

大型外浮顶储罐防腐施工工艺与应用

陈 飞 (中石化冠德控股有限公司, 北京 100728)

摘要: 本文研究了大型外浮顶储罐防腐施工工艺及其工程应用, 重点探讨了其不可替代性、与常规结构施工的差异以及构成技术核心的关键实施路径。研究剖析了防腐工作对保障能源安全、预防事故、提高经济效益的基础作用, 分析了复杂腐蚀环境与特殊施工条件带来的技术难题与管理要求, 具体阐述了表面处理、涂层保护、阴极保护等主要环节的技术要点与质量控制标准。通过系统探究, 旨在为此类特种设备防腐工程的设计规划、施工管理与后期运维, 提供理论指导与实践参考。

关键词: 大型外浮顶储罐; 防腐施工工艺; 应用

中图分类号: TE972 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 035-0135-03

Construction technology and application of anti-corrosion for large external floating roof storage tanks

Chen Fei (Sinopec Guande Holdings Co., Ltd., Beijing 100728, China)

Abstract: This article studies the anti-corrosion construction technology and engineering application of large external floating roof storage tanks, focusing on their irreplaceability, differences from conventional structural construction, and key implementation paths that constitute the technical core. The study analyzed the fundamental role of anti-corrosion work in ensuring energy security, preventing accidents, and improving economic benefits. It analyzed the technical difficulties and management requirements brought by complex corrosive environments and special construction conditions, and specifically elaborated on the technical points and quality control standards of surface treatment, coating protection, cathodic protection, and other main links. Through systematic exploration, the aim is to provide theoretical guidance and practical reference for the design planning, construction management, and later operation and maintenance of such special equipment anti-corrosion projects.

Keywords: large external floating roof storage tank; Anti corrosion construction technology; application

能源安全是保证国家经济持续发展、战略稳定的根本, 而大型外浮顶储罐则是石油战略储备和商业周转的关键设施, 对于其长久、安全、稳定地运行有着极其重要的意义。但是, 这些巨型金属建筑在服役期间一直会受到储存介质、大气环境、土壤等各方面的复杂腐蚀威胁。腐蚀不但会造成材料减薄, 结构承载能力降低, 而且会导致穿孔, 泄漏, 火灾爆炸等灾难性事故, 给人员安全, 生态环境和财产带来巨大威胁。所以, 实施有效的、可靠的防腐施工, 是保证储罐全寿命完整性、延长储罐使用寿命、保障能源储备万无一失的重要技术措施。

1 大型外浮顶储罐防腐的重要性

1.1 保障能源储备安全与战略稳定

大型外浮顶储罐是国之重器, 它关系到国家能源供给的连续性及其战略布局的稳固。这些建造巨型的构筑物, 里面长久存放着很多原油这样的战略物资, 这些结构的完好无损, 是保证整个能源链条能顺利进行的前提。防腐施工在这种背景之下绝不是简单的维修工序, 而是构成保障储罐长期健康运行的基础防线。罐体因为腐蚀而泄漏, 不但会造成贵重能源物质的损失, 还会对正常的储存和流转造成严重冲击, 对国家

的能源安全产生实际威胁。能源储备有平抑市场波动、应付突发危机的战略意义, 其基础设施的可靠程度是这种意义得以实现的重要支点^[1]。所以, 对外浮顶储罐的防腐工作, 就是在最底层的、最根本的物理层面上消除隐患, 保证在任何情况下该战略载体都处于预定功能状态。它把简单的设备维护上升到关系到国家能源战略能否顺利落实的层面, 从切断材料劣化的自然进程入手, 给能源储备的安全提供了一个主动、持久的物质保障, 使宏观的能源战略有可靠的物质基础。

