

杨房沟水电站座环组装焊接工艺控制

贾 天

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610081)

摘要:杨房沟水电站水轮机座环具有环板厚、后热温度高等特点,需要对组装焊接工艺进行重点管控以保证质量。笔者结合座环结构特点和加温焊接工艺要求,通过现场试验对座环不同焊接工艺的比较,总结出了焊接温度控制和焊接变形监控的有效措施,成功通过控制焊接变形保证了座环组装焊接质量。该经验可供其他类似工程参考借鉴。

关键词:水轮机;座环;加温;变形控制;焊接

中图分类号:TV74; P755.1; TD406

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)01-0088-04

Welding Process Control in Stay Ring Assembly of Yangfanggou Hydropower Station

JIA Tian

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610081)

Abstract: The stay ring of hydraulic turbine for Yangfanggou Hydropower Station features thick ring plate and high post heating temperature, therefore it is necessary to focus on control of assembly and welding process to ensure welding quality. Considering the structural characteristics of stay ring and the requirements of heating welding process, through comparison of different welding processes of stay ring through field tests, effective measures of welding temperature control and welding deformation monitoring are summarized in this paper. With these measures, the welding quality of stay ring assembly in Yangfanggou Hydropower Station is ensured. The experience presented in this paper provides reference for similar projects.

Key words: turbine; stay ring; heating; deformation control; welding

1 概 述

杨房沟水电站位于四川省凉山彝族自治州木里县境内的雅砻江中游河段上,电站安装4台单机容量为375 MW的立轴混流式水轮发电机组,总装机容量1500 MW,是国内首个百万千瓦级实行EPC总承包模式的水电站,受到同行及界的关注。4台套水轮机及其附属设备由上海福伊特电机公司负责设计制造,根据焊接工艺大纲的要求,座环环板焊接为 $560\text{ }^{\circ}\text{C}\times 8\text{ h}$,加温难度大、保温要求高。因此,制定合适的焊接工艺在实施过程中通过合理控制环板温度监控焊接变形成为座环组装焊接中的关键工作。

2 座环的结构特点及技术要求

杨房沟水电站共安装4台机组,由于受运输条件的限制,座环在制造厂内加工完成后分为两瓣运到现场,单件最大重77 t,单台总重147 t。

座环外圆直径为9920 mm,整体高度3281 mm,上、下环板厚度为160 mm,座环上、下环板材质为S420NL-Z35钢板,26个固定导叶和鼻端导叶的材料为S550Q高强度钢板,过渡板材料为S550M高强度钢板。该电站的座环现场焊接工作涉及到上下环板、蝶形边等结构部分。该座环现场组装焊接控制难点:

(1)焊接尺寸控制要求高,在焊接过程中如何保证上环板的平面度、上下环板的圆度及同心度是焊接质量控制的难点。

(2)板材较厚,预热温度高,座环环板焊接为局部热处理, $560\text{ }^{\circ}\text{C}\times 8\text{ h}$,是笔者单位首次接触到这么高温度的热处理情况,温度控制得不合理,极易造成座环无法修复的变形。

(3)焊接质量要求高,焊缝均为I类缝。

3 座环组装焊接工艺方案

3.1 座环组装

收稿日期:2020-11-12

(1)座环的拼装工作在安装间定子工位进行。根据座环实际尺寸,在工位圆 8 810 mm 上均布设 12 个高 800 mm 的拼装支墩,每个钢支墩上摆放一台 50 t 千斤顶。采用水准仪进行测量调整支墩水平度偏差不大于 1 mm。

(2)在单瓣座环吊装前采用砂轮机打磨、砂纸细磨等方式处理座环组合缝,并对座环组合螺栓孔清洗,清除掉其中的高点及毛刺。起吊第一瓣座环,由于座环偏重,利用配重将座环调平及方位调整合格后起吊,缓缓下落到组装支墩上。

(3)对第一瓣座环水平进行调整,控制其水平偏差在 1 mm 之内,合格后开始吊装第二瓣座环。起吊第二瓣座环,同样将座环找平,调整合格后起吊至第一瓣座环组装处,缓缓下落到组装支墩上。座环下落至支墩上方约 50 mm 处时,缓慢落钩调整两瓣座环组合螺栓孔,使其对正,然后装上组合螺栓及螺母。一边测量座环分瓣面的间隙、错牙,一边对称均匀拧紧组合螺母。调整座环水平度并找准圆心及 X、Y 轴线及导水机构中心线标记。要求环板已加工面平面度不超过 0.5 mm/m,环板内圆圆度偏差不超过 1.0 mm。根据实际测量的分瓣面间隙、错牙情况,对组合螺母的拧紧顺序进行调整。然后调整钢支墩上的斜楔,当调整到两瓣座环面销套孔基本不错牙时,装入圆柱销,然后按要求拧紧组合螺母^[1]。

