

水利露顶式弧形闸门及启闭机安装施工技术

赵燕海

北京新洲咨询有限公司 北京 100080

摘要：本文聚焦于水利露顶式弧形闸门的安装施工技术，深入剖析了弧形闸门在水利工程中的重要作用及其安装施工的复杂性和关键性。通过对弧形闸门及启闭机安装前的准备工作、关键部件安装技术、安装过程中的质量控制要点以及常见问题的预防与处理措施等方面的详细阐述，旨在为水利中型弧形闸门及启闭机的安装施工提供一套系统、科学且具有创新性的技术方案，以提高闸门、启闭机安装质量，保障水利工程的长期稳定运行；另一方面，优化的技术方案能够使得建设者节约材料和人工工时，使得建设者从技术管理中获得经济利益。

关键词：水利工程；露顶式中型弧形闸门；安装施工；质量控制

1 引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，对于防洪、灌溉、发电、供水等诸多方面起着至关重要的作用。露顶式弧形闸门作为水利工程中常见的一种门型，凭借其自身结构合理、启闭力小、运行可靠、对混凝土结构要求简单等优点，被广泛应用于各类水工建筑物中；相应的双吊点液压启闭机也被优选使用到大中型弧门中，使得闸门的开启速度、闸门的开度能够精准控制，为水运管理单位宏观控制水流速度、水流量、水头高度等提供便利。然而，在水利工程建设期间，弧形闸门及启闭机的安装施工是水利工程建设的关键环节，其安装质量直接影响到闸门后期的正常运行和水工建筑物的安全。弧形闸门及启闭机安装施工涉及到多个专业领域，技术复杂，施工难度较大，任何一个环节出现问题都可能导致闸门运行不畅甚至出现安全事故。因此，深入研究水利中型弧形闸门安装施工技术具有重要的现实意义。

2 弧形闸门在水利工程中的作用及安装特点

2.1 弧形闸门在水利工程中的作用

弧形闸门是一种通过弧形门叶绕固定支铰旋转来实现启闭的水工闸门。在水利工程中，它主要起到控制水流、调节水位、拦截洪水等作用。例如，在水库工程中，弧形闸门可以安装在溢洪道上，当水库水位超过设计水位时，开启闸门泄洪，确保水库大坝的安全；在灌溉工程中，弧形闸门可用于调节渠道的水流量，满足不同农作物的灌溉需求。

2.2 弧形闸门安装特点

水利中型弧形闸门安装具有以下特点：

一是技术要求高。

弧形闸门的安装精度直接影响到闸门的启闭灵活性

和密封性能，因此对安装过程中的各项技术参数要求严格，如底坎的水平度、侧导板垂直度及半径精度、门叶的垂直度、水平度、双支铰的中心位置及同心度、启闭机轴的同心度及水平精度等。

二是施工难度大。

弧形闸门通常体积较大、重量较重，安装过程中需要使用大型起重设备进行吊装和定位，同时还需要考虑施工现场的地形、地质等条件，增加了施工难度。三是协调工作多。弧形闸门安装涉及到土建、金属结构、电气等多个专业，需要各专业之间密切配合、协同作业，才能确保安装施工的顺利进行。

3 弧形闸门安装前的准备工作

3.1 技术准备

在弧形闸门安装前，技术人员应熟悉设计图纸和相关技术规范，如《水利水电工程钢闸门制造安装及验收规范》（GB/T14173-2008）。编制详细的安装施工方案和作业指导书，明确安装工艺流程、技术要求、质量标准和安全措施等内容。例如，在安装施工方案中应规定门叶吊装的顺序和方法，先吊装底节门叶，再依次吊装中节和顶节门叶，每节门叶吊装就位后，应使用临时支撑进行固定，防止门叶倾倒。对施工人员进行技术交底，使施工人员了解安装工艺流程、技术要求和质量标准^[1]。同时，还应组织相关人员对施工现场进行实地勘察，了解现场的地形、地质、交通等情况，为安装施工做好充分准备。

