

# 贵州省烂泥沟金矿大角度斜直深孔绳索取心钻探技术

宋继伟<sup>1</sup>, 冉飞<sup>1</sup>, 吴博<sup>2</sup>, 杨丕祥<sup>2</sup>

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 112 地质大队, 贵州 安顺 561000;  
2. 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队, 贵州 贵阳 550018)

**[摘要]** 矿产资源勘查随着程度的提高和深度的增加, 对于钻孔防斜保直要求越来越高。贵州省烂泥沟金矿 2021 年度勘查设计 7 个超过千米的大角度斜直孔(顶角 20°~32°之间), 要求每百米顶角和方位角偏斜均不超过 1°, 绳索取心工艺仅靠传统方式难以保证该精度。项目实施过程中, 钻探施工单位采用光面扶正器和液动冲击钻进方式进行防斜保直; 采用调整钻具组合、短距反复切削、换径重复导向扩孔方式进行升降顶角; 采用正反交替钻进方式进行纠方位。通过上述措施有效地达到了预期目标, 所形成的经验对于类似大角度斜直深孔取心钻探具有一定借鉴价值。

**[关键词]** 大角度斜直深孔; 防斜保直; 钻具组合; 绳索取心液动锤

**[中图分类号]** P624.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2022)04-414-05

## 1 引言

数十年的地质勘查工作, 我国大部分浅层(1 000 m以浅)固体矿产基本均已查明, 现在逐步向深部和高级别勘查程度发展。随着钻孔的逐步加深和勘查程度的逐步提高, 出现一对突出矛盾: 钻孔越深, 孔底偏移越大; 勘查程度越高, 要求孔底偏移越小。举例说明: 2020 年, 贵州省重点矿产资源大精查高地锰矿勘查项目, 设计平均孔深 1 700 m, 设计勘探线间距 200 m、钻孔间距 300 m, 要求终孔孔底位移不超过线距和孔距的 1/4, 也即控制在宽 50 m、长 75 m 的矩形范围内, 这么大的孔深、这么小的位移, 从绳索取心钻进这套工艺目前的水平来看, 基本无法实现。实际施工结果也证明了这一点, 全部 14 个钻孔均偏出靶区, 最后在分析偏移规律的基础上对勘探线做出整体平移

才解决该问题。绳索取心钻具这套机具本身没有太多格外的防斜、纠斜办法(宋继伟等, 2020), 一旦出现了大幅度的孔斜超标以后, 除了采取定向钻进纠斜, 几乎没有其它可行可靠的办法来处理。定向钻进技术和成本门槛较高, 目前国内大多数单位未掌握且难以承担费用(石智军等, 2013; 宋继伟等, 2018; 赵建国等, 2018)。因此, 探索小口径岩心钻探深孔防斜保直技术是目前生产中非常具有实用价值的课题。

贵州省贞丰县烂泥沟金矿 2021 年度勘查项目, 设计 7 个超过千米的大角度斜直孔(顶角 20°~32°之间), 要求每百米顶角和方位角偏斜均不超过 1°。受重力影响, 大角度斜孔孔斜本身控制难度更大(高德利, 2005; 李文飞, 2012; 陈涛等, 2016; 王昶宇等, 2017), 再加上该矿区地层产状陡、软硬不均情况严重, 如何有效防斜保直确保精度是主要难题。参与项目施工的贵州省地矿局

**[收稿日期]** 2022-08-18 **[修回日期]** 2022-10-11

**[基金项目]** 贵州省地矿局地质科研项目(编号: 黔地矿科合[2022]4号、黔地矿科合[2019]15号、黔地矿科合[2020]17号、黔地矿科合[2020]18号)。

**[作者简介]** 宋继伟(1982—), 男, 研究员, 主要从事钻探技术研究工作。E-mail: 343219784@qq.com。

112 地质大队、117 地质大队,通过调整钻具组合、正反交替钻进、短距反复切削、液动冲击钻进等合理机具及措施,实现所有钻孔终孔孔斜均控制在允许范围内,优质完成任务。该矿区所设计 ZKF001 孔,孔深 1 080 m、顶角 32°、方位角 270°,要求终孔后保持方位角不变,再向下方侧钻一顶角为 28°的分支孔,非常具有代表性,本文即以该钻孔为例阐述主要做法。

