

大岗山水电站深孔帷幕成孔综合钻探技术

张明明¹, 韦 猛¹, 刘振新²

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059; 2. 山东省地质矿产勘查开发局第三地质大队, 山东烟台 264000)

摘要:与传统提钻取心钻进技术相比, 绳索取心技术能有效解决取心质量差、钻孔弯曲、孔内事故多发等技术难题。结合大岗山水电站左岸 940 m 高程的帷幕成孔钻探工艺, 分析钻探施工中存在的问题, 采取针对性的工艺改进和优化措施, 有效地解决了这些难题, 并且在提高工程质量的同时获得了经济效益。

关键词:帷幕成孔; 钻探技术; 绳索取心

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)10-0039-04

Comprehensive Drilling Technology of Deep Hole-forming for Curtain in Dagangshan Hydropower Station/ZHANG Ming-ming¹, WEI Meng¹, LIU Zhen-xin² (1. College of Environment and Civil Engineering of Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. No. 3 Geological Brigade, Shandong Bureau of Geology and Mineral Exploration, Yantai Shandong 264000, China)

Abstract: Compared with the traditional core drilling technology by lifting bits, wire-line coring technology can effectively solve the technical difficulties of poor core quality, borehole bending and downhole accidents. According to the drilling technology of hole-forming for curtain at the elevation of 940m on the left bank of Dagangshan hydropower station, the problems in drilling construction are analyzed and effectively solved by process improvement and optimization, the engineering quality is improved with economic benefits.

Key words: hole-forming for curtain; drilling technology; wire-line core drilling

1 工程概况

大岗山水电站坝址位于四川省雅安市石棉县境内, 为大渡河干流规划的 22 个梯级中的第 14 个梯级电站, 大坝采用混凝土双曲拱坝, 最大坝高 210 m, 为国内设防烈度最高的拱坝。大坝枢纽区主要为黑云二长花岗岩, 另有辉绿岩脉、花岗细晶岩脉、闪长岩脉等岩脉穿插发育于花岗岩之中, 其中尤以陡倾的辉绿岩脉分布最多。

按规范要求, 大岗山水电站帷幕灌浆工程中对成孔质量要求: 顶角偏差为 $0.5^\circ/100\text{ m}$, 其精度要求大大超过了常规钻进的孔斜质量控制要求。在孔深较大 ($>100\text{ m}$) 时, 很难控制相邻灌浆孔的孔距和排距, 减弱帷幕防渗的效果。在施工环境、施工设备受到约束的情况下, 只有通过工艺、技术措施的优化, 才能实现大规模、高精度、低成本的钻探成果。本文结合大岗山水电站深孔帷幕成孔防斜综合工艺研究, 以大坝左岸高程 940 m 平洞内的帷幕灌浆试验孔的施工过程为例, 介绍该工区钻探施工工艺、主要问题及解决措施。

2 钻探施工

2.1 钻探主要设备

钻孔深度在 70 ~ 200 m 之间, 根据孔深及灌浆廊道净空尺寸 ($3.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$) 选择以下设备: XY-2 型钻机, BW-150 型泥浆泵, 简易四角钻塔。

2.2 钻孔结构设计

设计规范要求帷幕灌浆区孔身为直孔结构, 终孔直径 76 mm; 孔口封闭法灌浆, 正常情况下用 $\varnothing 91\text{ mm}$ 钻头开孔, 钻至 2 ~ 5 m 深度放入孔口管, 再换用 $\varnothing 76\text{ mm}$ 钻头钻至设计深度。

2.3 钻探施工工艺

0 ~ 5 m, 硬质合金钻进;
5 m ~ 设计深度, NQ 绳索取心钻探工艺;
清水护壁, 遇漏失、破碎严重地层改用泥浆护壁 (废置泥浆需处理, 不得直接排放)。

