

海洋工程用新型牺牲阳极设计与性能研究 (V)

——导管架平台阴极保护设计探讨

张伟^{1,2}, 刘福国³, 尹鹏飞^{1,2}, 张国庆³, 杨朝晖^{1,2}, 李向阳⁴

(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 266071; 3.海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451; 4.中国钢研科技集团有限公司钢铁研究总院, 北京 100081)

摘要: **目的** 针对不同设计使用年限的导管架平台, 通过对比新型阳极和常规阳极用量来评价新型阳极的优势和不足。**方法** 针对设计寿命15年和30年的导管架平台, 计算满足不同阶段保护电流需求的新阳极和常规阳极的需求量。**结果** 当导管架平台设计年限较短, 比如15年, 牺牲阳极用量由初期保护电流需求量决定, 新阳极的使用可以达到节约阳极用量的目的。当设计年限较长, 比如30年, 牺牲阳极用量则由维持电流需求量决定, 采用新阳极并不能节约阳极用量。**结论** 并非所有设计年限的导管架平台使用新阳极都能达到节约用量的目的, 具体要根据实际计算结果而定。

关键词: 海洋工程; 导管架平台; 阴极保护; 牺牲阳极; 新型阳极

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.04.025

中图分类号: TG174.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)04-0136-04

New Type Sacrificial Anode Design and Performance Research Used in Marine Engineering (V)

—Cathode Protection Design of New Type Sacrificial Anode for Jacket Platform

ZHANG Wei^{1,2}, LIU Fu-guo³, YIN Peng-fei^{1,2}, ZHANG Guo-qing³, YANG Zhao-hui^{1,2}, LI Xiang-yang⁴

(1. Qingdao NCS Testing and Protection Technology Co., Ltd., Qingdao 266071, China; 2. Qingdao Research Institute for Marine Corrosion, China Iron and Steel Research Institute Group, Qingdao 266071, China; 3. Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300451, China; 4. Central Iron and Steel Research Institute, China Iron and Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate advantages and disadvantages of the new type anode by comparing with the conventional anode according to the jacket platform with different design service life. **Methods** For the 15 years and 30 years designed jacket platform, the demand for new type and conventional anodes that meet the needs of different stages of protection current were calculated. **Results** When the design life of the jacket platform was relatively short, such as 15 years, the amount of sacrificial anode was determined by the initial protection current demand. The use of new type anode can achieve the purpose of saving anode usage. When the design life of the jacket platform was relatively long, such as 30 years, the amount of sacrificial anode was determined by the holding current. The use of the new type anode cannot save anode usage. **Conclusion** Not all design life of the jacket platform using the new type anode can achieve the purpose of saving the amount. It depends on the actual calculation results.

KEY WORDS: marine engineering; jacket platform; cathodic protection; sacrificial anode; new type anode

收稿日期: 2018-11-19; 修订日期: 2018-12-05

基金项目: 国家科技基础条件平台专项(2005KDA10400-13H-02); 海洋石油工程股份有限公司科技项目(Z14SJENB0133)

作者简介: 张伟(1980—), 男, 河南人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为金属腐蚀与防护。

海上钢质导管架平台阴极保护不同阶段保护电流密度差异较大^[1-2], 比如 NACE 针对南中国海导管架平台水下结构初期、平均和末期阴极保护设计保护电流密度分别为 110、35、35 mA/m²。由于初期极化时间一般不超过 6 个月, 相对于服役期限 15~30 年导管架平台来说非常短^[4-5], 因此为满足初期极化需要安装的牺牲阳极, 后期白白浪费。

正是基于这一工程实际, 笔者设计了一种新型结构的牺牲阳极^[6], 即以传统梯形阳极为基础, 在阳极两侧增加两个翼翅, 通过增加表面积, 降低接水电阻, 增加初期电流输出^[7]。受边缘效应的影响, 导管架平台下水服役后, 新型阳极翼翅优于本体快速溶解, 其表面积迅速减小, 发生电流随之降低。初期极化完成后, 翼翅也消耗完全, 剩余本体阳极发生电流可以满足平均和末期较小的保护电流需要, 达到节约阳极用量的目的。

