

高海拔地区岩心钻探施工组织与管理的几点措施

——以海拔5700 m的当惹雍措工作区实践为例

罗 龙, 白 超*, 华 宾, 向浩瑜, 刘桂志

(中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036)

摘要:高海拔地区岩心钻探施工面临极端气候、低氧环境、复杂地质条件及后勤保障困难等多重挑战。本文以海拔5700 m的当惹雍措工作区为例,系统探讨高海拔岩心钻探施工组织与管理的关键问题。通过实践的总结,我们从人员健康保障、设备适应性改造、施工流程优化、应急预案制定等方面进行了针对性的管理探索。实践证明,科学规划施工周期、加强高原作业培训、合理选择装备以及加大后勤保障力度等措施,能够显著提升施工效率与安全性。案例验证了在高海拔钻探中实施精细化管理的必要性,这些实践经验可为在类似极端环境下的地质勘探工程提供宝贵的参考和借鉴。

关键词:高海拔地区;岩心钻探;施工组织;技术对策;当惹雍措

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0417-05

Several measures of core drilling construction organization and management in high altitude area: Taking the practice of Dangra Yongcuo working area at an altitude of 5700m as an example

LUO Long, BAI Chao*, HUA Bin, XIANG Haoyu, LIU Guizhi

(Military-civilian Integrated Geological Survey Center of China Geological Survey, Chengdu Sichuan 610036, China)

Abstract: Core drilling construction in high altitude areas faces multiple challenges such as extreme climate, low oxygen environment, complex geological conditions and difficult logistics support. This paper systematically discusses the key issues in the organization and management of core drilling construction at high altitudes, taking the Dangre Yongcuo working area at an altitude of 5700m as an example. Through the summary of practice, we have carried out targeted management exploration from the aspects of personnel health protection, equipment adaptability transformation, construction process optimization, emergency plan formulation and so on. Practice has proved that scientific planning of construction period, strengthening plateau operation training, reasonable selection of equipment and increasing logistics support can significantly improve construction efficiency and safety. The case study verifies the necessity of implementing fine management in high-altitude drilling. These practical experiences can provide valuable reference for geological exploration projects in similar extreme environments.

Key words: high altitude area; core drilling; construction organization; technical countermeasures; Dangre Yongcuo

0 引言

国家启动新一轮找矿突破战略行动以来,高海

拔地区已成为地质勘探的重要区域之一。然而,海拔超过5000 m的极端环境对岩心钻探施工提出了

收稿日期:2025-06-11; 修回日期:2025-07-17 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.069

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“西部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(军民融合中心)”(编号:DD20240207203)

第一作者:罗龙,男,汉族,1983年生,硕士,高级工程师,地质资源与地质工程专业,主要从事钻探施工管理及技术研究工作,四川省成都市金牛区茶店子路399号,61937162@qq.com。

通信作者:白超,男,汉族,1986年生,助理工程师,探矿工程专业,主要从事一线钻探施工及技术指导工作,四川省成都市金牛区茶店子路399号,422077134@qq.com。

引用格式:罗龙,白超,华宾,等.高海拔地区岩心钻探施工组织与管理的几点措施——以海拔5700 m的当惹雍措工作区实践为例[J].钻探工程,2025,52(S1):417-421.

LUO Long, BAI Chao, HUA Bin, et al. Several measures of core drilling construction organization and management in high altitude area: Taking the practice of Dangra Yongcuo working area at an altitude of 5700m as an example[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 417-421.

