



混凝土外衬在钢管桩防腐蚀 设计与施工中的应用

蔡森, 裴国强, 张勇

(中交第二航务工程局第三工程公司, 江苏镇江 212003)

摘要: 减少钢管桩与海水接触的面积是防腐蚀设计的一个思路, 采取最普通的材料和简单的工艺是降低成本的途径。介绍越南某项目钢管桩防腐采取混凝土外衬设计, 克服水下安装和缝隙填充等施工技术难题, 实现最经济的防腐蚀方案。

关键词: 钢管桩; 混凝土外衬; 防腐蚀设计; 施工技术

中图分类号: U 655.55

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2015)01-0204-05

Application of concrete coating for corrosion protection of steel pipe pile

CAI Sen, PEI Guo-qiang, ZHANG Yong

(The Third Engineering Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Zhenjiang 212003, China)

Abstract: Reducing the contact area of the steel tubular pile with the sea water is one of the anti-corrosion design ideas. Taking the most common materials and the simplest process is a way to reduce the costs. This paper illustrates the construction problems such as underwater installation and gap filling etc. can be overcome and the most economic solution can be achieved by adopting concrete lining design in steel tubular pile corrosion prevention in a Vietnamese project.

Keywords: steel pipe pile; concrete coating; anti-corrosion design; construction technology

钢管桩码头结构因其对软弱地基的良好适应性和施工的便捷性, 得到了越来越广泛的应用, 但钢管桩抗腐蚀能力一直是制约钢管桩码头结构应用的重要因素。传统的钢管桩防腐蚀处理方法^[1]有牺牲阳极和包覆层防腐等。各种方案保护效果各有优缺点, 如牺牲阳极在水位变动区和浪溅区保护所需阳极量较大, 并在设计寿命内可能更换阳极块 2~3 次; 涂层或聚乙烯等包覆层防腐存在材料成本高、质量不易控制、施工期易破损且不易修复等缺点^[2]。

预制混凝土外衬防腐技术是近年来发展起来的针对钢管桩水位变动区和浪溅区防腐的新技术,

采用预制薄壁混凝土外衬, 并灌浆到外衬结构与钢管桩紧密结合, 具有施工方便、耐久性好、造价低等诸多特点。

在越南某 EPC 项目中, 经过和业主咨工的多次技术论证, 成功地在钢管桩水位变动区和浪溅区应用了混凝土外衬防腐技术, 取得了良好效果。

1 工程概况

越南某 EPC 项目为集装箱码头枢纽工程, 码头长度为 800 m, 宽度为 61.9 m。桩基设计直桩选用 PHC 桩和斜桩选用钢管桩。钢管桩斜率为 1:4。其分布如图 1 所示。

