

云南金平长安金矿大倾角钻孔绳索取心施工技术

易强忠¹, 郎学伟², 周兴华¹, 王晓松², 王森³

(1.云南地质工程第二勘察院勘探分院,云南楚雄 675000; 2.云南国土资源职业学院,云南昆明 671000;
3.云南建投第二安装工程公司,云南昆明 671000)

摘要:金平长安金矿区矿体以硫化矿形式赋存于砂岩中,属于埋藏较深、倾角较陡、勘查难度较大的金矿。矿区的勘查钻孔设计范围为:方位 70°~250°、倾角 30°~75°、孔深 100~800 m。针对该矿区地层呈现硬、碎、漏复杂情况,钻孔设计倾角大、孔斜要求高等特点,采用了新型设备(XDJ-4 型全液压岩心钻机)钻孔及低粘、低密度、润滑性好的冲洗液护壁方法,采取“控制钻机安装”、“减速法”或“小径导向增压纠斜法”等措施进行控斜及纠斜。有效地解决了易斜、易漏等斜孔施工问题,保质保量按期完成了施工任务,取得了很好的经济和社会效益。本文总结了该矿区大倾角钻孔施工中的部分经验和存在问题,为同类工程施工提供了较好的参考。

关键词:金矿勘查;大倾角斜孔;防斜纠斜;复杂地层;绳索取心

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)04-0048-08

Wire-line coring for large inclination boreholes in Chang'an Gold Mine, Jinping, Yunnan Province

YI Qiangzhong¹, LANG Xuwei², ZHOU Xinghua¹, WANG Xiaosong², WANG Sen³

(1.Exploration Branch, Second Prospecting Institute of Geological Engineering in Yunnan, Chuxiong Yunnan 675000, China;

2.Yunnan State Land Resources Vocational College, Kunming Yunnan 671000;

3.Yunnan Construction and Investment Second Installation Engineering Company, Kunming Yunnan 671000, China)

Abstract: The ore bodies of Jinping Chang'an Gold Mine exist in sandstone in the form of sulphide deposits, which has the characteristics of deep burial, steep dip and difficult exploration. In the design of exploration boreholes in the mining area, the azimuth ranges from 70° to 250°, the inclination from 30° to 75°, and the borehole depth from about 100m to 800m. In view of the complex situation of hard, broken and leaking formation, and with the large designed inclination and strict requirement on hole deviation in this mining area, a new type of drilling equipment (XDJ-4 full hydraulic core drilling rig) was adopted for drilling with flushing fluid of low viscosity, low specific gravity and good lubricity for borehole wall protection. Control and correction of borehole deviation were carried out by taking measures such as control of drilling rig installation, deceleration method, small diameter pilot drilling followed with correction of deviation by increase of WOB. As a result, the construction difficulties such as easy deviation and leakage were effectively solved, and the project was completed with high quality and full quantity as well as on schedule, achieving good economic and social benefits. This paper summarizes some experience and existing problems in the construction of large inclination boreholes in this mining area, which provides good reference for the construction of similar projects.

Key words: gold exploration; inclined hole with large dip; deviation control and correction; complex stratum; wire-line core

0 引言

金平长安金矿经过多年地质勘查、只探明金矿在地表局部以氧化形式赋存,虽然采用多种常规勘查方式都没有发现较大金矿体的存在。2009 年地

质技术人员设计、采用 30°~75°大倾角钻孔施工技术后,在该矿区获得了较大的找矿突破,查清了金矿在地下深部以硫化矿形式赋存。而且该金矿体以倾角 30°~70°,呈 250°~70°方位隐伏于地下深部。

收稿日期:2018-05-10; **修回日期:**2019-03-04 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.04.009

作者简介:易强忠,男,汉族,1971 年生,探矿工程专业,从事钻探技术研究与施工管理工作,云南省楚雄市鹿城南路 516 号,1936987252@qq.com。

引用格式: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.

YI Qiangzhong, LANG Xuwei, ZHOU Xinghua, et al. Wire-line coring for large inclination boreholes in Chang'an Gold Mine, Jinping, Yunnan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):48-55.