1.2 预防重大安全与环境事故

大型外浮顶储罐防腐工作最重要的价值, 就在于对重大安全与环境事故预先的防范作用。腐蚀导致的结构损伤会造成储存介质泄露, 泄露不但会造成经济损失, 而且是造成灾难性后果的开始。易燃易爆的油品一旦泄漏, 与空气混合就形成爆炸性气体, 很小的点火能量就会引发猛烈的火灾或者爆炸, 给厂区人员生命和周边设施造成的危害是毁灭性的。从环境角度来讲, 泄漏物会快速渗透到土壤和地下水体中去, 这种污染的范围极为广泛, 持续时间也很长, 治理起来花费的成本非常高昂, 对于区域生态系统来说, 将会带来长期且深远的危害。事故后应急处理被动而效果

不大，真正有效的办法是从事故发生之源进行控制。对罐体材料进行防腐，保持罐体材料的完整性和密封性，从物理上从根本上杜绝了泄漏的风险，把可能发生的事事故消灭在萌芽状态。

2 大型外浮顶储罐防腐施工的特点

2.1 腐蚀环境的复杂性与多样性

大型外浮顶储罐内部腐蚀环境不是单一因素作用造成的，是由不同区域及其接触介质所形成的一种复杂体系。储罐内部空间可以分为气相空间、液相空间、罐底积水相和介于两者之间的干湿交替区域，各个区域面临的是截然不同的腐蚀机理。气相部分虽然不直接与液体接触，但是充满油品挥发出来的硫化物、水蒸气、氧气等，会引起化学腐蚀；液相部分的罐壁长期浸泡在原油中，受到原油中硫化物、盐分、环烷酸等腐蚀性组分的直接侵蚀；尤其严重的是罐底板内侧，它接触的并不是单纯的原油，而是原油中析出的含盐水份、沉积物和微生物混合物，这部分积水常常含有高浓度的氯离子和硫酸盐还原菌，很容易导致严重的局部腐蚀和点蚀^[2]。特殊的干湿交替区随着液位的升降不停变化，材料表面周期性地被腐蚀介质浸渍又暴露在空气里，使腐蚀介质浓度增大和氧气浓度差别加大，进一步加快了材料被破坏。由于位置不同而产生的腐蚀机制差异，构成了防腐施工必须面对的基本条件，也决定了防护措施不能采用单一的方法，必须根据各个部位不同的腐蚀特性来进行有针对性的设计及应对。

2.2 施工空间的特殊性与高风险性

大型外浮顶储罐防腐作业的开展，会遭遇因储罐自身结构造成的特别且危险的施工空间。罐内环境是首要难题，自然通风严重不足，使油品挥发形成的可燃气体和有毒有害气体很容易聚集在一起，达到爆炸极限或者有害浓度后，会直接威胁施工人员的生命安全。施工位置本身也会带来较大的风险，罐壁高处作业、外浮盘顶部施工等都属于典型的高空作业，人员走动、物料运送过程中存在坠落的风险。更可怕的是防腐施工中大量使用喷砂除锈、电气机具，焊接修补时还会产生火花或者高温，在充满可燃气体的密闭空间内，任何一点火源都会引发严重的火灾爆炸事故。密闭空间、有害气体、高处作业、点火源四者同时存在的复杂风险叠加状态给安全管理带来极大的压力。必须制定出极严格的通风检测制度，动火申请程序和防爆电器的使用规定，任何一个细节的忽视都会导致事件单独发生，进而引起一系列的灾难。由于施工环境的特殊性，其施工组织复杂度远大于一般露天或者室内厂房的施工，对施工管理的精确性和安全性提出

很高要求。

2.3 防腐体系的多层次与针对性

大型外浮顶储罐的防腐体系绝不是单一材料的简单覆盖，而是在储罐内部复杂的腐蚀环境和长期运行要求基础上形成的多层次、差异化的综合防腐体系。这种防护理念的核心就是承认储罐各个部位所承受的腐蚀介质、机械应力完全不同，因此必须采取有针对性的防护措施。完整的防腐体系一般都采用涂层、阴极保护和绝缘衬里等手段相互补充的方式形成互补防护状态^[3]。对于腐蚀条件最严酷的罐底板内表面来说，单纯依靠涂层难以抵挡滞留水和微生物的长时间侵袭，这时加入牺牲阳极阴极保护系统，就能有效地弥补涂层可能存在的细小缺陷，以电化学的方式主动抑制金属的腐蚀反应。

