海上平台保护涂层及性能

马胜军，方健君，王秀娟，李敏，廉兵杰

（中海油常州涂料化工研究院有限公司，江苏 常州 213016）

摘 要：通过分析海上平台保护涂层标准和相关技术文件，对海上平台的涂层系统、所涉及涂料产品、涂层系统认可试验进行详细阐述，以便于平台涂装方案的设计和涂料产品的开发和认证。采用抽丝剥茧逐步推进的方法，对标准、涂层体系、涂料产品和性能要求进行逐一分析解读，得出了不同腐蚀环境的涂层系统和涂层结构。依据底、中、面涂层结构，把平台常用的防腐涂料进行了归类，并给出了不同腐蚀环境涂层系统的性能要求和评测方法。海上平台涂层体系的设计，可以依据 NORSOK M501 和 NACE SP 0108，二者可以相互补益。海上平台涂层体系的认可按 NORSOK M501 进行，采用 ISO20340 的涂层合格性试验，包括循环老化试验、海水浸泡试验和抗阴极剥离试验。建立海上平台防腐涂料体系，需要开发的品种有富锌涂料、环氧防锈漆、环氧云铁、环氧玻璃鳞片漆、低表面处理环氧涂料、厚浆性环氧漆、环氧砂浆、无溶剂环氧漆、酚醛环氧漆、聚氨酯面漆、工程硅氧烷等。

关键词：保护涂料；技术要求；涂层体系；认可试验；海上平台

中图分类号：TQ63 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3660(2017)12-0048-07

DOI：10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.12.010

Protective Coating and Performance of Offshore Platform

MA Sheng-jun, *FANG Jian-jun*, *WANG Xiu-juan*, *LI Min*, *LIAN Bing-jie*

(CNOOC Changzhou Paint and Coatings Research Institute Co., Ltd, Changzhou 213016, China)

ABSTRACT: The work aims to facilitate design of platform coating scheme as well as development and certification of coating products by analyzing standards and relevant technical documents of protective coatings for offshore platform, and expounding approval test of coating systems. Requirements of standards, coating systems, coating products and property were analyzed and interpreted one by one by making a painstaking investigation. Coating systems and coating structures in different corrosion environments were obtained. Anti-corrosive coatings, which were commonly applied to the platform, were classified based upon base, interlayer and surface coating structures. Performance requirements and test methods of the coating systems in different corrosion environment were provided. The coating systems for offshore platform could be designed according to NORSOK M501 and NACE SP 0108 which complemented each other. The coating systems for offshore platform should be approved according to NORSOK M501 which employed test method of ISO20340, including cyclic aging test, seawater immersion test and cathodic abruption test. In order to build coating systems for offshore platform, such varieties as zinc rich paint, epoxy antirust paint, epoxy micaceous iron, glass flake epoxy paint, surface tolerant coating, thick-build epoxy paint, solvent-free epoxy paint, novalac epoxy paint, polyurethane paint and polysiloxane paint should be developed.

KEY WORDS: protective coatings; technical requirement; coating systems; approval test; off-shore platform

收稿日期：2017-11-04；修订日期：2017-12-10

Received：2017-11-04；**Revised**：2017-12-10

作者简介：马胜军（1964—），男，高级工程师，主要从事防腐涂料和水性涂料的研究。

Biography：MA Sheng-jun (1964—), Male, Senior engineer, Research focus: anticorrosive paint and water-based coatings.

海洋覆盖了地球表面的 71%左右，当今世界人类的生产生活离不开海洋，海洋产业已经成为重要的经济支柱[1]。在油气资源开发领域，陆地油气资源逐年下降，海洋油气是未来发展的希望。2012 年全球海洋石油、海洋天然气产量分别占石油和天然气总产量的 33%和 31%，预计到 2020 年所占比例将分别升至 35%和 41%。海洋油气田的开发装备是关键，全国海上各类平台 200 多座。2012 年数据，中国海洋石油总公司有油气田 83 个，平台 165 座，在建平台 44 座。

海上平台是一种海上大型工程结构，其钢结构长期处于高盐雾、高潮气、高速率腐蚀的海洋环境中，还要受到海水及海洋生物的侵蚀。为了保证油气田生产的安全运行，做好海上平台的防腐工作十分重要。海洋平台及设施防腐技术多种多样，有耐蚀材料、热喷铝锌合金、安装牺牲阳极、涂覆有机涂料等。有机涂料因品种多、选择性广、配套涂层防腐性好、施工方便、经济性好等特点而在海上平台上广泛应用[2-4]。