3.2 材料和设备准备

根据安装施工方案的要求，准备好所需的材料和设备。材料主要包括预埋件底坎和侧导板、闸门门叶、支铰、支臂、水封等金属结构件和密封材料。根据工程进度和现场查看实际情况协调材料进场，按发货单及图纸

清算数量，按图纸对金属结构部件及启闭机外形尺寸，相配尺寸进行复核，轴、销等进行试装检查。检查构件是否有碰损，变形等异常现象，不应超过规范或图纸要求，否则应在安装前进行处理。对到货的金属结构件、启闭机及其零部件应妥善存放、保管，金属结构件及启闭机应平放，不得堆叠，加工面应予保护。止水橡皮应平放室内，不得盘折。

设备主要包括起重设备、焊接设备、测量仪器等。起重设备应根据闸门的重量和尺寸进行合理选择，其最大起升高度应不小于20m，工作半径应能满足门叶吊装的要求。焊接设备应选用性能稳定、焊接质量可靠的设备，如MZ-1000型埋弧焊机，其焊接电流调节范围为300-1000A，焊接电压调节范围为20-40V。测量仪器应经过计量检定合格，并在有效期内使用，如全站仪的测角精度应不低于 $\pm 2''$ ，测距精度应不低于 $\pm (2\text{mm}+2\times 10^{-6}\text{D})$ （D为测量距离）。

3.3 安装场地的验收及安装控制桩号线和高程测设

弧形闸门安装前，应对闸门流道地板、侧导墙进行交接验收，确认地板无其它堆放的施工材料，侧导墙模板已经拆除。底坎和侧导板安装的二期预埋区域已经被清理。

根据设计图纸，在流道地板上测放出流道中心线（闸门中心线）、纵向支铰中心线；测设出启闭机油缸支铰中心横向控制线；距离侧导墙200mm处测放出侧导板控制线；在距离底坎二期预埋坑边100mm测放出底坎控制线；在左右侧导墙上测设出支铰横向控制线，并与测设的支铰中心高程描出交点；从高程控制网引测底坎预埋安装高程控制点，要与启闭机油缸支铰、弧门支铰控制高程进行联测平差。

4 弧形闸门关键部件安装技术

4.1 支铰固定螺栓、底坎、侧导板等预埋件安装技术

4.1.1 支铰固定螺栓安装：

在施工图中没有设计支铰基础垫板的，施工单位自己参照支铰底座图纸，采用20mm厚材质Q235B的钢板加工制作基础垫板，螺孔位置尺寸和精度与支铰相同。计算好螺纹外露长度并将螺杆用临时螺母固定到垫板上，调整螺杆与垫板垂直度不大于1/1000，并且控制螺杆与垫板中心的偏差小于0.5mm，完成后用临时螺帽紧固等待安装。在支铰牛腿预埋好的钢筋上按照事先计算好的垫板底边高度焊接支撑架，按照支铰倾斜角度换算出螺杆1m处的高程焊接支撑架，左右两侧牛腿上焊接的支撑架高程偏差控制在0.5mm内。完成后将组装好的垫板和螺杆吊装放置到支撑架上，利用纵横向中心控制线，按照支铰

精度精确调整垫板中心的高程、位置和倾斜度，合格后进行加固固定。此过程是支铰安装的关键，不但能够保证后期支铰安装的精度，还能比其它技术节约安装台班2-3个。

4.1.2 底坎安装

利用底坎预留槽内的钢筋，每隔3m焊接一个底坎支撑架，支撑架高程利用设计图纸中底坎顶面高程换算可得，支撑架顶部高程偏差控制在1mm，完成后将底坎吊装放置到支架上，利用事前测放的流道中心线和桩号位置控制线，精确调整底坎的中心位置、桩号、高程和直线度。底坎中心偏差不能超过 $\pm 2\text{mm}$ 、里程和高程偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内，底坎两端高低偏差不能超过2mm。利用焊接支撑架的技术工艺比普通千斤顶支撑底坎，可以节约工时台班不低于2个，而且加固后二期浇筑后底坎位置和高程基本不会产生变化^[2]。

