

甘肃省阿克塞红柳沟铁矿钻探施工技术

王宝龙, 杨永顺*, 曾思敏, 王建民, 赵神童, 郑朝阳

(中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心, 青海 西宁 810000)

摘要: 甘肃省阿克塞红柳沟铁矿地处高海拔区域, 地层条件极为复杂、岩体完整性普遍较差, 且矿区范围内广泛分布易水化膨胀的泥岩层系, 导致钻探过程中极易发生孔壁缩径、地层坍塌及钻具卡埋等复杂孔内事故, 造成钻探难度大、钻进效率低、工期延长。本文围绕复杂地层绳索取心安全高效钻进核心目标, 系统开展综合技术体系研究。针对性优化钻孔结构设计以适应复杂地层变化规律、科学动态调控钻进参数以匹配不同岩层特性、研发并配制适配矿区岩性的分体系冲洗液以稳定孔壁、优化钻具组合形式以提升钻进适配性等多项技术措施集成应用。经现场工程实践验证, 所构建的综合钻探技术方案展现出良好的适用性与有效性, 成功攻克了该矿区复杂地层钻进技术难题, 显著提升了钻孔成孔质量与施工效率, 全孔岩心采取率均稳定满足设计要求, 不仅为该矿区勘查工程的顺利实施提供了坚实的技术保障, 同时也为我国西部面临相似复杂地层条件的金属矿钻探工程提供了可借鉴的技术参考。

关键词: 绳索取心; 冲洗液体系; 复杂地层; 铁矿勘探; 高海拔地区; 红柳沟铁矿

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2026)S1-0268-06

Drilling construction technology for the Aksai Hongliugou Iron Ore Mine in Gansu Province

WANG Baolong, YANG Yongshun*, ZENG Simin, WANG Jianmin, ZHAO Shentong, ZHENG Chaoyang

(Xining Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Xining Qinghai 810000, China)

Abstract: The Hongliugou Iron Ore Mine in Aksai, Gansu Province is located in a high-altitude region with extremely complex stratum conditions and generally poor rock mass integrity. Widely developed mudstone strata in the mining area are prone to hydration and expansion when encountering water, which easily induces complex downhole accidents including borehole shrinkage, stratum collapse and drilling tool sticking and buried. These problems result in high drilling difficulty, low drilling efficiency and delayed construction period. Centering on the core goal of safe and efficient wireline core drilling in complex strata, this paper systematically researches and constructs a comprehensive technical system for drilling construction. A series of integrated technical measures are adopted, including targeted optimization of borehole structure design to adapt to the variation law of complex strata, scientific dynamic adjustment of drilling parameters to match the characteristics of different rock layers, development and preparation of zonal flushing fluid adapted to the local lithology to stabilize the borehole wall, and optimization of drilling assembly to improve drilling adaptability. Field engineering practice verifies that the constructed comprehensive drilling technical scheme has good applicability and effectiveness. It effectively solves the technical difficulties of drilling in complex strata of the mining area, significantly improves borehole forming quality and construction efficiency, and keeps the full-hole core recovery rate stably meeting the design requirements. The research results not only provide a solid technical guarantee for the smooth implementation of exploration engineering in the mining area, but also offer a feasible technical reference for

收稿日期: 2026-05-07; 修回日期: 2026-07-03 DOI: 10.12143/j.ztgc.2026.S1.033

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(编号: DD202602410506)

第一作者: 王宝龙, 男, 汉族, 1993年生, 助理工程师, 土地资源管理专业, 主要从事钻探施工技术研究工作, 青海省西宁市城中区奉青路2号, 1752334394@qq.com。

通信作者: 杨永顺, 男, 汉族, 1986年生, 工程师, 探矿工程专业, 主要从事钻探施工管理与技术研究工作, 青海省西宁市城中区奉青路2号, 403441878@qq.com。

引用格式: 王宝龙, 杨永顺, 曾思敏, 等. 甘肃省阿克塞红柳沟铁矿钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2026, 53(S1): 268-273.

