

圆筒型 FPSO 建造过程中的涂层破损率控制

万荣建, 吴 栋, 付春雷, 刘书法, 杨金来
(海洋石油工程(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 从人、机、料、法、环的角度出发, 探讨了圆筒型 FPSO 建造过程中涂层破损率的控制措施。通过分析涂层破损的原因、影响因素及控制策略, 提出了一系列改进措施, 以减少涂层破损率, 从而有效提高圆筒型 FPSO 的建造质量, 控制其建造成本。从过往 FPSO 项目的建造经验出发, 对涂层破损现象进行深入分析, 旨在为 FPSO 建造过程中的涂层管理提供理论和实践参考。

关键词: 圆筒型 FPSO; 涂层破损; 质量控制

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2025)05-0017-04

Control of Coating Damage Rate during the Construction of Cylindrical FPSO

WAN Rong-jian, WU Dong, FU Chun-lei, LIU Shu-fa, YANG Jin-lai
(Offshore Oil Engineering (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao 266000, Shandong, China)

Abstract: This paper explores the control measures for coating damage rate during the construction process of cylindrical FPSO from the perspective of "human, machine, material, method, and environment". By analyzing the causes, influencing factors, and control strategies of coating damage, a series of improvement measures have been proposed to reduce the coating damage rate, effectively improve the construction quality of cylindrical FPSO, and control their construction costs. Starting from the construction experience of past FPSO projects, this paper conducts an in-depth analysis of the phenomenon of coating damage, aiming to provide theoretical and practical references for coating management in the FPSO construction process.

Key words: cylindrical FPSO; coating damage; quality control

0 引言

全球深海油气资源极为丰富, 勘探开发潜力巨大, 是未来油气增储上产的重要领域^[1]。在最近十年发现的 101 个大型油气田中, 深水油气田占比达 67%, 加快开发深海油气资源已成为国际大型石油公司的核心战略^[2]。

自 SEVAN MARINE 公司推出圆筒型浮式生产储油装置 (Floating Production Storage and Offloading, FPSO) 的概念并成功投入到工程应用中以来, 圆筒型 FPSO 凭借其出色的稳定性、巨大的储存能力、灵活部署和操作、良好的环境适应性及综合功能, 成为深海油

气开发的重要设备^[3-4]。

为确保圆筒型 FPSO 在恶劣的海洋环境中稳定运行, 必须采用有效的防腐策略。目前海洋工程领域主要的防腐防护措施有以下几种: 1) 选择合适的耐蚀材料和合理的防腐设计, 在初始设计阶段减少腐蚀发生的概率; 2) 电化学防护技术, 其中包括有阴极保护法, 阳极性金属镀层保护法等; 3) 保护性覆盖层技术, 常用的如热喷铝、热镀锌、涂料等。在诸多防腐措施中, 涂层防腐技术已有数千年的历史, 因其施工简便, 适用性广, 成本低等特点被广泛应用于防腐防护领域。作为一种重要的防腐手段, 涂层技术也在圆筒型浮式生产储油装置上被广泛使用^[5-6]。

圆筒型 FPSO 建造过程中受焊接火工作业、施工质量、机械损伤等因素的影响, 保护涂层容易发生破损现象。本文从人、机、料、法、环 5 个角度出发, 通过分析

收稿日期: 2025-02-20

作者简介: 万荣建(1992—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海洋工程金属防腐蚀质量控制工作。E-mail: wanrj2@cooec.com.cn。

圆筒型 FPSO 建造过程中导致涂层破损的原因,提出了一系列改进措施,以减少涂层破损率。

1 控制涂层破损率的重要性

海工建造领域将因焊接、火工、机械碰撞等原因引起涂层损坏抵达钢材表面的现象被称为涂层破损。涂层破损率是影响项目涂装成本和涂层质量的重要因素,涂层破损后就需要对基材表面重新进行表面处理和喷涂,意味着额外的建造成本和工期的延迟。因此,控制圆筒型 FPSO 建造过程中的涂层破损率对于降低其建造成本和质量风险至关重要。

