

万安水利枢纽二线船闸人字门端柱结构 模块化制造技术

周菊兰, 田文恒

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:结合江西万安水利枢纽二线船闸人字门端柱结构的制造,从创建三维模型与模块划分、专用组拼工装设计及应用、模块焊接、变形控制及矫正、参与人字门的拼装方法等方面介绍了人字门端柱结构模块化制造技术与方法,解决了人字门端柱结构的角度及尺寸控制、焊接等方面存在的多项施工难题,为人字门及其他类似复杂结构的制造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。该技术已获一项发明专利授权,取得一项省部级施工工法。

关键词:万安水利枢纽二线船闸;人字门;端柱结构;模块化;制造技术

中图分类号:TV7;TV52;TV547.1

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)03-0011-05

Modularization Manufacturing Technology for Miter Gate End-pillar Structure of Second line Shiplock at Wan'an Junction

ZHOU Julan, TIAN Wenheng

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

Abstract: Combined with the manufacture of miter gate end-pillar structure of second line shiplock of Wan'an junction, Jiangxi province, this paper introduces the modular manufacturing technology and method of miter gate end-pillar structure from the aspects of creating three-dimensional model and module division, design and application of special group assembling equipment, module welding, participating in the assembling method of miter gate, etc., this paper solves many construction problems in angle and dimension control and welding of miter gate end-pillar structure, and improves a new idea and method for manufacture of miter gate and other similar complex structures, which has value and significance for reference. This technology has been granted 1 invention patent and 1 provincial-level construction method.

Keywords: Second line shiplock of Wan'an junction; Miter gate; End-pillar structure; Modularization; Manufacturing technology

1 概述

江西万安水利枢纽二线船闸位于赣江中上游万安县城上游 2 km 处,上距赣州市 95 km,下距井冈山航电枢纽坝址 35.8 km。万安水利枢纽以发电为主,兼有防洪、航运、灌溉、养殖等综合利用效益,具有调频、调峰、事故备用等作用。该枢纽二线船闸的设计最大工作水头为 32.5 m,船闸等级为Ⅲ级,闸室有效尺寸为 180.0 m(长)×23.0 m(宽)×4.5 m(门槛水深),能通航 1 000 t 级船舶,设计通航标准为 1+2×1 000 t 顶推船队。上闸人字门的单扇规格为 13.90 m(宽)×20.75 m(高)×2.50 m(厚),共 2 扇;下闸人字门的单扇

规格为 13.9 m(宽)×38.0 m(高)×2.5 m(厚),共 2 扇,均为超大型人字门。

在航电(航运)枢纽船闸工程中人字闸门的应用较多,是船闸枢纽工程的主要金属结构设备,其止水方式多为支、枕垫支承兼刚性止水。左右扇人字闸门分别以各自的顶、底枢中心线为旋转轴水平旋转开启或关闭以满足上下游船只的互通条件。受人字闸门外形尺寸大、结构复杂等因素影响,在其制造过程中工艺复杂、质量控制难度大,且因其场地占用面积大、生产效率低、生产周期长更是困难重重。端柱是人字门结构最为复杂的部位,也是其重要的受力部位,设计时大量采用厚板且对焊缝质量要求高;存在梁系构件多,焊缝较为

收稿日期:2024-02-28
发明专利:端柱结构组拼工装、刚性止水人字闸门制造方法(专利号:ZL 2021 1 0429754.9)

集中;空间关系复杂,拼装难度大;空间狭小,焊接条件差,焊接难度大等难题,使端柱部位的制造成为影响船闸人字门制造质量、进度、成本控制的主要因素,亦为整个船闸人字门制造的关键点。

船闸人字门的门轴柱结构、斜接柱结构统称为端柱结构,端柱结构主要包括主梁端腹板、主梁端翼缘、边隔梁、推力隔板、端柱纵向隔板、加强肋板等,构件较多。在闭门挡水的工作情况下,船闸人字门呈三铰拱受力状态,其端柱部位需要承受巨大的拱推力;又因端柱结构使用的板材厚度较厚,焊缝质量要求高,加之人字门结构在端柱处逐渐变小、形成较为狭小的空间,使拼装、焊接等变得更加困难,直接影响到人字门制造的质量、进度和成本控制。万安水利枢纽二线船闸人字门的所有主梁端柱前翼缘为一体,经过圆弧过渡后分别与各主梁的前翼缘对接,而且所有主梁端柱后翼缘亦为一体,分别于主梁后翼缘对接,导致端柱结构更为复杂,采用传统工艺存在较大的制造难度。因此,必须对其实施技术创新并优化工艺以提升人字门端柱结构的制造能力。为此,项目部通过对船闸人字门端柱结构进行分析及模块划分,研究出端柱结构模块组拼工装设计,优化了端柱结构的拼装工艺以及端柱结构的焊接工艺,对端柱结构模块参与单节人字门的拼装方法等关键环节不断进行优化和归纳总结,提炼出船闸人字门端柱结构模块化制造技术方案。

