

中国南海涠洲油田 W114A 平台服役 15 年的水下钢结构腐蚀防护调查

姚平¹, 鲍祺^{2,3}, 赵霞², 段继周², 马士德²

(1. 中海石油有限公司 湛江分公司, 广东 湛江 524000; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 介绍了 W114A 平台在南海服役 15 年的水下钢结构的腐蚀与防护特检报告。检测表明, 生物污损严重, 最大附着厚度可达 20 cm, 阴极保护系统正常, 保护效果良好。对检测方法和结果进行了分析发现, 电位测量程序不妥, 牺牲阳极物理尺寸的测量方法不准确, 测厚点的基面清理不干净, 不能准确地对平台的阴极防护效果进行评估, 并对此提出了修改意见和建议。

关键词: 海洋平台; 水下钢结构; 腐蚀

中图分类号: TE985.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)01-0054-05

W114 平台系我国南海投产最早的自产海洋石油平台, 20 世纪 90 年代初建造, 1993 年在南海涠洲油田投入使用。海洋中钢铁构筑物的钢铁/海水界面同时存在着两个自然过程, 即钢铁的腐蚀过程和污损生物的附着过程^[1], 在这两个过程共同作用下, 钢铁遭到了腐蚀破坏。涠洲油田地处亚热带海域, 其所处的环境和渤海、黄海、东海相比, 具有水温高、盐度高、海水透明度高和生物活性高等特点, 由此给该海域钢铁结构带来严重的生物污损和腐蚀破坏。根据国际船级社的规定, 平台需每隔 5 年特检 1 次, 2008 年已是该平台的第 3 次特检, 即在海水中服役 15 年特检(分别于 1999 年、2003 年对水下钢结构的腐蚀、污损及阴极保护状态各进行过 1 次特检)。此前, 我们已经对 10 年来的污损生物群落对涠洲油田 W114 以及 W12-1 等平台的安全影响进行了研究^[2-4], 本次报告选择了该平台的导管架海平面至泥面范围内的 8 条桩腿(ROW-A 的 4 条桩腿 A1、A2、A3、A4 和 ROW-B 的 4 条桩腿 B1、B2、B3、B4), 从超声测厚、阴极保护电位和牺牲阳极状态三方面结果对其进行了讨论和评估。

1 水下检

1.1 水下钢桩的阴极保护电位

1.1.1 检测方法

对 W114A 平台桩腿水下结构选取不同深度的 2×7 个部位共 2×21 个采样点(图 1), 进行结构阴极电位测量。阴极测量点尽量选择远离牺牲阳极, 每

个结构阴极测量部位测 3 个点, 对每个采样阴极 3 个点电位分别取平均值, 汇总制成图 2、图 3。测量前用手锤清理测量点的海生物, 确保电位仪与测量部位良好接触。电位测试采用的是巴氏电位仪。电位仪水下使用前和试验锌块一起用海水浸泡超过 4 h, 并对电位仪进行校验, 确保水下测量数据的准确性。

1.1.2 检测结果与讨论

从 2008 年阴极保护电位测量数据可以看出(图 3), W114A 平台 8 个桩腿阴极电位数值均在 -1050 ~ -1 000 mV 之间, 该平台水下钢结构完全处于良好保护状态。通过测量发现低合金钢在该海域的自腐蚀电位在 -650 mV vs. Ag/AgCl 左右, 平台结构钢与低合金钢基本同类, 通常设计保护电位在 -800 ~ -1000 mV vs. Ag/AgCl。因此上述测试结果足以说明, 该平台水下钢结构处于良好保护状态, 但是, 保护电位长期处于 -1000 mV 以上, 钢铁表面易产生析氢反应, 氢向钢铁内渗透引起氢腐蚀, 给平台造成潜在危险。

该检测结果并未反映水下钢结构真实保护电位(图 4), 在海水中浸泡 15 年之久的平台水下钢结构钢铁/海水界面的真实情况为在水下钢结构表面还覆盖着平均 20 cm 厚的污损生物层(图 4 中阴影部分)。牺牲阳极的阴极电流 I_a 必须通过污损生物层 R_b 才能到钢结构基体。

收稿日期: 2010-01-18; 修回日期: 2010-06-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAB27B01)

作者简介: 姚平(1965-), 男, 陕西彬县人, 工程师, 研究方向: 海上石油平台腐蚀防护, E-mail: yaoping@cnooc.com.cn; 马士德, 通信作者, E-mail: baoqi08@mails.gucas.ac.cn

