

小直径分支孔技术在贵州省富矿精开中的应用探索

冉 飞¹, 田鹏辉^{1*}, 宋继伟², 方 青¹, 詹恕明¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局一二地质大队, 贵州 安顺 561000; 2. 贵州省地质矿产开发院, 贵州 贵阳 550000)

摘要:按照贵州省富矿精开和新一轮战略找矿行动工作安排,为深入贯彻落实绿色勘查理念,同时解决 I 级水源保护地内禁止施工的难题,采用“1直孔+1分支”的钻孔方案实施钻孔。根据靶区信息、主孔地层条件、螺杆造斜理论和设备确定了侧钻分支和取心工艺,实现了自主孔垂深 426 m 处成功侧钻分支,并成功中靶,中靶精度 8.01 m。通过本次的定向钻探实践,摸索出了不同钻头和螺杆钻不同规格弯外管组合钻进的造斜能力,寻找到了适合于绳索取心钻进的造斜强度控制参数,为同类绿色勘探、精准勘探技术配套提供了技术支撑。

关键词:绿色勘探;小直径分支孔;螺杆马达;富矿精开;水源保护地

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2026)03-0122-08

Exploration of the application of small-diameter branch hole technology in the fine mining of rich ores in Guizhou Province

RAN Fei¹, TIAN Penghui^{1*}, SONG Jiwei², FANG Qing¹, ZHAN Shuming¹

(1. 112 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Anshun Guizhou 561000, China; 2. Guizhou Geological and Mineral Resources Development Institute, Guiyang Guizhou 550000, China)

Abstract: In accordance with the work arrangements for the fine mining of rich minerals and the new round of strategic mineral exploration in Guizhou Province, in order to thoroughly implement the concept of green exploration and at the same time solve the problem that construction is prohibited in the first-level water source protection area, the drilling scheme of "1 straight hole + 1 branch" is adopted for drilling. Based on the target area information, formation conditions of the main hole, screw skewing theory and equipment, the lateral drilling branch and coring process were determined. The lateral drilling branch was successfully drilled at a vertical depth of 426 m in the autonomous hole and hit the target with a target accuracy of 8.01 m. Through this directional drilling practice, the incline capacity for different drill bits and screw drills with different specifications of curved outer tubes was explored, and the incline strength control parameters suitable for rope coring drilling were found, providing technical support for the matching of similar green exploration and precision exploration technologies.

Key words: green exploration; small diameter branch hole; screw motor; fine mining of rich minerals; water source protection area

收稿日期:2025-08-12; 修回日期:2025-12-05 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.03.015

基金项目:贵州省科技计划项目“贵州省复杂地形和地质条件下深部取心钻探关键装备材料研究”(编号:黔科合支撑[2025]一般065号)、“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号);贵州省地矿局科研项目“传统岩心钻机转型施工近水平孔特种钻探结构改造及工艺研究”(编号:黔地矿科合[2023]9号);安顺市科研项目“近平衡钻进技术在贵州省固体矿产钻探中的应用研究和实践”(编号:安市科工[2025]6号)

第一作者:冉飞,男,汉族,1990年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探技术工作,贵州省安顺市西秀区西水路57号,617421954@qq.com。

通信作者:田鹏辉,男,土家族,1990年生,高级工程师,地质工程专业,主要从事钻探技术工作,贵州省安顺市西秀区西水路57号,861225456@qq.com。

引用格式:冉飞,田鹏辉,宋继伟,等.小直径分支孔技术在贵州省富矿精开中的应用探索[J].钻探工程,2026,53(3):122-129.

RAN Fei, TIAN Penghui, SONG Jiwei, et al. Exploration of the application of small-diameter branch hole technology in the fine mining of rich ores in Guizhou Province[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(3):122-129.

0 引言

分支井技术于20世纪50年代起源于苏联,在油气领域是一种能有效开采薄层及超薄层、低渗及超低渗储层的高效技术^[1],现已发展出多分支井^[2-4]和鱼骨井^[5-7]等多种形式。国内地质钻探行业于20世纪80年代开始引进分支孔进行定向钻进取心^[8-11]。与石油领域不同,地质钻探由于受到钻孔直径的限制,螺杆马达、定向仪器等须使用小直径,导致效率低^[12-13]。此外,由于工程经验不足,在小直径分支孔孔身结构设计、施工工艺及孔底钻具组合方面还存在诸多问题,需通过工程实践进一步研究。

在富矿精开和新一轮战略找矿行动中,贵州省每年钻探工作量有十数万米,但是在地面有难以逾越的障碍物、生态红线内、水源保护区内等区域无法设计垂直孔施工,而设计顶角45°以上斜直孔施工则需更换钻机。为解决此类难题,拟实施小口径定向分支孔钻探工程进行探索实践。

