

水电站金属结构闸门安装工艺探讨

王全力

中国葛洲坝集团机电建设有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16777

[摘要] 水电站金属结构闸门安装工艺是确保水电项目机电安装质量的关键。该工艺涵盖焊接准备、焊接实施与检查、验收等多个环节,要求焊接人员具备专业知识与实践经验。闸门安装过程中需严格控制变形,确保埋件定位准确及门叶拼装精密。通过优化安装技术、强化质量控制与防腐措施,提升闸门安装质量,保障水电站安全稳定运行。

[关键词] 水电站; 金属结构闸门; 安装工艺

中图分类号: TV547 **文献标识码:** A

Discussion on the Installation Technology of Metal Structural Gates in Hydropower Stations

Quanli Wang

China Gezhouba Group Mechanical & Electrical Construction Co., Ltd.

[Abstract] The installation process of metal structural gates in hydropower stations is crucial for ensuring the quality of electromechanical installation in hydropower projects. This process encompasses multiple stages, including welding preparation, welding implementation and inspection, and acceptance, requiring welding personnel to possess professional knowledge and practical experience. During gate installation, deformation must be strictly controlled to ensure accurate positioning of embedded parts and precise assembly of gate leaves. By optimizing installation techniques, strengthening quality control, and implementing anti-corrosion measures, the quality of gate installation is enhanced, ensuring the safe and stable operation of hydropower stations.

[Key words] hydropower station; metal structural gate; installation process

引言

水电站金属结构闸门作为水电站系统的重要组成部分,承担着挡水、泄洪、调节水位等关键功能。其安装工艺不仅直接关系到水电站的运行效率和安全稳定,也是衡量水电工程建设质量的重要指标。本文将从水电站金属结构闸门的安装工艺出发,系统探讨安装流程、关键技术和质量控制措施,旨在为提升闸门安装质量、确保水电站长期安全高效运行提供有益参考。

1 水电站金属结构闸门概述

1.1 金属结构闸门的类型与特点

(1) 平面闸门: 由平面面板构成,结构简单、制造安装方便,适用于中低水头的闸坝、渠道等,能承受一定水压,通过启闭机实现垂直升降。弧形闸门: 面板呈弧形,受力条件好,启闭力小,适合高水头、大跨度的泄水孔或溢洪道,但需专用铰座装置。链轮门: 借助链轮传动实现启闭,多用于低水头、小跨度的渠道或小型水库,操作灵活但承载能力有限。人字门: 门叶呈人字形关闭,密封性能好,常用于船闸等大跨度通航建筑物,能承受双向水压。(2) 金属结构闸门的主要功能包括挡水、泄水、调节水位、控制流量等,是水电站水资源调度和安全运行的关键设备。

其结构特点表现为材料强度高(多采用钢材)、构件连接牢固,需具备抗腐蚀、抗疲劳性能。闸门性能直接影响水电站的发电效率——如闸门密封不良会导致漏水损失;启闭故障则可能引发水位异常,威胁坝体安全。

1.2 金属结构闸门安装的重要性

(1) 闸门安装质量是水电站安全运行的核心保障:精准的安装能确保闸门与闸槽贴合严密,减少渗漏;启闭机构的正确装配可保证操作顺畅,避免卡阻现象,直接提升水电站的运行效率。同时,高质量安装能延长闸门使用寿命,降低维护成本。(2) 安装不当将引发多重风险:如闸门倾斜可能导致受力不均,引发结构变形甚至断裂;密封件安装偏差会造成严重漏水,增加能耗;启闭系统连接松动可能导致闸门失控,极端情况下引发洪水漫坝等安全事故,对下游人民生命财产构成威胁。

2 水电站金属结构闸门安装前的准备工作

2.1 现场勘查与测量

(1) 现场勘查需全面掌握安装区域的实际情况:重点核查地形是否存在障碍物或沉降隐患,地质结构是否满足设备承重要求,避免安装过程中因地基不稳引发安全事故;同时记录水文条

