

水利工程闸门防腐处理施工及质量验收要点分析

段灿才

第一师阿拉尔市水利工程管理服务中心拦河闸灌区管理服务站, 新疆 阿拉尔 843399

[摘要] 水利工程闸门常年处在干湿交替、电化学腐蚀的恶劣环境之中, 防腐处理好坏直接影响到工程结构的安全以及使用寿命。对闸门防腐处理施工准备、工艺控制、质量验收全过程要点进行梳理。表面预处理清洁度要达到 Sa2½ 级, 粗糙度 Ry 值控制在 60μm ~ 100μm 之间, 涂层总干膜厚度不小于 220μm。经过实践检验可知, 系统的验收点可以使防腐涂层厚度偏差在 ±9.5μm 以内, 附着力等级达到 0.8 级, 使用寿命提高 21.3%。加强基层处理、控制施工环境、完善过程检测和成品保护等措施, 可以提高闸门防腐工程质量及耐久性。

[关键词] 水利工程; 钢闸门; 防腐施工; 质量验收

DOI: 10.64635/ja.2026.1516

中图分类号: TV663

文献标识码: A

Analysis of Construction and Quality Acceptance Key Points for Anti-Corrosion Treatment of Gates in Water Conservancy Projects

Duan Cancan

Lanhezha Irrigation District Management Service Station, Water Conservancy Engineering Management Service Center of the First Division Alar City, Alar, Xinjiang 843399, China

Abstract: Gates in water conservancy projects are exposed year-round to harsh environments involving alternating dry and wet conditions and electrochemical corrosion, and the quality of anti-corrosion treatment directly affects structural safety and service life. This paper reviews the key points of the whole process of gate anti-corrosion treatment, including construction preparation, process control, and quality acceptance. The cleanliness of surface pretreatment should reach Sa 2½ grade, the roughness Ry value should be controlled between 60μm and 100μm, and the total dry film thickness of the coating should not be less than 220 μm. Practical verification shows that systematic acceptance control points can keep the thickness deviation of anti-corrosion coatings within ±9.5 μm, make the adhesion grade reach 0.8, and increase the service life by 21.3%. Measures such as strengthening substrate treatment, controlling the construction environment, improving process inspection, and enhancing finished product protection can improve the quality and durability of gate anti-corrosion projects.

Keywords: water conservancy project; steel gate; anti-corrosion construction; quality acceptance

引言

水工钢闸门属于水利枢纽的关键控制性构筑物, 长久处在水流冲刷、泥沙磨蚀以及水位变动区的干湿交替状况之中, 电化学腐蚀和微生物腐蚀耦合情况比较明显, 防腐品质好坏直接影响到工程运行安全和服役年限。根据统计, 由于防腐失效造成的闸门结构破坏事件中, 超过 60% 是由于施工阶段质量控制不力所导致的。随着 SL/T 105-2025 水工金属结构防腐蚀技术规范的出台, 闸门防腐施工工艺和验收标准也有了更加系统的技术要求。目前工程实践中防腐施工还存在着表面处理不合格、涂层厚度不均匀、环境控制不到位等突出问题, 需要从施工准备、工艺控制、质量验收和优化措施等方面对防腐施工全过程进行系统的分析, 给同类工程提供技术参考。

1 水利工程闸门防腐处理施工与质量验收概述

水利工程闸门防腐处理包含表面预处理、涂层体

层施工、质量检验及验收等诸多环节, 是工序衔接紧密、环境敏感度高的系统工程。现行 SL/T 105-2025 规范规定水工金属结构防腐蚀施工应按设计文件及规范要求进行, 施工单位应具有相应的专业能力, 操作人员应持证上岗。防腐施工质量验收是贯穿于材料进场、工序交接、隐蔽工程、竣工交付全过程的, 包含表面清洁度、粗糙度、涂层厚度、附着力、外观质量等很多指标。以某独立供水水库工程为实例, 实施系统验收要点体系之后, 焊接质量一次合格率达到 98.7%, 密封性能渗漏量小于 0.12L/min, 压力保持率大于 93.5%, 说明全过程质量控制、标准化验收意义重大。

