

哈达门沟深孔钻探施工技术

张宝河¹, 王政敏², 边鹏³, 杨永顺³

(1. 武警黄金指挥部, 北京 100055; 2. 武警警种学院, 北京 102202; 3. 武警黄金第二支队, 内蒙古呼和浩特 010010)

摘要:以内蒙古哈达门沟柳坝沟 2000 m 深孔钻进为例, 总结了武警黄金部队近几年在深孔施工中遇到的难题以及解决难题所采取的技术措施, 介绍了冲洗液的选择与配制、钻进三大参数选择、施工技术措施的研究等。

关键词:深孔; 钻探; 冲洗液; 哈达门沟

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2014)06-0014-05

Construction Technology of Deep Drilling in Hadamengou/ZHANG Bao-he¹, WANG Zheng-min², BIAN Peng³, YANG Yong-shun³ (1. The gold Headquarters of Chinese People Armed Police Forces, Beijing 100055, China; 2. Category Institute of CAPF, Beijing 102202, China; 3. No.2 Gold Geological Party of CAPF, Huhhot Inner Mongolia 010010, China)

Abstract: With the case of 2000m deep drilling in Hadamengou Inner Mongolia, the paper summarizes the difficult problems encountered in the construction and the related technical measures to be taken; introduces the selection of flushing fluid and the preparation, selection of 3 drilling parameters and the study on technical measures.

Key words: deep hole; drilling; flushing fluid; Hadamengou

1 概述

为适应“攻深找盲”需要, 从 2008 年开始, 武警黄金部队各个矿区组织力量开展绳索取心深孔施工技术课题研究, 积极应用国内最新科技成果, 解决深孔施工过程中遇到的一些施工难题。到 2013 年 12 月, 已在河南狮子庙矿区, 山东大漠曲家矿区, 内蒙古哈达门沟矿区等 5 个矿区施工超过 1000 m 的钻孔 22 个, 超过 1500 m 钻孔 12 个, 特别是在 2013 年哈达门沟柳坝沟矿区施工的 ZK11524, 创造了武警黄金部队孔深和各项技术指标最高纪录。该孔设计孔深 1850.00 m, 倾角 88°, 方位角 10°。于 2013 年 5 月 13 日开孔, 9 月 10 日终孔, 历时 121 天, 终孔深度 2003.90 m, 日平均进尺 16.57 m, 小时进尺 1.57 m, 台月效率 528.88 m, 纯钻率 43.34%, 成本核算为 397 元/m。该孔刷新了武警黄金部队最深孔记录, 为今后更大孔深的施工积累了经验。

2 施工中遇到的难题

该矿区内出露的地层是中太古界乌拉山岩群第一岩组及第二岩组的一部分, 按岩性划分为第一岩组二个岩性段, 分别为黑云角闪斜长变粒岩、含榴石黑云斜长片麻岩; 第二岩组第一岩性段, 岩性是黑云角闪斜长片麻岩, 是一套原岩为火山碎屑岩建造的中高级变质岩, 主要是以片麻岩为主的变质岩层, 褶

皱、断裂构造十分发育, 中等研磨性, 可钻性 7~9 级, 个别地层达到 10 级。矿区及外围地层较为复杂, 钻探施工中因松散、松软、破碎地层而引发的孔内坍塌、掉块、漏失等难题, 在矿区每个钻孔中均有不同程度的存在。

(1) 上层主要为第四系覆盖层, 厚度为 5~60 m。软而破碎, 钻进过程中极易出现漏水和钻孔垮塌事故。

(2) 黑云角闪斜长片麻岩: 暗灰色、灰绿色, 鳞片花岗变晶结构, 片麻状构造, 岩石可钻性等级为 7~9 级。

(3) 斜长角闪岩类, 岩石可钻性等级为 7~9 级, 完整时易于钻进; 当出现破碎时, 有较强的研磨性, 也容易出现掉块卡钻事故。

(4) 石英岩类, 岩石可钻性等级可达到 10 级, 硬度较大, 研磨性强, 施工中进尺慢, 效率低。

(5) 绿泥石化蚀变破碎带, 地层破碎, 孔内坍塌掉块严重, 常发生夹钻和埋钻事故, 钻头下不到孔底, 导致钻进效率低下, 甚至废尺废孔事故, 给钻进工作带来较大的困难。容易发生坍塌、卡钻等事故。

