

龙溪口航电枢纽千吨级船闸人字门加工技术的研究与应用

田文恒, 周菊兰

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:结合岷江龙溪口航电枢纽船闸人字门的加工实例,从人字门门叶加工工艺的优化设计、加工设备的研制与应用、加长镗杆及刀盘的研制与应用等方面介绍了千吨级船闸人字门的加工技术,解决了传统加工工艺在加工设备、找正装夹、加工精度控制等方面存在的多项施工难题,为千吨级船闸人字门及其他大型结构的加工提供了一种新的思路和方法,具有较好的参考价值与借鉴意义。该技术已获得一项实用新型专利授权。

关键词:龙溪口航电枢纽;船闸;人字门;加工工艺;加工设备

中图分类号:TV7;TV52;TV547.1

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)03-0001-04

Research and Application of Processing Technology for Thousand-ton Shiplock Miter Gate of Longxikou Navigation and Hydropower Project

TIAN Wenheng, ZHOU Julian

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: Combined with the processing example of the miter gate of the Longxikou Navigation and Hydropower Project in Min River, this paper introduces the processing technology of the optimization design of miter gate of thousand-ton shiplock from the aspects of optimization design of processing technology, development and application of processing equipment, development and application of lengthening boring bar and cutterheads, etc., solving many construction problems of traditional processing technology in the aspects of processing equipment, fixing and clamping, processing precision control, etc. It provides a new idea and method for the machining of miter gate and other large-scale structures of ship lock of thousand-ton class, and has a better reference value and significance. The technology has granted a patent for utility models.

Keywords: Longxikou Navigation and Hydropower Project; Shiplock; Miter Gate; Processing technology; Processing equipment

1 概述

龙溪口航电枢纽工程位于四川岷江干流下游河段,是岷江下游河段(乐山—宜宾)四个航电枢纽规划梯级中的最末一级,其上游为犍为航电枢纽工程。岷江龙溪口航电枢纽工程的坝址位于乐山市犍为县新民镇上游约 1 km 处,距离乐山市约 84 km,距离成都市约 214 km。该枢纽的总库容约为 3.24 亿 m^3 ,装机容量为 480 MW,为河床式电站。该枢纽以航运为主,航电结合,兼顾防洪、供水、环保等综合利用。该枢纽船闸布置于右岸主河槽靠岸处,主要由上游引航道、上闸首、闸室、下闸首及下引航道等组成,全长 1 365.84 m。

船闸等级为Ⅲ级,通航 1 000 t 级船舶,闸室有效尺寸为 220.0 m(长)×34.0 m(宽)×4.5 m(门槛水深),设计水头为 17.94 m,可通行 2×1 000 t 船队。上闸首人字门的单扇规格为 20.2 m(宽)×17.2 m(高)×3.02 m(厚),共 2 扇;下闸首人字门的单扇规格为 20.2 m(宽)×24.0 m(高)×3.22 m(厚),共 2 扇,均为超大型人字门。

船闸作为一种水运枢纽设施,主要用于控制和调节船舶在水上的运行。船闸通过设置闸门和充水廊道可以根据需要控制闸室内的水位高度以满足大坝上下游船只的互通条件,使船只得以顺利通过。船闸工程中人字门的应用较为广泛,人字门的开启和关闭是以其自身的顶、底枢中心线

收稿日期:2024-03-24

为旋转轴水平旋转实现的。由于人字门结构复杂其结构制造及加工工序繁多,在拼装、焊接、加工、零部件配合、工地安装等施工环节中可能会产生各种不同的误差或偏差,如顶、底枢中心的同轴度偏差,底枢蘑菇头与底枢球瓦配合的偏差,左右扇人字门的导卡配合偏差,左右扇人字门兼做刚性止水的支、枕垫块的配合偏差,人字门吊耳轴孔与启闭机的配合偏差等。在一定条件下,这些偏差可能会影响到人字门的运行效果。因此,必须结合人字门门叶结构的特点及零部件的装配关系,有针对性地开展相应的技术创新并优化加工工艺以提升其加工质量。为此,项目部通过对人字门主要零部件的加工方案、加工工艺方法、加工设备、加工刀具进行分析和研究,优化了人字门门叶结构及主要零部件的加工和装配工艺,设计并自制了与加工部位相适应的加工设备和加工刀具,笔者归纳总结并提炼出了人字门门叶结构多位一体加工(在同一装夹状态下完成多个部位的加工,以下简称多位一体加工)、人字门安装现场镗孔、主要零部件配对研磨等主要加工技术。

