

拉伸式外加电流阴极保护技术在自升式平台的应用

尹鹏飞^{1,2}, 张伟^{1,2}, 韩冰^{1,2}, 马长江^{1,2}, 陈亚林^{1,2}, 郑志建^{1,2}

(1.青岛钢研纳克检测防护技术有限公司, 山东 青岛 266071;

2.钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所, 山东 青岛 266101)

摘要: 目的 为自升式平台的腐蚀控制提供了一个良好的解决方案。方法 根据自升式平台桩腿结构特点和使用维护要求, 设计一种竖直拉伸式的辅助阳极。该阳极系统集成了特种抗拉伸电缆, 依靠平台上部的固定点和置于海床上的配重进行拉伸固定。根据平台需要经常移动的特点设计一键自动提升装置。采用计算机数值模拟对系统的安装位置进行优化设计, 使该系统达到最佳的保护效果。结果 系统运行1年后, 测得桩腿电位范围为-860~-950 mV, 水下检测桩腿无明显腐蚀现象。结论 该技术可有效地对自升式平台桩腿进行保护, 确保了自升式平台桩腿在设计使用年限中的正常使用。

关键词: 自升式平台; 拉伸式辅助阳极; 外加电流; 阴极保护; 腐蚀

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.02.017

中图分类号: TJ07; TG174.41

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)02-0085-05

Application of Tension Type ICCP Technology on Jack-up Platforms

YIN Peng-fei^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}, HAN Bing^{1,2}, MA Chang-jiang^{1,2}, CHEN Ya-lin^{1,2}, ZHENG Zhi-jian^{1,2}

(1. Qingdao NCS Testing and Protection Technology Co., Ltd, Qingdao 266071, China;

2. Qingdao Research Institute for Marine Corrosion, Qingdao 266071, China)

ABSTRACT: Objective To provide a good solution for corrosion control of jack-up platforms. **Methods** A vertical tension type auxiliary anode was designed according to structural characteristics of pile leg and its requirements on use and maintenance. The anode system integrated special anti-stretching cables and was fixed with fixation points on the upper platform and the counter weight on the seabed. And an automatic lifting device was designed to adapt to frequently movement of the platform. The installation site was optimized through computer numerical simulation to achieve the best protective effect. **Results** After the system was operated for one year, the potential range measured on the pile leg was -860~-950 mV. No apparent corrosion was found in underwater detection of the pile leg. **Conclusion** This technology provides a good solution for corrosion control of jack-up platform and guarantees normal using of the jack-up platform's pile leg in design service life.

KEY WORDS: jack-up platform; tension type auxiliary anode; impressed current; cathodic protection; corrosion;

自升式平台属于移动式海洋平台, 这种石油平台装载钻井机械、动力、器材、居住设备以及若干可升降的桩腿。钻井时桩腿着底, 平台则沿桩腿升高海面

一定高度; 移位时平台降至水面, 桩腿升起, 平台就像驳船, 可由拖轮把它拖移到新的井位^[1]。由于平台工作所处海水及海洋大气是强腐蚀介质, 如果不采取

有效的防腐蚀措施,自升式平台在苛刻的海洋环境中必将遭受腐蚀破坏,会缩短平台的服役寿命。尽管平台已进行整体涂装防腐,但考虑到水下防腐层的耐久性和维修涂层的难度,还须对平台桩腿水下部分进行阴极保护。由于自升式平台的升降系统采用齿轮齿条式和液压顶升式,这种升降结构设计的平台与桩腿结合严密、空间紧凑、空隙狭小,不适宜对桩腿采用牺牲阳极阴极保护法。

文中介绍了一种适用于自升式平台桩腿防腐的拉伸式外加电流阴极保护技术。该技术可有效地对自升式平台桩腿进行保护,确保了自升式平台桩腿在设计使用年限中的正常使用,为自升式平台的腐蚀控制提供了一个良好的解决方案。