(4)在座环的初步组圆工作完成以后,需要检查座环的整体水平和圆度并对其进行调整,合格后对组合螺栓进行把紧。在组合螺栓的把紧过程中需要控制座环组合面的组合间隙和错牙使其符合规范要求。

3.2 座环焊接工艺

(1)现场焊接全部采用手工电弧焊进行;安排 8 名电焊工分布在对称的合缝位置,每个施焊部位由 4 名焊工对称施焊,焊接过程连续进行不中断^[2]。

(2)座环整体焊接顺序:座环上下环板/基础板分瓣面→上下过渡板分瓣面→上下环筒/内环筒分瓣面→上下支撑筋板→蜗壳→导流环/板。

(3)座环上下环板焊接:按照要求进行焊前预热后开始定位焊缝焊接,定位焊缝长度约为 80~100 mm,间距为 300~400 mm,定位焊缝焊接在

清根侧焊缝位置。座环上下环板和基础板从下侧坡口进行打底焊接,之后正面清根和焊接,道间焊接方向相反。正反面交替焊接,焊接厚度可根据实际变形情况进行调整。焊接时由 8 名焊工同时、对称填充四个分瓣面,分段退焊整体加固。

(4)座环上下过渡板焊接。划过渡板位置线,并装妥分瓣面上下过渡板,点焊牢固。8 名焊工各焊接 1 条过渡板对接缝,呈整体对称分布,采用薄层窄道多层多道焊接。由于该部分焊缝应清根焊透,而此时焊缝的拘束度非常大,且母材为 S500M,为避免出现焊接裂纹,应尽可能降低焊接残余应力水平,以降低裂纹倾向。所以在焊接过程中,除打底焊道和盖面焊道外,其余各层均应用风镐锤击消除应力。先焊接内侧坡口 1/2 深度,之后外侧清根焊接 1/2 坡口深度,焊接过程中两侧交替焊接。在焊接消除应力及层间清理过程中需要控制施工质量。

(5)焊接环筒与支撑筋的装配。装配上环筒以及下环筒堵板,点焊牢固,控制环筒的错边在 1 mm 以内,环筒焊接完成后再焊接支撑筋板。焊接顺序为:先焊接环筒的对接焊缝(即纵缝)。焊接时先焊接内侧坡口 1/2 深度,之后外侧清根后焊接坡口深度 1/2,然后两侧交替焊接。再焊接环筒与环板之间的焊缝(即环缝),最后焊接筋板。

3.3 座环焊接质量控制

(1)焊接材料。座环过渡板之间采用 GB E6015 焊材进行焊接,过渡板与环板对接采用 GB E6015 焊材焊接。在焊接前所用焊条在焊条烘焙箱内必须在 350℃~400℃ 经 2 h 的烘烤后缓冷至 100℃~150℃ 进行保温;焊接过程中使用的焊条存放于接好电源的保温筒内保温,焊接作业过程中随用随取,建立严格的焊条领用登记。

(2)坡口清理。焊前必须将坡口及其两侧 20 mm 范围内的毛刺、铁锈、氧化渣、油污、水分等彻底清理干净,清理完成后由监理对焊接清理情况进行现场确认,经许可后进入下一步施焊程序。焊接过程中需特别注意层间清理工作,每一次层间清理必须完善到位,防止再次施焊过程中出现夹渣。

(3)环板两端立焊位置焊接。从仰焊部位连续焊接,一直到平焊位以减少焊接接头,保证焊接

质量。严格控制焊接过程中的热输入,把控焊接速度,避免出现焊接未融透的现象。

(4)上下环板焊接过程中需保持预热温度,如需中断焊接则焊后应立即进行消氢处理,保温温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温时间根据焊缝厚度确定, $1\text{ h}/40\text{ mm}$,最低不少于 1 h 。通过控制焊接后热过程中的温升及温降变化速度,可以有效控制座环变形。

