

白鹤滩水电站 10 000 kN/500 kN 超大型双向门机关键构件制造工艺技术研究

曹 峡 荣

(中国水利水电夹江水工机械有限公司,四川 夹江 614100)

摘 要:白鹤滩水电站 10 000 kN/500 kN 双向门式启闭机是目前国内水电站使用的最大启闭容量的坝顶门机。其门架结构具有外形尺寸大、自重重大、制造工艺复杂等特点。在其制造过程中,采用了合理的拼焊工艺及特定的预拼装方法,使该门架钢结构制造达到了各项技术要求,所取得经验可为超大型门机的制造提供工艺技术参考。
关键词:白鹤滩水电站;超大型门机;下横梁;门腿;主梁;工艺流程;预拼装
中图分类号:TV7;TV547;TV52 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2019)06-0047-05

Research on Manufacturing Technology of Key Components of 10 000 kN / 500 kN Super Large Two-way Gantry Crane in Baihetan Hydropower Station

CAO Xiarong

(Sinohydro Jiajiang Hydraulic Machinery Co., LTD, Jiajiang, Sichuan, 614100)

Abstract: The 10 000 kN / 500 kN two-way gantry crane of Baihetan Hydropower Station is the dam crest gantry crane with the largest hoisting capacity currently used in domestic hydropower stations. The gantry structure has the characteristics of large size, heavy self weight and complex manufacturing process. In the manufacturing process, the reasonable welding process and specific preassembly method are used to make the steel structure of the gantry meet the respective technical requirements. The experience obtained can provide technical reference for the manufacturing of super large gantry crane.
Key words: Baihetan Hydropower Station; super large gantry crane; bottom end rail; gantry leg; main beam; technology process; preassembly

1 概 述

白鹤滩水电站的主要开发任务为发电,兼顾防洪并具有拦沙、发展库区航运和改善下游通航条件等综合利用效益,是西电东送骨干电源点之一。水库总库容 206.27 亿 m³。电站装机容量为 16 000 MW,多年平均发电量为 625.21 亿 kW·h。电站门式启闭机的制造项目包括一台 10 000 kN/500 kN 双向门式启闭机,装设在坝顶 836 m 高程上。设备主钩用于操作深孔事故闸门,下游侧回转吊用于表孔液压启闭机的安装与检修。

笔者介绍了白鹤滩水电站坝顶 10 000 kN/500 kN 双向门式启闭机的制造过程与下横梁、门腿、主梁制作及 H 腿、上部结构预组装、门架立拼采用的制造工艺技术。

如图 1 所示,10 000 kN/500 kN 双向门式启

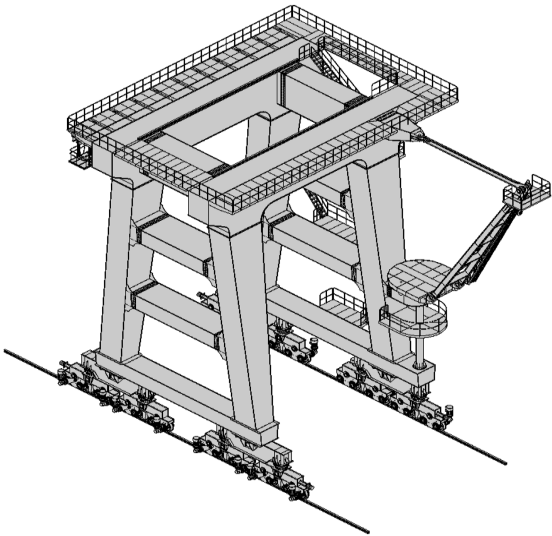


图 1 门机门架示意图

闭机门架结构主要由下横梁、H 腿(上下中横梁、

门腿)、回转机构和上部结构(主梁、端梁)及爬梯、扶手、平台和护栏等附件组成。

2 主要技术要求和制造难点

2.1 主要技术要求

(1)构件预拼装及组装要求。门架下横梁、门腿、主梁等是门式启闭机的重要组成部分,门架结构等单个构件按 NB/35051—2015《水电工程启闭机制造安装及验收规范》标准拼装制作后进入门架结构的组拼。

①门架预拼装前,按合同技术条款及规范要求提出组装的施工工艺。

②沿门机跨度方向门腿垂直中心线与门机跨度一致,单侧两门腿垂直中心线与门机跨度之差 $\leq \pm 3\text{ mm}$,两侧门腿的垂直中心线相对差 $\leq \pm 3\text{ mm}$ 。

