

浅谈船舶涂料涂装质量的影响因素

张 凯, 孙有生

(信和新材料股份有限公司, 福建 泉州 362011)

摘要: 船舶涂料的涂装质量优劣对船舶的耐腐蚀性影响较大, 需要做到合适的涂装前处理, 并考虑其作业配套性。涂装工艺是发挥涂装材料性能的必要条件, 包括涂装技术的合理性、先进性, 涂装设备和工具的先进性和可靠性, 以及涂装环境条件和操作人员的技能、素质等。涂装管理则是确保涂装工艺顺利实施、达到涂装目的和保证涂膜质量的重要条件, 从工艺管理、设备管理、现场环境管理和人员管理等多个方面相互制约, 忽视任何一个方面都不可能达到涂装目的和获得优质的涂膜。现在船东对船舶的涂装工艺和防腐的要求越来越高, 本文从表面处理、锈蚀的清理、涂料施工、涂料的干燥和固化等方面来控制涂装施工质量。

关键词: 表面处理; 工艺要求; 质量控制

中图分类号: TQ639

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2025)09-0027-04

Discussion on the Influencing Factors of Ship Coating Quality

ZHANG Kai, SUN You-sheng

(T&H Novel Materials Co., Ltd., Quanzhou 362011, Fujian, China)

Abstract: The quality of ship coatings has a significant impact on the corrosion resistance of ships, and it is necessary to achieve appropriate pre-treatment before painting. And consider its homework compatibility. Coating process is a necessary condition for the performance of coating materials, including the rationality and progressiveness of coating technology, the progressiveness and reliability of coating equipment and tools, as well as the environmental conditions of coating and the skills and quality of operators. Coating management is an important condition for ensuring the smooth implementation of the coating process, achieving the coating purpose, and ensuring the quality of the coating film. It is mutually constrained from multiple aspects such as process management, equipment management, on-site environmental management, and personnel management. Ignoring any one aspect cannot achieve the coating purpose and obtain high-quality coating film. Nowadays, ship owners have increasingly high requirements for the painting process and anti-corrosion of ships. This article discusses how to control the construction quality of coating from the aspects of surface treatment, rust cleaning, coating application, drying and curing of coatings.

Key words: surface treatment; process requirements; quality control

0 引言

船舶涂料的涂装工艺对船舶防护起到至关重要的作用。涂装的目的主要是保护船体、船舱和设备, 提高船舶的防腐、防污、防水、防火性能, 同时还可以美化船

体外观, 节约能源和降低运营成本。因此, 船舶涂料涂装越来越受到大家的重视。

1 表面处理

表面处理是获得良好的涂料防护的关键一步。如果基材的表面处理不良, 无论价格多么高昂、性能多么优越的涂料涂在铁锈或污染物上都是徒劳的, 且浪费钱财。良好的表面处理会大大延长涂层的寿命, 能给船舶提供最佳的防护。据统计, 65%的涂层失效或缺陷都

收稿日期: 2024-11-25

作者简介: 张凯(1983—), 男, 本科, 注册安全工程师, 主要从事涂料生产管理工作。E-mail: kai.z@126.com。

是表面处理和涂料施工的原因所造成的。

表面处理针对的是:油脂、盐分、铁锈、松动和老化的旧有涂层、海生物和其他污染物。

油脂的存在往往会导致油漆黏附不牢,造成油漆脱落、起泡等涂层缺陷。小面积的油脂可使用适量的水性清洁剂或溶剂擦洗,再用淡水冲洗的方法清除。在使用溶剂擦洗时,需注意使用干净的布料擦拭,溶剂擦拭完毕后应用干燥、洁净的布料擦干,否则极易引起油脂在表面的扩散。

大面积施工时,可使用水性清洁剂混合高压(140~350 MPa)进行冲洗,在进行高压水清洗时,需要根据被清洗表面的锈蚀程度来控制水压,以防止清洗的表面受损或水压太低影响清洗效果。通过人工手持高压喷枪将高压水射流作用于船体表面,能够快速清理船体残留货物,并能够很好地清洗人工清刷时难以清洗的死角,使船体表面达到除锈等级要求。

盐分可通过淡水冲洗清除,但由于底材表面的阶、结构的凹陷等部位易于积聚盐分,常规的淡水冲洗往往不能完全清除。因此,高压淡水冲洗总是被推荐使用,盐分的存在极易引起后续涂层起泡并剥落。

在船舶保养时,由于船上的条件限制,施工人员往往忽视去除盐分这一要求,在没有高压淡水冲洗的前提下,建议使用淡水和刷子反复刷洗,尽最大可能去除盐分。船舶在海上航行时,表面积聚盐分的速度相当快,因此,经淡水清除了盐分的表面在干燥后应尽快处理,避免盐分重新积聚。而有些施工人员可能会用污水去冲洗(刷洗)表面,这种做法将加剧腐蚀,破坏漆膜,导致油漆失效。

