NACE
INTERNATIONAL

NACE SP0108-2008
Item No. 21126

标准规范

使用防护涂层对海上平台结构进行腐蚀控制

This NACE International standard represents a consensus of those individual members who have reviewed this document, its scope, and provisions. Its acceptance does not in any respect preclude anyone, whether he or she has adopted the standard or not, from manufacturing, marketing, purchasing, or using products, processes, or procedures not in conformance with this standard. Nothing contained in this NACE International standard is to be construed as granting any right, by implication or otherwise, to manufacture, sell, or use in connection with any method, apparatus, or product covered by Letters Patent, or as indemnifying or protecting anyone against liability for infringement of Letters Patent. This standard represents minimum requirements and should in no way be interpreted as a restriction on the use of better procedures or materials. Neither is this standard intended to apply in all cases relating to the subject. Unpredictable circumstances may negate the usefulness of this standard in specific instances. NACE International assumes no responsibility for the interpretation or use of this standard by other parties and accepts responsibility for only those official NACE International interpretations issued by NACE International in accordance with its governing procedures and policies which preclude the issuance of interpretations by individual volunteers.

Users of this NACE International standard are responsible for reviewing appropriate health, safety, environmental, and regulatory documents and for determining their applicability in relation to this standard prior to its use. This NACE International standard may not necessarily address all potential health and safety problems or environmental hazards associated with the use of materials, equipment, and/or operations detailed or referred to within this standard. Users of this NACE International standard are also responsible for establishing appropriate health, safety, and environmental protection practices, in consultation with appropriate regulatory authorities if necessary, to achieve compliance with any existing applicable regulatory requirements prior to the use of this standard.

CAUTIONARY NOTICE: NACE International standards are subject to periodic review, and may be revised or withdrawn at any time in accordance with NACE technical committee procedures. NACE International requires that action be taken to reaffirm, revise, or withdraw this standard no later than five years from the date of initial publication. The user is cautioned to obtain the latest edition. Purchasers of NACE International standards may receive current information on all standards and other NACE International publications by contacting the NACE International First Service Department, 1440 South Creek Drive, Houston, Texas 77084-4906 (telephone +1 281-228-6200). NACE Standard TM0108-2008 Item No. 21252 NACE SP0108-no. 21126

Approved 2008-3-15
NACE International
1440 South Creek Drive
Houston, Texas 77084-4906
+1 281-228-6200
ISBN: 1-57590-218-4
© 2008, NACE International

前言

海上平台结构建设需要花费大量的投资，并且分布在世界各地。此外，越来越多的海上平台结构将处于深海区，因此，它们将会越来越庞大，结构越来越复杂，费用也越来越昂贵。海上平台的腐蚀控制对于维持油、气的正常生产、提供安全的工作和生活保障、避免对环境的潜在损害都是十分必要的。在这个标准中，海上平台结构包括固定腿式平台（fixed-leg platforms）、张力腿式平台（tension-leg platforms，TLPs）、半潜式钻井平台（semisubmersibles）、筒状平台（spar platforms）和浮式生产储存和卸货装置（floating production storage and offloading vessels，FPSOs）。

这个 NACE 标准适用于业主从事腐蚀控制的代表、涂装施工方及涂料制造商。它论述了了涂层材料、涂层测试协议、涂装施工、质量保证与控制以及修补方法。也描述了常用防护涂层体系和法兰、紧固件、管道支架以及不锈钢管件的腐蚀控制。其目的是通过总结和提供与此相关的可靠信息，促进海上平台结构防腐蚀保护措施的有效性提高，同时也为涂料制造商开发更适用的产品提供指南。

这个标准取代了 NACE RP0176。RP0176 最早是由北海腐蚀问题任务小组（Task Group (TG) T-1-2 on North Sea Corrosion Problems）于 1976 年颁布并于 1983 年修订。回顾 NACE RP0176，它是由 Specific Technology Group (STG) 30 on Oil and Gas Production: Cathodic Protection 管理的。在 2007 年之前的 RP0176 的所有版本中，都描述了油气生产相关的钢质海上平台腐蚀控控制的两个方面：即阴极保护和防护涂层。因此，SP0176[2] 由 TG 170 and STG 30 在 2007 年颁布，主要另外描述阴极保护方面，而 TG 313—Offshore Platforms: Coatings for Corrosion Control of Steel 负责更详细地描述防护涂层方面. TG 313 is administered by STG 02—Coatings and Linings, Protective: Atmospheric. This standard is issued by NACE under the auspices of STG 02.

在这个标准中，词语“应该”、“必须”、“宜”、“可以”的定义是和 the NACE Publications Style Manual 中的定义一致的。“应该”和“必须”用来表述某个强制性要求；“宜”表述某种好的事情，是推荐性的而不是强制性的；“可以”表示某种事情是选择性的。

NACE 国标标准规范

使用防护涂层对海上平台结构进行腐蚀控制

1．总则----4
2．术语和定义----5
3．防护涂层体系----8
4．典型的常用防护涂层体系----12
5．涂层体系的资格认证测试----20
6．表面处理----26
7．涂层材料和施工----12
8．质量保证和控制----33
9．涂层修补----38
10．法兰的腐蚀控制----39
11．紧固件涂层----40
12．管架的腐蚀控制----41
13．小口径不锈钢管件的腐蚀控制----42
14．健康、安全和环保----43
参考资料----44
表格：
表 1. 干膜中的最大金属含量----26
表 2. 例行批次检验报告----27
表 3A. 典型的大气区碳钢新建防腐用涂层体系----12
表 3B. 典型的大气区碳钢维修防腐用涂层体系----13
表 4. 典型的大气区不锈钢新建和维修防腐涂层体系----14
表 5. 典型的大气区非铁金属新建和维修防腐涂层体系----15
表 6A. 典型的浪溅区碳钢新建防腐涂层体系----16
表 6B. 典型的浪溅区碳钢维修防腐涂层体系----17
表 7A. 典型的浸水区碳钢构件外部新建防腐涂层体系----17
表 7B. 典型的浸水区碳钢构件外部维修防腐涂层体系----17
表 8A. 典型的压载水舱碳钢新建防腐涂层体系----18
表 8B. 典型的压载水舱碳钢维修防腐涂层体系----18
表 9. 涂层材料的指纹----19
表 10. 大气区和浪溅区涂层体系的测试协议----20
表 11. 压载水舱、空舱、海水收集舱和浸水区构件外部涂层体系的测试协议----21
表 12. 海上平台结构涂层测试的验收准则----22
表 13. 表面处理后最终级别----26
表 14. 磨料技术要求----28
表 15. 总可溶性氯离子最大含量----34
译者后记----46

第 1 章：总则

1.1 对于与油、气生产相关的海上平台结构及相关操作设备上的防腐蚀保护涂层的最低要求的确立，本标准提供了指南（方针、准则）。它涵盖了涂层材料、涂层资格认证测试方法和验收准则、表面处理、涂装施工、质量保证与控制和涂层修补方法。也涵盖了典型防护涂层体系、法兰的腐蚀控制、紧固体涂层、管架的腐蚀控制和不锈钢管件的腐蚀控制。海上平台结构包括金属的离岸平台和近海的结构，如系泊平台、张力腿平台（TLPs）、半潜式钻井平台、筒状平台及浮式采油、储油和卸油系统（FPSOs）。

1.2 在这个标准中，海上平台结构的腐蚀被分为四类区域：大气区、浪溅区、浸水区构件外部和压载水舱（内部浸于水中）。浸水区构件外部也包括海底设施，例如阀门（Valves）和集合管（Manifolds）。每个区域可能采用不同的防护涂层体系。

1.3 这个标准不包括在海上平台结构上可能用到的海底管道、海洋立管（Pipeline risers）、生产油管内表面、钻管（杆）和化学品贮槽等。但包括了在海上平台结构中大气区的化学品贮槽的外部防护。

1.4 被动防火保护（PFP）涂层和浪溅区用的镍铜合金（例如 UNS [1] N04400[400 合金]）防护套也未涵盖在这个标准中。

第 2 章：术语和定义

胺霜（Amine Blush）：因为涂料中胺或聚胺固化剂与二氧化碳及水反应而导致的在涂层表面形成的一层油脂性的膜。（它可能极大地妨碍层间附着力。）

大气区（Atmospheric Zone）：海上结构从浪溅区向上延伸的部分，只暴露在太阳光、风、水雾和雨水下。

阴极剥离（Cathodic Disbondment）：因为阴极反应产物而引起的涂层与已涂装表面间的附着力丧失。

涂层/道/度（Coat）：以单次、连续的施工涂料到被涂表面而形成的连续的一层干膜。

涂层体系（Coating System）：按照既定要求施工到基材上的全部涂层数量和类型。

测试协议（[Coating] Test Protocol）：通过标准试验方法评估某个涂层性能的书面检查表，以验证该涂层具有用于某特定环境条件下的资格。

缩孔/火山口（Crater）：涂层中一个小的圆形凹陷，通常是因为湿涂膜中已存在的或侵入的外来物质引起的。

隙间腐蚀（Crevice Corrosion）：因为金属太靠近另一种材料表面，而在金属表面产生的局部腐蚀，并会向其它完全暴露在环境下且没有防护措施的部位蔓延。

干膜厚度（DFT）：干燥后的膜（涂层）的厚度。

边缘保持性（Edge Retention）：一个尖的角铁的尖端的整个多涂层体系平均 DFT 和其平整表面平均 DFT 的百分比。用以衡量某种涂料在尖角的覆盖能力。

环氧（Epoxy）：一种由脂肪族或芳香族多羟基化合物（如双酚 A）与环氧氯丙烷反应而形成的树脂，末端带有反应性的环氧基。

指纹（Fingerprinting）：通过实验室分析其密度、固体含量、颜料含量等来鉴定涂层材料的方法。（红外[IR]光谱分析经常采用。）

鱼眼（Fish Eye）：在施工后的湿膜中形成的极像鱼的眼睛一样的小凹坑或缩孔。

热浸镀锌涂层（Hot-Dip Galvanized Coating）：将钢铁浸入锌熔池中而涂覆上的一层几乎是纯锌的涂层。

漏点（Holiday）：防护涂层中不连续的断点，导致该部位暴露在环境中。

无机富锌涂料（Inorganic Zinc-Rich Coating）：以无机物为基料的含有金属锌颜料（典型的干膜金属锌含量是 75%重量含量或更多）的一类涂料。