3 施工人员、物资及材料的配备

3.1 人员部署

机台采取 4 班 3 倒制, 生产人员分成 4 个固定

收稿日期: 2014-03-23; 修回日期: 2014-05-24

作者简介: 张宝河(1968-), 男(汉族), 内蒙古赤峰人, 武警黄金指挥部处长、工程师, 探矿工程专业, 硕士, 主要从事探矿工程的管理工作, 北京市西城区红莲南路 55 号, 1625573373@qq.com。

班组,每班5人,工作8h,各班依此衔接。机台人员 人,战士12人,合计22人。
 编制为:机长1人,副机长1人,班长4人,副班长4

3.2 钻探装备(表1)

表1 设备、钻具配备一览表

设备	钻机	泥浆泵	钻塔	管 材	取心绞车	发电机组
型号	XY-8	BW-600, BW-320	SGX-23 加重	Ø146 mm 钻杆 50 m, Ø114 mm 钻杆 200 m, Ø91 mm 钻杆 700 m, Ø71 mm 微细绳索取心钻杆 2000 m	3000 m	250 kW
数量	1台	2台	1套		1台	1组(备用)
厂家	张家口中探机械有限公司	山东中探机械有限公司		唐山金石有限公司		潍柴

车辆装备:皮卡车1台,运兵车1台。

施工用水:利用钻孔周边水源,用一级泵站向机台供水。

施工用电:使用黄金公司架设的高压电。

4 钻孔结构

根据地质提供的简易钻孔柱状图,该孔位于河床边上,同时在200和700m左右有2处断层,结合以往钻探施工经验,开孔采用Ø150mm硬质合金钻头,钻进7.3m用Ø146mm钻杆做套管下入孔口管;采用Ø122mm金刚石钻进,待穿过第一层断层后,用Ø114mm钻杆做套管下180m;然后再改用Ø98mm金刚石钻头钻进至第二断层,用Ø91mm钻杆做套管下696m钻进完整基岩,最后采用Ø77mm金刚石绳索取心钻头钻进至终孔(见图1)。

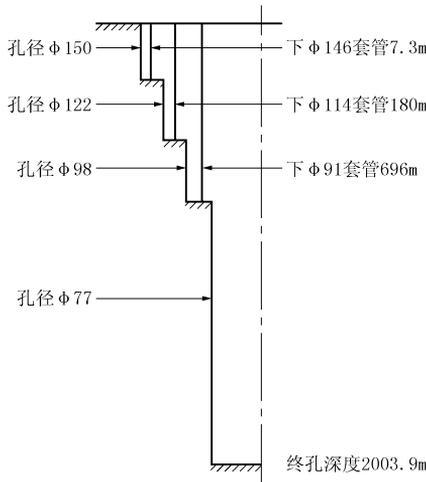


图1 钻孔结构示意图

5 钻进技术

5.1 第四系覆盖层及河床地层钻探施工

依据施工设计,第四系覆盖层及河床钻进时,选用Ø150mm单管钻具进行开孔,对于粘土层及砂(卵)石层,尤其是卵石直径较大时(粒径>100mm),必须将岩心取出,否则难以成孔进尺。由于粘土层具有隔水造浆性能,容易出现缩径,砂(卵)石

层又容易孔壁坍塌,第四系覆盖层的钻探施工在于维护泥浆性能,只有保证粘土层不缩径,砂(卵)石层钻孔孔壁稳定,孔底干净,就能够比较顺利地通过覆盖层,确保Ø146mm套管的顺利下入。因此,本层采用的主要泥浆(1m³)配方为:4%钠基膨润土+1.5%植物胶+0.15%烧碱(NaOH),将泥浆充分搅拌均匀后,其性能如下:粘度28s,密度1.27g/cm³,pH值为9。当钻进至砂(卵)石较厚地层时,每方泥浆中需加入纤维素1.5~2.5kg,以提高泥浆粘度,形成致密泥皮,确保孔壁的稳定。

