

华南地区高桩码头结构检测与评估实例分析

涂启华¹, 翁 龙¹, 唐光星¹, 蒋国栋²

(1. 中交四航工程研究院有限公司 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230;

2. 中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 为掌握既有码头结构在使用过程中的真实工作状态, 需要对其结构耐久性、安全性和使用性进行检测评估。根据《港口水工建筑物检测与评估技术规范》和《港口码头结构安全性检测与评估指南》相关规定, 通过对华南某海港码头钢筋混凝土结构的检测评估, 对已建高桩码头结构检测评估的内容、方法和基本程序等作了详细的技术说明, 成果可为类似港口水工建筑物检测评估提供参考。

关键词: 耐久性; 安全性; 使用性; 检测评估

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)04-0093-08

Structural detection and assessment of high-pile wharf in South China

TU Qi-hua¹, WENG Long¹, TANG Guang-xing¹, JIANG Guo-dong²

(1. Key Laboratory of Hydraulic Structures Durability Technology Ministry of Communications,

Engineering Technology Research Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Engineering Design Institute Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: In order to grasp the real working condition of existing pier structures, we need to carry out detection and evaluation on the safety, durability and usability of the structure. Based on the *Detection and Assessment of Harbor and Marine Structures* promulgated and the *Guide of Port Wharf Structure Safety Detection and Assessment* by the Ministry of Reanship, through reinforced concrete structures detection and assessment of one high-piled wharf in South China, we provide specific technical explanations to the contents, methods and principle procedures of the detection and assessment, the results of which may serve as reference for similar detection and assessment of harbor and marine structures promulgated.

Key words: durability; safety; usability; detection and assessment

高桩梁板式码头具有结构自质量轻、受力明确、构件预制装配程度高和对地基适应能力强等优点, 是我国最主要码头结构形式之一, 在沿海地区得到广泛应用。但是在长期使用过程中, 大量已建高桩梁板式码头建筑物出现材料劣化、功能降低等现象^[1-2]; 还有一部分则逐渐不能适应船舶的大型化专业化发展需要, 必须通过对老码头的技术改造以达到升级和功能调整要求。为此, 使用单位迫切希望通过对现有建筑物进行检测评

估, 掌握正在使用港口水工建筑物的耐久性、安全性和使用性。本文根据交通部《港口水工建筑物检测与评估技术规范》^[3] (下称《规范》) 和《港口码头结构安全性检测与评估指南》^[4] (下称《指南》) 的相关规定, 在调查港区水文、气象、气温等自然条件和码头混凝土原材料、配合比、保护层等技术参数的基础上, 通过对华南地区典型高桩梁板式码头的现场检测、评估、计算分析, 得到已建码头的耐久性、安全性和使用性

收稿日期: 2012-09-28

作者简介: 涂启华(1980—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事港口工程研究。

评估结论，可以为使用单位正确掌握码头使用现状和下一步的维修加固决策提供依据。

1 码头概况

华南某港集装箱码头三期工程建成于2004年，设计为4个可停靠第5、第6代集装箱船舶的现代化泊位，设计等级为100 000 DWT，码头顶面高程5.00 m，港池底高程为-17.50 m。码头前沿线总长1 400 m，宽36.50 m，由23个长度均为60.80 m的标

准结构段和1个长度为37.00 m过渡段组成，横向排架间距为6.40 m。码头为顺岸式高桩梁板结构，上部结构现浇等高联结纵横梁格，后方接岸采用小型方块重力式结构；桩基采用 $\phi 1\ 000\text{ mm}$ 和 $\phi 1\ 200\text{ mm}$ 两种钢管桩，桩内浇筑钢筋混凝土芯，码头结构典型断面形式见图1。

