

山东招远大尹格庄3000 m科学钻探施工技术

李宽^{1,2}, 张晓龙^{1,2*}, 王文龙^{1,2}, 王金平^{1,2}, 马晓鹏^{1,2},
商振华^{1,2}, 董泽训^{1,2}, 李凯舟^{1,2}, 田国亮^{1,2}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队, 山东威海264209; 2. 董泽训齐鲁工匠创新工作室, 山东威海264209)

摘要: 山东招远大尹格庄3000 m科学钻探项目是在胶东地区招平断裂带处施工的最深科学钻探项目, 设计钻孔深度为3000 m。为达到提高钻探施工效率、降低孔内事故概率的目的, 本项目采用高效稳定的XY-9DB型变频钻机、自主研发的高效长寿命金刚石钻头、CHD76系列高强度钻杆及联合研发的LZRT360型钻井液离心机, 采用了P/H绳索取心液动冲击钻探技术、绳索取心涂层减阻内管技术等关键技术, 进行深孔钻进施工, 并针对不同地层进行了冲洗液体系的优选。该项目终孔孔深3120.35 m, 终孔孔径78 mm, 平均岩心采取率95.6%, 平均矿心采取率97.9%。本文对此项目施工过程中钻遇复杂地层的处理方法、解决方案以及设备使用情况进行了总结, 为类似深部钻探工程项目提供了参考。

关键词: 科学钻探; 深部钻探; 变频钻机; 钻井液离心机; 绳索取心液动冲击钻探

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)04-0145-09

Construction technology of the 3000m scientific drilling project in Dayingezhuang, Zhaoyuan County, Shandong Province

LI Kuan^{1,2}, ZHANG Xiaolong^{1,2*}, WANG Wenlong^{1,2}, WANG Jinping^{1,2}, MA Xiaopeng^{1,2},
SHANG Zhenhua^{1,2}, DONG Zexun^{1,2}, LI Kaizhou^{1,2}, TIAN Guoliang^{1,2}

(1. The 6th Geological Brigade of Shandong Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Weihai Shandong 264209, China;

2. Dong Zexun Qilu Craftsman Innovation Studio, Weihai Shandong 264209, China)

Abstract: The 3000m scientific drilling project of Dayingezhuang in Zhaoyuan, Shandong Province is the deepest scientific drilling project in the Zhaoping fault zone in Jiaodong area, with a design drilling depth of 3000m. In order to improve the drilling construction efficiency and reduce the probability of accidents in the hole, the project adopts an efficient and stable XY-9DB variable frequency drill rig, self-developed high-efficiency long-life diamond drill bit, CHD76 series high-strength drill pipe and jointly developed LZRT360 drilling fluid centrifuge. The key technologies such as P/H wire-line coring hydraulic percussion drilling technology and wire coring coating drag-reducing inner pipe technology are adopted to carry out deep hole drilling construction, and the rinsing fluid system is optimized for different strata. The final hole depth of the project is 3120.35m, the final hole diameter is 78mm, the average core recovery rate is 95.6%, and the average core recovery rate is 97.9%. This paper summarizes the treatment methods, solutions, and equipment usage of complex formation drilling in the construction process of this project, aiming to provide references for similar deep drilling projects.

收稿日期: 2024-05-07; **修回日期:** 2024-06-25 **DOI:** 10.12143/j.ztgc.2024.04.018

基金项目: 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)“金属深部协同探测技术装备”(编号:2023CXGC011001)

第一作者: 李宽, 男, 汉族, 1992年生, 高级工程师, 从事固体矿产钻探技术、工艺及设备的研究和钻探工程施工管理等工作, 山东省烟台市招远市金城路78号(265400), 350812906@qq.com。

通信作者: 张晓龙, 男, 汉族, 1989年生, 工程师, 从事固体矿产钻探技术、工艺及设备的研究和钻探工程施工管理等工作, 山东省烟台市招远市金城路78号(265400), 421292199@qq.com。

引用格式: 李宽, 张晓龙, 王文龙, 等. 山东招远大尹格庄3000 m科学钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(4): 145-153.

LI Kuan, ZHANG Xiaolong, WANG Wenlong, et al. Construction technology of the 3000m scientific drilling project in Dayingezhuang, Zhaoyuan County, Shandong Province[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(4): 145-153.

