

# 甘肃杨岭铁矿区复杂地层岩心钻探技术

李增梁<sup>1,2</sup>, 陈永平<sup>1,2</sup>, 穆元红<sup>1,2</sup>, 杨海云<sup>1,2</sup>, 刘海声<sup>1,2\*</sup>

(1. 青海省第二地质勘查院, 青海 西宁 810003; 2. 青海省岩心钻探工程技术研究中心, 青海 西宁 810003)

**摘要:** 甘肃杨岭铁矿区的铁矿体赋矿层位为蓟县系平头山组第四岩性段浅变质碎屑岩夹泥质大理岩岩层, 地层上部完整、研磨性较强, 下部破碎、漏失严重, 且表现出较强的铁磁性。针对上述复杂地层导致的钻头寿命低、孔内事故频发、磁干扰严重等施工难题, 通过采取优化钻孔结构、合理选择钻探设备、改进冲洗液使用工艺等措施, 有效解决了上述问题, 同时对加快施工进度、提高钻探效率、节约施工成本也起到了积极的促进作用。该钻探技术经验对其他强磁性矿区的钻孔施工具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 强研磨地层; 强磁性矿区; 钻孔漏失; 钻孔弯曲度

**中图分类号:** P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0287-05

## Core drilling technology for complex strata in Yangling iron mine area, Gansu Province

LI Zengliang<sup>1,2</sup>, CHEN Yongping<sup>1,2</sup>, MU Yuanhong<sup>1,2</sup>, YANG Haiyun<sup>1,2</sup>, LIU Haisheng<sup>1,2\*</sup>

(1. Qinghai Provincial Second Geological Exploration Institute, Xining Qinghai 810003, China;

2. Qinghai Province Core Drilling Engineering Technology Research Center, Xining Qinghai 810003, China)

**Abstract:** The iron ore body in the Yangling Iron Mine area of Gansu Province is located in the fourth lithological segment of the Pingtoushan Formation of the Jixian system, which is composed of shallow metamorphic clastic rocks interbedded with muddy marble rock layers. The upper part of the strata is complete and has strong abrasiveness, while the lower part is severely fractured and leaked, exhibiting strong ferromagnetism. In response to the construction difficulties caused by the complex geological formations mentioned above, such as low drill bit lifespan, frequent accidents in the hole, and severe magnetic interference, measures such as optimizing drilling structure, selecting drilling equipment reasonably, and improving the use of flushing fluid have been taken to effectively solve the above problems. At the same time, it has played a positive role in accelerating construction progress, improving drilling efficiency, and saving construction costs. This drilling technology experience has certain reference significance for drilling construction in other strong magnetic mining areas.

**Key words:** strong grinding formation; strong magnetism; drilling leakage; borehole curvature

### 0 引言

甘肃省肃北县杨岭矿区矿权资源量品类丰富, 储量较大, 铁矿石推断资源量 2528.82 万 t, 钒矿石推断资源量 1598.50 万 t, 钒氧化物推断资源量 12.72

万 t。为进一步查明储量、品位、分布等关键信息, 为下一步开发提供直接依据, 2023 年设计钻探工作量 65000 m, 有效施工期只有 6 个月 (11 月份后矿区天气寒冷无法施工)。青海省第二地质勘查院中标该

收稿日期: 2024-03-04; 修回日期: 2024-05-30 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.044

基金项目: 中共青海省委人才工作领导小组 2022 年度青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”计划项目 (青人才字[2023]1 号); 青海省地质矿产勘查开发局 2023 年度局地质勘查项目 (第一批)“青藏高原地质钻探绿色施工技术研究与示范”(青地矿科[2023]33 号)

第一作者: 李增梁, 男, 汉族, 1992 年生, 助理工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事钻探工艺技术、钻探施工管理与研究工作, 青海省西宁市胜利路 24 号, d50273548@163.com。

通信作者: 刘海声, 男, 汉族, 1990 年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地质工程工作, 青海省西宁市胜利路 24 号, 249897642@qq.com。

引用格式: 李增梁, 陈永平, 穆元红, 等. 甘肃杨岭铁矿区复杂地层岩心钻探技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 287-291.

LI Zengliang, CHEN Yongping, MU Yuanhong, et al. Core drilling technology for complex strata in Yangling iron mine area, Gansu Province[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 287-291.