WANG Baolong, YANG Yongshun, ZENG Simin, et al. Drilling construction technology for the Aksai Hongliugou Iron Ore Mine in Gansu Province[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 268-273.

metal ore drilling projects with similar complex stratum conditions in western China.

Key words: wireline coring; flushing fluid system; complex strata; iron ore exploration; high-altitude areas; Hongliugou Iron Ore Mine

0 引言

铁矿作为国家战略性矿产资源,其勘探与开发对保障工业发展和资源安全具有重要意义。甘肃省酒泉市阿克塞哈萨克族自治县红柳沟东支沟铁矿地处青藏高原北缘高海拔区域,属低绿片岩相变质岩区,矿区出露地层以长城系朱龙关群为主,岩性复杂且岩体完整性差,断层发育、变质作用强烈,同时存在泥岩水化膨胀、地层松散、孔隙度大、稳定性差且透水性强^[1]等复杂地质条件,给钻探施工带来诸多挑战。本次针对该矿区开展专项钻探施工工作,其核心工作任务是:在矿区布设6个钻孔,采用绳索取心工艺完成1280 m钻探工作量,精准获取矿区地层岩性、构造及铁矿体分布相关地质资料。项目实施目的是解决该复杂地层钻探过程中塌孔、卡钻、缩径等技术难题^[2],提升钻探施工效率与成孔质量,精准控制铁矿体形态及分布特征,为矿区资源评价及后续开发规划提供可靠的地质数据支撑。该项目的开展不仅验证了ZS-1000型便携式全液压钻机在高海拔复杂山区的适配性,积累了低绿片岩相变质岩区钻探施工经验,更形成了一套针对性强、可操作性高的复杂地层钻探技术方案,为我国西部高海拔、复杂地层铁矿勘探提供了重要技术参考,对推动西部地区战略性矿产资源勘查工作具有重要的现实意义与应用价值。

1 工程概况

1.1 矿区概况

工作区位于该县西南部红柳沟东支沟区域,行政区划隶属甘肃省酒泉市阿克塞哈萨克族自治县,东西长约3 km,南北宽约1.8 km,总面积约5.4 km²。工作区地处祁连山脉西段与阿尔金山东段衔接部位,属青藏高原北缘高海拔区域,海拔介于1500~5798 m之间,平均海拔约3200 m,地形以陡峻山地、深切沟谷为主,局部分布戈壁盆地。区域为典型大陆性荒漠气候,年平均气温低于3.9℃,年降水量18.8~176 mm、蒸发量1800~2500 mm,气候干旱低温,对钻探设备运行及冲洗液性能稳定性存在一定影响。区内水系以冰川融水补给型为主,山区泉眼

水量充沛、水质良好,可直接满足钻探施工用水需求。

对外交通以公路为主,自阿克塞哈萨克族自治县沿S213省道南行至阿克塞沟岔路口后,转入山间临时通道,后续路段多为曲折沟谷及局部损毁的盘山旧路,需经挖掘机修整后方可满足钻探设备及物资运输车辆通行,到达工作区。

1.2 工作区地质特征

矿区出露地层主要为长城系朱龙关群,岩性以绢云绿泥千枚岩、板岩、灰岩、片岩、含铁碧玉岩为主,铁矿层赋存于板岩和灰岩中,地层呈单斜产出,产状主要为170°~190°∠46°~58°,局部变化较大,属区域变质作用产物,经后期动力变质作用叠加,岩石完整性受影响;矿区侵入岩较发育,以岩枝、岩脉状产出,主要为基性-超基性杂岩,伴生少量闪长岩,杂岩体对铁矿完整性有一定破坏。构造上,矿区主体为单斜构造,构造线呈近东西向,以近南北向平移断层为主,断层活动强烈破坏铁矿体,导致部分矿体破碎、位移;区域变质作用为主,接触变质与动力变质较弱^[3],发育浅变质岩,岩石完整性低、易风化破碎。工作区地质构造见图1,钻遇地层预测见表1。