1 实施项目概况

1.1 项目简介

项目施工区位于贵州省某Ⅰ级水源保护地范围内。地貌为山地丘陵,钻场周围地势较为平坦,有硬化乡道进场,通水通电。由于邻近水源保护地,对项目环保要求较高,在钻场地面铺设防渗布,以减少施工过程中的污水下渗。

由于在水源保护区内不能布置钻孔,所以在保护区外围设计定向分支孔,目的是探明水源保护区内的压伏矿产资源储量。按照贵州省地矿局重点矿产资源大精查专班工作安排,为深入贯彻落实绿色勘查理念,采用“1直孔+1分支”的钻孔方案,设计直孔ZK61708孔,定向分支孔ZK61724孔,定向分支孔施工工期60天。

1.2 钻孔设计

主孔(直孔)设计深度为1200 m。在主孔孔口以下400 m处设计定向分支孔。

钻孔钻遇地层从上至下依次为第四系覆盖层、三叠系嘉陵江组、三叠系夜郎组、二叠系长兴组、二叠系龙潭组和二叠系茅口组,目的层为龙潭组,进入茅口组5~10 m终孔。地层产状均较平缓,倾角最大为13°,岩石主要有白云岩、灰岩、泥灰岩、黏土岩和黏土质粉砂岩等^[14]。

1.3 定向分支孔靶点信息

孔口坐标为($X=2824776.372$ m, $Y=35563540.686$ m, $h=1174.07$ m),靶心地面坐标为($X=2824776.37$ m, $Y=35563540.69$ m, $h=804.00$ m),在主孔400 m处造斜施工,距主孔水平位移160 m,倾角72°,方位角213°,靶心垂深918.33 m,靶区半径40 m。

1.4 钻探设备选择

根据设计钻孔深度,选用XY-2000型钻机,具备 $\varnothing 76$ mm口径1200 m以深施工能力。配备BW-320型泥浆泵,JTL-40GX型有线光纤陀螺测斜(定向)仪,以及比重称、马氏漏斗黏度计、打气筒失水仪等冲洗液性能测试仪器。

1.5 主孔施工情况

主孔采用绳索取心工艺成孔,终孔孔深1208 m,顶角1.19°,方位角128.15°。主孔为五开结构:一开采用 $\varnothing 172$ mm钻头钻进至10 m,下入 $\varnothing 168$ mm套管10.2 m;二开采用 $\varnothing 150$ mm钻头钻进至50 m,下入 $\varnothing 146$ mm套管50.3 m;三开采用 $\varnothing 122$ mm钻头钻进至370 m,下入 $\varnothing 114$ mm套管370.4 m;四开采用 $\varnothing 96$ mm钻头钻进至孔深888.17 m,下入 $\varnothing 96$ mm钻杆当套管;五开采用 $\varnothing 76$ mm钻头钻进至1208 m终孔。

2 分支孔施工技术

2.1 分支孔设计

2.1.1 分支点选取

选择分支点,既要保证能成功命中靶区,也要保证孔身轨迹能支撑绳索取心作业,需要考虑以下条件:(1)地层条件:地层稳定,孔段没有破碎带和断层;(2)水文地质要求:370 m左右处于夜郎二段和夜郎一段分层深度,便于分层静止水位观测,达到水文地质要求;(3)命中靶区的同时,保证沿着原有的孔身轨迹进行绳索取心钻进,达到自然偏斜;(4)钻孔穿过靶心后继续按既有轨迹钻进至进入茅口组灰岩5~10 m。

综合考虑地层因素、水文条件和现场施工情况,确定分支点位于主孔孔深400 m处,开窗地层较稳定,下部孔段无破碎带和断层,满足分支孔开窗要求^[15-16]。

2.1.2 分支孔孔身轨迹设计

采用平均角法计算孔身轨迹,在分支孔轨迹上

选取4个点进行轨迹设计,分别为分支点、稳斜点、靶心和终孔点,分支孔轨迹设计如表1所示,设计中

表1 分支孔轨迹设计
Table 1 Trajectory design of the branch hole

测深/m	孔斜/(°)	方位/(°)	垂深/m	南北/m	东西/m	狗腿度/[(°)·(30 m) ⁻¹]	闭合距/m	段长/m	备 注
400.00	0.00	0	400.00	N 0.00	E 0.00		0.00		分支点
493.81	18.76	213	492.15	S 12.77	W 8.29	6	15.22	93.81	稳斜点
943.92	18.76	213	918.33	S 134.19	W 87.14		160.00	450.10	靶心
1100.00	18.76	213	1066.12	S 176.30	W 114.48		210.21	156.08	终孔点