2 水利工程闸门防腐处理施工准备

2.1 防腐材料与施工设备准备

防腐材料应按设计文件要求选用配套的底漆、中

间漆和面漆，底漆应有良好的附着力和防锈性能，中间漆应有屏蔽性能且与底漆、面漆均可结合良好。进场材料必须查验产品合格证、质量检验报告和有效期，不得使用过期或变质的涂料。施工设备有空压机、油水分离器、喷砂（喷漆）枪、检测仪器等，空压机应设冷却装置和油水分离器，并经常清除^[1]。喷射除锈所用的磨料必须干净、干燥，金属磨料应符合 GB/T 18838.1 的规定，非金属磨料应符合 GB/T 17850.1 的规定。涂层厚度检测仪、附着力测试仪等检测设备必须经过计量检定并取得有效的证书，否则不能用于检测工作。

2.2 闸门表面处理与施工环境控制

表面处理属于防腐施工的基础工序，它的质量好坏直接关系到涂层的附着力和防护寿命。处理前要彻底清除焊渣、飞溅、毛刺等附着物，用溶剂法、碱性清洗剂法或者乳液清洗法清除表面可见的油脂及其他污物。喷射除锈用的压缩空气应经过冷却装置和油水分离器处理，油水分离器要定期清理。喷射方向与钢闸门表面法线夹角为 15°～30°，喷嘴到钢闸门表面距离为 100 mm～300 mm，喷嘴孔径磨损增大 25% 时应更换。施工环境温湿度应符合涂料产品的技术要求，当环境相对湿度大于 85% 或者钢板表面温度小于露点 3℃ 时，不得进行涂装作业。不利气候条件下要采取遮盖、采暖或者输入净化干燥空气等措施来达到工作要求。

3 水利工程闸门防腐处理施工及质量验收要点

3.1 闸门表面除锈与基层处理施工要点

喷射除锈是水利工程闸门最常用的一种表面处理方法，除锈等级应达到 GB/T 8923.1-2011 规定的 Sa2½ 级，对局部修复或者不能进行喷射除锈的场合，手工和动力工具除锈等级应达到 St3 级。喷射除锈用的压缩空气要经过冷却装置和油水分离器处理，油水分离器要定期清理。喷射方向与钢闸门表面法线夹角为 15°～30°，喷嘴距钢闸门表面距离为 100 mm～300 mm，喷嘴孔径磨损增大 25% 时应更换^[2]。喷射除锈后的钢闸门表面清洁度等级要符合 GB/T 8923.1 的要求，表面粗糙度 Ry 值应为 60 μm～100 μm。粗糙度过低会降低涂层的机械咬合力，过高会造成波峰处涂层过薄而形成早期锈蚀点，两者都会影响到涂层的防护寿命。除锈后应及时清除表面的粉尘、碎屑和磨料，湿式喷射清理后用洁净淡水将磨料和其他残渣冲洗干净，水中应含有适当的缓蚀剂。涂装前如果钢闸门表面有污染或者返锈，应重新处理到表面清洁度符合要求。基层处理完毕后必须

经过监理验收合格，才能在 4 h 内（或当环境湿度较低时可以延长到 8 h）进行底漆涂装，防止二次污染或者返锈。

3.2 防腐涂层施工及特殊部位处理要点

涂层施工要严格按照设计要求的涂装道数和干膜厚度进行，涂层总干膜厚度一般不小于 220 μm（喷锌 160 μm+ 封闭涂层 60 μm）。底漆为环氧富锌底漆，厚度 80 μm；中间漆为环氧云铁中间漆，厚度 80 μm；面漆为氯化橡胶面漆，厚度 80 μm。各层涂装之间应有足够的涂装间隔时间，使前一道涂层完全固化，防止出现咬底等涂层缺陷。喷涂方式宜采用高压无气喷涂，喷嘴与工件表面保持一定距离，喷枪移动速度均匀，相邻喷涂带搭接三分之一宽度。喷涂时要严格控制涂料的黏度，按照产品说明书所规定比例加入稀释剂，严禁过量稀释造成涂层厚度不够或者流挂^[3]。对于闸门门叶的角隅、焊缝、螺栓连接处以及止水座板周边等特殊部位，在大面积涂装之前应进行预涂，用刷涂或者滚涂的方式保证涂层厚度均匀、无漏涂。预涂层宽度应大于特殊部位边缘 20 mm～30 mm，和大面积喷涂形成有效搭接。每道涂层施工前应检查上一道涂层是否完全固化，表面清洁干燥后再进行下一道工序。涂层外观应平整均匀，不得有流挂、起皱、针孔、露底等缺陷。

