

台州湾近海海域波浪要素特征分析

唐东跃^{1,2} 张沈阳^{1,2} 王璟² 吴婷^{1,2}

(1. 浙江省河海测绘院, 浙江 杭州 310008; 2. 浙江省河口海岸重点实验室, 浙江 杭州 310016)

摘要: 波浪要素的观测及分析对港口码头设计、航道建设、围垦工程等尤为重要。为研究台州东部新区临时航道疏浚工程对周边涉水工程的影响, 采用 SZF 型波浪浮标, 在工程海域进行为期一年的波浪观测, 并对实测的波浪要素进行统计分析。结果表明: 台州湾全年以东北向波浪居多, 东向浪最大, 可高达 5 m。波高主要集中在 0.5 m ~ 1.0 m 范围, 波周期集中在 3.0 s ~ 4.0 s 范围。春季浪向分散, 夏季浪向集中在 S 向, 秋冬季浪向相似, N 为主波向。受台风影响, 夏秋季有大浪出现。

关键词: 台州湾; 波浪观测; 波高; 波周期; 波向

中图分类号: TV139.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)01-0071-05

Wave Characteristics in Coastal Area of Taizhou Bay

TANG Dongyue^{1,2}, ZHANG Shenyang^{1,2}, WANG Jing², WU Ting^{1,2}

(1. Zhejiang Surveying Institute of Estuary and Coast, Hangzhou, Zhejiang 310008, China;

2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Estuary and Coast, Hangzhou, Zhejiang 310016, China)

Abstract: Wave observation and data analysis are very important to the design of harbour, channel or other engineering projects. In order to study the influence of the temporary channel on the surrounding engineering projects which are associated with water in the new eastern area of Taizhou, the one-year wave observation project was conducted using the SZF wave buoy. The obtained data was analyzed and the results show that: the main wave is in the north-east direction while the highest wave which can reach 5 meters is in the east direction. The wave height mainly focus on the range of 0.5 ~ 1 meters while the wave period is mainly between 3.0 s ~ 4.0 s. Wave direction is dispersed in spring while mainly focused in S direction in summer. The distribution of wave direction in fall and winter is similar and they both take N as the main wave direction. Also, they both have strong wave due to the typhoon impacts.

Keywords: Taizhou Bay; wave observation; wave height; wave period; wave direction

台州湾地处浙江省中部, 海域开阔, 东有大陈、一江山、头门等岛屿与东海相隔, 西有椒江河口注入。椒江河口为典型的喇叭形强潮河口, 河流途经海门、牛头颈而直接注入台州湾, 并汇入东海。受台风和梅雨季影响, 河流径流量年变幅较大。以多年平均最大洪峰流量(6 195 m³/s)及多年平均年最小流量(4.19 m³/s)计, 变幅为 1 480 倍左右^[1]。伴随着径流的注入, 泥沙也随之进入台州湾, 并表现为悬沙运动^[2]。台州湾水域辽阔, 风浪较大, 强劲的风

浪往往伴随着强大的潮流, 促使泥沙输运。结果使湾内底部及两侧泥沙, 一部分进入椒江口内, 另一部分在湾内重新分布^[3], 从而影响入海航道的输沙平衡。

众所周知, 波浪是一种重要的海洋动力因素。受有限水深的限制, 近海浅水区波浪会发生折射、绕射等效应^[4], 从而导致波浪传播方向发生改变、波高增大、波浪破碎等一系列现象^[5-8]。因此, 近海海域波浪具有一定的局地性和复杂性。在港口码头设

收稿日期: 2016-09-21

修稿日期: 2016-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51109188); 浙江省财政厅补助地方科技发展专项资金“基于小型海洋浮标系统在河口海湾监测中的应用研究”项目; 浙江省科技计划项目(培育创新载体)(2016F1001)