## 2 地层情况

通过表 1 可以看出,ZKF001 孔地层对于钻探工作的影响主要有三个方面:一是节理裂隙发育,钻井液漏失严重;二是破碎带繁多,孔壁稳定性极差;三是软与硬、完整与破碎互层频繁,极易发生偏斜。该孔地层特性充分代表了矿区的施工难度,以上困难对于钻探技术提出挑战,在保证安全钻进的前提下,如何实现防斜保直钻进是最核心问题。

表 1 钻孔 ZKF001 主要地层资料

Table 1 Main layer data of borehole ZKF001

埋深(m)	地层名称	岩性	备注
0~7	第四系(Q)	亚粘土夹砾石。	
7~12	边阳组(T <sub>2</sub> by)	钙质砂岩夹泥岩。	
12~340	许满组(T <sub>2</sub> xm)	石英砂岩、砂岩,节理裂隙发育。	该段地层中夹 8 条构造破碎带,最薄 2.9 m、最厚 26.4 m,构造角砾为棱角状砂岩、灰岩。
340~848	吴家坪组(P <sub>3</sub> WJ)	白云质灰岩、泥晶灰岩,节理裂隙较发育。	该段地层中夹 2 条构造破碎带,厚度分别 10.4 m、98.32 m,构造角砾为次棱角状灰岩。
848~1 080	茅口组(P <sub>2</sub> mk)	泥晶灰岩,节理裂隙较发育。	该段地层中夹 5 条构造破碎带,构造角砾为次棱角状灰岩。

好的效果。后期逐步摸索,又拓展出三种新的方式:一是将传统的绳索取心 3 m 外管改为两段式,这样中间可以再加一个扶正器形成三扶正器钻具;二是在钻具与第一根钻杆连接处可以多加扶正器;三是在钻杆中间每隔一段距离加扶正短节。通过以上方式,大幅度提高了绳索取心这套机具的防斜保直能力。

### 3.1.2 增斜

试钻阶段,使用双扩孔器钻具钻进至 176 m,顶角降了 3°,必须采取有效办法增斜。经现场反复尝试,形成“杠杆钻具”(图 1),增斜效果非常明显。“杠杆钻具”组合为“1.5 m 或 3 m 短钻具+大口径上扩孔器”,本次现场具体加工为 96 mm 绳索钻具外管上部外围焊接一个切为两半圆的 122 mm

## 3 防斜保直技术

### 3.1 调整钻具组合

#### 3.1.1 防斜

区别于大口径全面钻进使用高刚度、大重量钻铤加压吊打防斜,绳索取心这套薄壁钻具本身没有更好的防斜措施,为勉强提高一些防斜能力,只有多加扶正器,也就是多加扩孔器(殷朝阳等,2000;胡修俊等,2009;黄才启,2011;赵国法等,2013;胡贵等,2015)。试钻阶段,保证钻具是上下双扩孔器。钻进一段距离,发现顶角降得很快,分析原因是大角度斜孔,在重力和钟摆作用下扩孔器优先偏磨下方孔壁(刘德平等,2011;李子丰等,2013;郑锦堂,2019),造成孔眼往下掉,因此在采取措施增斜以后,将扩孔器保径金刚石复合片研磨料去掉,改成与钻头同外径带螺旋水口的光接头,消除偏磨,只剩支撑扶正功能,取得了非常

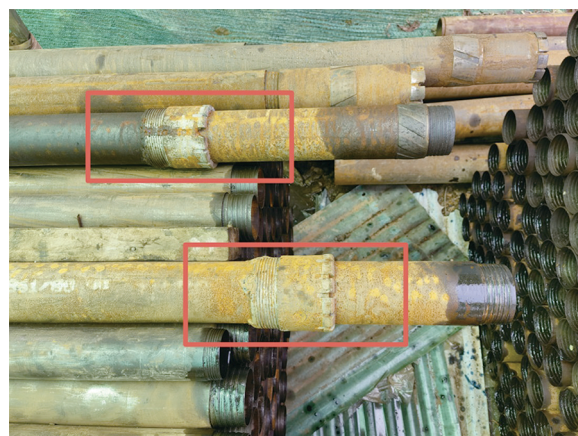


图 1 杠杆钻具实物图

Fig. 1 Picture of the lever drilling tool

电镀金刚石钻头。原理为:大角度斜孔底部,以122 mm 钻头为支点,该钻头上部89 mm 绳索钻杆在重力作用下形成一个往下弯的半圆弧,该钻头下部短钻具在杠杆作用下上翘,随着连续钻进,最终实现钻孔增斜。同时,1.5 m 短钻具增斜能力优于3 m 长钻具。