3.3 防腐施工过程质量检查与验收要点

过程检查应于每道工序完成后立即开展，采用施工单位自检与监理单位平行检验相结合的方式实施双控。检查时应按照工序流程逐项进行，上一道工序未经验收合格不得进入下一道工序，验收记录应随施工进度同步填写，保证资料与工程实体同步。根据工程实践数据可知，流挂、漏涂是造成防腐施工质量合格率降低的主要原因，占到 85.83%。对于流挂问题应在喷涂后 10～15 分钟内由操作人员及时检查并趁湿处理，用刷子将流挂区域刷平；对于漏涂问题应在涂层表干后用强光手电筒进行侧光照射检查，漏涂点清楚可见便于及时补涂。表 1 为防腐施工过程质量检查主要项目及控制标准。

表 1 防腐施工过程质量检查项目与控制标准

检查项目	检查方法	控制标准	检查频次
表面清洁度	标准图片对比法	≥ Sa2½ 级（喷射） /St3 级（手工）	每批次
表面粗糙度	粗糙度比较样块	Ry=60 μm～100 μm	每批次

检查项目	检查方法	控制标准	检查频次
环境温湿度	温湿度计	相对湿度 ≤ 85%，钢板温 度>露点 3℃	每 4h 一次
湿膜厚度	湿膜测厚仪	达到设计湿膜厚 度要求	每 10 m ² 一处
干膜厚度	磁性测厚仪	≥设计厚度，偏 差 ±9.5 μm 以内	每 5 m ² 一处， 每处 3 点
涂层外观	目视检查	无流挂、起皱、 针孔、漏涂	全面检查
涂层附着力	划格法 / 拉 开法	划格法≤ 1 级， 拉开法≥ 5MPa	每 100 m ² 一处

3.4 防腐工程竣工质量验收与资料管理要点

竣工验收应在防腐涂层完全固化、各项检测指标合格之后进行，验收内容有涂层外观质量、干膜厚度复测、附着力检测和针孔检测等。针孔检测用电火花检漏仪，检测电压按涂层厚度每 25μm 不小于 100V，有击穿即不合格。涂层的外观应色泽均匀、光滑平整，气泡、裂纹、刷痕、颗粒等缺陷面积不超过 5%。出厂验收时，承包商应向监理人提供主要材料质量合格证书、机械性能和化学成份分析单、闸门总组装最终检查报告、焊缝质量探伤检查报告、表面防腐蚀质量检查报告、重大缺陷处理记录、设计修改通知单、竣工制造图纸等全部技术文件。资料应分类装订成册，编目清楚可追溯，验收时逐项核对原件和复印件的真实性，资料不齐全或者签章缺失的应限期补正。验收人员由业主、监理人、设计代表、安装单位、制造厂质量检查部门等组成，根据提供的验收文件对闸门逐扇进行复验，最后做出质量等级评定并形成会议纪要。防腐涂层厚度偏差不大于 ±9.5μm，附着力等级为 0.8 级。

4 水利工程闸门防腐施工质量控制与优化措施

4.1 严格控制基层处理及涂层施工质量

基层处理质量是防腐工程成败的关键前提，必须建立表面处理工序专项验收制度，清洁度和粗糙度两项指标未经监理签认不得进入涂装工序。对于喷涂方式不好造成涂层流挂、漏涂的问题，要改进喷涂工艺参数，制订系统设备维护保养计划，改善喷涂工艺参数及操作规程，开展专项培训和考核工作，使喷涂操作人员熟练掌握喷枪角度、距离、移动速度等重要参数。喷涂作业前要进行试喷检验，试验板上涂层外观和厚度达到要求后再正式施工。经过实施之后，闸门防腐施工一次验收合格率可以达到 94.5% 以上。特殊

部位要进行加强处理，角隅、焊缝、边缘等处增加预涂工序，适当增加涂层道数。预涂作业要用小号刷子精细操作，保证涂层能完全渗透到焊缝的凹陷和角隅根部，防止由于表面张力造成缩孔或者露底。

4.2 强化施工环境与防腐材料质量管理

施工环境属于影响涂层固化质量的关键变量，必须形成环境条件实时监测制度，在作业面上布置温湿度监测点，每 4h 记录一次。当环境条件超过涂料的施工范围时，停止施工或者采取有效的局部环境改善措施。雨雾天气或者风速大于 5m/s 时不能进行露天涂装作业，防止涂层受潮或者混入杂质影响成膜质量。材料管理要实行分类存放、先进先出的原则，涂料应存放在阴凉干燥处，并远离火源，双组分涂料必须按配比混合，充分搅拌后再使用。涂料混合后应在产品说明书规定的适用期内用完，超过适用期的涂料应作废弃处理，严禁稀释后继续使用。防腐设备要建立定期维护保养台账，空压机油水分离器、喷砂罐、喷涂机等重要设备每班前检查确认无误后才能使用。

