

云南金平长安金矿大角度斜孔施工技术

汪林¹, 郎学伟², 王长如¹, 周丕安¹

(1. 中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心, 云南 昆明 650100; 2. 云南国土资源职业学院, 云南 昆明 650000)

摘要:随着近年来矿产资源勘查要求的提高, 岩心钻孔的深度及地层复杂性也不断加大, 为能精准的钻遇靶区矿体以实现地质目的, 对钻孔轨迹控制的要求越来越高。本文介绍了长安金矿 ZK2901 钻孔的施工概况, 解决了孔壁坍塌、掉块、断钻事故、钻孔超径、孔身轨迹控制、复杂地层取心等一系列施工技术难题。总结了大倾角地质取心钻孔施工的经验。为大倾角地质取心钻孔施工提供了技术借鉴。

关键词:大角度斜孔; 断钻事故; 坍塌掉块; 钻孔超径; 钻孔事故处理

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0289-05

Construction technology of large angle hole in Chang'an Gold Mine, Jinping, Yunnan

WANG Lin¹, LANG Xuewei², WANG Changru¹, ZHOU Pei'an¹

(1. Kunming Center of Natural Resources Survey, China Geological Survey, Kunming Yunnan 650000, China;

2. Yunnan Land and Resources Vocational College, Kunming Yunnan 650000, China)

Abstract: With the increasing demand for mineral resource exploration in recent years, the depth of core drilling and the complexity of strata have been increasing, leading higher requirements for controlling the trajectory of drill holes in order to accurately drill into the ore bodies and achieve geological objectives. This paper introduces the construction overview of the Z2901 drill hole at the Chan'an Gold Mine, and addresses a series of technical difficulties such as wall collapse, rock falling, broken drill accidents, borehole enlargement, trajectory control, and core sampling in complex strata. It summarizes the experience of construction of large-angle geological core drilling, provides technical references for the construction of large-angle geological core drilling.

Key words: large-angle hole; drill broken accident; collapse and falling blocks; borehole enlargement; treatment measures for hole accident

0 引言

长安金矿 ZK901 孔是在云南省红河州金平县铜厂乡长安金矿完成的一个地质取心斜孔, 设计孔深 900 m, 设计倾角 71°, 实际终孔深度 900.50 m, 采用 N 口径钻具终孔, 终孔直径 76 mm, 历时 173 d。

该钻孔主要任务是支撑长安金矿深部找矿, 设计初步查明该区 5 条金矿脉情况。钻孔开工以来, 项目组克服道路通行条件差、地质资料相对缺乏的困难, 始终贯彻绿色勘查理念, 筑牢安全生产防线, 采用科学合理的手段有序推进钻探施工稳步实施。

项目组成员齐心协力, 迎难而上, 攻克了大角度斜孔钻探施工中坍塌、掉块、钻具脱落等难题, 为矿山深部找矿、增储上产提供了实物资料支持, 有效支撑该区大型金矿资源基地建设。

1 工作区地质概况

1.1 区域构造

工区位于康藏“歹”字形巨型构造体系的南部分支, 构造的主要特征有: 褶皱和断裂均成明显的线状, 延长一般在数十甚至数百公里; 褶皱和断裂

收稿日期: 2024-12-04; 修回日期: 2025-03-17 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.045

第一作者: 汪林, 男, 汉族, 1980 年生, 高级工程师, 固体钻探高级技师, 探矿工程专业, 从事钻探技术与施工管理工作, 云南省昆明市西山区春雨路 1566 号, 1525055105@qq.com

引用格式: 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): 289-293.

WANG Lin, LANG Xuewei, WANG Changru, et al. Construction technology of large angle hole in Chang'an Gold Mine, Jinping, Yunnan[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 289-293.

大致呈平行相间排列,主要走向为北西西至北西,且整体上有向东南变宽(撒开)、向北西变窄(收敛)的趋势。

ZK2901孔位于哀牢山逆深大断裂北支以北,哀牢山逆深大断裂北支沿哀牢山南侧哀牢山群地层和奥陶系地层交界线延伸。

断裂对长安金矿主矿体起重要控制作用,断层破碎带中的喜山期岩浆岩(煌斑岩、辉绿岩、正长岩、正长斑岩等)带来的后期成矿流体萃取了围岩中的矿质,使初期的矿化体不断富集形成工业金矿体。在岩体(脉)中的裂隙和岩体接触蚀变带,形成脉状、透镜状小而富的金矿体^[1]。

1.2 地层情况

ZK2901孔层位自上而下依次为:

(1)奥陶系中统南板河组一段(O_2n^1):孔段0~275.61 m,岩性主要为细砂岩、粉砂岩;

(2)奥陶系中统南板河组二段(O_2n^2):孔段275.61~470.96 m,岩性主要为浅灰色细晶中层状(含)灰质白云岩;

(3)奥陶系中统南板河组三段(O_2n^3):孔段470.96~678.77 m,岩性主要为浅灰色细晶中层状灰质白云岩;

(4)奥陶系大坪子组(O_2dp):孔段678.77~746.65 m,厚5.30 m,岩性主要为浅灰色中层状含钙质粉砂岩;

(5)志留系中一上统康廊组($S_{2-3}k$):746.65~900.5 m,岩性为白灰色中层状灰质白云岩。

各地层中有火成岩侵入,岩性主要为正长岩、煌斑岩、辉绿岩。近地表岩层风化强烈,风化为黏土状、碎块状,随孔深风化强度减弱。总体上,侵入火成岩、断层及次生节理附近岩石较破碎。

2 钻孔技术要求及施工难点

2.1 钻孔设计参数^[2]

ZK2901孔设计孔深900 m,目的层为5层侵入矿体,终孔层位为志留系中一上统康廊组($S_{2-3}k$)。开孔倾角 71° ,方位 250° ,全孔段取心。

2.2 钻孔质量要求

(1)围岩岩心采取率 $\geq 80\%$,矿心及顶底板5 m内围岩采取率 $\geq 85\%$,厚大矿体内部岩心采取率 $< 85\%$ 的连续长度 ≥ 5 m,终孔孔径 ≥ 75 mm,取心直径 ≥ 46 mm;

(2)开孔25 m处进行一次倾角和方位角测量,每钻进50 m及终孔时进行孔深校正、钻孔弯曲度及方位角的测量,孔斜度测量允许顶角最大偏差为 $3^\circ/100$ m;

(3)孔深校正最大允许误差 $< 1\%$ 。

2.3 施工难点

(1)地层复杂不稳定:钻孔穿越断层带,钻孔穿插多条火成岩带,岩性主要为正长岩、煌斑岩、辉绿岩,其中煌斑岩容易出现事故,多为坍塌、掉块、极易形成孔内大肚子等。

(2)钻孔漏失严重:穿越奥陶系中统南板河组第二、三段主要岩性为灰质白云岩,存在较多孔隙和裂缝,渗透性强,易发生漏失。

(3)施工难度大:钻孔顶角大、钻孔直径小。施工过程中,一是倾斜度就大,容易产生应力集中,地层不稳定,容易发生坍塌、缩径、掉块。钻孔直径及环状间隙小,环空流动阻力大、泵压高,泥浆上返困难,上部孔段无法护壁,孔内压力失衡,钻杆与地层摩擦力进一步加大。

3 钻探工艺

3.1 钻探设备选择

钻机:本钻孔选用XY-44A型钻机,该型钻机质量轻,可拆性好,钻机净重2300 kg,主机可分解为10个部件(最大可拆部件质量300 kg),搬迁方便,宜于山区工作。 $\varnothing 71$ mm绳索取心钻杆额定钻进深度可达1000 m,钻孔角度设计为 $0\sim 360^\circ$ 。

钻塔:SG18型直斜四角钻塔,承载能力160 kN,塔架质量4.6 t,钻杆最大提升高度15 m。

泥浆泵:BW-250型卧式三缸单作用活塞泵,缸径80 mm,流量250、145、90、52 L/min,质量760 kg。

测斜仪器:根据地质要求,采用JTL-40FW型无缆光纤陀螺测斜仪,可满足对矿区磁场及套管垂直或定向孔的顶角和方位角的高精度测量要求。

主要钻探设备配备情况见表1。

3.2 施工工艺

3.2.1 钻孔结构

采用 $\varnothing 150$ mm口径开孔穿过松散层后采用P口径钻具施工至150 m,换H口径钻具施工至500 m,最后采用N口径钻具施工达设计孔深900 m。

实际钻孔结构:施工过程中,因地层复杂,塌陷严重等问题,实际施工的钻孔结构为:一开采用 $\varnothing 150$ mm口径开孔至3.8 m,下入 $\varnothing 146$ mm套管4.0 m;二

表 1 钻探设备				
名 称	型 号	数 量	备 注	
钻机	XY-44A 型钻机	1 台	56 kW 柴油机	
钻塔	SG18 型	1 副		
泥浆泵	BW-250	2 台		
绳索取心绞车	JS-1500	1 台		
泥浆搅拌机		1 台	500~700 r/min	
发电机		1 台	30 kW 备用	
泥浆测试仪	便携式	1 套		
测斜仪	JTL-40FW	1 套		

