

紧水滩水电站4号机转子及轴承改造

--机架改造技术与质量控制研究

吴建华

国网浙江省电力有限公司紧水滩水力发电厂

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6959

[摘要] 水轮发电机组机架是水轮发电机组的核心承载结构,其装配精度与结构稳定性直接决定了机组的运行安全。针对紧水滩水电站4号机组长期服役后出现的机架陈旧及老化、机组振动、摆度超标等问题,本文以该机组转子及轴承改造工程中的上下机架改造为研究对象,系统阐述了机架高程-水平-中心协同调整、现场装配焊接等核心施工工艺,构建了覆盖人员资质、工序过程、验收标准的全流程质量管控体系。工程实践表明,改造后机组高程偏差小于0.5mm,上机架水平度控制在0.03mm/m以内;上机架中心偏差小于0.15mm。下机架各项安装精度指标均满足设计及相关规范要求,机组改造后运行稳定性显著提升,可为国内同类型老旧水电机组的机架升级改造提供技术参考与工程借鉴。

[关键词] 水轮发电机组; 机架改造; 施工工艺; 精度控制; 质量管控; 轴承运行稳定性

中图分类号: TM31 **文献标识码:** A

Renovation of Rotor and Bearing for Unit 4 of Jinshuitan Hydropower Station—Research on Rack Modification Technology and Quality Control

Jianhua Wu

State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Jinshuitan Hydropower Plant

[Abstract] The frame of a hydroelectric generator set serves as its core load-bearing structure, where assembly precision and structural stability directly determine operational safety. Addressing issues such as frame aging, unit vibration, and excessive swing amplitude observed in Unit 4 of the Jianshuitan Hydropower Station after prolonged service, this study focuses on the upper and lower frame modifications during the rotor and bearing retrofit project. It systematically outlines key construction techniques—including coordinated adjustment of frame elevation, levelness, and center alignment, along with on-site assembly welding—and establishes a comprehensive quality control system covering personnel qualifications, process procedures, and acceptance criteria. Engineering practice demonstrates that post-modification elevation deviations remain below 0.5 mm, upper frame levelness is controlled within 0.03 mm/m, and center deviation is reduced to under 0.15 mm. All installation precision parameters of the lower frame comply with design specifications and relevant standards, significantly enhancing operational stability. This study provides valuable technical references and practical insights for retrofitting similar aging hydroelectric generator sets in China.

[Key words] hydroelectric generator set; frame modification; construction technology; precision control; quality control; bearing operational stability

引言

我国水电产业经过数十年的高速发展,已建成全球规模最大的水电能源体系,大量投运于20世纪末的大中型水轮发电机组,目前已进入设备老化期与性能衰减期。水轮发电机组的上、

下机架,不仅需要承受机组正常运行过程中的轴向力、径向水力不平衡力、电磁不平衡力,还需承担短路工况、制动工况下的冲击载荷,其结构完整性与安装精度是保障水轮发电机组安全稳定运行的核心前提。紧水滩水电站4号水轮发电机组已经投产30

多年,上、下机架等设备存在陈旧及老化、机组运行振动、摆度超标,严重威胁机组的安全稳定运行。本次改造以提升水轮发电机运行可靠性为核心目标,重点实施机组上、下机架的改造升级。本文结合本次工程实践,深入分析机架改造过程中的核心技术难点,提出针对性的施工工艺控制方案与全流程质量管控体系,为老旧水电机组的升级改造提供技术支撑。

1 工程概况

紧水滩水电站4号机组为混流式水轮发电机组,本次改造范围包括发电机转子、上下机架以及轴承等部件,由于转动部件及支撑部件全部进行了改造,施工过程中必须对新上、下机架水平高程进行测量、调整。

改造后的上机架为机组负荷机架,采用直支臂结构,由中心体与6个支臂通过销钉定位及高强度螺栓把合组成整体,中心体兼作上导轴承与推力轴承油槽,可承受转轮水力不平衡力、绕组短路冲击载荷而不发生有害变形。该上机架支臂外端至中心尺寸R3790mm,总体重量46.117t。

下机架为机组制动承载结构,由中心体与8个径向支臂组成,其中6个支臂与中心体在厂内焊接成整体,剩余2个支臂在现场完成装配,主要承受机组制动与顶起工况下的轴向荷载。该下机架最大外径距中心2425mm,总重量8.65t。本次改造严格遵循《水轮发电机组安装技术规范》GB8564-2003、《水电工程验收规程》NB/T 35048-2015等国内国际标准,通过改造机架及轴承,优化结构设计,提升设备安全性与稳定性。