3 施工中主要钻探问题

(1) 受灌浆廊道净高限制, 绳索取心钻具内管长度较短 (仅 50 ~ 65 cm), 回次进尺量少, 打捞内管总成的频次增多, 工人劳动强度大; 钻杆脱扣、变形

收稿日期: 2013-03-17; 修回日期: 2013-07-14

作者简介: 张明明 (1989-), 男 (汉族), 湖北襄阳人, 成都理工大学硕士研究生在读, 地质工程专业, 从事岩土钻掘工程方面的工作, 四川省成都市成华区东三路 1 号, mcdu89@163.com。

严重;孔壁间隙小,钻杆回转阻力大,磨损严重;岩石致密坚硬,最大肖氏硬度 > 116HSD,新钻头胎体磨损消耗慢,底唇金刚石不易出露,钻进效率低。

(2) 钻进中遇到软硬互层、节理、层理或片理发育的地层;钻机锚固不牢,随钻杆振动晃动较大,导致孔位偏移;钻进规程参数选取不当,高压高转速等,易造成钻孔弯曲事故。

(3) 设计规范要求全孔取心,取心率 $\geq 85\%$,但部分孔段地层破碎严重,钻头克取阻力不均,钻具产生纵-横向振动,从而引起钻具与孔壁、孔底剧烈的碰撞,导致岩心管内的岩心振断、磨损,岩心采取率低(见图1)。即使使用专门岩心捞取工具进行岩心的补取工作,仍无法取得满意效果。

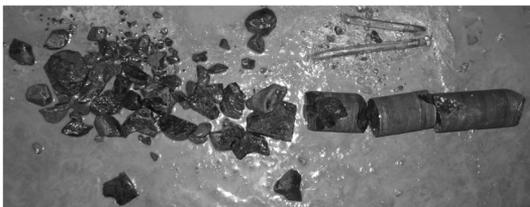


图1 部分岩心照片

4 解决钻进效率低的措施

4.1 优化钻头参数

(1) 数据显示,在施工中,起下钻及提取岩心等其他辅助工序时间占钻进时间的70%左右,导致钻进效率低下,绳索取心工艺虽解决了这一问题,但是钻头的寿命仍制约了这一工艺的优越性。近年来,多水口高胎体金刚石钻头的研制很好地解决了钻进时效与钻头寿命相互矛盾的问题,通过对金刚石钻头胎体高度、水口位置和数量、胎体成分以及烧结工艺等进行优化,再结合室内和现场试验效果,综合评价,设计出寿命较高的多层水口高胎体钻头。

(2) 金刚石机械碎岩效果与钻头唇面形状有一定关系,普通平底型唇面的钻头钻进稳定性好,寿命长^[1],但是钻进时效低,改用高低交错型的唇面或者同心环锯齿状唇面,使孔底岩石成槽状破坏,特别

适用于坚硬打滑地层的钻进。

(3) 选用 HRC15~25 的钻头胎体硬度,降低胎体耐磨性,达到自磨出刃的效果。

(4) 金刚石的浓度与钻头寿命和钻进效率也有一定关系,金刚石浓度高,底唇面上单位面积出露的金刚石多,破碎岩石的支撑点就多,但是单粒轴向压力很小,导致轴压不足,达不到碎岩的目的,合理的金刚石浓度为75%~85%。

(5) 在胎体中混入一定量的磨料,磨料能加速胎体的磨耗,使金刚石及时出露^[2]。

4.2 磨粒钻进

为了有效地磨削岩石,需要使胎体适当地被磨蚀,即钻头唇面具有自磨和自锐作用,胎体的磨耗速度过快会增大金刚石的消耗量,缩短钻头寿命;过慢,金刚石的出刃少,进尺效率低,因此,要求胎体磨耗速度略超前于金刚石的消磨速度。通常采用酸烧、金刚石砂磨屑等办法解决金刚石出刃少的问题。但由于酸液处理的钻头,金刚石出露不均匀,砂磨费时且实际效果并不明显。因此常采用向孔底投放碎石磨料的办法,内管提出后,通过绳索钻杆向孔内投入一定量的坚硬碎石(粒径为0.5~1 cm),再由经验丰富的钻工操作钻机,钻具在孔内上下提动4~6次,停泵不加压“扫孔钻进”对钻头进行预磨。

