

甘肃张掖三岭湾 ZC1 井超厚沉积层岩心 钻探施工技术

田志超^{1,2,3}, 于森², 翟育峰^{2,3}, 杨怀俊^{2,3}, 刘振新^{1,2,3}, 杨芳^{2,3}, 郭曜欣^{2*}

(1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004; 3. 山东省地矿局钻探工程技术研究中心, 山东 烟台 264004)

摘要: 沉积地层稳定性较差, 易出现缩径、崩塌、掉块、吸附卡钻等事故, 在沉积地层中开展取心钻进工作, 一直是钻探领域的技术难题。本文介绍了甘肃张掖地热岩心钻探工程(ZC1井)在超厚沉积层岩心钻探施工技术, 该项目通过创新应用多种钻进工艺方法, 开展了冲洗液体系、深孔取心机具、跨口径绳索取心钻进等的研究应用, 解决了超厚沉积层导致的孔壁失稳、吸附卡钻、钻具失效、钻进效率低等难题, 形成了针对超厚沉积层连续取心钻进工艺体系, 为后续同类型复杂地层钻孔施工提供了借鉴。

关键词: 超厚沉积层; 深孔钻探; 复杂地层; 深孔取心机具; 跨口径绳索取心钻进

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)01-0054-08

Core drilling technology for ultra thick sedimentary layers of ZC1 well in Sanlingwan, Zhangye, Gansu

TIAN Zhichao^{1,2,3}, YU Sen², ZHAI Yufeng^{2,3}, YANG Huaijun^{2,3}, LIU Zhenxin^{1,2,3}, YANG Fang^{2,3}, GUO Yaoxin^{2*}

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao Shandong 266100, China; 2. Shandong No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China; 3. Drilling Engineering Technology Research Center of Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China)

Abstract: The sedimentary strata has poor stability, and accidents such as shrinkage, collapse, block falling, and adsorption sticking are prone to occur. Conducting core drilling in sedimentary strata has always been a technical challenge in the drilling field. This article introduces the construction technology of core drilling in ultra thick sedimentary layers for the Zhangye geothermal core drilling project (ZC1 well) in Gansu Province. The various drilling techniques has been innovatively applied in this project, the research and application of flushing fluid systems, deep hole coring equipment, etc., are conducted, which solved the problems of borehole instability, adsorption sticking, drilling tool failure, and low drilling efficiency due to ultra thick sedimentary layers. It has formed a continuous core drilling process system for ultra thick sedimentary layers, providing reference for the subsequent drilling constructions in the similar complex formations.

Key words: ultra thick sedimentary layer; deep drilling; complex formation; deep hole coring equipment; cross caliber wireline core drilling

收稿日期: 2024-09-09; 修回日期: 2024-11-18 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.01.008

基金项目: 山东省地矿局科技攻关项目“深孔地质岩心钻孔轨迹控制技术研发及应用”(编号: KY202205)

第一作者: 田志超, 男, 汉族, 1990年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事岩心钻探技术应用与生产工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, sdsdtzc@163.com。

通信作者: 郭曜欣, 男, 汉族, 1983年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事水工环地质及探矿工程方向等工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, guoyaox@126.com。

引用格式: 田志超, 于森, 翟育峰, 等. 甘肃张掖三岭湾 ZC1 井超厚沉积层岩心钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2025, 52(1): 54-61.

TIAN Zhichao, YU Sen, ZHAI Yufeng, et al. Core drilling technology for ultra thick sedimentary layers of ZC1 well in Sanlingwan, Zhangye, Gansu[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(1): 54-61.