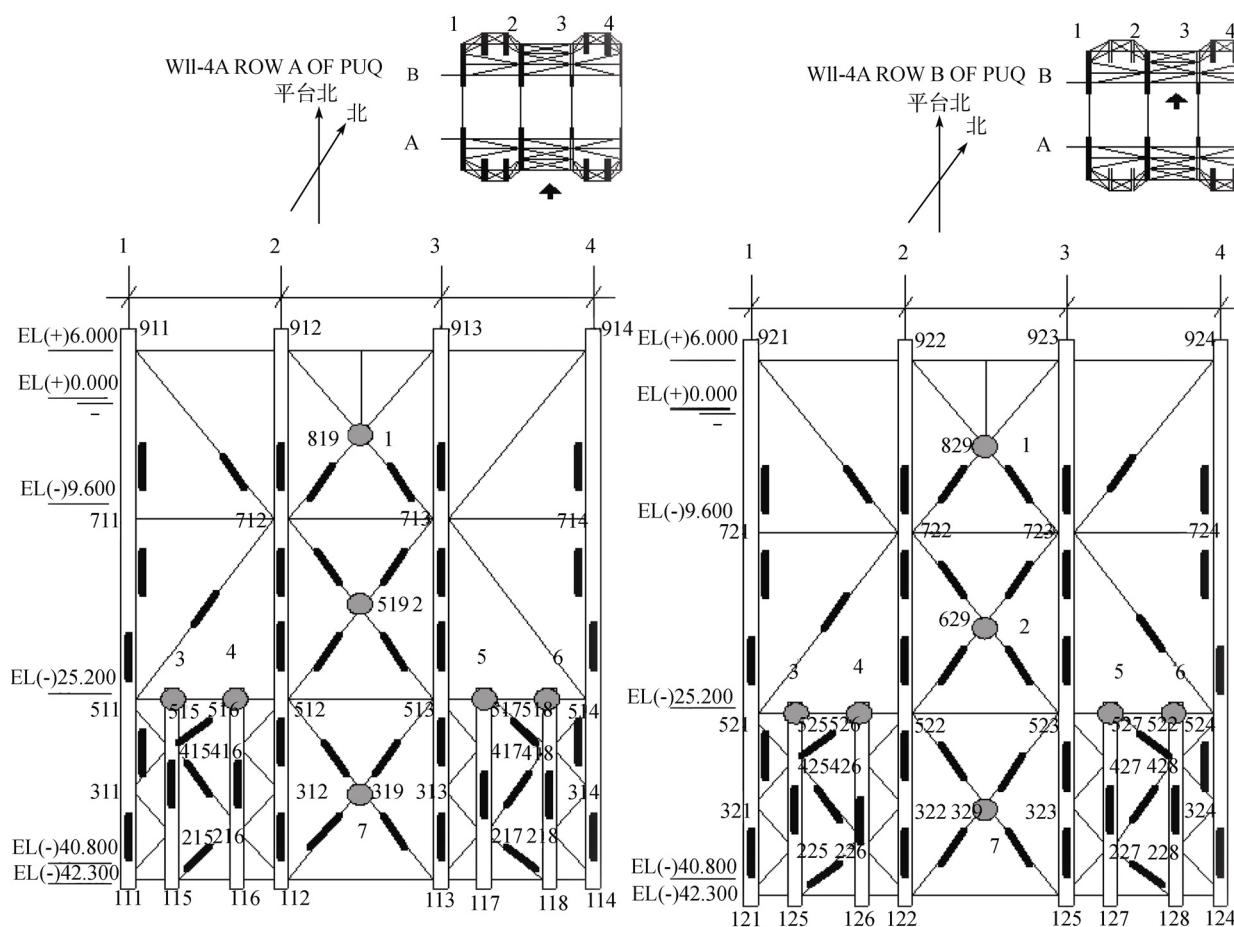


图 1 W114A 平台阴极保护电位采样点分布图

Fig. 1 Distribution of the sampling sites for the potentials of cathodic protection of W114A offshore platform

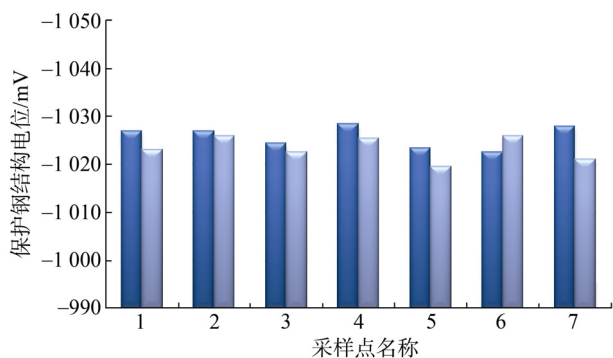


图 2 2003 年特检各个采样点处钢结构阴极电位图

Fig. 2 Cathodic potentials of the steel structure at each sampling position detected in 2003