氧化皮（Mill Scale）：金属表面在热加工或热处理过程中形成的氧化层。

泥线（Mud Line）：所在部位的海底。

桔皮（Orange Peel）：干膜上极像桔子皮的凹凸不平外观。

有机富锌涂料（Organic Zinc-Rich Coating）：以有机树脂为基料的含有金属锌颜料（典型的干膜金属锌含量是 75%重量含量或更多）的一类涂料。

管线（Pipeline）：海上结构之间或者海上结构与岸上生产设施之间用于执行生产任务的油、水、气管道。

平台（Platform）：用于支撑油和/或气井、相关生产设施、管线和/或生活设施的离岸结构。

使用期（Pot Life）：在所有组份均匀混合后，可有效施工的时间限制范围。

预涂底漆/预处理底漆（Prefabrication Primer）：施工于经喷射清理表面，用于在建造过程起暂时防护作用，允许焊接和切割的快干薄涂涂料。

底漆/底涂层（Primer/Primer Coat）：施工于无涂层表面的第一道涂料。具有特定组成以提供附着力和保护表面，也为后道涂层提供合适的表面。

树脂（Resin）：用于表示作为涂料基料的任何天然的或人工合成的聚合物的通称。

覆涂间隔（Recoat Window）：后道涂料可以成功施工于该表面的涂料干燥和固化时间期限。

锈蚀蔓延（Rust Creepage）：某涂层的渗透深度和从涂膜的划痕或漏点处的锈蚀或脱落蔓延现象。

贮存期/有效期（Shelf Life）：在规定贮存条件下，包装好的材料（例如涂料）保持可使用性的最长时间。

浪溅区（Splash Zone）：海洋结构上间歇被波浪、风吹起的水雾及潮水润湿的部分。仅仅因为暴风雨才会被润湿的部位不包括在内。

预涂层/条涂层（Stripe Coat）：在整个表面开始涂装前，预先施工于边角、焊缝等处的涂层。预涂层/条涂层用来为这些部位提供足够的涂膜以抵御腐蚀。

浸水区（Submerged Zone）：海洋结构中总是浸于水中的表面区域。由浪溅区延伸向下，包括在泥线以下的部分。

表面粗糙度/轮廓（Surface Profile）：在喷射清理或动力工具清理后形成的裸金属表面

不规格的峰谷和峰顶轮廓。

热塑性（Thermoplastic）：某种材料可重复性地遇热变软、遇冷变硬的能力。

热固性（Thermoset）：经受过由于热和压力、催化剂、UV 光作用而导致的化学反应的材料，处于相对不熔不溶状态。

稀释剂（Thinner）：用于降低涂料粘度的挥发性溶剂。

面漆（Topcoat/Finish Coat）：涂层体系的最后最上面涂层。

湿膜厚度（WFT）：在施工后、溶剂释放或干燥发生前立即测量的湿涂层的厚度。

富锌底漆（Zinc-Rich Primer）：用作底漆的无机富锌涂料和有机富锌涂料的通称。

第 3 章：防护涂层体系

3.1 总则

因为在现场进行涂层维修施工的费用要大大高于在工厂施工，因而仅仅只有通过资格认证测试的涂层体系才能被设计用于新建和维修（防腐）。除了优良的涂料性能，一个成功的涂层体系也需要正确的表面处理、涂装施工、质量保证和质量控制程序。

3.2 液体涂料

液体涂料通用以由底漆、中涂层和面漆组成的多涂层体系形式用于离岸海上平台结构，以防止漏点和薄弱点。

3.2.1 底漆

底漆是涂层体系中最紧要的。通常，底漆至少具有三种防腐蚀保护原理中的一种防腐蚀保护功能，这三种防腐蚀原理是屏蔽、缓蚀（腐蚀抑制）和牺牲阳极（阴极保护）。

3.2.1.1 屏蔽型底漆：用于浸渍环境时，底漆通常为不含锌和腐蚀抑制剂的屏蔽型环氧涂料。鳞片状颜料，如铝粉、玻璃鳞片或片状云母氧化铁，都可用于增强涂层对水和氧的屏蔽性能。

3.2.1.1 富锌底漆：这类底漆为具有高含量锌粉的有机或无机富锌涂料。底漆中锌粉含量以质量计不低于油漆不挥发份的 80%。锌粉应符合 ASTM D520 [2]（Ⅱ型或Ⅲ型）或 ISO 3549 [3] 标准要求。因为锌很容易和酸及强碱发生反应，当用于海上平台结构时，由于会与碱性钻探泥浆和酸性完井液接触，富锌底漆上应覆涂具有耐化学品性能的涂层。而且，应小心保证在覆涂前富锌漆涂层表面是清洁的。因为富锌底漆涂膜是多孔状态，淡水清洗或动力打磨可用于除去污染物。无机富锌底漆，当涂层损坏时，通常采用有机富锌涂料修补。因为富锌涂层用于浪溅区和浸渍环境时，自身会快速消耗，引起（涂层）快速损坏或失效，因此，在这些区域应采用其它涂料。

3.2.1.3 有机缓蚀型底漆：这类涂料含具有腐蚀抑制功能的颜料，当与潮气接触时，能够形成碱性或离子环境以延缓基底金属腐蚀。因为这类底漆通常含有活性（反应型）颜料并只是防护涂层体系的一部分，它们必须被覆涂以有效地和环境隔离。有机缓蚀型底漆必须符合所有关于毒性、安全和环保标准的适用法规要求。涂层设计者应该注意到在浪溅区和浸渍环境下，一些缓蚀颜料会缩短涂层体系的寿命。

3.2.2 中间涂层和面漆

用于海上平台结构的底漆应覆涂中间涂层和面漆。这些涂层作为屏障层，以延缓和阻止水气、氧和腐蚀性化学介质。面漆还可以提供耐磨性、耐冲击、耐 UV 光和耐溶剂性能，一些面漆也提供美观装饰功能。一般中间漆和面漆的特征如下：

3.2.2.1 化学固化热固性涂料：这类材料通常是环氧、环氧酚醛、聚酯或乙烯酯。

3.2.2.2 聚氨酯或聚硅氧烷：这类涂料只用于大气区以提供耐 UV 性能。通常，聚硅氧烷比聚氨酯能提供更好的耐 UV 性能。

3.3 热喷涂铝涂层（TSA）

3.3.1 热喷涂铝涂层（不论火焰喷涂还是电弧喷涂）表面采用有机涂层封闭被应用于大气区和浪溅区，特别是如火炬臂这种高温部位。表面处理应达到 NACE No. 2/SSPC[4]-SP 10[5] 或 NACE No. 2/SSPC-SP 5[6] 级表面清洁度标准。施工时，应采用 99%纯度及更高纯度的铝或 Al-5Mg 铝镁合金，施工时采用两两个或多个喷道（Spray passes）。封闭漆能够增强有效寿命和改善外观。

3.3.2 封闭漆应适当稀释以利渗透进 TSA 体内和封闭表面孔隙。封闭漆应具有不同于 TSA 的颜色以便进行目视检查。封闭漆施工在 TSA 表面后，形成的覆盖层应不低于 38μm（1.5 密耳）。在工作温度不超过 120℃（248℉）时，可使用双组份环氧漆作为封闭材料；高于 120℃（248℉）时，可使用有机硅漆作为封闭材料。

3.3.3 所有的 TSA 涂层应按 NACE No. 12/AWS[5] C2.23M/SSPC-CS 23.00.[7] 标准进行施工。

注释：

[2] ASTM International (ASTM), 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428-2959.

[3] International Organization for Standardization (ISO).

[4] The society for Protective Coatings(SSPC), 40 24th Street, 6th Floor, Pittsburgh, PA 15222-46456.

[5] American Welding Society(AWS), 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

3.4 热浸镀锌涂层

3.4.1 热浸镀锌涂层对于那些难于用传统方式进行涂装或传统涂装费用昂贵的复杂形状钢结构来说，是一种很有效的防护方式。例如格栅、扶手、仪表和设备垫脚可以采用热浸镀锌涂层防腐。

3.4.2 热浸镀锌涂层，就像其它富锌涂层一样，易被酸和碱性条件破坏，因此不宜被暴露于与水泥、钻探泥浆和完井液接触的环境下。

3.4.3 因为热浸镀锌涂层在浪溅区和浸渍环境下会快速消耗引起涂层快速失效或失败，这类区域应采用其它涂层。

3.4.4 热浸镀锌涂层应采用具有耐化学品性和耐海水性的底漆和面漆进行覆涂。新的热浸镀锌涂层应根据 NACE No.4/SSPC-SP 7[8] 进行轻度喷射处理以获得均匀的粗糙度，或者采用磷酸基转化涂层进行化学蚀刻表面处理。根据 SSPC-SP 1[9] 除去所有存在的油脂。环氧涂层可用于经按 NACE No.5/SSPC-SP 12.[10] 进行低压水清理（LPWC）的已风化（通常在户外已暴露 1 年以上）的热浸镀锌涂层表面。

3.4.5 所有的热浸镀锌涂层应按 ASTM A 123/A 123M[11] 和 ASTM A 153/A 153M[12] 进行施工。

3.5 涂层材料的健康、安全和环境保护要求

涂层材料的健康、安全和环境保护要求应完全符合当地和/或联邦政府规章。以下的规章可能不适用于美国以外的地区。涂层体系应不含致癌物（如石棉、煤焦油、多氯联苯类物质）。三丁基锡（TBT）不能作为杀灭剂用于防污漆中。涂层干膜粉碎物中的金属含量定义应符合 40 CFR（联邦规章代码）Part 261, Appendix Ⅱ, Method 1311,[13] 或 U.S.EPA(6) Publication SW-846[14] 。涂料制造商应提供书面证明文件来证明干涂膜中的金属含量不超过下表 1 中的最大限值。这些最大限值和 MIL-PRF-23236C.[15] 中的规定是相同的。

表 1：干涂膜中的最大金属含量

金属	最大值，%（重量比）	金属	最大值,%(重量比)
锑	0.015	汞	0.0002
砷	0.001	钼	0.35
钡（重金石除外）	0.10	镍	0.02
铍	0.0002	硒	0.001
镉	0.0005	银	0.001
六价铬	0.0005	钽	0.10
铬或三价铬	0.56	铊	0.007
铜	0.01	钨	0.10
铅	0.005(A)	钒	0.01
(A) 如果铅的来源是富锌底漆中所使用的锌粉，锌粉中铅含量的最大值应由业主和涂料制造商协定。4 种类型的锌粉被用于富锌底漆，而每种类型的锌粉具有不同的铅含量。			

3.6 不锈钢（SSs）和高镍铬合金用涂料

不锈钢在含氯化物环境下倾向于发生隙间腐蚀和应力腐蚀开裂，因此，除非业主另有规定，否则应进行涂装。

不锈钢（SSs）和高镍铬合金用涂料应不含超过 200mg/kg 可溶出氯化物（符合 ASTM C 871.[16] 标准要求）。通常，环氧树脂自身可溶出氯化物含量不超过 10mg/kg。这类涂料配方应不含金属锌，因为可能导致产生 liquid metal cracking（液体金属开裂?）。

3.7 常规批次检验（出厂检验）

常规批次检验应由涂料制造商在所有每批次涂料发货前进行。检验报告至少应包括下表 2 中的项目和内容：

表 2：常规的批次检验报告

涂料名称				
批号				
生产日期				
测试日期				
性能（项目）	组份	测试结果	充许偏差	测试标准
密度	组份 A 和 B，各个组份		XX±0.05g/cm^3	ASTM D 1475
重量固体含量	A 和 B 混合		XX±3 wt%	ASTM D 2369

3.8 随机批次检验（抽样检验）

业主可以从发到现场的液体油漆中随机抽取 8L（2 加仑）样品，在第三方实验室进行随机批次检验，以便按第 5.2 节中列出的测试方法来验证涂料指纹。如果抽样的涂料不符合技术要求，则不可使用的涂层材料应进行封存，业主应联系涂料制造商解决问题。如果涂料还没被使用，业主可以拒绝所有（有问题的涂料）。承包商应将它们从所要涂装的场所移走，并采用符合技术要求的涂料重新涂装。

第 4 章：典型的常用防护涂层体系

4.1 总则

海上（离岸）钢结构暴露在几种不同的服役环境或条件下，需要采用不同的防护涂层体系进行防腐蚀保护。对于大多数需涂装表面部位，已制订用来比较大气区、浪溅区（见 5.3 节）和浸水区外部区域及压载水舱（见 5.4 节）涂层体系实验室性能测试结果的检验测试方案。通过验收准则的（见 5.5 节）涂层体系应选作对应区域的防护涂层体系。对每种部位，典型的常用防护涂层体系在这章中列出。如果它们能够通过 5.5 节中的验收准则，常用涂层体系表格中未列出的涂层体系可能也是可用的。

4.2 常用涂层体系的分类

为了便于沟通和分类，以下表格中每个常用涂层体系都被编上了一个体系代码，这个体系代码由两个字母加一个连字符连一个数字，用到的字母的定义如下：

C：碳钢

M：维修

N：新建

O：其它表面（例如非铁金属）

S：不锈钢

4.3 典型大气区用涂料

4.3.1 大气区涂层体系的选择应考虑当地的气候条件（例如周围的温度和相对湿度[RH]）以确保涂层体系能够在规定的时间内固化。对于维修用涂层体系，混合后使用期和覆涂间隔也应该考虑。

