

深孔弧形闸门设计与制造研究

白文杰

(中国能建葛洲坝集团机电建设有限公司 四川 成都 610091)

摘要: 深孔弧形闸门在大型水利水电工程中十分常见, 为确保水利水电工程的质量与安全, 必须做好深孔弧形闸门的设计与制造。文章首先介绍了深孔弧形闸门在设计中的重要设计部位, 明确了设计要点与细节, 同时也阐述了深孔弧形闸门制造中各环节的要点, 要求能严格把控制造细节, 保证制造全过程质量, 全面提升深孔弧形闸门的在水利水电工程中的作用。

关键词: 闸门设计; 深孔弧形闸门; 支臂设计; 闸门制造

0 引言

在水利水电工程中, 闸门是重要的组成部分之一, 通过闸门可以调节上下游水位与流量。弧形闸门是闸门结构类型之一, 所挡水位高的是深孔弧形闸门。深孔弧形闸门设计与制造是一项技术性、专业性与难度较高的工作, 不仅要求设计者要有较高的专业素养, 还要求设计者能结合水利水电工程, 优化深孔弧形闸门设计, 提升深孔弧形闸门制造水平, 确保能在水利水电工程中发挥其积极作用。所以对于深孔弧形闸门设计与制造的研究具有重要意义。

1 深孔弧形闸门的设计

采用弧形闸门在泄流时符合闸下自由流出的流线, 闸墩侧面没有门槽干扰, 水流在较高速度下流过闸门边界不容易产生分离与旋涡, 具有良好的泄流条件。同时, 弧形闸门也有其使用条件, 当深式泄水孔工作闸门口尺寸较大, 操作水头在 50m 以上时要选择弧形闸门。下面就对深孔弧形闸门的设计进行分析。

1.1 门叶设计

门叶是深孔弧形闸门的重要组成部分, 其中面板呈现圆弧状, 在确定面板曲线半径时, 要求是门高的 1.2 ~ 2.2 倍, 闸门转动中心的设置, 一般会与面板圆心重合^[1]。

主横梁式与主纵梁式是弧形闸门门叶的主要结构类型, 梁系连接可以采取同层布置与叠层布置两种方式, 而同层布置又分为主横梁同层布置和主纵梁同层布置两种。

(1) 主横梁同层布置: 弧形闸门宽高较大可以选择这种型式, 闸门的刚度较大;

(2) 主纵梁同层布置: 采用这种型式, 能让梁系结构的连接高度降低, 闸门具有较强的刚度, 但对加工的精细化与要求较高, 且主要运用于宽高较小的弧形

闸门;

(3) 主纵梁叠层布置: 这种型式的闸门可以分段运输, 便于安装, 但整体刚度不高, 且主要用于宽高较小的弧形闸门。

1.2 支臂设计

在深孔弧形闸门中无论为何种结构形式的弧门, 空间钢架为其承重框架, 所以在支臂设计时必须重视承重框架的力。为便于计算分析, 要对钢架进行简化, 让其能形成水平与垂直两个平面框架。

1.2.1 支臂内力计算

在考虑止水摩阻与方向的基础上计算支臂内力, 在弧门的开度过程中弧门支臂内力也会发生变化。设计水头下弧门开启瞬间是支臂最大内力出现的时刻, 这时就会有多个外荷载作用在弧门上, 比如最大启门力、预测止水摩擦力的合力等, 在众多力的作用下弧门可以保持平衡。假设共设计弧形门支臂 N 根, 弧形闸门空间框架总共有双支臂、三支臂两种框架, 设支臂的总用钢量为 V (体积), 可以建立目标函数:

$$V=N \times A \times R \rightarrow \min$$

式中: A —支臂截面面积;

