

玻璃幕墙对游艇码头防波堤消浪性能的影响



冯卫兵, 杨逸凡, 倪兴也
(河海大学, 江苏南京 210098)

摘要: 海南龙沐湾八爪鱼游艇码头防波堤工程设计方案, 通过在堤顶设置玻璃幕墙提高挡浪能力。采用物理模型断面试验, 测量不同的幕墙和护面块体组合方案下的堤后波高、越浪量及幕墙所受波浪力。结果表明, 新结构有助于提高防波堤挡浪能力, 在满足游艇码头对港内波高要求的同时, 兼顾了美观性, 具有推广应用的价值。

关键词: 玻璃幕墙; 防波堤; 游艇码头; 护面块体

中图分类号: U 656.2⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0093-05

Influence of glass curtain wall on wave attenuation capacity of marina breakwater

FENG Wei-bing, YANG Yi-fan, NI Xing-ye
(Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A new form of breakwater is proposed according to the design of marina project of Bazhuayu hotel in Longmu bay, Hainan province. Glass curtain walls are installed on the top of breakwaters to enhance the capacity of wave attenuation. Sectional experiments of physical models are conducted to obtain data of different combinations, including wave height behind the breakwater, wave-overtopping discharge, pressure on the glass curtain wall. Results show that the capacity of wave attenuation is improved by new breakwater. Besides, fulfilling the need for aesthetics, the breakwater could provide appropriate wave height condition inside the harbor area, which makes promotion worthwhile.

Keywords: glass curtain wall; breakwater; marina; armor block

防波堤作为游艇码头建筑物的重要组成部分, 其结构除了需要满足特定的使用功能及安全性外, 更需要着眼于美观的设计, 从整体配套设施的布局及周围的景观出发, 选择合适的建筑形式。游艇码头作为一种非常规的港口形式, 其对于港内波高的限制也有着较高的要求。目前国内的研究大多数仅着眼于游艇码头防波堤的平面布置^[1-4]; 国外的研究多针对防波堤影响下波浪对港内游艇及建筑物的作用^[5]; 而针对防波堤结构的研究很少考虑游艇码头的适用性。总体上来说, 对于游艇码头防波堤结构的研究存在空白与局限。

如何在保持较低的堤顶高程的情况下, 保证港内泊稳条件, 同时又不影响周围景观, 是游艇

码头防波堤工程所关注的重点。通过在堤顶设置玻璃幕墙可以很好地兼顾以上几点, 对其使用的研究很有必要。

本文结合海南龙沐湾八爪鱼游艇码头防波堤工程的设计方案, 通过模型断面试验, 测量堤后波高、波浪作用力、越浪量等数据, 测试了不同玻璃幕墙布置方案和护面块体摆放方式下的防波堤消浪能力, 并比较分析不同方案组合对消浪能力的影响, 可以为日后的相关工程提供参考依据。

1 物理模型试验

1.1 试验设备及仪器

试验在不规则波浪水槽中进行, 水槽长 70 m,

收稿日期: 2014-05-20

作者简介: 冯卫兵 (1960—), 男, 博士, 教授, 从事海洋水动力研究。

宽 1.0 m，高 1.8 m，有效试验宽度 0.5 m。水槽一端安装了推板式不规则生波机，通过电机系统控制推波板运动行程和频率来生成波浪，波高由电容式浪高仪测定，所有量测信号均通过计算机采集、记录和分析。试验模型距生波机约 45 m。防波堤采用斜坡与直立堤结合的形式，护面块体采用原型重 2.5 t 的扭王块体。设定模型比尺为 1:28。

堤顶上设置钢化玻璃幕墙作为辅助挡浪结构，高为 1.0 m，幕墙底部与堤顶留有 0.2 m 的间距方便排水。玻璃幕墙模型中部设置了 3 个压强测点，自上而下分布，到堤顶垂直距离分别对应实际比例中的 0.54、0.70 和 0.87 m。断面模型后方设置了 4 个波高仪以测定堤后波高，分别对应实际比例中的堤后 20、40、70 和 100 m。堤前波高仪在试验率定中使用，获取堤前波高。具体布置见图 1 与图 2。

