

近海海洋石油平台导管架喷涂金属层防腐^{*}

李言涛 侯保荣

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

锌、铝及其合金涂层对钢铁的防护, 不仅对阴极起保护作用 (Gartland 1987), 对涂层本身也具有良好的抗腐蚀性能。此外, 涂层中金属微粒表面形成的致密氧化膜, 也起到了防腐蚀的作用。在不同大气环境下, 锌、铝有良好的耐蚀性, 其腐蚀速率比钢铁要低得多 (李言涛, 1998)。采用热喷涂锌、铝及其合金涂层对钢铁构件和构筑物进行长效防护早在 20 世纪 20 年代就已开始应用, 至今仍是普遍采用的防护措施, 并在继续发展 (李守本等, 1989)。20 年代初, 法国首先用于海水闸门的防腐; 40 年代美国用于墨西哥湾的海上井架和海上输油管以及舰船的防腐; 60 年代英、法、德等国海军将这一技术扩大应用到舰船的上部结构和船壳。而金属热喷涂技术在海洋工程中使用非常有限, 第一次使用热喷涂铝涂层防护近海平台的实例是 Conoco 公司在北海的 Murchison 结构上的锥形塔, 并且已获得了 4a 良好的使用效能 (Fisher *et al*, 1987; Shaw *et al*, 1985)。1984 年 6 月, Hutton 张力支柱平台 (TLP) 在北海下水 (水深 148 m) 安装。系链、升降机和锥形塔均采用火焰热喷涂技术喷涂铝涂层进行防护 (Tyson 1985)。1992 年 6 月, Hutton 平台使用 8a 后, 对升降机绳索进行观察, 在飞溅区没有发现腐蚀现象, 也没有检测到褐色渗漏效应 (Fisher *et al*, 1995)。根据 Hutton 平台热喷涂铝涂层的成功经验, 在 1987 年和 1988 年北海南部的九个平台的飞溅区也采用了该防护涂层。1989 年喷涂铝涂层被用于防护墨西哥湾的 Joliet 平台上的升降机, 均未有发生涂层问题。热喷涂铝涂层在近海的最大应用工程是 Heidrun 张力支拉平台, 该平台设计寿命 50a (Fisher *et al*, 1995)。按照规定在升降机、系链、甲板下侧和许多需要高可靠性、低维修和长寿命的设施上热喷涂铝涂层。我国的热喷涂防腐技术起步晚, 这种有效的防护方法还没有引起普遍的重视 (Xu Binshi *et al*, 1995), 在腐蚀严重的海洋环境中钢铁设施的热喷涂长效防护应用在中国目前几乎仍是空白, 有待进一步推广应用。为此作者在 1999 年夏天在胜利油田浅海开发公司埕岛中心二号平台的部分导管架上对自行设计的喷涂金属层长效防护方案进行了现场试验, 收到较好效果。

一、材料与方法

1. 埕岛海况

埕岛石油开发区, 地处渤海湾西部, 水深在 10 m 之内受黄河水的影响, 海水含沙

^{*} 通讯作者: 李言涛, 硕士生导师, 副研究员, 现从事海洋腐蚀与海洋防护方面研究。E-mail: yltf@163.com.

收稿日期: 2005 年 1 月 10 日.

量大，透明度低。由于潮汐的作用含沙海水对平台装腿产生磨蚀，在冬季受流冰影响，流冰对装腿造成的破坏，极为严重，因而埕岛石油开发区的平台较其他海域的平台处于更为严酷的腐蚀环境，虽然每座平台均按照国家制定的防腐规范，采取了必要的防腐措施，但由于不同海域有不同的环境特点，防腐对策是否合理，要靠实际效果来验证（侯保荣等，1999）。因此对该区平台采取热喷涂金属覆盖层重防腐措施是非常必要的。

2. 喷涂部位及方法

埕岛中心二号平台由生活、储罐、动力、生产及油气处理 4 个平台及火炬桩等几部分组成，它是在日本退役平台的基础上改装的。原平台采用锌层作为防腐涂层，并无其他保护。退役时导管架表面布满铁锈，但局部仍保留有锌层，其厚度约在 70 ~90 μm。在对原平台进行改装后，需要进行防腐保护。

