

天津港码头改造工程钢管桩牺牲阳极阴极保护

柴信众

(中交第一航务工程勘察设计院, 天津 300222)

摘要:介绍了天津港 25[#]、26[#]、27[#]泊位改造工程钢管桩牺牲阳极阴极保护。通过全面检查测量, 钢管桩保护效果良好, 证明该工程钢管桩防腐设计是合理的。

关键词:钢管桩码头; 牺牲阳极; 阴极保护

中图分类号: T761.13

文献标识码: B

文章编号: 1004-9592(2004)02-0037-03

1 海洋钢质结构腐蚀与防护

海洋环境下的金属设施, 尤其是固定式的钢管桩, 其腐蚀防护问题尤为突出。根据环境条件和腐蚀特点的不同, 海洋环境中钢管桩的腐蚀可分为 5 个区域: 大气区、浪溅区、水位变动区、水下区和泥下区。这些区域的腐蚀条件、腐蚀特点和腐蚀程度如表 1 所示。

表 1 不同区域腐蚀比较

海洋区域	环境条件	腐蚀特点	平均腐蚀率/ (mm·a ⁻¹)
大气区	风带来细小的海盐颗粒	海盐粒子加速腐蚀, 但随距离而不同	0.05~0.20
浪溅区	潮湿, 充分充气, 表面无生物污染	飞溅、干湿交替、日照、腐蚀最重	0.20~0.50
水位变动区	周期浸没, 供氧充足	钢和水线以下区组成氧浓差电池, 本区受保护	0.05~0.20
水下区	在浅水区海水通常为氧所饱和	腐蚀随深度变化, 浅水区腐蚀较重, 阴区往往形成石灰层水垢, 生物因素影响大	0.10~0.30
泥下区	常有硫酸盐还原菌	泥浆通常有腐蚀性, 有可能形成泥浆海水腐蚀电池	0.03~0.07

海洋环境中钢管桩的 5 个腐蚀区域, 在未进行有效保护状态下, 会形成严重的局部腐蚀, 平均腐蚀速度可达 0.3~0.4 mm/a, 局部腐蚀速度甚至可达 1 mm/a, 造成钢管桩局部穿孔, 甚至呈截断状态, 严重地威胁着结构的安全使用。据资料报道, 20 世纪 60 年代日本曾发生过多次钢管桩码头由于未采取有效保护, 以致造成局部严重腐蚀导致码头塌陷的事故。由此可见, 对钢管桩采取及时有效的防腐保护

措施是非常必要的。

阴极保护是保护钢结构免受海水腐蚀的有效方法, 这种方法投资少, 收效大, 保护周期长, 在港工、船舶、海洋平台、海底管线等海洋工程中广泛应用。阴极保护通常与涂料保护联合使用, 以减少阴极保护电流密度, 提高保护效果。阴极保护不仅可以防止均匀腐蚀, 对防止孔蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀也是有效的, 对防止流动海水的冲击腐蚀和空泡腐蚀也有一定效果, 保护效果一般可达到 90%~95%。

2 阴极保护方法的分类和选用

阴极保护是在金属表面通入足够的阴极电流, 使金属的电极电位变负, 从而使金属的腐蚀溶解速度减小。阴极保护又分为牺牲阳极和外加电流 2 种方法。牺牲阳极阴极保护具有保护效果稳定可靠, 系统安装简单, 一次安装可以达到长期保护的要求, 不需专人维护保养等很多优点, 但是用于高电阻率介质中(如土壤、淡水)时受到一定限制; 外加电流阴极保护具有输出电流大, 可以自动调节电流输出, 基本不受介质电阻率影响的优点, 但如用于保护钢管桩码头, 需要一次性安装大量的辅助阳极和参比电极才能保证整体保护电位均匀, 系统安装调试复杂, 使用过程中容易产生和受到杂散电流的干扰, 并需要专业人员管理维护。

根据保护对象的结构、所处的环境及当地的条件, 进行保护方法的合理选择是至关重要的。随着铝合金牺牲阳极材料的发展和实际保护环境、条件的需要, 牺牲阳极保护已广泛应用于钢管桩码头等海洋固定式钢质结构的防腐保护, 并取得了明显的防腐效果和社会经济效益。

3 钢管桩牺牲阳极阴极保护设计

天津港 25[#]、26[#]、27[#] 泊位改造工程新建钢管桩码头为钢管桩预应力钢筋混凝土梁板结构。3 个泊位打设 $\Phi 1\ 000\ \text{mm}$ 钢管桩 822 根和 $\Phi 1\ 200\ \text{mm}$ 钢管桩 719 根。钢管桩材质为 Q235-C. Z 钢。钢管桩牺牲阳极防腐工程于 2000 年 3 月开工, 2000 年 8 月完工, 经过全面质量检查, 工程质量达到设计要求。