作者简介: 唐东跃(1985—), 男, 安徽枞阳人, 硕士, 工程师, 主要从事海洋测绘工作。E-mail: tangdy121@163.com。

计、航道建设、围垦工程等项目中,波浪各要素分析尤为重要。了解波要素分布特征,对工程项目建设、社会经济健康发展都有重要意义。

在波浪对涉水工程的影响方面,国内外研究较多,但基本集中在物理模型^[9-12]或数学模型的研究上^[13-19],忽略了实测数据的重要性。物理模型虽然能在一定程度上反映波浪运动状态,但由于比例尺效应问题、自然环境的复杂性等问题,很难模拟出真实的波浪运动状况,且其受试验周期、经费等影响,操作难度较大。数学模型虽然克服了时间、人力、经费等问题,但模型往往缺乏实测资料,并采用诸多假设,且受计算方法的影响,其计算结果往往与实测有较大偏差。因而,要更好地研究波浪对航道的影响,长时间的实测数据必不可少。

本文以台州湾近海海域波浪一年实测资料为例,分析实测年内波浪各要素特征值分布,并对波要素进行分级分向统计、波高与周期联合分布等统计,以此掌握台州湾波要素特征,为港口航道建设提供一定的参考依据。

1 资料来源

1.1 观测位置

波浪观测站应设置在开阔海域,附近无暗礁、岛屿或人工建筑物等障碍物,以此保证观测要素具有良好的代表性,观测成果能反映工程区域波浪的变化规律。由于台州湾往来船只较多,为确保数据的完整性及准确性,设站前应提前对站点进行通航安全影响分析,以避免船只影响。

经综合考虑,波浪观测站设在椒江口白沙以南、琅矾山以北海域,具体位于西笼岛钉耙礁东北方向约 5 km 处(28.58°N, 121.69°E),观测位置见图 1 所示。

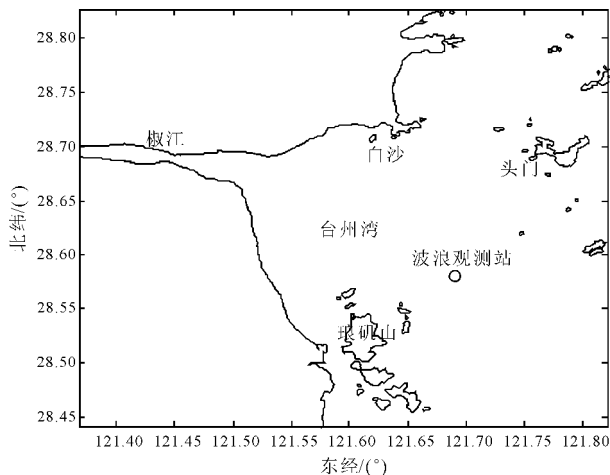


图 1 波浪观测站示意图

1.2 观测方法

波浪观测所使用的仪器为 SZF 型波浪浮标,它

能自动、定点、定时(或连续)对波浪要素进行测量的小型浮标自动测量系统,能测量海浪的波高、周期、波向,浮标测得的波浪各特征值,由浮标上的通信机实现测量数据的发送传递,并对测量数据进行存储。SZF 型浮标目前已经投放国内各大海区,是一种较为成熟的波浪观测仪器。

SZF 型浮标采用单点锚泊方式系留浮标,浮标工作方式为每日整点观测。观测时间为 2013 年 3 月 1 日 0 时起至 2014 年 2 月 28 日 23 时止,为期一年。观测期间,受气象、海况、渔民拖网作业等不确定因素影响,个别时段数据缺失,但整体而言,观测数据完整性良好,能反映真实波浪变化规律。观测要素包含最大波高(H_m)及其周期、有效波高(H_s)及其周期、平均波高及其周期(T_a)、波数及波向等。

