

华南海港码头混凝土腐蚀情况的调查与结构耐久性分析

王胜年, 黄君哲, 张举连, 潘德强

(中港第四航务工程局科研所, 广东 广州 510231)

摘要:通过对华南地区 C 港和 Z 港共 20 个泊位进行腐蚀破坏情况的调查, 对 80 年代是否按《海港钢筋混凝土防腐技术规定》兴建的各码头的腐蚀破坏特点和原因进行了分析, 并对混凝土结构进行了耐久性评估。

关键词:海港码头; 调查; 腐蚀; 耐久性

中图分类号: 652.7 1

文献标识码: B

文章编号: 1002-4972(2000)06-0008-05

An Investigation on Concrete Corrosion of Seaport Wharf in South China and Analysis of Structures' Durability

WANG Sheng-nian, HUANG Jun-zhe, ZHANG Ju-lian, PAN De-qiang

(Scientific Research Institute of the Fourth Harbour Engineering Bureau, Guangzhou 510231, China)

Abstract: Based on the investigation of concrete corrosion at more than 20 berths of Port C and Port Z at South China Region, it carried out an analysis to the characteristics and reasons of corrosive damage of wharves constructed in the 1980's according to and not according to the "Stipulations on Concrete Anti-corrosive Technique in Seaport", and evaluated the durability of concrete structure.

Key words: seaport wharf; investigation; corrosion; durability

在海洋环境中由于氯离子的侵蚀而导致混凝土的腐蚀破坏是海工建筑物最普遍和最严重的损坏形式, 严重地影响了建筑物的安全使用寿命, 引起了国际上的高度重视。80 年代, 交通部各科研单位对华南、华东及连云港以北等码头进行了广泛调查, 结果表明: 因氯离子侵蚀而造成的港工建筑物破坏几乎遍及沿海岸线各地区, 且破坏情况都十分严重和迅速, 因此, 交通部有关部门予以高度重视, 并组织有关单位就如何提高海工混凝土的耐久性开展了系统研究。根据调查分析和研究结果, 于 1986 年制订了《海港钢筋混凝土结构防腐技术规定》和《海港预应力钢筋混凝土结构防腐技术规定》。毋庸置疑, 规范的实

施, 对提高海工混凝土耐久性起了重要作用, 但随着海港工程建设事业的发展, 大跨度跨海大桥, 深水及离岸工程越来越多, 对混凝土耐久性要求越来越高, 为使海港工程混凝土结构具有必要和良好的防腐性能, 交通部要求第四航务工程局科研所负责编制《海港工程混凝土结构防腐技术规定》, 因此, 有必要对近 10 年来建成的码头进行一次系统的调查, 为进一步完善规范中的技术内容提供依据。

1 调查方法简介

除调查港区的水文、气象、水质、气温等自然条件和码头混凝土原材料、配合比、保护层及布

收稿日期: 1999-03-18

作者简介: 王胜年(1963-), 男, 安徽涂县人, 硕士, 中港第四航务工程局科研所高级工程师, 从事建筑材料专业。

万方数据

筋情况等技术参数以外,以普通调查和典型调查相结合的方式进行现场调查。普通调查即采取目测、摄影、摄像、锤击等方式对码头作外观腐蚀情况调查,记录裂缝的长度、宽度、走向、位置、锈斑、锈迹、锈裂、混凝土剥落、露筋等情况;典型调查是在普通调查的基础上,于码头腐蚀严重区域构件钻取粉样,实验室分析氯离子的分布情况,测定混凝土的碳化深度及混凝土的保护层厚度。通过对普通调查和典型调查数据的整理和统计分析,综合评定混凝土的腐蚀情况,并对混凝土的耐久性和耐用年限作出预测。

2 调查结果与分析

2.1 码头腐蚀情况

腐蚀损坏程度按下述等级进行描述:

I级:严重破坏,保护层普遍剥落,钢筋外露或大量严重的顺筋裂缝(占构件布筋方向长度的80%以上,裂缝宽度大于3mm)。

II级:一般破坏,构件较普遍出现顺筋裂缝,(占构件布筋方向长度的30%~80%,裂缝宽度为1~3mm)。

III级:构件小面积有锈斑、锈迹,出现较短顺筋裂缝,裂缝宽度为0.3~1.0mm。

IV级:构件只有少量锈斑、锈迹,出现很短很细的顺筋裂缝,裂缝宽度小于0.3mm。

本次先后对华南地区的C港和Z港的20个泊位进行调查,这些码头大多建于80年代,其中有的是按照1986年制订的《海港钢筋混凝土结构防腐蚀技术规定》(简称“规定”)设计、施工的,各泊位的锈蚀破坏情况见表1。

