



咸淡水钢管桩牺牲阳极设计与施工

陈 龙, 李海洪, 潘 峻

(中交四航工程研究院有限公司, 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230)

摘要: 依托安哥拉 LNG 码头钢管桩牺牲阳极阴极保护工程, 重点介绍在咸淡水环境下牺牲阳极阴极保护的设计、施工与验收, 并介绍该工程浅水区引桥钢管桩牺牲阳极的实施。为咸淡水和浅水区的特殊环境下牺牲阳极阴极保护的实施与验收提供了重要依据。

关键词: 咸淡水; 浅水区; 牺牲阳极; 阴极保护

中图分类号: U 655.55

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0128-04

Design and construction of galvanic anode for steel pipe piles in brackish water

CHEN Long, LI Hai-hong, PAN Jun

(Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology, Ministry of Communications,
CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on the galvanic anode cathodic protection engineering of steel pipe piles in Angola LNG terminal, this paper introduces the design, construction and acceptance method for the galvanic anode cathodic protection system of steel pipe piles in the brackish water and shallow water environments, which provides an important experience and basis for the implementation and acceptance method of galvanic anode cathodic protection system in special environments, just like brackish water and shallow water.

Keywords: brackish water; shallow water; galvanic anode; cathodic protection

牺牲阳极保护是将被保护钢结构与电位更负的活泼金属建立电连接, 使被保护的金属结构获得保护电流而实现阴极极化, 当被保护结构电位阴极极化到该金属的保护电位后, 金属的腐蚀近于停止。阴极保护较显著的特征就是此方法不仅能有效地防止或阻止均匀腐蚀, 还能有效地防止或阻止局部腐蚀如孔蚀、缝隙腐蚀等。因此码头的钢管桩等水下结构一般会用到阴极保护技术^[1]。

对于牺牲阳极材料, 海洋工程中一般使用铝合金或锌合金牺牲阳极。铝阳极相对于锌阳极, 其电容量大^[2], 且铝和锌单位质量价格差不多, 因此使用铝阳极相对锌阳极经济。但是铝阳极的使用有一定的限制性, 它在海水盐度降低到一定程度下, 阳

极性能明显降低, 因此对于咸淡水环境 (含盐量远低于正常海水), 应经过考证慎重使用^[3]。

另一方面, 对于码头引桥部分, 有时水较浅, 而阳极长度一般在 1~2 m 范围, 且单根桩数量不止 1 块, 因此将其直接安装在钢管桩上显然是不合适的, 因此需换一种方式进行安装。

本文重点介绍了安哥拉 LNG 项目钢管桩牺牲阳极阴极保护工程的设计、施工与检测验收。安哥拉 LNG 项目位于刚果河入海口, 水质环境属于典型的咸淡水, 且引桥部分水深 2~5 m。该工程的顺利实施与验收, 为类似咸淡水环境及浅水区条件下牺牲阳极的实施提供了实际经验和依据, 具有重要的意义。

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 陈龙 (1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事工程耐久性与腐蚀防护工作。

1 工程概况

安哥拉 LNG 海工工程项目位于刚果河的南岸, 与安哥拉西北边境城市 SOYO 相连。最高水温为 29 ℃, 最低水温为 26 ℃。最大洋流速度 1.17 m/s, 最小洋流速度 0.002 m/s, 平均流速 0.31 m/s。设计高潮位 1.70 m, 设计低潮位 0.00 m。安哥拉 LNG 项目共需保护钢管桩 430 根, 牺牲阳极保护年限为 20 a。

2 咸淡水下牺牲阳极阴极保护的设计

2.1 本工程腐蚀环境特点

本工程处于河口和海港的交接处, 水越深盐度越高, 水面受到流入港口的河水影响含盐度较低。在低于水面下 1 m 时, 海水的含盐度在 5 ~ 34.8 ppt 分布, 正常海水浓度为 35 ppt 左右。通过含盐量可以看出, 本工程处于咸淡水环境, 氯离子和水流的影响会加快钢管桩的腐蚀, 因此采用涂层和阴极保护联合防腐的措施是必要的。