1 拉伸式外加电流阴极保护技术

目前国内外常用的海洋平台外加电流阴极保护技术主要包括以下几种^[2]:拉伸式外电流阴极保护技术、远地式外加电流阴极保护技术和固定式外加电流阴极保护技术。其中拉伸式外加电流阴极保护技术以其安装方便、维护便捷、可回收的特点尤其适用于移动式海洋平台的阴极保护。

拉伸式外加电流阴极保护系统包括恒电位仪、拉伸式辅助阳极、参比电极、电缆、混凝土配重和安装附件。其中拉伸式辅助阳极集成了特种抗拉伸电缆和辅助阳极,特种抗拉伸电缆采用抗拉伸设计,其内部集成了一根承重钢缆,可支撑整个阳极系统的拉伸载荷。电缆采用铠装设计,可承受安装过程中的机械冲击和使用过程中的水流冲击。根据连接阳极数量的不同,电缆分为单芯和多芯设计。辅助阳极可以采用海洋环境中常用的 MMO 辅助阳极和铂铌辅助阳极,根据使用环境的不同和发生电流的大小进行选择^[3]。混凝土配重置于海底海床上,整个拉伸式辅助阳极系统依靠平台上部的安装固定点和混凝土配重进行拉伸固定。拉伸式外加电流阴极保护系统安装方便,依靠水上吊装工具即可安装,不需要潜水员水下作业,而且使用维护方便,对于浅水平台使用的小型拉伸式辅助阳极可随时利用抗拉伸电缆将阳极系统提出水面进行维护。在自升式平台上使用时,平台拖航时可将阳极系统提出水面,到达拖航目的地时再将阳极和配重放入水中,不影响平台拖航和生产。

2 自升式平台外加电流阴极保护设计

2.1 系统简介

采用拉伸式外加电流阴极保护技术对渤海某自升式平台进行了阴极保护设计。采用了一套拉伸式辅

助阳极进行保护,并根据平台需要经常移动的特点设计了一键自动提升装置。采用计算机数值模拟技术对系统的安装位置进行了优化设计,使该系统达到最佳的保护效果。对系统运行的初始保护电位数据和 1 年后的电位数据进行了对比,验证外加电流阴极保护系统的保护效果。

2.2 外加电流阴极保护设计

2.2.1 概述

平台为自升式作业支持平台,目前位于天津渤海海域工作。平台水下部位主要包括桩腿和桩靴,桩腿为圆柱形结构,尺寸为 $\phi 3\ 200\ \text{mm} \times 75\ 000\ \text{mm}$,共 3 根。桩靴为正八边形锥台结构,单边长度为 3 810 mm,桩靴最大高度为 1 650 mm,最小高度为 650 mm。整个桩腿吃水深度为 40 m,入泥 10 m。保护方式为 ICCP 系统与涂层联合保护。

2.2.2 设计计算

1) 设计参数。保护寿命: ≥ 10 年。最小保护电流密度^[4]: 平台水下部位钢结构保护电流密度取 $35\ \text{mA/m}^2$ 。平台海泥中部位钢结构保护电流密度取 $10\ \text{mA/m}^2$ 。技术指标^[5]: 最小保护电位 $E_{\text{保, min}}$ (vs Ag/AgCl 参比电极) $= -0.8\ \text{V}$, 最大保护电位 $E_{\text{保, max}}$ (vs Ag/AgCl 参比电极) $= -1.0\ \text{V}$ 。在有效保护期内,平台水下及泥中部位钢结构得到有效保护,腐蚀得到减缓或抑制,平台水下及泥中部位钢结构外壁没有明显减薄。

2) 阴极保护设计计算。桩腿和桩靴保护面积计算,计算单只桩腿最大入水保护面积(桩体最大入水 40 m): $S_{\text{桩腿}} = 282.6\ \text{m}^2$ 。计算单只桩靴及桩腿入泥的保护面积(桩体最大入泥 10 m): $S_{\text{桩靴}} = 199.53\ \text{m}^2$ 。

