

· 综 合 ·



大连海上机场人工岛越浪量物模试验*

王 诺¹, 郁艸兰¹, 吴 暖¹, 吴 迪¹, 张日向², 张宁川²

(1. 大连海事大学交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026;

2. 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: 通过分析大连海上机场人工岛水域的波浪要素, 采用 JONSWAP 谱, 以不同波浪入射方向对人工岛挡浪墙越浪量开展物模试验。试验表明, 对于设计给出的挡浪墙断面, 在极端高水位、波浪重现期为 100 a 和 200 a 的情况下, 各方向挡浪墙的越浪量可以满足设计要求。越浪量物模试验的结果为人工岛护岸结构的优化提供了科学依据。

关键词: 人工岛; 机场; 波浪; 试验

中图分类号: P 752

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0001-07

Physical model experiment on wave overtopping of Dalian offshore airport artificial island

WANG Nuo¹, YU Tiao-lan¹, WU Nuan¹, WU Di¹, ZHANG Ri-xiang², ZHANG Ning-chuan²

(1. College of Transportation Management, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. State Key Lab of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on the analysis of wave elements of waters around Dalian offshore airport artificial island, we carry out the physical model experiment on the wave overtopping of the artificial island's retain wave wall with different wave directions using JONSWAP spectrum. The results show that, for the design retain wave wall section, the wave overtopping of different directions can meet the design requirements in the case of 100 a and 200 a of the wave return period under the extreme high water level. The experimental results provide a scientific basis for optimizing the artificial island revetment structure.

Keywords: artificial island; airport; wave; experiment

为迁建新机场做准备, 大连市需先期在金州湾海域建设人工岛。该人工岛长 6 235 m、宽 3 500 m, 面积约 20 km², 距岸边最近处约 3 km, 通过跨海大桥与后方陆地连接。新大连机场将成为世界上迄今面积最大、我国大陆唯一远离海岸的人工岛机场。

金州湾位于渤海东部, 海湾呈椭圆形, 湾口朝向西北, 面积 342 km², 水深自东向西逐渐递增至 10 m, 为砂砾质基岩原生湾。该湾没有港口设施、缺乏水位资料。建设离岸型人工岛机场, 最关键的是如何防止过多的海水入侵, 如果增加挡

浪墙的高度, 虽然可以有效减少越浪量, 但同时也增加了飞机起降的危险性, 增加无谓的工程投资。因此, 为优化挡浪墙高程设计, 确定波浪要素, 开展挡浪墙越浪物模试验, 对于保证机场挡浪墙较少越浪、提高飞机起降安全性、节约工程投资具有重要意义。

关于水工建筑物的越浪问题, 已有较多学者开展过研究。俞聿修等^[1]研究了斜向和多向不规则波对直立堤的越浪量, 导出了斜向和多向不规则波作用于直立堤上的平均越浪量计算公式; 李晓亮等^[2]通过三维物理模型试验研究了斜坡堤上

收稿日期: 2014-07-27

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (71372087)

作者简介: 王诺 (1954—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为港口工程。

在非破碎波条件下平均越浪量与波浪参数的关系，给出了适用于混凝土护面和扭工字块体护面平均越浪量的估算公式；张向东等^[3]进行了允许越浪条件下海堤越浪量分析，研究了海堤越浪量可靠度分析的可行性等等。有关越浪量的计算，陈国平^[4]提出了不规则波作用下海堤越浪量的计算公式。

本文从实际应用角度出发，通过对大连海上机场人工岛护岸越浪量的计算和物理模型试验，研究在不同重现期下，各波浪方向及不同护岸挡浪墙断面的越浪情况，以便为优化工程设计提供科学依据。

1 基本数据

1.1 研究断面

根据人工岛护岸平面构型，共验证了 4 个断面的越浪情况，分别为西护岸南段、西护岸北段、

北护岸和东护岸北段，具体位置见图 1。每个断面试验考虑其最不利波向。考虑工程水深、波浪和地质条件，人工岛护岸采用斜坡式结构，典型断面形式见图 2，护岸块体选用文献[5]中 A 型扭王字块。