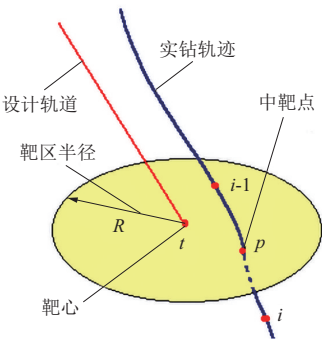


图1 分支孔设计中靶示意
Fig.1 Design target schematic of the branch hole design

分支孔设计为二开结构:一开与分支点主孔口径相同,为 $\varnothing 96\text{ mm}$,定向钻进至493.81 m后下入套管;二开采用 $\varnothing 76\text{ mm}$ 钻头钻至终孔。整体钻孔结构如图2所示。

2.2 分支孔钻进工艺

2.2.1 钻进工艺流程

分支孔施工工艺流程主要分为打水泥塞、候凝、扫灰面、钻水泥塞、循环清孔、侧钻开窗、定向钻进、测井、修孔和稳斜钻进等步骤。

(1)打水泥塞:下入 $\varnothing 89\text{ mm}$ 钻杆作为注浆管,注入高强度水泥(525号)对主孔中380~430 m段进行悬空打水泥塞,水泥塞质量应符合分支钻进要求,同时防止水泥塞影响后续套管起拔;

(2)候凝:注完水泥后等待48 h,待水泥塞完全凝固;

(3)扫灰面、钻水泥塞:候凝结束后下S96绳索取心钻具扫灰,并钻取水泥心,判断水泥强度,水泥塞强度合格后,钻进至孔深400 m;

(4)循环清孔:水泥塞钻至400 m后充分循环处

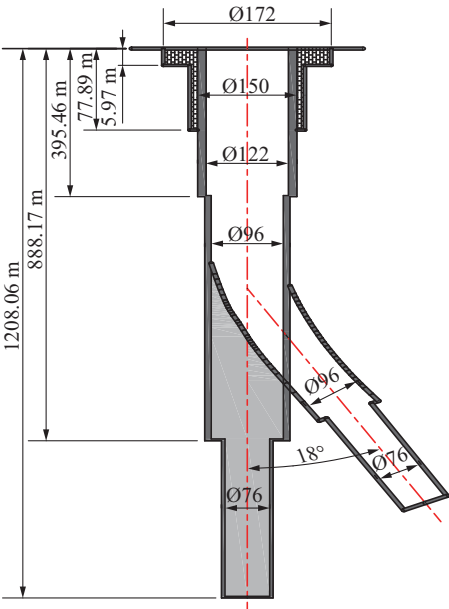


图2 分支孔钻孔结构设计
Fig.2 Borehole structure design of the branch hole

理冲洗液,提高冲洗液携砂能力,减少固相含量,保证分支侧钻期间螺杆钻具正常工作;

(5)侧钻开窗:采用单弯螺杆造斜开窗钻进分支孔;

(6)测井:选择有线光纤陀螺测斜(定向)仪进行实时测井,监测钻孔轨迹,判断是否开窗成功;

(7)定向钻进:开窗成功后利用螺杆钻具继续进行造斜钻进;

(8)修孔:分支侧钻成功后,用专用修孔钻头进行修孔作业,修正孔眼轨迹,防止狗腿度过大,确保后续钻进孔内安全,每10 m修孔一次,分支的同时确保孔眼圆滑,为后续绳索取心钻进打好基础;

(9)稳斜钻进:增斜钻进到预定深度493.81 m

后更换钻具进行稳斜取心钻进作业;

(10)终孔:取心钻进到预定深度后停止钻进,起拔套管,进行终孔作业;

(11)封孔:下入 $\varnothing 76$ mm钻杆作为注浆管,注入高强度水泥(525号)封孔。

2.2.2 钻具组合

需8种不同钻具组合来实现分支孔侧钻工艺,具体钻具组合如下^[14]:

(1)悬空打水泥塞钻具组合:单独使用 $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆;

(2)扫灰面、钻取水泥心钻具组合: $\varnothing 96$ mm取心钻头+HQ绳索取心钻具+ $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆;

(3)侧钻造斜钻具组合: $\varnothing 96$ mm金刚石定向钻头+ $\varnothing 89$ mm岩心收纳管+ $\varnothing 73$ mm单弯螺杆(1° , 5:6头-4级)+ $\varnothing 89$ mm定向接头+ $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆,如图3所示;

