

西藏甲玛3000米科学深钻施工技术

田志超^{1,2}, 翟育峰^{*1,2}, 林彬³, 刘振新^{1,2}, 马云超^{1,2}, 王超^{1,2}

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264004; 2. 山东省地矿局钻探工程技术研究中心, 山东烟台 264004;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要: 西藏甲玛3000米科学深钻项目是青藏高原固体矿产调查领域首个3000 m科学钻探项目, 本文介绍了西藏甲玛3000米科学深钻的施工概况及所采用的关键技术。通过采用HXY-8VB型变频手自一体钻机、偏心纠斜钻头、自修正防弯钻具、“钻扩一体”钻头、环保冲洗液体系等工艺措施, 解决了高原特深孔施工中的机具选型配套、孔深轨迹控制、复杂地层取心、绿色勘查等一系列施工技术难题。终孔孔深3003.33 m, 创造了青藏高原小口径固体矿产勘查孔深纪录, 为该地区深孔矿产成矿理论研究及资源勘查提供了详尽的实物资料, 同时, 也为高原特深孔钻探施工提供了技术借鉴。

关键词: 科学钻探; 特深孔钻探; 绿色勘查; 西藏甲玛

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2022)03-0100-09

Drilling technology for 3000m deep scientific drilling in Jiama, Tibet

TIAN Zhichao^{1,2}, ZHAI Yufeng^{*1,2}, LIN Bin³, LIU Zhenxin^{1,2}, MA Yunchao^{1,2}, WANG Chao^{1,2}

(1.No.3 Exploring Institute of Geo-mineral Resources, Shandong Province, Yantai Shandong 264004, China;
2.Drilling Engineering Technology Research Center of Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources,
Yantai Shandong 264004, China;
3.MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS,
Beijing 100037, China)

Abstract: The Jiama 3000m Scientific Drilling Project in Tibet is the first 3000m scientific drilling project in the field of solid mineral investigation in the Qinghai-Tibet Plateau, and its purpose is to predict deep mineral resources directly, build a comprehensive exploration model with multiple information, and realize the demonstration of increasing reserves through the study of fine anatomy of orebody structures, hyperspectral analysis and mineral exploration indicators. This paper introduces the general drilling operations and key technologies in 3000m scientific deep drilling in Jiama, Tibet. With use of HXY-8VB type frequency conversion manual-automatic drilling rig, eccentric deviation correction drill bits, automatic vertical drilling tools, “drilling and reaming” drill bits, environmental protection flushing fluid systems and other technological measures, many technical difficulties, including selection of drilling equipment, deep hole trajectory control, complex formation coring, green exploration, have been solved. The project is completed at final hole depth of 3003.33m, creating the record in small-diameter solid ore exploration depth in the Qinghai-Tibet Plateau. It not only provides detailed physical data for the study of deep-hole mineral metallogenic theory and resource exploration in this area, but also provides technical reference for extra-deep hole drilling on the plateau.

收稿日期: 2021-11-23; 修回日期: 2022-02-24 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.03.013

基金项目: 国家重点研发计划—深地专项“甲玛—驱龙铜多金属资源基地深部勘查与增储示范”(编号: 2018YFC0604101); 山东省地矿局局控科技创新项目“深部绳索取心钻具配套与环保型冲洗液研究及应用”(编号: KY201907)、“3000m超深科学钻探关键技术研发应用”(编号: KY202102)

第一作者: 田志超, 男, 汉族, 1990年生, 山东省地矿局深部钻探工程技术创新团队成员, 山东省地矿局钻探工程技术研究中心技术骨干, 工程师, 勘查技术与工程(岩土钻掘)专业, 从事岩石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: 翟育峰, 男, 汉族, 1984年生, 山东省地矿局钻探工程技术研究中心技术室主任, 山东省地矿局深部钻探工程技术创新团队核心成员, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 硕士, 从事钻探技术研究工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, 282163880@qq.com。

引用格式: 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.

