

三峡永久船闸反弧门制造工艺技术

李 谦

(中国水利水电第七工程局有限公司 夹江水工机械有限公司, 四川 夹江 614100)

摘 要:介绍了长江三峡水利枢纽永久船闸输水廊道反向工作阀门制造中采用的主要质量控制措施,期望为今后生产同类产品提供参考。

关键词:三峡水利枢纽;反向工作阀门;质量控制;工艺;焊接;加工;组装;动态模拟试验

中图分类号:

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2013)06-0047-03

1 概 述

长江三峡水利枢纽为治理和开发长江的关键性骨干工程,是具有防洪、发电、航运、供水、养殖等巨大综合效益的特大型水利水电工程。三峡水利枢纽主要由拦河大坝、水电站和通航建筑物三部分组成。通航建筑物建在左岸,由两座建筑物组成:一座是永久船闸,另一座为垂直升船机。

永久船闸为双线平行布置的五级连续船闸,分为北线船闸和南线船闸,两线船闸中心线相距94 m。每线船闸主体结构由6个闸首和5个闸室组成,每线船闸两侧各布置有一条输水廊道,各级闸室输水廊道的反向工作阀门(以下简称反弧门)在每级闸首左、右侧对称设置。反弧门由布置在阀门井顶部的竖缸式液压启闭机通过吊杆进行操作。反弧门的操作条件为动水开门,正常情况下静水闭门,在事故工况或为控制闸室超灌超泄时可动水闭门。反弧门门楣设有通气孔,首末级闸室区采用顶扩体型,中间级闸室区采用顶扩加底扩体型。所有闸室段的埋件过流面及反弧门的面板均采用不锈钢复合钢板。两线船闸第一、六闸首反弧门共8扇,埋件8套;第二至第五闸首反弧门共16扇,埋件16套。

2 反弧门的组成及主要技术要求

三峡永久船闸输水廊道反弧门是三峡工程永久船闸通航的重要设备,是我国迄今为止外形尺寸最大、单重最重、工作水头最高、使用新材料最多、制造技术难度最大的反向弧门。反弧门采用横梁全包式结构,即反弧门的门叶、支臂、支铰梁是焊接成一个整体并构成一闭合的大型框架结

构。铰轴为悬臂式,活动支铰焊在支腿上。反弧门的主要特征和参数见表1。

表1 反弧门的主要特征和参数表

项 目	一、六闸首反弧门	二~五闸首反弧门
孔口尺寸: (宽×高)/m	4.5×5.5	4.2×4.5
最大外形尺寸: (宽×高×长)/m	6.45×7.23×9.2	6.15×6.1×8
面板弧面半径/m	8.2	7
最大工作水头/m	22.6	45.2
运输单元 最大重量/t	86.6	71.8

注:1~6闸首反弧门型为横梁全包式反向弧形门;所采用的启闭机均为液压启闭机。

反弧门面板材料采用00Cr22Ni5Mo3N双相不锈钢复合板。顶止水为非标准型橡塑复合止水橡皮,侧止水为Ω型橡塑复合止水橡皮,底止水采用0Cr18Ni9N不锈钢材料的硬止水。

反弧门埋件由支座架、活动导轨、门楣、侧壁、底坎等部件组成。支座架上用于紧固支铰座的φ100螺柱采用1Cr13Mo加工而成;活动导轨、门楣、侧壁、底坎的工作面(过流面)均为0Cr19Ni9N复合板;顶、底止水座面及侧止水座面采用0Cr19Ni10NbN不锈钢。

反弧门制造与组装的允许偏差应符合三峡工程专项质量标准(TGPS·J)要求,该标准中的大部分技术要求均高于DL/T5018规范中的要求,加工精度要求相当高,其制作难点主要有:

(1)焊缝质量要求高,一、二类焊缝居多。按照标准须采用X射线、超声波、磁粉、着色等方法进行无损探伤检查。

(2)面板外缘的曲率半径 $R \pm 3$ mm,两侧相

收稿日期:2013-10-25

对差 ≤ 1 mm(面板不作机械加工)。

(3)门叶横向直线度 ≤ 3 mm。

(4)支臂侧面板与水平面的垂直度 ≤ 3 mm。

(5)加工后两支铰轴孔同轴度要求不大于0.5 mm,且要求两孔一次镗成。

(6)顶止水座面与底坎埋件工作面的平行度小于1 mm。

(7)侧止水座面上任意点在门叶起降全过程中离基准铅垂面的距离偏差小于 ± 1.5 mm。

(8)最具难度的是底止水为硬止水型式,门叶底止水工作面与底坎埋件工作面的不重合度要求小于0.1 mm。

(9)反弧门必须在工厂将门叶、铰座和底坎埋件一起进行组装,并使反弧门可以开启或关闭,即模拟工作状态作1:1比例启闭试验检验,这在国内同类产品制造中尚属首次。在反弧门进行动态模拟启闭试验过程中,按标书规定及三峡工程标准要求进行了各项试验和性能参数检测,允许偏差应符合表2的规定。

表2 反弧门出厂验收允许偏差表

序号	项 目	允许偏差 /mm
1	底止水工作面与底坎埋件工作面的不重合度	0.1
2	顶止水面与底坎埋件工作面的平行度	1
3	侧止水座面(面板侧边缘)上任意点在门叶起降全过程中离基准铅垂面的距离偏差	± 1.5
4	面板外缘的半径值偏差	± 3

(10)反弧门埋件的底坎、侧壁和门楣必须在工厂进行立体预组装,这在国内同类产品制造中也是不多见的。预组装的允许偏差要求如下:侧壁与水平面的垂直度不大于1.5 mm;侧壁的平行度允许偏差为2 mm;同一横截面的孔口对角线差不大于3 mm。

3 主要工艺技术措施

(1)首先按照GB/T19001 idt ISO9001 质量保证模式的要求,结合产品制造特点和我厂实际情况,编制了反弧门生产制造全过程质量控制计划手册,明确各部门及生产单位、相关人员的职能和职责,并将其作为三峡工程反弧门制造质量控制及质量管理工作的法规和准则。

(2)严格按照合同文件、质量标准及施工图样的要求,制定切实可行的技术方案和工艺措施,

并在通过首套门试制的基础上,及时对工艺方案进行分析总结,对工艺文件进行完善和改进。

(3)三峡工程反弧门及埋件大量采用0Cr22Ni5Mo3N双相不锈钢复合钢板、0Cr19Ni9N复合钢板和0Cr19Ni10NbN不锈钢等一些性能较高的材料。为此,根据DL/T5018规范的规定,在开工前进行了有关的焊接工艺评定,其中包括复合板与复合板、复合板与不锈钢、复合板与普钢(Q345)、不锈钢与普钢等多种焊接工艺评定,通过工艺评定,对拟定的焊接工艺进行了验证。

(4)由于反弧门是一个整体的、全包式大型焊接结构,因此,合理划分组焊单元,制定正确的拼装、焊接程序,是保证反弧门结构制造质量的重要环节,而且也是组织生产、顺利进行施工以保证工期进度要求的一个关键因素。各单元金属构件和零部件的加工、拼装与焊接,要严格按照工艺和焊接规范进行,单件、小拼焊接的亦必须小拼焊好并修校合格。

反弧门的面板为复合板,焊后变形校正困难,因此,在施工过程中必须严格控制焊接线能量,以减少焊接变形和焊接应力。门叶焊接时,合理安排施焊人数,由门叶纵向中心向两侧对称施焊。坡口焊缝均多层多道施焊,中间穿插释放应力。焊接顺序严格执行工艺要求。

支臂焊接的难点之一是连接圈与支臂侧面板的连接焊缝。连接圈为35#锻钢,加工后厚度分别为300 mm和160 mm,直径为1 300 mm,支臂侧面板厚度为36 mm。为满足焊接工艺要求,专门设计制做了一套加热及温控装置,对连接圈进行预热及保温。焊接过程采取连续施焊、控制层间温度、严格层间的清理并释放应力、焊后消氢处理并进行退火消应处理等措施,成功地攻克了这一难题。为减轻劳动强度,通过对埋弧自动焊设备进行革新,设计制作了一套能使埋弧焊机小车沿一固定弧线进行圆周运行并实现焊接的辅助定位装置,创新地将埋弧自动焊用于连接圈圆形焊缝的焊接,大大提高了焊接质量和焊接效率,缩短了工件的周转工期,取得了很好的效果。

