

网络优先数字出版时间: 2016-08-26

【DOI】10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20160826.006

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20160826.1048.012.html>

# 石油平台水下部分阴/阳极监测系统\* Monitoring System for Cathode and Anode of Under-water Structures of One Offshore Platform

王在峰

WANG Zaifeng

(中海油信息科技有限公司北京分公司, 北京 100027)

(CNOOC Information Technology Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing, 100027, China)

**摘要:**【目的】对石油平台水下部分的阴极保护状况进行长期监测评价, 以保证平台安全。【方法】通过实验室实验筛选电位及电流探头, 然后在现场布设阴/阳极电位监测探头、阳极电流监测探头, 并开展长期监测实验。【结果】10个阴极监测点的电位数据均为 $-1.031\sim-1.009$  mV, 6个阳极监测点的电位数据在阳极的正常工作电位范围内, 阳极的发生电流为 $1.30\sim 1.55$  A。【结论】打桩中探头未出现损坏情况, 均获取了准确的数据, 10个阴极监测点的电位达到保护要求, 6个受监测阳极工作正常。

**关键词:** 阴极保护 腐蚀监测 电位探头 电流探头

**中图分类号:** TG174.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2016)03-0180-05

**Abstract:** 【Objective】The study aimed to evaluate the effect of cathodic protection system and carry out long-term monitoring for cathodic protection system of an oil platform. 【Methods】The monitoring probes of potential and current were selected through laboratory experiments and were installed in this platform. Long-term monitoring experiments were carried out to obtain the data of potential and current. 【Results】The values of potential on 10 monitoring points for cathodes were between  $-1.031$  mV and  $-1.009$  mV. The values of potential on 6 monitoring points for anodes were in the range of working potential of anodes. The values of current of anodes were between  $1.30$  A and  $1.55$  A. 【Conclusion】The probes were not damaged during piling and obtained accurate data. The protective potential of 10 monitoring points for the cathodes could reach the requirements and the 6 anodes of monitoring worked very well.

**Key words:** cathodic protection, corrosion monitoring, probes of potential, probes of current

## 0 引言

【研究意义】为降低石油平台水下部分的腐蚀, 在石油平台的水下部分安装牺牲阳极或者外加电流

系统已经成为美国防腐工程师协会(NACE)和挪威船级社(DNV)的推荐做法<sup>[1]</sup>。但是很多石油平台打桩到位以后, 需要服役20年以上, 有的平台甚至需要延长寿命继续生产, 水下部分的阴极钢表面的保护状态、阳极部分的工作电位和发生电流直接反应了保护效果, 因此必须对阴极钢表面的电位、阳极工作电位和发生电流进行长期实时的采样<sup>[2]</sup>。【前人研究进展】目前关于石油平台水下结构的阴极及阳极的监测主要有两个技术流派。一是后期安装, 在平台下水以后, 采取潜水作业进行探头布设及安

收稿日期: 2016-06-20

作者简介: 王在峰(1980—), 男, 高级工程师, 主要从事海洋腐蚀与防护研究, E-mail: wangzfl@cnooc.com.cn。

\* 中国海洋石油公司综合科研项目资助。

装采集系统。孙虎元等<sup>[3]</sup>和孙宁松等<sup>[4]</sup>在渤海数座平台设计了阴极及阳极采样系统,由于其采样水深较浅,且平台有较好的涂装,多数地方保护较好,可以大大减少采样点数量,主要选择两块阳极间隔的中间部位作为薄弱点进行采样分析。这是符合渤海靠近岸边的平台的实际情况的。二是前期安装,在平台下水之前预选部分节点及阳极进行探头布设。文献<sup>[5-9]</sup>在平台中抽出两根主桩腿的阳极、节点等处布设采样点,主要是为保证采样系统的耐久性及可靠性。通过在主桩腿焊接牢靠的护管和结实的探头实现长期的持久采样,部分探头下水十几年后还在稳定地工作,对于一些结构除考虑主桩腿外,还在斜撑设立分支采样点,为与斜撑相配套,其设计的护管及探头体型小,这样做的好处是照顾了部分细小结构,精度较好。【本研究切入点】吸收以上两种技术流派的优点,以一个八桩腿的平台(共有阳极 325 块,在水下部分的结构分 3 层)为分析对象,设计阴/阳极监测系统<sup>[10]</sup>。【拟解决的关键问题】通过实验室实验对电位及电流探头进行筛选,现场布设阴/阳极电位监测探头、阳极电流监测探头,并开展长期监测实验。