开采用 P 口径绳索取心钻具(钻头 $\varnothing 122\text{ mm}$,扩孔器 $\varnothing 122.5\text{ mm}$)钻进至 163.5 m,下入 P 口径钻杆(钻杆外涂抹二硫化钨锂基润滑脂)进行护壁;三开采用 H 口径绳索取心钻具施工至 310.50 m;四开采用 N 口径绳索取心钻具施工至 900.5 m 终孔。钻具主要规格参数见表 2,实际施工的钻孔结构图见图 1。

表 2 钻具主要规格参数 ^[3]					
钻具规格	钻杆规格/mm		钻头规格/mm		对应使用扩孔器规格/mm
	外径	壁厚	内径	外径	
N	70.1	5.05	47.6	75	76
H	89.0	5.60	63.5	96	96.5
P	114.3	6.30	85.0	122	122.5

3.2.2 钻进技术参数

该孔 0~3.8 m 采用无泵干钻法钻进,后采用绳索取心钻进工艺。由于该孔水位低、不返水,且存在严重的跑斜和断钻问题,在 H 和 N 口径金刚石绳索取心钻进时,采用的钻进规程参数值比较低,主要采用的技术参数范围如下:钻压:8~20 kN(根据孔斜情况进行调整);0~300 m 孔段转速:300~400 r/min;300~900.50 m 孔段转速:350~450 r/min;泵量:90 L/min。

3.2.3 钻探冲洗液

根据矿区以往邻孔资料提示,该孔钻遇粉砂

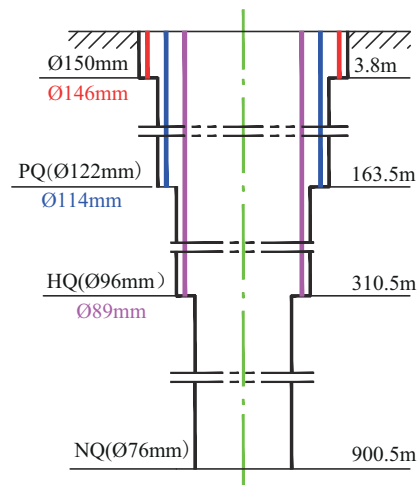


图 1 长安金矿 ZK2901 孔实际施工钻孔结构

岩、泥岩、煌斑岩及断层破碎带等孔壁不稳定地层时,极易发生坍塌、掉块。邻孔施工过程中,出现了返出岩屑尺寸增大,数量增多并混杂;泵压增高且不稳定;扭矩增大,蹩钻严重;提拉钻具遇卡,下放钻具遇阻;接单根、下钻发生卡钻或无法扫至孔底;孔径扩大,出现大肚子等诸多现象。

针对上述复杂地层,为实现孔壁稳定,主要使用低固相不分散冲洗液,提高孔壁稳定。

冲洗液体系设计:冲洗液配方中考虑添加防塌剂、堵漏剂等添加剂,使其具有良好的稳定性,能够抵抗温度、压力等因素的影响,保持其性能的持久性,防塌剂在部分裂隙中发挥作用,使钻孔水位较高,降低钻探过程中的摩擦阻力,减少设备磨损,提高钻探效率。

配方:钠土粉 3%~5%,纯碱(Na_2CO_3) 0.1%,羧甲基纤维素 0.7%,803 大裂隙堵漏剂 1%~4%,聚丙烯酰胺 0.2%~0.5%,低荧光防塌护壁降失水剂 0.5%~1.2%。

性能:本次钻探采用的冲洗液抽样测试后,基本性能指标见表 3。

表 3 冲洗液性能参数									
密度/ ($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH 值	失水造壁性			漏斗黏度/s	表观黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	塑性黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	动切力/ Pa	静切力/ Pa
		气压/MPa	失水量/ $[\text{ml}\cdot(30\text{min})^{-1}]$	泥皮厚度/mm					
1.06	8	0.7	12.3	0.6	23.25	4.6	4.4	0.2044	2.4528