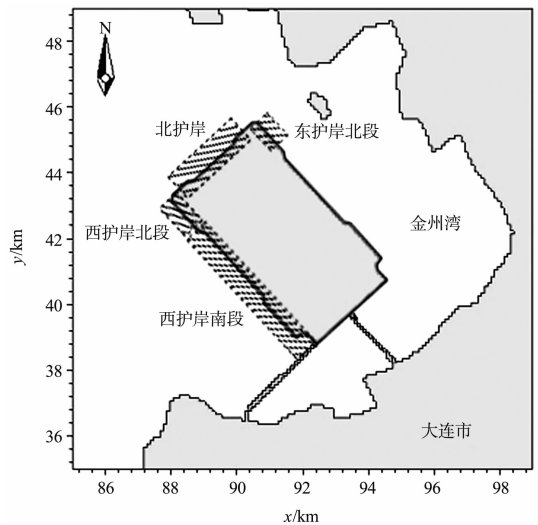
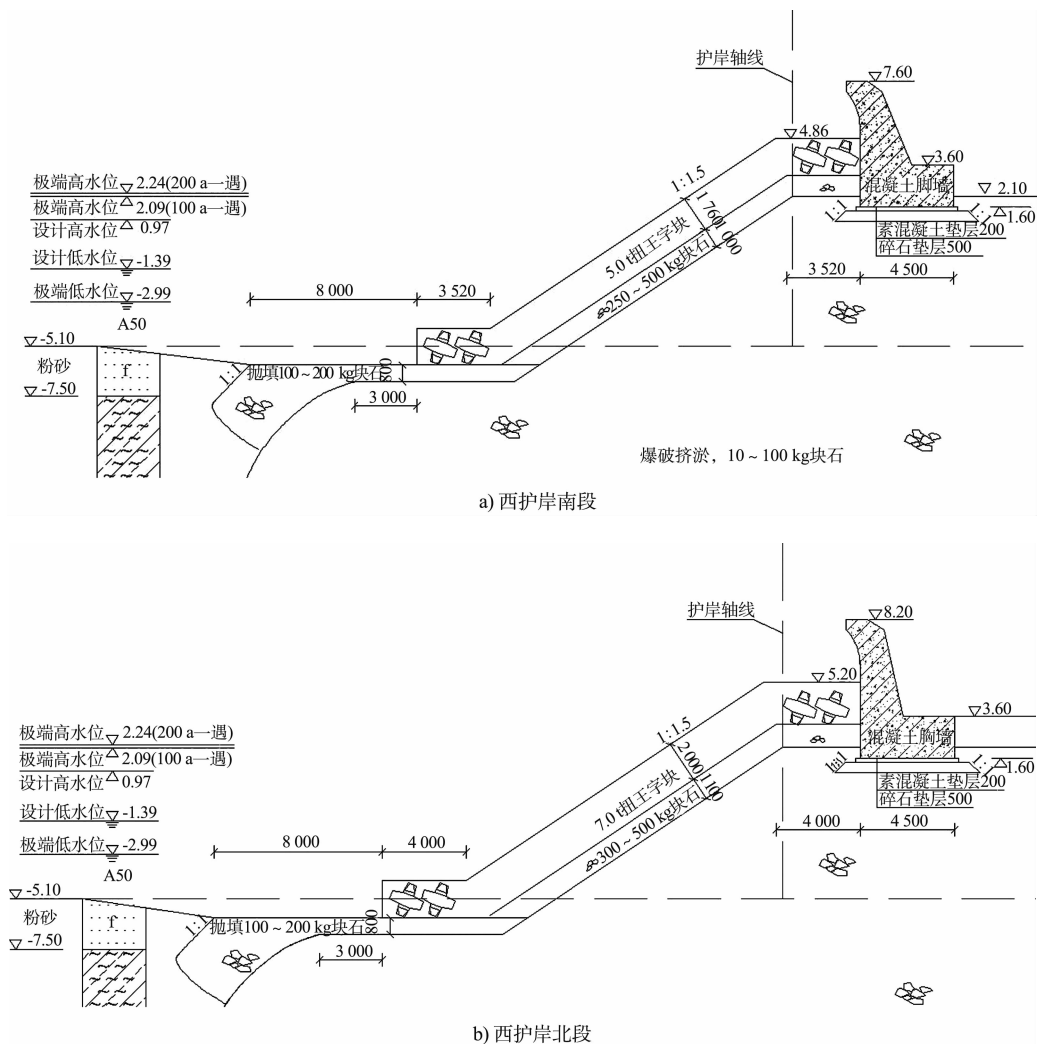