4.1.3 侧导板安装

侧导板安装是在底坎二期浇筑强度达到要求之后进行的，利用前期测放到侧导墙的支铰中心为圆心，按照图纸设计侧导板底部与底坎连接处的半径，在底坎上做出侧导板底部控制点，然后吊侧导板进入预留槽，侧导板底部止水中心对好底坎上测设的控制点位，两侧分别焊接可调节顶丝临时固定；顶部以侧导墙测设的支铰中心点为圆心，图纸设计侧导板止水半径粗调侧导板顶部，两侧分别可调节顶丝临时固定，然后每隔2米焊接一组可调节纵横向的三个顶丝。接下来将全站仪架设到之前测设的控制线测控侧导板垂直度、扭曲和到流道中心的位置，利用侧导墙测设的支铰中心为圆心控制侧导板半径，每两米精确测量调整一次，平面度和垂直度不超过1mm/1000mm，宽度方向扭曲不超过1mm/1000mm，半径不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。侧导板精调使用顶丝组调控，及快速又方便，而且调整完成后可作为加固钢筋使用，不存在使用千斤顶调整完拆除千斤顶后尺寸变化超差复调的问题，使用该项工艺比普通千斤顶节约工时每孔达4个台班。

4.2 支铰安装技术

支铰安装前，应先对支铰座进行清理和检查，确保支铰座表面无油污、锈蚀等缺陷；确认牛腿支铰基础垫板和螺栓二期浇筑后混凝土养护日期和强度达到设计要求，检查清理支铰基础垫板，清理螺杆螺纹并拆掉临时固定用螺帽。做好以上准备后，将牛腿端支铰吊装后用产品螺帽固定，利用侧导墙测设的支铰中心点引钢丝线贯穿支铰轴孔，检查支铰同心度，包括上下、左右偏差不能超过0.5mm，利用地板测设的支铰控制线架全站仪

检查支铰中心对流道中心的偏差，将偏差控制在2mm以内。支铰调整合格后紧固产品螺帽，吊支臂将支臂支铰和牛腿端支铰连接，穿支铰小轴后可拉高或降低起吊用导链检查支铰的转动情况，确保支铰能够自由转动，且转动过程中无卡阻现象，最后将支臂与弧门连接端降落到地板上，用木板做隔离保护地板和支臂，等待弧门安装到位后再连接支臂。

4.3 门叶、支臂安装技术

通常情况下，弧门出厂前应对门叶进行预组装，检查门叶的尺寸、形状是否符合设计要求，完成弧门出厂验收后焊接上下节门叶面板和边梁处预留的定位装置。弧门安装前，在底坎和侧导板上测划出弧门底边和侧边半径线，然后第一节门叶吊装，应使用合适的起重设备将门叶缓慢吊起，并调整门叶的位置和角度，使门叶准确就位，检查完两门叶两侧到侧导板之间的间隙，调整均匀相同后进行固定。

为了保证闸门安装精度，场内加工支臂时，一般预留了20-40mm切割长度。先把下节门叶吊装就位并固定牢固后，使用5t倒链将支臂提起至门叶主梁翼板下方，测量放线，将支臂多余部分切除，再将支臂提升至于门叶连接板处，调整好支臂两侧的高度和倾斜度。检测倒链与支臂垂直，利用千斤顶顶支臂向流道中心方向移动50mm，然后松开千斤顶让支臂自由往回移动，停动后将支臂中心点划到门叶连接板上；利用千斤顶顶支臂向侧导板方向移动50mm，然后松开千斤顶让支臂自由往回移动，停动后将支臂中心点划到门叶连接板上，如果两点不重合取两点中点为支臂中心就位点，此过程非常重要，可保证闸门运行过程中不会在支铰处产生异响。支臂与门叶连接前，还应再次对支臂进行检查，确保支臂的尺寸、形状符合设计要求。支臂的长度偏差应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，弯曲矢高应不大于 $L/1000$ （ L 为支臂长度），支臂的直线度偏差应控制在 $L/1000$ 以内（ L 为支臂长度），垂直度偏差应控制在 $H/1000$ 以内（ H 为支臂高度）确认没有问题后将支臂与门叶连接板拼点并焊接牢固。

