

弧门面板加工新工艺的探索与应用

杜 静 侠¹， 彭 建 国²， 田 文 恒¹

(1. 中国水利水电第十工程局有限公司,四川 都江堰 611830;2. 四川岷江港航电开发有限责任公司,四川 成都 614400)

摘 要:针对弧门面板加工难度大以及常规加工方式存在受大型特种加工设备制约、加工繁琐等不足,介绍了锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门采用移动式加工设备完成对其面板进行整体加工的工艺方法,方便快捷地完成了加工作业,效果良好,为弧门面板加工及其它类似的加工作业提供了一种新的思路和方法,具有较好的参考价值和借鉴意义。该工艺已授权 2 项实用新型专利并正在申请 1 项发明专利。

关键词:锅浪跷水电站;弧门;移动式加工设备;整体加工工艺
中图分类号:TV7;TV732.7;TV732.1 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)06-0083-04

Exploration and Application of New Processing Technology for Radial Gate Panel

DU Jingxia¹, PENG Jianguo², TIAN Wenheng¹

(1. Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830;

2. Sichuan Minjiang Port & Channel Electric Power Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 614400)

Abstract: In view of the difficulty in radial gate panel processing and the disadvantages of conventional processing methods such as being restricted by large-scale special processing equipment and being tedious in processing, this paper introduces the technological method of the movable processing equipment for the radial gate of the middle hole spillway cavity of the Gulangqiao Hydropower Station, which completes the processing work conveniently and quickly with good effect. It provides a new idea and method for radial gate panel processing and other similar processing operations, and has a good reference value and significance. The processing technology has been authorized for two utility model patents and submitted to applying for one invention patent.

Key words: Guolangqiao Hydropower Station; radial gate; mobile processing equipment; complete processing technology

1 概 述

锅浪跷水电站位于四川省雅安市天全县紫石乡境内,距天全县城 37 km,距雅安市约 72 km。工程布置有混凝土面板堆石坝、表孔溢洪洞、中孔泄洪放空洞、生态机组、引水系统及电站厂房等,电站装机容量为 220 MW。锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门为潜孔弧形闸门,孔口尺寸为 4 m(宽)×4.4 m(高),门叶宽度为 4 m,弧门面板外缘弧面半径为 9 504 mm±2 mm,设计水头 100 m。该弧门的结构形式为双主横梁直支臂结构,主横梁和支臂为箱型结构,弧门面板及止水均布置于上游侧,弧门面板外缘为贴焊不锈钢板,门叶结构、支臂结构和铰链在厂内整体组装后须对

门叶面板外缘的不锈钢弧面进行整体机加工后方可使用,该加工面弧长约 7.5 m。门叶结构不分段,制造后为一个门叶结构并整体运输至工地。

在水利水电工程中,弧形闸门的应用较为广泛,要求对面板进行加工的弧形闸门主要是水头较高的深孔(潜孔)弧形闸门,该类弧形闸门的设计水头高达近 100 m,有的甚至超过 100 m,故对其止水效果有更高的要求。尤其是在弧形闸门启闭过程中,由于面板弧度偏差而导致顶止水射水会引发弧门震动、进而影响到弧门的安全运行,因此,必须对弧门面板进行加工以提高其止水效果。但此类弧形闸门的孔口尺寸和弧门尺寸通常不大,比露顶式弧形闸门和低水头潜孔弧形闸门小很多,锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门即属于闸门尺寸不大、但面板要求加工的高水头潜

收稿日期:2021-12-01
专利号:ZL2020 2 1003873.5
专利号:ZL2020 2 3116108.7

孔弧形闸门。此类弧形闸门面板加工的难点在于其加工后既要满足弧度要求,又要达到门叶结构、支臂结构与弧门铰链整体拼装的要求,因而对加工设备和加工工艺提出了更高的要求,致使弧门面板加工不易实现且难以普及,看似普通的弧形闸门却存在较大的制造难度,必须对其实施技术创新并优化工艺以提升弧门面板加工的能力。