R —支臂的实际长度。

1.2.2 支臂弯矩计算

弧门承重框架属于空间钢架, 会受到两个方向的弯矩 M_x 、 M_y 的作用, 所以要对对应接双向偏心受压构件设计进行计算。在计算支臂最大弯矩 M_x 时, 首先要计算出直支臂与斜支臂在支铰处的侧推力 H ; 在垂直框架平面内的最大弯矩 M_y 计算时, 要采取三角形多层钢架计算, 需明确垂直框架平面受到的荷载, 主要有作用在纵梁上的水压力和支铰摩擦力矩, 在明确这两个力后可以计算出最大弯矩 M_y 。

1.3 止水设计

在深孔弧形闸门中分析漏水原因, 发现大部分都是

止水方式问题导致的。在弧形闸门中可以分为侧止水、底止水与顶止水，按照三个方向的止水需合理设计，确保设计的可靠性与合理性^[2]。弧形闸门侧止水结构设计，需选择50mm×50mm的P型止水橡胶。在橡胶复合封水表面，可以增加聚四氟乙烯涂层，这样可以有效减小摩擦阻力，最大摩擦系数为常规水封的0.1~0.3倍。使用圆P型橡胶作为顶外止水的方式，P头向下压着闸面板上缘。将60mm×60mm×300mm的槽钢焊接在洞口外面的上侧，保证能达到最佳的止水效果。平面橡胶板作为底止水的主要方式，橡胶板分为两层，将2m长规格为100mm×30mm×3mm的槽钢焊接在原来的底板上，面朝输水洞里面的闸门底止水形成一个90°的角，且接触到全部的面积。

1.4 支铰设计

支铰在深孔弧形闸门中的设置，要是门高的1.1倍以上。全部水压、启闭过程中的部分启闭力和门中由弧形闸门的支铰全部承重，利用支臂可以将各种荷载传递给铰链，然后再传递到铰座，最后可以传递到闸墩^[3]。支铰可以分为圆柱铰、圆锥铰与球铰，具体可以结合实际情况进行合理选择。在钢筋混凝土的牛腿上支撑斜支臂，无需其他支撑结构，但直支臂需要土建支撑，在支撑横梁上使用预埋螺栓固定保持稳固性。

2 深孔弧形闸门的制造

2.1 做好场地准备

要将深孔弧形闸门制造的全部零部件运输到施工现场，在现场完成组装。车间厂房按照设计要求将门叶、支臂等加工制作好，然后运输到现场进行安装。

2.2 掌握技术要点

在制造之前要按照合同表述要求及各结构形式的实际情况，确定制造技术与方案，明确焊接技术，要对面板的展弧问题予以考虑。控制好门叶结构拼装质量，确保能符合加工要求，焊接需按照一定顺序，且能避免出现变形情况。门叶在制造过程中，要保持制造精准度，确保构件尺寸符合标准。同时，还需控制好其他细节与技术要求，确保加工制造的精准度与质量。

2.3 下料及单个构件拼焊

使用微机整体放样，对门叶梁溪焊缝分布情况予以了解，确定焊接量与焊缝收缩量，其中面板厚度、最大加工量分别为40mm、10mm^[4]。使用数控切割机切合板材，采用刨边机处理坡口，使用半自动切割机切割坡口，需使用角向磨光机修磨，确保钝边保持在0~1mm。相关检验人员检查各板材，保证下料后板材尺寸符合要求，然后开始拼装工作。

2.4 门叶拼焊

拼装专用弧胎需按照 $R = \text{设计半径}(16\text{m}) + \text{工艺量}$

的方式进行搭制。在弧胎上铺设面板，使用3m长的样板对面板内缘弧度进行检查，确保其符合标准，并整体放样，焊接收缩量在放样时需予以关注，要求两个主纵梁中心距需控制在6300mm^[5]。为保证焊接质量，避免发生焊接变形情况，要求主纵梁腹板、纵小梁腹板与面板之间的拼装间隙必须控制在2mm以内。