2 端柱结构模块的划分

按照人字门的分节将每个单节人字门的斜接柱、门轴柱分别分离出来,形成了斜接柱结构模块和门轴柱结构模块。其具体的分离位置和方法为:人字门主梁腹板由端腹板和中腹板组成,主梁端腹板通常比主梁中腹板厚度大,主梁端腹板与主梁中腹板采用对接焊缝焊接,因此,在划分端柱结构模块时,以主梁端腹板与主梁中腹板的对接焊缝位置作为分离线,并以该分离线为基准将主梁前翼缘、主梁后翼缘断开并与该分离线错开150 mm 以上。为有利于模块的组拼和焊接,在端柱结构模块划分时不含人字门端板,待单扇人字门整体预拼装结束后再进行人字门端板的组焊。必要时,采用软件创建三维模型^[1],以提高模块划分时分界位置的准确性。人字门端柱结构三维模型见图 1。

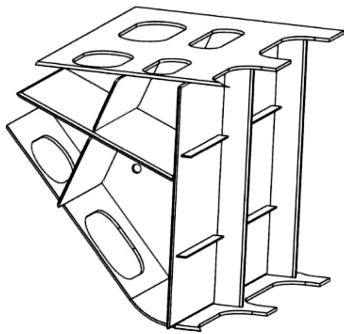


图 1 人字门端柱结构三维模型图

3 端柱结构组拼工装的设计及应用

因端柱结构属于空间复杂结构体,其角度及尺寸需借助工装才能够得到更好地控制。因此,项目部设计并自制了端柱结构组拼工装,该工装主要包括水平底座板、限位板、定位板等。通过工装控制边隔梁腹板、推力隔板、端柱纵向隔板、主梁端柱腹板、主梁端柱前翼缘等构件之间的角度及尺寸,使得所有端柱结构模块的分节面尺寸一致,进而降低了分节面错台与错位偏差,提高了端柱结构的拼装效率和拼装精度。

端柱结构的组拼主要步骤及控制要点:

(1)根据端柱结构特点完成端柱结构模块组拼工装的设计及制作;

(2)构成端柱结构模块的端柱边隔梁模块、端柱纵隔梁模块、推力隔板模块等子模块已完成组焊;

(3)端柱结构模块组拼工装是控制各子模块之间尺寸和角度的关键。在进行端柱结构模块组拼时,各子模块与工装应紧密贴合;

(4)不得在端柱结构模块组拼工装上随意焊接临时构件;

(5)在端柱结构模块组拼工装上完成一个端柱结构模块的组拼后,应待复核确认端柱结构模块组拼工装尺寸正确后方可进行下一个端柱结构模块的组拼;

(6)可在端柱结构模块组拼工装上进行单个端柱结构模块的组拼,也可采用相邻两个端柱结构模块两两联合拼装的工艺进行拼装。

通过工装控制及相邻两个端柱结构模块两两联合拼装工艺创新,提高了构件的位置精度,减少了分节面的错台偏差,进而降低了端柱结构的组拼难度,提高了拼装效率。端柱结构模块的组拼