件,包括水位变化规律、水流速度等,为闸门安装后的防水密封设计提供依据。此外,还需检查周边基础设施(如电源、运输通道)是否适配安装需求,确保施工流程顺畅。(2)精准测量是保障安装精度的核心环节:使用高精度量具(如全站仪、游标卡尺)测量主轨道与反轨道的厚度,偏差需控制在设计标准的 $\pm 1\text{mm}$ 内;核对闸门面板及框架的实际厚度,与设计图纸的误差不得超过 2mm ;重点测量闸槽预留的宽度、深度及垂直度,确保闸槽尺寸与闸门结构匹配,避免因间隙过大导致漏水或启闭卡滞。测量数据需形成书面记录,作为后续安装调整的基准^[1]。

2.2 材料与设备准备

(1)闸门及附件的质量核验需严格执行验收标准:检查闸门主体钢材的材质证明、力学性能检测报告,确保符合Q345B等高强度钢的指标要求;逐一核查连接件(如螺栓、铰链)的规格型号,确认数量齐全且无锈蚀、变形;密封件(如橡胶止水带)需检查表面完整性,不得有裂纹或老化现象。所有部件需与设计图纸核对无误,不合格品严禁入场。(2)安装工具与设备需提前调试到位:根据闸门重量选用合适吨位的起重机(如50t汽车吊),并检查其制动系统、吊装索具的安全性;焊接机、切割机等设备需进行试运转,确保输出参数稳定;配备足够的安全防护设施,包括安全帽、防滑鞋、高空作业安全带等,同时设置警示围栏、应急照明设备,制定设备故障应急预案。

2.3 技术方案制定

(1)安装技术方案需具备针对性和可操作性:依据现场勘查数据,明确安装流程——如先安装轨道支架、再吊装闸门主体、最后进行密封件装配;规定焊接工艺参数,如焊条型号(J507)、焊接电流(180-220A)及层间温度控制,避免焊接变形;制定精度控制措施,如轨道安装的直线度偏差 $\leq 3\text{mm}/10\text{m}$,闸门垂直度调整采用全站仪实时监测。(2)方案评审需集合多专业技术力量:组织结构工程师、焊接技师、安全监督员等进行联合评审,重点论证吊装方案的承重安全性、焊接工艺的可行性及应急措施的有效性;对关键工序(如闸门与轨道的对接)进行模拟推演,识别潜在风险点并优化调整;评审通过后形成正式文件,对施工人员进行技术交底,确保各环节执行标准统一。

3 水电站金属结构闸门的关键安装步骤

3.1 埋件安装

(1)底坎安装前需清理基础表面杂物,采用水准仪找平,误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内,通过预埋螺栓固定后浇筑一期混凝土,初凝后复查高程;门楣安装利用吊车吊装,以垂线校准垂直度,与底坎的平行度偏差 $\leq 3\text{mm}$,临时焊接固定后检查平面度;主轨和反轨安装时,先定位轨道支架,用全站仪校准中心线,轨道间距偏差不得超过 5mm ,安装后用拉钢丝法检查直线度(每 10m 偏差 $\leq 3\text{mm}$),并预留二期混凝土浇筑空间,防止浇筑过程中产生位移。注意事项包括:埋件与混凝土接触面需做防腐处理;焊接固定时避免过度加热导致变形;二期混凝土浇筑需分层振捣,确保密实^[2]。(2)埋件安装精度是闸门稳定性的基础:主轨直线度偏差过大会使闸门运行时产生附加阻力,长期运行导致结构疲劳;底坎高程

误差超标会造成闸门受力不均,引发门叶变形;门楣与轨道间隙过大则会降低密封效果,增加漏水风险。同时,埋件安装牢固性不足会导致运行中产生振动,加剧构件磨损,缩短闸门使用寿命。