4 座环焊接的优化工艺

4.1 环板焊接温度控制

环板的焊接温度要求:环板焊缝应局部热处理 $560\text{ }^{\circ}\text{C}\times 8\text{ h}$,最大升温速度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$,最大降温速度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。加热范围应覆盖焊缝、热影响区及其相邻母材,且加热带宽度至少 360 mm 。焊缝表面应布置热电偶进行测温,保证焊缝中心、距熔合线 $0\sim 5\text{ mm}$ 处、距熔合线 50 mm 处至少各有一个测温热电偶。

该过程中遇到的难点:由于环板焊缝局部热处理温度达到了 $560\text{ }^{\circ}\text{C}$,现场最开始按照常规水电站加温方式,采取的单块加热片在试验加热过程中出现了加热片损坏,保温被燃烧的现象,温度也无法正常上升。多次加热与降温可能对座环的尺寸造成无法避免的变形,后果不可预料。

环板的焊接设备布置措施:通过对影响加温的一系列因素进行分析,发现单片加温方式由于座环环板厚度过大,且不规则的弧形结构,单层加热片无法完美地与座环贴合,间隙过大造成热量流失过快而加热范围受限导致加热设备无法扩大加温范围,保温棉被与加热片贴合过于紧密容易着火。由此制定了新的加温措施,对于环板上下两面采用铺设双层加热片降低热量流失速度以提高加热效率,将保温棉被与加热片之间采用钢架隔离,加大保温棉被的铺设范围,在加热片中加设热电偶监测温度变化,热电偶及加热片与温控柜连接,能够实时监测温度变化情况。

环板焊接温度控制措施:焊接施工前对施焊人员再次进行了焊接工艺培训,使施工人员对焊接方式、焊接热输入及各自的焊接任务有了详细的了解。焊缝焊接前需要对焊缝两侧进行预热,预热采用远红外温控加热仪,预热温度控制在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,预热宽度为 480 mm 。焊接监控人员需要在焊接过程中通过温控仪对层间温度进

行监控,层间温度控制在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$,若发现温度变化过大应及时提醒施工人员控制焊接热输入,焊接过程中严格控制层间温度^[3]。焊接完成后按照环板焊接保温方式对环板采用石棉布包裹,使用履带式加热片进行后热及保温工作,保温温度为 $560\text{ }^{\circ}\text{C}$,持续 8 h ,冷却温度每小时低于 30 ° ,降到了常温。在消氢过程中严格控制温度变化^[4]。

通过合理的加温设备布置、严格的座环焊接工艺等一系列手段,完美地保证了焊接过程中难度最大的座环环板焊接质量,实现了座环的顺利焊接、验收、安装。

4.2 环板焊接变形监控

环板焊接变形控制要求:需要在座环焊接过程中监控其变形情况,每间隔一定时间,利用水准仪监测座环上环板、下环板圆周均布的测点测量水平度变化及座环固定导叶高程变化,对座环焊缝两侧标记控制点的收缩情况采用钢板尺进行检查,对座环上法兰、上环板、下环板等部分圆度及同轴度采用中心挂钢琴线的检查方式进行检查。监测过程中如果发生超标变化情况,则应通知焊接人员立刻停止焊接,对焊接速度、线能量或焊接工位进行调整,直至合格为止。

影响因素:环板周长减小主要是由于对接缝的焊接横向收缩,从而使环板半径减小;环板圆度不合格主要是由于焊接方向不同对焊接应力的不同分布影响。

变形监测措施:通过分析焊接过程中座环变形可能较大的时段,最终决定对座环焊接前、定位焊接完成、上下环板焊接 25% 、上下环板焊接 50% 、上下环板焊接 75% 、上下环板焊接 100% 、上下封板焊接完成、座环整体焊接完成等8个阶段的座环数值进行检查和数据记录。每次需要测量的部位包括座环上环板水平度、下环板水平度、上法兰内径、上环板内径、下环板内径、底环板内径等。其中水平度采用精度水准仪进行测量,圆度采用内径千分尺进行测量,每个部位的测点包括圆周分布的六个测点和焊缝位置的两个测点等。每次测量完成均需要对测量数据进行对比,及时确认焊接变形情况,同时可以对焊接变化趋势进行确定,以便对焊接进行调整。