## 1 材料与方法

### 1.1 探头的实验室筛选

#### 1.1.1 电位测量探头

用于测量平台水下部分阴极保护电位及牺牲阳极工作电位的电位测量探头为长效、防污损生物附着的电极(Ag/AgCl,Zn)电位测量探头。Ag/AgCl 电极材料采用纯度 $\geq 99.95\%$  AR 级试剂制备。Zn 合金电极材料采用高纯锌(99.995%)材料制备,杂质  $Fe \leq 0.0009\%$ ,  $Cu \leq 0.0005\%$ 。在安装前,探头(含一个备用探头)均在海水中(恒温 25℃)进行为期 20 d 的性能测试,用标准饱和甘汞电极(SCE)分别测量两种电极的电极电位。

#### 1.1.2 牺牲阳极电流测量探头

用于平台牺牲阳极电流检测探头的设计参数:测量电流为 0.1~10(20)A,取样标准电阻为 0.005  $\Omega$ 。每个电流探头分别用直流恒流电流 1.0 A 和 5.0 A 测试,并分别用 Fluke 8845A 数字万用表测量其相应电压。

### 1.2 探头的现场布设

#### 1.2.1 阴极电位探头布设

平台水下 3 层的深度分别为 6.2 m, 20.3 m 和 33.6 m。为了全面了解平台水下导管架阴极保护

运行状态,选择 A1、A2 和 B3、B4 桩腿及 3 个水平层上共 10 个代表点(表 1),安装平台水下导管架阴极保护电位测量探头。探头外部为钢壳,将实验室筛选过的 Ag/AgCl 电极和高纯 Zn 电极封装在壳内,只留电极的工作面,并用树脂密封;壳外部设铜网作为防污损过滤网。该结构具有抗强烈冲击和振动能力,能承受与平台水深相应的压力,并具有长效和防污损生物附着的特点。

表 1 阴极电位探头位置

Table 1 The positions of monitoring probes of cathode

探头编号 Number of probe	安装深度(水下) Installation depth (underwater, m)	安装位置 Installation location
T1	6.2	A1-A2 桩腿间 1/2 处 In the middle of leg A1-A2
T2	6.2	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
T3	20.3	A2-B2 桩腿间 1/2 处 In the middle of leg A2-B2
T4	20.3	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
T5	33.6	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
T6	33.6	A2 桩腿节点处 At the joint of leg A2
T7	6.2	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
T8	20.3	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
T9	33.6	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
T10	33.6	B3 桩腿节点处 At the joint of leg B3

#### 1.2.2 牺牲阳极的电流监测探头布设

在平台导管架水下部分阴极保护系统中,牺牲阳极为平台导管架提供其所需的阴极保护电流,其性能好坏直接决定了平台水下导管架能否得到有效保护而免遭腐蚀破坏。根据平台水下导管架的深度及节点的分布,分别在 A1 腿和 B4 腿的水下 6.2 m、20.3 m 和 33.6 m 节点处选择 6 支阳极作为代表性阳极(表 2),监测其阳极的工作电位和输出电流。阳极工作电位测量探头采用 Ag/AgCl 电极和高纯 Zn 电极电位测量探头,阳极输出电流测量采用无源阳极电流测量探头,被监测阳极采用绝缘法来使阳极与平台导管架绝缘。