海洋环境可以分为海洋大气区、浪花飞溅区、海水潮差区、海水全浸区和海底泥土区五个区带。按 ISO 12944-2 腐蚀环境分类为 C5-M、Im2 以及 C5-M 和 Im2 的混合环境，即海洋大气区、海水浸没区以及飞溅潮汐区。在高浓度的盐分、化学离子、氧气、水、泥砂、海生物等腐蚀介质的侵蚀下，在船只残骸、漂浮物、冰凌机械损坏下，保护涂层预期使用寿命会大幅度下降[5]。由于海上平台所处环境条件苛刻且腐蚀性强，平台防护涂层要求寿命长，因此海上平台的有机涂层采用重防腐涂料体系。

目前，在海上平台用的重防腐涂料，主要由国外公司提供。要突破这种局面，国内涂料企业应积极开展涂层体系的研究和配套涂料的开发，完善质量体系和技术服务体系。

1　海上平台保护涂层标准

从陆地走向海洋，从浅海走向深海，我国海上平台的建造水平不断提高。在与海洋严酷的腐蚀环境抗争中，积累了丰富的经验，这些经验经过系统总结和深入研究逐步转化为标准。在海上平台保护涂层体系设计、防腐涂料选用、涂层质量控制以及涂料制造商开发海上平台要求的涂料产品方面，标准发挥重要作用。目前，与海水平台保护涂层相关的主要标准有：ISO 20340-2009《海上平台及相关结构防护涂料体系性能要求》，2004 年第一次颁布；NORSOK M-501《表面处理与防护涂层》，2012 年第 6 版。NORSOK M-501 是针对海上平台进行腐蚀控制的技术规范，有详细涂层设计、建造方法和质量控制流程。而 ISO 20340 简练，有更多的指导性[6]。两个标准之间密切关联，互为补益。

NACE 也建立一套海上平台保护涂层的控制标准，包括 NACE SP 0108-2008《海上构筑物的保护涂层腐蚀控制》、NACE TM0104-2004《平台压载水舱涂层体系评价》、NACE TM0204-2004《海水浸没区结构外部的防护涂层评价》、NACE TM0304-2004《海上平台大气区和浪花飞溅区维修用涂层体系评价》、NACE TM0404-2004《海上平台大气区和浪花飞溅区新建防护涂层体系的评价》。NACE 系列的涂层标准建立在美国标准体系之上，NACE SP 0108 是纲领性的文件，NACE TM0104、NACE TM0204、NACE TM0404 是按腐蚀环境分类建立涂层性能要求及测试方法标准。

NORSOK M-501 由挪威石油工业部门建立，是用于沿海钢结构以及相应设施表面处理以及保护涂层方面的标准，到目前为止，最新版本为 2012 年 2 月发布的第六版。虽然 NORSOK M-501 标准是由挪威石油工业部门建立的，但是该标准在全球范围内得到了一致认可，特别是在海洋石油、采油平台等领域得到了广泛的应用。标准包括前言、简介、范围、参考标准、术语、一般要求、HSE、表面处理、涂料施工、热喷涂金属涂层、防火涂层喷涂、资格认证要求、检查和测试、附录-涂层体系等[7]。标准内容大体可以划分为三方面：一是为工程防腐设计提供依据，包括一般要求、涂层体系；二是为施工提供依据，包括一般要求、表面处理、涂料施工、检查和测试；三是为涂层质量控制提供依据，包括一般要求、涂层体系和合格性认可。涂层质量控制部分是实验室是对涂层的评价依据。NORSOK M-501 涂层体系的合格性认可试验建立在 ISO 20340 基础上，大量的 ISO 基础标准已经转化为国家标准，因此 NORSOK M-501 对涂层的认可方法容易被国内接受。

NACE SP0108-2008 由美国腐蚀工程师协会制定，主要针对防腐涂层的设计、施工和质量控制。NACE SP0108-2008 包括总则、术语、防护涂层体系、典型的防腐涂层体系、涂层体系的资格认证测试、表面处理、涂层材料和施工、质量保证和控制、涂层修补、法兰的腐蚀控制、紧固件涂层、管架的腐蚀控制、不锈钢管件的腐蚀控制、HSE 等[8]。防护涂层体系、法兰的腐蚀控制、紧固件涂层、管架的腐蚀控制、不锈钢管件的腐蚀控制，主要用于海上平台的防腐设计；表面处理、涂层材料和施工、质量保证和控制、涂层修补是涂料施工方面的要求；而涂层合格性认可，包含在典型的防腐涂层体系、涂层体系的资格认证的章节中。