2010—2015 年设计布置了共计 5 万余米的钻探工作量。云南省地质工程第二勘察院勘探分院在此矿区使用了 6 台 XY-2T/XY-4T/XY-44T 型钻机进行绳索取心工艺施工。为加快勘查施工进度,甲方要求需投入部分全液压绳索取心钻机进行施工,经专业技术人员多方考察和厂方专业技术人员探讨研究,最终确定采用山东省地质探矿机械厂设计生产的 XDJ-4 型分解式全液压钻机施工。

1 项目概述

1.1 矿区地理

长安金矿区位于云南省金平县铜厂乡境内,金平至老猛省级公路从金矿首采区边通过,矿区距昆明 453 km,距中越那发口岸 40 km,属边疆地区,交通便利。

1.2 矿区区域构造

长安金矿地处金平断块中南部,该区的金矿(化)带处于甘河断裂与三家断裂夹持的三角形断块的中南缘,并展布于甘河断裂与藤条河大断裂夹持的条形断块内,受甘河断裂的影响,金矿体呈带分布于甘河断裂的破碎带内及其两侧的蚀变基性岩内,矿带北西向延伸长几十千米,在马鹿塘附近与哀牢山断裂呈锐角交汇;沿带有长安金矿、董棕河金矿、铜厂金矿、长安冲金矿、亚拉坡金矿及马鹿塘金矿等。与白马寨铜镍矿和铜厂—长安冲铜铅矿相伴产出,与大坪金铜铅银矿带和勐拉铜矿带间隔并列,形成金平断块多金属成矿集中区。

区内除发育北西向断裂外,北东向断裂也较发育。两者相互作用,造成岩浆活动和成矿作用在区内较为普遍,形成了“遍地是金”的现象。

矿区内与成矿关系最为密切的主要断裂构造有 F6(系长安金矿最主要的控矿断层,总体走向 $160^{\circ}\sim 340^{\circ}$,倾向 70° 左右)、F10-1(走向近东西,倾向北,倾角 $20^{\circ}\sim 45^{\circ}$)、F10-2(走向 $120^{\circ}\sim 80^{\circ}$,倾向 $210^{\circ}\sim 170^{\circ}$,倾角 $50^{\circ}\sim 85^{\circ}$)。

1.3 矿区地层情况

矿区范围内出露的地层为第四系、志留系中上统、奥陶系下统:

(1)第四系(Q)大面积分布于铜厂矿段,系矿区主要含金层位。黄、褐黄、褐黑、灰色砾石粘土,分布于沟谷及山间地带。成分为正长岩、正长斑岩、辉绿岩、煌斑岩、白云岩、砂泥岩的风化残坡积物。

(2)志留系中上统康朗组($S_{2-3}k$)为灰白色、浅灰色厚层状灰质白云岩、砂屑白云岩,夹薄层状白云质灰岩。

(3)奥陶系下统向阳组(O_1x),向阳组二段(O_1x^2)为浅灰色、灰白色厚层状长石石英粉砂岩、细砂岩、含砾长石石英粗砂岩、砾岩夹灰色薄层粉砂质泥岩透镜,局部具硅化、黄铁矿化。向阳组一段(O_1x^1)为深灰色、灰黑色,薄—厚层状泥质板岩、粉砂质板岩组成。夹浅灰色透镜状变质粉砂岩、细砂岩。

(4)矿区主要容矿岩石为构造岩类,但金矿化对构造岩的原岩岩性具有选择性,从矿区坑钻工程控制及矿山剥采情况看,原岩为奥陶系向阳组碎屑岩的构造岩(泥砂质或砂质碎裂岩、角砾岩和糜棱岩、断层泥等)往往金矿化较好,局部富集形成工业金矿体。

1.4 钻孔技术要求

(1)孔深根据地层倾角情况分别设计在 $100\sim 800$ m。

(2)倾角 $30^{\circ}\sim 75^{\circ}$,方位根据地层走向分别设计为 70° 、 75° 或 250° ,钻孔参数设计如表 1 所示。

表 1 长安金矿部分钻孔设计参数

矿段	孔号	方位角/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	设计孔深/m
长安矿段	ZK1504	70	64	700
	ZK1504	70	71	690
	ZK506	250	57	560
	ZK2702	70	61	680
	ZK1504	70	63	580
	ZK2705	70	62	580
	ZK3902	70	60	500
	ZK208	250	50	800
	ZK705	70	45	250
	ZK505	70	50	320
	ZK001	70	53	700
	ZK301	70	32	280
	ZK303	70	38	350
	ZK203	70	33	330
ZK205	70	31	350	
铜厂矿段	YZK015	75	58	700
	YZK510	75	59	650
	YZK511	75	51	560
	YZK608	75	52	600
	YZK610	75	50	710
	ZK3902	70	50	500
	ZK711	250	50	700
ZK1108	70	49	550	

(3)岩心质量要求:岩心采取率 $>80\%$,矿心采取率 $>85\%$ 。

(4)钻孔弯曲度要求:终孔后倾角误差 $<1^\circ/100\text{ m}$,方位不得超过50 m勘探线间距夹角的 $1/4$ 。

(5)其它要求按照《地质岩心钻探技术规程》(DZ/T 0227-2010)钻探工程六项质量指标执行。

(6)钻孔结构设计开孔不限口径,为保证地质取样数量及质量,孔深500 m以浅岩心直径 $\leq 60\text{ mm}$,孔深500 m以深岩心直径 $\leq 45\text{ mm}$ 。

