



通过实船靠泊试验探讨高桩码头 结构变形特性

方海东^{1,2}, 秦网根^{1,2}, 汤渭清³, 吉同元^{1,2}, 戴跃飞^{1,2}

(1. 江苏省交通规划设计院, 江苏南京211100; 2. 江苏省水运工程技术研究中心, 江苏南京211100;
3. 江苏省交通运输厅工程质量监督局, 江苏南京210001)

摘要: 船舶超设计靠泊能力作业现象时有发生, 存在较大的安全隐患。以某高桩码头实船靠泊试验为例, 进行码头结构靠泊能力测试分析和研究。详细介绍主要的测试内容和方法, 并对测试结果进行分析, 旨在探讨一种最直接最可靠的码头靠泊能力试验评估方法。

关键词: 高桩码头; 靠泊荷载; 应力; 转角

中图分类号: U 656.1¹

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0109-04

Research on deformation characteristics of high-pile pier structure by real ship berthing trials

FANG Hai-dong^{1,2}, QIN Wang-gen^{1,2}, TANG Wei-qing³, JI Tong-yuan^{1,2}, DAI Yue-fei^{1,2}

(1. Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211100, China;

2. Jiangsu Provincial Water Transport Research Center of Engineering Technology, Nanjing 211100, China;

3. The Bureau for Engineering Quality Monitoring, Jiangsu Province Communications Department, Nanjing 210001, China)

Abstract: There often exists that the ship berthing operation beyond design ship specifications, which has a great risk of safety. Taking the ship berthing of a high-pile pier as a study case, we carry out a test and analysis of the berthing capacity of wharf structures. This paper presents the test contents and method, and analyzes the test result, aiming at exploring a direct and reliable method for the test and evaluation of the wharf's berthing capacity.

Key words: high-piled wharf; berthing load; stress; corner

欲知所建高桩码头实际靠泊能力能否满足设计要求, 最可靠的方法是对高桩码头靠泊能力水平进行试验评估。通过对码头的靠泊能力进行现场试验, 可以确认在正常使用条件下, 高桩码头的实际靠泊能力是否安全可靠, 因此开展靠泊荷载作用下高桩码头结构变形特性的现场试验研究是非常必要的。目前国内外尚缺乏可靠的高桩码头靠泊能力的现场试验评估方法。基于此, 本文通过实船靠泊试验探讨高桩码头结构的变形特性, 对我国高桩码头实船靠泊评定技术的研究具有现场实践指导意义。

1 测试主要内容及方法

1.1 靠泊速度和角度

船舶靠泊码头时的靠泊力主要与船舶质量、靠泊速度、与码头的靠泊角度有关。靠泊荷载的计算一般采用能量公式法^[1], 即船舶靠泊时产生的有效撞击能量通过护舷和码头结构物的变形全部转化为外力所做的功。直接影响有效撞击能量计算的主要是船舶质量和靠泊速度, 而船舶的靠泊角度会对橡胶护舷的吸能量造成影响, 比如当橡胶护舷受斜向压缩时, 护舷的吸能量会降低。通过对实船靠泊过程进行定量实测, 从而得到船舶

收稿日期: 2012-07-27

作者简介: 方海东(1977—), 硕士, 高级工程师, 主要从事水运工程检测评估以及技术咨询等工作。

质量、靠泊速度和角度的准确值,为计算靠泊荷载、评判码头的安全性奠定基础。

现场速度和角度测试采用船舶自身配有的专用仪表进行实时跟踪,与此同时,为实时掌握船舶的靠泊速度变化过程,现场还可以利用激光测距仪来测试船舶靠泊过程中离岸的距离和时间变化,计算船舶靠泊速度。

1.2 橡胶护舷变形情况和作用时间

船舶靠泊过程中橡胶护舷受到外力作用,力学变形性能复杂,主要是压缩量与吸能量和反力的关系曲线,现场实船靠泊护舷的作用时间反映了这一过程变化。通过对橡胶护舷变形值的测量可以由相应的力学性能曲线得到靠泊荷载数值,然后根据根据吸能量查得的靠泊荷载数值进行对比验证。在这一过程中还可以求得有效动能系数 ρ 的准确值,然后根据码头水平承载力的设计值,可确定码头允许的不同吨位的船舶在不同靠泊角度情况下的最大靠泊速度。

