

甘肃野马铜多金属矿勘查复杂地层钻探实践

尹亮先, 李 勇, 田小林, 欧晓平

(四川省第十一地质大队, 四川 达州 635000)

摘要:甘肃野马铜多金属矿勘查项目施工区地处戈壁滩无人区, 施工条件恶劣。区域受矿产成因、地质构造因素影响, 地层产状较陡, 断层多, 地层破碎、垮塌、漏失, 局部地层存在遇水泥化现象。斜孔钻探过程中多孔出现卡钻、钻孔报废等情况, 造成经济损失, 影响了项目施工周期。本文结合钻探项目难点, 选用履带式钻机、低固相冲洗液、优化钻孔结构等技术措施, 为该类矿区钻探工程积累了经验。

关键词:破碎地层; 钻孔漏失; 遇水泥化; 斜孔; 履带式钻机; 低固相冲洗液

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2026)S1-0255-05

Drilling practice in complex formations for exploration of Yema Copper Polymetallic Deposit, Gansu Province

YIN Liangxian, LI Yong, TIAN Xiaolin, OU Xiaoping

(The 11th Geological Brigade of Sichuan, Dazhou Sichuan 635000, China)

Abstract: The working area of Gansu Yema Copper Polymetallic Ore Exploration Project is located in uninhabited gobi desert area with harsh construction conditions. Affected by mineral genesis and geological structures, the strata in this area is featured by steep occurrence, frequent faults, and is prone to fragmentation, collapse and leakage. In addition, some strata show mud-making when encountering water. During the construction of inclined boreholes, pipe sticking and hole abandonment often occur, which caused economic losses and seriously affected the project schedule. Combined with drilling difficulties of the project, technical measures are adopted including tracked drilling rigs, low-solid-phase drilling fluid, and optimized borehole structure, providing experience for drilling engineering in similar mining areas.

Key words: broken strata; loss of circulation; mud-making when encountering water; inclined borehole; tracked drilling rig; low-solid-phase drilling fluid

0 引言

近年来, 国家新一轮地质找矿工作持续推进, 通过中央与地方协同、科技创新驱动、社会资本广泛参与等方式, 实现了油气、铀矿、锂矿等关键矿产资源的重大找矿突破。随着国家对铜、铅、锌等多金属矿产资源需求持续增长, 深部矿体、倾斜矿体、复杂地质条件下的高效勘探已成为当前地质勘查工程的重点与难点^[1]。

铜多金属矿床普遍具有产状陡、倾角大、矿脉分布复杂等特点, 斜孔施工是实现深部矿体精准控

制、提高矿体见矿率的关键技术手段。传统钻探设备在倾斜钻孔施工中存在移动不便、对位困难、稳定性差、钻进效率低等问题, 难以满足复杂矿区高效钻探要求。履带钻机凭借移动灵活、适应性强、锚固稳定、拆装便捷等优势, 在复杂地形、斜孔钻探工程中展现出良好的应用前景。

本文以铜多金属矿区 ZK4103 孔施工为研究对象, 结合矿区地层条件与工程特点, 阐述履带钻机在斜孔钻进中的工艺技术要点及难点应对措施。

收稿日期: 2026-03-17; 修回日期: 2026-04-07 DOI: 10.12143/j.ztgc.2026.S1.031

第一作者: 尹亮先, 男, 汉族, 1984 年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 从事钻探管理工作, 四川省达州市达川区绥定大道二段 756 号, 845575944@qq.com。

引用格式: 尹亮先, 李勇, 田小林, 等. 甘肃野马铜多金属矿勘查复杂地层钻探实践[J]. 钻探工程, 2026, 53(S1): 255-259.

YIN Liangxian, LI Yong, TIAN Xiaolin, et al. Drilling practice in complex formations for exploration of Yema Copper Polymetallic Deposit, Gansu Province[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 255-259.

