

贵州省松桃县高地锰矿勘探深孔钻探防斜技术

班金彭¹, 宋继伟^{*2}, 朱璞³, 彭坤¹

- 贵州省地质矿产勘查开发局 115 地质大队, 贵州 贵阳 551400;
- 贵州省地质矿产勘查开发局 112 地质大队, 贵州 安顺 561000;
- 贵州省地质矿产勘查开发局 103 地质大队, 贵州 铜仁 554300

摘要: 贵州松桃县高地锰矿找矿工作已全面进入勘探阶段, 勘探网距为 200 m×300 m, 对钻孔质量要求十分严格: 终孔靶点偏差不得超过勘探网距的 1/4, 即平行勘探线方向不超过 50 m, 垂直勘探线方向不超过 75 m, 对于勘查区设计孔深均超过 1400 m (最深钻孔达到 1950 m) 的深孔而言, 这种要求远远超过地质岩心钻探规程要求。贵州省地质矿产勘查开发局属施工单位根据多年深孔施工经验, 从钻机基地建设、钻孔结构及钻具组合优化、钻进参数调整、单扩孔器纠斜等方面采取保直防斜技术措施, 取得了较好的效果。

关键词: 深孔钻探; 孔斜; 防斜; 纠斜; 高地锰矿

中图分类号: P634 文献标识码: B 文章编号: 2096-9686(2023)S1-0267-07

The anti-inclination technology of deep hole drilling in Gaodi Manganese Mine in Songtao County, Guizhou

BAN Jinpeng¹, SONG Jiwei^{*2}, ZHU Pu³, PENG Kun¹

- 115 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 551400, China;
- 112 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Anshun Guizhou 561000, China;
- 103 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Tongren Guizhou 554300, China)

Abstract: The exploration work for the Gaodi Manganese Mine in Songtao County, Guizhou has fully entered the exploration stage, with an exploration network distance of 200m×300m, with very strict requirements for drilling quality: the deviation of the final hole target point shall not exceed one fourth of the exploration network distance, that is, the parallel exploration line direction shall not exceed 50m, and the vertical exploration line direction shall not exceed 75m. For deep holes with a design depth of over 1400m (the deepest borehole reaches 1950m) in the exploration area, this requirement far exceeds the requirements of geological core drilling regulations. According to many years of deep hole construction experience, the construction units under Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development Guizhou Province have taken technical measures to maintain straight and prevent deviation from the aspects of rig base construction, drilling structure and combinatorial optimization of drilling tools,

收稿日期: 2023-05-05 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.041

基金项目: 贵州省科技计划项目“贵州省岩溶地区复杂地层岩心钻探关键技术难题综合研究”(编号: 黔科合支撑[2023]一般173); 贵州省重点矿产资源大清查项目“松桃县高地锰矿勘探”; 贵州省地矿局地质科研项目“贵州省锰矿勘查深部钻探技术研究(黔地矿科合[2019]6号)

第一作者: 班金彭, 男, 布依族, 1986年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 长期从事钻探技术研究和管理工作, 贵州省清镇市北门桥, 973643757@qq.com。

通信作者: 宋继伟, 男, 汉族, 1983年生, 研究员, 地质工程专业, 博士, 长期从事钻探技术研究和管理工作, 贵州省安顺市西秀区西水路57号, 343219784@qq.com。

引用格式: 班金彭, 宋继伟, 朱璞, 等. 贵州省松桃县高地锰矿勘探深孔钻探防斜技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 267-273.

BAN Jinpeng, SONG Jiwei, ZHU Pu, et al. The anti-inclination technology of deep hole drilling in Gaodi Manganese Mine in Songtao County, Guizhou[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 267-273.

drilling parameter adjustment, and single reamer deviation correction, and achieved good results.