图 1 人工岛护岸试验分区



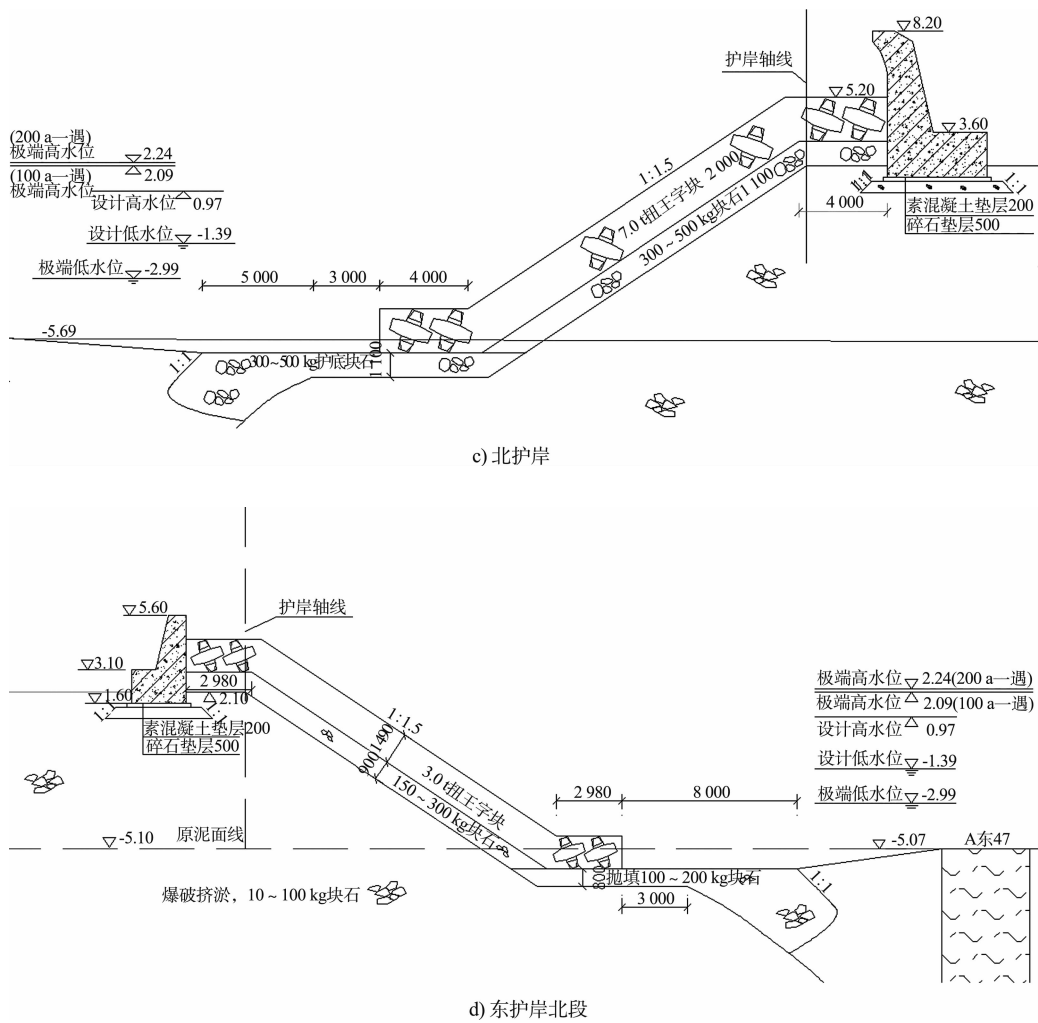


图 2 护岸及挡浪墙各分区断面 (高程: m, 尺寸: mm)

