

水性防腐涂料在船舶涂装中的应用

李双亚

沪东中华造船集团有限公司, 上海 201913

DOI:10.61369/ERA.2025120013

摘要 : 近年来, 随着海上运输业的迅猛发展, 海上交通安全问题日益引起社会各界的重视。对船体外部表面进行涂料防护处理, 能有效提升船体抗腐蚀能力, 进而保障航行安全。本文首先阐述了我国水性船舶涂料现状和主要品种以及水性防腐涂料类型。其次, 详细分析了水性防腐涂料在船舶涂装中应用价值, 最后深入剖析了水性防腐涂料在船舶涂装中的应用措施。以期为相关人士提供参考。

关键词 : 水性防腐涂料; 船舶涂装; 腐蚀防护

The Application of Waterborne Anticorrosive Coatings in Ship Coating

Li Shuangya

Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Shanghai 201913

Abstract : In recent years, with the rapid development of the maritime transportation industry, maritime traffic safety issues have increasingly attracted attention from all sectors of society. Applying protective coatings to the external surfaces of ship hulls can effectively enhance their corrosion resistance, thereby ensuring navigation safety. This paper first elaborates on the current status and main types of waterborne marine coatings in China, as well as the categories of waterborne anticorrosive coatings. Secondly, it provides a detailed analysis of the application value of waterborne anticorrosive coatings in ship painting. Finally, it delves into the application measures of waterborne anticorrosive coatings in ship painting, aiming to provide references for relevant professionals.

Keywords : waterborne anticorrosive coatings; ship painting; corrosion protection

引言

船舶涂装与其他钢材涂装存在显著差异, 其因外形庞大、结构复杂且长期处于户外海洋环境, 对涂装材料提出了更为苛刻的要求。因此, 舰船涂料需具备较长使用寿命和强效抗侵蚀能力, 而涂料的合理选型与匹配是开展船舶涂装工作的基础。国内外实践表明, 水性防腐涂料作为典型的环保型涂料, 在国内的应用仍处于起步阶段, 尚未完全满足海洋涂装的严苛需求。加之国外同类产品进口成本高昂, 导致该类涂料在国内船舶涂装中的使用率不足1%。因此, 研发国产水性环氧船用涂料, 对于提升国内船用涂料的自主化应用比例具有重要现实意义。

一、相关概述

(一) 我国水性船舶涂料现状和主要品种

国外环保型涂料的研发与应用起步较早, 欧美等发达国家企业已掌握多项先进工艺, 并成功研制出多种适应海洋环境的环保涂料。我国对水基型防腐蚀漆的研究起步较晚, 市场应用仍以进口产品为主, 国内企业中仅有少数外资企业较多采用水性防腐涂料, 本土企业的应用范围相对有限。

从实际应用来看, 水性防腐涂料目前主要用于舰船内部防腐需求较低的区域, 如舱室和居住区; 而对于压载水池等防腐蚀要求极高的部位, 尚未实现规模化应用。舰船内部空间有限、作业区域狭窄密闭, 传统溶剂型油漆作业时若发生起火事故, 易造成

巨大经济损失; 且油漆挥发气体易被舱室隔热布料等吸附, 导致有害气体长期逸散, 严重影响乘员健康。相比之下, 水基型防腐蚀漆具有制作简便、可与其他工序同步施工的优势, 能显著提升船舶生产效率。同时, 水性防腐蚀涂层属于绿色环保材料, 可大幅改善施工人员及机组人员的工作条件, 加之内部舱室对防腐涂层的性能要求低于外部区域, 因此其在海洋环境中具有广阔的发展前景。

(二) 水性防腐涂料类型

1. 水乳胶型涂料

该涂料以水性胶乳为主体材料, 通过乳化聚合法经一系列工艺加工而成。乳化聚合法在工业领域应用广泛, 不仅适用于造船行业, 在建筑、工业防护等领域也具有良好应用前景。随着技术