电位仪校验电位变化范围为: $-1012 \sim -1009$ mV, 其中, 深色柱表示 ROW-A, 浅色柱表示 ROW-B

Calibration potential's range: $-1012 \sim -1009$ mV, the dark color column represents ROW-A, the shallow color column represents ROW-B

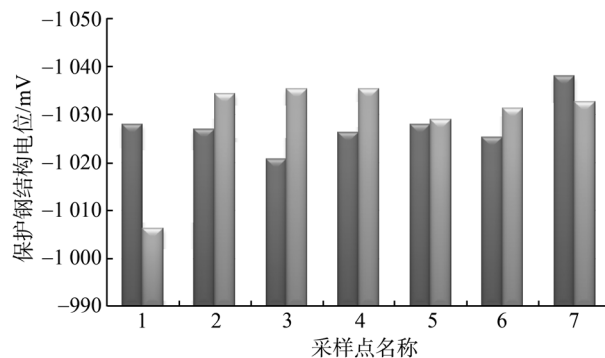


图 3 2008 年特检相同采样点处钢结构阴极电位图

Fig. 3 Cathodic potentials of the steel structure at the same sampling positions as that of 2003 detected in 2008

ROW-A 钢桩桩腿电位仪校验电位: -1066 mV; ROW-B 钢桩桩腿电位仪校验电位: -1047 mV; 其中, 深色柱表示 ROW-A, 浅色柱表示 ROW-B

Calibration potential of ROW-A: -1066 mV; Calibration potential of ROW-B: -1047 mV; the dark color column represents ROW-A, the shallow color column represents ROW-B

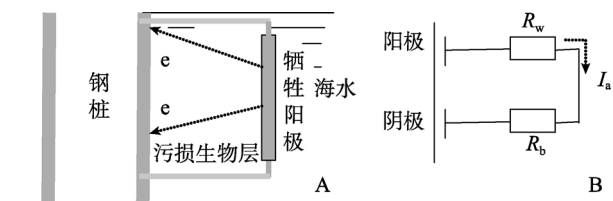


图 4 由牺牲阳极发射出的阴极极化电流实际状态示意图 (A)及其等效电路图(B)

Fig. 4 Sketch map of the cathodic polarization current emitted from the sacrificial anode (A) and its equivalent circuit (B)

现用检测方法是在去除了污损生物层之后所得的电位，消除了生物层 $I_a R_b$ 降，不能反映平台水下钢结构真实保护电位，真实保护电位为未除去污损生物层时所测得电位，所以，真实保护电位=本次所测电位 $-I_a R_b$ 。

1.2 水下牺牲阳极检测

1.2.1 检测方法

1.2.1.1 潜水员水下目测

对 W114A 平台桩腿水下牺牲阳极进行目视检验，目测项目主要为牺牲阳极块和钢结构的平整情况以及牺牲阳极的表现状态。目测结果表明，所有牺牲阳极和平台钢结构焊接良好，牺牲阳极表面基本被污损生物包覆，从水下照片(图 5)和水下录像发现在牺牲阳极的表面除了污损生物以外，还有白色生物物质零散分布于污损生物上。



图 5 水下牺牲阳极

Fig. 5 Underwater sacrificial anodes

1.2.1.2 抽样阳极的物理尺寸测量

在不同位置抽查共 2×12 块抽查牺牲阳极，对每一块阳极首先表面全部进行表面海生物、腐蚀物清除，再用软尺和钢卷尺，测量阳极的长度和 3 个不同位置周长值(=两侧边长+上宽长+下宽长)，对牺牲阳极的实际测量物理尺寸数据汇总，见表 1。发现牺牲阳极外观尺寸较原始尺寸(图 6)有了一定的缩减。

1.2.2 讨论

原始设计阳极周长为 95.4 cm，根据表 1，2003

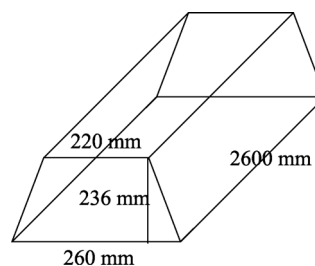


图 6 牺牲阳极模型图

Fig. 6 Model diagram of sacrificial anode

年 8 块阳极的外观物理尺寸实际测量结果取平均值计算为 90.1 cm，占原始周长的 94%，粗略估计阳极消耗平均速率为 0.5 cm/a，照此速率计算，2008 年牺牲阳极周长应为 87.4 cm，但是 2008 年实际粗略测量为 90.4 cm，和 2003 年用同样方法测得的 90.1cm 相比较，未能减小反而增加。考虑到在海洋中测量过程中，测量人员所采用的测量方法，如用钢卷尺缠绕测量周长时，因钢片的弹性在水下很难紧贴带有四棱角的阳极表面，而采用皮尺虽能紧贴阳极表面，但一个潜水员操作很难找到垂直于测点缚线周长，加之，牺牲阳极表面变得凹凸不平，使得实测周长大于实际周长。