为了准确计算阳极在水中的发出电流, 进一步对该码头不同的深度进行电阻率测试。海水取样采用专用的有机玻璃采水器, 可对不同深度的水进行取样, 电阻率测试采用手持式电导计。

测试结果如表 1 所示。

表 1 安哥拉 LNG 项目海水电阻率测试结果		
取样深度/m	水样温度/℃	电阻率/(Ω·cm)
15.0	23.5	19.76
14.0	23.6	19.72
13.0	23.9	21.10
12.0	24.0	21.93
11.0	24.1	22.73
10.0	24.4	23.98
9.0	25.0	28.25
8.0	25.6	28.82
7.0	27.5	55.59
6.0	28.1	81.77
5.0	28.5	121.80
4.0	28.5	144.51
3.0	28.7	166.11
2.0	29.0	170.94
1.0	29.0	176.37

注: 当地气温 28.0 ℃。

2.2 牺牲阳极阴极保护材料的选取

海洋工程中钢结构一般采用铝合金或锌合金牺牲阳极。而铝阳极相对于锌阳极理论电容量大(表 2), 铝阳极理论电容量几乎为锌阳极的 3 倍, 且两者每公斤单价相当, 因此确保施工质量的前提下选取铝合金阳极较为经济^[4-5]。

表 2 牺牲阳极材料电容量对比		
阳极材料	测试环境	理论电容量/(Ah·kg ⁻¹)
铝合金	海水	>2 400
锌合金	海水	>780

但是另一方面, 铝阳极的使用有一定的限制性, 它在海水盐度降低到一定程度下, 阳极性能明显降低。根据 Schriber 和 Murray 的研究, Galvalum III 铝合金阳极可在氯化物浓度为正常海水浓度(35 ppt)的约 12% 条件下保持活性, 并其电容量仍可保持相对稳定。但是, 在氯化物浓度低于海水的 33% 时阳极的腐蚀电位开始变正, 在正常海水浓度的 12% (4.2 ppt) 时, 电位为 -1.0 V (相对海水银-氯化银参比电极)^[3]。

对于本工程在低于水面下 1 m 时, 海水的含盐度在 5 ~ 34.8 ppt 分布, 因此本工程完全可采用电容量较高的 Galvalum III 铝合金阳极, 从而使整个工程更加经济(相对锌阳极, 造价节省约 2/3)。

Galvalum III 铝合金阳极, 其化学成分见表 3。电化学性能为: 电容量 > 2 450 Ah/kg, 工作电位为 -1.12 ~ -1.05 (vs. SCE) V。

表 3 安哥拉 LNG 项目采用的铝合金阳极化学成分						
成分	Zn	In	Fe	Cu	Si	Al
质量百分比/%	2.8~6.5	0.01~0.02	<0.12	<0.06	0.08~0.2	余量

2.3 保护电流密度及保护范围的选取

保护电流密度的选取要充分考虑环境温度以及钢结构所处的海水环境, 并结合标准-DNV RPB401 (cathodic protection design)。

本工程水中区钢管桩保护电流密度: 初期 150 mA/m²; 平均 70 mA/m²; 末期 100 mA/m²。泥面以下钢管桩保护电流密度: 初期、平均和末期均取 20 mA/m²。阴极保护面积包括整个钢管桩。

2.4 牺牲阳极尺寸与数量

根据 DNV-RP-B401 设计阴极保护所需的阳极尺寸数量。由于本工程海水电阻率随水的深度不同而改变，而海水电阻率直接决定了单块阳极的发出电流和使用寿命。因此本阴极保护工程共设计有 3 种型号规格的 Galvalum III 铝合金阳极，共需安装牺牲阳极 1 606 块。牺牲阳极尺寸及适用安装部位见表 4。

