

## 基于水利工程的闸门防腐施工安装验收要点探讨

刘飞 刘攀

湖北瑞洪工程管理有限公司, 湖北 武汉 430074

**[摘要]**水工金属结构闸门在经过干湿交替、水流冲刷以及复杂的水化学环境的多重侵蚀后,其防蚀性能会对整个工程的安全性和寿命产生影响,在闸门防腐施工安装验收过程中涉及很多关键技术点,主要从表面预处理、防腐涂层施工、防腐保护及防腐质量检验等方面进行阐述。基于《水工金属结构防腐蚀规范》(SL 105)、《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》(GB/T 14173)相关要求,对除锈等级控制、表面粗化程度控制、漆膜厚度与平整度控制、薄弱环节加强处理、现场焊接补漆、损坏修补及验收检查等关键技术要点进行了详细的研究。研究发现,严格的表面清理是防腐的基本条件,合理的涂层结构设计及涂装过程控制是基本保证,安装过程中成品保护以及现场修补是重要辅助,全面系统的检查验收是工程质量判断的标准。本论文可以作为水利工程闸门防腐施工作业和质量管理的参考。

**[关键词]**水利工程; 钢闸门; 防腐施工; 安装验收

DOI: 10.64635/ja.2026.1139

中图分类号: TV663

文献标识码: A

### Discussion on Key Points for Anti-Corrosion Construction, Installation, and Acceptance of Gates in Water Conservancy Projects

Liu Fei, Liu Pan

Hubei Ruihong Engineering Management Co., Ltd., Wuhan 430074, Hubei, China

**Abstract:** The corrosion resistance of hydraulic metal gates, after prolonged exposure to alternating wet and dry conditions, water scouring, and complex hydrochemical environments, directly affects the safety and service life of the entire project. The construction, installation, and acceptance of gate anti-corrosion systems involve many critical technical points, mainly including surface pretreatment, anti-corrosion coating application, corrosion protection, and quality inspection. Based on the requirements of the Code for Corrosion Protection of Hydraulic Metal Structures (SL 105) and the Specification for Manufacture, Installation and Acceptance of Steel Gates for Water Conservancy and Hydropower Projects (GB/T 14173), this paper conducts a detailed study of key technical points such as rust removal grade control, surface roughness control, coating thickness and flatness control, reinforcement treatment of weak parts, touch-up painting after on-site welding, damage repair, and acceptance inspection. The study shows that strict surface cleaning is the basic prerequisite for corrosion protection, rational coating system design and coating process control are the fundamental guarantees, product protection during installation and on-site repair are important supplementary measures, and comprehensive, systematic inspection and acceptance constitute the standard for judging project quality. This paper can serve as a technical reference for anti-corrosion construction and quality management of gates in water conservancy projects.

**Keywords:** water conservancy project; steel gate; anti-corrosion construction; installation and acceptance

#### 引言

水利工程闸门是调节河流流量的重要设备,在其使用过程中会受到静水压力、动水冲刷、泥沙磨损以及干湿变化等各种因素的影响。金属构件会在淡水中或者海水中因为电化学腐蚀而损坏严重,特别是干湿交替的地方损伤要比全浸地方或者大气地方严重的多。据有关统计,早期三

河闸门每年的油漆费就达到其管理成本的30%~60%,并且随着水利工程的使用时间的增长,闸门的腐蚀程度越来越大,涂层越来越老化的问题也越来越严重,直接影响到工程的安全运行。近几年来水利工程对于金属结构防护方面的技术也愈发关注。《水工金属结构防腐蚀规范》(SL 105)明确指出,对于水工金属结构的设计、制作、安装、