严峻挑战,包括低氧、严寒、强辐射、复杂地貌以及后勤保障受限等综合问题。尽管近年来钻探技术不断进步,但针对超高海拔地区(如海拔5700 m以上)的系统化施工组织与管理研究仍显不足,尤其在人员适应性、设备效能保障及后勤保障,应急机制等方面亟需进行实践探索与经验总结^[1-3]。

西藏当惹雍措工作区作为典型的高原极端环境代表,作业点海拔约5700 m,年均气温低于零度,施工期面临严寒、冰冻及低气压等多重制约。该区域地质钻探作业不仅需克服常规技术难题,还需应对高原特殊环境下设备性能衰减、人员健康风险及物资保障困难等复杂问题^[4-6]。本文聚焦施工组织与管理的核心环节,结合现场实践,系统分析人员健康管理策略、设备适应性优化路径、施工流程动态调整方法及应急保障体系构建等关键问题。为类似环境下的地质勘探工程提供具有较强可操作性的管理框架和技术对策,以供参考与借鉴。

1 工作区基本情况

1.1 交通位置情况

西藏尼玛县当惹雍措西工作区位于尼玛县来多乡境内,距离来多乡大约50 km,主要道路为简易土路,驾车大约需要1 h。来多乡距离尼玛县约190 km,距离拉萨约900 km,靠近205省道和317国道。

1.2 气候情况

工作区位于藏北高原,空气稀薄,气候严寒,日照时间长且辐射强烈。四季不分明,冰冻期漫长而无霜期短暂,海拔在4500~5700 m,相对高差大多在600~1000 m,属于典型的高原低压缺氧环境。在最冷的1月,平均气温可降至 -31.1°C ,而最热的7月平均气温为 20.6°C ,年平均气温则为 -0.6°C 。

1.3 钻探任务情况

2024年工作区施工机械岩心钻探1500 m,布设4个钻孔,孔深0~800 m,天顶角 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 。采用1台CSD1800X型和1台CSD1300型钻机施工。岩石可钻性级别Ⅳ~Ⅴ级,钻孔部署位置平均海拔约为5700 m,地表覆盖着1~2 m厚的坡积物,主要由松散的黄土和砾石构成,植被以矮草和苔藓为主。在部分区域,河流形成的沼泽需要使用挖掘机进行道路平整,以便建设简易道路,便于设备的运输。水源从距离山顶约300 m的河沟中利用BW250型泵抽取,距离最近的钻孔约0.4 km,而距离最远的

钻孔大约3 km。生产和生活物资需从尼玛县、那曲市、拉萨市等地采购。

2 高海拔工作区钻探施工特点分析

青藏高原高海拔地区有其独特的地理环境和地质条件,其钻探施工与内地相比具有一些特殊性。

2.1 对人员和设备影响大

海拔高,低压缺氧、低温严寒、强烈的紫外线辐射环境下,对施工人员和设备的影响大。

(1)对人的影响:①原缺氧引发头痛、恶心、失眠、乏力等高原反应,严重削弱体力、耐力、反应速度、判断力和工作效率,导致劳动能力大幅下降并需更多休息时间,同时严寒环境加剧体能消耗、增加冻伤风险,且厚重的防寒衣物会进一步影响操作灵活性;②强紫外线增加皮肤灼伤、雪盲症风险,需防晒霜、防紫外线墨镜、面罩等;③高原病风险显著增加,健康管理和医疗保障挑战大。

(2)对设备的影响:①空气稀薄致发动机功率下降,钻机效率普遍降低20%~30%;②液压系统易气蚀,冷却效率降低;③低温下润滑油、液压油黏度增大,导致启动困难、润滑不良、磨损加剧;④低温使金属材料(钻杆、钻具、结构件)韧性下降,脆性增加,易脆性断裂;⑤低温使橡胶密封件硬化、收缩、失效,导致漏油、漏水、漏气;⑥低温下电池容量和放电能力急剧下降,启动困难;⑦普通柴油低温析蜡堵塞油路,须使用低凝点柴油(如-20号)或添加抗凝剂;⑧强紫外线加速橡胶件(软管、密封圈、轮胎)、塑料件、油漆等老化、龟裂、失效。

2.2 极端天气影响正常施工作业

高海拔地区天气变化剧烈频繁,大风、暴雪、冰雹、浓雾常见。例如,根据2024年当惹雍措工作区的记录,7—10月期间,该地区共遭遇5次冰雹天气,降下28场雪(降雪时常伴有大风),如图1所示。影响主要包括:(1)显著缩短有效施工窗口期,导致工期延误;(2)交通中断,物资供应受阻,人员撤离困难;(3)塔衣、帐篷、物资常被强风吹走甚至导致停工,如图2所示;(4)强风加剧钻塔晃动,设施面临严峻考验;(5)暴雪冰雹影响机械运转、冲洗液性能和水线输送。

