

水利水电闸门金属结构防腐技术措施分析

张桂仲

中国葛洲坝集团机电建设有限公司 湖北宜昌 443000

摘 要: 水利水电工程中的闸门金属结构是确保水工建筑物正常运行的重要组成部分。然而, 由于闸门长期暴露在复杂的自然环境中, 其金属结构极易受到腐蚀的影响, 从而导致结构强度下降、功能失效, 甚至引发严重的安全隐患。因此, 如何有效地防止和减缓金属结构的腐蚀, 已成为水利水电工程维护中的一项重要课题。本研究旨在分析和探讨当前水利水电闸门金属结构防腐的技术措施, 以期对相关领域的工程实践提供参考和借鉴。

关键词: 水利水电闸门; 金属结构; 防腐技术

引言

水利水电工程在我国国民经济和社会发展中具有重要地位, 其主要功能包括防洪、灌溉、发电、航运和供水等。在这些工程中, 闸门作为关键的调节设备, 其运行状况直接影响工程的效能和安全。然而, 水体中的氯离子、硫酸盐、碳酸盐等化学物质, 以及微生物的侵蚀, 会对闸门金属结构造成严重的腐蚀。随着我国水利水电工程的规模不断扩大和运行年限的增加, 闸门金属结构的防腐问题日益突出。

1 金属腐蚀的基本原理

金属腐蚀的基本原理主要涉及电化学反应过程。当金属暴露在腐蚀性环境中, 如潮湿空气或含盐水中, 金属表面会形成微小的电化学电池。此电池的阳极区域发生氧化反应, 金属原子失去电子变成金属离子, 通常用 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 表示。阴极区域则发生还原反应, 常见的阴极反应包括氧在水中的还原反应: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 。阳极和阴极之间的电子通过金属内部分流动, 同时离子通过电解质溶液移动, 形成闭合回路。这种电流的流动加速了金属的溶解和腐蚀速率。

腐蚀过程的速度受多种因素影响, 包括温度、pH值、电解质的电导率和氧气浓度。较高的温度通常会增加腐蚀速率, 因为化学反应速率随温度升高而增加。酸性条件(低pH值)往往加速腐蚀, 因为更多的氢离子可以接受电子进行还原反应。电解质溶液的电导率越高, 离子移动越容易, 电流越强, 从而加速腐蚀。此外, 氧气浓度越高, 阴极还原反应越活跃, 腐蚀速率也越快。

局部腐蚀, 如点蚀和缝隙腐蚀, 也是常见的现象, 尤其是在异质金属接触或结构缺陷存在的情况下。这些特定区域可能会生成细微的阳极, 从而加速腐蚀过程, 导致金属在局部的损耗, 并可能引发严重的结构性损伤。为了研发出高效的防腐方法, 深入理解电化学的基本原理和各种影响因子是至关重要的, 这不仅可以维护金属的结构, 还能有效地延长其使用期限。

2 闸门金属结构腐蚀的主要类型

闸门金属结构的腐蚀主要表现为均匀腐蚀、局部腐蚀、电化学腐蚀和应力腐蚀等类型。均匀腐蚀是金属表面整体受到腐蚀介质作用, 导致金属材料逐渐变薄和强度降低。这种腐蚀在视觉上表现为金属表面的均匀粗糙化和失光。局部腐蚀包括点蚀和缝隙腐蚀, 点蚀是由于金属表面局部区域的氧化破坏, 形成小孔洞, 导致材料局部穿孔, 缝隙腐蚀则发生在金属接触缝隙或覆盖物下, 由于氧气和离子浓度差异, 腐蚀速率加快, 产生严重的局部损坏。

电化学腐蚀涉及金属与电解质环境中的氧化还原反应, 形成阳极和阴极区域。阳极区域金属失去电子形成金属离子, 阴极区域发生还原反应, 这种电化学反应加速金属的溶解。此过程在盐水等高导电性电解质环境中尤为显著。应力腐蚀开裂是金属在腐蚀介质和机械应力共同作用下发生的破坏, 常见于高应力集中区域, 如焊缝、冷作硬化区等。这种腐蚀导致金属在外力作用下沿晶界或穿晶发生裂纹扩展, 最终导致金属结构断裂。了解闸门金属结构腐蚀的这些类型对于选择合适的防腐措施具有重要意义, 从而确保水利水电工程的安全与长期稳定运行。

