

# 海洋钢结构涂料固化成膜阶段涂层质量缺陷分析与控制

刘书法

(海洋石油工程(青岛)有限公司, 山东 青岛 266520)

**摘要:** 针对海洋钢结构涂装施工过程中涂料固化成膜阶段常见的涂层质量缺陷进行总结, 对缺陷产生的原因进行分析, 并给出了对应的现场处理方法。同时从施工和质量两个方面对于涂层质量缺陷给出了相应的预防管理措施及现场质量控制建议, 以期后续其他涂装项目施工过程中控制涂料在固化成膜阶段相关涂层质量缺陷的发生提供参考。

**关键词:** 钢结构; 涂料; 固化成膜; 质量缺陷

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)10-0021-03

## Analysis and Control of Coating Quality Defects during the Curing and Film Forming Stage of Offshore Steel Structure Coatings

LIU Shu-fa

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

**Abstract:** This article summarizes the common coating quality defects during the curing and film-forming stage of marine steel structure coating construction, analyzes the causes of defects, and provides corresponding on-site treatment methods. At the same time, corresponding preventive management measures and on-site quality control suggestions have been provided for coating quality defects from both construction and quality aspects, in order to provide reference for controlling the occurrence of coating quality defects during the curing and film-forming stages of other coating projects in the future.

**Key words:** steel structure; coating; curing and film-forming; quality defects

### 0 引言

海洋环境中的钢结构通常会在表面涂覆涂料形成涂层来抵挡环境腐蚀介质的腐蚀, 因此涂层质量的好坏直接影响着钢结构使用的年限, 进而决定海洋工程设施装备的服役寿命<sup>[1]</sup>。钢结构在涂装过程中由于人员、设备、环境等因素影响产生的涂层质量缺陷会破坏涂层的完整性并降低涂层的使用寿命, 因此在涂装施工过程中应该严格按照项目规格书及施工程序进行施工并加强现场相关的质量控制, 以此来避免涂层质量缺陷的发生。

通常情况下涂层质量缺陷按照施工环境、施工工艺等影响因素划分为涂装施工涂覆阶段和固化成膜阶

段两类<sup>[2]</sup>, 本文针对海洋钢结构涂装施工过程中涂料固化成膜阶段常见的涂层质量缺陷进行总结, 对缺陷产生的原因进行分析, 并给出对应的现场处理方法。同时从施工和质量两个方面对涂层质量缺陷给出了相应的预防管理措施及现场质量控制建议, 以期后续其他涂装项目施工过程中控制涂料在固化成膜阶段相关涂层质量缺陷的发生提供参考。

### 1 涂层质量缺陷

涂料在固化成膜阶段的涂层质量缺陷是指涂料涂覆后在涂料反应固化过程中及涂层成膜后由于外界环境变化、自身涂料性质等影响而造成涂层质量与所规定技术要求的偏差。表1所示为海洋工程钢结构涂料固化成膜阶段常见的涂层质量缺陷。

### 2 成因分析及处理方法

#### 2.1 刷痕

涂料涂覆一般采用无气喷涂方式进行施工, 预涂

收稿日期: 2025-03-06

作者简介: 刘书法(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: liushf15@cooec.com.cn。

和局部小范围修补等不适合喷涂的区域可以使用刷涂,刷涂应使用十字交叉法使涂层尽可能均匀、平滑,达到施工要求的涂膜厚度。但由于手工刷涂控制较差,漆膜干燥后表面极大概率会呈现出高低不平的不均匀条状,形成严重的刷涂痕迹。因此在涂料刷涂施工中如涂层表面出现严重刷痕则需用砂纸进行打磨后重新进行刷涂修补。同时对于高固体分涂料不建议进行刷涂施工。

表 1 固化成膜阶段常见的涂层质量缺陷

涂层缺陷	现象
刷痕	涂层表面呈现出高低不平的不均匀条状
胺析出(发白)	涂层表面出现局部或大面发白发花的现象
粉化	涂层表面出现粉状污染,表面光泽度降低
起泡	涂层表面出现或大或小的鼓泡
剥落	涂层附着力缺失,出现层间分离或涂层与底材分离
开裂	涂层表面形成裂纹
咬底和起皱	涂层表面整个或部分涂料漆膜存在小皱纹
橘皮	涂层表面形如橘子皮的粗糙表面
渗色	前道涂层颜色渗透到后道涂层上面
变色和褪色	日光照射或化学物质的侵袭使得涂层表面变色或漂白

## 2.2 胺析出(发白)

对于胺固化的环氧类涂料,当涂料的固化阶段处于湿润寒冷的大气环境中时,空气中的水汽会沉降在没有固化的涂料表面,涂料中的胺便会与空气中的二氧化碳和水分发生化学反应形成铵盐,就会使得涂膜表面发黏并呈现起霜发白,这种现象就是胺析出。

