,孕镶金刚石钻头钻遇石盐岩时机械钻速严重下降(由砂岩地层的 3.5 m/h 降至 1.5 m/h),在定制使用了八刀翼双错齿 PDC 钻头后机械钻速提高至 3.0 m/h(见图 5a),石盐岩层较厚井段取得了单日进尺 38.0 m 的效率。但 PDC 钻头钻遇砂岩时机械钻速又降至 1.5 m/h 左右,而 PDC 钻头在钻进泥砾岩时出现岩心表面泥砾崩落、岩矿心粗细不均的质量缺陷,如钻进过程中频繁更换钻头则增加了较多的提下钻辅助时间,严重影响施工进度。

通过对孕镶金刚石钻头与 PDC 钻头钻进效果比对分析,在岩层厚薄不一、互层分布频繁交替出现,无法准确预测地层岩性厚度时,应当考虑孕镶金刚石钻头具有适应性强、取心质量好的优点。在 Ø133 mm 孕镶金刚石钻头结构基础上改进为宽水口、大斜齿结构(见图 5b),通过减小小金刚石切削面积提高钻头切削、破岩效果,增大过水断面以提高钻头水功率达到很好的排屑、冷却效果,同时达到减小钻头泥包的机率。通过钻头的改进,在后续深孔施工中达到平均机械钻速 1.70~1.76 m/h 的稳定效果。

(2)在泥岩、泥砾岩井段钻进,泥岩岩屑产生水



(a) Ø133mm PDC钻头



(b) Ø133mm大斜齿金刚石钻头

图5 绳索取心金刚石钻头与PDC钻头

化膨胀粘附于钻头与卡簧,导致钻头与卡簧泥包^[16],对机械钻速和岩心质量产生较大的影响。为

此,在钻井液中添加润滑油改变钻头亲水性,添加有机硅抑制剂GSY-1提高抑制钻头泥包的能力,而在钻进过程中采用起钻前增加循环时间、钻进倒杆间隙时间使用大排量(≥ 300 L/min)冲洗钻头水道与井底,通过使用以上方法,很好的解决了钻头与卡簧泥包的危害。

(3)石盐岩层钻进中,因温差变化导致盐析重结晶产生了粗颗粒盐屑沉砂^[17],粗颗粒盐屑大部分聚集粘附于150~500 m井段钻杆外壁,经分析为钻井液切力不足,通过添加适量的低粘增效粉(LBM),提高钻井液悬浮及携带石盐钻屑颗粒的能力,有效缓解了粗颗粒盐屑聚集粘附的问题。

(4)在1715.04、1736.15、1759.04 m泥质粉砂岩井段发生了严重的失返性井漏,漏失量最大达7 m³/h,漏失井段岩层纵、横向裂隙比较发育^[18](见图6),通过采用膨润土、锯末、松树叶、植物胶、Aus-Plug膨胀堵漏剂^[19]等惰性材料做成泥球送至漏失井段,再利用钻具碾压、钻扫进行桥塞封堵成功,后期循环过程中加入801随钻堵漏剂并适当提高钻井液粘度加以巩固,有效解决了漏失问题,顺利进行了后续施工。

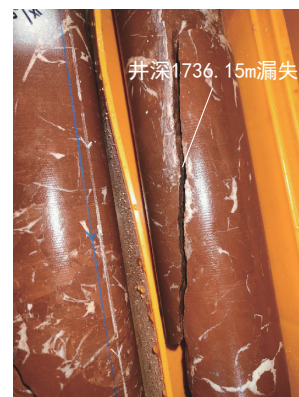
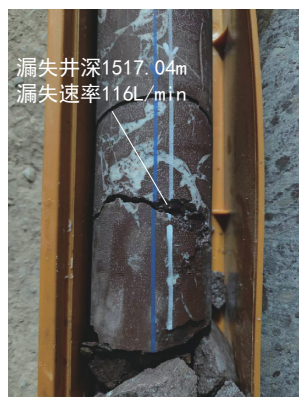


图6 井漏岩心图片

4 钻井完成情况

4.1 完钻质量

完钻井深1829.44 m,获取岩(矿)心长1784.02 mm,平均岩心采取率97.51%;完钻口径133 mm,岩心直径 ≥ 78 mm;完钻井斜误差4.19°,井深校正误差0.06 m,井身轨迹向南偏移-21.42 m;二开井径扩大率14.03%,三开井径平均扩大率12.2%。全部