3 常用防腐技术的应用

3.1 涂料防腐

涂料防腐在保护闸门金属结构中起到至关重要的作用,通过在金属表面形成一层物理屏障,有效隔离腐蚀介质,防止氧气、水分和化学物质的侵蚀。防腐涂料种类繁多,环氧树脂涂料以其优异的附着力和机械强度广泛应用,能够提供良好的耐水性和耐化学性,常用于水下部分的防腐保护。聚氨酯涂料具备优异的耐磨性和抗紫外线性能,适合应用于暴露在阳光和空气中的部分,延长金属表面的使用寿命。

氯化橡胶涂料因其良好的耐酸碱性能和较强的抗渗透性,适合在酸性或碱性环境中使用,为金属结构提供长效保护。涂层的厚度和均匀性直接影响防腐效果,通常采用喷涂、刷涂或滚涂等方法进行施工,确保涂层均匀覆盖在金属表面。多层涂装体系进一步增强防护能力,通常包括底漆、中间漆和面漆,底漆用于增强附着力和防锈性能,中间漆提供额外的物理屏障,面漆则用于抵抗环境中的紫外线和化学腐蚀。

涂料中的固体含量和挥发性有机化合物(VOC)的含量是衡量涂料环境友好性的关键因素,具有高固含量和低VOC含量的涂料更能满足环保标准。在建筑施工中,对金属表面进行预处理是非常关键的。通过喷砂或化学方法,可以有效去除金属表面的氧化层、锈迹和油渍,从而增强涂料的附着性和抗腐蚀能力。最后还要定期的维护和检查,及时修复受损的涂层,以确保防腐效果能够持续。

3.2 电化学保护

电化学保护是一种广泛应用于闸门金属结构的防腐技术,通过控制电化学反应,防止金属腐蚀。阴极保护是一种常见的方法,通过连接更易被腐蚀的牺牲阳极(如锌或镁)到金属结构上,使金属结构成为阴极,从而降低其电位,防止氧化反应发生。牺牲阳极在腐蚀过程中释放电子,保护金属结构不被腐蚀。阴极保护在海水和盐雾等高腐蚀环境中尤为有效,经常用于钢结构的防腐,如海上平台和船舶。

外加电流阴极保护是一种更为主动的电化学保护方法,通过外部电源向金属结构施加电流,使其电位降低到不易发生腐蚀的范围。系统由直流电源、辅助阳极和参考电极组成,参考电极监测金属结构的电位,确保其维持在安全电位范围内。这种方法适用于大型结构,如长输管道和大型储罐,其保护效果显著且可调控。

阳极保护是另一种电化学保护技术,通过施加外部电流使金属表面生成一层稳定的氧化膜,阻止腐蚀介质的侵入。该方法通常用于耐腐蚀性较差但易形成保护性氧化膜的金属,如铅和不锈钢。阳极保护要求较高的控制精度,以防止过度氧化或电解水分解,适用于特定环境下的金属结构防护。

3.3 金属喷涂

金属喷涂是一种重要的防腐技术,通过将耐腐蚀金属或合金材料加热熔融并喷射到金属表面,形成一层致密的保护层,以防止腐蚀介质的侵蚀。热喷涂和冷喷涂是两种常见的方法。热喷涂包括火焰喷涂、电弧喷涂和等离子喷涂,火焰喷涂利用燃气燃烧产生的高温熔化喷涂材料,电弧喷涂通过电弧加热熔融金属丝并喷射,等离子喷涂则利用高温等离子弧熔化材料,所有这些方法都能在金属表面形成高附着力的防护涂层。

冷喷涂在常温下利用高压气流将细小的金属颗粒高速撞击到金属表面,形成保护层,具有低热影响和良好的涂层致密性。喷涂材料包括锌、铝及其合金,这些材料具有优异的耐腐蚀性和电化学保护性能。锌喷涂层在潮湿环境中生成致密的氧化锌保护膜,进一步提高耐蚀性;铝喷涂层则具有优异的耐盐雾和高温抗氧化性能,适用于海洋和工业环境中的防腐。

结束语

综上所述,水利水电闸门金属结构的防腐问题至关重要,关系到工程的安全性和持久性。通过详细分析各种防腐技术措施,包括涂料防腐、电化学保护和金属喷涂等,可以看出每种方法都有其独特的优点和适用范围。在实际应用中,选择合适的防腐措施需要结合具体环境条件、金属材料特性和经济成本,确保达到最佳的防护效果。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 贾涛涛. 六安市某排涝站金属结构设计研究[J]. 水电站机电技术, 2024(003): 047.
- [3] 梁献, 张明, 樊冠桥. 汉溪水利枢纽工程金属结构设计关键技术分析[J]. 广西水利水电, 2022(003): 000.
- [4] 曹醒. 水电站金属结构闸门制作及安装焊接技术应用探析[J]. 现代工程科技, 2024(003): 003.