气温：港区属于南亚热带海洋性气候，夏季高温，历年最高气温37.1℃，最低气温2.8℃，年平均气温22.8℃。

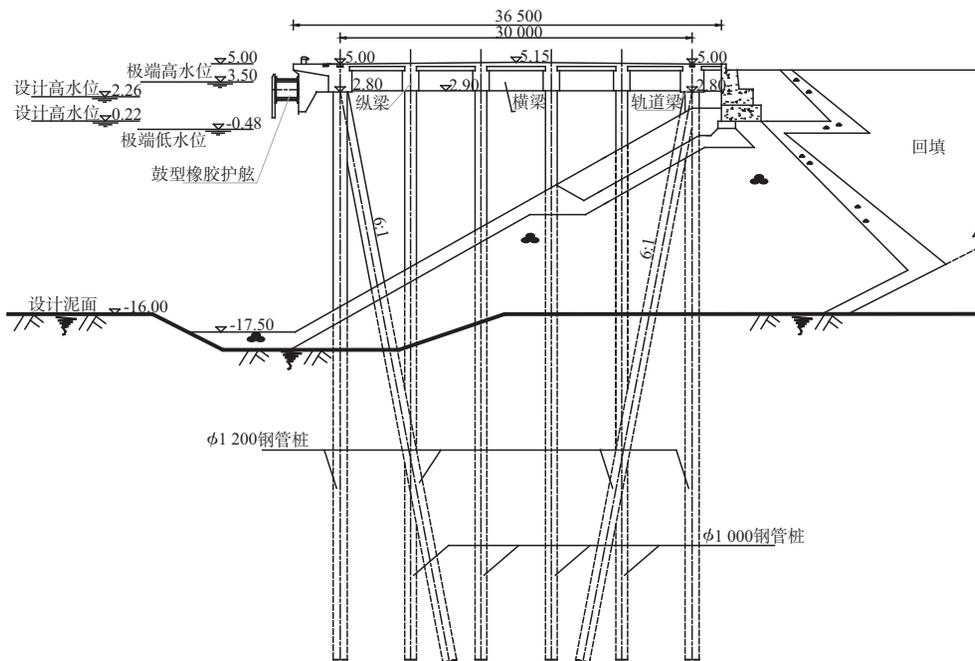


图1 码头典型断面

潮汐：港区属于不规则半日混合潮，潮汐日不等现象显著，最高潮位2.98 m，最低潮位-0.34 m，平均高潮位1.72 m，平均低潮位0.65 m，最大潮差2.74 m，平均潮差1.12 m。

混凝土设计参数：纵梁、横梁和轨道梁等构件设计保护层厚度为75 mm，码头结构采用高性能混凝土，设计强度等级为C45，单位体积胶凝材料用量450 kg/m³，水胶比为0.35。

2 结构构件外观检测

为从整体上了解码头钢筋混凝土构件腐蚀破坏情况和耐久性现状，采取目测、摄影、摄像、锤击等方式对码头外观劣化情况检测，记录裂缝的长度、宽度、走向、位置以及锈斑、锈迹、锈

裂、混凝土剥落、起鼓、露筋的数量、位置和面积等。

根据《规范》的规定，将外观检测结果按不同构件种类进行劣化等级评估。对码头主体结构构件水上部分劣化外观进行汇总，统计结果见表1。

表1 码头结构构件劣化外观统计结果

构件名称 (构件数量)	A级		B级	
	完好构件 数量	构件完好 百分率/%	破损构件 数量	构件破损 百分率/%
纵梁(848)	848	100.0	0	0
横梁(236)	236	100.0	0	0
轨道梁(424)	424	100.0	0	0
现浇板(23)	0	0	23	100.0
预制板(1060)	1 060	100.0	0	0
靠船构件(92)	92	100.0	0	0

现场检测发现,码头结构主要构件纵梁、横梁、轨道梁、预制板和靠船构件外观基本完好,外观缺陷主要集中在码头现浇悬臂板部位,表现为出现垂直码头岸线方向的微小裂缝,个别裂缝延伸至码头顶面,裂缝宽度小于0.3 mm,裂缝两侧无锈蚀痕迹,典型结构段现浇板构件表面裂缝展开见图2。码头主要构件采用高性能混凝土,施工过程中采用透水模板、有效的温度控制措施、外露面进行硅烷浸渍处理,提高了混凝土的密实性,基本消除气孔、气泡、砂斑砂线等表观