采用硬质合金钻头钻进第四系覆盖层及河床地层,钻进技术参数如下。

(1) 钻头压力:钻进第四系覆盖层时,严格控制钻头压力,单粒硬质合金压力控制在0.5~1kN以内;卵石层钻进时单粒硬质合金压力控制在0.55kN以内。

(2) 转速:粘土层转速取200~350r/min,砂(卵)石层取70~200r/min。

(3) 泵量:均>80L/min。

通过使用上述泥浆材料及配比,较好地维持孔壁稳定性,并较快地通过了覆盖层(特别是卵砾石层),顺利地下入了Ø146mm孔口套管7.3m。

5.2 Ø122mm金刚石绳索取心钻探施工

在采用Ø122mm金刚石钻头钻进时,该孔段钻孔出现严重漏失,孔口返水量较小,孔内有掉块现象发生。为了达到较好的堵漏效果,确保岩心采取率达到地质要求,钻进用泥浆配方(1m³泥浆):2%植物胶+0.3%PHP+0.2%CMC+堵漏剂(根据漏失的情况添加)。在泥浆搅拌时先加分子量小的再加分子量大的,均匀搅拌后。泥浆性能:粘度25~35s,密度1.01~1.03g/cm³。这种冲洗液没有较好地解决该段的漏失,又使用膨润土(65%)+801堵漏剂(20%)+PHP(10%)+羊粪(5%),做成泥球投入孔内后,用钻杆拧压捣实,几次反复堵漏后,孔内返水正常。

金刚石绳索取心钻进技术参数:钻压12~17

kN, 转速 223 ~ 604 r/min, 泵量 60 ~ 100 L/min。

采用以上泥浆配比, 应用 $\varnothing 122$ mm 钻进至完整基岩 1 ~ 2 m 后, 提钻, 用 $\varnothing 114$ mm 钻杆做套管下入 180 m, 改用 $\varnothing 98$ mm 金刚石绳索取心钻进。

5.3 $\varnothing 98$ mm 金刚石绳索取心钻进

在采用 $\varnothing 98$ mm 金刚石钻头钻进时, 根据地层的变化, 该孔段地层比较完整, 稍有硬破碎。为确保岩心采取率达到地质要求, 钻进用泥浆配方(1 m³ 泥浆): 3% 植物胶 + 0.25% PHP + 0.15% CMC + 0.15% 烧碱 + 0.3% 腐植酸钾, 在泥浆搅拌时加分子量小的再加分子量大的均匀搅拌后, 其泥浆性能: 粘度 20 ~ 28 s, 密度 1.01 ~ 1.03 g/cm³, 失水量 11 ~ 13 mL/30 min。

金刚石钻进技术参数: 钻压 8 ~ 15 kN, 转速 350 ~ 700 r/min, 泵量 80 ~ 100 L/min。采用以上泥浆配比, 应用 $\varnothing 98$ mm 钻进至完整基岩 1 ~ 1.5 m 后, 提钻, 用 $\varnothing 91$ mm 钻杆做套管下入 696 m, 改用 $\varnothing 77$ mm 金刚石绳索取心钻进。

5.4 $\varnothing 77$ mm 金刚石绳索取心钻进

5.4.1 冲洗液的选择

该孔基岩地层大部分较为单一且完整, 采用无固相冲洗液可满足钻进施工要求; 但个别孔段遇断层破碎带和坚硬脉岩, 且节理、裂隙发育, 岩心破碎, 漏失严重, 甚至有部分孔段不能返水, 采用无固相冲洗液已不能够完全满足钻探施工要求。因此, 在钻进该地层时, 采用优质低固相冲洗液。具体采用以下哪种冲洗液根据地层变化情况确定。

无固相冲洗液的配方主要有以下 3 种。

(1) 0.3% PHP + 0.2% CMC + 0.15% NaOH + 皂化油(随孔内阻力情况进行调整); 冲洗液性能: 密度 1.01 ~ 1.03 g/cm³, 粘度 20 ~ 23 s, pH 值 8 ~ 9。

(2) 3% 植物胶 + 0.2% PHP + 0.15% CMC + 0.15% NaOH + 皂化油(随孔内阻力情况进行调整); 冲洗液性能: 密度 1.01 ~ 1.03 g/cm³, 粘度 22 ~ 27 s, pH 值 8 ~ 9, 低失水量 11 ~ 13 mL/30 min。

(3) 优质低固相冲洗液配方主要有: 4% 膨润土(钠土) + 1.5% 植物胶 + 0.2% PHP + 0.15% CMC + 0.1% NaOH + 皂化油(随孔内阻力情况进行调整); 冲洗液性能: 密度 1.03 ~ 1.08 g/cm³, 粘度 27 ~ 33 s, 失水量 8 ~ 11 mL/30 min, pH 值 8 ~ 10。该配方主要用于穿越绿泥石化破碎带以及穿过后后的巩固钻进。