4.3.2 碳钢上典型的大气区涂层体系

碳钢上典型的大气区新建防腐用涂层体系列在表 3A 中，维修用的列在表 3B 中。聚氨酯、聚硅氧烷和含氟聚合物涂料都可用作耐 UV 的面漆。

表 3A：典型的大气区碳钢新建防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CN-1 大气区，-50—120℃（-58—248℉），保温或者不保温	1 2 3	富锌底漆 环氧 聚氨酯	50-75（2-3） 125-175（5-7） 50-75（2-3）	75（3） 125（5） 75（3）
	1 2 3	环氧底漆 环氧 聚氨酯	125-75（5-7） 125-175（5-7） 50-75（2-3）	125（5） 125（5） 75（3）
	1 2 3	TSA（热喷铝） 稀释的封闭漆（环氧） 封闭漆（环氧）	250-375（10-15） 无额外厚度(A) 无额外厚度(A)	250（10） 无额外厚度 无额外厚度
CN-2 大气区，120—150℃（248—302℉），不保温	1 2	无机富锌底漆 有机硅改性丙烯酸	50-75（2-3） 25-50（1-2）	75（3） 50（2）
	1 2 3	TSA（热喷铝） 稀释的封闭漆 （丙烯酸有机硅或环氧酚醛） 封闭漆 （丙烯酸有机硅或环氧酚醛）	250-375（10-15） 无额外厚度(A) 无额外厚度(A)	250（10） 无额外厚度 无额外厚度
CN-3 大气区，120—150℃（248—302℉），有保温	1 2	环氧酚醛 环氧酚醛	100-125（4-5） 100-125（4-5）	125（5） 125（5）
	1 2 3	TSA（热喷铝） 稀释的封闭漆 （丙烯酸有机硅或环氧酚醛） 封闭漆 （丙烯酸有机硅或环氧酚醛）	250-375（10-15） 无额外厚度(A) 无额外厚度(A)	250（10） 无额外厚度 无额外厚度
CN-4 大气区，150—450℃（302—842℉），有保温或不保温	1 2 3	TSA（热喷铝） 稀释的封闭漆（有机硅） 封闭漆（有机硅）	250-375（10-15） 无额外厚度(A) 无额外厚度(A)	250（10） 无额外厚度 无额外厚度
	1 2 3	无机富锌底漆 有机硅 有机硅	50-75（2-3） 25-50（1-2） 25-50（1-2）	75（3） 50（2） 50（2）
CN-5 甲板和地板—轻或正常的 duty	1 2 3 4	富锌底漆 高固体份环氧 防滑环氧(B) 聚氨酯	50-75（2-3） 125-175（5-7） 125-175（5-7）(C) 50-75（2-3）	75（3） 125（5） 125（5）(C) 75（3）
	1 2 3 4	环氧底漆 高固体份环氧 防滑环氧(B) 聚氨酯	125-175（5-7） 125-175（5-7） 125-175（5-7）(C) 50-75（2-3）	125（5） 125（5） 125（5）(C) 75（3）
	1 2	TSA（热喷铝） 封闭漆（聚氨酯）	250-375（10-15） 无额外厚度(A)	250（10） 无额外厚度
	1	防滑厚膜型环氧	卖方的技术规范	卖方的技术规范

CN-6 甲板和地板—重的 duty 和直升机甲板	1 2 3 4	富锌底漆 高固体份环氧 防滑环氧[B] 聚氨酯安全标记	50-75（2-3） 200-300（8-12） 200-300（8-12）[C] 50-75（2-3）	75（3） 250（10） 250（10）[C] 75（3）
	1 2 3 4	环氧底漆 高固体份环氧 防滑环氧[B] 聚氨酯安全标记	125-175（5-7） 200-300（8-12） 200-300（8-12）[C] 50-75（2-3）	125（5） 250（10） 250（10）[C] 75（3）
	1 2	预制铝/氧化铝混合喷涂用丝 TSA（热喷铝）[D] 封闭漆（聚氨酯）	300-400（12-16） 无额外厚度[A]	300（12） 无额外厚度
	1	防滑厚膜型环氧	卖方的技术规范	卖方的技术规范

[A] 封闭漆用于封闭热喷涂铝涂层的孔隙，不需要在现存的热喷铝涂层上再加上干膜厚度。在施工下一道封闭漆前，允许稀释前道封闭漆使干燥时间大于 30 分钟（以利渗透）。

[B] 为获得对防滑骨料的充分润湿，在施工前防滑骨料应混合进液体油漆中。防滑环氧施工应采用好的骨料。

[C] 所施工涂层的干膜厚度计算应去除防滑骨料的影响。

[D] 热喷涂铝喷枪参数和喷枪器件应调整到能够使热喷铝涂层达到预期设定的防滑粗糙度要求。尽管热喷涂铝涂层本身比较硬，如果加入耐磨的氧化铝颗粒成为预制热喷涂铝用丝中的一部分，按 90%铝和 10%氧化铝（也可以用更多的氧化铝）配制喷涂用铝丝，（可以达到更高的硬度和耐磨性）。

表 3B：典型的大气区碳钢防腐维修用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CM-1 水冷凝管道	1	水下固化环氧[A]	375-750（15-30）	500（20）
CM-2 大气区，-50—120℃（-58—248℉），保温或者不保温	1 2 3	环氧底漆 环氧 聚氨酯	125-75（5-7） 125-175（5-7） 50-75（2-3）	125（5） 125（5） 75（3）
	1 2 3	有机富锌底漆 环氧 聚氨酯	50-75（2-3） 125-175（5-7） 50-75（2-3）	75（3） 125（5） 75（3）
	1 2 3	潮固化聚氨酯底漆 潮固化聚氨酯 潮固化聚氨酯	75-125（3-5）(B) 75-125（3-5）(B) 75-125（3-5）(B)	75（3） 125（5） 75（3）
CM-3 大气区，120—150℃（248—302℉），保温或者不保温	1 2	环氧酚醛 环氧酚醛	100-125（4-5） 100-125（4-5）	125（5） 125（5）
	1 2	有机硅厚膜型涂料(C) 有机硅厚膜型涂料(C)	100-200（4-8） 100-200（4-8）	150（6） 150（6）
CM-4 大气区，150—450℃（302—842℉），保温或者不保温	1 2	有机硅 有机硅	25-50（1-2） 25-50（1-2）	25（1） 25（1）
	1 2	有机硅基厚膜型涂料(C) 有机硅基厚膜型涂料(C)	100-200（4-8） 100-200（4-8）	150（6） 150（6）
CM-5 甲板和地板—重的	1 2 3	环氧底漆 高固体份环氧 防滑环氧[D]	125-175（5-7） 125-175（5-7） 125-175（5-7）[E]	125（5） 125（5） 125（5）[E]

duty 和直升机甲板	4	聚氨酯	50-75（2-3）	75（3）
	1	防滑厚膜型环氧	卖方的技术规范	卖方的技术规范
CM-6 甲板和地板—重的 duty 和直升机甲板	1 2 3	环氧底漆 防滑环氧 (D) 聚氨酯安全标记	200-250（8-10） 200-250（8-10）(E) 50-75（2-3）	250（10） 250（10）(E) 75（3）
	1	防滑厚膜型环氧	卖方的技术规范	卖方的技术规范

(A) 对于潮湿的管道，水下固化环氧应采用刷涂施工。至少 1.1mm（45-mil）厚度的蜡或凡士林浸带也可以采用。
(B) 潮固化聚氨酯在固化过程中需要与潮气反应而产生二氧化碳。如果太厚，可能产生很多气泡。干膜厚度范围应严格遵守。
(C) 这是一种新近开发的用于在保温层下表面维修的高性能涂层材料。这种涂层材料含有有机硅，但不属常规有机硅涂料一类。它的资格认证要求应由制造商和业主协商一致。
(D) 为获得对防滑骨料的充分润湿，在施工前防滑骨料应混合进液体油漆中。防滑环氧施工应采用好的骨料。
(E) 所施工涂层的干膜厚度计算应去除防滑骨料影响。

4.3.3 典型的大气区不锈钢上的涂层体系

不锈钢（SSs）如 UNS S3040（304 SS 型）、UNS S3160（316 SS 型）和 UNS S31700（317 SS 型）最广泛地用于海上平台结构。不锈钢应采用涂层保护以防止在海上环境下产生隙间腐蚀和应力腐蚀开裂。不锈钢上用的典型涂层体系列在表 4 中。

表 4：典型的大气区不锈钢用涂层体系（新建或维修防腐）

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
SM-1 水冷凝管道，仅用作维修 (A)	1	水下固化环氧	375-750（15-30）	500（20）
SN-2/SM-2 大气区，-50—120℃（-58—248℉）	1 2	环氧底漆 聚氨酯	150-200（6-8） 50-75（2-3）	200（8） 75（3）
SN-3/SM-3 大气区，120—150℃（248—302℉）	1 2	环氧酚醛 环氧酚醛	100-125（4-5） 100-125（4-5）	125（5） 125（5）
	1 2	有机硅厚膜型涂料 有机硅厚膜型涂料	100-200（4-8） 100-200（4-8）	150（6） 150（6）
SN-4/SM-4 大气区，150—450℃（302—842℉）	1 2	有机硅 有机硅	25-50（1-2） 25-50（1-2）	50（2） 50（2）
	1 2	有机硅基厚膜型涂料(C) 有机硅基厚膜型涂料(C)	100-200（4-8） 100-200（4-8）	150（6） 150（6）
	1	TSA	50-100（2-4）	75（3）

(A) 对于湿的管道，水下固化环氧应采用刷涂施工。至少 1.1mm（45-mil）厚度的蜡或凡士林浸带也可以采用。

作为选择，当不锈钢应用在 PH=4-9，温度在 50-150℃（122-302℉）范围内，且没有伴热系统的情况下，以及处于保温层下温度最高可达 450℃（842℉）的干热情况下时，在装配时宜采用铝箔包裹以防止氯化物应力腐蚀开裂（CSCC）和保温层下腐蚀（CUI）；

也可参见 BSI [8] BS5970.[19] 标准要求。在这种情况下应采用 98%铝箔（见 ASTM B 479[20]），不用胶粘底布，铝箔厚度达 0.04-0.15mm（1.5-6mil）。

4.3.4 典型的大气区非铁金属用涂层体系

典型的大气区非铁金属用涂层体系列在表 5 中。

表 5：典型的大气区非铁金属用涂层体系（新建或维修防腐）

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
ON-1/OM-1 直升飞机甲板（铝表面）—防滑的	1	环氧底漆 防滑环氧 聚氨酯（>0℃[32℉]）或防滑砖体系（>0℃[32℉]）[A]	125-175（5-7） 150-200（6-8） 50-75（2-3）	125（5） 150（6） 75（3）
ON-2/OM-2 热浸锌涂层，大气区，-50—120℃（-58—248℉）	1 2	环氧底漆 聚氨酯	150-200（6-8） 50-75（2-3）	150（6） 75（3）
[A] 铝制表面直升飞机甲板会有一定的挠曲变形。宜采用有柔韧性的涂层。特别是在寒冷气候条件下，宜采用柔韧性更好的防滑砖体系。				

4.4 典型的浪溅区防护涂层

4.4.1 总则

通常，浪溅区比大气区及浸水区腐蚀更严重。将玻璃鳞片加入液体环氧涂层体系中可以增强屏蔽性能和机械强度。在采用氯丁橡胶涂层时（衬氯丁橡胶），厚度宜达到 6-13mm（0.25-0.50 英寸）。