2 机架改造核心施工技术与质量控制

2.1 上机架改造施工技术

上机架作为推力轴承与上导轴承的安装基础,其改造核心是实现机架高程、水平度、中心位置三大核心参数的精准协同控制,直接决定了水轮发电机组的轴向安装精度与推力轴承的运行状态。本次上机架改造遵循“工厂预装复核-现场组装-吊装就位-精度协同调整-焊接固定-复测验证”的全流程施工工艺,具体流程为:上机架组装→吊装入位→水平、中心调整→高程测量→调整块加工及安装→水平、中心调整→调整块焊接→中心水平复测。

现场组装上机架6条支腿,并在每条支腿处把合厂家提供的调整块(厚度65mm), (每块调整块均已打2-Φ40定位销孔);机架组装完成后吊入机坑。初定中心后,通过在支腿处加调整垫调整上机架水平至0.04mm/m以内。

水轮发电机组安装要求机组转动部分的高程需要与座环相匹配(水轮机转轮中心与导水机构中心对应),机组转动部分高程由上机架安装高程决定,所以改造后的上下机架高程调整的结果是要使改造后的转动部分高程与原来一致。

为确定机架安装高程,在机组解体前测量了原转动部分水发连轴法兰面至下机架基础、至上机架基础及原发电机主轴轴顶相对定子机座上环板基础点的高程差等数据。为便于查看,以下以图1显示,各高程辅以字母标示,高程差或长度以H或L加字母表示。

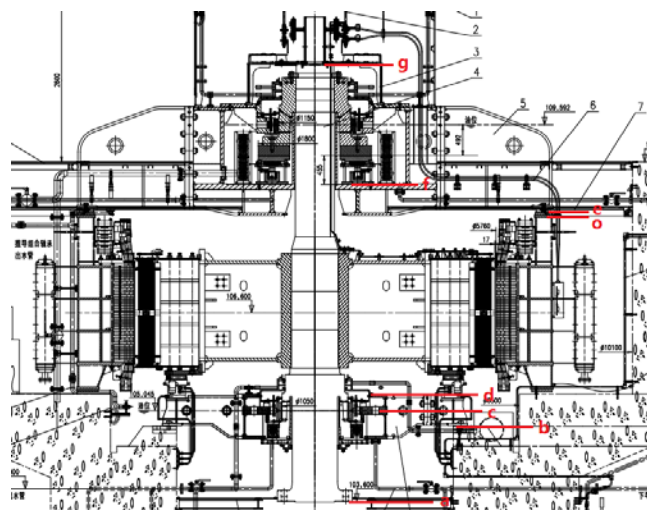


图1 高程示意图

图1内各字母对应高程解释如下:

- a 水发连轴法兰面高程
- b 下机架安装基础高程
- c 新下导轴承中心高程
- d 新下机架油挡安装面高程
- e 上机架安装基础高程
- f 新上机架推导轴承安装面高程
- g 新主轴轴顶高程
- g 旧主轴轴顶高程
- o 定子机座上环板基础点高程

表1 高程列表及测量方法

序号	代号	含义
1	H_{ab}	水发连轴法兰面至下机架基础的高程差
2	H_{ac}	水发连轴法兰面至下导轴承中心距离
3	H_{cd}	下导轴承中心至下机架油挡安装面距离
4	H_{bd}	下机架油挡安装面至下机架基础的实际高程差
5	H_{bd}'	下机架油挡安装面至下机架基础的理论高程差
6	H_{ae}	水发连轴法兰面至上机架基础的高程差
7	H_{gf}	新发电机轴顶至推导轴承安装面的高程差
8	H_{fo}	推导轴承安装面至定子机座上环板基准点的实际高程差
9	H_{fo}'	推导轴承安装面至定子机座上环板基准点的理论高程差
10	L_{ag}	新发电机轴长
11	L_{ag}'	旧发电机轴长
12	H_r	上机架空载时挠度
13	H_z	修前转轮中心高程偏差(偏高为正)

上机架高程计算:

测量旧发电机轴顶至基准点o的距离,结合新旧发电机轴轴长,以及安装后轴顶至推导轴承安装面距离,可以知道新推导轴承安装面至基准点o的理论高程差,再在上机架预装中测量该两点的实际高程差,两者差值即为上机架调整块的调整量,同时考虑原转动部分高程偏差和上机架挠度。

$$H_{fo}' = H_{og}' - (L_{ag}' - L_{ag}) - H_{gf} + H_r - H_z \quad \text{公式1}$$

调整块按上机架计算高程加工、安装后,进行水平精调阶段,通过在支腿处加调整垫片,将上机架中心体水平度调整优化至

0.03mm/m 以内。上架架中心调整采用钢琴线找正工艺,以水轮机座环镗口为基准,用电测法将钢琴线调至座环中心,偏差控制在 0.05mm 以内,以上上架架上导瓦架安装面为基准,测量、调整上架架中心偏差小于 0.15mm 以内。中心调整验收合格后,采用分段小电流工艺焊接调整垫板,严格控制焊接变形,焊后完成各项参数的复测验证。