起吊上节门叶，对准插入上下节门叶面板和边梁处预留的定位装置，使上节门叶落至下节门叶主梁，用千斤顶调整连接处错位，上下连接处错位确保小于2mm，顶部用倒链调整上节门叶的曲率半径，整体测量无偏差后，拼接点焊上下节门叶对接缝。弧形闸门面板拼装就位完毕，采用样板检查其弧面的准确性。样板弦长不得小于1.5m，样板与面板间隙每米不应超过3mm。检查结果符合施工图纸要求后方能进行安装焊缝的焊接。

焊接时应严格按照焊接工艺要求进行操作。焊接电流

应根据钢材的厚度和焊接位置进行选择，如焊接20mm厚的Q355C钢材时，焊接电流可控制在220-260A之间；焊接电压可控制在24-28V之间。确保焊接质量，焊接完成后，应对焊缝进行外观检查和无损检测，焊缝外观应无裂纹、气孔、夹渣等缺陷，无损检测合格率应达到100%。

4.4 水封安装技术

水封安装前，应对水封进行检查，确保水封表面无裂纹、划痕等缺陷。水封的尺寸应与门叶和侧止水座板的尺寸相匹配，其长度偏差应控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，宽度偏差应控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。水封安装时，应根据水封的形状和尺寸进行裁剪和拼接，拼接处应采用粘接或热合的方式进行连接，确保拼接处密封良好。粘接时，应选用专用的水封粘接剂，粘接面的处理应符合粘接剂的使用要求，粘接后应进行固化处理，固化时间应根据粘接剂的种类和环境温度确定，一般为24-48h。热合时，应使用专用的水封热合设备，热合温度应控制在200-250℃之间，热合时间应控制在10-15s之间^[3]。安装时，先将橡皮与水封压板一起配钻螺栓孔。橡胶水封的螺栓孔，应采用专用钻头使用旋转法加工，其孔径比螺栓直径小1mm，此方法是水封安装的关键步骤之一，可确保不会在螺孔位置漏水。水封安装过程中，应使用专用工具将水封压紧在门叶和侧止水座板上，确保水封与门叶和侧止水座板之间紧密贴合，无缝隙。水封的压缩量应控制在2-4mm之间，可通过调整水封的安装位置和压紧工具的压力来实现。水封安装完成后，应进行水封透光试验，检查水封的密封性能。

4.5 液压启闭机油缸支铰或支承机架的安装技术

液压启闭机油缸支铰或支承机架的安装偏差符合施工图纸的规定。若施工图纸未规定时，油缸支承中心点坐标偏差不大于 $\pm 2\text{mm}$ ；高程偏差不大于 $\pm 5\text{mm}$ ；支承的油缸的支铰轴水平偏差不大于 $0.2/1000\text{mm}$ 。双吊点液压启闭机的两支承面或支承中心点相对高差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

安装液压启闭机支承前，参照图纸和支承加工尺寸，在二期混凝土预留坑利用预埋钢筋焊接支撑架，支撑架使用100*5的工字钢或槽钢保证其强度，支撑架高程是支承支铰中心到底部的几何尺寸，支撑架前后偏差控制在1mm以内，流道两边的支撑架高程偏差控制在0.5mm以内。由于支承支铰高程偏差要求不大于 $\pm 5\text{mm}$ ，完成支撑架工作后支承支铰高程基本可以不要调节就能满足设计和标准要求，只要去调节控制支承支铰轴的水平和前后倾斜即可。

