

黑龙江金厂矿区定向分支孔施工实践

刘志强¹, 童军兵¹, 谢宏军², 张新刚¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 武警黄金第一支队, 黑龙江 牡丹江 157021)

摘要:定向钻探技术在固体矿产中的应用,其技术意义体现在控制钻孔轨迹,使孔斜或钻孔截矿点满足地质勘探要求,经济意义体现在准确揭露矿层及其边界关系,提供更为准确的矿产储量报告。黑龙江省东宁县金厂矿区 J14ZK0100 孔实施分支孔进行固体矿产勘探取得成功,大幅节约了钻探工作量,并积累了宝贵的经验。在分析矿区定向钻进施工难点的基础上,介绍了技术措施和施工效果。

关键词:螺杆钻;侧钻;分支孔;定向钻进

中图分类号:P634.7 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)01-0017-04

Practice of Directional Branch Hole Construction in Jinchang Mining Area of Heilongjiang/LIU Zhi-qiang¹, TONG Jun-bing¹, XIE Hong-jun², ZHANG Xin-gang¹ (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. No. 1 Detachment of the Gold Army, CAPF, Mudanjiang Heilongjiang 157021, China)

Abstract: For the application of directional drilling in solid mineral exploration, it is technically intended to control borehole trajectory to make the inclination of the borehole or the intersection point of the borehole to meet the geological exploration requirements; and economically is desired to expose the deposit and its boundary for accurate definition of ore reserves. The successful solid mineral exploration was made in J14ZK0100 with branch hole in Jinchang mine in Dongning of Heilongjiang Province, the drilling works was greatly saved and valuable experience was accumulated. On the basis of the analysis on the difficulties in directional drilling construction, the paper introduces the technical measures and construction effects.

Key words: screw drill; side-track; branch hole; directional drilling

1 概述

1.1 项目背景

金厂矿区位于黑龙江省东宁县道河镇金厂东村内。为掌握该区域角砾岩筒状构造实际情况,大致查明金厂矿区 14 号矿体深部地质特征,拟采用定向钻探方式,以一个斜直孔为基础,钻进 3 个分支孔,再结合以往施工的 5 个勘探孔,最终实现对 14 号矿体的准确控制。

施工任务由武警黄金第一支队承担,中国地质科学院勘探技术研究所提供技术支持。

1.2 地质情况

上部为第四系腐殖土、残坡积及农田堆积土层;浅部肉红色花岗岩及灰黑色斜长角闪岩,块状构造,局部高岭土化,可钻性级别 8~9 级;控制区段围岩为花岗斑岩,斑状结构,块状构造,局部蚀变,高岭土化。其间多区段夹入灰黑色闪长岩,可钻性级别 8~9 级;控制区段,角砾岩带,灰白~灰绿色,花岗质角砾,角砾状构造,块状结构,局部绿泥石化,可钻性级别 7~8 级。

2 工程设计

2.1 钻孔结构设计

主孔 J14ZK0100 孔,设计顶角 3° ,方位 40° ,设计孔深 550 m,采取三级成孔工艺,孔身结构为:一开采用 $\varnothing 110$ mm 钻头开孔,下入 $\varnothing 108$ mm 套管;二开采用 $\varnothing 91$ mm 钻头钻进,下入 $\varnothing 89$ mm 套管;三开采用 $\varnothing 76.5$ mm 钻头钻进,裸眼完孔,如图 1 所示。

分支孔共设 3 个,分支孔一设计方位 130° ,分支孔二设计方位 310° ,分支孔三设计方位 40° 。均采用 $\varnothing 76.5$ mm 孔径成井,如图 2 所示。

2.2 钻孔轨迹设计

根据地质目的和工程需要,分支孔轨迹设计为直线-曲线-直线型,即每个分支孔都是在同一主孔的基础上,完成造斜段和稳斜段的钻探施工。

已知主孔开孔顶角 θ_0 、主孔靶点垂深 H 、分支孔靶点垂深 H_b 、矿层倾角 η 、分支孔靶点遇层角 δ_2 和分支孔曲线段顶角曲率 K_0 ,可以计算出分支点孔深 L_0 和分支孔长度 L ,如图 3 所示。

