

长江下游某集装箱码头现状检测与评估

陈灿明^{1,2}, 郭壮^{1,2}, 李致^{1,2}, 徐静文^{1,3}, 何建新^{1,2}

(¹南京水利科学研究院, 江苏南京 210029;

²水利部水科学与水工程重点实验室, 江苏南京 210029;

³河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098)

[摘要] 长江下游某集装箱码头为高桩梁板结构, 靠泊等级 1~3 万吨级。根据码头靠泊能力管理的有关规定, 拟通过核定实现上浮 1~2 个靠泊等级减载靠泊, 在保障安全条件下充分利用码头资源。对高桩码头主体结构和附属设施进行现场检查, 根据钢筋混凝土性能参数、地基基础、接岸结构、结构变形、岸坡、轨道、停靠船与防护设施以及码头前沿水深等检测结果, 对码头的安全性、使用性和耐久性的等级进行评定, 预测了钢筋混凝土结构的剩余使用年限, 为码头靠泊能力认证和核定提供技术支撑。

[关键词] 高桩码头; 靠泊能力; 检测; 评估; 剩余使用年限

[中图分类号] TU375.1 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1005-6270(2019)04-0037-05

Detection and Assessment of a Container Wharf in the Lower Reaches of the Yangtze River

CHEN Can-ming^{1,2} GUO Zhuang^{1,2} LI Zhi^{1,2} XU Jing-wen^{1,3} HE Jian-xin^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu 210029 China;

2. Key Laboratory of Water Science and Water Engineering of Ministry of Water Resources, Nanjing Jiangsu 210029 China;

3. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, HoHai University, Nanjing Jiangsu 210098 China)

Abstract: A container terminal in the lower reaches of the Yangtze River is a high-pile beam-slab structure with a berthing capacity of 10,000 to 30,000 tons. According to the relevant regulations on the management of dock berthing capacity, it was proposed to scientifically verify that 1 or 2 berthing levels was increased to carry out load shedding berthing, and make full use of the terminal resources under the security conditions. The main structure and auxiliary facilities of the high-piled wharf inspected on site, on the basis of the detection results of the reinforced concrete performance parameters, foundation, shore structure, structural deformation, bank slope, track, docking ship, protective facilities, and water depth at the forefront of the wharf, the safety of the wharf, usability and durability grade were evaluated, and the remaining service life of the reinforced concrete structure was predicted, which provided technical support for the certification and verification of the berthing capacity.

Key words: high-pile wharf; berthing capacity; detection; assessment; remaining service life

长江下游某集装箱码头位于江苏省江阴市, 2006 年 10 月投入试运行。根据交通运输部《沿海码头靠泊能力管理规定》^[1], 现有码头在经工程检测和设计论证后, 在保障安全的条件下, 通过科学核定码头可上浮 1~2 个靠泊等级进行减载靠泊, 以发挥现有码头潜力, 充分利用码头资源, 满足港口

生产的需要^[2-3]。为此码头方根据运营需要, 申请启动了码头靠泊能力核定工作, 先期对该码头的现状进行检测和评估, 为设计单位的靠泊能力认证提供技术支撑。

1 工程概况

该集装箱码头位于长江下游江阴水道右岸, 主体为钢

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFF0215005); 南京水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(Y418001)。

[收稿日期] 2019-03-25

[作者简介] 陈灿明, 男(1962-), 南京水利科学研究院, 教授级高级工程师, 主要从事水工结构的安全鉴定与科学研究工作。

筋混凝土高桩梁板结构,包括码头桩台、系缆墩和引桥三部分,建有1万吨级、2万吨级和3万吨级多用途泊位各1个。码头桩台长537.0 m,分8个结构段,结构段间采用半简支结构,排架间距6.0 m,共91榀^[4]。