2 波浪要素基本特征

2.1 波要素特征值统计

波要素特征值月际分布见图 2。由图 2 可知:观测年内,月平均周期(T_a)在 4.2 s~4.8 s 之间,月变化较小,整年平均周期为 4.5 s;月最大周期(T_a)在 6.5 s~10.0 s 之间,最大出现在 7 月,最小出现在 4 月;月平均波高(H_s)在 0.6 m~1.0 m 之间,最大值出现台风多发季节(10 月),而最小值出现在 3 月—5 月和 11 月—1 月;月最大波高(H_s)在 1.2 m~2.6 m 之间,最大值出现在台风多发季节(8 月和 10 月),而最小值出现在 6 月份;月平均波高(H_m)在 0.9 m~1.6 m 之间,最大值亦出现台风多发季节(10 月),而最小值出现在 4 月、5 月、11 月和 1 月份;月最大波高(H_m)在 2.2 m~5.0 m 之间,最大值亦出现台风多发季节(8 月),而最小值出现在 5 月份。

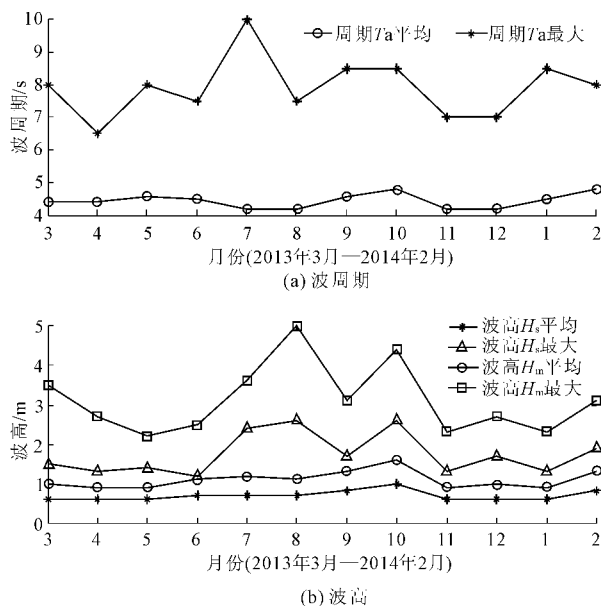


图 2 波要素特征值月际分布图

将波要素按四季统计,并规定春季月份为 3 月—5 月、夏季为 6 月—8 月、秋季为 9 月—11 月、冬季为 12 月—翌年 2 月,得全年及四季波浪常浪向、强浪向如表 1 所示。由表 1 可知:台州湾全年常浪向为 NE 向,频率为 11.74%,其次为 S 向,频率为 11.64%;常浪向的季节变化规律为:春、夏季出现最多分别为 SE 向、S 向,频率各占 13.68%、29.01%,秋、冬季出现最多的均为 N 向,频率各占 18.65%、17.44%。

台州湾全年强浪向为 E 向,实测最大波高(H_m)为 5.0 m,次强浪向为 NNE,实测最大波高(H_m)为 4.4 m;强浪向的季节变化规律为春、冬季强浪向均

为 N 向,最大波高分别为 3.5 m、3.1 m,夏季强浪向出现在 E 向,最大波高为 5.0 m,秋季强浪向出现在 NNE 向,最大波高为 4.4 m。

综上所述,台州湾全年以东北向浪居多,以东向浪最大,可高达 5 m。最大浪发生在夏季,该现象与夏季盛行台风有关。全年波周期月变幅不大,其变化规律也不甚明显。

2.2 波要素分级统计

为更详细的了解各季节波高的变化特征,以 0.5 m 为一个递增级,把有效波高、最大波高划分为多个区间,并分别对其出现频率进行统计,统计结果如图 3 所示。

表 1 全年及四季常浪向、强浪向统计表

季节	最多常浪向 对应方向	最多常浪向 对应频率/%	次多常浪向 对应方向	次多常浪向 对应频率/%	最大强浪向 对应方向	最大强浪向 对应波高/m	次强浪向 对应方向	次强浪向 对应波高/m
春季	SE	13.68	S	11.83	N	3.5	NE	2.9
夏季	S	29.01	SSE	18.67	E	5.0	ESE	4.1
秋季	N	18.65	NE	15.50	NNE	4.4	N	4.2
冬季	N	17.44	NNE	15.78	N	3.1	N	3.0
全年	NE	11.74	S	11.64	E	5.0	NNE	4.4

