

雪峰弧构造带钻孔轨迹控制关键技术研究

潘德元, 贺前平, 蔡隽, 周成建, 赖小彬

(中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 湖南长沙 410600)

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。雪峰弧构造带部分工作区地层倾角大、软硬交替频繁、地层破碎,实际施工中地层造斜情况严重,随着孔深增加导致终孔轨迹与靶区矿体偏差较大,影响矿产资源勘查的精度和质量。通过对该工作区地层造斜情况的深入分析,在ZK1001钻孔绳索取心钻进施工中采用初级定向孔技术和满眼钻具工艺,大幅度提高了钻孔孔身质量,较好地实现钻孔轨迹控制。并通过试验不同的岩心钻具组合,提出了满眼钻具组合的优化意见和建议,为工作区岩心钻孔轨迹控制提供技术参考。

关键词:绳索取心钻进;地层造斜力;轨迹控制;初级定向孔;满眼钻具;雪峰弧构造带

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)05-0108-07

Study of drilling trajectory control for improving exploration accuracy in Xuefenghu structural belt

PAN Deyuan, HE Qianping, CAI Jun, ZHOU Chengjian, LAI Xiaobin

(Changsha Natural Resources Comprehensive Survey, CGS, Changsha Hunan 410600, China)

Abstract: With the increase of mineral resources exploration requirements in recent years, the depth of core drilling is rising and the encountered formations are more and more complex. In order to get the ore body in the target area accurately to realize the geological purposes, the requests to control the drilling trajectory is higher. In some working areas of the Xuefenghu structural belt, the dip angle is large with frequent alternation of the soft and hard layers and broken strata. The stratum deflection is serious during the practical construction. As the hole depth increases, the deviation from the ore body in the target area become larger, which affects the exploration accuracy and quality of the mineral resources. In this paper, through deeply analysing the formation deflection, the primary directional technology and the full-hole drilling tool technology are used in the ZK1001 drilling construction, which greatly improves the quality of the borehole and better controlling the drilling trajectory. Moreover, different core drilling tool combinations in different hole sections are tested, some opinions and suggestions for optimizing drilling tool assemblies are put forward, which provides technical reference of drilling trajectory control for coring hole in the working area.

Key words: wire-line core drilling; formation deflection force; trajectory control; primary orientation hole; full hole drill; Xuefenghu structural belt

0 引言

雪峰弧构造带地处于江南地块,是我国的重要金成矿带,其先后经历了6次地壳运动,从而形成了复杂多样而又层次分明的构造体系^[1]。由于该区域

强烈的构造运动,使得地层劈理节理发育,软硬交替频繁,产状倾角高陡^[2],加之采用绳索取心钻进工艺开展矿产勘查钻探工作。绳索取心管柱直径小、管壁薄、柔度大等结构特点,难以采用大口径钻井

收稿日期:2024-07-04; 修回日期:2024-07-16 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.05.013

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“雪峰弧金锑矿资源勘查”(编号:DD20208007)、“东部地区战略性矿产靶区查证技术支撑”(编号:DD20240012)

第一作者:潘德元,男,汉族,1982年生,高级工程师,钻探工程专业,硕士,从事钻探工艺研究工作,湖南省长沙市宁乡市城郊街道学府路258号,99676335@qq.com。

引用格式:潘德元,贺前平,蔡隽,等.雪峰弧构造带钻孔轨迹控制关键技术研究[J].钻探工程,2024,51(5):108-114.

PAN Deyuan, HE Qianping, CAI Jun, et al. Study of drilling trajectory control for improving exploration accuracy in Xuefenghu structural belt[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(5): 108-114.

中常用的定向钻进技术^[3-4],导致工作区内部署的岩心钻孔轨迹控制难度大^[5-7]。

矿产勘查中一般采用岩心钻探来验证、追索、控制矿体在地下深部的赋存规模、厚度等状态,因此钻孔轨迹的变化影响着矿产勘查的精度^[7]。在岩心钻探施工中,受各种地质和工程因素的影响,钻孔实际轨迹会偏移设计轨迹,且随着深度的不断增加,最终导致钻孔实际控制矿体位置与设计靶点之间的误差,从而影响到矿产勘查工作的质量^[8-9]。近年来随着绿色勘查要求的提高^[10],部分勘查孔设计为定向孔、分支孔,对钻孔轨迹控制的要求不断提高。同时钻孔轨迹偏移会导致钻孔整体弯曲度增加,造成孔内钻杆柱受到的摩阻及磨损加剧,易引起孔内钻具事故^[5,11]。

