

大型弧形闸门浮箱体舱内钢结构防腐技术探讨

黄雪娇¹, 陈 锋², 蔡国杰¹, 蒋 华¹, 王浩森¹

(1. 江苏省太湖地区水利工程项目管理处, 江苏 苏州 215000; 2. 常州市城市防洪工程项目管理处, 江苏 常州 213000)

摘 要: 弧形闸门有启闭力小、泄流时流态好、无门槽等优点, 且其浮箱体的主门结构也有效降低了闸门运行的启闭力。闸门门叶结构主要由钢结构组成, 在实际运用和管理过程中, 金属结构的防腐状况直接关系到闸门的可靠性与使用寿命。弧形门浮箱体舱外、舱内的金属结构处在不同的环境中, 受腐蚀的主因也不尽相同, 因此应根据金属结构的实际情况采取适合的防腐措施来延长钢闸门的使用寿命。针对大型弧形钢闸门浮箱体舱内金属结构易腐蚀的情况, 分析其受腐蚀的原因、防腐重点, 并结合舱内金属结构防腐处理的实践进行技术探讨。

关键词: 弧形钢闸门; 浮箱体; 舱内; 防腐

中图分类号: TV663

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0325-04

Discussion on Anti-corrosion Technology for Steel Structure inside Cabin of Large Radial Gate Buoyancy Tank

HUANG Xuejiao¹, CHEN Feng², CAI Guojie¹, JIANG Hua¹, WANG Haomiao¹

(1. Taihu Lake Region Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suzhou 215000, China; 2. Flood Control Project Management Office of Changzhou City, Changzhou 213000, China)

Abstract: Radial gates have advantages such as low operating force, good flow pattern during discharge and no gate slots. And the main gate structure of the buoyancy tank also effectively reduces the operating force required for gate operation. The gate leaf structure is mainly composed of steel structures. In practical application and management, the corrosion status of metal structures directly affects the reliability and service life of the gate. The metal structures outside and inside the radial gate buoyancy tank are exposed to different environments, and the main causes of corrosion are also different. Therefore, appropriate anti-corrosion measures should be taken according to the actual situation of the metal structures to extend the service life of the steel gate. Focusing on the situation where the metal structures inside the large radial gate buoyancy tank are prone to corrosion, the causes of corrosion and the key points of anti-corrosion are analyzed, and the technology is discussed in combination with the practice of anti-corrosion treatment for the metal structures in buoyancy tank.

Keywords: radial steel gate; buoyancy tank; inside cabin; anti-corrosion

0 引 言

弧形闸门常用作水工建筑物的工作闸门, 具有圆弧形的挡水门, 并能绕其圆弧半径上的铰轴转动。对于承受荷载较大的潜孔或表孔弧形闸门, 主纵梁和支臂常采用箱形断面结构, 具有较大的刚度。闸门运行时主要依靠调节浮力和外力拉动, 门体内设有分隔的封闭水舱, 并设置水泵和阀门、管道等机械设备, 通过调节水舱内的水量来改变门体的自重和对弧形轨道的压力, 从而实现闸门的启闭和沉稳^[1]。

闸门水舱内的水位长期变化, 水质差, 且受温差影响, 冷凝水现象严重, 钢结构长期处于潮湿环境中, 特别是水位变动区腐蚀更为快速, 防腐处理能够有效延长钢闸门的使用寿命。目前钢结构防腐的方式有涂料保护、金属热喷涂和涂料复合保护、牺牲阳极阴极保护^[2]等。在水利工程实际管理运行中, 常采取涂料保护和金属热喷涂保护的方式保护钢闸门。

本文对钟楼防洪控制工程的大型弧形钢闸门^[3]舱内钢结构防腐处理方式进行研究。

1 弧形闸门舱内钢结构腐蚀情况和防腐重点

1.1 弧形闸门基本情况

钟楼防洪控制工程主体工程为一座单孔净宽

收稿日期: 2025-09-25

作者简介: 黄雪娇(1990—), 女, 本科, 工程师, 从事水利工程项目管理工作。

90 m的超大平面弧形钢闸门,门体为空箱钢结构,高8 m,宽3.5 m,弧面半径60.0 m,舱内钢结构面积近5 000 m²。

1.2 运行原理

有轨平面弧形钢闸门通过调节水舱内的水量来改变门体的自重和对弧形轨道的压力,由钢管结构空间三角形桁架支臂连接闸门支铰,从而实现卷扬式启闭机牵引启闭。根据门库水位调节舱内水位,使门体对弧形轨道保持一定的压力,沉稳在门库内。闸门启闭前,调节舱内水位,使门体对弧形轨道的压力在100~150 t范围内,卷扬启闭机钢丝绳受力较小,实现闸门关闭动作。当闸门关闭后,向舱内充水,增加门体自重,大于浮力,实现沉稳。