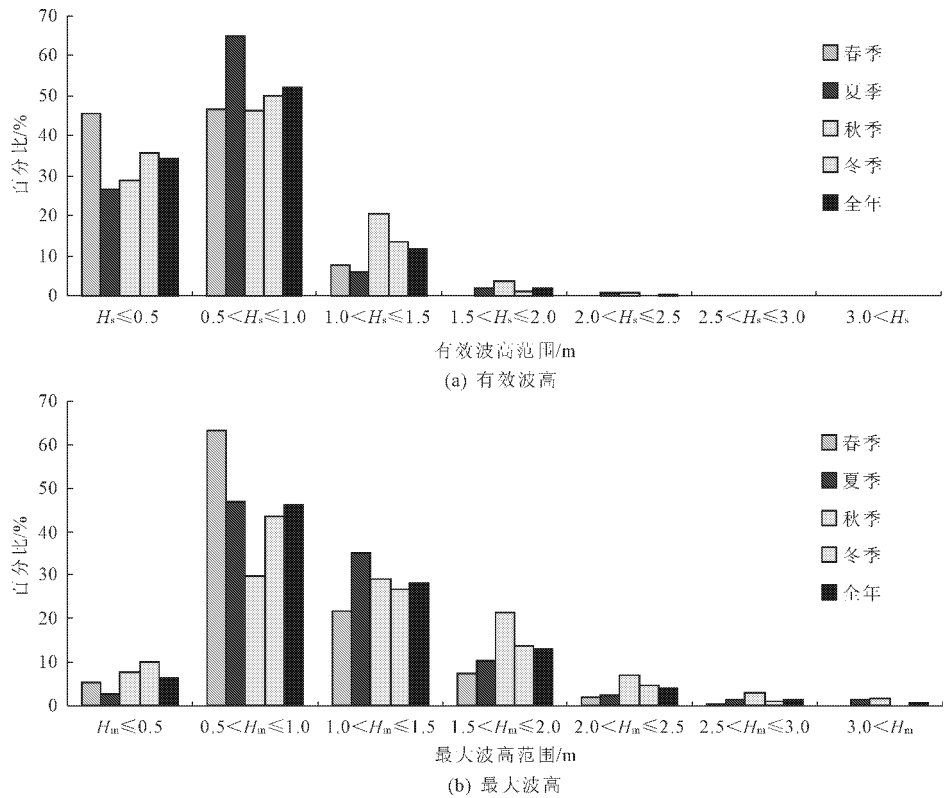


图 3 四季波高分级统计图

由图 3 可知:全年有效波高(H_s)介于 0.5 m ~ 1.0 m 范围的波浪出现最多,占比达 51.98%;其次为小于等于 0.5 m 的波浪,占比为 34.21%;而大于 1.5 m 的波浪出现较少,仅占 2.09%。四季变化中,

有效波高(H_s)小于等于 0.5 m 的波浪出现频率以春季居多,占 45.63%,夏、秋季较少,各为 26.75%、28.64%;相反,有效波高(H_s)大于 1.5 m 的相对大浪的出现频率则表现为秋季最多,占 4.52%,春季

未出现。

全年最大波高(H_m) 在 0.5 m ~ 1.0 m 范围内出现频率最高, 为 46.14%; 其次为波高介于 1.0 m ~ 1.5 m 之间, 占比为 28.25%; 大于 3.0 m 的波浪出现较少, 仅占 0.72%。最大波高(H_m) 的季节变化为: 波高(H_m) 小于等于 1.0 m 的波浪出现频率以春季最多, 占 68.73% 秋季最少, 为 37.73%; 相反, 波高(H_m) 大于 2.5 m 相对大浪的出现频率则表现为秋季最多, 占 4.52%, 春季最少, 仅为 0.28%。

若将波高按方向进一步划分, 从而得到各方向波高出现频率及强度, 进而直观地体现波浪分布状况, 从而更全面地掌握测区波浪特性。在波浪分级、分向统计中, 波浪按 16 方位来划分, 0° 为正北向, 波高(有效波高) 以 0.5 m 为一级划分, 并以颜色区别其