0 引言

沉积地层岩性以泥岩、砂岩等为主,地层稳定性较差,易出现缩径、崩塌、掉块、吸附卡钻等事故,在沉积地层中开展取心钻进工作,一直是钻探领域的技术难题。甘肃张掖三岭湾岩心钻探工程(ZC1井)在施工过程中,钻遇超厚卵砾石覆盖层、巨厚超强水敏性泥岩地层、频繁交替出现的极松散含砾砂层等复杂地层,如何在超厚沉积层中优质高效地取心钻进是ZC1井施工的关键技术。绳索取心钻进环空间隙小,钻具孔内静置时间长,在复杂的沉积地层应用易出现缩径、吸附卡钻事故。因此,在沉积岩地层钻探多采用提钻取心方法,随着钻孔深度的增加,频繁起下钻明显降低钻进效率。针对超厚沉积层施工难点,ZC1井先后采用冲击钻进、全面钻进、绳索取心钻进及提钻取心钻进等工艺方法,开展了冲洗液体系、深孔取心钻具及钻探机具等的研究应用工作,解决了由超厚复杂沉积岩地层导致的孔壁失稳、卡钻、钻具失效、钻进效率低等难题,形成了针对超厚复杂沉积岩地层的连续取心钻进工艺体系,为后续同类型复杂地层钻孔施工提供了借鉴^[1-6]。

1 概况

1.1 项目概况

甘肃张掖三岭湾岩心钻探工程(ZC1井)是甘肃省张掖市甘州区三岭湾一带地热资源预可行性勘查的下设工程,于2022年12月28日正式开钻,至2024年1月10日终孔,终孔孔深为2008.85 m,终孔孔径为 $\Phi 110$ mm,累计岩心采取率90.60%。工作区地处张掖盆地中部冲洪积戈壁平原上,多数地势平坦,海拔1600 m,自然气候恶劣^[7]。工作区位于甘肃省张掖市甘州区大满镇三岭湾一带,行政区划隶属张掖市甘州区大满镇管辖,距张掖市城区约21 km,至张掖市城区及周边各乡镇均有公路相通,交通较为便利,见图1。

1.2 地质概况

1.2.1 地层岩性

ZC1井钻遇地层自上而下为第四系(Q)、新近系疏勒河组(N_2S)、新近系白杨河组(N_1b)及白垩系新民堡群(K_1xn)^[8-9]。

第四系地层(0~612 m)顶部为风成沙,上部为冲洪积砾石、砂砾石,局部含砾石粘土,砾石成分多样,下部以黄褐色砾岩为主。



图1 工作区交通位置

Fig.1 Work area traffic location map

新近系疏勒河组地层分为上部牛胳膊—路塘沟段(612~1025 m)及下部弓形山段(1025~1600 m),上部为土黄色泥岩,下部为紫红色粉砂质泥岩。

新近系白杨河组地层(1600~1980 m)上部为棕红色粉砂岩,下部为细砂岩。

白垩系新民堡群地层(1980~2008.85 m)为棕红、紫红色粉砂岩。钻遇岩石以含砾泥砂岩、泥岩、砂岩为主,岩石硬度较小,可钻性等级为3~5级。

1.2.2 构造概况

工作区位于张掖盆地中央凹陷带次级单元——朝元寺凹陷,该构造单元位于中央凹陷带的东南部,面积约340 km²,古生界基底最大埋深约5800 m,下白垩统最大厚度3000 m,上覆新近系比张掖凹陷加厚400~800 m^[10]。

2 钻探施工概况

2.1 钻孔结构

ZC1井采用五开钻孔结构。一开孔径 $\Phi 450$ mm,钻进深度100.34 m,下入 $\Phi 273$ mm套管;二开孔径 $\Phi 244$ mm,钻进深度174.06 m,下入 $\Phi 203$ mm套管;三开孔径 $\Phi 187.9$ mm,钻进深度633.14 m,下入 $\Phi 168$ mm套管;四开孔径 $\Phi 152.4$ mm,钻进深度1375.69 m,下入 $\Phi 140$ mm套管;五开孔径 $\Phi 110$ mm,终孔深度2008.85 m^[11-14]。钻孔结构详见图2。