1 项目概况

1.1 地理概况

工作区位于中祁连西段,地势总体南高北低,区内山脉最高峰海拔 3722 m,一般 3000~3500 m,属高山区,总体呈东西走向,地势总体较陡,如图 1 所示。区内水源较少,以冰雪融水为主,夏季经常出现断流情况。工作区气候类型属大陆性高寒气候,天气变化无常,年平均气温为 10℃,10月至次年 3 月为冰冻期。工作区人烟稀少,以蒙古族游牧民为主。燃料、建材、劳动力等需从肃北蒙古族自治县、敦煌市等地供给。



图 1 野马铜多金属矿区地形地貌

1.2 地质概况

施工区域钻遇地层自上而下依次为:第四系(Q),古近系白杨河组(Eb),蓟县系花儿地组(Jxh),长城系熬油沟组(Cha)、南白水河组(Chn)、古元古界北大河岩群一岩组(PtB₁)、北大河岩群三岩组(PtB₃)。岩性主要以片麻岩、斜长角闪岩、二云石英片岩、大理岩、杏仁状玄武岩、微晶灰岩、硅质灰岩、粉砂质板岩、砂质板岩、白云岩、灰岩、粉砂质泥岩为主。

区域的褶皱相对简单,出露西冬草沟背斜以及敖包沟向斜。其中西冬草沟背斜由北大河岩群二岩组、三岩组构成;中奥陶世岩浆弧强烈活动,使褶皱残缺不全,形迹不易识别,产状较为紊乱。敖包沟向斜由长城系熬油沟组组成,晚奥陶世二长花岗岩和闪长岩对褶皱破坏严重。区域共查明断层 12 条,其中 5 条为走滑断层,其余性质不明。

1.3 钻探技术要求

(1)除第四系表土覆盖层,要求全孔岩心采取

率>75%,目的层段岩心采取率>80%。

(2)孔深要求:孔深允许误差为 1%。孔深误差>1%时,应重复测量并找出原因,修正班报表。

(3)终孔口径≥77 mm,岩心直径≥50 mm。

(4)斜孔每钻进 100 m,方位角偏斜不应超过 3°,顶角偏斜不应超过 3°。有特殊需要时,按勘查设计或合同的要求执行。

2 前期施工情况

2.1 存在的问题

勘查区位于祁连加里东铁、金、铜多金属成矿带。出露的地层由老至新分别为古元古界北大河岩群、长城系南白水河组、蓟县系花儿地组、古近系白杨河组和第四系,钻遇地层岩性主要有斜长角闪岩、斜长花岗岩、花岗片麻岩、绢云石英片岩、破碎蚀变岩、变粒岩、闪长玢岩、大理岩。区内经受了强烈的构造叠加、改造,邻近矿体两侧岩石破碎,加之受岩浆侵入、岩石蚀变、劈理作用,部分岩石绢云母化,岩石破碎、断层泥化现象严重^[2],钻进施工的 19 个钻孔中大部分钻孔在 350 m 以浅不同程度钻遇 5~20 m 不等的构造破碎带或断层糜棱岩(见图 2),其中有 7 个钻孔因出现掉块卡钻、缩径、漏失严重,导致钻进困难,有 4 个钻孔进行了移位重新施工(见表 1)。



(a)破碎带



(b)断层带(遇水泥化)

图 2 钻取的岩心

表 1 报废钻孔情况				
孔 号	设计孔深/m	报废孔深/m		备 注
ZK4103	470	第一次报废	291.85	卡钻
		第二次报废	310.85	断层未穿,遇水泥化卡钻
ZK6103	540	第一次报废	320.65	扫孔卡钻,扫孔不到底
		第二次报废	40.76	烧钻移孔
		第三次报废	279.65	扫孔卡钻,扫孔不到底
ZK5703	650	第一次报废	375.63	断层,遇水泥化
ZK6104	800	第一次报废	708.10	扫孔时垮塌卡钻
报废进尺合计			2327.49	

勘查区北部有野马河通过,白天气温升高雪水融化形成水流,但夜晚基本无水流,水源不稳定,因而,野外地质工作和矿山生产用水需从上游羊门沟供给。大部分钻孔为漏失孔,停工时间较长。

2.2 产生问题的原因

2.2.1 设备选择问题

在本次铜多金属矿斜孔钻探施工中,设备选型不合理是制约钻探效率与安全的突出问题。一部分钻孔选用传统机械钻机,体积大、质量大,搬迁、安装、转运不便,机动性能差,且设备结构与钻进工艺难以适配斜孔施工要求,成孔质量难以保证;个别钻孔采用的可拆卸便携式钻机,虽拆装便捷、移动灵活,但整机输出扭矩不足,钻进能力有限,面对复杂地层时易出现卡钻、埋钻等工况,极易引发钻孔事故,无法满足铜多金属矿斜孔高效、安全钻探的实际需求。