2 钻孔施工技术难点^[1]

(1)倾角大:该矿区地层倾角较陡,钻孔设计倾角均在 $30^\circ\sim 75^\circ$ 之间,普通钻探设备无法完成大倾角钻孔的施工,须采用机械液压塔机一体或全液压钻机才能满足该矿区的钻孔施工任务。

(2)地层变化复杂:0~50 m大多为全风化残坡积物,系矿区主要氧化矿的含金层位,护壁、采心较困难,为确保岩心采取率地质设计要求必须使用干钻取心。地质结构复杂、地下水活动强烈、裂隙发育丰富,钻孔施工中冲洗液漏失严重。

(3)志留系中上统康朗组(S_{2-3k})段地质结构复杂、地下水活动强烈、裂隙发育丰富,钻孔施工中冲洗液漏失严重。

向阳组二段(O_1x^2)局部硅化,岩石硬度级别高且部分为“打滑”地层;

奥陶系向阳组构造岩多为破碎、容易垮塌、易水敏缩径、护壁较为困难。

(4)钻孔结构:钻孔设计500 m以浅岩心直径 $\leq 60\text{ mm}$,500 m以深岩心直径 $\leq 45\text{ mm}$,加之钻孔倾角设计较大,增加了钻孔的施工难度及绳索取心钻杆、钻具的使用选配难度。

(5)钻孔倾角、方位的设计要求增加了钻孔施工中的防斜、保斜、纠斜难度。

3 钻探主要设备

3.1 钻机选型

(1)常规设备:根据矿区钻孔各项技术设计要求及施工难度,本矿区施工钻机采用XY-44T/XY-4T/XY-2T塔机一体型(见图1),可分别满足孔深100~1000 m、倾角 $30^\circ\sim 75^\circ$ 的钻孔施工。

(2)新型设备:甲方要求须在原施工基础上采用20%的新设备、新工艺作为进一步合作的条件,由于



图1 XY-44T塔机一体型钻机

Fig.1 XY-44T rig with integrated tower

常规使用的全液压钻机不能拆卸、分解搬运,无法适应本矿区的钻孔之间人工搬运条件,经过组织技术人员到国内全液压钻机主要生产厂家多方考察,最终决定采用山东省地质探矿机械厂生产的XDJ-4型全液压岩心钻机(见图2)作为新型设备投入矿区施工。



图2 XDJ-4型全液压岩心钻机

Fig.2 XDJ-4 full hydraulic core drill

3.2 泥浆泵

由于BW-250/52型泥浆泵具有拆卸搬运、维修方便,适应范围广的特点,矿区钻孔施工统一使用BW-250/52型泥浆泵。

3.3 钻孔测斜设备

在使用常规的KXP-2D型数字罗盘测斜仪的基础上,应甲方要求增加JTL-40FW型无缆陀螺测斜仪^[2]作为新设备的投入,该测斜仪具有多点测量,测量倾角、方位角精度高,全方位防磁性干扰功能,故障率低的特点,可完全满足该金属矿区钻孔施工中倾角、方位的监测要求。

4 钻孔施工方法

4.1 钻孔结构

根据地质技术要求及地层情况,钻孔施工分别采用 $\phi 150/146$ 、 $131/127$ 、 $110/108$ 、 96 、 76 mm 四级口径和三级套管的技术措施(见图 3),其中 $\phi 110/108$ mm 口径预留在复杂地层中作为备用口径施工使用。

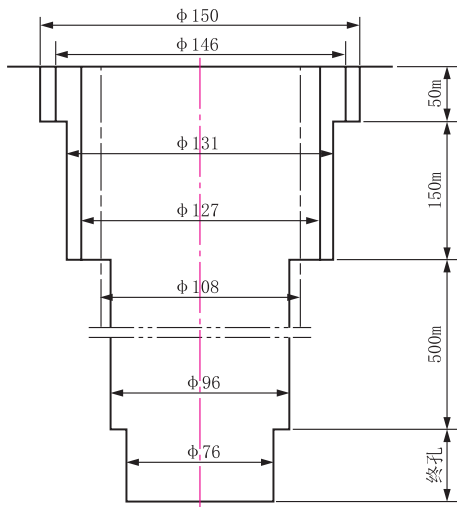


图 3 长安金矿区钻孔结构参考图

Fig.3 Reference diagram of borehole structure in Chang'an Gold Mine Area

4.2 钻进方法

(1)开孔地层为全风化的残坡积物,地层特征局部含 Au 氧化矿,风化强烈遇水冲蚀即无心、取心困难。开孔采用 $\phi 150$ mm 口径、“无泵”反循环干钻取心,开孔钻具要保证按 $0.50/1.00/2.00/4.00$ m 级数变化按序施工,使用套管扩孔钻进穿过覆盖层后下入 $\phi 146$ mm 套管护壁^[3]。