步骤见图 2。

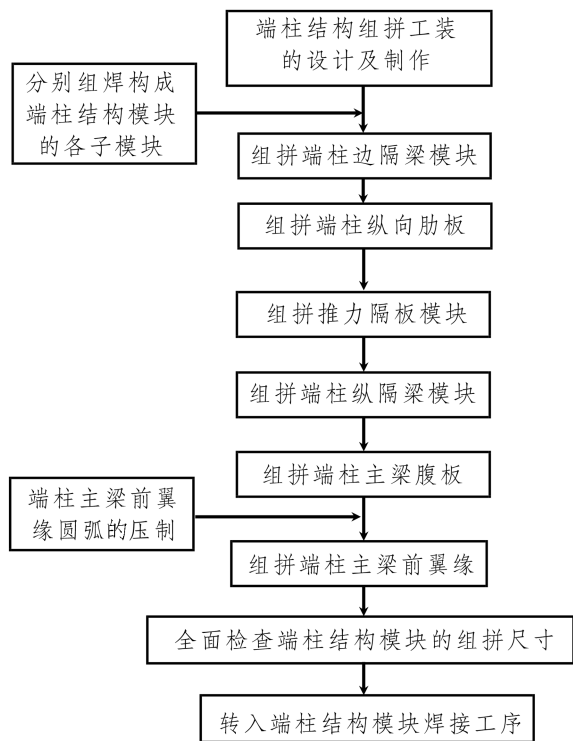


图 2 端柱结构模块拼装流程图

4 端柱结构模块的焊接

(1) 施焊前, 清除干净焊道两侧的杂物、铁锈、油污等;

(2) 对组拼完成并经检查合格的每个端柱结构模块进行支撑加固以减少焊接变形；

(3) 焊接顺序: 推力隔板与端柱纵向隔板的焊缝焊接→推力隔板与边隔梁腹板的焊缝焊接→主梁端腹板与边隔梁腹板的焊缝焊接→主梁端腹板与端柱纵向隔梁的焊缝焊接→主梁端腹板与推力隔板的焊缝焊接;

(4) 合理布置临时吊耳,通过对端柱结构模块多次吊装翻转^[2],使端柱结构模块的所有焊缝均变为水平位置焊接以提高焊接效率和焊缝质量;

(5) 选用实芯焊丝和药芯焊丝配合使用,药芯焊丝主要用于盖面以提高焊缝的外观质量。对于焊接方式,可以采用人工和焊接小车相配合的方式;对焊接位置开阔的部位采用焊接小车焊接以提高焊接效率,降低焊工的劳动强度。焊接时,采用小焊接参数焊接以降低焊接线能量,减少热量输入,降低焊接变形,并采用分段、间隔、退步、

多层多道^[3]的焊接方法;

(6) 采用焊接陶瓷衬垫^[4]辅助实现焊缝单面焊双面成型,具体方法为:在焊接坡口背面贴附焊接陶瓷衬垫,正面焊缝焊接时待底层焊缝全部熔合且保持熔液不会漏掉、背缝成型良好。焊接背面焊缝时不需要对焊缝进行清根,达到了焊缝免清根焊透,进而解决了端柱结构模块内部空间狭小、焊缝刨缝清根的难题,提高了焊接效率,降低了焊接变形;

(7) 焊丝材料^[5]选用 ER50-6, 焊丝直径为 1.2 mm;

(8) 焊接参数: 底层焊接电流 $I=130\sim 190$ A, 焊接电压 $U=21\sim 25$ V, 焊接速度 $V=42\sim 52$ cm/min, 气体流量为 $14\sim 21$ L/min; 其他层焊接电流 $I=170\sim 290$ A, 焊接电压 $U=23\sim 33$ V, 焊接速度 $V=42\sim 50$ cm/min, 气体流量为 $14\sim 21$ L/min;

(9) 焊接完成后,检查焊缝的质量必须符合相关规范要求并清除干净焊缝两侧的飞溅等,做好记录。

5 端柱结构模块焊接变形的控制及矫正方法

从图 1 可以看出:人字门端板未参与组拼,单个端柱结构模块组拼后具有很多利于施焊的敞开空间,但在模块的边角处出现了自由的悬臂端,其焊接收缩将引起这些悬臂端的位置尺寸发生变化。因此,焊接前需采取适当的措施以减少焊接变形,焊后需对变形超差的部位进行矫正处理。具体方法为:

(1) 端柱结构组拼时,应将各构件边角上的杂质清除干净,严格控制拼装间隙;

(2) 在端柱结构模块四角位置或结构薄弱位置进行支撑加固。支撑时应尽可能地减少直接在产品上焊接。可以采用便于安装拆卸、可重复使用的支撑加固件进行支撑,如自制套管式伸缩支撑杆,该伸缩套管上设置有螺杆和螺纹套,支撑杆两端设置有活动卡扣和紧固螺钉,使用时松开伸缩套管上的螺纹套用以调整支撑杆的长度,将两端的活动卡扣卡在支撑部位的钢板上并拧紧紧固螺钉,然后旋转伸缩套管上的螺杆顶紧支撑杆并拧紧螺纹套;

