

波流作用下单桩结构局部冲刷试验研究

吴跃亮¹, 方海鹏¹, 张 磊²

(1. 上海临港海上风力发电有限公司, 上海 200021;

2. 南京水利科学研究院河流海岸研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 单桩结构引起的局部冲刷不能忽视, 需要对单桩结构的冲刷规律进行研究。本文利用系列模型延伸法进行波流作用下单桩局部冲刷试验研究, 流态发现波流共同作用时, 在单桩结构处形成“漩涡状圆环”褶皱, 绕过单桩结构后, 圆环向两侧发散。局部冲刷试验表明冲刷形态与动力特征一致。极端高水位条件下, 最大冲刷深度为 5.10m, 冲刷深度 -2.00m 以上范围最远在单桩中心约 6.50m 半径周围, 横向约 12.00m, 纵向约 9.00m。

关键词: 波流; 单桩; 局部冲刷; 系列模型; 试验; 最大冲刷深度

中图分类号: TV871 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7839 (2016) 10-0014-04

Experimental study on local scour of single pile under the wave and current

WU Yueliang¹, FANG Haipeng¹, ZHANG Lei²

(1. Shanghai Lingang Offshore Wind Power Generation Co., Ltd., Shanghai 200021, China;

2. River Harbor Engineering Department of NHRI, Nanjing 210029, Jiangsu)

Abstract: The local scour caused by single pile structure cannot be neglected, so it is necessary to study the scour law of single pile structure. In this paper, a series of model extension method was used to study the local scouring of single pile under the action of wave and current. When the interaction of flow and wave was found, the "swirl ring" folds were formed at the single pile structure, diverging to both sides. Local scour experiment shows that erosion forms in accordance with dynamic characteristics. At extreme high water level, the maximum scour depth is 5.10m, the scour depth is -2.00m, the farthest is about 6.50m in the center of the pile, about 12.00m in the horizontal direction and about 9.00m in the longitudinal direction.

Key words: wave flow; single pile; local scour; series model; test; maximum scour depth

波浪和水流作为近岸主要两种海洋动力对海岸工程的影响很大, 更是海洋建筑物局部冲刷的主要影响因素。国内外已经对水流作用下局部冲刷进行了很多研究^[1-3], 这些研究揭示了水流对建筑物冲刷主要是各种漩涡起作用。波浪作用下结构物冲刷研究表明^[4-5], 建筑物结构形式、尺寸影响冲刷形态, 波浪冲刷深度不是很大。

波流共同作用下局部冲刷研究, 因涉及波浪和水流两种动力组合问题及建筑物的形状差异, 冲刷研究比较复杂, Eadie 和 Herbich 的研究认为^[6], 波浪与水流共同作用和水流单独作用建筑物冲刷形态大致相同, 建筑物尺寸小时, 波浪作用是辅助冲刷, 并非冲刷主要动力, 其冲深比单独水流的冲深值略大。祁一鸣^[7]通过物理模型

收稿日期: 2016-09-01

基金项目: 上海市科学技术委员会资助项目 (13dz1202201)

作者简介: 吴跃亮 (1981-), 男, 本科, 工程师, 研究方向为风力发电。

对潮流、波浪作用下局部冲刷进行过研究, 认为波流作用比单纯水流作用冲刷增加约 1 倍左右。曲立清等对大型桥墩研究表明^[8-9], 波浪和水流两种动力组合不能简单的迭加。

本文所研究的建筑物为单桩结构, 埋入土中为圆柱形状, 直径为 6.00m, 水中部分采用上细下粗的圆柱形状, 上部最细处直径为 4.70m, 图 1 为单桩结构尺寸图。该圆柱建筑物属规则结构, 尺寸大小适中, 在当地波流条件下的冲刷问题不容忽视。鉴于波流作用的复杂性, 本文通过正态系列物理模型对波流作用时单桩局部冲刷问题进行了试验研究。

海平面为 0.23m, 极端高水位为 3.87 m。

海域潮流运动的基本形态为每天二涨二落, 潮波以前进波为主的变态潮波, 具有明显的旋转流特性。实测涨潮流速垂线最大为 1.34m/s, 大潮落潮流速垂线最大为 1.38m/s。