4.4.2 新建防护涂层体系

用于浪溅区新建防腐的涂层体系列在表 6A 中。

4.4.2.1 硫化氯丁橡胶

硫化氯丁橡胶厚度宜达到 6-13mm（0.25-0.50 英寸）。因为这类涂层通常在工厂施工，通常仅限于管状构件。

4.4.2.2 液态涂层体系

浪溅区涂层体系需要具有优异的耐水性，因此，宜采用具有优异屏蔽性能的环氧（涂层）。涂料中通常加入硅玻璃鳞片以增强屏蔽性能和机械强度。不具有优异耐水性的聚氨酯面漆不宜用于浪溅区。

4.4.2.3 热喷涂铝

施工到 200-250μm（8-10mil）厚并采用封闭漆（环氧或有机硅改性丙烯酸）封闭

的热喷涂铝涂层，可用于浪溅区。为减轻因为热循环而引起的脱层危险，用在浪溅区的热喷铝涂层的 DFT 应控制在一个很窄的范围内[22]。待喷表面应具有良好的清洁度和高的粗糙度。涂层应至少施工两次（two passes）。采用封闭漆封闭涂层孔隙可以增加寿命和改进外观，但不需要在原热喷涂铝涂层上额外增加 DFT[22]。

表 6A：典型的浪溅区碳钢新建防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CN-7 浪溅区， <60℃(140℉)	1 2	环氧玻璃鳞片 (A) 环氧玻璃鳞片	450-550（18-22） 450-550（18-22）	500（20） 500（20）
	1 2 3	热喷铝（TSA） 稀释的封闭漆（环氧） 封闭漆（环氧）	200-250（8-10） 无额外厚度 (B) 无额外厚度 (B)	250（10） 无额外厚度 无额外厚度
	1 2 3	底漆 粘结剂 氯丁橡胶	25-50（1-2） 25-50（1-2） 6-13mm(0.25-0.50in)	25（1） 25（1） 最终用户要求
CN-8 浪溅区，>70℃ （158℉）而<100 ℃ （212℉）	1 2 3	底漆 粘结剂 氯丁橡胶 (C)	25-50（1-2） 25-50（1-2） 6-13mm(0.25-0.50in)	25（1） 25（1） 最终用户要求
CN-9 浪溅区，>100℃ （212℉）而<130 ℃ （266℉）	1 2 3	底漆 粘结剂 三元乙丙橡胶弹性体 (D)	25-50（1-2） 25-50（1-2） 6-13mm(0.25-0.50in)	25（1） 25（1） 最终用户要求

(A) 平均表面粗造度应不低于 75μm(3mim)。
(B) 在施工下一道封闭漆前，允许稀释前道封闭漆使干燥时间大于 30 分钟（以利渗透）。
(C) 温度>70℃（158℉），氯丁橡胶应只采用炭黑颜料，可以获理更好的耐热性。
(D) 三元乙丙橡胶弹性体。

4.4.3 典型的浪溅区维修用涂层体系

因为浪溅区的检修通道限制以及落潮时供检修的时间间隔短，维修浪溅区时宜采用单涂层体系。因为薄雾和高湿，表面经常是潮湿的，因此，涂层体系宜适合用于潮湿表面。正因为这些困难，一些非液体涂料体系的、相关厚型修补用材已经商品化了。最终用户在使用前应进行审查并评估其有效性。

表 6B：典型的浪溅区碳钢维修防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CM-7 浪溅区， <60℃(140℉)	1	表面容忍型环氧	300-2000（12-80）	卖方的技术规范 (B)
	1 2	环氧底漆 (A) 环氧玻璃鳞片	125-175（5-7） 200-500（8-20）	125（5） 375（15）
	1	环氧玻璃鳞片 (A)	450-550（8-22）	500（20）

		水下固化环氧底漆+两层半搭接的玻璃纤维布外包层	卖方的技术规范 (B)	卖方的技术规范 (B)
(A) 平均表面粗糙度应不低于 75μm(3mim)。 (B) 卖方在其产品说明中推荐的 DFT。				

4.5 典型的浸水部件外表面涂层体系

浸水区的海上平台结构采用牺牲阳极加涂层防护。防护涂层的应用可以减少牺牲阳极的数量或重量。典型的浸水部件外表面涂层体系列在表 7A（新建防腐用）和 7B（维修用）中。

表 7A：典型的浸水区碳钢新建防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CN-10 浸水件外部， <60℃(140℉) (A)	1 2 3	高固体份环氧 预涂层/条涂层 高固体份环氧	150-200（6-8） 150-200（6-8）	175（7） 175（7）
	1 2 3	热喷铝（TSA） 稀释的封闭漆（环氧） 封闭漆（环氧）	250-375（10-15） 无额外厚度 (B) 无额外厚度 (B)	300（12） 无额外厚度 无额外厚度
(A) 安装牺牲阳极通常和防护涂层体系联合采用。 (B) 在施工下一道封闭漆前，允许稀释前道封闭漆使干燥时间大于 30 分钟（以利渗透）。				

表 7B：典型的浸水区碳钢维修防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CM-8 浸水件外部， <60℃(140℉) (A)	1	水下固化环氧 (A)	500-1000（20-40）	卖方的技术规范
(A) 在现场极难施工水下固化环氧。CP（更换？）是一种好的选择。				

4.6 典型的压载水舱涂层体系

4.6.1 总则

压载水舱是一个黑暗和密闭的空间，所以无溶剂或高固体份环氧涂料更满足需要。为便于进行视觉检查，宜采用浅色的面漆。宜采用同样配方组成但颜色不同的多涂层体系以减少因不同的膨胀和收缩率而引起的层间脱离。典型的压载水舱涂层体系列于表 8A（新建）和 8B（维修）中。对一个总膜厚达 375-500μm 的环氧涂层体系，采用三道薄涂比两道厚涂更好，因为可以获得更完整的涂膜和减少漏点。在焊缝和尖角部位，应施工两

道预涂层以获得良好的覆盖率。

4.6.2 多组份喷涂（Plural-component Spray）

多组份喷涂装置也可以用于在直接在有预涂层的基材上喷涂厚涂层（湿碰湿）。但是，在考虑采用时应认证其是否符合这个标准要求。

4.6.3 空舱和海水收集舱

深海海上平台结构也可能有空舱，在其服役期间可能转作压载水舱。因此，最好采用和压载水舱相同的涂层体系。海水收集舱的涂层体系也应该和压载水舱相同。

表 8A：典型的压载水舱碳钢新建防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CN-11 压载水舱， <60℃(140℉) (A)	1 2 3 4 5	高固体份环氧 预涂层 高固体份环氧 预涂层 高固体份环氧 (A)	125-175（5-7） 125-175（5-7） 125-175（5-7）	125（5） 125（5） 125（5）
(A) 压载水舱内是黑暗的，为便于视觉检查，应采用白色或浅色的面漆。				

表 8B：典型的压载水舱碳钢维修防腐用涂层体系

应用类别	涂层	涂层体系	DFT，μm(mil)	Target DFT, μm(mil)
CM-9 压载水舱， <60℃(140℉) (A)	1 2 3	高固体份环氧 预涂层 高固体份环氧 (A)	125-175（5-7） 125-175（5-7）	125（5） 125（5）
(A) 压载水舱内是黑暗的，为便于视觉检查，应采用白色或浅色的面漆。				

第 5 章：涂层体系的资格认证测试

5.1 总则

5.1.1 涂层体系应该进行性能测试并通过符合这个标准要求的验收准则。应由业主指定的独立实验室来进行资格认证测试。

5.1.2 如果用于不锈钢表面的某涂层体系，用在碳钢上已通过资格认证测试并被业主认可，则可以不再进行单独的以不锈钢为基材的认证测试。

5.1.3 如果经资格认证后，涂料的配方组成又发生了变化，则涂层体系应由独立实验室再次进行资格认证。

5.2 需要的产品信息

当提交每个涂层体系用于资格认证测试时，涂料制造商应当提供以下信息，并作为测试报告的一部分：

(a) 产品数据手册（PDS）

(b) 材料安全数据手册（MSDS）

(c) 指纹（译者注：指产品档案，即用于鉴别产品身份的信息），多涂层体系中每个涂层的指纹要求列在下表 9 中。

表 9：涂层材料的指纹

#	项目	组份	容许偏差	标准
1	密度	组份 A 和 B，每个组份	±0.05g/cm^3	ASTM D 1475
2	重量固体含量	组份 A 和 B 混合物	±3wt%	ASTM D 2369
3	颜料重量含量	组份 A 和 B，每个组份	±2wt%	ASTM D 2371[23]
4A	带颜料的傅里叶变换衰减全反射红外光谱扫描（FTIR-ATR），或	组份 A 和 B，每个组份		设备制造商的说明
4B	没有颜料的红外扫描（IR）	组份 A 和 B，每个组份		ASTM D 2621[24]

(d) 所有以下信息：

制造商名称、地址、电话/传真，表面处理标准（NACE、SSPC、ISO 等），表面粗糙度（μm 或 mil）。

对于每个底漆、中间漆和面漆，应包括：

产品名称
颜色
材料类型

组份 A 和组份 B 的批号
生产日期
贮存有效期
挥发性有机化合物（VOC）含量（克/升或磅/加仑）
清洗用溶剂
稀释剂型号
以体积计的稀释剂最大用量（百分比）
混合比（体积或重量）
施工方法
施工应用所需要求的温度范围（℃或℉）
施工应用所需要的相对湿度（%RH）
混合使用期（在不同温度下，以小时计）
熟化时间/诱导期（分钟）
最短覆涂间隔和表干时间（在不同温度下，以小时计）
最长覆涂间隔（在不同温度下，以天计）
重量和/或体积固体份
湿膜厚度范围（μm 或 mil）
干膜厚度范围（μm 或 mil）

5.3 大气区和浪溅区涂层体系测试协议

用于大气区和浪溅区，最高温度不超过 120℃（248℉）的碳钢底材新建或维修防腐用涂层体系测试协议列在表 10 中。

表 10：大气区和浪溅区涂层体系测试协议

涂层性能	表面处理	大气区，甲板		浪溅区	
		新建	维修	新建	维修
耐锈蚀蔓延性能 (Rust creepage resistance)	NACE No.2/SSPC-SP10	NACE TM0404[25]	NACE TM0304[26]	NACE TM0404[25]	NACE TM0304
	200mg/m^2 氯化物	无测试	NACE TM0304	无测试	NACE TM0304
	潮湿	无测试	无测试	无测试	NACE TM0304
边缘保持性	砂纸	NACE TM0404	NACE TM0304	NACE TM0404	NACE TM0304
热循环	NACE No.2/SSPC-SP10	NACE TM0404	NACE TM0304	NACE TM0404	NACE TM0304
柔韧性	NACE No.2/SSPC-SP10	NACE TM0404	NACE TM0304	NACE TM0404	NACE TM0304
冲击强度（仅甲板和登船平台）	NACE No.2/SSPC-SP10	ASTM G 14[27]	ASTM G 14	ASTM G 14	ASTM G 14
耐水浸	NACE No.1/SSPC-	无测试	无测试	NACE TM0404	NACE TM0304

	SP5				
	200mg/m^2 氯化物	无测试	无测试	无测试	NACE TM0304
	潮湿	无测试	无测试	无测试	NACE TM0304
耐阴极剥离	NACE No.1/SSPC-SP5	无测试	无测试	NACE TM0404	NACE TM0304
	200mg/m^2 氯化物	无测试	无测试	无测试	NACE TM0304
	潮湿	无测试	无测试	无测试	NACE TM0304