1.2 水文条件及设计标准

设计水位 (基准面为国家 85 高程): 设计高水位 0.97 m, 设计低水位 -1.53 m, 重现期 50 a 极端高水位 1.97 m, 重现期 100 a 极端高水位 2.09 m, 重现期 200 a 极端高水位 2.24 m, 重现期 50 a 极端低水位 -2.99 m。

根据金州湾构造特点和人工岛平面布置形态, 确定主要波向为 WNW、NW、W、WSW、N、SW。推算工程位置的波浪要素时, 原始数据选择距离工程区 40 km 左右北隍城海洋站 (N38°24', E120°55')。该站与金州湾同处渤海一侧, 面对 N-S 向外海, 采用丹麦水科所 (DHI) 研制的计算软件 MIKE21 推算出相应波要素 (表 1)。为检验波浪数值计算结果的可靠性, 将金州湾棋盘磨波浪观测站 (2005-04-1—2005-12-31) 实测波高与

同期北隍城测波站实测波高做进行对比, 两者吻合良好。

鉴于人工岛的重要性, 根据不同设计标准, 分别按 6 种工况分别进行试验, 即: 1) 极端高水位重现期 50 a 及波高重现期 50 a; 2) 极端高水位重现期 50 a 及波高重现期 100 a; 3) 极端高水位重现期 50 a 及波高重现期 200 a; 4) 极端高水位重现期 100 a 及波高重现期 100 a; 5) 极端高水位重现期 100 a 及波高重现期 200 a; 6) 极端高水位重现期 200 a 及波高重现期 200 a。参考城市防洪标准, 确定越浪量允许值为: 1) 设计工况: 重现期 100 a 极端高水位和重现期 100 a 波高组合条件下, 越浪量 $\leq 0.0050 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$; 2) 极端工况: 重现期 200 a 极端高水位和重现期 200 a 波高组合条件下, 越浪量 $\leq 0.0200 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ 。

表1 人工岛护岸设计波高和周期推算结果

位置	波要素 方向	波高/m											\bar{T}/s			
		$H_{13\%}$			$H_{5\%}$			$H_{4\%}$			$H_{1\%}$			A	B	C
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
西护岸	SW	3.18	3.60	3.65	3.60	4.00	4.00	3.70	4.10	4.10	4.20	4.60	4.60	8.5	9.0	9.0
	WSW	3.18	3.80	4.89	3.60	4.31	5.41	3.70	4.41	5.43*	4.20	4.95	5.43*	8.7	8.8	8.8
	W	3.20	3.21	3.31	3.67	3.70	3.79	3.76	3.80	3.89	4.27	4.33	4.41	7.7	8.3	8.7
	WNW	3.50	3.84	4.14	3.99	4.35	4.66	4.09	4.46	4.77	4.62	5.01	5.33	9.1	11.1	11.9
北护岸	W	3.16	3.17	3.26	3.62	3.63	3.73	3.71	3.73	3.83	4.21	4.23	4.34	7.7	8.3	8.7
	WNW	3.38	3.74	4.05	3.85	4.23	4.56	3.95	4.33	4.66	4.46	4.86	5.21	9.1	11.1	11.9
	NW	3.39	3.55	3.64	3.86	4.04	4.14	3.95	4.13	4.24	4.46	4.66	4.77	10.9	11.9	12.3
东护岸北段	N	1.90	3.60	3.65	2.00	2.20	2.20	2.10	2.30	2.30	2.40	2.50	2.50	5.1	5.1	5.1

注：A、B和C分别表示极端高水位下重现期为50、100、200 a的波要素。*表示波浪已经破碎。

2 越浪物模试验

2.1 试验方法

按照文献[6]中的有关规定，本次试验采用正态模型，考虑到试验场地长度和研究范围等因素，将模型比尺定为1:60。根据人工岛平面布置方案，确定模型试验的有效范围为北护岸3 500 m、东护岸北段500 m、西护岸北段800 m和西护岸南段5 435 m区域，见图1。南护岸因位于人工岛背面，波浪较小，所以未列入试验范围。