保护电流计算。根据设计规范^[6],阴极保护总电流应不小于式(1)计算所得值。

$$I = (\sum S_z j_z \div \eta + nC) \times K \quad (1)$$

式中: S_z 为阴极保护区结构的面积; j_z 为阴极保护区结构的保护电流密度, A/m^2 ; η 为电流分配效率,取 0.7~0.8; n 为油井口数; C 为每口油井需要保护电流^[7],取 5A; K 为裕量系数,取 1.2。

考虑到投入运行后对涂层的破坏,结合平台工作海域的环境条件和同类平台的保护经验,平台水下部位钢结构保护电流密度取^[7] $35\ \text{mA/m}^2$,平台海泥中部位钢结构保护电流密度取 $10\ \text{mA/m}^2$ 。则需要的总保护电流为: $I = 17.8\ \text{A}$ 。

2.2.3 设计结果

设计寿命 ≥ 10 年,根据设计计算和平台的结构特点,阴极保护系统选用 1 台 24 V/30 A 的恒电位仪,1 套拉伸式辅助阳极和 1 支便携式 Ag/AgCl 参比电极进行控制。辅助阳极电极材料为 MMO,采用单支阳极

设计, 额定发生电流为 30 A, 电缆承重载荷为 8 kN, 混凝土配重质量为 100 kg。

3 外加电流阴极保护系统的安装

3.1 恒电位仪的安装

恒电位仪安装在平台桩腿附近的舱壁上, 如图 1 所示, 采用壁挂式安装。首先将支撑架焊接在舱壁上, 然后将恒电位仪用螺栓固定在支撑架上。恒电位仪的发热不大, 箱体温度为常温, 变压器温度约 50℃, 其噪音低于 42 dB。其阴极接线点通过电缆接到桩体上, 其阳极接线点通过电缆接到辅助阳极上, 两者绝对不能接反。



图 1 恒电位仪

3.2 辅助阳极的安装

3.2.1 辅助阳极的安装位置研究

由于平台结构的限制, 拉伸式辅助阳极只能安装在平台外侧。为了达到最佳的保护效果, 采用计算机数值模拟法^[8-11]对辅助阳极的安装位置进行了优化设计。选取了靠近平台桩腿安装 (方案 1) 和在两个桩腿中间安装 (方案 2) 两个方案, 利用大型防腐蚀数值模拟分析软件 Beasy 进行数值模拟分析。首先分别对两个方案进行了数值建模, 然后按照设计参数对桩腿施加保护电流, 采用计算机模拟计算保护电位的分布情况^[12]。图 2 为保护电位的数值模拟结果, 可以看出, 采用方案 1, 即当辅助阳极置于 A 桩腿附近时, B 桩腿和 C 桩腿刚达到最小保护电位 -750 mV (相对于 Ag/AgCl 参比电极, 下同), 而 A 桩腿靠近阳极的位置却达到了 -1500 mV, 远远的超出了最大保护电位 (-1050 mV)。采用方案 2, 即当辅助阳极置于 A 桩腿和 B 桩腿中间位置时, 距离辅助阳极最近的 C 桩腿的最大电位为 -857 mV, 而距离辅助阳极最近的 A 桩腿和 B 桩腿的最小电位为 -973 mV, 三个桩腿的电位都在保护范围内, 而且三个桩腿电位最低点和电位最高点的电位相差约 116 mV, 电位分布比较均匀, 没有过保护和欠保护的现象。通过数值模

