水利钢结构闸门现场拼装焊接施工管控研究

马 锐[1] 徐 翔[2] 纪开芳[2] 傅 轶[3]
1. 淮安市淮阴区河湖管理所 江苏 淮安 223300
2. 淮安市淮阴区水利工程建设管理服务中心 江苏 淮安 223300
3. 淮安达润水利工程有限公司 江苏 淮安 223300

摘 要：水利钢结构闸门拼装焊接质量直接决定水工构筑物运行安全与使用寿命。本文立足相关行业规范，阐述闸门拼装焊接施工工艺体系与管控核心理论，系统梳理现场拼装精度偏差、焊缝缺陷、焊接变形超标等质量问题，从人、技、管、环境四维度剖析问题成因。针对性构建全流程精细化管控体系，涵盖施工前置管控、现场精准施工、动态工艺管控及隐患闭环管理，可为水利闸门现场施工质量管控提供技术参考。

关键词：水利钢结构闸门；现场拼装焊接；施工管控

引言：钢结构闸门是水利工程核心挡水、控水设备，其现场拼装焊接施工质量是保障闸门结构稳定性、防渗性与运行可靠性的关键。水利施工现场露天临水的复杂工况，易引发焊接变形、焊缝质量缺陷、拼装精度不达标等诸多问题，传统粗放管控模式已无法满足高标准施工要求。为提升闸门施工质量、规避运行安全隐患、延长工程服役年限，本文结合施工理论与现场实际，开展拼装焊接施工精细化管控研究，助力水利工程施工标准化、规范化落地。

1 水利钢结构闸门现场拼装焊接施工基础理论与工艺体系

1.1 钢结构闸门结构特性与施工要求

（1）常见钢结构闸门类型：平面闸门由门叶、主梁及面板组成，承受水压力以弯剪受力为主，构造简单但门槽水头损失大；弧形闸门支铰固定闸墩，水压力合力通过支铰传递，受力明确、启闭力小，但弧面曲率控制及支铰同轴度调整是现场拼装难点。（2）闸门施工核心技术要求：拼装精度要求门叶对角线偏差、止水座板平整度满足DL/T5018规范；焊接强度须一级、二级焊缝100%无损检测合格；防渗性能依靠止水系统与焊缝密实性；抗变形控制焊接残余变形在允许范围内；耐腐蚀通过涂层或喷锌系统实现，需严格管控附着力[1]。（3）现场施工环境约束：露天作业受风、雨影响易导致保护气体失效及焊缝受潮；临水潮湿环境加剧钢材返锈及焊条吸潮，增加冷裂风险；温差变化引起的热胀冷缩干扰拼装定位精度，需搭设防护棚并采取预热保温措施。

1.2 现场拼装焊接核心工艺流程

（1）施工前期准备：包括图纸会审与设计交底，现场勘查确定吊装站位，搭设稳固拼装平台并找平，调试焊接与检测设备，按烘焙规程处理焊材，检验母材坡口质量。（2）闸门现场拼装工序：测放中心线及轮廓边线，分段门叶吊装对位后调整错边量与间隙，经精测调平后采用马板临时固定，复测整体尺寸合格方可焊接。（3）现场焊接施工工序：依据板厚选择CO_2气保焊或埋弧焊，采用多层多道对称分段施焊，严格控制层间温度，焊后清渣打磨，进行外观检查与无损探伤。

1.3 施工管控核心理论与规范依据

（1）焊接变形与应力控制理论：焊接热输入引发局部膨胀与冷却收缩，产生残余应力；采用对称施焊平衡温度场，分段退焊分散收缩量，刚性固定配合适时释放约束，有效控形控力。（2）质量管控核心理论：全过程质量管理覆盖材料进场至验收各环节；精细化管控定量控制预热温度、焊接速度等参数；隐患闭环管理实现缺陷发现、分析、处理、复验的完整闭合流程。（3）行业规范与标准依据：严格执行DL/T5018对焊缝分类、检测比例及尺寸偏差的规定，焊接工艺评定遵循NB/T47014，焊工持证上岗，确保施工合规可追溯。

2 水利钢结构闸门现场拼装焊接施工现存问题及成因分析

2.1 现场拼装施工常见质量问题

（1）拼装精度偏差问题：门叶吊装对位时相邻门叶间错边量超出规范允许值，面板局部平整度超标，止水座板及支铰轴孔中心线偏差导致后续安装困难；分段门叶轴线整体偏移，对接焊缝坡口间隙分布不均，影响焊接质量与结构几何尺寸。（2）临时固定不规范问题：拼装就位后采用的马板、拉筋、千斤顶等临时加固点位布设数量不足或位置不合理，固定焊缝强度不够，焊接过程中因热应力释放及自重作用导致门叶发生滑移、倾斜

