

跨海大桥混凝土结构耐久性设计措施分析

阙磊, 李健 (苏交科集团股份有限公司 江苏 南京 210019)

摘要: 跨海大桥所处的环境及运营条件复杂而且恶劣, 在海洋环境下受各种因素的影响容易过早被破坏, 对跨海大桥的耐久性设计工作提出更高的要求。该文结合多个跨海大桥工程案例, 分析跨海大桥混凝土结构耐久性设计具体措施, 在此基础上结合现行规范指出混凝土构件耐久性设计对策, 以及有针对性的设计措施。

关键词: 桥梁工程; 耐久性; 跨海大桥; 措施; 分析

DOI:10.16673/j.cnki.jcfzdx.2019.0201

0 引言

随着经济不断的发展, 东部沿海地区高速公路建设已趋于完善, 为了进一步推进经济的高速增长, 降低物流行业的费用及时间成本, 更好的服务于社会, 满足人们群众的高质量出行的需求。沿海地区的跨海大桥、滨海环境的重要基础工程都迅速涌现。跨海大桥作为重要工程项目的控制性工程, 要求无修补安全使用期可达 100 年的全寿命周期要求, 但在海洋环境下混凝土因各种原因容易产生过早损坏, 导致混凝土结构的使用寿命远低于设计, 有必要加强跨海大桥混凝土结构耐久性的研究和设计, 尽可能延长跨海大桥的使用寿命。

1 跨海大桥海洋环境耐久性的要求

跨海大桥作为公路工程建设的关键节点, 不仅要桥梁结构荷载进行详细的设计分析, 还应考虑复杂环境作用下的桥梁耐久性设计, **重点是海洋环境下的混凝土结构耐久性设计**^[1]。由于跨海大桥所处的环境较为复杂, 甚至部分环境因素甚至可以造成混凝土结构致命性的破坏。在进行跨海大桥耐久性设计时, 应明确桥梁结构的设计年限、构造物设计要求、材料要求和其它保护性的耐久性设计措施等。在具体设计过程中, 有必要对影响桥梁结构耐久性的不同构件或同一构件中的不同部位开展有针对性的设计, 提出各部位混凝土结构基于不同耐久性要求的材料技术指标及外掺剂使用要求。

对于桥梁结构一般**有混凝土保护层要求、预**

应力结构的构件设计标准要求、裂缝宽度限值及其他构造措施, 宜对连接缝部位的混凝土采取附加防腐措施, 桥面铺装层与桥面结构之间, 应设置可靠的防水层, 同时增加薄壁混凝土构件的厚度和保护层厚度^[2]。一般对于处于 D 级及以上环境作用等级下的构件, 在改善混凝土自身的耐久性能, 采用有效的结构耐久性措施控制裂缝外, 还应采用表面涂层、钢筋阻锈剂、混凝土表面处理、透水模板布、电化学保护等防腐附加措施进一步提高混凝土结构的耐久性。

2 跨海大桥混凝土结构耐久性措施实例分析

港珠澳大桥建筑规模大、施工难度高, 而且桥梁结构所处环境恶劣, 要求工程设计寿命为 120 年, 对桥梁工程设计, 特别是耐久性设计提出很高的要求。在港珠澳大桥耐久性设计中, 首要考虑因素是海水环境氯离子腐蚀问题, 在通过对附近实体工程耐久性调查得到的大量数据建立基于可靠度理论的分析模型指导工程设计, 并综合分析多种外加防腐措施的技术、经济、结构风险等情况, 最终确定主体混凝土结构附加防腐蚀措施^[3]。此外, 重点对混凝土结构受力、材料提出了严格要求, 在室内开展大量的试验从耐久性、抗裂性、施工性等方面确定混凝土的配合比, 确保混凝土材料满足海洋环境的使用要求。港珠澳大桥承台和桥墩混凝土配合比见表 1。

杭州湾跨海大桥的设计使用年限为 100 年, 工程所处区域的海洋环境也极为恶劣, 氯离子含量较高。杭州湾跨海大桥耐久性设计除了采用海工耐久性混凝土外, 同时增加了混凝土保护层厚

表 1 港珠澳大桥承台和桥墩混凝土配合比

构件	强度	胶凝材料 kg/m ³	水胶比	配合比 kg/m ³			
				水泥	粉煤灰	矿粉	砂
承台	C45	400	0.35	40	25	35	39
桥墩	C50	440	0.32	45	20	35	40