橡胶护舷的测定拟采取大量程的位移传感器来进行测试^[3]。测前先将大位移计的测杆伸出码头护舷外一定长度并固定,当船体靠近码头时与测杆接触,传感器即将测杆的机械位移转换成电量的变化,并输入动态应变仪放大,通过示波器记录出整个靠泊过程中护舷的变形。

1.3 位移

船舶靠泊荷载作用下码头不同结构不同部位的位移变化情况测试,可预报码头整体稳定性和结构的安全性。通过船舶靠泊荷载作用可直接反应现场试验实测值,进而分析船舶靠泊过程中不同荷载作用下码头结构的变形特性。船舶靠泊过程中的位移测试拟采用拾振器测量其振动速度,然后通过微积分计算可得到码头的振动位移,其运算关系如下所示^[2]:

$$v = \frac{dx}{dt} = \int a dt \quad (1)$$

$$x = \int v dt = \iint a dt dt$$

式中: a , v , x 分别为水平向振动加速度、速度、位移。

结构物受靠泊荷载作用产生不同方向上的位

移,横梁的动位移测试通常采用拾振器,该仪器是一种加速度传感器,根据电磁感应原理制成。拾振器的磁钢和壳体相固连,并通过壳体安装在振动体上,与振动体一起振动;芯轴和线圈组成拾振器的系统质量,通过弹簧片(系统弹簧)与壳体连接。振动体振动时,系统质量与拾振器壳体之间发生相对位移,因此线圈与磁钢之间也发生相对运动。拾振器的电压输出(即感应电动势 E)与相对运动速度 v 成正比(图1)。



图1 拾振器及应变计现场布置

1.4 应力和弯矩

船舶靠泊过程中结构物本身的应力、应变会发生变化,将实测船舶靠泊过程中的应力值与结构计算得到的应力值进行分析、比较和验证,研究桩基在船舶靠泊过程中的受弯承载力变化情况,为结构强度与稳定验算提供参考和依据。弯矩的转化通过应变值进行,应变换算弯矩值方法如下^[2]:

$$M = \frac{E_c I \Delta \epsilon}{b_0} \quad (2)$$

$$\Delta \epsilon = \epsilon_+ - \epsilon_- \quad (3)$$

式中: ϵ_+ 为测试断面测点处拉应变; ϵ_- 为测试断面测点处压应变; $\Delta \epsilon$ 为该断面弯曲应变; E_c 为混凝土弹性模量(Pa); I 为全截面(包括钢筋换算截面)对中轴的惯性矩(m^4); b_0 为拉、压应变测点间距(m)。

应变计测量采用振弦式应变计与相应的专用仪器测试。所有的测试元件都具有可靠的标定数据。测试时在被测试外壁上贴电阻应变片,当船舶靠泊码头时,该点沿应变片方向产生应变 ϵ 时,应变片也随之变形,通过导线接入动态采集系统中,自动记录各测点在整个靠泊过程中的应变变

化曲线, 应变测试断面主要选靠泊过程应力响应较大的面, 必要时测出相邻断面的应变变化, 通过分析计算得出横梁在船舶靠泊时产生的最大动应力。横梁应变计布置见图1, 桩身应变计布置见图2。

弯矩的测试是采用应力转化, 测试方法与应变测试方法相同, 通过分析整个靠泊过程中的应变变化曲线, 计算截面处的应力, 根据结构物的几何形状和相邻段的应力值得出结构物对应截面处的弯矩值。

1.5 桩身转角

船舶靠泊过程中, 结构物受到水平荷载作用, 转角会产生微小的角度变化, 为克服桩身转角测试难的问题, 准确测出桩身转角, 拟采用硅微式倾角计, 测试靠泊力作用下桩身的转角变化。

为准确测出桩身转角测试参数, 采用国内自主研发的MI600系列型硅微式固定倾角计, 该仪器具有高防水性能、稳定性好, 灵敏度和精度较高, 不受温度影响。

倾角计的安装方法采用壁面悬挂安装, 将MI600原型传感器用膨胀螺钉通过厂商提供的高精度铝合金安装架固定于设计安装位置, 并按该支传感器原始资料的“0”点读数F值调整初始位置并锁定即可进行观测(图2)。