或局部变形，使已调平的精度失效。（3）拼装工序衔接混乱问题：测量放线与吊装作业缺乏有效协调，基准点未妥善保护导致重复测量；调平定位后未及时完成加固即转入下一门叶安装，造成已就位段位移，引发反复调整，严重影响施工效率。

2.2 现场焊接施工核心缺陷问题

（1）焊缝外观缺陷：焊缝表面存在气孔、夹渣、咬边、未焊满及焊缝宽窄不均等缺陷，其中咬边削弱母材有效截面，未焊满降低焊缝承载厚度，宽窄不均反映施焊过程中焊速与摆动控制不当，直接影响焊缝外观质量及防腐层附着效果。（2）焊缝内部缺陷：超声波或射线检测发现未焊透、内部裂纹及残余气孔等深层缺陷。未焊透形成有效截面缩减，降低接头承载能力；裂纹尖锐端部产生应力集中，在水压交变荷载下易扩展为贯穿性断裂源，严重威胁结构安全[2]。（3）焊接变形超标问题：门叶整体产生弓形弯曲、面板局部凹凸不平或门叶整体扭曲变形，导致门叶几何尺寸超差、止水座板不平整，闸门安装后止水压缩量不均匀引发渗漏，严重时造成启闭卡阻、运行困难。

2.3 施工管控体系现存漏洞

（1）人员管控不足：部分焊工资质与现场施焊位置不匹配，技术交底流于形式，操作人员对工艺参数理解不到位，凭经验施焊现象普遍。（2）工艺管控粗放：焊接规范未随板材厚度变化动态调整，层间温度未按周期监测，焊接顺序未严格执行对称施焊原则，工艺评定结果与实际施工脱节。（3）全过程管控缺失：质量验收偏重焊后无损检测，忽视焊前预热、层间清理等过程控制，变形动态监测数据记录不全，隐患从发现到整改闭环周期过长，同类问题重复发生。（4）设备材料管控薄弱：焊机电流电压表未定期校验、焊材库温湿度控制不达标、焊条领用后未按规定保温存放、原材料进场复验项目不完整。

2.4 问题成因系统性分析

（1）人为因素：作业人员质量意识淡薄，施工中盲目追求进度而牺牲工艺规程；技术交底针对性不足，一线操作者对质量标准与变形控制原理理解不够深入，违规操作屡禁不止。（2）技术因素：施工方案编制未充分识别现场工况特殊性，变形控制技术手段单一，焊接变形预测与动态调整能力不足；拼装焊接机具选型与现场条件不匹配。（3）管理因素：项目部质量管理体系运行不畅，岗位职责交叉模糊，过程巡检频次不足，奖惩机制未有效落实，分包队伍管理存在盲区，质量责任难以追溯。（4）环境因素：野外作业受风速、湿度、温度变化耦合影响显著，临水作业面潮气重且防护措施简陋，未建立环境参数监测响应机制，致使焊接环境条件频繁超标。

3 水利钢结构闸门现场拼装焊接施工精细化管控体系构建

3.1 施工前期前置管控措施

（1）人员前置管控：组织焊工、拼装工、测量工等关键岗位人员开展专项技术培训，内容包括闸门结构特点、拼装焊接工艺规程、变形控制方法及质量验收标准；进行安全技术交底，确保交底至班组每一名操作人员；严格审核特种作业人员资格证书，确保证书有效且与现场施焊位置对应，建立焊工资质台账并动态更新；实施岗前技能考核，对考核不合格者组织再培训或调整岗位，从人员源头保障施工质量。（2）材料设备前置管控：严格核查钢材质量合格证明文件、焊接材料复验报告，对母材逐批进行化学成分与力学性能抽检；规范焊材库建设，配置除湿恒温设备并每日记录温湿度，焊条领用严格执行烘干—保温—限时使用流程，焊丝保持表面清洁无锈；建立测量仪器与焊接设备台账，全站仪、水准仪、焊缝检测尺等测量工具送法定计量机构检定合格后方可使用，焊机电流表、电压表定期校准并粘贴合格标识[3]。（3）施工方案前置优化：依据设计图纸与现场踏勘资料，结合闸门类型（平面闸门或弧形闸门）、门叶分段尺寸、现场吊装条件及气象环境特点，编制专项拼装焊接施工方案；方案中明确各工序工艺流程、关键控制点及允许偏差值，细化焊接工艺参数（预热温度、层间温度、焊接电流、电弧电压、焊接速度等），针对变形风险制定防控措施；方案须经项目技术负责人审批并报监理核备，实施前组织方案集中学习与答疑。