针对新型阳极优化设计, 分别开展了小尺寸和中等尺寸阳极的室内静态和实海动态海水环境对比试验。研究表明, 静态海水中, 新型阳极在节约质量近 50% 的基础上, 得到与常规阳极相同的表面积, 实现了试验阶段与常规阳极相近的发生电流。与传统阳极相同质量的新型阳极, 表面积增加近 70%, 使得初期发生电流较常规阳极增加 18%, 全程发生电流增加 14%, 被保护钢试样快速极化^[8]。在实海环境中, 在与常规阳极质量相当的基础上, 新型阳极 A1 初期发生电流增加 22%, 试验阶段发生电流增加 48%。在节约阳极质量近 50% 的基础上, 新型阳极 A2 显现了与常规阳极相近的发生电流^[9]。中尺寸的新型阳极实海试验结果表明, 试验末期, 新型阳极的翼翅溶解殆尽, 呈现出与常规阳极后期一致的圆柱形, 发生电流亦迅速降低与常规阳极相近的发生电流, 结果与设计相一致^[10]。

在前期试验结果基础上, 开展了海洋工程用大尺寸(质量为 280 kg)的新型阳极对比试验。结果表明, 质量相近的新型阳极初期发生电流高于常规阳极 30% 以上, 导管架结构表面具有保护作用的钙镁沉积层形成后, 新型阳极发生电流快速下降, 达到了与常规阳极相当的发生输出。据此结果对导管架平台水下结构进行阴极保护设计, 可达到节约牺牲阳极用量的目的^[11]。

由于导管架平台的设计寿命从 15~30 年不等, 年代跨度较大, 因此, 牺牲阳极的需求量往往并非由初期保护电流决定。另外, 在全世界范围内, 针对不同海域, 不同标准推荐使用的初期、平均和末期保护电流密度也不尽相同, 甚至针对同一海域, 不同标准间的推荐值也存在差异。正是基于此, 文中分别针对设计寿命 15~30 年的导管架平台, 在满足不同保护阶段电流需求的前提下, 通过新型阳极和常规阳极需求量对比, 来评价新型阳极的优越性与局限性, 为导管架平台新型阳极的优化设计提供参考。

1 导管架平台牺牲阳极设计基础

1.1 新型阳极与常规阳极设计参数

文中选择的常规阳极为海洋工程股份有限公司常用的导管架牺牲阳极, 尺寸如图 1 所示。作为对比, 通过改变新型阳极的翼翅尺寸设计了两种新型阳极, 分别是高效 T-I 和高效 T-II, 新型阳极和常规阳极的质量均为 280 kg, 新型阳极在与常规阳极相同质量的前提下, 初期发生电流分别增加 10% 和 20%, 见表 1。阳极芯的规格相同, 阳极成分均为国标 A13 铝-锌-铟-硅阳极^[12], 参照 DNV^[2]附录 A-8 细长加芯型阳极 (long slender stand-off), 利用率为 0.9。

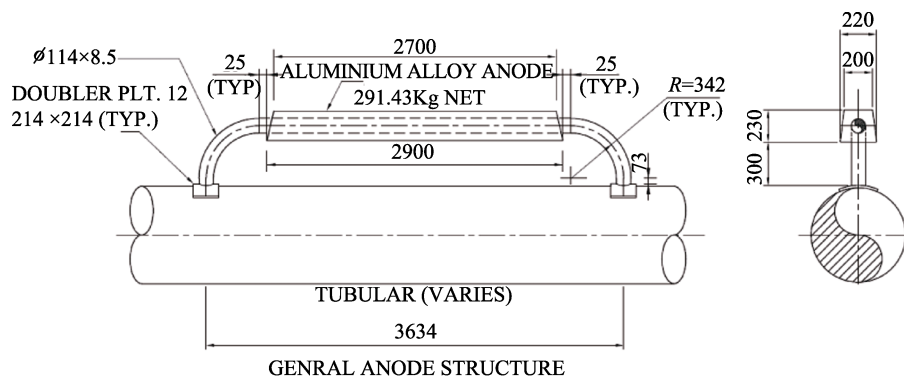


图 1 常规阳极尺寸 (单位: mm)