物模试验在长50 m、宽1 m、深1.5 m的水槽中进行。水槽一端配备推移式不规则波造波机，可产生各种不规则波浪。水槽尾部安装了效能网等消能设备，以尽量避免波浪的反射。试验时，在每个水位条件下模拟波浪作用的时间取3 h，以利于观察波浪累积作用下的变化情况，每组至少重复3次。当3次试验现象差别较大时，增加重复次数，每次护面块体及挡浪墙构件均重新摆放。试验模型按重力相似准则设计，结构断面尺寸满足几何相似，各比尺关系如下：

$$\lambda = \frac{l_p}{l_m} \quad (1)$$

$$\lambda_t = \lambda^{1/2} \quad (2)$$

$$\lambda_H = \lambda \quad (3)$$

$$\lambda_T = \lambda^{1/2} \quad (4)$$

$$\lambda_q = \lambda^{3/2} \quad (5)$$

式中： λ 为模型长度比尺； l_p 为原型长度； l_m 为模型长度； λ_t 为时间比尺； λ_H 为波高比尺； λ_T 为波

周期比尺； λ_q 为单宽流量比尺。模型参数比尺换算见表2。

表2 试验用比尺

试验断面	几何比尺 λ	时间比尺 λ_t	波高比尺 λ_H	周期比尺 λ_T	单宽流量比尺 λ_q
西护岸南段	25.5	5.05	25.5	5.05	128.77
西护岸北段北护岸	28.5	5.34	28.5	5.34	152.15
东护岸北段	21.5	4.64	21.5	4.64	99.69

不规则波采用JONSWAP谱模拟，将给定的有效波高及周期送入计算机进行波谱模拟。通过修正，使峰频附近谱密度、峰频、谱能量、有效波高等满足试验规程要求，即波能谱总能量允许偏差为±10%；峰频模拟值允许偏差为±5%；在谱密度不小于0.5倍谱密度的范围内，谱密度分布允许偏差为±15%。每组波要素的波列都保持波个数在100以上。根据不同断面对给定的波要素进行率定并存储于计算机中。造波时，通过造波板前的水位传感器，实时监测水面变化，利用叠加和分离原理分析出反射波，在控制信号中实时叠加与反射波相反的信号，将造波板的二次反射吸收掉，以保证入射波的准确性。

测定越浪量时，在堤顶上方用接水装置接取越浪水量，通过测量质量或体积计量越浪量。试验中，接取一个完整波列总越浪水量作为相应历时的总越浪量，然后计算单宽平均越浪量。按相似准则，将模型越浪量换算成原体越浪量。护岸单位长度平均越浪量按下式计算：

$$q = \frac{V}{bt} \quad (6)$$

式中: q 为单位长度平均越浪量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$); V 为 1 个波列作用下的总越浪水量 (m^3); b 为收集越浪量的接水宽度 (m); t 为 1 个波列作用的持续时间 (s)。

2.2 试验结果

1) 西护岸南段。

西护岸南段堤身以扭王字块为主并带有弧形胸墙斜坡堤, 顶面高程为 7.6 m, 主要受 W、WSW 和 SW 向波浪作用, 其中 WSW 为强浪向。从表 3 可见, 西护岸南段在波向 WSW 作用下, 各工况越浪量均很小, 在 200 a 一遇极端高水位、200 a 一遇波高的作用下越浪量最大, 为 $0.001\ 0\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, 小于设计允许值 $0.020\ 0\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 。同时观测到最大跃舌高度为 1.8 m, 最大跃长为 1.2 m。

2) 西护岸北段。

西护岸北段堤身以扭王字块为主并带有弧形胸墙斜坡堤, 顶面高程为 8.2 m, WSW 为强浪向。

从表 3 可见, 西护岸北段在 WSW 向浪作用下, 50 a 一遇极端高水位的 3 种重现期波高以及 100 a 一遇极端高水位、100 a 一遇波高下的越浪量均为 0; 100 a 一遇极端高水位、200 a 一遇波高下越浪量为 $0.000\ 3\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, 最大跃舌高度为 1.0 m, 最大跃长为 0.8 m; 200 a 一遇极端高水位、200 a 一遇波高下越浪量为 $0.000\ 3\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, 最大跃舌高度为 1.4 m, 最大跃长为 1.2 m。上述越浪量均在设计允许范围之内。