拟计算说明采用方案 2 可以对 3 个桩腿实现良好的腐蚀控制。

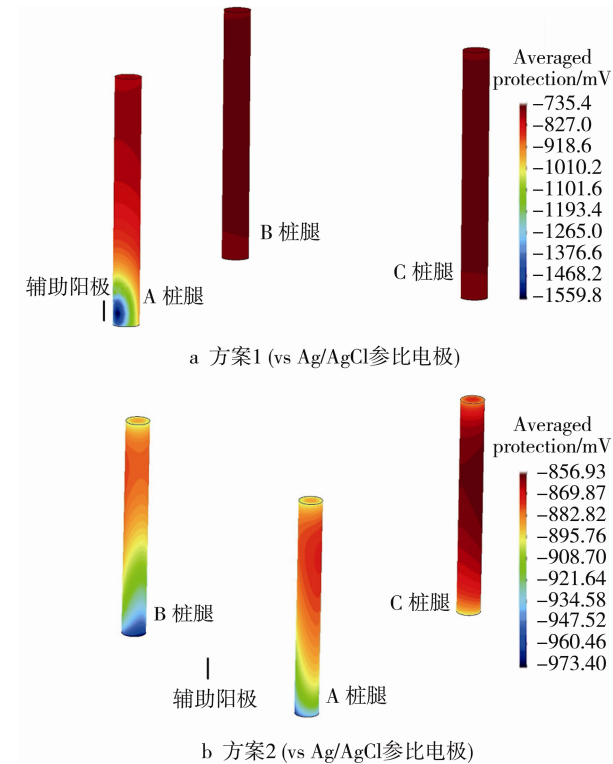


图 2 自升式平台桩腿保护电位数值模拟

3.2.2 辅助阳极提升设计

拉伸式辅助阳极集成了电缆和 MMO 辅助阳极。辅助阳极电缆采用特种抗拉伸铠装电缆, 电缆外护套为 PE 材料, 内部采用镀锌钢丝铠装, 电缆芯为 (1×6) mm² 铜导体。此电缆耐腐蚀, 抗冲击, 可承载 8 kN 的拉力载荷。辅助阳极采用耐冲刷的 MMO 管状阳极^[13], 阳极尺寸为 $\varnothing 25\text{ mm}\times 800\text{ mm}$, 额定输出电流^[14]37 A, 安装完成后最大输出电流为 32 A, 设计寿命为 15 年。辅助阳极采用钛合金卡具固定到抗拉伸电缆上, 如图 3 所示。抗拉伸电缆通过不锈钢电缆套环固定到预制在混凝土配重中的吊环上。

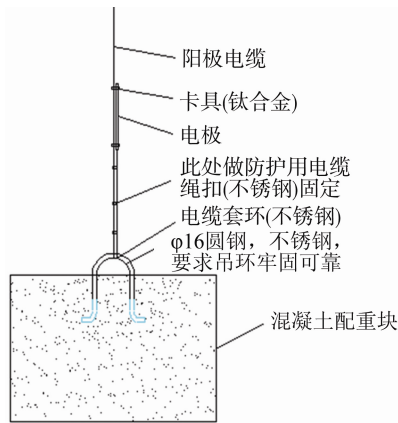


图 3 拉伸式辅助阳极

为了方便拉伸式辅助阳极进行快速收放,设计了一键提升装置对拉伸式辅助阳极进行提升控制。在平台上部船舷处安装了一套电动卷扬机,如图4所示,并在卷扬机上集成了自动布缆装置。需要对辅助阳极进行提升时打开电动卷扬机正向电源,即可完成阳极的提升,提升时间仅需2~3 min;需要将辅助阳极放回海中时打开电动卷扬机反向电源即可。



图4 一键提升装置

3.3 设备运行效果

安装完成后对设备进行了调试,在平台桩腿旁的甲板上采用便携式 Ag/AgCl 参比电极分别测量了3个桩腿的电位,测量位置为水面下2 m左右,参比电极距桩腿约2 m。图5为设备运行48 h的桩腿电位曲线。从图5可以看出,桩腿阴极极化稳定后,离辅助阳极较近的A桩腿和B桩腿保护电位较负,达到了-960 mV左右,而离辅助阳极较远的C桩腿电位约为-880 mV,3个桩腿测得的电位值和数值模拟计算的结果也比较一致。根据 NACE RP0176 规定^[4],三个桩腿的都达到了较好的保护。系统运行1年后测得桩腿电位范围为-860~-950 mV,水下检测桩腿无明显腐蚀现象,说明阴极保护系统运行良好,有效地保护了平台桩腿。