2.3 后勤保障困难

(1)交通不便:油料、管材、泥浆材料、生活物



图1 雪地里的机台



图2 强风中的帐篷

资、设备、人员进出困难,运输成本高、周期长,新鲜食物、饮用水、燃料、医疗资源获取难。

(2)通讯受限:偏远山区信号差,影响信息传递和应急响应(如当惹雍措部分作业点无信号)。

(3)医疗保障薄弱:远离医疗中心,高原病和意外伤害救治困难,需配备充足药品和完善应急措施。

2.4 施工作业要求高

高海拔山区地质构造复杂(多断层、破碎带),岩石坚硬或覆盖层不稳定、风化严重。导致:(1)钻探难度大,地层漏水、孔壁坍塌、掉块频发,卡钻、埋钻风险高;(2)设备运输搬迁困难危险,场地平整工作量大;(3)场地受限,部分区域平台狭小,大型设备布置困难,泥浆循环、物资堆放受地形限制显著;(4)特殊要求,如当惹雍措部分钻孔需24 h连续作业,停机超1 h孔内结冰可冻住钻具致钻孔报废,对设备质量和工人技能要求高;(5)人员限制,45岁以上人员通常不再适合高海拔重体力劳动和钻机操作。

2.5 施工“窗口期”短,施工用水保障困难

(1)施工季节短,每年仅4~5个月;(2)水源稀缺,干旱少雨,主要依赖高山融雪或水车运输;(3)

昼夜温差大,水源和水线易冻结,夜间低温及长距离管线易冻裂,保障困难;(4)低温影响冲洗液性能,无法满足正常施工需求。如图3所示。



(a) 水线结冰



(b) 水源上冻

图3 水线和水源冻结

2.6 冻土层钻进困难

在某些工作区域,钻探过程中遇到冻土层,使得钻进作业变得异常艰难。由于受到低温的影响,应用常规钻进技术时,冲洗液在短暂停止循环后会迅速凝固成冰渣,并在孔壁上形成冰层,导致了钻孔“缩径”,甚至完全被冻结。例如,在当惹雍措工作区施工时,由于机器发生故障超过1 h,钻具被冻结在孔内,造成孔内冻结事故。由于冻结时间长,处理这类冻结事故较为棘手,甚至导致钻孔报废。

3 应对措施

针对青藏高原高海拔钻探施工面临的一些问题,我们的核心原则是:以人为本、预防为主、科技支撑、强化保障。

3.1 对人员与设备的影响方面

(1)人员方面:①严格高原体检筛选人员,强制

执行阶梯式海拔适应计划(拉萨3~4天,倒更高海拔工作区后最少休整3d),定期健康监测;②机台配备氧气瓶,实行“3班2倒”工作制,保障充足休息时间;③配备保暖防寒服、手套和防寒鞋等,强制要求佩戴高防紫外线墨镜、防晒面罩和帽子,对于从事重体力劳动的人员,推荐使用便携式氧气瓶;④配备充足高原病急救药品和氧气,完善急救、后送机制,与当地医院建立应急救援联系。

(2)设备方面:①选用高原增压型发动机,或对现有发动机进行改装(调整供油量、增压器),必要时使用更大功率的设备;②增大散热器面积,优化风扇性能;③选用低凝点、高黏度指数抗磨液压油,优化油箱设计,考虑加装加热器;④使用低温性能优异的润滑油,关键设备加装燃油冷却液或机油预热器;⑤关键结构件选用具备良好低温韧性的特种钢,密封件(O型圈、油封、软管)选用耐低温的氟橡胶、硅橡胶;⑥根据最低温度使用对应标号低凝点柴油,如-20号,添加抗凝剂,做好燃油储运保温;⑦外露橡胶、塑料、油漆选用耐候性材料,易老化部件(软管、电缆)加装防护套或定期更换;⑧对泥浆泵、柴油发电机等关键设备搭建保温棚或使用保温罩。

