



# 工程建设资料缺失的在役高桩码头结构 检测评估

廖德华, 潘新恩, 张建球, 李祖照

(广西交科集团有限公司, 广西 南宁 530007)

**摘要:** 针对工程建设资料缺失的在役高桩码头结构检测评估问题, 结合工程实例, 采用常规检测项目和基桩完整性检测与结构荷载试验等非常规检测项目相结合的方法, 查明码头结构现状性能和评定码头结构安全等级, 从而达到检测评估的目的。结果表明, 常规检测项目和非常规检测项目相结合的方法在在役高桩码头结构检测评估中的应用取得良好效果。建议在高桩码头交工检测、竣工检测和定期检测中增加结构静力荷载试验, 并对在役高桩码头进行基桩完整性核查。

**关键词:** 高桩码头; 检测评估; 基桩完整性检测; 结构静力荷载试验

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)07-0053-07

## Structural detection and evaluation of in-service high-piled wharf without engineering construction data

LIAO De-hua, PAN Xin-en, ZHANG Jian-qi, LI Zu-zhao

(Guangxi Transportation Science and Technology Group Co., Ltd., Nanning 530007, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of structural detection and evaluation of the in-service high-piled wharf without engineering construction data, we combine with the engineering examples, use the method of combining the routine test items with the non-routine test items such as the integrity test of foundation piles and the structural load test to find out the current structural performance of wharf and assess the structural safety grade of the wharf, and achieve the purpose of the detection and evaluation. The results show that the combination of routine and non-routine inspection items can achieve the good results in the structural detection and evaluation of the in-service high-piled wharf. It is suggested that the static load test should be added in the construction detection, completion detection, and regular detection of the high-piled wharf, and the integrity of foundation piles should be checked for the in-service high-piled wharf.

**Keywords:** high-piled wharf; detection and evaluation; pile integrity test; static load test of structure

高桩码头是常用的一种码头结构形式, 具有结构轻、波浪反射小、对水流影响小、适用大水位差、砂石料用量省、对软土地基适应性较强等优点, 在港口建设中被广泛应用。在实际使用过程中, 由于部分码头建设时间较早, 法律法规不

完善, 也有个别码头建设单位及施工单位未按工程建设程序, 在码头建设时工程资料不完善, 缺少相应的施工资料、过程质量检验和检测资料及交竣工验收相关资料, 导致工程基础建设手续不全、工程档案不完整甚至缺失等诸多问题, 不符

合现行的有关工程建设和验收的法律法规, 导致无法按规定要求进行交竣工验收。这类码头已建成投入使用多年, 为地方的经济建设和社会发展做出一定的贡献, 为解决此类码头使用过程中存在的安全问题并完善相关手续, 须进行相应的检测评估, 通过各种技术手段查明码头结构性能状况, 为码头后期的安全使用和管理部门的决策提供依据。

## 1 在役码头检测评估现状

在役码头检测评估技术基本上是随着码头管理和维护的实际需求而被动出现的, 基于其在社会效益和经济效益方面的重要意义, 得到码头科研、设计、施工和使用单位的普遍重视, 从而迅速发展<sup>[1]</sup>。国内外许多科研院所的学者、工程技术人员对在役码头检测评估方法展开研究<sup>[2-9]</sup>, 且取得一定成果; 交通运输部陆续发布了《港口码头结构安全性检测与评估指南》<sup>[10]</sup>和《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范》<sup>[11]</sup>等相关文件, 指导港口码头的结构检测评估工作。但上述研究及现行规范基本都是基于有完整工程建设资料的码头, 而对于工程建设资料缺失的在役码头, 如何准确检测评估码头结构现状性能方面的研究还比较少。

在役高桩码头结构物的检测与评估方法不同于新建码头的质量监督, 其工作性质、方式和方法存在很大的差异性, 也不局限于结合规范要求按照一定频率对结构物进行质量鉴定。对于这类码头, 为了查明在役码头结构性能, 根据结构使用情况和特点, 往往需要采用非常规手段, 增加相应的试验检测参数。