液位频繁变化的罐壁处，涂层要抵抗油品介质的溶解渗透，还要承受浮盘部件的机械摩擦和干湿交替的物理化学作用，因此涂层体系要具有很好的附着力、柔韧性、耐介质性。对于暴露于大气中的浮盘上部和罐顶，防护的重点就转向耐紫外线老化和耐大气腐蚀。这种按照部位来实施功能化设计的思想，保证了各个关键区域都能得到与其风险等级相适应的最为有效的保护。整个防腐体系的创建，归根结底是一项系统工程，它要求在设计之初就要准确预估各个部位的腐蚀危险，并就各个部位挑选出最合适的材料和工艺组合，以此达到防护资源的最佳分配和设施寿命的最大保护。

3 大型外浮顶储罐防腐施工的核心路径

3.1 科学严谨的表面处理

表面处理是决定大型外浮顶储罐防腐工程成败的首要且最关键的工序，其主要目的就是给后续的涂层系统提供一个绝对洁净、具有理想附着力的金属表面。这不是简单的清扫除锈，是带有严格工艺控制和精确标准执行的程序。目前最常用并且最有效的方法为开放式喷砂处理，该方法用高速喷射的磨料彻底清除钢铁表面的氧化皮、锈蚀产物、旧涂层及油污、杂质。处理效果按照国际通用标准来评定，清洁度必须达到最高等级之一，表现为金属本体银灰色光泽，氧化物或污物均不得有。而且处理后的表面粗糙度被严格地控制在某一个范围以内，这一微观上的锚纹形貌大大地增加了涂层和基材的实际接触面积，而且也靠机械互锁作用明显提高涂层的附着强度^[4]。

同时整个处理过程对于环境条件有着严格的要求，施工时必须保证环境空气的相对湿度低于钢材表面结露的临界值，防止处理过的洁净表面在涂装前出现二次浮锈。最终检验合格的表面应颜色均匀、纹理

一致,不能有油脂、灰尘、磨料等可见残留物。只有当接近完美的表面形成之后,才能使高性能防腐涂料充分发挥其设计效能,达到和基材的牢固结合,从而给储罐提供长期的保护。科学、严谨的表面处理是防腐体系得以建立并长期稳定的物理基础,其质量的好坏直接关系到防护层的服役寿命及最终效果。

3.2 精准优化的涂层防护体系施工

涂层防护体系的精准施工,在完成表面处理之后,就是实现长效防腐的关键环节。该过程的根本目的是通过受控的工艺手段,使设计选定的涂料系统完整、均匀、牢固地附着在经过处理的基材表面,形成一道连续无缺陷的物理屏障。涂装成功的前提是严格的材料配套与混合,双组分涂料要按照一定的比例充分搅拌,遵循规定的时间进行熟化,保证化学反应正常进行以及最后形成的膜层质量。

在施工工艺上,高压无气喷涂因其施工效率高,涂膜致密性好而成为首选工艺。高压无气喷涂能将涂料雾化后强制注入基材的锚纹里,达到涂膜附着效果好和涂膜厚均匀的效果。施工时必须对环境参数实施连续监控,即环境温度、基材表面温度、相对湿度及露点差值,它们都会直接影响到涂料的流平、固化速率以及最终的膜层品质。膜厚控制是衡量施工精确度的重要标准,需要反复测量来保证所有部位的涂膜厚度都能达到设计规定的最低值,防止存在薄弱点,同时不能超过允许的最大限值,以免产生内应力过大、龟裂或者固化不良等现象。