2.2.2 钻孔结构不合理

因该项目要求岩心直径≥50 mm,取心需选择 HTW、NTW 钻具,该钻具组合缺陷在于,HTW 钻

具上部只能采取单管普通钻进方式取心,施工过程中存在如下问题:

(1)钻孔开孔口径较小,套管级数受限,通过冲洗液等技术手段无法处理后,因受岩心直径约束,无法继续下套管处理孔内复杂情况^[3]。

(2)钻探过程中,稍遇完整地层,下套管换径,钻遇问题后,拔套管扩孔,因地层垮塌套管被裹紧抱死,强力起拔发生上部套管断裂,下部套管卡死,导致处理事故周期延长。

3 钻孔施工技术优化

鉴于施工中期,项目施工钻孔普遍钻遇断层,卡钻造成钻孔报废,以 ZK4103 孔为例,采用更换设备、调整钻探设计方案等措施,为该矿区钻探探索新的技术路线。

3.1 钻探设备选择

后期选用履带式钻机施工,避免了因便携式钻机扭矩不足而造成事故处理不及时导致事故复杂化,同时避免了传统机械钻机搬迁、安装、转运不便的问题。钻机性能参数见表 2。

表 2 钻机性能参数				
孔 号	钻机型号	设 备 性 能		
		最大钻进深度/m	钻探角度/(°)	最大扭矩/(N·m)
ZK5703	KF-ED960	NTW(75 mm):1600	0~90	6500
ZK4103	YDX-1800	NTW(75 mm):1700	0~90	5500

3.2 普通钻进和绳索取心钻进工艺

由于 ZK4103 孔地层特殊性,依据地质岩心钻探钻具口径系列,采取普通硬质合金钻具与多级绳索取心钻进工艺相结合的工艺方式^[4],钻头及套管尺寸见表 3,钻孔结构见图 3。

二开、三开采用绳索取心钻进,一方面为预防单管钻进频繁起下钻具形成的抽吸作用对孔壁扰动而引起垮塌;二是提高岩心采取率;三是利用传统绳索取心钻杆抗拉、抗扭强度高的优势,遇卡、埋钻事故可以通过强顶、强拉的方式及早处理,避免事故恶

表3 钻头及套管尺寸

开次	钻头类型	钻头直径/mm	套管规格/mm	深度/m	备 注
一开	硬质合金钻头	150	Ø146×5.5	2.09	隔离表土
二开	薄壁金刚石钻头	122.5	Ø114.3×6.35	25.28	隔离破碎层
三开	金刚石绳取钻头	98.5	Ø91×4.5	332.52	隔离1个断层(309.00~330.80 m)
四开	金刚石绳取钻头	77.5		467.81	

化,并且每一级钻杆可以根据孔内状况尽可能往下钻进,给下一级套管预留充分的处理事故空间^[5]。

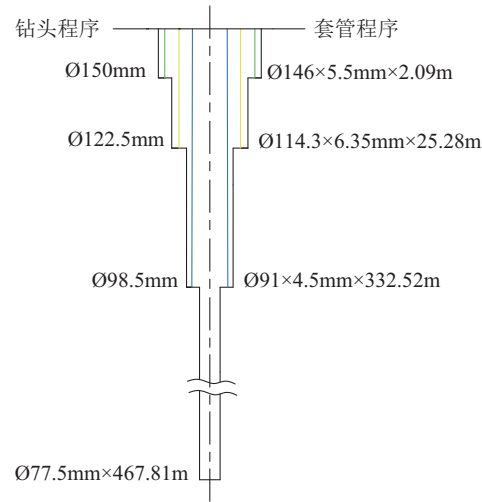


图3 ZK4103孔钻孔结构示意图

3.3 水泥封堵破碎带

钻遇破碎带,采用水泥浆护壁堵漏^[6]。

在水泥浆中加入早强剂(氯化钙),要在地表做水泥浆凝结时间试验,根据试验数据按比例加入,禁止未进行水泥浆地表凝结试验盲目加入早强剂/速凝剂;确保入孔水泥浆液既能在既定时间内达到强度,又不会在钻杆内提前凝结固化。

