

数字化背景下海洋工程涂装生产管理模式分析研究

曹纪慧, 刘书法, 葛楚琳

(海洋石油工程(青岛)有限公司, 山东 青岛 266520)

摘要: 随着数字化技术在海洋工程领域的发展与普及, 数字化技术在海洋工程领域建造阶段也相应地进行了应用。如何将传统的涂装生产管理模式转变为数字化的管理模式成为建造阶段涂装专业急需解决的问题。本文介绍了海洋工程装备涂装生产的工艺流程和质量要求, 总结了传统模式下涂装生产存在的施工问题和管理难点, 并对涂装专业生产管理系统的数字化功能模块应用进行了介绍, 以期提高海洋工程涂装施工质量和生产管理水平。

关键词: 数字化; 海洋工程; 涂装; 生产管理

中图分类号: TQ639

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2025)11-0041-04

Analysis and Research on Production Management Mode of Marine Engineering Coating under Digital Background

CAO Ji-hui, LIU Shu-fa, GE Chu-lin

(Offshore Oil Engineering (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao 266520, Shandong, China)

Abstract: With the development and popularization of digital technology in the field of offshore engineering, digital technology has also been applied in the construction stage of ocean engineering. How to transform the traditional painting production management mode into a digital management mode has become an urgent problem to be solved in the painting profession during the construction phase. This article introduces the process flow and quality requirements of marine engineering equipment painting production, summarizes the construction problems and management difficulties in traditional painting production, and introduces the application of digital functional modules in the painting professional production management system, in order to improve the quality of marine engineering painting construction and production management level.

Key words: digitization; offshore engineering; painting; production management

0 引言

随着对海洋油气资源的深度勘探与开发, 海洋工程装备数量与日俱增。高温、高湿、高盐的恶劣海洋环境会对海洋工程装备造成电化学腐蚀破坏, 从而影响装备的安全生产运行、降低装备的服役年限, 造成相应的安全事故和经济损失^[1]。海洋工程装备建造阶段通过在钢结构表面涂装油漆对腐蚀介质进行隔离, 以此来延缓钢结构接触腐蚀介质发生电化学腐蚀的速度、

延长工程装备的服役年限、降低海上生产运行期间由于电化学腐蚀造成的维护成本。涂装作为一种传统、经济、有效的防腐蚀手段, 在海洋工程中的腐蚀防护应用中具有极其重要的意义。

随着数字化技术在海洋工程领域的发展与普及, 数字化技术在海洋工程领域建造阶段也相应有了应用^[2]。如何将传统的涂装生产管理模式转变为数字化的管理模式成为建造阶段涂装专业急需解决的问题。

本文介绍了海洋工程装备涂装生产的工艺流程和质量要求, 总结了传统模式下涂装生产存在的施工问题和管理难点, 并对涂装专业生产管理系统的数字化功能模块应用进行了介绍, 以期提高海洋工程涂装施

收稿日期: 2025-06-23

作者简介: 曹纪慧(1994—), 女, 本科, 工程师, 主要从事海洋工程项目管理和信息化系统建设、推广应用与系统管理方面的工作。
E-mail: caojh7@cooec.com.cn.

工质量和生产管理水平。

1 海洋工程涂装生产特点

1.1 涂装施工工艺流程

涂装是通过在钢结构表面涂覆油漆形成完整的涂层,对海水、盐雾、氧气等电化学腐蚀介质进行隔离,从而降低钢结构的电化学腐蚀速率。高质量的涂装能够防止钢结构因电化学腐蚀导致的结构强度和抗疲劳性能下降,保障设备设施的安全运行,提高设备设施的使用寿命^[3]。

海洋工程涂装施工分为表面处理、底漆涂覆、中漆涂覆、面漆涂覆 4 个工艺流程,每个流程所使用的设备设施、工机具、施工要求、材料等都有所差别,具体要求如下。

1) 表面处理:表面处理通常采用以压缩空气为动力的喷砂清理。表面处理的目的是去除钢结构表面的锈蚀、油污、氧化皮等杂质,使钢材表面达到 SSPC-SP10 规定的粗糙度等级,为涂层提供足够的附着力,确保涂层能牢固地附着在钢结构表面。

2) 底漆涂覆:底漆作为有机涂层体系中的第一层涂料,由于底漆直接与喷砂清理完成的钢结构表面接触,因此底漆承担着最主要的防腐蚀作用。底漆的防腐蚀原理有屏蔽、缓蚀和牺牲阳极 3 种方式。底漆种类的选择由钢结构的材质、服役环境条件等确定。