验收全过程中的防腐蚀技术和工艺以及检测等工作都应当满足该规范的要求。并且,施工单位须拥有相应的水工金属结构防腐蚀工程施工的资质认证,质检人员、操作人员需接受必要的专业知识培训并持有相应资格证书方可从事工作。沿海挡潮闸长期置身于高盐雾、高湿度的大气环境中,经海水浸蚀、潮汐拍打容易造成闸门及金属件锈蚀的现象,所以系统地开展闸门防腐施工作业验收的技术要点的研究有着重要的意义。本文以表面预处理、涂装工艺、安装保护以及质量检验等四大核心内容为基础,通过参考有关的标准要求并结合实际工作经验来分析闸门防腐工程的技术难点及防控手段。

## 1 表面处理关键技术

### 1.1 除锈等级与清洁度控制

除锈程度是表面清理好坏的关键因素,《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB 8923)规定了喷砂除锈等级为 Sa1、Sa2、Sa2.5、Sa3 等 4 个等级。水利工程金属

结构防腐施工要求喷砂除锈为 Sa2.5 级,即非常彻底的喷砂除锈,表面不应有油,尘土等污染物质,应完全去除锈迹,氧化皮及其他杂物。对于一些特殊重要的地方或者使用金属热喷涂时,要达到 Sa3 级的标准,使钢材表面呈现出本色的金属质感。表面清洁程度评价应在充分扩散的日光或强度相似的人工光照环境下来进行,检查人员需要具有正常视力。评定表面清洁度等级时,需对被检基体金属的表面作与 GB 8923 相应照片目视比较来评定。表 1 是钢材表面除锈等级标准参照表,可作为施工、验收之用。

喷砂清理过程中,磨料要干净、干燥,按基体材质、原锈蚀级别以及涂料要求选取磨料类型及磨料颗粒大小,金属磨料须满足有关标准要求,应用天然矿石磨料时要注意遵守环保法规定。喷砂除锈结束后要在 8h 内进行一次涂装,防止二次污染。表面的预处理到涂装的时间间隔要尽量短一点,对于有工业性的环境,需在 4h 内进行一次涂装,如果是晴天或者湿度不高情况下可延长到 12h。

表 1 钢材表面除锈等级标准对照表

| 除锈等级  | 标准依据    | 表面状态描述              | 适用工况        | 检验方法       |
|-------|---------|---------------------|-------------|------------|
| Sa2   | GB 8923 | 彻底喷砂除锈,表面无油污、氧化皮、锈蚀 | 一般大气环境      | 标准图谱对比     |
| Sa2.5 | GB 8923 | 非常彻底喷砂除锈,表面呈金属灰白色   | 浸水部位、重防腐涂层  | 标准图谱对比+放大镜 |
| Sa3   | GB 8923 | 使钢材表面洁净,呈均匀金属光泽     | 金属喷涂、高耐久性要求 | 标准图谱对比+放大镜 |
| St3   | GB 8923 | 非常彻底手工/动力工具清理       | 局部修补、无法喷砂部位 | 目测+图谱对比    |

### 1.2 表面粗糙度标准把控

表面粗糙度也是影响涂层附着力的一个重要因素。合理的粗糙度可以增大涂层对基底的接触面,在机械作用下产生咬合现象,但是过大又会造成高点位置涂层过薄,低点位置容易积存气泡产生针孔,水工金属结构抛丸除锈后,表面粗糙度宜保持在 40~100 $\mu\text{m}$  之间。评估表面粗糙度时要依据《涂装前钢材表面粗糙度等级的评定(比较样块法)》(GB/T 13288)用标准样块目视比较来确定表面粗糙度级别,或者直接用仪器测量表面粗糙度数值。对比样块法应该针对不同的磨料选用相应的样块来进行判断,将样块贴近被检验物表面某一处测定点用肉眼对照,必要时可以用不超过 7 倍的放大镜进行观察,以基体金属表面外观相近似的样块所表示的粗糙度等级为准。每个 2m<sup>2</sup> 表面上至少要有 1 个测量点,而且每个测量点面积不少于 50mm<sup>2</sup>。使用表面粗糙度仪测定,每个 2m<sup>2</sup> 表面至少要有 1 个测量点,在该测量长度内取四个间距相等的点进行测定,然后求出它们的算术平均数就是本次测量点的表面粗糙度数值,在打磨之前要对未打磨部分采取金属片或者硬木板来加以防护。喷砂工要戴好防护用品以免身体受到喷