胺析出发生后,在进行涂料覆涂前必须将胺析出清除干净,以防止覆涂后涂层间出现附着力不良的情况。由于胺析出的铵盐是可以溶于水的,因此在进行涂料覆涂施工前可以使用干净的温水将铵盐抹掉,或者用砂纸进行拉毛将胺析出打掉。此外当双组分涂料固化剂和基料进行混合后,给予一定的熟化时间可以有效减少胺析出发白的概率<sup>[9]</sup>。

## 2.3 粉化

粉化是一种涂层的表面现象,主要是因为树脂受紫外线影响,与环境中的水分、氧气和污染大气发生了反应,使得树脂分子发生了分解,涂层表面仅剩颜料和填料等颗粒。有研究表明,颜料对粉化也有一定的影响,比较典型的如锐钛型二氧化钛,其在所有的树脂中都极其容易粉化,而金红石型二氧化钛配制的涂料耐候性能则比较优异。

环氧涂料是钢结构涂装防腐中最为广泛使用的涂料,但环氧涂料的耐候性能较差,在日光照射下粉化反

应发生迅速。丙烯酸树脂、醇酸或环氧改性树脂、聚氨酯、有机硅醇酸等涂料耐紫外线性较强,保光保色性良好,具有优异的耐候性能。因此海洋工程钢结构在施涂环氧涂料后,会继续施涂一道聚氨酯或硅烷涂料,以此来抵挡日光照射,防止涂层粉化失效,失去防腐效果。

## 2.4 起泡

起泡是一种比较复杂的与附着力有关的涂层质量缺陷,涂层起泡后的气泡里面可能存在空气、液体、结晶体等介质。起泡可以发生在涂层与底材、涂层与涂层、单一涂层间的各种位置。起泡通常表现为涂层表面凸起半球泡状。涂层与钢结构的附着力、涂层间的结合强度、泡内压力等都会影响起泡的大小。当涂层表面产生起泡时要将原有涂层进行喷砂处理或打磨清除至底材,然后对起泡区域重新进行涂料修补。

通常情况下引起起泡的主要原因有渗透压起泡、附着力差起泡、阴极剥离起泡、吸附起泡、溶剂残留起泡等<sup>[9]</sup>。其中渗透压起泡是由于涂层中含有可溶性物质(可溶性盐、可溶性颜料),钢结构一侧的涂层可溶性溶液浓度较高,外界水汽就会在渗透压的作用下向内部渗透,从而形成起泡;附着力差起泡是因为在涂覆涂料前钢结构表面上存在油脂、灰尘等杂质或者在总装区域烧焊位置烧烟、焊烟等未清除干净,涂层覆盖在上面就会使涂层的附着力降低,外界水汽会聚集在涂层低附着力位置并向内渗透引起涂层起泡;阴极剥离起泡是由于钢结构同时采用涂层及阴极保护进行防腐防护,过强的阴极保护作用使涂层中产生氢气从而引发起泡;吸附起泡是由于大气中的 $H_2S$ 、 $CO_2$ 等腐蚀性气体吸附在涂层表面,之后穿过涂层与钢结构发生反应使涂层表面起泡;溶剂残留起泡是由于涂料在固化成膜阶段溶剂挥发不良,如果涂层表面成膜太快会使涂层内部溶剂残留在涂层中,之后温度过高或者溶剂聚集向外挥发时都会引起涂层起泡。

## 2.5 剥落

涂层剥落可能发生在钢结构/涂层之间或者涂层自身之间。表面喷砂或打磨处理不彻底、底材或涂层表面清洁不干净、施涂后道涂层时前道涂层超过了覆涂间隔、涂层间涂料系统不配套等原因都可能会引起涂层剥落<sup>[9]</sup>。涂层发生剥落则表明涂层附着力出现了问题,因此要将剥落的涂层全部清除掉重新进行涂料修补,在修补之前应确保待涂装的钢结构表面清洁干燥,如果是由于超过覆涂间隔所引起的涂层剥落,则应采用砂纸进行拉毛至涂层表面发白后再进行涂装。

## 2.6 开裂

涂层开裂可以分为细裂、开裂、龟裂 3 种。细裂是

涂料中树脂和颜料不匹配、温度变化过快等造成涂层表面出现微小裂纹,细裂只发生在涂层表面并未向涂层内部渗透,但受外界环境影响细裂可能会进一步发展;开裂是由于表面涂层收缩速度大于内部涂层或者内部涂层中产生的应力超过涂层自身的强度所造成的,开裂时会产生涂层内部裂纹和贯穿涂层的裂纹两种;龟裂通常发生在无机富锌漆上,裂纹遍布整个涂层表面且直达底材。龟裂发生的原因是由于无机富锌漆中锌含量较高,溶剂挥发速度较快,一旦涂层过厚应力释放不及时就会产生龟裂。当涂层出现开裂时,应将开裂涂层全部去除后,按照程序要求进行表面处理后再进行涂料涂装施工。