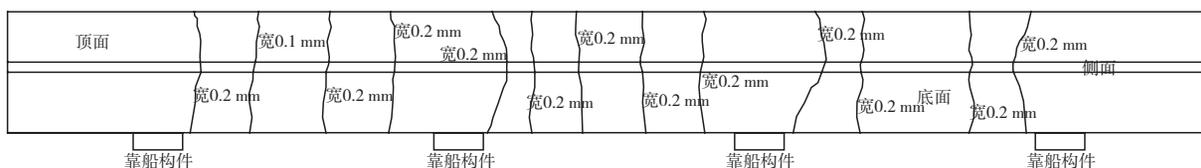


图2 典型结构段现浇板裂缝展开示意图

3 码头结构整体变形与变位测量

现有码头整体变形与变位测量按照现行行业标准JTJ 218—2005《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》的相关规定进行,包括结构的水平位移测量和垂直位移测量。如果码头保留有监测点时,主要对监测点进行复测,并与之前监测数据和竣工坐标进行对比,以确定其绝对位移情况。对于没有监测点的应测量码头结构的相对位移,同时补充埋设观测点,后期观测资料应作为安全性评估的补充和验证。用全站仪和水准仪对码头顶面埋设观测点进行观测,并与已有的观测资料进行对比,水平位移测量结果绝对值和垂直位移测量结果分别见图3和图4。结合历年观测结果表明:码头前沿水平位移观测点无明显异常变形,相邻结构段分缝位置无明显变位错动,垂直位移偏差量较小,变形相对稳定。

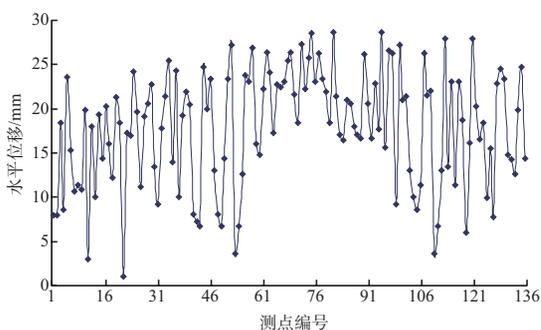


图3 码头前沿水平位移

缺陷。对靠海侧现浇悬臂板普遍出现微小裂缝缺陷,分析其原因主要有:1)由于悬臂板为结构段整体浇注施工,在一个通长结构段内未设置施工缝,加上构件所处位置通风条件良好,使混凝土内部与表面温差增大,产生的温度应力得不到有效释放而开裂,在结构分缝位置两个靠船构件之间悬臂板出现的裂缝相对其他位置少就是例证;2)由于船舶停靠码头过程中挤压,在靠船构件左右两侧悬臂板出现斜向受力裂缝。

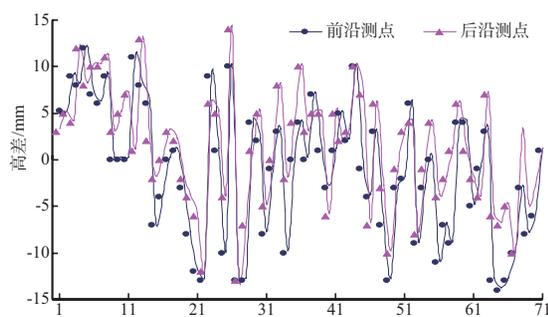


图4 码头顶面垂直位移测

4 钢筋混凝土各项性能参数检测

为详细掌握服役码头结构构件工作状态以及为后续的评估提供依据,根据《规范》和《指南》的规定,钢筋混凝土构件各项性能参数检测内容包括:混凝土强度检测、混凝土弹性模量检测、混凝土碳化深度检测、混凝土保护层厚度检测、钢筋腐蚀电位检测、混凝土中氯离子扩散情况检测等,前面5项检测结果见表2。