2 千吨级船闸人字门门叶加工工艺优化设计

人字门门叶需要加工的部位包括:与底枢上盖接触的底主梁端腹板面,与导卡底面接触的顶主梁端腹板面,顶枢轴孔,与启闭机联接的吊耳轴孔。

人字门门叶的传统加工工艺为单扇人字门门叶经整体大组装机完成加工基准线、检查线的放样划线后,将单扇人字门门叶拆分为单节门叶,分别将顶节门叶、底节门叶吊装到落地镗铣床等大型设备上加工。随着水上交通的发展,近年来新建或改扩建的船闸主要为Ⅲ级船闸,其闸室宽度达34.0 m,而单扇人字门的宽度已达20.2 m,厚度已大于3.0 m,后期还会建设更大的船闸,人字门的外形尺寸也将进一步加大。以现有的Ⅲ级船闸人字门门叶加工而言,采用传统的加工工艺对其所需要的加工设备提出了较高要求,需要较大型号的加工设备以及具有装夹工件所需占用的较大空间(如选用落地镗铣床加工,其主轴升降高度应大于3.5 m,主轴横向移动长度应大于3.0 m,主轴伸出长度应大于2.0 m,主轴横向移动方向应具有长度大于37.0 m的空间才能够满足装夹工件的需要)。此外,由于各加工部位之间的间距较大,一个工位加工结束后需拆开夹具对工件

进行二次找正装夹,加之千吨级船闸人字门外形尺寸大,找正装夹费工费时,且因多次找正装夹将进一步加大累计误差。因此,必须创新技术并优化加工工艺以更好地适应千吨级船闸人字门门叶的加工需求。为此,项目部通过对加工工艺进行优化设计,并根据人字门门叶各待加工部位的特点研究出与之更加适合的加工设备、镗杆、刀具及加工工艺,在单扇人字门门叶整体拼装状态下经放样划线^[1]后完成对其多个待加工部位的加工作业。而对于顶枢轴孔的加工,考虑到各单节人字门门叶运至工地安装后其安装偏差、焊接收缩等对顶、底枢中心同轴度的影响,在工厂内对顶枢轴孔进行加工时预留了一定的加工余量,待人字门门叶经工地安装焊接完成后再将其精镗至图纸尺寸。

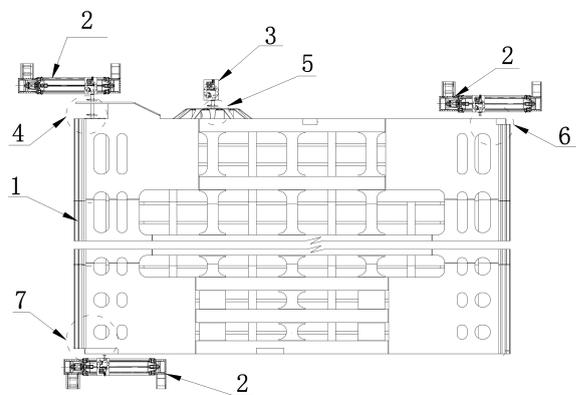
3 加工设备的研究与应用

项目部技术人员根据千吨级船闸人字门门叶加工时其单扇门叶呈整体卧式拼装状态,对于采用固定式加工设备难以实现的加工作业开展了移动式加工设备的研究。结合单扇人字门门叶整体卧式拼装状态下待加工的底主梁端腹板面、顶主梁端腹板面离地面高且面积较大的特点,研制出具有大面积加工能力且可根据需要吊装转移并具有X、Y、Z三个轴向自动给进功能的门架式移动镗铣床。该门架式移动镗铣床主要包括门形机架、升降机构、切削机构、润滑系统、电气控制系统、电气配电箱、操作盘。门形机架上焊接有吊耳,为门形机架提供了较好的刚性和稳定性,使其能够吊运方便,切削稳定。在需要对人字门底主梁端腹板面、顶主梁端腹板面进行加工时,将所研制出的门架式移动镗铣床分别吊至人字门底主梁端腹板面、顶主梁端腹板面位置找正装夹稳固后即可进行相应的加工作业。

对于顶枢轴孔的加工,采用工厂内粗加工预留加工余量待人字门门叶运至工地安装焊接后在工地现场精镗^[2]至设计图纸尺寸的加工工艺。针对工厂内加工时因单扇人字门门叶结构呈整体卧式拼装状态,加工设备为门架式移动镗铣床,但因顶枢轴孔为双腹板轴孔,其顶枢轴孔直径较大且距机床主轴较远,普通镗杆满足不了加工要求的问题,项目部技术人员研制了多用途加长镗杆及刀盘。该镗杆外圆上加工有花键,刀盘内孔加工