(2)中部地层为志留系中上统康朗组(S_{2-3k}),岩性特征为蚀变碎裂、角砾、糜棱化严重、裂隙发育。该段地层施工中全部钻孔漏失较严重、个别钻孔出

现“抽吸现象”、取心困难,经过研究总结将 $\phi 122$ mm(PQ) 绳索取心的钻头尺寸加大至 $\phi 131.5$ mm^[4] 进行钻进施工,钻穿后下入 $\phi 127$ mm 套管护壁^[5]。

(3)下部地层为奥陶系向阳组二段(O_{1x^2}),特点是坚硬、打滑;向阳组构造岩为泥砂质碎裂岩、角砾岩和糜棱岩、断层泥,特点为破碎、易垮塌、水敏缩径、漏失严重、护壁困难(参见图 4)。钻进方法采用 $\phi 96/76$ mm 两级绳索取心钻进取心,复杂及严重漏失孔段采用 $\phi 110$ mm 扩孔、下入 $\phi 108$ mm 套管护壁方法进行施工。孔深若到 500 m 深则换 76 mm 口径施工,如遇角砾岩和糜棱岩、断层泥严重影响,绳索取心钻进工艺无法顺利穿过时,则采用 96 mm 口径扩孔解困后使用 $\phi 76$ mm 绳索取心钻进施工直至终孔(见表 2)。



图 4 长安金矿区部分岩心

Fig.4 Local cores of Chang'an Gold Mine

表 2 矿区地层特征及钻具配置

Table 2 Stratum characteristics in the mine and drilling tool configuration

钻头直径/mm	扩孔器直径/mm	套管直径/mm	地 层 情 况	地 层 特 征	取心方式	备注
150	151	146	全风化的正长岩、正长斑岩、辉绿岩、煌斑岩、白云岩、砂泥岩的风化残坡积物	风化,取心较难	“无泵”反循环	
131	131.5	127	灰白色、浅灰色厚层状灰质白云岩、砂屑白云岩、夹薄层状白云质灰岩	蚀变碎裂,角砾化,裂隙发育,漏失严重	绳索取心	
110	111	108				备用口径
96	96.5	89	8~9 级的长石石英粉砂岩、细砂岩、含砾长石石英粗砂岩、局部硅化	岩石硬度级别高且部分为“打滑”地层	绳索取心	
76	76.5		泥砂质碎裂岩、角砾岩和糜棱岩、断层泥	破碎,易垮塌,水敏缩径,护壁困难	绳索取心	

4.3 钻进参数

(1)开孔地层钻进施工中钻压过大容易造成孔

斜,钻进中只要开泵岩心即被冲蚀干净、产生“空管无心”现象,且要保证孔斜 $<1^\circ/100$ m,所以开孔地

层采用 $\varnothing 150$ mm“低转速(120~150 r/min)、轻压力(3~5 kN)、干钻(无泵)”钻进方法施工。

(2)中部灰质白云岩、砂屑白云岩、白云质灰岩段岩石硬度不高,但采用 $\varnothing 122$ mm(PQ)绳索取心的钻头、扩孔器尺寸加大至 $\varnothing 131$ 和 131.5 mm 的钻进方法时,在大倾角斜孔施工中,钻压过大则容易产生孔斜超差,所以钻进参数采用本矿区施工总结的经验值:转速 370~500 r/min、压力 5~7 kN、泵量 90~135 L/min。

(3)下部为长石石英粉砂岩、细砂岩、含砾长石石英粗砂岩、硅化较强,岩石硬度高(7~8级)、容易打滑,采用 $\varnothing 96$ 和 76 mm 口径金刚石绳索取心钻进施工需使用较大的钻压和较高的转速、较锋利的钻头才能产生钻进效益,由于地层岩石较硬加之钻孔设计倾角近似垂直于岩层,因此在钻进中施加较大的钻压、转速不致产生孔斜(钻进施工参数见表 3)。

表 3 长安矿区施工钻进参数经验值

Table 3 Empirical values of drilling parameters in the Chang'an Mining Area

钻进口径/mm	钻进地层	钻进方法	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
150	第四系	复合片干钻	3~5	120~150	
131	白云岩、灰岩	金刚石绳索取心	5~7	370~500	90~135
96	长石石英粉砂岩、细砂岩	金刚石绳索取心	10~15	500~800	70~90
76	长石石英粉砂岩、细砂岩、含砾长石石英粗砂岩	金刚石绳索取心	8~12	500~800	52~70