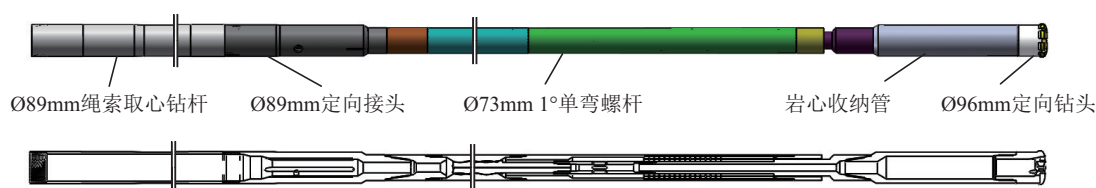


图3 侧钻造斜钻具组合

Fig.3 The inclined drilling tool assembly for side drilling

(4)测井钻具组合: $\varnothing 96$ mm PDC钻头+ $\varnothing 73$ mm单弯螺杆(5:6头-4级)+ $\varnothing 76$ mm无磁钻铤+ $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆;

(5)定向钻进钻具组合: $\varnothing 96$ mm PDC钻头+ $\varnothing 73$ mm单弯螺杆(5:6头-4级)+ $\varnothing 89$ mm定向接头+ $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆,如图4所示;

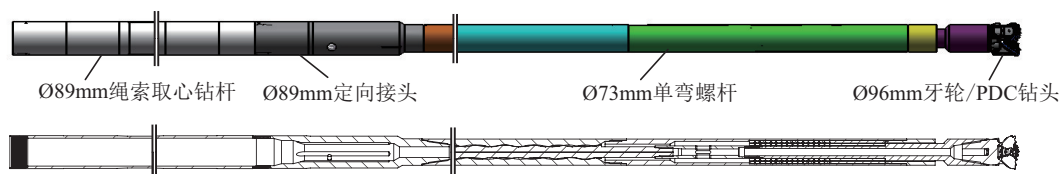


图4 定向钻进钻具组合

Fig.4 The directional drilling tool assembly

(6)修孔钻具组合: $\varnothing 96$ mm金刚石修孔钻头+柔性接头+ $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆,如图5、图6所示;

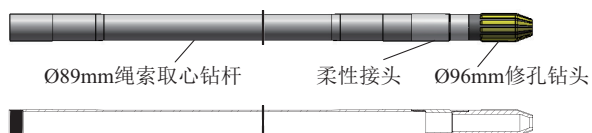


图5 修孔钻具组合

Fig.5 The drilling tool assembly for hole repairing

(7)稳斜取心钻进一开钻具组合: $\varnothing 96$ mm绳索取心钻头+ $\varnothing 96$ mm扩孔器+HQ绳索取心钻具总成+ $\varnothing 96$ mm扩孔器+ $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆;

(8)稳斜取心钻进二开钻具组合: $\varnothing 76$ mm绳索取心钻头+S75绳索取心钻具总成+ $\varnothing 71$ mm绳索

取心钻杆。

2.2.3 钻进参数

根据不同钻具组合及工艺要求,侧钻分支孔钻



(a)圆锥修孔钻头

(b)自制修孔钻头

图6 修孔钻头

Fig.6 The drill bit for hole repairing

进参数如下:

(1) 钻压 0~10 kN, 视水泥塞强度调整, 转速和排量按正常 S96 绳索取心钻进规程选择;

(2) 侧钻造斜钻进时, 排量 165 L/min, 钻速 0.2~0.3 m/h, 侧出半个钻头后, 逐渐增大钻压至 10 kN 左右 (机械钻速 0.6~0.8 m/h);

(3) 定向钻进时, 钻压 10~20 kN, 视情况调整, 排量 230 L/min;

(4) 修孔钻进时, 钻压 5~10 kN, 视情况调整, 排量 160 L/min, 转速 80~180 r/min。

2.3 关键器具

分支孔施工, 主体设备继续使用直孔的钻机、泥浆泵、冲洗液性能测试仪、钻杆, 在此基础上增加有线随钻陀螺测斜仪、螺杆马达、牙轮钻头等关键器具。

2.3.1 螺杆马达

其工作原理是高压冲洗液流经旁通阀进入马达时, 转子在高压冲洗液的驱动下, 绕定子的轴线旋转, 将扭矩和转速通过万向轴和传动轴传递给钻头, 实现钻进作业。采用 1.22° 的 $\varnothing 73$ mm 单弯螺杆马达, 定转子头数比为 5:6, 钻头水眼压降 7.0 MPa。单弯螺杆马达在高压冲洗液作用下, 实现孔底旋转的同时, 可为钻头提供侧向力, 实现造斜钻进。