2.2 主要机械设备

ZC1井施工中使用的主要机械设备见表1。

2.3 钻进工艺方法

ZC1井施工过程中,针对施工难点,先后采用了冲击钻进、全面钻进、绳索取心钻进及提钻取心钻进等工艺方法^[15]。

一开,第四系覆盖层,含卵砾石较多,采用冲击

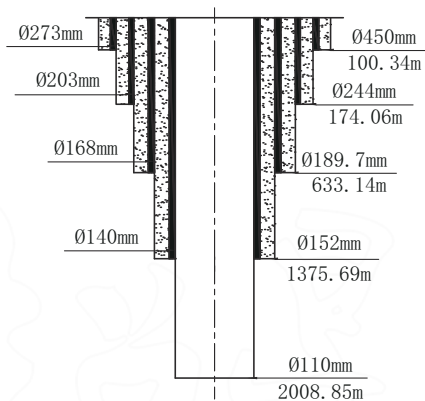


图2 ZC1井钻孔结构
Fig.2 Drilling structure of Well ZC1

钻进,开孔直径 $\varnothing 450\text{ mm}$,下入 $\varnothing 273\text{ mm}$ 套管,进行固井作业,下部填砾处理,上部水泥封固。主要技术措施:采用固相冲洗液体系;确保开孔及下入套管的垂直度为本开次施工重点,由于冲击成孔直径较大,套管下部焊接了直径 450 mm 的扶正器,固井时整个套管处于垂吊状态,保证了套管的垂直度,为后续防斜保直打下了良好基础^[16]。

二开,采用 $\varnothing 222.2\text{ mm}$ 三牙轮钻头全面钻进,后扩孔至 244 mm ,下入 $\varnothing 203\text{ mm}$ 套管。主要技术措施:采用聚合物固相钻井液体系;采用固控设备,有效控制有害固相含量;采用高钻压、低转速、高泵量,控制“跳钻”,实现快速钻进;严格执行短起下作业,每次加钻杆时对新钻进井段多次划眼。

三开,采用 $\varnothing 187.9\text{ mm}$ 五翼PDC钻头全面钻进至 499.94 m ,换用 $\varnothing 152.4\text{ mm}$ PDC绳索取心钻头

取心钻进至 633.14 m ,后扩孔至 187.9 mm 。主要技术措施:采用聚合物固相冲洗液体系;上部不取心井段遵循快速钻进原则,采用高钻压、低转速、高泵量,提高携屑能力,控制“跳钻”等问题;在二开冲洗液的基础上,加大了降失水剂、泥岩抑制剂的加入量,加入油基润滑剂,适当控制冲洗液密度,控制钻头“泥包”的发生;采用双内管轮换使用,配合快速打捞矛,有效降低每回次取心辅助时长。

四开,采用 $\varnothing 152.4\text{ mm}$ PDC绳索取心钻头取心钻进至 1375.60 m ,下入 $\varnothing 140\text{ mm}$ 套管。主要技术措施:采用聚合物固相冲洗液,提高抑制剂、降失水剂加量,加入油基润滑剂、消泡剂等,尽可能抑制造浆,控制钻头“泥包”;用低钻压、适当泵量、高转速,尽可能提高钻进效率,快速钻进,及时下入套管,封隔复杂地层;采用固控设备,清理有害固相,冲洗液性能严重超标时,排掉部分造浆严重的冲洗液,补充部分新浆,排放比例控制在总浆量的 $1/3$ 以下,避免密度大幅度变化;对钻头的唇面形式进行了设计调整,采用大水口、尖齿复合片等设计,有效提高了钻进效率。

五开,采用 $\varnothing 110\text{ mm}$ PDC绳索取心钻头取心钻进至 1842.82 m , $1842.82\sim 2008.85\text{ m}$ 井段,采用提钻取心钻进。主要技术措施:预防复杂地层导致孔内失稳、吸附卡钻是本井段的重点,对钻井液进行了多次调整,将冲洗液调整为KCL-聚合物固相冲洗液体系;严格控制钻具孔内静置时间 $<3\text{ min}$ ^[17]。