2 弧门面板加工方式研究

目前该类常规弧门面板加工的方式主要有:(1)采用数控镗床,将单节门叶结构装夹在数控镗床的工作台上完成弧面加工;(2)在门叶结构、支臂结构与铰链整体组装的状态下,采用工艺支臂支承镗铣设备,工艺支臂可绕铰链轴孔中心旋转,待镗铣设备一个工位的横向加工结束后,工艺支臂绕铰链轴孔中心旋转使镗铣设备进入下一工位进行加工,依此类推,完成弧门面板的整体加工作业。第一种加工方式以单节门叶结构为加工单元依次完成弧门面板的加工。加工前,需将门叶结构、支臂结构与弧门铰链整体拼装以确定加工基准,分解后再进行面板加工,其弧门面板的加工效果需待门叶结构、支臂结构和弧门铰链再次整体组装后才能体现,工作量较大且对加工设备的要求高。而第二种加工方式则需要一些如基坑等特殊场地内进行,且加工前需完成工艺支臂及工艺铰链、镗铣设备的安装和调试,工作量大,加工过程操作繁琐,加工效率低并存在大量高空作业,安全风险高。两种方法均存在多种弊端且不易实施。

项目部技术人员经过多方面的分析比对,针对锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门面板贴焊不锈钢板的结构特点及目前常规的弧门面板加工工艺存在的不足,综合现有加工设备、加工工艺、加工质量、加工状态、加工场所、施工安全等多种因素开展了大量的技术创新和实践,不断探索新的加工工艺与方法,研制并推荐了一种新的加工工艺方案,即采用移动式加工设备进行弧门面板整体加工的工艺方案。具体为:弧门门叶结构侧卧与支臂结构和铰链整体组装后,将移动式加工设备吊至弧门面板外缘一侧找正装夹后对弧门面板外缘进行加工。该工艺方案具有的主要优点:(1)实现了弧门面板整体加工,有利于对整体尺寸的控制。(2)加工设备制备费用低且具有较好的灵活性和适应性,能够适应弧门组装位置和

加工部位的变化,加工作业场所可选择面广、加工费用低。(3)弧门侧卧式整体组装高空作业少,加工设备的找正装夹方便,加工操作灵活,加工尺寸的测量控制简单并准确。(4)只需进行一次弧门整体组装(即面板加工结束后整体组装状态不变,完成侧轮等部件装配和自检合格后即可开展相应的验收工作),施工成本低。该工艺存在的缺点主要是:移动式加工设备需装夹2~3次才能完成全弧面的加工作业,加工设备的多次找正装夹将占用一部分加工时间。

综合上述弧门面板加工方式的分析比对可以看出:新的加工工艺方案优点突出且易实现弧门面板的整体加工,加工费用和施工成本低。虽然移动式加工设备的多次找正装夹会占用一部分加工时间,但加工设备的找正装夹时间较短,对加工效率的影响较小。分析比对后最终确定采用移动式加工设备进行弧门面板整体加工的工艺方案对锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门面板进行整体加工。

3 加工设备的研制

加工方式决定着加工工艺的制定,因此,选择合适的加工设备是其关键。技术人员根据现有实际条件,群策群力,不断改进,设计并制作了一台移动式加工设备。该移动式加工设备的主体结构为钢结构框架结构,具有很好的刚性,能够满足吊装转移不变形、加工稳定性好的要求。其导轨采用铸铁加工而成,切削动力为15 kW的镗铣动力头,变频无级调速电机通过丝杆传动实现镗铣动力切削进给。该移动式加工设备具有X、Y、Z三坐标方向的自动进给切削,镗铣动力头还能在XY水平面内和YZ立面旋转任意角度,加工时具有5坐标镗铣功能。根据加工需要,将该移动式加工设备吊装布置到所需要的位置找正装夹后即可进行加工作业,能够适应工件的装夹位置和加工部位的变化。该移动式加工设备不仅能实现弧门面板的加工,还能应用于其它产品的镗铣加工,其一次装夹加工范围大,适用范围广。

4 弧门面板加工工艺及控制措施

4.1 创建三维模型模拟加工

为实现加工作业的顺利进行,提升加工质量,技术人员应用BIM技术,依据设计图纸创建了门叶结构、支臂结构和铰链三维模型^[1],并在三维软

件中完成了整体组装和模拟加工,完善并优化了工艺,确保了各项作业精准受控。

在三维软件中,通过设定相应的碰撞检测规则进行碰撞检测,根据碰撞检测结果快速定位碰撞点并检测整体组装状态下各部件之间配合的准确性,以便为进一步优化弧门面板外弧面贴焊不锈钢板的工艺方法和面板整体加工工艺提供参考。利用三维模型进行三维可视化施工技术交底,使施工技术交底更加形象和准确。运用 BIM 三维管理平台,在贴焊不锈钢板、整体组装、整体加工等施工过程中,按照相关三维标准录入相应的施工过程信息,确保了加工的及时性及准确性。