## 2 码头检测评估流程及内容

### 2.1 在役高桩码头结构检测评估的一般流程

通过总结已完工的在役高桩码头结构物工程检测评估经验, 针对工程建设资料缺失的在役高桩码头结构物工程检测评估特点, 得出此类型码头一般检测评估流程, 见图 1。

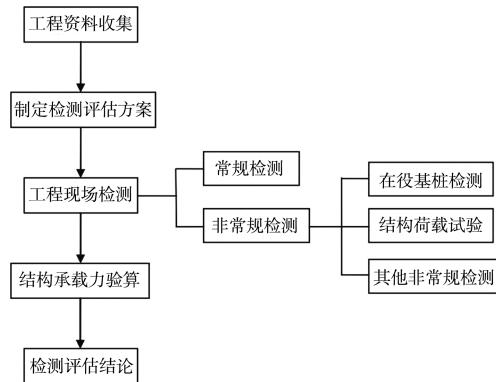


图 1 在役高桩码头结构检测评估一般流程

### 2.2 码头检测评估的主要内容

关于在役码头结构检测内容, 目前已经形成较为统一的认识, 即主要关注码头结构的外观破损状况、结构变形与变位情况、结构材料性能的劣化状况及环境状况。现行的《港口码头结构安全性检测与评估指南》将码头结构安全性检测参数具体划分为 11 大项共计 41 个检测参数。检测参数基本覆盖码头结构常规检测的各个方面, 但是对于工程建设资料缺失的在役高桩码头结构, 这些检测项目的检测结果还不能完全反映码头的实际结构性能。根据以往工作经验及工程特殊情况, 需要增加相应的检测参数和试验, 如基桩的完整性、基桩入岩深度、非隐蔽主要结构构件的外观尺寸、主要构件受力钢筋剔凿验证和结构整体静力荷载试验等, 以查明结构的实际性能。

本文以某工程建设资料缺失的在役高桩码头结构检测评估实例为依托, 介绍可查明码头结构现状性能的非常规检测手段, 为在役高桩码头结构的检测评估提供科学依据和借鉴。

## 3 工程实例分析

### 3.1 工程概况

某内河码头工程建设 4 个 1 000 吨级散货泊位, 为高桩梁板结构, 单个泊位直立式实体结构长度 31.2 m, 宽度 20.0 m, 各个泊位之间为长 27.2 m 的混凝土护坡结构。每个泊位顺岸均布置 4 榫排架, 排架间距均为 8.6 m, 从靠河侧至靠岸

侧依次为①~③列桩, ①和②列桩中心距为7.5 m, ②和③列桩中心距为8.5 m。码头顶面设计高程为110.0 m, 港池底高程为95.3 m; 基桩设计直径为1.8 m, 其中第2排桩设计底

