



基于可作业时间分析的防波堤优化设计

匡峰, 于雯雯, 于晓岩, 周玲娟

(中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 防波堤是码头掩护的重要屏障, 其较高的投资往往成为工程可研阶段方案决策的关键因素。针对粤东某码头的防波堤优化, 在收集附近外海波浪实测资料的基础上, 结合波浪数值模拟成果, 建立外海测波点与码头前沿的波要素转换关系, 得到不同方案所对应的可作业时间, 为防波堤建设方案的决策提供可靠的数据支撑。结果表明, 同方向的外海入射波浪具有基本一致的波浪转换系数, 利用该特性能够简化可作业时间的统计工作, 提高方案比选效率。

关键词: 波浪; 可作业时间; 防波堤; 优化设计

中图分类号: U 652.7+2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)12-0068-04

Optimal design of breakwater based on analysis of operational time

KUANG Feng, YU Wen-wen, YU Xiao-yan, ZHOU Ling-juan

(CCCC FHEC Harbor Engineering Design Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: The breakwater is an important barrier to a wharf, and its high investment often becomes the key factor of scheme decision-making in the feasibility study stage of a project. For optimal design of the breakwater for a wharf project in eastern Guangdong, we collect the measured offshore wave data near the project. On this basis, we establish the transformation relation of wave elements between offshore wave measuring area and wharf front area considering the numerical simulations of waves. In this way, we can obtain the operational time corresponding to different schemes, which can provide reliable data for decision-making of the breakwater construction scheme. The results reveal that offshore waves incident in the same direction have the same transformation coefficient. This feature can be used to simplify the statistical work of operational time and improve the efficiency of scheme selection.

Keywords: wave; operational time; breakwater; optimal design

益海嘉里(潮州)粮油加工基地位于潮州临港产业转移工业园, 为承担该基地的原料接卸、配送运输、仓储服务, 研究在潮州金狮湾港区东片区建设配套通用码头, 其建设规模为: 新建 1 个 7 万吨级通用泊位和 1 个 1 万吨级通用泊位以及防波堤等配套设施^[1]。码头选址所在海域常年风浪大, 作业条件较差, 防波堤的建设尤为必要, 但防波堤的建设往往伴随着前期较高的投资, 其建设方案成为前期设计研究的重点。可作业时间作为直接反映防波堤掩护效果又密切关系到码头建

成后通过能力的重要指标, 则成为前期方案决策的关键依据^[2]。

影响码头可作业时间的因素有很多, 包括风、浪、降雨、雾、雷暴等, 而受防波堤控制的主要是波浪影响下的可作业时间。已收集到的波浪实测资料为工程附近外海开敞水域的统计资料, 而波浪从外海传播至码头前沿的过程中, 经历了一系列的折射、绕射、浅水变形等作用, 其波高大小以及方向均发生了一定的改变^[3]。因此, 建立外海波浪观测点与码头前沿之间波浪要素的转换

关系,是分析本工程在波浪影响下可作业时间的关键所在。对全年逐日逐时的波浪实测资料进行逐个分析,根据各工况的波浪掩护情况,逐个计算并得到传播至码头前沿的一系列波浪要素值,将其船舶的允许作业标准进行对比,最终统计得到波浪影响下的可作业时间^[4-6]。本文结合已有的波浪数值模拟成果,对相同传播方向的波浪建立一个统一的转换关系,从而大幅简化波要素转换的计算工作,提高统计效率。

1 自然条件特点

码头选址于潮州市饶平县大埕湾西侧的鸡笼角,西接柘林湾,南面与南澳岛相望,东隔宫口半岛与招安湾相邻。根据饶平县气象台的多年统计资料,得到以下自然条件特点:

- 1)降雨。本地区雨量充沛,每年 5—8 月为雨季,多年平均降雨量为 1 506.5 mm,年内日降雨量大于等于 10、25、50 mm 的时间分别为 25、17、6 d。
- 2)雾。本地区多年平均雾日为 10.2 d,雾多出现于 10 月—翌年 5 月。
- 3)雷暴。本地区雷暴始于 2 月,终于 11 月,年平均雷暴日为 22.5 d。
- 4)风况。本地区受冬、夏季风的影响明显,

冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风。多年平均风速为 2.3 m/s(饶平县气象站 1956—2015 年数据)。根据工程附近云澳海洋站(位于南澳岛,距离本工程约 20 km)1988—2016 年的实测资料进行统计得出:本海区常风向为 ENE 向,出现频率为 23.1%;次常风向为 NE 向,出现频率为 21.8%;强风向为 NE 向,年内大于 6 级风的平均时间为 37 d,风况见图 1。

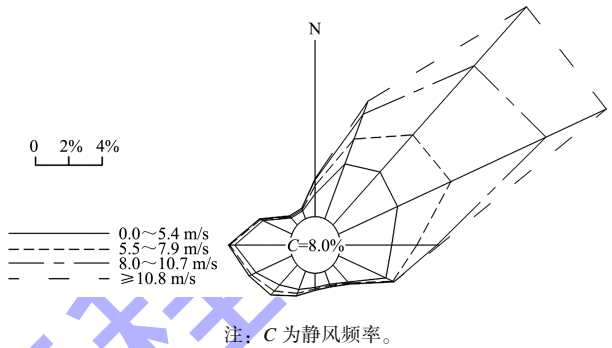


图 1 云澳海洋站 1988—2016 年的风玫瑰图

- 5)波浪。云澳海洋站波浪观测地位于云澳湾和烟墩湾之间的南角,测波点水深约为 10 m,见图 2。根据云澳海洋站 2018—2019 年实测波浪资料的统计可知:本海区以风浪为主,常浪向为 ENE 向,出现频率为 22.9%;次常浪向为 NE 向,出现频率为 21.9%;强浪向为 NE 向,该向 $H_{1/10} \geq 2.0$ m 的频率占 1.4%,全年 $H_{1/10} \geq 2.0$ m 的频率占 2.4%。波况见图 3。

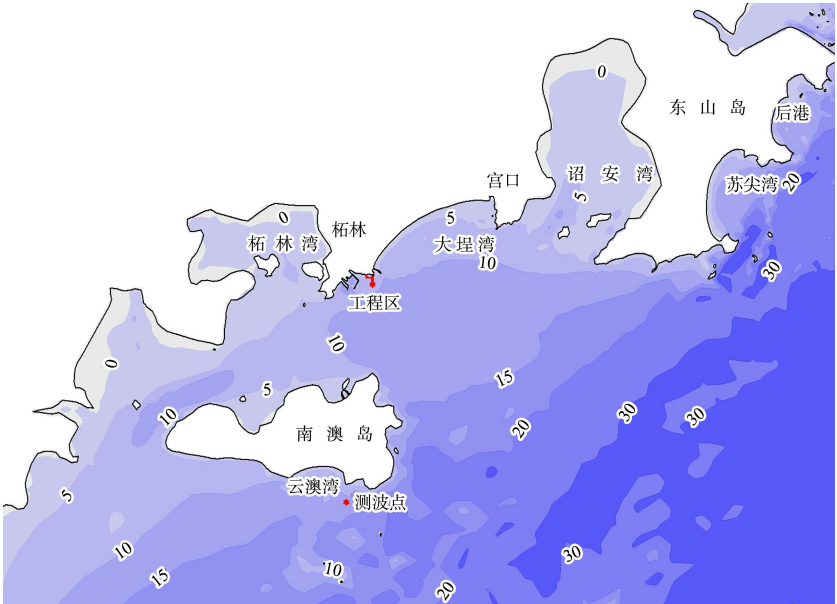


图 2 云澳海洋站测波点位置 (单位: m)