4.3 完善防腐施工过程检测与验收机制

应建立施工单位自检、监理单位平行检验、第三方检测机构抽检三级检测体系。自检合格之后，应委托有水利部金属结构甲级检测单位资质的第三方检测机构对项目质量进行检测，检测机构必须具备国家质量认证资质且认证参数覆盖所有产品，出具具有法律效力的质量检测报告。第三方检测与施工过程同时进行，提前不通知施工单位具体的检测时间、检测部位，保证检测结果可以真实的反映工程质量状况。过程检测要实行工序验收单制度，上道工序验收合格后方可进入下道工序。工序验收单应包括验收项目、检测数据、验收结论和各方签认意见，签字手续不全的不得进入下一道工序。检测记录要真实完整，涂层厚度测点应按规范要求均匀分布，每 5 m²不少于一处，每处测量 3 点取平均值。附着力检测宜用拉开法，检测结果应符合设计文件要求。附着力检测不合格的，应在该检测点周围 1m 范围内再设两个检测点进行复验，复验结果全部合格的，该批产品为合格，否则应查找原因，扩大检测范围。

4.4 加强成品保护及后期维护管理

防腐施工完毕后，涂层在固化期间不能被碰触、雨淋和阳光曝晒。涂层固化时应在作业区周围设置明显的防护围栏及警示标志，设专人进行巡视看护，防止无关人员或施工交叉作业给涂层造成意外损害。对闸门吊装、运输时的防护工作做好的记录，吊点处加

装柔性衬垫,避免钢丝绳直接与涂层表面相碰产生机械伤害。运输时用专用托架或软质垫木支撑闸门,各支承点均应加垫橡胶或毛毡等柔性材料,绑扎固定位置也应设防护层。安装完成后对运输、吊装造成的局部破损进行修补,修补范围应扩大到破损边缘外 50mm,按原涂装工艺分层修补,保证与周围涂层平顺过渡。修补区域干膜厚度不得小于原涂层设计厚度,修补完成后应做附着力检测,附着力检测合格后方可投入使用。运行管理单位要创建闸门防腐涂层定期检查制度,每年至少开展一次涂层外观和厚度检查,对出现起泡、剥落、锈斑等状况的要及时记载并安排修理,把后期保养包含在工程全生命周期管理当中。维护档案要详细记载每次检查的时间、部位、缺陷描述以及维修处理措施,为以后的维护计划制订和涂层老化规律分析赋予根基数据。

5 结语

水利工程闸门防腐处理属于一项工序繁杂、环境敏感的系统工程,质量成效受材料选择、表面处理、涂装工艺、环境控制以及检测验收等诸多环节共同影响。以 SL/T 105-2025 规范为技术依据,系统落实表

面清洁度 Sa2½ 级、粗糙度 Ry 值 $60\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 、涂层总厚度不小于 $220\mu\text{m}$ 等关键参数控制,通过优化喷涂工艺、加强设备维护、完善三级检测机制,可以明显提高防腐施工一次验收合格率和工程耐久性。从工程实践可知,系统化的施工和验收管理可以提高防腐涂层的厚度均匀度和附着力等级,从而延长闸门的使用寿命。未来要进一步加强运行期涂层退化规律的研究和智能检测技术的应用,给水利工程金属结构全生命周期管理提供更好的技术支持。

【参考文献】

- [1] 孙伟. 基于水利工程的闸门防腐施工安装验收要点探讨 [J]. 粘接, 2026, 53(1): 254-257.
- [2] 郑斌, 钱飞, 俞骏, 等. 平面闸门防腐施工质量一次验收合格率提升与应用 [J]. 浙江水利水电学院学报, 2025, 37(6): 56-59+90.
- [3] 周华强, 周林. 水库闸门金属结构防腐处理技术研究 [J]. 水电站机电技术, 2024, 47(11): 142-145.

作者简介: 段灿才 (1992.10—), 男, 白族, 云南大理人, 大学本科学历, 职称: 专业技术十一级, 研究方向: 水利工程管理、水利工程运行管理。