2 工程实例

某码头结构采用透空式高桩梁板结构, 码头长700 m, 宽30 m, 水工结构共11个分段, 试验针对码头第7分段进行测试。防护型橡胶护舷采用横向和竖向两种形式, 横向的为GD280型橡胶护舷, 竖向的为600H型橡胶护舷。船舶靠泊限速为0.18 m/s, 600H型橡胶护舷护舷的反力1 716 kN,

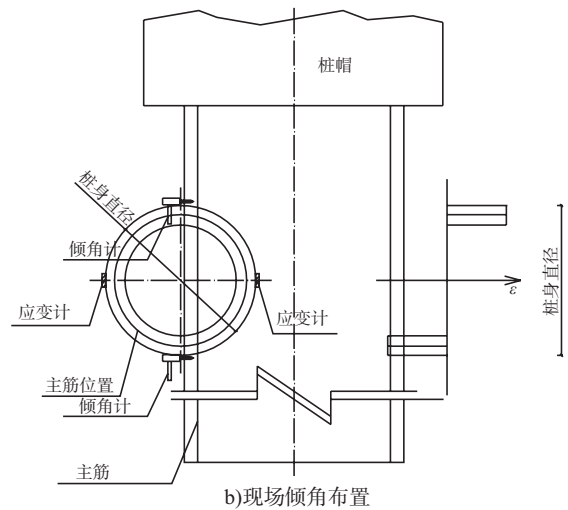
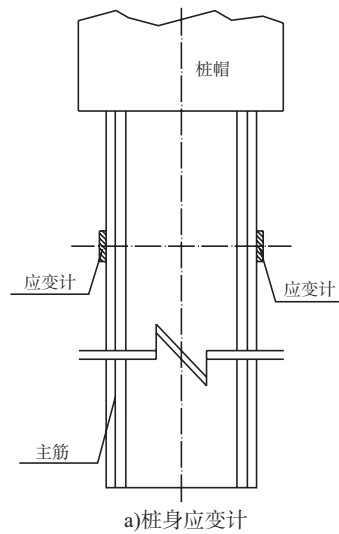
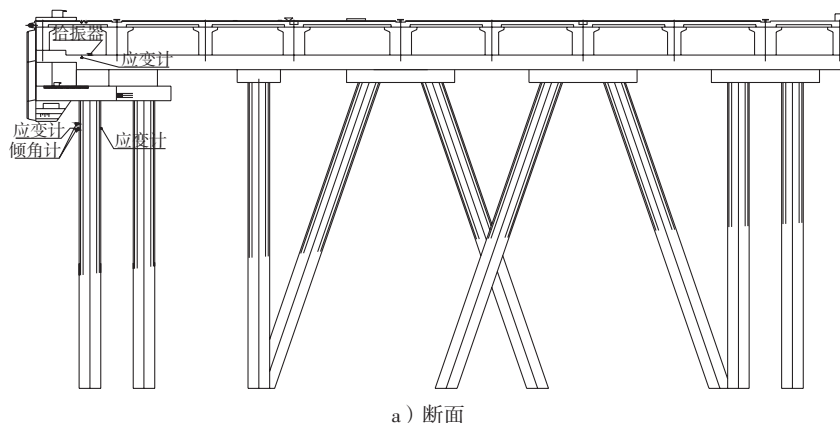


图2 桩身应变计和现场倾角计布置

为现场拟对载重量为4万t的实船靠泊进行测试, 根据结构段计算模型结果测试排架拟选择2#, 3#, 7#, 8#排架, 现场监测点的布置考虑到内力及变形关键特征点, 考虑到水位对布置点的影响, 具体测点布置及测试排架位置见图3。