从表2可见,构件混凝土强度、弹性模量和保护层厚度满足设计和规范要求;碳化深度平均值为1.0 mm;钢筋腐蚀电位平均值正向 >-200 mV,构件中钢筋发生腐蚀概率 $<10\%$ 。

混凝土耐久性相关调查结果表明^[5],海港工程腐蚀发生的部位主要集中在浪溅区,本工程采用现浇等高联结纵横梁体系,位于浪溅区的纵

表2 钢筋混凝土各项性能参数

结果	混凝土强度/MPa		混凝土弹性模量/MPa		钢筋保护层厚度/mm		混凝土碳化深度/mm		钢筋腐蚀电位/mV	
	纵梁	横梁	纵梁	横梁	纵梁	横梁	纵梁	横梁	纵梁	横梁
最小值	53.6	54.9	52 500	53 100	70	71	0.5	0.5	-133	-120
最大值	68.8	69.4	60 100	63 100	86	89	1.5	2.0	-31	-39
平均值	61.2	64.6	56 200	59 300	75	77	1.0	1.0	-74	-76

梁、横梁处于同一高程，所以氯离子渗透扩散情况检测以梁类构件为取样对象，由外至内每10 mm取1层粉样，共计8层，检测结果见表3，扩散系数 $D_f=2.946 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

表3 各层氯离子含量占胶凝材料质量百分比

层别	1	2	3	4	5	6	7	8
百分比/%	0.526	0.462	0.361	0.281	0.228	0.185	0.126	0.065

结果表明：随着深度的增加，氯离子含量依次呈逐层递减的趋势，在检测保护层厚度平均值75.0 mm处附近氯离子浓度小于0.126%。对照《规范》中规定，在水灰比为0.35时，浪溅区引起混凝土中钢筋腐蚀的氯离子含量临界值取0.45%，从表3可以看出，平均保护层厚度处钢筋周围的氯离子含量低于临界值。

5 钢管桩检测

5.1 钢管桩外观检测

钢结构外观检测应针对大气区、浪溅区、水位变动区和水下区等不同部位分别进行检测，包括：锈蚀发生的位置、面积和分布情况，钢结构表面集中锈蚀、点蚀或穿孔情况，外力作用引起的损伤情况等。本工程钢管桩顶高程分别为2.80 m和2.90 m，外观检测区域分别为浪溅区、水位变动区和水下区3个部位，其中水下部位检测由潜水员按照制定的方案进行。通过对368根钢管桩外观检测显示：浪溅区桩顶往下0.5 m范围桩身锈蚀层成块状剥落，桩顶往下0.5~1.5 m范围表面锈蚀起鼓，锈层厚度1~3 mm；水位变动区和水下区表面有大量海生物吸附，清除海生物后可见1~2 mm锈层脱落，底面是裸露钢材。分析原因为：码头钢管桩未采取防腐蚀措施，暴露在海洋环境中容易发生腐蚀生锈，其中以浪溅区腐蚀相对严重。

5.2 钢管桩剩余壁厚检测

钢管桩剩余壁厚采用水下超声波厚度测定仪进行检测，测点布置一般选择在腐蚀严重位置，按水下区、水位变动区、浪溅区等具有代表性的部位，每个断面均匀布置3个测点，测定前除去钢管桩表层的海生物和锈层等，根据92根钢管桩不同部位检测结果统计各个断面的剩余壁厚平均值 (H)、单根桩断面平均值的最小值 (Z_{Hmin})、全部测点的最小值 (D_{Hmin}) 以及各断面平均腐蚀速率 (v_0)，具体统计结果见表4。

表4 钢管桩壁厚检测结果统计

检测部位	设计厚度/ mm	剩余壁厚/mm			$v_0/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$
		H	Z_{Hmin}	D_{Hmin}	
浪溅区	18	16.6	15.3	15.2	0.17
水位变动区	18	17.4	15.7	14.9	0.08
水下区	18	17.5	16.9	16.7	0.07