表 1 常规阳极和新型阳极发生电流对比

阳极类型	初期电流/A	初期增加值/%	末期电流/A
常规阳极	5.20	—	
高效 T-I	5.71	10	3.82
高效 T-II	6.24	20	

1.2 导管架平台阴极保护设计参数

现在假设有一座导管架平台需要进行牺牲阳极阴极保护优化设计, 面积为 10 000 m², 参照 DNV^[2]附录 A 水深 0~30 m, 水温高于 20 °C 的设计标准, 即初期、平均和末期的保护电流密度分别为 150、70、

100 mA/m²。因此,初期保护电流需求为 15 000 A,平均阶段的保护电流需求量为 7 000 A,末期保护电流需求量为 10 000 A。其他默认:海水电导率 0.25 Ω·m,牺牲阳极电化学效率 2000 A·h/kg,阳极材料密度 2730 kg/m³。

2 结果与讨论

2.1 设计寿命 15 年

假设这个导管架平台的设计寿命为 15 年,与边际油田的小型导管架平台寿命相当,因此具有一定的代表性。牺牲阳极的质量必须同时满足三种不同阶段阴极极化的需要,即初期阶段,维持(平均)阶段和末期阶段。初期阶段的保护电流是用于将裸金属极化到保护电位区间,降低欠保护区间的风险。维持(平均)电流密度是当钢结构极化并稳定在保护电位时,维持钢结构极化所需的保护电流。末期电流密度是为了实现钢结构表面钙镁沉积层的损坏,或者表面覆盖的海生物的清除进行再极化所需的电流。针对不同设计寿命的导管架平台,牺牲阳极用量必须同时满足三种保护阶段的需要,当三种状态所需要的牺牲阳极量不同时,取其最大需求值。以下举例说明。

满足初期极化所需的牺牲阳极数量:

$$N = \text{初期保护电流密度} (0.15 \text{ A/m}^2) \times \text{保护面积} (10\,000 \text{ m}^2) / \text{单支阳极初期发生电流} (5.2 \text{ A}) \approx 288 \text{ 支}$$

满足维持极化需求的牺牲阳极数量:

$$N = \text{平均保护电流密度} (0.07 \text{ A/m}^2) \times \text{保护面积} (10\,000 \text{ m}^2) \times \text{设计寿命} (15 \times 8760 \text{ h}) / [\text{牺牲阳极电化学容量} (2000 \text{ A} \cdot \text{h/kg}) \times \text{单支阳极净质量} (280 \text{ kg})] \approx 164 \text{ 支}$$

满足末期极化需求的牺牲阳极数量:

$$N = \text{末期保护电流密度} (0.1 \text{ A/m}^2) \times \text{保护面积} (10\,000 \text{ m}^2) / \text{末期单支阳极发生电流} (3.82 \text{ A}) \approx 262 \text{ 支}$$

设计寿命 15 年的导管架平台采用不同类型牺牲阳极的需求量见表 2。对于同一类型的牺牲阳极,不同阶段阳极的需求量不同时,取其中的最大阳极需求量为设计值。比如,如果采用常规阳极,阳极需求量为 288 支;采用高效 T-I 阳极数量为 263 支,节约阳极用量 9.5%;采用高效 T-II 阳极数量则为 261 支,可实现节约阳极用量 10%。

表 2 导管架平台阴极保护设计寿命 15 年时新型阳极和常规阳极要求量

阳极类型	初期/支	维持/支	末期/支
常规	288	164	261
高效 T-I	263	164	261
高效 T-II	240	164	261

2.2 设计寿命 30 年

设计寿命为 30 年的导管架平台采用不同类型牺

牲阳极时的数量见表 3。可以看出,设计寿命为 30 年时,不管哪种类型的牺牲阳极,维持极化的牺牲阳极需求量均多于初期和末期,也就是要以满足维持阶段阳极数量作为阴极保护的设计量。因此,当平台的设计寿命超出一定年限时,使用新型阳极并不能达到节约阳极用量的目的。