海生物可采用高压淡水冲洗的方法彻底清除,通常在无法采用高压淡水冲洗时刮铲也是可行的,但是效率低,并且无法完全清除海生物。同时,手刮铲完后,仍需使用淡水清洗表面,以清除刮铲后的残屑和可溶性物质。

松动和老化的旧有涂层可采用刮铲的方法清除,手工操作虽然效率低,但仔细施工,仍可取得较好的效果。其他可推荐的方法有动力打磨、扫砂或超高压喷射水等,这些方法都能大大提高工作效率,并取得良好的效果。

1.1 锈蚀的清理

对于锈蚀的清理可采用手动工具处理、动力工具处理、喷射处理等。

手动工具清理是指使用砂纸、钢丝刷、铲刀或锤子等工具清除松动锈蚀和老化涂层的作业方式。手动工具作业效率低,施工人员的劳动量大,同时对于薄锈效果不佳,其处理的表面可接近 ISO 8501-1:1988 中规

定的 St2-B、C、D 和 GB 8923—1988 中的 BSt2。

动力工具清理有电动和气动两种,常见的工具有打磨设备(钢丝刷、砂纸磨盘等)、针枪、动力凿、动力锤等。采用动力工具可大大提高工作效率,节省劳动力。表 1 比较了国内外一些主要的除锈标准。

表 1 国内外除锈标准对照

GB 8923	ISO 8501-1	SISO 55900	DIN 55928	SSPC	BS 4232	JSRA SPSS
Sa1	Sa1	Sa1	Sa1	Sp7		
Sa2	Sa2	Sa2	Sa2	Sp6	3 级	Sd1, Sh1
Sa2.5	Sa2.5	Sa2.5	Sa2.5	Sp10	2 级	Sd2, Sh2
Sa3	Sa3	Sa3	Sa3	Sp5	1 级	Sd3, Sh3
St2	St2	St2	St2	Sp2		Pt2
St3	St3	St3	St3	Sp3		Pt3

注:SSPC 中的 Sp6 比 Sa2.5 略严,Sp2 为人工钢丝刷除锈,Sp3 为动力除锈。

在船舶保养中通常采用的是 Sa2.5,因其设备简单、占地小、单人可操作、表面处理结果能为大部分涂料所接受。

喷射处理根据其使用的磨料介质不同可分为干磨料喷射清洁、湿磨料/砂浆喷射清洁和喷射水清洁。喷射处理是目前已知的清除旧有涂料系统、氧化皮和锈蚀的最有效方法。

通常采用的处理标准为 GB 8923—1988,即施工涂料及相关产品之前的钢材处理-表面清洁度的目测鉴定。在船舶的维修过程中,喷砂清理是最常见的一种处理方法。

1.2 常见处理形式:局部喷砂和扫砂

局部喷砂对重要锈蚀、老化涂层进行局部完全处理至 Sa2.5 级。局部喷砂能够很好地去除锈蚀和老化涂层,但是几次修理后,这种处理方法会使涂层产生“三明治”型的涂层状况。局部喷砂时,应尽可能地减少小块涂层的存在,因小块涂层的存在,将形成整个涂层系统的弱点,并导致该处涂料的脱落、锈蚀等弊病。另外,局部喷砂会造成喷砂区域边缘产生切口,同时切口部位的涂层易于从底材脱开,必要时使用动力工具光顺边缘。局部喷砂时,磨料将会撞击到周围未被喷砂处理的区域,造成该区域涂层受损,在油漆修补时应考虑这一区域。

扫砂是指在涂层表面快速进行喷砂作业,仅仅为了清除表面高压淡水冲洗无法清除的污染物和老化的表面涂层,并不清除所有涂层。扫砂能够增加涂层表面粗糙程度,提高后续涂层与表面的附着。但扫砂的效果很大程度上依赖于操作人员的技术,所以对于扫砂表

面同样需要施工与局部喷砂区域同等厚度的涂料。因为,扫砂过程中,往往很多的磨料会击穿旧涂层,直至钢材表面。

表面处理前,底材表面应干燥无盐分和其他污染物,虽然上述的处理方法在一定程度上也能清除盐分、海生物、油脂等,但不能代替高压淡水冲洗的作用。船舶修理过程中新换钢板和构件,必须保持焊缝平整无灰尘和杂质,在这些区域会由于重力的影响,分散变薄,从而影响到涂层的完整性。