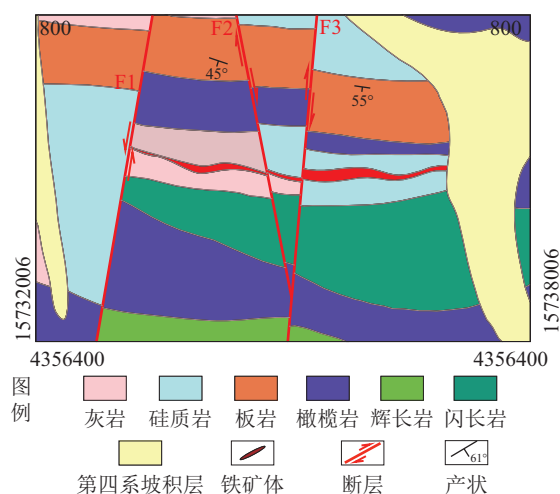


图1 工作区地质构造

1.3 设计工作量

基于矿区地质条件、磁异常特征及矿化规律,结合项目资金预算限制,为实现快速突破、精准控

表1 钻遇地层预测

层序	深度/m	岩性
1	0~5	第四系残积物
2	5~20	蛇纹石化橄榄辉长岩
3	20~40	细粒辉长岩
4	40~80	蛇纹石化橄榄辉石岩
5	80~110	细粒辉长岩
6	110~135	含铁白云岩
7	135~150	砾状灰岩
8	150~200	青灰色白云岩

制矿体形态的目标,沿东侧铁矿体的走向在工作区西部、中部及东部分别布设6个钻孔,预设工作量1280 m,采用绳索取心钻进工艺^[4]。各钻孔位置及设计参数见表2^[5]。

表2 钻孔设计参数

孔号	倾角/(°)	海拔/m	钻进方位/(°)	设计孔深/m	岩心采取率/%
ZK004	90	3807	0	150	≥90
ZK005	90	3816	0	185	≥90
ZK006	55	3734	45	230	≥90
ZK007	75	3866	7	135	≥90
ZK008	90	3792	0	380	≥90
ZK009	90	3866	0	200	≥90

2 钻探难点

结合矿区地质特征及施工实践,本次钻探施工主要面临以下三大难点:

(1)岩体破碎严重,完整性差,塌孔掉块频发。矿区岩石经区域变质及后期动力变质作用叠加,千枚岩、板岩等浅变质岩易风化破碎,侵入杂岩体与地层接触带岩石结构松散(见图2),矿区断层发育,变质作用强烈,破碎带分布广泛,钻孔施工过程中孔壁易发生掉块、岩心脱落、坍塌等现象,不仅影响钻进效率,还易导致钻具卡阻、埋钻等事故^[6-7]。

(2)泥岩水化膨胀,钻孔缩径明显。部分孔段发育水化膨胀性泥岩,遇水后易发生体积膨胀,导致钻孔缩径,造成钻具无法正常旋转、上提遇阻,甚至引发卡钻事故^[8],增加了孔壁维护难度。

(3)受冻土层影响,冲洗液性能恶化。矿区部分砂岩孔段存在冻土层,低温环境下冲洗液黏度、流动性等性能易发生波动,出现性能恶化现象,降



图2 破碎岩心照片

低携岩、防塌效果,影响钻探施工连续性。

3 钻机选择

选用ZS-1000型便携式全液压钻机(见图3),该钻机整机结构设计紧凑合理,液压系统成熟,性能优越,Ø75 mm口径钻深1000 m,最大扭矩2480 N·m。在新疆、青海、内蒙古等高纬度、高海拔地区及其他高温、高寒地区施工适应性良好。

4 钻探技术措施

4.1 钻孔结构设计及钻具组合

2024年完成2个孔(ZK004、ZK006),2025年完成4个孔(ZK005、ZK007、ZK008、ZK009)。各钻孔均采用三开钻孔结构,以ZK009孔为例,钻孔结构设计方案见图4。