Key words: scientific drilling; ultra-deep drilling; green exploration; Jiama, Tibet

0 引言

“西藏自治区甲玛铜多金属矿床3000米科学深钻”为国家重点研发项目“甲玛-驱龙铜多金属资源基地深部勘查与增储示范”下设的子课题,项目设计孔深3000 m,实际终孔孔深3003.33 m,终孔孔径98 mm,累计采取岩心2984.67 m,岩心采取率99.38%。钻孔于2019年6月开孔,2020年10月终孔,历时488天,创造了青藏高原小口径固矿勘查领域孔深纪录,为国家深部资源勘查开采提供了技术支撑,实现了深部资源勘查增储示范效果,为完善陆陆碰撞造山背景下斑岩铜矿勘查模型及成矿理论创新提供

了坚实的实物资料。

1 工作区及地质概况

1.1 工作区基本情况

钻孔位于甲玛铜多金属矿区内,属拉萨市墨竹工卡县甲玛乡管辖。从工作区后山沿简易公路北行21 km到318国道,西行23 km至墨竹工卡县城,西行68 km到拉萨市。

钻孔在冈底斯山脉东段郭喀拉日居山主峰果沙如则东北部,属高山深切割区,海拔5200 m。坡度大、海拔高、相对高差大是本区地形3大特点,见图1。



图1 工作区地形地貌

Fig.1 Terrain at drilling site

1.2 地质概况

工作区的地层主要赋存于下白垩统林布宗组与上侏罗统多底沟组部位。林布宗组岩性主要为灰黑色、浅灰绿色或灰绿色角岩、矽卡岩化角岩;多底沟组岩性主要为矽卡岩或矽卡岩化大理岩。第四系在区内主要沿坡麓沟谷分布。

科学深钻目的层揭示的岩浆岩主要为中酸性的侵入体,包括花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、石英闪长玢岩以及少量的细粒花岗岩和角砾岩^[1-5]。

从钻遇岩石来看,0~650 m以角岩为主,夹杂

花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩等,650~1100 m以矽卡岩、矽卡岩化大理岩为主,1100 m以深主要以二长花岗斑岩为主,夹杂花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩。钻遇岩石级别较高,岩石可钻性等级较高,统计效率较低(参见图2、表1)。

2 钻孔技术要求及施工难点

2.1 钻孔技术要求

(1) 钻孔设计深度3000 m,终孔直径 \varnothing 95 mm,岩心直径 \varnothing 60 mm。

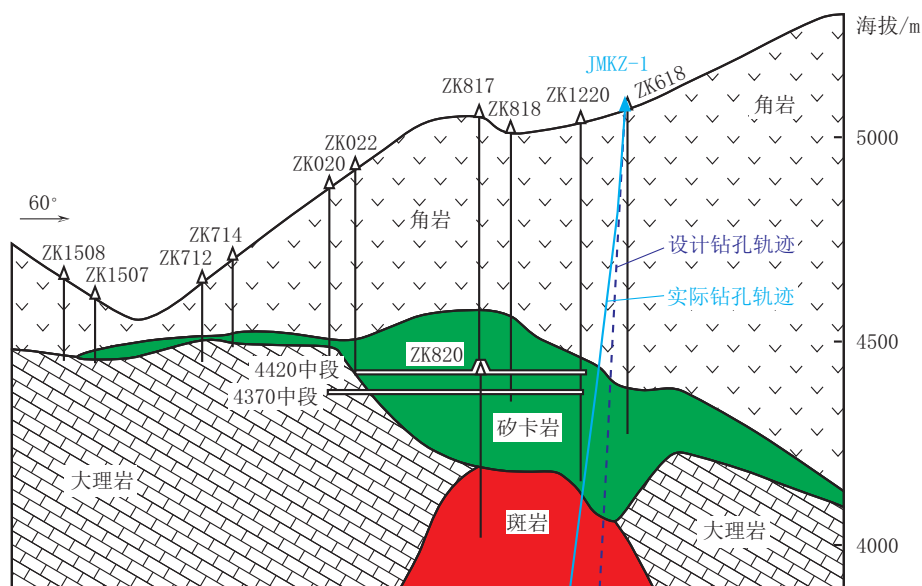


图2 钻遇地层剖面

Fig.2 Lithology encountered in drilling

表1 钻遇岩石可钻性等级

Table 1 Rock drillability

序号	岩石名称	钻遇深度/ m	可钻性 等级	统计效率/ ($m \cdot h^{-1}$)
1	角岩		6	2.30~3.10
2	花岗闪长斑岩	0~650	9	1.10~1.70
3	石英闪长玢岩		9	1.10~1.70
4	砂卡岩	650~1100	10	0.80~1.20
5	砂卡岩化大理岩		9	1.10~1.70
6	二长花岗斑岩		9	1.10~1.70
7	花岗闪长斑岩	1100以深	9	1.10~1.70
8	石英闪长玢岩		9	1.10~1.70

