

超大型立式水轮发电机组定子机坑组装 精准定位技术

谢守斌, 李传法, 莫斌伟

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:随着我国水轮发电机组制造与安装技术的不断进步,水电建设行业也在积极改进和完善制造、安装环节中存在的不足,从而使机电设备的安装标准和要求更加严格,尤其是大型水电站,其安装标准已经远超国家规范和设计要求。部分大型水电站受安装间工位影响或为保证机组安装的高质量标准及安全稳定运行,其发电机定子机坑内经过一系列的工序装配成整体并最终安装就位。在定子装配或安装过程中,由于定子部件的中心、高程等定位的方式不精准或不便于复核,极易造成定子中心的重复调整而降低施工效率、增加施工成本或增大机组的安装偏差,最终影响机组的安全稳定运行质量。本文阐述了在大型、超大型立式水轮发电机组定子机坑内组装时所采用的精准定位技术并进行了分析。

关键词:超大型水轮发电机;定子;机坑组装;精准定位技术

中图分类号:TV7;TV52;TV734.2

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)06-0047-03

Precise Positioning Technology for the Assembly of Stator Pit of Super-large Vertical Hydraulic Turbine Units

XIE Shoubin, LI Chuanfa, MO Binwei

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

Abstract: With continuous improvement in technical level of hydraulic turbine manufacturing and installation in China, the hydropower construction industry is also actively improving insufficiency and deficiency during manufacturing and installation, thus making the installation standards and requirements for electromechanical equipment more stringent, especially for large hydropower stations where standards and specifications are far above national standards and design requirements. Some large hydropower stations are affected by the working positioning or to guarantee high quality standards of unit installation and safe and stable operation. The generator stators will be assembled into a whole in the pit through a series of processes and finally installed in place. During the assembly or installation process, because the center and elevation of the stator components are positioned inaccurately or inconveniently for review, it's prone to cause repeated adjustment of stator's center, lower construction efficiency, cost rising or increased deviation of units, ultimately affecting the safe and stable operation quality of the unit. This article mainly analyzes the precise positioning technology adopted during stators assembly in the pit in super-large vertical hydraulic turbine units.

Key words: Super-large vertical hydraulic turbine units; Generator stator; Assembly in the pit; Precise Positioning Technology

1 概述

通常,大型、超大型立式水轮发电机组定子现场装配方式根据供货形式的不同可以分为以下两种:(1)分瓣定子现场装配。其针对的是部分中小型电站(运输尺寸、重量相对较小且道路满足运输条件),定子在制造厂完成机座组焊、叠片和下线,然后将定子分成尽量大的瓣体运输至工地,施工现场仅进行分瓣定子合缝处的组装和下线;(2)现场叠片定子装配。定子以散件形式到货,在现场

现场进行分瓣机座的组焊、叠片和下线。根据定子组装工位可以分为两种:(1)在安装间完成定子机座的组焊和叠片,然后将其整体吊入机坑安装就位并进行下线(部分电站在安装间下线后整体吊入机坑进行调整);(2)定子装配的所有工序均在机坑内完成。尽管定子在机坑内装配施工,占用机坑内的直线工期最长,但其组装完成后无需进行吊装,与定子在安装间装配后吊入机坑的工艺相比,减少了因定子吊装变形造成的定子安装圆度、同心度等超标问题,更有利于保证定子安装

收稿日期:2023-02-22

质量,同时避免了因吊装变形对定子线棒的挤压带来的安全风险,因此,定子机坑内装配的施工对设备安装质量和后期机组投产后的安全稳定运行极为有利,应该成为追求精品机组质量,攀登“水电珠峰”的不二选择。笔者对定子机坑内组装中心定位采用的常规方法和精准定位技术分别进行了阐述。

2 定子机坑内组装中心定位采用的常规方法

定子在机坑内组装时的中心定位精准是控制和保证定子组装质量的关键。在机坑内进行定子组装时,其中心定位通常采用“反设机组中心基准点”的方法,即在定子组装前,将机组中心由水轮机下止漏环(机组中心测量基准位置)反设至定子附近,组装过程中将定子半径及中心利用安装在中心位置的定子测圆架及内径千分尺进行测量、控制,因此,如何检测测圆架是否位于机组中心(即测圆架中心柱与机组中心是否同心)、测圆架中心在定子施工过程中是否存在位移是控制定子组装质量的关键。而一旦将定子测圆架和定子施工平台安装就位,自定子机座组焊至定子叠片期间,发电机层和水轮机层之间将被完全隔开,均需后视定子附近的引测控制基准点进行定位和过程中的测量监控。定子机坑内组装中心定位采用的常规方法的主要实施步骤为:

(1)分别吊入测圆架安装平台、定子机坑内施工平台,将求心梁(含求心器)吊至发电机层机坑上方,最后将钢琴线悬挂至水轮机底环以下高度的油桶内的重锤上并确保重锤与油桶之间没有任何接触。同时,在定子基础混凝土地面以上和定子下环板以下的适当位置以不影响定子就位和定子调整为原则,沿圆周方向均布4个或8个定子中心基准控制桩^[1]。

(2)根据“千分尺和耳机电测法”测定的结果调整求心器,确保钢琴线^[2]与下止漏环中心基本重合。

(3)依据钢琴线,精确测量控制桩至钢琴线之间的距离并将测量结果予以记录,以便在定子组装过程中进行定位和调整。此外,若求心梁和钢琴线未被拆除,则可以利用已调整至机组中心的钢琴线调整定子机座,使其与机组中心处于同一直线上,最后将定子机座安装牢固。

(4)拆除求心梁,安装定子测圆架,以定子中

心基准控制桩为基准,使用内径千分尺测量定子测圆架中心柱至各定子中心基准控制的距离并予以记录。根据钢琴线与基准桩的原始测量数据计算出定子测圆架中心偏移情况,然后将定子测圆架移动到机组中心上,使其垂直度达到 ≤ 0.02 mm/m,且其全长范围内不大于0.04 mm,确保测圆架的精度和安全可靠。重新测量测圆架中心应符合规定的标准^[3]。

(5)在定子组装过程中,通过测量基准控制桩与测圆架中心柱之间的距离并将其与初始值进行比较,以确定测圆架中心的位移情况,并根据测量结果进行相应的调整。定子机坑施工中心定位布置情况见图1。

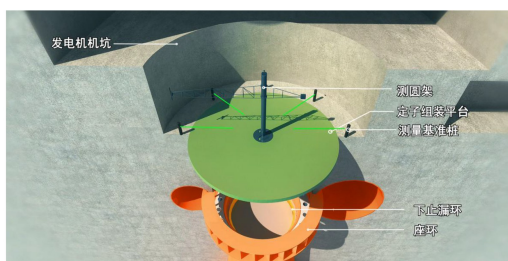


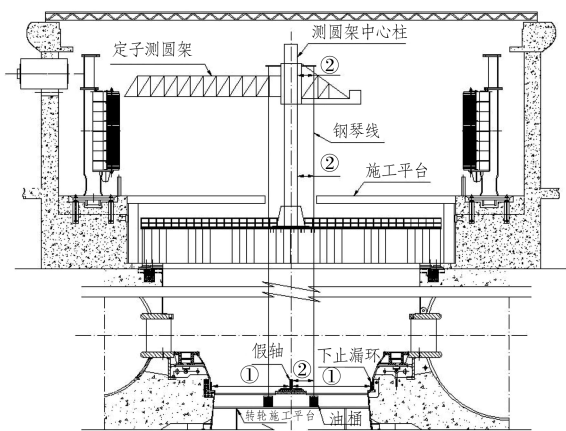
图1 定子机坑施工中心定位布置图

采用该方案存在的主要缺点有两个:(1)所引测的中心控制基准点需要经过多次反设确定会造成累计误差,而且测量时受涉及到所使用的长距离内径千分尺挠度较大以及基准桩上测点的加工精度不一致等因素的影响,亦会造成反点测量误差。(2)在实际施工过程中,由于震动、定子重力增大等因素,定子测圆架和定子都可能出现不同的移动,而根据所测量的数据无法准确判断其是定子移动还是测圆架移动,进而影响到施工质量。

定子在机坑内装配完毕,为了减少定子与机组中心的误差,通常会拆掉测圆架和定子安装施工平台,然后安装求心梁和钢琴线,并以下止漏环中心为基准重新校核定子中心。如果出现较大的误差,必须对定子进行二次调整,势必将增加定子调整的工程量,延长施工工期。由于定子的总体刚性较弱,在外力作用下会出现局部系统挤压变形,而撤除外力后只会有部分回弹,从而影响到定子的圆度和同轴度。因此,如果能有效减小定子中心与水轮机中心的偏差,确保不再进行二次调整,对提高定子施工质量甚至是水轮发电机组的安装质量具有十分重要的意义。