### 3.1.3 降斜

至490 m 孔深,虽然采取积极防斜措施,顶角仍然增大了 $6^\circ$ ,必须采取有效办法降斜。经现场反复尝试,使用“4.5 m 长钻具+常规上扩孔器”组合降斜效果非常明显。主要原理是:只使用上扩孔器,钻具在没有下扩孔器支撑的情况下,会因为微小的环空和重力产生向心作用,同时4.5 m 长钻具比3 m 短钻具柔性好的多,两个条件相辅相成即形成了良好的降斜钻进。

另外,以此原理推测,如果使用更长钻具,同时上扩孔器安装位置继续上移、外径略微增大,降斜效果应该更好,这有待今后在实践中进一步探索。

## 3.2 正反交替钻进

使用反转是纠正方位的良好办法。钻进至205 m,方位角变为 $273^\circ$ ,向右偏了 $3^\circ$ 。这时孔内为PQ 绳索钻具122 mm 口径钻进,及时更换反丝S96 绳索钻具,同时在该钻具外管上部包焊了一个切为两个半圆的122 mm 电镀金刚石钻头随钻扩孔,反转钻进一段距离,纠方位效果非常好,而且同时实现了增顶角。原理分析:孔底钻进,区别于顶角变化规律,重力对于方位角的影响很小,方位角变化的主要影响因素就是地层特性和钻具回转方向,同一个地层条件下,相反的回转方向即会产生相反的方位偏移。

总结经验,使用反转钻进纠正方位还有以下三个特点和优点:一是使用反转钻进纠方位一定要及时,力争在同一层位中纠,最好在同一层位的末段纠,这样纠回来以后马上进入新的层位就可以避免重复偏移,因此下反丝钻具的位置和时机选择是一个要点。一旦纠方位不及时,反丝钻具下晚了已经进入新的地层,如果新地层较为完整均匀,那么将导致纠斜效果很差甚至无效。二是使用小一径反丝钻具比同径反丝钻具纠斜效果更好,主要原因是更换小一径钻具后,在纠斜开始阶段,钻具周围有较大的环空,更有利于钻具侧偏。

另外,在小径钻具上部外围包焊与上一径同尺寸的扩孔钻头,可同时实现随钻扩孔、避免开始时顶角陡降、后期抬升顶角的多重效果。改变反丝钻具长度和包焊扩孔钻头的尺寸,可以达到纠方位和顶角同时开展。三是现场配备一两种反丝绳索钻杆钻具很有意义,除了可用于纠方位,在孔内出现事故需要反钻具的时候,反丝绳索钻杆和其它正丝绳索钻杆可交替反取,节约了 $\Phi 50$  mm 反丝钻杆的配备成本,一举两得。

## 3.3 短距反复切削

降顶角的一个有效操作是“轻压吊打+短距离反复切削”,具体原理和工法是:需要减小顶角时,在对应孔段反复短距离上下提放钻具,这个短距离经摸索以10 m 左右3-4 根绳索钻杆的长度为宜,这个长度的钻杆已经有了较好的柔性,可以产生造斜曲线。提放钻具过程中,用极小的钻压(能进尺即可)和比正常钻进略低的转速回转钻进。大角度斜孔,在重力和钟摆作用下钻头和扩孔器优先偏磨下方孔壁,反复上下提放钻具即形成反复切削最终实现降低顶角。该钻孔一共使用了两次,第一次是孔深680 m 时降顶角,第二次是ZKF001 终孔后保持方位不变的情况下向下分支ZKF001A 孔,都良好的达到了目的。

