

Research on Anticorrosion Quality Management of International Engineering under C5-M High Salt Fog Atmosphere Corrosion Environment

Guang Yang*, Kecheng Huo, Wei Gao

China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd. International, Langfang Hebei
Email: *cppyangguang@cnpc.com.cn

Received: Mar. 30th, 2020; accepted: May 6th, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

With the continuous enhancement and development of Chinese contractors in the international engineering market, the management to the critical quality points has become the key affecting project benefits in the process of international engineering management. In view of the lack of researches on anticorrosion quality management in international engineering project, this paper studies the anticorrosion quality management under high salt fog atmosphere corrosion environment by collecting relevant documents of actual engineering projects and interviewing experts. The research results reveal the difficulties and solutions of international engineering quality management under high salt fog atmospheric corrosion environment, and put forward strategies to strengthen international engineering quality management level.

Keywords

Anticorrosion, Quality Management, C5-M, Risk

*通信作者。

国际工程C5-M高盐雾大气腐蚀环境下防腐质量管理研究

杨光*, 霍克成, 高伟

中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊

Email: *cppyangguang@cnpc.com.cn

收稿日期: 2020年3月30日; 录用日期: 2020年5月6日; 发布日期: 2020年6月15日

摘要

随着我国承包商在国际工程市场的不断发展, 在国际工程项目管理过程中, 对关键质量风险点的管控水平, 成为影响国际工程项目效益的关键环节。鉴于目前关于国际工程防腐质量管理的研究较少, 通过收集实际工程项目资料及专家访谈, 对高盐雾大气腐蚀环境下国际工程的防腐质量管理进行研究。研究结果揭示了高盐雾大气腐蚀环境下国际工程防腐质量管理的难点及解决方案, 并提出了加强国际工程质量管理水平的策略。

关键词

防腐, 质量管理, C5-M, 风险

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国家“一带一路”政策的大力实施, 我国承包商在国际工程市场的合同份额不断增长, 商务运作水平不断增强, 同时项目所在地的工程环境也正在变得复杂化、多样化, 由此导致诸多风险和不确定性。

国际上通用的防腐标准为 ISO12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems [1], 其规定的最高等级大气腐蚀类别为 C5-M [2], 本文所研究的 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境具有高盐度、高湿度及海洋腐蚀的特性。目前, 在国内外针对高腐蚀环境下的防腐研究中, 如何保证并延长工程设施的设计使用寿命, 如何降低防腐、维护成本仍是相关研究的重点和难点, 其研究对象主要集中于海上风电、海洋石油平台等海洋工程设施, 此类海洋工程与陆上工程相比, 在设计标准、材料选型、应用环境、安装方式、成本预算等方面均存在较大差异, 一方面海洋工程设施通常同时经受海泥、海水、浪花飞溅、海洋大气等腐蚀因素多重影响, 难以区分和辨别大气腐蚀的单独影响程度; 另一方面, 海洋工程设施已基本实现工厂整体化预制和现场模块化安装, 与传统安装工程相比, 能一定程度上减少或避免对防腐层的机械损伤。

本文以 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境中的陆上工程为研究主体, 揭示在 C5-M 大气腐蚀单一条件作用

下,部分金属材料的抗腐蚀表现,及不同防腐工艺的应用效果,揭示 C5-M 大气腐蚀对复杂安装工程在金属材料选型、防腐工艺、涂料选择、日常维护、工程成本等方面产生的一系列影响,并结合 ISO 12944 和工程实践,推荐出适用于 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的防腐方案和维护建议。

研究 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下防腐质量管理,对于在高腐蚀环境下的项目执行具有重要的借鉴性,对提升我国承包商在国际工程项目中的质量管理和风险管理水平具有重要意义。

2. 定义

2.1. 大气腐蚀环境分类[2]

根据 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 2: Classification of environments, 大气腐蚀环境分为 6 类: C1 很低, C2 低, C3 中, C4 高, C5-I 很高(工业), C5-M 很高(海洋)。