工作区上部覆盖第四系松散堆积物,厚度0~1 m,结构松散、稳定性差;下部为裂隙发育的基岩层,岩石破碎且含膨胀性泥岩。针对不同孔深及地层



图3 ZS-1000型钻机

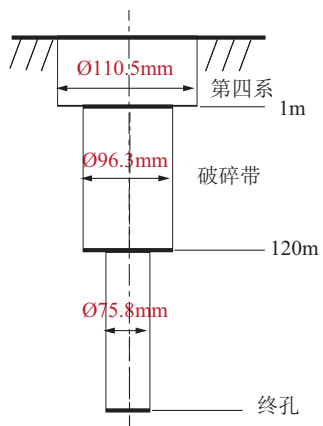


图4 ZK009孔钻孔结构示意图

特征采用 $\varnothing 110.5\text{--}\varnothing 96.3\text{--}\varnothing 75.8\text{ mm}$ 三级钻孔结构,配套优化钻具组合,绳索取心工艺选用HTW、NTW系列取心钻具,可减少提钻次数,提升取心效率及岩心完整性,提高钻进稳定性及取心质量,具体钻具组合方案见表3^[9]。

表3 ZK009孔钻具组合

开次	地 层	钻孔口径/mm	钻 具 结 构
一开	第四系覆盖层	110.5	$\varnothing 110.5\text{ mm}$ 合金钻头+ $\varnothing 111.4\text{ mm}$ 扩孔器+ $\varnothing 108\text{ mm}$ 单管钻具+钻杆
二开	基岩	96.3	$\varnothing 96.3\text{ mm}$ 金刚石钻头+ $\varnothing 97.9\text{ mm}$ 扩孔器+HTW绳索取心钻具+ $\varnothing 91.2\text{ mm}$ 钻杆
三开	基岩	75.8	$\varnothing 75.8\text{ mm}$ 金刚石钻头+ $\varnothing 76.4\text{ mm}$ 扩孔器+NTW绳索取心钻具+ $\varnothing 73.3\text{ mm}$ 钻杆

4.2 钻进参数

基于ZS-1000型便携式全液压钻机性能及矿区地层特性,针对不同开次、不同岩心地层,精准调控钻压、转速、泵量等核心参数,实现高效钻进与孔壁稳定的平衡^[10],不同开次钻进规程参数选择见表4。

表4 不同开次钻进规程参数选择

开次	钻具类型	钻压/ kN	转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	泵量/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)
一开	$\varnothing 108\text{ mm}$ 单管	1~3	300~600	40~60
二开	HTW	2~5	500~800	30~45
三开	NTW	3~8	600~1000	25~40

5 不同地层冲洗液配制与应用

矿区发育泥页岩互层、砾石流砂、低压易漏、盐膏污染等复杂地层,对冲洗液的核心要求为:强抑制性、低滤失量、防塌防漏、润滑携岩能力强。本次施工采用分体系冲洗液方案,针对高海拔地区不同地层特性优化冲洗液配比及性能指标,现场根据孔内压力、漏失情况及造浆效果微调^[11-12],配制了基础钠基膨润土冲洗液^[13-14]、强抑制钾盐聚合物冲洗液^[15]、防漏堵漏冲洗液^[16]三个方案。

基础钠基膨润土冲洗液适用于表层第四系松散砂砾、黏土段,核心作用为固壁、携岩、润滑。配方为:清水1000 kg,钠基膨润土(蒙脱石 $\geq 75\%$)50~60 kg(5%~6%),纯碱(Na_2CO_3)0.5~1 kg(0.05%~0.1%,pH调至8~9),CMC(低黏)1~2 kg(0.1%~0.2%),聚丙烯酰胺1~2 kg(0.1%~0.2%)。

强抑制钾盐聚合物冲洗液适用于水敏性泥页岩、破碎易坍塌段,核心作用为抑制泥页岩水化膨胀、防止孔壁坍塌。配方为:清水1000 kg,钠基膨润土(蒙脱石 $\geq 75\%$)30~40 kg(3%~5%),氯化钾(KCl)30~50 kg(3%~5%,提升矿化度),聚丙烯酰胺(PHP,水解度25%~30%)0.3~0.5 kg(0.03%~0.05%),降滤失剂(PAC-LV/HMP)2~3 kg(0.2%~0.3%),防塌防卡剂(沥青类/FT-342)3~5 kg(0.3%~0.5%)。