4.4 冲洗液

4.4.1 冲洗液的应用

(1)长安矿区上部地层第四系为全风化正长岩、正长斑岩、辉绿岩、煌斑岩、白云岩、砂泥岩的风化残坡积物,系矿区主要含金层位,根据岩心容易被泥浆冲蚀的特性,地质要求进行干钻(无泵)取心。第四系下志留系中上统康朗组、奥陶系下统向阳组地层为基岩、局部为泥砂质或砂质碎裂岩、角砾岩和糜棱岩、断层泥等,冲洗液采用高分子聚合物无固相冲洗液进行护壁钻进。冲洗液配方:1 m³ 水+0.5%聚丙烯酰胺+0.3%NaOH+0.4%植物胶+0.4%高效润滑剂。性能参数:漏斗粘度 20~25 s、pH 值 8~8.5、密度 1.02~1.03 g/cm³、失水量 12~15 mL/30 min。该冲洗液具有低粘、低密度、润滑性好的特性,应用在大倾角斜孔施工中使用绳索取心钻进能有效减小钻杆与孔壁的摩擦系数而达到较好的钻进效益(例:ZK3-14 钻孔设计倾角 68°、方位 270°、孔深 380 m。由于采用全成本承包施工方式,采用 3 m 长、S95A 两端镦粗全新绳索取心钻杆,但施工机组因考虑节约成本使用清水钻进,断杆率为 1~2 次/台班。其它钻孔施工均采用上述冲洗液配方,断杆率则为 1~2 次/孔)。

(2)在钻遇泥砂质或砂质碎裂岩、角砾岩和糜棱岩、断层泥等时,地层因水敏而产生缩径、掉块、坍塌容易导致卡钻、埋钻,所以钻遇此地层应及时更换低固相冲洗液进行护壁,冲洗液配方:1 m³ 水+6%钠

土+0.5%Na₂CO₃+0.5%植物胶+0.6%低粘增效粉 LBM+0.2%磺化沥青+0.4%高效润滑剂+0.2%腐植酸钾。性能参数:漏斗粘度 30~35 s、pH 值 8~8.5、密度 1.04~1.06 g/cm³、失水量 8~10 mL/30 min。该冲洗液性能特点为高粘度、低失水、润滑性好、无结垢,使用证明该冲洗液有较强的防缩径、坍塌能力,能有效预防钻杆内泥皮结垢,有效解决了绳索取心工艺在上述复杂地层施工中使用低固相冲洗液护壁、结垢难题。

4.4.2 冲洗液的维护

(1)冲洗液性能监测由机长及泥浆技术员进行,每班组做到孔口及时取样进行性能测定,并对冲洗液材料使用配比详细记录,机长及泥浆技术员综合孔内钻进和地层情况的变化及时调整性能。

(2)冲洗液配制搅拌过程中,搅拌时间 < 30 min,严格规定各种处理剂使用顺序及加量,冲洗液材料严格按照规定配比及先后加入的顺序使用,使冲洗液在使用时具备良好的性能。

5 技术措施

5.1 孔斜控制

(1)测斜仪器:根据钻孔设计倾角、方位精度要求高,勘探线间距 40 m 的要求,加之矿产类型为金属矿,原来常用的 KXP-2D 型数字罗盘测斜仪不能满足钻孔方位测量控制,后采购了 JTL-40FW 型无缆陀螺测斜仪对钻孔进行测斜,经甲方现场采

用多种测斜设备验证, JTL-40FW 型无缆陀螺测斜仪能最有效地满足矿区施工中钻孔轨迹控制的测斜要求。

(2) 设备安装阶段控制: 施工钻机全部为塔机一体式, 机场地基软硬不均、设备质量轻、大倾角施工中钻机加压时容易发生钻机移位、地质技术人员采用罗盘定位与方位校准间误差较大等因素都会导致开孔倾角、方位误差较大。施工安装时, 钻塔底座四周开挖约 $1.00\text{ m} \times 1.00\text{ m} \times 0.50\text{ m}$ 基坑采用混凝土浇灌并找准水平, 钻机安装好后采用 JTL-40FW 型无缆陀螺测斜仪在钻机立轴导管内将开孔方位、倾角校正, 并将钻塔底盘槽钢四周用混凝土浇灌固定稳固^[6], 可有效保证钻机在施工中方位、倾角不发生位移, 减少了设备安装阶段倾角、方位的误差率。

