

# 起重机械金属结构腐蚀防护技术与耐久性研究

周 莉

武桥重工集团股份有限公司 湖北 武汉 430090

**摘 要:** 本文聚焦起重机械金属结构腐蚀防护技术与耐久性研究。先阐述金属结构腐蚀机理, 包括基本机理、主要类型与特征及影响因素; 接着介绍腐蚀防护技术体系, 涵盖表面涂层、电化学防护、结构设计优化与材料选择、日常维护等技术; 然后说明耐久性评估方法, 涉及指标体系设计与评估模型构建; 最后提出腐蚀防护与耐久性优化策略, 包括基于工况的防护优化、结构与防护协同优化及耐久性管理策略, 为起重机械安全运行提供参考。

**关键词:** 起重机械; 金属结构; 腐蚀防护; 耐久性; 研究

## 1 起重机械金属结构腐蚀机理与影响因素

### 1.1 金属结构腐蚀的基本机理

起重机械金属结构腐蚀, 本质是金属与环境介质化学或电化学反应, 致性能劣化、结构破坏。化学腐蚀中, 金属原子有失电子成离子倾向, 与氧化性物质(如氧气、水)接触, 原子失电子被氧化成金属氧化物或盐类。以铁在潮湿空气为例, 会生成铁锈。电化学腐蚀更常见且危害大, 金属结构中有不同电极电位区域, 与电解质溶液(如雨水形成的薄液膜)接触形成微电池。电位低处为阳极, 金属原子失电子变离子入溶液; 电位高处为阴极, 氧化性物质得电子。这种电化学反应加速金属腐蚀, 短时间内使金属结构出现明显腐蚀损伤, 严重影响起重机械的安全性及稳定性。

### 1.2 主要腐蚀类型与特征

均匀腐蚀均匀发生在金属结构整个表面, 使金属厚度均匀减薄。其腐蚀表面平整, 速率稳定, 可通过测金属厚度减少量评估。如起重机械臂架外表面长期暴露在潮湿大气中易发生。虽不会短期致结构失效, 但长期积累会降低承载能力, 影响安全与寿命。点蚀是局部腐蚀, 在金属表面形成小而深孔洞, 集中在个别点, 其他部位腐蚀轻<sup>[1]</sup>。常因金属表面缺陷或局部环境差异引起, 在沿海或接触含氯离子介质的起重机零件(如吊钩、滑轮)易发生, 会迅速向内扩展, 致结构强度急剧下降。缝隙腐蚀发生在金属结构有缝隙且充满电解质溶液处, 缝隙内与外部溶液成分浓度差异形成浓差电池, 加速缝隙内金属腐蚀, 在起重机械装配结构中常见。应力腐蚀是金属在拉应力和特定腐蚀介质共同作用下的脆性断裂, 裂纹扩展迅速, 无明显预兆致结构突然断裂, 如起重机主梁在重物载荷和大气腐蚀下可能出现应力腐蚀裂纹, 威胁安全运行。

### 1.3 腐蚀影响因素分析

环境因素对起重机械金属结构腐蚀影响重大。大气中的湿度、氧气含量及污染物(如二氧化硫、氮氧化物、氯离子等)会加速腐蚀。高湿度使金属表面形成水膜, 为电化学腐蚀创造条件; 污染物改变金属表面电学性质, 促进反应。工业污染严重地区, 起重机械金属结构腐蚀速度明显加快。海洋环境腐蚀更严重, 海水中大量氯离子侵蚀性强, 易致金属点蚀和缝隙腐蚀。材料因素方面, 金属的化学成分、组织结构和表面状态影响腐蚀性能。不同金属电极电位和化学性质不同, 耐腐蚀性差异大, 如不锈钢因含铬等合金元素, 表面形成致密氧化膜, 耐腐蚀性好。材料组织结构影响腐蚀行为, 晶粒粗大金属更易腐蚀。金属表面粗糙度、氧化皮、涂层等表面状态也影响腐蚀, 光滑表面和良好涂层可减少腐蚀。应力因素中, 起重机械金属结构承受载荷产生应力, 影响电化学反应, 促进腐蚀。拉应力使金属晶格畸变, 加速阳极溶解; 压应力抑制腐蚀。应力集中部位更易发生应力腐蚀。结构设计因素上, 不合理设计会为腐蚀创造条件, 如结构中存在缝隙、积水部位、通风不良区域等, 易使腐蚀介质积聚, 加速腐蚀。连接方式也影响腐蚀性能, 螺栓连接易缝隙腐蚀, 焊接接头可能存在缺陷降低耐腐蚀性, 所以结构设计应充分考虑腐蚀防护要求。