波高等级, 结果以玫瑰图直观展现如图 4、图 5 所示。

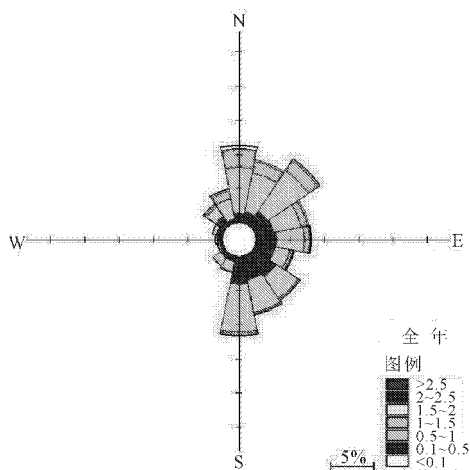


图 4 全年有效波高分级、分向统计图

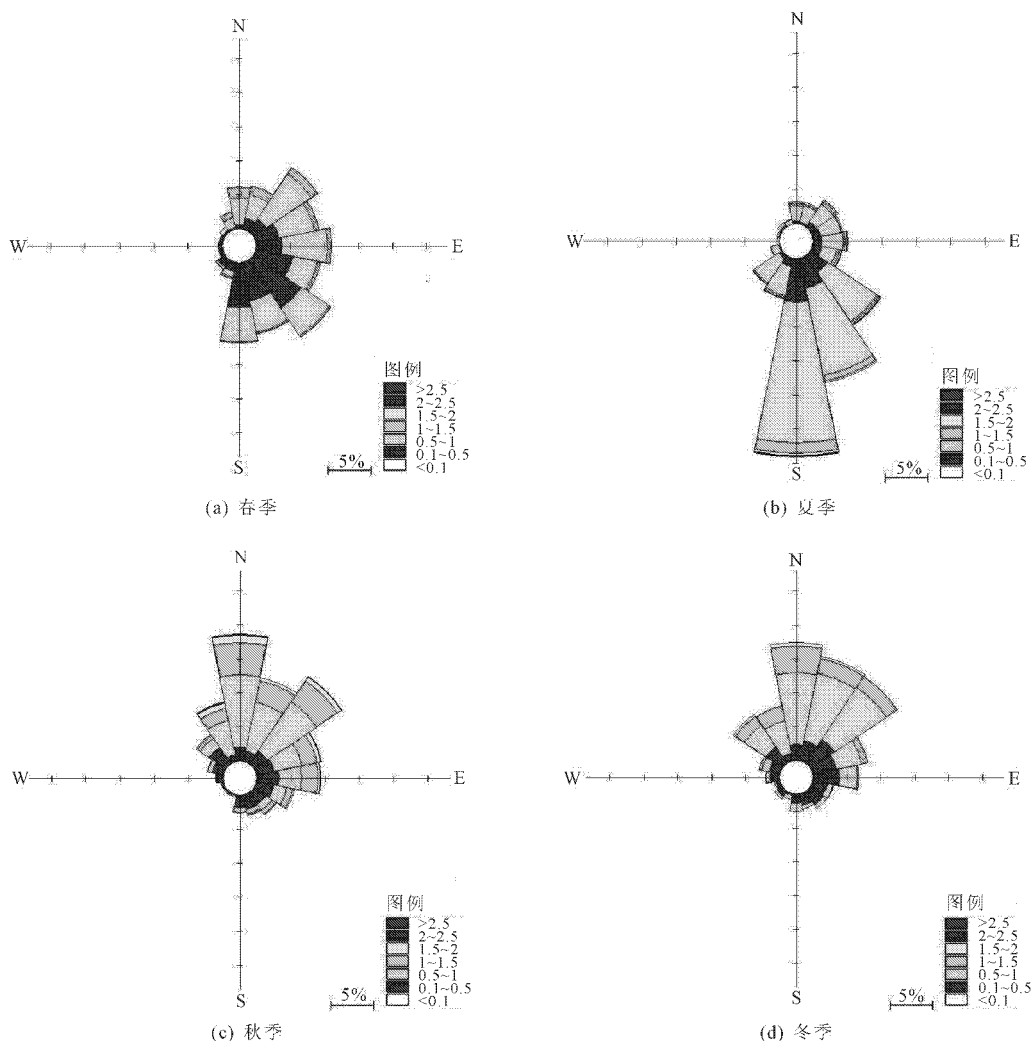


图 5 四季有效波高分级、分向统计图

由图 4、图 5 可知: 全年波向分布较散、各向均有分布, 但 W 向居少。波高(有效波高) 以 0.5 m ~ 1.0 m 范围所占比例为最大, 在 1.5 m 以上占比较

小。有效波高四季分布不同, 春季浪向分布较散, 夏季浪向集中在 S 向, 所占概率为 29.01%。秋、冬季浪向分布相似, 以 N 向为主波向, N—E 向分布比例

较大。此外,四季波高分布中,秋季波高在 1.5 m 以上分布最多,其次为夏季,该现象与夏、秋季盛行台风有关。

2.3 波高与周期联合分布

波高与周期的联合分布见图 6。由图 6 可知:实测年内,波浪平均周期介于 3.0 s ~ 4.0 s 的比例最大,出现频率为 49.67%,其次为周期介于 4.0 s ~ 5.0 s 范围,出现频率为 35.14%,平均周期在 8 s 以上的波浪出现较少,频率仅占 0.15%。