收稿日期: 2014-05-26

作者简介: 蔡森 (1973—), 男, 工程师, 从事海外港口工程设计与施工管理工作。

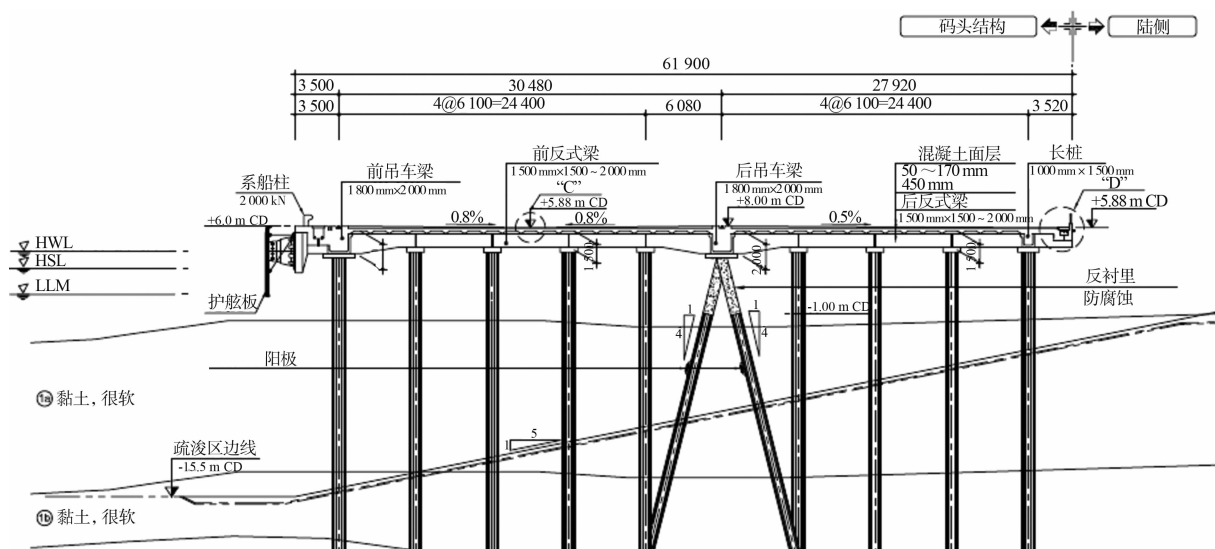


图 1 某工程码头典型截面

本项目合同要求, 钢管桩防腐设计采取 BS 等规范。

2 钢管桩防腐设计条件

2.1 设计年限

钢管桩设计年限 50 a。

2.2 钢管桩设计数据

技术规范要求钢管桩的相关设计参数如表 1 所示。

表 1 钢管桩设计数据

钢管桩直径/mm	钢管桩壁厚/mm	钢管桩数量/根	桩顶高程/m	桩底高程/m
812.8	16	162	3.91	-55.0

注: CD 为当地高程体系。

2.3 环境数据

越南某 EPC 项目海域潮汐数据见表 2。设计温度采取 25 ℃。

表 2 越南某 EPC 项目海域潮汐数据

潮位	极端高水位 (HHWL)	高水位 (HWL)	平均海平面 (MSL)	低水位 (LWL)	极端低水位 (LLWL)
高程/m	+4.43	+3.97	+2.67	+0.58	-0.47

3 钢管桩防腐设计

根据技术规范要求, 钢管桩防腐体系设计为: 浪溅区采取混凝土内衬保护, 全浸区和海泥区采取增加钢管桩壁厚 (不采取涂层 + 牺牲阳极保护方案), 钢管桩防腐体系见图 2。

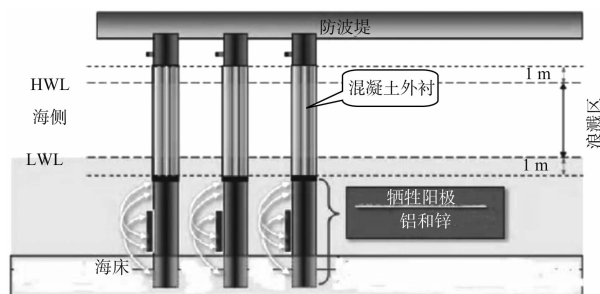


图 2 钢管桩防腐体系

3.1 钢管桩使用寿命

在各种环境中的钢管桩的腐蚀速度^[3]见表 3。

表 3 腐蚀速度参数

腐蚀环境	腐蚀速度-平均/(mm·a ⁻¹)	腐蚀速度-上限/(mm·a ⁻¹)
大气区	0.04	0.1
飞溅区	0.08	0.17
潮差区	0.04	0.10
潮间带区	0.08	0.17
全浸区	0.04	0.13
海泥区		0.015