满足设计要求。

4.2 钻探目的完成情况

地质设计完钻层位是扒沙河组,钻进中未见扒沙河组,实际完钻层位为景星组(K_j)(钻入53.28 m未钻穿),岩性为粉砂质泥岩夹少量白色砂岩、棕红色构造角砾岩。井深1348.07 m时钻穿含盐层底板,盐矿层平均采取率97.25%,采取了优质的盐层

岩心,井深1776.16 m时钻穿勐野井组(K_1me)目的层,设计目的与各项指标均优质完成。

4.3 钻探效率

自7月8日开钻至12月9日1829.44 m完钻,平均台月效率达到487.70 m。共用时3624 h,其中纯钻进时间1045.79 h,占比28.86%;起下钻1250.62 h,占比34.5%,占比较高;扩孔401.24 h,占比11.07%,占比略高^[20]。由于绳索取心目前口径最大为152 mm,在大井眼扩孔方面花费了较多辅助时间。

5 经验与建议

JG-2井在钾盐矿地质调查取心方面取得了一定的经验,但仍然存在以下问题与不足之处需要改进。

(1)第四系采用无泵反循环钻进取心,达到了较好的岩心采取率,但钻时较慢、回次数量多、井内安全系数低,占用较多起下钻、出心辅助时间,今后类似钻孔在第四系松散土层无矿情况下可考虑降低采取率要求或分段满足采取率的设计。

(2)一、二开井段逐级扩孔占用时间较多,应根据钻井情况及时调整钻井设计口径、结构。

(3)石盐岩与砂岩、泥岩、泥砾岩互层频繁交替出现、层厚小,给钻头的选择带来较大的困难,频繁更换钻头严重影响了施工进度。应结合绳索取心工艺、借鉴石油系统PDC钻头经验,提前储备多种齿型、水口及相应胎体的钻头,以应对此类地层。

(4)绳索取心钻杆接头壁厚小,在强研磨性(砂、粉砂岩)地层磨损较快,需经常提钻检查、更换,增加了较多的辅助时间与施工成本。在钻头外径、环空增大情况下,可考虑适当增大钻杆接头外径以延长其使用寿命。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 栾国栋,山东莱州吴一村ZK01科学钻孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):36-39,45.

[4] 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.

[5] 周策,刘一民,罗光强,等.存储式光纤陀螺测斜探管研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):147-159.

[6] 易强忠,郎学伟,周兴华,等.云南金平长安金矿大倾角钻孔绳索取心施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):48-55.

[7] 岳永东,谭春亮,宋殿兰,等.基于绿色勘查的浅钻技术在浅覆盖区填图中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):5-11.

[8] 王林钢,潘焱,所建成,等.山东莱州西岭勘查区ZK88-19深孔同径造斜绕障工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):55-59.

[9] 朱恒银,王强,张正,等.大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):160-164.

[10] 李宽,李鑫森,韩丽丽,等.绳索取心钻杆内壁结垢成因与预防及清理装置的研发[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):60-64.

[11] 李正前,房勇,陈孝红,等.沅麻盆地页岩气地质调查湘桃地1井钻井技术及井下复杂处理[J].钻探工程,2022,49(5):48-56.

[12] 康鑫,李生海,刘晓阳,等.河元背地区绳索取心钻进泵压计算模型的建立与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):28-31.

[13] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.

[14] 蔡晓文,李晓东,牛彦杰,等.甘肃山丹花草滩煤矿扩大区煤炭详查钻井液工艺及应用[J].钻探工程,2020,47(11):56-60.

[15] 赵亮,汪程林,等.页岩气地质调查皖地1井施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):42-47.

[16] 胡晨,闫家,张恒春,等.泥页岩地层绳索取心钻进钻头应用及优化设计研究[J].钻探工程,2021,48(12):65-71.

[17] 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):53-56,61.

[18] 李岩,郭军,王文彬,等.滇东地区页岩气调查云宣地1井钻探施工难点及对策[J].钻探工程,2021,48(8):12-18.

[19] 易强忠,李绍河,盖海涛,等.Aus-Plug堵漏剂在金厂河等矿区绳索取心钻孔漏失中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):20-24,30.

[20] 刘祥,兰沁,许飞,等.西藏罗布莎铁矿区高海拔巨厚覆盖层钻探技术[J].钻探工程,2022,48(6):49-56.

(编辑 荐华)