采用的钻进参数详见表2。

表1 主要机械设备
Table 1 Main machinery and equipment

设备名称	型 号	主 要 技 术 参 数
钻机	XY-8	钻进深度 3000 m ;转速正转 $79、137、213、223、366、384、604、1024\text{ r/min}$;转速反转 $51、144\text{ r/min}$;单绳最大提升力 130 kN ;功率 90 kW (变频)
泥浆泵	BW-1500/12	流量 $1500、1110、820、550、340、220\text{ L/min}$;最大额定压力 12 MPa ;功率 179 kW
	BW350/16	流量 $300、235、155、95、52\text{ L/min}$;最大额定压力 16 MPa ;功率 30 kW
钻塔	A29-90t	塔高 29 m ;负荷 90 t ;立根 18 m
取心绞车	S3000	绳容量($\varnothing 8\text{ mm}$) 3000 m ;功率 15 kW
液压钳	ZQ127/25	额定扭矩 $25\text{ kN}\cdot\text{m}$;应用范围 $\varnothing 65\sim 127\text{ mm}$
	SQ114/8	额定扭矩 $8\text{ kN}\cdot\text{m}$;应用范围 $\varnothing 57\sim 116.5\text{ mm}$
离心机	TGLW 350-692T	有效处理量 $6\text{ m}^3/\text{h}$;转速 $0\sim 2400\text{ r/min}$;功率 11 kW

3 钻探施工难点及措施

ZC1井钻探施工过程中遇到的钻进效率低、事

故多发及取心困难等难题,主要是由于复杂的地质条件所引起,总结钻遇各类复杂地层施工难点及采

表 2 ZC1 井钻进参数
Table 2 Drilling parameters for Well ZC1

孔段/m	孔径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	流量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa
100.34~174.06	222.2	30	40	800	2~3
174.06~499.94	187.9	35~40	35~85	800	2
499.94~1375.69	152.4	15~25	85~155	300~450	3~5.5
1375.69~2008.88	110.0	10~15	85	260	2~5

用对策如下。

3.1 钻探施工难点

(1)上部超厚卵砾石覆盖层:第四系覆盖层,主要为松散泥砂、卵砾石,回转钻进效率低,孔壁易垮塌,如图 3 所示。



图 3 第四系覆盖层
Fig.3 Quaternary covering layer

(2)超强水敏性泥岩地层:施工钻遇巨厚超强水敏性泥岩地层,该地层遇水极易膨胀、软塑变形、剥落坍塌等,对钻进施工造成了极大的困难,钻遇地层的典型岩心见图 4(a);在四开、五开钻进时,出现了无法正常采取岩心的困难,在钻遇该类地层时,钻取的岩心十分特殊,表面吸水软塑失稳,导致卡簧无法正常箍紧岩心,同时岩心内部未被钻井液浸泡还保持着较高强度,采心的拔断力较大,严重影响钻进效率,典型岩心如图 4(b)。

(3)极松散含砾砂层:极松散含砾砂层与超强水敏性泥岩地层互层,交替出现,且大段出现。该地层多数胶结极差,遇水或受外力扰动则松散为砂、卵砾石,钻遇地层的典型岩心见图 5。

(4)超强造浆地层:钻遇地层大多数均造浆严重,导致钻井液的各项性能极难控制,钻头钻具泥包严重,如图 6,严重影响施工效率;易造成吸附卡钻,增大了孔内事故风险^[18-19]。

3.2 主要技术措施

针对施工过程遇到的复杂情况,从钻孔结构、



(a) 超强水敏性泥岩地层岩心



(b) 表面吸水失稳的岩心

图 4 超强水敏性泥岩地层岩心及吸水失稳情况
Fig.4 Super strong formation core and water absorption instability of water sensitive mudstone