2.2. 耐久性[3]

在 ISO12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems 中定义了 3 个范围涂层系统的耐久性:

- a) 低(L): 2~5 年;
- b) 中(M): 5~15 年;
- c) 高(H): 15 年以上。

2.3. 干膜厚度(Dry Film Thickness, DFT) [3]

指涂层硬干、固化后,漆膜的厚度。

2.4. 额定干膜厚度(Nominal Dry Film Thickness, NDFT) [3]

指技术要求中规定的每道涂层干膜厚度或是整个涂层体系的总干膜厚度。

3. 实践应用

本文基于纳米比亚沃尔维斯湾(Walvis Bay)某工程项目,对 ISO12944 标准中 C5-M(H)高耐久性防腐方案的实际应用进行研究分析。纳米比亚沃尔维斯湾位于非洲西南部,西临大西洋,东靠沙漠腹地,常年少降雨、多季风、光照充足、夜间盐雾严重,每日盐雾作用时间约 4~8 小时,随季节、天气情况而变化;全年最低平均温度 7℃,全年最高平均温度 34℃,全年平均单位降雨量 10 mm,平均相对湿度 80% (13:00)~91% (07:00),其独特的高盐雾环境使沃尔维斯湾成为世界上大气腐蚀最严重的地区之一,根据 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 2: Classification of environments [2]达到了 C5-M 大气腐蚀级别。

3.1. 低合金碳钢防腐应用分析

根据 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 5: Protective paint systems:2007 [3](以下简称 ISO12944-5: 2007)标准要求,结合纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况,对 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的低合金碳钢防腐系统进行应用分析。

3.1.1. 标准规定

ISO12944-5:2007 表 A.5-低合金碳钢处于腐蚀环境 C5-I 与 C5-M 下的涂层体系,涂层体系编号 A5M.06,明确满足 C5-M(H)防腐要求的额定干膜厚度 NDFT 不低于 320 μm [3]。

3.1.2. 防腐系统推荐

ISO12944-5: 2007 涂层体系编号 A5M.06 要求富锌底漆厚度不低于 60 μm [3]。富锌底漆分为环氧富锌底漆、聚氨酯富锌和无机硅酸锌两类。富锌底漆因为优异的阴极保护性能, 设计干膜厚度在 60 μm , 也可以在 40~80 μm 之间进行调整, 但是总的涂层系统膜厚不变。

采用富锌底漆体系时, 在涂层体系的总干膜厚度一致的情况下, 氯化橡胶、聚乙烯和丙烯酸面漆只能达到中等耐久性, 采用环氧或聚氨酯体系时, 才能达到高耐久性。因此根据纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况, 推荐应用防腐系统 1, 如表 1 所示。

Table 1. Coating system 1

表 1. 防腐系统 1

底材	表面处理	底漆	中间漆	面漆
低合金碳钢	Sa2 1/2	硅酸盐无机富锌 $\geq 75 \mu\text{m}$	云铁环氧 $\geq 200 \mu\text{m}$	脂肪族聚氨酯 $\geq 75 \mu\text{m}$
总干膜厚度 DFT $\geq 350 \mu\text{m}$				

3.1.3. 实践效果

在保证防腐质量的情况下, 防腐系统 1 在 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下具有较好的防腐效果。但在防腐施工和工程安装过程中要严防由于局部漆膜厚度低或防腐层磕碰损伤, 造成的局部腐蚀, 见图 1。在局部腐蚀产生后, 如不采取补救措施, 生锈面积将在 30 天内迅速扩张, 甚至影响整个防腐表面。



Figure 1. Partial corrosion and further expansion due to collision

图 1. 磕碰造成局部腐蚀及腐蚀扩大

3.2. 镀锌钢防腐应用分析

根据 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 5: Protective paint systems: 2007 [3] (以下简称 ISO12944-5: 2007)标准要求, 结合纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况, 对 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的镀锌钢防腐系统进行应用分析。