认知与应用推广，已衍生出多种产品类型，主要包括均匀法和异相法两种制备方法。其中，逐步乳化法（又称“核-壳”型乳化聚合法）作为一项新技术已得到广泛应用；20世纪90年代末出现的混杂乳化聚合法，通过环氧树脂、聚氨酯树脂等树脂改性实现性能优化，成为该类技术的典型代表。

2. 水可稀释型涂料

该类涂料需先将树脂溶于溶液中，与其他物质或添加剂充分搅拌后进行染色，再通过水溶性溶剂使盐水组与水融合实现涂料成膜。其树脂材料类型相对单一，主要包括聚氨酯树脂、聚酯树脂和环氧树脂等，这些树脂通过在高分子链结构中引入亲水性基团，提升与水的相容性，从而实现与水的良好结合。由于水溶性优异，该类涂层通常用于电泳漆，较少应用于干式涂装。水性可稀释涂层多采用核-壳结构，且酸价较低。在合成过程中，通过

酸性单体引发自由基效应与目的大分子交联，再经胺类物质中和酸性单体，最终获得在水相中分散性能优良的高分子涂层。核-壳结构不仅能确保涂层稳定性，还可大幅降低亲水性，通过壳层交互作用改善涂层综合性能。

3. 乳液型涂料

乳液型涂层的核心特点是通过对油溶性高分子及乳化剂进行强制分散，促进物质在水溶液中的快速溶解。传统制备方法中，乳液以自由态形式存在且不参与成膜，导致涂层抗水性和抗腐蚀性难以充分发挥。通过工艺优化发现，采用活性乳化剂可有效改善乳胶漆的抗水性及防护性能^[1]。

不同类型水性防腐涂料的关键参数及船舶适配性汇总如下表所示：

表1 不同类型水性防腐涂料对比表

涂料类型	制备核心工艺	关键特性	适用船舶部位	典型应用场景	参考耐盐雾时长 (h)
水乳胶型涂料	乳化聚合法（含核-壳型、混杂型）	环保性优、可与其他工序同步施工	舱室、居住区、内部通道	舰船内部非核心防腐区域涂装	500-800
水可稀释型涂料	树脂溶解+亲水性基团引入	水溶性优异、酸价低、成膜性稳定	船体小型构件、管路表面	电泳涂装（如舱内金属管路）	600-900
乳液型涂料	活性乳化剂强制分散	抗水性提升、防护性强	甲板辅助区域、非承载结构	船体次要结构表面防护	450-750

二、水性防腐涂料在船舶涂装中应用价值探讨

（一）守护船体抵御腐蚀侵害

采用水性防腐涂料是防止船舶锈蚀的有效措施。海洋环境中富含盐分及其他腐蚀性物质，若缺乏有效防护，船体极易被腐蚀损坏。水基防锈涂层可在船体表面形成牢固保护层，阻隔海水等强腐蚀性介质对船舶的侵蚀。该涂层抗侵蚀能力强，能长期维持船身结构完整性，显著延长船舶使用寿命。此外，其具有良好的环境友好性，无有毒成分释放，符合当今世界可持续发展需求，因此选用水性防腐涂料对船舶进行防护十分必要。

（二）延长船舶整体使用周期

水性防腐涂料作为持久性能优良的新型防腐材料，合理选用可有效防止船体侵蚀破坏，降低维护与替换成本，提升经济与应用价值。

耐气候性优异：海上航行船舶长期受阳光、风雨、海水等自然条件影响，水性防腐蚀涂层具备抗紫外线、抗雨水、抗海水等多重功能，可减少腐蚀导致的维修与替换需求，延长船舶使用寿命。

