

钓浜渔港防波堤修复加固新技术

赵子文¹, 陈德春¹, 江根青², 陈开来², 陈云华²

(1. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 温岭市中心渔港开发有限公司, 浙江 温岭 317500)

摘要: 钓浜渔港是温岭市中心渔港的重要组成部分, 其防波堤建成后历经“卡努”、“麦莎”等超强台风正面袭击, 护面结构严重受损, 存在着安全隐患, 修复工程技术难点是处置数千个人工块体。先进行波浪断面模型试验再确定施工设计图, 并采用分解坡面块体形成垫层的新技术, 解决了修复工程技术难点。工程完成后, 钓浜渔港抗灾能力已提高到百年一遇。

关键词: 防波堤; 修复加固; 分解; 扭王字块体

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0099-05

New technology for repairing and strengthening of breakwater of Diaobang fishing port

ZHAO Zi-wen¹, CHEN De-chun¹, JIANG Gen-qing², CHEN Kai-lai², CHEN Yun-hua²

(1. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Wenling Central Fishing Port Development Co., Ltd., Wenling 317500, China)

Abstract: Diaobang fishing port is an important part of Wenling central fishing port, and its breakwater's armor structure is seriously damaged by the ultra-strong typhoon “Kanu” & “Matsa” and thus exists security risks. The repairing technical difficulty lies in the dispose of thousands of artificial blocks. Testing the section model of wave and then determining the design drawings, we adopt the new technology of forming cushion after block decomposition to solve the technical difficulties of repairing project. After completion of the repairing and strengthening project, the resilience of Diaobang fishing port has been increased to 100 years once.

Keywords: breakwater; repair and reinforcement; decomposition; accropode

温岭市钓浜渔港位于浙江省台州湾南端开敞式海岸(图1), 其海域是台风登陆地区, 渔港防波堤全长 550 m(图2), 建筑物结构安全等级为Ⅱ级, 设计波浪与设计水位重现期均为 50 a 一遇。防波堤于 2003 年完工运行后, 发挥了台风期保护渔民生命与财产安全、促进当地渔业经济发展的作用。由于本世纪超强台风频频登陆, 该防波堤经 2005 年“卡努”和“麦莎”、2006 年“桑美”等超强台风袭击, 防波堤结构受损十分严重, 危及运行安全。从现场考虑, 防波堤修复加固面临的技术问题是处置 3 000 多个 6.5~7.5 t 护面人工块体, 且无类似工程经验参考。对此, 需从波浪

