

# 汕头港广澳港区防波堤顶高程计算 及模型验证

周惊慧<sup>1</sup>, 王崇贤<sup>2</sup>

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230;

2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司 广州分公司, 广东 广州 511442)

**摘要:** 防波堤顶高程是决定防波堤造价的主要因素之一。为有效控制投资, 通过采用斜向浪折减、波浪爬高方法计算堤顶高程, 并进行模型验证分析。得出在2 a一遇的波浪作用下, 防波堤顶高程的降低对港内泊稳条件的影响很小。因此, 在确定防波堤顶高程时应结合其功能特点、使用、防护要求, 选择合适防波堤高程控制标准及计算方法, 进而确定防波堤的顶高程。

**关键词:** 广澳港区; 防波堤顶高程; 斜向浪折减; 波浪爬高; 波浪整体物理模型试验

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0024-06

## Top elevation calculation and model validation of Shantou port Guang'ao port area breakwater

ZHOU Jing-hui<sup>1</sup>, WANG Chong-xian<sup>2</sup>

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Guangzhou Branch, CCCC Second Harbor Engineering Consultants Co., Ltd., Guangzhou 511442, China)

**Abstract:** Breakwater top elevation is one of the main factors determining the breakwater cost. In order to control the investment, this paper calculates the top elevation and model validation using oblique wave reduction, and by wave run-up method. It is concluded that the reduction of the breakwater top elevation has little impact on the inner-harbor mooring conditions under 2-year frequency wave action. Therefore, to determine the breakwater top elevation, we shall consider its functional characteristics and utilization and protection requirements to select appropriate breakwater elevation control standards and calculation methods, and then determine the top elevation of the breakwater.

**Key words:** Guang'ao port area; top elevation of breakwater; oblique wave reduction; wave run-up; overall wave physical model test

设置防波堤主要是为了抵御外海波浪的入侵, 改善港内水域的泊稳条件, 为开敞水域中的港口或其它海洋设施的建设提供一道人工的保护屏障。防波堤的断面工程量是决定防波堤造价的主要因素之一, 而堤顶高程是决定断面工程量的主要参数。本文在充分分析广澳港区自然条件的基

础上, 通过引入斜向浪折减及波浪爬高方法计算防波堤顶高程, 以达到有效控制投资的目的。

### 1 自然条件

汕头港广澳港区地处汕头市南部企望湾东侧的广澳湾内, 地理位置和水深条件十分优越。广澳湾内水深5~8 m, 湾口水深达10 m以上, 濒

收稿日期: 2012-01-06

作者简介: 周惊慧(1982—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口总平面设计工作。

临深水而回淤较轻, 该湾岸线比较稳定, 潮差不大, 潮动力适中, 有着天然的建港优势; 该区水域开敞, 波浪较大, 波浪条件是影响防波堤设计和工程造价的最重要因素。

1) 风。该地区常风向为ENE, 出现频率为27.10%; 其次为NE, 出现频率为15.30%。强风向为ENE,  $\geq 7$ 级风的出现频率为1.0%; 次强风向为NE,  $\geq 7$ 级风的出现频率为0.6%。

2) 波浪。湾口面向广阔南海, 水深浪大, E~SW向波浪均可影响到湾内水域。据湾口外马耳半岛南端-13 m水深处波浪观测站资料测得最大波高7.1 m (SE向), 对应周期10 s; 根据1949—1983年台风资料推算, 汕头港外的较深海区 $H_{1\%}$ 波高可达14.7 m。

结合工程区域的波浪观测资料及科研资料分析, 工程区域波浪具有如下特征: 工程区域的波浪主要集中在ENE~SSW; 常、强浪向为E~S向, 这5个方位出现的波浪频率占总频率的80.8%, 其中, ESE方向占25.5%; 次常、强浪向出现在SSW、ENE向, 出现的波浪频率占总频率的15%左右; 常见的波浪 $H_{max}$ 为1.0~2.9 m, 该波级的波浪频率占73.4%, 其中E~S这5个方位占60.8%。见图1。

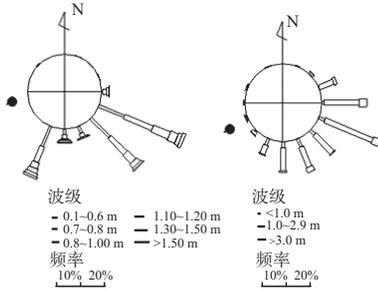


图1 广澳湾波玫瑰图

3) 潮流。本海区属于正规半日潮, 潮流呈往复流特征, 受地形约束影响, 涨潮流向为ESE, 落潮流向为WNW。本海区潮差不大, 潮动力也不大, 潮流流速由湾口向湾内减小, 并且在不同潮汐阶段存在水平环流<sup>[1]</sup>。