(3) 钻进阶段的孔斜控制: 开孔采用轻压、慢转参数将孔开正, 开孔钻具坚持按 $0.50/1.00/2.00/4.00\text{ m}$ 级数递增使用, 开孔至 3.00 m 后即测斜, 检查安装和开孔方位、倾角。下入孔口管前进行测斜, 确定方位、倾角符合要求才能安装孔口管。下部施工中加密至 $15.00 \sim 20.00\text{ m}$ 进行测斜^[7], 在容易产生孔斜层位测斜加密至 $3.00 \sim 6.00\text{ m}$, 发现孔斜误差超出控制范围要及时调整钻进参数或利用纠斜钻具进行纠正^[8]。

5.2 复杂地层钻进技术

(1) 钻孔漏失, 该矿区 95% 的钻孔施工中都存在不同程度的冲洗液漏失, 钻孔漏失后立即采取我们多年绳索取心施工总结的堵漏方法进行堵漏, 见文献^[9], 效果非常显著, 能有效解决钻孔漏失难题。

(2) 泥砂质或砂质碎裂岩、角砾岩和糜棱岩、断层泥等地层在钻进过程中会产生严重缩径、卡埋钻现象^[10]。大倾角钻孔施工中^[11], 使用低固相冲洗液能暂时解决缩径、卡埋钻情况, 如该类型地层绳索取心钻进孔段较长时, 则会发生卡、抱钻现象, 致使提钻困难, 严重情况下在提钻过程中被“卡死”造成恶性事故(如 ZK709 钻孔施工至 420.00 m 孔深孔内产生阻力无法钻进, 间歇性提钻时间 16 h 。ZK303 号钻孔在 355.60 m 钻遇此类型地层, 钻进至 470.68 m 孔内产生阻力无法钻进, 提钻至孔深 461.50 m 无法提完钻, 强力提拔后 110.00 m 钻杆提断在孔内, 致使钻孔无法施工而申请地质部门提前 20.00 m 终孔。ZK1107 号钻孔钻进至 368.60 m 无法钻进只有起拔上部套管扩孔后才能继续下部钻

进施工)。经过总结后, 在该矿区钻孔施工中预留一级口径不下套管作为备用, 钻遇该类型地层时使用低固相冲洗液在孔内阻力较严重时, 立即采用备用口径进行“扩孔解困”后继续下部施工。

(3) 长石石英粉砂岩、细砂岩、含砾长石石英粗砂岩、硅化较强, 岩石硬度高(7~8 级)、容易打滑, 使用胎体硬度 HRC20 的普通金刚石钻头初回次进尺速度较理想(小时效率可达到 $2.0 \sim 2.2\text{ m}$), 但以后回次随纯钻时间延长则进尺变慢直至“打滑不进尺”, 如胎体硬度在 HRC15 以下的金刚石钻头则使用寿命不到 10 m , 造成频繁提下大钻及钻头成本巨增。经过金刚石钻头现场针对性试验, 最终确定武汉“地大金石”金刚石钻头。该钻头具有使用寿命长、出刃快的特点(小时效率可达到 $2.5 \sim 3.0\text{ m}$), 可在硅化较强的岩石中钻进打滑时投长石砂岩颗粒“干磨出刃”快速恢复钻进效率, 而投长石砂岩颗粒“干磨出刃”的方法对钻头使用寿命影响较小。每只钻头不使用“干磨出刃”方法平均寿命在 100 m 以上, 使用“干磨出刃”方法平均寿命在 80 m 以上。

6 施工经验总结

6.1 控斜及纠斜

(1) 钻机安装倾角和方位的控制。最初钻机安装完由地质技术人员现场采用普通罗盘及“三点一线”方法对安装倾角和方位进行测量验收, 此方法与实际施工中采用 JTL-40FW 型无缆陀螺测斜仪测量产生的误差严重超出设计要求。经过多次实践, 总结出钻机安装倾角和方位的验收采用 JTL-40FW 型无缆陀螺测斜仪统一进行, 避免了因安装验收方法不统一导致施工中产生倾角和方位的误差。

(2) 开孔阶段倾角和方位的控制。开孔地层为第四系风化残坡积物, 钻孔开孔施工中容易产生较大的倾角和方位误差。实际施工中采用如下方法: 钻进孔深达到 3.0 m 立即采用 JTL-40FW 型无缆陀螺测斜仪测量误差; 开孔钻具坚持按 $0.50/1.00/2.00/4.00\text{ m}$ 级数顺序使用; 如钻孔倾角和方位误差在设计范围内坚持使用 $\text{O}130\text{ mm}$ 钻头钻进取心/ $\text{O}146\text{ mm}$ 套管“满眼扩孔”护壁配合, 直至钻进至基岩固定 $\text{O}146\text{ mm}$ 套管后继续钻进。