断面物理模型试验出发, 进而确定有效的防波堤修复加固设计方案, 解决这一技术难点。

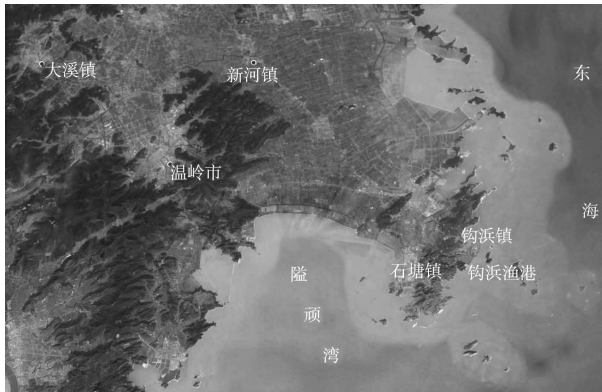


图1 钓浜渔港地理位置

收稿日期: 2015-01-19

作者简介: 赵子文(1989—), 男, 硕士研究生, 从事港口、海岸及近海工程研究。

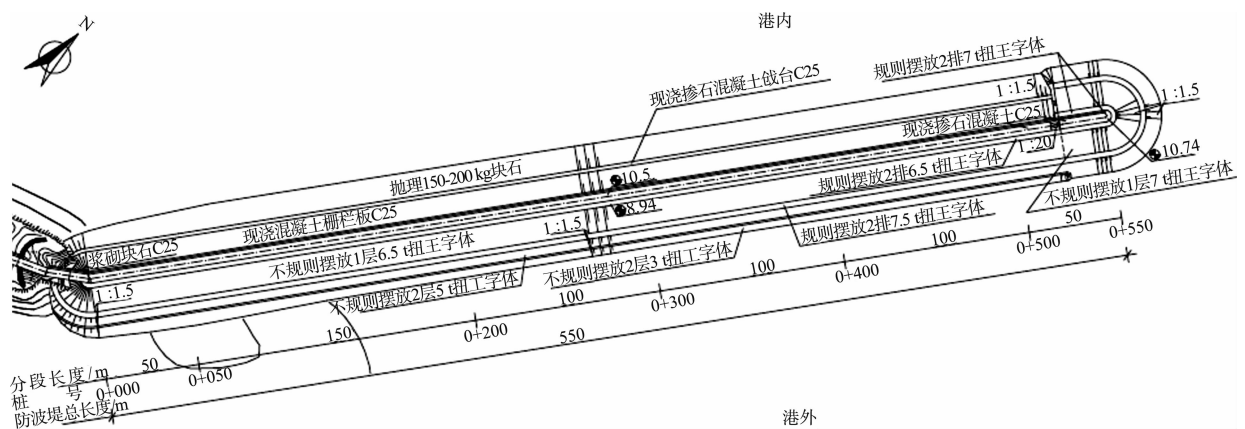


图 2 钓浜渔港防波堤平面图

1 渔港防波堤断面结构受损情况分析

1.1 渔港防波堤断面

钓浜渔港防波堤断面形式为斜坡堤^[1]，在外坡 0.36 m 设置戗台（浙江吴淞基准面），边坡坡度 $m = 1.5$ ，护面结构人工块体随机安放，戗台以

上采用 1 层质量 6.5 ~ 7.5 t 的扭王字块体，戗台安放 1 层质量 7.0 ~ 7.5 t 扭王字块体支持坡面块体，以下采用 2 层质量 3 ~ 5 t 的扭工字块体。堤心石及堤基础为爆炸排淤填石，防波堤原设计尺度与结构见表 1。

表 1 钓浜渔港防波堤断面尺度与结构

位置	反置胸墙 墙顶高程/m	堤顶 高程/m	堤顶 宽度/m	迎浪面 坡度	护面块体及质量/t				护底 块石/kg
					胸墙前端 扭王字块体	戗台上坡 扭王字块体	戗台扭 王字块体	戗台下坡 扭工字块体	
堤身段	12.5	10.5	6.28	1.5	6.5	6.5	7.0	3 ~ 5	200 ~ 300
堤头段					7.0	7.0	7.5	5	300 ~ 500

1.2 防波堤受损情况分析

对比分析防波堤设计断面与实测受损断面^[2]，其尺度变形和护面受损情况为：反置胸墙顶高程及堤顶高程下沉，沉降深度 20 ~ 90 cm；反置胸墙前端规则安放的 2 排 6.5 t 和 7.0 t 扭王字块体前倾 80 ~ 100 cm；戗台 7.0 ~ 7.5 t 扭王字块体重力不足以支持坡面块体，6.5 ~ 7.0 t 扭王字块体大部分下滑、块体间出现空洞，出露垫层石、扭王字块体有折断；块体下滑、堆积致戗台高程抬高，戗台上、下坡面变缓，堤脚护底抛石段或被下滑扭工字块体覆盖，或前端坍塌后下沉 1.0 m。

2 防波堤修复加固方案研究

钓浜渔港防波堤受损究其原因主要是，台风期间作用于防波堤的波浪远大于施工图设计采用的 50 a 一遇波浪标准，确定防波堤修复加固方案

存在难度：一是如何处置或利用已有坡面人工块体；二是坡面戗台附近、戗台下坡堆积较多人工块体，经大浪不断冲击已密实，且处于水位涨落区，难以拆除。对此，在重新推算防波堤修复加固工程设计水位与波浪的基础上，通过波浪断面试验解决技术难点，再据试验结果确定有效修复加固设计方案。

2.1 修复加固方案波浪断面试验

2.1.1 模型设计、试验条件

针对修复难点，经分析重新推算的波浪要素（表 2），提出试验研究的修复断面方案为：沿防波堤坡面及反置胸墙前端随机铺放 15 t 扭王字块体（即以坡面 6.5 t 扭王、3 ~ 5 t 扭工字块体作为 15 t 扭王字块体的垫层），反置胸墙墙顶取沉降后的墙顶高程 11.6 m、堤顶高程 9.77 m（图 3），底板厚 1.56 m。

表 2 试验水位与波要素

水位/m	水深/m	波浪 重现期/a	$H_{1\%}$ /m	$H_{4\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	$\bar{H}$ /m	T_s /s	L /m
100 a 一遇 极端高水位 7.37	12.93	100	8.54	7.61	7.44	6.58	4.64	13.51	144.85
		50	7.77	6.88	6.71	5.88	4.08	12.66	134.8
50 a 一遇 极端高水位 7.02	12.58	100	8.42	7.52	7.35	6.51	4.61	13.46	142.56
		50	7.63	6.75	6.59	5.78	4.01	12.56	131.98
设计高水位 4.60	10.16	100	7.52	6.79	6.65	5.96	4.33	13.06	125.04
		50	6.85	6.12	5.98	5.30	3.76	12.16	115.73
设计低水位 -0.56	5.0	100	4.06	4.06	4.06	3.30	2.60	16.10	113.4
		50	4.06	4.06	4.06	3.30	2.60	15.00	105.5