项目后,面临时间紧、任务重、地层复杂、情况多变等问题,抽调多台履带式全液压力头钻机,针对性地改进钻进工艺参数,优化钻孔机构、配置合适的冲洗液与复合堵漏等措施,顺利完成了工程任务。本文旨在总结以往钻头寿命低、孔内事故频发、磁干扰严重等问题,从钻孔结构、设备选用、钻头选择与改进、冲洗液的选择与应用、测斜设备的选择及使用等方面提供解决思路,以期为进一步勘探工作奠定良好的基础。

## 1 工程概况

### 1.1 矿区概况

甘肃省肃北县杨岭铁多金属矿普查项目位于甘肃省北山地区甘肃、新疆交界的罗雅楚山一带。矿区荒漠土壤高度盐渍化,年降雨(雪)稀少,平均不足80 mm,且年蒸发量大,在3000 mm以上。沟谷均为干沟,仅在雨季有暂时性地表洪流。区内无井泉,用水由疏勒河双塔水库至七角井二选厂的引水工程提供,供水难度大。

### 1.2 主要地层

#### 1.2.1 地层基本情况

杨岭矿区位于北山裂谷带罗雅楚山复式向斜南翼七角井次级复式背斜西转折端,主要出露地层为早古生界。其中赋矿层位为铁矿赋存于蓟县系平头山组第四岩性段( $Jx p_4$ ),钒矿赋存于下寒武统双鹰山组( $\epsilon_1 s$ ),石墨矿赋存于新太古—古元古界敦煌岩群( $(Ar_3-Pt_1)d$ )。矿区内北西—南东向褶皱构造发育,“异体共生”的铁、钒矿体赋存于背斜构造中。

蓟县系平头山组岩石组分简单,由富燧石条带的镁质碳酸盐岩及少量碎屑岩组成,其中第四岩组为“红山式”铁矿的含矿岩系,各矿区铁矿体均产于该层位之中。其顶部为绢云绿泥千枚岩夹石英砂岩;上部为磁铁矿石岩、磁铁矿层,局部地段磁铁矿呈角砾状,并含少量镜铁矿、赤铁矿,有时蚀变为阳起石、透闪石、透辉石化磁铁矿石岩;中部为数米厚石英白云石大理岩、石英砂岩,局部地段出现含砾砂质灰岩,下部为黑云绿泥绢云千枚岩。各矿区含铁岩系为石英岩型条纹状磁铁矿,具明显的层控性,但矿物组分、结构构造及矿石类型上略有差异。

#### 1.2.2 地层对钻探施工的影响

以ZK1611孔为列:该孔实际孔深870.7 m,孔

斜 $86^\circ$ ,共分17个层位,主要以砂岩、板岩为主,上部地层1~9层,孔深470 m以浅以变砂岩和花岗岩为主,变砂岩中节理裂隙发育,岩心整体较为破碎(见图1),是冲洗液漏失的主要原因。



图1 ZK1611孔内碎裂状变砂岩

深部地层10~15层,孔深470~830 m,主要以硅质板岩为主(如图2所示),板状构造,隐晶结构,硅质含量占比70%以上,岩石致密坚硬,研磨性强,钻头磨损严重进尺缓慢,寿命低,造成施工进度缓慢。



图2 ZK1611孔内硅质板岩

#### 1.2.3 含矿层分析

灰黑色碳质板岩:灰黑色,隐晶质结构,板状构造,岩石中主要矿物为:碳质(50%)、硅质(40%)、黄铁矿、磁黄铁矿(10%)。黄铁矿、磁黄铁矿呈细脉状沿板理面充填,宽度2 mm,岩石质软,重度污手,碳质分布较均匀。岩心中碳质含量普遍较高,裂隙面呈镜面状,黄铁矿呈细脉状沿裂隙充填,脉宽2 mm。据普查报告可知,钒品位与碳质含量呈正相关关系。故推测该处钒品位达到工业品位要求。

透闪石型磁铁矿矿石:灰色、灰白色,粒状结构,半自形、它形粒状结构,块状构造、条带状构造、浸染状构造及团块状构,磁铁矿富集程度高,分布不均匀。矿石矿物为磁铁矿,灰黑色,它形粒状,粒