变形控制措施:焊接过程中采用锤击消应力的方式减小环板焊接应力,使焊缝的横向收缩值减小,控制半径不会过小。合理控制焊接线能量和层间温度可以控制施焊过程中的变形,焊接线能量过大和层间温度过高等均会影响焊缝的横向收缩量进而改变环板半径。环板的半径和圆度可以通过改变焊接方向进行调整,由外向内方向焊接可以改变半径过小的情况,由内向向外方向焊接可以改变半径过大的情况。

由于焊接应力和变形既同时存在又相互制约并不是两种独立的现象,因此,主要采用风铲对焊缝除打底层和盖面层以外的各层敲击消除应力,同时在焊接过程中监测变形情况,通过调整焊接参数、顺序、部位进行座环的焊接变形控制以保障焊接质量^[5]。

5 结 语

通过对杨房沟水电站座环组装焊接工艺的研究,分析了该种结构类型座环质量要求高、尺寸控制难度大、预热温度高等焊接工艺难点,从控制组装及焊接方面对影响焊接质量的焊接温度和焊接变形监测两大因素制定针对性措施。经过控制环板双层保温加热方式、控制层间温度焊接工艺及

多方位多阶段变形监控等措施的实施,降低了焊接质量风险,保证了座环组装优良的焊接质量,为后续机组安装创造了有利条件。

尤其是笔者单位第一次接触 560 °C × 8 h 热处理焊接方式,通过该电站的实施总结了宝贵的施工经验,同时也为以后类似工程的座环厚环板、高温后热处理焊接实施方式提供可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 周若愚.大型混流式水轮机座环安装与焊接工艺[J].水利技术监督,2014,(1).
- [2] 鞠文希,朱贵忠,侯志桂.构皮滩水电站 600 MW 水轮机座环现场组装焊接质量控制[J].贵州水力发电,2010.
- [3] 李居洪,谢守斌,李金明.大岗山水电站水轮机座环焊接及变形控制[J].人民长江,2013,(6):83-85.
- [4] 王国辉.龙滩水电站座环现场焊接[J].东方电机,2007,(2):18-22.
- [5] 李 文,何晓昱.浅谈积石峡电站水轮机座环焊接[J].四川水力发电,2011,(3).

作者简介:

贾 天(1991-),男,湖北襄阳人,大学本科,工程师,从事水电站机电设备安装技术研究。

(责任编辑:吴永红)

杨房沟水电站 2 号转子吊装

2021年2月8日,中国水电七局·华东院杨房沟总承包部承建的国内首个百万千瓦级 EPC 水电项目——杨房沟水电站 2 号机组转子成功吊装就位。杨房沟水电站发电机转子最大直径 13 179 毫米,重量约 960 吨,整体吊装重量约 1 045 吨,起吊高度约 8 米。为确保 2 号机组转子的顺利组装及吊装,总承包项目部进一步强化党建引领,发挥组织优势、凝聚组织力量,加强现场综合协调管控,与经营履约深度融合,抓实质量、工艺、进度、安全管理,全力确保了 2 号机组转子的顺利组装及吊装。据了解,杨房沟水电站位于四川省凉山彝族自治州木里藏族自治县雅砻江镇,是雅砻江中下游河段梯级开发的骨干电站之一,电站总装机容量 1 500 兆瓦,安装 4 台 375 兆瓦的混流式水轮发电机组。首台机组转子已于 2020 年 10 月 18 日成功吊装就位。

(中国水电七局·华东院杨房沟总承包项目部 供稿)

杨房沟清水混凝土获电力协会 QC 成果一等奖

2020 年 12 月 29 日,2020 年度中国电力建设质量管理小组活动成果发布,杨房沟水电站总承包部“提高水轮机层清水混凝土优良率”获得中国电力建设企业协会 QC 成果一等奖。

据了解,为确保清水混凝土“内实外光”,达到高质量标准,杨房沟总承包部安排人员远赴云南黄登水电站、大华桥水电站,海南琼中抽水蓄能电站观摩学习,结合杨房沟水电站主机间结构设计特点,提前策划,从模板选型配置、禅缝明缝规划、配合比设计、振捣工艺、养护手段、成品保护等入手,通过多次清水混凝土工艺性试验,经过总结评价,最终确定清水混凝土施工控制要点。并在厂房安装间、主变洞成功实施后运用于主机间,混凝土浇筑外观平整、光洁,呈现镜面效果,线条、轮廓规则有序,得到各级领导、专家的认可。

(中国水电七局·华东院杨房沟总承包项目部 供稿)