

跨海大桥桥墩基础耐久性设计与施工技术

杨 雁¹, 杨 辉²

(1. 广西投资集团有限公司, 广西 南宁 530028; 2. 中交第一公路局第四工程有限公司, 广西 南宁 530031)

摘 要: 桩基结构耐久性是影响跨海大桥运营安全和使用寿命的决定性因素, 通过分析影响跨海大桥桩基耐久性的主要因素, 结合东海大桥工程海域水动力及地质环境特征, 针对钢管桩、PHC 管桩、钻孔桩的工程特点, 提出采用高耐久性混凝土、增加保护层厚度、牺牲阳极的阴极保护等系列有效的工程措施。结果表明: 该措施满足跨海大桥混凝土耐久性设计使用年限要求。

关键词: 跨海大桥; 桩基础; 耐久性; 防腐蚀

中图分类号: U443.22 **文献标志码:** B

Durability Design and Construction Technology of Pier Foundation of Bay Bridge

YANG Yan¹, YANG Hui²

(1. Guangxi Investment Group Co., Ltd., Nanning 530028, Guangxi, China; 2. The Fourth Engineering Co., Ltd. of CCCC First Highway Engineering Co., Ltd., Nanning 530031, Guangxi, China)

Abstract: Considering the durability of the pile foundation is crucial to the operation safety and service life of the bay bridge, factors that affect the durability were analyzed. Combined with the hydrodynamic and geological characteristics of the Donghai Bridge, as well as the features of steel pipe piles, PHC pipe piles and bored piles, a series of measures were proposed, including using highly durable concrete, increasing the thickness of the protective layer and sacrificing the cathodic protection of the anode. The results show that the measures guarantee the durability of concrete meets the requirements for service life.

Key words: bay bridge; pile foundation; durability; corrosion resistance

0 引 言

跨海大桥横跨海峡、海湾, 跨度可以达到几十公里, 对设计与施工技术要求较高。由于跨海大桥易受海域风、浪、流等自然条件的影响, 给海上桩基施工带来较大的困难, 施工质量难以保证^[1-2]。而桥梁的使用寿命主要取决于管桩的寿命, 桥墩基础使用年限主要取决于桩基的抗腐蚀性能。本文基于保障桥梁安全使用年限的需要, 以东海大桥项目为例分析桥墩桩基耐久性设计与施工方案, 以期对日后类似工程提供有效借鉴。

1 桥墩基础耐久性影响因素

1.1 地质因素

东海大桥是中国的第一座超长型跨海桥梁, 大

桥长度为 32.7 km, 桥梁基础结构复杂, 有 1 个主通航和 3 个辅通航, 主墩采用 2.5 m 大直径灌注桩基, 桩基长度约为 110 m。东海大桥近海桥区段水深处于 -10~-30 m, 沿着桥轴线水深呈现减小趋势, 桥轴线与岸壁垂直, 岩层具有较大的倾斜面, 地形条件复杂。桩基附近水域中, 淤泥质粉质粘土和淤泥质粘土呈现流塑-软塑状, 中间夹杂着粉砂、沙性土以及云母有机质和碎贝壳, 含水率约为 40%, 岩层表层 10~30 cm 中有风化花岗岩、微风化花岗岩, 地质条件较为复杂。

1.2 耐久性主要影响因素

东海大桥位于亚热带地区, 对钢筋混凝土腐蚀的影响因素主要来源于海水中丰富的氯离子和大气中的 CO₂, 使得混凝土中性化, 其中氯离子侵蚀是影响桩基耐久性的关键性因素; 桥墩基础耐久性设计

过程中主要是防止海水中的氯离子在混凝土附近聚集,对钢筋结构产生化学腐蚀^[3-4]。

2 桥墩基础设计与施工方法研究

2.1 桥墩基础结构形式

跨海大桥桥墩基础类型主要包括桩基础、沉井基础、承台基础、组合基础,其中桩基础是跨海大桥建设过程中广泛采用的结构形式,一般分为单桩和群桩。桩基础是桩与承台联合起来共同支撑上部桥墩的基础,施工过程中采用打入式和钻孔灌注形式。跨海大桥施工过程中可以充分利用桩基施工设备简单、易于操作的技术特点,同时可有效将桥梁基础的应力传递到地基土层,适应复杂的海洋地质环境^[5-6]。

根据桩基材料不同,分为混凝土桩、钢桩和复合桩。桩的类型和长度由土质条件确定,桩基设计过程中需要考虑当地土质条件、荷载大小和施工的工作环境。桩基一般适用于地质上层土壤强度较小,土层条件能够满足桥梁承受较大的上部压力,尤其适用于水动力比较复杂,冲刷深度较大的海域条件。但是桩基的尺寸应随桩基附近海域局部冲刷深度的增加而增加,也会增加工程建设投资,并且需要重点考虑桥梁的运营安全。同时,桥梁基础施工过程中需要根据工程地质条件,设定合理的最大冲刷设计高程,一旦超过设计冲刷线,应对桥墩进行冲刷防护。