Key words: scientific drilling; deep drilling; variable frequency drill rig; drilling fluid centrifuge; wire-line coring
hydraulic percussion drilling

0 引言

山东省招远市大尹格庄 3000 m 科学钻探的研究目标是通过钻探工程查明该矿区超深部隐伏金矿体空间定位规律、控矿因素和找矿标志。钻孔位于招平断裂带中段,区内岩浆岩广布,断裂构造发育,且与后仓、栾家河、南周家等多条构造破碎带相互穿插^[1-4]。地层的复杂性、多变性和不可预见性给钻探施工带来了巨大考验。80ZK2101 钻孔设计孔深 3000 m,实际终孔孔深 3120.35 m,终孔孔径 78 mm,平均岩心采取率 95.6%。钻孔于 2021 年 11 月 30 日开钻,2022 年 6 月 25 日终孔,历时 208 天,零孔内事故,创造了全国小口径钻探及同类型钻孔钻进效率的新纪录,刷新了招平断裂带的孔深纪录,为该地区的深部金矿勘查和深部资源开发利用提供了重要的实践依据,同时推动山东省深部金矿勘查研究和开发利用进入了国际领先行列。

1 工程概况

1.1 工程地质概况

矿区属丘陵剥蚀区,海拔 101~173 m,地势较平缓,下切冲沟发育。钻孔位于招平断裂带中段,区内早期发育的基底构造主要是由前寒武纪变质基底组成的栖霞复背斜,其构造线方向呈近 EW 向。随后受碰撞造山和俯冲作用区域构造应力场控制,在基底构造上叠加了以脆性断裂为主导的构造系统,包括 NE-NNE 栾家河断裂和控矿断裂招远-平度断裂带、近 EW 向切割矿体的后期断裂南周家断裂、大尹格庄断裂、后仓断裂等^[1]。区内地层简单,主要包括第四系和古元古代荆山群地层,空间上发育在研究区浅表部。第四系的岩性主要为黄色轻亚粘土、砾石,含有砾石的中粗砂,部分区域存在少量淤泥。古元古代荆山群禄格庄组呈断块状、条带状分布于研究区中部,主要由石榴砂线黑云片岩和黑云片岩组成。区内岩浆岩广泛分布,主要为分布于控矿构造上盘的新太古代早期栖霞序列条带状细粒含角闪黑云英云闪长岩和分布于控矿构造下盘的中生代玲珑序列二长花岗岩,两者直接呈断层接触,与地层呈侵入接触^[1-4]。

在钻进过程中,主要见 5 种不同岩性地层,分别

为第四系、斜长角闪岩黑云片岩、黑云变粒岩、石英闪长玢岩及碎裂状花岗岩。整体岩心较完整,呈长柱状,局部破碎呈碎块状,岩石可钻性见表 1。

表 1 钻遇岩石可钻性等级
Table 1 Drilling suitability classification of encountered rocks

岩石名称	可钻性等级	统计效率/(m·h ⁻¹)
斜长角闪岩黑云片岩	6.5~8.0	4.8
黑云变粒岩	6.0~7.5	4.8
石英闪长玢岩	7.0~8.5	4.2
碎裂状花岗岩	8.0~9.0	3.9

80ZK2101 钻孔石英闪长玢岩层较厚,达 333.01 m(孔深 2751.00~3084.01 m),位于主裂面以上,且见星点状黄铁矿化。孔深 3084.01~3084.06 m 处为主裂面,长度 5 cm,主裂面上下盘可见岩性明显变化,由石英闪长玢岩层变为碎裂状花岗岩层。于孔深 3100.06~3101.06 m 处见矿品位为 3.44 g/t,见矿处岩心见星点状黄铁矿化,蚀变较弱。终孔位置见斜长角闪岩出露,未见矿化。

1.2 施工概况

根据孔深设计和地层构成等因素,80ZK2101 钻孔采用了四开的设计,具体的钻孔结构见图 1。

钻孔结构设计参数如下:

一开(0~40.62 m),该段主要为第四系松散地

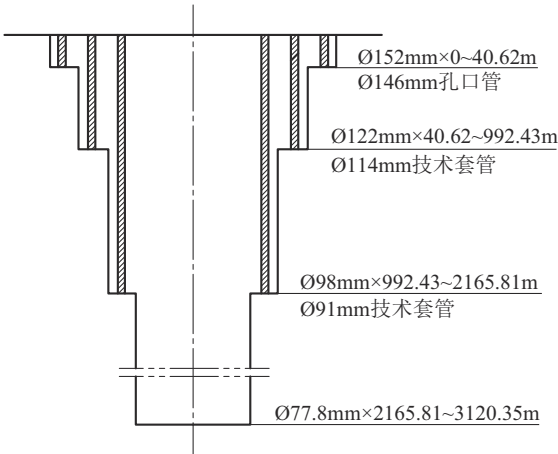


图 1 80ZK2101 钻孔结构
Fig.1 Drilling structure of 80ZK2101 borehole

层,采用 $\varnothing 152$ mm 金刚石钻头单管提钻取心钻进至 40.62 m,下入 $\varnothing 146$ mm 套管,固井,水泥返至地表。

二开(40.62~992.43 m),采用 $\varnothing 122$ mm 金刚石钻头绳索取心钻进至 992.43 m,下入 $\varnothing 114$ mm 套管,孔口加固。