### 1.3 监测实验

数据采集系统(包括信号调理器、A/D 转换板、微机、打印机及相应软件)安装在中控室的多层仪器架上,用来自动巡回采集、存贮、显示和打印水下探

头的测量结果。该系统能实时显示测量结果,并对异常数据具有报警功能,同时,对水下电位测量探头实施保护和养护,确保探头能长期、稳定地工作。本研究监测实验数据从平台下水稳定运行半年后开始截取。为确认监测结果的正确性,在水下特检时用人工测量的方式获取各点的特检数据值。

表 2 阳极监测探头位置

Table 2 The positions of monitoring probes of anode

探头编号 Number of probe	测量对象 Measurement object	安装深度(水下) Installation depth (underwater, m)	安装位置 Installation location
A1	电位 Potential	6.2	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
C1	电流 Current	6.2	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
A2	电位 Potential	20.3	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
C2	电流 Current	20.3	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
A3	电位 Potential	33.6	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
C3	电流 Current	33.6	A1 桩腿节点处 At the joint of leg A1
A4	电位 Potential	6.2	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
C4	电流 Current	6.2	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
A5	电位 Potential	20.3	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
C5	电流 Current	20.3	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
A6	电位 Potential	33.6	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4
C6	电流 Current	33.6	B4 桩腿节点处 At the joint of leg B4

## 2 结果与分析

### 2.1 实验室电位探头筛选

由图 1 可知,浸入海水 10 d 后,17 个 Ag/AgCl 电极其电极电位均稳定在 9.22~9.96 mV,其最大电位波动值 $\leq 0.74$  mV。而在整个测试期间,Ag/AgCl 最小电极电位值 $\geq 8.10$  mV,最大电极电位值 $\leq 9.96$  mV,其最大误差 $\leq 2$  mV,远低于 DNV 规范规定 5 mV 的误差范围;17 个 Zn 电极电位值均稳定在  $-1.058 \sim -1.050$  mV,其电位最大波动值 $\leq 8$  mV,远低于 DNV 规范规定的 20 mV 误差范围。表明以上电极电位测量探头的性能优良,均符合国际船检机构的要求。

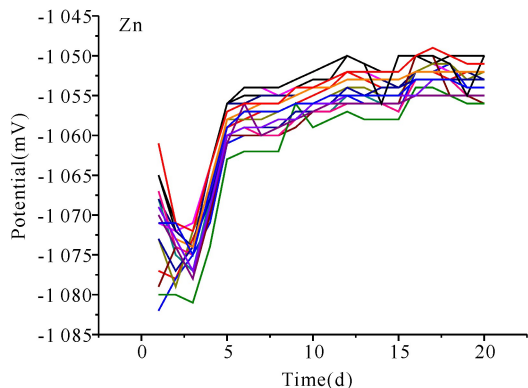
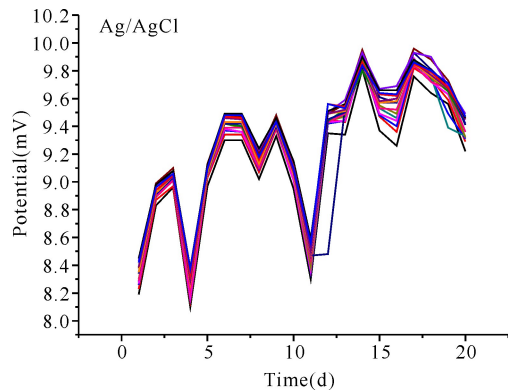


图 1 Ag/AgCl 和 Zn 海水电极电位稳定性测试结果

Fig. 1 The test results of potential stability for Ag/AgCl and Zn electrodes in seawater