## 2 起重机械金属结构腐蚀防护技术体系

### 2.1 表面涂层防护技术

表面涂层是起重机械金属结构最常用的腐蚀防护方法之一, 其原理是在金属表面形成一层致密的保护膜, 隔绝金属与腐蚀介质的接触, 从而防止腐蚀的发生。常见的表面涂层包括油漆涂层、金属镀层和无机非金属涂层等。油漆涂层具有成本低、施工方便、适用范围广等优点, 广泛应用于起重机械的防腐。根据使用环境和要求的不同, 可选择不同类型的油漆, 如环氧漆、聚氨

酯漆、丙烯酸漆等。在涂装过程中,需要对金属表面进行严格的预处理,包括除锈、除油、打磨等,以确保涂层与金属表面的良好附着力。同时要控制涂层的厚度和涂装工艺,保证涂层的质量和防护效果。金属镀层是通过电镀、热镀等方法在金属表面沉积一层其他金属,如锌、铝、铬等,以提高金属的耐腐蚀性<sup>[2]</sup>。锌镀层具有良好的牺牲阳极保护作用,当镀层破损时,锌会优先腐蚀,保护底层金属不受腐蚀。热镀锌是将金属构件浸入熔融的锌液中,形成一层较厚的锌镀层,广泛应用于户外起重机械的防腐。铝镀层和铬镀层也具有一定的耐腐蚀性,可根据具体需求选择使用。无机非金属涂层如陶瓷涂层、玻璃涂层等,具有耐高温、耐磨损、耐腐蚀等优点,适用于一些特殊环境下的起重机械。陶瓷涂层可以通过等离子喷涂、火焰喷涂等方法制备,在金属表面形成一层坚硬、致密的陶瓷层,有效防止腐蚀介质的侵蚀。

## 2.2 电化学防护技术

电化学防护技术是利用电化学原理来防止金属腐蚀的方法,主要包括牺牲阳极保护和外加电流阴极保护两种。牺牲阳极保护是在被保护的金属结构上连接一种电位更负的金属或合金(如镁、锌、铝等),作为牺牲阳极。在电解质溶液中,牺牲阳极优先发生腐蚀,不断向被保护的金属提供电子,使被保护金属成为阴极而受到保护。牺牲阳极保护具有不需要外部电源、安装简单、维护方便等优点,适用于小型起重机械或局部结构的防腐。外加电流阴极保护是通过外部直流电源向被保护的金属结构施加阴极电流,使金属表面成为阴极,从而抑制金属的腐蚀。该方法需要设置辅助阳极和参比电极,通过调节电流大小来控制保护效果。外加电流阴极保护适用于大型起重机械或土壤、水等环境中的金属结构防腐,具有保护范围广、保护效果好的优点,但设备投资和运行成本较高。

## 2.3 结构设计优化与材料选择

合理的结构设计和合适的材料选择是从根本上提高起重机械金属结构耐腐蚀性的重要措施。在结构设计过程中,应尽量避免出现缝隙、积水部位、通风不良区域等容易引发腐蚀的结构形式。采用圆滑过渡、连续焊接等设计方法,减少结构的不连续性和应力集中。同时,要考虑结构的排水和通风性能,使腐蚀介质能够及时排出,降低腐蚀风险。例如,在起重机的臂架设计中,可以采用倾斜的表面设计,便于雨水和腐蚀介质的流淌。根据起重机械的使用环境和工况要求,选择具有良好耐腐蚀性的材料。对于在腐蚀性较强的环境中工作的起重机械,可选用不锈钢、耐候钢等耐腐蚀材料。耐候钢是