(2)全孔岩心采取率 $\leq 85\%$,含矿段采取率 $\leq 90\%$ 。

(3)钻孔设计顶角 3° ,方位角 240° 。

(4)顶角每百米偏斜不超过 2° ,方位角总体偏斜不超过 20° 。

2.2 施工难点

(1)钻孔海拔5100 m,工区地形崎岖、道路险峻。钻探设备选型要求易维修、易操作、劳动强度低、占地少、施工工艺绿色环保。

(2)钻孔设计要求终孔口径 ≤ 95 mm,岩心直径 ≤ 60 mm,对钻孔结构设计及钻探管材强度提出了更高的要求。

(3)工区内采矿巷道四通八达,为避免钻入矿区

巷道,施工过程要严格控制钻孔轨迹。

(4)工区上部地层较破碎,部分地层水敏性强,存在较多孔隙和裂缝,渗透性强,易发生漏失,深部地层存在高地应力,地层条件十分复杂。

(5)钻孔位置属于青藏高原高寒植被分布区域,高原生态环境脆弱,环保要求十分严格,要求采用对环境无害的环保冲洗液材料^[6-11]。

3 钻孔施工概况

3.1 钻孔结构

钻孔设计结构主要根据项目总体要求,结合终孔孔深和口径以及地层情况等因素,采用充分施工法,进行了五开的设计。实际施工的钻孔结构也是按照设计结构,进行了五开施工,实际钻孔结构见图3。

3.2 施工工艺

一开(0~6.5 m),本孔段为松散角砾、填方覆盖层,地层破碎漏失,投黄泥球堵漏护孔,采用低固相冲洗液,采用 $\varnothing 220$ mm金刚石单管提钻取心钻进工艺钻进至6.50 m,使用 $\varnothing 240$ mm肋骨钻头扩孔,下入 $\varnothing 219$ mm套管,固井,水泥返至地表。

二开(6.50~57.49 m),本孔段主要岩性为角岩等,地层局部破碎,采用无固相冲洗液。采用 $\varnothing 175$ mm单管金刚石钻头钻进至57.49 m,下 $\varnothing 168$ mm套管,孔口加固,严格控制钻进参数,以小钻压钻进,

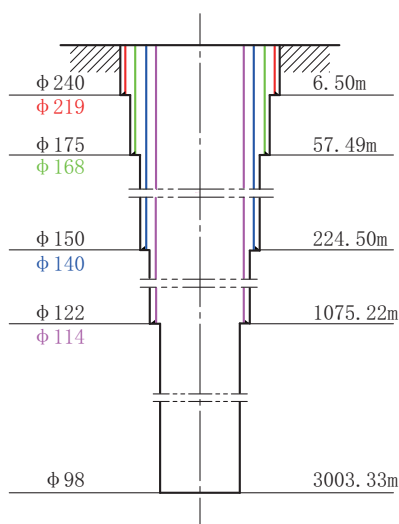


图3 JMKZ-1 钻孔结构

Fig.3 Drilling structure of JMKZ-1

控制孔身轨迹。

三开(57.49~224.50 m),该孔段主要岩性为角岩等,地层局部破碎松散,采用 $\phi 150$ mm/ $\phi 122$ mm“钻扩一体”金刚石绳索取心钻进工艺钻进至224.50 m,下入 $\phi 140$ mm套管,使用无固相泥浆,控制孔身轨迹是施工重点^[12]。

四开(224.50~1075.22 m),本孔段主要岩性为角岩、砂卡岩、花岗岩等,为施工重点地层,地层局部破碎、蚀变、漏失,采用 $\phi 122$ mm金刚石绳索取心钻进工艺钻进至1075.22 m,下 $\phi 114$ mm绳索取心钻杆做为套管,该孔段重点是孔身轨迹控制。在设计孔深600~660 m处,有多层采矿巷存在,轨迹控制不好,易钻入巷道,通过采用偏心防斜钻头,防斜纠偏钻具等施工工艺,孔身轨迹得到了较好的控制。

五开(1075.22~3003.33 m),采用 $\phi 98$ mm绳索取心钻进工艺,钻进至终孔。随着钻孔的加深,地应力增大,岩心变得不规则易脱落,预防孔内岩心脱落残留是重点^[13-15]。