3.2.1. 标准规定

根据 ISO12944-5: 2007 表 A.7-热浸镀锌钢处于 C2 至 C5-I 与 C5-M 腐蚀环境下的涂层体系, 从涂层体系编号 A7M.13 可知, 若要达到 C5-M(H)防腐要求, 环氧、脂肪族、或聚氨酯的额定干膜厚度 NDFT 应不低于 320 μm [3]。

3.2.2. 防腐系统推荐

在实际防腐过程中, 镀锌表面涂漆如达到 320 μm 则需要较高的质量控制水平, 取决于镀锌表面处理能够满足 Sa2 1/2, 镀锌层附着力能否满足标准要求, 镀锌类型为电镀锌还是热浸锌等。因此根据纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况, 推荐应用防腐系统 2, 如表 2 所示。

Table 2. Coating system 2

表 2. 防腐系统 2

底材	表面处理	热浸锌层	底漆	面漆
低合金碳钢	Sa2 1/2	$\geq 90 \mu\text{m}$	环氧树脂耐磨漆 $\geq 150 \mu\text{m}$	脂肪族聚氨酯 $\geq 50 \mu\text{m}$
总干膜厚度 DFT $\geq 290 \mu\text{m}$				

在此仅推荐热浸锌方式, 而非电镀锌, 常规电镀锌层厚度一般为 10 μm ~30 μm , 实践表明电镀锌在 C5-M 环境下防腐效果较差, 暴露在大气环境下 15 天左右可见点状锈蚀, 见图 2; 30 天左右可见锈蚀面积扩大, 直至整个电镀锌表面被完全腐蚀。



Figure 2. Corrosion of electro galvanizing surface

图 2. 电镀锌表面腐蚀

热浸锌防腐效果明显好于电镀锌, 在 C5-M 环境下热浸锌表面同样会出现腐蚀现象, 其腐蚀最初为白色点状, 逐步扩大为白色面状区域, 见图 3。热浸锌层能一定程度上抵御基底材料腐蚀现象的产生, 但为保证满足 C5-M 环境防腐要求, 仍需执行防腐系统 2。

热浸锌工艺需参照标准 ASTM A153 进行, 上述防腐系统 2 通过增大热浸锌层厚度, 适当降低底漆、面漆厚度的方式, 一方面可以满足 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的防腐要求, 另一方面减少涂漆层附着力不够、开裂、脱落的风险。



Figure 3. Corrosion of hot dip zinc surface
图 3. 热浸镀锌表面腐蚀

3.3. 铝合金防腐应用分析

根据 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 5: Protective paint systems: 2007 [3] (以下简称 ISO12944-5: 2007)标准要求, 结合纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况, 对 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的铝合金防腐系统进行应用分析。

3.3.1. 标准规定

根据 ISO12944-5: 2007 表 A.8-热喷涂金属基材在 C4、C5-I、C5-M 和 Im1-Im3 腐蚀环境下的涂层体系, ISO12944 推荐了对热喷涂金属(锌、锌铝合金、铝)钢材进行进一步防腐处理的建议, 如通过喷涂环氧、脂肪族、或聚氨酯使额定干膜厚度 NDFT 达到 320 μm [3], 以达到 C5-M(H)高耐久性要求。

3.3.2. 表面氧化处理

铝合金本身就是一种抗腐蚀性比较强的物质, 遇氧气后会在铝的表面形成三氧化二铝, 会逐渐解除其的抗腐性, 另外铝对酸性物质敏感, 酸会破坏铝的表面组织层, 在 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的铝合金表面腐蚀情况, 如图 4 所示。



Figure 4. Corrosion of aluminium alloy
图 4. 铝合金表面点状腐蚀

因此,应用于 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的铝合金需要再次经过氧化处理以满足防腐要求,氧化铝材的膜厚需达到 AA15,即平均膜厚 $\geq 15 \mu\text{m}$,这样表面增加的一层保护膜,加强了表层的抗腐蚀性,铝管料或制品经过表面阳极化处理后,其耐蚀性、硬度、耐磨性、绝缘性、耐热性等均有大幅度提高。

