

水利金属结构安装施工关键技术研究

孟祥熙 张朕宇

浙江江能建设有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]水利枢纽金属结构安装包括闸门、启闭机、压力钢管和拦污清污设备等, 施工质量直接影响工程的安全运行。根据安装过程中测量定位精度控制难, 大件吊装与组对要求高, 现场焊接变形敏感, 机械、电气与液压系统的联合调试技术难度高等特点, 对安装准备、测量放样、埋件加固、结构组对、焊接防腐和联合调试等全过程关键技术进行了总结。重点论述了安装控制网强制对中测设、闸门槽埋件可调节内支撑加固、厚板环缝分段退焊和变形监测、液压管路循环冲洗和同步调试等实用工艺。经由诸多大中型水闸、泵站以及输水工程加以检验, 该技术措施较好地控制了安装误差, 缩减了返工比率, 保证了金属结构的平稳运行并保持可靠, 可以为类似施工给予参照。

[关键词]水利金属结构; 安装施工; 测量定位; 焊接变形控制

DOI: 10.33142/hst.v9i6.20074

中图分类号: TV547

文献标识码: A

Research on Key Technology for Installation and Construction of Water Conservancy Metal Structures

MENG Xiangxi, ZHANG Zhenyu

Zhejiang Jiangneng Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: The installation of metal structures in water conservancy hubs includes gates, hoists, pressure steel pipes, and sewage interception and cleaning equipment. The quality of construction directly affects the safe operation of the project. Based on the difficult control of measurement and positioning accuracy during installation, high requirements for large lifting and assembly, sensitivity to on-site welding deformation, and high technical difficulty in joint debugging of mechanical, electrical, and hydraulic systems, a summary of key technologies throughout the entire process including installation preparation, measurement and layout, embedded reinforcement, structural assembly, welding corrosion prevention, and joint debugging has been conducted. The focus is on practical processes such as mandatory installation of control network, adjustable internal support reinforcement of gate slot embedded parts, segmented welding and deformation monitoring of thick plate circumferential seams, hydraulic pipeline circulation flushing and synchronous debugging. After being tested by numerous large and medium-sized water gates, pump stations, and water transmission projects, this technical measure has effectively controlled installation errors, reduced rework rates, ensured the smooth operation and reliability of metal structures, and can provide reference for similar construction projects.

Keywords: water conservancy metal structure; installation and construction; measurement and positioning; welding deformation control

引言

水利工程金属结构担负着挡水、泄水、输水以及启闭控制的主要任务, 如果安装偏差超过设计允许范围, 很容易造成闸门漏水、启闭卡阻或者启闭力突然增大等问题, 危及汛期的安全。近些年来, 高水头大孔口闸门、长距离压力钢管和大型液压启闭机被广泛使用, 安装工作常常要在狭小的空间里进行, 存在大吨位构件吊装、密集焊缝拘束应力大、调试接口繁杂等实际问题^[1]。由于门槽埋件浇

筑位移、钢管组对错边、焊接残余变形超差等原因造成返工的项目数量较多, 而造成工期延误以及成本增加。现有的研究大多集中在设备的设计理论和制造工艺上, 对于现场安装过程中可以落实、可以复验的技术没有进行系统的梳理。

1 安装施工准备与工艺流程

施工准备阶段技术团队要完成施工组织设计内部审批, 熟悉设备图纸和土建结构衔接关系, 特别是孔口尺寸、

预埋件位置和混凝土浇筑分层。设备到货后核对出厂合格证和材质证明,目视检查外观锈蚀、变形,用游标卡尺和样板复核闸门节间连接板螺栓孔群、启闭机机座螺栓孔位等关键部位。基础混凝土达到设计强度的 70%以上才可以埋设地脚螺栓^[2]。工装准备有门槽安装调节架、弧门支铰定位钢模板、钢管组对内支撑和压码、焊接防雨保温棚等。测量仪器必须有计量检定证明,在有效的周期内使用。

安装总体上是按照先埋件后结构件、先水下后水上、先固定件后活动件的顺序进行的。典型工艺流程为复测土建移交的基准点,建立安装专用控制网;一期埋件插筋及底槛安装;土建浇筑一期混凝土,待其强度达到要求后安装二期埋件主轨、反轨及门楣,精调加固并完成二期混凝土;在组装平台上拼装闸门门叶,吊入槽内;安装启闭机与闸门联接;铺设压力钢管,逐节组对焊接;拦污栅和清污机就位;然后开始防腐补涂和电气液压系统调试,进行无水和动水联合试运行。对全过程设多次停止点进行检查,在门槽混凝土浇筑前后、闸门落槽前后、管路冲洗前后均要检查,防止出现不可逆的安装缺陷。