3) 中漆涂覆:中间漆的主要作用是根据油漆配套体系合理地增加涂层的厚度,延缓腐蚀介质的渗透速度,提高涂层系统的整体屏蔽效果;同时连接底漆与面漆,与底漆和面漆涂层形成良好的结合力和附着力。

4) 面漆涂覆:面漆是有机涂层体系的最外面一道油漆涂层,其与外界腐蚀环境直接接触,因此面漆涂层应具备良好的耐候、耐磨、耐冲击等特性,同时也要起到一定的美观装饰作用。

1.2 涂装施工质量要求

涂装施工作业过程中要严格按照规格书和施工程序进行施工,遵守施工相关要求并满足施工环境条件。钢结构表面温度高于露点温度 3℃且空气相对湿度低于 85%才能进行相关涂装施工作业,同时不能在潮湿环境(降雨、降雪、大雾等)、大风沙尘天气以及存在其他有害杂质的情况下进行施工。

为确保钢结构按照涂装防腐蚀设计要求进行施工并达到相应的防腐蚀效果,涂装生产过程中必须建立健全质量管理体系。涂装施工过程中各道工序都必须实施严格的过程质量管理与控制。材料交接验收阶段要加强对交接材料的检查验收管理,交接过程中如发现材料存在质量缺陷应坚决予以拒收并填写材料验收反馈单;表面处理阶段要加强喷砂过程表面处理的质

量控制,钢结构表面的清洁度等级和粗糙度等级要严格按照涂装施工程序要求进行检验,保证喷砂表面处理能够达到相应的等级要求,常见钢结构表面处理等级为 SSPC-SP10,粗糙度要求为 50~85 μm,表面清洁度不大于 Class2 级(10 倍放大镜下可见但肉眼不可见、颗粒直径小于 50 μm)。所有经喷砂清理的钢结构表面应在可见的重新生锈之前或在喷砂结束后 4 h 内涂底漆,如果在喷涂油漆施工之前喷砂处理的钢结构表面出现了锈蚀,则应对钢结构表面重新进行喷砂处理达到规定表面处理等级要求;油漆涂覆阶段要加强油漆喷涂施工规范,按照规定的油漆厚度进行喷涂,对于不易喷涂的区域提前进行预涂,确保涂层施工厚度满足要求,同时持续对现场施工环境进行监测,确保环境条件满足涂装施工要求;质量检验阶段要严格按照涂装检验程序(ITP)进行报检,施工班组长及自检员应在正式报检前确认好需报检钢结构的涂装施工状态,确保钢结构施工质量能满足报验要求后再进行正式报验,建立“自检→内检→外检”三级检验制度,确保海洋工程装备钢结构涂装施工满足施工程序规定的相应质量要求^[4]。

2 海洋工程涂装生产管理难点

2.1 生产计划制定与调整困难

涂装施工受结构、管线等前置专业施工生产进度影响较大。在现场施工过程中,前道预制工序如无法按照原有生产计划与涂装专业进行交接,则会使涂装作业延后甚至中断,导致场地涂装资源闲置浪费,最终影响涂装整体产能。同时涂装生产由于受到涂装车间资源的限制,当涂装施工生产需求超过现有涂装车间资源时,如果不能及时调整涂装生产计划,则会导致涂装生产作业出现不能满足现场实际涂装生产需求的问题,造成项目生产进度的延后。此外,磨料、油漆等涂装材料的管理也影响着涂装生产计划,相关材料的供应受制于供应商生产能力、物流运输等多种因素的影响,如不能满足现场实际生产的需求,涂装施工也将无法按原定生产计划进行。

2.2 材料管理复杂

海洋工程涂装施工过程中需要根据施工工艺选择不同的油漆用料,故油漆材料管理与施工相互有效结合显得极为重要。而油漆产品种类复杂多样,例如环氧系列漆、锌粉系列漆、耐候面漆系列、耐高温漆系列等,不同油漆,其特性、有效期、用途、干燥时间和施工条件有不同的要求。