将厚度检测结果按浪溅区、水位变动区和水下区分别统计，计算不同厚度区段占该区域测点总数的百分率，见图5。可见，浪溅区钢管桩剩余壁厚在15~16 mm, 16~17 mm和17~18 mm区间几乎均匀分布，腐蚀较为严重；水位变动区和水下区测点厚度主要分布在17~18 mm区间，腐蚀相对较轻。

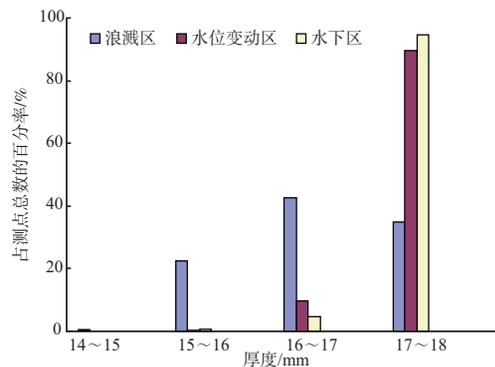


图5 钢管桩壁厚测点分布范围

6 码头前沿水深和冲淤变化情况检测

码头使用若干年后,受潮流、船舶作业的影响,码头水下泥面状况会受到不同程度的冲刷或淤积现象。为了解码头区域水下地形,评估码头船舶停靠作业、桩基承载力和岸坡稳定性提供依据,采用超声波测深仪测量码头前沿水域50 m范围水深,按10 m一个测量断面,每个断面一个测点,对发现可疑水深测点,由潜水员进行水下探摸核实。资料调查显示港池每年均有清淤工作,水深测量结果表明:码头前沿水域水深与设计水深相近,未发现明显冲刷和淤积现象。

7 海港工程混凝土结构耐久性评估

本文按照《规范》规定,将海港工程钢筋锈蚀劣化进程可以分为钢筋开始锈蚀(t_1)、保护层胀开裂(t_2)和功能明显退化(t_3)3个阶段。在计算海港工程混凝土结构耐久性使用寿命时,指的是混凝土结构3个阶段的时间 $t=t_1+t_2+t_3$,即结构开始暴露于氯盐腐蚀环境之日开始,到混凝土中钢筋腐蚀至钢筋截面因锈蚀减少至原截面的90%时所经历的时间。

计算钢筋腐蚀各阶段不同的时间,得到结构耐久性使用年限(表5)。

t_1	t_2	t_3	t
156.77	14.47	4.11	175.35

从表5可以看出,梁类构件在钢筋的混凝土保护层厚度为75.0 mm时,耐久性预测年限为175.35 a,可以满足设计使用年限50 a要求。

8 海港工程钢结构耐久性评估

钢结构耐久性评估验算断面的选取应综合考虑钢材腐蚀状况和结构应力分布状况等不利因素,验算断面尺寸宜采用调查结果的平均值,并应考虑腐蚀程度的影响,无防腐蚀措施的钢结构腐蚀速度按下式计算:

$$v_0 = \frac{D_i - D_f}{t_s} \quad (1)$$

式中: v_0 为钢结构腐蚀速率; D_i 为钢结构原始厚度; D_f 为检测时钢结构的平均厚度; t_s 为检测时钢结构已使用的时间。

钢结构使用年限应根据腐蚀情况检测结果按下式计算:

$$t_e = t_s + \frac{D_f - D_i}{v} \quad (2)$$

式中: t_e 为钢结构使用年限; D_i 为按承载力极限状态计算得出的钢结构厚度; v 为钢结构腐蚀速度。

本工程钢管桩已使用时间 $t_s=8$ a,检测时钢结构的平均厚度取浪溅区厚度测点平均值 $D_f=16.6$ mm,按承载力极限状态计算得出的钢管桩厚度 $D_i=0.5$ mm,钢管桩腐蚀速度 $v=0.2$ mm/a,代入式(2)得到钢管桩的使用年限 $t_e=88.5$ a。