为了减少焊接变形,在门叶面板、支臂等构件上根据其结构特点采取了一些预先反变形的措施,反变形量的值针对具体情况通过经验及计算确定。

(5)反弧门门体的机加工主要在数显落地镗铣床上进行。该机床主轴直径达220 mm,主柱横向行程为12 000 mm,主轴箱垂直行程为5 000 mm,镗轴行程为1 000 mm,主轴最大镗孔直径可达1 600 mm,同时,机床还配备有万向工作铣头,可进行不同方向的平面铣削及镗孔。在加工反弧门铰轴孔时,采取门体立装,用后立柱与镗床主轴支撑专用工装镗杆镗孔,使两侧支铰轴孔一次加工成形,加工后两支铰轴孔同轴度均达到规定的要求。图1为加工中的反弧门。



图1 加工中的反弧门

反弧门侧止水面的加工开始也是在数显镗铣床上进行的。由于两个侧面加工弧门需调转一次方向,造成二次加工找正校准相当困难,而且加工精度也不易保证,其后果易造成弧门组装状态时侧止水面的摆动量容易超差。经过反复研究探讨和试验,最终采取了弧门在组装状态调整好后再利用弧门启闭试验装置启升门体,在门体两侧用动力铣头加工工装进行侧止水面加工的方案,由于是在模拟工况状态下加工,其加工精度得到了有效的保证。

(6)反弧门的组装。在支铰轴与门体的组装中,由于反弧门整体尺寸大、重量重,为了避免门体的多次翻身,对于重达5 t的支铰轴采取了水平安装的方法,虽然增大了组装难度,但保障了门体组装的安全性。

支铰轴承座的组装。铰座是按设计的高度固定在混凝土浇筑的钢支架上,要求铰座高程偏差 $\leq \pm 1$ mm;铰座中心对假设的孔口中心线的距离 $\leq \pm 1$ mm;铰座中心对孔口横向准线的距离 $\leq \pm$

1 mm;铰座轴孔倾斜(任何方向) $\leq 1/2 000$;两铰座轴线的同轴度 ≤ 1 mm。铰座高度方向的调节由铰座上的顶丝孔用调节螺钉进行;纵横方向的调节采用预先在四周焊有带螺孔的调整块通过螺栓进行。

底坎埋件由于已先期交货,为此,专门设置了试验专用底坎,按设计要求的相对位置组装就位,调整底坎止水工作面的水平倾斜 ≤ 0.3 mm。为防止底坎埋件在承受闸门重量时产生位移,底坎除与预埋件连接外,还在底坎四周浇筑了混凝土挡墙进行加固。

(7)按照合同规定,反弧门制造加工完成后,在工厂要进行弧门动态模拟启闭试验(图2)。为满足弧门动态模拟启闭试验要求,制定了一套试验方案和试验程序,并专门设计、制造了一套反弧门模拟启闭试验工装及专用设备。采用液压启闭机顶升门叶进行模拟工作状态的启闭试验。其中设置有顶升油缸、专用吊耳及销轴、铰座、泵站以及电控装置等试验工装设施。



图2 反弧门动态模拟启闭试验示意图

在反弧门门体启闭升降全行程中,按标书规定及三峡工程标准要求,进行了各项试验和性能参数检测。检测过程中,首先将门叶起落不少于5次,检查支铰轴转动的灵活性、有无卡阻和异常。支铰检查合格后,再将门叶起落不少于3次,检查各项偏差,偏差值应稳定并应符合表2的规定。

反弧门动态模拟试验验收过程中,对表2中
(下转第78页)