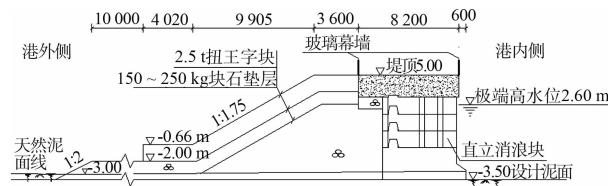
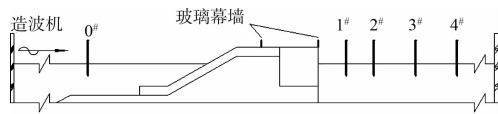
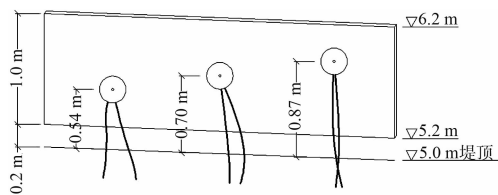


图 1 防波堤断面结构 (单位: mm)



a) 波高仪布置



b) 压强测点布置

图 2 试验模型布置

1.2 试验方法

试验分别采用规则波和不规则波进行。根据交通运输部《海港水文规范》设计波高的累积频率 F 标准要求，不规则波波高采用 $H_{1/3}$ 。不规则波采用 JONSWAP 谱模拟。取谱峰升高因子 $r = 3.3$ ，谱峰周期 $T_p = 1.278T_m$ 进行试验， T_m 为规则波周期。试验要素见表 1。其中 $H_{1\%}$ 规则波和部分

不规则波在由水槽前段较深区域传播至模型前水深 21.8 cm 处的平台段时出现了破碎，与实际工程情况符合。

试验选取实际工程中 2 个典型断面的要素进行，断面 1-1 与 2-2 堤顶高程均为 5.0 m，护面厚度均为 1.5 m。由于其他水位下越浪量可忽略不计，所以仅取工程地点 50 a 一遇高水位 2.60 m 进行试验。

表 1 断面试验尺寸及波浪要素

断面	顶宽/cm	水深/cm	$H_{1\%}$ /cm	$H_{1/3}$ /cm	T_m/s
1-1	29.3	21.8	15.2	12.11	1.78
2-2	47.1	21.8	15.2	12.11	1.78

玻璃幕墙设置分为 4 种情况：无幕墙、堤顶前侧（迎浪侧）设置幕墙、堤顶后侧（背浪侧）设置幕墙以及堤顶前后侧设置双幕墙。同时扭王块体布置方式采用规则摆放与不规则摆放 2 种，测试扭王块体摆放方式对消浪性能的影响。

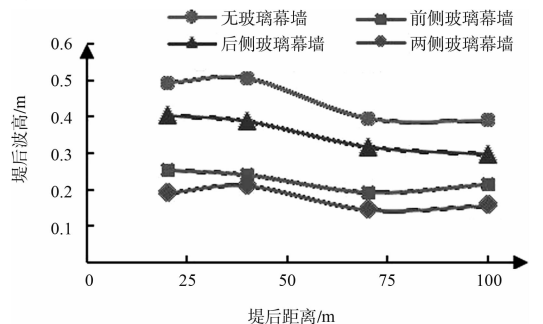
测量越浪量时在堤顶背浪侧使用宽 10 cm 的铁质水槽接取，从产生越浪时开始测量，持续 5 min，再换算为单位宽度、时间下的越浪量。

试验获得的数据包括堤后波高、越浪量和玻璃幕墙上的波浪冲击压强。每组试验重复 3 次，取平均值作为试验值。

2 试验结果及分析

2.1 堤后波高的分布

图 3 表明了典型断面 1-1 和 2-2 在不规则波作用下的堤后有效波高分布 ($H_{1/3}$)。由图 3 可见，设置玻璃幕墙的消浪效果显著，且前侧设置时优于后侧设置，在前后侧同时设置玻璃幕墙时消浪效果最优。



a) 断面1-1(不规则摆)