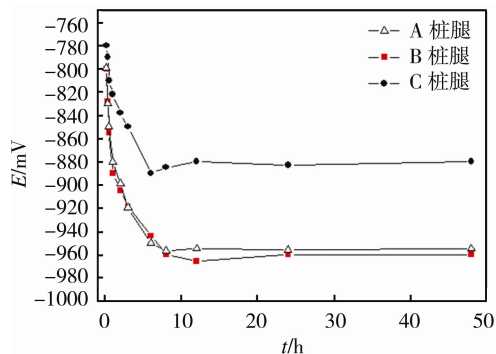


图5 桩腿保护电位(vs Ag/AgCl 参比电极)

4 应用前景

目前,导管架平台、半潜式平台等海洋平台普遍

采用牺牲阳极阴极保护技术^[15]。随着海洋开发的进一步加快,这些海洋平台也迫切需要一种资源节约型、环境友好型的腐蚀控制技术。自升式平台外加电流阴极保护技术经进一步优化设计后可用于导管架平台、半潜式平台等其他海洋平台的阴极保护,且该技术不仅可用于新建平台的阴极保护,还可用于老旧平台的延寿修复^[2],具有广阔的市场前景。

由于我国缺乏深水平台外加电流阴极保护设备主要部件设计和制造经验,相关组件的可靠性还有待使用验证,尤其是对于水深超过200 m的大平台,对设备的安全性和可靠性要求更加严格。对此,一方面需要借鉴国外成熟技术和相关学科研究成果;另一方面,在设计和生产上严格要求,提高设备安全性和可靠性,结合实际工程,不断创新,提高整体设计和制造水平。

5 结论

1) 拉伸式外加电流阴极保护系统设计简洁、安装维护方便。应用于自升式平台时采用一套拉伸式辅助阳极即可有效地对平台桩腿进行腐蚀控制,阴极保护效果好,为自升式平台的腐蚀控制提供了一个良好的解决方案。

2) 外加电流系统运行后,自升式平台桩腿的实际保护电位和计算机数值模拟得到的保护电位结果较一致,说明计算机数值模拟计算可以用于自升式平台外加电流阴极保护的辅助优化设计。

参考文献:

- [1] 张鹏飞,于兴军,栾苏,等.自升式钻井平台的技术现状和发展趋势[J].石油机械,2015,43(3):55—60.
- [2] 尹鹏飞,张伟,许征凯,等.导管架平台外加电流阴极保护技术[J].腐蚀与防护,2012,33(S2):18—21.
- [3] 许立坤,王廷勇,高玉柱,等.船舶外加电流用辅助阳极组件[J].材料开发与应用,2001,16(2):35—38.
- [4] NACE SP0176—2007, Corrosion Control of Submerged Areas of Permanently Installed Steel Offshore Structures Associated with Petroleum Production[S].
- [5] GB/T 3108—1999, 船体外加电流阴极保护系统[S].
- [6] 中国船级社.海上移动平台入级与建造规范[S].
- [7] DNV-RP-B401-2011, Cathodic Protection Design[S].
- [8] DEGIORGI V G, THOMAS E D, LUCAS K E. Scale Effects and Verification of Modeling of Ship Cathodic Protection Systems[J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 1998, 22: 41—49.
- [9] 刘福国,武素茹.导管架平台外加电流阴极保护数

- 值模拟计算研究[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2011, 28(6): 9—11.
- [10] 杜艳霞, 张国忠, 李健. 阴极保护电位分布的数值计算[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2008, 28(1): 53—58.
- [11] DEGIORGI V G, WIMMER S A. Geometric Details and Modeling Accuracy Requirements for Shipboard Impressed Current Cathodic Protection System Modeling[J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2005, 29(1): 15—28.
- [12] 吴建华, 梁成浩, 于楠, 等. 基于缩比模型模拟的船体单区域外加电流阴极保护系统[J]. 大连海事大学学报, 2010, 36(1): 35—38.
- [13] 刘福国, 尹鹏飞, 张国庆, 等. 海洋石油平台外加电流阴极保护延寿修复技术研究[J]. 腐蚀与防护, 2015, 36(3): 276—280.
- [14] GB/T 7388—1999, 船用辅助阳极技术条件[S].
- [15] 李妍, 刘忠斌. 海洋平台的阴极保护[J]. 中国造船, 2002, 43(s1): 162—164.