③门腿组装后,其垂直中心线沿门机跨度方向的偏斜 $\leq$ 门腿自身高度的 $1/2\ 000$ 且门腿下部宜向内偏斜。

④门架组装后,测量上部结构四个对角顶点,其标高相对差 $\leq 5\text{ mm}$,各点标高绝对差值 $\leq \pm 10\text{ mm}$ 。四个对角顶点对角线之差 $\leq 5\text{ mm}$ 。

(2)焊缝检测要求。

①焊缝分类按 NB/T35051—2015《水电工程启闭机制造安装及验收规范》执行。

②对一、二类焊缝实施 100%、50%超声波探

伤,且需分别达到 GB/T 11345—2013《焊缝无损检测、超声检测技术、检测等级和评定》BⅡ、BⅢ级要求。必要时还要进行射线探伤并达到 GB/T 3323—2005《金属熔化焊接接头射线照相》BⅡ级要求,探伤长度 $\geq$ 全长的 20%,且 $\geq 300\text{ mm}$ 。

③对设计未要求焊透的 T 形接头组合焊缝应进行 30%的超声波探伤并达到 GB/T 11345—2013《焊缝无损检测、超声检测技术、检测等级和评定》BⅢ级要求,未焊透深度 $\leq$ 设计图样的规定值,并按中国长江三峡集团公司企业标准 Q/CTG30—2015《水工金属结构 T 形焊接接头未焊透深度超声波检测技术规范》进行 10%的验证性抽探。

④其它焊缝的探伤要求按 NB/T 35051—2015 执行。

2.2 制造中的难点

根据门架的结构特点,其制造难点包括下横梁半封闭箱梁的拼焊顺序、门腿和 H 腿结构的拼焊焊接变形控制、两主梁的上拱预制及相对差控制,下横梁、门腿、主梁是门架制作的关键和重要构件^[1]。H 腿、上部结构的预拼装和焊接变形控制是确保门架组装质量的关键工序,需要做好构件制造工艺的策划工作,用以指导工艺方案的编制。

3 构件生产采用的主要工艺流程

构件生产采用的主要工艺流程见图 2。

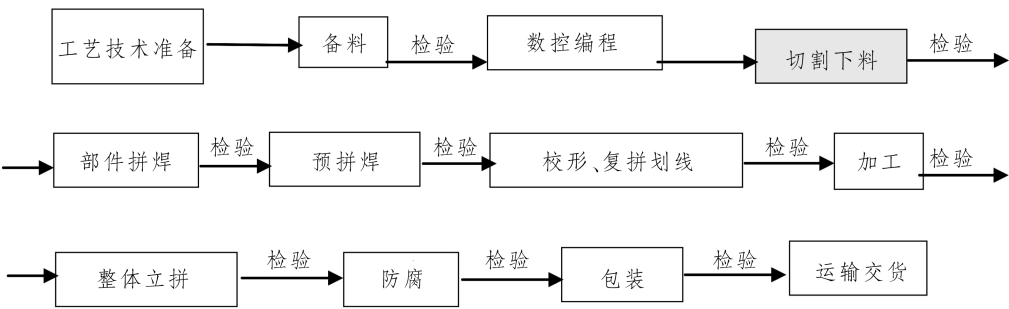


图 2 主要工艺流程图

3.1 单个构件的拼装

为减少门架 H 腿、上部结构整体焊接变形,制作工艺为单独的梁体组装焊接与矫正,最后拼成单片 H 腿与上部结构。各梁体和单个构件的制造严格按已编制的工艺流程和焊接工艺进行,且需考虑焊接收缩量 and 机械加工

切削余量。制作过程中随时进行检测,严格控制焊接变形和焊缝质量,每道工序坚持执行“三检制”。单个构件制造的允许公差或偏差符合合同及 NB/T35051—2015《水电工程启闭机制造安装及验收规范》的规定。

3.1.1 下横梁

下横梁是连接大车行走机构和支撑门腿、回转立柱的箱梁,根据下横梁的结构特点需要注意以下拼装要点:

(1)切割下料后,首先完成腹板、翼板的拼接焊接,经探伤合格后对焊接变形进行矫正处理;

(2)受箱梁内腔的焊接空间限制,拼装宜采取先拼成 Π 型梁并完成内腔焊接后封盖上翼板,然后采用埋弧自动焊完成四条主缝的焊接。为减小翼板角变形,焊接前应采取反变形措施;