射磨料的打击;要避免粉尘飞扬注意环保。

## 2 防腐涂层施工工艺

### 2.1 涂层厚度与均匀性控制

涂层厚度是影响防腐寿命的重要指标,在实际工程中一般使用底漆、中间漆、面漆三层复合体系。如某水电站泄洪闸平板闸门防腐项目,底漆喷涂环氧富锌底漆两道,漆膜厚度不低于 80 $\mu\text{m}$ ;中间漆喷涂环氧云铁防锈漆两道,漆膜厚度不低于 100 $\mu\text{m}$ ;面漆喷涂聚氨酯面漆两道,漆膜厚度不低于 100 $\mu\text{m}$ 。此涂层系统总厚度大于等于 280 $\mu\text{m}$ ,符合长期浸泡环境下的防腐需求。大面积采用高压无气喷涂,小面积以及不能用高压无气喷涂的部分采用刷涂方式,保证边角部位的覆盖。每道涂层干燥后再进行下一工序。表面除锈完毕后要及时进行涂装,被涂基体金属表面温度低于露点以上 3 $^{\circ}\text{C}$  以及相对湿度大于 85% 不得涂装,若涂料使用说明中另有规定也要依照规定来做,涂层系统的各层之间在涂覆的时间间隔应该按照涂料生产厂家给出的时间来涂覆,如果超过了厂家所规定的最长间隔时间的话,就要将上一层用粗砂纸打磨后再进行涂装,才能使得上下两层之间的结合强度更好一些。涂装完成后对涂

膜应该加以保护，在固化之前要防止雨淋、暴晒、踩踏，运送过程中也要防止任何外界对涂层的破坏。

## 2.2 特殊部位加强处理方法

闸门设计繁杂，焊缝、尖锐边缘、螺栓孔、水封座板等重要位置由于特殊的几何形状或是不同的受力状况导致其是防蚀的易损点，在进行海上挡潮闸修复时采用机械

除锈加人工打磨的方法去除主闸体表面的浮锈氧化层以及海边长期腐蚀留下的盐分沉渣，保证金属底材光洁度优良并喷涂锌粉，形成良好的阴极覆盖膜层，再涂上一层保护漆来加固效果，达到除锈、喷锌、封闭全工序防腐的效果。表2为闸门特殊部分防腐加强措施对比表，供参考使用。

表2 闸门特殊部位防腐加强处理工艺对照表

| 特殊部位    | 结构特点       | 常见问题        | 加强处理方法       | 质量控制要点      |
|---------|------------|-------------|--------------|-------------|
| 焊缝区域    | 表面不平、有焊渣飞溅 | 涂层厚度不足、针孔气泡 | 打磨平整+预涂一道    | 漏点检测、厚度复测   |
| 棱角边缘    | 曲率半径小      | 涂层流淌、厚度偏薄   | 倒圆处理+增加涂层次数  | 湿膜卡规检测、干膜测厚 |
| 水封座板    | 摩擦接触面      | 磨损导致防腐失效    | 不锈钢复合层或特氟龙涂层 | 平整度、结合力     |
| 螺栓孔/连接板 | 缝隙多        | 积水腐蚀        | 缝隙密封+富锌底漆    | 密封性检查       |
| 埋件结合部   | 与混凝土接触     | 交界处腐蚀       | 延伸涂层+密封胶     | 结合处密实性      |

装之前应当做好对不涂装或者暂时不涂装的部分如楔槽、油孔、轴孔、加工后的配合面以及工地焊缝两侧等地段的遮盖工作以防止在装配、安装、工地焊接以及运行等方面造成不利的影 响，在工地焊缝的两侧优先进行涂刷不会影响到焊接质量的车间底漆。对于小开度、高流速、大推移质等恶劣工况条件下的水工闸门可以考虑在被冲刷磨损最为严重的部分利用激光熔覆涂层来进行修复，熔覆层厚度为0.3~2mm之间，结合强度大于等于360Mpa，硬度大于等于60HRC；而在强空蚀区间则可以使用聚氨酯涂层或复合树脂砂浆修复。