Key words: deep hole drilling; hole inclination; inclination prevention; inclination correction; Gaodi Manganese Mine

0 引言

钻探技术能够直接在有希望的靶区取出地层实物岩样,并对岩样进行编录、成分化验、分析研究,是一种直接有效的勘探技术方法,在众多勘探技术中具有不可替代的地位。随着找矿深度的加深,矿区勘探程度深入,钻孔分布网格致密,对深孔钻探技术的要求越来越高,其中最为明显的一个技术要求就是孔斜^[1]。在深孔钻探中即使较小的孔斜角,最终也能产生较大的水平偏移,甚至会超出勘探网格,严重降低该钻孔在储量估算中的作用,甚至成为废孔。孔斜不但造成不能满足钻孔质量要求,对管材也会造成严重的磨损,对提升设备提出更高的要求,在钻进过程中容易发生事故,甚至造成钻孔报废。因此,防斜纠斜技术成为深孔钻探技术中最为重要的组成部分,是保证钻孔质量和顺利钻进的关键^[2-3]。

1 项目概况

1.1 工程概况

本项目设计钻孔14个,最浅设计孔深1400 m,最深设计孔深1950 m,平均孔深达到1680 m。

勘查区勘探线方向为122°,钻孔按200 m×300 m的网格进行分布即平行勘探线方向钻孔相隔200 m,垂直勘探线方向钻孔相隔300 m。

1.2 地质概况

勘查区地层主要为青白口系清水江组、南华系铁丝垌组、大塘坡组、南沱组,震旦系陡山沱组、留茶坡组,寒武系牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷榔组、清虚洞组、高台组、石冷水组、娄山关组,奥陶系桐梓组、红花园组、大湾组及第四系等。其中在杷榔组和变马冲组地层变化较大,钻孔弯曲变化大,是重点防斜孔段。详细地层、岩性及钻孔弯曲程度详见表1。

通过表1可以看出,勘查区地层对于钻探质量影响较大的主要为杷榔组—南沱组,主要因软与硬、完整与破碎互层频繁,极易发生偏斜。

2 工程质量及技术要求

2.1 岩心采取率

全井段岩心采取率>70%,不得出现零回次,炭质页岩和矿层岩心取心率≥80%。

2.2 钻孔偏斜要求

及时进行弯曲度测量,开孔25 m测量一次,往后每钻进50 m测量一次,随时掌握钻孔空间轨迹的变化,以便预防和纠正钻孔的偏斜,确保矿体底板位置不得偏离勘探网距的1/4(即沿勘探线方向不超过50 m,垂直勘探线方向不超过75 m),超出规定范围时,应及时检查原因并采取纠斜措施。

3 测斜设备

采用JTL-40G(W)陀螺测斜仪,它是一种可以敏感感应地球转速的高灵敏度角速度传感器,使用前无须进行方向校准,井下自主寻北且无累计误差,测量结果为真北方位角。采用三维高精度重力加速度传感器测顶角,测量稳定,精度高,详细参数如下:

顶角测量范围:0°~±50°;

顶角测量精度:±0.1°,分辨率0.01°;

方位角测量范围:0°~360°;

方位角测量精度:±2°,分辨率0.1°;

地理纬度:0°~±50°,适用南、北半球;

测量方式:点测,任意深度、时间;

单点可记录点数:≤300;

通讯方式:ISM无线,数字式;