5.4.2 钻进技术参数选择

5.4.2.1 钻压

柳坝沟矿区地层复杂, 破碎带极多, 岩石硬度很不均匀, 可钻性范围大, 对钻压的最优值选择不宜控制, 因此钻进过程中根据所遇地层情况和钻速情况, 对钻压进行有效地调整, 钻压调整范围控制在 5 ~ 15 kN, 由于采用的 $\varnothing 77$ mm 缴粗绳索取心钻杆和绳索取心钻具, 其金刚石钻头的底唇面较厚, 故应选择较大的钻头压力值。

5.4.2.2 转速

从理论上说, 在合适的钻压下, 转速越高, 钻速越快, 但在水平钻孔及大斜度钻孔中, 由于钻具与孔壁的摩擦阻力大, 并且高转速会产生震动, 如果一贯追求高转速, 就会造成机械磨损加大, 孔内事故率增加, 对快速钻进不利。斜度钻孔的转速要略低一些, 结合钻机能力、钻具强度及钻孔弯曲度、钻孔的深度等综合因素考虑, 转速可控制在 200 ~ 750 r/min 之间。在开孔时采用低转速、低泵量, 以防止盲目加压导致孔斜, 在钻进 200 ~ 700 m 时采用“两大一快”(钻压大、泵量大、转速快)进行钻进, 超过 700 m 时采用减压钻进, 随着孔深的增加, 每班都要进行准确的称重, 并根据泵压、电流等仪表的反应来适当调节压力, 一般为 77 ~ 97 kN。

5.4.2.3 冲洗液量

由于 $\varnothing 77$ mm 金刚石绳索取心钻进钻头底唇面厚, 克取岩心的面积大, 因此冲洗液宜取较大值, 一般采用 70 ~ 120 L/min。钻压、转速、冲洗液量三者是互相联系、互相制约的, 在一定条件下, 其内部存在着最优的配合关系。本矿区钻进施工所采用的均为上限值或较大值, 取得了较好的钻进效率, 并保障了钻头的使用寿命, 钻头平均使用寿命为 86.9 m, 最大使用寿命为 173.7 m。钻进技术参数最优配合详见表 2。

表 2 钻进技术参数最优配合参照

孔深/m	钻孔直径/mm	电流/A	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa
0 ~ 7.3	150	40 ~ 50	79	78 ~ 165	0 ~ 1
7.3 ~ 180	122	70 ~ 90	137 ~ 213	80 ~ 118	4 ~ 5
180 ~ 696	98	80 ~ 110	384 ~ 594	78	5 ~ 6.5
696 ~ 2003.9	77	90 ~ 100	223 ~ 594	78 ~ 118	6 ~ 11.5

注: 表中孔段数值仅为综合示意值。

通过不同地层冲洗液的选择和钻进参数的应用比较, 尤其在破碎地层和漏失严重地层, 通过选用优质低固相泥浆冲洗液, 保证了孔壁的稳定, 降低了漏失量, 并通过控制回次长度、调整钻头直径及回灌等措施, 在该矿区深孔复杂多变的地层条件下, 顺利地完成了钻探施工, 提高了钻进效率。

另外,在矿层上部的坚硬“打滑”地层钻进过程中,通过加大钻压、向孔内投放磨料等措施,较为顺利地钻过该坚硬岩层,并保证了钻孔的孔径,提高了施工效率,保证了施工质量。

6 施工中遇到的问题及处理方法

6.1 钻进砂卵石地层的难点及处理方法

在0~50 m河床砂卵石地层,出现严重的掉块、孔内漏失不返水、取心难等问题。处理方法如下。

(1)干钻,即使用干烧的方法将坍塌物捞至孔

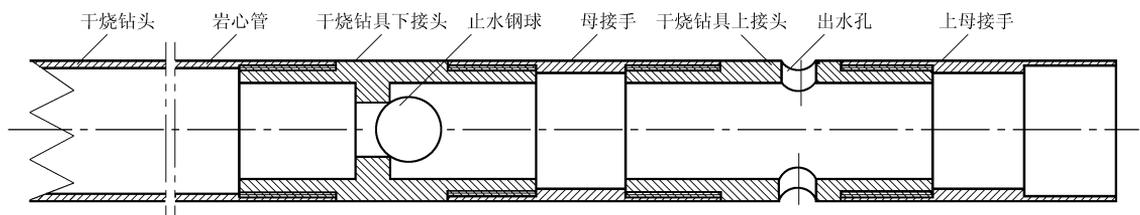


图2 干烧钻具结构示意图

(2)利用优质泥浆来进行护壁、堵漏。其配方:65%膨润土+20%803堵漏剂+10%PHP+5%羊粪,做成泥球投入孔内后,用钻杆拧压捣实,几次反复性堵漏,孔内返水正常,较好地解决了上述出现的问题。