1.3 水下钢桩超声测厚

1.3.1 实验方法

采用超声测厚仪对 W114A 平台桩腿海平面至泥面范围内的 2×4 条桩腿进行结构厚度测量工作，其中每个桩腿水下部分每隔 5 m 测量一个部位，每个部位分别在 3:00、6:00、9:00 和 12:00 钟点位置测量 4 个数值，取 4 个钟点位的厚度平均值。测厚仪每次水下使用前先在水面进行校验，校验数值拍照，确保水下结构测厚数值的准确性。然后，分别与该位置原始设计厚度值作差，见图 7、图 8。测量前用手锤清理结构杆件表面的海生物，确保测厚仪探头与被测结构良好接触。

1.3.2 讨论

从图 7、图 8 曲线不难看出，不同水深 8 个桩腿采样点的厚度 2008 年数值较 2003 年数值有不同程度的减小，这说明从 2003 年到 2008 年这 5 年间导管架钢桩桩腿仍被缓慢腐蚀着，从测量厚度看，对于 ROW-A 最大腐蚀厚度发生在水下 10 m 处，为 0.50 mm，最小腐蚀厚度发生在水下 20 m 处为 0.09 mm，平均腐蚀厚度为 0.069 mm/a。对于 ROW-B 来说，腐蚀速率较 ROW-A 更为均匀，最大腐蚀厚度发生同样在水下 10 m 处，为 0.44 mm，最小腐蚀厚度发生在

表 1 牺牲阳极实测物理尺寸

Tab. 1 Actual physical sizes of the sacrificial anode

阳极 编号	长度(cm)		周长(cm)					
	ROW-A	ROW-B	ROW-A		ROW-B			
01	260	252	87	90	89	95	90	83
02	255	257	87	91	87	93	98	97
03	241	252	85	91	93	93	95	95
04	260	251	89	97	90	90	89	92
05	260	258	86	94	97	85	92	90
06	248	257	91	90	89	91	93	90
07	253	256	89	93	93	93	92	93
08	256	252	80	86	89	83	90	89
09	259	257	90	89	91	83	90	87
10	259	254	82	91	88	92	93	95
11	252	252	85	93	98	92	93	93
12	257	255	91	90	94	83	90	88