根据相关文章分析的海水中平均腐蚀速度^[4], 海水中前期腐蚀速率大于后期。

因此采取混凝土外衬保护钢管桩的飞溅区、潮差区和潮间带区, 钢管桩的腐蚀速度只考虑全浸区和海泥区。

3.2 钢管桩壁厚设计

钢管桩设计在浪溅区和潮差区采取混凝土外衬隔离, 全浸区采取壁厚预留腐蚀量。

考虑防腐厚度的 50 a 平均损失量，每年平均腐蚀速度为 0.04 mm/a，经计算平均损失量为 2 mm。钢管桩壁厚实际设计考虑 6 mm 的防腐预留量。

经计算钢管桩结构设计厚度为 10 mm，因此壁厚 16 mm 的钢管桩满足本项目的设计要求。设计参数见表 4。

表 4 设计参数

设计参数	选取值或条件
设计使用寿命	50 a (钢管桩)
钢管桩预留腐蚀量	6 mm
表面状态	涂层由混凝土外衬底 (LLWL) 至桩底，全部涂覆。
涂层类型	防腐涂料，厚度大于 200 μm (单层，施工期保护)
涂层破损率	海水区 2%，泥土区 50%
环境类型	混凝土桩顶 ~ LLWL (约 4.4 m)，海水区泥面 ~ LLWL (约 10 m)，海泥区 (44 m)
海水电阻	0.3 Ω·m

3.3 混凝土外衬设计

混凝土外衬为预制安装结构，结构简单便于施工。安装施工在钢管桩施打之后，不易损坏结构。

钢管桩混凝土外衬设计参数见表 5。长度为 4.5 m，壁厚 105 mm，外径为 1 120 mm，内径为 910 mm，安装间隙最小为 49 mm。安装底高程为

-0.5 m，安装顶高程为 +3.8 m，结构与桩帽相连。

表 5 钢管桩混凝土外衬设计参数

项目	参数	说明
长度	4.5 m	设计最高潮 +1 m； 设计最低潮 -1 m
壁厚	105 mm	内壁设置 6 道 10 mm × 50 mm 凹槽
外径/内径	1 120 mm/910 mm	间隙 49 mm
混凝土等级	C42	高性能混凝土
钢筋	主筋 12. D10, 箍筋 D10@100	
缝隙填充料	设计强度为 42 N/mm ²	Sika Grout 212-11

主筋为直径 10 钢筋，共 12 根，箍筋为直径 10 间距 100 mm 的环筋。上部预留钢筋锚入桩帽内 50 cm，钢管桩混凝土外衬的结构如图 4 所示。

混凝土根据规范要求采取高性能混凝土。其设计要求见表 6。外保护层按规范要求设计，外净保护层为 65 mm。

考虑偏差影响，内部设置 6 道凹槽，凹槽尺寸为 5 cm × 2 cm。缝隙填充采取现场即用无收缩不含铁的灌浆料填密实。该材料选择 Sika grout 212-11，流动性极佳，良好的空间稳定性，可控制膨胀，无氯，无锈蚀、泌水或其它有害金属，无毒、无腐蚀性，即用型，使用方便，造价经济。技术参数见表 7。