2.2 下机架改造施工技术

下机架作为下导轴承的安装基础,其改造核心是确保下导轴瓦中心线与下导轴承设计高程相对应,以及下机架与发电机的同心度。本次下机架改造施工流程为:下机架组装→吊装入位→高程确定→水平调整→中心调整→钻绞销钉孔→中心水平复测。

现场组装完成后,吊装就位前,预先清理基础面并测量各基础面高程,为后续高程与水平调整提供基准。

根据水发连轴法兰面、下机架基础、下导轴承中心高程,结合发电机轴以及设计要求,计算出下机架油挡安装面至下机架基础的理论高程差,其与预装时实际测量值的比值即为下机架需要的加垫量,同时还需要考虑原转动部分高程偏差。

$$H_{bd}' = H_{ac} + H_{cd} - H_{ab} - H_z \quad \text{公式2}$$

根据计算的加垫量在下机架支腿处加调整垫,加垫后下导轴瓦中心线与下导轴承设计高程基本重合,最终高程偏差控制在 0.5mm 以内。水平调整通过优化配置机架下方垫片组,将机架水平度控制在 0.04mm/m 以内;中心调整采用与上架架一致的钢琴线找正工艺,以座环镗口为基准完成精准定位。所有参数调整合格后,支腿处钻铰定位销钉孔并安装销钉,完成机架的最终固定,复测各项参数均满足设计与规范要求。

2.3 机架改造全流程质量管控体系

为保障机架改造施工质量,本次工程构建了“人员-设备-工序-验收”全维度、全流程的质量管控体系,实现了改造工程的全过程闭环管理。

2.3.1 施工前准入管控

人员资质管控方面,建立严格的人员准入制度,杜绝人员无证上岗。技术管控方面,施工前完成全员技术与安全双交底,编制专项施工措施、质量控制程序与安全保证措施,确保所有作业人员熟悉施工工艺、质量标准与安全要求。

2.3.2 施工过程中工序管控

建立三级质量验收制度,每一道工序完成后,经三级检验合

格后方可进入下一道工序。对机架水平、高程、中心偏差、螺栓预紧力矩等关键工艺参数,实施全过程旁站监控,确保参数始终处于设计允许范围内。从源头规避质量风险。

2.3.3 竣工验收管控

严格遵循设计图纸与相关行业标准开展竣工验收工作,对机架中心、水平、高程等核心安装指标实施一票否决制,所有指标必须全部满足设计要求。对焊接焊缝按 ASME 相关标准实施 MT、UT 无损检测,确保无焊接缺陷。所有验收数据形成完整的技术档案,实现施工质量的可追溯管理。

3 改造效果验证

本次紧水滩水电站4号机组机架改造工程,通过上述核心施工技术与管理体系的实施,圆满完成了全部改造内容。改造后检测结果显示:上架架中心体水平度达到 0.02mm/m,中心与高程偏差均优于设计要求;下机架水平度、中心与高程偏差全部满足规范要求。机组并网投运后,上、下导轴承的振动、摆度指标均优于 GB/T 8564《水轮发电机组安装技术规范》要求,水轮发电机组运行稳定性显著提升,彻底解决了原有机组轴承运行指标超标、振动过大的问题。

4 结束语

本文以紧水滩水电站4号机组转子及轴承改造工程为依托,形成了一套适用于老旧水电机组机架改造的施工技术与全流程质量管控体系,有效解决了机架改造过程中高程、中心、水平的多参数协同调整等技术难点,工程应用效果显著。该技术体系具有较强的工程实用性,可为国内同类型老旧水轮发电机组的升级改造提供重要的技术参考。后续可结合机组在线监测数据,进一步分析改造后机组运行特性,持续优化机架改造工艺,助力我国老旧水电站的提质增效与安全稳定运行。

[参考文献]

- [1] 陈红稳. 水电厂机械设备检修及维护管理问题分析[J]. 工程建设与设计, 2022(2): 186-189.
- [2] 李兴. 水电厂安全管理问题与质量改进办法[J]. 质量与市场, 2021, (18): 171-173.
- [3] 杨欣, 李勇. 电厂机械设备检修及维护问题探究[J]. 科技创新导报, 2018, 15(03): 190-191.

作者简介:

吴建华(1973--),男,汉族,浙江衢州人,大学本科,工程师,研究方向:水电厂、机械检修。