5.4 压载舱、空舱、海水收集舱和浸水区构件外部用涂层体系测试协议

用于压载舱、空舱、海水收集舱和浸水构件外部碳钢底材新建或维修防腐用涂层体系测试协议列在表 11 中。

表 11：压载舱、空舱、海水收集舱和浸水构件外部用涂层体系测试协议

涂层性能	表面处理	压载舱、空舱、海水收集舱		浸水区构件外部
		新建	维修	新建
边缘保持性	砂纸	NACE TM0104[28]	NACE TM0104	NACE TM0204[29]
耐水浸	NACE No.1/SSPC-SP5	NACE TM0104	NACE TM0104	NACE TM0204
	100mg/m^2 氯化物	无测试	NACE TM0104	无测试
	潮湿	无测试	NACE TM0104	无测试
耐阴极剥离	NACE No.1/SSPC-SP5	NACE TM0104	NACE TM0104	NACE TM0204
	100mg/m^2 氯化物	无测试	NACE TM0104	无测试
	潮湿	无测试	NACE TM0104	无测试
形稳性	剥下来的涂层薄膜	NACE TM0104	NACE TM0104	NACE TM0204
时效稳定性	NACE No.1/SSPC-SP5	NACE TM0104	NACE TM0104	NACE TM0204
厚膜开裂性	NACE No.1/SSPC-SP5	NACE TM0104	NACE TM0104	无测试
热/湿循环（仅针对 FPSO）	NACE No.1/SSPC-SP5	NACE TM0104	NACE TM0104	无测试
	100mg/m^2 氯化物	无测试	NACE TM0104	无测试
	潮湿	无测试	NACE TM0104	无测试

5.5 验收准则

大气区、浪溅区、压载舱、空舱、海水收集舱和浸水构件外部用涂层体系测试的验收准则列在表 12 中。

表 12：海上结构涂层测试的验收准则

涂层性能	测试方法	验收准则
耐锈蚀蔓延性能 (Rust creepage resistance)	NACE TM0304 NACE TM0404	对无富锌底漆的涂层体系，要求<3.5mm（0.14 英寸）， 对有富锌底漆的涂层体系，要求<1.5mm（0.06 英寸）， 除划线和边缘处外，其它部位没有起泡、生锈、开裂和脱落现象。

边缘保持性	NACE TM0104 NACE TM0204 NACE TM0304 NACE TM0404	应大于邻近边缘的平面上平均 DFT 的 50%。
热循环	NACE TM0304 NACE TM0404	无裂纹。
柔韧性	NACE TM0304 NACE TM0404	在最低服役温度下仍大于 1%。
冲击强度	ASTM G 14	对于甲板和登船平台区，大于 5.6J（in-lbf）
耐水浸性	NACE TM0104 NACE TM0204 NACE TM0304 NACE TM0404	剥离小于 7.0mm（0.28 英寸）(A) 除划线和边缘处外，其它部位没有起泡、生锈、开裂和脱落现象。
耐阴极剥离性	NACE TM0104 NACE TM0204 NACE TM0304 NACE TM0404	小于 7.0mm（0.28 英寸） 除划线和边缘处外，其它部位没有起泡、生锈、开裂和脱落现象。
形稳性	NACE TM0104 NACE TM0204 NACE TM0304 NACE TM0404	非强制性的(B)
时效稳定性	NACE TM0104 NACE TM0204	>50%
厚膜开裂性	NACE TM0104	无裂纹
湿/热循环（仅针对 FPSO）	NACE TM0104	小于 3.5mm（0.14 英寸） 除划线和边缘处外，其它部位没有起泡、生锈、开裂和脱落现象。
(A) 涂层体系的耐水浸性应采用湿剥离试验（方法 B）进行评估。每个测试样本只能钻一个孔，而且所有边缘必须封闭。 (B) 这个测试是非强制性的，如果业主需要这个测试，验收准则应由业主和涂料制造商协定。		

5.6 测试方法

5.6.1 耐锈蚀蔓延性能

应按照 NACE TM0304 或 TM0404 标准进行。对无富锌底漆的涂层体系，平均锈蚀蔓延应<3.5mm（0.14 英寸）；对有富锌底漆的涂层体系，平均锈蚀蔓延应<1.5mm（0.06 英寸），平均锈蚀蔓延数据应是四个样本测试值的平均值。

5.6.2 耐阴极剥离测试

应按照 NACE TM0104、TM0204、TM0304 或 TM0404 标准进行。验收准则是：在经过 12 周（1 个测试周期）后，阴极剥离<7.0mm（0.28 英寸）。在最新的测试方法中，对于从完好无损部位剥离的判定仍然是不明确的，一些已散布的数据得以维持。因此，验收准则要求小于 7.0mm（0.28 英寸），这个数据可能比实际涂层性能高。在测试方法在判定经剥离面积方面进行改善后，验收准则可能会变得更紧（译注：允许阴极剥离面积更小）。

5.6.3 浸水试验

在 NACE TM0104、TM0204、TM0304 或 TM0404 标准中，有两种可以接受的方法用来进行耐浸水性的测量，即拉开法附着力试验和湿剥离试验。对一些样品来说，尽管涂层表面已出现了起泡，拉开法附着力仍然能很高。因此，宜采用湿剥离试验。在这个标准中的湿剥离试验已经过改进以改善数据的可再现性。以每个测试样本的一边应有一个孔取代原来的两个测试样板的每个表面有一个孔。每项测试都应备好四个样本。样本的边缘应采用耐浸渍的涂层完全封闭，并采用湿海绵漏点检测仪检查以确保在边缘没有漏点存在。由于不易确定剥离区域从涂膜完整部位产生的蔓延，因此，验收准则设置为 <7.0mm（0.28 英寸），这可能大大超过实际的剥离情况。如果测试方法在确定完好区至剥离区这一点上有改善，验收准则可能会趋紧。溶解氧的含量取决于水深和温度。可以采用带有鼓气器的不同类型的水浴锅。因为溶解氧含量会影响测试结果，试验用溶液中的溶解氧含量应保持在规定试验温度（40℃）和浓度（4.6±0.1mg/L）下的饱和状态。一个经校准的溶解氧监测计应置于测试样本处以确保氧含量符合要求。

5.6.4 边缘保持性

测试应按 NACE TM0104、TM0204、TM0304 或 TM0404 标准进行，边缘的最小 DFT 应大于邻近的平整表面测得的 DFT 平均值的 50%。

5.6.5 冲击强度

应按 ASTM G 14 标准进行，可接受的最小值是 5.6J（50 in-lbf）。这个测试仅甲板涂层和浪溅区登船平台部位（需要进行）。

5.6.6 热循环

应按 NACE TM0304 或 TM0404 标准进行。除角钢（C-channel steel）外，也可以采用 300X100X5mm（12X4X0.20 英寸）或 300X50X5mm（12X2X0.20 英寸）的”T”型钢测试样本。在经过至少 232 个循环后，涂层应不出现开裂现象。

5.6.7 厚膜开裂性

应按照 NACE TM0104 标准进行。除角钢（C-channel steel）外，也可以采用 300X100X5mm（12X4X0.20 英寸）或 300X50X5mm（12X2X0.20 英寸）的”T”型钢测试样本。在经过 12 周的老化试验（于 40℃[104℉]的人造海水中）后，涂层应不出现任何开裂现象。

5.6.8 柔韧性测试

应按照 NACE TM0304 或 TM0404 标准进行。涂层在最低的现场股役温度下的挠曲应变应大于 1%。

5.6.9 形稳性

这个测试是非强制性的。如果业主要求进行这个测试，则应由业主和涂料制造商协定验收准则。

5.6.10 时效稳定性

应按 NACE TM0104 或 TM0204 标准进行。在经过 12 周的老化试验（于 40℃[104℉]的人造海水中）后，挠曲应变保持率应大于 50%。

5.7 测试精确度

在涂层的测试中存在很大程度的不确定性。因为测试样本的钢材表面处理、涂装施工、覆涂间隔、固化时间、固化条件等因素会导致测试结果出现很大变数。同样，测试设备、测试操作程序等也会影响实际测试结果。甚至最终评价所附带的主观性程度也是产生偏差的因素。

某个涂层体系在某个试验系列中因为一个小的偏差而导致的失败，对另外的试验系列则提供了通过的好机会。反过来亦是如此。

系列试验（Round robin testing）指明了了以下试验方法中充许的标准偏差：

(a) 耐锈蚀蔓延：对富锌底漆涂层体系，为 0.5mm；对于非富锌底漆涂层体系，为 1.0mm。

(b) 耐浸水性：对测量的剥离值，为 2mm。

(c) 阴极剥离：对测量的剥离值，为 2mm。

(d) 柔韧性测试：ASTM D 52230 中给出的数据精密度也被 NACE TM0304 和 NACE TM0404 所采信。

(e) 冲击强度试验：见 ASTM G 14 和 ASTM D 2794。

对在这个标准中用到的其它测试，没有精确度的数据也是有用的。当所有涂层体系由同一个人施工、在同样的实验室和同一个测试系列中进行，并进行评估/对比时，精确度可以提高。

第 6 章：表面处理

6.1 总则

6.1.1 溶剂清洗或清洁剂去油应按 SSPS-SP 1 标准进行。

6.1.2 在操作过程或之前，所有有缺陷的表面，如裂片、焊剂、焊接飞溅、暴露的氧化皮，都应该在表面处理前去除。

6.1.3 在建造前，采用自动喷射清理机器对板材、型材、管材进行表面处理是经济可取的。

6.1.4 应采用干磨料喷射清理分别达到符合 NACE No.2/SSPC-SP 10 或 NACE No.1/SSPC-SP 5 的近白或出白金属级表面处理要求。表面粗糙度应达到涂料制造商的规定要求。如果没有规定，应为 40-75 微米。

6.1.5 对不可能采用喷射清理的部位，按 SSPC-SP 11 要求采用动力工具清理至裸金属面。

6.1.6 预处理底漆应该通过喷射清理被去除，除非业主另有规定。

6.1.7 对于维修涂装工作，也可以按 NACE No.5/SSPC-SP 12 要求采用高压水喷射清理（HPWJ）和超高压水喷射清理（UHPWJ）达到 WJ-2/L 级表面清洁度，以取代干磨料喷射清理。

6.1.8 在室外进行表面处理工作时，宜在白天完成，以便在任何湿气或闪锈在经处理表面产生前涂装底漆。在涂装前应按第 8.7 节要求进行表面可溶性盐含量测试。

6.1.9 在表面处理和涂装底漆过程中，表面温度应至少高于露点 3℃。

6.1.10 湿磨料喷射清理或泥浆喷射清理也是可以满足要求的表面处理方式，可以减少因干磨料喷射清理而产生的灰尘问题。

6.2 表面处理标准

通常用于海上结构的公认的国际表面处理等级概括在表 13 中：

表 13：表面处理最终等级

表面处理最终等极	ISO 8501-1[33]	SSPC	NACE
出白级金属	Sa 3	SP 5	No.1
近白级金属	Sa 2.5	SP 10	No.2
清扫级	Sa 1	SP 7	No.4
溶剂清洗		SP 1	
动力工具清理	St 2 或 St 3	SP 3[34]	

动力工具清理至裸金属		SP 11	
HPWJ 和 UHPWJ WJ-1 清理至裸金属 WJ-2 非常彻底的或重要的清理 WJ-3 彻底的清理 WJ-4 轻度的清理		SP 12	No.5
湿磨料喷射清理		TR 2[35]	6G198[35]

6.3 预清理

6.3.1 在喷射清理和进行任何涂装施工前，表面应没有任何油/脂污染物，而且任何过分的（注：超出标准要求的）氧化皮都应被去除。对于油/脂污染物的去除，在用可生物降解的清洗剂/淡水混合液处理后，再用清洁淡水清洗。对于小面积的油/脂污染物，应按 SSPC-SP 1 标准要求用溶剂清洗。

6.3.2 在维修涂装工作开始前，宜采用高压蒸汽/清洁剂清洗以去除灰尘、油脂或沉积盐。另外，如果前道涂层施工后，经过了很长时间间隔才施工后道涂料或者经历过暴风雨，在施工下道涂层前，表面应采用低压水清理（LPWC）进行清洗。

