

# 超深竖井钻孔纠偏方法研究

宋安瑞, 郑尧, 侯望

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

**摘要:** 阳江抽水蓄能电站是国内在建、已建水头最高的水电项目, 主副厂房为抽水蓄能电站的重要组成部分, 其引水上、下竖井为深达 400 m 级的超深竖井。反井钻机的导孔偏斜直接关系到竖井反井钻机施工的成败, 该电站采用 MWD、RMRS 随钻测斜纠偏技术进行超深竖井导孔施工, 有效避免了反井钻机导孔偏斜超出竖井设计开挖轮廓线, 突破了《水电水利工程斜井竖井施工规范》DL/T 5407-2009 规定的偏斜率, 使工程优质、快速、经济、安全的实施, 是竖井施工工艺的一次重大升华, 所取得的相关技术成果可为后续水利、矿山、交通等多个领域类似工程提供参考, 具有广阔的应用前景及利用价值。

**关键词:** 定向纠偏措施; 稳定钻杆; 随钻测斜纠偏; 超深竖井; 钻孔纠偏; 阳江抽水蓄能电站

**中图分类号:** TV53+8.3; TV52; TV53+8.4

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2019)06-0014-04

## Study on Deviation Correction Method of Ultra Deep Shaft Drilling

SONG Anrui, ZHENG Yao, HOU Wang

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610213)

**Abstract:** Yangjiang Pumped Storage Power Station is the highest water head hydropower project under construction in China. The main and auxiliary power houses are the important parts of the pumped storage power station, which the upper and lower water diversion shafts are ultra deep shafts with a depth of 400m. The deviation of the guide hole of the raise boring machine is directly leading to the success or failure of the shaft construction, MWD and RMRS technologies of deviation correction while drilling are used in the construction of the guide hole of the ultra deep shaft in the power station, which effectively avoids the deviation of the guide hole of the raise boring machine from exceeding the design excavation contour of the shaft, breaks through the deviation rate specified in the Construction Specification of Inclined Shaft and Vertical Shaft for Hydropower and Water Resource Engineering DL / T5407-2009, and makes the project implemented rapidly, economically, safely and in high quality, and is a major sublimation of shaft construction technology. The relevant technical achievements can provide reference for similar projects in many fields such as water conservancy, mining, transportation, etc., and have broad application prospects and utilization value.

**Key words:** directional deviation correction measure; drill pipe stabilizer; deviation correction while drilling; ultra deep shaft; borehole deviation correction; Yangjiang Pumped Storage Power Station

### 1 概 述

阳江抽水蓄能电站是国内在建、已建水头最高的水电项目, 工程枢纽主要由上水库、下水库、输水系统、地下厂房洞室群及地面开关站、场内交通道路等建筑物组成, 工程为一等工程, 工程规模为大(1)型。引水上竖井上、下弯段长 45.925 m, 上弯段距上游调压井 31.518 m, 距 1#施工支洞 79.96 m。下弯段距 2#施工支洞 23.66 m, 距引水下竖井 67.791 m。上竖井(直径为 7.5 m)连接上平洞和中平洞, 竖井直段加弯段共长 381.938

m, 上竖井开挖直径为 8.7 m。

引水上竖井通过的岩性均为燕山三期(5)中粗粒花岗岩。高压压水试验结果表明大部分岩体在高压水头下渗透性弱, 具有较好的抗渗透性能。弱风化岩饱和单轴抗压强度一般为 60~100 MPa, 平均为 83 MPa。微风化岩饱和单轴抗压强度一般为 100~130 MPa, 平均为 11 MPa。

在引水上竖井发育有 1 条主要断层 f718。f718 断层呈 NE~NEE(近 EW 向)向, 从上竖井下部通过, 剖面上与竖井的交角约为 17°, 主探洞揭露断层带宽度为 2~3 m, 胶结较差, 对上竖井