度,还采用表面涂装、预应力筋保护、环氧钢筋、阻锈剂、外加电流阴极保护等附加措施^[4]。根据相关规范配置海工耐久性混凝土,针对不同部位、不同设计要求、不同防腐蚀环境,制定了不同配合比,杭州湾跨海大桥各工程部位在不同腐蚀环境的保护层厚度见表 2。

表 2 杭州湾跨海大桥各工程部位在不同腐蚀环境的保护层厚度

结构环境	保护层厚度 (m)	腐蚀环境
钻孔桩	0.75	水下区及海底土中区
承台	0.90	海上水位变动区
	0.75	陆上大气区
桥墩	0.60	浪溅区及大气区
箱梁	0.40	大气区

陈家贡大桥耐久性设计结合工程环境对混凝土结构采用不同的设计指标,同时还采取了保留施工钢护筒、涂层防腐、阻锈剂、采用渗透性模板布、部分位置采用环氧涂层钢筋等附加措施作为防护手段。普湾大桥防腐蚀的设计思路总体是采用海工耐久性混凝土为主要基本措施,同时采用表面涂装、硅烷浸渍等附加措施。旧镇大桥位是漳州沿海大通道重点控制性工程,采用耐久性混凝土,并控制普通钢筋混凝土构件裂缝宽度在浪溅区和水位变动区不大于 0.1mm,水下区不大于 0.2mm,其余区段不大于 0.15mm;各部位普通钢筋净保护层厚度取值均按相关规范执行。对混凝土结构采用耐久性混凝土,同时要求桥墩墩身采用混凝土表面涂装、掺加阻锈剂等附加措施。

3 混凝土构件耐久性设计对策

3.1 环境条件类别及作用等级

对于跨海大桥的设计要求应该是不少于 100 年的设计使用年限,特别重要的重点工程可适当

提高其设计使用年限的相关要求,对于近海及海洋环境下的劣化机理基本统一认为海水氯化物引起钢筋锈蚀破坏^[5]。

通过对比土木工程行业涉及混凝土结构耐久性设计的多个规范相关规定可知,对于环境作用级别各个规范中对于土中区的作用等级标准有些许差异,在《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T3310—2019)中提出盐雾影响区的设计要求,充分考虑空气中所含氯化物的扩散对混凝土结构的影响,同时通过增加离涨潮线的距离划分重度和轻度盐雾区。此外,温度的变化对混凝土耐久性设计也有较大影响,应结合全国气温分区图明确各地区根据温度划分的标准,便于工程设计时准确确定潮汐区及浪溅区的作用等级。

3.2 材料耐久性措施

对于跨海大桥混凝土结构耐久性措施中作为基材的混凝土质量和相关要求是至关重要的。跨海大桥混凝土设计包括水泥的选择、细集料级配的确定、粗集料的粒径和级配、骨料的抗压强度、拌合水的要求,还有对各个不同部位的混凝土强度、水胶比、最大最小胶凝材料掺入量以及其他掺入材料的相关要求,这些因素都会对整个混凝土结构的耐久性产生影响。对比各个规范,考虑各规范编写的时间和针对的方向各有侧重,各有不同。因此,在要求上也略有差异。对比参照以上规范的相关内容,对混凝土材料的要求进行归纳。

首先是明确桥涵结构各个结构部位的最低强度等级。对应不同环境作用等级和不同结构形式以及不同部位,给出最低混凝土强度等级。在给出最低强度等级后,对应强度等级的混凝土结构的最大水胶比、最大最小胶凝材料用量对混凝土质量起到至关重要的作用。有些规范只对最小胶凝材料用量做出了规定。但是考虑到混凝土强度的要求,因此应该对最大用量给出限值。

跨海大桥混凝土破坏的机理是氯离子侵蚀劣化造成,因此,对混凝土结构必须按环境作用等级对氯离子的渗透性能做出限值规定。跨海大桥的设计使用年限至少是 100 年,因此在给出该项限值时,对应的混凝土龄期应该有一定要求,参考相关规范后取 28d 龄期。

目前,跨海大桥混凝土设计中水泥材料、矿

物掺合料、集料和拌和水的各项指标要求已经较为明确,但由于化学外加剂种类繁多,在工程设计中应对外加剂的性能指标要求作出详细要求,并要求施工单位在工程施工前开展材料的配伍性试验,确保外加剂与混凝土材料的相容性符合要求。