1.1 建造成本提高

1)修复费用:由于圆筒型 FPSO 的服役环境恶劣,因此其建造标准非常严苛,普通海工项目的涂层破损区域只需要进行打磨和刷涂即可,而 FPSO 涂层破损区域都需按照业主规定的标准程序修复。以企鹅 FPSO 为例,壳牌公司涂装程序就要求,只有当涂层破损区域小于 900 cm² 时,方可使用动力工具进行打磨处理,且涂层破损区域的边口必须进行羽化处理且宽度最小 70 mm。当局部涂层破损区域面积大于 900 cm² 时,则需要进行喷砂处理。FPSO 压载舱的涂装工艺还需严格遵照船舶保护涂层涂装标准 PSPC (Performance Standard of Protective Coatings),要求当舱室涂层破损区域面积超过 25 m² 或超过舱室总面积 2% 时,破损区域表面须进行喷砂处理^[7]。打磨后进行油漆修补所需的时间,要远远小于喷砂后。张建钟^[8]调查发现压载舱涂层破损区域经打磨处理所需要的修复周期为 7 d,若采用喷砂工艺处理修复则需要 25 d,这会造成船坞资源的重大浪费,且喷砂处理意味着更高的动能费用和人工费用,其成本也要远高于打磨。

2)建造进度:修复破损的涂层必然会导致建造进度的延迟,影响整体施工计划。这种延迟不仅会影响项目交付时间,还可能引发其他额外成本,如工期延误和设备闲置费用等。

3)材料浪费:破损涂层修复过程中产生的涂料损耗、工机具磨损、人力浪费无法避免,频繁地重新涂装,不仅浪费材料,还增加了施工成本。

1.2 潜在质量隐患

船体分段和甲板片前期的涂装工作都在车间进行,涂装车间内温湿度可控、照明充足、设备齐整,喷砂处理后基材表面的盐分、粗糙度等更易控制,无气喷涂后的漆膜也更加均匀。而涂层破损后的修复工作几乎都是在船坞或海上进行,面临工期紧张、噪音粉尘、户外交叉作业频繁等诸多因素影响,因此涂层破损后的油漆施工工艺相较于车间更加难以控制,修复后的涂层质量参差不齐,往往导致后期质量风险提升。从过往

海工项目的投诉案例中可以看出,许多涂装的质量问题都发生在涂层破损修复区域。此外,涂层破损后如果不能及时修复,会导致基材锈蚀,可能会削弱圆筒型 FPSO 结构的强度和稳定性,这增加了 FPSO 在服役过程中的结构风险,可能影响其整体安全性。

2 建造过程中涂层破损原因分析

全面质量管理理论在海工领域应用非常广泛,涵盖了从设计到建造再到维护的各个阶段。人、机、料、法、环是对全面质量管理理论中的 5 个影响产品质量的主要因素简称。针对圆筒型 FPSO 建造过程中的涂层破损率控制这一质量问题,利用鱼骨图对其进行分析,如图 1 所示。

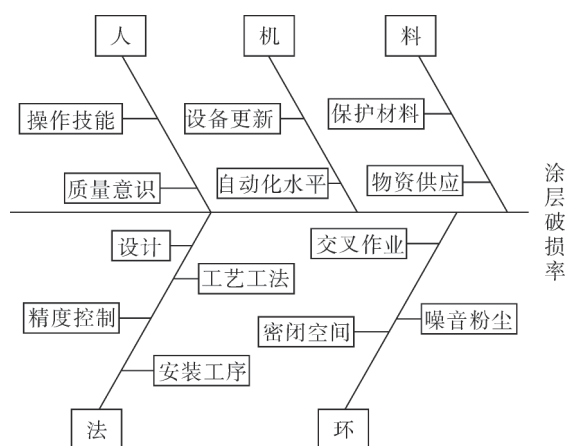


图 1 涂层破损率鱼骨图

2.1 人员问题

1)技能熟练度:目前海工行业的智能化应用尚处在初始阶段,大部分焊接和涂装工作都由现场工人手工完成,施工人员技能不熟练,导致各种返工。

2)质量意识:圆筒型 FPSO 建造过程中需要大量的劳工,现场施工人员质量意识薄弱、素质参差不齐且流动性强,全员质量培训的难度较大。

2.2 设备问题

设备的选择、安装、维护和更新是确保生产过程顺利进行的重要因素。目前很多海工建造场地缺少先进的吸尘以及喷砂除锈设备,施工过程中产生的粉尘、焊渣等无法被及时清理,遇到雨水、大雾天气会使得涂层表面产生浮锈,导致后期翻新重复涂装,如图 2 所示。

2.3 材料问题

1)保护材料:如图 3 所示,材料运输存放过程中由于保护不当导致的涂层破坏,如管线表面不用帆布包覆导致的磕碰、划伤;甲板片与垫墩接触位置未加防护,造成涂层磨损;舱室顶板上沿不加防护,受粉尘和雨水影响,导致涂层表面产生浮锈;不铺设防火毯,焊