收稿日期: 2019-11-01

下部围岩影响较大,因此应加强支护和防渗处理。

引水上竖井除局部围岩受断层影响呈强~弱风化外,其余大部分洞段深埋于微风化~新鲜的岩体内。

该工程断层带宽度为2~3 m。竖井导孔施工过程中断层、夹泥、破碎带使钻头受力不均,导孔偏斜,甚至造成废孔及钻杆断裂。

目前,国内在建及已建的超深竖井较少,竖井施工还基于传统反井钻机+稳定钻杆的方式进行导孔施工,导孔在软弱结构面及断层部位仍然采用传统钻压及加装稳定杆的方式进行纠偏。传统的纠偏范围有限且无法直观、准确地判断出导孔的偏斜度。

已建竖井导孔偏斜率超出规范要求及导孔无法贯穿的情况时有发生,因此,水电行业急需进行超深竖井导孔施工技术总结,应用新技术。

## 2 钻机选择

(1)钻机的选型。根据钻孔深度、钻孔直径、岩石抗压强度初步选择相应的定向钻机,然后对钻机的主要技术参数进行验算:①实际工作拉力=动力头重量+扩孔钻头重量+钻杆重量+最大钻压;②实际工作扭矩=破岩阻力矩+摩擦阻力。一般要求扭矩的实际工作拉力不超过钻机设计最大提升力的60%,扭矩不超过设计最大扭矩的60%。

(2)定向钻机钻具组合。①开孔钻具组合。 $\Phi 216$ 牙轮钻头+ $\Phi 172$ 钻铤+ $\Phi 127$ 短钻杆(2 m)。②定向钻进钻具组合。 $\Phi 216$ 牙轮钻头+磁短节+ $\Phi 172$ 单弯螺杆+411\*410浮阀+ $\Phi 212$ 扶正器+ $\Phi 165$ 定位短节+411\*4A10变扣+ $\Phi 165$ 无磁钻铤2根+ $\Phi 165$ 无磁钻铤2根+ $\Phi 212$ 扶正器+ $\Phi 165$ 加重钻杆9柱+ $\Phi 127$ 普通钻杆。

## 3 钻机基础施工

钻机基础(图1)采用C25混凝土,其浇筑尺寸(长×宽)为8.5 m×3 m,入钻中心2.4 m×2.4 m范围50 cm厚。此外,基础20 cm厚。基础混凝土顶面高出地面20 cm。基岩面验收质量标准按照《水工混凝土施工规范》DL/T5144-2015要求清理基础面,结构面四周支模采用P3015组合钢模板拼装、插筋固定、外设支撑, $\Phi 50$ 插入式软

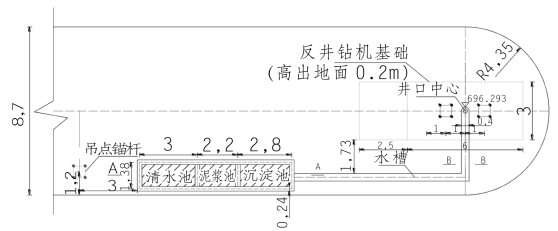


图1 钻机基础图

轴振捣棒振捣密实,洒水养护。

## 4 钻机安装

混凝土浇筑7 d后安装钻机,钻机(定向钻机带履带式行走装置)行走就位校正后固定,固定采用12根 $\Phi 25$ , $L=180$  cm、入岩1.4 m、外露0.4 m并与钻机两侧的钢梁焊接,确保钻机与基础牢固衔接,不发生移位。

## 5 泥浆洗井液配制

定向钻机用的泥浆洗井液采用水基泥浆,其主要组成部分是黏土、水和化学处理剂,泥浆采用膨润土配制。

定向钻机用的泥浆洗井液的性能(表1)主要包括密度、黏度、失水量、含砂量、胶体率和PH值等。其性能的优劣直接影响护壁堵漏、排除岩粉、润滑钻具、冷却钻头、钻进效率、成本及安全钻进。在导孔钻孔过程中,为了适应不同地层对泥浆洗井液性能的要求,必须向泥浆内加入一定量的化学处理剂用以改善泥浆洗井液的性能。

