

TB 水电工程转轮“零配重”制造策划与实施

兰东宏, 齐巨涛, 文仁学, 龚登位, 师 永

(华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要:为实现 TB 水电工程转轮制造“零配重”目标,从设备采购阶段开始进行提前策划,通过提高标准、增加工序、引进新设备新工艺等创新手段,依托组织保障、技术可行、过程管控等措施保障,最终 4 台转轮全部实现“零配重”制造,使得 TB 水电工程成为国内迄今为止首个全部转轮实现“零配重”制造的水电工程。

关键词:转轮制造;零配重;TB 水电工程

中图分类号:TK730.6

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2024)S1-0083-03

Manufacturing planning and implementation of “zero counterweight” for the runner of TB Hydropower Project//
LAN Donghong, QI Jutao, WEN Renxue, GONG Dengwei, SHI Yong (Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: To achieve the goal of “zero counterweight” of TB Hydropower Project runner manufacturing, starting from the equipment procurement stage, they conducted advance planning, through innovative means such as raising standards, adding processes, and introducing new equipment and new technologies, and relying on measures such as organizational guarantee, technical feasibility, and process control, all four runners finally achieved “zero counterweight” manufacturing, making the TB Hydropower Project the first power station in China where all runners have achieved “zero counterweight” manufacturing so far.

Key words: runner manufacturing; zero counterweight; TB Hydropower Project

1 转轮“零配重”攻关管理策划

1.1 组织保障

为实现转轮制造“零配重”(转轮制造时无需另外灌铅配重就能满足残余不平衡力矩要求)目标,建管局成立以局长、书记为组长,分管质量和机电的局领导为常务副组长,机电物资部、安全质量环保部部门主任、监造单位总监、制造单位相关领导为副组长的转轮“零配重”制造创新攻关领导小组,负责 TB 水电工程转轮“零配重”制造的策划与实施。

1.2 技术保障

a. 招标采购策划。在水轮机及其附属设备采购时就明确提出将转轮“零配重”制造作为转轮质量控制目标,并对部分技术参数提出了具体要求。在合同谈判时又进一步将转轮“零配重”作为攻关目标,明确要求编制详细方案在设计联席会上讨论后实施。

b. 方案可行性研讨。建管局依托水轮发电机组第四次设计联络会,邀请公司专家及厂家设计、生

产、焊接、工艺等多部门专家对制造“零配重”转轮关键技术进行讨论,并最终审定在原正常工艺流程的基础上增加以下工序:①叶片现场称重;②根据叶片称重数据进行动态模拟,计算装配偏心矩(中心与重心偏差),使其达到最优;③新增两次粗平衡工序,对偏心矩进行检查修正。

1.3 安全管理保障

坚决贯彻“人民至上、生命至上”安全发展理念,严格落实“党政同责、一岗双责、齐抓共管、失职追责”的要求,扎实做好“五落实五到位”,进一步提升安全管控及防范能力,把安全管理横向到边、纵向到底落到实处;深化安全标准化建设,加强大件设备吊装、特种设备运行、施工用电、“疫情”等安全管控。从源头上狠抓落实,进一步强化监管,狠抓隐患排查治理,落实各级责任、完善机制、重视现场,确保全面实现年度安全生产目标。针对转轮制造特点,建管局安全质量环保部牵头每月梳理施工安全风险点清单,并进行动态跟踪及隐患排查治理。建管局机电物资部则根据施工实际情况要求监造工程师每

天对危险源进行通报,并汇报所采取的措施并不定时进行检查核实,监造单位及制造厂也进一步加强安全监管,进一步确保转轮制造人员的安全。

1.4 质量管理保障

建管局始终坚持“百年大计,质量第一”的原则,形成以厂家“三检”责任落实,监造单位全程见证监督,第三方对关键工序复核检查,建管局参与关键工序和关键尺寸见证,同时执行随机抽查和阶段性验收的转轮制造质量管理体系。成立转轮“零配重”制造质量控制小组,全面负责转轮质量的管理、控制、协调和指导工作,同时成立转轮“零配重”制造质量管理小组,不断总结和提高制造过程的质量;选择经验丰富和专业的制造团队,同时在团队内指定专业的工程技术人员和专职检查人员负责各工序环节质量的指导和控制;实行全过程质量控制、自检互检制度,全过程严格按照图纸及相关质量文件进行制造,确保转轮的制造质量。