井下仪工作环境:耐温-10~75℃,耐压25 MPa。

使用条件:可在磁性矿区、钻杆、套管内使用。

通过钢丝绳或者钻具下井测量,使用非常方便,具有精度高、体积小、质量轻、零点漂移小、寿命长、维护方便等诸多优点。

4 防斜保直钻进关键技术

4.1 消除开孔偏斜因素

影响钻孔孔斜的初始因素主要有钻机安放的基础不平,立轴安装不正确,天车、钻杆与孔口不在一条线上。虽然初始因素主要发生在钻孔的开始阶

表1 松桃县高地锰矿钻遇地层与孔斜变化分析

地 层			基 本 岩 性	孔斜变化
组	段	代号		
第四系		Q	地表腐殖土、砂、碎石等残坡积物	一般
娄山关组	二、三段	$\epsilon_{3-4}l^{2+3}$	灰色厚层—块状粉—中晶白云岩,砾屑白云岩,顶部含硅质团块及条带并夹灰岩透镜体,底部以含硅质团块的砂屑白云岩或砂屑白云岩	一般
	一段	$\epsilon_{3-4}l^1$	灰色薄—中层条带状泥粉晶白云岩,砂屑泥粉晶白云岩,砾砂屑白云岩,含硅质团块之砂砾屑白云岩	一般
石冷水组	二段	ϵ_{3s}^2	灰色薄—厚层泥晶白云岩,泥粉晶白云岩夹数层砂砾屑白云岩薄层	一般
	一段	ϵ_{3s}^1	下部为灰—深灰色中—厚层粉—细晶白云岩;中部为灰色薄层含泥质白云岩;上部为灰色厚层砂砾屑白云岩及(膏溶)砾屑白云岩	一般
高台组		ϵ_{3g}	黄灰色、灰绿色薄至中厚层泥质白云岩夹黄灰色、灰绿色粘土质页岩及黄灰色含白云质粘土质页岩,含炭质粘土质页岩	一般
清虚洞组	四段	ϵ_{2q}^4	灰色薄层泥粉晶白云岩间夹多层灰色中—厚层去白云石化砂屑泥粉晶白云岩,砾砂屑白云岩及砾屑白云岩	一般
	三段	ϵ_{2q}^3	灰色厚层泥粉晶白云岩及薄层条纹状泥晶白云岩,中上部夹厚层泥粉晶灰岩,顶部为黄灰色砂屑白云岩	一般
	二段	ϵ_{2q}^2	灰—深灰色厚层白云质泥粉晶灰岩,间夹白云质砂屑灰岩与砾屑灰岩,上部夹层纹状白云岩及眼球状泥质灰岩	一般
	一段	ϵ_{2q}^1	灰—深灰色薄层条带状泥粉晶灰岩,具水平层理	一般
杷榔组	二段	ϵ_{2p}^2	粉砂质页岩及粉砂质粘土岩,上部夹灰岩透镜体和钙质扁豆体	显著
	一段	ϵ_{2p}^1	黑色炭质页岩	显著
变马冲组	二段	ϵ_{2b}^2	灰色薄—中层细砂岩夹黑色炭质页岩	显著
	一段	ϵ_{2b}^1	黑色炭质页岩	显著
九门冲组		ϵ_{2jm}	灰黑色薄—中层含炭质细晶灰岩与黑色炭质页岩互层	显著
牛蹄塘组		ϵ_{1-2n}	黑色炭质页岩,底部炭质页岩中偶见豆状磷质结核	显著
老堡组		$Z\epsilon l$	灰黑色薄层状硅质岩夹黑色炭质页岩	显著
陡山沱组		Z_1d	灰色薄—中层泥粉晶白云岩,石英、白云石、方解石等不规则团块与网脉发育	显著
南沱组		Nh_3n	灰、灰绿色块状含砾粉砂岩,含砾粘土岩,含砾粉砂岩,间夹层纹状粘土岩,局部夹白云岩透镜体	显著
大塘坡组	二段	Nh_2d^2	深灰色粉砂质页岩夹黄灰色薄—中层粉砂岩及粉砂质粘土岩,砂质层纹发育	一般
	一段	Nh_2d^1	上部为黑色炭质页岩及黑色含粉砂质炭质页岩,下部为灰黑色、钢灰色条带状、块状及“气泡状”菱锰矿夹黑色炭质页岩,含锰炭质页岩	一般
铁丝坳组		Nh_2t	灰色厚层含砾长石石英砂岩,含砾岩屑长石石英砂岩及岩屑砂岩	一般
清水江组		Qbq	灰、灰绿色中—厚层变质粉砂岩,变质砂岩,绿泥石杂砂岩,粉砂质板岩夹少许凝灰质砂岩,晶屑火山灰凝灰岩,长石石英砂岩	一般

段,但如果钻孔轨迹在开孔时就没有得到很好的控制,那么对后续钻孔的施工过程会产生较大影响。虽然刚开始偏差不大,但是当钻孔钻进深度较大时,也会造成较大的孔底偏移。因此开孔前需要做到以下3点,消除地表产生孔斜的因素^[3-7]。