表1 定向钻机泥浆性能技术指标表

相对密度	黏度 /s	静切力 /Pa	失水量 /mL·30 min <sup>-1</sup>	泥皮厚度/mm	胶体率 /%	pH值
1.1~1.2	<30	4.9~19.6	10~20	<3	100	7~8.5

## 6 导孔施工及纠偏措施

### 6.1 定向钻机的施工原理

在常规的钻进导孔过程中,钻头受地层的影响在钻进过程中会产生偏斜(即偏离预定的施工轨迹)。最典型的是地层软硬相间带来的偏斜(图2),给超深竖井导孔施工带来了较大的不利影响。

定向井施工即采用定向钻具组合进行钻进。在钻进过程中,使用测斜仪对钻进轨迹进行连续监测,发现偏斜时,随即进行定向钻进作业,从而使整个钻井的轨迹受控,满足设计需要。

### 6.2 测斜

采用MWD随钻测斜仪<sup>[5]</sup>的脉冲发生器将探测的数值发送至地面计算机进行编码。由内置计

计算机解码,实时监控导孔偏斜情况(图 3)。

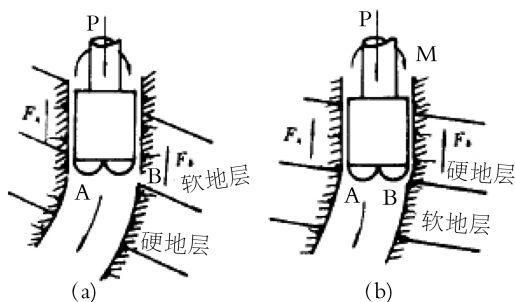


图 2 岩层软硬、硬软交替引起的井孔偏斜图

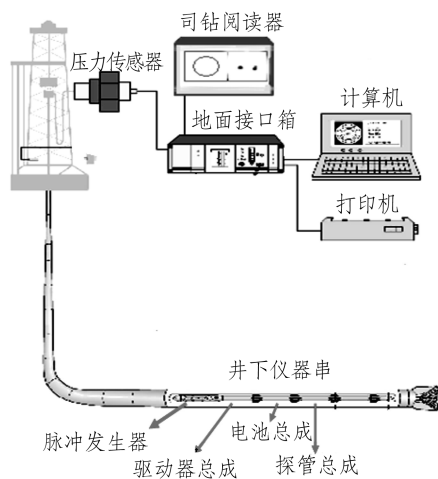


图 3 随钻测斜示意图

在距孔底 50 m 范围时采用 RMRS 随钻测斜技术进行测试,这些传感器测得的数值由内置计算机进行编码,经脉冲发生器通过泥浆脉动<sup>[1]</sup>传递至地面,地面计算机解码数据,通过捕捉孔底磁场发射器位置精准导孔。

### 6.3 螺杆钻具

根据测斜仪测量的偏斜率及偏斜方向,采用了一种被称为井下动力钻具<sup>[4]</sup>的螺杆钻具(图 4),其可在钻杆不旋转的情况下由高压泥浆驱动钻头旋转。选择具有一定弯曲角度的螺杆,可以进行滑动钻进,即使孔“转弯”。

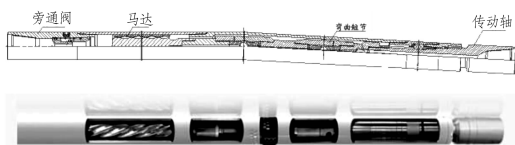
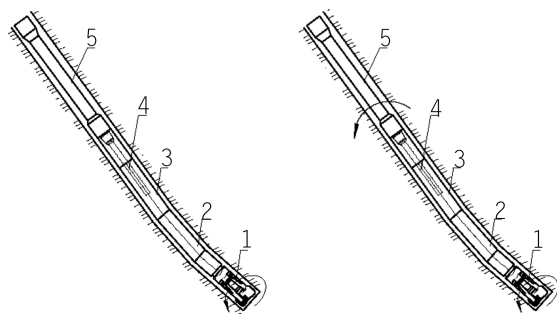