本文通过雪峰弧某金矿区部署的ZK1001钻孔钻探施工,通过深入分析地层的自然造斜规律,应用初级定向钻进技术和优化绳索取心管柱组合的工艺,在满足地质勘查目的的前提下,将钻孔孔斜控制在较小的范围内,并针对钻进过程中遇到的浅部松散覆盖层对钻孔轨迹影响提出了解决措施。

1 岩心钻孔轨迹控制技术现状

1.1 初级定向钻进技术

在岩心钻探中,初级定向钻进技术一种是常用的控制钻孔轨迹的方法,通过提前调整钻孔开孔角度或位移以抵消钻探过程中轨迹的偏移,从而实现实钻轨迹在设计需控制的矿体靶点附近穿过,获取矿体岩心,达到矿产资源调查的目的^[12]。图1为初级定向钻进原理示意图,由图可知,由于地层自然造斜,按设计开孔角的轨迹①上飘,终孔未能钻至需要勘探的矿体;调整开孔角度的轨迹③和平移开孔位置的轨迹④,利用钻孔自然弯曲规律调整开孔条件后达到勘探要求。

当勘查深度较浅时,可通过调整开孔角度实现勘查目的,有不少学者根据勘探区块钻孔顶角上飘的规律,总结了实际开孔角度较设计角度的增加量和计算方法^[8-9,13-14]。当勘查矿体埋深较大时,需根据地层造斜情况调整孔位,得出平移的开孔位置,该方法在部分矿区得到应用^[15],但是由于钻孔深度大,轨迹变化不确定性增大,难以保证实际轨迹符合设计轨迹,需采用纠斜纠偏等方式控制轨迹,施工难度大。

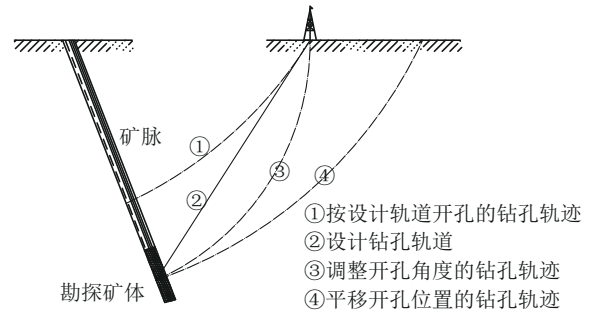


图1 初级定向钻进原理示意

Fig.1 Principle of the primary directional drilling

初级定向钻进技术主要是依靠地层自然造斜规律实现较准确地控制矿脉,并不能较好地预防或控制钻孔的孔斜变化率,如在某地层造斜严重的矿区^[8],地层平均自然造斜率为 $6^{\circ}/100\text{m}$ 左右,300 m深度的钻孔孔斜达到 18° ,随着孔深增加钻杆整体弯曲度和摩阻增大,造成磨损严重,不利于深孔的施工,易引起孔内钻具事故,同时造成取心内管和打捞器下放困难,不利于绳索取心作业。

1.2 防斜打直技术措施

在地质岩心钻探中,有效的预防钻孔弯曲措施为小直径孔底动力钻具,能够较好地控制钻孔轨迹,但是由于其成本高、施工工序较复杂,目前主要用于科学钻孔^[16]和长位移水平孔中,未能得到推广。在一些岩心钻探技术规范中指出满眼钻具组合技术措施可预防钻孔弯曲^[12],但是并未对绳索取心钻具的满眼钻具组合结构要点提出指导意见和设计要求,只有少数学者开展了绳索取心满眼管柱的力学研究分析。黄帆^[17]依据纵横弯曲梁理论建立了绳索取心管柱的力学模型,对稳定器的安装位置和数据进行了研究,但设计安装配置稳定器数量最多达5个,孔内钻具组合过于复杂,不利于正常钻进施工。潘德元等^[18]在此基础上对绳索取心管柱力学模型进行了优化,提出了扶正器的安装方法和原则,并通过实际应用进行了验证。