1997年 7月在室内实验研究的基础上，采用优选的喷涂金属材料 and 封闭有机涂料，进行喷涂金属覆盖层防腐应用试验。选择埕岛中心二号平台的动力及注水平台的三根立管桩作为喷涂试验对象（图 1，A ~G）。其他部位仍采用涂料的防腐方案（9油 2布）。1997年 8月在胜利油田埕岛海域海洋石油开发区下水使用。

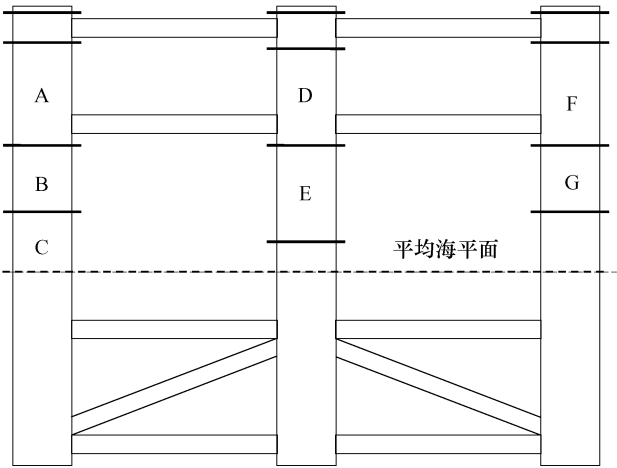


图 1 埕岛中心二号平台的动力及注水平台示意图
（A ~G 为喷涂防腐，其余为涂料防腐）

3. 对照防腐方案

作为对照部分的防腐施工是按胜利油田设计院的要求，动力及注水平台的导管架外壁保护包括环氧富锌底漆、厚浆型环氧树脂防腐漆加玻璃布和环氧磁漆等共 9道，累计干膜厚度应达到 840 μm，最后表观为橘红色（表 1）。

表 1 埕岛中心二号平台导管架及附属构件内外防腐涂层结构表

结构名称	防腐部位	涂 层 结 构			颜色	涂装方式
		涂料名称	道数	干膜厚度 μm		
火炬桩 导管架 斜撑 拉筋 深井泵护管 导管架 桩	外壁	环氧富锌底漆	2	100	灰色	刷涂或滚涂
		厚浆型环氧树脂防腐漆	4			
		玻璃布(层)		600	黑色	刷涂或滚涂
	内壁 外壁	环氧磁漆	2			
		HS厚浆型防腐漆	3	140	橘红	喷涂
		(鳞片型)	2	250	棕色	刷涂或滚涂

4. 热喷涂防腐方案(表 2)

表 2 喷涂防腐方案

防腐方案	涂层结构			颜色	涂装方式	实施部位 (图 1)
	涂 料 名 称	道 数	厚度 μm			
1	喷铝	1	120~150	白色	喷涂	A、B、C
	环氧树脂漆 6101	2		无色	刷涂	
	环氧树脂面漆	2		橘红	刷涂	
2	喷铝 15 锌 85	1	40~60	青白	喷涂	D、E
	喷铝 55 锌 45	1	80~90	青白	喷涂	
	氯化橡胶底漆	2		浅灰	刷涂	
	氯化橡胶面漆	2		绿色	刷涂	
3	喷锌	1	30~50	青白	喷涂	F、G
	喷铝	1	90~100	白色	喷涂	
	高氯聚乙烯底漆	2		铁红	刷涂	
	高氯聚乙烯面漆	2		浅灰	刷涂	

5. 厚度记录及效果(表 3)

表 3 涂层厚度

实施部位(图 1)	A	B	C	D	E	F	G
长 度 km	3.8	2.2	2.2	3.0	3.0	3.8	2.2
喷涂金属	铝		铝 15 锌 85		锌		
			铝 55 锌 45		铝		
最终厚度(下水前) μm	235.5	240.3	261.7	220	226.5	219.5	292.9
最终表观颜色	橘 红		绿		浅 灰		