三开(992.43~2165.81 m),采用 $\varnothing 98$ mm 金

石钻头绳索取心钻进至 2165.81 m,下入 $\varnothing 91$ mm 套管,孔口加固。

四开(2165.81~3120.35 m),采用 $\varnothing 77.8$ mm 金刚石钻头绳索取心钻进至终孔。

钻进参数设计见表 2。

表 2 80ZK2101 钻孔钻进参数设计

Table 2 Design of drilling parameters for 80ZK2101 borehole

孔段/m	孔径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa	扭矩/(N·m)
0~40.62	152	1~10	100~120	80~90	0~0.3	60~90
40.62~500	122	10~45	400~500	90~110	0.3~1.5	60~110
500~992.43	122	10~40	380~450	90~110	1.5~4.5	80~120
992.43~1500	98	10~30	350~450	90~120	4.5~5.5	70~120
1500~2165.81	98	10~30	300~400	80~120	5.5~6.5	70~130
2165.81~2600	78	10~25	300~350	80~100	6.5~8.5	80~130
2600~3120.35	78	10~25	200~300	80~100	8.5~10	90~140

80ZK2101 钻孔终孔孔深 3120.35 m,终孔孔径 78 mm,终孔顶角 18.2°,终孔方位角 168.5°,平均岩心采取率 95.6%,平均矿心采取率 97.9%。

2 钻进难点分析

钻孔设计深度 3000 m,终孔直径 $\nless 75$ mm。全孔岩心采取率 $\nless 70\%$,含矿段采取率 $\nless 85\%$ 。顶角偏斜 $\nless 2^\circ/100$ m。

施工难点在于:

(1)钻孔位于招平断裂带中段,区内岩浆岩广布,断裂构造发育,且与大尹格庄、后仓、栾家河、南周家等多条构造破碎带相互穿插,地层具有复杂性、多变性和不可预见性。

(2)钻孔区域内的地层侵入以及断裂构造导致软硬岩石互层,极易导致钻孔偏斜,钻进过程中方向难以把控。

(3)钻孔深度较大,据地温测井资料,预计 3000 m 孔底温度可达 100℃左右,因此对冲洗液流变性、抗温性、滤失造壁性及抑制性等性能提出了更高的要求。

(4)该孔位地层以岩浆岩为主,岩石硬度较大,钻头平均寿命较低,频繁的起下钻导致钻进效率降低;深孔绳索取心钻进的环空小,长距离提下钻造成的钻具抽吸作用易诱发孔壁失稳。

(5)随着钻孔深度的加深,钻杆承受着各种工

况引起的不断变化的交变载荷作用,且随着钻进的深入,温度的升高会导致钻杆受到的侵蚀问题更加严重^[5-7],因此对钻杆的强度提出了更高的要求。

3 施工关键技术

3.1 钻机选型

岩心钻探施工的钻机主要包括立轴式岩心钻机、全液压岩心钻机和电传动岩心钻机等,立轴式岩心钻机是国内使用最广泛的设备。在浅孔地质勘探中,立轴钻机具有结构紧凑、传动效率高和价格适中等优点,但在 3000 m 以深的深孔地质勘探中,传统的立轴钻机因其卡盘和给进油缸的限制而无法满足需求。XY-9DB 型电动变频钻机设计可以满足 4000 m S75(N 规格)深孔取心钻探需求,有效解决了深孔钻探施工中的挑战。如图 2 所示,该钻机系统主要由钻机主机、钻塔、平台、司钻房、VFD 房、泥浆泵、绳索绞车等组成。

XY-9DB 型钻机通过采用多套转矩控制变频器与逻辑控制器等组合,实现了智能软起动、自动送钻、电子防碰等功能,优化控制和监测整个钻进过程;钻机的提升、回转、打捞、冲洗液分别由单独电机驱动,数据采集唯一,能够实现设备状态和工艺参数的实时判断以便及时发现和处理问题、降低钻探事故的发生概率,提升钻进效率;绞车系统通过对刹车盘、工作钳、安全钳等结构设计组合,可实