高程为91.3 m, 入岩深度不小于3倍桩径。码头水工建筑物安全级别属于一般级别, 水工建筑物结构安全等级为二级。码头结构典型断面见图2。

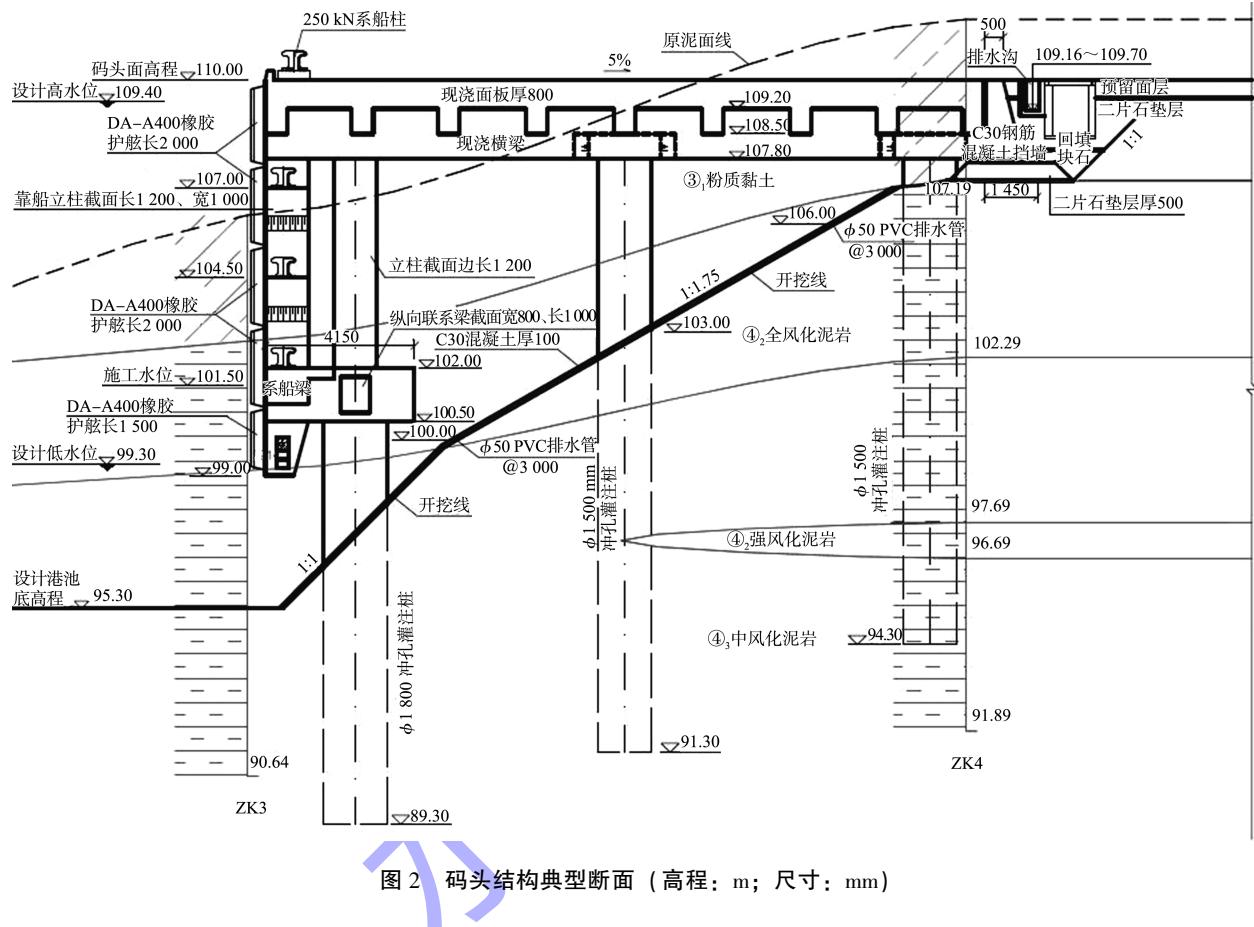


图2 码头结构典型断面 (高程: m; 尺寸: mm)

### 3.2 工程存在的主要问题

由于码头建设单位和施工单位未按工程建设程序, 导致码头建设资料不完善, 缺少相应的施工资料、质量检验检测资料等相关交竣工验收资料, 不符合现行的工程建设和验收的法律法规, 导致无法按规定要求进行交竣工验收。该码头只有施工图设计资料、工程地质勘察资料和基桩检测报告, 其中基桩检测报告的内容包括混凝土芯样抗压强度、桩身完整性(声波透射法)、基桩单桩承载力(抽样, 高应变法)。码头的其他交竣工资料、施工资料和其他试验检测资料缺失。

由于该工程自施工、建成至运营阶段的检测资料未能表明原材料及实体结构的质量情况, 且基桩结构质量与结构承载能力均不明。为保障码

头结构的运营安全, 结合本码头现状情况, 对码头进行结构检测评估, 为码头结构的安全使用提供参考和科学评价, 同时完善码头的检测资料, 服务码头的竣工验收。

### 3.3 常规检测项目

依据现行规范的规定, 本次码头实体质量检测的常规检测内容主要有: 结构水下外观检查、结构水上外观检查、混凝土强度、钢筋保护层厚度、碳化深度、钢筋锈蚀性状、码头结构整体变形与变位、码头附属设施检测, 接岸挡墙的外观病害、强度、钢筋保护层厚度、接岸挡墙变形与变位, 护坡混凝土病害及高程等检测项目。这些常规的检测项目按正常的检测方法和流程进行。常规检测项目检测结果符合现行规范要求, 未见异常, 检测结果见表1。