## 3.4 液动冲击钻进

冲击钻进拥有非常好的防斜保直作用(苏长寿等,2010;王建华等,2011;赵华,2011;杭程等,2013;杨宽才等,2013;卢予北,2014)。小口径岩心钻探最成熟的冲击器就是潜孔锤,该项目钻进过程中使用了中国地质科学院勘探技术研究所生产的SYZX96 型绳索取心液动潜孔锤。绳索取心液动潜孔锤一般主要用于硬岩钻进和防堵塞钻进,防斜保直则是附带效果,本项目地层中基本没有硬岩层段,主要发挥该钻具的防堵塞和防斜保直作用,实践证明,效果很理想。绳索取心液动潜孔锤已经是很多年的产品了,理论和结构上均非常成熟,但是实际生产中使用极少,究其原因,岩心钻探工作,钻孔口径小,在这个小尺度上,结构太复杂的机具,太多的细小零部件太容易损坏,再加上岩心钻探泥浆体系水平较低,更大大降低这套钻具的寿命,因此长期被弃用。现在,我国金工材料性能和加工精度水平大幅度提高,本次所



采购的绳索取心液动潜孔锤就体现出了优质的稳定性,今后生产中可以广泛推广使用。

### 3.5 其它方法经验

#### 3.5.1 换径重复导向扩孔

换径是简单快捷降顶角的方法。比如在122 mm孔眼中不下套管,直接下HQ绳索钻具换径钻进,重力作用下,96 mm钻头直接躺在大孔眼的下方,延伸钻进的话,顶角很直接的减小一定度数。钻进一段距离,重新换回122 mm钻具带导向扩孔钻进,这样形成的新的大孔眼同样实现了顶角降低。重复上述操作,可在合适长度的孔段上修正得到理想的顶角。

#### 3.5.2 单独下扩孔器钻具

绳索取心只有单独下扩孔器时,防斜效果较差。目前部分绳索钻具厂家出于降低生产成本提高价格竞争优势考虑,将钻具设计成了只有下扩孔器,貌似影响不大,其实差之毫厘谬以千里。这种单扩孔器施工浅孔,对于精度要求不高时问题还不突出,一旦用于高勘查级别、深部勘探矿区,易偏斜的弊端就充分暴露出来了。直孔施工时,近孔底部分钻杆处于受压轻微弯曲状态,这时就以单扩孔器为支点形成了一个翘板,钻头偏磨,极易跑偏;大角度斜直孔施工时,近孔底部分钻杆在重力和压力作用下向下方轻微弯曲,同样以单扩孔器为支点形成钻头上翘,所施工钻孔容易顶角增大。单扩孔器与前述所提“杠杆钻具”原理相同,只是力度相对较弱。所以,高精度要求的勘查项目,单独下扩孔器的绳索钻具应该慎用。

## 4 结论

(1)定向钻进是目前唯一能定量精确纠正钻孔轨迹的技术,但其技术及成本门槛较高,小口径岩心钻探应用极少,因此探索立足绳索取心钻具的“土法”防斜保直技术有很强的现实意义和实践价值。