1.3 闸门舱内钢结构腐蚀情况

弧形闸门舱内分为3个水舱,每个水舱分为3层,互相连通。门库水位基本同步于京杭大运河常州段[常州(三)]水位,且根据运河水位涨落,舱内频繁充排水,底层及中间层中部以下长期保持有水,中间层顶部及顶层同步受冷凝水影响,因此闸门舱内锈蚀严重,如图1所示。



图1 弧形闸门舱内腐蚀实景

表1 弧形门舱内钢结构腐蚀情况

部位	环境情况	钢结构锈蚀情况	历史防腐情况
底层	水下,淡水(运河水,水质差)	表面涂覆层大面积剥落,锈蚀较严重,平均腐蚀量为0.48~1.14 mm,腐蚀程度为C级 ^[4]	未做过防腐处理
中间层	水位变动区	表面涂覆层大面积剥落,锈蚀较严重,平均腐蚀量为0.41~0.83 mm,腐蚀程度为C级	约5年做一次油漆防腐(环氧富锌底漆→环氧云铁中间漆→氯化橡胶面漆)
顶层	长期水上但潮湿(有冷凝水)	表面涂覆层局部剥落,存在锈蚀情况,通风口处锈蚀严重,平均腐蚀量为0.20~0.71 mm。	约5年做一次油漆防腐(环氧富锌底漆→环氧云铁中间漆→氯化橡胶面漆)

表1详细列出舱内三层金属结构的所处环境情况、腐蚀情况及历年防腐情况。从现场实际情况分析,水下区域(对应舱内底层)锈蚀最严重,一方面是因为工程建成以来,这部分未做过防腐处理;另一方面与钢结构所处环境有关。水位变动区(对应舱内中间层)虽定期做涂料防护,但效果不佳。水上区域(对应舱内顶层)受冷凝水影响,同样存在锈蚀情况。

1.4 闸门舱内钢结构防腐重点

弧形闸门舱内不同部位的腐蚀程度有差异,从防腐效果和成本控制综合情况看,宜采用不同的防腐方式。水下部分和水位变动区部分的金属结构,常规油漆防护的效果不佳,采用金属热喷涂保护结合涂料保护是最优方案;水上部分的金属结构仍采用涂料保护方式进行防腐处理。

2 舱内钢结构防腐处理

2.1 表面预处理

水工金属结构涂装前应进行表面预处理。这是决定水工金属结构防腐蚀涂层寿命的最主要因素。不同的表面预处理方式对应的技术要求不尽相同。

在钟楼闸舱内钢结构防腐项目中,采用喷射方法进行表面预处理^[5]。喷射磨料选用铜熔渣,喷射清理后,基体金属的表面清洁度等级达到《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第2部分:已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级》(GB/T 8923.2—2008)中规定的P Sa2.5^[6],表面粗糙度R_a值达到60~100 μm。

2.2 金属热喷涂

热喷涂用金属丝应光洁、无锈、无油、无折痕,直径宜为2.0 mm或3.0 mm^[2]。淡水环境中,金属热喷涂^[7]材料宜选用锌、锌铝合金^[2]。

金属热喷涂施工与表面预处理的间隔时间应严格遵循规范要求,这是决定金属热喷涂施工成功的关键因素。空气相对湿度不大于60%的条件下,热喷涂施工与表面预处理的间隔时间不应大于8 h。空气相对湿度大于60%或沿海区域等环境条件下,热喷涂施工与表面预处理的间隔时间不应大于2 h^[2]。

2.3 油漆防护

防腐蚀涂层系统宜由底漆、中间漆和面漆组成。大气环境、水位变动区、水下或潮湿环境下,涂层系统应选择不同的涂料种类,且各层涂料之间要符合配套性^[8],具体可参考《水工金属结构防腐蚀技术规