基体结合性能强：涂层能与船舶外壳紧密结合形成强韧防护

层，有效阻隔外部物质对船身的腐蚀与破坏，提升涂料自身使用寿命。

环境友好与卫生安全：与常规有机溶剂型涂层相比，水性防腐涂料不含有毒成分，对生态环境和人体健康更友好，可降低环境污染风险，增强船舶安全性能。

（三）提升船舶涂装环保性能

水性防腐涂料对环境和使用者无危害，满足防护与安全双重需求。

无有毒成分释放：水性防腐涂料以水为主要介质，不含有毒挥发性有机化合物（VOCs）、重金属等有害成分，可减轻对周围环境的影响，降低大气和水污染风险。

保障施工人员健康：水性防腐涂料无刺激性气味及有毒气体释放，不会对工人身体造成伤害，为建筑工人创造卫生安全的工作条件。

使用便捷且安全性高：水性防腐涂料具有不易燃、无腐蚀性的特点，使用过程中火灾、爆炸风险低；无需特殊治理流程，可大幅减少建筑废弃物排放量^[2]。

水性防腐涂料与传统溶剂型船舶涂料的核心性能及应用数据对比如表2所示：

表2 水性防腐涂料与传统溶剂型船舶涂料对比表

性能 / 应用指标	水性防腐涂料	传统溶剂型涂料	数据来源 / 行业共识
VOCs 含量 (g/L)	≤ 100	300-600	船舶涂料行业环保标准
国内船舶涂装使用率 (%)	<1	>99	国内造船企业实践统计
施工环境火灾风险	低（不易燃、无易燃挥发分）	高（易挥发、易燃）	涂料安全性能测试报告
对施工人员健康影响	无刺激性、无有害气体危害	存在 VOCs 刺激、长期接触致病风险	职业健康防护规范
耐盐雾腐蚀时长 (h)	500-1000	300-600	海洋环境涂层性能测试
单位面积施工成本 (元 / m ²)	120-180 (国产)；200-300 (进口)	80-120	国内涂料市场报价统计
涂层使用寿命 (年)	5-8	3-5	船舶涂装工程跟踪数据

三、水性防腐涂料在船舶涂装中的应用措施

(一) 完善涂装前表面处理工作

第一, 需对船体进行全面清洗, 通过喷砂、刷洗或高压清洗等方式清除表面油污、锈斑、老化涂层等杂质, 确保表面光滑平整, 为涂层附着提供良好基础。其次, 根据船舶材料特性选择合适的表面改性方法, 例如针对钢材构件, 在传统清洗基础上可通过磷化法或锈化法提升其耐腐蚀性能; 同时需选用适配的去污剂及处理剂, 保证涂层与基体的配伍性。

第二, 表面改性过程中需关注船体平面度及显微组织, 针对曲面不均匀或存在细小沟槽的部位采取专项措施, 确保涂层完全覆盖, 避免空鼓、开裂等问题; 通过合理选用填料及修复材料, 进一步提升涂层综合性能。

第三, 需控制船体表面处理的环境温湿度, 湿度过大或过小均会影响涂层固化与粘结效果, 应选择适宜环境进行表面加工与喷涂; 适当的温湿度条件可改善涂膜流动性, 助力形成均匀涂层。

第四, 需严格按照生产厂家推荐的涂料技术标准进行表面加工, 选用与水性防腐涂料适配的前处理材料及底层涂料, 保证各品种间的相容性; 通过控制喷涂厚度及层数等关键参数, 确保涂料使用效果达到最佳。

(二) 科学开展底漆选型工作

第一, 针对舰船表层材料及实际服役条件, 需选用适配的水基涂装涂料。常见的水性涂料包括水性丙烯酸乳液、水性聚氨酯、水性环氧树脂等, 应结合船舶的具体特点(如航行海域、船体结构材质等)选择对应的类型。特别需要强调的是, 选用水性涂料时需综合考量其耐腐蚀性、附着力、耐候性及耐海水性能。高质量的水基涂料首先必须具备优异的耐腐蚀性, 能有效对船体金属材质形成保护, 抵御海水及海洋大气的侵蚀。