中国是后起的工业化国家，海上平台的腐蚀控制一般采用欧美标准。中国海洋石油公司在这一方面做了不少工作[9-10]，把 NACE RP 0176 多个版本转化为

了 SY/T 10008。2007 年后，NACE RP 0176 分拆为 SP 0108-2008 和 NACE SP 0176-2007，其中 NACE SP 0108-2008 转化为 SY/T 6930-2012，成为国内海洋工程建造的防腐涂层控制腐蚀的技术规范。和 NORSOK M-501 相比，NACE SP0108 的涂层系统更加丰富。

2　海上平台涂层体系

钢铁强度高、韧性大，是海上平台建造主要的结构材料。海洋是严酷的腐蚀环境，会导致材料以数倍于内陆地区的速度腐蚀。腐蚀使海上平台结构材料的强度下降，威胁海上平台的安全，因此平台上钢质结构的腐蚀防护是平台建造的关键技术之一。涂层防护或涂层与牺牲阳极联合防护是海上平台最主要的防腐方法。国内海上平台保护涂层设计，主要依据 NORSOK M-501 和 NACE SP0108。

保护涂层体系包括：涂层结构、选用的涂料品种、额定干膜厚度以及施工道数。涂层结构分为底涂层、中间涂层和面涂层，更宽泛则可把表面处理要求也看作涂层结构的一部分。涂料品种，按涂层结构用漆分为车间底漆、底漆、封闭底漆、中间漆、过渡漆、面漆。额定干膜厚度，分每一涂层厚度和总膜厚，重防腐涂层总膜厚大多在数百微米[11]。

综合考虑海上平台涂层的设计年限、腐蚀环境、服役温度、基材种类、涂装条件，就可以设计涂层体系[12-14]。海上平台保护涂层采用长效重防腐体系，一般设计年限为 15 年以上。海上平台的腐蚀环境，大体可以分为海泥区、海水浸没区、飞溅潮汐区和大气区。大气区有甲板、生活楼、生产设备、工艺管线等。海泥区、海水浸没区、飞溅潮汐区的设施有桩腿、海管、电缆套管等。涂层设计主要考虑的材质是低碳合金钢。此外，不锈钢、铝合金等金属以及镀锌件也是平台建造中常用的材料。工艺管线、储罐等设施要考虑涂层在服役环境中的使用温度，范围为–50~600 ℃。涂层使用温度，可以给出一个大体的范围：海水浸泡环境，双酚 A 型环氧树脂涂料可耐 60 ℃，酚醛环氧达 100 ℃[15]；大气环境下，双酚 A 型环氧树脂涂料的耐热温度可达 120~150 ℃，酚醛环氧的达 200~230 ℃，无机富锌达到 450 ℃，有机硅铝粉 540 ℃；新近发展的无机聚合物涂料，如 interbond1202upc，耐温性达到 640 ℃，用作通用型管道涂料。对涂层的服役环境温度，尤其是浸泡在介质中的涂层，应该经过模拟环境条件的试验确定。

本文通过对海上平台进行环境分类，然后进行涂层设计，结合涂料品种的特点给出可供参考的涂层体系，见表 1。

海上平台涂层体系由功能各异的防腐涂料组合而成。依据涂层结构中的底、中、面分类，把常用的防腐涂料归类在表 2。除了金属涂层和防火涂料，表 2 所列出的涂料品种基本满足目前海上平台的有机涂层防腐所需。