### 2.7 咬底和起皱

强溶剂涂料覆涂于传统型涂料表面或者底漆未完全干燥便施涂下道漆,溶剂会将上道涂料软化溶解引起涂层咬底;涂层的起皱容易发生在涂层较厚的区域,涂层表面固化速度高于涂层内部便会造成表面发生起皱。同时温度变化也会造成涂层起皱,夏季太阳直射温度过高、冬季现场温度较低,涂层内部和表面的固化速度差异过大都会引发起皱。涂层出现咬底和起皱后均需将其去除并重新进行涂装施工。

### 2.8 橘皮

涂料不良的流平或流平性不一致(漆膜太厚或温度太低)、涂料雾化不良、稀释剂挥发太快、喷枪太靠近表面从而造成涂层固化后形成粗糙如橘子皮的涂层表面即为橘皮。当涂层表面出现橘皮时应使用砂纸/磨机等工具将其打磨平整后重新进行修补。

### 2.9 渗色

渗色是指前道涂层中的颜色渗透到面漆涂层中而造成涂层表面颜色发生变化。涂层出现渗色是由于前一道涂层的颜料被后道涂层内的溶剂所溶解,前道涂层的颜料会进入后道涂层中去;此外如果钢结构进行无损检测后着色剂未清理干净便施涂涂料,着色剂也会渗入到涂料涂层中。涂层表面一旦出现渗色便需要进行冲砂处理并重涂涂料。

### 2.10 变色和褪色

由于日光照射或化学物质的侵袭使涂层中树脂和颜料发生老化变质,便会在涂层表面发生变色或褪色。例如芳香族的聚氨酯、环氧树脂类涂料等会在紫外线的影响下变黄,含铅颜料的面漆会在含硫大气中变深和变黑。涂层轻微的变色/褪色可用砂纸进行拉毛后重涂,如果是由于涂层老化或者失效所引起的变色/褪色则需要将涂层整体打掉后再重新进行涂装。

## 3 施工管理

涂料在固化成膜阶段产生的涂层质量缺陷应从施

工管理方面进行预防控制。涂装施工前要确保涂装施工现场按照相关程序要求使用对应的涂料体系,同时涂料应在使用有效期之内。待涂装的钢结构表面经过表面处理后需要保持清洁干燥,粗糙度、盐分、灰尘度等检验测试都应达到规定数值要求,单道或多道涂料覆涂应按涂料说明书中关于覆涂间隔时间的要求进行施工。涂料成膜后的涂层厚度应符合涂料制造商的要求,涂层厚度过高和过低都会产生对应的涂层质量缺陷。

涂装施工过程中应提前考虑人员、设备、环境等因素的影响<sup>6)</sup>,对施工人员定期组织施工培训,确保施工人员掌握相应的操作技能,并对项目涂装施工要求有明确的认知;对涂装设备定期进行检查保养,确保相关涂装设备能够符合项目要求并安全正常运行;对于涂料固化成膜阶段的环境应满足项目规格书和涂装施工程序要求,不应将尚未完成固化反应的涂膜置于低温及雨雪天气中,对于环境温湿度应实时进行监测记录,如出现不满足施工要求的温湿度则应及时进行调整。

## 4 质量控制

涂装施工管理过程中应建立质量控制台账,注重涂装施工过程中质量的控制工作。在涂装施工全流程中定期开展施工人员质量培训工作,对于涂装规格书和施工程序中的要求及常见的涂层质量缺陷进行现场讲解,强化施工人员的施工质量意识。现场张贴涂装施工工艺卡及涂装标准化工艺样板,开展涂装技能培训,通过班前会的形式进行质量宣贯,使施工人员能够掌握涂装施工标准和相关质量要求。同时要求施工单位按照相关程序规范配备等比例的自检员,自检员应具备涂装质量控制工作经验并通过项目考试认证,自检员、施工班组长、检验员应形成自检-巡检-互检-报检的交叉检验制度,以保证涂装施工过程中的涂装质量。

涂料施工涂覆至钢结构表面后的固化成膜阶段要加强现场的质量控制工作,做好施工过程中清洁工作的巡检与报检控制工作,加强对现场施工环境(温湿度条件)的检查控制<sup>7)</sup>,对于涂料应着重检查是否在有效期内及对应涂层配套是否正确,对于双组分涂料应严格按照涂料说明书中的配比进行混合,不能随意添加其他系统配套的固化剂及稀释剂。双组分涂料应整桶进行混合,并给予一定的搅拌混合时间。由于固化成膜阶段的涂层质量缺陷非常容易被发现,因此应要求现场施工单位加强质量自检与互检,对于现场发现相应涂层缺陷应严格按照规格书和施工程序等文件进行处理,从而保证涂层的质量及防腐性能。

## 5 结语

在高盐、高湿的恶劣海洋环境下钢(下转第 59 页)