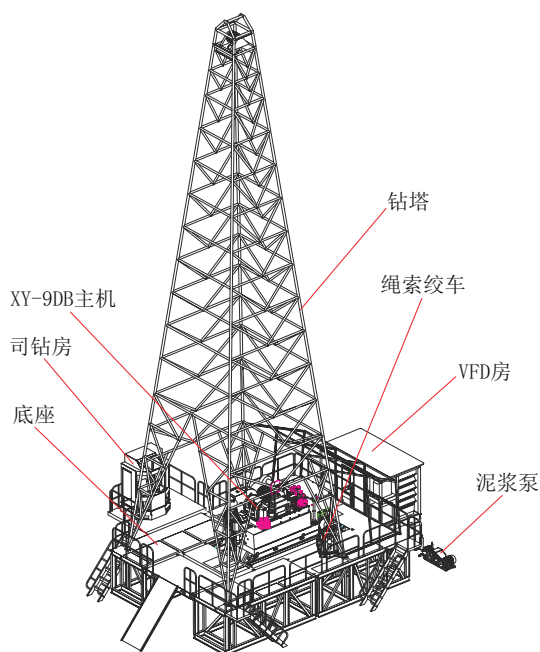


图2 XY-9DB型钻机成套设备布置示意

Fig.2 Schematic layout of complete equipment for XY-9DB drilling rig

现电机短时悬停、安全钳长时间驻车等功能,在断电、油管断裂等意外情况发生时,实现绞车安全自动刹车;钻机相关操作单元均集成于司钻房(图3)内,可以实现在室内检测钻进情况,真正实现可视化、数字化施工;钻机采用交流变频电机驱动,具有过载能力,处理事故能力强;能做到按需输出功率,能源消耗低,经济效益好^[8]。钻机新研发高位转盘装置,可与液压卡盘方便互换,实现在深孔时高位转盘回转、恒钻速/恒钻压长行程自动送钻功能,避免深孔时卡盘严重打滑和给进行程太短造成的各类事故而无法钻进。



图3 XY-9DB钻机司钻房实物图片

Fig.3 Actual photo of the drill control room for XY-9DB drilling rig

3.2 采用绳索取心液动冲击钻探技术

P/H规格绳索取心液动冲击钻探是在回转钻进的基础上利用现场泥浆泵输出的冲洗液压力驱动液动潜孔锤。在钻进时,液动锤安装在岩心管上方的取心器上,其内部的冲锤对钻头施加一定频率和能量的冲击功,在加速碎岩的同时通过震动使破碎地层中的岩心更容易进入岩心管,可以防止岩心堵塞情况的发生并提高了回次长度(见图4)^[9]。对比该矿区同类型钻孔施工效率,使用该钻具可使回次取心率提高20%~100%,钻进效率提高30%以上(如图5所示)。



图4 绳索取心液动锤钻进取出的岩心

Fig.4 The rock core obtained by wire-line coring hydro-hammer drilling

3.3 自主研发坚硬地层高效长寿命金刚石钻头

为解决钻头寿命低而频繁更换钻头所导致的钻进效率低的问题,自主研发了一种高效长寿命金刚石深孔钻头(见图6),该钻头具有使用寿命长、散热效果好、岩屑排出快、金刚石性能强、胎体耐磨性强等特点。具体表现为:

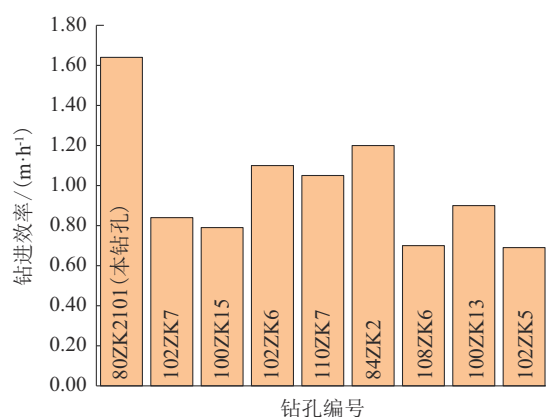
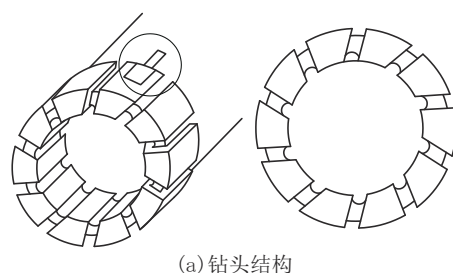
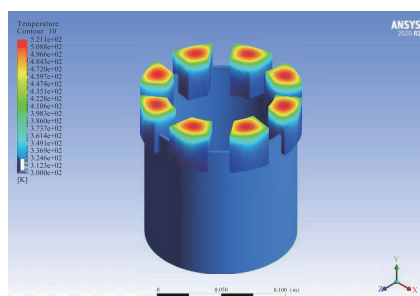


图5 同区域绳索取心液动潜孔锤钻进与其它钻进方法效率对比

Fig.5 Comparison of efficiency between wire-line coring hydro-hammer drilling and other drilling methods in the same area



(a) 钻头结构



(b) 数值模拟



(c) 钻头实物

图6 自主研发的金刚石深孔钻头

Fig.6 Self-developed diamond deep drilling bit

(1) 钻头采用大颗粒高强度的金刚石颗粒,通过优化胎体配方以增高胎体,最高可达18 mm,有效提高了钻头使用寿命。

(2) 利用ANSYS有限元分析软件对金刚石钻头孔底流场进行了数值模拟,设计了“速排冷”水力流道,优化了水槽宽度与角度,以更好的保证胎体在转动时水槽内部冲洗液流量的稳定,优化冲洗液对胎体的散热效果,降低胎体热磨损,同时方便岩屑通过水槽顺利排出,避免重复研磨岩屑,弱化造浆^[10-12]。

