



中科炼化码头工程墩台上托力试验研究

陈自祥¹, 琚烈红², 张金刚³

(1. 中科炼化项目管理部, 广东湛江 524000;

2. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210024; 3. 河海大学, 江苏南京 210098)

摘要: 依托中科炼化离岸式码头工程, 通过波浪物理模型试验, 对码头桩基墩台底面压强和上托力进行研究。首先, 在不同墩台底面相对超高条件下, 分析了墩台底面波浪压强作用过程以及分布, 对作用的两种压强类型(冲击压强和缓变压强)进行探讨, 给出了墩台底面同步平均相对压强与墩台底面相对超高的变化关系。然后, 在不同墩台底面相对超高条件下, 分析了墩台上托力变化过程, 并将最大相对上托力与最大相对同步压强进行比较分析。最后, 将上托力试验结果与几种典型方法的计算结果进行比较。相关研究提供了深水离岸式码头的桩基墩台上托力计算依据, 可供类似工程借鉴。

关键词: 离岸式码头; 物理模型试验; 上托力; 压强

中图分类号: U 653.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0076-05

Physical model test of uplift wave force on pier of off-shore wharf engineering of ZKRP

CHEN Zi-xiang¹, JU Lie-hong², ZHANG Jin-gang³

(1. Department of Project Management of ZKRP, Zhanjiang 524000, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China; 3. Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the off-shore wharf engineering of the Zhongke Refinery & Petrochemical Company, the uplift wave-pressure and wave-force on pier on piles are researched by wave physical model tests. Firstly, the process and distribution of wave pressure on the undersurface of pier are analyzed under different conditions of relative ultrahigh (height between pier and water surface), the two different types of pressure (pressure of impact and pressure of wave) are discussed, and the relationship between the relative synchronous pressure on the undersurface of pier and relative ultrahigh is proposed. Secondly, the process of uplift wave force on pier is analyzed under different conditions of relative ultrahigh, and is compared with relative pressure. At last, the result of different computing methods of relative uplift wave force on pier is compared with the result of physical model test. The research provides reference about uplift wave force on pier for other off-shore wharf engineering.

Key words: off-shore wharf engineering; physical model tests; uplift wave force; wave pressure

1 概述

中科合资广东炼化一体化项目由中国石油化工股份有限公司与科威特石油欧洲有限公司共同组建新的合资公司投资建设, 项目位于湛江市东海岛。

工程码头均采用蝶形布置, 码头系缆墩和靠船墩采用桩基墩台式结构。在工程设计中发现,

码头的波浪上托力直接影响到对拔桩力, 而相关计算方法差别较大, 另外工程所在海域水深大, 出于工程安全的需要, 需对墩台上托力进行研究。

对于码头面板上托压强的研究, 国内较早的是过达^[1], 他发现当波浪接触到面板时, 会有一个峰值较大而作用时间极短的尖峰脉冲压强, 这个尖峰脉冲的时间一般为周期的1/50~1/100, 并指出

收稿日期: 2013-05-27

作者简介: 陈自祥(1971—)男, 硕士, 工程师, 从事码头建设工程。

行进波的最大压强发生在板底超高为 $0.15H\sim 0.2H$ 时。周益人等^[2]通过波浪物理模型试验研究,认为波浪接触面板是一种冲击现象,最大冲击压强除了与板底超高有关外,还与波浪条件和板宽有关,参照了楔型物体冲击水面的研究成果,提出了一种上托压强的计算方法。孟艳秋等^[3]依据其他学者关于结构受力的研究成果,认为作用时间很短的冲击压力对海岸工程建筑物的作用机理不同,破坏不大,在设计中作用时间长的缓变压强更值得关注,并进一步提出了计算公式,被新版《海港水文规范》采用。

关于高桩码头结构上托力相关的计算公式较多,这里列出有代表性的有3种:日本著名学者合田良实提出的计算方法^[4];我国《海港工程设计手册》^[5]提出的计算方法,这种方法又被称为压制波高理论;我国最近出版的JTS 145-2—2013《海港水文规范》^[6]也首次列出了计算方法,这主要来自周益人、陈国平等的研究成果。

以往关于上托力的研究,基本上都是从面板压强方面入手,通过面板压强来分析结构上托力,很多方法都是在板底超高较大时与实际情况接近,而当板底处于淹没状态时,计算值太大,这为工程应用造成了麻烦。本文通过物理模型试验,测量不同水位(不同墩台底部超高)下墩台上托总力及底面波浪压强,分析压强过程和压强分布,并与上托总力比较。同时,将试验结果与已有公式的计算结果进行对比。

