

# 复杂环境下水工钢结构建筑物防腐蚀研究与应用

## Research and Application of Corrosion Prevention of Hydraulic Steel Structure Buildings in Complex Environment

杨豪

Hao Yang

中国水利水电第三工程局有限公司 中国·陕西 西安 710024

Sinohydro Bureau 3 Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710024, China

**摘要:** 本研究旨在针对复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐蚀问题展开深入研究。复杂环境中的水工建筑物面临着湿润、盐雾、化学污染等多重腐蚀因素的影响,传统的防腐蚀技术已经难以满足其长期可靠运行的需求。因此,本研究将重点关注防腐蚀材料与涂层技术的选择与优化,施工工艺与方法的改进,以及防腐蚀效果评估与性能预测等方面,旨在为复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐蚀施工提供技术支持和解决方案。

**Abstract:** The purpose of this study is to study the corrosion prevention of hydraulic steel structures in complex environment. Hydraulic structures in complex environments are faced with the influence of multiple corrosion factors such as moisture, salt spray and chemical pollution, and the traditional corrosion prevention technology has been difficult to meet the needs of their long-term and reliable operation. Therefore, this study will focus on the selection and optimization of anti-corrosion materials and coating technology, the improvement of construction technology and methods, as well as the evaluation and performance prediction of anti-corrosion protection effect, aiming to provide technical support and solutions for the anti-corrosion construction of hydraulic steel structure buildings in complex environment.

**关键词:** 复杂环境; 水工钢结构; 防腐蚀研究; 防腐蚀材料; 涂层技术; 施工工艺

**Keywords:** complex environment; hydraulic steel structure; corrosion protection research; corrosion protection materials; coating technology; construction technology

**DOI:** 10.12346/etr.v5i7.8291

## 1 引言

水工钢结构建筑物广泛应用于海洋平台、码头、水闸、桥梁等工程中,然而在复杂的环境条件下,这些建筑物面临着来自自然界和人为活动的严峻腐蚀挑战。水中潮湿的环境、盐雾的侵蚀、水中化学物质的腐蚀等因素,都可能导致钢结构的损伤和性能下降。此外,钢结构建筑物的长期使用和暴露在恶劣环境中,也使得传统的防腐蚀技术逐渐暴露出其局限性。

## 2 环境分析与腐蚀特点研究

### 2.1 复杂环境下水工建筑物特点分析

复杂环境下的水工建筑物呈现出一系列特点,这些特点

与其所处环境密切相关,对其防腐蚀性能产生深远影响。首先,水工建筑物大多位于潮湿的水域或潮汐带,长期暴露在湿润环境中,水汽和水的作用使得钢结构更容易发生腐蚀。其次,海洋平台、码头等水工建筑物往往处于高盐度的海洋环境,盐雾的侵蚀加剧了钢结构的腐蚀速率。此外,水工建筑物可能面临氯离子、硫化物等腐蚀性物质的侵入,加剧了钢结构的腐蚀程度<sup>[1]</sup>。

### 2.2 钢结构在复杂环境下的腐蚀机理研究

在复杂环境下,钢结构的腐蚀机理变得更为复杂多样。一般而言,水工建筑物的钢结构腐蚀机理主要包括电化学腐蚀和化学腐蚀两个方面。

电化学腐蚀:当钢结构暴露在潮湿的环境中,钢表面会

【作者简介】杨豪(1981-),男,中国河南通许人,本科,高级工程师,从事钢结构加工制作及安装工程研究。

形成氧化膜，形成阳极和阴极区域，形成电池，钢结构成为电流的导体。在氧化膜存在的条件下，水和氧气中的氧会发生还原反应，钢表面的阳极区域失去电子并氧化，同时在阴极区域发生还原反应，导致钢的腐蚀。盐雾和海水中的盐离子可以加速电解质的形成，进一步加剧了电化学腐蚀过程。

**化学腐蚀：**复杂环境中水工建筑物可能暴露于含有氯离子、硫化物等腐蚀性物质的介质中。这些化学物质可以直接侵蚀钢表面，与钢中的金属离子形成腐蚀产物，导致钢结构的局部腐蚀和减小材料截面，从而降低其强度和承载能力。

### 2.3 外界因素对防腐性能的影响分析

复杂环境中的外界因素对水工建筑物的防腐性能产生直接影响。首先，自然灾害如风暴、海啸等会给水工建筑物带来额外的冲击和损伤，加速钢结构的腐蚀。其次，气候因素也是影响防腐性能的重要因素，例如温度变化、日照时间和降水量等都会影响钢结构表面涂层和防腐涂层的性能稳定性。再次，水工建筑物周围的化学环境，如空气中的气体、海水中的盐离子等也会影响防腐涂层的稳定性，甚至加速钢结构的腐蚀速率。