(3)焊接矫正后划线转加工上下支承压板连接面,将门腿下端板与上连接座面配钻孔后用工装螺栓连接加固,划十字中心线,待门架整体立拼组装。

3.1.2 门腿

门腿是连接下横梁、上部结构的主要承压构件,其拼装制作的质量控制至关重要。根据门腿结构特点,拼装应注意以下工艺控制要点:

(1)严格控制门腿隔板的切割下料质量,必须确保隔板的垂直度及对角尺寸偏差在允许值范围内方可进入拼装工序;

(2)拼装前,在考虑焊接收缩的同时,必须要以与上下中横梁连接的中心为基准进行拼装尺寸放样,以满足隔板与中横梁的对位拼装连接质量要求;

(3)门腿为梯形结构且单片 H 腿呈八字结构,以翼板放样拼装各隔板时,应注意对隔板两个转角的控制。拼装定位腹板时要控制大小头在铅垂方向的检测数值偏差;大小头隔板处的上下铅垂垂差 δ 见公式(1):

$$\delta = \text{隔板长} \times \sin \alpha \times \sin \beta \quad (1)$$

式中 α 为 H 腿“八”字单边斜角; β 为门腿腹板单边斜角。

3.1.3 主梁

门机主梁是门机上部结构的重要承重部件,在自重和载荷作用下存在弹性下挠现象,需上拱制作^[2],其制作质量的好坏将直接影响到该门机的动、静载工况下的承载负荷能力和使用寿命。主梁制作按以下要点做好工艺控制:

(1)腹板下料上拱度的预制。其预拱值根据图样要求按二次抛物线法计算公式进行计算。

(2)应综合考虑焊接收缩、主梁自重及经验数据等因素,拱度曲线采用编程数控切割下料可以

保证线形准确,使门机两根主梁的四块腹板在同一截面的拱度差基本保持一致。主梁的翼板及腹板下料前应先进进行整体放样编程,避免出现焊缝重叠现象,拼接焊缝按规范标准做无损探伤检查,坡口切割后完成其表面的打磨。

腹板下料时采用整体预起拱,采用二次抛物线法计算公式进行计算。以跨距中心点为坐标原点计算出跨度中任意点(一般取隔板处)的拱度,这些点为二次抛物线上的点,其方程式见公式(2)^[3]:

$$y = F \times (1 - 4a^2/L^2) \quad (2)$$

式中 y 为主梁跨度中任意点的上拱度; a 为主梁跨中任意点坐标到跨中心坐标的水平距离; L 为跨度距离。

由此得到主梁腹板下料时的上拱度抛物线。

(3)内腔隔板采用编程数控下料。先做好首件切割质量的检查工作,以保证主梁组装时矩形截面的准确性,防止产生扭曲。

(4)拼装时,在拼装平台上以主梁上翼板为基准放样(放样尺寸要考虑焊接收缩因素)并按工艺确定的上拱值要求在 X/Y 轴方向监测并确定各起拱支点的相应坐标值并支垫牢固。

(5)在上翼板上定位组拼各大小隔板。为减少整体焊接对主梁上拱值的影响,可采取偶数焊工由中心向两端对称、跳焊的焊接工艺措施先完成隔板与上翼板的组合焊缝焊接,配以释放应力措施。经上拱值复测调整后,再拼上内腔的纵向加固筋条或型钢,按顺序组拼定位两侧腹板,封盖定位已卷弧成型的下翼板。

(6)主梁拼装交验合格后,焊接是控制变形的重要工序,焊接必须按照焊接工艺要求进行并加强过程监控。

3.2 门机 H 腿、上部结构的预拼装

3.2.1 H 腿的预拼装

门机 H 门腿结构是门架结构的重要组成部分,单片 H 门腿结构由两根门腿和上下中横梁通过高强螺栓联接组成。H 腿预拼装工艺的控制要点为:

(1)H 腿的组装尺寸需要考虑焊接收缩因素,调整定位加固后,对中横梁两端的连接结构及外伸梁与门腿的组合焊缝进行施焊,焊接时必须采取两端对称焊接的工艺措施并监测 H 腿的几

何尺寸变化;

(2) 焊缝经 UT 探伤合格后需进行应力释放, 再对 H 门腿结构的组装尺寸进行整体复测调整, 定位后各联接板穿定位销和高强螺栓连接牢固;