按照《规范》规定,钢结构耐久性评估分级标准及处理应符合表6的规定。

表6 钢结构耐久性评估分级标准及处理要求

等级	分级标准	处理要求
A	具有足够的承载能力,耐久性满足设计使用年限要求	不采取措施
B	腐蚀尚不显著影响承载能力,耐久性不满足设计使用年限要求	及时采取修复措施
C	腐蚀已显著影响承载能力,耐久性不满足设计使用年限要求	立即采取修复、补强措施
D	腐蚀已严重影响承载能力,耐久性不满足设计使用年限要求	视条件采取修复、补强措施或报废

本工程钢管桩内浇筑钢筋混凝土,钢结构防腐采用腐蚀裕量法,浪溅区腐蚀裕量为17.5 mm,此次检测结果表明:由于钢管桩采用单一的腐蚀裕量防腐措施,表面已腐蚀生锈,其中浪溅区腐蚀比水位变动区和水下区严重,目前尚具有足

够的承载能力,计算耐久性使用年限满足设计年限要求,可以不采取措施进行修复,耐久性评估等级为A级,但在使用过程中需要定期进行检测监测,发现异常及时分析原因并采取有效措施延长其使用年限。

9 结构构件安全性评估

码头安全性评估应按承载能力极限状态验算的结果进行,结合本工程实例特点,验算内容包括:船舶荷载系缆力、挤靠力、撞击力,上部结构构件的承载力,桩基承载力和岸坡稳定。现场检测结果显示:码头主要受力构件未发现开裂、破损,混凝土保护层厚度满足设计要求,混凝土强度等级

满足设计等级要求,钢筋未出现锈蚀,钢管桩具有足够承载能力,安全性评估各受力构件的指标采用原设计值进行验算,其中钢筋:BS标准460B钢筋,梁板混凝土强度等级:C45,保护层厚度:顶面60 mm,其他面75 mm。按照《规范》规定,结构构件安全性评估应按表7的规定分别验算各验算项目等级,取最低一级作为该构件安全性评估等级。

表7 结构构件安全性评估分级标准

构件类别	A	B	C	D
主要构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
一般构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$
桩基的承载力	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
岸坡稳定	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$

注: R_d, S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值。

按照《规范》规定,港口水工建筑物安全性评估分级标准及处理应符合表8的规定。

表8 港口水工建筑物安全性评估分级标准及处理要求

等级	分级标准	处理要求
A	安全性符合国家有关标准要求,具有足够的承载能力	不必采取措施
B	安全性略低于国家有关标准要求,尚不显著影响承载能力	可不采取修复措施
C	安全性不符合国家有关标准要求,显著影响承载能力	及时进行修复、补强,视条件和要求恢复到A级或B级标准
D	安全性严重不符合国家有关标准要求,已严重影响承载能力	立即进行修复、补强,视条件和要求恢复到B级标准或报废

注:安全性评估等级为C级或D级的码头结构,不宜提高码头的靠泊能力。

9.1 系缆力

船舶系缆力按载箱量9 100 TEU的集装箱船计算,船舶系缆力为风和水流共同作用下的系缆力,风速按9级风考虑,与风共同作用的水流流速按1.0 m/s计算,得到使用船型系缆力标准值为1 218 kN。码头选用2 000 kN的系船柱,可满足要求。

9.2 挤靠力

船舶挤靠力考虑风和水流对计算船舶作用产生的横向分力,本工程橡胶护舷间断布置,计算得到挤靠力标准值为623 kN。

9.3 撞击力

船舶靠岸时的撞击力标准值根据船舶有效撞击能量和橡胶护舷性能曲线及靠船结构的刚度确定,计算得到设计代表船型靠岸时的有效撞击能量 $E_0=552$ kJ。本工程选用SUC2000超高反力RS型护舷,护舷的吸能量为2 346 kJ,反力为2 671 kN,护舷的撞击能量小于吸能量,可满足要求。