以阿沃德环氧系列漆中的厚浆型环氧漆 MC-EP-4 为例:油漆颜色为古铜色,适用于工业、海洋环境的桥梁、船舶和其他工程结构的腐蚀防护,油漆应贮存在阴

凉、干燥、通风处,远离热源和火源。如何及时迅速地跟踪到油漆产品特性、涂料有效期及库存数量,在施工过程中显得尤为复杂。同时油漆材料的健康和安全管理要求也应加强,确保在通风良好的情况下使用油漆,在狭窄处和空气不流通处施工,必须提供强制通风,施工人员采取相应措施加强劳动保护。

2.3 质量管理难度大

涂装施工质量受技能操作熟练度、现场环境条件、结构件形状等多种因素影响,难以实现精准控制。待喷涂钢结构的形状复杂程度也会对涂装施工质量产生较大影响,夹层、边缘、角落、焊缝等处应进行预涂,防止涂装施工过程中出现漏喷或膜厚不足等质量问题。同时涂装行业由于工作强度大、施工环境差等问题,工人从事涂装意愿不高,施工人员大多数来自偏远地区,受教育程度及文化水平相对较差,存在语言不通等情况也增加了质量管理工作的难度。

2.4 生产流程跟踪复杂

涂装施工过程涉及多个环节:涂装需求计划提报、进料交接、油漆领料、施工、报检、检验、释放、出料交接等。各个环节之间由不同的部门或者小组负责,需要相互配合完成涂装任务,但由于整个流程时间周期长,会导致整个涂装工作的生产流程复杂困难。并且在施工过程中,由于信息不能做到实时更新共享,从而也会导致施工状态跟踪信息滞后。

此外,涂装施工过程中有一定的不确定性因素存

在(比如某一工序出现质量问题等),一旦有异常情况发生就要立即反馈相关负责人进行处理,并采取相应对策;但如果信息不能迅速准确传递下去,则会使后续施工停滞或出现相应的质量问题,相关信息的反馈与传递的及时性不足最终会延误整个项目的进程、增加项目跟踪难度。

2.5 人员管理与培训不足

从事涂装施工作业的施工人员文化素质及技术水平参差不齐,没有形成一个系统的技术培训机制,会造成涂装施工质量稳定性不足。并且由于涂装工作仍属于劳动密集型产业,存在劳动强度大、作业环境差等客观因素的影响,后续工人从事涂装的意愿不高。再加上现代涂装工艺的发展迅速,现有的涂装工作人员也必须不断地补充新鲜血液,学习先进的理论和技术,来满足现代涂装生产的需要。而现阶段的海洋工程领域建造阶段,对于涂装施工技术人员的培养力度不够,也会造成无法保障涂装施工质量的问题。

3 生产管理系统应用

3.1 涂装需求计划管理

涂装需求计划表单填报示例如表1所列,系统支持各生产作业单位向涂装生产单位提交涂装需求计划,涂装生产单位基于项目整体计划及涂装需求计划,在系统内进行涂装车间资源(包含施工场地、施工人力等)排产,形成涂装资源使用计划并进行共享,确保涂装任务的有序开展。

表1 涂装需求计划表单填报示例

序号	项目名称	专业	名称	尺寸	数量	送料单位	送料时间
1	项目名称1	专业1	名称1	尺寸1	数量1	单位1	时间1
2	项目名称2	专业2	名称2	尺寸2	数量2	单位2	时间2
3	项目名称3	专业3	名称3	尺寸3	数量3	单位3	时间3

3.2 材料管理

油漆基础数据表单示例如表2所列,系统能够实现对油漆材料的精细化管理,包括:油漆编号、油漆名称、油漆颜色、颜色编码、油漆类别、生产厂商、计量单位、贮存温度、数量等相关基本信息的录入和维护^[5]。通过建立库存管理板块,可以对油漆材料入出库业务全过程进行

控制,并根据实收实物量及实需用量变化情况,及时调整并更新库存台账的数据内容,在此基础上使每一笔油漆材料出入库均有明确记录且有迹可循,使得每一批次油漆材料出入库方向清晰可见、状态随时掌控,达到真正意义上提升油漆材料管理水平的目的,进而有效促进库存物资的周转速度和准确率的提升。

表2 油漆基础数据表单示例

油漆编号	名称	油漆颜色	颜色代码	计量单位	厂家	贮存温度/°C	数量
82720688	环氧漆	交通黄	RAL1023	L	阿沃德	20	16
84536189	环氧玻璃鳞片漆	金属灰	12430	kg	阿沃德	10	2.5
82754981	厚浆型环氧漆	灰色	RAL2543	L	Hempel	20	20