在普通碳钢中加入少量的合金元素(如铜、磷、铬、镍等),使其在大气环境中形成一层致密的氧化膜,具有良好的耐大气腐蚀性能,可降低涂层的维护成本。

## 2.4 日常维护防护技术

日常维护是保证起重机械金属结构腐蚀防护效果的重要环节。(1)定期检查:定期对起重机械金属结构进行外观检查,查看是否有腐蚀、裂纹、涂层破损等缺陷。对于发现的问题,及时进行记录和处理,防止腐蚀问题的进一步扩大。同时,要检查腐蚀防护设施(如牺牲阳极、外加电流保护装置等)的工作状态,确保其正常运行。(2)清洁保养:定期对起重机械金属结构进行清洁,去除表面的灰尘、油污和腐蚀介质。在清洁过程中,要注意避免使用对金属有腐蚀作用的清洁剂。对于涂层表面,可采用柔软的布料擦拭,防止刮伤涂层。(3)涂层修复:当发现涂层出现破损、脱落等情况时,应及时进行修复。修复前,要对破损部位进行清理和打磨,去除锈蚀产物和旧涂层,然后按照涂装工艺要求重新涂装,保证涂层的完整性和防护效果。

## 3 起重机械金属结构耐久性评估方法

### 3.1 耐久性评估指标体系设计

起重机械金属结构耐久性评估指标体系应综合考虑金属结构的腐蚀状况、力学性能、剩余寿命等因素。第一、腐蚀状况指标:包括腐蚀面积、腐蚀深度、腐蚀速率等,这些指标可以直观地反映金属结构的腐蚀程度。通过对金属结构进行定期检测和测量,获取腐蚀状况数据,为耐久性评估提供依据<sup>[3]</sup>。第二、力学性能指标:主要考虑金属结构的强度、刚度、稳定性等力学性能指标。腐蚀会导致金属结构的截面尺寸减小、材料性能劣化,从而影响其力学性能。通过力学性能测试和计算分析,评估腐蚀对金属结构力学性能的影响程度。第三、剩余寿命指标:剩余寿命是衡量起重机械金属结构耐久性的重要指标。根据金属结构的腐蚀状况、力学性能和使用工况,采用合适的预测模型和方法,估算金属结构的剩余使用寿命,为设备的更新和维护决策提供参考。

### 3.2 耐久性评估方法选择与模型构建

#### 3.2.1 评估方法适配性分析

常用的起重机械金属结构耐久性评估方法包括经验评估法、理论计算法和实验测试法等。经验评估法是根据以往的经验 and 类似工程案例,对金属结构的耐久性进行定性评估,该方法简单易行,但准确性较低。理论计算法是基于腐蚀机理和力学理论,建立数学模型,对金属结构的耐久性进行定量计算,该方法具有较高的科学性和准确性,但需要准确的模型参数和复杂的计算过

程。实验测试法是通过实际金属结构或模拟试件进行腐蚀实验和力学性能测试,获取实验数据,评估金属结构的耐久性,该方法结果可靠,但实验周期长、成本高。在实际评估中,应根据具体情况选择合适的评估方法或综合运用多种方法,以提高评估结果的准确性和可靠性。

### 3.2.2 综合评估模型构建

为了更准确地评估起重机械金属结构的耐久性,可以构建综合评估模型。综合评估模型应综合考虑腐蚀状况、力学性能和剩余寿命等多个因素,采用层次分析法、模糊综合评价法等方法确定各因素的权重,通过加权平均等方法计算金属结构的耐久性综合评分。通过综合评估模型,可以全面、客观地评价起重机械金属结构的耐久性状况,为设备的管理和维护提供科学依据。