分支点孔深 L_0 (m):

收稿日期:2013-09-23

作者简介:刘志强(1970-),男(蒙古族),内蒙古赤峰人,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师,勘察工程专业,从事定向钻探技术的研究与开发工作,河北省廊坊市金光道 77 号,13833666286@126.com。

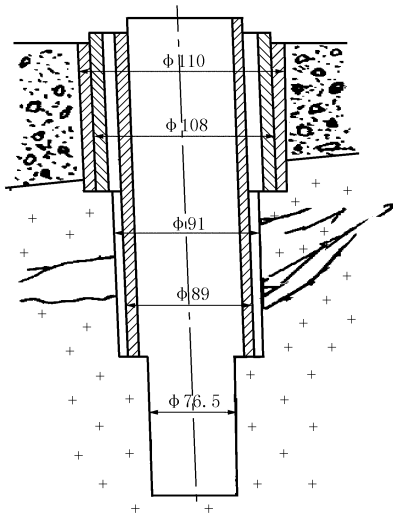


图1 主孔结构示意图

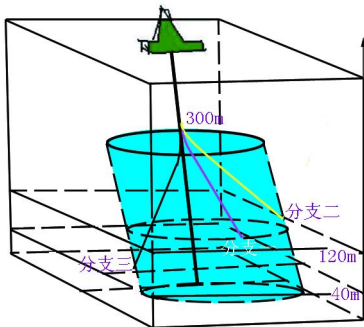


图2 分支孔示意图

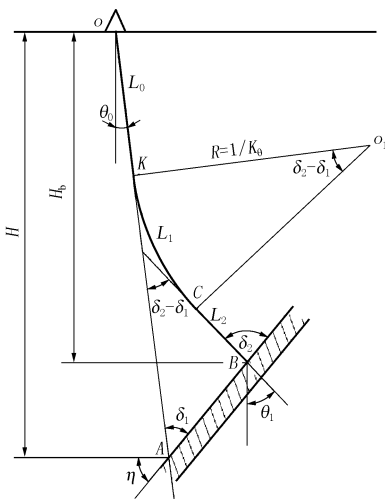


图3 钻孔轴线设计计算图

$$L_0 = \frac{H}{\cos\theta_0} - \frac{\text{tg}[(\delta_2 - \delta_1)/2]}{K_0} - \frac{(H - H_0) \sin\delta_2}{\sin\eta \sin(\delta_2 - \delta_1)}$$

分支孔长度 L (m):

$$L = L_1 + L_2 = \frac{0.01754(\delta_2 - \delta_1)}{K_0} + \frac{\frac{H - H_0}{\sin\eta} \sin\delta_1 - \frac{2\sin^2(\frac{\delta_2 - \delta_1}{2})}{K_0}}{\sin(\delta_2 - \delta_1)}$$

分支孔曲线段上任一点的顶角 θ_i (°):

$$\theta_i = \theta_0 + 57.3(L_i - L_0)K_0$$

式中: L_i ——分支孔曲线段上任一点的孔深, m。

计算结果如表1所示。

表1 定向分支孔设计工作量表

孔段	造斜位置 /m	最终孔斜 /(°)	造斜段长 /m	稳斜段长 /m	设计工作 量/m
主孔					550
分支一	230	8	30	180	210
分支二	250	7	18	150	168
分支三	270	10	35	140	175

3 技术难点和技术措施

3.1 技术难点

(1)控制区段以花岗岩和角砾岩为主,岩石可钻性达7~8级,分支孔侧钻时需要水泥架桥,通常水泥的可钻性为2~3级,因此钻头切削孔底水泥速度快,而切削孔壁岩石速度较慢,所以钻头容易在孔壁打滑并导致侧钻失败。