3) 北护岸。

北护岸采用扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 顶面高程为 8.2 m, 主要受到 NW、WNW、W 向波浪作用, 其中 WNW 向为强浪向。试验结果表明, 在 100 a 一遇以上波高下均有一定的越浪, 越浪量随着极端高水位和波高标准的提高而增加, 但上述越浪量均在设计允许范围之内。

表 3 各工况下越浪量

位置	波向	极端高水位重现期/a	波浪重现期/a	最大跃舌高度/m	最大跃长/m	越浪量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$
西护岸南段	WSW	50	50	0.0	0.0	0.000 0
			100	0.3	0.5	0.000 5
			200	0.5	0.6	0.001 0
		100	100	0.8	0.7	0.000 9
			200	1.3	0.8	0.001 0
			200	200	1.8	1.2
西护岸北段	W	50	50	0.0	0.0	0.000 0
			100	0.0	0.0	0.000 0
			200	0.0	0.0	0.000 0
		100	100	0.0	0.0	0.000 0
			200	1.0	0.8	0.000 3
			200	200	1.4	1.2
北护岸	WNW	50	50	0.0	0.0	0.000 0
			100	0.5	0.6	0.000 1
			200	0.6	0.8	0.000 2
		100	100	0.8	1.0	0.000 5
			200	1.2	1.5	0.000 8
			200	200	1.5	1.5
东护岸北段	WNW	50	50	0.0	0.0	0.000 0
			100	0.0	0.0	0.000 0
			200	0.0	0.0	0.000 0
		100	100	0.0	0.0	0.000 0
			200	0.5	0.8	0.000 1
			200	200	0.9	1.0

4) 东护岸北段。

由图2可以看到,东护岸与金州湾北岸隔海相望,相距仅3 km,水域狭隘,不会生成正面大浪,主要影响来自N向波浪,因此以N向波浪做为强浪向。护岸主体采用扭王字块为主并带有直立形胸墙的斜坡堤,顶面高程为5.6 m。试验结果表明,东护岸北段断面在N向波浪作用下,各工况越浪量均很小,在200 a一遇极端高水位、200 a一遇波高作用下越浪量仅 $0.000\ 2\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$,远小于设计允许值 $0.020\ 0\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ 。同时观测到最大跃舌高度为0.9 m,最大跃长为1.0 m。

3 试验结果分析

本文采用《海港水文规范》^[7]、经验公式Owen法^[8]和陈国平法对本工程的越浪量进行验算对比,计算结果见表4。由于Owen法一般用于堤顶未设防浪墙的工程,故计算结果误差较大;陈国平法在越浪量小于 $0.01\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ 时,计算值也会有较大误差;相对而言,按《海港水文规范》公式计算的结果更接近物模试验结果。另外,将各断面在不同工况下试验得到的越浪量进行对比,可以发现波高重现期加长后,极端高水位重现期的越浪量提高明显,说明波浪要素对越浪量更为敏感。