上、下游二端内挡靠船部分宽34.0 m,Φ800PHC管桩或600 mm×600 mm预制预应力钢筋混凝土空心方桩,桩长40.0 m~41.0 m,钢筋混凝土现浇倒T型横梁,预制钢筋混凝土前后边梁、轨道梁、一般纵梁,钢筋混凝土叠合面板。中部内挡不靠船部分分前、后方桩台,前方桩台宽25.0 m,桩型和桩长、横梁、纵向梁系和面板的结构与34 m宽桩台相同。后方桩台宽9.0 m,2根600 mm×600 mm预制预应力钢筋混凝土空心方桩或Φ800PHC管桩,钢筋混凝土矩形横梁和叠合面板。前沿排架间隔布置DA-B800H×1900L型橡胶护舷(3根一组,带缓冲板)和2根GD300H×3 000L型橡胶护舷,内挡靠泊部分排架竖向设置Φ500 mm橡胶靠把。桩台前沿设1 000 kN和1 500 kN系缆柱,后沿布置350 kN的系缆柱,2层系缆梁设250 kN系缆柱。码头结构断面见图1和图2。

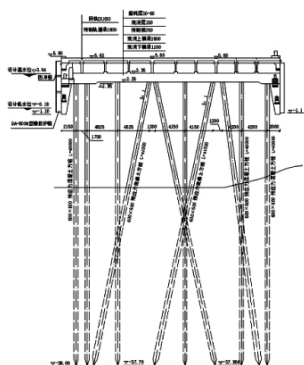


图1 内挡靠泊段码头断面示意

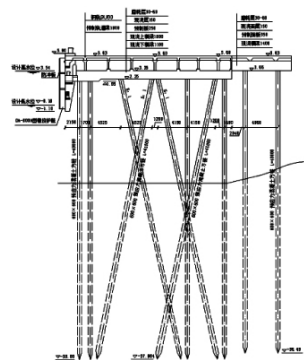


图2 内挡无靠泊段码头断面示意

上、下游侧各设1座为高桩墩台系缆墩,墩台长10.00 m,宽10.00 m,高2.0 m,上设1 500 kN系缆柱。基础为12根Φ800PHC管桩或600 mm×600 mm钢筋混凝土预应力空心方桩(其中8根为倾斜度4:1斜桩),桩长32.0 m。

码头桩台通过3座宽12.75 m引桥与后方陆域相连接,高桩梁板结构,排架间距10.0 m,3根Φ800PHC管桩或Φ1000钻孔灌注桩,桩长28.0 m。钢筋混凝土矩形横梁,预制钢筋混凝土空心板。

2 现场调查与检测

2.1 结构的外观检查

外观检查与检测主要针对与码头靠泊能力核定有关的主体结构及附属设施,即前后方桩台、引桥和上、下游系缆墩,系缆柱、护舷以及引桥与岸坡的连接情况等^[5],主要检查结果如下:

(1)码头桩台桩基总体完好,桩顶与横梁联接正常,但部分桩基偏位较大,个别桩基桩顶有局部破损。

(2)钢筋混凝土横梁、纵梁结构基本完好,与相邻结构间联接正常。但上横梁和一般纵梁和轨道梁普遍存在竖向裂缝,最大裂缝宽度0.05 mm~0.20 mm;受桩基偏位影响,横梁截面有相应调整;受船舶撞击江侧端部横梁和边纵梁局部有破损和钢筋外露。

(3)靠船构件、水平撑、2层系缆梁总体基本完好,相邻结构间连接正常。

(4)码头桩台面板总体质量良好,无明显缺陷。护轮坎基本完好。

(5)码头附属设施基本齐全,系缆柱本体及与结构的联接完好。江侧橡胶护舷普遍破损,部分较严重;内挡条形橡胶靠把普遍破损或脱落,需要更换和全面维护。

(6)上、下游系缆墩桩基和墩台基本完好,墩台局部有破损和钢筋锈蚀外露。

(7)引桥桩基、横梁和面板基本完好,面板底面局部有钢筋锈蚀外露。

(8)码头各结构段之间、码头桩台与引桥间、引桥与岸坡桥台间无明显不均匀沉降和水平错位。

(9)码头处岸坡稳定,引桥与岸坡连接正常。

2.2 专项检测

(1)码头沉降位移

码头未设置固定的沉降和位移观测点,对码头前、后方桩台和引桥特征点相对高程进行测量,测量150点。检测结果显示,码头面相对高程测量结果基本一致,其偏差值均在高桩码头面层顶面高程允许偏差范围内,综合现场伸缩缝的缝宽、高差和水平错位状况分析,码头整体和局部无明显异常位移。