表 1 常规项目主要检测结果

检测项目	检测结果	设计或规范要求	结果判定
结构水下、水下外观检查	未见开裂、破损、露筋等病害	-	合格
混凝土强度	41.4~58.1 MPa	C40	满足规范要求
钢筋保护层厚度	43~65 mm	50 mm	合格率 86.2%
钢筋锈蚀性状(半电池电位)	-230~-60 mV	-	剔凿未见钢筋锈蚀
码头前沿线位置偏差	-32~-19 mm	±50 mm	合格
码头顶面高程	110.005~110.025 m	110.000 m	合格率 85%
接岸挡墙前沿线位移	-12~5 mm	±20 mm	合格
接岸挡墙顶高程	109.977~110.029 m	110.000 m	合格率 81.6%

### 3.4 非常规检测项目

#### 3.4.1 非隐蔽构件外观尺寸及构件间距符合性检测

采用钢尺对结构纵横梁、面板、立柱等码头主要构件的非隐蔽构件外观尺寸进行测量，同时测量构件间距，核查构件尺寸是否与原设计图纸一致，是否存在较大尺寸偏差和明显的偏心、偏位现象，避免因结构构件尺寸偏小而受力不均，进而影响码头结构安全。本工程所抽检的码头上部结构梁、板、柱尺寸与设计图纸相符，上部结构构件间距与设计图纸相符。

#### 3.4.2 主要构件受力钢筋剔凿验证

钢筋是钢筋混凝土结构的骨架，钢筋数量、尺寸大小等都影响结构的受力性能。采用钢筋定位仪检测主要受力构件的受力筋数量是否达到设计要求，同时对部分构件剔凿检测钢筋直径大小，检查结构主要受力构件的受力钢筋尺寸与设计尺寸是否存在明显偏差。必要时截取部分钢筋进行室内钢筋受力性能试验，检验钢筋的材料性能是否达标。本工程所抽检的码头主要构件受力钢筋的数量、钢筋直径大小与设计图纸相符，未见明显偏差。

#### 3.4.3 基桩完整性检测

高桩码头的基桩是码头结构受力的重要支撑，起到将上部荷载传递至基础的作用。基桩质量存在缺陷会对码头结构的整体安全性存在重大安全隐患。混凝土灌注桩的完整性，在水面以下可以通过潜水探摸进行外观病害检查，这需要具有丰富经验的潜水员完成；而泥面以下的基桩结构，常采用低应变反射波法进行检测。

通过采用潜水探摸法检查码头工程前排基桩

(水面以下泥面以上部分)表面完整性，未见开裂、破损、露筋等病害。同时所抽检的码头前排基桩水下部分直径大小也与设计文件相符，未见基桩缩颈现象。

常规的低应变反射波法检测是在灌注基桩施工完成后、桩帽等上部结构尚未施工时进行；而在役码头在其桩顶上有桩帽或其他构件，现场测试时，须在桩头切出一个传感器安放平台和敲击平台进行检测，这需要具有丰富经验的工程师进行数据判读。由于该码头第 1 排桩的桩帽和纵向联系梁交接处位于水中，不能满足检测需要；第 2 排桩的出土桩柱外形正常顺直，无异常变形；第 3 排桩几乎掩埋在土里，无检测作业面。因此选择在第 2 排桩的侧面进行低应变反射波法检测。

检测时在桩侧面切割出新鲜坚硬的测试平面，测点打磨平整，表面光滑干燥，涂抹黄油耦合，通过力锤进行击振，击振点位于测试桩顶面的面板顶部附近，测试现场如图 3 所示。



图 3 低应变检测法

根据现行的《水运工程地基基础试验检测技术规程》<sup>[12]</sup>对基桩低应变反射波法实测曲线特征进行整理、分析, 综合判定本次抽检的基桩桩身结构完整或基本完整, 满足规范要求。