3.3 钻探指标完成情况

JMKZ-1 钻孔设计孔深3000 m,设计顶角 3° ,实际终孔孔深3003.33 m,终孔孔径98 mm,累计采取岩心2984.67 m,岩心采取率99.38%,平均矿心采取率97.83%,钻孔钻探技术要求及完成情况见表2^[16-21]。

表2 钻探指标完成情况

Table 2 Drilling specifications and drilling results		
钻探指标	钻探技术要求	钻孔实际完成
最大钻孔深度/m	3000	3003.33
终孔孔径/mm	≤ 95	98
岩心直径/mm	≤ 60	63
顶角/ $[(^\circ) \cdot 100m^{-1}]$	≥ 2	终孔 12.1°
方位角/ $(^\circ)$	开孔 240	终孔 252.2°
全孔岩心采取率/%	≤ 85	99.38

4 JMKZ-1 孔采用的关键技术

4.1 改进型 HXY-8VB 型变频钻机中的应用

为了适应高原深孔钻探及满足施工技术要求,山东省第三地质矿产勘查院联合生产厂家在原来的 HXY-8 型钻机基础上进行了改造升级, HXY-8VB 型钻机(见图4)为立轴式手自一体钻机,自动化程度高,操作人员劳动强度低,适合高海拔深孔钻探施工。



图4 HXY-8VB型钻机操作室

Fig.4 Operator's cab of HXY-8VB drill rig

HXY-8VB 型钻机对钻压、立轴转速、扭矩、称重等多参数进行监测,可视化较高,对司钻操作精细化有较大帮助;改进的变频系统,在钻机各挡位上可实现无级调速,可以在更大的范围内调整钻进参数,提高钻进效率;配套安装的送钻系统,大大减轻了司钻的劳动强度,更加安全可靠,实现钻探参数控制由经验化向科学化转变。

4.2 加强型深孔绳索取心钻杆的应用

近年来,山东省第三地质矿产勘查院多次打破

绳索取心钻探全国孔深纪录,但是随着钻孔深度加深,钻杆受自重及孔内回转阻力的影响,强度达不到要求,断钻杆、跑钻事故成为深孔绳索取心钻探面对的主要困难。以山东省第三地质矿产勘查院施工的中国岩金第一深钻4000 m钻探及吴一村3000 m科学深钻为例,钻孔施工到一定孔深,只能通过采取上部用 $\text{O}60\text{ mm}$ 高强度石油钻杆,下部用NQ钻杆的“复合钻杆”形式来解决钻杆强度问题^[22-23]。

西藏甲玛3000米科学深钻设计孔深3000 m,终孔孔径98 mm,国内目前生产的绳索取心钻杆的强度及工艺已不能满足施工需求,为此,无锡钻探工具有限公司针对施工中存在的难题,从绳索取心钻杆的管材选择、热处理方法、螺纹结构设计以及加工制造方法等多方面进行研究,研发了H口径绳索取心钻杆,在现场进行了应用试验,使用效果良好,施工全过程未发生钻杆相关问题。

H口径绳索取心钻杆基本参数见表3。

表3 H口径绳索取心钻杆基本参数

钻杆规格/mm		H口径($\text{O}91$)
钻杆设计深度/m		3000
钻杆结构形式		杆体端部外加厚、带接头
材质		XJY950
钻杆规格(外径 \times 壁厚)/mm		$\text{O}91\times 5$
钻杆长度/m		4.5
热处理		杆体两端调质,接头整体调质
表面处理		接头整体镍磷镀
螺纹参数	结构形式	$-10^\circ/45^\circ$
	锥度	1:22/1:24
	螺距/mm	8
	长度/mm	55
钻杆密封形式	深度/mm	1.2
		15°密封角、螺纹密封

4.3 $\text{O}150\text{ mm}/122\text{ mm}$ 特制绳索取心“钻扩一体”钻头的使用

针对JMKZ-1钻孔上部复杂地层取心难的问

题,设计了 $\text{O}150\text{ mm}/122\text{ mm}$ 绳索取心“钻扩一体”钻进工艺,通过加大环状间隙,可以更好的携带粗颗粒岩屑,降低泥浆循环压降,减少破碎地层卡钻风险,也避免了下一步单独扩孔钻进可能存在的孔内风险,钻头如图5所示。