6. 实海观测项目

1999年 4 月 12 日对已服役 1.5a 的埕岛中心二号平台的部分导管架的喷涂金属层长

效防护效果进行了现场观察, 其结果 (1) 涂层外观: 用 OLYMPUS 防水型相机对金属喷涂层暴露近 2 年后的典型部位外貌进行照相记录; (2) 涂层厚度: 用 SDG-3A 型磁性厚度测量仪对各个设计涂层的典型区域的厚度进行测量; (3) 涂层电位: 用 SANWA FD-730C 数字万用表 (输入阻抗 $\geq 100\text{ M}\Omega$, 测量水线及水下区涂层的保护电位。

二、结果与分析

1. A、B、C 区观测结果

(1) 海洋大气区

从照片 1 可以看出涂层表面粗糙, 但涂层体系基本完整没有大面积白锈斑出现。这是该区为纯喷铝涂层没有喷锌涂层, 而铝喷涂层颗粒大, 结合力略差于喷锌涂层。另外, 该施工区带喷砂时使用的是河砂, 砂粒硬度不够, 造成表面预处理等级不足, 仅达 Sa2 级, 而热喷涂金属覆盖层要求钢铁基体表面必须达到 Sa2.5 级以上, 最好达到 Sa3 级, 且要求基体表面具有一定的粗糙度以提高金属涂层与保护基体的机械结合力 (抛锚效应)。

从照片 2 可以看到由于叶片部基体表面喷砂处理时不充分, 致使涂层大面积脱落, 特别是有机涂层, 但是仍有一部分金属涂层残留, 保护基体免受腐蚀, 而在单独有机涂层保护的情况下; 一旦涂层钢铁基体马上就会遭受环境腐蚀而出现锈点。

涂层的厚度在此区带变化不大, 但高于另外两个桩腿的喷涂区带的厚度变化较大, 接近 $100\text{ }\mu\text{m}$ 。

(2) 潮差区

水线区涂层生物附着与污损严重, 桩腿完全变黑, 说明单独喷铝涂层对生物无害, 不能起到防污效果, 另外涂层表面有许多红锈斑, 这也说明喷铝涂层的阴极保护效果不佳, 当然这也与该区表面喷砂处理等级不够有关。因此要想达到良好的保护效果, 预处理是十分关键的。

水线区的涂层电位为 -886 mV , 水下 1 m 为 -903 mV , 水下 2 m 为 -906 mV , 水下 4 m 为 -910 mV 。由此可见平台桩腿的阴极保护设施运转良好, 但是仍不能保证潮差区基体免受腐蚀, 因此, 必须施加有效防护涂层 (照片 3)。

2. D、E 喷涂区观测结果

(1) 海洋大气区

从照片 4 中可以看到该区的涂层完好无缺, 保护效果良好。另外, 从照片 5 中还可以看到绿色的氯化橡胶有机涂层仍保持着下水前的光泽。有机涂层表面有白色锈点及锈斑, 这可能是由于因工程需要最后外涂的橘红色环氧树脂面漆与氯化橡胶面漆的配伍性不佳或者氯化橡胶涂层表面不洁净, 造成了有机涂层间结合力不佳, 形成孔隙, 而使渗透的海水滞留引起了金属涂层的腐蚀。但是由于氯化橡胶涂层与金属涂层的结合力好, 没有出现有机涂层破裂、脱落现象, 只是出现了一层白色的浮锈点。即使表层的有机涂层被擦掉, 底层的金属涂层仍对钢铁基体具有良好的保护作用。

涂层的厚度基本不变, 表面有机涂层擦伤后暴露出的金属涂层厚度为 $150\text{ }\mu\text{m}$ 左右, 也没有发生变化。

(2) 潮差区

从照片 6 可以看出, 水线区涂层内侧有机涂层基本完整, 有轻微的生物附着及污损现象, 外侧由于水流湍急和水中泥沙的磨蚀, 涂层几乎完全消失, 露出了光滑的金属喷涂层。没有生物附着与污损, 这可能是由于涂层中的锌的弱毒性作用。由于涂层的电化学保护性能良好, 没有钢铁基体腐蚀的红锈点出现, 涂层水线区的保护电位为 -924 mV , 水下 1 m 处保护电位为 -930 mV (照片 7)。