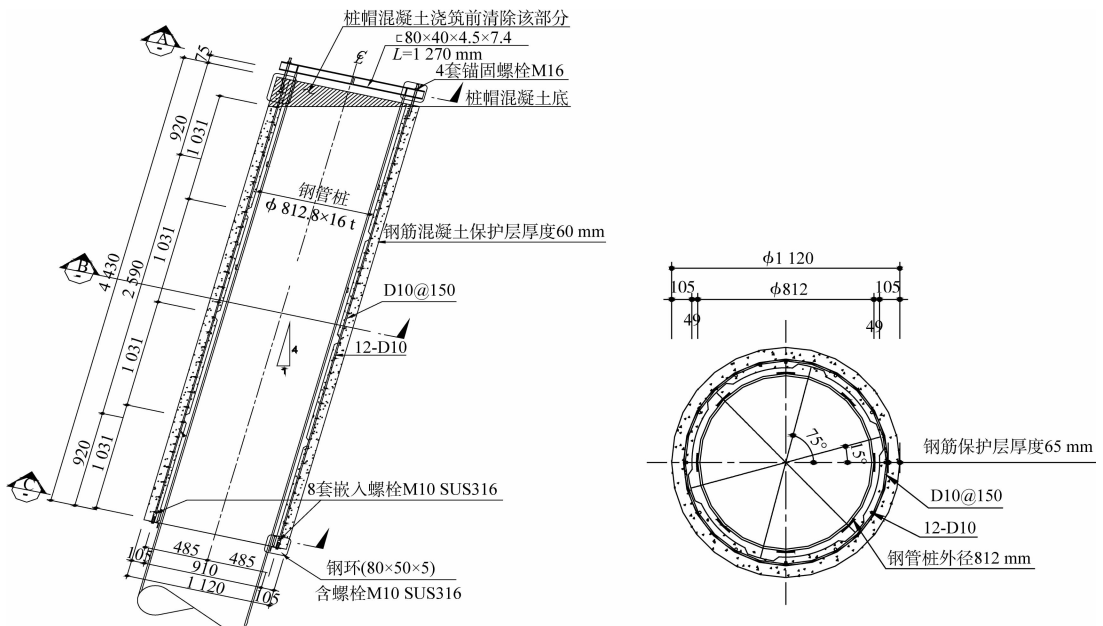


图 4 混凝土外衬设计图

表 6 高性能混凝土参数

项目	要求	参数或说明
混凝土说明	海水暴露区混凝土	高性能混凝土
混凝土等级	28 d 强度	C42
水泥	普通硅酸盐水泥	最少用量 400 kg/m ³
外掺料	粉煤灰	30%
外加剂	硅粉	5% ~ 7%
水灰比		≤ 0.37
氯离子抗渗	试验检测	≤ 1 000 C

表 7 Sika Grout 212-11 参数

项目	产品参数	说明
用途	缝隙最小宽度为 10 mm	
堆积密度	1.50 kg/L	
用量	1 m ³ 浆料需要 77 × 25 kg 袋装和 260 L 水	25 kg/4.2 L
初凝时间	≥ 5 h	ASTM C403-90
终凝时间	≤ 12 h	ASTM C403-90
1 d 强度	≥ 25 N/mm ²	ASTM C942-86
3 d 强度	≥ 41 N/mm ²	ASTM C942-86
7 d 强度	≥ 52 N/mm ²	ASTM C942-86
28 d 强度	≥ 60 N/mm ²	ASTM C942-86

表 8 混凝土外衬与其他防腐方案的技术经济分析

项目	设计要求及效果	保护部位	结构要求	材料来源	施工要求	检验要求及状况
涂层 + 阴极保护组合	50 a 满足, 但阳极块需要更换, 次数需要计算	整根桩	按设计规范要求	专门订购	潜水作业, 水上作业, 作业复杂	涂层结构在施工时易损, 水下检验复杂
涂层 + 桩内填充混凝土	50 a 满足, 涂层需要检查和修补	大部分桩	按设计规范要求增加桩内填充混凝土	专门订购 + 现场获得	水上作业, 作业简单	涂层结构在施工时易损, 水下检验复杂
混凝土外衬	50 a 满足	局部 (仅浪溅区)	按设计规范要求增加钢管桩预留腐蚀厚度	现场获得	水上作业, 作业简单	检验流程简单, 方便

4.2 安装施工

混凝土外衬安装主要考虑钢管桩高程偏差等因素。测量控制混凝土外衬的底部高程, 低潮水位潜水安装定位止水环。定位止水环同时可控制底部的安装间隙。安装完成后检查高程、缝隙间隙和底部缝隙密封状况。

4.3 注浆施工

注浆前, 安放 6 根直径 20 mm 的 PVC 注浆管。注浆管伸入缝隙管底 2 cm。并将所有注浆管连通接入注浆泵。缝隙上端采取 sika 731 密封。预留 2 根直径 20 mm 的 PVC 观测管。向缝隙内注入淡水, 检验是否将缝隙的密封状况。

3.4 技术经济性分析

混凝土外衬防腐方案与通用的防腐方案: 涂层 (2 层环氧粉末涂层) + 阴极保护组合方案和涂层 (3 层环氧粉末涂层) + 桩内填充混凝土方案进行比较, 具有技术简单、施工方便、耐久性好、造价低等优点, 见表 8。

通过对 3 种方案的条件、设计及结构要求、材料来源、施工流程和检验要求等分析, 以越南某 EPC 项目为例, 混凝土外衬方案最为经济。

4 施工技术要点

4.1 预制施工

混凝土预制施工前进行试拌, 并按规范要求进行取样和检测检测要求见表 6。该结构为薄壁结构, 预制施工可采取工厂离心法或现场竖向浇注法。管节质量控制严格按规范要求实施, 模板具有足够的刚度。预制构件内壁设置凹槽及内壁毛面处理。构件预制、转运和堆放时注意起吊操作流程, 避免管壁出现裂纹和破损。