组装完成门叶之后，要在焊接前后对主纵梁中心距、面板弧度等尺寸进行记录。在焊接过程中要分为左右门叶两个区域，总共需要8名焊接工人焊接，从中心开始焊接，然后向两端施焊，使用 $\phi 3.2\text{mm}$ 的焊条打底焊接坡口，使用小电流进行多道多层焊，焊接需高速进行，降低焊接线能量。为避免在焊接过程中面板产生的变形量，要求在主纵梁腹板与面板之间的T型焊缝焊接期间，为消应力处理，可以穿插进行风铲震动，完成门叶焊接后要采用100%超声波探伤检测。

门叶在下弧胎后，要进一步修整单片门叶，确保在加工过程中两节门叶面板整体直线度、节间端板整体平面度分别控制在 $\leq 8\text{mm}$ 、 $\leq 5\text{mm}$ 。在大型退火炉对门叶进行整体退火消应力处理。为对门叶退火进行有效控制，避免发生门叶变形，要在平板车上放置门叶，并且要与平板车之间保持200mm的距离，保证退火时有均匀的受热。

2.5 支臂制造

支臂可以分为上下两个支腿，使用竖杆、斜杆等将两个支腿连接在一起形成一个整体。前端板设置在支臂主横梁连接端，使用螺栓连接前端板与主横梁的后翼板。使用螺栓连接支臂另一端的后端班与铰链^[6]。为保证连接的紧密性要求采取刨削加工，螺栓孔要配钻，确保装配的整体质量。单独拼装与焊接支臂的各部件，拼装完成检验合格后可以组装支臂。在钢平台上放样，支腿、竖杆等要采用吊坠的方式进行组拼，通过检查与修切，确保组拼的整体质量。

在焊接前要将焊接焊缝20mm范围内的杂物清理干净，定位焊长度、间距、厚度需分别控制为 $\geq 50\text{mm}$ 、100~400mm、 \leq 正式焊缝的1/2，严格按照焊接顺序焊接，确保焊接的整体质量。

2.6 止水制造

弧形闸门安全可靠运行的重要设施是止水装置，所以在孔弧形闸门制造过程中必须重视止水装置的整体质量，确保能与止水座严密配合，避免留有缝隙，防止有漏水等各种问题产生。止水橡胶在下料时，要求能留有一定的因变形产生的生缩量。将一层橡胶垫片加设在止水橡胶皮带下，能对门体变形产生的止水面不平度误差予以消除，保证止水面的平整度，启动严密止水的效果。

2.7 支铰制造

采用活动支铰，活动支铰套毂壁厚度、材质分别为

235mm、Q345B,活动支铰的尺寸为1200mm×3650mm×6094mm,单件质量为26.6t。活动支铰的形状如图所示。在活动支铰套轂制造过程中,要对前端体现进行热处理,消除在焊接全过程的应力。活动支铰套轂需严格进行正火与回火处理,并在完成制造后进行超声波探伤。活动支铰前段与后段共同组成活动支铰,活动支铰结构部分的翼板、腹板和隔板厚度分别为50mm、40mm和20~40mm。在焊接前需提前预热,在焊接之后要做好保温工作,采用V型口组装构件,焊接时采用CO₂气体进行保护。预热使用远红外线方式,将支铰套轂的温度加热到120~150℃。

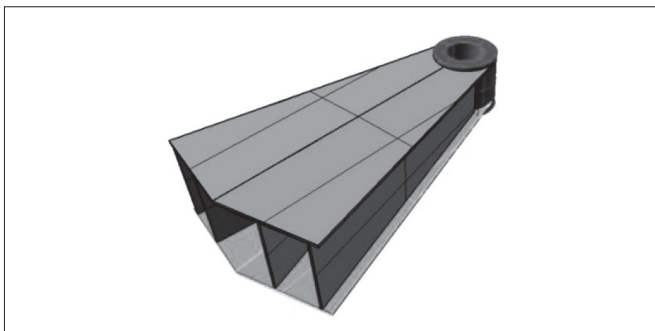


图 活动支铰

2.8 面板加工

在弧形闸门制作加工中面板加工是关键环节,在面板加工时可以采用工件不动机床转动的方式,由于面板是由多个近似弧面的平面组装起来,所以加工难度较高。在面板加工过程中,可以确定曲率半径为18m、加工时使用直径为100mm的硬质合金铣刀加工,接刀位置产生的高差需控制在0.08mm以内。弧形闸门面板在加工过程中,要求表面粗糙度、曲率半径允许偏差需分别控制为12.5 μm、±2mm。