3. F、G 喷涂区观测结果

(1) 海洋大气区

从照片 8、9 可以看到该区域的涂层保护效果良好。涂层体系完整, 基本没有锈点, 涂层厚度与施工后的涂层厚度基本无差异。从照片 9 可以看出这个区域涂层体系的表层有机涂层受到了破坏, 主要是由于该区为垫桩部位, 喷砂预处理不良, 致使涂层与基体结合力不良, 海水通过有机涂层与保护性锌铝金属涂层发生电化学反应, 生成膨胀的溶解性腐蚀产物, 使外层的有机涂层崩坍、破裂, 但是由于金属涂层的保护作用, 钢铁基体没有遭到海水的腐蚀。

(2) 潮差区

水线区及水下区由照片 10 可以看到该区导管架桩腿附着了海生物并造成了涂层污损, 但对涂层的保护作用没有影响, 只有零星地几个黄锈点, 此时桩腿在水线区的电位为 -860 mV (外侧)、 -890 mV (内侧)。这是由于金属外涂层为铝涂层, 所以水线区涂层的电位较正, 由于检测时, 当地海水正处于高潮位, 所以导管架水下的阴极保护系统作用不大, 所测电位基本上为金属涂层的保护电位 (Gartland, 1987)。

三、结 论

(1) 海洋平台喷涂锌、铝金属覆盖层的防腐效果是十分明显的, 即使表面有机涂层脱落也会保护基体免遭腐蚀。

(2) 对于喷涂金属覆盖层防腐工程, 基体表面预处理是十分关键的, 钢铁表面的光洁度必须达到 Sa 2.5 级以上, 最好为 Sa 3 级, 另外还要有一定的粗糙度。

(3) 单独喷涂铝覆盖层对水线区附近的基体电化学保护效果不佳。

(4) 在海洋大气区, 即使涂层体系受到破坏, 表面有机涂层被擦破或脱落仍不影响金属涂层的保护效果。

(5) 封闭金属喷涂层的有机涂料必须具有高附着力, 高渗透力。在这三种有机涂料中, 仍以氯化橡胶涂料最为优良。

(6) 通过近 2 a 的外海实验, 先喷涂锌覆盖层, 再喷涂铝覆盖层, 然后再施加氯化橡胶涂料进行封闭处理, 是一个最经济、效果最佳的保护方案。

海洋平台喷涂金属覆盖层防腐应考虑平台使用地的环境因素。如埕岛海区海水中夹带大量泥沙对平台桩腿的腐蚀十分严重, 尤其是水线部位附近, 因此应根据具体情况设计涂层厚度及施工工艺。

参 考 文 献

- 侯保荣等. 1999. 海洋腐蚀环境理论及其应用. 北京: 科学出版社, 4: 238~258
- 李守本, 王瑞雪, 姚平. 1989. 锌铝合金丝及其热喷涂涂层的电化学特性. 材料开发与应用, (6): 18~23
- 李言涛. 1998. 热喷涂锌铝覆盖层防腐蚀. 见: 侯保荣主编, 腐蚀研究与防护技术. 北京: 海洋出版社, 159
- Shaw B A Moran P J. 1985. Characterization of the corrosion behavior of Zinc aluminum thermal spray coatings. *Material Performance* 24(11): 22~31
- Tyson J A B. 1985. "Hutton" production risers a novel cleaning problem An up to the moment case history. *Corrosion Prevention & Control* (4): 122~130
- Fischer K R Thomason W H *et al.* 1995. Performance History of Thermal Sprayed Aluminum Coatings in Offshore Service. *Material Performance* 34(4): 27~35
- Fischer K R Thomason W H *et al.* 1987. Electrochemical performance of flame sprayed aluminum coatings on steel in seawater. *Materials Performance* 26(9): 35~41
- Gartland P O. 1987. Cathodic Protection of aluminum-coated steel in seawater. *Materials Performance* 26(6): 29~36
- Xu Binshi Zhu Sheng and Liu Shican. 1995. Applications of the latest Thermal Spraying Technology in China. *Proceedings of IISC '95 Kobe* 133~136

Anti Corrosion by Thermal Spraying Metal Coating for Jacket of Offshore Marine Oil Platform

