

实例探析水利水电工程中大坝倒垂孔施工技术的应用

方义泉 朱慧敏

信江船闸通航中心界牌航电枢纽管理处

摘要: 在水工安全监测领域中, 倒垂监测是一项重要内容。本文首先针对倒垂监测系统进行了简要概述, 其后围绕工程案例详细探讨了水利水电工程中大坝倒垂孔设计情况与施工要点, 以期可供参考。

关键词: 水利水电工程; 倒垂监测; 倒垂孔; 设计; 施工技术

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2021. 21. 088

一、引言

倒垂监测是水利水电工程中大坝安全监测重要组成部分之一, 而倒垂孔钻孔施工也一直被视为一项高精度、高难度项目。为保证水利水电工程安全、可靠运行, 必须合理选择倒垂孔钻孔施工方法, 做好相关纠偏与检测工作, 切实保证倒垂孔质量合格, 满足实际监测要求。

二、倒垂孔概述

在水利水电工程大坝监测中, 倒垂线配合引张线是水平位移观测的重要方法之一。倒垂线的下端通过钻孔将垂线钢丝固定在基岩的深处, 此处视作相对不动点; 倒垂线的上端使用浮体装置, 将垂线钢丝张紧, 浮体置于浮液中并不受外界约束, 静止状态下的倒垂线是一条

稳定的铅锤线, 通常作为大坝建筑物水平位移的基线。倒垂监测系统建立的难点, 是如何确保倒垂孔钻孔偏斜率在规定的范围内, 确保有效孔径满足设计与规范要求, 形成有一定量测范围的倒垂线。

结合工程实践分析可得, 大部分水利水电工程中大坝倒垂孔施作于岩石地基上, 钻孔质量易于保证, 施工技术较为成熟; 针对部分深厚软弱覆盖层而言, 由于地质条件相对较差, 倒垂孔施工较难保证其垂直度、有效孔径, 一旦发现偏差必须做好纠偏工作, 并在倒垂孔施工过程中不断总结经验, 摸索有效的施工措施。本文通过实例就倒垂孔偏斜控制等钻孔工艺流程展开详细介绍分析。

三、水利水电工程中大坝倒垂孔设计情况

(一) 项目概况

为了监测某水电站大坝及坝基的水平位移, 对于右岸大坝, 设计分别在5#、11#、16#、19#、21#坝段布置了7条倒垂线, 以监测大坝的变形, 从而为大坝的安全运行提供可靠的依据。

(二) 设计情况

本项目倒垂孔有关设计参数见下表1。

表1 右岸大坝倒垂孔设计参数表

编号	所在坝段	监测点所在廊道高程 (m)	桩号 (m)		孔底高程 (m)	钻孔深度 (m)	Φ168保护钢管长 (m)
			横向	纵向			
IP5-1	5	295.80	坝右0+240.000	坝下0+014.00	216.50	79.3	79.7
IP11-1	11	222.75	坝右0+101.000	坝下0+012.00	151.50	71.25	71.65
IP16-1	16	193.50	坝左0+010.000	坝下0+002.50	155.00	38.5	38.9
IP16-2				坝下0+005.50	130.00	63.5	63.9
IP16-3				坝下0+010.50	120.00	73.5	73.9
IP19-1	19	212.00	坝左0+083.000	坝下0+016.00	140.50	71.5	71.9
IP21-1	21	224.50	坝左0+118.485	坝下0+017.50	156.00	68.5	68.9
合计						466.05	468.85

(三) 施工布置

(1) 倒垂孔施工均在廊道内施工, 施工用风、水、电管线路从相应廊道口就近处的接口搭接, 沿廊道壁顺直铺设至作业点, 电源线路应悬挂于廊道壁上, 并满足施工安用电要求。倒垂孔施工设备清单如下表2所示。

(2) 排污, 施工产生的废水从作业点的集水坑中抽排至廊道排水沟中, 再集中抽排到廊道外指定的集水坑中; 岩粉等及其他废弃物则用编织袋装好后人工搬运出廊道。

四、水利水电工程中大坝倒垂孔施工技术的应用要点

表2 倒垂孔施工设备清单表

名称	型号	单位	数量
钻机	XY-4	台	2
钻机	GQ-60	台	1
泥浆泵	150	台	3
搅拌机	ZJ-4	台	2
切割机	—	台	4
电焊机	—	台	3
抽水泵	—	台	8

（一）施工准备

本工程倒垂孔施工原准备在混凝土浇筑前完成，由于工期的原因现改为在廊道内施工，因此已由设计对倒垂孔所在部位的廊道进行局部扩大，以满足倒垂孔的施工条件。钻机进场采用汽车将钻机运送至大坝施工区域内，再由缆机等将钻机吊送至廊道入口处，然后将钻机散体人工运送至作业部位后再进行组装。

倒垂孔孔位放样定位由测量人员用全站仪将测量控制网引入廊道内后，按设计桩号进行放样确定倒垂孔孔位，要求与设计孔位的桩号和高程的偏差均不得大于20mm，同时在倒垂孔孔位附近布设两个控制点（水泥墩或其他固定设施），并经监理工程师验收后方可进行下一步的工作。

（二）钻机安装

钻机安装要求水平、稳固、周正，确保倒垂孔孔位偏差满足设计要求。钻机采用预埋在地基中的地锚和螺栓固定在基台木或机架上，应结合钻机的结构尺寸及与倒垂孔孔位的相对关系确定地锚和螺栓孔位，以确保开孔孔位偏差满足设计要求和钻机在钻孔过程中牢固稳定。为利用作业面的空间，加长钻具长度，可在倒垂孔孔位对应的廊道顶部预埋或钻孔埋设钢筋以吊挂上下提取钻杆钻具的卷扬滑轮，要求滑轮、立轴中心、钻孔三点必须在一条直线上。