(1)钻机安放基础平整、稳固。设备安装前,在钻塔四角及孔口位置浇筑混凝土基座,其深度、宽度

必须满足设计要求,且松散层需加深加宽,浇筑后进行水平校正,确保钻机四角基座高度一致。

(2)设备安装。钻机水平地安装在固定的基础上,确保基台枕木受力均匀;塔上滑车、钻机立轴和孔口在同一直线上;钻机立轴准确地固定在设计的倾角和方位角上;设备安装后由专业测量人员对钻机前后左右四角进行水平校正,同时校正立轴垂直

度,所有检查合格方可开钻。

(3)确保设备性能良好,立轴导管无松、旷,液压钻机滑道无松、旷,立轴箱稳固,保证粗径钻具能够稳固地在调整好的方位角和倾角上工作。

4.2 下好表层套管

表层套管处于钻孔最上部,不仅具有封隔覆盖土层、强风化破碎岩层的重要作用,而且对后续钻进有导向作用,其垂直度对后续钻孔施工具有重要影响,下管完成后需要校正其垂直度并采取固定措施,确保后续施工不受影响。

4.3 优化钻孔结构及钻具组合

4.3.1 上部地层尽量使用大口径钻具

大口径钻具防斜原理:在钻孔施工过程中,在初期钻进时,钻杆本身具有足够的强度,因此钻孔不易发生偏斜,随着钻进深度的不断增大,钻杆不断接长,钻杆的整体强度会逐渐降低。钻杆的强度用 EI 表示, E 是钻杆材料的弹性模量, I 是钻杆的惯性矩,惯性矩越大钻具的强度越高,钻具的惯性矩 I 可用以下公式求出^[8-12]:

$$I = \pi(D^2 - d^2)/64 \quad (1)$$

式中: I —钻具的惯性矩, mm^4 ; D —钻杆外径, mm ; d —钻杆内径, mm 。

由式(1)可知,钻杆直径和钻杆壁厚的增加,会导致轴惯性矩增长很快。因此,采用大直径钻进时,不但能使钻具强度增加,而且能减小钻头与钻杆的直径比,因此,孔斜也就相对小些。基于上述理论依据,在钻孔结构设计时,上部地层尽可能选择大口径。当钻进深度较深不得已换较小口径时,上部孔斜基数小,下部产生孔斜造成的影响较小,偏斜距离有限。

4.3.2 增加扶正接头

钻入易斜地层时,除钻具上的上下扩孔器扶正外,在第1根钻杆上安装扶正接头,也具有扶正作用,能够提高钻具防斜能力。

4.4 合理选用钻进参数

采用绳索取心钻进,为保证钻井液流通并排除岩粉,钻头直径需大于钻杆直径,同时,钻头在钻进过程中不可避免地会产生一定的扩壁,所以孔壁与钻具之间必然存在空隙^[13-16]。因孔壁间隙的存在,钻进过程中对钻头施加的轴向压力会将钻杆柱压弯产生变形。轴向压力将沿弯曲钻杆产生水平分力,

使粗径钻具发生偏倒,钻压越大,钻杆弯曲越严重,迫使粗径钻具上端靠向孔壁,使粗径钻具轴线偏离原孔轴线,产生孔斜;过高的转速,会使钻具离心力增大,从而加剧了钻具的横向振动,钻头扩壁现象严重,为偏斜提供空间;钻进松软地层时,冲洗液量过大,冲刷孔壁严重,使孔壁间隙增大,为偏斜提供空间。

4.5 水泥封孔大口径扩孔纠斜

在钻进过程中,某些钻孔因换径过早,出现较大孔斜,经过计算后已经无法满足地质要求,需要进行纠斜处理,根据4.3所述理论依据,大口径钻具具有较好的防斜效果,采用水泥封孔待其凝固并具有一定的强度后,从上部采用大口径钻具扩孔钻进,在钻进的过程中,钻孔逐渐偏离原钻孔轨迹线,实现纠斜目的。

4.6 上扩孔器纠斜技术原理

目前绳索取心钻具主要有2种,一是只有下扩孔器,二是具有上下2个扩孔器,一般扩孔器外径比钻头外径大0.5 mm,属满眼防斜钻具,具有一定的保径防斜作用。采用上扩孔器进行纠斜,其原理为:在钻进过程中,钻头因离心力造成扩壁,钻孔直径略大于扩孔器外径,钻孔产生偏斜。当只使用上扩孔器时(下扩孔器位置采用与外管同径的接头代替),钻具由于重力作用而贴近钻孔下边缘,产生一个向心力,使钻孔趋于垂直,如图1所示。