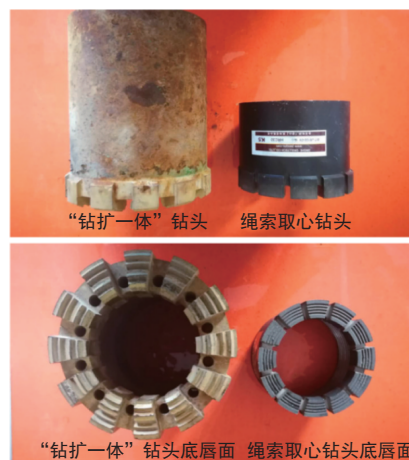


图5 $\text{O}150\text{ mm}/122\text{ mm}$ “钻扩一体”钻头

Fig.5 $\text{O}150\text{ mm}/122\text{ mm}$ “drilling and reaming” drill bit

钻具组合: $\text{O}150\text{ mm}/\text{O}122\text{ mm}$ 特制取心钻头+ $\text{O}150\text{ mm}$ 扩孔器+绳索取心钻具总成+扩孔器+ $\text{O}146\text{ mm}$ 薄壁钻铤+ $\text{O}127\text{ mm}$ 过渡钻杆+ $\text{O}114\text{ mm}$ 绳索取心钻杆。

钻进参数:钻压15~20 kN,转速220~360 r/min,泵量115 L/min。

进尺情况统计见表4。

同传统的提钻取心钻进工艺相比, $\text{O}150\text{ mm}/122\text{ mm}$ 特制绳索取心钻进工艺具有以下优点:

(1)具有较高的岩心采取率,能够满足科学钻探对岩心的原状性及采取率的特殊要求。

(2)减少了频繁提钻次数,降低了工人劳动强度,降低了高原作业风险。

(3)总体台月效率明显高于传统的提钻取心钻进工艺。

(4)省去了下一步扩孔钻进工序,减少了作业时间,消除了扩孔作业可能存在的孔内风险。

表4 $\text{O}150\text{ mm}/122\text{ mm}$ 特制绳索取心钻头进尺情况

Table 4 Footage of $\text{O}150/122\text{ mm}$ special wire coring drill bit

孔深/m	进尺/m	取心/m	取心率/%	回次数	平均回次进尺/m	纯钻进时间/h	时效/m
57.49~224.50	167.01	166.71	99.82	64	2.61	214.3	0.78

4.4 钻孔防斜纠偏技术

4.4.1 $\text{O}122\text{ mm}$ 偏心纠斜钻头的应用

偏心钻头即轴心线周围的钢体或胎体呈不对称分布,使钻头重心偏离轴心线的钻头。当钻头回转时,产生侧向力(离心力),当钻孔产生顶角的时候,由于重力作用的存在,使钻头所在位置孔壁底部产生的离心力明显大于孔壁顶部造成的离心力,使钻头产生向下钻进的趋势,进而实现降斜及稳斜钻进,可以在倾斜地层中克服较大的地层力而达到纠斜的目的。

JMKZ-1 钻孔开孔顶角 3° , 钻进至 450 m, 测斜顶角 7.6° , 在钻孔质量要求范围内。但是由于钻孔在 600 m 左右可能存在巷道, 根据计算推导, 要想成功的避开巷道, 钻孔顶角在 600 m 之前建议控制在 7° 以内, 因此, 采用偏心纠斜钻头正常钻进(需控制钻压及进尺速度), 钻孔在 700 m, 顶角 6.7° , 顺利避开了巷道。偏心纠斜钻头见图 6, 应用效果见表 5。

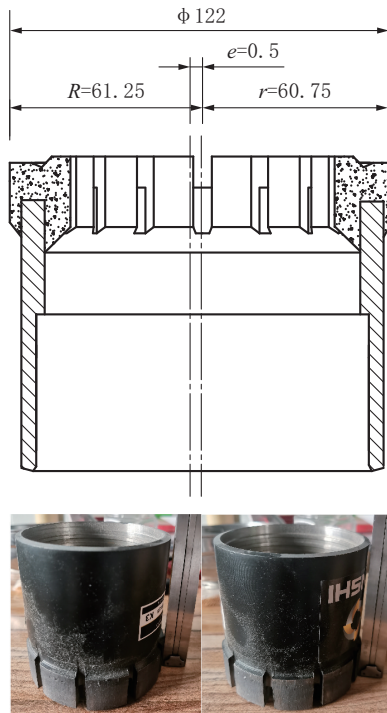


图 6 $\text{O}122\text{ mm}$ 偏心纠斜钻头

Fig.6 $\text{O}122\text{mm}$ eccentric deviation correction drill bit

从表 5 中可以看出, 钻孔从 450 m 开始使用偏心纠斜钻头, 一直到 700 m, 顶角从 7.6° 降到了 6.7° , 纠斜稳斜效果显著。但是偏心纠斜钻头应用存在以下不足:

表 5 JMKZ-1 钻孔测斜数据

Table 5 Inclination survey data of JMKZ-1

序号	测量深度/m	顶角/ $^\circ$	方位角/ $^\circ$
1	10	3.3	240.0
2	50	3.3	240.1
3	100	3.4	241.6
4	150	3.5	243.6
5	200	4.5	246.1
6	250	5.4	240.6
7	300	6.1	241.0
8	350	6.6	242.1
9	400	7.4	242.3
10	450	7.6	243.6
11	500	7.3	246.8
12	550	7.6	239.3
13	600	7.5	236.1
14	650	6.9	241.3
15	700	6.7	237.5

(1) 需要严格控制钻进参数, 降低钻压, 控制进尺速度, 大大影响了钻进效率。使用偏心纠斜钻头的台月效率为 190.63 m, 远远低于正常钻进台月效率。机械钻速为 0.73 m/h, 也远远低于正常钻进机械钻速。

(2) 偏心钻头的寿命较低, 现场使用的偏心钻头平均寿命为 35.21 m, 比正常绳索取心钻头寿命低近 50%。

(3) 由于钻头偏心, 使局部岩心的同心度变差, 易导致岩心脱落, 造成打捞岩心失败。

4.4.2 半周期自修正防弯钻具的应用

该钻具外壁对向分布有 3 个偏心体, 正常情况下, 钻孔没有弯曲呈直线钻进时, 钻具只受到压力及扭矩作用, 钻具以自身轴线为中心旋转, 钻头正常向下钻进。当钻进过程中遇到造斜地层, 基于钻具的特殊构造, 钻具在旋转一周内, 其受力是不同的, 如图 7 所示, 当偏心高点 G 顶在弯曲钻孔的孔壁上, 钻具相当于一个杠杆, F_1 是杠杆的动力, 支点是 G, 钻具旋转的每一个周期内, 都有半周期产生自修正的杠杆作用力 F_2 , 该作用力的方向与造成钻孔弯曲趋势的偏斜力方向相反, 使其不断地修正钻孔弯曲, 起到防弯的效果。

半周期自修正防弯钻具从孔深 805.32 m 一直使用至 1075.22 m, 防弯效果显著。现场应用情况

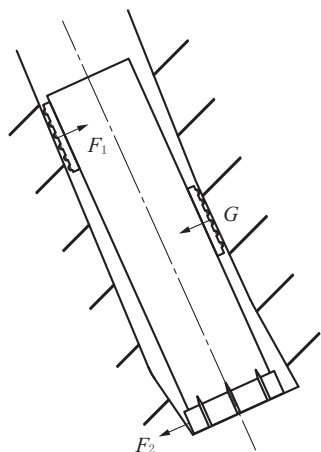


图7 防弯钻具在弯曲孔段的受力分析

Fig.7 Force Analysis of the vertical drilling string in the bent hole section

见表6。

从表6中可以看出,采用常规S122 mm钻具,为了防止钻孔顶角继续增大,严格控制钻进参数,采用低钻压,这样势必牺牲进尺速度,同时顶角控制效果不显著;采用S122 mm纠斜钻具,也需要严格控制钻进参数,采用低钻压,高转速,牺牲了进尺速度,但是起到了很好的降低钻孔顶角的效果;采用 $\Phi 122$ mm自修正防弯钻具,不需要刻意的控制钻进参数,和正常钻进钻压及转速一样,起到了很好的控制钻孔弯曲的效果。

4.5 环保冲洗液体系的应用

针对环保及地层问题,通过对粘土、环保降滤失剂、环保增粘剂、环保抑制剂等处理剂进行实验对比,采用正交实验的极差分析法得到了各项指标所对应的水平的的影响大小和优化水平取值,确定了冲洗液的优化配方范围,成功研发了一套耐高温环保型冲洗液体系。

环保冲洗液体系配方:水+3%~4% 钠膨润土+0~0.5% 增粘剂 GHCM+1%~2% 降滤失剂 GLAC+1%~2% 降滤失剂 GSTP+0.2%~0.3%

抑制剂 GBBJ+1%~2% 封堵剂 HGPC+1%~2% 封堵剂 HGFD。

现场应用顺利完成了在极易出现坍塌的第四系、破碎地层、水敏性蚀变地层钻探工作,该冲洗液体系的现场应用表明其具有较强的抑制能力,起到了很好的护壁效果,对环境无害,绿色环保^[24]。