图 4 螺杆钻具结构图

### 6.4 钻进

设计定向井钻井全程采用复合钻进的方式。

钻具组合为定向钻进、复合钻进钻具组合<sup>[3]</sup>。在正常钻进时,钻机和螺杆钻具同时旋转,提供较高的转速进行钻进;在无线随钻测斜仪测定出偏斜的情况下调整至滑动钻进(图 5),进而对钻井轨迹进行控制,以使孔偏斜降低。



1. 钻头; 2. 螺杆; 3. 无磁钻铤; 4. 无线随钻测斜仪; 5. 钻杆

图 5 滑动与复合钻进示意图

### 6.5 纠偏

在无线随钻测斜仪<sup>[2]</sup>测量参数指导下,通过定向螺杆钻具对钻孔轨迹进行定向控制。每钻进一根钻具测斜一次,每隔 5~10 m 一个测点。孔斜超偏时加密测点并制定定向纠偏设计(表 2)。

根据制定的纠偏设计,利用弯螺杆造斜角度进行反向钻进以实现纠偏,加之随钻测斜仪进行测量以保证整个长斜钻孔的完成。如偏斜角大于设计数值,可以减少定向长度后进行复合钻进。

表 2 测斜、纠偏表

项目	内 容
测斜	(1) 正常情况下,每钻进一根(单根钻具长度)随钻测斜仪一次
	(2) 对钻孔的轨迹判断存在疑问时加密测点,如一根根测斜二次
	(3) 必要时,单独下无磁钻铤加钻头全程测斜一次
纠偏	(1) 当钻孔偏距大于 0.3 m 时,需要进行纠偏
	(2) 当钻孔井斜角大于 0.8° 时,需要进行降斜
定向	(1) 正常情况下,均采用弯角为 1.25° 的 Φ165 螺杆钻具
	(2) 如遇定向效果不理想时,下入弯角为 1.5° 的 Φ165 螺杆钻具
定向钻进长度	(1) 正常纠偏时,定向钻进长度为 2~3 m
	(2) 正常降斜时,定向钻进长度为 1~2 m
	(3) 当定向没有达到预定效果时,需要再次进行定向
定向工具面角	(1) 定向钻进过程中,以稳定工具面角为主
	(2) 纠偏时,定向工具面角以闭合方位为基准,反扭
	(3) 降斜时,定向工具面角以钻孔方位角为基准,反扭
	(4) 反扭矩角,井深小于 200 m 时,反扭矩角为 10~20°;井深大于 200 m 时,反扭矩角为 20~30°

## 7 结 语

在本次阳江抽水蓄能电站引水上竖井导孔施工过程中,采用定向钻机+MWD、RMRS 随钻测

斜仪进行导孔偏斜控制,引水上竖井导孔偏差为0.32 m,偏斜率为0.08%,远低于《水电水利工程斜井竖井施工规范》DL/T 5407-2009中的偏斜率,实现了导孔优质、快速、经济、安全的实施,是竖井施工工艺的一次重大升华,其相关技术成果可为后续水利、矿山、交通等多个领域类似工程提供重要的参考,具有广阔的应用前景及较大的利用价值。

参考文献:

[1] 马哲,杨锦周.无线随钻测量技术的应用与发展趋势[J].石油钻探技术,2007,35(6):112-115.

[2] 徐云龙,马凤清,冯光通.磁性导向钻井技术现状及发展趋势[J].钻采工艺,2012,35(2):35-37.

[3] 徐云龙,马凤清,刘庆龙.旋转磁场测距系统研制及现场试验[J].石油矿场机械,2013,42(3):62-65.