3.2 恶劣多变天气缩短有效工期方面

(1)关注气象预报与预警:安排专人密切关注气象预报与预警信息,设定天气应对流程(例如针对大风、暴雪的专项警报响应程序)。

(2)施工组织优化:充分利用施工窗口期,制定灵活的工作计划,优先安排关键工序的施工。在天气良好时,组织高强度作业(如搭建机台、运输物资)。

(3)加强设施抗风抗雪能力:提高对钻塔厂房、塔衣、帐篷等设施的稳固性,具体措施包括采用深地锚和增加配重加固。

(4)关键物资与设备防护:将重要物资(研磨材料、泥浆材料)存放于具有抗风能力的专用帐篷内,确保其安全。

(5)应急避险与通讯保障:在机台旁设置坚固的应急避险帐篷,固定配备应急避险车辆,确保恶劣天气下通讯畅通。

(6)提升后勤保障可靠性:在机台储备充足的燃料、食物、药品等必需物资,以应对可能发生的交通中断情况。

3.3 偏远导致的物资短缺与后勤保障困难方面

(1)超前规划与集中运输:提前准确规划物资需求。在施工季节开始前,利用大运力集中运输方式,将关键物资运送至前沿中转站或营地。

(2)建立可靠补给链:优先选择具有丰富高原地区经验的供应商建立长期合作关系。积极探索并灵活运用多种运输方式组合(例如:顺路运输+专业物流)。

(3)推进物资本地化与储备:在靠近施工区域的低海拔城镇设立物资储备基地,探索在施工区域附近(如县级市)采购通用物资的可能性,减少远程运输依赖。

(4)医疗保障前移:有条件的单位可以为施工队伍配备驻队医生。储备必需高原急救药品设备(如氧气瓶)。与最近具备救治能力的医院建立紧急医疗绿色通道、签订救援协作协议。

(5)优化生活保障:确保纯净饮用水的供应,储备易储存、高能量食物及充足的取暖燃料。

3.4 复杂地质地形增加作业难度与风险方面

(1)孔位优化:施工前认真进行现场踏勘,在确定孔位时,兼顾地质目标和施工安全与便利性。

(2)钻探工艺与护壁选择:根据地质条件,选择合适的钻探工艺,一般采用套管护壁或跟管钻进技术进行孔壁保护。

(3)防卡钻措施:优化钻具组合设计。加强冲洗液循环管理,保持孔内清洁。在复杂地层或孔段,严格控制钻进速度,避免盲目追求钻进进度。

(4)设备运输与搬运:设备运输前,详细踏勘并规划运输路线。选用专门适合山地运输的特种车辆。对于大型设备,必要时进行拆解以方便运输和搬运。

(5)模块化设备应用:在施工场地受限区域优先选用模块化设计、易拆装或小型化钻探设备。

3.5 针对施工“窗口期”短与施工用水保障困难方面

(1)精准把握窗口期:基于详细气象数据与预报,高效利用每年有限的施工期(通常为4~5个月)。

(2)优化流程:减少非作业时间,优化施工流程,最大限度减少非生产性时间消耗。

(3)多元化水源保障:①在融雪期,修建具有防渗、防冻功能的临时蓄水池,储存雪水备用;②水车运输保障,规划高效运输路线并优化调度,使用大

容量水罐车保障供水稳定;③强化水循环利用,加强冲洗液的固控,提高冲洗液循环利用率,减少新水消耗量。

(4)供水管线防冻保护:使用高压胶管,并在夜间或停用期间务必排空暴露在水管和水泵内的积水,防止冻结。在极端低温无法排空的情况下,保持管线内冲洗液处于连续小流量循环状态。