表 1　海上平台主要涂层体系

Tab.1 Main coating systems of offshore platform

区域类别	涂装部位	涂料体系		
		涂料品种	最低干膜厚度/μm	建议施涂道数
大气区，碳钢基材，常温	飞溅区以上主要钢结构及甲板底面	富锌漆	60	1
		环氧云铁漆	200	1
		聚氨酯面漆	60	1
	直升机甲板、工作甲板、疏散通道、行人通道、搁物区	环氧富锌	60	1
		耐磨环氧漆	200	1
		耐磨环氧漆	200	1
		环氧面漆	60	1
		环氧防锈漆	80	1
		环氧玻璃鳞片漆	500	1
		环氧玻璃鳞片漆	500	1
		环氧面漆	60	1
		环氧防锈漆	80	1
		高固体份环氧	160	1
		防滑环氧涂料	160	1
		聚氨酯面漆	60	1
	生活楼外表面	环氧富锌	60	1
		环氧云铁漆	200	1
		聚氨酯面漆	60	1
大气区，碳钢基材，常温	生活楼内表面	环氧富锌	60	1
		环氧中间漆	100	1
		醇酸底漆	50	1
		醇酸面漆	50	1
	机舱、泵舱	环氧树脂漆	200	1—2
大气区，碳钢基材，工作温度＞120 ℃	撬装设备、容器、管汇、管道及阀门外表面，工作温度 120~200 ℃	酚醛环氧漆	125	1
		酚醛环氧漆	125	1
		无机富锌	75	1
		有机硅改性丙烯酸	50	1
	管道、阀门、火炬等外表面，工作温度为 200~ 540 ℃	有机硅铝粉漆	25	1
		有机硅铝粉漆	25	1
		有机硅铝粉漆	25	1
		硅基厚浆型涂料	150	1
		硅基厚浆型涂料	150	1
大气区，非碳钢基材	铝基材构件、镀锌构件、热喷锌构件、不锈钢构件，工作温度＜120 ℃	低表面处理环氧漆	40	1
		环氧中间漆	120	1
		耐候面漆	60	1

续表 1

区域类别	涂装部位	涂料体系		
		涂料品种	最低干膜厚度/μm	建议施涂道数
大气区，非碳钢基材	不锈钢件，工作温度＜200 ℃	酚醛环氧漆 酚醛环氧漆	125 125	1 1
	不锈钢件，工作温度 200~540 ℃	有机硅耐温漆 有机硅耐温漆	25 25	1 1
飞溅及潮汐区	桩腿、靠船件、油井套管、电缆护管及深水泵护管等	环氧防锈漆 环氧玻璃鳞片 环氧玻璃鳞片	80 500 500	1 1 1
浪溅区 CN-7		环氧玻璃鳞片 环氧玻璃鳞片	500 500	
海水浸没区	工作温度＜50 ℃ 工作温度 50~100 ℃	厚浆型环氧漆 高固体分环氧漆	350 350	2 3
液舱室	饮水舱	无溶剂环氧漆	600	2
	压载舱	高固体分环氧漆 高固体分改性环氧	320 320	2 2
储罐	油罐、生产水罐、消防水罐、海水罐、污水罐等内表面	高固体分环氧漆 酚醛环氧漆	320 250	2 2

表 2　海上平台常用的涂料产品

Tab.2 Paint products commonly used on offshore platform

涂层结构	涂料产品	简要说明
底涂层	环氧富锌	海洋大气环境，要求涂层锌粉含量不小于 80%。
	无机富锌	最常用的是正硅酸乙酯树脂与锌粉制成的无机富锌涂料，水性无机硅酸锌也有应用，树脂为硅酸锂聚合物物。
	环氧防锈漆	含有防锈颜料的环氧树脂底漆，可在钢表面形成钝化膜，常用的是磷酸锌环氧底漆。
	低表面容忍环氧漆	新建结构的钢材表面处理为 Sa2.5，低于此等级的可理解为低表面处理，例如高压水处理表面、潮湿表面等。不同表面处理状态对环氧漆要求有差别。
	醇酸底漆	主要用于室内，与醇酸面漆配套。
中间涂层	环氧中间漆	中间漆提高涂层的厚度，从而提高涂层抵御腐蚀介质的穿透。相对而言，中间漆价格便宜。
	环氧云铁漆	片状云铁粉增强涂层屏蔽效果、提供耐紫外光性能。
面涂层	环氧面漆	适用耐候性要求不高的重防腐体系。例如平台甲板的背面涂装。
	聚氨酯面漆	最常用耐大气老化的面漆，采用脂肪族聚氨酯固化剂。可以设计多种型号，如高光的、亚光的、柔性的、可复涂等聚氨酯涂料。
	工程硅氧烷	新型耐侯型面漆，VOC 低，耐侯性好。价格高于聚氨酯面漆。
	氟碳涂料	新型耐侯型面漆，耐侯性好。采用脂肪族聚氨酯为固化剂，氟树脂为羟基组分。
	醇酸底、面漆	单组分涂料，对金属底材的润湿性好，主要用于室内，与醇酸底漆配套。
底漆面漆合一涂层	酚醛环氧漆	酚醛环氧可以制成适应大气环境、化学舱和海水浸没等应用环境的涂料品种，酚醛环氧的耐温性比双酚 A 环氧高几十度，管道外壁涂装的酚醛环氧漆最高使用温度可达 230 ℃。
	无溶剂环氧漆	无溶剂环氧漆，VOC 很低，在密闭环境中涂装安全性高。
	高固体分环氧漆	防腐涂料发展的一个主要技术方向就是提高涂料的固体分，降低 VOC。 高固体分涂料在重防腐涂料领域广泛应用，而且固体分越来越高。
	耐磨环氧漆	环氧防腐涂料的配方设计强化了耐磨性。适合对涂层有机械磨损的部位涂装。
	超厚浆型环氧漆	一般厚浆型环氧的干膜厚度控制在 100~200 μm，有些涂层要求单道涂装干膜厚度为 500 μm，对厚涂要求更高。
	高固体分改性环氧漆	主要是液体石油树脂改性的种类。
耐高温涂层	有机硅改性丙烯酸	单组分，最高使用温度为 260 ℃（白色）、350 ℃（铝色）。
	有机硅铝粉漆	最高使用温度为 540 ℃，单道涂层厚度为 25 μm。
	硅基厚浆型涂料	最高使用温度为 640 ℃，单道涂层厚度为 100~150 μm。