注：断面底高程 -5.56 m。

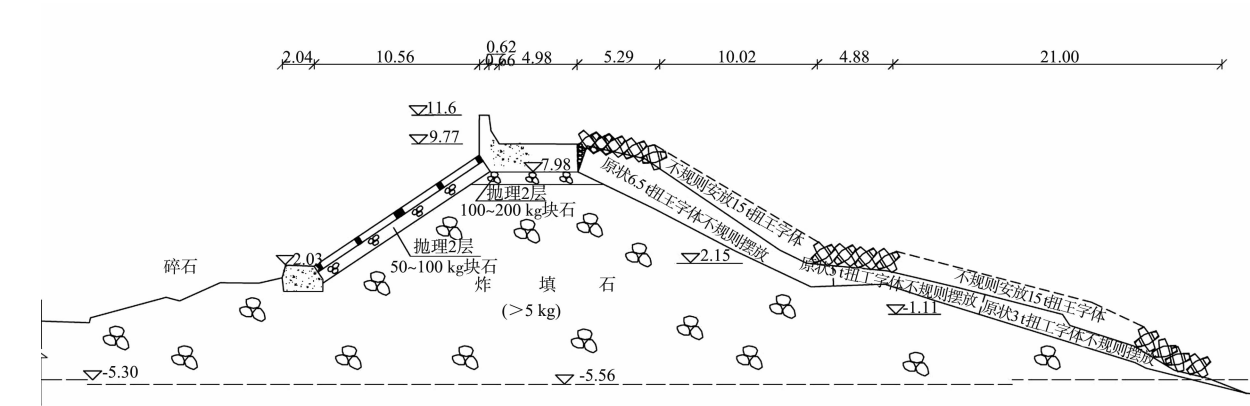


图 3 修复加固试验代表断面 (0+485 m) (单位: m)

2.1.2 试验研究内容

据防波堤受损原因, 为达到修复后的防波堤结构能抵御超强台风浪袭击, 修复加固设计标准高于原设计标准, 即潮位和波浪的重现期均取 100 a 一遇, 并考虑 50 a 一遇波浪和潮位。

2.1.3 模型设计与试验条件

- 1) 模型设计与试验方法均遵守 JTJ/T 234—2001 《波浪模型试验规程》。
- 2) 波浪水槽尺度为 90 m×1.5 m×1.0 m, 水槽一端安装不规则生波机。
- 3) 依重力相似准则设计正态模型, 综合试验设备与防波堤试验断面、水深和波浪要素等条件, 模型比尺取 1:34.5。
- 4) 试验采用不规则波, 不规则波波谱采用 Jonswap 谱, 其表达式为:

$$s(f) = \alpha H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} (T_p f)^{-4} \right] \gamma^{\exp [-(ff^{-1})^2 / (2\sigma^2)]}$$

(1)

$$\alpha = \frac{0.0624}{0.230 + 0.036\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \quad (2)$$

式中: H_s 为有效波高 (m); T_p 为谱峰值周期 (s), 取 $T_p = 1.2\bar{T} \sim 1.3\bar{T}$; f_p 为谱峰值频率 (Hz); γ 为谱峰值参数, 取 3.3; $\sigma = \begin{cases} 0.07 & f \leq f_p \\ 0.09 & f > f_p \end{cases}$ 。

- 5) 越浪量采用集水器和量筒量测墙顶总越浪量 V , 并计算出单位时间单位墙宽的平均越浪量 q , 即 $q = V/(bt)$ 。
- 6) 人工块体的护面失稳标准, 采用《波浪模型试验规程》规定的容许失稳率判别。

2.1.4 试验水位和波要素

资料^[3]收集更新系列潮位与波浪资料, 重新确定设计水位不同重现期的深水区域波要素, 应用波浪折射绕射变形联合数值计算的数学模型, 对海域 E、SE、S 波向的 100 a 一遇、50 a 一遇波浪分别与 100 a 一遇极端高水位、50 a 一遇极端高