表 4 阳极规格

型号	长度/ mm	宽度/ mm	高度/ mm	净质量/ kg	毛质量/ kg	放置部位
A	2 000	顶 100 底 140	110	66.2	88.50	钢管桩中部
B	1 500	顶 100 底 140	110	49.7	65.30	钢管桩上部
C	1 000	顶 190 底 230	195	106.2	126.91	钢管桩下部

3 牺牲阳极阴极保护施工

3.1 阳极水下焊接安装

为了确保阳极焊接安装质量，本项目牺牲阳极的水下安装工艺采用专用水下焊条湿法焊接：采用特殊成份配方的高性能专用水下焊条湿法焊接，减少焊接气泡和含氢量，增加焊接可见度，增加焊接焊缝韧性，降低焊接焊缝淬硬，避免焊缝开裂。

按照美国焊接协会 AWS D3.6 水下焊接标准，结合现场实际情况，本工程的焊接标准为 C 级。阳极安装前，在现场焊接工程师的见证下在现场模拟实际情况进行试焊接，并对试焊接试件进行相关试验。

3.2 深水区阳极的布置与安装

阳极布置遵循均匀分布的原则，本工程深水区钢管桩典型阳极布置见图 1。

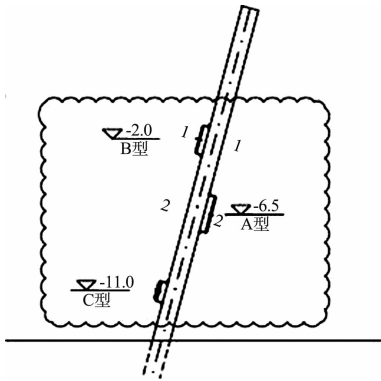


图 1 深水区阳极布置（单位：m）

阳极的安装按照设计的阳极高程位置，吊放阳极至规定的高程。对钢管桩待焊接处进行表面处理，凿除涂层或海生物，并用水下打磨机打磨待焊处后，引弧焊接。

阳极铁脚两边应满焊，焊缝长度每边 ≥ 140 mm，焊缝连续饱满，焊脚尺寸 ≥ 8 mm，焊缝不得有虚焊。阳极焊接见图 2。

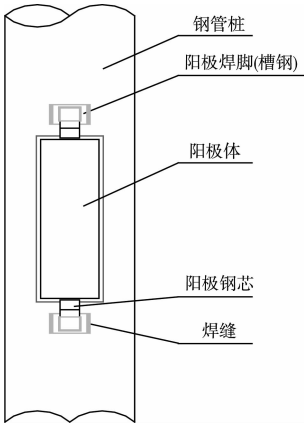


图 2 深水区阳极的安装

3.3 浅水区阳极安装

由于本工程对于码头引桥部分，水较浅，直接将阳极焊接在钢管桩上显然是不合适的，因此设计了组合支架式阳极。组合支架式阳极，即用槽钢制成阳极支架，阳极组焊接在支架上，再通过扁钢或钢筋使组合支架式阳极与钢管桩连接（图 3）。

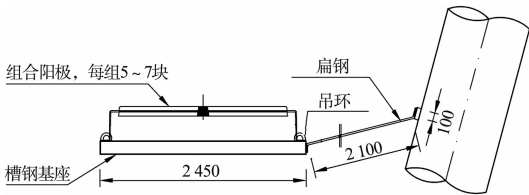


图 3 组合支架式阳极安装（单位：mm）

4 施工质量与保护效果的测试

4.1 水下焊接质量检查与验收

水下焊接按照美国焊接协会 AWS D3.6 水下焊接标准，对于本工程的焊接标准为 C 级，检测方法为焊缝外观目视检测。每块阳极焊接完成后，由潜水员对每块阳极的 4 条焊缝进行水下拍照，交给现场焊接工程师检测。