(3) 在烧结工艺方面,加入低熔点的粘结材料以降低钻头的烧结温度,减少了高温对金刚石性能的影响;同时改善钻头骨架材料,加入特定目数及比例的新型耐磨材料作为混合骨架材料,增加胎体的抗磨能力、抗冲击能力及胎体韧性。

这些技术创新显著提高了金刚石深孔钻头的使用寿命和钻进效率,适应了复杂地质条件下的深孔钻探需求。经统计该钻头 $\Phi 122$ 、98、77.8 mm尺寸最高寿命分别达到158、136、74 m,平均寿命105.25、90.31、60.20 m,与A厂钻头($\Phi 77.8$ mm钻头平均寿命30.56 m)、B厂钻头($\Phi 77$ mm钻头平均寿命28.60 m)相比,钻头寿命提升了1倍,钻头使用情况见表3。该金刚石钻头有效避免了因频繁提下钻而对不稳定地层的破坏,有利于孔壁形成致密性泥饼,大幅度降低辅助时间,对事故的发生起到关键性预防,提高了钻进效率。

表3 80ZK2101 钻孔钻头使用情况

Table 3 Usage of drill bit in drilling 80ZK2101

口径/ mm	钻头数量/ 个	总进尺/ m	平均进尺/ m	最高进尺/ m
122	9	950	105.28	158
98	13	1170	90.31	136
77.8	16	955	60.20	74

3.4 选用CHD76系列高强度钻杆

随着钻进深度的加深,钻杆自重以及钻杆在孔内受到的回转阻力不断增大。因钻进深度较大,且钻孔直径小,常规钻杆强度不足,易发生钻杆折断等事故^[13-15]。该钻孔采用了CHD76系列超深孔钻杆(见图7),钻杆整体强度较高,经现场应用,效果良好。

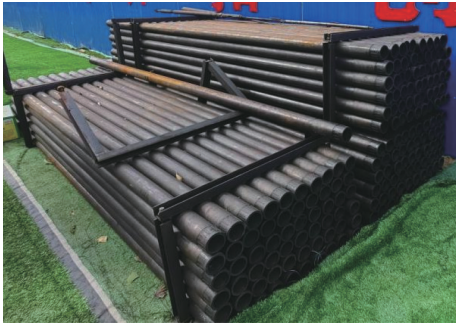


图7 CHD超深孔绳索取心钻杆
Fig.7 CHD ultra-deep hole wire-line coring drilling rod

CHD76系列钻杆与常规XJS75系列钻杆的技术参数及螺纹尺寸对比情况如表4所示。CHD76

系列钻杆使用ZT850级钢材,钻杆经镢粗工艺改进,调质处理,增强管体两端耐磨性;钻杆体两端相对中间段厚度大、硬度高,具有减震缓冲作用,降低了螺纹钻进使用中的负荷。钻杆直线度 $\leq 1:3000$,同心度 $\leq 0.3\text{ mm}$,确保钻杆柱在钻探过程中平稳钻进。钻杆加工采用数控机床+成型刀具+螺纹规检验,螺纹加工采用进口专用成型刀,精度高,表面光洁度达 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 以上,控制螺纹紧密距 $2.5\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$,保证螺纹密封耐压 $\leq 12\text{ MPa}$ 。钻杆螺纹进行表面处理,提高耐磨性,增加自润滑性,有效预防螺纹粘扣,避免了其它螺纹表面硬化工艺不稳定性带来的风险。

表4 钻杆技术参数对比
Table 4 Comparison of drilling pipe technical parameters

钻杆型号	钻杆材质	钻杆外径×壁厚/ mm	两端加厚形式	钻杆热处理方式	接头规格外径×壁厚/ mm	接头材质	接头热处理方式	丝扣抗拉力/ kN	丝扣抗扭强度/ (kN·m)	设计孔深/ m
CHD76系列	ZT850	71×5.5	内加厚	两端调质 HRC28~32	74×9.5	ZT850	调质 HRC30~32	1200	22.5	3500
XJS75系列	45MnMoB	71×5	内加厚	两端调质 HRC22~26	74×8	30CrMnSiA	调质 HRC28~32	850	18.5	2400

新型钻杆对螺纹参数进行了优化,与传统XJS75系列钻杆相比丝扣长度加长,牙深加大,采用10 mm大螺距螺纹,提高了轴向承载能力;新型钻杆螺纹尺寸公差配合合理,采用高精度数控加工,保证了互换性与紧密度。

3.5 不同地层冲洗液体系优选

针对不同地层优选了多种冲洗液体系,减少了地层失稳风险,在流变性、抗温性、滤失造壁性及抑制性等方面表现优异;充分发挥交流变频电驱动钻探设备XY-9DB型钻机的优势,以及考虑实际地层的岩性情况,冲洗液具体配置如下^[16-20]:

一开孔段(孔深0~40.62 m),该段主要为第四系松散地层,采用的钻井液配方为:1 m³水+50 kg膨润土+5 kg Na₂CO₃+5 kg PAC-LV。经测试其性能指标为:固相含量0.8%、中压滤失量10 mL、含砂量 $\leq 0.8\%$ 、pH值8~10、马氏漏斗粘度25~30 s。

二开孔段(孔深40.63~992.43 m),该段采用的冲洗液配方为:1 m³水+50 kg膨润土+5 kg Na₂CO₃+10 kg PAC-LV+2.5 kg FA-367+10 kg

DSP-2+3 kg硅醇降粘剂+50 kg KCl+1.5 kg乳化沥青+2 kg润滑剂+加重剂(碳酸钙)。按需调整加重剂的计量以调整冲洗液密度,冲洗液性能指标为:马氏漏斗粘度35~40 s、中压滤失量5~6 mL、pH值9~11、表观粘度31 mPa·s、塑性粘度23 mPa·s。因该地层存在易水化膨胀坍塌的绢英岩化花岗质碎裂岩和断层泥(见图8),所以在钻进过程中加入硅胺基抑制剂HBYZ-AS,以进一步提高冲洗液的抑制性。

三开孔段(孔深992.43~2165.81 m),该段地层



图8 二开井段地层岩心
Fig.8 Formation core of the secondly drilling section

较为破碎(见图9),应对不当则易发生漏失、坍塌等事故。在该地层钻进时,加入竹纤维、广谱护壁Ⅲ型等以提高冲洗液的封堵性和护壁性。



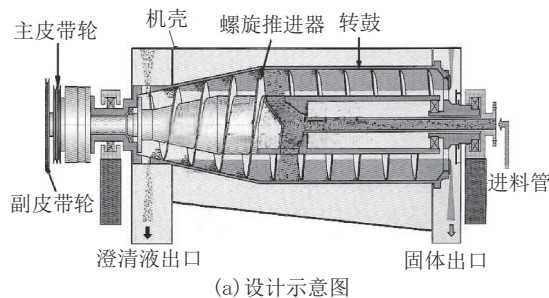
图9 三开井段地层岩心

Fig.9 Formation core in the tertiary drilling section

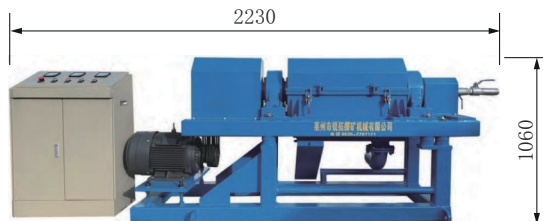
四开孔段(孔深2165.81~3120.35 m),钻进至该段时,地温较高,可达100℃左右,此时需增加抗温聚合物降滤失剂DSP-2的加量。

3.6 联合研发LZRT360型钻井液离心机

80ZK2101钻孔在钻进至2578 m处时出现严重的孔壁坍塌掉块、孔内漏失现象,使得冲洗液中的固相含量急剧增加。依靠传统的开挖泥浆池自然沉淀的处理方法,已无法保持冲洗液性能的稳定。为了排除施工隐患,提高钻进效率,技术人员联合专业公司研发生产了LZRT360型钻井液离心机(见图10)。LZRT360型钻井液离心机针对地质钻探冲洗液的特点而设计,能够分离0.005~2 mm的固相颗粒,同时在固相颗粒大小不同的情况下能正常运作,利用离心沉降原理分离悬浮液,其主要参数见表5。主要零部件采用耐磨锰钢制造;输料螺旋采用特殊防磨措施,焊有硬质合金保护层或镶装硬质合金耐片;大长径比、高转速,具有多种角度的转鼓锥部结构;差转速及扭矩可随物料浓度、流量变化自动调节转速。可在全速运转下完成进料、离心沉降等道工序,主要用于清除细小固体,降低冲洗液的固体含量,从而控制冲洗液的密度、粘度,保证冲洗液的性能;能够降低钻探成本并对高效钻探有重要作用^[20-21]。



(a) 设计示意图



(b) 实物图

图10 LZRT360型钻井液离心机

Fig.10 LZRT360 drilling fluid centrifuge

3.7 采用绳索取心涂层减阻内管

随着钻孔深度的增大,地层温度不断升高,绳索取心内管在承受着不断变化的交变荷载的同时也更容易受到冲洗液的腐蚀,由于该钻孔在钻进过程中钻遇大量破碎地层,取心内管内壁受到侵蚀磨损后摩擦力增大,更容易导致破碎岩心堵塞内管,影响钻进效率^[9,22]。

为解决以上问题,采用钨合金内镀层取心内管,通过在内壁添加钨合金涂层减弱了冲洗液对取心内管的腐蚀作用,增长了取心内管的寿命。同时,减少了岩心与取心内管内壁的摩擦,降低了岩心堵塞的可能,大大提高了回次进尺,提高了钻进效率。取心涂层减阻内管与常规取心内管的平均回次进尺对比如表6所示。