每一道涂层涂敷完成后,必须保证充足的层间间隔时间,使其达到规定的固化程度后才能进行下一道工序,最终涂层的完全固化需要在一个适宜的温湿度环境中完成。整个涂装过程伴随着严格的质量验证,测量湿膜厚度、测量干膜厚度、对涂层做附着力测试、在全范围内做针孔漏点检查,保证形成的保护层是一个完整的整体。涂层防护体系的精确优化施工,正是依靠这样一系列细致入微的工艺控制,把涂料设计性能转换成储罐表面长期可靠的防护状态。

3.3 高效可靠的阴极保护系统安装与调试

阴极保护系统的安装与调试是大型外浮顶储罐防腐工程中一项关键的电化学保护手段,其目的在于通过技术干预有效抑制罐体金属的电化学腐蚀过程。该系统主要根据设计选择分为牺牲阳极法和外加电流法两种实施方式。牺牲阳极法一般在罐底板内壁等封闭液相环境中安装,将焊接或固定电位更负的金属材料作为阳极,在电解液中与罐体钢板构成回路并优先腐蚀溶解,持续向钢体提供保护电流,使罐体电位极化至稳定区。该方法不需要外加电源,维护简单,但是

保护寿命和驱动电压有限。外加电流系统主要用来保护罐底外壁与土壤接触的大面积区域,它埋设了辅助阳极地床,再用外部电源设备给阳极供电,电流通过土壤介质到达被保护的罐底金属表面,从而达到建立和保持保护电位的目的。

整个安装过程中要保证所有的电气连接紧固可靠,阳极分布合理,参比电极位置设置正确,可以真实的反映被保护体的电位情况^[5]。系统安装完成后调试工作才是实现有效保护的关键,必须对恒电位仪的输出电压、电流和关键监测点的保护电位做反复测量、精细调整,保证整个被保护面的电位值处于技术规范所规定的范围内。这一电位的维持是保护是否有效最直接的判据,也是系统长久稳定的运行保证。阴极保护和涂层防护一起形成了互相补充的联合防护系统,阴极保护和涂层防护的共同作用大大提高了储罐的关键部位,特别是长期浸泡在腐蚀性介质中或埋设部分的长周期安全可靠性。

4 小结

综上所述,大型外浮顶储罐防腐工程是关系到国计民生的大工程,是具有特殊性、系统性的综合性技术工程。其重要性源自保障能源安全、预防重大事故、提升经济效益的根本需求;它所反映出的腐蚀环境复杂性,施工空间高风险性、防护体系多层性和质量控制高严格度的特点,使得其实施工艺路线必须明确选择科学严谨表面处理、精准优化涂层施工技术、可靠阴极保护系统集成及全程严格的施工质量控制。实践证明,只有对三个维度的内在联系和技术要求有深刻的理解并系统掌握之后,把防腐工作从被动的后期维护变为主动的、前瞻性的系统工程,才能给储罐构筑起一道牢固持久的防护屏障。未来的科技发展会把研发新型长效防腐材料、提高施工智能化与标准水平、加强全生命周期健康管理深度等列为重点,不断推动大型储罐防腐技术的安全化、经济化和长效化。

参考文献:

- [1] 周一卉,蔡语.大型外浮顶储罐抗风载结构响应机制研究[J].安全与环境学报,2025,25(03):918-928.
- [2] 郑昆,夏舒,谢宝玲.外浮顶储罐浮顶落地作业过程的安全探究[J].石化技术,2024,31(11):331-333.
- [3] 王杨,杨仕达,浦健民,等.大型外浮顶储罐浮船焊缝试验检验技术[J].安装,2024(10):47-49.
- [4] 黄忠淦.大型内浮顶储罐安装方案的优化控制[J].化学工程与装备,2023(03):186-188.
- [5] 王志斌.大型浮顶储罐雷击火灾预防技术现状及改进探讨[J].石油化工自动化,2023,59(01):40-43.