9.4 主要结构构件承载力

安全性评估验算以结构构件承载能力极限状态进行,上部结构构件承载力验算结果见表9,桩基承载力验算结果见表10。

表9 上部结构构件承载力验算结果

构件名称	计算截面	抗弯承载力			抗剪承载力		
		抗力设计值 $R_d/(kN \cdot m)$	作用效应设计值 $S_d/(kN \cdot m)$	R_d/S_d	抗力设计值 R_d/kN	作用效应设计值 S_d/kN	R_d/S_d
面板	跨中	508.00	58.28	8.72	253.00	75.44	3.35
	支座	508.00	57.49	8.84			
纵梁	跨中	10 945.00	4 520.00	2.42	4 939.00	3 621.00	1.36
	支座	-10 945.00	-4 734.00	2.31			
轨道梁	跨中	17 975.00	7 425.00	2.42	9 155.00	7 297.00	1.25
	支座	-19 516.00	-12 033.00	1.62			
横梁	跨中	13 897.00	5 227.00	2.66	4 939.00	1 920.00	2.57
	支座	-16 687.00	-5 615.00	2.97			

表10 桩基承载力验算结果

桩基编号	垂直极限承载力			抗弯极限承载力		
	抗力设计值 R_d/kN	作用效应设计值 S_d/kN	R_d/S_d	抗力设计值 $R_d/(kN \cdot m)$	作用效应设计值 $S_d/(kN \cdot m)$	R_d/S_d
1 [#]	7 829.93	6 586.95	1.19	2 732.00	518.77	5.27
2 [#]	7 972.76	5 661.98	1.41	2 732.00	619.51	4.41
3 [#]	6 036.71	3 407.06	1.77	1 469.00	338.31	4.34
4 [#]	6 080.53	3 276.83	1.86	1 469.00	349.41	4.20
5 [#]	6 124.36	3 309.02	1.85	1 469.00	416.39	3.53
6 [#]	6 168.04	3 064.33	2.01	1 469.00	511.25	2.87
7 [#]	8 244.82	4 891.15	1.69	2 732.00	889.62	3.07
8 [#]	8 304.75	4 077.87	2.04	2 732.00	888.18	3.08

码头岸坡采用现浇混凝土挡土墙结构,墙后回填块石,采用简单条分法计算岸坡稳定性,最小分项系数滑弧计算结果见表11。

表11 岸坡稳定性滑弧计算结果

滑弧半径/m	抗滑力/kN	滑动力/kN	抗力分项系数 γ
88.50	4 713.02	4 244.85	1.11

注:滑弧底高程为-19.70m。

码头安全性验算结果表明:现有附属设施系船柱、橡胶护舷满足船舶靠停泊要求,上部结构构件的承载力、桩基承载力和岸坡稳定计算结构

抗力 R_d 与作用效应组合设计值 S_d 比值均大于1.00,按照表9规定,码头安全性符合国家有关标准要求,安全性评估等级为A级,码头在设计条件下使用具有足够的承载能力。

10 结构构件使用性评估

港口水工建筑物使用性评估是按正常使用极限状态,主要针对荷载作用下影响正常使用或影响外观的过大变形(挠度)、裂缝等。结构构件使用性评估应按表12的规定分别验算各验算项目等级,取最低一级作为该构件安全性评估等级。

表12 结构构件使用性评估分级标准

等级	钢筋混凝土或钢结构最大挠度	钢筋混凝土结构最大裂缝宽度	预应力混凝土拉应力限值
A	$r \geq 1.00$	$r \geq 1.00$	$r \geq 1.00$
B	$0.95 \leq r < 1.00$	$0.80 \leq r < 1.00$	$0.95 \leq r < 1.00$
C	$0.90 \leq r < 0.95$	$0.70 \leq r < 0.80$	$0.90 \leq r < 0.95$
D	$r < 0.90$	$r < 0.70$	$r < 0.90$