### 3.4.4 基桩入岩深度推定

码头下部基桩是否达到设计长度以及是否入岩, 关系到码头结构整体的安全与稳定。而码头施工的资料和记录存疑不足以证明基桩入岩深度, 也无法准确判断基桩的长度是否达到设计桩长。现阶段基桩入岩深度检测最准确的方法为钻芯法, 但由于工程已完工投入使用且运营期作业繁忙, 在码头面钻芯穿透桩柱至桩底难度较大、费用高、

时间久且会严重影响码头的正常生产运营。因此, 决定利用低应变反射波的检测数据推算码头现有结构基桩长度, 判断所抽检的基桩是否入岩及是否达到设计桩长。

根据低应变反射波法的实测波速推定出第2排基桩原设计高程至桩底的长度范围为 19.60~23.89 m, 第2排基桩设计长度为 16.5 m, 故推定第2排基桩桩长已达到设计桩长, 且与码头施工阶段的基桩检测报告数据相吻合, 验证了码头施工阶段的基桩检测报告的准确性, 表明整个码头基桩桩长达到设计桩长。第2排基桩低应变反射波法检测的典型波形见图4。

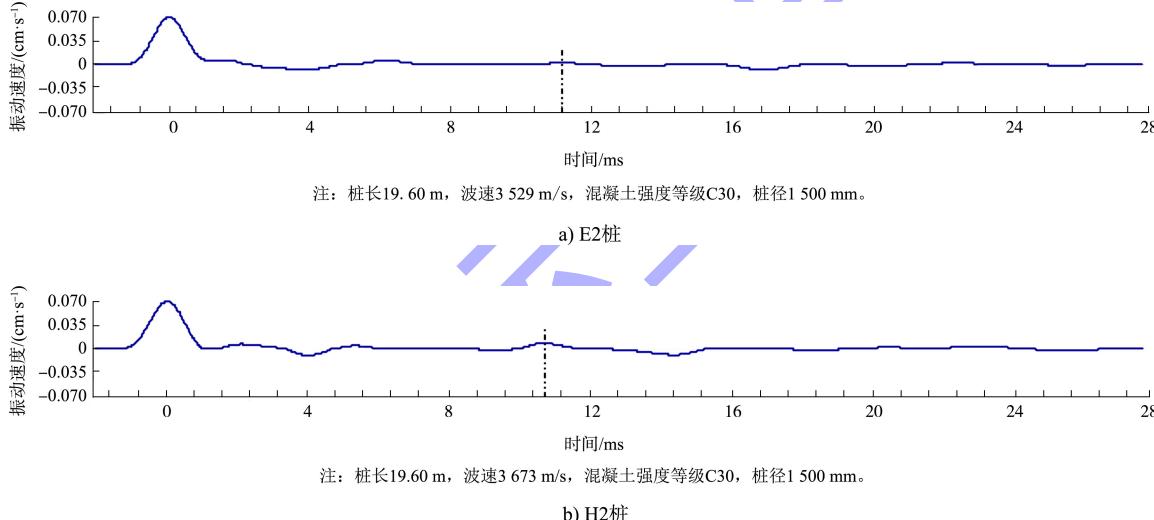


图4 低应变反射法检测第2排基桩的典型波形

### 3.4.5 码头结构荷载试验

结构荷载试验法是最直接、最直观的检测评估方法, 其评估结果最可靠。静力荷载试验测试的内容主要为结构的竖向变形和应变。梁是高桩码头的主要受力构件, 码头上几乎所有的荷载都是通过横梁和纵梁传递至基桩, 受力比较复杂。为确保码头安全稳定运行, 通过荷载试验判定码头的工作状态。码头静载试验测试内容为局部变形, 同时反映结构整体和局部受力现状, 以达到分析和推断结构实际工作状态的需求。通过数值模拟软件建立计算模型, 将码头荷载按最不利荷载组合等效转换成汽车轮胎荷载, 采用已称质量的汽车压在码头面指定位置进行加载。