(3) 钻进过程中倾角和方位的控制。该矿区斜孔施工中, 采用绳索取心钻进钻孔方位误差基本在

设计范围内。而倾角则会出现“上漂”和“下倾”两种情况,钻进过程中将孔斜测量加密至 15.00~20.00 m,如钻孔倾角“上漂”^[12]则立即采用正常钻压的 1/3、转速控制在 300 r/min 参数“减速法”钻进,可逐渐纠回钻孔倾角到设计范围内;如钻孔倾角“下倾”则采用“小径导向增压纠斜法”^[13-15]可将钻孔倾角纠回至设计范围内(ZK7-11 钻孔 695.50 m 纠斜岩心见图 5)。



图 5 ZK7-11 钻孔 695.50 m 小径导向增压纠斜法岩心
Fig.5 Core obtained by small diameter pilot drilling and deviation correction by increase of WOB at 695.50 m of ZK7-11 Hole

(4)根据钻孔设计方位、倾角、岩层倾角及以往施工钻孔倾角变化规律,钻机安装时预留($1^{\circ}\sim 5^{\circ}$)的“可控钻孔倾角”进行安装^[16],使钻孔施工轨迹控制在钻孔倾角变化规律内。

(5)钻进长石石英粉砂岩、细砂岩、含砾长石石英粗砂岩孔段时,岩石硅化较强、容易打滑,钻机施工人员常采用“干磨出刃”方法使金刚石出刃,但此种方法使用频繁容易导致钻孔倾角发生较大偏差(ZK3-9 钻孔自 306.89 m 钻遇长石石英粉砂岩后每小班都使用“干磨出刃”方法钻进,至终孔 476.50 m 倾角由 2.5° 增至 11.5° ,导致钻孔报废。该孔重新施工时,采取安装中预留 5° 的“可控钻孔倾角”、施工中严格控制使用“干磨出刃”频率的方法,施工至 497.60 m 终孔时倾角为 2.5°),在钻孔施工中应当严格控制“干磨出刃”方法的使用频率,并在使用中及时测量钻孔倾角偏差。

6.2 钻杆

大倾角斜孔绳索取心施工中,绳索取心钻杆类型应当选择“直连式”或“内平式”以达到送内管时的畅通性,避免内管卡在钻杆台阶致使内管“不到位”现象发生。

6.3 XDJ-4 型全液压岩心钻机的实用性

XDJ-4 型全液压岩心钻机作为一款新开发的岩心钻探设备,经过该矿区的使用,证明它具有“全分解、适用范围广、可钻效率高”等特点。

(1)该钻机最大拆解质量为 500 kg,全部拆解后可以适应在山区进行人工搬运,重新组装后不影响使用效果。

(2)该钻机在绳索取心钻进、无泵干钻、复杂地层等都能适应施工,在该矿区每个钻孔开孔层位第四系全风化正长岩、正长斑岩、辉绿岩、煌斑岩、白云岩、砂泥岩的风化残坡积物使用“无泵干钻”方法取心施工、在 SZK-1 水文钻孔 $\varnothing 96$ mm 至 350.00 m 终孔、全孔无超过 0.10 m 完整岩心的复杂地层施工中完全满足要求。

(3)该钻机在大倾角绳索取心施工中具有较高的钻进效率(ZK7-4 钻孔设计倾角 45° 、方位 70° 、终孔 241.60 m,6 d 完成,单孔台月效率达到 1208.00 m,日进尺最高效率达到 94.50 m),在该矿区施工平均台月效率为 505.40 m。

7 结语

在长安金矿大倾角斜孔首次使用绳索取心钻进工艺,在各方面取得了一些宝贵的经验,但仍然存在不足之处需要改进。

(1)大倾角斜孔施工,倾角、方位要求高,地层较复杂,所以钻孔施工前要充分做好施工方案,针对钻孔设计合理选择施工设备、钻杆、钻具,合理选用施工技术,提前做好技术储备。

(2)大倾角斜孔绳索取心施工中孔壁对钻杆磨损较严重,复杂地层中须使用高粘度、高润滑的冲洗液减少钻杆的磨损,但绳索取心施工使用高粘度的冲洗液背压较大、岩粉排除困难、使用“预留口径扩孔”施工方法对钻进时间、施工强度、成本花费较大。在以后施工中可考虑采用增大钻头、扩孔器外径的方法,可较大减少钻进时间、施工强度、成本的投入。

(3)由于大倾角斜孔绳索取心钻孔施工经验较少,钻孔发生偏斜误差时,可供借鉴的经验、参数较少,虽然采用以上自行总结的纠斜方法可解决施工问题,但耗工、耗时且精确度不高,在以后大倾角斜孔绳索取心钻孔纠斜施工中可考虑采用精确度高的小口径螺杆钻具。