## 3 防腐材料与涂层技术选择

### 3.1 防腐材料种类与性能对比

在复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐中，选择合适的防腐材料是确保长期可靠运行的重要因素。目前市场上存在多种防腐材料，包括有机涂料、无机涂料、聚合物复合材料等。这些材料在防腐性能上各有优劣，需要根据实际情况进行综合比较和选择<sup>[2]</sup>。

**有机涂料：**有机涂料是常见的一类防腐材料，其具有良好的附着力和施工性能，能有效阻隔氧气和水分对钢结构的腐蚀。然而，在复杂环境下，有机涂料的耐盐雾性能和抗紫外线性能可能存在不足，导致涂层老化和剥落，进而影响防腐效果。

**无机涂料：**无机涂料由硅酸盐、磷酸盐等无机材料组成，具有优异的耐候性和耐腐蚀性能。在复杂环境中，无机涂料能更好地抵御盐雾和化学腐蚀，但其施工性能较差，需要特殊条件下施工。

**聚合物复合材料：**聚合物复合材料结合了有机涂料和无机涂料的优点，具备较好的防腐性能和施工性能。该类材料能够有效应对复杂环境中的腐蚀因素，但其成本较高，需要充分考虑工程预算。

### 3.2 适应复杂环境的防腐涂层技术研究

针对复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐涂层技术，研究人员正在探索更加适应性强的新型涂层技术。其中一些值得关注的研究方向包括：

**多层涂层技术：**利用不同性质的涂层进行层层叠加，可以实现涂层在防腐性能上的互补。例如，在有机涂层上加

覆无机涂层，可提高涂层的耐候性和耐盐雾性能。

**纳米涂层技术：**利用纳米颗粒改善涂层的性能，例如添加纳米二氧化钛可以增强涂层的紫外线抵抗能力。纳米技术的应用有望提高涂层的耐久性和防腐性能。

**脉冲电沉积技术：**该技术可以实现涂层微观结构的调控，从而提高涂层的致密性和附着力。脉冲电沉积技术在提高防腐涂层性能方面具有潜在优势。

### 3.3 防腐材料与涂层的环保性评价

在防腐材料与涂层的选择过程中，环保性也是一个重要的考量因素。传统的防腐涂层中可能含有挥发性有机化合物（VOCs）和重金属等对环境健康有潜在危害的成分。因此，对于新型防腐涂层的研发和应用，必须进行环境友好性评价，包括对VOCs排放的限制和对有害成分的减少。

同时，对于已有涂层的环保性改进也是必要的研究方向。可以通过减少有害成分的使用、改进涂层施工工艺等措施，使得防腐涂层在提供优异性能的同时也对环境产生较小的负面影响。

## 4 施工工艺与方法优化

### 4.1 表面处理工艺优化

表面处理是防腐工程的重要环节，直接影响涂层与基材之间的附着力和防腐效果。在复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐施工中，表面处理工艺的优化尤为重要。一些优化措施包括：

**表面清洁：**通过高压水洗、喷砂、喷丸等方法，彻底清除基材表面的油污、灰尘和锈蚀物，确保涂层能够充分附着在基材上。

**表面预处理：**采用酸洗、碱洗等预处理方法，有效去除基材上的氧化膜和腐蚀产物，增加基材表面的粗糙度，有利于涂层的附着。

**表面改性：**通过改性涂层、表面活性剂等手段，提高基材表面的亲水性和润湿性，有利于涂层的均匀覆盖和密实。

### 4.2 防腐材料施工工艺研究

防腐材料的施工工艺对涂层的质量和防腐性能有着直接影响。在复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐施工中，需要研究优化防腐材料的施工工艺，以确保涂层能够稳定附着在基材上，并具备良好的防腐性能。一些关键的研究方向包括：

**涂层厚度控制：**通过精确控制涂层的施工厚度，确保涂层能够达到设计要求的防腐性能，避免涂层厚度过大或过小导致的问题。

**涂层固化工艺：**对于不同类型的防腐涂层，研究其最佳固化工艺，包括温度、时间等参数的优化，以保证涂层的致密性和耐久性。

**多层体系施工：**研究多层体系的施工顺序和间隔时间，确保涂层之间能够充分反应和固化，达到最佳的防腐

效果。

#### 4.3 涂层施工质量控制与监测方法

在防腐蚀施工过程中,涂层的质量控制与监测是确保防腐蚀效果的重要手段。建立有效的质量控制与监测方法可以及时发现涂层施工中的问题,并采取相应的措施加以修正。一些重要的控制与监测方法包括:

**膜厚测量:**采用非破坏性的膜厚测量方法,如磁感应法、涂层测厚仪等,对涂层厚度进行实时监测,确保涂层厚度符合设计要求。

**附着力测试:**通过拉伸试验、划格试验等方法对涂层的附着力进行评估,保证涂层与基材之间的结合牢固。

**环境适应性测试:**通过模拟复杂环境下的气候、盐雾等条件,对涂层进行环境适应性测试,评估其在复杂环境中的耐久性。

### 5 防腐蚀效果评估与性能预测

#### 5.1 防腐蚀效果评估方法

防腐蚀效果评估是对施工后防腐蚀涂层的性能进行定量化和定性化评估的过程。在复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐蚀工程中,需要采用合适的评估方法,准确了解防腐蚀涂层的抗腐蚀性能。一些常用的防腐蚀效果评估方法包括:

**腐蚀速率测试:**通过加速试验或长期暴露试验,测量钢结构在复杂环境中的腐蚀速率,评估防腐蚀涂层的防护效果。

**电化学测试:**使用电化学测试技术,如极化曲线法、交流阻抗法等,评估涂层对钢结构的防腐蚀性能,了解涂层的电化学行为。

**微观结构观察:**通过显微镜、扫描电子显微镜等观察涂层的微观结构,检测涂层是否存在缺陷和老化现象。

**盐雾试验:**模拟复杂环境中的盐雾腐蚀,评估涂层的耐盐雾性能<sup>[3]</sup>。

#### 5.2 防腐蚀材料寿命预测模型研究

为了预测防腐蚀材料的使用寿命,研究人员正在探索建立预测模型。这些模型可以通过考虑复杂环境中的多种因素,如温度、湿度、盐雾浓度等,来预测防腐蚀涂层的寿命。常见的预测模型包括:

**统计学模型:**利用历史数据和统计方法,建立防腐蚀涂层性能与使用寿命之间的关联,预测涂层在特定环境下的寿命。

**物理-化学模型:**基于涂层材料的物理和化学特性,建立腐蚀速率与环境因素之间的数学关系,预测涂层的寿命。

**神经网络模型:**通过构建复杂的神经网络结构,模拟涂层在不同环境条件下的腐蚀行为,实现寿命预测。

### 6 技术应用与推广

#### 6.1 施工标准与规范制定

为了推动复杂环境下水工钢结构建筑物防腐蚀技术的应用,需要建立相应的施工标准与规范。制定科学合理标准和规范可以规范施工行为,确保防腐蚀工程质量,提高防腐蚀效果。施工标准与规范应涵盖材料选择、表面处理、涂层施工工艺、质量控制与监测等方面,旨在为复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐蚀施工提供统一的技术指南。

#### 6.2 防腐蚀技术应用示范项目推进

推广防腐蚀技术的有效方式之一是通过示范项目的建设和推进。在复杂环境下选择一些重要的水工钢结构建筑物,进行防腐蚀技术的应用示范。通过这些示范项目的成功实施,可以充分展示防腐蚀技术的可行性和优势,吸引更多的工程项目采用先进的防腐蚀技术。同时,对示范项目的监测与评估,可以进一步验证防腐蚀技术的效果,为技术推广提供实证支持。

#### 6.3 技术推广与培训

为了广泛推广复杂环境下水工钢结构建筑物防腐蚀技术,需要开展相应的技术推广和培训工作。技术推广可以通过组织技术交流会、研讨会等活动,将研究成果与实际应用相结合,向行业内外传播防腐蚀技术的最新进展。培训工作可以面向施工人员、工程管理人员等,通过培训课程和实操演练,提高相关人员对防腐蚀技术的认知水平和操作技能,推动技术的落地和应用<sup>[4]</sup>。

在技术推广与培训中,需要注重宣传防腐蚀技术的重要性和优势,向工程项目业主和决策者普及防腐蚀技术的经济效益和长期价值。同时,与防腐蚀材料生产商和施工企业开展合作,促进技术的产业化和商业化的。

### 7 结论

复杂环境下水工钢结构建筑物的防腐蚀研究与应用是一项具有重要意义工程任务。通过合理选择防腐蚀材料与涂层技术、优化施工工艺与方法,并建立寿命预测模型,可以有效提高水工建筑物的耐久性和可靠性,为工程项目的长期运行提供保障。

#### 参考文献

- [1] 陈独钟,李亦奇,王勤.复杂环境下水工钢结构建筑物防腐蚀技术综述[J].金属腐蚀与防护,2014,13(1):23-26.
- [2] 张静文,刘文,杨思齐.新型防腐蚀涂层技术在水工建筑物中的应用[J].涂料技术,2016,23(2):45-47.
- [3] 王兰,赵齐,张子涛.防腐蚀材料寿命预测模型研究与应用[J].腐蚀科学与防护技术,2011,28(3):67-69.
- [4] 李国栋,刘嘉美,周慧.复杂环境下防腐蚀工程案例分析与启示[J].建筑科学,2015,54(4):43-45.