6.2 钻孔卡钻的处理方法

在203~225 m钻孔出现钻杆卡钻问题,处理的方法:采用低速,慢慢窜动,用大扭矩进行慢转,用优质泥浆反复冲洗2~3 h,慢慢让钻杆提升至 $\varnothing 114$ mm套管内,正常上钻,在下钻时更换新扩孔器后下钻慢扫,成功解决了卡钻事故。

6.3 钻孔缩径问题的处理方法

该孔在257~270和344~358 m两处为绿泥石化破碎带,在钻进穿过这段破碎带时,发生缩径现象,经过多次的扫孔处理,很难穿过这段破碎带,后采用SH-1植物胶加膨润土冲洗液,其配方:4%膨润土+1.5%植物胶+0.15%烧碱,冲洗液密度 $1.03 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$,粘度 $27 \sim 33 \text{ s}$,失水量 $8 \sim 11 \text{ mL/30 min}$,pH值 $8 \sim 10$,该配方顺利穿越绿泥石化破碎带。

6.4 坚硬“打滑”地层的处理方法

在1695 m处遇见坚硬致密“打滑”地层,无法进行正常钻进。处理方法:一是选用弱包镶热压防打滑钻头,可提高时效。其基本原理是:金刚石钻头胎体磨损比普通钻头快,不容易使钻头胎体抛光打滑,使工作层中的金刚石颗粒处于克取状态,该钻头在10级以上的硅质胶结石英砂岩钻进时效由0.45

外,实现正常钻进。干烧钻具需专门加工,钻具上部需加工一个带有单向球阀的接手,以便上钻时保护坍塌物不被冲走,在球阀的上部开侧孔,这样上钻时冲洗液从侧孔流回孔内以平衡地层压力。干烧钻头使用报废的绳索钻杆母接手加工,在一侧加工锯齿状水口,干钻时,每钻进20~30 cm稍作提动,继续干钻,当发现回转阻力明显增大时,快速向下拧压钻具,以使发热的接手锯齿向内收缩,将坍塌物包入钻具。干烧钻具示意图见图2。

m提高到1.05 m。二是用1 cm大小的石英块对高硬度胎体钻头进行磨钻头,首先保证水路畅通,用 100 r/min 以下低转速、低压力、轻磨,坚持轻而多的原则,处理成功。

6.5 提高钻进效率的措施

在深部施工时,选用高胎体孕镶金刚石钻头,提高钻头使用寿命,减少提大钻次数。我们选用无锡南方金刚石工具厂用大粒度金刚石生产的高胎体金刚石钻头,工作层高度由4.5 mm提高到16 mm,使钻头平均寿命从68 m提高到165 m。

6.6 深孔提高岩矿心采取率的措施

在1860~1920 m为钾硅化蚀变带,为提高岩矿心采取率,限制回次进尺长度来提高岩矿心采取率,坚持少钻勤提的原则。通常把回次进尺限制在0.5~1 m之内,而采集最关键的岩矿样品时,回次进尺要更短一些。

6.7 提高泥浆使用效果

加大泥浆搅拌箱。针对深孔钻进冲洗液需求量大,且搅拌桶搅拌冲洗液速度慢的情况,设计了 3 m^3 的大冲洗液配置箱,购置了7.5 kW的切割式污水泵放入冲洗液配置箱中搅拌冲洗液,污水泵在箱内运转不仅冲洗液搅拌效果好而且速度快。替换旧浆时,避免了冲洗液不够用导致停待,节省了辅助时间,提高了效率;用这种大立方搅拌箱可以充分使化工材料有效浸泡和溶解,减少浪费,节约成本。

加长排水沉淀槽。改进泥浆循环系统,加长排水槽,促进岩粉沉淀,并在排水槽末端设置沉淀坑,

底部加装排粉管,便于岩粉的清除,降低劳动强度。在沉淀箱中加装隔水挡板,出水口高于进水口,从而使得岩粉较好沉淀,减少岩粉二次进入孔内。

6.8 判断内管打捞成功的方法

孔深超过 1000 m 之后,绞车钢丝绳由于自重过大,无法用手感应打捞器是否打捞住内管,我们将导正轮臂加长,提拉内管时观察绞车导正轮下的底座槽钢(臂长后,绞车着力点向前靠,提拉内管后,重量加重会造成绞车导正轮下底座槽钢瞬间略微脱离塔板,依次来判断内管是否拉上)变化情况,来判断是否拉上内管。