2 测量放样及埋件安装关键技术

2.1 安装控制网测设与定位

安装控制网应与土建施工放样网相独立,布点应选择闸墩顶部或者启闭机平台等稳定区域,建造强制对中观测墩。观测墩顶部预埋中心螺旋强制对中盘,使全站仪和棱镜基座直接卡入,省去光学对中环节,将对中误差控制在 0.2mm 以下。水平角观测用 1"级全站仪,边长测距加入气象改正和仪器常数改正。高程传递用经检定的悬吊钢尺配合电子水准仪,上下两台仪器同时读数来抵消钢尺零长误差。高空启闭机室高程用全站仪三角高程对向观测,指标差互差控制在 5"以内。

孔口中心线是埋件定位的最基本基准。在闸墩上下游处放出中心点,打铤眼、划十字线,两侧中心间距用钢尺施加标准拉力丈量,记录温度改正。利用该中心线架设经纬仪,转 90°定出门槽横向中心线,以对角线长度复核。所有的门槽埋件都从这条纵轴线和横轴线的交点处开始测量,避免出现尺寸传递累积的情况。现场经验表明,孔口中心线偏差大于 2mm 就会造成闸门入槽后侧向间隙不均匀,后续调整十分困难,因此放样后必须有另一名测量人员独立复测,记录闭合差。

2.2 闸门槽埋件安装及加固

闸门槽埋件有底槛、主轨、反轨、门楣和侧轨。底槛安装前将一期插筋表面的浮渣清除干净,放对楔形垫铁以调整高程。用精密水准仪观测底槛平面位置,横梁水平度

在 0.5mm/m 以内。底槛中心线用经纬仪投点,偏差不大于 $\pm 3\text{mm}$,这是保证底止水均匀受压的前提。主轨从底槛逐节向上接长,对接焊缝错边修磨到 0.2mm 以下。主轨垂直度用精密经纬仪观测轨面上下设置的钢尺标志,每米垂直度容许 0.5mm,全高不大于 3mm。轨面到孔口中心线的距离用弹簧秤拉钢尺丈量,加上尺长改正和温度改正。安装时采用调节螺栓和预埋插筋点焊临时固定,整体测量合格后用连接钢筋双侧加焊,形成刚性整体。

二期混凝土浇筑是埋件位移风险最大的工序,必须设置内支撑体系。用双拼槽钢或者工字钢横向撑紧两侧主轨工作面,支撑间距 1.5m 左右,每根支撑端头配可调丝杆。跨孔口大时在孔口中部设纵向水平撑。浇筑过程中安排专人用经纬仪连续观测主轨垂直度,当变形达到 1mm 时立即停止下料,旋紧拉紧器进行校正。埋件安装允许偏差除按设计图纸执行外,还要符合有关规范的规定,主要控制指标见表 1。

表 1 闸门槽埋件安装允许偏差

项目	允许偏差
底槛、门楣高程	$\pm 5\text{mm}$
底槛、门楣中心线	$\pm 3\text{mm}$
主轨工作面垂直度	0.5mm/m, 且全长 $\leq 3\text{mm}$
反轨工作面垂直度	0.5mm/m, 且全长 $\leq 3\text{mm}$
门楣中心线	$\pm 3\text{mm}$
侧轨对孔口中心距离	$\pm 3\text{mm}$
主轨轨面间距	-1mm~+2mm

加固完成后经过联合验收,仓面清理干净并充分润湿,浇筑细石混凝土。振捣时不得用振捣棒直接冲击埋件和支撑杆件,应采用小直径软轴振捣棒,在埋件两侧对称下料,分层厚度不大于 40cm,保证混凝土密实又不使埋件偏位。

3 主要金属结构安装技术

3.1 钢闸门安装

平面闸门分节运到现场后,在拼装平台上进行组装。采用枕木搭设水平胎架,逐节吊放门叶分节,穿入连接板定位冲钉,对称拧紧部分螺栓。检查门叶对角线差、节间扭曲和止水平面度,扭曲值大于 3mm 时,在翼缘板下放置液压千斤顶调平。各项尺寸校核无误之后,将冲钉一个个换成高强度螺栓,并完成终拧工作。节间焊缝焊接时,偶数名焊工在门叶两侧对称施焊,用分段退焊法,每段长度 400mm 左右,层间温度保持在 150~200℃。焊后用直尺检查面板的波浪度,超标的部位用火焰圈点法矫正,加热点温度控制在 600~650℃,自然冷却。