## 2 设计要素

### 2.1 设计水位

设计高水位2.05 m, 设计低水位 0.33 m, 极

端高水位 4.08 m, 极端低水位-0.41 m。

### 2.2 设计波要素<sup>[2]</sup>

东、南 (C—G, H—J段) 防波堤 (图2, 3), 考虑按波浪较大的为SE向波浪控制; 西侧 (A—C段) 防波堤, 考虑以波浪较大的SSW向和W向小风区波浪控制。设计波要素见表1。

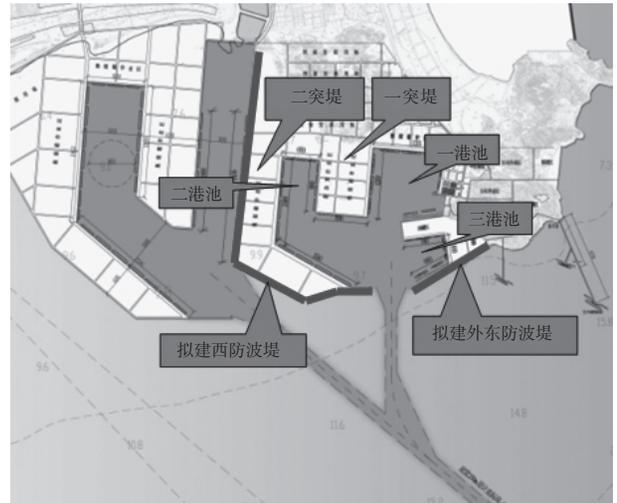


图2 广澳港区规划布置

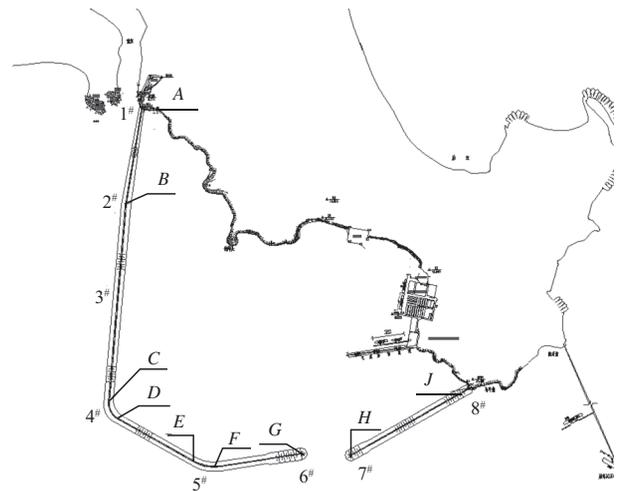


图3 防波堤分段示意

## 3 高程控制标准

对于防波堤工程, 高程的取值直接影响到工程造价。因此, 有效控制防波堤堤顶高程对控制工程投资有很重要的意义。该防波堤的主要功能是保证港区内的泊稳条件、降低陆域高程, 便于后续码头工程的建设。随着码头的建设, 其陆侧将填筑为港区陆域。因此本工程将根据后方的功能确定波浪要素的控制标准, 进而确定防波堤的堤顶高程。

表1 防波堤外侧设计波要素

浪向	计算位置	$H_{1\%}/m$			$H_s/m$			$L/m$			$T/s$		
		2 a 一遇	10 a 一遇	50 a 一遇	2 a 一遇	10 a 一遇	50 a 一遇	2 a 一遇	10 a 一遇	50 a 一遇	2 a 一遇	10 a 一遇	50 a 一遇
SSW	1 <sup>#</sup>	2.12	3.25*	3.25*	1.55	2.88	2.95*	31.1	45.7	53.5			
	2 <sup>#</sup>	2.35	4.42	5.50	1.63	3.22	4.13	38.6	61.1	72.8			
	3 <sup>#</sup>	2.40	4.59	5.78	1.66	3.30	4.26	40.0	65.2	78.4	5.2	7.2	8.3
	4 <sup>#</sup>	2.43	4.66	5.88	1.68	3.34	4.31	40.3	66.1	79.6			
SE	4 <sup>#</sup>	4.96	7.24	8.44	3.57	5.48	6.76	74.7	109.3	132.3			
	5 <sup>#</sup>	5.04	7.37	8.65	3.63	5.57	6.87	75.4	110.4	133.7			
	6 <sup>#</sup>	5.19	7.6	9.06	3.73	5.73	7.07	76.6	112.6	136.6	7.9	12.8	10.8
	7 <sup>#</sup>	5.18	7.59	9.05	3.72	5.72	7.06	76.6	112.6	136.6			
	8 <sup>#</sup>	4.87	7.00	7.39	3.55	5.40	6.60	71.2	103.2	124.6			
W				2.53			1.74						4.7