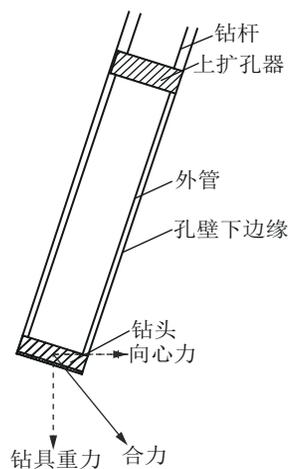


图1 上扩孔器纠斜原理示意

5 现场应用效果分析

5.1 消除地表因素应用案例

结合4.1与4.2理论指导,在松桃县高地锰矿钻

进过程中,ZK3301孔钻至孔深300 m时顶角达到7°,孔斜严重超标,采取多种措施,无法取得理想的纠斜效果。经过多次检查,最终发现钻机右前角基座下陷约20 cm,导致钻机前倾,钻杆磨损严重,钻孔严重偏斜,最终报废后移孔重打。通过对该钻孔孔斜原因深入研究分析后,对后续钻孔基础进行严格的要求和检查,在钻塔四角及孔口位置浇筑混凝土基座,基座深度 ≤ 0.8 m,宽度 ≤ 1.0 m,松散层加

深加宽,浇筑后采用测量仪器进行校正,确保钻机基座高度一致。

5.2 大口径钻具防斜效果案例分析

根据上述理论指导,松桃县高地锰矿深孔二开至四开均采用绳索取心钻进技术,最大限度地减小了环状间隙,提高防斜能力,钻具组合参数详见表2。

表2 松桃县高地锰矿深孔钻具组合参数

钻具口径/mm	钻头尺寸/mm		扩孔器外径/mm	外管尺寸/mm		内管尺寸/mm		钻杆尺寸/mm	
	外径	内径		外径	内径	外径	内径	外径	内径
150	147.6	102	148.1	139.7	125.5	118	109	139.7	125.5
122	122.0	85	122.6	118.1	102.9	95.5	88.7	114.3	101.9
96	95.6	63.5	96.1	92	78	73	67	89.0	77.8
76	75.3	46	76.7	73	60.3	54	48	70.5	60.5

勘探区内不同钻孔在施工中采取的钻孔结构不太一致,各单位具有的钻具、管材也略有不同,针对现场使用情况,本文列举4个比较典型的钻孔加以说明,实际钻孔结构见表3。

表3 部分钻孔大口径段钻孔结构

孔号	孔深/m	钻头外径/mm
ZK3111	9~1000	122
ZK3504	9~1000	122
ZK3303	9~400	122
	400~1000	95.6
ZK3507	6~400	122
	400~1000	95.6

以上列举的4个钻孔开孔后25 m测一次孔斜,往后每50 m测一次,均采用同一台陀螺测斜仪进行测斜,数据具有可比性,钻孔顶角变化见图2。

从图2可以看出,4个钻孔在400 m以内孔斜变化不大,都在3°以内;400~1000 m使用 $\varnothing 122$ mm口径钻进的2个钻孔(ZK3110孔和ZK3504孔)顶角控制在2°~4°内,而使用 $\varnothing 95.6$ mm口径钻进的2个钻孔(ZK3303孔和ZK3507孔)孔斜在5°~7°,充分体现了大口径钻具具有较高的强度,防斜保直效果较好,对后续该类项目施工具有指导作用。