(2)构件混凝土抗压强度

采用回弹法对码头桩台、引桥及系缆墩主要钢筋混凝土构件进行检测^[6],结果列于表1。检测结果表明,被检码头桩台、引桥和系缆墩主要钢筋混凝土构件混凝土抗压强度实测值均大于设计强度等级,进行强度校核时,强度指标可以按设计强度等级选用。

(3)混凝土碳化深度和钢筋混凝土保护层厚度

碳化深度用酚酞试剂、冲击钻和游标卡尺测试,保护层厚度采用混凝土保护层测定仪(CM9 CoverMaster)。主要构件混凝土碳化深度与钢筋保护层厚度检测结果见表2。

根据检测结果分析,码头主体结构由于使用时间相对较短,而且一部分构件处于水位变动区,混凝土碳化深度相对

表1 混凝土强度检测结果

构 件	最大值	最小值	平均值	标准差	推定值	设计
前方桩台横梁	41.3	32.0	36.2	2.43	32.2	C30
后方桩台横梁	44.5	31.6	38.5	2.75	34.0	C30
靠船构件	33.9	41.5	37.3	1.99	34.0	C30
轨道梁	43.3	32.0	37.4	2.69	33.0	C30
一般纵梁	41.8	31.5	36.7	2.87	32.0	C30
江侧2层系缆梁	41.7	33.3	38.1	2.37	34.2	C30
岸侧2层系缆梁	40.9	34.6	38.6	1.88	35.5	C30
前方桩台面板	39.5	32.1	35.9	2.03	32.5	C30
后方桩台面板	41.7	33.1	36.7	1.92	33.5	C30
1#引桥横梁	38.4	29.7	34.4	2.28	30.7	C25
2#引桥横梁	37.9	29.7	38.6	1.88	35.5	C25
3#引桥横梁	38.4	32.1	35.9	2.03	32.5	C25
引桥面板	41.5	30.5	36.4	2.69	32.0	C30
系缆墩墩台	41.5	30.8	37.2	2.72	32.7	C25

表2 混凝土碳化深度与钢筋保护层厚度检测结果

构件名称	混凝土碳化深度/mm			钢筋保护层厚度/mm		
	最大值	最小值	总平均	最大值	最小值	总平均
前方桩台横梁	15	7	10.6	78	36	54.0
后方桩台横梁	17	9	12.0	63	33	48.2
靠船构件	11	5	7.6	69	27	48.0
轨道梁	14	5	9.5	55	31	43.4
一般纵梁	15	7	10.3	52	22	36.6
2层系缆梁	12	5	8.4	72	30	51.4
引桥横梁	16	8	12.0	74	40	61.0
系缆墩	14	9	12.2	56	32	46.8

较浅,实测最大碳化深度 17.0 mm,最小碳化深度 5.0 mm,平均 5.7 mm~12.7 mm,主要构件的钢筋保护层厚度平均值 34.5 mm~62.5 mm,综合混凝土碳化与钢筋保护层测试结果,可以判定码头主体结构内部钢筋不具备钢筋锈蚀的条件。

(4) 钢筋腐蚀电位

采用钢筋腐蚀测定仪测定腐蚀电位来检测构件内部钢筋锈蚀状况^[7]。

钢筋腐蚀判定标准为:腐蚀电位正向大于-200 mV,则此区域发生钢筋锈蚀的概率小于 10%;腐蚀电位负向大于-350 mV,则此区域发生钢筋锈蚀的概率大于 90%;腐蚀电位负向在-200 mV~-350 mV 之间,则此区域发生钢筋锈蚀性状不确定。

对各结构段桩台前后横梁、轨道梁、纵梁的腐蚀电位进行检测,图 3~图 6 列出第 3 结构段的检测结果,根据检测结果分析,被测区域发生钢筋锈蚀的概率均小于 10%。

(5) 桩基完整性检测

通过实测桩顶加速度响应时域曲线,籍一维波动理论的低应变动力(反射波法)来检测桩基完整性。对码头桩台和引桥共 31 根桩基进行低应变动力检测^[8],被检桩设计桩长 40.0 m~41.0 m,检测时传感器布置在横梁下方 1.5 m