从表1可见,未按“规定”设计、施工的C港#1、#2油码头和Z港的所有泊位,使用虽只有短短的12a和14a,但已发生严重的锈蚀损坏,码头的纵横梁普遍发生了宽度大于3mm的锈蚀裂缝,尤以Z港的几个泊位最为严重,纵、横梁发生I级腐蚀损坏的百分率高达80%以上,相比之下,按此“规定”设计、施工的C港的其他几个泊位腐蚀程度较轻,未发现I级腐蚀损坏,只有II、III、IV级腐蚀损坏,从而证实了《海港钢筋混凝土结构防腐蚀技术规定》对提高港口码头钢筋混凝土的耐久性

万方数据

起到了重要作用。

调查中发现码头面板的上部结构和桩帽以下部位基本完好,锈蚀主要发生在纵梁和横梁上(个别泊位桩帽的混凝土保护层过薄,也发生了锈蚀裂缝),从而再次证明码头锈蚀的严重部位发生在浪溅区构件上的这一锈蚀特点。从表1还可见,虽然腐蚀部位发生在浪溅区上,但更集中的是发生在设计高水位±0.50m范围内,如Z港的各个泊位,处于设计高水位附近后承台横梁和前承台纵梁腐蚀情况比高程更低的前承台横梁和高程更高的后承台纵梁严重得多。这是由于设计高水位附近潮水的作用,干湿频繁交替,氯盐容易积聚,且通氧条件好,湿度又适当,更有利于腐蚀的发生。

表1还表明,虽然按“规定”设计、施工的码头腐蚀程度较轻,但毕竟不同程度地发生II、III、IV级腐蚀,甚至龄期只有5a的#9泊位,也出现了IV级裂缝,这些裂缝的产生,无疑为氯离子的渗透提供了便利之道,从而加速了腐蚀的发生,使码头的腐蚀损坏速度加快。

2.2 氯离子的分布和扩散情况

普查结果表明,腐蚀发生的部位主要在浪溅区的纵、横梁上,所以分析氯离子的分布扩散情况以纵梁和横梁为对象,对混凝土进行不同深度的钻粉取样,氯离子在混凝土中的扩散符合费克第二定律即:

$$C(x, t) = C_0 - (C_0 - C_i) \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad (1)$$

式中:

$C(x, t)$ ——龄期 t 时,距表面深度 x 处氯离子含量的实测值;

C_0 ——混凝土表面氯离子含量计算值;

C_i ——混凝土内原始氯离子含量的实测值;

erf ——误差函数符号;

D ——氯离子的扩散系数。

测定各层深度粉样的氯离子含量,并按式(1)进行数据处理,计算结果见表2。

由表2可见,按“规定”设计、施工的码头,混凝土内氯离子的含量远小于未按此“规定”设计、施工的码头。氯离子的扩散系数与潮汐、海水中的 Cl^- 浓度、环境的温度、湿度及构件所处的高程等外部因素有密切关系,当这些外在因素相同时,又