范》(SL/T 105—2025)附录 3^[2]。表 2 分析了常规 4 款面漆的性能指标。

表 2 常规面漆的性能参数对比				
性能指标	国标氟碳面漆(含氟≥20%)	企标氟碳面漆(含氟5%~8%)	氯化橡胶面漆	聚氨酯面漆
室外耐候性	户外使用寿命长达15—20年	户外使用寿命长达8—10年	长期容易粉化褪色,使用寿命5—8年,需定期维护	户外使用寿命长达10—15年
长期耐温	可达到120℃	可达到120℃	最高不超过80℃	可达到150℃
耐化学腐蚀性	耐酸碱、盐、溶剂等	耐一定酸碱、盐、溶剂等	耐水、耐盐雾,但是不耐强酸、碱	耐一定酸碱、盐、溶剂等
耐磨性/硬度	2 H	1 H	<1 H	2 H
附着力	≥5 MPa	≥5 MPa	3 MPa	≥5 MPa

由 2 表可以看出,氯化橡胶面漆有耐水、耐盐雾的优点,比较适用于水下和水位变动区;氟碳面漆的使用寿命较长,耐温、耐磨,可应用于水上部分。

3 实例运用

3.1 施工方案

结合现场实际情况,并考虑成本控制,钟楼防洪控制工程北侧弧形闸门舱内钢结构防腐的施工方案如下:

(1)水上部分常规涂料保护:基面预处理(人工除锈打磨)(表面粗糙度达到 P St3 级)→无机硅酸锌^[9]底漆→环氧云铁中间漆→氟碳^[10]面漆。

(2)水下部分及水位变动区喷锌防腐保护:基面喷砂除锈(表面清洁度达到 P Sa2.5,表面粗糙度 R_a 值应为 60~100 μm)→热喷涂(Zn-Al15)→无机硅酸锌底漆→环氧云铁中间漆→氯化橡胶漆。

防腐施工要求详见表 3。

表 3 钟楼防洪控制工程北侧弧形闸门舱内钢结构防腐要求			
分类	油漆名称及型号	涂刷遍数	漆膜厚度/ μm
热喷涂	锌铝合金	—	120
底漆	无机硅酸锌底漆	2 遍	80
中间漆	环氧云铁中间漆	2 遍	80
水上面漆	无机氟碳面漆	2 遍	80
水下面漆	氯化橡胶面漆	2 遍	80

3.2 材料选用

在实际施工过程中,喷射采用铜熔渣^[11],热喷涂采用锌铝合金丝 Zn-Al15。铜熔渣磨料^[12]是熔融液态矿潭经颗粒料化、干燥、筛分处理而成,外形带有

棱角不含盐质的玻璃晶体,具有材质硬、喷射除锈^[12]效率高的特点,被喷件粗糙度能达到涂装标准要求,是目前国内现代钢材表面除锈的理想喷射材料。硬度 HVI400~600,粗糙度为 40~80 M,除锈标准 Sa2 Sn3。底漆、中间漆、面漆均为同一生产厂家,彼此之间有良好的配套性。

3.3 施工过程质量控制

在实际施工过程中,为保证全过程施工质量^[13],实行质量管理责任制,严格执行《水工金属结构防腐蚀技术规范》(SL/T 105—2025)等相关规范规定的技术标准。每道工序应满足规范规定要求,经第三方检测合格后,才能进行下一道工序。

另外,在施工过程中,严格控制施工环境,设大型除湿、降尘设备,强制通风保持干燥。从质量验收材料(见图 2 至图 4)可以看出,施工总质量良。

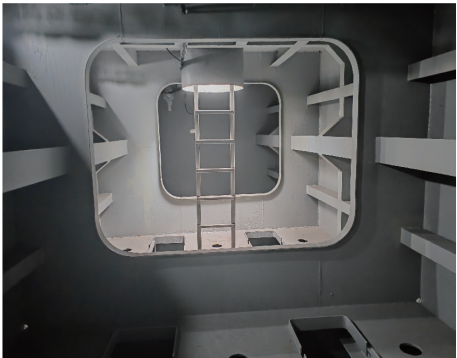


图 2 喷砂/打磨除锈验收情况



图 3 热喷涂验收情况



图 4 涂料保护验收情况

3.4 效果追踪

施工验收合格后,工程即投入运行,弧形闸门舱

内充水至中间层,底舱、中间舱淹没,顶舱受冷凝水影响,均处于潮湿环境中。目前来看,舱内金属结构涂料完好,无锈蚀情况(见图5)。通过本次防腐与历年防腐状况对比分析,水下和水位变动区金属热喷涂和涂料复合保护的防腐方式,在湿度大、水质差等复杂环境下明显减缓了钢结构腐蚀的速度。水上区域虽受成本控制影响,只做了单纯的涂料保护,但不同性能的面漆选择仍能体现出不同的防腐成效。在实际运用中,金属结构防腐应根据工程工况做好涂层系统的选择匹配。