接、切割过程中产生的飞溅、火花对涂层造成的烧烫伤。



图2 压载舱顶板浮锈



图3 材料运输中不加防护导致的涂层破损

2)材料供应:由于建造计划的不合理安排或疏于对下游供应商的管理,造成材料供应不及时,物资配料无法跟上建造进度,导致很多管线、重型设备等的安装只能拖延至总装阶段,图4为材料供应不及时导致的后期补焊,造成额外的涂层破损。



图4 因材料供应不及时导致的后期补焊

2.4 工法设计问题

自2006年Sevan Marine公司建造了第一个采用圆筒设计的Sevan Piranema以来,全世界目前可以应用的圆筒型FPSO仅6艘,我国完全自主设计建造的仅1艘,因此仍有许多设计上的细节需要完善。

1)设计的合理性和可靠性以及程序文件中对各类工序的施工要求,会对产品质量产生很大的影响。和可以分段批量化建造的船舶工程不同,海洋平台具有其独特的复杂性,圆筒型FPSO建造过程中的修改工作量大,修改过程伴随着各种火工及拆卸安装工作,往往

造成涂层破损。设计错误导致的变更,造成后期大量的修正工作。

2)精度控制达不到要求,导致分段组装过程中产生的矫正工作。如图5所示,由于结构件尺寸干涉,使得飞机甲板无法整体吊装,只能火工切割后分开吊装,导致涂层大面积破损。



图5 吊装精度控制差导致的飞机甲板切割

3)脚手架安装不合理,以及拆卸时对涂层造成的机械损伤。

2.5 施工环境问题

1)交叉作业频繁:总装阶段,现场施工涉及所有的专业,配管、打磨、电气、焊接等,交叉作业工种繁杂,人员、设备控制难度较大,很难进行有效的涂装保护工作。

2)密闭空间作业:圆筒型FPSO的舱室都属于密闭空间,舱内通风不良,夏季作业气温炎热,施工人员极易疲劳作业,会导致返工率提高。此外这些舱室空间狭小,涂装作业完成后,舱内施工的边角料、垃圾等较难被清除,容易污损涂层表面。

3 涂层破损率控制措施

3.1 人员技能和质量意识提升

1)提高设计、工艺及施工人员的技术水平和技能熟练度,避免重复返工。

2)控制涂层破损不仅仅是涂装专业,往往涉及跨部门跨专业的协调合作。例如,吊装运输过程中的垫墩或吊码的安装,焊接过程中的热防护,材料保存阶段的外防护等。加强各专业施工人员质量意识培训,将涂层保护意识潜移默化地刻在工人心中。

3)设置激励惩罚机制、鼓励良好的作业实践,惩罚不良的涂层破坏行为。

3.2 工法设计优化

1)坚持一体化建造方法,提高预舾装完整性:在船体分段策划上,确保压载舱等封闭舱室在总装合拢之前尽量形成一个完整性舱室,合理的分段划分能够缩短船体的建造周期,提升建造质量。提高FPSO模块的整体预制程度,减少集成过程中因动火作业造成的油漆反复打磨和修补的工作量,以达到较少油漆修补工

作量和控制成本的目的^[9-10]。

2)分段预密性试验:传统的舱室密性试验工艺一般会在分段制造阶段预留所有的密性焊缝,待总装阶段密性试验结束后,再对预留焊缝区域进行打磨刷漆。预密性试验是指在分段结构完工后就立刻进行角焊缝密性试验工作,通过将密性试验提前,在分段阶段完成密性焊缝的油漆喷涂工作,从而有效地优化施工程序,减少船坞内合拢后的密性试验^[11-12]和油漆修补工作量。

3)脚手架的铺设与拆卸:脚手架管和跳板与被涂表面距离不可太近,应至少保证 50 mm 的距离,脚手架拆卸时地板应铺设橡胶垫,并保证轻拿轻放。采用合理的脚手架搭建工艺,如在企鹅 FPSO 建造过程中就采用了吊挂式工装脚手形式,这种搭设方案能够有效减少脚手架对涂层的碰伤^[13-14]。