表 1 码头腐蚀破坏情况

码头名称		使用年限 (a)	是否依据 “规定”	构件名称	构件高程 (m)	构件数量 (个)	腐蚀情况(损坏数量/损坏百分数)			
							I级	II级	III级	IV级
C	#1, #2 油码头	12	否	横梁靠船构件	106.5—107.8	28	7/25.0	10/35.7	7/25.0	3/10.7
	A, B, C, D 泊位	13	是	横梁	105.4—107.5	64	0	0	24/37.5	32/50.0
	E, F, G 泊位	11	是	框架横梁	106.0—106.9	21	0	2/9.5	8/38.1	2/9.5
	#4 泊位	11	是	框架横梁	105.5—106.3	14	0	3/21.4	7/50.0	2/14.3
				后纵梁	105.2—106.3	14	0	5/35.7	25/11.8	30/14.2
	#5, #6 泊位	9	是	框架横梁	105.8—106.9	212	0	5/2.4	25/11.8	30/14.2
				后纵梁	105.7—106.9	120	0	11/9.2	25/20.8	10/8.3
Z	废钢泊位	14	否	前横梁	3.8—4.8	35	2/5.7	7/20	22/62.9	14/40
				后横梁	4.3—5.5	48	24/50.0	38/79.2	30/62.5	10/20.8
				前纵梁	4.8—6.0	226	143/63.3	123/54.4	46/20.3	8/3.5
				后纵梁	5.45—6.25	480	62/12.9	68/14.2	25/5.2	6/1.3
	北件杂泊位	14	否	前横梁	3.8—4.8	54	7/13.0	23/42.6	43/79.6	30/55.6
				后横梁	4.27—5.12	52	18/34.6	34/65.4	41/78.8	26/50.0
				前纵梁	4.8—6.0	318	125/39.3	136/42.8	139/43.7	53/16.7
				后纵梁	5.12—6.22	510	135/26.5	200/39.2	169/5.5	41/8.0
	散粮泊位	14	否	前横梁	3.8—4.8	37	13/35.1	21/56.8	36/97.3	8/21.6
				后横梁	4.27—5.12	37	32/86.5	29/78.4	37/100	11/29.7
				前纵梁	4.8—6.0	222	111/50.0	106/47.7	119/53.6	13/5.9
				后纵梁	5.12—6.22	444	208/46.8	225/50.7	171/38.5	21/4.7
	南件杂泊位	14	否	前横梁	3.8—4.8	61	1/1.6	12/19.7	55/90.2	8/13.1
				后横梁	4.0—5.12	59	9/15.3	35/59.3	35/94.9	5/8.5
				前纵梁	4.8—6.0	372	178/47.8	211/56.7	196/52.7	11/3.0
				后纵梁	4.85—6.22	580	161/27.8	259/44.7	107/18.4	6/1.0

与混凝土本身如胶凝材料品种、水胶比、水泥用量等因素有直接关系。它的大小直接影响了混凝土的使用寿命。

2.3 码头混凝土结构的耐久性分析

根据目前对钢筋混凝土腐蚀破坏的描述，构件从浇筑成型到最终破坏需经历腐蚀起始期、腐蚀期和破坏期三个阶段，国内外一般把第一阶段腐蚀起始期即钢筋周围氯离子含量达到使钢筋致锈的临界含量 C_c 值的时间确定为混凝土的安全

使用寿命。

影响 C_c 值的因素很多，与钢筋性能、混凝土材料性能及配合比参数、构件所处的周围环境等有关，根据以前的调查资料，结合本次调查的情况取 C 港的 C_c 值为 0.10% (占混凝土重) Z 港的 C_c 值为 0.12%。

由式(1)取 $C_i = 0$ 则式(1)可换算为

$$\operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{D t}}=\frac{C_c\left(x, t\right)}{C_0} \quad(2)$$

在 2.2 节中已求出 C_0 和 D , 将 Cl^- 腐蚀临界值 C_c 值代入式 (2), 即可求出不同保护层厚度 x , 当钢筋周围 Cl^- 积聚到使钢筋锈蚀的临界值时的年限 t , 结果见表 3。

由表 3 可见, 按《海港钢筋混凝土结构防腐

蚀技术规定》设计、施工的 C 港 A 泊位、#4 泊位、#5 泊位的混凝土钢筋开始腐蚀的年限远比未按此规定设计施工的 C 港的 #2 油码头和 Z 港的各泊位长, 从而进一步说明, 此“规定”的制定, 对提高港工混凝土的耐久性来说, 效果是显著的。表 3

表 2 码头氯离子分布和扩散情况

码头名称		使用年 限(a)	构件名称	Cl ⁻ 含量(%)				Cl ⁻ 扩散系数 $D \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$
				0 - 20mm	20 - 40mm	40 - 60mm	60 - 80mm	
C 港	#2 油码头	12	横梁	0.209	0.155	0.095	-	4.22
	A 泊位	13	横梁	0.203	0.095	0.033	0.018	1.87
	#4 泊位	11	框架横梁、后纵梁	0.164	0.124	0.076	0.044	4.68
	#5 泊位	9	框架横梁	0.136	0.082	0.044	0.018	3.60
	#9 泊位	5	横梁	0.105	0.032	0.017	-	3.23
Z 港	散粮泊位	14	前承台横梁	0.286	0.192	0.176	0.042	3.58
			后承台横梁	0.343	0.295	0.269	0.242	30.4
			前承台纵梁	0.254	0.215	0.113	0.061	3.82
			后承台纵梁	0.202	0.146	0.104	0.068	5.36
	南件杂泊位	14	前承台横梁	0.245	0.122	0.059	0.023	2.26
			后承台横梁	0.375	0.319	0.295	0.129	6.95
			前承台纵梁	0.290	0.220	0.088	0.031	2.48
			后承台纵梁	0.243	0.142	0.070	0.005	1.90