4.6 绿色勘查技术

(1)在项目实施过程中,最大限度借用矿区原有道路,减少道路修筑;推行标准化管理,优化现场布置,实行分区化管理,严格对照布置图进行布置,最大程度减少施工占地面积,减少对施工区环境的扰动。同时,在施工前期,在场地修筑挡墙,减小对生态环境的扰动,充分体现了绿色勘查理念。

(2)采用环保冲洗液体系,体系使用对环境无害的环保钻井液材料,对泥浆循环系统进行技术革新,采用箱体式泥浆罐代替传统地表开挖式循环槽、泥浆池,孔内返出泥浆,通过孔口管,循环管路到达泥浆罐,整个泥浆循环系统中的泥浆实现了“不落地循环”,避免了因泥浆渗漏对土壤、植被、地下水的影

响。(3)使用的XY-8VB型钻机,更加节能,电耗大幅降低,钻机故障率降低,维护工作量减少。

5 结论和建议

(1)HXY-8VB型钻机,自动化程度高、操作人员劳动强度低、动力足、故障率低、易维修、适合高海拔地区深孔钻探施工。

(2)H口径绳索取心钻杆,从绳索取心钻杆的管材选择、热处理方法、螺纹结构设计以及加工制造方法等多方面进行研究,大大提升了钻杆的抗拉抗扭等性能,使用效果良好,能够满足深孔钻探施工要求,但相较常规H口径钻杆,其内径较小,无法配套使用冲击回转钻具。

(3)现场应用的 $\Phi 150$ mm/ $\Phi 122$ mm绳索取心

表6 JMKZ-1钻孔弯曲参数统计

Table 6 Curve data of JMKZ-1

孔段/m	使用钻具	钻压/ kN	转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	泵量/ ($L \cdot \min^{-1}$)	顶角变化/ ($^{\circ}$)	顶角弯曲 强度/($^{\circ}$)	方位角变 化/($^{\circ}$)	方位角弯 曲强度/($^{\circ}$)
225~450	常规S122 mm钻具	8~15	360~510	95	3.1	1.37	5	2.22
450~805	S122 mm纠斜钻具	5~12	510~560	72	2.2	0.63	4	1.13
805~1075	$\Phi 122$ mm自修正防弯钻具	15~22	500~560	72	0.6	0.22	5	1.85

“钻扩一体”钻进工艺,加大了环状间隙,可以更好地携带粗颗粒岩屑离开孔底,降低了泥浆循环压降,取得了很好的应用效果;随着深度增加,后期采用的级配环状间隙减小,循环压降增大,无法采用合理的泵量,冲洗液冷却及携屑能力不足,影响了钻进效率。因此在深孔施工中要适当加大钻头外径,加大环空间隙,有效减小压降,可以更好地选择泵量等钻进参数,提高钻进效率。

(4)偏心纠斜钻头以及半周期自修正防弯钻具等技术方法的使用,有效地控制了钻孔轨迹,顺利钻穿巷道地层,应用效果良好。

(5)施工中加强标准化建设,优选钻探机具,采用环保型冲洗液体系,最大限度地减小了对生态环境的扰动,充分贯彻了绿色勘查理念。

参考文献(References):