（三）钻孔

1. 钻孔方法

首先钻导向孔，待埋设孔口导向管后，再变径进行主孔段钻进。要求开孔孔位与设计孔位的偏差 $\leq 20\text{mm}$ ，导向孔可采用 $\phi 275\text{mm}$ 的金刚石钻头或钢粒钻头钻进，也可采用 $\phi 350\text{mm}$ 钢粒钻头钻进，孔深3~5m。导向孔钻完后，用吸铁石等将孔内的钢粒处理干净，然后下入 $\phi 275\text{mm}$ （或 $\phi 350\text{mm}$ ）的导向钢管，并对导向钢管进行测斜调直和孔位检测，要求导向管铅直，其倾斜度小于0.1%，导向管中心与设计孔位的偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，经检测无误后，向导向管与孔壁之间的间隙注入0.5:1的水泥浆液使其与孔壁固结，并在导向管口刻划定位十字线，作钻孔测斜和对中用。

对于16#坝段已预埋 $\phi 350\text{mm}$ 钢管的IP16-1~IP16-3等3孔，应对预埋钢管进行倾斜度和孔位检测，如果满足上述设计要求，则可将其作为孔口导向管用，否则应重新埋设导向管。

导向管埋设完后，重新开孔钻进时应校对钻机立轴，使其与导向管的中心重合。主孔段钻孔采用金刚石钻头分级变径钻进，根据具体情况可采用两级或三级： $\phi 276\text{mm}$ 、 $\phi 219\text{mm}$ ，或者 $\phi 219\text{mm}$ 、 $\phi 168\text{mm}$ ，或者 $\phi 276\text{mm}$ 、 $\phi 219\text{mm}$ 、 $\phi 168\text{mm}$ ，也可 $\phi 219\text{mm}$ 一径到底。每钻进0.5~3.5m左右，需起钻取岩芯，同时每隔0.5m检测钻孔中心偏斜值。起钻卡岩芯采用粒径3~5mm碎石或长10cm、直径4mm的铁丝，岩芯应保留。

2. 钻进参数

金刚石钻头选用单管人造孕镶金刚石钻头，其网目数可为60目左右，胎体硬度（HRC）可为35左右，扩孔器比钻头大1~2mm，钻具长4~5m；钻进压力为

10~20kN，尽量利用钻具和钻杆自重钻进，当孔深较深时，需反提减压；冲洗液泵量100~200L/min，以钻具不浮起为原则；转速为80~200r/min左右，基岩完整坚硬应高转速、低压力钻进；若遇到破碎段则应加大压力，减低转速，小心提钻归顺岩芯，保持垂直下钻。

3. 纠偏措施

当钻孔过程中倒垂孔的偏斜已不满足设计要求时，根据具体情况采取以下不同的措施进行纠偏，直到满足设计要求，主要包括：立轴平面位移纠斜、立轴纠斜、扩孔纠斜、回填封孔纠斜、中心导向纠斜、定向纠斜管纠斜、定向偏斜楔纠斜、采用钟摆钻具或偏重钻具钻孔纠偏以及随钻定向纠斜等措施。

（四）钻孔检测

倒垂孔钻孔过程中应经常检测孔斜，以确保安装倒垂孔保护管的有效孔径不小于设计要求的 $\phi 150\text{mm}$ （即倒垂孔有效孔径）。倒垂孔测斜采用浮标式测斜仪，其中弹性测斜球应按钻孔结构（孔径）的不同级配进行配置，外径与相应的钻孔孔径偏差不大于2mm。

（五）岩芯存放

钻孔采取的岩芯先临时放置在钻孔附近的廊道上，要求按从上到下的顺序进行排放和填牌编号，并绘制钻孔柱状图，同时根据监理工程师的指示完成拍照、摄像后经监理工程师的批准方可将岩芯废弃。对予以保存的岩芯，按监理工程师指定的地点存放，应防止散失和混装，破碎岩芯用布袋装好。

（六）终孔

倒垂孔钻孔达到设计孔深，经初步质量检查，确认合格之后，首先磨平钻孔底面，全面冲洗钻孔，清除孔底残渣和积水；然后自下而上每隔2m孔段逐段测量孔斜，并根据测斜结果绘制钻孔平面图、各测点高程上沿平行于坝轴线和垂直于坝轴线两个方向的偏心值投影图。最后，复测孔口坐标、高程和钻孔深度，准备埋设保护钢管。在未下入保护管之前应进行孔口保护，防止异物掉入钻孔内。

五、结语

综上所述，为有效保障水利水电工程中大坝监测精度，科学开展倒垂孔施工十分必要。在倒垂孔施工前，需根据项目实际情况完善相关设计参数，并落实施工布置，确保各项人力、物力准备到位；倒垂孔实际工作过程中，规范落实孔位放样定位、钻机安装、钻孔以及纠偏、检测等各道工序，切实保证倒垂孔质量合格，为后续监测工作奠定坚实基础。

参考文献

- [1]唐于.基于大坝监测系统钻孔施工[J].黑龙江水利科技, 2014, 42(03):39-41.
- [2]侯言森.双标倒垂孔在古学水电站大坝监测中的应用[J].云南水力发电, 2016, 32(01):21+53.
- [3]于洪文.云峰大坝监测系统倒垂孔钻孔施工[J].水电与抽水蓄能, 2015, 1(03):97-100.

作者简介:

方义泉(1976-),男,江西抚州人,助理工程师,工作方向:水工建筑物安全监测。