## 4 起重机械金属结构腐蚀防护与耐久性优化策略

### 4.1 基于工况的防护技术适配性优化

起重机械金属结构在不同工况下,面临的腐蚀环境和风险差异显著。在沿海地区,空气湿度大且盐分含量高,化工园区则存在各类腐蚀性化学物质,这些环境对起重机械金属结构的腐蚀极为严重。因此,在此类环境中工作的起重机械,必须采用耐腐蚀性能更优的材料,如高强度耐候钢等;构建更完善的涂层防护体系,像多层复合涂层,增强防护的持久性;还可运用电化学防护技术,如牺牲阳极保护法,有效减缓腐蚀速度。而在室内干燥环境中,腐蚀风险相对较低,可适当简化防护措施。另外,要依据起重机械的工作频率、载荷大小等工况参数,精准确定防护周期和维护计划,确保防护措施及时有效,保障金属结构的耐久性。

### 4.2 结构与防护技术协同优化

在起重机械的设计和制造环节,结构设计与腐蚀防护技术的协同优化至关重要。结构设计阶段,需充分考虑腐蚀防护的要求,为后续的防护工作创造有利条件。比如,在涂层施工方面,应设计便于施工的形状和尺寸,避免出现狭窄角落、深凹槽等涂层难以覆盖的部位,确保涂层能均匀、完整地附着在金属结构表面。对于电化学防护装置的安装,结构设计要预留合适的安装空间和位置。同时,腐蚀防护技术要紧密贴合结构特点和工况要求。以起重机的臂架结构为例,根据其受力情

况和腐蚀特点,合理选择防护技术和材料。在安装电化学防护装置时,依据结构的电位分布,精准布置辅助阳极和参比电极的位置,使防护装置发挥最佳效果,保障金属结构在复杂工况下的长期稳定运行。

### 4.3 耐久性提升的管理策略

建立完善的起重机械金属结构耐久性管理体系,是提升设备耐久性的关键举措。首先,要制定科学合理的设备维护计划和检测制度,明确不同阶段的维护内容和周期,定期对金属结构进行全面细致的耐久性评估和检测,运用先进的无损检测技术,及时发现潜在的腐蚀问题,并采取针对性的处理措施,防止腐蚀进一步扩展<sup>[4]</sup>。其次,加强设备使用过程中的管理,规范操作人员的操作行为,通过培训和考核,确保其熟悉设备的正确操作方法,避免因违规操作导致金属结构受到损伤,加剧腐蚀程度。此外,要高度重视设备维护人员的培训工作,定期组织专业培训,提高其腐蚀防护和耐久性评估的技术水平,使其能够准确判断金属结构的状况,采取有效的维护措施,保障设备的安全运行,实现耐久性的显著提升。

### 结束语

起重机械金属结构腐蚀防护与耐久性研究意义重大,关乎设备安全运行与使用寿命。本文虽在腐蚀机理、防护技术、评估方法及优化策略等方面展开探讨,但起重机械运行环境复杂,腐蚀防护与耐久性提升仍面临挑战。未来需持续深入研究,结合新技术、新材料,完善相关理论与技术体系,加强实际工程应用,进一步提高起重机械金属结构的耐久性,保障其在各领域的稳定可靠运行。

### 参考文献

- [1]王晓明,李强.起重机械金属结构疲劳寿命预测方法研究[J].机械工程学报,2021,57(3):218-227.
- [2]张华,赵刚.基于有限元分析的起重机械结构疲劳分析[J].工程力学,2020,37(2):166-173.
- [3]敬东,陈萍,梁晓曦.面向起重机的无人机辅助检测系统研究[J].起重运输机械,2020(23):82-85.
- [4]许跃骞.桥式起重机金属结构状态检测及养护措施研究[J].海峡科技与产业,2020,33(12):96-99.