图 5 极松散含砾砂层岩心
Fig.5 Core of extremely loose gravel sand layer

冲洗液体系、钻进工艺等方面采取相应的应对措施。

3.2.1 优化钻孔结构

采用五开钻孔结构,开孔孔径 $\varnothing 450\text{ mm}$,终孔孔径 $\varnothing 110\text{ mm}$ 。四开及五开采用跨口径施工方法,采用小一级口径的绳索取心钻杆带动大一级口径钻头或钻具钻进。四开孔径 152.4 mm ,钻具直径



图6 严重泥包的钻头及钻具
Fig.6 Drill bits and drilling tools with severe mud inclusion

140 mm, 钻杆直径 114.3 mm, 环空间隙分别为 6.2 mm 及 19.05 mm; 五开孔径 110 mm, 钻具直径 93 mm, 钻杆直径 91 mm, 环空间隙分别为 8.5 mm 及 9.5 mm。通过采用大直径开孔, 跨口径施工的钻孔结构设计思路, 增大了环空间隙, 解决了深孔钻探

绳索取心钻进间隙小(常规绳索取心钻探环空间隙为 2~5 mm), 环空压力大不利于孔壁稳定的问题, 降低吸附卡钻风险^[20]。

3.2.2 优选冲洗液体系

采用 KCL-聚合物冲洗液体系; 通过加入氯化钾, 提高钻井液抑制性, 将改性沥青换成防塌润滑剂, 防塌抑制效果更好; 增加油基润滑剂加量, 加强固相控制, 提高防泥包效果。

冲洗液配方: 1 m³ 水 + 2~3 kg 烧碱 + 30~100 kg 氯化钾 (KCl) + 10~30 kg 膨润土 + 3~8 kg 增粘剂 (GTQ) + 10~15 kg 降失水剂 (GPNH) + 10~15 kg 防塌润滑剂 (GFT) + 10~20 kg 随钻堵漏剂 (GPC) + 20~30 kg 封堵剂 (GFD-1) + 2~3 kg 包被剂 (GBBJ) + 5~10 kg 无荧光润滑剂 (GLUB)。

冲洗液性能详见表 3。

表 3 冲洗液性能
Table 3 Performance of flushing fluid

表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa	静切力/(Pa·Pa ⁻¹)	API 滤失量/mL	pH 值	泥皮/mm
13	8	5	3/4	7	9	0.1

现场设有泥浆实验室, 及时测试调整冲洗液性能, 同时配备了振动筛、离心机等固控设备, 做好泥浆净化、有害固相控制工作, 如图 7。

3.2.3 优选深部复杂地层钻探机具

针对钻进效率低、钻头泥包等问题, 对 PDC 钻头进行了优化设计, 钻头外径为 152.4 mm, 内径 85 mm, 复合片组数由 6 组减少为 5 组, 钻头水口面积增大了 11%; 复合片阶梯状排布, 出刃形状由圆弧形优化为尖齿形, 增加岩屑引导槽, 如图 8。通过上述优化, 缓解了钻头泥包, 提升了钻进效率^[21]。应用的钻头详见图 9。

针对泥岩地层岩心变细, 表面软塑, 表面湿滑, 岩心直径大需要更大拔断力(摩擦力)等取心难题, 设计了一种大直径软塑性泥岩地层岩心提断装置, 提高岩心采取率。通过增加卡簧座壁厚, 以增加内壁锥台状结构的长度, 从而增加卡簧上下活动的锥度及长度, 增加卡簧收缩幅度, 从而提高夹紧岩心的力量, 既增加表面压力, 从而提高摩擦力, 通过多级卡簧组合的结构, 增加受力点及受力面积, 进一步增加摩擦力提断力, 有效解决了取心难题, 如图 10。



(a) 振动筛



(b) 卧式离心机

图 7 固控设备

Fig.7 Solid control equipment

表4 受控定向钻进轨迹参数
Table 4 Controlled directional drilling trajectory parameters

施工顺序	施 工 参 数					测斜孔 深/m	顶角/ (°)	方位角/ (°)
	事故头位置/m	造斜点/m	造斜方位角/(°)	造斜强度/(°)	造斜孔段/m			
第一次	1385.69	1377	125.7	0.1	50	1377	9.53	36.2
						1437	4.57	127.3
第一次	1543.06	1523	225.7	0.1	100	1525	2.63	136.3
						1635	3.23	223.1