5.3 钻进参数优化防斜

上覆地层主要为基岩强风化带及残坡积层,此

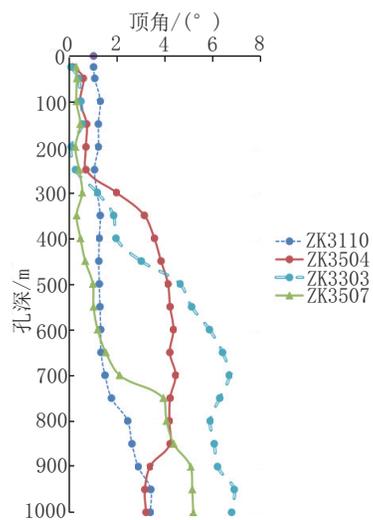


图2 钻孔顶角变化对比

类地层松散破碎,进尺较快,冲洗液量不合理时产生的岩粉会粘到钻头唇面上,妨碍钻速甚至会发生烧钻事故。开孔钻进采用低压、满转、大泵量;其他地层采用孕镶金刚石绳索取心钻进。在较软地层钻进,采用高转速、大泵量和适当的压力;在坚硬研磨性强的岩层钻进,则采用大钻压、适当的转速和泵量;在裂隙发育的破碎岩层和研磨性强的岩层钻进则采用最小限度的钻压、中低转速和适当的泵量;在“打滑层”中钻进,应用大钻压、中低转速和适当的泵量。

钻进参数要根据钻遇岩石的可钻性、研磨性、完整程度和使用的钻头类型、金刚石的质量作出调整。本次高地锰矿深孔钻探在不同孔径钻进中的参数选择组合如表4所示。

表4 不同孔径孕镶金刚石绳索取心钻进参数组合推荐

钻头规格	钻压/kN		转速/ (r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
	最大	正常		
PQ	20	14~18	250~500	90~110
HQ	18	12~15	350~700	60~90
NQ	15	10~12	400~800	40~70
考虑因素	松散、破碎、软硬不均、产状变陡地层应适当降低钻压;地层完整、易钻进地层应适当提高钻压		松散、破碎、软硬不均、易斜地层应适当降低钻速	松散、破碎易斜地层应适当减小泵量,较软、中硬完整地层钻速高、岩粉多、颗粒大时应适当增加泵量

ZK3303孔在900~950 m之间孔斜变化较大,经过合理选用钻进参数,控制钻进速度,每班进尺控制在9 m以内,在950~1000 m孔斜不再继续增长反而出现一定程度的下降,具体钻进参数为:钻压7~8 kN,转速100~200 r/min,泵量90~110 L/min。

5.4 水泥封孔大口径扩孔纠斜

ZK3307孔在孔深600 m时换成 $\varnothing 76$ mm口径进行钻进,在钻进至900 m时孔斜达到12°,孔斜严重超标。经过研究分析后,采用水泥封孔至孔深500 m处, $\varnothing 96$ mm口径通水泥扩孔的方式进行纠斜,在630 m形成新的孔眼,继续使用 $\varnothing 96$ mm口径钻进至900 m,经过多次测量,孔斜平稳增长缓慢,在孔斜控制范围之内,详细见图3。

5.5 单扩孔器纠斜

ZK3305钻孔采用接头代替下扩孔器,具有一定的纠斜能力。在孔深达到1300 m后,钻孔顶角变化较快,由于孔深比较深,钻孔口径为 $\varnothing 76$ mm,纠斜难度非常巨大,经过深入研究分析后,去掉下扩孔器,只使用上扩孔器的方式进行自然纠斜,结合钻进参数控制,该孔在后续钻进中顶角不再增加,反而减小,纠斜成功,详细钻孔轨迹见图4。