(2)用于造斜施工的 $\phi 60$ mm 螺杆钻具,转速只有200~300 r/min,钻压也仅为5~10 kN,在可钻性7级以下的岩石中钻进没有问题。然而控制区岩石的可钻性均在7级以上,此情况采用何种钻具组合,既能保证钻孔按设计轨迹钻进,又能实现高效钻进是一个技术难题。

(3)采用螺杆钻具完成造斜段施工,再使用绳索取心钻具进行常规取心作业,回转钻进过程中钻机通过钻杆向钻头输送钻压和扭矩,协助钻头破碎孔底岩石,并克服弯曲钻孔给钻具带来的摩阻,因此钻具在孔内的受力比较复杂且容易发生钻具事故,如何选择钻进参数,实现安全钻进,实际操作难度较大。

(4)分支孔常见于油气井和煤层气生产井施工,可以大幅节约钻探工作量和钻井成本,地质勘探孔应用则较少。因此,如何设计和施工既能满足地质勘探要求,又能达到准确控制矿体的目的,理论多于实践。

3.2 主要技术措施

3.2.1 分支侧钻顺利并成功的主要技术措施

(1)建造具有足够强度的水泥塞,尽可能降低与孔壁岩石的硬度差,在所配制的水泥浆中,1 m³ 水泥浆加入速凝剂食盐6 kg和早强剂三乙酰胺3瓶。

(2)侧钻钻头采用孕镶金刚石钻头,孕镶钻头使用寿命长,同时,为了便于钻出新孔,在钻头设计和加工时,钻头底面与侧面形成圆弧过渡,同时要求钻头侧刃足够锋利并具有良好的保径效果。

(3)侧钻施工时,侧向切削速度 V_2 对孔底切削速度 V_1 的比值越大,造斜钻具的造斜强度也越高^[2]。因此,一定要严格控制钻压及钻进速度,最快不得超过 0.5 m/h,目的是限制切削孔底的速度,而给钻头更多切削孔壁的机会。

(4)螺杆钻具直接连接在 $\varnothing 71$ mm 绳索取心钻杆上,是一个“刚性”连接,由于 $\varnothing 71$ mm 绳索取心钻杆是“满眼钻具”,具有导向的特性,分支钻进时容易顺着老孔钻进。因此将螺杆钻具首先与一根 4.5 m 长的 $\varnothing 55$ mm 绳索取心钻杆连接,变“刚性”为“柔性”,有利于提高钻头侧向力^[3]。

3.2.2 改变造斜钻具组合形式,解决硬地层连续造斜钻进问题

地质勘查工程孔径小、岩性硬,而小直径螺杆钻具转速低、加压轻、扭矩小,除此之外,定向钻探孔普遍采用全面碎岩方式,钻头切削面积大,所以使用小直径螺杆钻具钻进硬地层,很难取得理想的钻进效果。其它类型的造斜器具例如偏心楔、连续造斜器等,并不能实现真正意义的连续造斜,而且容易形成较大的“狗腿”,一般仅限于钻孔侧钻和绕障施工^[4]。

为了解决硬岩钻进效率低的问题,实际施工时,现场准备了 2 种钻具组合,一种是“ $\varnothing 76$ mm 金刚石全面钻头 + $\varnothing 60$ mm 螺杆钻具”,主要用于 7 级左右岩石破碎地层;另外一种“ $\varnothing 76$ mm 金刚石取心钻头 + 0.5 m 双管单动取心器 + $\varnothing 60$ mm 螺杆钻具”主要用于 8 级以上难钻地层。2 种钻具组合基本解决了硬地层的定向造斜钻进问题。如图 4 所示。



图 4 定制的双管单动取心器(安装于钻头和螺杆之间)

3.2.3 选择合理的施工工艺

$\varnothing 60$ mm 螺杆钻具的流量为 140 ~ 280 L/min,工作钻压为 5 kN,现场有一台 BW320 型泥浆泵,二挡流量为 160 L/min,与螺杆钻具的技术参数匹配。