4 结论和建议

(1)通过优化钻孔结构,采用大口径开孔及跨口径施工方法,环空间隙达到了6.2~19.05 mm,有效克服了深孔钻探绳索取心钻进中因间隙小和环空压力高导致的孔壁稳定性问题,降低了吸附卡钻风险。

(2)KCL-聚合物冲洗液体系可以有效提高冲洗液泥岩抑制性,增加油基润滑剂加量及加强固相控制,能够提高防泥包效果。

(3)针对沉积岩地层取心困难的问题,采用了改进PDC取心钻头及多级岩心提断装置,取得良好的应用效果。

(4)电磁波无线随钻测量系统的应用,高效解决了两次严重孔内事故,提高了事故的处理效率,降低了事故处理成本。

参考文献(References):

[1] 罗光强,张伟,李正前,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WF-SD-4孔强缩径地层钻进工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):130-132,138.
LUO Guangqiang, ZHANG Wei, LI Zhengqian, et al. The research on drilling technology used for strong hole shrinkage borehole condition in borehole WFSD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41 (9) : 130-132,138.

[2] 卢予北,陈莹,申云飞.河南中牟页岩气区块地层特征及钻探问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):62-67.
LU Yubei, CHEN Ying, SHEN Yunfei. Research on formation characteristics and drilling problems in Zhongmou shale gas block of Henan province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):62-67.

[3] 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].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):56-60.
CAI Xiaowen, LI Xiaodong, NIU Yanjie, et al. Drilling fluid technology and application in detailed coal exploration in the extended area of Huacaotan Coal Mine, Shandan, Gansu [J]. Ex-

ploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(11):56-60.

[4] 卢予北,陈莹,邢向渠,等.沉积地层石油钻井+绳索取心“二合一”钻探技术理念与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):171-174.
LU Yubei, CHEN Ying, XING Xiangqu, et al. The “petroleum drilling + wireline coring” integrated drilling technology concept and practice for sedimentary strata [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1) : 171-174.

[5] 阮海龙,沈立娜,蒋卫焱,等.海底沉积地层保真取样钻具的设计及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):12-14.
RUAN Hailong, SHEN Lina, JIANG Weiyang, et al. Design of drilling tool for truth-preserving sampling in submarine sedimentary strata and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(2):12-14.

[6] 许青海,刘维鹏,白宝云,等.湖泊相沉积地层大陆环境科学钻探技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):20-22.
XU Qinghai, LIU Weipeng, BAI Baoyun, et al. Research on continental environment scientific drilling technology in lake facies deposit strata [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(5):20-22.

[7] 王具文,张旭儒,宁天祥,等.张掖盆地地热资源流体化学特征研究[J].地下水,2019,41(4):17-19.
WANG Juwen, ZHANG Xuru, NING Tianxiang, et al. Study on fluid chemical characteristics of geothermal resources in Zhangye basin [J]. Underground Water, 2019,41(4):17-19.

[8] 刘子锐,杨涛,刘兵昌,等.甘肃省兰州市红古区地热资源远景分析[J].甘肃科技,2019,35(21):28-31.
LIU Zirui, YANG Tao, LIU Bingchang, et al. Prospect analysis of geothermal resources in Honggu district, Lanzhou city, gansu province [J]. Gansu Science and Technology, 2019, 35 (21):28-31.

[9] 张翔,刘子锐,杨涛,等.甘肃省干热岩形成机理与前景[J].甘肃地质,2018,27(S1):1-7.
ZHANG Xiang, LIU Zirui, YANG Tao, et al. Formation mechanism and prospects of dry hot rocks in Gansu Province [J]. Gansu Geology, 2018,27(S1):1-7.