图5 弧形门舱内现状

4 深入研究

4.1 优化防腐方案

钟楼防洪控制工程采用上述方案,对弧形门舱内不同部位的钢结构进行了针对性强的防腐处理,取得了较为明显的成效,提升了钢结构的性能,延长其使用寿命。但从工程长期运行预测,顶舱部位由于只采用了单纯的涂料防护,在未来5年,仍会出现锈蚀严重现象。因此,热喷涂和涂料复合保护可以作为弧形门舱内钢结构防腐的首选方案。同时,水工金属结构还可以增加阴极保护^[14]法。这对延缓钢结构腐蚀有较好的作用。

4.2 改善弧形闸门舱内环境

弧形闸门舱内钢结构易腐蚀的原因主要是舱内湿度大,水位变动区的潮湿环境加速金属结构的腐蚀。因此,改善弧形闸门舱内环境是缓解金属结构腐蚀的根本方法。结合工程实际运用情况,改善弧形闸门舱内环境主要有以下几项措施:

(1)强制通风、降低湿度。在弧形闸门舱内装设通风设施,配套温湿度自动调节^[15]系统,能有效降低舱内湿度,冷凝水现象明显好转,金属结构腐蚀速度

减缓。

(2)改善水质、减少杂质。在舱内充水管道进口装设水处理设备,将运河水内的泥沙等杂质过滤,同时调节水的酸碱度、含盐量,避免水污染带来的影响。

(3)干湿分离、持续改造。进一步论证“水舱变水囊、充水变配重”的可行性,从根源上解决金属结构长期暴露在潮湿环境中的问题。

5 结论

本文仅针对钟楼防洪控制工程弧形闸门舱内钢结构防腐的实例进行了研究分析,对于实际水工金属结构防腐难题,如阴极保护的运用、新涂料的选用、基面处理新工艺及改善弧形闸门舱内环境等问题有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 徐士忠. 水工闸门运行工[J]. 四川水力发电, 2015, 34(6): 4-6.
- [2] SL/T 105—2025 水工金属结构防腐蚀技术规范[S].
- [3] 黄雪娇, 陈锋. 大型弧形钢闸门支铰轴承异响原因分析及对策措施[J]. 江苏水利, 2021(1): 70-72.
- [4] GB 8923—88 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级[S].
- [5] 王富, 易天兰. 预处理对金属表面油漆附着力影响研究[J]. 山东化工, 2024, 53(10): 52-55.
- [6] GB/T 8923.2—2008 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第2部分: 已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级[S].
- [7] 刘静, 宋梦, 陈涛. 钢结构表面热喷涂锌-铝合金涂层的耐久性研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2024, 47(4): 47-52.
- [8] 高冬. 大型钢结构桥梁配套涂层的分析与探讨[J]. 现代涂料与涂装, 2021, 24(6): 15-18; 22.
- [9] 陈向荣. 对无机硅酸锌底漆的附着力分析[C]//2002 中国国际腐蚀控制大会论文集. 北京: 中国石油和化学工业协会, 中国化学学会, 中国防腐技术协会, 2002: 505-508.
- [10] 赵柯, 张万里, 孙斌, 等. 氟碳涂料研究进展[J]. 浙江化工, 2023, 54(4): 4-8.
- [11] 唐欧靖. 钢渣型喷砂除锈材料的研究与应用开发[J]. 宝钢技术, 2015(5): 23-28.
- [12] 陈震炎, 邱少华, 王鹤壮. 铜熔渣磨料喷射除锈实用性的探讨[J]. 劳动医学, 1991(1): 10-11.
- [13] 陈世杰. 钢结构施工过程涂层的质量控制研究[D]. 长沙: 湖南科技大学, 2019.
- [14] 卢毓颖. 外加电流阴极保护技术在大型翻板闸门上的应用[J]. 水电站机电技术, 2021, 44(2): 82-85.
- [15] 孙宇丹, 杨桂花, 吴春梅, 等. 室内温湿度自动调节装置设计及实现[J]. 电子世界, 2019(2): 164; 166.