### 2.2 实验室电流探头筛选

根据表 3 的误差分析,7 号和 8 号探头的误差较大,因此,应选择 1 号到 6 号探头作为最终的安装探头。

表 3 电流探头取样电阻值检测结果

Table 3 The test results of samplings resistance of current probe

探头编号 Number of probe	电流表读数 Value of current meter (A)	电压表测量值 Value of voltage meter (mV)	探头测量值 Value of probe (A)	误差 Error (%)
1	1.004	5.03	1.006	+0.200
	4.999	25.06	5.012	+0.260
2	1.007	5.03	1.006	-0.099
	4.996	24.94	4.988	-0.160
3	1.004	5.01	1.002	-0.200
	4.991	24.93	4.986	-0.100
4	0.999	5.00	1.000	+0.100
	5.016	25.11	5.022	+0.120
5	1.009	5.04	1.008	-0.100
	4.993	24.93	4.986	-0.140
6	1.006	5.02	1.004	-0.200
	5.007	24.99	4.998	-0.180
7	1.004	5.04	1.008	+0.400
	5.008	25.14	5.028	+0.400
8	1.000	4.97	0.994	-0.600
	5.012	24.94	4.988	-0.480

### 2.3 现场监测结果

如图 2 所示,下水半年稳定后,Ag/AgCl 电极

总体电位为-1 031~-1 009 mV,Zn 电极总体电位为 20~40 mV。说明测量点的阴极电位均达到 NACE 标准的保护要求,由于阳极是根据经验布设的,测量的阴极点也是根据经验考虑薄弱点布设,所以各层之间的电位不具有的规律性。Ag/AgCl 电极和 Zn 电极的电位差在 1 050 mV 左右,说明两种电极满足工程测量的标准要求。

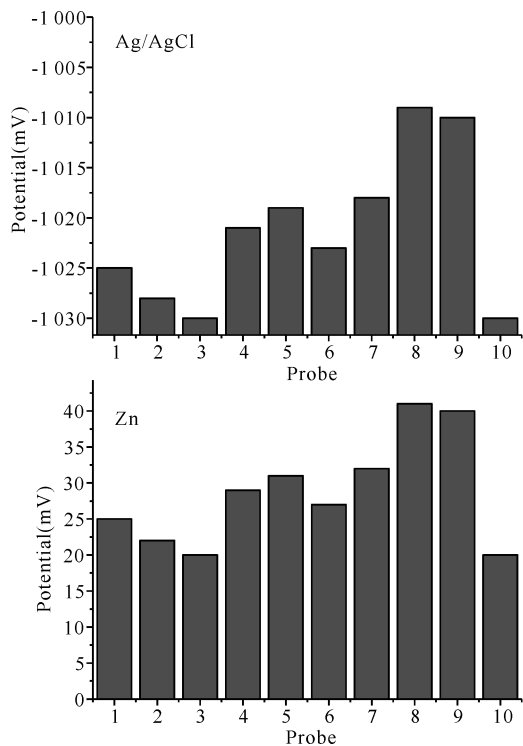


图 2 10 个阴极监测探头的 Ag/AgCl 电极电位和 Zn 电极电位

Fig. 2 The potential on Ag/AgCl and Zn of 10 monitoring points of cathodes

图 3 为所有阴极监测点自动监测电位的平均值与人工测量得到的电位平均值的相关性图(均为 Ag/AgCl 电极)。方差为 0.997 3,两者之间有良好的相关性,证明所布设的阴极监测点探头处于正常的工作状态,能获取准确的电位数据。

由图 4 可知,下水半年稳定后,Ag/AgCl 电极总体电位为-1 059~-1 050 mV,属于铝阳极的正常电位;Zn 电极总体电位为-9~0 mV。各层之间的阳极电位不具有的规律性。Ag/AgCl 电极和 Zn 电极的电位差在 1 046~1 050 mV,说明两种电极满足工程测量的标准要求。