吊支承机架到支撑架上，粗调支铰中心位置后，架

设全站仪到预先测放好的桩号控制线上,精确调整支承支铰轴前后倾斜和位置,偏差控制在0.5mm以内,利用框式水平仪测量控制支承支铰轴顶部水平,水平偏差控制在0.2/1000mm,完成水平精调后再去复测支承支铰轴位置和倾斜,没有出偏差现变化再进行支承机架的加固。需要注意的是,要杜绝有的厂家将油缸和支承支铰组合到一起,利用支承机架外廓调控位置和高程,这样会导致后期闸门运行过程油缸轴卡顿或变形。另外,使用预先焊接支撑架的工艺比使用千斤顶和吊车配合调控支承支铰可节约将近3个台班工时,节约台班工时数是某项目分组施工对比统计数。

5 弧形闸门安装过程中的质量控制要点

5.1 测量控制

在弧形闸门安装过程中,测量控制是确保安装质量的关键。应建立精确的测量控制系统,使用高精度的测量仪器对闸门的各项安装参数进行测量和监控。在支铰安装、门叶安装、支臂安装等关键工序中,应进行多次测量和复核,确保测量数据的准确性和可靠性。同时,还应定期对测量仪器进行校准和维护,保证测量仪器的精度符合要求。

5.2 焊接质量控制

弧形闸门的金属结构件大多采用焊接连接,焊接质量直接影响到闸门的结构强度和安全性。在焊接过程中,应严格按照焊接工艺要求进行操作,选择合适的焊接材料和焊接工艺参数,确保焊接接头的质量。应加强对焊接接头的质量检查,采用无损检测等方法对焊接接头进行检测,及时发现和处理焊接缺陷。焊接完成后,应对焊接接头进行后热处理和防腐处理,提高焊接接头的性能和使用寿命。

6 弧形闸门安装常见问题及预防处理措施

6.1 闸门启闭不灵活、振动、异响

闸门启闭不灵活、振动、异响是弧形闸门安装过程中常见的问题,主要原因可能是液压启闭机支承支铰、弧门支铰安装精度不达标,支臂安装不是自由度连接,支臂与门叶、支臂与支铰存在扭曲应力。另外一方面存在支铰转动不灵活、门叶变形、水封摩擦力过大等。预

防措施包括:在支铰安装前,对支铰进行清理和润滑,确保支铰转动灵活;在支铰安装过程中,按照提高一个级别要求精确控制各项参数;在门叶安装过程中,严格控制门叶的安装精度,避免门叶变形;在水封安装时,合理调整水封的压缩量,减小水封和侧止水座板之间的摩擦力。

6.2 闸门漏水

闸门漏水也是弧形闸门安装过程中常见的问题之一,主要原因是水封安装质量与特殊工艺把控不严、门叶变形、闸门与侧止水座板之间的间隙过大等。预防措施包括:在门叶安装过程中,严格控制门叶的安装精度,避免门叶变形;在闸门安装完成后,对闸门与侧止水座板之间的间隙进行检查和调整,确保间隙符合设计要求。在水封安装过程中,严格按照安装工艺要求进行操作,确保水封和侧止水座板之间紧密贴合并且有相同的压缩量。

结语

水利露顶式中型弧形闸门安装施工技术复杂、要求严格。通过实践与研究得出:充分安装前准备,涵盖技术、材料设备及基础验收等,严格依照设计要求和标准规范进行,是为安装施工创造良好条件的基础;关键部件安装技术是核心,支铰、支臂等部件安装质量影响运行性能与安全,需采用科学方法控制精度;安装过程质量控制是关键,要强化测量、焊接及精度控制等管理,完善体系;对常见问题进行预防管理是提高安装质量的重要措施,要针对闸门启闭不灵活、振动、异响等问题要做到事前有效预防和控制,是闸门后期优质运行的保障。

参考文献

- [1]王辉.引水枢纽工程露顶式弧形钢闸门安装技术[J].四川水利,2023,44(06):138-140+173.
- [2]梁永旺.浅谈黄河内蒙古三盛公水利枢纽除险加固工程总干跌水闸弧形闸门施工方法[J].内蒙古水利,2019,(03):74-76.
- [3]刘元广,洪学飞,李子昌,等.水电站大型弧形钢闸门结构响应与安全分析研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(06):133-148.