孔底投磨料钻进虽能使金刚石及时出露,但该方法仍有使用缺陷:一是由于碎石的粒度、硬度和投入量有差异,且钻工操作水平不一致,对钻头微进尺控制不同,在停泵下磨损钻头,稍有不慎就可能发生烧钻或金刚石过早脱落等事故;二是增加辅助时间,使钻探成本增加。

4.3 应用 SYZX 系列绳索取心液动锤

SYZX 系列绳索取心液动潜孔锤(性能参数见表1)是将液动冲击回转钻进和绳索取心结合为一体的钻探器具,通过液动潜孔锤的高频冲击碎岩,同时起下钻的次数减少,减轻升降钻具中的抽吸和激动压力,孔内事故降低^[3,4]。

表1 SYZX 系列绳索取心液动锤钻具的主要性能参数

型号	钻具外径 /mm	钻头直径 /mm	冲锤行程 /mm	自由行程 /mm	工作泵压 /MPa	工作泵量 /(L·min ⁻¹)	冲击频率 /Hz	冲击功 /J	长度 /mm
SYZX59	56	59	12	4~7	0.5~2.0	50~80	30~45	10~20	4100
SYZX75	73	75.5	15~25	5~8	0.5~2.0	60~90	25~40	10~50	5200
SYZX96	89	95.5	20~25	6~10	0.5~3.0	90~120	20~40	15~70	5500

4.3.1 结构特点

(1) 容积式冲击作用,击砧水垫影响小,能量利

用率高,整体工作稳定;

(2) 轴向冲击作用与回转钻进结合,产生微冲

击碎岩作用,增加钻头压入岩石深度,切入量提高了,碎岩效果好;

(3)结构简单,易损件少,维修费用低;

(4)钻进适应能力强,主要性能参数可调整范围大,可满足多种工艺钻进需要^[3]。

4.3.2 钻进参数

钻压一般为 8~10 kN;转速 248~538 r/min;绳索取心液动锤钻进主要靠泥浆泵泵送的高压流驱动,因此常采用较大的泵量,一般为 72~90 L/min。

4.3.3 对比试验成果

为对比分析绳索取心和绳索取心液动锤钻进 2 种不同工艺的使用效果,在灌浆廊道内选取钻孔深度、钻进参数和地层条件一致的几组灌浆孔的施工,分别使用不同工艺钻进,主要技术指标对比情况见表 2 和表 3。

表 2 绳索取心钻进和绳索取心液动锤(绳冲)钻进效果比较

孔号	施工工艺	孔深 /m	回次	平均回次进尺 /m	钻探总台时/h	纯钻时间 /h	岩心长度 /m	岩心采取率/%
L1X-Ⅱ-7	绳索取心	88.2	183	0.48	192	97	76.8	87
L1X-Ⅲ-8	绳冲钻进	85.4	161	0.53	175	84	79.4	93
L1S-Ⅱ-25	绳索取心	94.3	201	0.47	241	147	80.0	84
L1S-Ⅲ-26	绳冲钻进	96.5	185	0.52	197	101	83.9	90

注:钻探总台时包括钻进、裂隙冲洗、压水试验、自上而下分段式灌浆、处理事故、验孔等。

表 3 钻孔测斜数据

孔号	孔段/m	顶角/(°)	方位角/(°)
L1X-Ⅱ-7	0~5	0.11	
	5~10	0.14	
	10~15	0.17	209.3
	15~20	0.21	210.4
	20~35	0.24	223.5
	35~50	0.29	231.6
	50~65	0.37	245.6
	65~80	0.41	249.0
L1X-Ⅲ-8	80~88.2	0.50	267.3
	0~5	0.10	
	5~10	0.14	
	10~15	0.16	124.3
	15~20	0.20	126.7
	20~35	0.21	131.2
	35~50	0.25	137.4
	50~65	0.29	146.8
65~85.4	0.33	152.7	