3.4 冲洗液

矿区上部地层主要表现为破碎掉块、漏失,针对施工区地层进行室内小样试验,实验室调配冲洗液性能,可保证在室内状态下断层带水化时间大幅度增长,且不泥化;经过试验及施工操作对比,提供了2种冲洗液配方。

3.4.1 无固相冲洗液^[7]

开孔至断层前,岩性主要为橘红色粉砂质泥岩夹紫红色复成分砾岩、灰岩、板岩等。

冲洗液配方:清水 1 m³+PHP0.1%~0.15%+高效润滑剂 0.3%~0.5%+仿磺化沥青 1.5%~2.0%+低荧光防塌护壁剂 0.7%~1.2%。

性能指标为:密度 1.01~1.03 g/cm³,黏度 18~24 s,pH值 7.5~8.0。

3.4.2 低固相冲洗液^[8]

进入断层带后,冲洗液配方:清水 1 m³+膨润土 8%~10%+CMC 0.5%~1%+植物胶 0.3%~0.5%+重晶石 0.8%~1.2%+X-1降失水剂 6‰。

性能指标为:密度 1.08~1.12 g/cm³,黏度 40~55 s,API滤失量 8~12 mL/30 min,pH值 8.0~9.0,泥皮厚度<1 mm。

优化后的冲洗液滤失量得到控制,在断层施工中极大地延迟了泥化时间(见图4),为套管隔离预留了充足的时间。



图4 工艺改进后断层岩心

3.5 断层钻进注意事项

(1)在断层中钻进,回次钻进结束时,要将钻具提升至断层以上打捞岩心,防止取心时间过长断层泥化垮塌包裹钻具。

(2)岩心打捞结束,加钻杆后,要轻压慢扫,减少对断层扰动破坏,钻具到底后,加压快速钻进^[9]。

(3)钻穿断层进入基岩后,及时下套管隔离,避

免水浸时间过长造成断层持续性垮塌而无法处理。

3.6 供水

(1)根据钻孔布局选择多个蓄水池位置,并依据钻机开动数量及施工有效时间,及时保障蓄水池水量,建立稳定供水系统,避免施工因等水停工。

(2)收集近2年气象资料及入场时雪水融化水流时间做统计,提前做好蓄水、防洪、道路通行准备措施。

4 钻探施工效果

通过ZK4103孔摸索创新,形成了一套切实可行的施工方案及冲洗液体系,在后续钻孔施工过程中,除个别钻孔发生轻微卡钻外,其余钻孔均一次性成孔,再未发生钻孔报废,取得较好的施工效益。

5 结语

(1)生产实践证明,在复杂金属矿斜孔施工中,便携式钻机和机械钻机仍存在一定局限性,相对来说履带式钻机更具优势。

(2)由于对地层认识不足,导致前期设备选择不合理,技术方案不充分且没有针对性,造成钻探报废进尺过多,经济损失较大,在今后的工作中,要

加强踏勘时地调工作及分析研究,钻探施工前做好技术储备及应对措施^[10]。

参考文献:

- [1] 孙忠,张峰.四川理塘金矿勘探复杂地层钻探施工难点及其对策[J].世界有色金属,2022(9):118-120.
- [2] 祁新堂,谢永德,刘梁,等.河南省洛宁上宫金矿复杂地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):38-43.
- [3] 汪林,郎学伟,王长如,等.云南金平长安金矿大角度斜孔施工技术[J].钻探工程,2025,52(S1):290-294.
- [4] 葛晓华,胡吉祥,翟育峰,等.顶驱式岩心钻机在小秦岭金矿田3500 m特深孔施工应用[J].钻探工程,2026,53(1):112-117.
- [5] 易强中,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.
- [6] 陈志刚.金矿普查斜孔施工实践与认识[J].西部探矿工程,2025,37(4):52-54.
- [7] 赵宝平.谈甘肃-东洞沟金矿区斜孔施工技术[J].陕西建筑,2014,40(13):82-84.
- [8] 张旭,李中明,王泽,等.东北寨金矿复杂地层综合钻探施工技术[J].钻探工程,2024,51(S1):292-298.
- [9] 石磊.广东京村金矿大角度斜孔钻进工艺实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):14-18.
- [10] 童强,杨丕祥.贵州烂泥沟金矿大角度斜孔岩心钻探施工实践与认识[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):35-38.

(编辑 王文)