2.3.2 测井系统

由于绳索取心钻进排量有限制, 冲洗液脉冲不能有效工作, 只能选择有线的方式进行分支测井。选择有线光纤陀螺测斜(定向)仪进行定向分支孔测井工作, 具体参数如表 2 所示。该仪器由井下总成和地面设备两部分组成, 井下总成包括引鞋、探管短节等, 地面设备包括地面仪、地面主机(需单独配置电脑)、电缆绞车等, 测量系统如图 7 所示。

表 2 有线光纤陀螺测斜(定向)仪参数
Table 2 Parameters of the cable fiber optic gyroscope inclinometer (directional)

性能指标	范围	精度
顶角测量范围/(°)	0~60	
顶角分辨率/(°)	0.01, 精度 $\leq \pm 0.1$	
方位角测量范围/(°)	0~360	
方位角精度/(°)	$\leq \pm 2$ (顶角 ≤ 1 时精度 $\leq \pm 4$)	
井下仪器外径/mm	40	
寻北时间/min	<2	
耐压/MPa	20	

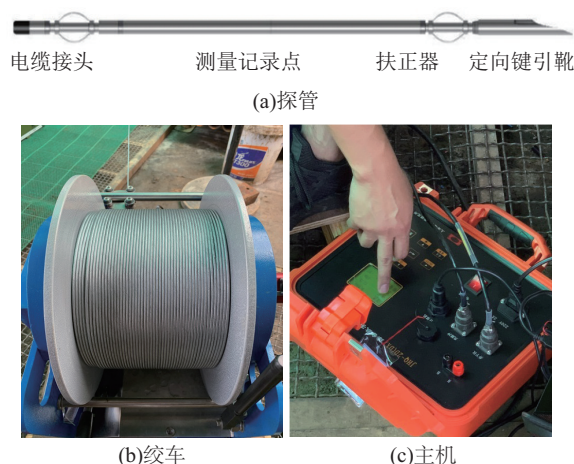


图 7 有线光纤陀螺测斜(定向)仪系统

Fig.7 The system of the cable fiber optic gyroscope inclinometer (directional)

2.4 配套工具

2.4.1 通缆水龙头

通缆水龙头是立轴钻机使用有线随钻仪器的必备设备, 要求有较大的通孔和特殊的密封组件。本工程使用的电缆接头外径为 $\varnothing 28$ mm, 设计水龙头通孔为 $\varnothing 30$ mm。特殊的密封组件由多组带中心孔的橡胶密封垫和若干固定套组成, 用于井下仪器电缆的密封^[14]。

2.4.2 反扭矩器

反扭矩器配合立轴钻机使用, 一般根据钻具体形式定制^[15]。反扭矩器主要用于抵消螺杆钻具的反扭矩, 防止定向钻进时立轴转动造成定向失败, 如图 8 所示。

2.4.3 修孔钻头

小直径定向钻进, 特别是侧钻分支孔段, 侧钻分支成功后需使用专门的修孔钻头(图 6a)和刚性

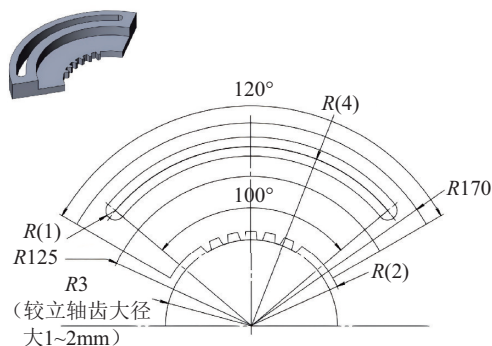


图 8 反扭矩器

Fig.8 The anti torque converter

较大的钻具组合修整孔眼,使孔眼轨迹从主孔平滑过渡至分支孔。定向钻进孔段,当钻头磨损、全角变化率大等原因需要修孔时,也可根据现场条件自制修孔钻头^[14](图 6b)。

3 关键技术及其应用效果

3.1 精准高强度封孔技术

水下灌注必须考虑 2 个压力平衡,一个是灌浆管内外的压力平衡,另一个是钻孔内外的压力平衡。灌注过程中(提灌浆管之前)考虑第一个平衡,把孔内的水和地下水看成一个整体;而提灌浆管的过程中及提灌浆管后考虑第二个平衡,把灌浆管内的液体和钻孔中的液体看成一个整体。水下灌注水泥失败的原因往往是静止水位测量不准导致替水量计算不准,有的甚至没有测静止水位。替水量是水下灌注的一个最重要的数据,替水量多或少都会导致灌注失败^[14]。

本次水泥浆灌注孔段为 390~1200 m,段长 810 m,Ø98 mm 段为 390~888 m,共 498 m;Ø76 mm 段为 888~1200 m,共 312 m。超径系数选择 $K=1.1$,静止水位 $h=30$ m,水灰比 0.5,采用自下而上分段封闭。水下灌注技术方案及工艺流程如下。