3 定子机坑内组装中心精准定位技术

为了解决定子机坑内组装中心定位不精准的问题,我公司研发出一种新的定位技术,即安装“假轴”装置。其与水轮机下止漏环同高,中心及水平可调整,按照先调整“假轴”与止漏环中心重合,然后以“同轴度外测法”原理测量并调整定子测圆架中心与假轴中心重合,从而实现定子机坑内组装中心的精确定位。通过“机组中心、假轴中心、定子测圆架中心”三心重合技术,可以大大提高定子中心测量及调整的精度,从而避免定子机坑内组装后需要进行的二次调整。此外,“假轴”装置可以直接在定子组装过程中实现转换,以止漏环中心为基准对定子测圆架进行精确检测,以确保定子始终处于机组中心位置。定子机坑施工中心精准定位布置情况见图 2。应用上述装置,总结形成了一种较为先进的发电机定子机坑内施工中心精准定位施工方法,并且将该方法在白鹤滩、杨房沟、金沙等水电站中成功应用,解决了工程实际中存在的难题,提高了定子安装精度及效率。



注:①为“假轴”装置中心柱至钢琴线的距离;②为定子测圆架中心柱至钢琴线的距离。

图 2 立式机组定子机坑施工中心精准定位布置图

定子机坑内施工中心精准定位法的实施步骤:

(1)“假轴”装置的同心度检查和定位,以确保“假轴”装置的准确性和可靠性。

①将“假轴”装置的基础安装在水轮机层基础环上并确保该装置就位后“假轴”装置的中心柱与下止漏环处于同一高程;

②使用框式水平仪对中心柱的 X、Y 轴线四个方向进行精确测量,并将其垂直度调整至规定

的最低要求(0.02 mm/m)^[4];

③“假轴”装置的调整。

a. 使用内径千分尺精确测量上下止漏环至中心柱之间的距离。

b. 同一圆环面上,如果 X、Y 方位的中心偏差值均不大于 0.05 mm,且 X、Y 方位合成后的中心偏差值亦不大于 0.05 mm,说明“假轴”安装位于机组中心;若不满足要求,则需要移动“假轴”重新安装,以使其中心柱处于机组中心。

c. 同一截面上,检查 X 方向上下两个测点至止漏环的距离差值,以确保“假轴”中心柱的垂直度不大于 0.02 mm。若不符合要求,则需要调节“假轴”安装的水平调节螺钉,使其处于垂直状态。

d. 重复上述步骤,直至该装置的垂直度及中心均满足要求。

(2)“假轴”装置与定子测圆架之间的同心度检查与定位。

①在定子测圆架中心柱外侧,沿 X、Y 轴线四个方位安装四根钢琴线,将其悬挂在定子测圆架基础平台上,并将其下端连接到重锤上,最后将重锤放入油桶内完成整个安装过程。

②基于“内径千分尺和耳机电测法”原理,利用内径千分尺分别测量定子测圆架中心柱和“假轴”装置中心柱至钢琴线^[5]的距离 A、B、C、D,即应用“同轴度外测法”测量定子测圆架中心柱和“假轴”装置中心柱的同心度。

a. 在同一截面上,测量 X 方位上二个测点 A、B 的比值并调节定子测圆架中心柱的垂直度,如果其误差不大于 0.02 mm,说明定子测圆架中心柱垂直;如果其误差大于 0.02 mm,则需要调节定子测圆架水平调节螺钉,使其保持垂直。

b. 在同一圆环面上测量 X、Y 方位测点的相对偏差值,若其中心偏差值不大于 0.05 mm,说明定子测圆架中心柱与水轮发电机组中心同心;若其大于 0.05 mm,则需要调节定子测圆架中心调节螺栓,使其中心柱处于机组中心上以确保测圆架中心的准确度。

(3) 定子机坑内组装过程中测圆架中心的校核。在定子机坑内组装过程中,“假轴”装置与定子测圆架的同心度校核应按照规定进行,以确保测量结果准确无误,进而准确确定定子测圆架中心是否发生位移。

(下转第 81 页)