表 3 导管架平台阴极保护设计寿命 30 年时新型阳极和常规阳极要求量

阳极类型	初期/支	维持/支	末期/支
常规	288	329	261
高效 T-I	263	329	261
高效 T-II	240	329	261

初期保护电流是指将裸金属极化到保护电位区间的阴极电流密度,裸金属表面常常有锈层或者轧制氧化皮,增加了对极化电流的需求,因此,初期极化电流密度较大。平均(维持)保护电流密度是指整个阴极保护系统达到稳态后(-0.95~-1.05 V, vs. Ag/AgCl)预期的一个阴极极化电流密度。这个稳态电位一般较设计保护电位负 0.15~0.20 V,在这个电位的范围内,维持阴极保护的电流密度需求是最低的。维持保护电流密度要小于初期,这是因为在海水环境中,随着钢结构表面的极化,界面 pH 值升高,海水中的钙镁离子会以碳酸钙和氢氧化镁的形式沉积在金属表面(钙镁沉积层),从而降低了保护电流需求。末期保护电流密度是指考虑到钙镁沉积层损坏或者定期去除表面附着的海生物而再极化所需的电流^[2],末期保护电流密度大小介于初期和平均之间。

当导管架平台设计寿命较短时,比如 15 年,由于初期电流密度最大,因此满足阴极保护设计所需的牺牲阳极质量取决于初期电流密度。而当导管架设计寿命超出一定年限时,比如 30 年,由于年限较长,则满足阴极保护的牺牲阳极需求量是由维持极化的电流需求量决定的。

从以上计算结果可知,当导管架阴极保护年限较短时,采用新型牺牲阳极可以实现节约阳极用量,同时快速极化的目的。当阴极保护年限较长时,维持极化所需的电流决定阳极的需求量,采用新型阳极设计并不能节约阳极用量。据前期的试验结果来说^[1],即使在这种情况下,采用新型阳极,应该能达到缩短初期极化时间,将导管架结构快速极化到保护区的目的。

3 结论

1) 当导管架平台阴极保护设计寿命较短,比如 15 年,牺牲阳极量取决于初期保护电流需求,因此,采用新型牺牲阳极可以实现节约阳极用量的目的。

2) 当导管架平台阴极保护寿命较长时,比如 30 年,牺牲阳极总量取决于维持极化所需的电流值,采

用新型阳极并不能节约阳极用量。

参考文献:

- [1] NACE SP0176—2007, Corrosion Control of Submerged Areas of Permanently Installed Steel Offshore Structures Associated with Petroleum Production[S].
- [2] DNV Standard DNV-RP-B401—2010, Cathodic Protection Design[S].
- [3] 常炜, 栗艳霞, 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, 11(3): 27-30.
- [4] 陈武, 杨洋, 龙云, 等. 海洋石油平台导管架阴极保护的实施和改进[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2014, 31(5): 44-47.
- [5] 中国海洋石油总公司, 海洋石油工程股份有限公司. 异型截面牺牲阳极: 中国, CN101463479A[P]. 2009-06-24.
- [6] 张经磊. 牺牲阳极的电阻公式[J]. 海洋科学, 1987(5): 54-58.
- [7] 张伟, 尹鹏飞, 张有慧, 等. 海洋工程用新型牺牲阳极设计与性能研究(I)——小尺寸阳极静态海水试验研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(2): 63-70.
- [8] 张伟, 尹鹏飞, 刘福国, 等. 海洋工程用新型牺牲阳极设计与性能研究(II)——小尺寸阳极静态海水试验研究[J]. 装备环境工程, 2017(3): 101-106.
- [9] 张伟, 杨海洋, 陈亚林, 等. 海洋工程用新型牺牲阳极设计与性能研究(III)——中尺寸阳极实海试验研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(2): 46-50.
- [10] 刘福国, 张伟, 王秀通, 等. 海洋工程用新型牺牲阳极设计与性能研究(IV)——导管架平台阴极保护应用研究[J]. 装备环境工程, 2018, 15(3): 14-19.
- [11] GB/T 4948—2002, 铝-锌-钢系合金牺牲阳极[S].