6.3.3 PH 值大于 9 的清洗剂不能用在铝底材上。

6.4 离心轮清理（注：即国内俗称的抛丸）。采用金属磨料的自动抛丸机器。这种表面处理方法是在进行新的焊接装配的预处理工厂进行的。抛丸表面处理的费用要大大低于压缩空气喷射清理。

6.4.1 “*Good Painting Practice, SSPC Painting Manual*[36]”这份资料可以作为抛丸清理的参考。

6.4.2 磨料。宜采用合适粒径和硬度的钢砂(Grit)作为磨料，以便获得符合要求的表面粗糙度。钢丸(Shot)不应用来进行这类涂层的表面处理，因为它不能产生带高密度峰顶的尖锐表面轮廓。

6.4.3 应按双方约定的规则对表面清洁度和表面粗糙度进行检验和记录以确保符合涂层施工的规定要求。

6.5 压缩空气喷射清理

当构件不适合在工厂或现场进行抛丸处理时，或维修涂装工作在海上结构上进行时，可采用这种方法。

6.5.1 压缩空气供应

对压缩空气的初始检验包括以下方面：

6.5.1.1 压缩空气量应保证能在所在喷口获得 690kPa 的空气压力。

6.5.1.2 空气压缩机应配备合适的安全操作装置。

6.5.1.3 空气管路上应配备合适的油水分离器。每班应至少按 ASTM D 4285[37] 要求检查一次。

6.5.2 磨料

用于表面处理的喷射清理用磨料的类型应符合相关文件规定。应采用合适的设备和合适粒径的磨料以获得符合要求的表面粗糙度。磨料应干燥、清洁、未受污染和符合标准等级。每批磨料宜按表 14 中的相关磨料技术要求进行检验。

表 14：磨料技术要求

类型	通用名称	特性	标准
金属的	钢砂	含碳量 0.8-102%	ISO 11124-3[38]
天然矿物	石英砂	结晶二氧化硅	
	橄榄石	镁/铁硅酸盐	ISO 11126-8[39]
	十字石	铁/铝硅酸盐	ISO 11126-9[40]
	镜铁矿	氧化铁结晶体	
	石榴石	钙铁硅酸盐	ISO 11126-10[41]
人造矿物	煤渣	铝硅酸盐	ISO 11126-4[42]
	氧化铝	刚玉结晶体	ISO 11126-7[43]
(A) 石英砂因为会引起矽肺病，可能不允许使用。如果采用，本地的和联邦的健康和安全规章应该遵守。			

6.5.2.1 磨料的选择

给出的通用类别的磨料具有很多种不同规格。它们的差异与原料来源及制造工艺相关。表面粗糙度与磨料的粒径成正比，磨料的粒径越大，表面粗糙度越高。而清理效率则与粒径成反比例，粒径越大，清理效率越低。某种采用合适粒径的磨料以一定比例混合使用，则可以达到最适宜的表面清洁度、清理效率和表面粗糙度。

6.5.2.2 不锈钢、非铁金属和热浸镀锌表面用磨料

氧化铝、石榴石或其它非金属磨料可用于清理不锈钢、非铁金属和热浸镀锌表面。用于热浸镀锌表面的砂的粒径应比较小以产生 25μm 的粗糙度。用氧化铝磨料通常可以获得非常洁净的、残留磨料非常少的最终表面。热浸镀锌上的锌层不应被破坏，锌层上的一些缺陷，如击穿、松脆现象，不应发生。

6.6 表面处理方面的安全装备宜包括但不限于以下一些:

(a) 送气式头罩，合身（正确装配？），视线良好；

(b) 炭滤清器和呼吸用压缩空气调节装置；

(c) 供操作者远程关闭阀门的安全装置；

(d) 操作防护服、手套等；

(e) 操作安全带；

(f) 合适的脚手架等；

(g) 合适的光线和照明。

6.7 表面清理方法的选择

6.7.1 湿磨料喷射清理

湿磨料喷射清理技术可能用在需要减少灰尘或存在燃烧和暴炸危险的情况下。清理后的表面应立即用清洁淡水清洗。只有在经过业主书面充许后，才可以采用合适的腐蚀抑制剂（如 0.3%（重量比）硝酸钠和 1.2%（重量比）磷酸铵）来防止闪锈。铬酸盐腐蚀抑制剂不充许采用。通常，残余的腐蚀抑制剂在涂装前可以不去除。腐蚀抑制剂与涂层体系的配套性应经涂料制造商证实。清理后的表面在涂装时应是完全干燥的。

6.7.2 水喷射

6.7.2.1 如果因为灰尘和过喷可能损害附近的工艺设备而不充许采用磨料喷射清理，HPWJ 和 UHPWJ 可以采用，达到符合 NACE No. 5/SSPC-SP 12 中的 WJ-2/L 清洁度等级。HPWJ 和 UHPWJ 只有在维修涂装操作时，用以去除失效的涂层体系，以展现出足够的表面粗糙度。

6.7.2.2 水喷射不能改变已存在的表面粗糙度。因此，如果表面表面粗糙度不符合设计底漆/涂层体系的要求，必须考虑其它的表面处理方法。

6.7.2.3 HPWJ 和 UHPWJ 是非常危险的操作，需要采用经过良好培训、富有经验的操作人员。操作人员应配戴耳塞、面罩、雨衣、合适的鞋和手套，而且在进行水喷射操作时必须站得很稳。在操作水喷射设备时，合适的个人防护装置（PPE）应该采用。

6.7.2.4 在喷射用水中加入腐蚀抑制剂以防止闪锈不是必需的。如果采用腐蚀抑制剂，应向水喷射设备制造商咨询以确保腐蚀抑制剂与设备配套，向涂料制造商咨询以确保腐蚀抑制剂与涂层配套。

6.7.3 离心喷射清理（抛丸）

可以采用某种轻便的、可循环回收使用钢质磨料的抛丸机来处理钢质甲板和舱室地板。

6.7.4 真空吸入式喷射清理

真空吸入式喷射清理可以在不充许或不希望采用开放式喷射清理的情况下，用于一些损坏或腐蚀区域的局部修补。

6.7.5 动力工具清理至裸金属

只有在喷射清理不可行的部位，才应按 SSPC-SP 11 采用动力工具清理至裸金属。应小心操作以确保经动力工具清理后，表面没有被抛光。如果被清理的表面和已涂装的表面相连，动力工具清理应向已涂装表面延伸至少 25mm，而且已涂装表面应该被羽化（逐渐减薄）。

第 7 章：涂层材料和施工

7.1 总则

7.1.1 宜采用同一制造商的底漆、中间漆和面漆。

7.1.2 不锈钢可能易导致液体金属开裂（Liquid metal cracking）。含有金属锌或其它低熔点金属（如镉）的涂层绝不能采用。过喷或溅落在不锈钢部件上也不充许。

7.1.3 在开始任何局部涂层修补工作前，应按 ASTM D 5064 评估所用涂料与旧涂层的配套性（相容性）。

7.2 涂层材料的贮存与管理

7.2.1 涂装材料应处于制造商原始的、未开封的、标识清楚的特定容器中。

7.2.2 应按制造商的建议贮存和管理涂层材料。

7.2.3 涂层材料应避免贮存在恶劣气候条件下，10-32℃的温度条件是最理想的。

7.2.4 应遵守制造商规定的贮存有效期。

7.2.5 稀释剂和清洗剂应符合制造商的建议。如果另外单独购买，其成份应经过涂料制造商认可。

7.2.6 溶剂在任何时候都应密封严密，以防止潮湿空气进入，湿气可能导致产生冷凝。

7.3 混合和稀释

7.3.1 所有的涂料在使用前都应完全混合均匀。

7.3.1.1 如果颜料沉淀，应采用动力搅拌器重新分散以形成均匀的混合物。

7.3.1.2 对双组份涂料，固化剂（催化剂）组份也应该用动力搅拌器进行混合。

7.3.1.3 对含重质颜料的涂料，如富锌底漆，在使用过程中应持续搅拌以防止沉淀。

7.3.2 在用于混合新的涂料前，搅拌器和容器应经彻底清洗。

7.3.3 除非涂料制造商明确说明可以采用稀释剂，否则不应使用。如果采用，稀释剂的型号和数量应按照制造商的说明。

7.3.4 混合后的涂料应经过 250-600μm（30-60 目）过滤以除去杂质和未分散的颜料。

7.4 涂装施工

7.4.1 喷涂施工

所有涂料应采用经涂料制造商指定或认可的传统喷涂、无空气喷涂或其它喷涂设备进行施工。

7.4.2 刷涂施工

向涂料制造商确认刷涂施工的适用性。仅在以下情形下宜采用刷涂施工：

(a) 局部修补；

(b) 在边缘、角落或其它不规则部位的预涂；

(c) 不适合喷涂施工的小口径工件等

(d) 水冷凝管道。

7.4.3 预涂/条涂

不规格的表面，如尖锐边缘、焊缝、小的支架和缝隙应先预涂，通常采用刷涂或辊涂，以确保达到规定的厚度，特别是处于浸渍条件下的钢结构。条涂层的颜色应与前道或后道涂层不同。

第 8 章：质量保证和控制

8.1 总则

8.1.1 涂装承包商在开始任何涂装工作之前，应确保已获得涂料制造商最新的产品数据手册（PDS），并且确认涂料处于有效期内。

8.1.2 业主可以雇请第三方检查者（如 NACE 认证 2 级涂装检查员或更高级别的检查员）来进行定期检查。

8.2 质量计划

在开始任何涂装工作之前，涂装承包商应提交一份详细的质量计划供认可。这个计划应包括：

(a) 与要进行的所有工作相关的各项活动的顺序。

(b) 所要求的表面处理和涂层体系；

(c) 所要用到的涂料清单，包括批号；

(d) 关于喷射清理和喷涂用设备的所有详细信息，包括施工地点、湿度控制、温度以及其它环境控制措施以及为达到要求的所采取方法；

(e) 参与这项工作的人员的信息，包括他们的明确职责和联系方式；

(f) 详细的检验和试验规程，包括所用到的仪器设备、试验频次和验收准则；

(g) 可接受的气象条件（湿度和相对湿度）；

(h) 检验仪器的校准方法。

8.3 报告

涂装承包商应每周不低于一次提交检验报告，包括气候条件、周围的温度/相对湿度、关于施工的详细说明（如喷射清理、湿膜厚度和干膜厚度测量、异常情况）、和预计工作相比的工作进展情况。所有经检查过的部件或区域、是否验收通过或拒绝应清楚地标明和进行文件记录。

8.4 检查人员

检查人员应是经过独立的机构认证（例如 NACE 涂装检查员 2 级及以上，ACQPA [8]，FROSIO [9]）的涂装检查员。

8.5 检验仪器

涂装承包商应提供和使用所有必要的检验仪器以确保达到规定的条件和质量要求。

8.6 露点、相对湿度、局部环境和底材温度。

当底材温度不能满足高于露点 3℃时，或相对湿度高于 85%和涂装环境温度低于 5℃（40℉）时，不应进行涂装施工工作。一些涂层体系可能可以在低于 5℃时使用，潮固化聚氨酯漆可能可在相对湿度大于 85%时使用。在钢材表面温度超过涂料制造商规定的温度时不应施工该涂料。一些热表面维修用涂料如果经证明其性能是符合要求的，也可以在热表面直接施工。在涂装施工过程中，对露点、相对湿度、环境温度和底材温度的测量每天至少应进行三次。

8.7 残留的盐污染

8.7.1 所有可溶性盐、氯离子的存在对涂层的使用寿命有极大的影响。表面上充许的最大总可溶性氯离子含量列在表 15 中。对可溶性氯离子含量的测量和评估应按 ISO 8502-6[45] 和 ISO 8502-9[46] 标准或采用经业主认可的现场测试工具进行。因为测试时间很短，测量值大约为实际值的 50%。