2 雪峰弧金矿带地质概况

工作区位于雪峰弧湘东北金多金属成矿带上,表层为第四系(Q)松散覆盖层,厚度较薄,主要沿东北、近南北大冲沟呈带状展布,主要赋矿层为新元古界冷家溪群地层(Pt_3l),其岩性为灰—深灰色条带状板岩、条带状粉砂质板岩、变质砂岩(石英砂岩)、凝灰质石英砂岩等,岩性较稳定。

工作区内以小型的皱褶为主,地层断裂构造较发育,断层破碎带主要由构造角砾岩、碎裂岩、糜棱岩化板岩及石英脉等构成,其中构造角砾岩及碎裂岩局部可见黄铁矿化。

根据对该工作区的地质调查工作,矿体和地层的倾角基本较大,故部署的矿产资源勘探孔均为斜孔,钻孔方位垂直于矿体走向。

地层的均匀和倾斜是造成钻孔孔斜的主要因素,一般称为地层造斜力^[19]。据对工作区前期施工的岩心钻孔统计,由于工作区的地层倾角高陡、节理发育、软硬交替变化频繁等原因,地层造斜力较大,钻孔的孔斜变化率较大,普遍存在孔斜上飘现象,受不同区块地层倾角的变化,孔斜增大率在2.0~2.5°/100 m。

3 钻孔轨迹控制难点分析

3.1 钻孔部署及设计

经过前期的地面调查工作,在工作区内初步圈定含矿脉的位置范围,此次钻探工作为对I号矿脉的深部含矿性进行控制,揭露矿脉浅深部160~800 m矿化情况。I号矿脉走向北西西,倾向北东,倾角60°~80°,主要由破碎蚀变板岩、石英脉组成,钻孔处地层走向305°,倾角75°。

根据地层走向及倾角,ZK1001钻孔设计方位215°,倾角75°,孔深800 m,预计在720~725 m钻遇矿体,采用三级孔身结构。

表层松散覆盖层采用Ø122 mm单管取心钻具钻进,钻至基岩后下入Ø114 mm套管护壁;采用Ø96 mm绳索取心钻进至完整基岩后,下入Ø89 mm套管;然后采用Ø76 mm绳索取心钻进至终孔。

ZK1001孔的实际结构和套管程序见图2。

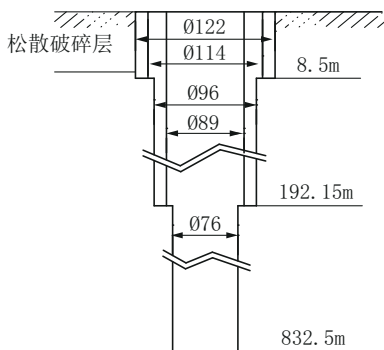


图2 ZK1001钻孔结构

Fig.2 Borehole structure of well ZK1001

3.2 高陡地层及软硬互层影响

由于前期勘探孔深大部分均在300 m以浅,孔斜增加率均符合岩心钻孔质量规范(斜孔要求增加率 $\geq 3^\circ/100\text{ m}$),由孔斜引起的控制矿体长度误差较小,满足矿产资源前期勘查的质量,因此在浅孔施工中未对钻孔轨迹进行严格要求。ZK1001钻孔设计深度为800 m,预计在孔深725 m处钻遇矿脉,深度较大,需要对钻孔孔斜及靶点进行重点分析。

3.2.1 对控制矿脉的影响

ZK1001钻孔中钻头与地层的夹角约为30°,如图3中显示的岩心倾角与节理,该种产状下的地层造斜力较大,易引起钻孔弯曲,孔斜增加率较大。依据对工作区相似地层倾角的钻孔轨迹参数统计分析,采用Ø76 mm常规绳索索取心钻具时平均的斜孔孔斜增大率为2.5°/100 m左右,虽然满足岩心钻探规范要求,但是处于较大的范围。



图3 地层倾角及节理发育情况

Fig.3 Dip angle and joint development

通过计算钻孔轨迹在不同孔斜变化率下与设计靶点的偏移情况:开孔设计顶角15°(即倾角75°)(图1中②号设计轨迹线所示),采用SolidWorks绘图软件尺寸驱动绘制轨迹变化图^[14],计算①号轨迹在不同地层造斜率下对设计靶点偏移情况和孔斜情况,见表1。

表1 不同孔斜变化率对矿产勘查的影响计算

Table 1 Calculation on the influence of the deviation rate on the mine exploration