1.3 表面粗糙度及其评定

钢结构表面粗糙度:指钢结构构件表面的几何形状和外观光洁程度的评定,它能够影响钢结构的保护性能、外观效果、使用寿命等方面。

评定标准:在平面上任意一点取数值时,其离均值差的平方和的平均值,即为 R_z 。 R_z 值是衡量钢结构表面粗糙度的重要指标之一,它是通过取样在纵向方向上测量钢结构表面的峰谷高度差值然后求出的。另一种标准为 R_a ,指表面粗糙度的平均值,是钢结构表面粗糙度指标中最为常用的。 R_a 和 R_z 值可以相互转换,但是具体的转换公式需要根据实际情况而定。

评定方法:国际标准 ISO 8503 由 4 部分组成,来评定喷射除锈后钢材的表面粗糙度特征。分别为:ISO 8503-1 表面粗糙度比较样块的技术要求和定义;ISO 8503-2 喷射清理后钢材表面粗糙度分级-比较样块法;ISO 8503-3 基准样块的校验和表面粗糙度的测定方法-显微镜调焦法;ISO 8503-4 基准样块的校验和表面粗糙度的测定方法-触针法。我国的国家标准 GB/T 13288.1《涂装前钢材表面粗糙度等级的评定(比较板法)》是参照 ISO 8503 所制定。

涂装前表面粗糙度主要依靠调整磨料粒度大小、形状、材料和喷射速度、作用时间等工艺参数来控制,其中以磨料粒度大小对粗糙度影响较大,见表 2。

表 2 磨料粒度大小相对应的粗糙度

磨料及牌号	最大粒度/目	最大粗糙度/ μm
钢砂 G80	通过 10	32.5~75.0
钢砂 G50	通过 25	82.5
钢砂 G40	通过 18	90
钢砂 G25	通过 16	100
钢砂 G16	通过 12	120
钢丸 S-170	通过 20	45~70
钢丸 S-230	通过 18	75
钢丸 S-330	通过 16	82.5
钢丸 S-390	通过 11	120
特细砂	通过 80	37
细砂	通过 12	70

ISO 8503 标准规定了显微测量法、触针测量法和 ISO 表面粗糙度基准比较样块 3 种评定办法。实际上仍采用传统的用带有探针和刻度表的 Elcometer123 粗糙度测量仪,或用 RUGOTEST No.3 或 COATTEST 标准比较样板等方法测量或评定表面粗糙度。

1.4 二次除锈

新造船在涂有车间底漆的钢铁表面进一步涂装前,必须进行二次除锈,对搁置期间产生的锈蚀和老化,均须进行重新除锈,即二次除锈。如果是维修船舶就不用二次除锈了。

1.5 湿喷射处理(磨料水射流除锈)

湿喷射处理使用水和砂混合砂浆,又称磨料水射流除锈,其实就是在高压纯水射流中添加一定数量且具有一定质量的磨料粒子而形成的液固两相射流。因为磨料硬度比较大,而且都是带有棱角的细小颗粒,因此与水混合后对锈层的冲击力和磨削力要比纯水射流大得多,从而大大提高了除锈效果和效率,并且相对应的水压也要低得多。由于水的润湿作用,磨料与船体表面的钢板接触,磨料粉碎后不会产生扬尘。

1.6 高压水喷射除锈

高压水喷射除锈,将高压水枪的喷头置于待除锈的船体表面上,一般选择高压水枪的垂直作用位置射出水流,使其垂直于待除锈的船体表面。高压水泵的泵口直径与喷头及软管的径管连接要匹配,以保证高压水泵的出水量和水压能够满足除锈的要求。在对锈层进行除锈时,首先要水平扫动,再逐渐增加到去锈层。在清理过程中,要注意以较小的击中角度攻击锈层,以避免撕裂锈层,防止后续撕裂,避免留下隐患。施工结束后,及时用清水将船体表面冲洗干净,对于钢结构表面等易锈材料,要对其表面进行防锈处理。

低压水清洁:工作压力小于 680 kPa;高压喷水清洁:工作压力 680~1 700 kPa;超高压喷水清洁:工作压力大于 1 700 kPa

1.7 清理方式的比较

几种清理方式的比较见表 3。

表 3 清理方式的比较

清理方式	结果	可达到标准等级
喷砂清洁	理想	Sa1, Sa2, Sa2.5
动力磨具	差于喷砂清洁,但仍不失为最佳替代方法	St2, St3
动力钢丝刷	存在非预期抛光的巨大风险	St2, St3
手动钢丝刷	不推荐,非常差	接近 St2
手工刮产	结合其他方法可使用	

当确认原有的涂料后,施工后续涂层应遵循如下

原则：尽量使用同样干燥类型的涂料覆涂；一般情况下，不要在弱溶剂的涂料表面施工强溶剂的涂料。

2 涂料施工

船舶涂料的作用主要有两个，一是保护船体，从而保护船东的投资利益；二是装饰船只，使其清洁美观，保养良好的船只体现了效率和生活工作的舒适性。

船舶的保养质量一方面基于对底材的处理质量，另一方面也在于选用的涂料系统和对该系统的施工质量。保养涂料应当容易使用、便于操作，无论喷涂、辊涂和刷涂都应适用，而且应快干、表面易清洁，对环境和操作使用人员的危害应尽可能地小。