注: r 表示规范限值与实测值或验算值的比值。

按照《规范》规定,港口水工建筑物使用性评估分级标准及处理应符合表13的规定。

表13 港口水工建筑物使用性评估分级标准及处理要求

等级	分级标准	处理要求
A	建筑物整体完好,变形、变位均在设计允许范围内	不必采取措施
B	建筑物整体完好,变形、变位略超出设计允许范围,但不影响正常使用	可不采取修复措施
C	建筑物整体破损明显,变形、变位明显超出设计允许范围,影响正常使用	及时进行修复、补强,视条件和要求恢复到A级或B级标准
D	建筑物整天破损严重,变形、变位过大,显著影响安全性和整体使用功能	立即进行修复、补强,视条件和要求恢复到B级标准或报废

按照JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》和JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐技术规程》规定,浪溅区钢筋混凝土结构构件最大裂缝宽度限值取0.20 mm,结构构件使用

性验算结果见表14。

码头面板、纵梁、轨道梁和横梁钢筋混凝土结构构件使用性验算最大裂缝宽度、最大挠度限值与计算值比值 r 均大于1.00,按照表13和表14规

表14 结构构件使用性验算结果

构件名称	钢筋混凝土结构最大裂缝宽度			钢筋混凝土结构最大挠度		
	限值/mm	计算值/mm	<i>r</i>	限值/mm	计算值/mm	<i>r</i>
面板	0.20	0.05	4.00	16.00	0.94	17.02
纵梁	0.20	0.07	2.86	10.60	0.66	16.06
轨道梁	0.20	0.11	1.82	10.60	0.72	14.72
横梁	0.20	0.09	2.22	10.00	8.00	1.25

定，码头使用性评估等级为A级，水工建筑物整体完好，变形、变位均在设计允许范围内。

11 结语

1) 本文按照《规范》和《指南》的规定，在码头原始资料调查、外观劣化检查和钢筋混凝土结构构件专项检测的基础上，对华南某海港高桩码头进行耐久性、安全性和使用性检测评估，表明：所检码头耐久性满足设计使用年限要求，耐久性评定为B级；结构构件具有足够的承载能力，安全性评定为A级；建筑物整体完好，变形、变位均在设计允许范围内，使用性评定为A级。

2) 本工程浪溅区结构构件采用高性能混凝土，表面采用硅烷浸渍防腐措施，在提高耐久结构年限起到明显的作用，但由于具体构造上设计、施工、使用不当还是会出现裂缝，如码头前沿现浇悬臂板开裂。针对悬臂板出现裂缝情况，建议采用环氧砂浆对其及时进行修复。

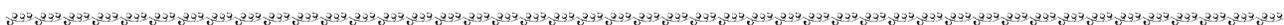
3) 我国沿海建设有大量的高桩码头，这些码头经过多年运行使用，一般都产生了不同程度

的破损，如何根据运营码头实际情况检测和评估其耐久性、安全性和使用性已成为亟待解决的课题。上述检测和评估分析可以为掌握码头使用状态以及制定修复方案提供科学依据，对于保证码头结构安全使用和延长其使用寿命都具有重要意义，也可以为类似码头的检测评估提供参考。

参考文献:

- [1] 潘德强, 洪定海, 郑恩惠, 等. 华南沿海部分码头调查情况介绍[J]. 水运工程, 1982(2): 1-7.
- [2] 王胜年, 黄君哲, 张举连, 等. 华南海港码头混凝土腐蚀情况的调查与结构耐久性分析[J]. 水运工程, 2000(6): 53-57.
- [3] JTJ 302—2006 港口水工建筑物检测与评估技术规范[S].
- [4] 中交四航工程研究院有限公司. 港口码头结构安全性检测与评估指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [5] 王胜年. 我国海港工程混凝土耐久性技术发展及现状[J]. 水运工程, 2010(10): 1-7.

(本文编辑 武亚庆)



著作权授权声明

全体著作权人同意：论文将提交《水运工程》期刊发表，一经录用，本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。