地层造斜率/[$(^\circ) \cdot (100\text{ m})^{-1}$]	见矿上飘距离/m	见矿深度/m	孔底孔斜/ $(^\circ)$
0	0	725.00	15
0.5	41.46	689.41	18.44
1.0	76.06	660.24	21.60
1.5	105.76	635.61	24.53
2.0	131.77	614.43	27.29
2.5	154.92	597.58	29.94

当按孔斜增加率为 $2.5^{\circ}/100\text{ m}$ 时,钻孔轨迹曲率半径为 2292 m ,表1中计算显示在孔深 597.58 m 处就提前钻遇矿脉(设计 725 m 见矿),控制矿脉的延伸长度缩短了 154.92 m ,较大程度的影响了矿产勘查质量和精度。即使提高钻孔轨迹质量,将孔斜变化率控制在 $0.5^{\circ}/100\text{ m}$ 时,控制的矿脉也减少了 41.46 m 。由此可见,受地层造斜力的影响,当按照设计钻孔轨迹倾角施工时,工作区钻孔轨迹的见矿点均在上漂,缩短了控制矿脉的延伸长度,不利于实现高精度高质量的矿产勘查。

3.2.2 全孔角度变化分析

如采用所述的初级定向钻进技术,根据地层自然造斜强度($2.5^{\circ}/100\text{ m}$)调整开孔角度,按前人经验^[8,14],角度调整量为 $2.5^{\circ}/100 \times 725 \div 2 = 9.06^{\circ}$,则开孔倾角为 $75^{\circ} + 9.06^{\circ} = 84.06^{\circ}$ (顶角 5.94°)。

如图1中③号轨迹线所示,采用SolidWorks绘图软件的尺寸驱动方法绘制轨迹变化图,显示在孔深 793.38 m 处钻遇设计靶点(斜直孔长度为 725 m),全孔孔斜增加量为 19.83° ,孔底孔斜达到 25.77° ,也增加了钻孔深度。分析发现全孔的弯曲度较大,不利于钻孔下半段施工,钻杆整体弯曲度较大,易造成钻杆接头和管体严重磨损导致孔内钻具事故,图4为弯曲钻孔内绳索取心钻杆接头磨损状态。



图4 钻孔弯曲引起的管柱磨损

Fig.4 Pipe wear caused by hole bending

通过前文对ZK1001钻孔轨迹分析,如按照设计轨迹倾角施工,即使将孔斜变化率控制在很小的范围内,钻孔见矿位置与设计的位移偏差也较大,影响矿产勘查精度和质量;而使用初级定向钻进技术时,由于钻孔孔深较大,常规绳索取心钻具钻进导致全孔的角度变化较大,不利于正常施工,易引起钻具磨损甚至事故;同时该工作区地质构造发育,深部地层产状的不确定性较大,增加了钻孔轨迹的控制难度。

3.3 松散堆积层

岩心钻探中浅部地层通常采用单管取心钻进。雪峰弧工作区的表层为松散堆积层,主要沿北东、近南北大冲沟呈带状展布,主要为成分为碎石土,见图5。该层主要坡积物,碎石颗粒分选和磨圆度差,具有松散、孔隙度高、抗剪强度低等特点,与下伏基岩面易产生滑动。



图5 表层松散堆积碎石

Fig.5 Loose accumulated rocks on the surface

由于松散层由块石碎石堆积而成,加之开孔直径较大,存在一定倾角,单管取心时频繁起下钻易破坏孔壁周围碎石堆积应力作用^[20],孔壁存在一定变形,同时产生的掉块堆积在孔底低边处,而表层套管壁薄、质量轻,不足以克服孔壁变形和孔底掉块的影响,会在碎石层与基岩交界处产生一定偏斜,进而导致下部孔段孔斜变化。

ZK1001钻孔部署在冲沟边缘,松散堆积层厚度为 $8\sim 10\text{ m}$,开孔采用 $\text{O}122\text{ mm}$ 单管取心,钻遇基岩后下入 $\text{O}114\text{ mm}$ 套管,深度为 8 m ,更换 $\text{O}96\text{ mm}$ 绳索取心继续钻进,首次开孔进行多点测斜后发现孔深 10 m 处孔斜增加了 2.51° ,即为松散覆盖层与下伏基岩面交界处,导致孔斜质量超标。