表 15：最大总可溶性氯离子含量

应用类别	新建	维修
浪溅区、浸水区外部和压载水舱	$20mg/m^{2(A)}$	$20mg/m^{2(A)}$
大气区	$20mg/m^2$	$50mg/m^2$
不锈钢	$20mg/m^2$	$20mg/m^2$
(A) 表面残留盐污染物的含量对对浸渍条件下的涂层体系的使用寿命具有十分重大的影响。在涂装前表面应是清洁的。然而，如果可溶性氯离子含量很高，要获得清洁表面需花费大量费用。充许的可溶性氯离子含量应由涂料供应商和业主协定。		

8.7.2 可溶性氯离子含量的测量应在每个组元和每 $200m^2$ 至少进行一次。在涂装工作进程中每个班次至少应测量三次。要特别注意那些曾经浸过水后又干燥的部位。

8.8 表面清洁度

8.1.1 总则

经喷射清理过的表面应进行油、脂和污染物的检查。用于检查的不可见光（紫外线或红外线）应至少 500 勒克斯（译注：光照度单位）。如果存在油、脂及污染物，应采用溶剂清洗去除。不能在已经过喷射清理的表面采用酸洗、洗涤剂或其它化学处理方法。也不能采用含有防止闪锈的腐蚀抑制剂的介质清洗。

8.8.2 表面灰尘

经喷射清理后的表面在涂装时，表面的灰尘数量水平不应超过 ISO 8502-3[47] 中的 2 级。至少在每个组件及每 200m^2 检查一次灰尘数量等级，并且每班次至少检查三次。在一些封闭空间（如舱室、容器内）通常需要采用真空吸尘清理，特别是当该部位涂层将处于浸渍环境下时。

8.8.3 氧化皮

经喷射清理的新建防腐碳钢表面应进行测试是否存在氧化皮。应采用光学放大镜检查或者采用化学测试方法（例如，根据 ASTM A 380[48] 采用硫酸铜法测试）。在每个项目开始前，每 200 m^2 经处理的表面至少应检测一次；两天后，在工作进程中，每天至少要有三名检测员执行这项工作。

8.8.4 胺霜（Amine Blush）

胺霜常常发生在低温高湿环境时。应该按涂料制造商的建议去除胺霜。如果胺霜发生在面漆上，那只是一个表面缺陷而不影响涂膜质量。为避免胺霜，环氧涂料在混合后使用前，应按制造商的规定经过一个熟化期（诱导时间）。在低温环境下，熟化期（诱导时间）应延长。对一些环氧涂层体系，当在低温下施工时，即使很长的熟化期（诱导时间）也不会有足够的反应而避免胺霜在涂层上产生。

8.9 表面粗糙度

表面粗糙度应由涂料制造商做出规定。如果没有规定，对液体涂料，表面粗糙度应在 40-75μm 范围内；对热喷涂铝来说，表面粗糙度应在 63-150μm 范围内。表面粗糙度应根据 NACE RP0287[49] 或 ISO 8503-5[50] 采用复制胶带法进行测量。至少在每个组件及每 200m^2 测量一次经处理表面的表面粗糙度，并且在工作进行过程中每班次至少测量三次。

8.10 涂装施工

8.10.1 涂层外观

完工后的涂层应没有流挂（runs）、流垂(sags)、针孔(pinholes)、鱼眼(finish eyes)、气泡(bubbles)、桔皮(orange peel)、裹灰/砂(grit/dust inclusions)之类表面缺陷及其它有害的异常现象，并应具有良好的视觉外观。面漆应完全盖住下层的颜色。

8.10.2 湿膜厚度

在涂装施工过程中，应对湿膜厚度进行抽检以确保厚度均匀。应按 ISO 2808[51]—方法

1—梳齿规法进行涂层湿膜厚度测量。

8.10.3 干膜厚度

应按 ISO 2808 进行涂层干膜厚度测量。II 型电磁式测厚仪可用于含铁金属底材，涡流测厚仪用于非铁金属底材。I 型杠杆式磁性测厚仪不应采用。干膜测厚仪的校准、DFT 要求、测量次数和 DFT 验收准则都应按 SSPC-PA 2[52] 要求进行。

8.10.4 漏点测试

应按 NACE SP0188[53] 进行涂层漏点测试。对于浸渍区的浪溅区，100%的涂装部位都应进行漏点检查。对于大气区，10%的涂装部位，包括焊缝、边角和边缘，应进行漏点检测。任何漏点都是不可接受的，应进行标记并按局部补漆工艺进行修补。

8.10.5 附着力

在面漆施工至少一周后，应根据 ASTM D 6677[54] 采用刀割法检查底漆与底材以及各道涂层之间的附着力。对于刀割试验结果，如果好于 8 级，则附着力被认为是可以接受的。附着力试验是破坏性的，经测试部位过后应按局部补漆工艺进行修补。另外，施工方也可以在经过和工件一样的表面处理和涂装工艺的钢试板上进行附着力测试。在每个构件上每 200m^2 涂装面至少进行一次附着力测试。

8.11 最终检查

在整个工作验收前应进行一次最终检查。涂装承包商和业主都应在场，并签署达成一致的检查报告。这些报告包括：

一般要求

—涂装承包商及其代表的姓名

—工作进行的日期

涂料

—所采用的涂料的一些信息

—收到的涂料的状态

环境条件

—天气情况和施工环境条件

—涂装期间

涂装施工

—所用到的设备

—施工前的混合工艺

—所用到的涂装施工技术

测试

—所用到的检测仪器的型号和校准

—所履行的质量控制测试的类型以及结果

第 9 章：涂层修补

9.1 总则

平均干膜厚度应在规定的范围之内。所有的涂层缺陷，包括厚度不足的和损坏的涂层，都应进行修补。损坏的或厚度不足的无机富锌底漆不能（采用无机富锌底漆）修补，应更换（其它适用的修补漆）。要修补的部位应先进行清理，清理面应向完好涂层延伸不低于 25mm，而且边缘应羽化（译注：逐渐变薄），羽化涂层宽度不低于 50mm。

9.2 低干膜厚度（译注：干膜厚度不足）

如果平均干膜厚度低于规定厚度的最小限值，这个部位应另外加涂。如果已超过了涂层的最长覆涂间隔，表面在重涂前应进行打磨，可按 NACE No.4/SSPS-SP 7 进行扫射磨料喷射清理或采用砂纸打磨。为确保和原涂层的结合良好，应按 ASTM D 5064 进行补漆相容性试验。如果结合太好，在补漆施工前，应采用合适的渗透封闭漆（处理表面）以提高结合力。

9.3 高干膜厚度（译注：超厚）

如果平均干膜厚度超过了规定厚度的最大限值，纠正措施应由业主和涂料制造商确定。通常一个平面上的最大 DFT 不应超出规宣最大干膜厚度的 3 倍。如果这种情况发生，表面应重新喷射清理至裸金属后重新涂装规定的涂层体系。

9.4 损坏的涂层

一些涂层缺陷，如漏点(holidays)、气泡(blistering)、裂纹(cracking)、泥裂(mud cracking)、起皱(wrinkling)、剥离(disbanding)、咬起（lifting）、脱皮(peeling)、流挂(over-runs)、漆滴(drips)和出现污损（smears appear），整个损坏区域的涂层应清除至裸金属，可根据 NACE No. 2/SSPS-SP 10（Sa2.5）采用磨料喷射清理至近白级或根据 SSPC-SP 11 采用动力工具清理至裸金属。然后施工整个涂层体系。没损坏的涂层（边缘）应进行羽化。

第 10 章：法兰的腐蚀控制

10.1 总则

因为极难对螺栓孔进行磨料喷射清理，而且因为法兰之间存在缝隙，在这些麻烦部位，液体涂料可能不是法兰防腐蚀保护的有效措施。在法兰安装在海上结构后，宜首先采用防腐蚀材料（如防锈油脂）进行处理。

10.2 密封剂

已商业化的各种有效的密封剂，如柔软的、小分子量的聚烯烃密封剂或防锈油脂，宜灌注进法兰的缝隙。密封剂是非常疏水的。然后，宜用聚合物胶带或不锈钢带包覆在法兰上以完全封闭住法兰缝隙。

10.3 矿物油或蜡带

矿物油或蜡带也可以按制造商的说明用在适合的温度条件下。对于防腐维修，整个法兰宜宜采用浸透了非常疏水的矿物油或蜡的聚酯胶带进行包覆，以提供防水隔离性能。在不打开胶带情况下，无法进行目视检查，因此，在检查后应重新进行包覆。如果胶带的疏水性已破坏，应更换。

第 11 章：紧固件涂层

11.1 总则

紧固件涂层通常只有 7.5μm 或更薄，因此，在操作过程中很容易损坏。厚的涂层也可以采用，但工件尺寸可能会超出正确的安装尺寸。水基的无机涂料和镉涂料可能比热浸锌涂层或其它聚合物涂层在海上环境下能够提供更长的防护寿命。镉涂料可能因为健康和安全方面原因限制使用。

因为海洋环境的腐蚀性强和紧固件涂层干膜厚度薄，商业的紧固件涂层如含氟聚合物涂层宜用于暂时防护，并在安装后覆涂柔性有机涂层和耐 UV 的面漆，无论的新建还是维修防腐。

11.2 防锈油脂

用于暂时（低于 2 年）防护，有涂层的或裸的紧固件可以采用防锈油脂封装。

11.3 镉涂层

镉紧固件涂层因其优异的性能，过去曾采用，但因安全和健康方面原因被其它涂层取代。如果采用镉涂层，当地和联邦的关于安全和健康方面的规章应该遵守。

11.4 热浸锌涂层

热浸锌涂层应按 ASTM A 153/A 153M 要求采用。这种涂层和其它有机涂层相比，具有更优异的耐机械损伤性能，但不能用于不锈钢紧固件，也不能用于浸水环境下或安装温度高于 60℃的情况下。

第 12 章：管道支架的腐蚀控制

12.1 总则

如果钢管直接处于一个平钢板上，接触部位的涂层会处于一个很高的承压荷载下。这可能导致锈蚀在涂层薄处蔓延。水也会在管道与管线支撑板间的缝隙积聚。因此，海上结构中管线支架的生锈是一种常见的失效模式。

12.2 锚固用钢质马蹄弯头

管道通常用钢质马蹄弯头锚定。马蹄弯头通常采用以炭黑为颜料的聚氨酯橡胶护套保护。这个橡胶护套也能提供耐磨性；然而，潮气常会在这些缝隙积聚导致涂层失效。在插入进橡胶护套前，防锈油脂宜施工在钢质马蹄弯头上。

12.3 外包覆玻璃纤维增加复合胶带

管道宜外包覆一层带粘胶底布的玻璃纤维增强复合胶带。玻璃纤维增强复合胶带可以为与管道支撑板的接触点提供良好的耐机械破坏性能。

12.4 半球形热塑性管道支撑竿

半球形热塑性管道支撑竿也可以用于管道下以促进排水。竿材必须具有良好的耐压缩蠕变性能。这个技术应该能够充许将来的腐蚀检查和提供重涂通道。

第 13 章：小口径不锈钢管件的腐蚀控制

13.1 总则

在海上平台结构中，小口径不锈钢管件通常用作测量线或液压液及化学品的输送。通常用到的不锈钢材料 UNS S31600/S31603（316/316L 型不锈钢）和 CSCC 一样，在有氯化物的环境下倾向于产生点蚀和隙间腐蚀。隙间腐蚀是由氧浓差电池引起的。不锈钢表面沉积物的积聚也会引起沉积物下面的隙间腐蚀。发生隙间腐蚀的严重程度取决于氯化物浓度和工作温度，就 CSCC 来说，也与所受到的拉伸应力或残余拉伸应力有关。因此，外部采用热塑性涂层、正确的机械装置、采用耐蚀合金（CRAs）和/或通过电耦进行阴极保护（CP）可以用来减轻海上结构中不锈钢管件的腐蚀。