2 转轮“零配重”制造的具体实施

2.1 标准订立

为更好实现转轮“零配重”制造,TB 水电工程编制了转轮“零配重”控制标准(表 1,表中同时列出了参考标准 GB/T 10969—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件》^[1]、DL 5113.3—2012《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准第 3 部分:水轮发电机组安装工程》^[2]、GB/T 56078—1996《大型水轮机产品质量分等》^[3]的控制标准)。此标准是根据以往电站转轮现场制造经验并结合当前加工及测量水平,增加或提高了部分关键控制指标的标准。增加或提高的部分控制标准如下:①增加对单个叶片质量出厂偏差标准(新增要求,以前无此标准),单个叶片间质量偏差控制在 1%以内(TB 水电工程转轮约 5.3 t,叶片偏差控制在 50 kg 以内);②提高转轮上冠下环同心度,由厂家设计要求的 1.50 mm 提高到 0.30 mm;③减小叶片进口节距偏差,由厂家设计要求的±15.0 mm 提高到±6.0 mm;④减小叶片出水边角度偏差,单个叶片允许偏差和平均允许偏差由国标 GB/T10969—2008

《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件》^[1]要求的-3%*a*₀~5%*a*₀、-1%*a*₀~3%*a*₀ 提高到-2%*a*₀~3.5%*a*₀、-1%*a*₀~2%*a*₀。

2.2 关键工序控制

a. 严格转轮零部件加工尺寸控制。转轮叶片采用三轴(五轴)数控(车床)龙门铣加工,在严格控制叶片型线公差的同时,保证叶片质量的一致性,使得各叶片的质量偏差实际控制应在 1%以内。上冠与下环同心度加工尺寸控制在 0.30 mm 以内。

b. 严格二次称重与动态平衡模拟。每个叶片在运抵工地后均进行二次称重,采用高精密电子秤,用同一吊装绳索(锁扣、钢丝绳)对每个叶片进行称重,保证质量偏差相对准确。同时结合叶片协作厂家内加工时的出厂称重记录进行综合评判,利用最先进的动态平衡模拟专业软件进行动态平衡模拟,分配叶片最佳安装位置,使综合偏心矩最小。

c. 装配过程控制。上冠、下环同心度测量由原来的线锤+钢卷尺测量调整为耳机、钢琴线+内径千分尺测量,将测量精度提高近 50 倍。最终将同心度控制在 0.30 mm 以内。叶片安装尺寸控制:采用激光(笔)测量仪精密测量、检查和调整叶片的安装尺寸,包含叶片进口节距、出口节距、开度、进水边角度、出水边角度和上冠与下环之间的高度等尺寸。

d. 焊接过程控制。焊接过程中采用多层多道、分段退步的方法在对称位置进行焊接。严格控制焊工焊接速度,登记焊条领用数量,保持焊接量一致,加强过程加温控制和层间温度控制,最大限度地控制焊接变形。另外,为均衡叶片与上冠、下环正、背面坡口的焊量,及使焊接位置调整到最佳,焊接过程中需进行多次翻身。

e. 焊后粗磨工艺控制。转轮圆根粗磨处理前,需按要求先进行 UT 探伤检查,合格后粗磨叶片与上冠、下环间焊缝,形成过渡圆根。对于大型转轮,为减少转轮翻身次数,圆根粗磨工序可在转轮首次翻身正放焊接工序完成后进行正放位置的粗磨,之后在转轮第二次翻身倒放焊接工序全部完成后进行倒放位置的粗磨。

f. 转轮退火过程控制。转轮消除应力热处理前应完成无损检测及尺寸检查,待合格后才能进行

表 1 转轮“零配重”制造控制标准

标准	叶片进口 节距/mm	叶片出水边 角度/% <i>a</i> ₀		叶片进口 角度/(°)	叶片出口 角度/(°)		残余不平衡 力矩/ (N·m)	上冠与下环 同心度/mm	转轮上冠 法兰下凹 值/(mm/m)	转轮上冠 法兰上凸 值/mm	焊缝一次 合格率/%
		单个	平均		单个	平均					
GB/T 10969—2008	±24.8	-3~5	-1~3	±2,±1.5 ^①	±1.5	±1					
DL5113.3—2012							550		≤0.07/≤0.06	≤0.03 ^②	95
JB/T 56078—1996	±15.0/±10.0	-2~3.5	-1~2	-1.0~+1.0	±1.3	±1.0	356	1.50	≤0.05/≤0.04	0	85/95
“零配重”控制标准	±6.0	-2~3.5	-1~2	-1.0~+1.0	±1.3	±1.0	356	0.30	0.03	0	99

注:叶片出水边角度与叶片进、出口角度为允许偏差值;“零配重”控制标准增加叶片偏差控制在 50 kg 以内和上冠、下环圆度 0.1 mm;“/”前后数据分别为合格和优良标准;①单个允许偏差±2°,平均允许偏差±1.5°;②最大不超过 0.06 mm。