4.2 工作平台的搭设及基准放样

根据弧门尺寸和场地的实际情况,搭设了一个主工作平台和一个辅助工作平台(均采用型钢在地面上搭设框架并在框架上铺设钢板),两个工作平台钢板上平面的整体水平度不大于 2 mm。主工作平台的大小满足移动式加工设备及弧门门叶结构侧卧状态装夹即可,辅助工作平台布置在弧门整体组装时弧门铰链轴孔对应的地面上,辅助工作平台为 1 m(长)×1 m(宽)。工作平台搭设完成后,在主工作平台的钢板平面上放样划出弧门面板贴装不锈钢板的基准线、弧门面板加工基准线及检查线,在辅助平台的钢板平面上放样划出弧门铰链轴孔中心基准点并做好相应基准的标识。

4.3 弧形闸门整体拼装及面板贴焊不锈钢板

以主工作平台上划出的基准线为基准,将弧门门叶结构侧卧状态找正装夹固定在主工作平台上。为避免后续加工过程中铣刀盘加工至下端时对工作平台产生干扰,将门叶结构圆弧端面与主工作平台之间预留 100~150 mm 的间距。将弧门的左、右支臂结构分别组装为一体并与对应铰链联接后呈水平状态吊至与门叶结构进行组装。组装结束后,检查两铰链轴孔同心度、支臂对角线误差、铰链中心与门叶中心的偏差^[2]等且需满足相关规范要求。为利于弧门铰链轴孔同轴度控制以及其它以铰链轴孔中心线为基准的尺寸检测,在铰链轴孔两端设置线夹,将穿过两铰链轴孔中心的钢琴线两端分别固定在线夹上,测量时以钢琴线为基准采用钢尺直接完成测量以提高尺寸检测的准确性,避免因多个相对尺寸测量后相加引

起的累计误差或间接尺寸测量造成的尺寸偏差。

根据锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门设计图纸的要求,其面板贴焊不锈钢板。为便于不锈钢板贴装并减少弧门整体拼装次数,需在弧门整体拼装的状态下完成不锈钢板的贴装和焊接。首先,在弧门面板外弧面上放样划出不锈钢板贴装基准线,完成贴焊基准线形成的区格尺寸测量和区格编号,然后在计算机上排料并设置塞焊孔,塞焊孔呈梅花桩分布,塞焊孔直径为 14~16 mm,不锈钢板之间的对接拼装间隙按 8~10 mm 控制。采用等离子数控切割机完成不锈钢板的分块切割下料,分块下料后采用压膜进行弧度压制并做好编号。不锈钢板贴装时按对应编号依次进行,确保不锈钢板对接焊缝处于门叶梁隔腹板的对应位置,不锈钢板与弧门面板之间须贴合紧密。在准确贴装过程中,其横向直线度和弧度、横向直线度可采用吊线锤测量,弧度采用钢尺以铰链轴孔中心钢琴线为基准直接测量并控制圆弧端面处的半径。

不锈钢板与弧门面板之间的焊接采用 CO₂ 气体保护焊,选用不锈钢实芯焊丝,焊丝直径为 1.2 mm,焊接电流为 150~200 A,焊接电压为 30~35 V,先焊塞焊,后焊对接焊。焊接时焊工呈对称分布,采用小焊接参数焊接以降低焊接线能量并减少热量输入,降低焊接变形,采用分段、间隔、退步、多层多道^[3]的焊接方法。焊接过程中,各焊工统一步调,焊接电流、焊接电压、焊接速度基本保持一致。

4.4 弧形靠模的制备及安装

为快速准确地完成加工时对刀及进刀量的控制,提高弧面半径的精度和加工效率,技术人员自制了一件标准弧形靠模,以该靠模为基准控制进刀。弧形靠模的弧度经检查复核无误后找正并将其固定在弧门面板圆弧端面(即门叶结构侧卧状态的上水平面)上。

4.5 加工设备就位及加工

将移动式加工设备吊至弧门面板外圆弧一侧找正装夹固定,门叶结构、支臂结构与铰链整体组装门叶结构呈侧卧状态。锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门面板加工情况见图 1。