在工程项目中,铝合金常作为电缆桥架及部分设备部件的材质,但根据实际应用,铝合金表面若加油漆涂层,将增大施工和日常维护的难度,并进一步增加成本,因此对于大批量使用的铝合金材料,可根据铝合金强度等级进行选型,同时通过表面氧化处理提高其防腐性能。

3.3.3. 防腐系统推荐

对于少量使用的铝材料,如铝制配电箱,可采用涂层防腐,根据表面涂层附着情况,可适当增加涂层厚度,推荐应用防腐系统 3,如表 3 所示。

Table 3. Coating system 3

表 3. 防腐系统 3

底材	表面处理	底漆	面漆
铝	Sa2 1/2	环氧树脂耐磨漆 $\geq 150 \mu\text{m}$	脂肪族聚氨酯 $\geq 100 \mu\text{m}$
总干膜厚度 DFT $\geq 250 \mu\text{m}$			

3.4. 不锈钢防腐应用分析

在 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 5: Protective paint systems: 2007 [3] (以下简称 ISO12944-5: 2007)中,未对不锈钢防腐做出规定,结合纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况,对 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的不锈钢防腐方案进行分析。

3.4.1. 不锈钢应用效果

工程中常见的不锈钢等级包括 304、316/316L、双向不锈钢等,在常规大气情况下,工程中很少对不锈钢进行防腐处理,但在 C5-M 高盐雾腐蚀环境中 304 不锈钢则表现出明显的腐蚀现象,见图 5;在盐雾腐蚀聚集的环境中,316/316L 不锈钢则表现出一定程度的点状腐蚀现象,见图 6;双向不锈钢则表现出较好的抗腐蚀性。



Figure 5. Corrosion of stainless steel 304 surface

图 5. 304 不锈钢表面腐蚀



Figure 6. Corrosion of stainless steel 316 surface
图 6. 316 不锈钢表面腐蚀

3.4.2. 防腐系统推荐

为避免 304 不锈钢腐蚀，根据纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况，推荐应用防腐系统 4，如表 4 所示。

Table 4. Coating system 4
表 4. 防腐系统 4

底材	表面处理	底漆	面漆
304 不锈钢	-	环氧树脂耐磨漆 ≥150 μm	脂肪族聚氨酯 ≥50 μm
总干膜厚度 DFT ≥ 200 μm			

在盐雾腐蚀聚集的环境中，316/316L 不锈钢材料可应用防腐系统 4，或进行表面酸洗钝化处理。环氧树脂耐磨漆具有较好的表面附着性，可附着在经表面清洁、粗糙处理的不锈钢表面，同时与脂肪族聚氨酯面漆配合使用，以满足 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的防腐要求。

3.5. 防腐矿脂缠带的应用

在 ISO 12944 Paints and varnishes—Corrosion protection of steel structures by protective paint systems—Part 5: Protective paint systems: 2007 [3] (以下简称 ISO12944-5: 2007)中，并未对防腐矿脂缠带的应用做出规定，结合纳米比亚沃尔维斯湾某工程项目实际应用情况，对 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下的防腐矿脂缠带应用效果进行分析。

3.5.1. 防腐矿脂缠带介绍

为解决不规则表面腐蚀问题，建议采用满足标准 AWWA C217-16 要求的防腐矿脂带进行保护，通常防腐矿脂带组合由防腐膏状填充物、矿脂缠带及防紫外线面漆组成，其主要成分包括惰性矿物油脂、缓蚀剂、防腐剂、纤维布等。