4 钻孔施工关键技术

通过对ZK1001钻孔轨迹控制难点分析,提出了多种关键技术相结合的施工方案^[20]:(1)采用初级定向技术,计算并调整钻孔开孔角度,抵消部分轨迹变化的偏移量;(2)浅部松散层开孔采用多级管柱跟管钻进,克服松散层与基岩面之间的相对滑动;(3)S75孔段采用绳索取心满眼钻具组合,提高孔底管柱的刚度和降斜力,降低孔斜变化率,避免全孔孔斜增加过大。

4.1 初级定向工艺+满眼钻具组合

绳索取心常用的孔底钻具组合:取心钻头+下

扩孔器+取心钻具+上扩孔器(弹卡室)+绳索取心钻杆。由于绳索取心钻进工艺需要确保岩心内筒能够在钻杆柱内部顺畅起下,导致绳索取心管柱外径小、管壁薄、整体柔性较大,管柱结构单一,对钻孔的防斜能力较弱。岩心钻探规范中指出合理选择钻具结构与级配,尽量使用满眼钻进预防钻孔弯曲,但是对满眼钻进的钻具组合结构未做出指导,因此现场对稳定器的安装位置进行试验以取得可行的满眼钻进方案。

在ZK1001钻孔的S75钻具孔段,通过钻头、上下扩孔器和稳定器形成满眼钻具组合结构,将开孔倾角按初级定向钻进技术由设计75°调整为80°。为防止扶正器对冲洗液循环压力和管柱摩阻产生较大影响,保障深部孔段施工顺利,钻杆上稳定器设计安装1个,并对稳定器的安装位置进行试验,具体钻具组合如下:

第一种组合:Ø76 mm取心钻头+Ø76.5 mm下扩孔器+S75绳索取心钻具+Ø76.5 mm上扩孔器(弹卡室)+Ø71 mm绳索取心钻杆3 m(1根)+Ø76.5 mm稳定器1个+Ø71 mm绳索取心钻杆+主动钻杆,稳定器的跨距为3 m。

第二种组合:Ø76 mm取心钻头+Ø76.5 mm下扩孔器+S75绳索取心钻具+Ø76.5 mm上扩孔器(弹卡室)+Ø71 mm绳索取心钻杆6 m(2根)+Ø76.5 mm稳定器1个+Ø71 mm绳索取心钻杆+主动钻杆,稳定器的跨距为6 m。

4.2 跟管钻进工艺

由于施工现场未配备大口径绳索取心钻具,只有单管取心钻具,为确保开孔段孔壁稳定,避免单管取心钻具多次起下钻造成松散覆盖层的孔壁变形,现场决定采用岩心钻具的跟管钻进工艺^[21-22]。

开孔跟管钻进的工序为:采用Ø122 mm钻头+Ø114 mm钻杆的单管取心钻具钻进建立孔口后,将Ø114 mm钻杆下入孔底作为套管,并在孔口用卡瓦固定。在套管内部下入Ø95 mm绳索取心钻具取心钻进,完成取心后,由Ø114 mm套管使用管靴进行扩孔,跟管钻进至取心孔底。根据地层情况及时扩孔跟管,直至穿越复杂地层,避免Ø114 mm钻杆多次起下。

ZK1001钻孔采用Ø114 mm套管跟管钻进进入基岩1 m后,将套管在孔口进行固定,即完成了第一级孔段的施工,然后换S95钻具钻进,避免了钻杆柱在浅部地层频繁起下钻导致的孔壁变形、掉块等复

杂情况。

5 ZK1001钻孔施工概况

ZK1001钻孔设计开孔角度75°,实际开孔角度80°,第一个孔未控制好浅部松散层引起的孔斜超标,上飘严重,孔斜变化率达到9.25°/100 m,现场研讨后决定挪孔,将孔位沿着施工方向向后挪动1 m重新开孔,钻进至832.5 m终孔。