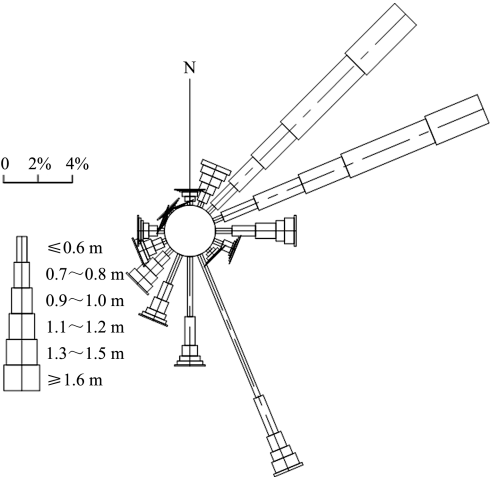


图 3 云澳海洋站 2018—2019 年的波高玫瑰图

2 波浪要素转换关系

本工程前期已进行波浪相关的专题研究，并得到《潮州港益海码头项目波浪整体数学模型计算报告》^[7]。通过建立工程海域的大、小模型，推算得到不同重现期下各方案的设计波浪要素，已有的成果包括 50、25、10 和 2 a 一遇的设计波要素。经过比对，同一传播方向下相同重现期的外海波浪与其传播至港内后的波高大小存在着一个相对固定的转换系数，传播方向的变化也保持一致，而波浪周期则在传播过程中变化不大。将码头前沿波高与外海测点波高之比称为波高转换系数，则可以得到不同重现期下各传播方向的波高转换系数，见表 1。

表 1 优化方案的 $H_{1/10}$ 波高转换系数

波浪入射方向	波高转换系数			
	2 a 一遇	10 a 一遇	25 a 一遇	50 a 一遇
E	0.36	0.36	0.36	0.37
ESE	0.41	0.41	0.41	0.42
SE	0.50	0.50	0.50	0.51
SSE	0.59	0.59	0.60	0.61
S	0.65	0.65	0.66	0.67
SSW	0.82	0.82	0.83	0.84
SW	1.01	1.01	1.02	1.04

由表 1 可看出，同一传播方向下的波浪转换系数基本一致，只有当重现期较大(波高值较大)时，转换系数才有小幅增加。统计波浪影响时间的样本数据为日常实测值，其值一般小于多年一遇的波高特征值，因此本文采用 2 a 一遇的波高转换系数作

为统计波浪影响时间的转换系数。根据数学模型成果，优化方案各方向波要素转换关系见表 2。

表 2 优化方案波要素转换关系

波浪入射方向	$H_{1/10}$ 波高转换系数	港内绕射后方向变化	平均周期/s
E	0.36	S	1.0
ESE	0.41	S	1.0
SE	0.50	S	1.0
SSE	0.59	S	1.0
S	0.65	S	1.0
SSW	0.82	SSW	1.0
SW	1.01	SW	1.0

3 波浪影响的不可作业时间统计

收集到的云澳海洋站波浪实测资料为 2018—2019 年逐日 4 个时刻(8:00、11:00、14:00、17:00)的实测数据，见图 4。可以看出，2019 年全年波高值整体波动较小，最大实测 $H_{1/10}$ 波高仅为 2.0 m (2019-08-25T17:00)，全年波高水平呈现出相对缓和状态；而 2018 年则激烈不少，尤其在夏秋两季的台风频发时期，最大实测 $H_{1/10}$ 波高达到了 5.0 m (2018-09-16T14:00)。而据台风统计资料显示，本地区为我国沿海台风多发区，1949—2017 年，仅在粤东岸段登陆的台风数量就达到了 61 个(年均 0.9 个)，而对本地区能造成一定影响的台风更是不计其数。相比而言，2018 年的波浪实测数据在台风频发期显示出较大的波动性，更具代表性。因此，本文以 2018 年的全年波浪实测数据作为统计样本，对波浪影响的本港区不可作业时间进行分析和统计。