表 3 各码头混凝土钢筋开始腐蚀年限估算

码头名称		使用年限 (a)	构件名称	水灰比 (W / C)	不同保护层厚度时钢筋开始锈蚀年限(a)					设计保护层 厚度(mm)	实测保护层度 平均值(mm)
					30mm	40mm	50mm	60mm	70mm		
C 港	#2 油码头	12	横梁	0.55	4.8	8.5	13.3	19.2	26.1	70	46
	A 泊位	13	横梁	0.40	11.9	21.1	33.1	47.6	64.8	70	60
	#4 泊位	11	框架横梁	0.45	7.0	12.4	19.4	28	38.1	50	56
	#5 泊位	9	框架横梁	0.45	16.5	29.3	45.8	66	89.8	50	44
Z 港	散粮泊位	14	前承台横梁	0.55	3.3	5.9	9.3	13.3	18.1	50	39
			后承台横梁	0.55	-	-	-	-	-	50	40
			前承台纵梁	0.55	3.8	6.7	10.5	15.1	20.6	50	36
			后承台纵梁	0.55	4.9	8.7	13.6	19.6	26.7	50	38
	南件杂泊位	14	前承台横梁	0.55	7.0	12.5	19.4	28.0	38.1	50	40
			后承台横梁	0.55	1.4	2.5	3.9	5.6	7.6	50	38
			前承台纵梁	0.55	4.4	7.9	12.2	17.6	24.0	50	34
			后承台纵梁	0.55	5.0	8.8	13.9	20.0	27.2	50	32

万方数据

的推算结果与码头的实际腐蚀破坏情况也基本相符,如由 Z 港的现场测定可知,混凝土的保护层厚度大都在 40mm 以下,远低于设计的 50mm,不少地方甚至低于 30mm,对照表 3 中不同的保护层所对应的钢筋腐蚀年限,当保护层厚度为 40mm 和 30mm 时,大部分纵、横钢筋的锈蚀年限均不足 10a 和 5a,这与港务局管理人员发现的在码头建成 5a、6a 后即发现有大量锈裂的现象正相吻合。

混凝土内钢筋锈蚀起始年限的影响因素较多,除环境影响因素外,与影响混凝土本身渗透性的因素如水灰比、掺合料、水泥用量等有关,与混凝土的保护层厚度更有直接的关系,这些因素在“规定”中都有具体规定,从各码头混凝土钢筋腐蚀的年限估算中可见,按“规定”设计、施工的码头达到 30a 的耐久寿命是可行的,但要实现这一耐久寿命,必须以保证施工质量,严格按“规定”的要求为前提。

3 结论

(1) 未按“规定”设计、施工的码头一般建成 5a 后即发生严重锈裂,10a 后处于浪溅区腐蚀严

重部位普遍发生大面积锈裂,混凝土严重破坏,按“规定”设计、施工的码头、腐蚀程度相对较轻,10a 后也出现了不少锈蚀裂缝,混凝土属一般破坏,1986 年制订的《海港钢筋混凝土结构防腐蚀技术规定》对提高混凝土的耐久性是有有效的,按此“规定”设计、施工的海港工程达到 30a 的使用寿命是可行的。

(2) 影响混凝土钢筋锈蚀的因素复杂,除与环境影响因素有关外,与混凝土的原材料品质、配合比参数,施工质量控制都有直接的关系。尽量减小氯离子的渗透性,加大保护层厚度并严格控制混凝土施工质量水平是提高海港钢筋混凝土耐久性的关键。

(3) 《海港钢筋混凝土结构防腐蚀技术规定》对提高港口工程混凝土耐久性起到了重要作用,但“规定”中只对混凝土本身的一些技术参数如最大水灰比、最小水泥用量、最小保护层厚度等作了具体规定,而对耐久性的具体指标没有规定,如氯离子扩散系数、吸水性、抗氯离子渗透性等耐久性指标,因此,有必要进行系统的研究,将耐久性指标作为设计内容列入规范。