此外,大浪对应的周期较大,如区间 $2.5 \text{ m} < H_s \leq 3.0 \text{ m}$ 、 $5.0 \text{ m} < H_m \leq 5.5 \text{ m}$ 的波浪对应的周期均为 6.0 s ~ 7.0 s。

总体而言,无论是有效波高还是最大波高,其与周期的联合分布特征都表明测区波浪主要集中在周期 3.0 s ~ 4.0 s、波高 0.5 m ~ 1 m 范围,占比分别为 31.12%、24.46%。波高在 2.5 m 以上、周期在 6.0 s 以上的波浪所占比例极小。因此,测区波浪以小的风浪为主。

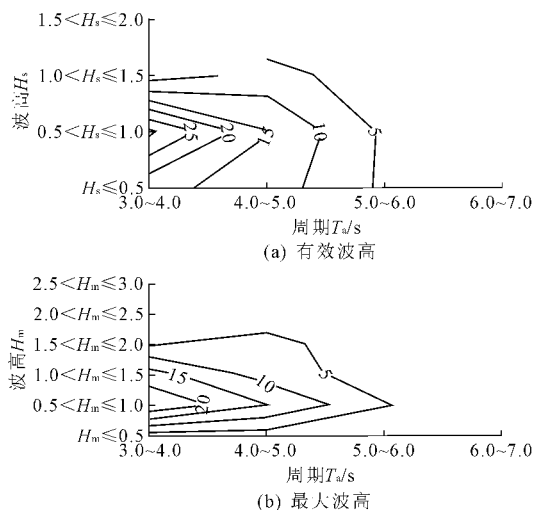


图 6 波高与周期联合分布图

3 结 论

本文基于台州湾波浪站为期一年的实测资料,对波浪各要素进行统计分析,从而得到台州湾波浪要素分布特征,为工程项目建设提供一定的参考依据。通过对波浪要素统计分析可得:

(1) 台州湾全年以东北向浪居多,以东向浪最大,可高达 5 m。最大浪发生在夏季,该现象与夏季盛行台风有关。全年波周期月变幅不大,其变化规律也不甚明显。

(2) 台州湾全年有效波高、最大波高均主要集中在 0.5 m ~ 1 m 范围,其所占概率分别为 51.