2.2 桩基耐久性设计及施工方法研究

根据规范要求,跨海大桥设计寿命一般为100年以上,设计与施工过程中需要考虑桥梁基础的安全、耐久性问题,针对钢管桩、PHC管桩、钻孔桩的施工特点^[7-8],东海大桥桥墩基础采用高耐久性混凝土、增加保护层厚度、牺牲阳极的阴极保护等一系列有效的工程措施,东海大桥桥墩基础部位耐久性设计见表1。

表1 东海大桥桥墩基础耐久性设计

桥墩基础部位	保护厚度/cm	混凝土强度等级	混凝土类型	辅助的设备
桩基	7	C30	掺和料混凝土	配有不拆除的钢套筒
承台	9	C40	高性能混凝土	防腐蚀涂层
墩桩	7	C40	高性能混凝土	防腐蚀涂层
塔柱	7	C50	高性能混凝土	防腐蚀涂层

2.2.1 钢管桩耐久性设计及施工方法

根据《海港工程混凝土结构防腐技术规范》

(JTJ 275—2000),东海大桥混凝土耐久性设计过程中需要考虑混凝土的水灰比例,控制混凝土的密实特性,采用优质的混凝土,配以尺寸为2 cm左右的骨料,形成高密实、高耐久性海洋工程混凝土材料,有效改进钢筋层的材料特性^[9-10]。在工程造价允许的情况下,钢筋保护层厚度保持在0.15~0.3 mm,可以考虑使用不锈钢钢筋,腐蚀富余量约为5 cm。

由于铝合金材料具有重量轻、电化当量大等优点,水下钢管桩防护采取牺牲阳极的阴极保护策略,这种方法在海洋工程中得到了广泛的应用。东海大桥需要非标准型的高效铝合金阳极约16 000根,其中单根钢管桩牺牲阳极需要3~5支铝合金,根据海域泥面标高和海域平均低潮位综合确定安装位置,钢管桩基结构如图1所示。牺牲阳极保护工程措施按照《水下局部排水二氧化碳保护半自动焊作业规程》(JT/T 3 71—1997)的相关要求对施工质量进行有效控制。护筒管桩施工步骤如图2所示。

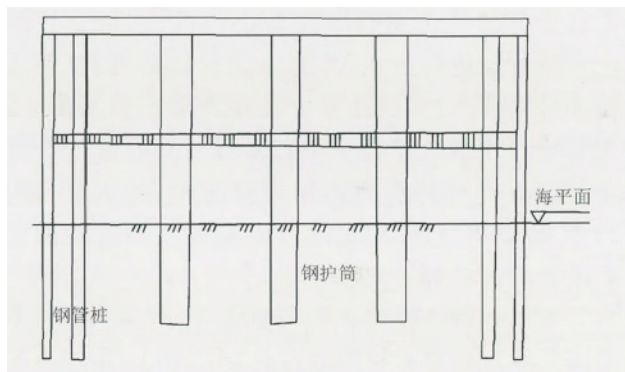


图1 钢管桩基结构

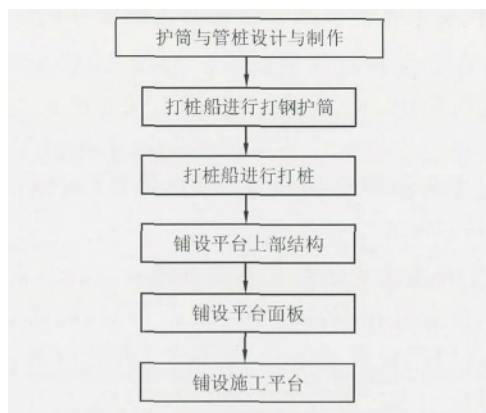


图2 护筒管桩施工步骤

2.2.2 PHC管桩耐久性设计及施工方法

东海大桥的桩基在浅海区段的海域水动力和地质条件下,采用了大直径的PHC管桩,共计使用378根。为了满足设计要求,大桥建设过程中开发

了新型的 BC 型过渡性管桩和 C 型管桩,桩身外包覆纤维增强复合材料并增加混凝土保护层厚度,综合性防腐方案进行施工。PHC 管桩桩身采用高性能混凝土,内含有细矿渣粉、硅粉等材料,可以减少氯离子的渗透电量,控制氯离子的扩散系数。