处,敲击点与传感器高程一致。经低应变动力法检测的 31

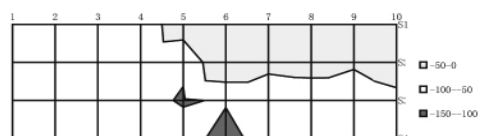


图3 前平台横梁腐蚀电位图

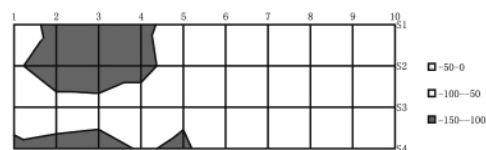


图4 后平台横梁腐蚀电位图

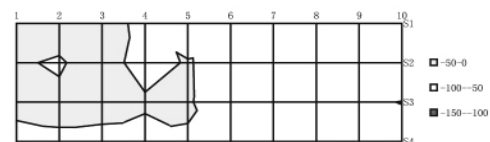


图5 轨道梁腐蚀电位图

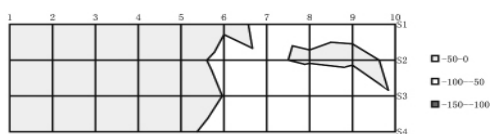


图6 纵梁腐蚀电位图

根码头桩台和引桥桩基均为完好桩(I类桩)。

(6) 码头前沿水深检测

业主每年2次对码头前沿水域进行扫测,经分析处理后形成前沿水域地形图,并根据扫测结果对码头前沿水深进行维护。多次水下地形测量结果对比分析表明,码头前沿实际冲淤变化不大,检测期码头前沿除个别点泥面高程略偏高外,码头前沿水深总体符合设计要求。

(7) 轨道检测

在外观检查的基础上检测门机轨距、轨顶高程和同一截面两轨高差。实测门机轨距 10 491 mm~10 512 mm(1#~2#)和 19 994 mm~20 020 mm(1#~3#),与设计的偏差分别为-9 mm~12 mm 和-6 mm~20 mm; 门机轨道高程偏差-9 mm~12 mm,同一截面两轨顶的高差最大 4.0 mm。

门机轨道同一截面两轨顶高差小于规范允许偏差 10 mm; 但门机轨距和轨道高程部分偏差已超出了规范允许值 ± 5 mm且最大偏差大于 1.5 倍允许偏差值,门机轨道需要调整维护。

3 结构安全评估

港口水工建筑物的评估可分为安全性评估、使用性评估和耐久性评估。评估的目的、范围和内容根据评估对象的具体情况和评估要求,在初步调查后确定^[9-11]。

3.1 结构安全性评估

(1) 计算荷载: 均布荷载前方桩台取 30 kN/m², 后方桩台整体计算取 60 kN/m², 构件计算取 80 kN/m²; 装卸工艺设备荷载为 MQ40-40 t 多用途门座起重机、40 t 岸边集装箱起重机; 流动机械荷载为 40 英尺集装箱牵引车、半挂车, 40 t 牵引平板车; 风压力按基本风压 0.35 kN/m² 计算, 水流量按设计最大流速 1.5 m/s 计算, 地震按 6 度设防; 船舶荷载按设计最大船型 3 万吨级杂货船(满载)计算系缆力、撞击力等船舶荷载。

(2) 荷载组合: 考虑持久状况下承载能力极限状态的持

久组合和持久状况正常使用极限状态准永久组合两种情况。

(3) 计算内容: 采用易工高桩码头结构专用设计软件计算码头桩台排架内力和码头竣工图中各构件配筋情况计算的构件承载能力。

表 3 为 34 m 宽和 25 m 宽桩台承载力复核结果, 码头桩台横梁、轨道梁、纵梁、面板以及桩基在靠泊原设计最大船型(3 万吨级杂货船满载)时, 其强度满足使用要求, R_d/S_d 均大于 1.0, 码头安全性评估等级为 A 级。

3.2 结构使用性评估

码头大气区和浪溅区钢筋混凝土结构构件最大裂缝宽度限值为 0.20 mm。轨道梁最大挠度限值为 $l_0/800$, 其它梁最大挠度限值为 $l_0/600$, 板的最大挠度限值为 $l_0/300$ 。