图 5 为 6 个阳极监测点自动监测电位平均值与人工测量电位平均值的相关性图(均为 Ag/AgCl 电

极)。方差为 0.91,两者之间有良好的相关性,证明所布设的阳极点探头处于正常的工作状态,能获取准确的电位数据。

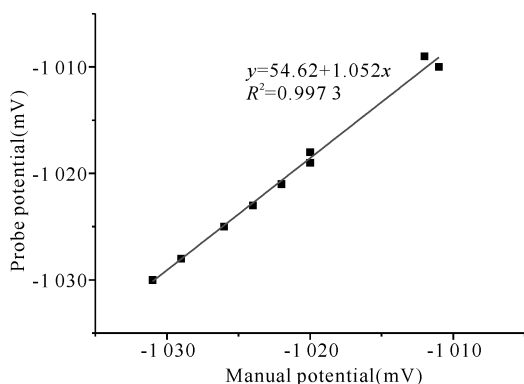


图 3 阴极监测点自动监测值与人工测量值的相关性

Fig. 3 Correlation between automatic monitoring and manual measurement of cathode

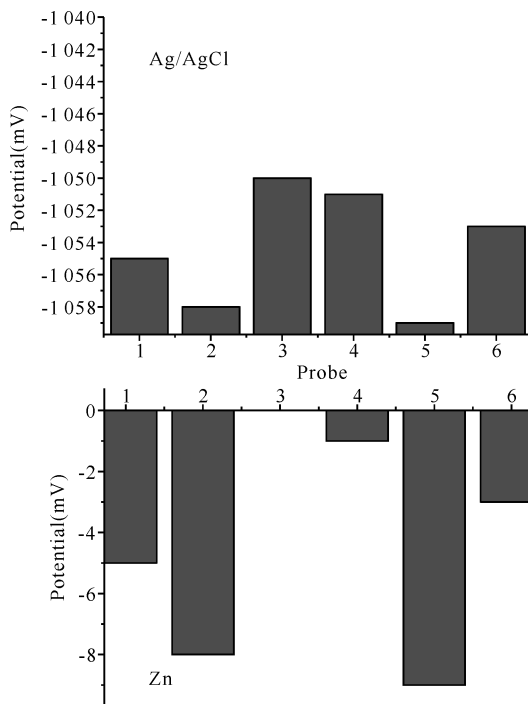


图 4 6 个阳极监测探头的 Ag/AgCl 电极电位和 Zn 电极电位

Fig. 4 The potential on Ag/AgCl and Zn of 6 monitoring points of anodes

图 6 为下水半年稳定后长期监测到的 6 个阳极的发生电流的平均值,为 1.30~1.55 A,阳极发生电流较小,甚至小于 NACE 标准推荐的阳极电流值,说明在设计阳极总量时还是留了较大的余量。综合图 2 可以看出所抽测的 6 个阳极起到了保护作用,电位和电流值处于合理的区间,但阳极电流值小于最初的设计值,单就这 6 块阳极的寿命要大于最