参考文献 (References):

- [1] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社, 1994.
LI Shizhong. Drilling technology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [2] 王扶志, 张心剑, 仝在平. 陀螺仪定向纠斜法在中关铁矿区的应用实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(6): 40-44.
WANG Fuzhi, ZHANG Xinjian, TONG Zaiping. Application practice of gyroscope directional deviation correction in Zhongguan Iron Mine Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(6): 40-44.
- [3] 陈明星, 陈保国, 沈少华. 孔内纠偏与造斜技术在松塔水电站地质勘探中的特殊应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(10): 35-38.
CHEN Mingxing, CHEN Baoguo, SHEN Shaohua. Application of drilling deviation correcting and deflecting techniques in geological exploration at Songta Hydropower Station[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(10): 35-38.
- [4] 易强忠, 廖国平, 李绍河, 等. 云南盐津页岩气调查盐津 1-2 井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 68-75.
YI Qiangzhong, LIAO Guoping, LI Shaohe, et al. Construction technology of Yanjin Well 1-2 for Yunnan shale gas resource investigation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7): 68-75.
- [5] 胥虹. 套管跟进与绳索取心组合钻探技术的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(4): 22-24, 30.
XU Hong. Application of the combined drilling technology of drilling with casing and wire-line coring[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(4): 22-24, 30.
- [6] 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.
SHI Zhixing. Drilling technology for deep inclined hole in Chengjiagou-Shagou Silver Multi-metal Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(9): 9-13.
- [7] 赵国法, 吕新前. 开化黄山矿区钻孔偏斜规律研究及控制措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(2): 48-52.
ZHAO Guofa, Lü Xinqian. Study on borehole deviation rules in Kaihua Huangshan Mining Area and the control measures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(2): 48-52.
- [8] 黄忠高, 李志强, 潘海迪, 等. 江西省浮梁县朱溪矿区 ZK5407 深孔螺杆定向纠斜施工工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(8): 43-48, 54.
HUANG Zhonggao, LI Zhiqiang, PAN Haidi, et al. Construction technology of screw directional deviation correction for deep ZK5407 in Zhuxi Mining Area of Jiangxi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(8): 43-48, 54.
- [9] 易强忠, 李绍河, 盖海涛. Aus-Plug 堵漏剂在金厂河等矿区绳索取心钻孔漏失中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(11): 20-24, 30.
YI Qiangzhong, LI Shaohe, GAI Haitao. Application of Aus-Plug plugging agent in wire-line core drilling in mines[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(11): 20-24, 30.
- [10] 聂洪岩, 董震堃, 胥虹. 阿舍勒铜矿水敏地层防斜纠斜钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(1): 51-53, 57.
NIE Hongyan, DONG Zhenkun, XU Hong. Drilling process for deviation prevention and control in water sensitive formation in Altay Region[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(1): 51-53, 57.
- [11] 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.
WANG Hongtao, LUO Wei, JIAO Weibing, et al. Drilling construction technology of large angle inclined hole in Zara Golden Deposit in Eritrea[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(6): 7-12.
- [12] 祁恩强, 朱金军. 梯子崖-富子岭矿区复杂地层钻探技术与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(9): 1-6.
QI Enqiang, ZHU Jinjun. Drilling technical problems and countermeasures in the complex formations of Tiziya-Fuziling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(9): 1-6.
- [13] 廖远苏, 胡啟锋, 廖长生, 等. 采用偏心楔侧钻处理坚硬地层烧钻事故[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(9): 5-8.
LIAO Yuansu, HU Qifeng, LIAO Changsheng, et al. Treatment of bit burning in hard formation with eccentric wedge sidetracking[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(9): 5-8.
- [14] 刘治, 王智锋, 宋宝杰, 等. 简易偏心楔在钻探施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(12): 49-53.
LIU Zhi, WANG Zhifeng, SONG Baojie, et al. Application of simple eccentric wedge in drilling construction[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(12): 49-53.
- [15] 赵燕来, 李忠. 定向钻探新型双滑块连续造斜器研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(8): 3-9.
ZHAO Yanlai, LI Zhong. Research and application of new double-slider continuous whipstock in directional drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(8): 3-9.
- [16] 彭桥梁, 李天虎, 刘瑞, 等. 湖南龙山矿区钻孔偏斜规律分析及控制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(11): 12-15.
PENG Qiaoliang, LI Tianhu, LIU Rui, et al. Analysis and control of borehole deviation regularity of Longshan Mining Area in Hunan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11): 12-15.

(编辑 韩丽丽)