3.2 现场拼装施工精准管控策略

（1）高精度测量管控：采用全站仪与激光测距仪相结合的测量方法，在拼装平台周边布设稳固的控制网基准点并定期复测；依据设计坐标测放门叶中心线、止水中心线、门叶轮廓边线及支铰轴孔中心线；拼装过程中逐段复核门叶对角线偏差、面板不平度、止水座板平面度及节间错边量，每调整一步均进行测量验证，做到测量—调整—复核循环控制。（2）吊装对位管控：细化分段门叶吊装顺序，明确每段门叶的吊装方向与就位基准；采用专用夹持定位器、导向定位销等装置辅助对位，在相邻门叶对接焊缝坡口处设置定位卡板，保证对口间隙和错边量满足工艺要求；吊装过程中专人指挥、同步观测，避免强行组对造成附加应力。（3）临时固定与调平管控：依据门叶重量与刚度计算确定马板、拉

筋、支撑杆等临时加固点数量及布设位置，确保加固体系具有足够刚度；采用千斤顶配合精密水准仪进行分级调平，按照从中间向两端顺序逐级加载校正，校正合格后对称施焊临时固定焊缝；固定后进行全面精度复测并形成记录，确认全部指标合格后方可移交焊接工序[4]。

3.3 现场焊接施工全过程动态管控

（1）焊接工艺参数管控：根据母材材质牌号、板厚组对形式及焊缝分类，选择经工艺评定合格的焊接工艺规范；施焊前核对焊机参数设定值，通过过程记录仪实时采集电流、电压、焊接速度数据；层间温度采用红外测温仪逐道检测，确保不低于预热温度下限且不超出工艺要求上限，温度不足时及时补热。（2）焊接顺序与变形管控：严格执行对称施焊原则，从门叶中部向两端对称分布焊工同时施焊；采用分段退焊法，每段长度控制在300~500mm，将收缩量分散至各短焊缝；厚板对接采用多层多道焊，每层焊道厚度不超过3~4mm；焊接过程中利用激光投线仪或千分表对关键部位进行变形实时监测，发现变形趋势异常时立即调整焊接顺序或采取反变形措施。（3）焊缝质量过程管控：每层焊道施焊后彻底清渣并检查外观，发现气孔、夹渣、未熔合等缺陷即时修整；盖面焊缝成型力求宽窄一致、圆滑过渡；焊缝冷却至室温后100%进行外观质量检查，随后按DL/T5018规定的比例进行超声波或射线无损检测，检测结果及时整理归档，对不合格焊缝标识位置、记录数据并按返修工艺处理。

3.4 施工后期验收与隐患闭环管控

（1）成品保护管控：焊接及无损检测完成后，对闸门门叶表面飞溅、焊疤进行打磨修整，防腐涂装前做好表面清洁与粗糙度处理；已验收合格的闸门构件采用橡胶垫或木楔垫护，防止吊运及存放过程中碰撞损伤；对止水座板、支铰孔等精密加工面采取覆盖保护措施，并定期检查涂层完好状况。（2）分项工程验收管控：按照单元工程划分，依次进行拼装质量验收、焊接质量验收、几何尺寸及整体结构验收。拼装验收复核轴线偏差、门叶尺寸及止水座板平整度；焊接验收审查无损检测报告、焊接工艺记录及返修记录；整体验收进行门叶静力试验或水压试验，全面验证结构强度、刚度及止水效果，验收资料齐全后报监理评定[5]。（3）隐患整改闭环管控：建立质量隐患问题台账，分类登记缺陷类型、部位、严重程度及发现日期；逐一明确整改责任人、整改技术措施及完成时限，整改完成后由质检人员专项复核确认，合格后予以销号；对典型或重复发生的问题召开专题分析会，查找管理或技术根源，制定预防措施并纳入后续施工交底内容，形成“发现—分析—整改—验证—预防”的完整闭环管理机制，确保同类隐患不再发生。

结束语

本文全面分析水利钢结构闸门现场拼装焊接施工的现存质量问题与核心成因，构建了覆盖施工前期、施工过程、施工后期的全链条精细化管控体系。通过人员、设备、工艺、验收、隐患整改的全方位管控，可有效解决拼装精度不足、焊缝缺陷、焊接变形等施工难题。研究成果能够有效提升闸门施工质量，降低工程运维风险，为同类水利钢结构施工管控提供可行的实践借鉴。

参考文献

[1]王勇,张军.大型水利钢闸门现场拼装焊接工艺优化与质量管控[J].水利水电技术,2024,55(S1):156-161.

[2]李建峰,赵阳.水工钢闸门现场焊接变形成因及精准控制技术研究[J].人民长江,2023,54(12):189-194.

[3]陈刚,吴志强.水利工程钢闸门拼装焊接无损检测与质量闭环管控[J].水利技术监督,2022,13(08):36-39.

[4]周明,刘凯.高水头水电站钢闸门现场安装焊接施工关键技术[J].中国农村水利水电,2023,29(09):172-176.

[5]彭银科.大型弧形钢闸门现场拼装焊接施工质量管控策略[J].西北水电,2025,11(03):102-106.