## 3 安装过程防腐保护

### 3.1 现场焊缝区域补涂工艺

现场安装焊口也是安装过程防腐的关键点和难点，在安装结束后需对焊缝部位做相应的防护措施，涂装相应涂层，保证一定的厚度要求。由于焊接区域经受着高温作用而使原有防腐涂层炭化失效，在焊接过程中产生的焊渣飞溅也会使附近的防腐涂层破损，所以需要 对焊口区域进行二次表面处理。焊接处修补涂装之前须用机械打磨，去除焊瘤、飞溅和焊接时产生的烟尘等物，表面处理标准达到St3级。人工或机械打磨仅用于对涂层缺陷的局部修补以及不能进行喷砂处理的情形。补涂需使用同原始涂层一样的涂料系统，先将焊缝和热影响区预涂一遍后再进行整体喷涂，保证焊接区域防腐涂层厚度不低于总设计厚度的90%。涂层应延伸至原始涂层搭接区50mm以上，形成平滑过渡。

### 3.2 损伤部位现场修复技术

闸门在搬运、起吊、装配时不可避免会产生涂层破损。主闸门吊走以后，需要利用机械打磨配合人工打磨，去除

主闸门上的浮锈、氧化皮以及污垢等，使得金属本体表面光滑明亮。小面积受损处可以使用动力设备打磨后补涂防腐层；大面积的损伤需要重新做喷砂处理。现场修补要采用跟原防腐层一样的清理等级和喷涂方法。底材表面的清理须达到Sa2.5级或者St3级，表面粗糙程度应满足要求。修补区边缘必须磨成斜角，让新旧涂层能够很好的融合在一起。每一遍都必须控制好厚度并在其干燥之后才进行粘 合强度测试。为了保障沿海挡潮闸工程的安全稳定运用，在有利时间实施好闸门检修维护工作是很有必要的。

### 3.3 埋件与止水结合部处理

埋件与止水连接处为闸门防止腐蚀的重点部位，埋件安装时首先要做好防腐油漆，安装中注意不要破坏防腐漆层，在二期混凝土浇筑之前要对埋件的工作面做好防护，以防混凝土拌合物污染<sup>[1]</sup>，混凝土浇筑之后就要对埋件与混凝土接触的边缘进行密封，以免渗水造成侵蚀。止水座板以及水封装配区域由于止水胶条来回滑动，通常涂层容易遭到损耗，实际应用中可以采用不锈钢复合层或者特氟龙涂层之类的耐磨损材料予以强化。闸门检修维护中对于更换止水胶条、钢丝绳，养护闸门钢结构等都是主要任务。开展闸门检修保养既可有效解决闸门生锈、卡滞、漏水等问题，又可保证闸门能自由开启和关闭实现其应有的防汛、排水功能。

## 4 质量检测与验收标准

### 4.1 涂层厚度与附着力检测

涂层厚度是防腐质量的主要标准。干膜厚度测量应该使用磁性测厚计，每10m<sup>2</sup>至少测量三点，计算平均值。设计要求底漆不低于80μm，中间漆不低于100μm，面漆不低于100μm，总干膜厚度要大于等于280μm。测量误差

不能超过设计厚度的减去百分之十,不可以有低于设计厚度百分之九十的地方。附着力检验可用划格法或者切割法<sup>[2]</sup>。划格法按照《色漆和清漆的划格试验》(GB 9286)标准进行,等级应当达到1级以上。切割法按相应的规定来实施,附着力不小于3MPa。金属热喷涂涂层联合性能试验需要按照《热喷涂锌及锌合金涂层试验方法》(GB 9794)或者《热喷涂铝及铝合金涂层试验方法》(GB 9796)来进行。对于采取外部电源阴极保护措施的闸门,要对相关保护指标进行检测。经验表明对外部大量的浸入淡水中的钢制闸门来说,使用涂料及外部电源联合保护方式比单纯使用外部电源阴极保护更加经济实惠。只要涂层能够完全覆盖,只须少量的保护电流即可,而那些存在缺陷的地方就有电流集中来补充,涂料和电流都发挥相应的作用。