重新开孔后全孔的结构参见图2。第一级钻孔采用跟管钻进工艺,第二级钻孔采用常规绳索取心工艺;第三级钻孔采用了满眼钻具组合,并在不同孔段试验钻杆稳定器安装位置。

5.1 钻具组合结构对孔斜的影响

ZK1001钻孔孔斜变化情况见表2。

表2 ZK1001钻孔质量情况

Talbe 2 Borehole quality of the well ZK1001

孔段/m	孔斜(起始~结束)/(°)	钻具组合及工艺	孔斜变化率/[°·(100 m) ⁻¹]
0~15	10~10.12	跟管钻进	0.80
15~192	10.12~14.38	S95常规绳索取心钻具	2.41
192~460	14.38~17.77	S75满眼钻具,跨距3 m	1.26
460~590	17.77~19.83	S75满眼钻具,跨距6 m	1.58
590~652	19.83~19.20	S75满眼钻具,跨距3 m	-1.01
590~811	19.20~21.34	S75满眼钻具,跨距3 m	1.34

对比分析不同孔段采用的钻具组合结构可知:

(1)取心跟管钻进技术较好地克服了浅部松散层对孔斜的影响;

(2)Ø95 mm孔段采用常规绳索取心钻具结构,即使钻进时采用了低钻压钻进,但是受地层造斜力的影响,钻孔孔斜变化达到了2.41°/100 m,与该工作区其他钻孔情况相似;

(3)Ø76 mm孔段采用的满眼钻具组合预防钻孔弯曲效果有了很大提升,平均孔斜增加率为1.12°/100 m;

(4)钻杆稳定器跨距为3 m(第一种组合)时比跨距为6 m(第二种组合)时预防钻孔弯曲效果更好,当跨距由6 m更换到3 m时出现降斜现象,说明

钻具增加了降斜力,现场分析为S75绳索取心钻杆柔度较大,当跨距6 m时钻杆产生屈曲效应^[23-24],降低了防斜效果。

5.2 控制矿体分析

通过对比分析钻孔的设计轨迹和实钻轨迹(见图6),由于增加了开孔倾角,在孔深560 m以浅实钻轨迹处于设计轨迹以下,随着孔斜的增加,轨迹逐渐上飘,在560 m处相碰,之后处于设计轨迹上侧,经计算见矿点位置较设计靶点上飘19.46 m,与表1中的偏差数据相比,精确度较高。

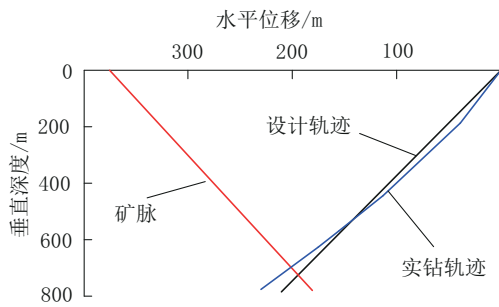


图6 钻孔轨迹示意
Fig.6 Borehole thajactory

5.3 孔身质量分析

(1)联合采用满眼钻具结构+初级定向技术后,全孔孔斜增加量为11.34°,比仅采用初级定向时计算所增加的19.83°有了很大程度减小,有利于改善孔内管柱受力情况,降低钻具摩阻和钻机负荷;

(2)全孔平均孔斜增加率为1.4°/100 m,小于规范要求要求的3°/100 m,也小于工作区常规绳索取心钻进的孔斜变化率;

(3)与设计矿脉靶点偏移距为19.46 m,控制矿体的准确程度较高,有利于提升矿产资源勘查的精度。

6 工作区绳索取心满眼钻具使用效果统计

由于满眼钻具在ZK1001钻孔的使用中对钻孔孔斜变化率起到了良好的控制,故在该工作区后期部署的钻孔中均采用该钻具组合,跨距均为1根钻杆(3 m),钻孔孔斜变化情况统计如表3。

通过在工作区多个钻孔使用满眼钻具结构发现,对比常规绳索取心钻具结构,钻孔孔斜变化率由2.5°/100 m左右降低为1°/100 m左右,较大幅度地降低了钻孔弯曲,提高了钻孔质量。

表3 采用满眼钻具的钻孔孔斜变化率

钻孔编号	钻孔深度/m	钻孔倾角(起始~结束)/(°)	全孔孔斜平均变化率/[[(°)•(100 m) ⁻¹]
ZK2301	159.12	85~83.53	0.92
ZK1301	403.20	77~72.51	1.11
ZK1401	400.30	75~71.52	0.87
ZK2001	218.6	71~68.9	0.96
ZK10001	151	85~82.49	1.66
ZK10701	160.2	89~86.73	1.42