4 结论

山东省大尹格庄3000 m科研钻孔施工项目钻孔位于招平断裂带中段,断裂构造发育,多条构造破碎带相互穿插,地层复杂,钻孔深度大,孔底温度高,施工困难。针对诸多施工难点,本文提出了以

表5 LZRT360型钻井液离心机主要参数

Table 5 LZRT360 drilling fluid centrifuge main parameters

型号参数	最大处理量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	转鼓直径/ mm	最大转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	最小分离点/ μm	外形尺寸/ mm	功率/ kW	质量/ kg
LZRT360	7	360	1500	5	2230×1060×700	11	1000

表6 取心内管平均回次进尺对比

Table 6 Comparison of average footage per round trip of inner core tube

取心内管类别	二开平均回次进尺/m	三开平均回次进尺/m	四开平均回次进尺/m
钨合金内镀层取心内管	2.6	2.4	2.2
无涂层取心内管	1.9	1.3	1.1

下施工关键技术。

(1)XY-9DB型钻机具有高度智能化、低操作人员劳动强度、高效率、良好的安全性、易维修和强事故解决能力等特点,显著增加了钻探效率。

(2)绳索取心液动冲击钻探技术提高了破岩效率,同时降低了岩心管堵塞的概率,显著提升了钻进效率,回次进尺可增加20%~100%,钻进效率甚至可提高30%以上。

(3)自主研发的坚硬地层高效长寿命金刚石钻头,优化胎体配方及钻头水槽宽度与角度,优化烧结工艺,改善钻头骨架材料,增强了胎体性能,有效提高了钻进效率及钻头使用寿命。

(4)CHD76系列高强度钻杆经ZT850级镦粗工艺改进,对螺纹参数进行了优化,提高了钻杆整体强度及螺纹紧密度,现场应用效果显著。

(5)针对不同地层优选冲洗液体系,在流变性、抗温性、滤失造壁性及抑制性等方面表现优异,在相应地层中取得了显著的应用效果。

(6)LZRT360型钻井液离心机有效降低了冲洗液中的固相含量,解决了孔壁坍塌、漏失导致的固相提高问题,消除了孔内安全隐患。

(7)绳索取心内管用钨合金进行内镀层,减弱了冲洗液的腐蚀作用,增加了取心内管的寿命,减少了岩心与取心内管内壁的摩擦,提高了钻进效率。

该项目终孔孔深3120.35 m,终孔孔径78 mm,平均岩心采取率95.6%,平均矿心采取率97.9%,成功实现了零孔内事故,并再次创造了全国小口径钻探同类型钻孔的钻进效率记录。

参考文献(References):

- [1] 邵鹤森.招远大尹格庄矿田构造蚀变分带研究与典型金矿深部预测[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- SHAO Hesen. Study on the structural alteration zone of Zhaoyu-

an Dayinzhuang ore field and deep prediction of typical gold mines[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.

- [2] 张志航.胶东招-平断裂带中段金矿床地质特征及找矿预测[D].南昌:东华理工大学,2015.
- ZHANG Zhihang. Geological characteristic of gold deposit and prospecting prediction in the middle of Zhaoping fault zone, Jiaodong [D]. Nanchang: East China University of Technology, 2015.
- [3] 刘文.胶西北招平断裂带地质特征及控矿规律研究[D].北京:中国地质大学(北京),2015.
- LIU Wen. Study on geological characteristics and ore-controlling regularity of Zhaoping fault in northwest Jiaodong [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- [4] 安梦莹.胶东招平断裂带南段金矿成矿作用及成矿规律[D].石家庄:河北地质大学,2022.
- AN Mengying. Mineralization and metallogenic regularity of gold deposits in the southern of ZhaoPing fault zone, Jiaodong peninsula [D]. Hebei GEO University, 2022.
- [5] 张涛.地质钻杆失效原因及加强措施浅析[J].地质装备,2012,13(5):21-23.
- ZHANG Tao. Analysis on the causes of geological drill rod failure and reinforcement measures [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2012,13(5):21-23.
- [6] 孙建华,王林钢,梁健,等.深孔小直径绳索取心钻进施工调研分析和技术建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):12-17.
- SUN Jianhua, WANG Lingang, LIANG Jian, et al. Analysis on small diameter wire-line core drilling technology in deep hole [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(2):12-17.
- [7] 何鑫.高性能薄壁绳索取心钢钻杆涂层腐蚀磨损性能研究[D].北京:北京石油化工学院,2021.
- HE Xin. Research on the corrosion and wear resistance of high-performance thin-walled rope coring steel drill rod coatings [D]. Beijing: Beijing Institute of Petrochemical Technology, 2021.
- [8] 臧臣坤,何磊,孙军盈,等.XY-9DB电传动立轴钻机的研制及应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社:2019:370-376.
- ZANG Chenkun, HE Lei, SUN Junying, et al. Development and application of XY-9DB AC frequency-conversion core rig [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:370-376.
- [9] 刘振新,翟育峰,赵辉,等.川西甲基卡锂矿3000 m科学深钻施工技术[J].钻探工程,2023,50(4):41-48.
- LIU Zhenxin, ZHAI Yufeng, ZHAO Hui, et al. 3000m scientific deep drilling construction technology for Jiajika lithium mine in western Sichuan [J]. Drilling Engineering, 2023,50(4):41-48.
- [10] 田国亮,商振华,马晓鹏,等.一种高效长寿命金刚石钻头:CN116653128A[P].2023-08-29.
- TIAN Guoliang, SHANG Zhenhua, MA Xiaopeng, et al. A