4.2 牺牲阳极保护效果的测试与分析

本工程钢管桩保护电位的测试采用便携式饱和 KCl-Ag/AgCl 参比电极。值得注意的是普通海水环境阴极保护测试使用的海水 Ag/AgCl 参比电极是不适用于本项目的。因为本工程的海水电阻率随海水深度不同而不同, 在这种情况下海水 Ag/AgCl 参比电极本身的电位也随之发生波动^[6]。达到阴极保护要求的判断标准是: 保护电位应负于 -0.8 V, 且对于铝阳极阴极保护不存在过保护^[7]。

在全部阳极焊接完成 5 ~ 7 d 后, 用便携式饱和 KCl-Ag/AgCl 参比电极对每根钢管桩的保护电位进行全面的检测, 测定钢管桩的上、中、下 3 个高程的保护电位。表 5 为典型测试结果。

表 5 钢管桩保护电位测试记录				
所处环境	桩号	保护电位/mV		
		上部	中部	下部
深水区	NL6	1 000	1 019	1 002
	NL12	1 001	1 025	1 004
	NL11	1 022	1 027	1 022
	NL5	1 001	1 020	1 003
	NL10	1 022	1 026	1 014
	NL4	1 023	1 024	1 006
	NL3	1 001	1 023	1 005
	NL9	1 023	1 026	1 010
	NL8	1 023	1 028	1 014
	NL2	1 024	1 026	1 005
浅水区	NT11	985	1 003	984
	NT19	979	982	980
	NT22	981	982	982
	NT14	975	981	976
	NT21	982	996	970
	NT20	975	997	973
	NT23	959	978	962
	NT24	960	977	960
	NT25	964	967	966
	NT28	957	965	955

由测试结果可以看出, 所有钢管桩保护电位均达到保护要求, 且分布较为均匀, 说明整个工程从材料的选择到设计、阳极布置和施工方法,

都是合理的。

另外, 从表 5 可看出, 深水区的钢管桩保护电位均负于 -1.0 V, 而浅水区钢管桩保护电位普遍正于深水区的钢管桩保护电位。这说明直接焊接安装在钢管桩保护效果更明显, 电流更集中分布在被保护的钢管桩上。

5 结论

1) 对于咸淡水环境下牺牲阳极的设计, 首先掌握其海水电阻率分布情况十分必要。电阻率的大小决定了阳极材料的选取, 在可能的情况下尽量选取电容量较大的铝合金阳极, 并控制好铝合金阳极的化学成分与电化学性能。

2) 从测试保护电位来看, Galvalum III 铝合金阳极在本工程海水环境下 (海水的含盐度在 5 ~ 34.8 ppt 分布), 具有较好的保护效果。

3) 针对浅水区, 在阳极组不能直接安装在钢管桩的情况下, 组合支架式阳极是合适的, 即阳极组安装在槽钢组成的阳极支架上, 再通过扁钢或钢筋与钢管桩连接。

4) 水下焊接方式安装阳极有较好的保护效果, 水下焊接可通过水下拍照, 观察焊缝外观, 控制好阳极的安装质量。

参考文献:

[1] 王炳煌. 高桩码头工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[2] 黄永昌. 电化学保护技术及其应用[J]. 腐蚀与防护, 2000, 21(5): 232-235.

[3] Schrieber C F, Murray R W. Effect of hostile marine environments on the Al-Zn-In-Si sacrificial anode [J]. Materials Performance, 1988, 27(7): 70-77.

[4] GBT 4948—2002 铝-锌-铜系合金牺牲阳极[S].

[5] GBT 4950—2002 锌-铝-铜合金牺牲阳极[S].

[6] JTS 153-3—2007 海港工程钢结构防腐蚀技术规范[S].

[7] DNV RPB401 Cathodic protection design [S].

(本文编辑 郭雪珍)