钻在蜗壳钢衬上开孔,采用环氧浆液进行化学灌浆^[7]。

6 结 语

在卡洛特水电站蜗壳二期混凝土施工过程中,项目部技术人员吸取了国内外类似项目蜗壳二期混凝土浇筑的成功经验,结合卡洛特水电站项目地处巴基斯坦的区域特点,充分利用了中国水电站施工成功的技术和当地的资源组织特点,通过提前对蜗壳二期混凝土施工的重难点问题进行分析论证,制定了分层分仓、温控措施、监测方法、补充灌浆等一系列优化措施,并对其进行了全过程控制和跟踪。项目部通过提前策划、过程控制、事后总结、持续改进,使蜗壳二期混凝土施工的安全性、质量和速度都得到了极大程度的提升,为发电机组的安装提供了有利的环境,为机组

(上接第49页)

4 结 语

阐述了应用立式发电机定子机坑内施工中心精准定位技术,实现了定子测圆架的精准定位及校核,提高了数据测量的准确性,保证了定子组装及安装的质量。经过我公司近几年施工的几个电站的实践经验证明:该项技术弥补了传统定位装置实施中存在的不足,大幅度提升了施工效率和安装精度,工程应用效果良好。该定位装置已获得《一种发电机定子机坑施工中心定位装置》CN202022331587.8 实用新型专利。

参考文献:

- [1] 兰东宏,祁英明,张磊磊.大型水轮发电机组定子本机坑内一次组装成型不作二次调整工艺的首次运用[J].水电站机

(上接第62页)

鼓胀、拉裂等质量事故,进而产生间接的经济效益;同时还能够避免脱模过晚造成的滑模动力提升系统负荷过大产生的安全隐患,进而产生安全效益。该装置在整个检测过程中无混凝土弃渣,进而产生出环保效益。

该检测方法既可应用于水电工程中采用滑模施工的建筑物(如竖井、斜井、混凝土面板、墩墙),确定滑模混凝土的脱模强度并据此控制适宜的滑升速度,亦可广泛应用于水利水电、矿山、铁路、公路等工程中采用滑模施工的结构。

参考文献:

的安全运行打下了坚实的基础。所取得的成功经验值得其他类似项目借鉴和学习。

参考文献:

- [1] 李韵譔.多方共赢的卡洛特水电站[J].中国投资(中英文),2019,35(15):76-77.
 [2] 水工混凝土钢筋施工规范,DL/T 5169-2013[S].
 [3] 李明辉.混凝土浇筑过程中对模板浮力的研究[J].施工技术,2011,40(增刊1):61-63.
 [4] 任志民.卡洛特水电站蜗壳及发电机层二期混凝土施工关键技术[J].四川水力发电,2021,40(6):68-69.
 [5] 水工混凝土施工规范,DL/T 5144-2015[S].
 [6] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范,SL62-2014[S].
 [7] 水工建筑物化学灌浆施工规范,DL/T 5406-2010[S].

作者简介:

杜江(1988-),男,四川眉山人,项目工程技术部主任,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

电技术,2013,37(6):55-58.

- [2] 余天才,舒发兵.苗尾电站定子机坑1次定位装配方法[J].水电站机电技术,2018,41(9):14-16.
 [3] 赵永胜.向家坝左岸定子机座机坑内组焊焊接工艺[J].防爆电机,2013,48(3):53-55.
 [4] 水轮发电机组安装技术规范,GB/T 8564-2003[S].
 [5] 谢守斌,莫斌伟,曾洪富.水轮发电机组安装新技术应用[J].水利水电施工,2021,4(4):77-82.

作者简介:

谢守斌(1981-),男,四川德阳人,项目经理,副高级工程师,从事水电站机电设备安装技术与管理工

李传法(1981-),男,河南濮阳人,工程师,从事水电站机电设备安装技术与管理工

莫斌伟(1984-),男,甘肃陇西人,项目总工程师,副高级工程师,从事水电站机电设备安装技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

- [1] 赵德胜.滑模施工中如何控制混凝土的出模强度[J].施工技术,2016,30(4):28-31.

- [2] 于方.不同环境温度下滑模混凝土凝结时间试验研究[J].施工技术,2001,45(6):548-552.

- [3] 水工建筑物滑模施工技术规范,DL/T 5400-2016[S].

- [4] 水工混凝土试验规程,DL/T 5150-2017[S].

- [5] 郭少华.滑模混凝土出模强度实验及强度评价体系研究[D].大连:大连理工大学,2010.

作者简介:

李凤玉(1981-),男,宁夏中卫人,副高级工程师,从事水利水电工程试验检测技术工

胡建立(1973-),男,四川广安人,正高级工程师,从事水利水电工程试验检测技术工

(责任编辑:李燕辉)