有花键槽,刀盘上设置有刀盒用于安装镗刀,刀盘内孔与镗杆外圆形成花键配合联接,刀盘可以在镗杆上移动并通过螺栓紧固在镗杆上。镗孔前,找正镗杆后设置镗杆稳定座^[3]以提高镗孔时镗杆的稳定性。镗孔时,在镗杆上可安装两个刀盘以同时对顶枢轴孔的两个孔进行镗孔,进而提高了镗孔效率和同轴度精度。

在具备多台(套)移动式加工设备的条件下,人字门的底主梁端腹板面、顶主梁端腹板面、顶枢轴孔、吊耳轴孔等多个部位的加工可以同时进行。所研究出的人字门多位一体加工系统见图 1。



图中:(1)单扇船闸人字门;(2)门架式移动镗铣床;
(3)卧式镗孔机;(4)粗镗顶枢轴孔;(5)加工吊耳轴孔;
(6)加工顶主梁端腹板面;(7)加工底主梁端腹板面

图 1 人字门多位一体加工示意图

船闸人字门门叶在工地安装焊接后呈立式状态,其顶枢位置作业面较小,采用常规设备对顶枢轴孔进行加工十分困难。为此,项目部根据工地吊装条件和顶枢轴位置作业面较小等实际情况开展了加工设备的技术创新,研制出移动式立式镗孔机。该移动式立式镗孔机主要包括立式机架、镗铣动力头,在立式机架上设置有万向水平泡珠用于找正调平时的水平度显示,辅助快速找正装夹。该移动式立式镗孔机结构紧凑,占地面积小(长 1 m,宽 0.8 m,占地 0.8 m²),重量约为 800 kg,轻便灵活,便于吊装、转运。船闸人字门门叶现场安装后,将该移动式立式镗孔机吊至顶枢轴孔位置找正装夹固定后,利用上述已研制出的多用途加长镗杆及刀盘完成对顶枢轴孔的精镗至设计图纸尺寸。人字门顶枢轴孔工地镗孔情况见图 2。

对吊耳轴孔进行加工时应结合人字门门叶的

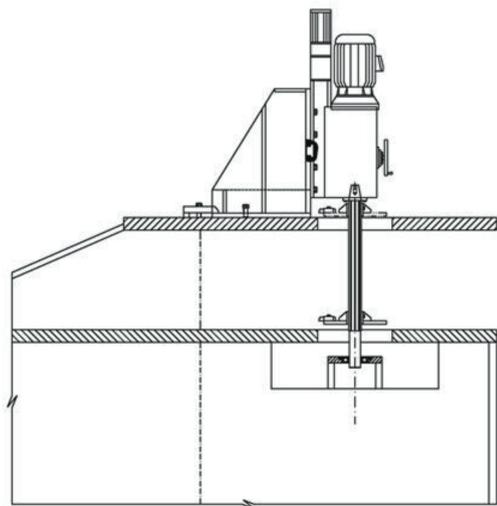


图 2 人字门顶枢轴孔工地镗孔示意图

结构特点和人字门门叶结构拼焊方案研究确定相应的加工工艺,如其吊耳是按照独立模块制造后运至工地安装的,则其是在工厂内完成吊耳模块拼焊后采用常规的加工设备完成吊耳轴孔的加工,如船闸人字门在工厂内制造时其吊耳与门叶结构是拼焊为一体的。在单扇人字门门叶整体拼装状态下对其吊耳轴孔进行粗镗并预留加工余量,待人字门工地安装焊接完毕再将其精镗至设计图纸尺寸。

4 主要零部件的加工与装配

(1)底枢装置的加工及装配。底枢装置主要包括底枢底座、底枢上盖、底枢球瓦、蘑菇头。在岷江龙溪口航电枢纽船闸工程中,底枢底座、底枢上盖的材料均为 ZG35CrMo,采用常规加工工艺加工即可。底枢球瓦的材料为铜基镶嵌自润滑材料,其按成品进行采购。蘑菇头的基体材料为 35 号锻钢,采用数控车床完成粗加工,然后对蘑菇头的球面堆焊不锈钢,堆焊顺序为从下至上围绕蘑菇头球面水平圆环一圈一圈焊接,采用小电流、小电压、窄焊道、分段退步、多层多道^[4]的焊接方法施焊。蘑菇头球面堆焊结束后,采用数控车床对其精加工至设计图纸尺寸。加工时定出蘑菇头中心位置并做出标记,待底枢球瓦与底枢上盖装配后,对蘑菇头与底枢球瓦进行配对研磨以控制蘑菇头的球面与底枢球瓦面的接触面应集中在顶部圆心角 20°~120°范围内,接触面上的接触点数在 25 mm×25 mm 范围内应不少于 1~2 个。