表4 不同工况下各断面越浪量试验与计算结果对比

护岸	工况	重现期/a		试验值	越浪量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1})$		
		极端高水位 重现期	波高 重现期		计算值		
					规范法	Owen法	陈国平法
西护岸南段	1	50	50	0.000 0	0.000 0	0.029 2	0.001 7
	2	50	100	0.000 5	0.000 1	0.029 6	0.003 1
	3	50	200	0.001 0	0.002 5	0.030 2	0.006 7
	4	100	100	0.000 9	0.000 2	0.030 5	0.005 5
	5	100	200	0.001 0	0.003 7	0.031 0	0.010 8
	6	200	200	0.001 0	0.003 8	0.031 1	0.011 5
西护岸北段	1	50	50	0.000 0	0.000 0	0.028 7	0.001 2
	2	50	100	0.000 0	0.000 1	0.029 2	0.002 2
	3	50	200	0.000 0	0.001 4	0.029 8	0.004 9
	4	100	100	0.000 0	0.000 1	0.030 1	0.003 9
	5	100	200	0.000 3	0.002 1	0.030 6	0.008 1
	6	200	200	0.000 3	0.002 2	0.030 7	0.008 6
北护岸	1	50	50	0.000 0	0.000 0	0.029 1	0.001 5
	2	50	100	0.000 1	0.000 0	0.029 4	0.002 0
	3	50	200	0.000 2	0.000 1	0.029 6	0.002 7
	4	100	100	0.000 5	0.000 1	0.031 0	0.003 7
	5	100	200	0.000 8	0.000 2	0.031 1	0.004 7
	6	200	200	0.001 0	0.000 2	0.031 5	0.005 1
东护岸北段	1	50	50	0.000 0	0.000 0	0.026 4	0.001 6
	2	50	100	0.000 0	0.000 7	0.028 5	0.007 8
	3	50	200	0.000 0	0.000 8	0.028 6	0.008 1
	4	100	100	0.000 0	0.002 2	0.030 0	0.013 3
	5	100	200	0.000 1	0.002 2	0.030 0	0.013 6
	6	200	200	0.000 2	0.002 9	0.030 2	0.014 5

4 结语

1) 人工岛西护岸南段、西护岸北段、北护岸和东护岸北段主体均采用扭王字块为主并带有弧形或直立形胸墙的斜坡堤,按其设计断面采用规

范公式得到的越浪量计算值和物模试验的结果基本接近,最大越浪量均小于设计允许值,说明断面设计是可行的。

2) 将各断面不同工况下越浪量的试验结果进

行对比,发现波浪重现期延长比水位重现期延长引起的越浪量提高幅度更为明显,说明波浪要素的重现期标准是控制挡浪墙断面设计尺度的重要因素。因此,为保证机场设施的安全,采用 200 a 重现期的波浪要素进行校核是必要的。

需要指出的是,从实际情况考虑,由于极端高水位持续的时间很短,所以即使出现短期越浪在机场内部也不会积累较大的水量,此时排水系统能够发挥有效作用。而且,在重现期 200 a 的极端高水位下同时出现同样重现期的波浪,这种机会出现的概率也极小,因此属于极不利情况。

参考文献:

[1] 俞聿修,赵凤亚,李晓亮,等.斜向和多向不规则波对直立堤平均越浪量研究[J].海洋工程,2007,25(3):

32-39.

[2] 李晓亮,俞聿修,赵凤亚,等.斜向和多向不规则波在斜坡堤上的平均越浪量的试验研究[J].海洋学报,2007,29(1):139-149.

[3] 张向东,张磊,董胜.允许越浪条件下海堤越浪量可靠度分析[J].水运工程,2012(7):15-18.

[4] 陈国平,周益人,严士常.不规则波作用下海堤越浪量试验研究[J].水运工程,2010(3):1-6.

[5] JTJ 298—1998 防波堤设计与施工规范[S].

[6] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].

[7] JTJ 145-2—2013 海港水文规范[S].

[8] 俞聿修.斜坡堤上平均越浪量计算方法的比较[J].港口技术,2011(1):1-4.

[9] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

.....

· 消 息 ·

公司承建的黄骅港综合港区起步工程通过竣工验收

近日,公司承建的黄骅港综合港区通用散货码头起步工程、通用散杂货码头工程、多用途码头工程顺利通过竣工验收。

该工程主要包括 4 个 5 万吨级通用散杂货码头泊位、4 个 5 万吨级多用途码头泊位,码头主体结构均按 10 万吨级设计建造,合同额 40.14 亿元。该工程自 2009 年 3 月 19 日开工奠基至 2014 年 7 月 20 日竣工,历时 63 个月。

黄骅港是河北南部沿海的重要地区性港口,是冀中南地区最便捷、最经济的出海口,被誉为“亚欧大陆桥新桥头堡”。综合港区的逐步建成能够极大提高港口运输能力,有利于支持腹地经济可持续发展,进一步增强冀中南六市沿海优势。

(摘编自《中国交通建设网》)