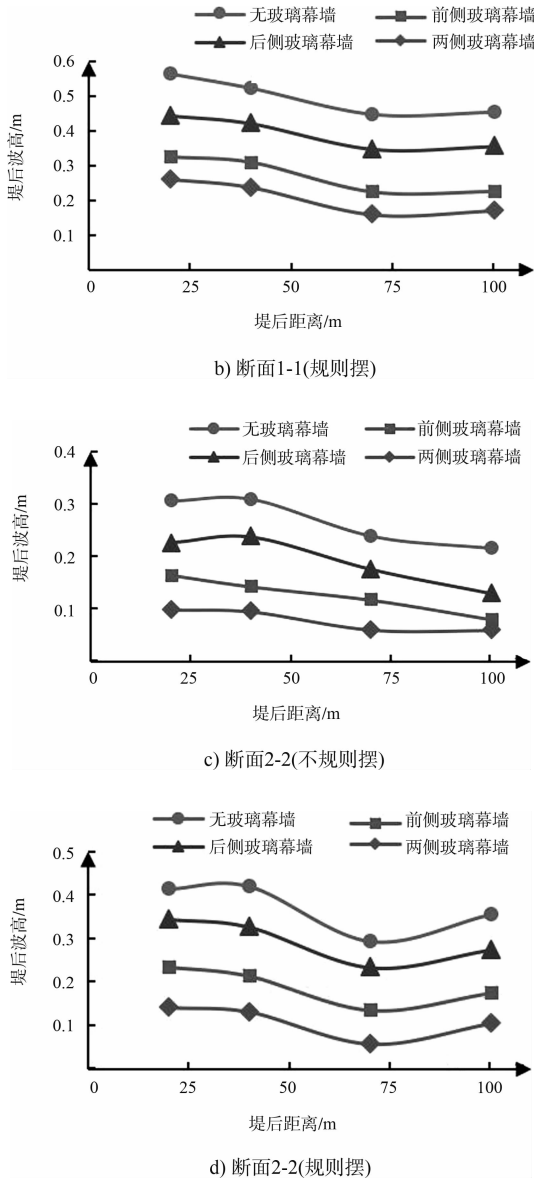


图 3 堤后不同距离波高分布

中国目前还没有专门针对游艇码头的相关规范。法国建筑部 1975 年颁布的标准中规定泊位前允许波高为 0.4 m^[4]；美国陆军工程部的报告中指出，港内 1 ~ 1.5 ft (30.48 ~ 45.72 cm) 的波高是可以接受的^[6]；根据澳洲 2001 年的《游艇港设计准则》，港内掩护条件掩护条件为 50 a 一遇 $H_{1/3}$ 不大于 0.6 m^[7]。根据国内近些年的研究表明，从实际情况及舒适性来看，波高 ($H_{1/3}$) 在 0.1 ~ 0.3 m 是可以接受的；从浮式码头结构抗浪能力和游艇本身的强度来看，码头泊稳的允许波高 ($H_{1/3}$) 取 0.5 m 是合适的^[3]。

由此可见，设置了双侧玻璃幕墙后港内波高已经完全满足了相关要求，可以提供安全的游艇停泊条件。

选取透浪系数作为消浪效果的衡量标准，透浪系数的定义为 $K_t = H_2/H_1$ ，其中 H_2 为堤后波高； H_1 为堤前波高，为未放置断面模型时由造波机生成并在堤前测量所得。

从图 4 中可以看出，相同的扭王块体摆放方式下，透射系数较从小到大依次是两侧幕墙、前侧幕墙和后侧幕墙；在同一种玻璃幕墙设置方案下，扭王块体不规则摆放时的透射系数小于规则摆放时。其中断面 2-2 的透射系数均小于断面 1-1，且不同块体摆放方式下挡浪能力差异更明显。可见防波堤挡浪能力及其对护面块体摆放方式的敏感性与玻璃幕墙之间的间距具有相关性。