2 物理模型试验

2.1 工程条件

试验依托中科炼化码头工程,工程设计水位和50 a一遇波浪要素见表1(大黄江最低理论潮面起算)。另外为研究不同墩台底部超高对上托力影响,在极端高水位和设计高水位的基础上,还补充了3个水位。

上托力试验针对码头系缆墩进行,系缆墩平面布置和立面结构见图1。

2.2 试验方法

试验在长50 m,宽17.5 m,高1.2 m的波浪港池中

表1 各试验水位对应墩台底面超高

水位	水位/m	$H_{1\%}/m$	T_m/s	$\Delta h/m$	η/m	$\Delta h/\eta$
极端高水位	6.36	4.5	6.5	-2.36	2.51	-0.94
补充水位①	5.00	4.3	6.3	-1.00	2.40	-0.42
设计高水位	3.96	4.1	6.2	-0.04	2.29	0.02
补充水位②	3.00	3.8	6.0	-1.00	2.12	0.47
补充水位③	2.00	3.8	6.0	-2.00	2.13	0.94

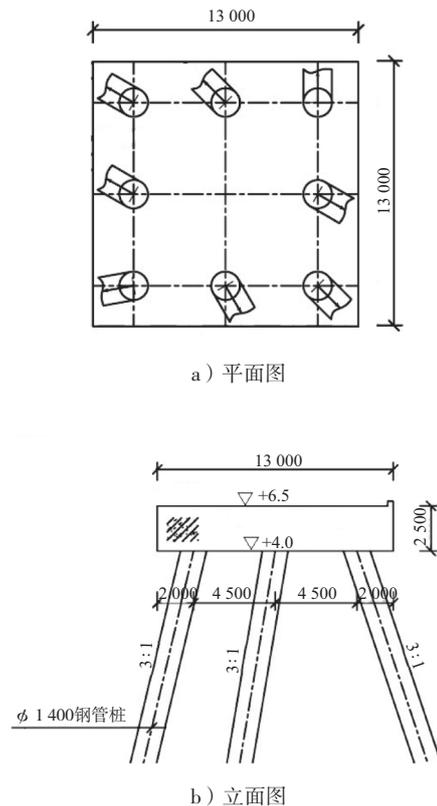


图1 码头系缆墩结构

进行,一端设置消浪缓坡,另一端配有美国MTS公司生产的不规则波造波机,由计算机控制,产生试验所要求的波浪要素。波高测量采用电容式波高仪;总力和点压强分别采用南京水利科学研究院研制的总力传感器和压强传感器测量,并通过研制的数据采集系统,对测量数据进行实时采集和存储。

试验按照Froude数相似律进行设计,模型几何比尺取为1:35。波浪按重力相似准则模拟,不规则波波谱取JONSWAP谱。

在进行波浪压强测量时,将压强传感器安装到码头墩台下底面上,共布置了25个压强传感器同步进行压强测量。传感器共分成5排,各排之间等间距分布。波浪压强测点布置见图2。在分析墩

台底面波浪各排压强分布时，将每一排所有压强测点压强同步相加后平均；在分析底面平均压强时，将各排压强同步相加后平均。

在进行波浪总力测量时，首先将总力传感器安装到码头墩台上，然后将总力传感器另外一端连接到固定基座上。波浪总力测点布置见图3，其中1#~3#为上托总力传感器。在进行上托总力分析时，将所有测点同步相加后进行。

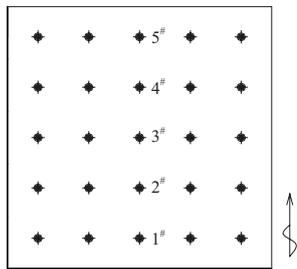


图2 墩台底面压强测点布置

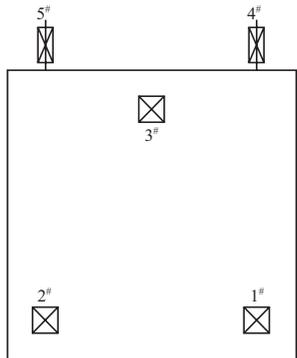


图3 墩台上托力测点布置

3 试验结果分析

3.1 墩台底部波浪压强

首先分析墩台底部波浪压强试验结果。在分析墩台底面压强时，先给出不同墩台底面相对超高 ($\Delta h/\eta$) 情况下的压强作用过程，研究其与整个底面同步平均压强的关系，再分析其最大值在底面的分布，最后研究整个底面同步平均压强随相对超高的变化规律。