通过对前期施工的钻孔测斜数据,从地层、钻进技术、钻进工艺等方面全面分析了钻孔自然偏斜原

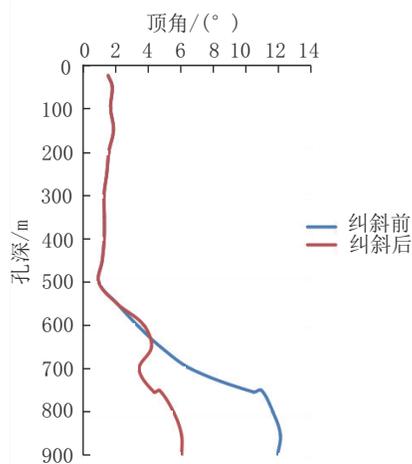


图3 ZK3307孔大口径扩孔前后钻孔轨迹对比

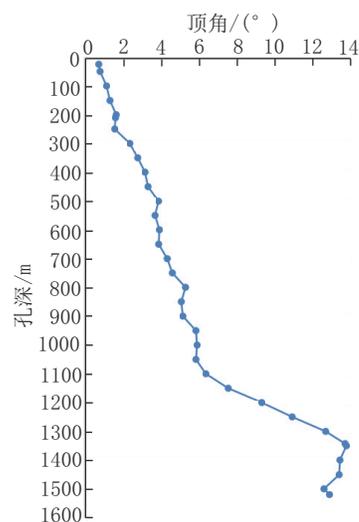


图4 ZK3305孔钻孔轨迹

因,总结出了高地锰矿勘查区钻孔中上部总体向南东110°~160°之间延伸(沿勘探线方向)、下部1200 m以后沿180°~250°之间延伸(垂直勘探线方向)的自然偏斜规律。目前,通过一系列的防斜措施,除个别钻孔略微超出1/4工程网距的要求外,其余钻孔全部进入靶区。

6 存在问题

(1)通过调整钻进参数控制孔斜具有一定的效果,但效果不够明显,且造成钻进效率显著降低,需要深入研究找到一个孔斜变化与钻进效率之间的平衡点。

(2)使用某一种防斜和纠斜措施并不能满足所有钻孔和全孔段的要求,地层对钻孔偏斜造成的影

响极大,不同孔段、不同钻孔都会有较大的差异。

(3)随着勘探程度的深入,钻孔分布网距逐渐缩小,钻孔深度越深,进入靶区的难度就会越大,对设备、管材、成本等方面要求更高。

7 结语

(1)钻机基础和设备安装造成的开孔偏斜,即使十分微小,但处于钻孔上部,对后续钻孔质量有重大影响,在本项目中得到了较好的印证,消除开孔偏斜因素,能够最大限度保证钻孔质量。

(2)大口径钻具强度高,防斜保直效果较好,在项目实施前应根据钻孔深度设计合理的钻孔结构、钻具级配,选择合适的钻探设备及钻具组合。

(3)在钻孔已经出现严重偏斜时,可以采用高标号水泥封孔大口径钻具扩孔、单扩孔器纠斜、调整钻进参数等措施进行纠斜。

参考文献:

- [1] 黄帆.基于纵横弯曲理论的绳索取心满眼防斜技术研究与应用[D].武汉:中国地质大学(武汉),2014.
- [2] 樊阳洋.煤矿瓦斯抽采钻孔保直防斜技术研究[D].焦作:河南理工大学,2018:19-22.
- [3] 徐勇.钻井防斜技术研究[J].当代化工研究,2017(3):32-33.
- [4] 聂洪岩,董震玺,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):52-57.
- [5] 岳永东,宋殿兰,谭春亮,等.白家瞳地震台观测井纠斜施工实践[J].地质装备,2018,19(2):45-48.
- [6] 赵均文,于志坚,邢运涛,等.承德黑山矿区钻孔纠斜技术及防斜技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):17-22.
- [7] 孙晓波.防斜纠斜技术在邑深1井的应用[J].石油地质与工程,2020,34(5):103-105.
- [8] 韩明耀,柳硕林,王朝晖,等.河南省板厂矿区小直径螺杆钻定向纠斜技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):36-41.
- [9] 杨力.几种防斜技术在宣页1井的试验应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):37-39.
- [10] 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[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):43-48.
- [11] 许非.连续造斜器在钻孔纠斜中的应用[J].西部探矿工程,2019,31(6):43-47.
- [12] 张海荣.煤矿井下普通钻机钻孔机械研究[J].煤炭与化工,2019,42(1):67-72.
- [13] 汪栋.强自然造斜地层钻孔弯曲分析及防斜纠斜方法探讨[J].西部探矿工程,2012,24(10):85-87.
- [14] 潘焱.山东黄金西岭勘查区深部勘探孔钻探防斜与纠斜措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):37-41.
- [15] 夏建湘.深孔钻探防斜纠斜技术措施探究[J].资源信息与工程,2019,34(4):58-60.
- [16] 黄虎,董保华,潘玮,等.钻孔偏斜原因及纠斜处理措施浅析[J].西部探矿工程,2020,32(7):32-36.

(编辑 李艺)