由于码头实际承载能力未知, 为达到试验数据稳定和试验安全的目的, 对加载程序做如下安排:

- 1) 为检查仪器工作状态是否正常, 并使该码头进入正常工作状态, 在正式加载前进行预加载, 采用分级加载的第一级荷载或单辆试验车作为预加载。
- 2) 为保证试验安全, 避免过载引起码头损坏, 试验车辆将采取分级加载。事先计算出各工况下各级车辆引起测试截面的应变与挠度, 在这一级的试验车辆到位后, 测量相关的应变和挠度, 与计算值进行比较, 按弹性力学原理, 确认车辆产生的应力和挠度在正常的范围之内后, 再进行下

一级加载。

3) 在前一级加载阶段内结构反应相对稳定、进行有效测试及记录后方可进行下一级荷载加载。当进行主要控制截面最大内力(变形)加载试验时, 分级加载的稳定时间不少于 5 min; 对尚未投入运营的码头, 首个工况的分级加载稳定时间不少于 15 min。

根据各工况的加载分级, 对各加卸载过程结构控制点的应变(或变形)、薄弱部位的破损情况等进行观测分析, 并与理论值对比。当试验过程中发生下列情况之一时, 应停止加载, 在查清原因并采取措施后再确定是否进行试验: 1) 控制测

点应变值已达到或超过计算值; 2) 控制测点变形(或挠度)超过计算值; 3) 结构裂缝的长度、宽度或数量明显增加; 4) 实测变形分布规律异常; 5) 码头发出异响或发生其他异常情况。

码头静载试验的试验跨为 1#~3#泊位 3 轴横梁 BC 段、7#纵梁 2~3 轴段; 4#泊位 2 轴横梁 BC 段、7#纵梁 2~3 轴段。本次静载试验 1#~4#泊位共采用 3 辆 4 轴货车, 每个泊位各安排 2 个试验工况。码头静载试验工况及试验荷载见表 2。

码头静力荷载试验现场测试情况见图 5, 第 2 级终极荷载试验下的试验梁段截面挠度和应变结果见表 3。

表 2 码头静载试验工况及试验荷载

泊位	工况序号	试验工况	试验计算值/ (kN·m)	试验加载值/ (kN·m)	荷载效率 $\eta_q$	试验加载车数量/辆		荷载/kN	
						第 1 级	第 2 级	第 1 级	第 2 级
1#~3#	工况 1	3 轴横梁 BC 段 $A_1$ 截面最大正弯矩	661.8	659.1	0.996	2	3	1 026.5	1 537.6
	工况 2	7#纵梁 2~3 轴段 $B_1$ 截面最大正弯矩	197.2	194.3	0.985	1	2	522.4	1 026.5
4#	工况 1	2 轴横梁 BC 段 $A_1$ 截面最大正弯矩	558.1	540.4	0.968	2	3	679.2	1 015.9
	工况 2	7#纵梁 2~3 轴段 $B_1$ 截面最大正弯矩	191.9	192.1	1.000	1	2	333.1	679.2

注: 弯矩截面下缘受拉为正, 受压为负; 试验工况中所列截面和效应(弯矩)分别为该工况的控制截面、控制效应(弯矩)。



a) 加载试验



b) 测试采集

图 5 现场荷载试验

表 3 第 2 级荷载下试验梁段截面挠度和应变结果

泊位	A <sub>1</sub> 截面(正载)横梁			B <sub>1</sub> 截面(正载)纵梁			A <sub>1</sub> 截面(正载)横梁			B <sub>1</sub> 截面(正载)纵梁		
	实测弹性挠度平均值/mm	计算挠度平均值/mm	校验系数	实测弹性挠度平均值/mm	计算挠度平均值/mm	校验系数	实测弹性应变平均值/ $10^{-6}$	计算应变平均值/ $10^{-6}$	校验系数	实测弹性应变平均值/ $10^{-6}$	计算应变平均值/ $10^{-6}$	校验系数
1#	0.09	0.17	0.53	0.12	0.13	0.92	23	29	0.79	22	28	0.79
2#	0.08	0.17	0.47	0.10	0.13	0.77	19	29	0.66	24	28	0.86
3#	0.12	0.17	0.71	0.11	0.13	0.85	24	29	0.83	17	28	0.61
4#	0.10	0.17	0.59	0.10	0.13	0.77	18	22	0.82	20	27	0.74