3.3 进料交接与材料领料

进料交接表单填报示例如表 3 所列,系统支持各个生产单位提交到涂装生产单位的涂装工作管理。基于生产管理系统创建进料交接单与涂装生产单位进行工作交接,交接单中要附有详细的物料基本信息、图纸信息、油漆系统信息等。进料单提交到涂装专业后,需

由涂装生产单位进行确认接收,对不合格的物料则进行拒接,并描述不合格原因。

同时,系统支持根据进料单明细统计使用油漆数量和涂装面积,进行油漆库存匹配,匹配成功则可创建油漆需求单,进行油漆领用,确保施工材料的及时供应。

表 3 进料交接表单填报示例

单据编号	项目名称	物料名称	数量	面积/m ²	油漆代码	送料人	送料日期
ST-001	项目名称 1	拉筋	5	5.25	CFD01	张三	2025.7.9
ST-002	项目名称 2	甲板片	1	1 412	CFD01	李四	2025.7.9
PI-001	项目名称 3	单管	20	2.5	CFD01	王五	2025.7.9

3.4 工序配置与施工执行

根据涂装施工工艺差异化特点,系统可以对涂装施工各道工序及油漆喷涂次数等参数进行自定义设置。在涂装施工过程中,涂装管理人员可通过移动终端查询涂装施工程序及施工图纸,指导现场涂装工人按要求进行施工。

涂装施工作业完成后,涂装管理人员可通过系统的移动端或 PC 端在线提交人力工时及工作量等相关信息,实现实时监测施工进度、无纸化统计的效果,提高人力工时及工作量录入的准确性,提升工作效率、减少施工管理成本。

3.5 线上报检与质量控制

施工人员可通过移动端或者电脑端登录系统发起针对涂装件某一工序的报检流程,在线上提起质检申请。质检通过后,工件便可进入下一道工序直到释放状态,确保涂装质量的可控性和可追溯性,便于发起配送申请。

3.6 施工台账管理与出料交接

系统支持涂装生产单位通过系统对前置专业施工情况进行查看,并可以对自身涂装施工需执行的工作情况进行统计汇总,以此实现施工生产数据的共享与分析。系统支持涂装生产单位针对已完工涂装作业创建出料交接单,并将其流转给后置专业施工单位,使后置专业施工单位及时了解自己的工作任务,保证下道工序施工能够顺利完成。

3.7 人员管理与培训优化

系统支持根据涂装任务完成情况,对施工人员施工合格率进行统计分析,并能够对施工人员的工作绩效进行评估。对于施工合格率较低的施工人员系统能够及时对施工管理人员进行提醒。系统同时可以提供培训模块,帮助涂装施工人员提升涂装专业施工技能,从而提升涂装施工质量。

4 结语

涂装作为海洋工程装备建造阶段中的一项重要工序,在保证海洋工程装备的安全运行和延长其使用寿命上有着非常重要的作用。

以涂装专业生产管理系统为基础的数字化涂装生产模块应用能够有效解决传统涂装生产模式中的管理难点,从而达到改善海洋工程涂装生产管理水平的目的。

未来涂装生产的数字化发展方向可以借助计算机技术的不断进步和发展,使得涂装生产管理系统能够更加深入地融合大数据(Big Data)、人工智能(AI)、物联网(IoT)等其他相关信息技术并将其应用于实际工作中去,从而使整个涂装生产工作变得更加高效智能,进而推动海洋工程涂装技术向着更高的水平发展。

参考文献:

- [1] 刘书法,李同跃,付春雷,等.海洋钢结构腐蚀原因及防腐蚀方法分析[J].石油和化工设备,2021,24(5):91-94.
- [2] 杨冬平.海洋导管架平台安全数字化技术研究[D].青岛:中国石油大学,2010.
- [3] 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.
- [4] 宋振,刘书法,宁一凡,等.海洋工程涂装生产管理控制研究[J].现代涂料与涂装,2023,26(10):51-53.
- [5] 曹纪慧,刘书法.项目建造管理系统在海洋工程防腐专业应用方案研究[J].现代涂料与涂装,2023,26(12):4-7.
- [6] 曹纪慧.基于石油建造行业项目管理信息化应用问题与对策研究[J].石油和化工设备,2023,26(7):5-8.
- [7] 曹纪慧,吴涛,孙澜.基于 PCMS 系统结构专业材料管理的应用研究[J].石油和化工设备,2021,24(1):67-69.