注:  $L$ 为平均波长,  $T$ 为平均波周期, “\*”为破碎波波高。

根据港区的规划及建设时序, 该工程防波堤考虑分步建设: 1) 近期: 防波堤主要为广澳港区港内的泊位形成良好的泊稳条件及为港内泊位的建设形成良好的施工条件, 因此, 工程近期考虑按2 a一遇波浪和10 a一遇波浪控制防波堤高程, 其中2 a一遇波浪考虑基本不越浪, 10 a一遇波浪考虑允许少量越浪计算防波堤堤顶高程。2) 远期: 西防波堤部分岸段后方将回填形成陆域, 因此, 此阶段将综合后方港区的控制高程, 按50 a一遇波浪确定防波堤堤顶高程, 其中50 a一遇波浪考虑基本不越浪或少量越浪计算防波堤堤顶高程。

#### 4 斜向浪折减

分析前述波浪统计资料, 东、南段(C—G, H—J段)防波堤影响较大的为SE向波浪; 西侧防波堤(A—C段)受SSW向和W向小风区波浪影响较大。

在对波浪爬高及对建筑物的作用计算中, 我国现行的JTJ 213—1998《海港水文规范》及JTJ 298—1998《防波堤设计与施工规范》中仅考虑了波浪正向入射作用情况, 而未考虑斜向浪作用的影响, 这与存在斜向浪作用时的实际情况有出入, 且偏于保守。

鉴于本工程建设规模大、投资高且需要结合规划码头岸线接近、远期分期建设的特点, 在符合相关设计标准、规范的前提下, 适当考虑斜向浪的折减效应是很有必要的。

根据港区规划, 工程西防波堤段(B—C段)外侧远期为规划的深水泊位岸线, 其主要浪向为西南向, 可适当考虑斜向波浪作用的折减效应, 以降低堤顶高程, 进而减少工程投资。

针对波浪入射折减的研究成果相对较少, 国外主要有日本、苏联、荷兰等规范法, 国内主要为GB 50286—1998《堤防工程设计规范》和《浙江省海塘工程技术规定》对波浪斜向入射折减系数有相关规定。

各主要规范夹角范围多取在 $0^\circ \sim 60^\circ$ 内, 其中 $60^\circ$ 夹角下对应斜向折减系数 $K_\beta=0.71 \sim 0.76$ , 而本工程西侧斜坡堤轴线走向北偏东 $50^\circ$ , 其法线方向与斜向浪(SSW向)夹角为 $67^\circ$ , 参照河海大学相关试验成果认为, 当夹角大于 $60^\circ \sim 70^\circ$ 范围后,  $K_\beta$ 变化曲线将趋于水平, 建议 $K_\beta$ 不小于0.6。综合以上比较分析, 本文针对西防波堤(A—C段)SW向波要素折减系数 $K_\beta$ 取为 $0.7^{[3-7]}$ 。

#### 5 堤顶高程计算

针对工程区域特点, 提出斜坡堤结构方案与基本不需要人工块体护面的宽肩台斜坡堤结构, 本文针对两种结构形式进行堤顶高程的计算。

##### 1) 斜坡堤结构。

根据前述防波堤高程控制标准, 近期防波堤主要为广澳港区港内的泊位形成良好的泊稳条件, 为港内泊位的建设形成良好的施工条件, 因此, 本工程近期考虑10 a一遇波浪允许少量越浪

计算防波堤堤顶高程, 同时堤顶高程需满足防波堤施工需要。远期西防波堤部分岸段后方将回填形成陆域, 本阶段综合后方港区的控制高程, 按50 a一遇波浪考虑基本不越浪或少量越浪计算防波堤堤顶高程, 给出防波堤堤顶高程理论计算范围值。