3.5.2. 推荐应用范围及效果

由于部分工程施工环境的限制，对于不规则表面防腐，如阀门、法兰、螺栓表面等，较难达到满足

要求的漆膜厚度，容易出现反锈现象，且维护成本较高，在此情况下推荐应用防腐矿脂带，见图 7，可有效解决不规则表面的防腐难题。



Figure 7. Practice of anticorrosive tape
图 7. 防腐矿脂缠带应用

4. 日常维护措施

在 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下，一方面要通过涂层防腐或依靠材质抗腐蚀特性进行防腐，另一方面要加强金属部件的日常维护，以确保实现较好的防腐效果。

4.1. 规范的操作行为

在设备材料安装过程中要避免磕碰、随意堆放，避免设备材料与混凝土地面或砂石地面直接摩擦，尽最大可能减少防腐涂层或防腐氧化膜的损坏。对于不可避免的防腐涂层破损，要及时进行表面处理和补漆。

4.2. 避免异种金属直接接触和水汽聚集产生电化学腐蚀

盐雾、露水、空气中富含水汽及钠离子，作用于相互接触的异种金属表面，容易形成局部电化学环境，导致活泼性金属加速腐蚀，如金属铝与不锈钢接触，将导致金属铝电化学腐蚀。

4.3. 注重表面清洁

对于局部聚集的水汽、空气中的钠离子结晶、沙尘等杂质，要进行及时清理，在条件允许的情况下用清水冲洗，以减少表面附着的杂质。对于已产生表面浮锈的不锈钢，可通过酸洗钝化、30%~50%草酸水溶液或 30%~50%的磷酸水溶液进行擦拭清洁。

4.4. 表面油脂保护

对于不规则的金属表面和可能产生腐蚀的不锈钢，可以通过定期涂覆油脂的方法进行保护，如黄油、锂基脂等，适合大范围临时保护，操作简单，经济实用。

5. 防腐质量管理

在 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下，防腐是影响项目成本、进度的关键控制点，在如此严苛的腐蚀环

境下,任何防腐缺陷、材料选型的不合理都会暴露出来,生锈腐蚀等产品外观不合格问题,会进一步影响项目竣工移交,为减少防腐质量缺陷,总结经验如下:

5.1. 加强防腐质量管理

关注设备材料供货商的防腐质量控制,将供货商防腐工艺水平及质量管理作为采购技术评标的重点审核内容。

对防腐施工人员进行详细的防腐技术交底,从表面处理、油漆固化、漆膜厚度等方面严把质量关,坚决避免表面污渍、油漆固化程度不够、漆膜厚度不够或过厚等问题,同时加强对防腐质量的过程检验,可委托有经验的第三方团队进行全过程见证检验。

5.2. 合理的材料选型

工程项目要尽量减少或避免在大气腐蚀环境下使用铝、铜等裸露金属材料,如铝铆钉、铝配电箱、铜镀镍格兰、电镀锌部件等,同时要避免因异种金属直接接触产生的电化学腐蚀。

5.3. 风险评估及预防

项目投标阶段要评估 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境对工程项目可能造成的成本、工期影响和风险,根据工程实践分析,在 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下,工程项目的防腐成本或达到常规环境下同等工程项目的 3 倍以上。

6. 结语

通过对 C5-M 高盐雾大气腐蚀环境下工程项目的研究,结合 ISO 12944 等国际标准,揭示了适用于高腐蚀环境下低合金碳钢、镀锌钢、不锈钢、铝合金等金属材料的防腐方案;揭示了金属材料防腐维护方案;从质量管理的角度,阐述了防腐质量对工程项目成本、进度等方面可能造成的风险及预防措施。

未来需要对本文提出的防腐质量管理方法进行进一步研究,并深入探讨这些方法的相关性和机制,从理论和实践的角度指导国际工程防腐质量管理,进一步提高承包商的项目管理水平。

参考文献

- [1] BSENISO 12944-1: 2007 Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 1: General Introduction, 2007
- [2] BSENISO 12944-2: 2007 Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 2: Classification of Environments, 2007.
- [3] BSENISO 12944-5: 2007 Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 5: Protective Paint Systems, 2007.