3.2 门叶拼装与焊接

(1)门叶拼装遵循“先框架后面板、从中间到两侧”的顺序,先将主横梁、边梁等构件用定位销固定,调整对角线偏差 $\leq 4\text{mm}$,再铺设面板,控制接缝错位 $\leq 1\text{mm}$ 。拼装过程中采用临时支撑加固,防止焊接时产生变形,支撑间距不超过 1.5m 。(2)焊接工艺需根据钢材型号选择参数:Q345钢焊接选用E5015焊条,直径 3.2mm 时电流控制在 $100-140\text{A}$,电压 $22-26\text{V}$;直径 4mm 时电流 $140-180\text{A}$,电压 $24-28\text{V}$ 。焊接顺序采用“对称分段、多层多道”方式,先焊立缝后焊横缝,长焊缝采用跳焊法,每层焊完后清除焊渣并检查有无气孔、夹渣。焊缝质量检查分三级:外观检查需无裂纹、咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$;UT检测覆盖对接焊缝,I级焊缝合格率需达 100% ;MT检测重点检查角焊缝及应力集中部位,确保无表面缺陷。

3.3 水封安装

(1)水封黏合前需用酒精清洁接合面,涂刷专用胶黏剂(厚度 $0.5-1\text{mm}$),晾置 $10-15$ 分钟至触指不粘时对接,用夹具加压($0.2-0.3\text{MPa}$)固化 24 小时;套孔位置需与门叶螺栓孔精准对齐,偏差 $\leq 1\text{mm}$,采用专用模具钻孔避免撕裂;联接时用不锈钢螺栓(M10-M12)紧固,扭矩控制在 $25-30\text{N}\cdot\text{m}$,确保接头平整。检查步骤包括:目视检查水封是否贴合门叶表面;用塞尺测量压缩量,确保均匀(偏差 $\leq 1\text{mm}$);进行闭水试验,观察有无渗漏。(2)水封安装质量直接决定密封性能:黏合不牢会导致接头开裂,产生严重漏水;套孔偏差大会使水封局部受力过大,加速老化;压缩量不足则密封不严,据统计,水封安装不良可使闸门渗漏量增加 30% 以上。优化措施包括:采用预压缩工艺(压缩量 $10\%-15\%$);接头处采用 45° 斜接并打磨光滑;在水封与门叶间加装弹性垫层,补偿安装误差^[3]。

3.4 支承装置安装调试

(1)支承装置安装先定位轴承座,用水平仪找平(偏差 $\leq 0.5\text{mm}/\text{m}$),通过增减调整垫片控制高程,误差 $\leq 1\text{mm}$;轴承间隙调整至 $0.1-0.3\text{mm}$,采用百分表监测;轴套与轴的配合间隙需符合设计要求(一般 $0.15-0.3\text{mm}$)。调试时进行空载试运行,记录各支点反力,确保受力不均匀度 $\leq 5\%$;加载试运行时测量启闭力,与设计值偏差不得超过 10% 。校验方法包括:用全站仪检查支承中心线偏差;通过应变片监测受力分布。(2)支承装置是闸门启闭的“关键节点”:安装过松会导致闸门运行时产生晃动,增加轨道磨损;过紧则会增大摩擦阻力,导致启闭机过载,甚至引发电机烧毁。良好的支承装置可使闸门启闭力降低 $15\%-20\%$,同时减少振动噪声,延长设备寿命。实际运行中,需定期检查轴承润滑情况,及时调整间隙,确保闸门运行平稳。