LI Yan tao HOU Baorong

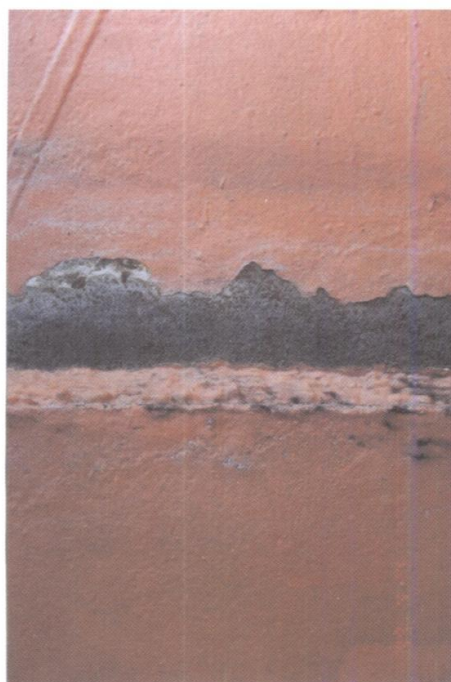
(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences Qingdao 266071)

ABSTRACT

In situ observation on the self designed thermal spraying metal coating for long time protection to the jackets of Center No. 2 platform in the Shengli Oil Field in Chengdao showed that the spraying aluminum coating had good corrosion resistant effect on the marine platform. The base was protected from corrosion even when the organic painting on surface had fallen off. Mere aluminum coating could not provide good electrochemical protection to the base near the water line. The coating's protective effect in the marine atmosphere zone did not decrease even when the organic paint on the surface was scuffed up or had dropped. The organic paint used to seal the spraying metal coating must have high cohesive affinity and penetration. The two years experiment in the open sea showed that the most economic and effective protective method is to spray zinc coating first then spray aluminum coating and then to seal the metal coatings with alkyd paint.



照片1 A、B、C 桩大气区外侧
涂层厚度: 281.6 μm



照片2 A、B、C 桩大气区内侧
涂层脱落区



照片3 A、B、C 桩水区外侧
涂层电位: -886 mV(0 m) -902 mV(-1 m)
-906 mV(-2 m) -910 mV(-4 m)



照片4 D、E桩大气区外侧
涂层厚度: 392.7 μm



照片5 D、E桩大气区内侧
涂层厚度: 211.5 μm

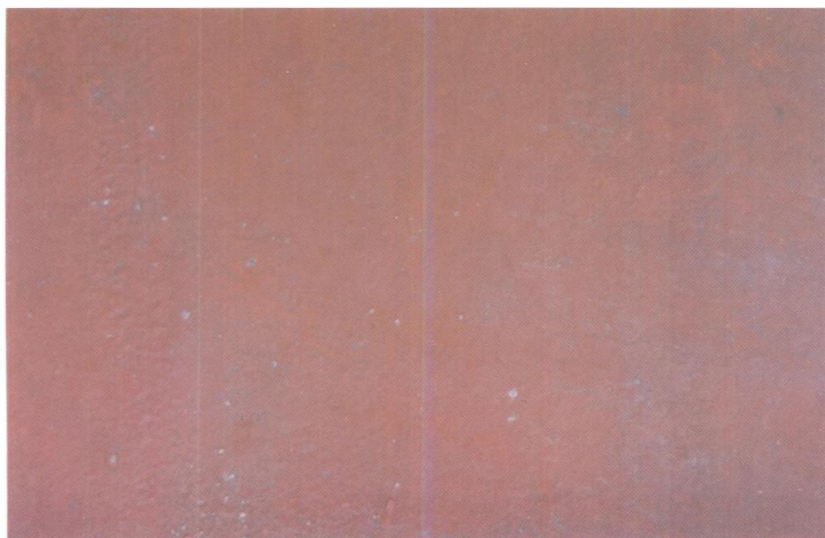


照片6 D、E 桩水线区内侧



照片7 D、E 桩水线区外侧

涂层电位: $-924\text{ mV}(0\text{ m})$ $-930\text{ mV}(-1\text{ m})$



照片 8 F、G 桩大气区外侧
涂层厚度: 247 μm



照片 9 F、G 桩大气区内侧有机涂层破裂区
涂层厚度: 234 μm



照片 10 F、G 桩水区内侧
涂层电位: -890 mV(0 m) -920 mV(0 m)