1) 试验表明：在不同墩台底面相对超高下，波浪对墩台底部的压强作用过程和特性是不同的，当墩台底面相对超高分别为-0.94, -0.42, 0.02, 0.47, 0.94时，墩台底面沿波浪传播方向各测点压强和总的同步平均压强过程见图4。

当墩台底面相对超高为-0.94时，墩台底部处

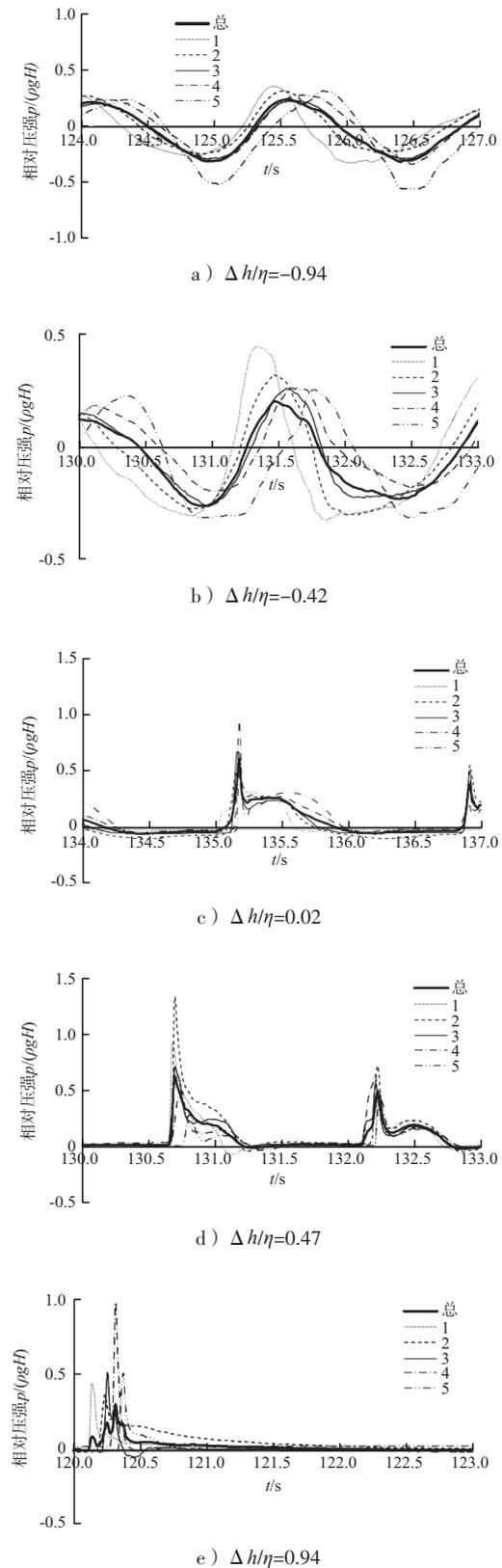


图4 不同底面相对超高压强过程

于淹没状态，墩台底面各测点及其平均压强过程都有明显的波形，且正值和负值相当。由于各测点位置在波浪传播方向上的先后次序，各测点的

压强过程也表现出一定的相位差, 其最大压强差别不大。总的同步平均压强与3#测点最同步, 这也表明了当波峰作用到墩台底部中间时上托力最大。

墩台底面相对超高为-0.42时, 其底部压强过程与相对超高为-0.94时类似。

当墩台底面相对超高为0.02时, 此时墩台底部位于静水位附近, 试验表明, 各测点已无明显负值压强, 正压强过程也不是单一波的形态, 表现出一个时间极短、峰值极大的冲击压强和一个有波型且峰值较小的缓变压强。压强过程中的冲击压强发生时, 各测点最大值存在时间差, 但比波浪的相位差要小得多; 压强过程中的缓变压强仍有明显的相位差。这说明, 当墩台底面超高由负变正并逐渐增大时, 墩台底部波浪压强过程实际上包含两种不同性质的压强, 一种是波浪运动时水体冲击静止墩台底面而形成的压强, 另外一部分为波浪水体冲击完成后继续传播的波浪压强。

当墩台底面相对超高增大到0.47时, 其底面压强形态与相对超高为0.02时类似, 只是此时冲击压强占压强过程的主要部分, 同时底面最大压强的出现位置位于底面前部, 峰值不断增大。

