



洋山港一期工程阴极保护效果 及剩余寿命评估*

鲁进亮¹, 张 羿¹, 郑 伟²

(1. 中交上海港湾工程设计研究院有限公司, 上海申航基础工程有限公司, 上海 200120;
2. 上海港湾工程质量检测有限公司, 上海 200032)

摘要: 洋山港码头钢管桩防腐采用牺牲阳极阴极保护的方法, 在一期已服役 10 余年后对其运行状况及剩余情况进行查检及寿命评估, 通过电位测量、水下探摸、水下摄像、理论计算等方法对牺牲阳极阴极保护效果进行评价和分析。结果表明, 洋山港码头一期钢管桩得到有效的阴极保护, 阴极保护系统运行良好, 但洋山港一期地处水流急、泥沙含量大的钱塘江下游入海口, 牺牲阳极受冲刷严重, 致使无法满足最初设计使用寿命要求。

关键词: 钢管桩; 牺牲阳极; 阴极保护; 剩余寿命

中图分类号: TG 174

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)08-0050-03

Assessment of remaining life and protection effect of sacrificial anode for steel pipe piles of Yangshan port phase I project

LU Jin-liang¹, ZHANG Yi¹, ZHENG Wei²

(1. Shanghai Shenhong Foundation Engineering Co., Ltd., Shanghai Harbor Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200120, China; 2. Shanghai Harbor Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The sacrificial anode cathodic protection system of steel pipe piles of a wharf in Yangshan port has been used for more than ten years. The sacrificial anode protection effect is evaluated and analyzed by measuring the protection potentials, detecting anti-corrosion effect of the sacrificial anode protection system, and calculating the survival service life of the anodes. The results show that steel pipe piles in Yangshan port phase I project have been protected effectively in past ten years, and the cathodic protection system is running well. The remaining sacrificial anode life could not meet design life requirements because of serious scouring due to rush water and large sediment concentration.

Key words: steel pipe pile; sacrificial anode; cathodic protection; residual life

上海国际航运中心洋山港码头是世界最大的海岛型深水人工港, 地处钱塘江下游入海口, 水流急、风高浪涌, 含沙量较高, 能见度较差, 距上海市浦东新区芦潮港东南约 30 km, 由一座

32.5 km 的跨海大桥连接至上海市。目前已经完成四期的建设, 总体设计使用寿命为 50 a, 在码头建设时充分考虑了洋山港所处位置和海水环境, 对钢管桩采用牺牲阳极阴极保护的方法进行防腐

收稿日期: 2014-01-09

*基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2012AA051708)

作者简介: 鲁进亮(1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海工结构防腐、海上风电灌浆工艺、钢筋混凝土耐久性等方面技术研究。

蚀保护, 并以 25 a 为节点分两次进行阴极保护设计, 其中洋山港码头一期阴极保护系统于 2003 年建设完成, 至今已运行 10 a。

根据《港口水工建筑物检测与评估技术规范》^[1] 要求, 对洋山港码头一期水下桩基阴极保护系统的运行状况进行抽检, 确定钢管桩的腐蚀损坏程度, 根据水下探摸结果对阴极保护效果进行计算分析。

1 阴极保护系统设计概况

原洋山港码头一期的设计条件为: 海水电阻率 $40 \Omega \cdot \text{cm}$, 钢桩直径 1 200 mm, 桩长 58 m, 水中区面积 128.4 m^2 , 设计高潮位 4.51 m, 设计低潮位 0.53 m, 设计泥面高程 -15.30 m , 泥下区面积 278.21 m^2 。根据钢管桩的设计参数对钢管桩牺牲阳极阴极保护系统进行设计, 得到如下设计结果: 牺牲阳极为 A12 型, 阳极规格为 800 mm (长) $\times 150 \text{ mm}$ (宽) $\times (200 + 280) \text{ mm}$ (厚), 设计阳极毛质量 86 kg/只 , 设计阳极净质量 80 kg/只 , 阳极内扁钢芯体积 462.70 cm^3 , 阳极发射电流 1.45 A/只 , 水中区保护电流密度 35 mA/m^2 , 泥下区保护电流密度 10 mA/m^2 , 牺牲阳极设计使用年限 25 a。

对于牺牲阳极的安装采用水下湿法焊接^[2], 每根桩焊接 3 块阳极, 安装位置见图 1。

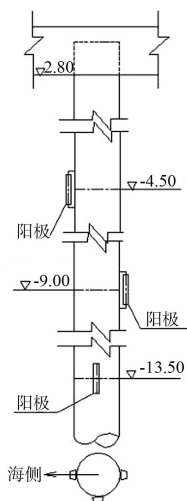


图 1 阳极焊接位置

2 检测内容和方法

根据 JTJ 302—2006《港口水工建筑物检测与评估技术规范》规定, 对钢管桩保护电位、牺牲阳极安装状况、阳极残余尺寸及消耗量等内容进行检测与评估。

牺牲阳极安装状况检测: 由潜水员通过水下探摸和水下摄像, 确定阳极数量、安装连接状态和阳极溶解消耗情况。

钢管桩阴极保护效果评估及剩余使用寿命计算: 通过电位检测及牺牲阳极位置、形状、尺寸的水下探摸, 与设计保护电位及阳极位置进行比较, 评估阴极保护效果并根据阳极剩余质量计算其剩余使用寿命。

3 阴极保护系统检测结果分析

经抽检未发现钢管桩出现裂缝、扭曲等现象, 桩帽与桩身接触处正常, 河床桩基无冲刷现象。因河床增高, 靠内侧承台部分钢管桩未探摸到阳极, 但电位检测结果符合设计电位要求。