径1 mm左右,集合体至浸染状、条带状、团块状;黄铁矿半自形粒状,粒径1 mm,呈墨点状分布;脉石矿物为透网石、方解石等,各矿物粒径较小肉眼分辨困难,脉石矿物质软,易刻画。

## 2 钻孔质量要求与技术难点

### 2.1 钻孔设计参数

(1) 钻孔设计孔深:80~900 m;孔深误差率 $<1/1000$ 。

(2) 钻孔设计倾角:矿区钻孔倾角在 $73^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,每百米倾角偏差 $\geq 1.5^{\circ}$ ,方位角误差 $\geq 2^{\circ}$ ,误差可累计。

(3) 钻孔质量要求:一般岩心采取率 $<80\%$ (黄土层、砂砾层除外);在矿化带、重要标志层、矿层与顶板交界处以上和矿层与底板交界处以下3~5 m范围内的岩心采取率 $<80\%$ ,计算分层平均采取率。若连续有2个回次(或厚大矿体中连续5 m以上)采取率 $<80\%$ 时,必须采取补救措施;在钻进至矿层附近时,采用较小水压,尽可能干钻取心。厚大矿体,按连续5~8 m计算平均采取率。其它严格按《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010)的要求进行。

(4) 钻孔终孔孔径:钻孔开孔孔径 $<110$  mm,终孔孔径 $<75$  mm,矿心直径 $<48$  mm。

### 2.2 施工过程中遇到的问题

(1) 设计提出的钻孔弯曲度要求比岩心钻探规程的要求高,所有钻孔均须使用不受地磁干扰的陀螺仪进行钻孔弯曲度测量。所有钻孔开孔后25 m应测量一次倾角和方位角,然后每钻进50 m要求测定一次,下套管前和终孔时各加测一次,测量结果应及时通知编录人员。钻孔方位的最大误差,在矿层部位和终孔时,偏离勘探线的距离 $\geq 20$  m(查明工程间距1/4)。偏斜超差时要及时设法补救,见矿点(及厚度 $>30$  m的矿体出矿点)应测定钻孔弯曲度。另该矿区磁场强,矿区含铁岩系为石英岩型条带状磁铁矿,矿层磁性强,对普通测斜仪的影响较大,特别是在方位角测量时数据会出现较大的失真现象。

(2) 矿区钻孔施工过程中冲洗液漏失严重,该区内断层带、构造带、破碎带多,地质条件不佳,地层空隙大、渗透性好,同时有裂隙、溶洞等造成的漏失,矿区范围内90%以上钻孔在250~300 m后出

现冲洗液漏失情况,不仅增加冲洗液的消耗,严重时还会引起钻孔坍塌、掉块、卡钻、埋钻等事故,给施工带来极大困难和挑战,影响整体施工进度。

(3) 矿区地层主要为研磨性强和可钻性差的坚硬地层,导致破岩效率低、钻头寿命短、钻进进尺缓慢。在所有钻孔内,进入矿层前100~500 m不等深度范围内,钻遇不同厚度的硅质板岩、含碳泥硅质板岩、碳质板岩,该层硬度高且裂隙较为发育,导致金刚石钻头磨损严重,钻头胎体中孕镶的金刚石颗粒过早失去包镶而脱落至孔底,从而加剧胎体的磨损,造成金刚石钻头钻进强研磨性地层效率低,影响整体钻孔施工进度。

杨岭矿区施工影响的因素较多,主要还是从冲洗液堵漏技术、强研磨地层钻头选择及冲洗液的匹配使用、弯曲度控制等几个方面,同时实施严格的三级质量管理、绿色勘查等工作,提高钻进效率。

## 3 钻探设计与施工技术措施

### 3.1 钻孔结构

从设计孔深、地层较复杂以及预防孔内事故的发生等方面考虑,为满足施工要求,保证深孔质量,结合以往深孔施工经验,钻孔采用三级套管四级结构。即采用 $\varnothing 150$  mm钻具钻进至一定深度下入 $\varnothing 146$  mm孔口套管,换用P口径钻具钻进至稳定地层后下入套管,再换用H口径钻具钻进(为保证深孔后期钻进顺利实施,800 m孔H口径需钻进至200 m以深)并下入套管,最后采用N口径钻具钻进至终孔<sup>[1-5]</sup>。具体钻孔结构如图3所示。