工程区处波浪一般较大, 强浪向在 NE ~ S 向, 其中 NE 向最大, 极端高水位条件, 50 年一遇平均波高 3.90m, 波周期 9.51s。

2 物理模型及模型沙

2.1 局部冲刷模型设计

根据以往系列模型对冲刷的研究经验^[10-11],

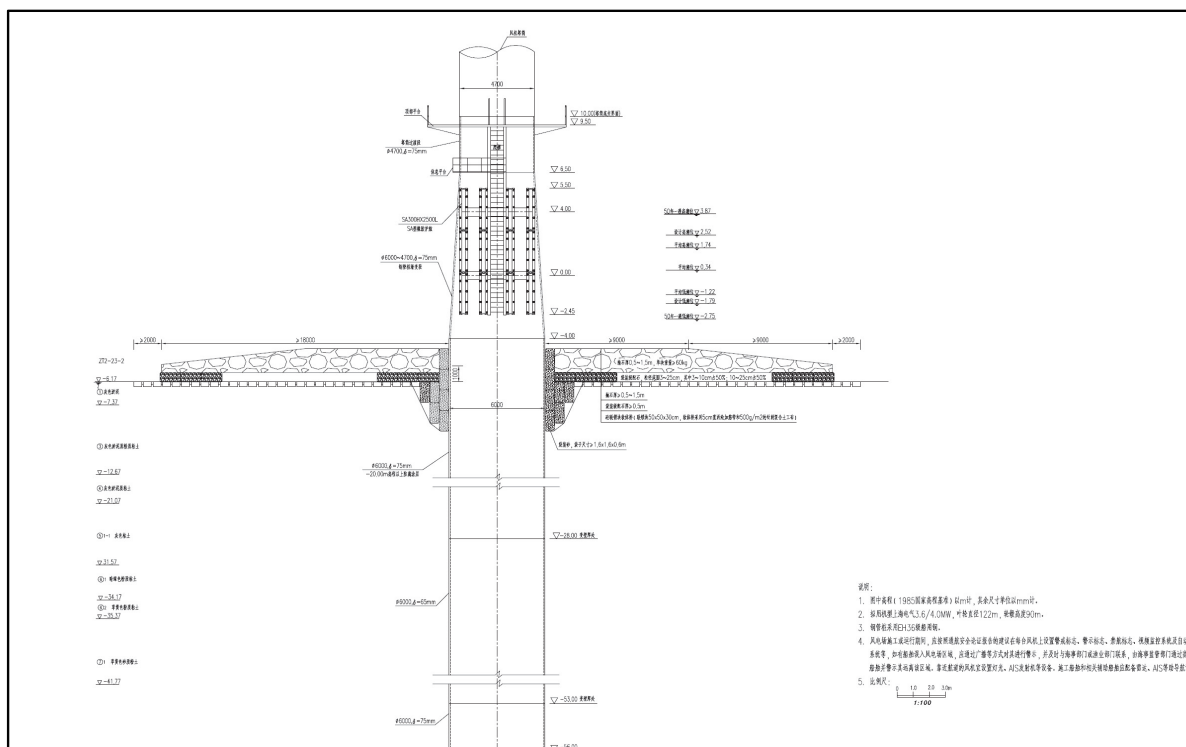


图 1 基础结构尺寸

1 海域条件

圆柱建筑物厂址位于长江口南港支航道南侧, 工程位置见图 2。因受长江水流带来泥沙淤积的影响, 滩面表层主要为淤泥, 海底滩面高程在 -5.00 ~ -7.20m (85 高程系, 下同), 海底地势较平缓。此工程区属三角洲前缘边滩地貌类型, 基岩埋藏深, 属于构造稳定区。

本海域的潮汐主要受东海前进潮波控制, 以 M_2 分潮起支配作用, 潮型为非正规半日潮。平均

继续采用系列模型进行局部研究, 波流共同作用与单独水流作用系列模型理论一致。主要满足水流和波浪运动相似, 水流和波浪泥沙起动相似。

模型水流主要应满足惯性力重力比相似, 即 $\lambda_v = \lambda_h^{1/2}$, 按水流相似条件 $\lambda_v = \lambda_h^{1/2}$ 设计模型。系列模型中冲刷深度公式为:

$$h_p = \lambda_h \lambda_m \left(\frac{\lambda_{h0}}{\lambda_h} \right)^n$$

冲刷公式中:

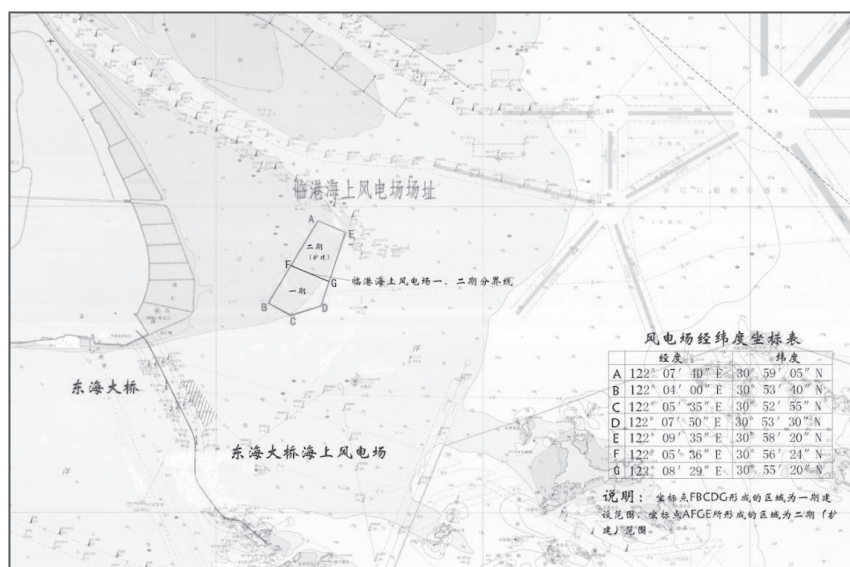


图2 工程位置示意图

$$n = \frac{(\lg h_{m2} \lambda_{h2} - \lg h_{m1} \lambda_{h1})}{(\lg \lambda_{h2} - \lg \lambda_{h1})}$$

式中：

λ_{h0} —符合相似理论的模型几何比尺；

λ_h —系列模型试验时最终进行的几何比尺。

模型波浪试验，必须使模型中的波浪传播速度及水质点运动、波浪折射及波浪破碎等波况与原型相似，满足上述条件相似的比尺分别为：

$$\text{波速相似 } \lambda_c = \lambda_h^{1/2} = \lambda_l^{1/2};$$

$$\text{波周期相似 } \lambda_c = \lambda_h^{1/2} = \lambda_l^{1/2};$$

$$\text{水质点运动相似 } \lambda_u = \lambda_v = \lambda_h^{1/2} = \lambda_l^{1/2};$$

$$\text{波浪折射相似 } \lambda_h = \lambda_l;$$

$$\text{波浪破碎相似 } \lambda_H = \lambda_h = \lambda_l.$$

采用正态模型，即可保证波浪、潮流运动相似。

模型水流、波浪泥沙起动相似按 $\lambda_{vc} = \lambda_v$ 来计算符合相似条件的模型比尺 λ_{h0} 。

根据泥沙起动流速公式^[11]：

$$v = 1.51 \sqrt{(s-1)gd} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6}$$

和波浪作用下泥沙起动波高^[12]：

$$H_* = 0.12 \left(\frac{l}{d} \right)^{1/3}$$

$$\sqrt{\frac{1sh2kd}{\pi g} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gD + \beta \frac{\varepsilon_K}{D} \right)}$$

运动相似式可得模型几何比尺与泥沙特性

$$\text{的关系： } \lambda_{h0} = \lambda_d \lambda_s^{3/2}$$

2.2 冲刷模型沙

根据研究目的及笔者经验，底沙模型一般有煤粉、木屑等供选择。考虑波浪作用，最终选用煤粉作模型沙，煤粉 $\gamma_s = 1.35 \text{ t/m}^3$ ，如煤粉中值粒径选 $d_{50} = 0.25 \text{ mm}$ ，计算得到 $\lambda_{h0} = 36$ 。考虑模型实际条件及水泵条件，系列模型比尺取 50、70、90 三种。

3 试验分析

3.1 波流形态

图3为波流作用下单桩周围水面流态。波流共同作用时，随着波浪传播，在基础结构处形成“漩涡状圆环”褶皱，绕过基础结构后，圆环向两侧发散。这与在单纯水流作用下形成的侧向绕流马蹄形旋涡和尾流旋涡形态有所变化。