侧钻施工的技术关键是控制钻压,严格控制钻进速度 > 0.5 m/h^[5],当钻头在钻孔内磨出“台阶”并有“托压”的感觉时,再逐渐加压钻进。

造斜段施工钻进采用 2 种组合方式,均为 $\varnothing 60$ mm 螺杆钻具为主的孔底动力驱动,该螺杆钻具的

工作钻压为 5 kN,最大钻压为 10 kN。施加较大的钻压可以提高碎岩效率,但要以螺杆钻具不“制动”为宜。螺杆钻具是常规的定向井施工器具,此次施工尝试采用“螺杆钻具 + 双管单动取心器”方案,在不影响螺杆钻具定向造斜的前提下,利用取心钻进比全面钻进进尺效率高的特点提高钻进效率。

稳斜段钻进采取常规取心钻进。造斜段施工结束后,首先对造斜段中的“拐点”进行反复修磨,确保钻具上下畅通无阻,其次回转取心钻进时钻压先小后大,并注意观察钻具回转是否正常,有无明显“憋车”等现象,提钻时检查钻杆磨损程度和有无折断情况。

4 现场施工及效果分析

4.1 主孔施工

主孔 J14ZK0100 孔一开采用 $\varnothing 110$ mm 钻头开孔,下入 $\varnothing 108$ mm 套管 6 m。二开采用 $\varnothing 91$ mm 钻头钻进,下入 $\varnothing 89$ mm 套管 61 m。三开采用 $\varnothing 76.5$ mm 绳索取心工艺裸眼完孔,终孔深度 457.99 m,钻孔顶角 4.10°,方位角 43.40°。

4.2 建造水泥孔底

为确保分支成功,首先要在侧钻位置建造具有足够强度的水泥孔底,具体操作如下。

将钻杆下至侧钻位置,采用大泵量清洗钻孔,目的是把孔内泥浆或高聚物处理剂排出孔外,否则会影 响水泥凝固强度。

人工加水 200 L,搅拌 425 普通硅酸盐水泥 500 kg,加速凝剂食盐 3 kg 和早强剂三乙酰胺 2 瓶,水泥浆密度 1.9 g/cm³ 左右。先人工注入钻孔一定量水泥纯浆(根据钻孔孔径进行估算),然后在剩余的水泥浆中加一定量干净砂子或小石子(如 100 kg)搅拌均匀后全部注入钻孔。注入 320 L 清水,然后用钻机一挡提钻,上提 1 个立根后再注入 20 L 清水,继续提钻,在提完 9 个立根之后,改用钻机 2 挡提钻直到完毕。候凝 24 h 后试钻,在水泥凝固较好的孔段取心,如果岩心比较完整,再扫塞到预定深度,继续候凝到 72 h 侧钻分支。

4.3 分支孔施工

4.3.1 主孔侧钻

钻具组合: $\varnothing 76.5$ mm 全面金刚石钻头 + $\varnothing 60$ mm 螺杆马达 + 定向接头 + $\varnothing 60$ mm 无磁钻杆 + $\varnothing 55$ mm 绳索取心钻杆 + $\varnothing 71$ mm 绳索取心钻杆。

主要钻进参数:压力 2 ~ 5 kN,泵量 160 L/min。首次主孔侧钻于孔深 231.5 m 处开始,钻至

239.0 m 完全出新孔,继续造斜钻进至孔深 259.5 m 提钻,去掉无磁钻杆和 $\varnothing 55$ mm 绳索取心钻杆,再下入钻具对新井眼反复划眼,直到钻具上下畅通无阻。此次下钻去掉钻具柔性部分保存刚性部分,目的是修磨钻孔在分支时形成的拐点。

4.3.2 造斜钻进

钻具组合: $\varnothing 76.5$ mm 取心金刚石钻头 + $\varnothing 71$ mm 双管单动取心器 + $\varnothing 60$ mm 螺杆马达 + 定向接头 + $\varnothing 60$ mm 无磁钻杆 + $\varnothing 55$ mm 绳索取心钻杆 + $\varnothing 71$ mm 绳索取心钻杆。