从表 2 可以看出,使用绳索取心液动锤钻进后,单回次进尺深度提升了 10%,回次进尺达 0.53 m(岩心管长 0.65 m),纯钻时间利用率提高;平均岩心采取率 92%,同比提高 12%,基本实现了全孔取心。

由表 3 可知,钻孔弯曲情况为 0.05°/15 m,终孔顶角偏差完全控制在 0.5°/100 m 内,基本不需要进行钻孔纠斜处理,表明绳索取心液动锤冲击钻进对钻孔弯曲有一定预防作用。

4.4 钻杆脱口、变形的预防

下钻前要仔细检查钻杆的弯曲度和变形情况,弯曲量超过 2 mm/3 m 需矫直后再使用;钻杆和接头单边磨损量超过 1.2 mm,出现裂纹或者螺纹部分明显变形,不再使用;用毛刷把适量的丝扣油涂抹在钻杆立根的公螺纹上,减少拧卸过程中的磨损和增强密封性能,防止冲洗液和岩屑进入,磨损螺纹副;钻杆螺纹部分经淬火处理,增强耐磨性;涂抹钻杆脂^[4],减少钻杆与孔壁回转阻力。

5 解决钻孔偏斜的措施

5.1 进行回归分析,预测钻孔轨迹

利用数理统计的原理研究自变量(孔深 L 和开孔点在平面上的位置坐标 $[x, y]$) 和因变量(钻孔顶角 θ 和方位角 α) 之间的相互关系,建立钻孔轨迹弯曲规律的数学模型,预测钻孔轨迹在空间内的延伸情况。通过数学的方法和计算机处理技术把实测的数值经过数据筛选,提高孔斜变化函数方程的准确性。

在钻进方法、钻进规程参数、地层条件、钻头类型、孔身结构等相同或大体相同的情况下,搜集前期已施工的钻孔测斜数据,进行统计分析,用多元回归分析法拟合关于钻孔顶角和方位角变化趋势的近似方程^[6]。根据近似方程,算出空间各点顶角和方位角值,利用 Excel 绘出钻孔空间位置曲线,曲线图直观地反映了钻孔哪个部位发生偏斜,据此,我们可以根据钻孔弯曲情况调整钻进参数和采取防斜措施控制孔斜度在规范范围内。

5.2 增加测斜频次

通过监测数据,可以随时了解掌握孔内情况,指导下一步工作的进行。当钻孔出现明显偏移时,要立即停止钻进并及时采取“纠防结合”措施。使用精度较高的 KXP-2D 型数字罗盘测斜仪,要求前 20 m 每 5 m 测斜一次;20 m~终孔孔段可每 15 或 20 m 一测。遇到破碎层、软硬互层时加密测斜频次。

5.3 钻具结构合理

绳索取心钻杆的壁薄(一般为 4.5 mm),而轴向压力比普通双管钻进大 25% 左右,因此钻杆的刚性较差,若使用级配不合理的粗径钻具和钻杆,钻进

时钻具弯矩大,引起钻孔弯曲。因此,合理的钻具结构非常必要。

6 解决取心率低的措施

6.1 绳索取心反循环钻进^[7]

与普通绳索取心相比,该钻具结构只是在岩心管和钻具单动机构之间增加一个反循环装置,冲洗液经过喷嘴断面时,卷吸作用使高速液流通过混合室后形成负压,孔底冲洗液沿着内管与岩心之间缝隙被吸入混合室,再经内外岩心管流向钻头底部,实现冲洗液部分反循环。另一部分的冲洗液通过正循环将岩屑带出地表。