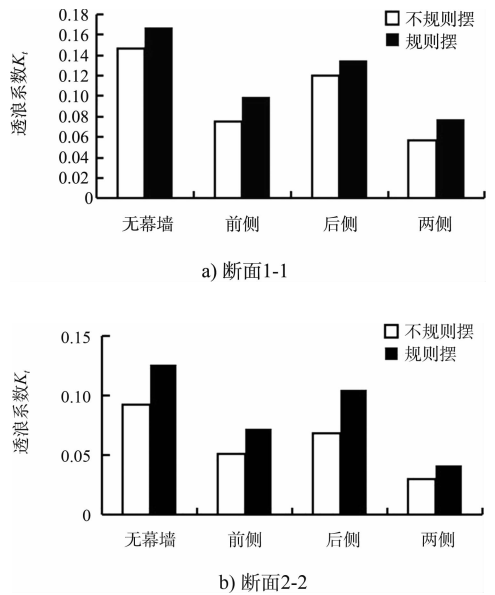


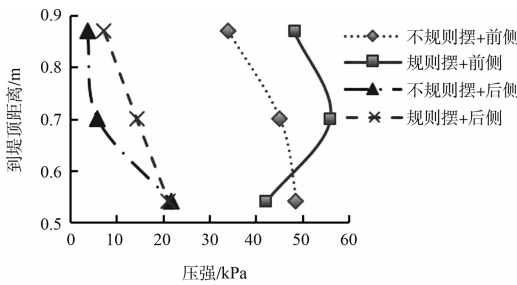
图 4 不同方案下的透射系数

由于游艇码头对于结构美观及与自然的融合上有着较高的要求，考虑到扭王块体规则摆放时仍然能满足停泊及消浪要求，虽然施工量较大，仍可将其视为首选的消浪块体摆放方案。

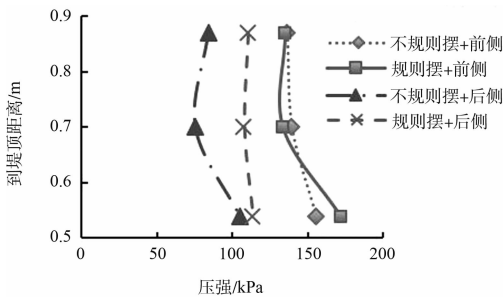
此外，在双侧玻璃幕墙试验中，扭王块体规则摆放时，越浪量均不超过 0.05 m³/(s·m)；不规则摆放时，均不超过 0.04 m³/(s·m)，对港内水域的影响较小，可以忽略不计。

2.2 玻璃幕墙表面波压力的分布

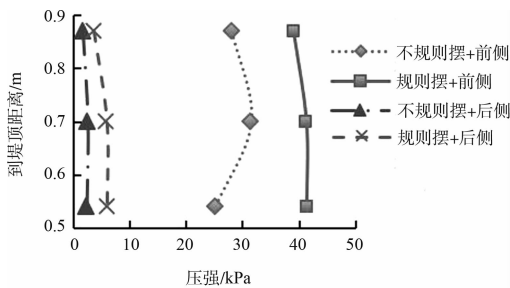
图5表现了在不同的玻璃幕墙设置方案（前、后侧）和不同的扭王块体摆放方式（规则、不规则摆）组合下玻璃幕墙上的压强分布。压强值取 $H_{1\%}$ 规则波下的最大压强和不规则波下的百分之一压强 ($P_{1\%}$)，各测点独立获取所需值。



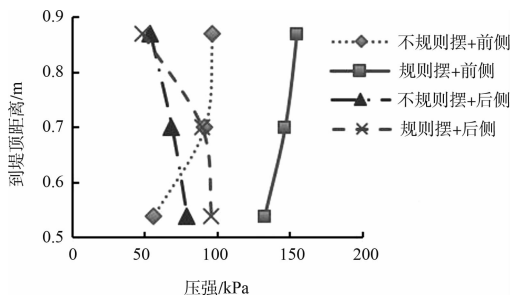
a) 断面1-1, $H_{1\%}$ 规则波



b) 断面1-1, $P_{1\%}$ 不规则波



c) 断面2-2, $H_{1\%}$ 规则波



d) 断面2-2, $P_{1\%}$ 不规则波

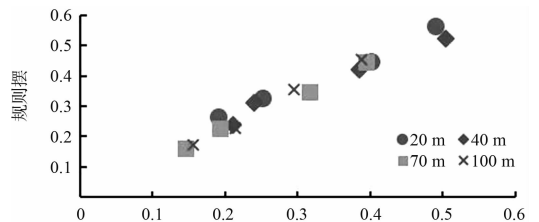
图5 各方案下玻璃幕墙上的压强分布

可以看出：在相同的扭王块体摆放方案下，前侧玻璃幕墙所受压强明显大于后侧；在相同的玻璃幕墙布置方案下，块体规则摆放时幕墙上的压强要大于不规则摆放时。总体压强分布趋势近似于沿垂向均布，符合胸墙上的波压力分布规律。

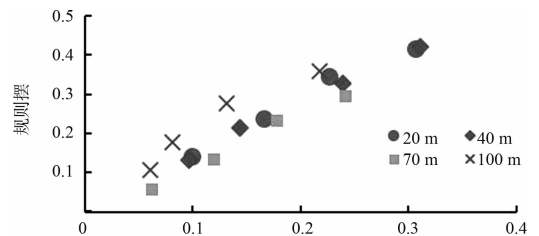
如图5可知，玻璃幕墙上压强最大值未超过180 kPa。目前工程使用的钢化玻璃中，12 mm 厚度规格的平面钢化玻璃最常被用来建造建筑物外墙，其所能承受的最大压强约为90 MPa，远大于试验中的压强最大值。由此可见，本工程中的玻璃幕墙能较好地抵御波浪的作用力，保证自身的结构强度。