(2)支垫块、枕垫块的加工与研磨。岷江龙溪口航电枢纽船闸左右扇人字门关闭挡水时,其人字门斜接端的左右支垫块贴合承受人字门的拱推力并兼作中止水,人字门门轴端的枕垫块与支垫块贴合承受人字门的拱推力并兼作侧止水。这些支垫块、枕垫块的材料为锻不锈钢,经分段锻造后采用常规数控铣床完成加工,然后通过配对研磨使其止水面达到紧密贴合状态,其局部间隙不得超过 $0.05\text{ mm}^{[5]}$ 。

该千吨级船闸人字门加工技术的实施,解决了采用传统加工工艺对固定式加工设备要求高、找正装夹费工、费时、加工效率低、加工精度控制难度大等多项施工难题,显著改善了作业条件,极大地提高了船闸人字门尤其是千吨级船闸人字门的加工效率和加工质量,促进了船闸人字门制造水平的提升,取得了提高生产效率、缩短制造工期、降低生产成本的良好效果,并获得一项实用新型专利[移动式镗孔机(专利号:ZL201921172429.3)]的授权。

5 结 语

笔者结合岷江龙溪口航电枢纽千吨级船闸人字门的结构特点,从加工工艺的优化设计、加工设备和加工刀具的研制等方面进行了创新,探索出了多种不同的移动式加工设备和加工方法,并在岷江龙溪口航电枢纽千吨级船闸人字门的制造和安装中进行了应用,解决了传统加工工艺在加工设备、找正装夹、加工精度控制、工地现场镗孔等方面存在的多项施工难题。在提高质量、提高施工效率、降低生产成本等方面取得了良好效果,具有较好的参考价值和借鉴意义。

该千吨级船闸人字门加工技术的研究与应用,丰富了船闸人字门的制造与安装方法,为船闸人字门及其他类似产品的加工设备技术创新和加工工艺优化提供了一种新的思路和方法,创新性地解决了施工难题,提升了人字门加工技术和工艺水平。通过该千吨级船闸人字门加工技术实施取得的实效,笔者获得了以下几点启发:(1)根据产品结构特点和不同部位的加工需求经优化设计出更加合适的加工工艺并创新加工设备有利于解决大型结构的加工难题。(2)门架式移动镗铣床、移动式立式镗孔机、移动式简易卧式镗孔机等移动式加工设备和多用途加长镗杆及刀盘的研制与应用丰富了加工方式并促进了加工能力的提升。(3)后期可对其进行拓展以对其他产品,尤其是大型构件的加工技术、加工设备、加工工艺及加工工具的研究助力,持续科技创新以促进人字门加工技术水平的提升。

参考文献:

- [1] 田文恒,黄成林. 键为航电枢纽船闸人字门制造的关键工艺[J]. 四川水力发电,2020,39(4):61-64.
- [2] 水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范:GB/T 14173-2008[S].
- [3] 金属切削机床机械加工作件通用技术条件:GB/T 25376-2010[S].
- [4] 水工金属结构焊接通用技术条件:SL 36-2016[S].
- [5] 水电工程钢闸门制造安装及验收规范:NB/T 35045-2014[S].

作者简介:

田文恒(1971-),男,云南昭通人,正高级工程师,从事水电工程金属结构施工技术与管理工;

周菊兰(1971-),女,四川资中人,副高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。(编辑:李燕辉)

四川省水力发电工程学会与中国水力发电工程学会 继电保护与励磁专委会座谈交流

2024年3月12号,四川省水力发电工程学会与到访的中国水力发电工程学会继电保护与励磁专委会座谈交流。继电保护与励磁专委会秘书长陈小明、副秘书长黄福强等4人与学会秘书处常务副秘书长冯建明、办公室副主任廖鹏、《四川水力发电》常务副主编廖成刚参加了座谈。(学会秘书处 冯建明)

四川省水力发电工程学会荣获2023年度中国水力发电工程学会 “学会工作先进集体”表彰

近日,中国水力发电工程学会分支机构和省级学会负责人工作会议在贵阳市召开。中国水电学会分支机构及省级学会负责人共120余人参加了会议。会上,四川省水力发电工程学会荣获2023年度中国水力发电工程学会“学会工作先进集体”荣誉称号。(学会秘书处 冯建明)