6.9 其它操作注意事项

(1)不打懒钻、不打堵心,机台上严禁用提升、窜动钻具的办法来解决憋泵,一遇堵水憋泵,立即提升采取岩心。

(2)打捞岩心、提钻时,均进行了孔口回灌。

(3)每次停钻倒杆前,均将钻机卷扬钢丝绳拉紧,倒杆时,在孔深 600 ~ 1000 m,上提钻具 10 cm 左右,孔深 1000 m 之后,上提钻具 15 ~ 20 cm,方能轻合离合器。

(4)下套管时均在套管外壁涂抹铅粉和废机油调制的润滑脂,下至离孔底 10 ~ 20 cm 时,合上钻机,用泥浆泵将高粘植物胶冲洗液压入套管外壁间隙。313ZK11524 终孔后,Ø98 mm 套管 696 m、Ø122 mm 套管 180 m、Ø150 mm 套管 7.3 m 全部顺利起拔。

(5)每次采心时均采取立轴提升 300 mm,再下放孔底以一速(71 r/min)轻转 3 ~ 5 min 进尺 10 cm 左右重新磨残留岩心方式,使钻头内台阶岩心继续向内管中进入,确保不形成蘑菇头,然后提升立轴,高转速甩动钻具(为了确保卡簧座与钻头内台阶之间没有残留岩心,产生间隙易打捞内管),下打捞器进行采心。

(6)深孔钻进中每次采心时,均严格检查内管总成,特别是检查堵水胶圈是否挤压变形,防止因提拉不动而上大钻。

(7)深孔钻进中使用了加长加重的打捞器,增加捞矛的冲击力,提高了打捞成功率。施工中严格检查绞车钢丝绳,孔深钢丝绳自重比较大,用低挡提拉,防止钢丝绳断裂。

(8)深孔减压钻进中,操作阀和控制阀同时使用以控制钻进速度,防止憋钻。

(9)针对矿区地层的复杂程度及钻孔较深的特

点,施工前制定了比较严密可行的单孔施工技术方案,选定了相应钻孔施工结构。

(10)适当加大了深孔钻探开孔孔径,尽管孔径加大会降低上部钻探效率,但可为深部钻探处理复杂地层和事故预留扩孔下套管的空间,可保证深部钻探顺利进行。

(11)针对深孔钻进施工,结合指挥部开展的深孔钻进研究项目,合理选择使用高效的金刚石钻头和扩孔器,提高了钻探施工效率。

(12)发挥了泥浆实验室的作用,强化冲洗液的优化配制,严格控制冲洗液的性能指标,确保泥浆有良好的护壁、防塌、堵漏、排粉效果。

(13)钻进中,做到了认真观察泵压、孔内回转载荷的变化,准确判断孔内情况,出现漏失、憋车、泵压急剧升高等异常时,采取措施迅速、适当。

7 结语

哈达门沟柳坝沟矿区 313ZK11524 孔的施工,无论从施工组织,施工管理,冲洗液配制及性能,钻具、钻头的选择与使用,严格操作规程等方面无疑是成功的、有效的,是值得借鉴的。

(1)武警黄金部队经过近几年的深孔钻进实践,深孔钻进技术与经验已趋于成熟,可以施工 2000 m 左右的地质超深孔。

(2)深孔施工设计要精、细、全,是保证施工顺利进行的前提。对可能碰到的问题既要预测全面,又要设计好解决问题的方案,准备好处理难题的器材。

(3)加强组织管理,是保证深孔施工顺利进行的关键因素之一。

(4)要随时完善修正施工设计,是深孔施工能否顺利进行的重要环节。

参考文献:

- [1] 郑思光,赵志杰,王克佳,等. 司家营(南)区大贾庄铁矿复杂地层深孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):36-39,46.
- [2] 李景东. 哈达门沟金矿区复杂地层中深孔钻进实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):20-23.
- [3] 王江平. 河南舞阳铁矿深孔钻进工艺实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):27-30.
- [4] 彭步涛. 绳索取心深孔施工技术问题的探讨和实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(Z1).
- [5] 于辉,叶兰肃. 新疆阿舍勒铜矿深孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):32-34.