- (1)计算水泥用量。
- (2)计算替水量。
- (3)计算静水位以下灌浆管的体积。
- (4)洗孔:下灌浆管到孔底,清水替浆钻具扫孔

冲洗钻孔,冲洗完后提离封孔底段 8 m。

(5)制浆:做好其他准备工作,检查注浆设备,确保设备一切正常,按照水灰比 0.5 分次配制适量浆液。

(6)注浆:采用水下灌注水泥自下而上分段封闭的方法封孔。计算好 Ø76 mm 口径 312 m 用浆量 38 包(1890 kg)水泥加 0.95 m³清水,均匀搅拌后开始灌浆,计算好浆面位置,注浆完毕后将注浆管提至浆面以上 30 m 处停止。Ø96 mm 口径孔段分 2 次进行注浆:第一次搅拌 50 包(2500 kg)水泥加 1.22 m³清水,注浆后计算浆面位置;第一次注浆完毕提注浆管,将注浆管提至浆液面上 30 m 处,开始第二次注浆 49 包(2450 kg)水泥加 1.2 m³清水,注浆过程中随时活动钻杆,注浆完毕后立即提出注浆管。

(7)清洗水泵、灌浆管,候凝 48 h 以上。

封孔效果见图 9。

3.2 绳索取心定向钻进技术

绳索取心定向钻进效果如表 3 所示。

根据表 3 中数据,得出 Ø96 mm PDC 钻头



图 9 封孔水泥芯效果
Fig.9 The sealing cement core effect

表 3 绳索取心定向钻进技术效果
Table 3 Effect of the directional drilling with wire-line core

增斜施工孔段/m	增 斜 施 工 钻 具 组 合	全角变化率/[$(^{\circ})\cdot(30\text{ m})^{-1}$]
447.35~474.30	Ø96 mm PDC 钻头+1°单弯螺杆钻具(焊增厚块 6 mm)+Ø73 mm 绳索取心钻杆×2 根+Ø89 mm 绳索取心钻杆	1.97
495.23~525.28	Ø96 PDC 钻头+1.22°弯螺杆+Ø89 mm 绳索取心钻杆	5.85
555.33~558.33	Ø96 PDC 钻头+1.22°弯螺杆+Ø89 mm 绳索取心钻杆	5.72
558.33~563.34	Ø96 PDC 钻头(短保径)+1.22°弯螺杆+Ø89 mm 绳索取心钻杆	12.58
573.56~585.01	Ø96 PDC 钻头+0.93°Ø73 弯螺杆+Ø76 mm 无磁钻挺 2 根+Ø89 mm 绳索取心钻杆	7.82
稳斜施工孔段/m	稳 斜 施 工 钻 具 组 合	效果描述
438.22~447.35	Ø96 mm PDC 钻头(平底)+直螺杆+Ø73 mm 绳索取心钻杆×2 根+Ø89 mm 绳索取心钻杆	孔斜方位保持良好
563.34~573.56	Ø96 mm PDC 钻头(平底)+直螺杆+Ø73 mm 绳索取心钻杆×2 根+Ø89 mm 绳索取心钻杆	孔斜下降约 1°
609.95~618.63	Ø96 mm PDC 钻头(平底)+直螺杆+S73 绳索取心钻杆×2 根+Ø89 mm 绳索取心钻杆	孔斜下降约 1.9°

+1.22°弯螺杆+Ø89 mm绳索取心钻杆钻具组合增斜最接近设计值,造斜能力稳定,可操作性强。

本工程定向钻进使用Ø89 mm绳索取心钻杆,相较Ø71 mm绳索取心钻杆刚性更大,造斜能力更强。定向钻进时钻具组合为Ø96 mm定向钻头+Ø73 mm单弯螺杆+Ø89 mm绳索取心钻杆,钻进参数为钻压15~20 kN,泥浆泵排量为230 L/min。通过尝试组合不同规格钻杆和螺杆,发现Ø96 mm的PDC钻头+1.22°弯螺杆+Ø89 mm绳索取心钻杆钻具组合造斜能力平均为5.79°/30 m,最接近设计值(6°/30 m),后续使用电磁波测井仪器,钻具组合更改为Ø96 mm PDC钻头+0.93°的Ø73 mm弯螺杆+Ø76 mm无磁钻挺2根+Ø89 mm绳索取心钻杆,该钻具组合造斜能力达到8.45°/30 m,与上述钻具组合相比,螺杆角度虽有减小,但造斜能力有提升。说明近螺杆钻具的钻柱刚性对定向造斜能力影响较大,且刚性越大,造斜能力越强。但是在造斜强度超过6°/30 m时,绳索取心钻杆折断频繁。由此,后续类似工程推荐钻具组合为:Ø96 mm PDC钻头+1.22°弯螺杆+Ø89 mm绳索取心钻杆,同时造斜强度控制在低于6°/30 m,可保证使用绳索取心钻具安全定向钻进。