98%、46.25%。四季波高分布中,有效波高小于等于 0.5 m 的以春季居多,为 45.63%,大于 1.5 m 的以秋季居多,为 4.52%。最大波高小于等于 1 m 的以春季居多,为 68.73%,大于 2.5 m 的仍以秋季为最多,为 4.52%。

(3) 台州湾全年波向分布较散,波浪各向均有分布,但 W 向居少。四季浪向分布结果显示春季浪向分布较散,夏季浪向集中在 S 向,所占概率为 29.01%。秋、冬季浪向分布相似,以 N 向为主波向,N—E 向分布概率较大。

(4) 测区波浪主要集中在周期 3.0 s ~ 4.0 s、波高 0.5 m ~ 1 m 范围,占比分别为 31.12%、24.46%。波高在 2.5 m 以上、周期在 6.0 s 以上的波浪所占比例极小。大浪对应的周期一般较大,如区间 $2.5 \text{ m} < H_s \leq 3.0 \text{ m}$ 、 $5.0 \text{ m} < H_m \leq 5.5 \text{ m}$ 的波浪对应的周期均为 6.0 s ~ 7.0 s。

参考文献:

- [1] 陈德春,何 衡. 浅析台州湾—椒江河口水文特性[J]. 水文, 1998(5): 52-54.
- [2] 麦 苗,闫 勇,吴以喜. 台州湾海域水文泥沙环境及海床冲淤演变分析[J]. 水道港口, 2009, 30(4): 246-252.
- [3] 池云飞. 台州湾岸滩演变分析及其滩涂围垦的可持续研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010: 38-45.
- [4] 左其华,姚国权,丁炳灿. 摩阻地形上的波浪折射和绕射[J]. 中国港湾建设, 1993(1): 34-40.
- [5] 王维利,王绿卿. 浅水区波浪特征的变化[J]. 山东交通科技, 2013(3): 75-79.
- [6] 邹国良. 基于非静压方程的近岸波浪变形数值模拟研究[D]. 天津: 天津大学, 2013: 47-53.
- [7] 房克照,孙家文,刘忠波,等. 近岸波浪传播的非静压数值模型[J]. 水科学进展, 2015, 26(1): 114-122.
- [8] Baudic S F, Williams A N, Kareem A A. Two dimensional numerical wave flume - Part 1: Nonlinear wave generation, propagation, and absorption[J]. Journal of Offshore Technology, 2001, 132(2): 159-165.
- [9] 徐 斌,刘建华,沈超明. 不规则波工况下弧形防浪墙波浪荷载试验研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2015, 29(5): 409-415.
- [10] 李凤珍,盛 军,姜晓均,等. 河口拦门沙段航槽回淤试验研究[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(10): 29-31.
- [11] 刘佳林. 直立堤弧形防浪墙波浪压强的试验研究[J]. 中国水运月刊, 2013, 13(4): 189-191.

(下转第 135 页)

取样位置为内河侧西边孔泵室中部 15# 桩, -2.60 m ~ -9.20 m 高程,共 6 个芯样,钻取芯样时高喷桩的龄期为 56 d。

按混凝土抗渗试验标准试验得到的防渗墙芯样渗透系数为 1.91×10^{-5} cm/s ~ 1.67×10^{-7} cm/s, 平均为 8.48×10^{-6} cm/s, 参照国内部分高喷灌浆防渗墙对渗透系数的要求^[3-4, 6, 14-17], 可以认为大路闸高喷灌浆质量良好, 高喷灌浆防渗墙的渗透系数满足要求。

4 结 语

本文以镇江新区大路闸混凝土防渗板桩施工缺陷的处理为对象,在综合分析工程地质条件、水闸运行特点、施工缺陷特征及其带来安全隐患,考虑对原结构的影响、技术方案的成熟性、加固效果以及经济等因素,提出了高喷灌浆加固防渗板桩的方案。分析了方案的主要技术特点和施工难点,并通过试验确定了方案中的主要技术参数。采用地质雷达对高喷灌浆体的深度和连续性进行检测,钻取芯样进行了抗渗试验。实践表明,对于淤泥质粉质黏土夹粉砂层的混凝土板桩的接缝的施工缺陷采用高喷灌浆加固是经济合理可行的,通过加固处理,即使不考虑防渗板桩的功能,抗渗长度也能达到设计要求。