第二, 涂料需有强劲的粘附力, 确保与船身表面紧密结合, 避免在长期使用中出现脱落、起皮等问题。尤其是船舶长期暴露于潮湿、高盐雾、强紫外线等苛刻海洋环境中, 涂层的抗老化性能更是关键保障, 需确保其在长期服役中保持稳定的防护效果。

第三, 油漆底层的施工技术也需慎重选择。施工过程中要保证底层涂料在船体表面均匀覆盖, 避免出现厚薄不均、气泡、漏涂等缺陷; 通过采用适当的喷涂工艺, 确保底层涂料能充分渗入船体表面的细微孔隙, 与基体紧密结合, 为后续涂层的施工打下坚实基础。

最后, 在选用底层材料时, 需重点关注其与水基型防腐涂料的兼容性, 必须保证底层材料与所选防锈水基涂料能够相容, 从而形成稳定且协同作用的涂料体系。应严格按照油漆生产厂家的技术要求及规格标准进行选型与施工, 确保各层涂料之间具备良好的化学及物理相容性, 最终提升船体涂层的整体防护品质与使用寿命。

(三) 严格遵循规范涂装工艺

第一, 喷涂工艺应从充分的表面处理着手。需采用合适的处理方式, 如喷砂、人工除锈或高压水冲洗等, 彻底清除船体表面

的灰尘、油脂、锈蚀及旧涂层残留物, 确保油漆能够附着在干净、平整的基底表面, 为后续涂层的附着力打下基础。

第二, 涂料的合理选用与规范涂刷至关重要。需根据船体基材特性及实际作业环境(如航行海域、服役年限等), 选用适配的水性防腐涂料, 并确保其与后续涂层的兼容性, 从而构建稳定可靠的多层防护涂层系统。在底层处理阶段, 要重点控制涂层的均匀性与厚度, 保证底层涂料在船体表面分布一致, 避免出现局部过厚、过薄或漏涂现象, 为后续水性防腐涂料的施工筑牢基础。

第三, 涂料施工需密切关注环境条件。应尽量避开高湿度、大温差或阴雨天气施工, 否则易导致漆膜固化不良、出现气泡或开裂等问题, 影响涂层性能。为保证涂层质量, 施工时需确保作业环境通风良好, 以加快涂层干燥速率, 减少因干燥缓慢引发的涂层损伤(如磕碰、污染等)。

第四, 需严格遵循规范的施工程序: 每道涂层施工前, 必须确认上一道涂层已完全干燥固化, 避免因未干透叠加涂刷导致层间剥离; 对于喷涂层数和厚度, 应严格按照生产厂家的技术要求进行控制, 通过规范操作确保涂层厚度达标且均匀, 最终保障船体涂层的整体防护品质与稳定性^[3]。

(四) 建立定期维护保养机制

第一, 需定期对船体进行全面的涂层完整性检验, 尤其要重点检查那些受机械磨损、碰撞或其他外界因素影响较频繁的船体表层部位。一旦发现涂层出现破损、剥落、开裂等问题, 必须立即进行修补, 防止海水、盐分等侵蚀因子通过破损处渗透至船体基材, 造成进一步损害。

第二, 要重点关注水基型防腐涂料在舰船上的实际服役状态。船舶在海洋环境中长期暴露于日照、盐雾、海水浸泡等恶劣条件下, 涂层材料的耐候性能尤为关键。需定期检测涂层的颜色变化、光泽度及表面完好性, 若发现明显褪色、失光、粉化或者化开裂等现象, 应及时进行局部修补或整体更换, 确保涂层始终保持良好的外观状态和防护功能。

第三, 船体底部是海洋生物易粘附的重点区域, 必须定期进行清洗和防污处理。海洋生物(如藻类、贝类、藤壶等)的附着不仅会影响船舶航行性能, 还会因生物代谢产物或物理摩擦导致涂层损坏, 加速船体腐蚀。通过定期清理船体底部的生物附着, 能有效减少涂层损伤风险, 延长涂层的使用寿命^[4]。