应力消除热处理(此为柴油加温退火),转轮吊至退火炉炉台后退火前拆除翻身吊攀。转轮消除应力热处理时应为倒放位置,退火时转轮上冠外圆及联轴法兰平面各布置4个退火支墩,要求摆放平稳,支垫牢固,退火支墩与转轮支撑面之间采用楔子板塞实,防止变形。转轮退火需现场制定专项退火工艺,退火前需严格检查喷火嘴的通透性和调整火焰长度的一致性,最大程度降低残余应力集中,保证转轮焊缝质量。转轮应力消除热处理后需再次对焊缝进行UT探伤检查,合格后对粗磨后的焊缝进行表面探伤检查。探伤合格后进行结构尺寸检查。

g. 退火后精磨工艺控制。转轮先倒放精磨,之后正放精磨,精磨后采用目视和触摸的方式检查整体外观和流道表面波浪度。相贯位置打磨纹路应与出水边平行,方向一致,不允许出现明显的横纹、凹坑和凸台。转轮整体外观应整齐美观,流道表面应光滑过渡,不允许存在明显的凹坑、凸台、磨痕及肉眼可见的缺陷,当目视检查与表面探伤检查产生异议时,以最终表面探伤检查判定为准。表面波浪度要求1/100,精磨流道表面需进行全流道表面探伤检查。转轮精磨及验收检查完成后,复检叶片编号标记情况,对转轮整体进行抛光与美化。

h. 粗加工控制。在精磨后须对转轮进行粗加工。对上冠与下环先进行粗加工,并在翻身后再拆除吊攀,吊攀拆除后对其修补并加工(完成后对其增加一次粗平衡,校验转轮加工找正中心线与理论中心线的偏差)。然后对泵板进行装配,泵板装配时应结合第一次粗平衡数据进行调整。泵板安装焊接完成后完成所有粗加工工序(完成后对其增加第二次粗平衡,再次校验转轮加工找正中心线与理论中心线的偏差)。加工时采用工地能使用的最大10m立车,增加立车稳定性,提高转轮加工精度。同时安排立车和镗床的生产厂家现场跟踪服务,并提前安排人员对设备的精度进行现场校验,以保证工地转轮加工尺寸质量的符合性。

i. 增加粗平衡(静平衡)工序。在转轮粗加工翻身和粗加工全部完成后各增加一道粗平衡工序。转轮静平衡采用钢球+镜板法,检测时禁止门机等大型行走设备运行,对周围风口进行遮挡,确保转轮托起平稳,静平衡试验结果质量稳定。静平衡工具装配后,全部用螺栓锁定,保证不发生相对滑动及移动。装配时平衡套筒与平衡法兰之间可进行间隙检查及调整,确保平衡工具装配的同轴度与转轮的同轴度在0.03mm以内。记录粗平衡后偏心的位置及数据。根据粗平衡偏心数据在翻身后的粗加工阶段及精加工阶段对偏心距加工找正线进行修正。

j. 精加工控制。根据转轮粗平衡后的相关数

据进行精加工。精加工时以上冠内法兰止口为基准,进行转轮上、下止漏环及下环外圆等部位精加工,以确保上、下止漏环与上冠法兰面止口三部位同心度满足要求。精车完成后,对转轮进行镗孔,镗孔时先将转轮上冠内法兰面与镗模把合,以镗模的孔为基准镗销孔,接近90°或180°方向2个定位销孔装配定位销后钻铰其余销孔,严格控制直径与台阶的长度,人为设定公差,保证去除的铁屑质量相对一致。

k. 精平衡工艺。精车完成后,清理好场地摆好支撑及方箱,将转轮平衡球与转轮紧固调整好,将平衡工具底座调平压紧符合要求。将转轮落在平衡工具上进行粗平找出灵敏度,标出配重位置,称出配重物质量,测出距中心及实际加重物位置,检查并做好记录。经过两次粗平衡,此次平衡基本已满足标准规范要求,无需另外灌铅配重就能满足残余不平衡力矩要求。

l. 附件装焊控制。静平衡试验满足要求并验收后,装焊泄水锥并探伤合格后准备出厂。

3 转轮“零配重”的实现

在实施过程,现场质检人员和工艺人员每日均进行现场监控,操作人员每日互检,从单件组焊、预热温度恒温,过程尺寸检查、最终尺寸验收均及时与现场监造工程师沟通,全程跟踪,严把质量关。在关键点、关键尺寸上,建管局均参与见证,同时执行随机抽查和阶段性验收制度,使得转轮整个制作过程受控、数据真实,最终确保了4台转轮于2023年12月25日全部实现“零配重”制造目标。

4 结 语

转轮“零配重”制造策划与实施结合了目前国内制造、加工及测量技术的提升,4台转轮全部实现“零配重”制造,为后续工地大型转轮制造提出了新的更高标准,也为今后国内大型转轮制造提供了新模式。

参考文献:

[1] 全国水轮机标准化技术委员会. 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件:GB/T 10969—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[2] 中国电力企业联合会标准化中心. 水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准第3部分:水轮发电机组安装工程:DL/T 5113. 3—2012[S]. 北京:中国电力出版社,2012.

[3] 哈尔滨大电机研究所. 大型水轮机产品质量分等:JB/T 56078—1996[S]. 北京:机械工业部,1996.

(收稿日期:2024-09-15 编辑:熊水斌)