门叶吊入槽前清理门槽内混凝土残渣和支撑杂物,空载试槽无卡阻。入槽后用塞尺测量侧向间隙和底止水压缩

量, 配装顶侧止水橡皮。弧形闸门安装的核心就是支铰座的定位^[3]。支铰座地脚螺栓群和预埋钢板焊接固定之前, 用铰座上的定位销孔来架设精密水准仪和千分尺, 控制左右两铰座轴孔同轴度误差不大于 0.5mm。支臂用临时连接板和门叶主梁拼装后, 焊接时观察门叶弧度变化。连接完成后缓慢开启闸门, 观察侧轮和轨道的接触情况, 有间隙的地方加装不锈钢垫片进行调节。

3.2 启闭机安装

固定卷扬式启闭机机座用成对斜垫铁调平, 水平度允许 0.1mm/m。开式齿轮啮合用压铅法、涂色法检查, 接触斑点沿齿高方向不小于 40%, 沿齿长方向不小于 50%。制动轮径向跳动控制在 0.15mm 以内, 制动瓦间隙一致。钢丝绳的绕绳必须按照厂家的绕绳图进行, 不能互相交叉或挤压, 绳头压板螺栓使用测力扳手对角拧紧。

液压启闭机油缸安装垂直度为第一指标。油缸吊装完毕后, 用精密水准管或者挂线锤检测垂直度偏差不大于 0.1mm/m。下吊头和闸门吊耳穿轴之前, 用手拉葫芦微调闸门姿态, 保证耳板孔位同心, 销轴无卡别穿入, 铜套涂二硫化钼润滑脂。高压软管连接前先用酸洗钝化管道, 然后用压缩空气吹扫干净, 管内壁不能有锈皮、杂质颗粒。

3.3 压力钢管组对安装

钢管洞内运输采用轻轨、台车。管节就位后用压码、楔铁调整相邻管口的错边量, 纵缝错边不大于板厚的 10%, 小于 2mm, 环缝错边不大于板厚的 15%, 小于 3mm。管口组对合格后, 在内壁和外壁对称处用定位板焊接。焊接前在管口处做米字形内支撑, 防止管口椭圆度超标。厚壁管环缝焊前预热 100~150℃, 用远红外电加热片包住, 热电偶实时监测温度^[4]。焊接工艺大多采用焊条电弧焊打底、埋弧自动焊或者药芯焊丝气体保护焊填充盖面。环缝先焊内侧, 背面碳弧气刨清根后打磨再焊外侧, 多层多道焊工对称同步施焊。

钢管中心线控制用洞顶激光指向仪配合全站仪测量管口圆心坐标, 逐节校正。弯管段根据空间三维坐标计算控制点, 用全站仪实测校核保证弯管角度和轴线衔接顺滑。镇墩浇筑前完成所有钢管安装验收, 保留内支撑, 防止浇筑振捣引起的位移。

3.4 拦污栅及清污机安装

拦污栅槽埋件安装方法同闸门槽一样, 要控制垂直度和净宽。栅体分节吊入时, 在孔口设置导向轨道, 用细钢丝检验栅条不直度。清污机安装主要为齿条导轨及行走

机构。导轨接头错台打磨顺接, 齿条用准直仪找直, 齿距累积误差在允许范围内。空载运行时检查抓斗开闭、翻板动作和限位开关位置, 动作正常后进行负载试机。

4 焊接防腐与调试关键技术

4.1 现场焊接与变形控制

现场拼缝大多为大厚度、强拘束焊缝, 必须采用低氢型焊材。Q355B、Q355C 钢板宜优先选用工艺性能更优的 E5017 焊条, 焊前须经 350℃烘干 1h, 存放于 80~120℃的保温筒内随用随取。对于超厚板及高拘束度节点, 除选用低氢焊材外, 焊前还应严格进行预热, 并根据板厚及环境条件确定预热温度及层间温度控制要求。坡口面无毛刺, 金属光泽, 装配间隙均匀, 定位焊长度不小于 50mm, 间距 300mm 左右。为了防止变形, 采用跳焊、分段退焊、对称施焊。闸门面板对接缝由中间向两边分段退焊, 每段约 500mm。门槽主轨对接时, 先焊一侧打底, 背面碳弧气刨清根后再焊, 保证全熔透。

在焊接过程中, 在焊趾旁装设千分表来测量角变形和收缩。当角变形达到 1mm 时, 立即停止焊接, 用反变形卡具或者背面加热减应区 5。焊后检验用超声波探伤, 质量等级不小于 II 级^[5]。超差处用火焰加热矫正, 加热温度控制在 600~650℃, 自然冷却, 严禁水激。