试验过程中, 试验段构件未出现裂缝, 无异响发生。本次码头静力荷载试验结果表明: 在承载能力试验荷载作用下, 1#~4#泊位主测截面  $A_1$ 、

$B_1$  的应变和挠度校验系数均小于 1.0, 码头(1#泊位 3 轴横梁 BC 段、7#纵梁 2~3 轴段, 2#~4#泊位 2 轴横梁 BC 段、7#纵梁 2~3 轴段)的承载能力满足

《港口工程荷载规范》<sup>[13]</sup>规定的设计荷载正常使用的要求。

#### 4 结语

1)本文采用码头常规检测项目和非常规检测项目相结合的办法,查明了在役高桩码头结构的性能,保障了码头结构的使用安全。本码头结构安全性评估等级为A级,适用性评估等级为B级,耐久性评估等级为B级。

2)荷载试验法是最直接、最直观的检测评估承载能力的方法,由于其试验过程中通常会影响码头作业,现在较少采用,但其评估结果最准确可靠。现行的高桩码头结构检测内容尚未提及进行结构静力荷载试验,建议在高桩码头结构的交工检测、竣工检测和定期检测等工作中增加结构静力荷载试验,并对在役高桩码头进行基桩完整性核查。

3)在进行结构钢筋尺寸剔凿验证时,可截取部分钢筋进行室内拉伸试验以确定钢筋的材料性能是否符合标准,截取位置处的钢筋须及时补焊,并按要求恢复破损处截面。

4)采用低应变反射波法结合码头设计资料推定基桩是否达到设计桩长具有可行性和可操作性,但结果需要具有经验丰富的工程技术人员进行判读,最直观的检测方法仍是钻芯法。

#### 参考文献:

- [1] 马艳,赵利平,徐华.在役码头的现状、检测与评估[J].中国水运(理论版),2007(11):32-33.
- [2] 黄卫兰,苏扬,陈灿明,等.高桩码头的现状检测与评

估[C]//中国海洋工程学会.第十六届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下册).北京:海洋出版社,2013:199-204.

- [3] 秦网根,方海东,吉同元,等.在役高桩码头结构物的检测与评估[J].水运工程,2012(1):69-73.
- [4] 李沛,李东军.在役码头结构检测评估现状与展望[J].中国港湾建设,2019,39(8):71-75.
- [5] 时蓓玲,吴锋,孙穆.高桩码头结构承载力检测与评估方法[J].中国港湾建设,2009(1):1-2,44.
- [6] 吉同元,方海东,秦网根.老旧高桩码头安全性检测评估实例分析[J].水运工程,2011(12):83-86.
- [7] 杨仁浩.灾后高桩码头桩基础检测评估与修复加固[J].工程抗震与加固改造,2014,36(5):119-125.
- [8] 杨会来.高桩码头的检测与评估[D].重庆:重庆交通大学,2009.
- [9] 史青芬.高桩码头结构安全性评估[D].重庆:重庆交通大学,2010.
- [10] 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[S].北京:人民交通出版社,2010.
- [11] 交通运输部天津水运工程科学研究院,中交四航工程研究院有限公司.水运工程水工建筑物检测与评估技术规范:JTS 304—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
- [12] 中交天津港湾工程研究院有限公司,中交四航工程研究院有限公司.水运工程地基基础试验检测技术规程:JTS 237—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [13] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第二航务工程勘察设计院有限公司.港口工程荷载规范:JTS 144-1—2010[S].北京:人民交通出版社,2010.

(本文编辑 王璁)

#### 说明

2021年第6期颜志庆作者《“S”形急弯河段通航水流条件研究》一文补充基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401906)。