初的设计寿命。

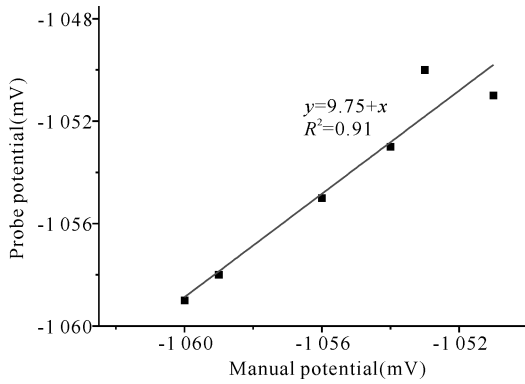


图5 阳极点自动监测值与人工测量值的相关性

Fig. 5 Correlation between automatic monitoring and manual measurement of anodes

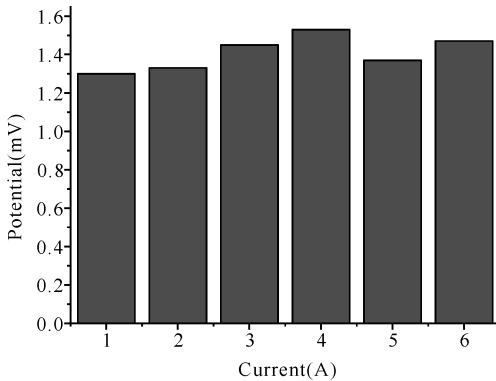


图6 6个阳极发生电流

Fig. 6 The output current of 6 anodes

### 3 结论

监测系统通过下水半年后稳定运行,工作正常,性能良好。其监测结果表明,所测到的阴极点处于良好的保护状态;阳极工作电位在合理的区间,发生电流小于最初的设计值和标准的推荐值,初步估计设计时阳极量留了一定的余量;电位和电流监测探头的结构承受了平台导管架拖航、安装等过程的强烈冲击、震动,所有探头均采集到了数据,性能良好。

#### 参考文献:

[1] NACE. Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production: RP0176—2003 [S]. Houston, TX: NACE, 2003.  
 [2] 中国海洋石油总公司. 海上钢质平台阴极保护监测系统: QHS 3009—2003[S]. 北京: 中国海洋石油总公司, 2003.  
 China National Offshore Oil Corporation. Cathodic Protection Monitoring System of Steel Offshore Plat-

forms: QHS 3009—2003 [S]. Beijing: China National Offshore Oil Corporation, 2003.

- [3] 孙虎元,王在峰,黄彦良. 海洋腐蚀监测的发展现状及趋势[J]. 盐湖盐与化工, 2005, 34(2): 33-37.  
 SUN H Y, WANG Z F, HUANG Y L. Progress and trend of marine corrosion monitoring[J]. Sea-Lake Salt and Chemical Industry, 2005, 34(2): 33-37.  
 [4] 孙宁松,路国章,孙虎元. 海洋采油平台新型腐蚀监测系统的研究[J]. 中国海洋平台, 2002, 17(2): 38-40.  
 SUN N S, LU G Z, SUN H Y. Research of a new type corrosion monitoring system of marine fixed oil platform[J]. China Offshore Platform, 2002, 17(2): 38-40.  
 [5] 邱富荣. 石油平台阴极保护的检测与监测技术[J]. 中国海洋平台, 1995, 10(4): 167-170.  
 QIU F R. The check and observation technology of cathodic protection for offshore platform[J]. China Offshore Platform, 1995, 10(4): 167-170.  
 [6] 熊信勇,严涛,许川壁,等. 海洋平台阴极保护监测系统的研制及应用[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(1): 70-75.  
 XIONG X Y, YAN T, XU C B, et al. Development and application of cathodic protection monitoring system on offshore platforms[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(1): 70-75.  
 [7] 常炜,栗艳侠,徐桂华,等. 海上平台阴极保护原位监测系统[J]. 中国海上油气(工程), 1999(3): 27-30.  
 CHANG W, LI Y X, XU G H, et al. On-site monitoring system for offshore platform cathode protection [J]. China Offshore Oil and Gas(Engineering), 1999 (3): 27-30.  
 [8] 陈胜利,兰志刚,宋积文. 海洋石油平台的腐蚀监测技术[J]. 全面腐蚀控制, 2010, 24(6): 22-25.  
 CHEN S L, LAN Z G, SONG J W. Offshore oil platforms corrosion monitoring techniques[J]. Total Corrosion Control, 2010, 24(6): 22-25.  
 [9] 陈胜利,王秀通,宋积文,等. 南海 A 平台导管架阴极保护监测结果讨论与分析[J]. 海洋科学, 2014, 38(10): 26-29.  
 CHEN S L, WANG X T, SONG J W, et al. Analysis of cathodic protection monitoring system on offshore jacket in South China Sea[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 26-29.  
 [10] 王在峰,张杰,侯保荣,等. 即热式热水器底部加强板阴极保护系统电场数值模拟[J]. 广西科学院学报, 2015, 31(3): 192-196.  
 WANG Z F, ZHANG J, HOU B R, et al. Numerical simulation for electric field of cathodic protection of the bottom strengthening plate of instant water heater [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2015, 31(3): 192-196.

(责任编辑:陆雁)