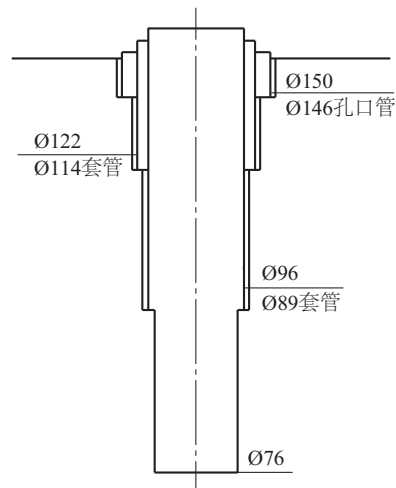


图3 设计钻孔结构示意图

### 3.2 主要设备

现场采用的钻机类型有梦迈800型便携式钻机、全液压CS14型动力头钻机、全液压CSD1800型动力头钻机、XY-44型立轴式钻机、XY-6B型立轴式钻机<sup>[6]</sup>。对应的施工孔深和数量见表1。

表1 钻机型号、数量和孔深对应表

钻机型号	数量/台	对应孔深/m
梦迈800型便携式钻机	4	≤300
全液压CS14型动力头钻	4	300~600
全液压CSD1800型动力头钻机	2	600~800
XY-44型立轴式钻机	4	>800
XY-6B型立轴式钻机	2	≥800

钻杆采用高强度30CrMnSiA地质钻杆,H、N口径抗拉强度>740 kN,抗扭能力>10810 N·m。

泥浆泵选用BW-90、BW-160、BW-250型。

### 3.3 强研磨地层钻头选择与改进

在该矿区前期施工的ZK1104孔,孔深554.7 m,倾角80°,施工过程中,进入硬岩层后180 m孔深段内就消耗20余个钻头,存在孔口返水量小,没有完全保证钻头唇面冲洗液的流速及携岩能力。肉眼观察发现,钻头唇面主要是内径磨损为主,微烧及钻头唇面拉槽(如图4所示)。

影响钻头使用寿命的因素主要包括地层本身、钻进规程及孔内排屑、钻孔孔深与孔径的大小、钻头质量与类型、钻头与钻进地层适配性等<sup>[7-11]</sup>。为提高钻进效率,中深孔钻进中适当选择高胎体孕镶金刚石钻头,依据矿区强研磨性地层的实际情况,金刚石钻头类型选择方法如表2。

针对存在的上述问题,通过室内试验,同时在前期东昆仑成矿带强研磨性地层岩石特性的调研

表2 金刚石钻头选择方法

岩石可钻性	胎体硬度(HRC)	浓度/%	粒度/目
4级以下	38~45	65~80	35~65
5~6级	35~40	65~80	42~75
7~8级	25~30	90~100	46~80
9级	20~30	80~9%	65~85
10级以上	15~20	75~90	70~85

试验基础上,为进一步更好地匹配钻遇岩石特性,设计生产胎体硬度为HRC30~35、35~40、40~45的3种系列钻头,并且在杨岭矿区特殊地层中得到较好应用,提高了钻进效率。

### 3.4 漏失地层冲洗液的选择与应用

#### 3.4.1 松散和构造蚀变带地层

(1)300.0 m以浅的孔,可选择3%~5%的低固相非分散冲洗液,配方为:水+钠土4%(质量比)+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>3%(与粘土质量比)+HV-CMC0.15%+PHP0.01%~0.03%。

(2)孔深超过300.0 m的钻孔则要选择无固相冲洗液,且需要添加润滑减阻剂<sup>[12-13]</sup>。配方为:水+NaOH0.1%+SAS3%+KHm0.5%+PHP0.05%。

钻井液性能如表3所示。

表3 松散和构造蚀变带地层钻井液性能

钻孔深度	密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	漏斗粘度/s	失水量/[mL·(30min) <sup>-1</sup> ]
300.0 m以浅的孔	1.04	25	13
孔深超过300.0 m的钻孔	1.02	21	11