- [1] 唐菊兴,郑文宝,陈毓川,等.西藏甲玛铜多金属矿床深部斑岩矿体找矿突破及其意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(4):1100-1110.
TANG Juxing, ZHENG Wenbao, CHEN Yuchuan, et al. Prospecting breakthrough of the deep porphyry ore body and its significance in Jiama copper polymetallic deposit, Tibet, China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013, 43(4):1100-1110.
- [2] 郭文铂,郑文宝,唐菊兴,等.西藏甲玛铜多金属矿床流体、成矿物质来源的地球化学约束[J].中国地质,2014,41(2):200-218.
GUO Wenbo, ZHENG Wenbao, TANG Juxing, et al. Geochemical constraints on the source of metallogenic fluids and materials in the Jiama polymetallic Cu deposit, Tibet[J]. Geology in China, 2014, 41(2):200-218.
- [3] 唐攀,唐菊兴,郑文宝,等.西藏甲玛斑岩矿床系统地质、蚀变、矿化的三维地质模型[J].地质与勘探,2016,52(1):115-127.
TANG Pan, TANG Juxing, ZHENG Wenbao, et al. The interpretation of three-dimensional model of geology, alteration and mineralization in Jiama porphyry deposit system, Tibet[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(1):115-127.
- [4] 林彬,唐菊兴,唐攀,等.斑岩成矿系统多中心复合成矿作用模型——以西藏甲玛超大型矿床为例[J].矿床地质,2019,38(6):1204-1222.
LIN Bin, TANG Juxing, TANG Pan, et al. Polycentric complex mineralization model of porphyry system: A case study of Jiama superlarge deposit in Tibet[J]. Mineral Deposits, 2019, 38(6):1204-1222.
- [5] 张泽斌,唐菊兴,唐攀,等.西藏甲玛铜多金属矿床暗色包体岩石成因:对岩浆混合和成矿的启示[J].岩石学报,2019,35(3):934-952.
ZHANG Zebin, TANG Juxing, TANG Pan, et al. The origin of the mafic microgranular enclaves from Jiama porphyry Cu polymetallic deposit, Tibet: Implications for magma mixing/mingling and mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 2019, 35(3):934-952.
- [6] 翟育峰,王鲁朝,丁昌盛,等.西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):1-4.
ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, DING Changsheng, et al. Flush fluid technique in scientific drilling hole situated in Luobusha of Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(4):1-4.
- [7] 张伟.科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):7-12.
ZHANG Wei. Technical problems and countermeasures for the drilling operation in complex formations of scientific deep drilling projects[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9):7-12.
- [8] 陈师逊,翟育峰,王鲁朝,等.西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):1-3,9.
CHEN Shixun, ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, et al. Enlightenment to deep drilling technology from scientific drilling in Luobusha of Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(11):1-3,9.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 尹浩,梁健,孙建华.特深钻探钻柱组合优化设计研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):56-62.
YIN Hao, LIANG Jian, SUN Jianhua. Research on optimum drilling string assembly design for extra deep hole drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4):56-62.
- [12] 宋世杰,李晓东,陈师逊.南黄海大陆架科钻CSDP-2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.

- [13] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相冲洗液体系在金鹰矿区 ZK1146 井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,42(10):26-30.
LI Panyi, SHAN Wenjun, XU Zhaogang, et al. Research and application of solid free film-forming and anti-sloughing drilling fluid system in Wel ZK1146 of Jinying Mining[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 42(10):26-30.
- [14] 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.
- [15] 吴金生,张伟,李旭东,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WF-SD-4 孔钻探施工概况和关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):120-125.
WU Jinsheng, ZHANG Wei, LI Xudong, et al. Overview on the drilling operation of and key technologies used in the WF-SD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 120-125.
- [16] 张晓西,胡郁乐,张惠,等.科学钻探选区预导孔钻探技术方案设计、组织实施与随钻研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):6-12.
ZHANG Xiaoxi, HU Yule, ZHANG Hui, et al. Scientific drilling constituency pre-pilot hole drilling program design, organization, implementation and research while drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(S1):6-12.
- [17] 朱恒银,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
ZHU Hengyin, et al. Technology and Management in Deep Coring Drilling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [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] 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.
LUAN Guodong. Drilling technology for scientific drilling ZK01 in Shandong province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4):36-39.
- [20] 翟育峰.西藏甲玛 3000 m 科学深钻施工技术方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):8-12,53.
ZHAI Yufeng. Technical proposal for the 3000m deep scientific drilling borehole in Jiama, Tibet [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(6):8-12, 53.
- [21] 刘振新,翟育峰,宋世杰,等.川西甲基卡锂矿 3000 m 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.
- [22] 董海燕,王鲁朝,杨芳,等.国产 CNH(T) 绳索取心钻杆在中国岩金勘查第一深钻工程中的应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):49-53.
DONG Haiyan, WANG Luzhao, YANG Fang, et al. Analysis on the application of China-made CNH(T) wire-line drill pipe in the first deep drilling engineering construction by China rock gold exploration [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(1):49-53.
- [23] 陈师逊,杨芳.深部钻探复合钻杆的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(4):772-776.
CHEN Shixun, YANG Fang. Research and application of composite drill pipes in deep drilling [J]. Geology and Exploration, 2014, 50(4):772-776.
- [24] 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 3000 m 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.

(编辑 荐华)