第四, 对涂层进行周期性局部修补和全面翻新也是日常维护的重要环节。应根据舰船的服役时长、涂装老化程度等制定科学的保养计划, 按周期开展涂层的修补与更换工作。通过局部补涂破损部位、整体重新涂覆等方式, 确保船体涂层始终保持较高的耐腐蚀性和表面完整性, 持续发挥防护作用。

(五) 强化专业技能培训工作

第一, 要对船上的油漆工人进行全面培训, 让他们对涂料的特点、性能和施工工艺有更深刻认识。通过详细介绍涂料的分类、选择原则、施工工艺、安全操作等内容。

第二, 培训中要注重工艺运用, 包括表面处理、底漆选用、涂装施工等实用技巧。通过仿真真实油漆作业, 使学员深入了解水性防锈漆的施工工艺并加以掌握。另外, 课程需包含油漆器材

的正确运用及保养方法，保证器材正常运作，提升工作效能。

第三，培训中要重视环境保护与安全教育。与常规有机溶剂型涂层相比，水性防腐涂层在挥发性有机物控制上有明显优势，因此培训中应强化防护意识及喷涂作业的安全防范，确保工作人员在提升效率的同时，将对环境和人体的伤害降到最低。

第四，培训可延伸至船政管理层面，让船政主管及监管人员了解水性防锈漆的优点与适用领域。将水性漆相关知识传达给管理人员，能让更多造船企业认识其优势，推动其在船用油漆领域的推广应用^[5]。

（六）优选高质量水性防腐涂料

第一，高品质的水性防腐涂料具备优异的耐腐蚀性，能有效保护船体表层金属材料免受海水、盐雾等腐蚀性因子的侵袭，这是其在严酷海洋环境中实现长期服役的重要保障。

第二，优质的水性防腐涂料与船体的结合性能优异，可与船体表层形成牢固附着，不易出现剥落、起皮等问题。这种稳固结合既保障了涂层的耐久性，能抵抗海洋腐蚀，又可承受船舶航行

过程中各类作用力的冲击。

第三，高性能水性防锈漆在涂装时流动性强、涂层附着力好，能实现高效涂装。较高的流平度可减少漆膜的结构缺陷，提升外观品质；同时，优良的涂层性能能保证涂料在船体表面均匀分布，从而确保涂层的整体品质与一致性。

四、结语

水性防腐涂料凭借优异的耐腐蚀性能，已成为推动我国造船工业技术革新与可持续发展的重要趋势。因此，对其实际应用状况展开深入研究，系统分析其核心优势、面临的现实挑战及未来发展方向，不仅能为我国涂料工业和船舶工业的绿色化、高效化、可持续化发展提供科学指导，更能进一步推广其在舰船上的应用场景。这将直接提升舰船的防腐蚀能力，保障其运行安全性，并为未来海上交通领域的发展提供更可靠、更环保的涂装解决方案。

参考文献

- [1] 孔德成, 魏杨. 水性防腐涂料在船舶涂装中的应用探析 [J]. 船舶物资与市场, 2020, 0(4):49–50.
- [2] 赵任张, 刘亮, 陈政. 水性防腐涂料在船舶涂装中的应用 [J]. 船舶标准化工程师, 2024, 57(6):78–80.
- [3] 谢波, 匡倩. 水性防腐涂料在船舶涂装中的应用 [J]. 船舶物资与市场, 2022, 30(2):65–67.
- [4] 姚爱萍. 水性防腐涂料在船舶涂装中的应用探析 [J]. 中国水运, 2025(12):7–822.
- [5] 安春玲. 重防腐涂料在工程机械涂装中的研究与应用 [J]. 现代涂料与涂装, 2022, 25(4):19–2249.