Ø96 mm PDC钻头(平底)+直螺杆+绳索取心钻杆复合钻进稳斜技术,在下部孔段并不能很好地维持孔斜,反而孔斜下降较多。最后采用常规绳索取心钻进,孔斜略有增加,但由于样本较少,不足以证明技术的可行性。由此,后续工程还需要继续探索,首先推荐常规绳索取心钻进稳斜技术。

4 施工过程及施工成果

4.1 施工周期

定向分支孔施工总计历时44天,其中前期准备2天、侧钻分支6天、定向钻进19天、待修等停15天、修孔下套管2天。本次定向分支孔施工为贵州地区首个基于绳索取心的小直径定向分支孔工程。在材料储备、技术、设备等方面尚有很大的优化空间,特别是仪器设备等停时间太长,占总工期的1/3。在者相二金矿定向分支孔的基础上,同类后续工程可以将44天总工期缩短至20天。

4.2 实钻井眼轨迹

4.2.1 轨迹对比

分支孔实钻轨迹与设计轨迹对比如图10所示,

从图中可以看出,除侧钻造斜段实钻轨迹与设计轨迹有一定差距外,其余段与设计轨迹吻合较好。这是由于设计侧钻分支点垂深为400 m,而实际施工是在426 m处开窗成功,这导致实际轨迹在设计轨迹的下方。

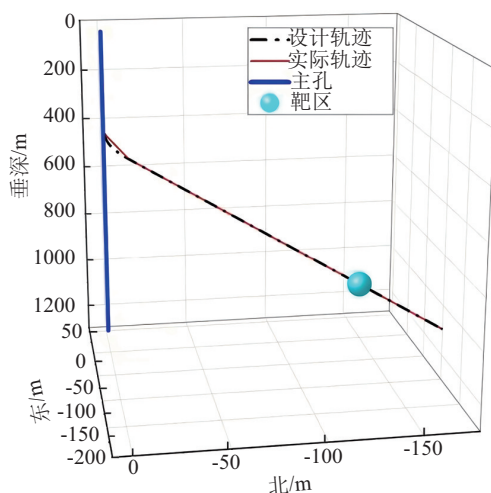


图10 设计轨迹与实钻轨迹对比

Fig.10 Comparison between the design trajectory and actual drilling trajectory

4.2.2 中靶精度

已知实钻轨迹后进行中靶精度计算,中靶信息如表4所示。从表中可以看出,实钻轨迹与靶心垂深面交点与靶心水平位移为8.01 m,相对于靶心方位为2°,说明此处分支孔以较高的精度命中靶区,完成了预定目标。

表4 中靶信息

Table 4 The target information

孔口坐标/m	2824776.372,35563540.686,1174.07
靶心坐标/m	2824642.180,35563540.69,273.72
靶心位移/m	北: -134.19,东: -87.15,水平位移:160,方位:213°
轨迹位移/m	北: -132.10,东: -79.40,水平位移:154.13,方位:211°

4.3 取得的经济效益

分支孔原设计为直孔,设计孔深1190 m,预算金额134.6万元。定向分支孔完成孔深700 m,实际使用资金106万元,节约资金28.6万元,节约21%。主孔+分支孔钻孔结构设计能减少修路、平场迁的劳动力成本和土地成本,有良好的经济效益。