13.2 在固定夹（钳）（拉线夹[钳]）下的隙间腐蚀

不锈钢管件通常采用塑料夹（钳）进行锚固。在这类机械装置下，缝隙可能导致海洋环境下的隙间腐蚀。在海上结构中由于塑料夹（钳）会促进隙间腐蚀而不应采用。

13.3 两个不锈钢管件接头间的隙间腐蚀

两个不锈钢管件接头可能形成缝隙，在海洋环境下可能导致隙间腐蚀。在安装过程中，相邻管件间应提供合适的间隔。已有在海上结构中采用航海级铝支撑盘连接不锈钢管件的实践，就像这样采用电耦来保护不锈钢管件。

13.4 液体防护涂料

通常，对小口径管件很难进行适当的表面处理和涂装，薄膜涂层很容易损坏，因此，这不是一种可靠的减轻腐蚀的方法。

13.5 不锈钢管件上的非金属护套（涂层）

在海上结构中已采用过挤出聚氯乙烯护套不锈钢管件。然而，因为热分析，氯离子会释出而导致点蚀。柔韧的热塑性聚氨酯橡胶涂层更适合用于不锈钢管件的防护。必须加入炭黑颜料以提高耐 UV 性能。聚氨酯必须是防火阻燃级的。根据管件的尺寸，涂层厚度宜在 1-3mm（0.06-0.13 英寸），在各个接头处应小心避免留下缝隙。

第 14 章：健康、安全和环境保护

14.1 所有涂料应符合施工所在地国家的相关规章要求。

14.2 在涂装操作中所产生的所有废弃材料（危险的或其它的）都应妥善地贮存、运输和处置。所有废弃材料（包括但不限于用过的磨料、稀释剂、溶剂、清洗剂）都应按照相关法律和规章以安全和合法的方式进行管理。

14.3 在工作开始前，涂料制造商应提供正确的涂料的 MSDS 给施工方。

14.4 涂装施工方应提供经认可的所有个人防护装备，包括安全带、安全鞋、安全帽、护目镜、呼吸器、耳塞、供气式头罩和其它必需的安全装备。所有的安全装备都应保持在良好的工作状态下，所有的喷射设备都应装备有事故自动停车装置。

14.5 在开始喷射清理和涂装施工前以及工作进行过程中，涂装施工方都应采用可燃气体测试仪检测工作区域可燃气体（蒸气）的浓度。

14.6 涂装施工方应在施工区域设置正确合理的警示标志和围栏。

14.7 在一些受限制（密闭、狭窄等）空间，如压载水舱，在涂装操作前应遵守所有的安全规则。

参考资料

1. NACE RP0176-2003（作废），海上钢质石油生产平台腐蚀控制
2. NACE SP0176（最新版本），永久式海上钢质石油生产平台浸水区的腐蚀控制
3. ASTM D520（最新版本），锌粉颜料标准规范
4. ISO 3549（最新版本），涂料用锌粉颜料-技术要求和检验方法
5. NACE No.2/SSPC-SP 10（最新版本），近白级金属喷射清理
6. NACE No.1/SSPC-SP 5（最新版本），出白级金属喷射清理
7. NACE No.12/AWS C2.23M/SSPC-SP 23.00（最新版本），钢材防腐蚀保护涂热喷涂铝、锌及其合金的施工规范
8. NACE No.4/SSPC-SP 7（最新版本），扫射级喷射清理
9. SSPC-SP 1（最新版本），溶剂清洗
10. NACE No.5/SSPC-SP 12（最新版本），涂装前采用水喷射进行表面处理和清理
11. ASTM A 123/A 123M（最新版本），钢铁金属构件上锌（热浸镀锌）涂层的标准规范
12. ASTM A 153/A 153M（最新版本），钢铁金属构件上锌（热浸）涂层的标准规范
13. 40 CFR（联邦规章代号） Part 261，附录Ⅱ，方法 1311（最新版本），有毒特征物渗漏方法（TCLP）
14. U.S.EPA Publication SW-846（最新版本），评估固体废物物理/化学物性的试验方法
15. MIL-PRF-23236C（最新版本），船舶结构涂层体系的性能要求
16. ASTM C 871（最新版本），绝热材料浸出氯化物、氟化物、硅酸盐和钠离子的化学分析标准试验方法
17. ASTM D 1475（最新版本），液体涂料、油墨及相关产品密度的标准试验方法
18. ASTM D 2369（最新版本），涂料中挥发物含量的标准试验方法
19. BSI BS 5970（最新版本），温度范围从-100℃至+870℃的管道工程及设备隔热的实施规程
20. ASTM B 479（最新版本），与食品接触的和其它用途的挠性包装材料用退火铝及铝合金箔标准规范
21. W.H. Thomason，热冒口上热喷涂铝涂层因为热循环而产生的劣化
22. O. Knudsen，热喷涂铝涂层的快速劣化
23. ASTM D 2371（最新版本），可还原溶剂型涂料中颜料含量的测试的标准试验方法
24. ASTM D 2621（最新版本），可还原型溶剂涂料中载色剂固体的红外鉴别标准试验方法
25. NACE TM0404（最新版本），海上平台大气区和浪溅区新建防腐用涂层体系评估
26. NACE TM0304（最新版本），海上平台大气区和浪溅区维修防腐用涂层体系评估
27. ASTM G 14（最新版本），管道涂层的耐冲击性标准试验方法
28. NACE TM0104（最新版本），海上平台压载水舱涂层体系评估
29. NACE TM0204（最新版本），浸水区（构件）外部用涂层体系
30. ASTM D 522（最新版本），有机涂层的圆柱轴弯曲标准试验方法
31. ASTM D 2794（最新版本），有机涂层抗快速形变(冲击)作用的标准试验方法
32. SSPC-SP 11（最新版本），动力工具清理至裸金属
33. ISO 8501-1（最新版本），涂料和有关产品使用前的钢基材的表面处理—表面清洁度的目视评定—第 1 部分：裸钢锈蚀等级和涂装前钢基材的处理等级
34. SSPC-SP 3（最新版本），动力工具清理
35. NACE 6G198/SSPC-TR 2（最新版本），湿磨料喷射清理
36. A.w. Mallory, 机械表面处理，在 SSPC 涂装手册-好的涂装习惯
37. ASTM D 4285（最新版本），鉴定压缩空气中的油和水的标准测试方法
38. ISO 11124-3（最新版本），涂料及相关产品涂装前钢底材的处理—喷射清理用金属磨料技术要求—第 3 部分：高碳铸钢丸和砂
39. ISO 11126-8（最新版本），涂料及相关产品涂装前钢底材的处理—喷射清理用非金属磨料技术要求—第 8 部分：橄榄石砂

40. ISO 11126-9（最新版本），涂料及相关产品涂装前钢底材的处理—喷射清理用非金属磨料技术要求—第 9 部分：十字石
41. ISO 11126-10（最新版本），涂料及相关产品涂装前钢底材的处理—喷射清理用非金属磨料技术要求—第 10 部分：石榴石
42. ISO 11126-4（最新版本），涂料及相关产品涂装前钢底材的处理—喷射清理用非金属磨料技术要求—第 4 部分：煤炉渣
43. ISO 11126-7（最新版本），涂料及相关产品涂装前钢底材的处理—喷射清理用非金属磨料技术要求—第 7 部分：熔融氧化铝
44. ASTM D 5064（最新版本），为评估涂料相容性而进行的补漆试验用标准试验方法
45. ISO 8502-6（最新版本），涂料和有关产品使用前的钢基材的表面处理—表面清洁度的评定试验—第 6 部分：可溶性污染物的萃取—Bresle 法
46. ISO 8502-9（最新版本），涂料和有关产品使用前的钢基材的表面处理—表面清洁度的评定试验—第 9 部分：通过电导率的现场测定来评估水溶性盐含量的测试方法
47. ISO 8502-3（最新版本），涂料和有关产品使用前的钢基材的表面处理—表面清洁度的评定试验—第 3 部分：涂装前经处理表面的灰尘评定（压敏胶带法）
48. ASTM A 380（最新版本），不锈钢部件、设备和系统的清理、除锈和钝化的标准作业规程
49. NACE 式 RP0287（最新版本），采用复制胶带进行经磨料喷射清理钢表面粗糙度现场测试
50. ISO 8503-5（最新版本），涂料和有关产品使用前的钢基材的表面处理—经喷射清理的表面粗糙度特性—第 5 部分：用复制胶带法测定表面粗糙度
51. ISO 2808（最新版本），色漆和清漆—膜厚的测量
52. SSPC-PA 2（最新版本），采用电磁式测厚仪进行干膜厚度测量
53. NACE SP0188，导电底材上新防护涂层的漏点测试
54. ASTM D 6677（最新版本），刀割法评定附着力的标准试验方法

译者后记

当前，由于能源日趋紧张，世界各国都加快了海上油气设施的开采进程，海上平台建设进入了一个高潮期。海上平台及相关结构由于具有腐蚀环境恶劣和要求防护期长等特点，受到业主、涂装承包商、涂料制造商的高度重视。如何选用海上平台用防护涂料及涂层体系，如何保证涂层质量以便延长设施的使用寿命，涂料制造商如何研制满足要求的涂料产品和涂层体系并通过资格认证测试等，都是值得深入研究和探讨的课题。

世界各国针对海上平台的防腐，均推出了一些标准规范，计有：

1、 ISO 20340-2003 色漆和清漆—海上平台及相关结构防护涂料体系的性能要求
2、 NORSOK STANDARD M501-2004 （海上平台）表面处理和防护涂层
3、 NACE SP0108-2008 标准规范—使用防护涂层对海上平台结构进行腐蚀控制
4、 NACE TM0104-2004 标准试验方法—海上平台压载水舱涂层体系的评估
5、 NACE TM0204-2004 标准试验方法—浸于海水中的（构件）外部防护涂层
6、 NACE TM0304-2004 标准试验方法—海上平台大气区和浪溅区维修用涂层体系的评估
7、 NACE TM0404-2004 标准试验方法—海上平台大气区和浪溅区新建防腐用涂层体系的评估
8、 NACE RP0176-2003 海上平台腐蚀控制规范（已被 NACE SP0108-2008 取代）
9、 Q/HS 7017-1993 中海油标准-海上固定式生产石油平台腐蚀控制
10、SY/T 10008-2000 海上固定式钢质石油生产平台的腐蚀控制（idt NACE RP 0176:1994）

译者作为防护涂料行业内的一员，深感这些标准有很强借签作用。不但可用于指导海上平台防腐蚀设计、施工、检查和验收。也对海上平台用防护涂料的开发和推广指明了方向。一些防腐蚀界的朋友也希望学习和了解这类标准。因此，译者花了一些业余时间，逐步将没有对照中文版的英文标准译成中文，仅供业内人士交流之用，并没有任何商业目的。

译者在翻译时，尽最大努力遵循原文，并加了一些必要的注释。但由于译者水平有限和语言的差异性，疏忽、遗漏乃至错误之处在所难免，所以建议读者对有疑问之处多对照英文原版，以免误解（那样也是译者所不愿意见到的）。如能通过电子邮件方式向译者指出错误之处以便更正，将令译者十分感激。

译者简介：

张斌：毕业于湖北工业大学高分子材料与工程专业（本科），从事防腐蚀涂料相关工作 12 年，先后从事涂料产品开发、技术服务及产品推广等工作，现就职于上海振华重工（集团）常州油漆有限公司（www.zpmcpaint.com ）。E-mail/MSN：zblhx84@hotmail.com, QQ： 153754367

十头鸟

2010 年 6 月 10 日