参考文献:

- [1] 水利部基本建设工程质量检测中心. 镇江新区大路姚桥长江堤防达标工程大路闸闸基渗漏检测报告[R]. 北京:水利部基本建设工程质量检测中心, 2016.
- [2] 镇江市工程勘测设计研究院. 大路姚桥沿江穿堤涵闸工程地质勘察报告(镇勘-11078)[R]. 镇江:镇江市工程勘测设计研究院, 2011.
- [3] 罗居剑. 垂直防渗技术在土石坝除险加固工程中的应用和优化设计[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(2): 111-116.
- [4] 赵寿刚,李 信,常向前. 黄河大堤防渗加固措施的适应性研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2008, 6(4): 16-19.
- [5] 侯秀娟,张新利,伏晓娟. 高压摆喷灌浆技术在水库除险加固工程中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(6): 150-154.
- [6] 高连武,姚海江,陈小辉. 大隆水利枢纽工程高喷板墙施工[J]. 水利水电技术, 2005, 36(12): 57-60.
- [7] 林 鹏,陈慧美,王艳群. 深层搅拌水泥土墙的防渗效果分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(3): 28-31.
- [8] 王永昌,高存厚. 浅谈堤防劈裂灌浆技术[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(4): 76-78.
- [9] 陈灿明,黄卫兰,王 驰,等. 镇江新区大路姚桥长江堤防达标工程大路闸渗漏处理方案设计(材 16006)[R]. 南京:水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范: DL/T 5200-2004[S]. 北京:中国电力出版社, 2004.
- [11] 徐至钧,全科政. 高压喷射注浆法处理地基[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [12] 李思慎. 堤防防渗工程技术[M]. 武汉:长江出版社, 2006.
- [13] 江苏省建设厅. 雷达法检测建设工程质量技术规程: DGJ 32/TJ79-2009[S]. 南京:江苏省工程建设标准站, 2009.
- [14] 中华人民共和国水利部. 水工混凝土试验规程: SL352-2006[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
- [15] 陈进心,廖 勇,贡双基,等. 乌金峡水电站二期围堰高喷防渗墙施工难点及对策[J]. 水利水电施工, 2009(1): 34-36.
- [16] 魏 豫,孙志峰,杨玉银. 高压旋喷防渗技术在汉坪咀水电站中的应用[J]. 山西水利科技, 2010(1): 27-29.
- [17] 李青云,介玉新,张家发,等. 长江堤防深层搅拌水泥土防渗墙设计指标探讨[J]. 中国水利, 2002(12): 80-82.
- [18] 叶 娟. 利用抽水试验测定防渗墙渗透系数[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2008, 8(3): 20-22.

(上接第 75 页)

- [12] Lykke A T, Frigaard P, Damsgaard M L, et al. Wave run-up on slender piles in design conditions — Model tests and design rules for offshore wind[J]. Fuel & Energy Abstracts, 2011, 58(4): 281-289.
- [13] 宋永港. PMS 浅水波浪模型在滩涂围垦工程中的应用[J]. 上海水务, 2013, 29(3): 172-177.
- [14] 尹德军. 近岸波浪数值模拟实用模型系统的研究[D]. 南京:河海大学, 2006: 16-21.
- [15] 马锡超. 考虑不同护岸形式的近岸波浪场数值模拟研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2008: 13-17.
- [16] 邓海峰,王忠涛,刘 鹏. 随机波浪作用下海底管线与海床的相互作用研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(4): 43-49.
- [17] Li Yong, Lin Mian. Regular and irregular wave impacts on floating body[J]. Ocean Engineering, 2012, 42(1): 17-23.
- [18] Liu Yuanchuan, Wan Decheng. Numerical simulation of motion response of an offshore observation platform in waves[J]. Journal of Marine Science and Application, 2013, 12(1): 114-119.
- [19] 柳春光,李璐璐,张士博. 小尺寸双柱式桥墩波浪力的数值分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2016, 14(5): 32-38.