3　海上平台保护涂层的性能要求

前面阐述了平台上的哪些部位需要用涂层保护，应该选用哪些涂料，涂料应该如何搭配等问题。作为涂料开发商还要考虑何等品质的涂料能用到海上平台上，这就需要对涂料或涂层体系进行评价。对涂料或涂层体系的评价有两个体系——欧洲的 NORSOK M 501 体系和美国的 NACE 体系。

3.1　NACE 关于平台保护涂层的性能要求

NACE 建立一套涂层性能评价体系。依照 NACE SP0108 涂层系统和性能要求，采用 NACE TM0104、NACE TM0204、NACE TM0404 测试方法，对相应的涂层体系和配套涂料进行性能测评。压载舱、浸水区、大气区、浪溅区的新建结构涂层体系的性能要求见表 3。

表 3　大气区、浪溅区和海水浸没区的涂层性能要求

Tab.3 Coating performance requirements for atmospheric, splash and immersion zone

项目	要求	浸没区 TM0204	浪溅区 TM0404	大气区 TM0404
边缘覆盖率	角、边上漆膜厚度大于邻近面的 50%	测试	测试	测试
柔韧性（弯曲应变）	$(t/2+C)/(R+t/2)$，在最低服役温度下仍大于 1%	不要求	测试	测试
时效稳定性	40 ℃人造海水 12 周，弯曲应变保持 50%以上	测试	不要求	不要求
冲击强度（甲板登船口）	GB/T 20624.2，大于 5.6 J	不要求	不要求	测试
冷/热循环	C 型槽钢试样，–30~60 ℃在 2 h 内循环 1 次，循环 3 周	不要求	测试	测试
耐浸水性	40 ℃人造海水 12 周，人造钻孔处的出现涂层剥离的径向尺寸小于 7.0 mm	测试	测试	不要求
耐阴极剥离性	ISO 15711，人造钻孔处的涂层剥离径向尺寸小于 7.0 mm	测试	测试	不要求
耐锈蚀蔓延性	以 7 d 紫外与冷凝+7 d 盐雾与干热试验为 1 个循环，共 6 循环。 富锌底漆涂层，涂层下金属锈蚀蔓延（垂直刻痕向内）＜1.5 mm，非锌粉漆涂层＜3.5 mm	不要求	测试	测试

由于湿油漆的表面张力，角、边上的涂层干膜厚度小于邻近面上的，采用边缘覆盖率来评测。国内涂料产品很少见边缘覆盖率的技术指标，国外产品有边缘覆盖率测试项目。大气区、浪溅区和海水浸没区用涂料都对此有要求。在工程上，为了避免边、角上涂层厚度达不到设计涂层厚度，采用预涂施工工艺。

涂层的机械力学性能中，考察涂层的柔韧性（弯曲应变）和冲击性能，冲击性能用于甲板。海水浸没区的弯曲应变是经过海水浸泡后测试的。

温度是涂层老化的主要因素，也是涂层设计的考虑的因素之一。考察涂层与温度的关系是涂料性能测试的重要方面。NACE 采用冷/热循环试验：2 h 内完成 1 循环（–30 ℃冷冻到加温 60 ℃），试验周期为 3 周，检测 C 型槽钢内涂层的裂纹。