合理布置移动式加工设备的装夹位置,充分利用一次装夹的有效加工范围以减少移动式加工

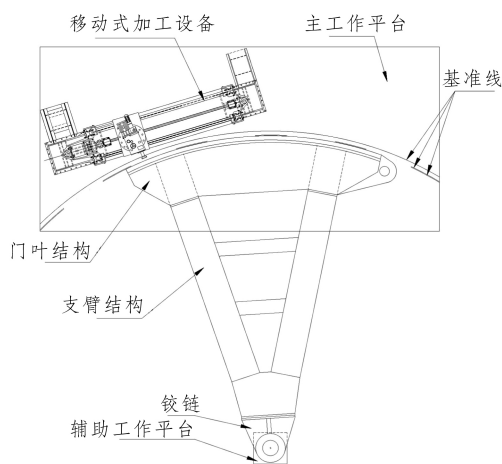


图1 锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门面板加工示意图

设备的装夹次数。移动式加工设备装夹固定后,将镗铣动力头上升至弧形靠模位置,以弧形靠模为基准调整镗铣动力头的水平角度将铣刀盘对正弧门面板^[4],使铣刀盘主轴中心延长线通过弧门面板的圆心。准备工作就绪后,移动式加工设备的升降机构带动镗铣动力头从上向下完成一个工步的切削加工,镗铣动力头上升至顶部,在水平传动机构的作用下带动镗铣动力头横向移动进行下一工步的对刀及切削,依此类推完成移动式加工设备一次装夹有效加工范围内的弧门面板加工作业。待移动式加工设备一次装夹有效加工范围内的加工作业完成后,松开移动式加工设备的装夹压板,将移动式加工设备推移至下一个位置装夹固定后,参照上述步骤继续进行加工作业,依此类推,完成弧门面板全位置加工。

加工用的刀盘直径^[5]不宜选择过大,加工时分粗加工、半精加工及光刀。根据不锈钢面加工导热快、容易引起烧刀的问题(加工过程中出现烧刀会影响加工质量),应选择耐热刀片且镗铣动力头主轴加工转速不宜过高,同时,加工过程中采用乳化液对刀片进行冷却。

由于加工是沿弧门面板横向进行的,接刀位置会产生棱角。为减小接刀棱角的高度,加工用的铣刀盘直径以60~80 mm为宜,加工进刀时刀盘可覆盖上一道切削边10~20 mm,依此类推进行加工以减小加工刀痕宽度,从而降低接刀处的棱角高度,结合抛光机打磨配合提高加工质量。一定要加大弧面加工的检查力度,发现超差时应

及时排查原因并进行消除。弧门面板加工结束后,在不锈钢加工面涂抹油脂并粘贴防锈油纸进行保护。后期进行吊转、放置或运输装车时应采用橡胶板(皮)隔垫,以避免损伤不锈钢加工面。

弧门面板加工结束后,弧门整体组装状态不变,完成侧轮等部件装配和自检合格后即可开展相应的验收工作。施工过程中,一定要做好安全防护,正确使用劳保用品,确保安全施工。

该工艺的实施,取得了提高加工效率、缩短制造工期、降低生产成本、使弧门面板加工变得容易实现等良好效果并获得了2项实用新型专利[移动式框型镗铣床(专利号:ZL2020 2 1003873.5)和弧形闸门面板加工装置(专利号:ZL2020 2 3116108.7)]授权,正申请1项发明专利[弧形闸门面板加工装置及加工方法(专利号:202011530722.X)],已公开并进入实质性审查。专利还应用在超大型人字闸门整体组装状态下的平面加工和镗孔、超大型平面定轮闸门整体拼装状态下的镗孔加工及其它产品的加工作业等,实用性广,能满足多种不同的加工需求,解决了超大型闸门整体加工难题并提高了整体尺寸精度和生产效率,缩短了制造工期。

5 结 语

结合弧形闸门的结构特点及设计技术要求,基于弧形闸门面板加工难度大以及常规弧门面板加工方式存在的不足,技术人员通过进行大量的分析比对,开展科技创新、工艺优化及加工设备的研究,探索出采用移动式加工设备完成弧形闸门整体拼装状态(门叶结构侧卧状态)下的弧门面板整体加工工艺和方法并在锅浪跷水电站中孔泄洪放空洞工作弧门面板整体加工中进行了应用,方便快捷地完成了加工作业,使弧门面板加工难度显著降低,加工质量及精度均达到设计及规范要求,一次性通过了验收。