2.1 环境条件的控制

环境条件主要指涂料施工和干燥/固化阶段的大气温度、环境相对湿度、底材温度和空气露点温度。

1)环境相对湿度超过 85%时，不可施工任何品种的涂料，因为在这种情况下，涂料中溶剂将无法顺利挥发，包含在涂料中的溶剂将导致涂层起泡、不干等。

2)施工时，底材温度必须高于空气露点温度至少 3℃以上，空气的露点温度代表着底材表面结露的可能温度。如果底材温度达不到上述要求，将存在极大的凝露可能性，此时施工的涂料水分凝留将可能产生气泡、剥落、开裂等弊病。还应避免在雨雪和有雾时施工涂料。

3)施工涂料时，应注意大气温度和底材温度，对于那些有温度依赖的涂料，需按建议的温度施工。当底材温度过高时，注意谨慎施工，过高的底材温度将降低施工涂料的黏度，造成流挂，同时也会因溶剂挥发过快而造成皱纹、针孔、流平性不佳等弊病。

2.2 涂料的膜厚的控制

有许多人员对涂料的膜厚都有一种误解，认为漆膜越厚，防护性能越好，其实过高的膜厚未必能带来良好的防护效果，反而可能会引起开裂、结合力差、慢干或不干等漆膜弊病。

在船舶上，尤其在船龄较大船上，通常会发现一些部位的涂层膜厚在 1 000 μm 以上，有的部位甚至高达 2~3 mm，还有涂层开裂等情况，而这些部位往往都是经过多年保养，涂层厚度逐年积累，最终产生这一状况的。在这种漆膜上再施工涂料往往是徒劳的，因为后续的涂层仅仅是施工在老化的涂层上，它未能起到应有的防护作用；另一方面，有些施工人员认为可以用后续涂层来填补老旧的裂隙，或者封闭老旧涂层，其实这种做法同样是不可取的。

膜厚的控制常采用湿膜和干膜测厚两种方法。测定湿膜厚度主要是为了帮助施工人员掌握正确的喷涂

速率，以使成膜后的厚度在规定的范围内。干膜厚的测定主要是在涂料干燥后，目的是检验施工的涂层是否达到规定的厚度，指出缺陷部位以便适当地补喷至规定厚度。

在船舶保养过程中，由于多使用刷涂和辊涂，一次成膜较低，需多涂层施工，在这种情况下，使用湿膜测厚仪是较理想的方法。湿膜测厚仪应当在刚施工涂层后立即使用。通过检查仪器齿梳上涂料黏着情况，结合仪器上的读数，判断湿膜厚度。可按以下公式计算出干膜厚度：干膜厚度=湿膜厚度×固体百分含量(体积)/100。

对于大面积的修理，也可按不同部位的面积和喷涂泵所要使用的涂料量来保证涂料均匀分布，此方法常用于船壳涂料的施工。

3 涂料的干燥和固化

所有的涂料只有在其完全干燥/固化后才能达到最佳的机械强度和防护性能。在涂料未完全干燥/固化时，使涂层承受机械应力是一种浪费，既浪费了涂料，又浪费了人力。

3.1 涂料的干燥/固化过程

湿漆膜：指涂料刚施工至面干阶段，这一阶段的涂层呈现为胶状，不可触碰，同时应避免粉尘、雨水、高湿度和其他污染物的黏附。

表干：指涂层表面干燥至可触摸阶段，此时绝大部分的溶剂已挥发，但涂料还不可承受机械应力，表面虽已不会黏附粉尘等污染物，但还是应避免水的浸泡。

硬干：指涂层即使在按压之下也不会产生移位和流动，涂层已表现为固态，此时进行运输、装配是可以接受的。

完全固化：此称谓适用于化学/氧化固化的涂料，完全固化的涂料表现出其最大的机械强度和抗化学性能。

3.2 涂料的选用

涂料的选择应综合考虑多方面因素，其中需要考虑选用的产品是否符合各方面的规范和法规要求，有些国家出于对安全、环境和人体健康的考虑，有相关的法律法规限制。船东在选择涂料时会考虑涂料系统的成本效益并能达到要求的使用寿命，平时易于检验、维修和保养。对于操作而言，他们更倾向于使用廉价的施工方法、适宜于其本身采用的标准和规范、便于施工、少涂层高膜厚、能提供较高生产效率、无覆涂间隔、气候耐受性及表面容忍性好、低溶剂或无溶剂、可采用各种施工工具施工的产品，同时需要考虑长期使用成本和涂料系统的耐久性。

对于保养涂料的选用，更多的是（下转第 60 页）