流域梯级集控运行是流域梯级水电建设发展的必然趋势。流域梯级集控运行,一方面可以有效降低流域梯级电站运行维护人员的工作强度,节约人力资源,逐步实现流域梯级所有电站的无人值班运行模式,达到减人增效的目的;另一方面,可以提高流域的防洪能力。而且通过合理分配各电站的发电负荷,可以提高流域水资源的综合利用效率。实施流域梯级电站集控运行,符合建设资源节约型、环境友好型社会的要求,是实现节能减排目标的重要途径,对贯彻落实科学发展观,促进又好又快发展具有重要意义。因此,在条件具备的情况下,应积极探索实施流域梯级水电站的集中控制运行。

参考文献:

- [1] 陈云华,马光文.多市场下流域水电定价理论与优化运营[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 蔡治国,曹广晶,郑瑛.梯级水电站经济运行评估新方法研究与应用[J].水力发电学报,2011,30(2):15-19.

- [3] 白小勇,冉本银,李广辉.黄河上游梯级水电站群节水增发考核[J].水电自动化与大坝监测,2007,31(1):25-28.
- [4] 赵永生,赵遵廉,纪昌明.水电厂水能利用提高率考核问题探讨[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(1):40-43.
- [5] 黄炜斌,马光文,赵庆绪,等.基于联合国CDM方法学的水电站优化调度效益评价[J].水力发电学报,2013,32(2):84-88.
- [6] 马光文,刘金焕,李菊根.流域梯级水电站群联合优化运行[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [7] Wester, Philippus, Boundaries of Consent: Stakeholder Representation in River Basin Management in Mexico and South Africa, World Development Volume:31, Issue:5, May, 2003.
- [8] Lanini, S., Courtois, N., Socio-hydro-system modeling for integrated water-resources management—the Hérault catchments case study, southern France, Environmental Modeling and Software Volume: 19, Issue: 1172. November, 2004.

作者简介:

马青(1989-),女,四川成都人,硕士,从事水电经济分析及财务管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第49页)

的序号1的检测项目可使用塞尺进行直接测量,其它几项检测项目采用传统的测量方法和常规量具是不易进行直接测量的,为此,验收检测使用了较为先进的全站仪工业测量系统对闸门的静态形体尺寸及动态模拟起降试验进行了检查。全站仪是通过测量目标的测量得到测量目标所在点的三维坐标数据,电脑通过测量软件采集测量数据进行坐标生成与转换,最后通过分析计算得到所需的测量结果。从2000年10月至2001年11月,按照合同要求及三峡质量标准对我厂生产的24套反弧门分别进行了静态检测和动态模拟起降试验,全部顺利通过了专家组的验收。通过严格细致的静态和动态检测表明,其主要项和一般项的质量指标全部达到合同文件和三峡工程质量标准的规定,其中很多项还优于三峡工程质量标准,专家组认为这是“史无前例”的。三峡开发总公司领导指出:夹江厂生产的“24套反弧门代表着船闸系统钢结构中国的最高水平”。

(8)为确保反弧门防腐的涂装质量,根据其结构特点,采取在下料阶段或单元构件拼焊阶段

进行“预防腐”处理,即喷砂除锈后在涂装车间保养底漆。对门叶结构和支臂圆弧包板等封闭或半封闭的内腔,防腐涂装在结构拼焊过程中穿插进行。

(9)我们在反弧门施工过程中加强了质量监督和检验工作,加强了对工序的过程质量控制,尤其是在门叶、支臂的焊接过程中,设置适量的监测点,随时对焊接变形情况进行监控,以便及时对焊接程序进行调整或采取其它相应的对策。通过精心施工,严密监测,使制造质量得到了充分保证。

4 结语

三峡工程永久船闸输水廊道反向弧形工作闸门制造荣获了中国水利水电建设集团公司科技进步二等奖。反弧门的制造成功,保证了三峡工程永久船闸的按期建成,并为今后同类产品的制造积累了宝贵的经验。

作者简介:

李谦(1962-),男,天津市人,副总工程师,工程师,从事水电工程设备制造技术及管理工作。

(责任编辑:李燕辉)