主要钻进参数:压力 5 ~ 10 kN,泵量 160 L/min。

由于钻遇地层较硬,可钻性超过 7 级,全面钻头钻进时,钻头唇面单位面积获得的钻压较低,加上越是靠近钻头中心处钻头的切削速度越低,以上因素导致钻进效率低下。现场施工时尝试使用一种新的钻具组合“螺杆钻具 + 双管单动取心器”,既保证了钻头唇面单位面积上的钻进压力,同时钻具仍具备一定的造斜功能,所以进尺效率明显提高。

4.3.3 稳斜钻进

造斜段施工结束后,最后进入取心施工阶段,该孔段采用常规绳索取心钻进,由于是稳斜钻进,所以钻孔顶角和方位变化不大。

4.4 施工效果分析

J14ZK0100 孔选择“先主孔再分支孔”、分支孔“从上往下”的施工顺序。

分支孔一从 231.5 m 处开始侧钻,造斜钻进 28 m,稳斜钻进 174.78 m,最终孔深 434.28 m,顶角 7.7° ,方位角 130.4° ,稳斜段取心率 97%,弯曲度测量、井深校正、水文地质观测次数均符合规范要求。

分支二从 245.5 m 处开始侧钻,造斜钻进 15 m,稳斜钻进 145.57 m,最终孔深 406.07 m,顶角 6.8° ,方位角 308.9° ,稳斜段取心率 100%,各项指标符合规范要求。

通过对 2 个分支孔的数据进行整理分析,认为其造斜位置、造斜角度、钻孔深度均达到设计要求,取得的成果满足地质需要。再结合已经完工的 J14ZK1601、J14ZK0001 勘探孔,基本实现了对 14 号柱状矿体的控制,因此取消了分支孔三的施工。

5 结语

(1)定向钻探技术在固体矿产勘查中的应用,其技术意义体现在纠正偏离设计要求的钻孔轨迹,使孔斜或截矿点满足地质勘探要求,以及避开复杂地层或难钻进地层,最终顺利施工的层面上;经济意

义体现在准确揭露矿层及其边界关系,为国家和矿山企业提供更为准确的矿产储量报告,以及利用定向分支孔技术,在条件具备的矿区大幅节约钻探工作量的层面上。

(2)应用小直径螺杆钻具进行地质勘查定向孔施工,在岩石可钻性小于 6 级的地层中无论是分支侧钻还是连续造斜均能取得较好效果。当岩石硬度超过 6 级时,由于小径螺杆钻具无法提供给钻头合适的转速和碎岩压力,钻进效率明显降低,甚至无法正常钻进。

(3)根据现场情况进行的一次“取心钻头 + 双管单动取心器 + 螺杆钻具”尝试,从应用效果来看,该钻具组合具有一定的造斜功能,与“全面钻头 + 螺杆钻具”相比钻进效率明显提高。

(4)用于全面钻进的金刚石钻头,水眼布置一定要合理,钻头中间水眼不应设计在正中心位置,此次施工忽略了这一点,导致钻头在钻进过程中不断取小岩心(图 5 所示),每钻进不到 0.5 m,岩心就会堵死水眼,造成憋泵,螺杆钻具无法正常工作,需要提钻清理。



图 5 金刚石钻头中心水眼取心

(5)2 个分支孔均为定向孔,最大孔斜分别为 7.7° 和 6.8° ,由于钻杆与孔壁之间的环状间隙较小且钻遇岩石较硬,所以回转钻进时,孔壁对钻杆体产生严重磨损,有些接头丝扣甚至损坏。因此定向勘探孔施工时,所用钻杆的材质、强度和耐磨性需要多加考虑。

参考文献:

- [1] 向军文. 定向对接连通井轨迹设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5): 11 - 14.
- [2] 张文英, 张廷茂, 吴德军, 等. 侧钻技术在钻孔事故处理中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(6): 10 - 12.
- [3] 李光华. 螺杆钻侧钻分支绕障技术处理绳索取心钻孔事故[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(11): 32 - 34.
- [4] 江天寿, 周铁芳. 受控定向钻探技术[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [5] 王恒. 裸眼侧钻关键技术的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10): 26 - 29.