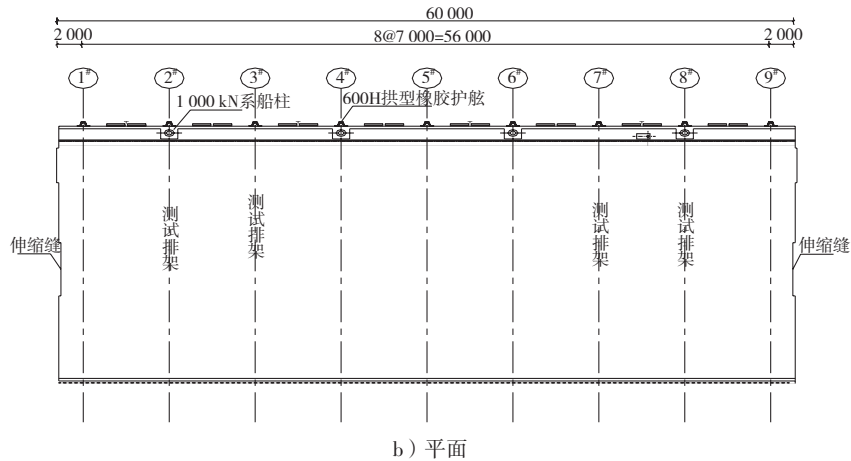


图3 码头结构断面布置及平面位置

2.1 船舶的速度和角度。

船舶在靠泊过程中船头附近最先接触码头7#排架，导航仪测读与7#排架前沿的角度近似2°，船速0.14 kn (=0.072 m/s)，远小于船舶设计靠泊限速0.18 m/s。

2.2 橡胶护舷的压缩变形。

结合现场靠泊情况，现场所测试橡胶护舷的变形量为134 mm。码头所采用护舷为600H超级拱形橡胶护舷，实测变形量为22.3%。查竣工资料护舷反力为410 kN/m，靠泊作用下护舷作用反力满足性能要求。

2.3 动位移测试结果。

现场在分段内2#，3#，7#，8#排架布置941型拾振器，通过拾振器测得横梁震动速度，一次积分算得位移，测得位移最大值发生在7#排架为139.2 μm，振动波形见图4。

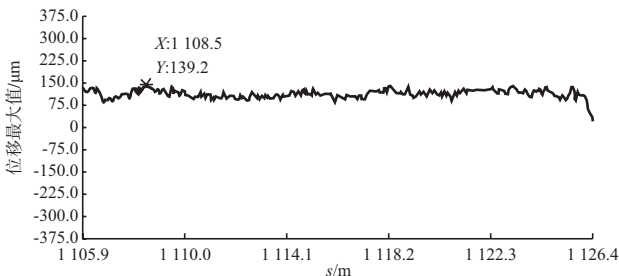


图4 位移测试波形

2.4 动应力测试结果。

现场对桩基、横梁的相应部位安装应变计，测试靠泊作用下各部位的动态应变变化，应力测

试结果见表1。

表1 动应力测试值

排架号	编号	应变 $\mu\epsilon$	弹性模量/GPa	应力/MPa
2#	1#桩身岸侧	-18.97	38.0	-0.72
	1#桩身江侧	0.49	38.0	0.02
	上游侧横梁	-0.65	30.0	-0.02
	下游侧横梁	0.89	30.0	0.03
3#	1#桩身岸侧	-15.89	38.0	-0.60
	1#桩身江侧	1.03	38.0	0.04
	上游侧横梁	-2.14	30.0	-0.06
	下游侧横梁	1.31	30.0	0.04
7#	1#桩身岸侧	20.13	38.0	0.76
	1#桩身江侧	-5.05	38.0	-0.19
	上游侧横梁	2.01	30.0	0.06
	下游侧横梁	8.16	30.0	0.24
8#	1#桩身江侧	-1.02	38.0	-0.04
	1#桩身岸侧	-7.32	38.0	-0.28
	上游侧横梁	-1.35	30.0	-0.04
	下游侧横梁	-4.78	30.0	-0.14

根据表1所示横梁最大动应力发生在7#排架下游侧横梁为0.24 MPa，桩身最大动应力发生在7#排架岸侧为0.76 MPa。

2.5 倾角测试结果。

码头桩基受船舶靠泊作用，会出现不同程度的转角变化，这种变化随时间呈现一种动态的变化过程，现场仪器安装调试后测试一数据作为测试零点，桩身倾角测试值分析在7#排架前沿第1#桩距桩顶1.0 m向岸侧转角值变化为186.042 7 s。

(下转第128页)