7 结论与建议

(1)对于较深的岩心钻孔,宜联合采用初级定向技术+满眼钻具工艺,在确保控制矿体的同时,可防止钻孔弯曲度过大。

(2)绳索取心满眼钻具组合能够提高孔底钻具的刚度,在雪峰弧某矿区的使用效果显示具有较好的降低钻孔弯曲效果,但是受绳索取心钻孔环空间隙限制,应合理控制安装稳定器的数量,避免循环冲洗液泵压及钻具摩阻过大。

(3)应合理设计稳定器间的安装跨距,不宜过大,最优跨距需采用管柱力学进行深入分析,试验表明S75绳索取心钻具的稳定器跨距为3 m的防斜效果好于6 m。说明跨距6 m时稳定器中间的S75绳索取心管柱已经发生屈曲,刚度降低,可见当跨距继续增加时稳定器的防斜效果将减小甚至消失。

(4)对于浅部松散层,应避免在松散层频繁起下钻引起孔壁变形和掉块,进而影响孔口管的稳定导致孔斜变化。

参考文献(References):

[1] 苏康明,谢朝晖,宋维国.雪峰弧金矿控矿构造[J].矿业快报,2006,25(5):50-52.
SU Kangming, XIE Chaohui, SONG Weiguo. Construction forming ore body of Xuefenghu Gold mine[J]. Express Information of Mining Industry, 2006, 25(5): 50-52.

[2] 郑涛,李篡峰,刘云华,等.湖南半边山金矿成矿地质条件与找矿前景分析[J].矿产勘查,2021,12(5):1161-1167.
ZHENG Tao, LI Cuanfeng, LIU Yunhua, et al. Analysis on ore-forming geological conditions and prospecting potential of Banbianshan Gold deposit in Hunan [J]. Mineral Exploration, 2021, 12(5): 1161-1167.

[3] 金鑫.定向钻进技术在高瓦斯矿井大区域瓦斯抽采中应用效果[J].矿产勘查,2023,14(6):982-988.
JIN Xin. Application of directional drilling technology of gas drainage in large area of high gas mine[J]. Mineral Exploration, 2023, 14(6): 982-988.