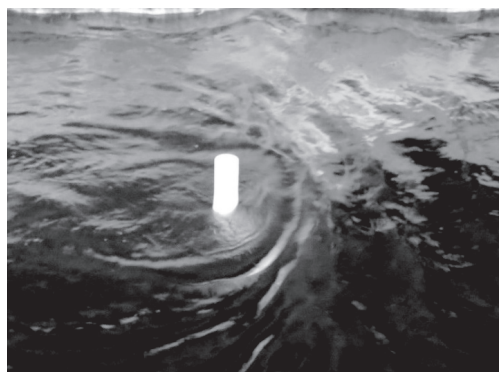


图3 水面流态

3.2 最大冲深

模型中冲刷深度换算方式有两种, 第一种方法是根据模型试验在图上进行延伸, 第二种方法是根据冲刷公式计算, 通过试验得到模型最大冲刷深度与比尺关系, 见图 4, 极端潮位条件下各比尺冲刷深度走向相同, 表明该水位条件及波流共同作用时, 影响单桩冲刷的因素其规律是一致的。

单桩不同水位条件最大冲刷深度, 根据公式计算结果见表 1。50、70、90 各比尺模型最大冲刷深度换算到原型后, 冲刷深度基本接近。极端水位条件下冲刷深度最大, 为 5.10m。

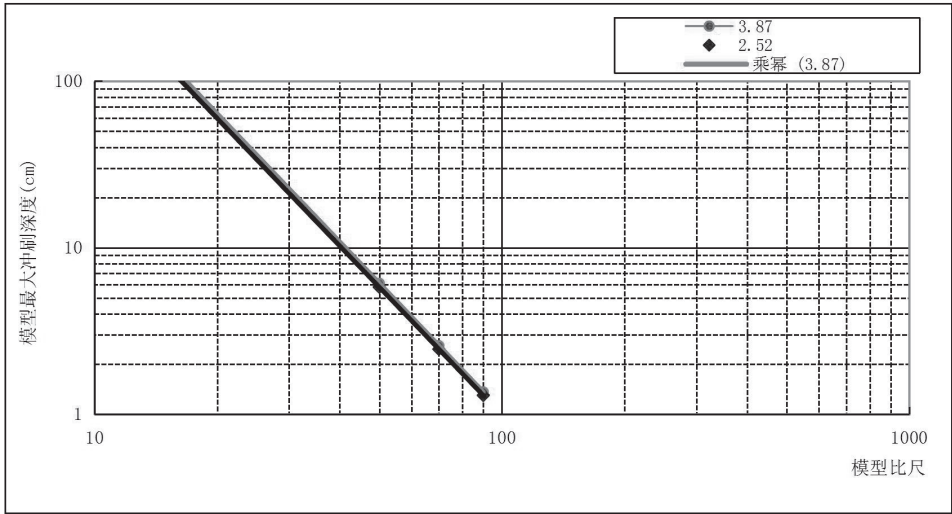


图 4 冲刷深度与模型比尺关系

表 1 最大冲刷深度计算结果					
潮位	深度换算	模型比尺			平均值
		50	70	90	
设计	模型冲深 h_m (cm)	5.80	2.46	1.30	
高潮位	换算至原型冲深 h_p (m)	4.81	4.79	4.80	4.80
极端	模型冲深 h_m (cm)	6.11	2.58	1.36	
高潮位	换算至原型冲深 h_p (m)	5.10	5.10	5.11	5.10

3.3 冲刷平面分布

图 5 为在波流作用下极端潮位情况下冲刷形态等值线图及其照片。图 6 为在波流作用下设计高潮位情况下冲刷形态等值线图及其照片。

冲刷形态显示在波流共同作用下, 单桩冲刷坑主要在单桩四周, 背流、浪面地带冲刷略小于桩前面及两侧, 整个冲刷形状似“勺”。单桩背水面的中轴线上附近为淤积区。冲刷最深处一般在单桩结构两侧, 紧贴桩基。