3.3 结构耐久性措施

对于混凝土结构本身的耐久性措施,主要是构件本身的裂缝的控制,主要体现在混凝土保护层最小厚度以及裂缝允许值两个方面^[9]。保护层厚度是控制裂缝的最有效的措施。各个规范在保护层厚度上规定基本接近。对于裂缝允许值的控制却有所不同,有的规范考虑了有粘结的预应力混凝土构件,有的则没有考虑。对于考虑的跨海大桥这类桥梁,很多主梁都采用了预应力结构,有的部分盖梁也是预应力结构。因此必须要考虑有粘结的预应力混凝土构件。对于南方蒸发量较大的区域,在各个环境作用等级的保护层要求可按需要增大 5mm,特别是 D 级以上的环境作用等级应考虑增大保护层厚度,桥涵结构混凝土最小混凝土厚度见表 3。

表 3 桥涵结构混凝土最小混凝土厚度

环境作用等级	桥梁上部结构		桥梁下部结构	
	有粘结预应力混凝土	钢筋混凝土	有粘结预应力混凝土	钢筋混凝土
Ⅲ-C	按部分预应力 A 类构件控制	0.2	按部分预应力 A 类构件控制	0.15
Ⅲ-D	按全预应力构件控制	0.15	按全预应力构件控制	0.15
Ⅲ-E	按全预应力构件控制	0.15	按全预应力构件控制	0.1
Ⅲ-F	按全预应力构件控制	0.1	按全预应力构件控制	0.1

当构件有防水要求需要时,应严格控制裂缝宽度,钢筋配筋在混凝土构件每侧暴露面上的布设不宜低于 0.6%(HPB300 级)或 0.4%(HRB400 级)的配筋率,分布钢筋间距不宜大于 150mm。对于跨海大桥而言,普通钢筋应优先选用 HRB400 级钢筋,受力钢筋最小直径应不小于 12mm,若所处工作环境较为恶劣时,应增大钢筋直径,要求不小于 16mm。同时对于预应力钢束、钢丝及锚具也必须满足相应规范的构造防护措施的要求。以保证预应力结构的可靠性和耐久性。

4 结语

跨海大桥的耐久性设计应结合所处环境采用

有针对性的耐久性设计措施,达到性能和造价的平衡;跨海大桥耐久性应从桥梁结构的设计年限、构造物设计要求、材料要求和其它保护性的耐久性设计措施等角度开展设计;氯离子渗透是影响混凝土耐久性的关键因素,应从混凝土原材料质量、配合比设计、钢筋保护层厚度、保护性涂层等多方面综合控制,减少氯离子对混凝土结构的影响。

参考文献:

- [1] 刘志岳. 海陵岛大桥跨海段混凝土桥梁耐久性设计 [J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(03):224-227
- [2] 翁卫军. 跨海大桥耐久性设计及维护措施 [J]. 福建建材, 2012 (11):41-43.
- [3] 王胜年, 苏权科, 等. 港珠澳大桥混凝土结构耐久性设计原则与方法[J]. 土木工程学报, 2014, 47(06):1-8.
- [4] 陈涛. 杭州湾跨海大桥混凝土结构耐久性解决方案 [J]. 混凝土世界, 2019(8):48-56.
- [5] 谭克俊. 跨海桥梁混凝土结构耐久性设计[J]. 城市道桥与防洪, 2012(12):72-74.
- [6] 杨雁, 杨辉. 跨海大桥桥墩基础耐久性设计与施工技术[J]. 筑路机械与施工机械化, 2016(8):88-90.

收稿日期: 2019-09-23

作者简介: 阙磊(1982-), 男, 汉族, 江苏南京人, 本科, 工程师, 主要从事桥梁工程的设计工作。

(编辑: 高峰)



综合资讯

云南水泥建材集团举办“智慧昆钢”协作云平台操作培训

2019 年 10 月 12 日, 云南水泥建材集团举办“智慧昆钢”协作云平台操作培训。

“智慧昆钢”是昆钢和云南水泥推动管理数字化转型, 规避外部应用风险, 增强部门间协作和资源共享, 节约运行成本, 提升管理水平的协作云平台。这一平台将在 2019 年 11 月 1 日全面上线, 原来的昆钢协同办公系统将被其替代。

培训分为模块应用介绍、测试、实际操作等内容。昆钢信息中心的专家李晓永、苏焱、施梅花应邀作了讲解, 回答学员提出的问题。云南水泥各基地公司人力行政部经理及文书、总部各部室相关人员等参加了培训。

(王国祥)