水位、设计高水位和设计低水位进行组合，推算堤前波浪要素。修复加固波浪断面物理模型试验采用了以上 3 个波向中最不利的 SE 向波要素（表 2）。

2.1.5 修复加固断面试验结果

1) 堤顶结构与越浪量。波浪打击堤顶反置胸墙，同时波浪越顶，再波击内水位以上灌砌块石坡面。100 a 一遇极端水位（7.37 m）时，最大越浪量为 0.17 m³/(s·m)，50 a 一遇极端水位（7.02 m）时，越浪量为 0.13 m³/(s·m)，墙前及坡面随机铺放的 15 t 扭王字块体，虽增加了护面结构厚度，但反置胸墙失稳，对此，调整反置胸墙尺度与增加底板质量(墙顶高程 12.6 m、堤顶高程 10.77 m、底板加厚 1.0 m) 进行试验，达到反置胸墙满足稳定。

2) 护面结构稳定性。波浪打击外坡面后回落较低，最低 1.0 m 左右，随机铺放的 15 t 扭王字块体均稳定，回落波浪产生的负压未影响坡面块体稳定。

3) 由于反置胸墙墙顶高程 12.6 m、堤顶高程 10.77 m 时堤顶越浪量（表 3）大于 0.05 m³/(s·m)，试验又研究增加胸墙墙顶高程到 13.1 m 和 13.6 m，堤顶高程到 11.27 m 和 11.77 m 两种工况，分析不同胸墙尺度越浪量结果（表 3），当墙顶高程采用 13.1 m 时，在 50 a 一遇和 100 a 一遇极端高水位与 100 a 一遇、50 a 一遇波浪组合作用下，墙顶越浪量均小于 0.05 m³/(s·m)，表明取墙顶高程 13.1 m 较为合适。

2.2 修复加固方案波浪设计断面

由 2.1 节防波堤修复加固方案试验^[4]可知，在受损坡面结构上随机安放 15 t 扭王字块体的方

表 3 不同墙顶高程时越浪量 m³/(s·m)

水位/m	波浪 重现期/a	墙顶高程/m			
		11.6	12.6	13.1	13.6
7.37 (100 a 一遇)	100	0.170	0.080	0.047	0.023
	50	0.110	0.061	0.043	0.018
7.02 (50 a 一遇)	100	0.130	0.063	0.045	0.021
	50	0.087	0.050	0.039	0.016

案，在最不利波浪与水位组合作用下，其块体可以达到稳定，从而解决了原坡面块体处置的难点。据防波堤工程实践，坡面扭王字块体若采用规则安放嵌固，能提高块体稳定性与抗浪能力。由此，提出修复加固设计代表断面^[5-7]方案（图 4），坡面 4.0 m 以上 6.5 t 扭王字块体进行分解后作为垫层块石，并整理边坡坡度到 $m = 1.5$ ，再规则安放 15 t 扭王字块体，反置胸墙前规则安放 2 块 15 t 扭王字块体；高程 4.0 ~ -1.0 m 范围随机安放 15 t 扭王字块体，以原 6.5 t 扭王字块体作为垫层；-1.0 m 以下以 3 ~ 5 t 扭王字块体作为垫层，其上随机安放 15 t 扭王字块体。考虑沉降，反置胸墙墙顶高程和堤顶高程取 13.2 m 和 11.37 m。再据 JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》核算扭王字块体质量、护面层厚度、扭王字块体个数、垫层块石的稳定质量和厚度为^[8-9]：扭王字块体质量堤身段取 15 t、堤头段取 18 t；安放 1 层 15 t 和 18 t 扭王字块体的护面层厚度分别为 2.7 m 和 2.9 m；每 100 m²需 15 t 扭王字块体 23 个（规则）、19 个（随机）；需 18 t 扭王字块体 20 个（规则）、16 个（随机）；垫层块石的稳定质量取 750 ~ 1 500 kg；垫层块石的厚度取 1.0 m。