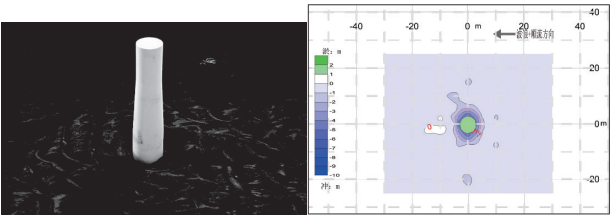


图 5 极端高潮位时基础结构局部冲刷照片及冲刷形态等值线图

极端高水位条件下, 冲刷深度 -2.00m (深度从床面向下) 以上范围最远在单桩中心约 6.50m 半径周围, 横向约 12.00m, 纵向约 9.00m, 冲刷深度 -1.00m 最远约为 12.50 m。

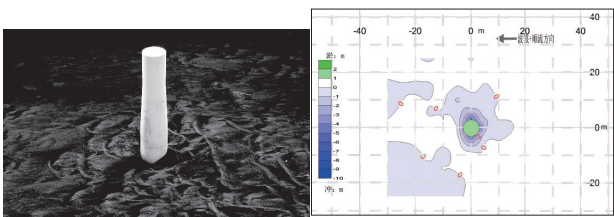


图 6 设计高潮位时基础结构局部冲刷照片及冲刷形态等值线图

设计高水位条件下, 冲刷深度 -2.00m (深度从床面向下) 以上范围最远在单桩中心约 5.80m 半径周围。横向约 11.00m, 纵向约 8.00m。

上述冲刷特征表明单桩结构冲刷范围单桩冲刷坑主要在单桩四周, 整个冲刷形状似“勺”。单桩背水面的中轴线上附近为淤积区。

4 结语

(下转第 37 页)


~~~~~  
(上接第 17 页)

研究得到如下结论:

(1) 根据水流、波浪相似理论和泥沙运动相似选取系列模型比尺进行波流冲刷试验研究, 较好地体现了波流冲刷特征。

(2) 试验表明单桩结构冲刷范围主要在单桩四周, 整个冲刷形态似“勺”的冲刷形态。

(3) 单桩结构极端高水位条件下, 最大冲深 5.10 m, 冲刷深度 -2.00m (深度从床面向下) 以上范围最远在单桩中心约 6.50m 半径周围, 横向约 12.00m, 纵向约 9.00m, 冲刷深度 -1.00m 最远约为 12.50 m 区域, 离高桩承台中心约 10.00m 半径范围。

#### 参考文献:

- [1] 张磊, 余小建. 环行桩群加承台基础结构局部冲刷试验研究 [J]. 长江科学院院报, 2011, (11): 10-13.
- [2] 许政, 梁斌. 杭州市九堡大桥桥墩局部冲刷试验研究 [J]. 浙江水利科技, 2010, (4): 13-14.
- [3] 徐群, 李浩麟. 瓯江二桥主桥墩局部冲刷试验研究 [J]. 水利水运科学研究, 1998, (2): 156-163.
- [4] 周益人, 陈国平, 王登婷. 基于局部冲刷研究的大型圆柱周围波浪特性分析 [J]. 海洋工程, 2004, (2): 98-102.

- [5] 周益人, 陈国平. 不规则波作用下墩柱周围局部冲刷研究 [J]. 泥沙研究, 2007, (5): 17-23.
- [6] Eadie R W, Herbich J B. Scour about a single, cylindrical pile due to combined random waves and current. Proc 20th international conference on coastal engineering, ASCE Taipei, Taiwan, 1986.
- [7] 祁一鸣, 陆培东, 曾成杰, 陈可峰. 海上风电桩基局部冲刷试验研究 [J]. 水利水运工程学报, 2015, (12): 60-66.
- [8] 曲立清, 周益人, 杨进先. 波流共同作用下大型桥墩周围局部冲刷实验研究 [J]. 水运工程, 2006, (4): 23-27.
- [9] Subhasish Dey, B. Mutlu Sumer, Jorgen Fredsoe. Control of at Vertical Circular Piles Under Waves and Current [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, (3): 269-278.
- [10] 赵冲久, 许家帅. 系列模型延伸法在床面冲刷研究中的应用探讨 [J]. 水道港口, 2009, 30 (4): 229-232.
- [11] 毛昶熙, 周名德, 柴恭纯. 闸坝工程水力学与设计管理 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [12] 刘家驹. 海岸泥沙运动研究及应用 [M]. 北京: 海洋出版社, 2009.

(责任编辑: 王宏伟)