3 整体组装及检测

3.1 整体组装

对平台的平面度与支架的稳定性进行检查,并做好加固加紧措施。控制点与控制线要在总平组台上侧放出。主要有弧门中心线、支臂中心线等,相对高程要在支墩及预埋底板上测出,并做好标记。吊装左右两支铰,对位置、跨距等进行调整,确保两支铰轴孔的同心度满足倾斜度能准确。支铰中心位置的确定,要以面板外缘的曲率半径为依据,然后计算支铰中心高程与距离,对支铰相对于弧门中心的距离进行调整,确保误差能控制在1mm以内。合理调整支铰仰角,确保支臂能保持在水平位置,且能与支臂端面相吻合。

在左右两个支臂进行安装前,要在支墩上吊装两支臂,通过调整确保支臂的中心、高程等符合要。靠拢支

臂前端矛支铰底部,下肢中心高程与中心位置要合理调整,确保上肢与下肢中心在同一铅垂面内、将一个支架焊接在上肢顶,挂掉线锤,便于调整工作的开展。完成支臂调整之后,需检查相关尺寸,比如开口尺寸、对角线长等,保证各项数据符合要求。为提升支臂与支墩的强度,可以将挡板固定在支臂与支墩之间,使用落实固定牢固。按照顺序吊装门叶,接缝需逐节对好,位置调整好之后与支臂连接。

3.2 检测

在完成整体组装之后就要做好验收工作,按照标准进行检查,确保各项指标符合要求与标准。同时,相关部门组成验收小组进行验收。在检测时检测的内容主要有:曲率半径、门叶弧度和结合部位等,确保各部分及细节等符合标准与要求,确保施工质量。所有项目检测合格之后需编写检测报告,并将报告提交给相关部门。

4 结语

深孔弧形闸门设计与制造关乎水利水电工程的质量与安全,事关人民群众的生命财产安全。在深孔弧形闸门设计与制造过程中,必须优化设计方法,提升设计质量,确保深孔弧形闸门设计的科学性与合理性。同时也要在深孔弧形闸门制造过程中,严格按照设计方案进行操作,确保深孔弧形闸门的整体质量,减小制造误差,避免发生质量问题,促进我国水利事业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 谢涛,覃志强,李云峰,等.基于有限元法的露顶式弧形闸门动力特性研究[J].水力发电,2021,47(01):103-106.
- [2] 张雪才,陈丽晔,姚宏超,等.弧形闸门支臂结构空间有限元分析原则研究[J].水力发电,2021,47(07):73-82.
- [3] 刘佳.机械零部件设计制造工艺加强研究—评《常用机械零部件设计与工艺性分析》[J].铸造,2021,70(01):134.
- [4] 张中昊,兰佳欣,汪可欣.布置压杆的弧形钢闸门静动力特性分析[J].工程力学,2021,38(S1):144-150.
- [5] 宋娟,杨佳慧,陆颖瓚,等.双自由度圆弧形压电能量收集器的设计与研究[J].仪表技术与传感器,2020(06):37-41+46.
- [6] 周奕琦.水闸规范与水力计算手册中弧形闸门流量计算的比较分析[J].水利技术监督,2022(07):1-4.

作者简介:白文杰(1971.04-),男,汉族,内蒙古赤峰人,本科,高级工程师,研究方向:水能动力工程。