- highly efficient and long-life diamond drill bit: CN116653128A [P]. 2023-08-29.
- [11] 冯云春. 龙凤山气田火山岩地层个性化PDC钻头设计与应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 94-101.
- FENG Yunchun. Design and application of personalized PDC bit for volcanic rock formation in Longfengshan Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 94-101.
- [12] 荣准, 杨学军, 张航, 等. 五宝场硬塑性地层斧形曲面PDC齿破岩性能研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 85-93.
- RONG Zhun, YANG Xuejun, ZHANG Hang, et al. Study on the rock breaking performance of axe-shape cambered PDC cutters in the hard plastic formation in Wubaochang[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 85-93.
- [13] 丁宁宁, 马天捧, 姚雷, 等. 粉煤地层绳索取心钻进孔壁坍塌分析及处理[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 127-132.
- DING Ningning, MA Tianpeng, YAO Lei, et al. Analysis and treatment of hole wall collapse of wire-line core drilling in pulverized coal strata[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 127-132.
- [14] 白皓亮, 刘宝昌, 王如生, 等. 极地钻探用铝合金双壁钻杆结构强度的有限元分析及试验研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(1): 75-82.
- BAI Haoliang, LIU Baochang, WANG Rusheng, et al. Finite element analysis and experimental study of aluminum alloy double-wall drill pipe for polar multi-process drilling[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(1): 75-82.
- [15] 苏堪华, 刘德平, 简旭, 等. 钻柱腐蚀疲劳寿命评价和影响因素分析[J]. 钻探工程, 2024, 51(1): 15-22.
- SU Kanhua, LIU Deping, JIAN Xu, et al. Evaluation and influence factors analysis on corrosion fatigue life of the drill string[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(1): 15-22.
- [16] 于占森. 鄂北气田小井眼钻完井关键技术研究及应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(6): 137-145.
- YU Zhanmiao. Research and application of drilling and completion technologies for slim-holes in North Ordos Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6): 137-145.
- [17] 秦品光. 新疆某矿区1200 m深孔施工关键技术[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(3): 170-174.
- QIN Pinguang. Key technology of drilling the borehole of 1200 m deep in a coal mine in Xinjiang[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(3): 170-174.
- [18] 王学求, 张必敏, 于学峰, 等. 金矿立体地球化学探测模型与深部钻探验证[J]. 地球学报, 2020, 41(6): 869-885.
- WANG Xueqiu, ZHANG Bimin, YU Xuefeng, et al. Three-dimension geochemical patterns of gold deposits: Implications for the discovery of deep-seated orebodies[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2020, 41(6): 869-885.
- [19] 彭浩, 侯建峰, 焦冬有. 钻井工程中钻头及钻井液的选择分析与探索[J]. 中国化工贸易, 2021(22): 183-184.
- PENG Hao, HOU Jianfeng, JIAO Dongyou. Analysis and exploration of selection of drill bits and drilling fluids in drilling engineering[J]. China Chemical Trade, 2021(22): 183-184.
- [20] 翟育峰, 赵辉, 王鲁朝, 等. 湘南3000 m科学深钻孔内事故处理及对策[J]. 钻探工程, 2023, 50(4): 32-40.
- ZHAI Yufeng, ZHAO Hui, WANG Luzhao, et al. Down-hole incident treatment and prevention for the 3000m scientific deep borehole in southern Hunan[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4): 32-40.
- [21] 冯美贵, 刘启栋, 郭伟, 等. 钻井液离心机预防绳索取心钻杆内壁结垢研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(3): 118-124.
- FENG Meigui, LIU Qidong, GUO Wei, et al. Research on the prevention of scaling on the inner wall of the wire-line drill rod by drilling fluid centrifuge[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(3): 118-124.
- [22] 张礼, 廉振山, 潘铁柱, 等. 基于覆岩裂隙分布特征的高位钻孔设计研究[J]. 煤矿安全, 2019, 50(3): 154-158.
- ZHANG Li, LIAN Zhenshan, PAN Tiezhu, et al. Study on design of high level drilling based on distribution characteristics of overburden fractures[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(3): 154-158.

(编辑 王文)