#### 3.4.2 易垮塌地层

针对杨岭矿区变砂岩节理裂隙发育导致冲洗液漏失严重情况,采用无固相冲洗液加入润滑减阻



图4 钻头磨损实物

剂,同时为防止孔内掉快,加入无荧光防塌剂及广谱护壁剂<sup>[14-15]</sup>。配方为:水+PHP0.05%+Na-CMC0.25%+CZ-25 0.3%+护壁剂0.3%。钻井液性能如表4所示。

表4 易垮塌地层钻井液性能

密度/ (g·mL <sup>-1</sup> )	漏斗粘度/ s	失水量/ [mL·(30min) <sup>-1</sup> ]	泥饼厚度/ mm
1.05	32	15	0.5

### 3.5 强磁性矿区测斜仪器的选择及使用

杨岭铁多金属矿普查项目,矿区含铁岩系为石英岩型条纹状磁铁矿。矿层磁性强,对普通测斜仪的影响较大,特别是在方位角测量时数据会出现较大的失真现象。考虑到杨岭矿区钻探任务量大,施工工期短,且多个钻孔同时施工,测斜点位较多,所以测斜工作必须做到省时省力,因此选用CX-6B型陀螺测斜仪,该型无线陀螺测斜仪采用进口电子陀螺仪,是磁性矿区及在铁套管中测量钻孔方位角较理想的仪器,数据精度高,操作简便,能满足杨岭矿区的繁重测斜任务。

以实际测量ZK1611孔为例,该孔终孔孔深870.7 m,设计倾角86°,方位42°,由一台XY-44型钻机施工完成,地层岩性变化小。施工过程中孔斜的控制效果较好,为杨岭矿区90余个钻孔中最稳定、孔斜偏差最小的一个深孔,倾角偏差 $\leq 4^\circ$ 。CX-6B型陀螺测斜仪在该孔测斜运用过程中数据精度高,仪器运行稳定,为该孔的顺利施工提供了保障。

## 4 结语

杨岭铁多金属矿钻探项目2023年施工阶段,共完成87个钻孔,完成工作量34372.8 m,施工过程安全顺利,高标准完成绿色环保安全的施工要求,解决了强研磨性地层钻头匹配、破碎地层冲洗液漏失

及堵漏、强磁性矿体测斜及陡倾产状地层中孔斜控制等技术难题,得到了甲方及地质方面的高度认可,为甲方找矿提供了准确的技术资料。

### 参考文献:

- [1] 刘海声,窦斌,穆元红,等.地质岩芯钻探中绿色勘查技术的应用及成本分析[J].矿产勘查,2021,12(2):331-337.
- [2] 董强,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),2013,49(11):35-38.
- [3] 梁俭,陈永平,刘鹏.青海地质岩心钻探安全标准化建设经验及探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):81-84.
- [4] 刘海声,高元宏,刘鹏,等.青海省五龙沟矿区坑道钻探硐室围岩稳定性分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):88-92.
- [5] 刘兵.四川尔呷地吉铅锌矿区复杂地层钻探施工技术[J].钻探工程,2022,49(4):87-92.
- [6] 徐国辉,梁俭,刘鹏,等.CSD1800A型钻机在青藏高原应用效果及对比分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):42-44,54.
- [7] 刘海声,汪洪民,刘鹏,等.西藏安多县多才玛矿区强研磨性地层孕镶金刚石钻头使用效果分析[J].地质与勘探,2019,55(6):1473-1483.
- [8] 刘海声,穆元红,窦斌,等.西藏多才玛矿区钻井工艺技术及钻头寿命研究[J].中国锰业,2020,38(3):86-90,7.
- [9] 黄平.河坝井田复杂地层钻探施工技术难点及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):27-30.
- [10] 代锋,曾桂元,李林,等.元坝高研磨性地层提速提效集成钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):27-30.
- [11] 贾志刚.高研磨性地层复合式钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):9-11.
- [12] 刘鹏,王道宽,乌效鸣,等.青海野马泉矿区地层破碎程度评价及钻井液体系研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):5-9.
- [13] 李红梅,石逊.白洞铁矿南区复杂地层钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(11):30-35.
- [14] 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.
- [15] 李得新,首照兵,杨刚.川南煤田古叙矿区大村勘查区复杂地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):44-48.

(编辑 荐华)