3.3 孔斜的控制

3.3.1 造成孔斜的主要原因

(1)地质因素:地层的完整程度、软硬互层、地

层产状等。

(2)工程因素:钻具组合配置的合理程度,钻进参数选择的合理性,钻进操作造成钻具工作不稳

定等^[4]。

3.3.2 钻孔防斜措施

(1) 钻机安装: 钻机安装稳固、水平, 确保孔口、回转器、天车“三点一线”。严格按照设计要求确定钻孔顶角、方位角。

(2) 钻孔结构设计: 为提高钻进效率, 在满足钻孔护壁要求的前提下, 尽量减少换径次数, 简化钻孔结构^[5]。本孔设计三级孔径施工, 采用Q系列绳索取心钻具, 孔壁间隙小, 具有较强的稳定性和自定性。由于钻具与孔壁的间隙能够影响钻头的侧向力, 当钻具与孔壁间隙减小时, 能够减小钻孔弯曲, 达到预防孔斜的效果^[6]。

(3) 开孔: 采用锋利的钻头开孔, 钻杆不得偏摆, 低压慢转, 钻速均匀。上部采用组合防斜钻具, 倒塔式钻具钻进, 确保其中心线一致, 能起到较好的防斜效果; 下部采用金刚石绳索取心满眼钻进^[7]。

(4) 换径时, 先下入上一级钻杆作为套管护壁。钻进施工时先轻压慢转, 待钻具完全钻入新地层1~2 m后, 再逐渐提高转速钻压, 以保证钻孔沿原有的孔斜轴线延伸, 防止孔斜异常^[7]。

3.3.3 钻孔测斜及纠斜

该孔根据要求钻至25 m进行一次测斜, 之后每50 m均按规范进行测斜。

当孔斜情况超出设计轨线 $>3^\circ$ 时, 采取一定的纠斜措施:

(1) 加重钻具纠斜^[8], 充分利用钻具自然下垂, 在松散和破碎地层, 延长钻进时间, 使用加重钻具, 使顶角下垂。钻具压力适当加大, 依靠钻具重力进行纠斜。

(2) 水泥封孔纠斜^[9], 发现钻孔弯曲严重, 可以采用水泥封孔, 水泥凝固后重新钻进, 在钻孔弯曲超标, 控制钻速, 减小钻压, 磨出新孔, 钻孔弯曲达到要求后再继续钻进, 以达到纠斜目的。

(3) 更换大径钻具(或扩孔器直径加大3~5 mm)进行扩孔纠斜。

4 遇到的问题及解决措施

4.1 孔壁坍塌、掉块及断钻事故的处理

钻孔施工至163.5 m处, 孔内不返水, 泵压高, 施工无法正常加杆, 反复提升钻具扫孔无效。

处理过程: 根据邻孔经验, 此段上层处有大量的粉砂岩、煌斑岩, 且于145.3 m附近见断层破碎带。故推断施工至孔深163.5 m时上部孔壁坍塌、

掉块。起拔P口径钻具进行扩孔至163.5 m处, 下入P口径套管护壁。该段扩孔时冲洗液采用植物胶+低荧光防塌剂+黏土+纤维素+聚丙烯酰胺0.01%; 转速约240 r/min, 轻压力, 多次上下提动钻具, 清除部分掉块及坍塌物, 在冲洗液护壁作用下快速到达相对稳定地层, 多次采用钢丝绳提动钻具上下探视, 无阻力后快速下入P口径钻杆作为套管。

孔深246.50~264.30 m位于断层破碎带, 为粉砂岩、泥岩、煌斑岩等(见图2)。出现大量的坍塌掉块, 经过反复扫孔, 下钻孔内负荷较大导致H口径钻杆在249 m处折断。



图2 246.50~264.30m 岩心情况

处理过程: 分析论证后采用 $\varnothing 89$ mm正丝丝锥进行打捞, 反复几次没有成功, 猜测H口径事故头可能被该孔段泥沙掩盖。后下入N口径钻具透孔, 下到247 m处时遇阻, 旋转钻具开泵进行透孔, 穿过钻杆折断处(249 m)到253 m处尚未碰到事故头, 钻具进尺缓慢且平稳, 打捞内管后有完整的岩心。根据经验判断, 已经发生孔斜, 偏过了事故头, 很难再找到原孔位。采取灌浆注孔, 水泥浆凝结之后施工与预期完全相符, 自然导斜偏离事故孔段(250 m进行测斜, 偏斜前数据为方位角 251.7° , 倾角 76° ; 偏斜之后测斜数据方位角 252° , 倾角 76.5°)。