该工艺的应用丰富了弧门面板加工的工艺方法,为弧门面板加工以及其它类似加工作业的技术创新和工艺优化提供了一种新的思路和方法,创新地解决了施工难题,提升了施工技术和工艺水平,具有较好的参考价值和借鉴意义。鉴于该移动式加工设备需装夹2~3次才能完成全弧面的加工作业,后期应对减少装夹次数、快速找正装夹等方面进行进一步的研究。(下转第91页)

由表 8 及图 4 可以看出:顶拱回弹量大的主要原因——附着性差回弹、喷射过厚回弹经采取以上控制措施后已由关键的少数变为次要的多数,其现状得到了良好的改善。由调整后的四面山隧道湿喷混凝土回弹率统计表(表 9)可知:湿喷混凝土回弹率已达 16.44%,小于设计值 20%。

6 结 语

以江习高速四面山特长隧道大断面湿喷混凝土回弹率大的问题为例,严格遵循 PDCA 程序,以解决现场实际问题为导向,客观事实为依据,结合室内试验和施工情况,通过现场应用验证了使用效果,解决了湿喷混凝土回弹率大的问题,降低了湿喷混凝土回弹带来的成本支出,保证了四面山隧道的如期贯通,获得了良好的社会效益,形成了关于大断面湿喷混凝土支护施工质量控制的流程,所取得的经验可为后期类似工程遇到同类问题提供参考。

=====

(上接第 86 页)

参考文献:

[1] 于尧.浅谈水工金属结构专业设备三维模型创建和编码应用[J].城市道桥与防洪,2019,36(11):172-174.

[2] 水电工程钢闸门制造安装及验收规范,NB/T35045-2014[S].

[3] 水工金属结构焊接通用技术条件,SL36-2016[S].

[4] 田文恒.充压止水弧门变形控制及面板整体加工技术[J].四川水力发电,2012.31(4):28-30.

[5] 金属切削机床机械加工作件通用技术条件,GB/T 25376-2010

参考文献:

[1] 蒋登辉.新奥法在隧道工程施工中的应用[J].黑龙江交通科技,2019,42(3):155-156.

[2] 吴波,高波.锚喷支护隧道围岩稳定性粘弹性分析及应用[J].地下空间,2002,22(4):306-309+371.

[3] 王勇.论人机料法环在施工质量管理中的应用[J].山西建筑,2018,44(7):252-253.

[4] 普通混凝土配合比设计规程,JGJ55-2011[S].

[5] 公路隧道施工技术规范,JTG/T3660-2020[S]

作者简介:

康建荣(1979-),男,甘肃天水人,科研设计咨询公司总经理,正高级工程师,学士,从事试验检测技术与管理工作;

罗 鹏(1989-),男,陕西宝鸡人,工程师,二级建造师,从事试验检测工作;

吕彩云(1991-),女,山西昔阳人,助理工程师,从事试验检测工作;

潘新元(1991-),男,四川西昌人,助理工程师,从事试验检测工作.

(责任编辑:李燕辉)

[S].

作者简介:

杜静侠(1976-),男,四川平昌人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

彭建国(1968-),男,四川合川人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

田文恒(1971-),男,云南昭通人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

卡洛特水电站首台机组具备发电条件

2021 年 12 月 28 日,由水电七局承担安装任务的“一带一路”首个大型水电投资建设项目——巴基斯坦卡洛特水电站首台机组完成有水调试,具备并网发电条件。

卡洛特水电站是巴基斯坦境内吉拉姆河(Jhelum)规划 5 个梯级电站中的第 4 级,上一级为阿扎德帕坦(Azad Patan),下一级为曼格拉(Mangla)。工程为单一发电任务的水电枢纽,电站装设 4 台单机容量为 180 兆瓦的水轮发电机组,总装机容量 720 兆瓦。

卡洛特水电站是迄今为止中国公司在海外投资在建的最大的水电项目,建成投产运行后,其发电量能够满足当地 500 万人的用电需求,能够有效缓解巴基斯坦国的电力短缺问题,推动巴基斯坦能源建设和社会发展。同时,卡洛特水电站也是“中巴经济走廊”能源合作优先实施项目和“一带一路”首个大型水电投资建设项目,是首个被写入中巴两国政府联合声明的水电投资项目。

2015 年 4 月,中巴两国领导人共同按下启动开工球,电站破土动工;2020 年 2 月 13 日,全部机组座环吊装完成;2021 年 5 月 2 日,首台(1 号)机组转子吊装完成;2021 年 11 月 20 日,电站正式下闸蓄水;2021 年 12 月 15 日,首台机组进行有水调试。

(中国水电七局国际工程公司 供稿)