根据表 4 所列计算结果, 各钢筋混凝土构件计算的最大裂缝开展宽度、最大挠度的使用性评估指标 r 均大于 1.0, 码头使用性等级为 A 级。

3.3 结构耐久性评估

(1) 结构外观劣化度评估

根据外观检查及所抽检混凝土构件碳化深度、钢筋保护层厚度、钢筋腐蚀电位等结果, 码头前方桩台的桩基、面板、靠船构件、水平撑、2 层系缆梁, 码头后方桩台桩基、横梁、面板、靠船构件、水平撑、2 层系缆梁, 引桥桩基、横梁和系缆墩桩基的外观相对较好, 构件单元外观劣化度评定为 A 级, 码头前方桩台的横梁、轨道梁、纵梁, 码头后方桩台纵梁, 系缆墩墩台表面局部出现了混凝土开裂现象, 构件单元外观劣化度评定为 B 级, 经综合评定耐久性评定等级为 B 级。

(2) 结构使用年限预测

码头位于长江下游, 各类构件混凝土中氯离子含量极低, 不会因氯盐引起钢筋锈蚀。影响码头耐久性的主要因素是混凝土碳化。

对于混凝土碳化引起钢筋锈蚀使用年限预测, 预应力

表 3 码头桩台构件内力与承载能力计算表

计算项目		复核结果		承载力		R_d/S_d	
		34 m	25 m	34 m	25 m	34 m	25 m
方桩	N_{max}/kN	3 136	3 364	4 141	4 275	1.320	1.271
	N_{min}/kN	3 254	3 424	3 513	3 653	1.080	1.067
横梁	$M_{max}/kN \cdot m$	5 784	5 189	7 101	7 101	1.228	1.368
	$-M_{max}/kN \cdot m$	-5 469	-6 276	6 957	6 957	1.272	1.109
	Q_{max}/kN	3 536	3 239	4 346	4 346	1.229	1.342
轨道梁	$M_{max}/kN \cdot m$	3 557	3 573	3 754	3 754	1.055	1.051
	$-M_{max}/kN \cdot m$	-2 899	-2 919	3 277	3 277	1.130	1.123
	Q_{max}/kN	2 440	2 439	2 831	2 831	1.160	1.161
纵梁	$M_{max}/kN \cdot m$	1 073	1 027	1 311	1 311	1.222	1.277
	$-M_{max}/kN \cdot m$	-689	-680	1 468	1 468	2.131	2.159
面板	$M_{max}/kN \cdot m/m$	111	111	195(纵向)	195(纵向)	1.757	1.757
	$-M_{max}/kN \cdot m/m$	-96	-96	100(横向)	100(横向)		

表4 钢筋混凝土构件使用性指标验算结果

构件名称	构件最大裂缝开展宽度/mm			最大挠度/mm		
	限值	计算值	r	限值	计算值	r
横梁	0.20	0.187	1.070			
轨道梁	0.20	0.182	1.099	7.50	1.24	6.048
一般纵梁	0.20	0.175	1.143	10.00	1.07	9.346
面板	0.20	0.032	6.250	11.67	0.71	16.437

表5 码头结构构件剩余使用年限计算结果

构件名称	t_f/a	t_{cr}/a	t_d/a	备注
前方桩台横梁	48.8	80.5	104.2	普通钢筋混凝土构件
后方桩台横梁	39.3	70.4	94.9	
靠船构件	51.0	81.9	106.4	
轨道梁	39.6	65.1	88.3	
一般纵梁	30.9	50.4	71.7	
2层系缆梁	52.4	86.5	111.5	
引桥横梁	53.3	92.1	116.7	
系缆墩	37.5	65.0	88.4	