反循环钻进内管短,岩心在冲洗液上冲力的作用下呈悬浮状态,冲洗液对岩心的冲蚀作用减弱;内管的局部反循环还能起到冷却钻头、清洁孔底和保护岩心的作用,岩屑悬浮在内管上部,不易卡住岩心,孔内干净,很少出现岩心堵塞;能有效预防钻头烧钻事故。

根据现场取心效果来看,使用绳索取心反循环钻进后,岩心采取率普遍提高40%,完整度高,特别是破碎严重层段的岩心采取问题得到解决。同普通绳索取心钻进相比,绳索取心反循环钻进几乎不需进行岩心补捞工序,岩屑排出率高不致出现重复破碎,且孔内事故少,大大提高了纯钻时间利用率,增加了经济效益。

6.2 控制回次进尺

防止出现打懒钻、盲目进尺等不规范操作,钻工应随时观测钻机各仪表盘显示情况,严格控制进尺进度,防止岩心塞满内管后继续钻进,延长岩心受破坏时间,导致岩心的磨损,降低岩心质量。

6.3 加减振装置

在绳索取心钻具上部连接一根和外管直径相同的岩心管作为导向管,保持钻进过程中钻具的平稳,减轻钻具回转时的振动,减弱对岩心的干扰。

7 结语

(1)绳索取心钻进取得了一定效果,钻孔成孔质量高,辅助工序少,工人劳动强度低。

(2)绳索取心+液动潜孔锤的钻探工艺具有很多优势,不仅提高钻进效率和钻头使用寿命,而且解决了坚硬致密打滑地层钻进速度低和破碎地层岩心堵塞的问题。

(3)钻进过程中钻压、转速、泵量的选取要符合一定的标准,起到提高钻进效率、减少孔内事故的效果。

(4)绳索取心反循环钻具取出的岩心无颠倒、分选等现象,岩样原生结构保持较好;该钻具短,结构简单,维修方便。

(5)水电中的大坝、二道坝、厂房帷幕灌浆工程中钻孔的施工仍以普通小口径金刚石钻探技术为主,且大多数普通钻进工艺均能满足工程钻探对钻孔顶角偏差(一般为 $2^\circ/100\text{ m}$)的要求,但是对于某些质量控制严格的钻孔,普通金刚石钻进效果并不好,存在钻进效率低、钻具振动大、钻孔倾斜严重和取心率不足等问题,绳索取心钻进技术的使用,很好地解决了普通金刚石钻进存在的问题,值得推广使用。

参考文献:

- [1] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [2] 吕洪富,宋健. 敦化大蒲柴河金矿区弱研磨性岩层的综合钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):26-28,35.
- [3] 王建华,苏长寿,左新明. 深孔液动潜孔锤钻进技术与应用[J]. 勘察科学技术,2011,(6):59-64.
- [4] 傅丛群. 绳索取心液动锤在多类型矿区的应用及其效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):24-26.
- [5] 李建中. 绳索取芯钻进几个问题的探讨[J]. 地质与勘探,1984,(5):67-70.
- [6] 吴光琳. 定向钻进工艺原理[M]. 四川成都:成都科技大学出版社,1991.
- [7] 王国芳. S75 绳索取心反循环钻进[J]. 探矿工程,2000,(4):49-50.

国内最深盐穴储气库井完成

《中国矿业报》消息(2013-10-17) 渤海钻探工程公司江苏市场日前传出喜讯,国内最深盐穴储气库井——楚资1井按要求完成固井施工任务,质量检测全部合格。

楚资1井位于江苏省淮安市楚州区境内,设计井深2120 m,二开钻至2277.81 m,下入 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 套管1880.06 m固井,其套管下深远超之前国内最深盐穴储气库井——平探1

井,成为目前国内西气东输盐穴储气库最深的一口前期勘探评价资料直井。

施工中,渤海钻探工程公司江苏项目部参建人员严格按照施工方案精心准备固井设备、水泥和抗盐添加剂等物资,认真做好配水与水泥浆配方及复核化验工作,严把各道工序,安全、优质地完成了这一施工任务。