4.2 防腐涂装及修补施工

金属结构表面喷砂除锈至 Sa2.5 级, 表面粗糙度 Rz40~75μm。喷射磨料经过除油除水处理, 用比较样块来评定其粗糙度。涂装环境相对湿度不大于 85%, 钢板温度大于露点 3℃以上。涂料按配比混合并熟化 30min。涂装体系为环氧富锌底漆 0μm、环氧云铁中间漆 100μm、脂肪族聚氨酯面漆 60μm, 总干膜厚度不小于 220μm^[6]。每层涂覆中使用量规控制, 固化后用干膜测厚仪检测, 85%测点达到设计膜厚, 最低点不低于设计厚度的 80%。流挂、起泡等缺陷打磨后逐层修补, 安装焊缝区域清除焊渣飞溅后按同等涂层系统补涂, 搭接宽度不小于 50mm。

4.3 电气液压系统调试

电气调试时先核对配线, 测量绝缘电阻, 各回路对地绝缘不小于 1MΩ。电机空载运转 2h, 确认转向、振动和温升正常^[7]。连接机械部分之后调节上下极限限位开关, 留出缓冲行程。液压系统清洗油箱滤网, 注入抗磨液压油, 油液清洁度不低于 NAS 8 级。启泵循环冲洗管路 2h, 打开各个高点排气塞, 油缸全程往复动作数次排气, 直到运动平稳无爬行为止。溢流阀先做低压试调, 压力调到工作压力的 50%, 检查密封性, 然后逐渐升到整定值。同步

控制用位移传感器作反馈,双缸同步偏差控制在 5mm 之内,用比例阀微调来实现。

4.4 联合试运行与验收

无水试运行分为手动和自动两种方式,慢速启闭闸门,记录时间、电流、压力曲线,在全关位置测得止水漏水量,每米密封长度渗漏量不大于 0.1L/s。充水或动水试验在设计水头差下进行,全过程对闸门振动、门槽流激噪声和钢管压力脉动进行监测,主梁振动双振幅控制在 0.3mm 以下^[8]。连续三次无异常启闭,就可以启动验收。验收文件要包含安装测量记录、焊缝无损检测报告、涂装检验报告、调试记录等,保证齐全归档。

5 结束语

水利金属结构安装是精密测量、起重吊装、厚板焊接、机电液联调综合性的施工技术。安装控制网的强制对中和独立复测可以减少定位传递误差,闸门槽埋件内支撑的内支撑配合浇筑期实时监测,使偏位控制在毫米量级以内;大拘束度焊缝预热、分段退焊、变形跟踪,降低残余应力、返工率;液压系统严格冲洗、闭环同步调试保证启闭平稳。经由多项工程实践得知,该技术路线清楚、工装简单、一线班组易于掌握,一次安装合格率得到明显提升。伴随着数字测量和焊接智能化的发展,在实时位移采集和自适应焊接参数调节方面可以不断深入,从而不断提升水利金属结构安装质量。施工过程中仍然要保持工序检验、细化作

业指导,给设备长期可靠运行奠定基础。

[参考文献]

- [1]陆廷杰,刘东海,齐志龙.基于深度学习的水下钢结构锈蚀识别与评价[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2023,56(7):713-722.
- [2]王艳苓.水利工程金属结构闸门安装精度调整与启闭运行调试管理研究[J].水上安全,2026(5):32-34.
- [3]杨松,程顶,李云峰,等.紧凑型高坝集运鱼系统金属结构设计探讨[J].黑龙江水利科技,2024,52(11):38-57.
- [4]吴育松.水利水电工程金属结构安装施工质量控制对策探析[J].现代工程科技,2025,4(24):189-192.
- [5]殷超超.水利水电工程水工金属结构现场安装控制技术[J].中国建筑金属结构,2026,25(12):94-96.
- [6]李仕玉.余姚市陶家路江排涝枢纽及供水工程金属结构设计[J].科技创新与应用,2026,16(12):124-127.
- [7]王禄红.水库工程泄水建筑物金属结构设计要点及关键技术探讨以 P 水库为例[J].中华建设,2025(7):148-150.
- [8]邓秉华.水利工程中水库金属结构除险加固施工分析——以惠东县白盆珠水库为例[J].数字农业与智能农机,2023(11):54-57.

作者简介:孟祥熙(1994—),男,汉族,河南开封人,中级工程师,本科,毕业于中原工学院工程造价管理专业,研究方向为水利工程金属结构与机电设备安装。