(5)低温冲洗液体系应用:选用抗低温性能的冲洗液体系(特性包括低黏度、低失水、抗冻性好)。必要时在冲洗液中加入防冻剂(如氯化钠)。

(6)加热输送防冻:采用加热炉,对输送的水进行加热以防冻结,如图4所示。

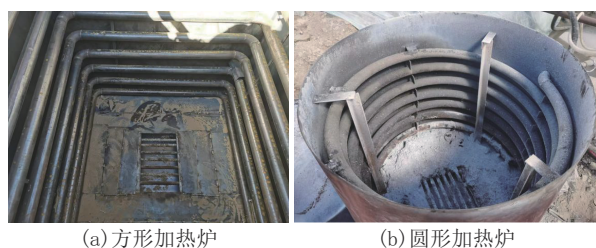


图4 加热炉

3.6 冻土层钻进困难与孔内冻结风险应对措施

预防孔内冻结的核心措施主要包括以下方面。

(1)确保连续作业:这是最核心的措施,首先要确保设备可靠性,保证设备性能处于良好状态,储备充足的易损备件;其次要维修能力作为保障,配备熟练的维修人员,确保能够快速处理故障;最后要最大限度减少钻机停待时间,维持孔内作业的连续性。

(2)冲洗液加热:在泥浆循环系统中加装加热装置,保持冲洗液进入钻孔的温度始终在冰点以上。

(3)物理隔离冻土层:在钻穿冻土层后,立即下入表层套管进行封隔。

(4)优化钻进工艺:在未冻结的稳定地层中使用PDC钻头并优化钻压、转速等参数。快速钻穿冻土层,减少钻具在该层段的暴露时间。

(5)严格控制钻具静止时间:优化起下钻,缩短钻具在孔内静止时间。如必须停钻,应将钻具提高孔底一定安全高度并保持小排量冲洗液循环以防止局部冻结。

4 结论

青藏高原高海拔钻探工程是集环境极端性、技术复杂性与后勤脆弱性于一体的系统性挑战。其特殊性不仅体现在低压缺氧、严寒、强紫外线的严酷环境对“人机系统”的双重制约,更表现为地质复杂、冻土钻进、窗口期短、后勤受限等叠加风险的严峻考验。实践表明,传统钻探模式在此类区域难以直接复制,必须构建“全链条防控、多维度协同”的应对体系。

(1)以人为本是根基。通过阶梯习服、动态健康监测、个体防护强化及高原医疗保障,筑牢人员安全底线。

(2)设备适应性改造是关键。针对高原动力衰减、低温失效、紫外线老化等问题,定向优化动力、散热、材料及防护系统。

(3)地质与工艺精准匹配是核心。基于复杂地层特性,创新应用护壁泥浆、跟管钻进、冻土专用冲洗液等技术,严控孔内事故。

(4)可靠性后勤是保障。通过超前物资储备、多元化水源管理、抗灾设施加固及卫星通讯覆盖,破解偏远地区保障困局。

(5)时间窗口高效利用是突破口。依托精细化气象预警、模块化快速施工及防冻管线设计,最大限度压缩非作业时间。

高海拔钻探的成功实施,依赖于科技创新、管理优化与资源投入的深度耦合。唯有将环境制约转化为技术升级动力,将极端条件纳入全流程风险管控,方能实现工程安全、效率与可持续性的统一,为高原资源勘探与地质研究提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 牟程江,廖麟祥,孙昌伟,等.藏北无人区高原冻土复杂地层钻探施工实践[J].钻探工程,2025,52(2):65-71.
- [2] 徐小兵.提高高海拔地区钻探效率的几点体会[J].地质与勘探,2006,42(3):103-106.
- [3] 李振学.高原地区钻探施工组织与技术管理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):82-84.
- [4] 徐小兵,余秀明.浅析高海拔地区钻探设备及工艺的适应性[J].湖南有色金属,2006,22(2):60-63.
- [5] 陈中和,任志善.川西北复杂地层钻探施工技术[J].山西水利,2005(4):61-62.
- [6] 李洁莹.高海拔地区岩心钻探施工安全管理[J].现代矿业,2017(2):227-229.

(编辑 王文)