大气环境和飞溅区的涂层要考察耐锈蚀蔓延性。试验前用刀在试板上刻出几厘米的长刻痕，剔除刻痕上的涂层至完全露出金属底材，然后进行循环试验。循环试验结束后，脱除涂层，对刻痕边缘涂层下的金属锈蚀进行评价，测刻痕垂直方向锈蚀部位的最大尺寸。这是一种加速老化试验的方法[16]。

水下钢结构一般采用涂层和牺牲阳极联合保护，要考察涂层的耐阴极剥离性能。涂层损坏造成漆膜不完整、有缺陷，缺陷处由于阴极保护作用而呈碱性，碱性会加速涂层从金属底材上脱落。涂层应该有优异的湿附着力和耐碱性能，才能抵御阴极碱性介质的侵蚀[17]。

由上可知，NACE 对涂层性能的要求是多方面的，主要根据使用环境对涂层的要求而设定。涂层性能大体可以归类为涂装工艺性（边缘覆盖率）、机械力学性能（试验前、后）、防锈蚀能力（海水浸泡、循环老化试验后）、耐温度交变性、耐阴极剥离性能等。NACE 对涂层性能测试项目的设定和测试方法实用性强，值得借鉴。国外涂料[18]采用这些测试项目的比较普遍，相比较国内企业就比较少见，可能是因为国内涂料企业开展海洋涂料研究较少所致。

3.2　NORSOK 关于平台保护涂层性能要求

NORSOK M501 依据环境设计了 9 个涂层体系并提出了性能要求，见表 4。用于 Im2 腐蚀环境、C5-M 腐蚀环境以及 C5-M 和 Im2 混合环境的涂层体系需要通过认可试验，需要认可的涂层体系是 No.1、No.3B（压载舱）、No.4、No.5、No.7，不需要认可的有 No.3（压载舱除外）、No.6（非碳钢金属）、No.8（C2、C3 的腐蚀环境）、No.2 和 No.9（高温环境）。有些体系虽然不需要进行认可试验，但不排除经过协商，设定一些必要性能检测项目，对涂料进行性能的评价。

NORSOK M501 认可试验，采用了 ISO 20340 合

格性试验方法，包括循环老化试验、海水浸没试验和耐阴极剥离试验，见表 5。大气区的保护涂层进行循环老化试验[19]，海水浸没区的进行阴极剥离和耐海水试验。飞溅和潮差区兼有大气区和海水浸没区的腐蚀环境，因此 3 个试验项目全部要做。

合格性试验后，要对试验结果进行评定。对涂层性能的评价主要从附着力、涂层老化、刻痕处锈蚀蔓延以及涂层剥离大小几个方面进行。附着力是涂层性能的基础数据，循环老化试验、海水浸没试验和阴极剥离试验中都要进行附着力测定。耐锈蚀蔓延性的评价方法，在循环老化试验和海水浸没试验中采用。耐阴极剥离试验采用失效涂层剥离面积折算成的等效直径评定。锈蚀蔓延和阴极剥离是在人工刻痕和钻孔的基础上测定。试板非刻痕部位的涂层，采用 ISO 4628《色漆与清漆 涂层老化评价》的标准来评级。对涂层评定的技术要求见表 6。结合表 5，能对海上平台常规涂层体系的性能要求有一个全面了解。

表 4　NORSOK M501 标准的涂层体系认可试验要求

Tab.4 Approval test requirements for coating systems in Standard NORSOK M501

M501 涂层体系	涂层体系合格性认可试验		
	循环老化试验	海水浸没测试	耐阴极剥离
No1：碳钢，大气区，< 120 ℃	需要测试	不要求	不要求
No2：碳钢，大气区，>120 ℃	不要求	不要求	不要求
No.3B：压载舱	需要测试	需要测试	需要测试
No.4：人行通道、疏散通道、（甲板）堆场	需要测试	不要求	不要求
No.5A 环氧基防火涂层下的涂层	需要测试	不要求	不要求
No.5B 水泥基防火涂层下的涂层	需要测试	不要求	不要求
No.6：需要涂装的不锈钢、镀锌件、铝合金	不要求	不要求	不要求
No.7A：碳钢，水下，潮汐浪溅区	需要测试（潮汐浪溅区）	需要测试（水下）	需要测试（水下）
No.7B：不锈钢，水下，潮汐浪溅区	需要测试	需要测试	需要测试
No.8：碳钢，室内或干燥通风处结构，< 80 ℃。	不要求	不要求	不要求
No.9：碳钢，阀门，<150 ℃	不要求	不要求	不要求