5 结论

此工程“1直孔+1分支”方案为贵州省首例小直径定向分支孔,主孔+分支孔钻孔结构设计能减少地质钻探对地面带来的扰动,适用于保护区和水源地等对钻探条件要求高的场地进行勘探。通过该孔的定向钻探实践,摸索出了不同钻头和螺杆钻不同规格弯外管组合钻进的造斜能力,寻找到了适合于绳索取心钻进的造斜强度控制参数,并对国内现有可用于地质矿产勘探随钻定向的有缆传输式光纤陀螺仪、电磁波无缆传输式地磁感应仪进行了性能对比和评价,为同类绿色勘探、精准勘探技术配套提供了技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 张立平.多分支孔的技术展望[J].国外油田工程,2001,17(11):36-37.
ZHANG Liping. Look into the technology of multi-branch wells [J]. Foreign Oil Field Engineering, 2001,17(11):36-37.
- [2] 张绍槐.多分支井钻并完井技术新进展[J].石油钻采工艺,2001,23(2):1-3.
ZHANG Shaohuai. New development on multi-lateral drilling and completion technologies[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001,23(2):1-3.
- [3] 张焱,刘坤芳,余雷.多分支井钻并完井应用技术研究[J].石油钻探技术,2001,29(6):11-13.
ZHANG Yan, LIU Kunfang, YU Lei. Study on application techniques of multilateral drilling and completion[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2001,29(6):11-13.
- [4] 薛曼,侯继武,李智,等.多分支水平井岩屑运移模型与实验研究[J].钻探工程,2024,51(1):31-39.
XUE Man, HOU Jiwu, LI Zhi, et al. Model and experimental research of cuttings transport in multi-branch horizontal wells [J]. Drilling Engineering, 2024,51(1):31-39.
- [5] 范玉平,韩国庆,杨长春.鱼骨井产能预测及分支井形态优化[J].石油学报,2006,27(4):101-104.
FAN Yuping, HAN Guoqing, YANG Changchun. Production forecast for herringbone well and optimum configuration of lateral holes[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006,27(4):101-104.
- [6] 刘想平,张兆顺,崔桂香,等.鱼骨型多分支井向井流动态关系[J].石油学报,2000,21(6):57-60.
LIU Xiangping, ZHANG Zhaoshun, CUI Guixiang, et al. In-flow performance relationship of a herringbone multilateral well [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000,21(6):57-60.
- [7] 叶双江,姜汉桥,朱国金,等.鱼骨井产能预测及影响因素分析[J].断块油气田,2010,17(3):341-344.
YE Shuangjiang, JIANG Hanqiao, ZHU Guojin, et al. Productivity forecast and analysis of influence factors on herringbone well[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2010,17(3):341-344.
- [8] 江天寿.井下多分支定向孔的技术和经济效果[J].地质与勘探,1989,25(9):53-57.
JIANG Tianshou. Underground multi-branched directional hole drilling technique and its economical benefits [J]. Geology and Exploration, 1989,25(9):53-57.
- [9] 朱恒银.龙门山铜矿区施工多向分枝定向孔的效果与方法[J].探矿工程,1990(5):31-33.
ZHU Hengyin. Effectiveness and methods of multidirectional branched holes in Longmenshan copper mining area [J]. Exploration Engineering, 1990(5):31-33.
- [10] 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.
HAN Mingyao, LIU Shuolin, WANG Zhaohui, et al. Deviation correction drilling with slim hole mud motor in Henan Ban-chang mining area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):36-41.
- [11] 黄才启,朱永宜.受控定向钻孔轨迹设计方法[J].探矿工程,1991(5):22-25.
HUANG Caiqi, ZHU Yongyi. Design of trajectory for controlled directional borehole [J]. Exploration Engineering, 1991(5):22-25.
- [12] 王扶志,张心剑,全在平.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):40-42.
WANG Fuzhi, ZHANG Xinjian, TONG Zaiping. Application practice of gyroscope directional deviation correction in Zhong-guan iron mine area [J]. Exploration Engineering, 2011,38(6):40-42.
- [13] 朱永宜.谢李煤矿2号孔采用螺杆钻定向钻探施工技术[J].探矿工程,1993(2):43-45.
ZHU Yongyi. Directional drilling technology with screw drill in No. 2 borehole of Xieli Coal Mine [J]. Exploration Engineering, 1993(2):43-45.
- [14] 宋继伟,冉飞,方青,等.贵州省贞丰县金矿勘查小口径定向分支钻进技术[J].地质与勘探,2024,60(6):1217-1227.
SONG Jiwei, RAN Fei, FANG Qing, et al. The small-bore directional branch drilling technology in gold exploration of Zhenfeng County, Guizhou Province [J]. Geology and Exploration, 2024,60(6):1217-1227.
- [15] 吴金生,罗显梁,张统得,等.小直径随钻定向纠斜技术在地质勘探中的应用[J].四川地质学报,2022,42(S1):56-61.
WU Jinsheng, LUO Xianliang, ZHANG Tongde, et al. The application of small diameter directional deviation correction technology while drilling to geological exploration [J]. Acta Geologica Sichuan, 2022,42(S1):56-61.
- [16] 颜慧明,项洋,齐凌轩,等.定向钻探技术在水利水电深埋隧洞勘察中的应用研究——以引江补汉工程为例[J].钻探工程,2025,52(3):22-29.
YAN Huiming, XIANG Yang, QI Lingxuan, et al. Application research of directional drilling technology for deep buried tunnel engineering investigation: Taking the water diversion project from the Yangtze River to the Hanjiang River as an example [J]. Drilling Engineering, 2025,52(3):22-29.

(编辑 王文)