将材料按产品参数要求在拌浆桶进行拌制, 由注浆泵注入缝隙。注入时逐个开启注浆管, 依据液体比重分层原理, 替换并排除缝隙中的水。待观测管流出的液体为新鲜的浆液, 再继续维持注入 3 min 后, 结束施工。注浆终止时关闭观测管和注浆管的阀门, 维持缝隙内的压力。确保缝隙内的浆液在凝固前不流出管壁。

4.4 检验与试验

施工前在一根钢护筒上同水深等条件和同工艺流程进行首件试验施工, 施工完成后吊起钢护筒, 切开混凝土外衬检查注浆密实情况。混凝土外衬预制时进行原材料及混凝土取样和检测。原

材料按规范要求的项目进行检测，混凝土 28 d 强度不低于 42 N/mm² 和氯离子抗渗检测不超过 1 000 C。注浆材料按产品要求（表 7）进行检验，施工时取样检测 28 d 强度，达到 42 N/mm² 符合设计要求。（因浆液不接触海水，不进行氯离子抗渗检测）。

4.5 后序工作

待浆液达到设计强度后，进行上部结构施工。后续施工的支撑设在相邻的 PHC 桩上，禁止架设在混凝土外衬上。

5 结语

钢管桩防腐设计中的运用有很多途径，对比和实践证明该方案具有结构耐久性、材料经济性和可操作性。

混凝土外衬一次安装就达到结构的设计寿命要求，通常牺牲阳极保护需要在结构的设计寿命中更换阳极块确保保护功能。因此该结构设计简单，思路清晰。该材料是工程施工最易获得的普

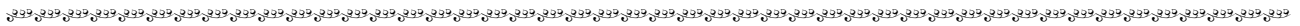
通材料，混凝土材料成本最经济。生产过程不复杂，实施检验标准化。混凝土外衬安装技术经策划与实施，克服了偏差控制，底部缝隙封闭，注浆工艺和缝隙填充密实检验等技术难题。经实践证明，该方案满足设计和规范要求。

该结构只能保护钢管桩浪溅区的部分，在全浸区采取此方案还具有一些技术难度。但钢管桩防腐体系可通过技术创新克服这些难题，将具有更大的经济效益，值得进一步研究。

参考文献：

- [1] JIS 153-3—2007 海港工程钢结构防腐技术规范 [S].
- [2] 李森林, 范卫国, 蔡旭东. 对上海石化原油码头腐蚀状况的调查[J]. 水运工程, 2004(4): 48-51.
- [3] 邹颀. 东海大桥钢管桩耐久性研究[D]. 南京: 河海大学, 2006: 3-5.
- [4] 吴军强, 钱菲菲, 王鹏, 等. 钢管桩桩耐久性研究的发展与应用[J]. 宁波工程学院学报, 2010, 22(3): 66-71.

（本文编辑 郭雪珍）



· 消 息 ·

振华重工参建的全球最大海工船顺利首航

近日，振华重工参建的全球最大海工船“Pieter Schelte”号顺利抵达欧洲海域，成功首航。该船是目前全球最大的石油钻井平台安装、拆除以及铺管工程船，长 382 m，宽 124 m，船体之间间距 59 m，起吊能力约为 4.8 万 t，可一次吊起近 7 个埃菲尔铁塔；同时，该船还配备铺设管道的大型设施，2.8 万 t 的起吊铺管能力使其成为世界最大铺管船。

振华重工承建了 2.8 万 t 铺管船的起吊部分，包括 5 台船用行车、2 台船用龙门吊和 4 台船用克令吊。项目于 2011 年开建，于 2013 年上半年完成发运，振华重工派出专业安装队伍，配合船东进行安装和调试。在该项目中，振华重工设计建造的行车首次进入海工领域，其提供的行车与龙门吊将参与管路的运输环节，起吊质量为 100 t，远超国内船用维修用行车 10 t 的起吊能力。

（摘编自《中国交通建设网》）