(2)“多加扶正器”、“液动冲击钻进”是防斜保直的有效措施。

(3)“短钻具+大口径上扩孔器”形成强力“杠杆钻具”,是大角度斜直孔增斜升顶角的有效措施。

(4)“长钻具+常规上扩孔器”钻具组合、短距

反复切削、换径重复导向扩孔是大角度斜直孔降顶角的有效措施。

(5)“正反交替钻进”是大角度斜直孔纠方位的有效措施。

(6)以上主要措施,很大程度上归功于“重力”。大角度斜直孔,因为增加了“重力”这个可被人为利用的有利因素,使得增斜、降斜等工作相比于垂直孔变得更加容易实现。

### [参考文献]

- 陈涛,刘德平. 2016. 防斜打直技术在川东地区高倾角地层的应用[J]. 天然气技术与经济,10(6):24-26.
- 高德利. 2005. 易斜地层防斜打快钻井理论与技术探讨[J]. 石油钻探技术,33(5):16-19.
- 胡修俊,祝效华,贾彦杰,等. 2009. 刚性满眼钻具组合模态分析研究[J]. 石油机械,37(11):36-38.
- 黄才启. 2011. 充填钻孔的关键要素与施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),38(10):66-69.
- 杭程,彭典珠,丁春山,等. 2013. 绳索取心液动潜孔锤在岩心钻探施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),40(2):36-39.
- 胡贵,刘新云,于文华,等. 2015. 钻具稳定器结构对复合钻井导向力的影响[J]. 天然气工业,35(7):73-79.
- 刘德平,吴宗国,谭宾. 2011. 钟摆钻具带偏轴钻具组合防斜技术试验研究[J]. 天然气技术与经济,5(3):26-28.
- 李文飞. 2012. 基于地层倾斜规律的防斜打直钻井技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),39(8):1-4.
- 李子丰,杨海滨,许春田,等. 2013. 定向井滑动钻进送钻原理与技术[J]. 天然气工业,33(12):94-98.
- 卢予北. 2014. 小秦岭复杂地层液动锤绳索取心钻探试验研究[J]. 地质与勘探,50(2):391-396.
- 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等. 2010. 系列高效液动锤的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),37(3):27-31.
- 石智军,李泉新,许超. 2013. 煤矿井下随钻测量定向钻进技术及应用[J]. 地质装备,14(6):32-36.
- 宋继伟,蒋国盛,苏宁,等. 2018. 贵州省复杂地层地热深井钻探工艺[J]. 地质与勘探,54(5):1024-1037.
- 宋继伟,蒋国盛,班金彭. 2020. 中国南海珊瑚岛礁泻湖砂层钻探取心技术[J]. 地质与勘探,56(6):1251-1257.
- 王建华,苏长寿,左新明. 2011. 深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J]. 勘察科学技术,38(6):59-64.
- 王昶宇,肖冬顺,曾立新,等. 2017. 某工程下穿京广铁路大角度斜孔施工技术[J]. 西北水电,39(4):110-114.
- 殷朝阳,柏景海,何俊才. 2000. 直井防斜钻具组合技术综述[J]. 天然气工业,20(1):50-53.
- 杨宽才,田敏,曾石友,等. 2013. 绳索取心液动潜孔锤钻进技术在小秦岭金矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),40(2):40-43.
- 赵华. 2011. SYZX系列绳索取心液动锤在新余梅山煤矿易斜深孔防斜钻进中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),38(9):

- 27-29.
- 赵国法,邱顺兵,韦猛. 2013. 多扶正器防斜钻具组合在大岗山水电站帷幕灌浆工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),40(4):71-74.
- 赵建国,李泉新. 2018. 碎软煤层定向钻进技术研究与应用[J]. 煤矿安全,49(7):119-122.
- 郑锦堂. 2019. 螺杆钟摆钻具快速钻进及防斜打直技术应用[J]. 化学工程与装备,49(2):58-59.

## Rope Coring Drilling Technique of Large Angle Inclined Straight Deep Hole in Lannigou Gold Mine, Guizhou Province

SONG Ji-wei<sup>1</sup>, RAN Fei<sup>1</sup>, WU Bo<sup>2</sup>, YANG Pi-xiang<sup>2</sup>

(1. 112 Geological Team, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Anshun 561000, Guizhou, China; 2. 117 Geological Team, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550018, Guizhou, China)

[ **Abstract** ] With the development of mineral resources exploration and the increase of mineral buried depth, the requirements for borehole deviation prevention and straightness maintenance are increasing. In 2021, it designed 7 high deviation angle deep straight holes with a depth of more than 1,000 meters (deviation angle were between 20° and 32°) in the exploration of Lannigou gold mine in Guizhou province. Each hole required that the deviation angle and azimuth angle should not exceed 1° per 100 meters. However, the rope coring technology could not guarantee such accuracy only by traditional methods. During the implementation of the project, the drilling construction side used smooth centralizers and hydraulic impact drilling methods to prevent deflection and keep straight. The top angle is lifted and lowered by adjusting the drilling tool assembly, repeated cutting at short distances, and repeated guiding and reaming when changing diameters; Alternate forward and reverse drilling methods are used to correct orientation. Through the above measures, the expected goal has been effectively achieved, and the experience formed has certain reference value for coring drilling of similar large-angle oblique straight deep holes.

[ **Key Words** ] High deviation angle deep straight hole; Prevention and correction of the hole deviation; Drill assembly; Hydraulic hammer of rope coring drilling