东海大桥 PHC 混凝土管桩纤维复合层的包覆范围确定为桩顶以下 1~17 m,厚度为 0.25 cm。自里到外所使用的材料为 CSM、CWR、CSM、CWR、SM,其中 CSM 为针织短切毡,CWR 为 200 型的纤维布,SM 为纤维的增强表面毡组织。PHC 管桩打入直径为 120 cm,保护层厚度达到 7 cm,延长氯离子的侵入路径,拉长钢筋结构达到腐蚀氯离子浓度的时间,延长钢筋的抗腐蚀能力,有效提高了 PHC 管桩的耐久性。

2.2.3 钻孔桩耐久性设计及施工方法

东海大桥工程为软土地基,海域地质条件较为复杂,需要借助钻孔桩解决桥梁荷载问题。钻孔桩需要借助大型机械设备进行打桩,配合预制的桥梁基础进行施工,主要采用回转钻进、气举反循环等钻孔方法,利用水上的搅拌船搅拌混凝土,用泵或导管输送混凝土进行灌注。钻孔灌注桩是依靠混凝土自身重力作用进行压密,密实性相对较差,因此灌注桩施工过程中需要增加桩基的密实度及防腐性能。

东海大桥钢筋保护层厚度处于 7~8 cm,桩基上部采用含有掺和材料的高性能混凝土,提高管桩桩基的密实性。主墩的护筒采用 300 t 浮吊进行分段插打,为了使护筒的定位和垂直度满足精度要求,需要在平台架构上安装护筒导向设备,要求护筒中心线与桩位中心线保持一致,误差控制在 5 cm 范围内。在水下墩桩钻孔施工中采用淡水拌制泥浆,用淡水泥浆将海浆置换出来,循环操作,确保清孔泥浆、沉渣等满足施工要求。

2.2.4 施工承台设计及施工方法

大桥承台和桥墩采用了工厂预制、现场安装的形式,能够加快施工进度,减小水上作业时间。平台施工过程中选用导管架围堰。由于浮运平台具有体积较小、施工速度快、平台不用拆除的特点,选择浮运平台作为东海大桥的辅通航跨的施工平台。

3 结 语

(1)钢管桩耐久性设计及施工方法过程中需要考虑混凝土的水灰比例,控制混凝土的密实度。采用优质的混凝土,配以粒径为 2 cm 左右的骨料;钢筋涂层厚度保持在 0.15~0.3 mm。水下钢管桩防护采取牺牲阳极的阴极保护方法,安装泥面应根据海域泥面标高和平均低潮位综合确定。

(2)东海大桥 PHC 管桩耐久性设计及施工过程中,桩身采用高耐久性混凝土外包覆纤维增强复合材料,并增加混凝土保护层厚度,进行综合性防腐方案施工。东海大桥 PHC 管桩混凝土纤维复合包覆层的范围确定为桩顶以下 1~17 m,厚度为 0.25 cm。

(3)钻孔桩耐久性设计及施工过程中,利用水上搅拌船搅拌混凝土,借助泵或导管输送混凝土进行灌注。灌注桩需要增加桩基的防腐性能;插打过程要求护筒中心线与桩位中心线保持一致;施工中采用淡水拌制泥浆,清孔需要用淡水泥浆将海浆置换出来。

参考文献:

- [1] 陆本燕,刘柏权,刘 鸣,等.钢筋混凝土桥墩性能指标量化研究[J].中国公路学报,2010,23(6):49-57.
- [2] 唐茂林,沈锐利,强士中.大跨度悬索桥非线性静动力分析与软件开发[J].桥梁建设,2000(1):9-12
- [3] 皇甫熹,刘小方.东海大桥打入桩基础耐久性研究与应用[J].世界桥梁,2004(S1):17-20.
- [4] 蒋永生,陶 路,彭旭民,等.坝陵河大桥钢桁梁架设施工控制[J].世界桥梁,2010(4):24-27.
- [5] 孙胜江.悬索桥钢箱梁吊装施工监控研究[D].西安:长安大学,2001.
- [6] 潘永仁,范立础.大跨度悬索桥加劲梁架设过程的倒拆分析方法[J].同济大学学报:自然科学版,2001,29(5):510-514.
- [7] 韩海骞.潮流作用下桥墩局部冲刷研究[D].杭州:浙江大学,2006.
- [8] 杨志方,过震文.东海大桥大直径钢管桩的选择和应用[J].世界桥梁,2004(S1):21-24.
- [9] 杨 帆,王 耀,任 健,等.跨海大桥钻孔灌注桩施工技术[J].筑路机械与施工机械化,2011,28(5):78-81.
- [10] 王占飞,包龙生,隋伟宁,等.外置钢管补强圆形钢桥墩非线性有限元分析[J].筑路机械与施工机械化,2008,25(12):76-79.

[责任编辑:高 甜]