波浪爬高采用JTJ 213—1998《海港水文规

范》8.2.3条规定公式进行计算。

本工程近期按10 a一遇波浪考虑, 允许少量越浪计算防波堤堤顶高程, 计算波要素采用 $H_s$ , 计算过程参数见表2。由于近期防波堤的建设采用陆上推填形成, 需考虑施工期车辆行走安全。因此, 防波堤堤顶高程采用施工水位+护面结构高度复核(施工水位为2.7 m), 见表3。

表2 斜坡堤结构近远期防波堤高程

堤段	时期	$m$	$M$	$R(M)/m$	$(R_1)_m/m$	$R_1/m$	$R_{F\%}$ (爬高值)/m	高程计算值/m
1 <sup>#</sup> -2 <sup>#</sup>	近期	2	3.784	0.798	2.172	2.061	2.18	4.23
	远期	2	3.410	0.902	1.909	1.910	3.46	5.51
2 <sup>#</sup> -3 <sup>#</sup>	近期	2	3.143	0.960	2.871	2.855	3.10	5.15
	远期	2	2.768	1.006	2.688	2.702	5.14	7.19
3 <sup>#</sup> -4 <sup>#</sup>	近期	2	3.064	0.974	2.931	2.928	3.22	5.23
	远期	2	2.684	1.009	2.784	2.788	5.39	7.44
4 <sup>#</sup> -5 <sup>#</sup>	近期	2	3.066	0.974	2.367	2.379	6.23	8.28
	远期	2	2.932	0.992	2.081	2.102	8.54	10.59
5 <sup>#</sup> -6 <sup>#</sup>	近期	2	3.019	0.981	2.407	2.421	6.52	8.57
	远期	2	2.864	1.000	2.120	2.138	9.10	11.15
7 <sup>#</sup> -8 <sup>#</sup>	近期	2	3.022	0.981	2.407	2.421	6.51	8.56
	远期	2	2.865	0.999	2.120	2.138	9.09	11.14

表3 斜坡堤结构近期防波堤高程复核

堤段	护面结构高度/m	高程计算值/m
1 <sup>#</sup> -2 <sup>#</sup>	2.97	5.67
2 <sup>#</sup> -3 <sup>#</sup>	2.97	5.67
3 <sup>#</sup> -4 <sup>#</sup>	2.97	5.67
4 <sup>#</sup> -5 <sup>#</sup>	4.08	7.05
5 <sup>#</sup> -6 <sup>#</sup>	4.08	7.05
7 <sup>#</sup> -8 <sup>#</sup>	4.80	7.50

注: 1<sup>#</sup>-4<sup>#</sup>堤段采用6 t扭王字块护面, 4<sup>#</sup>-6<sup>#</sup>堤段采用19 t扭王字块护面, 7<sup>#</sup>-8<sup>#</sup>堤段采用25 t扭王字块护面。

远期西防波堤部分岸段后方将回填形成陆域, 本阶段综合后方港区的控制高程, 按50 a一遇波浪考虑基本不越浪或少量越浪计算防波堤堤顶高程, 给出防波堤堤顶高程理论计算范围值, 计算波要素采用 $H_{1\%}$ , 计算过程参数见表2。

综合考虑防波堤越浪情况及施工期车辆行走安全和远期堤后陆域使用情况确定防波堤堤顶高程, 堤顶高程取值见表4。

## 2) 宽肩台结构。

对于宽肩台结构形式, 计算思路同斜坡堤结构。其中波浪爬高的计算考虑复式平台对波浪爬高的折减, 与斜坡堤结构波浪爬高的计算差别在

表4 斜坡堤结构防波堤高程

堤段	时期	堤顶高程/m
1 <sup>#</sup> -4 <sup>#</sup>	近期	5.7
	远期	7.5~9.5
4 <sup>#</sup> -6 <sup>#</sup>	近期	8.6
	远期	11.2~12.7
7 <sup>#</sup> -8 <sup>#</sup>	近期	8.6
	远期	11.2~12.7

于宽肩台结构平台对波浪爬高存在消浪折减。

根据GB 50286—1998《堤防工程设计规范》C.3条, 同时参考DB 44/T182—2004《广东省海堤工程设计导则(试行)》等标准, 针对带有平台的复合斜坡堤, 可先确定该断面的折算坡度系数 $m$ , 再按坡度系数为 $m$ 的单坡断面确定其爬高。