表 5　ISO 20340 标准的涂层合格性试验

Tab.5 Coating qualification test of Standard ISO 20340

试验项目	指标		
	C5-M（海洋大气区）	C5-M 和 Im2 混合（飞溅和潮汐区）	Im2（全浸区）
循环老化性（25 循环，1 个循环为 3 d ISO 11507 紫外+3 d 盐雾+1 d 20 ℃冷冻试验）	4200 h	4200 h	不要求
耐阴极剥离（ISO 15711:2003 方法 A）	不要求	4200 h	4200 h
海水浸没试验（ISO 2812-2）	不要求	4200 h	4200 h

表 6　合格性试验的要求

Tab.6 Requirements for qualification tests

评定方法		合格性试验后的要求	
拉开法附着力测试（循环老化、海水浸泡和阴极剥离试验，试验前后都进行此项评价）		试板经过两周状态调节后再进行评定；拉开法测量值至少为试板初始值的 50%，且最小为 2 MPa；在底材与第一道涂层之间不得出现附着失败，除非拉开法的数值达到或超过 5 MPa。	
涂层老化的评价（循环老化、海水浸泡和阴极剥离试验，进行此项评价）	ISO 4628-2（起泡）	0（S0）	合格性试验后立即进行评价
	ISO 4628-3（生锈）	Ri 0	合格性试验后立即进行评价
	ISO 4628-4（开裂）	0（S0）	合格性试验后立即进行评价
	ISO 4628-5（剥落）	0（S0）	合格性试验后立即进行评价
	ISO 4628-6（粉化）	按当事各方之间商定的要求进行	
刻痕处的锈蚀蔓延（循环老化试验和耐海水试验进行此项评价）		对于使用富锌底漆的涂料体系，锈蚀蔓延≤3.0 mm；对于使用非富锌底漆的涂料体系，锈蚀蔓延≤8.0 mm。	
抗阴极剥离性能（阴极剥离试验进行此项评价）		试验样板上钻出直径为 6 mm 的人造圆孔，试验后用刀尖掀起圆孔周边涂层。记录暴露的总面积，通过将总暴露面积减去圆孔面积的差值来计算剥落区域的面积。剥落面积折算成等效圆，其直径应不得超过 20 mm。	

4 结语

海上平台涂层体系的设计，主要依据 NORSOK M501 和 NACE SP 0108，NACE SP 0108 的涂层体系更加丰富，二者可以相互补充。

涂层体系涉及到的涂料品种有富锌涂料、环氧防锈漆、环氧云铁、环氧玻璃鳞片漆、低表面处理环氧涂料、厚浆性环氧漆、环氧砂浆、无溶剂环氧漆、酚醛环氧漆、聚氨酯面漆、工程硅氧烷等，这些产品国内防腐涂料企业大多能生产。

NACE SP0108 建立了循环老化、海水浸泡和抗阴极剥离试验，此外 NACE SP0108 还建立了边缘覆盖率、柔韧性和冲击性、冷热循环等测试方法。NACE SP0108 是涂料性能评价的重要依据，是海上平台用防腐涂料较全面的评价方法。

海上平台涂层体系的认可，国内一般采用 NORSOK M501。按 NORSOK M501 进行涂层认可，采用 ISO20340 的涂层合格性试验，包括循环老化试验、海水浸泡试验和抗阴极剥离试验。

参考文献：

[1] 赵君, 杨小刚, 王光荣, 等. 海洋防腐涂料现状及市场前景[J]. 中国涂料, 2006(6): 9-12.
ZHAO Jun, YANG Xiao-gang, WANG Guang-rong, et al. Current Situation and Market Prospect of Marine Anticorrosive Paint[J]. China Coatings, 2006(6): 9-12.

[2] 王猛, 张富春, 王鑫. 我国海洋防腐涂料现状及未来发展趋势[J]. 全面腐蚀控制, 2010, 24(2): 7.
WANG Meng, ZHANG Fu-chun, WANG Xin. The Present Situation and Future Trend of Marine Anticorrosive Coatings in China[J]. Total Corrosion Control, 2010, 24(2): 7.

[3] 邵怀启, 韩文礼, 王雪莹, 等. 海洋平台防腐蚀涂料技术进展[J]. 中国海洋平台, 2007, 22(5): 6-9.
SHAO Huai-qi, HAN Wen-li, WANG Xue-ying, et al. Progress of Anti-corrosion Coatings for Offshore Platforms[J]. China Offshore Platform, 2007, 22(5): 6-9.