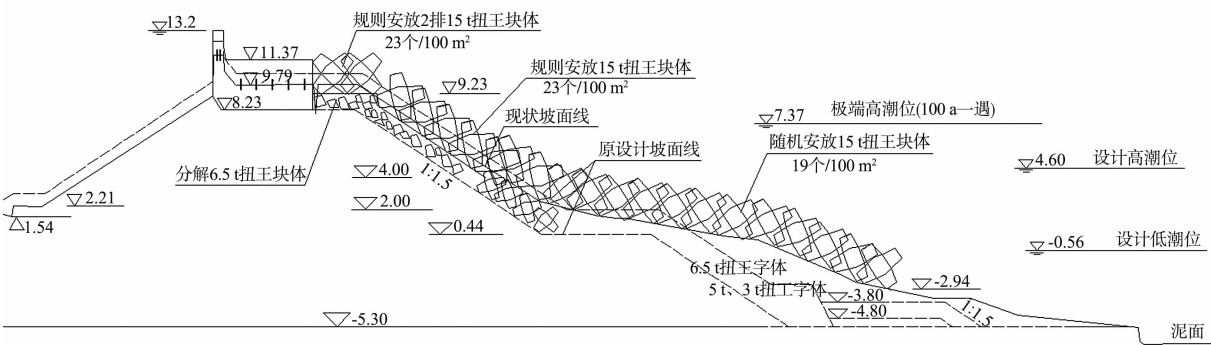


图 4 修复加固试设计断面 (0 +485 m) (单位：m)

3 防波堤修复加固施工

钓浜渔港防波堤修复加固工程需分解 6.5 t 扭王字块体 1 516 个、7.0 t 扭王字块体 160 个; 预制安装 18 t 扭王字块体 765 个、15 t 扭王字块体 3 824 个。根据防波堤实际坡面状况, 施工难点为分解块体、理坡及扭王字块体安放。防波堤修复加固施工关键技术为:

1) 分解块体与理坡。采用风镐、长臂粉碎机机械分解坡面 6.5 ~ 7.0 t 块体, 4.0 m 以上分解的扭王字块体的单块质量大于 750 kg, 达到垫层设计质量, 利用人工配合反铲挖掘机进行理坡, 使分解后的块体咬合充分, 形成 1.0 m 厚护面块体新垫层; 对于 4.0 m 以下范围块体堆积密实区, 必须先进行整理, 堆积调离、空隙补充, 起到垫层作用。

2) 块体安放。扭王字块体安放采用 200 t 履带吊自堤顶伸至坡面定点安装, 反置胸墙前沿需先利用石料加宽 5 m, 满足吊机设备宽度, 同时原防浪墙需要凿除降低 0.7 m, 满足吊机旋转工作。4.0 m 位置是规则与随机安放块体的结合部位, 4.0 m 以下以整理好的块体作为新垫层, 自下而上随机安放 15 ~ 18 t 块体, 由于原有防波堤基床为爆炸抛石挤淤形成, 在基床外侧为较厚淤泥, 水下安放位于坡脚端的块体必须在基床内, 并确保稳定且能支撑坡面 15 t 与 18 t 扭王块体; 在 4.0 m 块体两种安放形式交接处, 随机安放的块体必须能牢固支撑上坡规则安放的块体。

钓浜渔港防波堤修复加固工程于 2013 年 10 日开工, 历经一年竣工 (图 5), 渔港防波堤抗灾能力已经提高到百年一遇, 并抵御了 2014 年 9 月 22 日“凤凰”台风袭击。

4 结论

针对防波堤受损原因, 修复工程设计波浪标准需提高到能抵御台风期波浪; 基于原防波堤护



图 5 修复后的钓浜渔港防波堤

面结构, 经整理符合垫层条件, 再安放新块体作为新护面结构时, 必须通过模型试验验证其稳定性, 及采用规范公式核算人工块体质量和垫层厚度; 采用对原护面人工块体进行分解, 达到垫层设计质量, 形成垫层的新技术是可行的。

参考文献:

[1] 河海大学设计院. 浙江省温岭市钓浜渔港一期防波堤工程施工图设计[R]. 南京: 河海大学设计院, 1999.

[2] 温岭市水利局测量队. 钓浜渔港现状断面与地形测量图[R]. 温岭: 温岭市水利局测量队, 2010.

[3] 河海大学海岸及海洋工程研究所. 浙江温岭钓浜渔港修复工程的设计波浪要素计算报告[R]. 南京: 河海大学海岸及海洋工程研究所, 2010.

[4] 河海大学. 钓浜渔港防波堤修复加固波浪断面物理模型试验报告[R]. 南京: 河海大学, 2011.

[5] 河海大学设计院. 浙江省温岭市钓浜渔港防波堤修复加固工程可行性研究报告[R]. 南京: 河海大学设计院, 2012.

[6] 河海大学设计院. 浙江省温岭市钓浜渔港防波堤修复加固工程初步设计[R]. 南京: 河海大学设计院, 2012.

[7] 河海大学设计院. 浙江省温岭市钓浜渔港防波堤修复加固工程施工图设计[R]. 南京: 河海大学设计院, 2012.

[8] JTJS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].

[9] 建标[2002]273 号工程建设标准强制性条文(水运工程部分)[S].

(本文编辑 武亚庆)