#### 4.2 外观完整性及漏点检查

外观检查需在良好的散射自然光或者与之相当的人工光源条件下进行,涂层表面要平整,均匀,不能有流挂、皱皮、气泡、针孔、杂点等缺陷,颜色满足设计要求,着色明显,分界线清楚可见;漏泄点检测要用电火花检测仪进行,检测电压根据涂层厚度设定,一般选择 $5V/\mu\text{m}$ <sup>[3]</sup>,在检测中探头要匀速移动,不出现漏电报警,则认为合格,对于金属热喷涂涂层还要检测其孔隙率情况。沿海挡潮闸由于长期处在高盐雾,高湿度环境中,受海水浸泡及潮汐作用,漏泄点检查尤其重要,在对表面进行喷砂前要对未喷砂部分做好防护措施。在进行涂装之前对一些特殊位置进行遮盖有如:楔槽、油孔、轴孔、已经加工过的结合面及工地焊接点两侧等等地方。

#### 4.3 安装精度与运行性能验收

闸门安装完毕后,须开展安装质量检验以及运行测试。底坎安装要符合设计标准,平整度、垂直度、距离偏差要在标准范围之内,闸门门叶安装完成后开关方便,灵活自如,无阻碍,无噪音。闸门实验分为静水开启实验和动水开启实验两部分,进行静水开启实验是在闸门关闭状态下充水后进行的,查看止水是否严密可靠,漏水情况满足设计标准即可,动水开启实验是在设计水位条件下进行,了解闸门运作平稳程度、启闭力大小如何。止水橡胶

的安装要均匀受压,不能出现扭曲变形或者断裂的情况。对于海堤上的挡潮闸尤其要注意潮汐冲击力给闸门带来的影响。闸门制作安装、验收须按《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》(GB/T 14173)规定进行。验收资料需有原材料质量证明书、防腐材料合格证、施工记录、检测报告、隐蔽工程验收记录等。施工单位应具备水工金属结构防腐施工资质证书。做到严格的质量管理,保证其防腐效果可靠、持久稳定。

#### 5 结语

水利工程闸门防腐施工安装验收是一个复杂的项目,在表面清理、油漆涂刷、安装防护还有质量检查方面都涉及到很多工作。本文围绕四个主要的关键技术环节展开论述各种环节的质量监控指标以及技术要求。通过研究发现,表面处理是防腐质量的基础,要严格执行对除锈等级的要求达到Sa2.5级及以上、对粗糙程度进行控制保持在40~100 $\mu\text{m}$ 之间;对涂层涂装要保证涂层厚度一致并且重点强调一些特殊地方,使用环氧富锌底漆、环氧云铁中间漆及聚氨酯面漆形成的复合体系能够实现长久防腐效果;安装过程需注意加强对焊接接头部位的补涂和修补防止防腐层破损不连续。检验验收要运用厚度测量、附着力测定、渗漏实验、运转特性实验等多种方法对防腐效果进行全方面评定。近年来新型防腐材料和工艺出现,激光熔覆、金属热喷涂、外加电流阴极保护等方式的应用对水工闸门防腐具有很好的推广价值。希望未来能够完善复合防护策略的研究,制定健全的运行管理和定期检测制度,不断提高水利工程项目闸门防腐水平和使用寿命。

#### [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(01):254-257.
- [2]张欣.水库闸门金属结构防腐处理分析[J].黑龙江水利科技,2022,50(10):67-68+139.
- [3]牛耕.水利闸门金属结构防腐处理技术研究[J].水上安全,2025(11):1-3.

作者简介:刘飞(1988.06—),男,汉族,毕业院校:三峡大学,专业:工程管理,工程师。