防漏堵漏冲洗液适用于低压裂隙、砾石层易漏段,核心作用为封堵漏层、维持孔内液柱压力。配方为:清水1000 kg,钠基膨润土(蒙脱石 $\geq 75\%$)20~30 kg(2%~3%),纯碱0.5 kg(0.05%),803堵漏剂20~30 kg(2%~3%),锯末10%~15%,磺化沥青3~4 kg(0.3%~0.4%),重晶石粉按需加入。

不同冲洗液具体配比及性能控制指标见表5。

表5 冲洗液配比及性能指标

冲洗液类型	漏斗黏度/ s	密度/ (g·cm ⁻³)	API滤失量/ [mL·(30 min) ⁻¹]	泥饼厚度/ mm	动塑比/ [Pa·(mPa·s) ⁻¹]
基础钠基膨润土冲洗液	28~32	1.05~1.08	≤12	≤1	0.4~0.6
强抑制钾盐聚合物冲洗液	35~45	1.06~1.10	≤8		
防漏堵漏冲洗液	50~60	1.10~1.15	≤5		

6 施工效果

2025年的钻探工作改进了2024年常规施工方法,通过优化钻孔结构、适配钻具组合、精准调控钻进参数、分体系配制冲洗液,有效解决了破碎带塌孔、泥岩水化膨胀、冻土层冲洗液失效等关键技术难题^[17-18],施工效果显著。期间共完成4个钻孔施工,累计进尺903.54 m,各钻孔施工周期及终孔深度详见表6。

表6 钻孔施工情况

孔号	开孔倾角/(°)	终孔方位角/(°)	终孔倾角/(°)	孔斜/[(°)·(100 m) ⁻¹]	终孔孔深/m	岩心采取率/%	单孔台月效率/(m·台月 ⁻¹)	用时/h		
								台月时间	钻进时间	辅助时间
ZK004	90		89.23	0.50	152.76	92	381.90	288	100.5	187.5
ZK005	90		91.52	0.82	185.76	94	557.28	240	124.5	115.5
ZK006	55	44.20	56.22	0.52	233.45	93	389.00	492	285.0	207.0
ZK007	75	7.21	73.85	0.88	136.77	96	412.98	240	110.0	130.0
ZK008	90		87.90	0.55	380.75	94	571.13	480	267.5	212.5
ZK009	90		92.01	1.00	200.26	95	667.53	180	102.0	78.0
合计					1289.75					

施工结果表明,各钻孔岩心采取率均达到≥90%的设计要求,最高单孔台月效率达667.53 m/台月,2025年较2024年ZK004、ZK006孔常规钻探工艺效率最高提升30%以上;钻孔合格率100%,无重大钻具事故及孔内事故发生,成孔质量优良,精准控制了铁矿体形态及分布特征,为后续矿区资源评价及开发规划提供了可靠的地质资料。同时,验证了ZS-1000型全液压便携式钻机在高海拔复杂山区的适应性,形成的针对性钻探技术方案,可为同类复杂地层铁矿勘探提供借鉴。

7 结论与建议

针对阿克塞哈萨克族自治县红柳沟东支沟铁矿复杂地层特征,本次钻探作业采用了一套高度定制且易于实施的综合性技术方案,该方案围绕四个关键要素展开:钻孔结构优化、钻具组合适配、钻进参数调控及分体系冲洗液配制,构建了一套针对性强、可操作性高的综合钻探技术方案,具体如下:

(1)通过优化钻孔结构适配配套钻具,提升钻探稳定性与施工精度,避免设备适配故障,充分发

挥不同钻具组合优势,适配多变复杂地层施工。
(2)在钻进过程中,动态调控钻压、转速等钻进参数,保障施工安全高效,避免各类孔内事故,保障钻探施工达标。
(3)运用三级钻孔结构与绳索取心工艺相互结合的方法,提升取心效率与岩心质量,降低施工风险与综合成本,适配变质岩复杂地层取心,兼顾施工效益与生态环境。
(4)构建配套冲洗液体系:钠基膨润土冲洗液提供润滑护壁基础,钾盐聚合物冲洗液抑制泥岩水化膨胀,堵漏冲洗液封堵裂隙、减少漏失,三类冲洗液分层协同,适配不同地层施工需求。
现场应用表明,该成套技术有效解决区内破碎带塌孔、泥岩水化、冻土段冲洗液失效等难点,大幅提升成孔质量与施工效率。本次工程共施工6个钻孔,总进尺1289.75 m,岩心采取率达标,单孔最高台月效率667.53 m/台月;验证了ZS-1000型全液压便携钻机在高海拔山区的适用性,形成低绿片岩相变质岩区钻探施工实操经验。