[10] 尹政,柳永刚,张旭儒,等.张掖-民乐盆地中生界地层结构及对地热的控制作用[J].甘肃地质,2021,30(3):49-56.
YIN Zheng, LIU Yonggang, ZHANG Xuru, et al. Mesozoic cenozoic stratigraphic structure and its control on geothermal energy in Zhangye-Minle Basin [J]. Gansu Geology, 2021, 30 (3):49-56.

- [11] 王达,何远信.地质钻探手册[M].长沙:中南大学出版社,2014.
WANG Da, HE Yuanxin. Geological Drilling Handbook[M]. Changsha: Central-South University Press, 2014.
- [12] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.
YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):21-26.
- [13] 陈师逊,宋世杰.中国东部海区科学钻探施工技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):1-5.
CHEN Shixun, SONG Shijie. Discussion of scientific drilling construction technology in eastern sea area of China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(12):1-5.
- [14] 朱恒银.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
ZHU Hengyin. Technology and Management in Deep Coring Drilling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [15] 田志超,翟育峰,林彬,等.西藏甲玛3000米科学深钻施工技术[J].钻探工程,2022,49(3):100-108.
TIAN Zhichao, ZHAI Yufeng, LIN Bin, et al. Drilling technology for 3000m deep scientific drilling in Jiama, Tibet[J]. Drilling Engineering, 2022,49(3):100-108.
- [16] 宋世杰,李晓东,陈师逊.南黄海大陆架科钻CSDP-02井第四系、新近系地层海水冲洗液研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):10-13.
SONG Shijie, LI Xiaodong, CHEN Shixun. Study on seawater flushing fluid and its application in Quaternary and Neogene Strata for CSDP-02[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):10-13.
- [17] 田志超,翟育峰,林彬,等.耐高温环保型冲洗液体系在西藏甲玛3000m科学深钻中的应用研究[J].钻探工程,2021,48(11):15-22.
TIAN Zhichao, ZHAI Yufeng, LIN Bin, et al. Application research of high temperature resistant and environment-friendly drilling fluid system in 3000m scientific deep drilling in Jiama, Tibet[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):15-22.
- [18] 翟育峰,仲崇龙,刘峰.羌塘盆地羌资-14井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):92-95.
ZHAI Yufeng, ZHONG Chonglong, LIU Feng. Drilling construction technology for Qiangzi Well-14 in Qiangtang Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):92-95.
- [19] 刘振新,翟育峰,宋世杰,等.川西甲基卡锂矿3000m科学深钻关键技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):29-32.
LIU Zhenxin, ZHAI Yufeng, SONG Shijie, et al. Discussion on key technology for the 3000m deep scientific drilling project of Jiajika Lithium Mine in West Sichuan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):29-32.
- [20] 杨芳,张明德,王勇军,等.深部钻探绳索取心跨口径钻具的应用研究与拓展[J].钻探工程,2023,50(4):25-31.
YANG Fang, ZHANG Mingde, WANG Yongjun, et al. Research and development of cross-diameter wire-line coring system in deep drilling[J]. Drilling Engineering, 2023,50(4):25-31.
- [21] 杨爱军,要二仓,张富兰.鄂尔多斯盆地铀矿复杂地层钻探施工技术[J].地质装备,2012,13(3):29-31.
YANG Aijun, YAO Ercang, ZHANG Fulan. Drilling technology for complex strata of uranium mines in the Ordos Basin[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2012,13(3):29-31.
- [22] 葛晓华,李博,宋世杰,等.YST-48R泥浆脉冲随钻测斜定向钻进技术的应用[J].地质装备,2023,24(2):20-26.
GE Xiaohua, LI Bo, SONG Shijie, et al. Application of directional drilling technology with YST-48R mud pulse inclination measurement while drilling[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2023,24(2):20-26.
- [23] 王小波,张鹏.无线电波随钻测量系统的发展与展望[J].地质装备,2024,25(1):11-17.
WANG Xiaobo, ZHANG Peng. Development and prospects of wireless electromagnetic wave measurement while drilling system[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2024,25(1):11-17.

(编辑 王文)