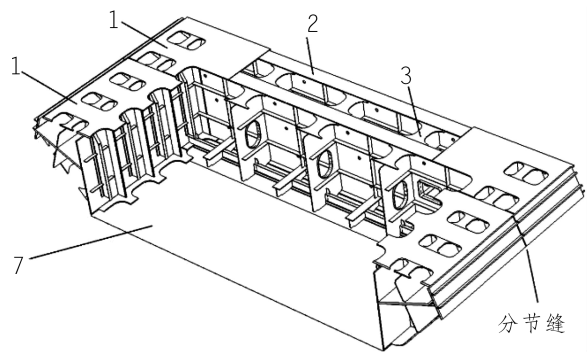
(3) 严格按照焊接工艺要求实施焊接,尤其

要控制好小焊接参数,分段、间隔、多层多道、对称焊接;

(4) 焊后对焊接变形超差部位可以采取外力与火焰相结合的方法进行矫正。由于该焊接变形为角焊缝或组合焊缝焊接引起的角变形,故其可以采用火焰对焊缝背面沿焊缝附近适当加热,同时利用千斤顶等工具施加外力以完成焊接变形矫正。

6 端柱结构模块与单节人字门的拼装方法

端柱结构模块焊接合格后即可参与单节人字门的拼装。单节人字门采用两个或多个单节门叶为一体进行拼装以减少分节面的错台偏差。具体方法为:首先在平台上铺设两个或多个单节门叶的面板并划线放出拼装基准线。拼装时,首先拼装端柱结构模块以利于对人字门宽度尺寸的控制,然后依次将已完成拼焊的主梁、隔梁、次梁等模块拼装在一起,形成两个或多个单节门叶。之后,以其中一个单节门叶为基准完成其相邻的另一个单节门叶的拼装。人字门端板模块(人字门端板与支垫块挡板组成的模块)不参与单节人字门拼装,待单扇人字门整体预拼装时再与人字门进行拼装、焊接。端柱结构模块参与人字门拼装的具体情况见图3。



图中:1. 端柱结构模块;2. 主梁结构模块;3. 隔梁结构模块;7. 面板

图3 端柱模块参与单节人字门的拼装示意图

该项技术的实施,解决了人字门端柱结构复杂、空间狭小在组拼角度及尺寸控制、焊接等方面存在的多项施工难题,显著改善了作业条件,使工序流转变得更加顺畅,极大程度地提升了生产效率和产品质量,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

产成本等良好效果并获得了一项发明专利[端柱结构组拼工装、刚性止水人字闸门制造方法(专利号:ZL 2021 1 0429754.9)]授权,取得了一项省部级施工工法[船闸人字门的端柱模块化制造工法(工法编号:SCGF293—2021)]。

7 结 语

笔者结合船闸人字门的结构特点和设计要求,基于人字门端柱(斜接柱、门轴柱)作为人字门三铰拱受力的重要部位,将作用在人字门上的水压力通过端柱、支垫块、枕垫块传递至闸墙上。鉴于端柱部位承受着巨大的拱推力,且因端柱部位构件多,截面呈渐变逐渐变小形成狭小的空间,而设计选用的板材厚度大,焊缝质量要求高,导致采用人字门整体拼装、整体焊接等传统工艺制造时端柱部位存在较多困难。项目部的工程技术人员通过模块划分、科技创新、工艺优化及专用工装的研究,探索出船闸端柱结构模块化制造技术和实施方法,并在江西万安水利枢纽二线船闸人字门制造中进行了应用,方便快捷地完成了端柱结构的制造,在提高产品质量、提高生产效率、降低生产成本、降低安全风险、改善作业条件等诸多方面取得了良好效果,具有较好的参考价值和借鉴意义。

船闸人字门端柱结构模块化制造技术的应用丰富了船闸人字门的制造方法,为船闸人字门以及其他类似产品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。通过船闸端柱结构模块化制造技术实施取得的实效笔者获得了以下几点启发:(1)根据产品的结构特点完成模块划分,有利于创新优化工艺以解决复杂结构的施工难题。(2)人字门端柱结构组拼工装的设计与应用,使复杂的端柱结构的拼装难度显著降低,使角度控制、尺寸控制变得准确快捷。(3)两个或多个端柱结构模块共同组拼,可进一步提高模块间的对位精度,降低了分节位置错台、错位存在的偏差。(4)按模块划分并采用模块化制造,使端柱部位狭小密闭的空间增加了更多便于操作的敞开空间,使端柱结构狭小空间内焊缝的焊接变得容易操作,焊缝的内部质量及外观质量得到显著提升。(5)