3.1 保护方案选择

针对天津港 25[#]、26[#]、27[#] 泊位改造工程新建码头钢管桩存在的水位变动、水下、泥下 3 个腐蚀区的实际情况以及码头结构的特点, 通过技术论证, 参照国内外有关技术规范和大量成功的实际工程经验, 确定对水位变动区和设计低潮位以下一定长度范围内的钢管桩采用铝合金牺牲阳极和防腐涂料联合保护, 对水下区和泥下区的裸露钢管表面采用铝合金牺牲阳极保护。

铝合金牺牲阳极由于具有密度小、电容量大、在氯离子介质中阳极性能良好、原料丰富、制造工艺简单、价格低廉等优点, 在保护钢质海洋结构时被广泛采用。常见的铝合金牺牲阳极有许多种, 根据新建码头钢管桩保护期 30 a 的总体设计要求, 考虑工程量、保护寿命长, 为了减少阳极用量, 节约工程造价, 便于阳极水下焊接安装, 选用高效长寿命的 Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极作为本工程的防腐阳极材料。

725L-H53-9 环氧重防腐涂料是由七二五研究所研制, 1987 年通过部级鉴定, 1989 年获部级科技进步二等奖的新型高性能重防腐涂料。该涂料具有施工方便、附着力强、耐磨、表面硬度高、防腐效果好、使用寿命长、造价低等优点。本工程选用该涂料作为钢管桩水位变动区及设计低潮位以下一定长度范围内钢管桩的防腐涂料, 与阴极保护联合使用。

3.2 阴极保护技术指标

根据新建钢管桩码头的结构、实际工况条件和确定的保护技术路线, 参照国内外有关技术规范和大量成功的实际工程经验, 确定钢管桩阴极保护技术指标为:

1) 钢管桩防腐保护寿命设计为 30 a, 30 a 后根据铝合金牺牲阳极和 725L-H53-9 环氧重防腐涂料使用情况和工程使用要求, 进行重新设计和更换;

2) 有效保护期间内, 钢管桩电位始终控制在最佳保护电位范围, 保护率达 90%~95%;

3) 在有效保护期间内, 保护效果稳定可靠, 不需要任何维修保养和专人管理。

3.3 阴极保护电流密度的选取

阴极保护电流密度的大小是影响金属构件阴极保护效果的重要参数之一, 与牺牲阳极材料用量的多少是成正比的, 与阴极保护工程的费用也有直接的关系。阴极保护电流密度的大小主要与被保护的金属种类、腐蚀介质的性质、金属表面状态、有效保护年限和外界条件的影响等因素有关。这些因素的变化可以使阴极保护电流密度由几毫安每平方米变化到几分安每平方米。

不同海区各腐蚀区裸露及有涂层钢构件选用的阴极保护电流密度值有较大差异。海水中的裸钢保护电流密度一般为 80~100 mA/m²; 静止海水中的涂层钢构件为 10~20 mA/m², 流动海水中则视涂层完好程度为 15~30(完好)和 30~50 mA/m²(破损); 泥下区裸钢保护电流密度为 20~30 mA/m²。

根据码头所处的地理位置、介质条件、钢管桩材质、表面状态及码头结构形式等实际情况, 参照有关标准、资料和西沙群岛、榆林港 8 座码头钢板桩保护的的实际使用效果、黄岛油码头钢管桩电位测量和牺牲阳极溶解消耗量水下实测数据以及天津港一公司码头钢板桩牺牲阳极保护试验挂片检测数据等十几项工程实例, 本工程钢管桩各腐蚀区保护电流密度取值如表 2 所列。

表 2 钢管桩各腐蚀区保护电流密度 (mA/m²)

钢管桩部位	潮差区	涂层海水区	裸露海水区	海泥区
保护电流密度	15	20	85	10

3.4 保护面积及保护电流

由于高潮位时, 钢管桩全部位于水下区和泥下区, 所以阴极保护面积应是钢管桩各部位(包括水位变动区、水下区、泥下区)的总面积。25[#]、26[#]、27[#] 泊位改造工程新建码头钢管桩阴极保护面积以及根据选取的保护电流密度, 钢管桩各腐蚀区所需的保护电流计算结果如表 3, 所需保护电流总计 6 307 761 mA。

表 3 钢管桩各部位阴极保护面积及电流

钢管桩部位	潮差区	涂层海水区	裸露海水区	海泥区	合计
面积 /m ²	25 [#] 、 26 [#] 泊位	2 933.4	8 360.4	25 329.6	52 909.9
	27 [#] 泊位	3 098.6	8 532.0	29 309.0	70 605.3
	合计	6 032.0	16 892.4	54 638.6	123 515.2
保护 电流 /mA	25 [#] 、 26 [#] 泊位	44 001	167 208	2 153 016	529 099
	27 [#] 泊位	46 479	170 640	2 491 265	706 053
	合计	90 480	337 848	4 644 281	1 235 152
					6 307 761