[4] 石元会,刘志申,葛华,阳飞.国内随钻测量技术引进及现场应用[J].国外测井技术,2009,169(2):12-13.

[5] 张绍槐.现代导向钻井技术的新进展及发展方向[J].石油学报,2003,24(3):82-89.

作者简介:

宋安瑞(1986-),男,四川阆中人,工程师,从事水利水电、公路工程施工技术与管理工作;

郑尧(1989-),男,四川成都人;助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

侯望(1990-),男,四川眉山人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第9页)

测依据为:《金属材料疲劳试验轴向力控制方法》,GB/T 3075-2008<sup>[4]</sup>;《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》,GB/T 228.1-2010<sup>[5]</sup>。

(2)检测用的主要设备。①电液伺服结构试验系统 MTS458;②微机控制电液伺服万能试验机 YJW-5000。

(3)疲劳试验的检测数据见表5。

4 结语

通过以上试验检验,该疏散平台的各项试验结果完全满足设计要求,试验方法及试验过程真实有效,所取得的数据可为类似工程的疏散平台设计提供参考和借鉴。

参考文献:

(上接第13页)

[2] 龚炳铮.关于我们发展智慧企业的思考[J].办公自动化,2014,2(10):64-71.

[3] 赵波,黄超.浅谈云存储技术在数字工地中的某些应用[C].第七届中国智慧城市建设技术研讨会论文集,2012:101-106.

[4] 万晓曦.“互联网+”提速智慧工地[J].中国建设信息化,2015,9(20):34-36.

[1] 朱燕琴,李斐.地铁隧道内疏散平台设计标准探讨[J].都市轨道交通,2010,23(5):66-70.

[2] GB50152-2012,混凝土结构试验方法标准[S].

[3] GB 8624-2012,建筑材料及制品燃烧性能分级[S].

[4] GB/T 3075-2008,金属材料疲劳试验轴向力控制方法[S].

[5] GB/T 228.1-2010,金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法[S].

作者简介:

温付友(1979-),男,四川宜宾人,高级工程师,从事水利水电工程砂石拌和及制冷系统与市政工程预制构件厂的设计、施工技术及管理工作;

孙军汉(1975-),男,黑龙江青冈人,项目经理,高级工程师,从事水利水电工程砂石拌和系统和市政工程预制件厂的技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[5] 赵泉,等,编著.信息检索[M].北京:机械工业出版社,2008.

作者简介:

王立(1983-),男,辽宁盘锦人,工程师,硕士,从事建筑施工企业标准及信息化工作;

黄印(1976-),男,四川古蔺人,高级工程师,从事工程设备物资管理、国际物流、商贸管理等工作。

(责任编辑:卓政昌)

### 由中水五局公司承建的朝阳供水施工项目隧洞全线贯通

8月31日,辽宁朝阳供水施工项目隧洞全线贯通。朝阳项目主体工程为引水隧洞和地下泵站,包括压力引水隧洞、地下厂房洞室群及其附属洞室、交通洞、机电设备和金属结构安装等工程,其中引水隧洞为有压洞,全长12 km,开挖断面为圆拱斜墙,开挖面积为20 m<sup>2</sup>,4条施工支洞合计长约4.5 km,均为倒坡,坡度约13%,合计洞挖16.5 km,衬砌后成洞断面为圆形。隧洞开挖工程历时1 236 d。引水隧洞断面较小,项目部采用全断面一次开挖成型施工工艺,创下了连续多月单头开挖突破200 m的施工强度纪录。四年来,朝阳项目质量、安全、进度得到各参建方一致认可,多次荣获“先进参建单位”“安全生产标准化创建活动先进单位”“辽宁省水利工程建设文明工地”等荣誉,在业主方对施工单位年度综合评比中荣获第一名,在季度综合评比中多次荣获第一名和第二名,并在水利部全国巡查中代表业主接受检查,荣获全国第三名。