结合以上经验,后续工作中,需重点研究:(1)

建立钻进参数与地层岩性动态匹配模型;(2)研发环保可降解冲洗液配方;(3)结合物探资料提前预判破碎、漏失地层并前置防控,进一步提升施工效率与安全水平,为西部高海拔复杂矿区勘探提供绿色高效技术支撑;(4)同时持续优化复杂地层取心工艺,适配多类型钻探设备;(5)依托现有技术成果拓展新区找矿思路,深化钻探装备与工艺创新,提升区域矿产勘查能力,力争实现找矿新突破。

参考文献:

- [1] 何玉云,李园,谢丰,等.宁夏中卫市深井勘查区松散破碎地层冲洗液护壁技术方法[J].钻探工程,2026,53(3):139-146.
- [2] 马映辉,贾宏福,马志强,等.金矿水敏性地层分析及成膜冲洗液应用研究——以松潘县东北寨金矿为例[J].钻探工程,2026,53(3):130-138.
- [3] 赵小强.天水市梨树沟金矿地质特征及找矿前景分析[J].甘肃科技,2020,36(7):26-29.
- [4] 赵俞民,李锡.绳索取芯工艺配套技术在复杂地层中的应用[J].云南科技管理,2010,23(3):87-89.
- [5] 曾思敏,杨永顺,张秉强,等.深孔地质岩心钻探中跨口径绳索取心钻具运用[J].中国地质调查,2024,11(6):15-21.
- [6] 余方超.钻探塌孔的成因分析及防治措施研究[J].能源技术与管理,2019,44(1):37-38.
- [7] 赵涛.红石泉地区复杂漏失地层钻探施工工艺的探索与应用[J].地质装备,2023,24(6):37-42.
- [8] 杨科,罗龙,曹灶开,等.阳山矿区严重漏失垮塌地层钻进工艺及工程实践[J].钻探工程,2024,51(2):119-126.
- [9] 刘志龙,陈磊,石岩,等.内蒙古哈达门沟矿区复杂地层钻探技术研究——以ZK20312钻孔为例[J].钻探工程,2023,50(S1):246-250.
- [10] 蒲先渤,李运鹏,尹飞,等.大东沟矿区千枚岩易斜地层钻探工艺研究[J].矿产保护与利用,2026,46(S1):20-24.
- [11] 罗龙,何军,廖麟祥,等.西藏高海拔工作区复杂地层岩心钻探施工难点与对策[J].钻探工程,2026,53(1):117-124.
- [12] 黄杨.提高蚀变带地层钻孔的钻探效率的措施[J].西部探矿工程,2017,29(12):31-32.
- [13] 张席芝,杨亚平,寇永渊,等.金川矿区复杂地层钻探孔壁失稳机理与对策研究[J].钻探工程,2023,50(6):69-76.
- [14] 李志康.浅谈非开挖工程施工中钻孔泥浆的几个问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):62-65.
- [15] 代万庆,薛艳,颜巧云.水敏性地层钻探泥浆性能优化及配制[J].钻探工程,2021,48(11):22-28.
- [16] 夏东,黄杨,周鹏,等.在松散垮塌地层钻探事故处理中组织管理与泥浆技术的应用实践[C]//第九届工程技术管理与数字化转型学术交流会,2025:157-159.
- [17] 郑洪涛.嵩县某金矿区复杂地层强抑制防塌泥浆技术[J].钻探工程,2022,49(4):81-86.
- [18] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与应用进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.

(编辑 王文)