按 10% 的比例对水下探摸检测桩基进行水下摄影, 影像显示: 被拍摄桩体表面部位无破损、裂缝、扭曲等现象, 桩体表面存在海生物, 但阳极表面海生物数量较少。洋山港一期码头牺牲阳极外形基本规则, 表明阳极表面腐蚀产物易脱落, 溶解基本均匀, 电位在 $-1.028 \sim -1.039 \text{ V}$ (相对于饱和硫酸铜电极), 符合保护电位在 $-0.850 \sim -1.10 \text{ V}$ (相对于饱和硫酸铜电极) 的要求。

根据检测内容及方法针对某代表性钢桩测得的阴极保护系统的运行现状见表 3。

表 3 某代表性钢管桩上阴极保护系统检测结果

桩号	阳极数量	尺寸(长×厚×高)/ (cm×cm×cm)	阳极高度/m	保护电位/V (Cu/CuSO ₄ 电极)
A-69	3	78×14×16	-4.7、-6.9、-11.2	1.038
B-103	3	78×14×16	-4.8、-7.9、-11.1	1.037
P-114	3	78×14×16	-5.1、-8.3、-11.3	1.035
P-126	3	78×14×16	-5.2、-8.2、-11.1	1.036
B-134	3	78×14×16	-4.9、-8.1、-11.2	1.034
B-137	3	78×14×16	-5.1、-8.3、-10.9	1.032

4 牺牲阳极剩余使用寿命核算

根据钢芯体积及表1中测量阳极尺寸计算单块阳极剩余净质量,按照式(1)进行计算:

$$W_1 = (V_{\text{总}} - V_{\text{钢芯}})\rho \quad (1)$$

式中: W_1 为阳极剩余净质量(kg); $V_{\text{总}}$ 为阳极剩余体积(cm^3); $V_{\text{钢芯}}$ 为阳极内钢芯体积(cm^3); ρ 为A21型牺牲阳极密度, 2.79 kg/dm^3 。计算得净质量为47.46 kg。损耗率 = $1 - 47.46/80 = 40.68\%$ 。

以阳极每年平均消耗量基本一致的情况下进行简单的阳极寿命比例计算:

$$\frac{W_0 - W_1}{t_1} = \frac{W_1}{t} \quad (2)$$

式中: W_0 为阳极设计质量(kg); W_1 为阳极剩余净质量(kg); t_1 为阳极已使用年限(a),按照10 a计算; t 为阳极剩余使用年限(a),得到 $t \approx 15 \text{ a}$ 。

在简单考虑年平均消耗基本一致的情况下,阳极剩余质量基本能够满足预期设计使用寿命,即剩余15 a,但是钢管桩随时间迁移其表面涂层破损程度越来越大,即牺牲阳极在后期损耗速率逐渐增大,很难使用至剩余的15 a寿命。

朱锡昶等^[5]在计算牺牲阳极剩余使用年限时采用以下公式:

$$t = \frac{0.9W_1}{W_0 - W_1} \cdot t_1 \quad (3)$$

式中: W_0 为阳极设计质质量(kg); W_1 为阳极剩余净质量(kg); t_1 为阳极已使用年限(a),按照10 a计算; t 为阳极剩余使用年限(a),计算得 $t \approx 13 \text{ a}$ 。

根据式(3)计算出阳极剩余年限不能满足设计剩余年限15 a的要求。

参考DNV-RP-B401^[4]的规定,在阴极保护设计时需要考虑初期、维持期、末期的保护电流密度,由于不同时间所需保护电流密度不同,具体

数据受涂层破损情况、水质电阻率等因素影响。为简化计算,参考DNV-RP-B401^[4]计算公式,本文仅以目前阳极剩余质量、阳极性能参数等方面计算阳极在此质量下的全寿命使用周期:

$$t = \frac{W_1 f \epsilon n}{8760 E_g} \quad (4)$$

式中: W_1 为每个阳极的净质量(kg); f 为利用系数(取0.9); E_g 为阳极的消耗率($\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)(A21阳极取3.37); n 为每根钢管桩阳极数量; ϵ 为该型号阳极电容量,2600 Ah/kg; t 为阳极剩余使用年限(a)。计算结果表明该阳极剩余年限约为11 a (<15 a),不能满足设计剩余使用年限要求。

5 结论

通过不同的剩余寿命计算公式,由简单的均匀腐蚀寿命计算到考虑阳极性能参数计算使用寿命,得到的阳极剩余寿命越来越短,但都表明原设计牺牲阳极无法满足设计使用年限。洋山港地处钱塘江下游入海口,水流急、风高浪涌,含沙量较高,从水下拍摄的阳极正表面图像可见光亮的阳极表面基本无微生物附着,表明牺牲阳极受冲刷严重,是导致阳极不能满足设计寿命的主要原因之一。

参考文献:

- [1] JTJ 302—2006 港口水工建筑物检测与评估技术规范[S].
- [2] GJB 156—1986 港工设施牺牲阳极保护设计和安装[S].
- [3] JTS 153-3—2007 海港工程钢结构防腐技术规范[S].
- [4] DNV-RP-B401—2010 Cathodic Protection Design[S].
- [5] 朱锡昶,葛燕,李岩. 码头钢管桩牺牲阳极阴极保护10年效果[J]. 水运工程, 2008(6): 82-86.

(本文编辑 武亚庆)