折算坡度系数 $m$ 按GB 50286—1998《堤防工程设计规范》附录C C.3确定。

根据JTJ 298—1998《防波堤设计与施工规范》, 对宽肩台抛石斜坡堤, 堤顶高程宜按基本不越浪确定。因此, 本工程近期考虑10 a一遇波浪考虑基本不越浪计算防波堤堤顶高程, 计算波要素采用 $H_{1\%}$ , 计算过程参数见表5。由于近期防波

表5 宽肩台结构近远期防波堤高程

堤段	时期	$m$	$M$	$R(M)/m$	$(R_1)_m/m$	$R_1/m$	$R_{F\%}$ (爬高值)/m	高程计算值/m
1#-2#	近期	3.07	1.763	0.791	2.172	1.700	2.47	4.52
	远期	2.95	1.936	0.869	1.909	1.613	2.92	4.97
2#-3#	近期	3.02	1.476	0.628	2.871	1.855	2.80	4.85
	远期	2.90	1.597	0.701	2.688	1.904	3.62	5.67
3#-4#	近期	3.01	1.442	0.606	2.931	1.838	2.82	4.87
	远期	2.89	1.554	0.675	2.784	1.911	3.70	5.75
4#-5#	近期	2.94	1.814	0.815	2.367	1.902	6.20	8.25
	远期	2.81	2.084	0.922	2.081	1.859	6.53	8.58
5#-6#	近期	2.93	1.792	0.805	2.407	1.914	6.57	8.62
	远期	2.80	2.045	0.909	2.120	1.870	7.08	9.13
7#-8#	近期	2.93	1.793	0.805	2.407	1.915	6.56	8.61
	远期	2.80	2.046	0.910	2.120	1.871	7.07	9.12

表6 宽肩台结构近期防波堤高程复核

堤段	高程计算值/m
1#-2#	5.25
2#-3#	5.50
3#-4#	5.50
4#-5#	5.50
5#-6#	5.50
7#-8#	6.00

堤的建设采用陆上推填形成，需考虑施工期车辆行走安全。因此，防波堤堤顶高程采用施工水位+护面结构高度复核（施工水位为2.7 m），见表6。

远期西防波堤部分岸段后方将回填形成陆

域，本阶段综合后方港区的控制高程，按50 a一遇波浪考虑基本不越浪计算防波堤堤顶高程，计算波要素采用 $H_{1\%}$ 计算防波堤堤顶高程理论范围值，计算过程参数见表5。

表7 宽肩结构防波堤高程

堤段	时期	堤顶高程/m
1#-4#	近期	5.5
	远期	5.8~7.8
4#-6#	近期	8.6
	远期	9.2~11.2
7#-8#	近期	8.6
	远期	9.2~11.2