当墩台底面相对超高为0.94时, 此时只有个别较大波浪能作用到墩台底面, 墩台底面只有冲击压强形态。

2) 在不同墩台底面相对超高下, 各测点最大相对压强 $p/(\rho gH)$ 沿波浪传播方向的分布见图5。当相对超高为负值时, 各测点最大相对压强分布较均匀, 而当相对超高由负变正时, 最大相对压强出现在墩台底部中间, 随着相对超高增大, 最大压强位置向墩台底面前侧移动, 当超高增大到0.94时, 只有大波能作用到墩台底面, 墩台底面最大压强出现的位置变得具有随机性。

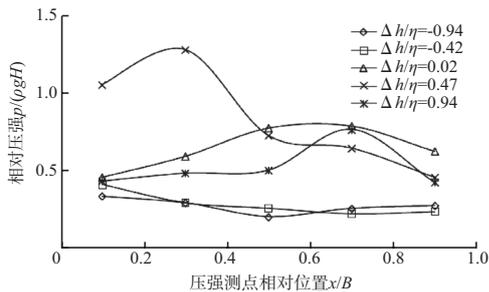


图5 不同相对超高 $\Delta h/\eta$ 时墩台底面最大相对压强分布

3) 墩台底面最大相对压强 $p/(\rho gH)$ 大小与墩台底面的相对超高 $\Delta h/\eta$ 的变化关系见图6。总体上, 各测点最大相对压强及同步平均相对压强最大值都出现在相对超高为0.02~0.47。当墩台底面相对超高为负时, 各点最大相对压强与各点同步平均最大相对压强接近, 而当相对超高由负变正并逐渐增大时, 此时由于冲击压强的影响逐渐显著, 各点同步平均最大相对压强则开始小于各点最大压强。同步平均相对压强最大值要小于各点最大相对压强, 主要是因为冲击压强最大值发生时各点不同步, 并随时间急剧减小, 各点同步平均后要比各测点的最大值小得多。

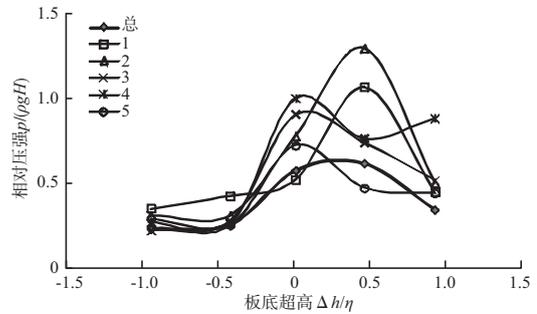
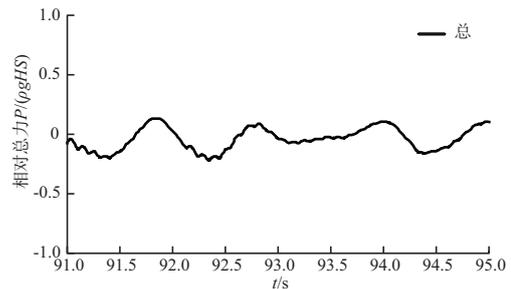


图6 墩台底面最大相对压强 $p/(\rho gH)$ 与相对超高 $\Delta h/\eta$ 的变化关系

3.2 墩台上托总力

在墩台底面不同相对超高条件下, 波浪作用下的墩台上托力过程见图7。当相对超高为负值时, 墩台上托力变化过程也表现为波形形态; 当相对超高由负变正时, 上托力正值明显大于负值, 此时上托力中含有冲击的形态; 而当相对超高为0.47时, 此时波浪对墩台的冲击特性更为明显; 而当相对板底超高 $\Delta h/\eta$ 为0.94时, 波浪对墩台的上托力仍为冲击形态, 但此时值已很小。这些特性与压强试验结果一致。