混凝土构件将钢筋开始锈蚀作为耐久性极限状态,对不允许出现锈胀裂缝的构件将保护层锈胀开裂作为耐久性极限状态,对允许出现锈胀裂缝或局部破损的构件将混凝土表面出现可接受最大外观损伤作为耐久性极限状态^[12-13],各极限状态所经历的时间的估算式为:

$$t_i = 15.2 K_k \cdot K_c \cdot K_m \quad (1)$$

$$t_{cr} = t_i + t_c, t_c = A \cdot H_c \cdot H_f \cdot H_d \cdot H_T \cdot H_{RH} \cdot H_m \quad (2)$$

$$t_d = t_i + t_{cl}, t_{cl} = B \cdot F_c \cdot F_f \cdot F_d \cdot F_T \cdot F_{RH} \cdot F_m \quad (3)$$

式中, t_i 为结构建成至钢筋开始锈蚀的时间(a); K_k 、 K_c 、 K_m 分别为碳化速率、保护层厚度、局部环境对钢筋开始锈蚀时间的影响系数; t_{cr} 为保护层锈胀开裂的时间(a); t_c 为钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间(a); A 、 B 为特定条件下构件自钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂、钢筋开始锈蚀至混凝土表面出现可接受最大外观损伤的时间(a); H_c 、 H_f 、 H_d 、 H_T 、 H_{RH} 、 H_m 分别为保护层厚度、混凝土强度、钢筋直径、环境温度、环境湿度、局部环境对保护层锈胀开裂时间的影响系数; t_d 为混凝土表面出现可接受最大外观损伤的时间(a); t_{cl} 为钢筋开始锈蚀至混凝土表面出现可接受最大外观损伤的时间(a); F_c 、 F_f 、 F_d 、 F_T 、 F_{RH} 、 F_m 分别为保护层厚度、混凝土强度、钢筋直径、环境温度、环境湿度、局部环境对混凝土表面出现可接受最大外观损伤时间的影响系数。

码头结构构件剩余使用年限计算结果见表5。检测评估时集装箱码头已竣工后运行8年,估算的码头各类构件剩余使用年限均远大于42年,满足码头设计使用年限要求。

4 结语

长江下游某集装箱码头拟通过工程检测和设计论证后科学核定其靠泊能力,在保障安全的条件下,实现码头上浮1~2个靠泊等级进行减载靠泊,以充分利用码头资源。

根据现场检测和评估结果分析,集装箱码头设施基本齐全,主要构件大多完好,抽检的各参数达到设计要求,码头安全性评估等级为A级;码头使用性评估等级为A级,码头混凝土结构耐久性评定等级为B级。估算的码头结构

构件剩余使用年限满足码头设计使用年限要求。码头靠泊能力论证时可按设计参数进行必要校验,以确定码头靠泊等级,同时对检测中发现问题进行处理。

参考文献

- [1]交通运输部.沿海码头靠泊能力管理规定[S].北京:交通运输部水运局,2014.
- [2]黄卫兰,苏扬,陈灿明.等.高桩码头的现状检测与评估[C]//第十六届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集,北京:海洋出版社,2013:1005-1010.
- [3]陈灿明,黄卫兰,李瑜.等.福州港松下7万吨级散杂货码头现状检测与评估[J].水道港口,2015,36(06):561-566.
- [4]南京水利科学研究院实验中心.江阴港夏港港区3号码头现状调查与检测评估报告[R].南京:南京水利科学研究院实验中心,2014.
- [5]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.
- [6]水运工程混凝土结构实体检测技术规程:JTS 239—2015[S].人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [7]余波,毋铭,詹雷颖.混凝土中钢筋的腐蚀速率模型及电化学参数分析[J].混凝土,2015(08):20-25.
- [8]陈灿明,苏晓栋,何建新.等.高桩码头安全评估中桩身完整性检测比例的探讨[J].水道港口,2017,38(03):269-273.
- [9]港口水工建筑物检测与评估技术规范:JTJ302—2006[S].人民交通出版社,2007.
- [10]刘灵灵,王建涌.高桩码头安全性检测与评估实例分析[J].中国水运(下半月),2014,14(02):315-318.
- [11]龚伟杰,陶桂兰,周宇.高桩码头加固改造工程计算方法对比分析[J].水道港口,2016,37(03):279-283.
- [12]混凝土结构耐久性评定标准:CECS220:2007[S].中国建筑工业出版社,2007.
- [13]董雪焕,贡金鑫.港口工程混凝土结构基于规范标准的使用年限估算[J].中国港湾建设,2012(02):1-6.