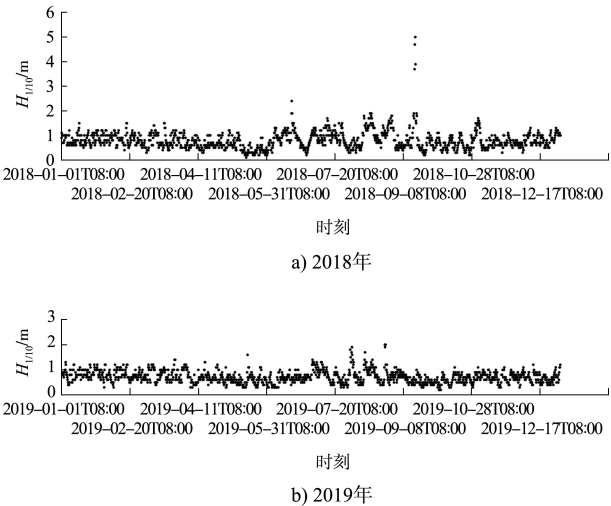


图 4 云澳站 2018—2019 年的波浪实测数据

根据各平面方案波要素转换关系, 可得到全年逐日 4 个时刻下码头前沿波浪统计数据, 将该数据与船舶的作业标准进行逐一比对和判定, 即可统计得出各设计方案下波浪影响的不可作业时间。以优化方案的 1[#]泊位主要设计船型 7 万吨级散货船为例, 根据《海港总体设计规范》^[8], 7 万吨级散货船装卸作业的允许波高值为: 顺浪时不大于 1.2 m, 横浪时不大于 1.0 m, 其中船舶纵轴线与波向线夹角小于 45°为顺浪、大于等于 45°则为横浪, 允许平均周期 $T_m \leq 8$ s。以一天中 4 个时刻的波浪要素均满足作业条件则判定该天为可作业日, 经过波要素的逐一转换、比对和判定, 得到优化方案 1[#]泊位的全年可作业日历。另外, 根据业主提供的数据, 一艘满载的 7 万吨级散货船完成一次进出港及货物的装卸总共需要的平均时间周期为 3 d, 将连续 3 d 以上均为可作业日的时间段判定为连续可作业日, 还可得到连续可作业日历, 根据连续可作业日历便可统计得出每月的可靠泊作业船舶数量, 从而对码头建成后的泊位通过能力有一个相对准确的评估。以优化方案的 1[#]泊位 7 万吨级散货船为例, 其年可作业情况统计见表 3。

表 3 波浪条件影响下的 1 [#] 泊位可作业情况			
月份	可作业日/d	连续可作业日/d	可靠泊作业船舶数量/艘次
1	31	31	10
2	28	28	9
3	31	31	10
4	30	30	10
5	31	31	10
6	28	24	7
7	20	15	5
8	17	11	3
9	17	13	4
10	22	20	6
11	24	24	7
12	30	30	10

4 平面设计方案优化

由于历史原因, 本工程在前期已经取得了海域使用权证, 用海范围已经确定, 平面方案的可比选空间相对有限。本工程疏浚量较小, 影响投资总额的主要因素即为码头及防波堤的建设工程。由于设计船型及用海范围的确定, 码头在平面布置上可优化空间较小, 优化设计主要集中在结构

的比选上; 而防波堤的走向同样受用海限制几乎没有调整空间, 因此平面方案的优化主要集中在防波堤的长度选择上。平面布置方案如图 5 所示。

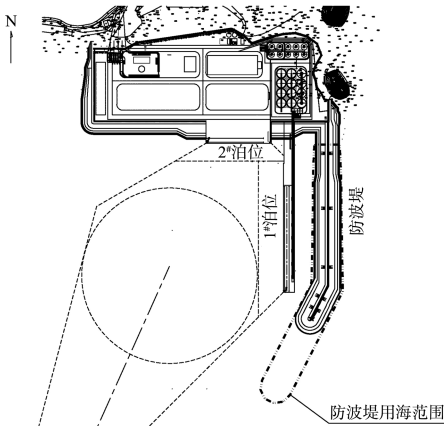


图 5 优化方案平面布置

在已取得的海域使用权中, 防波堤用海范围内最长可建设 721 m, 若完全按照此长度建设, 防波堤的总造价将达到 1.762 亿元, 大幅超出了业主的可接受范围; 而若完全不建设防波堤, 码头的掩护条件则将大打折扣, 为了确保码头结构安全, 码头造价势必增加, 码头的可作业时间将大幅减少。以 1[#]泊位的 7 万吨级散货船为例, 未建防波堤的年可作业时间仅为 183 d, 比建设 721 m 长度的防波堤少 107 d, 泊位通过能力大幅降低。在 721 m 的长度范围内寻找到最优的防波堤建设长度, 既满足港内的掩护条件需求, 又满足业主对造价的要求, 是防波堤设计优化的关键所在。防波堤设计的优化目标为: 防波堤造价控制在 1 亿元以内, 主力运输船型(7 万吨级散货船)的年连续可作业时间在 240 d 以上。最终根据波浪影响下的可作业时间统计结果, 同时考虑风、雨雾、雷暴等各类不利气象因素折减和重叠, 以 1[#]泊位 7 万吨级散货船为例, 各方案的指标对比见表 4。

表 4 各方案主要指标对比

方案	可作业时间/d	连续可作业时间/d	防波堤总造价/亿元
721 m 防波堤	290	275	1.762
621 m 防波堤	278	260	1.306
521 m 防波堤	260	239	0.948
不建防波堤	183	147	0