[4] 董佑桓.地质导向技术在复杂构造区页岩油水平井高效施工中

- 的应用[J]. 矿产勘查, 2023, 14(6): 974-981.
- DONG Youhuan. Application of geosteering technology in high efficiency construction of shale oil horizontal wells in complex structural areas[J]. Mineral Exploration, 2023, 14(6): 974-981.
- [5] 吴金生, 张统得, 李晓晨, 等. 小直径深孔随钻定向纠斜技术在地质钻探中的应用[C]//第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 西宁, 2019: 81-88.
- WU Jinsheng, ZHANG Tongde, LI Xiaochen, et al. Application of small diameter deep hole directional correction technology during drilling in geological cobalt exploration[C]//Proceedings of the 20th National Conference on Exploration Engineering (Geotechnical Drilling and Excavation Engineering) Academic Exchange. Qinghai Xining, 2019: 81-88.
- [6] 孔祥旺, 张绍和, 王文彬, 等. 湘西北复杂构造区破碎地层绳索取心钻进技术难点及优化[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(2): 247-252.
- KONG Xiangwang, ZHANG Shaohu, WANG Wenbin, et al. Difficulties and optimization of wire-line core drilling technology for broken formation in complex structure area of northwest Hunan[J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(2): 247-252.
- [7] 刘振新, 翟育峰, 徐志权, 等. 小秦岭整装勘查区综合普查钻探技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(3): 37-43.
- LIU Zhenxin, ZHAI Yufeng, XU Zhiqian, et al. Drilling technology applied during comprehensive prospecting in the Xiaoqingling integrated exploration area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3): 37-43.
- [8] 侯晓东, 张艳芳. 预飘措施在复杂地层中深孔钻探中的运用[J]. 金属矿山, 2009(10): 114-116, 125.
- HOU Xiaodong, ZHANG Yanfang. Application of pre-floating measures in deep-hole drilling in the complex strata[J]. Metal Mine, 2009(10): 114-116, 125.
- [9] 陆洪智, 余瑞琪, 石耀军. SPSS软件在钻孔弯曲规律预测中的应用研究[J]. 钻探工程, 2023, 50(4): 49-56.
- LU Hongzhi, YU Ruiqi, SHI Yaojun. Application of SPSS software in prediction of borehole bending law[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4): 49-56.
- [10] 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.
- LIU Haisheng, DOU Bin, MU Yuanhong, et al. Application and cost analysis of green exploration technology in geological core drilling[J]. Mineral Exploration, 2021, 12(2): 331-337.
- [11] 程红文, 朱恒银, 刘兵. 南岭科学钻探NLS-1孔防斜及纠斜技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(3): 109-117.
- CHENG Hongwen, ZHU Hengyin, LIU Bing. Deviation prevention and correction technology for NLS-1 hole of Nanling Scientific Drilling[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(3): 109-117.
- [12] 汤凤林, A. F. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009.
- TANG Fenglin, A. F. Jialining, DUAN Longchen. A Core Drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2009.
- [13] 石磊. 广东京村金矿大角度斜孔钻进工艺实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(6): 14-18.
- SHI Lei. High angle borehole drilling in Jingcun Gold Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 14-18.
- [14] 张百东, 王宏斌. 钻孔轨迹参数计算及三维成图方法研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(4): 31-35.
- ZHANG Baidong, WANG Hongbin. Calculation of drilling trajectory parameters and discussion of 3D mapping method[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4): 31-35.
- [15] 李国才, 祁恩强. 离线移位初级定向技术在凤太矿区某孔斜严重钻孔施工中的应用[J]. 中国金属通报, 2021(7): 35-37.
- LI Guocai, QI Enqiang. Application of offline displacement primary directional technology in the construction of a severely deviated borehole in Fengtai mining area[J]. China Metal Bulletin, 2021(7): 35-37.
- [16] 朱恒银, 蔡正水, 王强, 等. 赣州科学钻探NLS-1孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 1-7.
- ZHU Hengyin, CAI Zhengshui, WANG Qiang, et al. Study and practice of construction technology for scientific drilling hole NLS-1 in Ganzhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(6): 1-7.
- [17] 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.
- HUANG Fan. Research and application of anti-deviation technology of wire-line coring assembly with packed hole stabilizers based on vertical and horizontal bending theory[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014.
- [18] 潘德元, 贺前平, 蔡隽, 等. 绳索取心满眼管柱的力学模型优化与应用[J]. 力学与实践, 2023, 45(3): 585-591.
- PAN Deyuan, HE Qianping, CAI Juan, et al. Optimization and application of mechanical model of wire coring string with packed hole assembly[J]. Mechanics in Engineering, 2023, 45(3): 585-591.
- [19] 白家社, 苏义脑. 井斜控制理论与实际[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- BAI Jiashi, SU Yinao. Theory and Practice of Well Deviation Control[M]. Beijing: Petroleum industry press, 1990.
- [20] 潘德元, 蔡隽, 贺前平, 等. 一种提高高陡地层勘查精度的钻孔轨迹控制方法: CN202311722680.3[P]. 2023-12-14.
- PAN Deyuan, CAI Jun, HE Qianping. A drilling trajectory control method for improving the accuracy of high and steep geological exploration: CN202311722680.3[P]. 2023-12-14.
- [21] 黄小军, 贺修安, 陈晨. 多级跟管钻进工艺在苏哇龙水电站贡扎滑坡体工程勘察中的应用[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 47-49.
- HUANG Xiaojun, HE Xiuan, CHEN Chen. Application of multi-casting drilling to engineering investigation of Gongzha landslides for Suwalong Hydropower Station[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(3): 47-49.
- [22] 汪涛. 云南某矿区复杂地层深孔岩心钻探关键技术应用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- WANG Tao. Advanced drilling technology study for deep-hole complex-formation exploration project in Yunnan[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2013.
- [23] 苏凯, 孙友宏, 贾瑞, 等. 深孔钻进中绳索取心钻杆应力的有限元分析及优化电算[J]. 应用科技, 2016, 43(3): 75-81.
- SU Kai, SUN Youhong, JIA Rui, et al. Finite element analysis and computer optimization of wire-line coring drill pipe stress in deep-hole drilling[J]. Applied Science and Technology, 2016, 43(3): 75-81.
- [24] 陈洪岩. 地质钻探钻柱功率传递规律模拟实验系统设计与研建[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- CHEN Hongyan. Design and research of geological drilling drill power transfer law simulation experiment system[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.