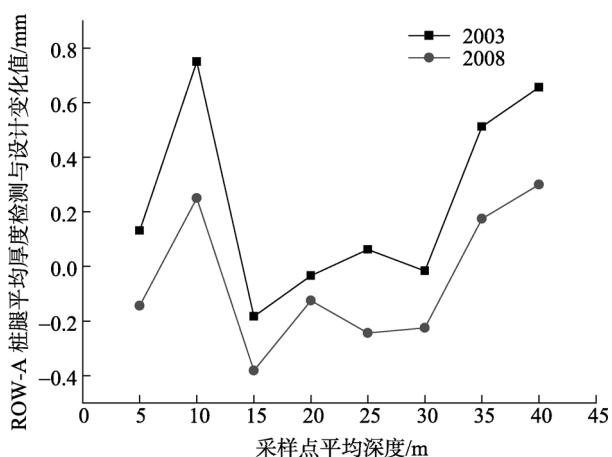


图 7 ROW-A 实测厚度变化值与深度关系曲线图

Fig. 7 Relation curves of thickness and depth for ROW-A platform leg

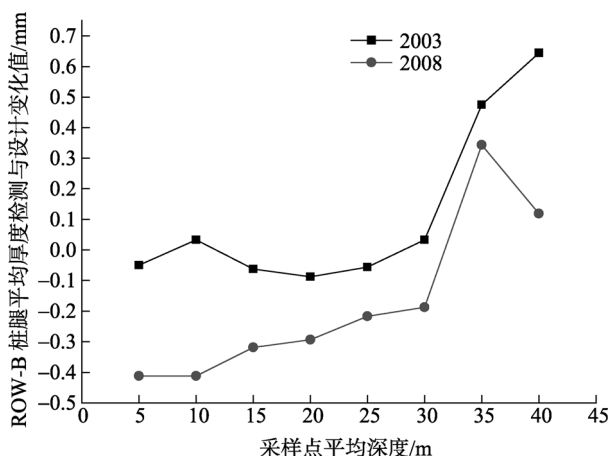


图 8 ROW-B 实测厚度变化值与深度关系曲线图

Fig. 8 Relation curves of thickness and depth for ROW-B platform leg

水下 35 m 处为 0.13 mm, 平均腐蚀厚度为 0.058 mm/a。综合 2003 年和 2008 年数据, 可以看出, 水下部分的腐蚀速率随着水深的不同略有不同, 开始随着深度的增加而逐渐增大达最大值(水下 10 m 处)后, 随着随着深度的继续增加而又开始逐渐减小而后又增大。低合金钢在海水全浸时自然腐蚀速率为 0.07~0.15 mm/a, 在南海腐蚀挂片表明低合金钢在海水中的腐蚀速率为 0.09~0.14 mm/a^[5], 比我国其他海域腐蚀挂片腐蚀速率低, 这是大型钙质为底的污损生物重叠附着保护作用^[6], 而此次 W114 平台水下钢结构所得的数值同样低于低合金钢在海水全浸时的自然腐蚀速率, 说明牺牲阳极仍起作用, 但此次测试电位值和 2003 年测试值相比所得结果, 与钢桩超声测厚结果相矛盾, 说明牺牲阳极物理测量方法应改进。

2 结论

从 W114A 平台桩腿的水下钢桩的阴极保护电位、牺牲阳极保护和钢桩超声测厚三方面出发, 对 W114A 平台服役 15 年的水下钢结构腐蚀防护情况进行了分析和初步的讨论:

(1)通过对水下钢桩的阴极保护电位检测, 该平台水下钢结构完全处于良好的保护状态, 但该检测方法并未反应水下钢结构的真实保护电位, 测量过程中不应破坏污损生物层;

(2)通过水下牺牲阳极表面状态目测和物理尺寸测量, 说明牺牲阳极已完全被污损生物包裹, 清除污损生物层后牺牲阳极表面有一层灰白色腐蚀产物,

这是电阻较大的氧化铝,加之污损生物层两者结合将大大阻碍牺牲阳极的放电,最终导致牺牲阳极的“污损失效”;

(3)超声测厚结果表明,平台水下钢结构仍依平均 0.06 mm/年的腐蚀速率进行。

参考文献:

- [1] 马士德. 金属/海水界面两个主要过程的关系[J]. 海洋湖沼通报, 1979, 2: 237-241.
- [2] 张良兴, 黄宗国, 李传燕, 等. 吕四洋附着生物与钻孔生物生态研究[J]. 海洋学报, 1981, 3(1): 139-148.
- [3] 马士德, 段继周, 李伟华, 等. 南海油田 W12-1 平台水下钢结构腐蚀与防护检测情况讨论[J]. 全面腐蚀控制, 2006, 20(2): 26-29.
- [4] Ma Shi-de, Li Wei-hua, Yao Ping, et al. The effect of fouling creatures on the security of the offshore oil platform in Weizhou oil field of the South China Sea II The study on the effect of biotic community in W12-1 platform on cathodic protection. MARINE CORROSION AND CONTROL[R]. //3rd International Symposium on Marine Corrosion and Control, 2006.
- [5] 侯保荣. 海洋腐蚀环境理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [6] 朱相荣, 王相润. 金属材料的海洋腐蚀与防护[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.

Corrosion and protection of the W114 offshore platform after a 15-year service in Weizhou oil field of the South China

YAO Ping¹, BAO Qi^{2,3}, ZHAO Xia², DUN Ji-zhou², MA Shi-de²

(1. China National Offshore Oil Corporation, Zhanjiang 524000, China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Jan., 18, 2010

Key words: offshore platform; underwater steel structures; corrosion

Abstract: Corrosion and protection of the underwater steel structures for W114A platform were investigated. The offshore platform has been in service in the South China Sea for 15 years. It was found that the bio-fouling was serious and the maximum attachment thickness was 20cm, while, the cathodic protection system was normal and the protective effect was favorable. After analyzing the detective methods and their results, some problems were found. The program of potential detection was inappropriate, the detection method for physical size of the sacrificial anodes was inaccurate, and the base surface of the thickness measurement points was not clean; therefore, the cathodic protective effect could not be accurately evaluated. To solve these problems, some valuable suggestions are put forward accordingly.

(本文编辑: 康亦兼)