3.3 保护材料的应用

1)在焊接、火工作业影响区域铺设防火毯,开发合适的油漆防护工装,避免飞溅、焊渣烫伤涂层。管线分段存放运输途中,应合理防护,管线运输前必须包扎耐磕碰的帆布或橡胶皮。分段制造期间做好分段对接口的涂装保留工作,按照图纸要求准确标记,并贴胶带保护。对于密闭舱室的防护,可在分段合拢后,在各舱室提前预留作业通道并铺设防护。另外,可以编制保护材料的铺设方案,让施工人员有标准可依,并对重点区域涂层表面的防护设置检验点,安排专人监督。朱恩访^[7]制定了《PSPC 涂层保护三防布铺设工艺要求》,要求施工人员在作业通道上先铺设橡胶皮,再粘贴三防布。

2)新材料的应用:何宾^[5]开发了上翼缘板+帆布结合下翼缘板+可剥离涂料的防护方案,该方案可以有效保护模块甲板片工字钢的涂层。孟惠民等^[16]使用涤纶纸加滑石粉的方案,使得船底防污漆不与坞墩硬木发生直接接触,从而保护涂层。

3.4 设备管理和维护

1)定期检查和保养设备能防止故障和提高生产稳定性。

2)采购新型的吸尘除锈设备,提高作业现场的清洁度。

3)工机具严格管理,禁止随意丢放,破坏涂层。

3.5 工作环境改善

1)工作环境的改善:火工作业周围设置防护罩、舱室等封闭环境内开通空调、现场设置饮水点和吸烟点等。

2)施工人员休息环境的改善:设置暖心食堂、午间休息室等,使得作业人员保持充沛的体力。

3)个人劳保用品的配备:给施工人员配备合适的劳保防护用品,降低噪音和粉尘对作业人员的影响。

4 结语

本文针对圆筒型 FPSO 建造过程中涂层破损问题,从人、机、料、法、环 5 个方面进行了深入探讨。过往项目经验表明,提高施工人员的技能水平和质量意识是减少涂层破损的基础,优化工法设计能够有效减少涂层损伤,同时,改进材料的保护措施、新型防护技术的应用、设备管理的加强以及工作环境的改善,均对控制涂层破损率具有显著效果。这些措施不仅有助于提升 FPSO 建造质量,还能降低建造成本。本文旨在为圆筒型 FPSO 建造过程中的涂层管理提供有价值的理论依据和实践指导。

参考文献:

- [1] 渠沛然.中企登上世界深海油气开发舞台[N].中国能源报,2024-01-15(003).
- [2] 周守为.南中国海深水开发的挑战与机遇[J].高科技与产业化,2008(12):20-23.
- [3] 吴家鸣.FPSO 的特点与现状[J].船舶工程,2012,34(S2):1-4.
- [4] 杜庆贵,檀国荣,刘聪,等.深水油气生产装备应用现状及发展趋势浅析[J].海洋工程装备与技术,2018,5(5):293-299.
- [5] 吴栋,刘书法,曲春钊,等.海洋平台涂装施工要求与质量分析[J].现代涂料与涂装,2023,26(12):41-43.
- [6] 晏学兵.海洋工程钢结构涂装涂覆阶段涂层缺陷分析[J].现代涂料与涂装,2023,26(11):45-47.
- [7] 朱恩访.降低 PSPC 涂层破损率的方法与对策[J].广东造船,2011,30(4):53-55.
- [8] 张建钟.G 公司基于 PSPC 标准船舶建造总装阶段涂层破损率的质量改善[D].广州:华南理工大学,2014.
- [9] 王永兴,孙丕松,杨港,等.一体化建造方法在圆筒型 FPSO 项目中的应用[J].山东化工,2021,50(12):168-170.
- [10] 王东锋,杨港,杨风艳,等.企鹅圆筒型 FPSO 船体建造技术[J].现代制造技术与装备,2021,57(4):4-6.
- [11] 张磊,贾树贤.船舶各施工阶段涂层保护要点及措施[J].科技风,2011(16):213.
- [12] 胡亚坤,董恩强,卢艳吉.海洋石油平台建造过程中的涂层破损与处理措施[J].化工管理,2020(19):158-159.
- [13] 杨港,李红梅,王可民,等.企鹅圆筒型 FPSO 执行 PSPC 新标准的应对策略研究[J].山东化工,2021,50(10):116-117.
- [14] 蔡厚平,李明霞.基于船舶压载舱涂层保护新标准的涂装工艺优化研究[J].船海工程,2013,42(2):35-37.
- [15] 何宾.海洋石油平台建造过程中甲板片涂层的防护方案[J].涂层与防护,2022,43(5):15-19.
- [16] 孟惠民,陈昭明,杨峥嵘,等.坞墩位船底防污漆涂层破损的探讨[J].上海涂料,2010,48(5):35-37.