4 水电站金属结构闸门安装的质量控制

4.1 质量保障体系构建

(1) 人员资质需严格把关: 焊接人员必须持有有效期内的特种设备焊接操作证, 且焊接项目与实际作业匹配(如埋弧焊、手工电弧焊等); 质量检测人员需具备无损检测Ⅱ级及以上资格, 熟悉UT(超声波检测)、MT(磁粉检测)等技术; 实践操作人员需经岗前培训, 考核合格后方可上岗, 培训内容包括安装规范、安全操作及应急处理。定期组织技能复训, 更新知识体系, 确保人员能力与技术要求同步。(2) 质量管理体系是安装质量的核心保障: 需依据ISO9001标准建立全过程管控机制, 明确各岗位职责(如技术员负责工艺指导、质检员负责实时巡检); 实施“三检制”(自检、互检、专检), 每道工序需经签字确认方可流转; 关键节点(如焊接完成、闸门试吊)实行监理旁站制度, 形成可追溯的质量记录。实施要点包括: 制定量化质量目标(如焊缝合格率 $\geq 98\%$)、建立质量问题台账、定期召开质量分析会, 通过PDCA循环持续改进。

4.2 焊接质量控制

(1) 焊接前需完成材料预处理: 检查焊条烘干记录(低氢型焊条需经 $350^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ 烘干, 存入 $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ 保温筒), 清理焊件坡口油污、锈蚀, 露出金属光泽; 焊接过程中严格监控层间温度(碳钢保持 $150\text{--}300^{\circ}\text{C}$), 采用防风棚避免风速 $>8\text{m/s}$ 影响焊接; 焊后24h内进行无损检测, 外观检查需符合《钢结构工程施工质量验收标准》, UT检测需覆盖所有对接焊缝, MT检测重点检查角焊缝。

(2) 预防措施包括: 编制焊接工艺评定报告(PQR), 明确参数范围; 对厚板焊接采用预热($120\text{--}150^{\circ}\text{C}$)及后热($250^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$)工艺, 减少焊接应力; 设置引弧板避免弧坑缺陷。若出现裂纹, 需彻底清除缺陷区域后重新焊接, 同一部位返修不超过2次; 气孔、夹渣等超标缺陷需用碳弧气刨清除后补焊, 补焊后重新检测^[4]。

4.3 整体安装质量控制

(1) 关键质量控制点需重点监测: 轨道安装的直线度(用拉钢丝法检查, 偏差 $\leq 3\text{mm}/10\text{m}$)、闸门垂直度(用全站仪测量,

偏差 $\leq 1/1000$ 门高)、水封压缩量(用塞尺检查, 确保均匀且符合设计值); 试运转阶段需记录启闭时间、最大启闭力, 与设计值偏差不得超过5%。检查方法采用“仪器检测+试运行验证”结合, 如用压力传感器测试水封密封性, 通过无水试运行观察闸门有无卡阻。(2) 安装质量直接关系水电站安全与效率: 轨道偏差过大会导致闸门启闭受阻, 可能引发电机烧毁或结构变形; 水封密封不良会造成年漏水损失超百万立方米, 降低发电效益。优化措施包括: 采用激光准直仪校准轨道精度、对水封安装实行“二次调整”(先定位后加压复核); 建立安装质量数据库, 对比同类工程数据优化工艺; 投用前进行72小时连续试运行, 模拟极端工况验证稳定性。通过全方位控制, 确保闸门满足“二十年无大修”的耐久性要求。

5 结束语

综上所述, 水电站金属结构闸门的安装工艺是一项复杂而精细的系统工程, 要求安装团队具备高度的专业技能和严谨的工作态度。通过严格控制安装流程、采用先进技术和强化质量控制, 可以显著提升闸门安装的质量和效率, 为水电站的安全稳定运行提供坚实保障。未来, 随着技术的进步和工程实践的不断积累, 水电站金属结构闸门的安装工艺将进一步完善和发展。

[参考文献]

- [1] 罗明全. 麻窝水电站首部枢纽金属结构(闸门)安装施工技术[J]. 价值工程, 2020, (11): 101-102.
- [2] 罗利秋. 水电站金属结构闸门制作及安装技术研究[J]. 低碳世界, 2020, (09): 88-89.
- [3] 黎敏. 水电站金属结构闸门安装焊接技术浅谈[J]. 科技展望, 2021, (06): 77-78.
- [4] 吴相发. 浅析某水电站弧形工作闸门叶安装方案[J]. 四川水利, 2020, (S1): 40-41.