灌浆注孔后, 正常施工至孔深319 m处, 计划下入H口径钻杆作为护壁管, 提升钻具至孔口时出现H口径钻具及3根钻杆脱落。采用正丝丝锥进行打捞, 丝锥无法下到预定位置(只能下到248 m处)。该孔段岩心也是粉砂岩、煌斑岩等, 采用透孔、干采等手段均无法正常触碰到事故头(主要是钻具脱离该孔段后无法再下入到该位置, 立轴钻机不完全具备跟管钻进能力), 经过论证采用H口径薄壁钻头强力下到事故头位置后上提2 m(防止下入N口径钻具不正切割到底部钻杆), 而后下入N口径钻具切割H口径钻头内台阶, 完全切磨成功之后, 打捞

出底部岩心再把H口径钻具继续降到事故头,N口径钻杆留在内部作为导正,最后采用水泥灌浆进行封堵和稳固底部钻杆,防止后期施工中N口径钻杆无法正常上下钻。

4.2 钻孔超径处理

事故情况:钻孔施工到686.58 m处,产生3次断钻现象,均在348 m处,推断该处形成的空间比较大。

处理过程:采用空中架桥方式进行灌注水泥浆进行封堵,空中架桥(NQ钻具扩孔器外径 $\Phi 77$ mm,钻头 $\Phi 76$ mm,采用 $\Phi 75$ mm的木棍长1.3 m,外围用铁丝和部分绳子捆绑,直径约80 mm,能够使用钻杆自身的压力把封堵器压到预定位置360 m左右),实际使用水泥3 t,水灰比为0.4。按照计算3 t水泥可以灌注498 m,用分段封控方法下入钻杆进行试探情况,第一次灌注1 t水泥浆停待12 h之后下入钻杆探底,在430 m处见到水泥。后又灌注水灰比0.4的水泥2 t,停待16 h之后进行钻具探底,在330 m处见到水泥,并打出完整水泥柱(见图3)。灌浆成功封堵住348 m处空腔。



图3 空中架桥取出的水泥柱情况

5 施工质量情况

钻孔质量指标完全达到地质设计要求,钻孔深900.50 m,取得岩心819.45 m,全孔岩心采取率91%,终孔直径76 mm,岩心直径最小45 mm;平均每50 m测量一次钻孔弯曲度,钻孔最大倾角 76.5° (301 m处),方位角最大 252.7° (400 m处),每100 m进行校正孔深一次,孔深误差均低于1‰;全孔用P.O 425水泥封闭,水灰比0.5,符合钻孔设计要求;原始报表准确、完整、规范。

6 结语

长安金矿ZK2901钻孔地层复杂,钻孔倾角大,偏斜要求高,施工难度极大。施工中攻克了大角度斜孔在坍塌、掉块、钻具折断等施工中出现的难题,最终该孔圆满完成,但该工艺方法效率过低,未能达到理想的经济技术指标。通过摸索实践,总结出深斜孔施工的若干要点:

(1)斜孔施工防斜应以预防为主,纠斜为辅,按要求进行测斜^[10]。防斜主要从钻机安装稳固、水平,合理的钻孔结构设计及合理的钻进参数。纠斜可采用加重钻具、水泥封孔、使用大径钻具等措施。

(2)破碎地层施工应进行深入的冲洗液体系统设计,严格冲洗液配制及使用,以防止孔壁坍塌掉块。

(3)今后在该矿区施工,适当增大开孔孔径,增加1~2级钻孔结构,可有效预防事故,并达到理想的经济技术指标,同时可探讨新工艺新方法在该矿区的适用性。

参考文献:

- [1] 王利东,周云满,余红平.云南金平长安金矿床地质特征及成矿规律研究[J].矿产与地质,2014,28(4):466-472.
- [2] 易强忠,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.
- [3] 王洪涛,罗伟,焦卫兵,等.厄立特里亚Zara金矿大角度斜孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):7-12.
- [4] 王洪涛.柴家沟钼矿复杂地层岩心钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):37-40.
- [5] 张文庆.孙家庄铁矿初级定向钻进及防斜措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):22-23.
- [6] 吴昂昂,吴邦俊.沙溪矿区钻孔防斜纠斜技术方法探讨[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.中国地质学会探矿工程专业委员会:中国地质学会探矿工程专业委员会,2015:216-220.
- [7] 时志兴.洛宁程家沟-沙沟银多金属矿中深斜孔钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):9-13.
- [8] 时志兴,翟东旭.大顶角钻孔施工探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):61-63.
- [9] 时志兴,翟东旭,王江平.大顶角钻孔钻探技术研究[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.中国地质学会探矿工程专业委员会:中国地质学会探矿工程专业委员会,2015:284-289.
- [10] 赵永利,时志兴,王春永,等.陕县中家窑矿区斜孔钻进及主要防斜措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2021,48(S1):106-110.

(编辑 王文)