[4] 王义, 靳有. 浅析海洋平台腐蚀与防护[J]. 全面腐蚀控制, 2013, 27(3): 8-10.
WANG Yi, JIN You. Analysis of Corrosion and Protection of Offshore Platform[J]. Total Corrosion Control, 2013, 27(3): 8-10.

[5] 周小敏, 刘钧泉. 有机涂层使用寿命探讨[J]. 装备环境工程, 2010, 7(1): 57-60.
ZHOU Xiao-min, LIU Jun-quan. On Service Life of Organic Coatings[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(1): 57-60.

[6] ISO 20340: 2009, Paints and Varnishes Performance Requirements for Protective Paint Systems for Offshore and Related Structures [S].

[7] NORSOK M-501, Surface Preparation and Protective Coating[S].

[8] NACE SP0108, Corrosion Control of Offshore Structures by Protective Coatings[S].

[9] SY/T 6930—2012, 海上构筑物的保护涂层腐蚀控制[S].
SY/T 6930—2012, Corrosion Control of Offshore Structure by Protective Coatings[S].

[10] 亓俊良, 陆长山. 平台涂装设计中的色彩平衡[J]. 涂料工业, 2014, 44(6): 58-60.
QI Jun-liang, LU Chang-shan. Color Balance for Platform Painting Design[J]. Paint & Coatings Industry, 2014, 44(6): 58-60.

[11] 于萱, 王涛, 王洪福. 海洋石油深水油气田开发防腐涂装设计及施工[J]. 涂料技术与文摘, 2013, 34(3): 3-9.
YU Xuan, WANG Tao, WANG Hong-fu. Design and Construction of Marine Oil and Deep-water Oil and Gas Field Development[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2013, 34(3): 3-9.

[12] 李爱贵, 韩文礼, 王雪莹, 等. 海洋平台涂层防腐蚀系统设计[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2009, 26(1): 48- 51.
LI Ai-gui, HAN Wen-li, WANG Xue-ying, et al. Design of Coating Anti-corrosion System of Marine Platform[J]. Petrochemical Corrosion and Protection, 2009, 26(1): 48-51.

[13] 陆长山. 海洋工程重防腐涂装现状简介[J]. 涂料技术与文摘, 2008(9): 28-32.
LU Chang-shan. Introduction of the Status of Marine Engineering Represervative Coating[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2008(9): 28-32.

[14] 余直霞, 于萱, 张国庆. 海洋石油飞溅区涂装防腐设计及施工[J]. 涂料技术与文摘, 2012, 33(3): 3-6.
YU Zhi-xia, YU Xuan, ZHANG Guo-qing. Anticorrosion Design and Application of Coating System for Splash Zone of Offshore Oil & Gas Platform[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2012, 33(3): 3-6.

[15] 汤诚, 朱志录, 冯俊. 酚醛环氧防腐涂料的制备及性能研究[J]. 中国涂料, 2010, 25(7): 32-34.
TANG Cheng, ZHU Zhi-lu, FENG Jun. Preparation and Performance Study of Phenol Aldehyde Epoxy Anticorrosive Coatings[J]. China Coatings, 2010, 25(7): 32-34.

[16] 潘煜怡, 沈海鹰, 马胜军. 加速腐蚀试验方法的比较[J]. 涂料工业, 2008(10): 64-67.
PAN Yu-yi, SHEN Hai-ying, MA Sheng-jun. Comparison of Accelerated Corrosion Test Methods[J]. Paint & Coatings Industry, 2008(10): 64-67.

[17] 方健君, 沈海鹰, 王秀娟, 等. 海洋环境下抗阴极剥离重防腐涂层的研究[J]. 涂料工业, 2010, 40(10): 1- 4.
FANG Jian-jun, SHEN Hai-ying, WANG Xiu-juan, et al. The Formulating of Cathodic Disbonding Resistant Heavy-Duty Coatings under Marine Environment[J]. Paint & Coatings Industry, 2010, 40(10): 1-4.

[18] SØRENSEN, KIIL S, DAM-JOHANSEN K, et al. Anticorrosive Coatings a Review[J]. J Coat Technol Res, 2009, 6(2): 135-176.

[19] 陈月珍, 潘煜怡, 张伟丽, 等. 海洋大气区钢结构用改性聚硅氧烷涂料配套性研究[J]. 涂料技术与文摘, 2010, 31(11): 41-44.
CHEN Yue-zhen, PAN Yu-yi, ZHANG Wei-li, et al. Study on the Compatibility of Modified Polysiloxane Coatings for Steel Structures in Marine Atmosphere[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2010, 31(11): 41-44.