(3) 按图纸要求以中横梁中心为基准对门腿大小端头尺寸、坡口进行修割并配上与主梁连接的上端板, 施焊端板与门腿的连接组合焊缝, 经 UT 探伤合格后矫正端板平面度, 再对 H 门腿结构进行整体加固后划门腿各组拼定位中心线, 等待进行门架的整体立拼。

3.2.2 上部结构的预拼装

上部结构是门机重要的承载受力构件结构, 由两件主梁、两件端梁及悬臂梁拼装组成, 通过高强螺栓联接而成。上部结构预拼装的工艺控制要点为:

(1) 预拼装时, 调整并检测主梁与端梁连接的

几何尺寸且需兼顾腹板的垂直度尺寸, 重点调整控制两主梁同截面小车轨道中心线对应点的上拱值相对差;

(2) 调整定位加固主梁与两端梁的连接结构, 焊前两主梁中心距必须考虑焊接收缩因素;

(3) 焊接时必须对称施焊主梁与端梁、悬臂梁连接结构的组合焊缝;

(4) 焊缝经 UT 探伤合格后, 对各联接板进行应力释放, 调整并复测整体尺寸, 定位后配钻、穿定位销和高强螺栓连接加固, 配上小车轨道并对主梁与门腿上端板的连接边进行修割打磨, 划各组拼定位中心线, 等待进行门架的整体立拼。

3.3 门架的整体立拼组装

门机在完成行走组装及 H 腿单片、上部结构的预组装工序后, 按工艺流程进入门架整体立拼组装工序(图 3)。

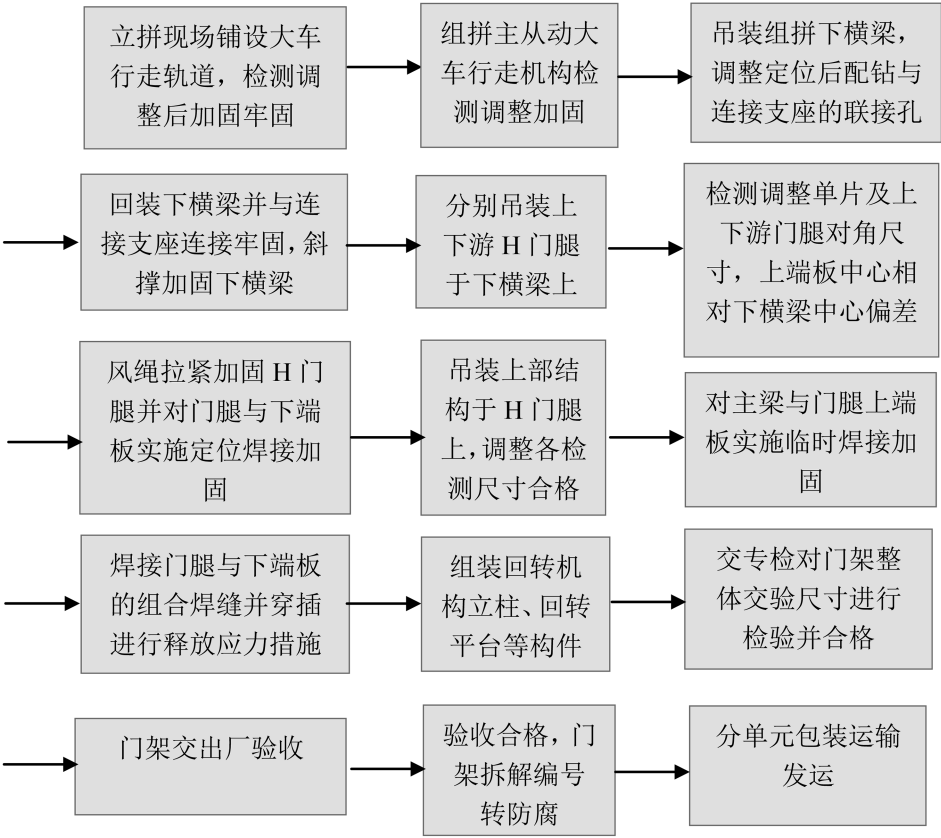


图 3 工艺流程图

其工艺流程为:

在立拼现场铺设门机大车行走轨道并按图纸尺寸调整检测轨道中心轨距及轨面的水平数据满

足要求后吊装行走机构, 对轨道、行走机构进行加固; 按工艺流程依次组装下横梁、H 腿和上部结构及回转机构等, 门架的主要部件立拼并检测定

位、加固后,实施 H 门腿与下端板的组合焊缝焊接,中间穿插应力释放并检测下端板与下横梁连接端板间的间隙符合规范要求。

门架组装经专职检验员检测交出厂验收;验收合格后进行门架的拆解,完成零部件的编号后转防腐工序,最后按单元包装运输发运出厂。

4 总体焊接工艺要求及过程控制

(1)主梁等单个构件及 H 腿、上部结构的焊接按合同技术条款、设计图纸及 NB/T35051—2015《水电工程启闭机制造安装及验收规范》执行。

(2)各钢板零件宜采用整体下料。若需接板,其拼接接头应避开构件应力集中断面,避免十字焊缝,相邻平行焊缝的间距应大于 200 mm。尽

量将焊缝安排在结构截面的中性轴上或靠近中性轴,力求中性轴两侧的变形大小相等、方向相反,以起到相互抵消作用^[4]。

(3)焊接方法的选择:一般选择 C₀₂ (GMAW) 气体保护焊;对于下横梁、门腿、主梁长直条箱型梁,其单条焊缝长度大于 3 mm 的接板焊缝和外侧组合焊缝,通常选择(SAW)埋弧自动焊。

(4)焊接材料的选择:焊丝代号及焊剂必须符合施工图样规定,应选用与母材强度相适应的焊接材料。

(5)焊接工艺参数:焊接时应尽可能采用较小的焊接热输入量以减小加热区的范围及焊缝收缩量(表 1)。

表 1 焊接工艺参数表

焊接方法	电源连接	电流 <i>I</i> /A	电压 <i>U</i> /V	热输入 <i>Q</i> /kJ·cm ⁻¹	气流量 <i>L</i> /min
GMAW	直流反接	160~300	20~31	≤35	15~20
SAW	直流反接	500~680	30~34	≤40	

(6)对于下横梁、门腿和主梁长直条箱梁的焊接,为减少扭曲、旁弯、角变形等焊接变形和焊接应力,根据结构的特点和坡口形式,应选择合理的焊接顺序并采用跳焊、分段退步焊和多层多道焊或采用反变形等措施。焊接顺序应先焊各梁的连接接头焊缝,从里向外焊,然后焊接底面的各条焊缝^[5]。因主梁腹板高度大于 1 mm,隔板立焊可分三段施焊,焊接所用的焊材应符合图样规定,应选用与母材强度相适应的焊接材料。

(7)对于下横梁、门腿、主梁、H 腿、上部结构等制作、组装的重要焊接工序,必须做好焊前的技术交底工作,同时,在焊接过程中必须加强过程的监控工作。

5 安全技术措施

(1)在工艺文件设计内容中,除对构件的制造工艺流程作主要描述外,还要将制作过程中的安全技术要求作为重点强调内容。

(2)根据生产现场、起重设备资源情况,依据《水电水利工程金属结构与机电设备安装安全技术规程》DL/T5372—2017、《水电水利工程施工人员安全技术操作规程》DL/T5373—2017 及公司安全生产管理制度,必须安排专业工程技术人员编写、制定门机厂内立拼组装的《门机大拼组装安全技术方案》,其中包括场地选择、加固方案、吊耳设计、组装拆解顺序等重要内容。

(3)根据安全生产管理制度要求,按照层级管理之规定,分级做好《门机大拼组装安全技术方案》的安全技术交底工作,确保白鹤滩水电站 10 000 kN/500 kN 超大型双向门式启闭机的安全生产。

6 结 语

白鹤滩水电站 10 000 kN/500 kN 超大型双向门式启闭机是我国目前水电站起吊容量最大的坝顶门机,通过该门机的生产制造,使我国在超大型门式启闭机构件的生产制作方面取得了宝贵的工艺技术经验,完善并提高了门机关键构件、工序的工艺技术水平,亦将进一步提升公司在超大型门式启闭机制造行业的地位。

参考文献:

[1] 吴永刚.大跨度门机门架的制造工艺[J].基层建设,2017,77(15):13—14.

[2] 张权庭.进水口 2×160 kN 双向门式启闭机制作质量控制[J].中国水运,2013,13(5):82—83

[3] 付荣柏.起重钢结构焊接制造技术[M].北京:机械工业出版社,2009.

[4] 宗培言.焊接结构制造技术与装备[M].北京:机械工业出版社,2007.

[5] 胡世超,姚乐焉.2×1 600 kN 双向启闭机[J].矿山机械,2007,35(6):97—8.

作者简介:
曹峡荣(1964-),男,四川宜宾人,副总工程师,工程师,从事金属结构制造工艺技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)