采用焊接陶瓷垫片辅助实现焊缝单面焊双面成型。正面焊缝焊接时其底层焊缝熔透且背缝成型良好;焊接背面焊缝时不需要对焊缝进行清根,能够达到焊缝免清根焊透,从而解决了狭小空间焊缝刨缝清根的难题,提高了焊接效率,降低了焊接变形。(6)创新地采用便于安装拆卸、可重复使用的支撑加固件进行支撑,在实现变形控制的同时避免了临时支撑焊接造成的打磨、消缺等不利影响。(7)合理地布置吊耳,通过多次吊装翻转,为焊接提供了最佳的平焊位置,将立焊、仰焊变为平焊,极大地提高了焊接质量和焊接效率。(8)后期可拓展对其他产品,尤其是复杂结构的模块化制造技术的研究。

(上接第 7 页)

变形规律基本一致^[4],监测到的锚杆应力最大值为 125.4 MPa,对应该部位三维有限元计算得到的锚杆应力为 235.9 MPa。监测到的表面变形最大值为 18 mm,计算得到的该部位变形值为 61 mm,实际监测值均远小于设计值,且均在开挖 7 d 之后趋于稳定,现场巡视未发现表面裂纹和明显变形,证明调压井采用的支护方案安全、可靠。

4 类似工程需要注意和可借鉴的要点

(1)由于护壁灌注桩受地质条件的影响较大,必须确保地质情况无明显突变、无夹石、溶洞等,施工过程必须确保灌注桩的垂直度和孔底偏差。如果出现灌注桩大面积偏向调压井内,在其开挖过程中需要将占压结构的灌注桩凿除,并可能导致设计方案的失败。

(2)针对地质条件较差且断面较大的调压井,分幅开挖、分幅支护可以有效地确保其结构的安全。但应确保开挖后及时进行支护,避免出现支护滞后导致的井壁变形^[5]。

(3)由于该调压井地质条件较差,对锚杆的钻孔和灌浆效果应引起高度重视。鉴于全风化地层锚杆造孔比较困难,选用合适的钻机至关重要。针对全风化地层,管棚钻机具有移动灵活,扭矩大,成孔效果好等特点;而小导管灌浆可以确保锚孔的灌浆质量,并可确保锚杆在整个支护体系中的作用。

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] 田文恒,黄成林. 犍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.
[3] 水工金属结构焊接通用技术条件:SL 36-2016 [S].
[4] 姬玉媛. 工程机械中陶瓷衬垫 MAG 单面焊双面成形工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2015, 66(14):58-60.
[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:

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;
田文恒(1971-):男,云南昭通人,正高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。
(编辑:李燕辉)

(4)该工程地下水不太丰富,且开挖完成后的全风化凝灰岩砂具有一定的稳定性,如果地下水比较丰富且地质条件差,则需要考虑采用额外的超前支护措施。

5 结 语

笔者重点介绍了在全风化地层中修筑调压井采用的设计支护参数及施工方法。在施工过程中严格控制灌注桩的垂直度及孔底偏差,锚杆采用小导管灌浆,并采用分幅开挖的方式和支护方案,最终顺利地完成了该调压井施工。监测结果表明:所采用的设计和施工方案针对类似地层是适用的,不但节约了工期、投资,也确保了施工安全,所取得的施工经验对类似深基坑、竖井工程施工能够起到一定的借鉴作用。

参考文献:

[1] 刘有全,张利平. 赞比亚下凯富峡水电站大型调压井围护支护参数优化研究[J]. 西北水电, 2022, 41(6):120-126.
[2] 韩志文. 钢护筒封隔桩基下采空区巷道施工方案[J]. 山西建筑, 2015, 41(26):96-98.
[3] 建筑桩基技术规范:JGJ 94-2008[S].
[4] 杨海波,姜俊红. 大型调压室围岩稳定分析[J]. 人民长江, 2009, 40(12):5-7,93.
[5] 汪韵雅,彭岩岩,包春燕. 地下工程软岩支护施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2020, 5(22):20-21,99.

作者简介:

付 伟(1972-),男,重庆市人,副高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。
(编辑:李燕辉)