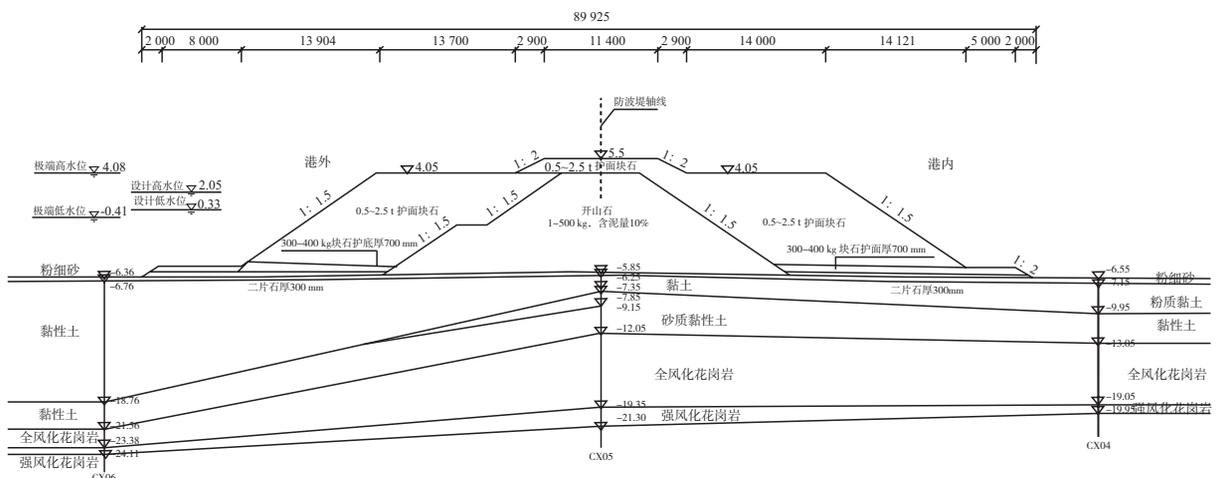


图4 宽肩台防波堤断面

综合考虑施工期车辆行走安全及防波堤越浪确定防波堤堤顶高程，堤顶高程取值见表7。

## 6 模型验证<sup>[8]</sup>

为了验证计算堤顶高程的有效性，进行了本

工程波浪整体物理模型试验，并针对不同堤顶高程研究港内泊稳及波高变化情况。

### 1) 近期方案。

SSE向波浪作用时，码头前沿最大有效波高出现在二港区和三港区附近，设计高水位和设计

低水位的2 a一遇 $H_{4\%}$ 波高, 基本能满足泊稳要求。S向波浪作用时, 码头前沿最大有效波高出现在二港区, 设计高水位和设计低水位的2 a一遇 $H_{4\%}$ 波高, 基本能满足泊稳要求。SSW向波浪作用时, 码头前沿最大有效波高出现在三港区, 不能满足泊稳要求。

当防波堤高程变化时, 随着防波堤堤顶高程的降低, 越浪加大, 港区内波高随之增大, 当堤顶高程降至4.40 m时, 3个港区拟建码头轴线上的有效波高增大到3 m以上, 其中, 二港区的北侧与一港区北侧的交接处的有效波高达到4 m以上, 防波堤内侧的有效波高也达到4 m左右。在2 a一遇的波浪作用下, 由于越浪较小, 随着防波堤顶高程的降低, 港区内波高总体呈增大趋势, 但变化幅度很小。因此, 防波堤高程的降低, 主要影响港内码头结构的设计波浪要素, 对港内泊稳条件的影响很小。

## 2) 远期方案。

远期方案, 码头未建成, 由于防波堤高程达到11.20 m, 东、西两道防波堤基本无越浪, 波浪主要通过口门绕射进入一、二港区, 故一、二港区有效波高基本都小于1 m。SW向波浪由于通过口门正对三港区, 故对三港区影响较大, 最大波高出现在三港区, 达到4 m以上。

远期方案, 采用直立式码头结构。码头结构采用直立式, 则波浪在码头前反射较大, 尤其是三港区, 在设计高水位及设计低水位时, SW,SSW,S这3个波浪方向的2 a一遇波浪作用下, 不能满足泊稳要求。一、二港区在设计高水位及设计低水位时, SW,SSW,S这3个波浪方向的2 a一遇波浪作用下, 码头前沿及码头前波高能满足泊稳要求。

由于远期方案防波堤基本不越浪, 口门掩护良好, 港内波高分布主要受口门绕射波影响, 因此, 其它方向的入射波对港内码头结构和泊稳条

件的影响均较小。

## 7 结语

防波堤的断面工程量是决定防波堤造价的主要因素之一。在确定断面工程量时, 防波堤顶高程是最重要的参数之一。

本文通过引入波浪斜向浪折减及波浪爬高方法, 根据不同阶段防波堤使用要求计算堤顶高程, 并通过波浪整体物理模型进行验证, 验证广澳港区防波堤堤顶高程的有效性及其高程控制标准的合理性。并针对不同堤顶高程对港内泊稳及波高情况进行了研究, 得出在2 a一遇的波浪作用下, 由于越浪较小, 随着防波堤顶高程的降低, 港区内波高总体呈增大趋势, 但变化幅度很小, 主要影响港内码头结构的设计波浪要素, 对港内泊稳条件的影响很小。

因此, 在确定防波堤顶高程时应结合其功能特点, 使用、防护要求, 选择合适防波堤高程控制标准及计算方法, 进而确定防波堤的顶高程。

## 参考文献:

- [1] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 汕头港广澳港区防波堤工程可行性研究报告[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2009.
- [2] 河海大学. 汕头港广澳港区防波堤工程设计波浪及港内波高计算报告[R]. 南京: 河海大学, 2009.
- [3] JTJ 298—1998 防波堤设计与施工规范[S].
- [4] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [5] GB 50286—1998 堤防工程设计规范[S].
- [6] DB 44/T182—2004 广东省海堤工程设计导则(试行)[S].
- [7] 浙江省行业标准. 浙江省海塘工程技术规定 [S]. 杭州: 浙江省水利厅, 1999.
- [8] 河海大学. 汕头港广澳港区防波堤工程波浪整体物理模型试验[R]. 南京: 河海大学, 2009.

(本文编辑 武亚庆)