与个别测点压强的冲击相比, 总力的冲击要



a) $\Delta h/\eta = -0.94$

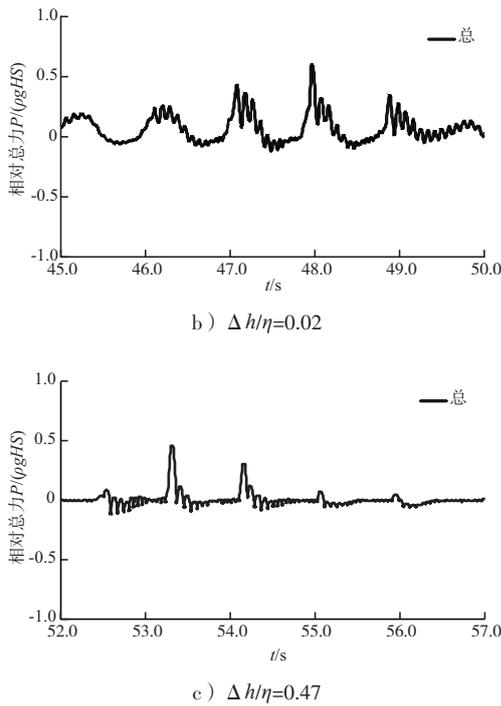


图7 不同相对超高时上托总力过程

小，其相对值与同步平均压强相对值接近。

在墩台底面不同相对超高 ($\Delta h/\eta$) 条件下，墩台最大相对上托总力 $P/(\rho gHS)$ 和相同条件下的墩台最大同步相对压强 $p/(\rho gH)$ 比较见图8。当相对超高为负值时，墩台最大相对总力和对应的墩台最大相对压强结果比较接近，在当墩台底部相对超高 $\Delta h/\eta$ 为-0.94时相对压强略大于相对总力，这主要是因为此时墩台处于淹没状态，墩台顶部也有一定压强作用，抵消了部分上托压强。当相对超高为0.42时，墩台最大同步相对压强比最大相对总力结果大，这主要是因为此时冲击作用为最大压强的主要因素，而冲击作用对应总力的增大受到结构自身响应的影响，以及冲击过程的瞬时特性，造成了最大相对上托总力比最大同步相对压强小，而冲击作用也使总力过程线出现小波动。

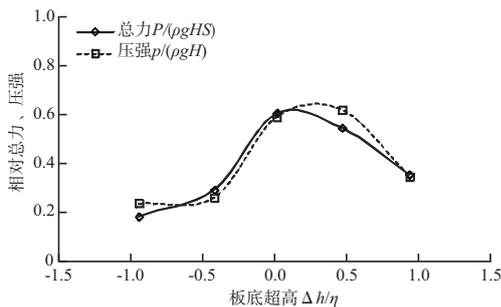


图8 墩台底面最大同步相对压强与相对总力的关系

4 与几种计算方法比较

针对本次试验条件下的墩台结构底面冲击压强和上托力，分别采用合田良实方法、《海港设计手册》方法、《海港水文规范》方法进行计算，并进行对比，见图9和图10。其中，最大压强的试验值为各组次中1[#]~5[#]测点的最大值。

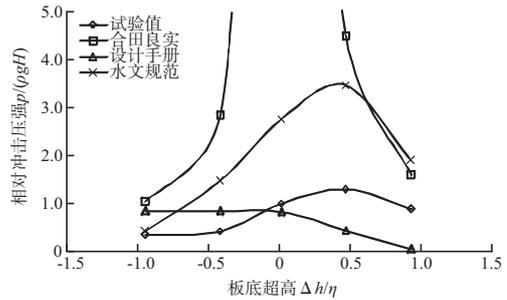


图9 墩台最大压强试验值与计算结果比较

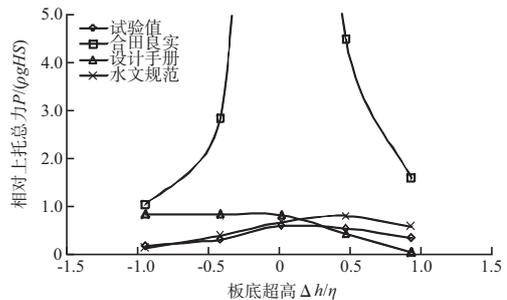


图10 墩台上托力试验值与计算结果比较

从比较结果可见，各种计算方法中，以《海港水文规范》的方法与试验结果趋势最为接近，其中规范压强的计算结果比试验值大，总力的计算结果与试验值吻合得很好。《海港设计手册》的方法在超高接近零时计算结果与试验值接近（超高为负时取零），但在超高为正时计算结果偏小，其最大值计算结果偏小。合田良实的计算方法为冲击压强的计算方法，适用于 $\Delta h_0/H > 0.5$ 条件下（此时与《海港设计手册》计算结果接近），但比试验值大。

5 结论

1) 当墩台底面相对超高由负变正并不断增大时，墩台底部压强实际上包含两种不同特性的压强，除了超高为负时就已有的一种随波浪周期变化、峰值相对较小的压强外，还出现一种作用时间极短、峰值极大、随时间急剧减小的冲击压强。

(下转第107页)