2.3 玻璃幕墙与护面块体摆放的关系

如图6所示，试验发现，通过采用不同的玻璃幕墙设置方案，两种扭王块体布置方法的堤后波高呈现线性相关性，且堤后不同距离处波高的线性关系符合良好。



a) 断面1-1



b) 断面2-2

图6 扭王块体摆放方式对堤后波高的影响

不同类标记点代表了堤后不同位置的波高；同类标记点按离坐标原点距离从小到大依次为：布置双侧玻璃幕墙、前侧玻璃幕墙、后侧玻璃幕墙、无玻璃幕墙。

如图7所示, 取透浪系数作为衡量防波堤消浪能力的指标, 可见在2个断面上不同块体摆放方案间的相关性良好, 相关度分别达到约0.99和0.98, 都呈现为一条通过坐标原点的直线; 断面2-2中的直线斜率大于断面1-1; 对于断面1-1, 直线斜率小于1, 可见虽然不规则摆放时挡浪效果更好, 但规则摆放时的透浪系数对于幕墙布置方案的改变更为敏感。

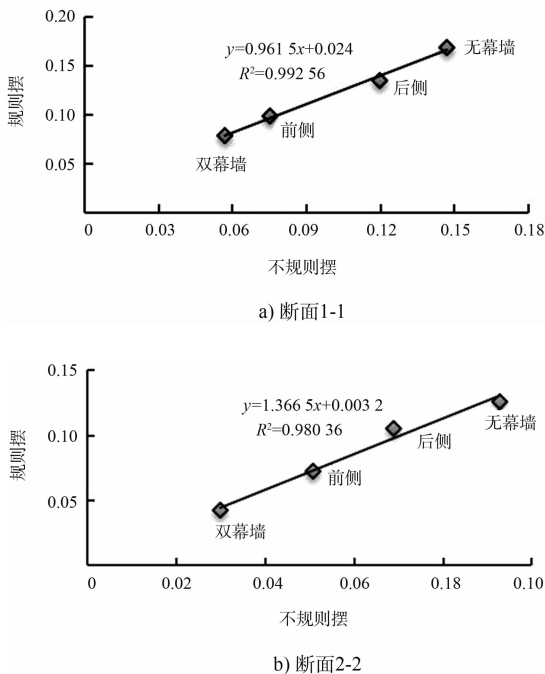


图7 扭王块体摆放方式对透射系数的影响

对于不同断面, 挡浪能力对块体摆放方式的敏感性有差异, 受到各种工程要素的影响。利用这种线性关系, 在日后的类似工程中, 可以为不同方案下防波堤的挡浪性能提供一个可信的预测方式, 减少重复试验, 提高效率。

3 结论

1) 通过在堤顶设置玻璃幕墙, 防波堤的挡浪能力有了显著提升。其中在前侧(迎浪侧)设置

幕墙的消浪效果好于后侧(背浪侧), 在前后侧同时设置时效果最优。同时, 采用同样的玻璃幕墙设置方式时, 在自身稳定的前提下, 扭王块体不规则摆放时的消浪效果好于规则摆放。但考虑到游艇码头项目对美观度和与自然相融合的需求, 块体规则摆放虽然施工量较大, 但仍作为优先考虑。

2) 在规则波与不规则波作用下, 玻璃幕墙上受到的波压强不是很大, 最大处不超过180 kPa。对比工程中常用的钢化玻璃的承载能力, 波浪的作用不足以造成破坏, 使用钢化玻璃建造幕墙结构是一个安全可行的选择。

3) 采用不同的玻璃幕墙设置方案时, 两种扭王块体布置方法的消浪能力大小呈现出线性相关性。其具体关系还有待进一步研究, 但这能为使用玻璃幕墙结构的防波堤工程的设计与试验提供一个简单估测挡浪能力的方法。

参考文献:

- [1] 覃杰, 周野, 何文钦, 等. 游艇码头平面设计参数研究[J]. 水运工程, 2014 (4): 91-98.
- [2] 闫淑英, 周敬梓, 冯海波. 游艇码头防波堤及内护岸结构选型[J]. 水运工程, 2012 (5): 109-112.
- [3] 何文钦. 游艇码头设计[J]. 水运工程, 2004 (3): 61-64.
- [4] 何文钦. 游艇基地布置与设计技术研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [5] Briganti R, Bellotti G, Franco L, et al. Field measurements of wave overtopping at the rubble mound breakwater of Rome-Ostia yacht harbor[J]. Coastal Engineering, 2005, 52(12): 1 155-1 174.
- [6] UFC 4-152—7 Design: Small Craft Berthing Facilities [S].
- [7] AS 3961-2001 Guidelines for design of marinas[S].
- [8] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范 [S].