3.5 牺牲阳极规格及用量

根据各种钢管桩保护面积和所需保护电流的计算结果, 阳极的规格尺寸确定为 $702\text{ mm} \times (226 + 285)\text{ mm} \times 255\text{ mm}$, 每块阳极的重量为 131.3 kg 。25#、26#泊位牺牲阳极用量为 1 608 块, 27#泊位牺牲阳极用量为 1 896 块。

4 牺牲阳极的布置和安装

4.1 钢管桩电性连接

根据钢管桩码头结构的特点, 钢管桩直径不同, 随着挖泥边坡, 各部位钢管桩水位变动区、水下区和泥下区的长度也不同, 保护面积和所需保护电流不同。为了钢管桩之间电位分布均匀, 整体得到一致的良好保护, 桩帽制作前采用电焊方法将所有钢管桩用钢筋连结形成一个保护整体。

4.2 牺牲阳极布置

根据不同直径, 不同长度和不同部位, 每根钢管桩安装 1~3 块阳极。

4.3 牺牲阳极安装工艺

牺牲阳极安装质量的好坏, 直接影响到阳极的发生电流量、溶解性能、使用寿命和使用效果。水下焊接安装工艺具有工艺简单、牢固可靠等优点。本工程钢管桩材质为 Q235-C. Z 普通碳钢, 牺牲阳极采用普通湿法水下焊接工艺进行安装。

4.4 牺牲阳极焊接技术要求

根据阳极结构, 每块牺牲阳极有 2 只焊脚, 4 条焊缝, 要求每条焊缝长度 $\geq 100\text{ mm}$, 焊缝高度 $5\sim 7\text{ mm}$, 焊缝连续、平整、牢固可靠, 30 a 不脱落, 并与钢管桩有良好的电性连接。

5 保护效果检测

5.1 保护效果检测方案

为了保证和全面了解掌握钢管桩的保护效果, 除了对牺牲阳极材料质量和对工程施工质量进行全面有效的控制外, 还设计了保护效果检测方案:

1) 在 25#、26#、27#泊位码头施工建设过程中, 设计埋设了电位测量装置, 以便在 30 a 保护期内按计划定期进行保护电位测量;

2) 为了定量评定钢管桩的保护效果, 采用挂片检查法测量保护率;

3) 防腐工程交付使用后定期安排潜水进行水下检查与测量。

5.2 保护效果检测结果

工程交付使用后, 在对钢管桩防腐保护系统进行潜水水下全面检查的同时, 进行了 6 次电位检测, 对 2 a 期保护效果检测挂片进行了取样处理分析。从外观上看, 自然腐蚀挂片和保护挂片有明显区别。自然腐蚀挂片腐蚀严重, 表面有厚厚的锈层, 而保护挂片表面无锈蚀, 表面覆盖一层白色致密的阴极沉积膜, 保护挂片的保护率达 95% 以上。

6 结论

1) 天津港 25#、26#、27#泊位改造工程首次采用了钢管桩预应力混凝土梁板结构建造码头, 钢管桩设计采用牺牲阳极阴极保护, 设计防腐保护寿命 30 a, 1 541 根钢管桩保护期内牺牲阳极用量 462 t。

2) 在钢管桩防腐保护设计中, 采用了高效 Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极, 使工程牺牲阳极用量与以往同类工程设计用量相比节省约 20%, 工程费用相应降低约 20%。

3) 根据工程竣工验收投入正常使用 2 年内的电位测量数据和钢管桩保护系统潜水水下全面检查及 2 年期保护效果检测挂片试验结果表明, 牺牲阳极溶解良好, 保护效果明显, 保护率达 95% 以上。

综上所述, 天津港 25#、26#、27#泊位改造钢管桩牺牲阳极防腐工程技术设计合理, 牺牲阳极材料性能优良, 保护效果良好。

Sacrificial Cathodic & Anode Protection for Steel Pipe

Pile of Wharf Modification Works, Tianjin Port

CHAI Xin-zhong

(FDINE* Tianjin 300222, China)

Abstract: The sacrificial cathodic & anode protection for steel pipe pile of modification works of berths of No. 25, No. 26 and No. 27, Thanjin Pport are introduced in the paper. Through general check and survey, it is found that the protection effect for steel pipe pile is good, which can verify the anti-corrosion design is reasonable.

Key words: steel pipe pile wharf; sacrificial anode; cathodic protection