



大连海上机场人工岛护岸结构 整体波浪物理模型试验研究*

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: 采用 JONSWAP 谱, 以不同波浪入射方向对大连海上机场人工岛护岸结构进行了整体波浪物理模型试验。试验表明, 对于设计给出的斜坡护岸形式, 在极端高水位、波浪重现期为 100 a 和 200 a 的情况下, 布置于东侧、北侧和西侧护岸护底块石、胸墙、扭王字块分别为 3、5、7 t 时均能够保持稳定。这一试验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; 波浪; 试验; 大连; 机场

中图分类号: P 752

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0019-05

Experimental study on whole physics wave model of revetment structure 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: Using JONSWAP spectrum, the experiment on the whole physical wave model of revetment structure of Dalian offshore airport artificial island is carried out with different wave direction. Experiments show that the designed slope revetment types can keep stable in the case of extreme high water level and wave return period of 100 a and 200 a, when the bottom-protecting rubble, breast wall and accropodes in the eastern, northern and western of revetment are respectively 3 t, 5 t and 7 t. The experimental results provide a scientific basis for optimizing the artificial island revetment structure.

Keywords: artificial island; wave; experiment; Dalian; airport

按照规划, 大连近期将迁建新机场, 初步选址位于金州湾海域。该机场设计 2 组 4 条 (2 条远距、2 条近距) 平行跑道及滑行道系统, 机场人工岛面积约 20 km²。为最大限度地保护海洋环境, 减少对城市的影响, 经反复比选, 放弃了沿岸填海建设方案, 采取了技术难度较大的离岸式人工岛方案。该方案距岸边最近处约 3 km, 通过跨海

大桥与后方陆地连接。大连新机场建成后, 将成为世界上迄今面积最大、我国大陆唯一远离陆地的人工岛机场。

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。到目前, 金州湾沿岸一直没有进行商业开发, 除个别小型渔港外,

收稿日期: 2014-06-12

*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。

周边没有货运码头和永久性水工设施，相应的水文资料和工程经验基本上属于空白。因此，深入开展关键性水工构筑物各设计参数的研究，对于保证结构安全、节约工程投资具有重要意义。

本文通过对大连海上机场人工岛水工建筑的波浪物理模型试验，测定了在不同设计标准情况下，拟建工程东、西、北 3 个方向护岸及其连接处护面块体的稳定情况，为优化结构设计提供科学依据。

1 试验模型

1.1 模型的建立

1) 模型比尺及范围。

按照文献[1]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。根据人工岛设计方案，确定模型试验有效范围为北护岸全部、东护岸北段

2.6 km、西护岸北段 3.8 km 区域。南护岸因位于人工岛背面，波浪较小，所以未列入试验范围。

2) 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，极端高水位（重现期 50 a）1.97 m，极端高水位（重现期 100 a）2.09 m，极端高水位（重现期 200 a）2.24 m，极端低水位（重现期 50 a）-2.99 m。

3) 试验工况。

①潮位及波浪设计标准。工程水位的设计标准为 100 a 一遇，波浪的设计标准为 100 a 一遇。

②潮位及波浪校核标准。工程水位的校核标准为 200 a 一遇，波浪的校核标准为 200 a 一遇。

4) 波浪要素。

按照文献[2]的相关规定，试验采用不规则波（JONSWAP 谱）。由工程现场地形，确定波向为 N、WNW、NW、W、WSW、SW，经波浪数值计算得到护岸处的主要波要素（表 1）。

表 1 极端高水位人工岛护岸设计波高和周期

重现期/a	位置	方向	$H_{13\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{4\%}$ /m	$H_{1\%}$ /m	$\bar{T}$ /s
100	西护岸	SW	3.60	4.00	4.10	4.60	9.00
		WSW	3.80	4.31	4.41	4.95	8.30
		W	3.21	3.70	3.80	4.33	8.30
		WNW	3.84	4.35	4.46	5.01	11.10
	北护岸	WSW	3.94	4.45	4.56	5.11	8.30
		W	3.17	3.63	3.73	4.23	8.30
		WNW	3.74	4.23	4.33	4.86	11.10
		NW	3.55	4.04	4.13	4.66	11.90
		N	4.00	4.40	4.50	5.00	7.10
	东护岸	N	2.00	2.20	2.30	2.50	5.10
200	西护岸	SW	3.65	4.00	4.10	4.60	9.00
		WSW	4.89	5.41	5.43*	5.43*	8.80
		W	3.31	3.79	3.89	4.41	8.70
		WNW	4.14	4.66	4.77	5.33	11.90
	北护岸	WSW	4.68	5.19	5.30*	5.30*	8.80
		W	3.26	3.73	3.83	4.34	8.70
		WNW	4.05	4.56	4.66	5.21	11.90
		NW	3.64	4.14	4.24	4.77	12.30
		N	3.75	4.40	4.50	5.00	7.10
	东护岸	N	2.10	2.20	2.30	2.50	5.10

注：* 表示波浪已经破碎。

$$H_{\max} \approx H_{1/3} \cdot 0.682 (\ln N_0)^{0.468} \left[1 + \frac{\gamma_0}{2.138 \ln N_0} \right]$$

(10)

式中： $\gamma_0=0.577\ 2$ 为欧拉常数； N_0 为每一序列中波浪个数，试验中波浪个数为 100 ~ 120 个。

2) 波浪率定。

为提高模拟精度，利用造波机可移动的特点，以不同波浪入射方向移动造波机，使得各方向波浪均为正向造波。本次试验按照实际波浪的作用方向，共移动造波机 6 次，见图 3。

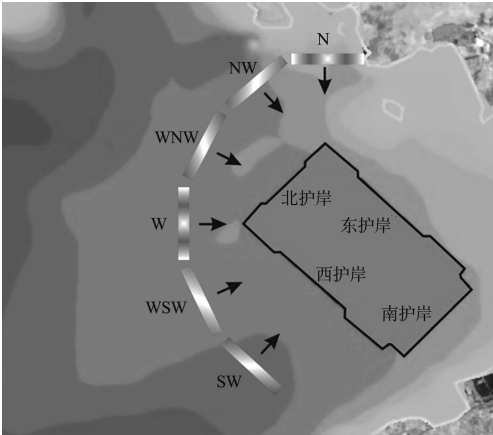


图 3 造波机调整方向及移动位置

试验前，先将给定的有效波高及周期送入计算机进行波谱模拟，经过修正后使峰频附近谱密度、峰频、谱能量、有效波高等能满足试验规程要求，然后通过人工调整模拟信号控制序列的随机数，保证模拟波列中 1% 累计频率波高误差小于 3%，有效波高误差小于 2%。同时，模拟波列长度保持波个数在 100 以上，完成后将得到的造波参数存储在计算机中。试验时，依据确定的造波信号进行造波。图 4 为北护岸与西护岸夹角处中心点率定时波面随时间变化过程（以 W 向、50 a 一遇极端高水位、100 a 一遇波浪为例）的波浪过程线，图 5 为相应的目标谱与实际模拟谱模拟对比。

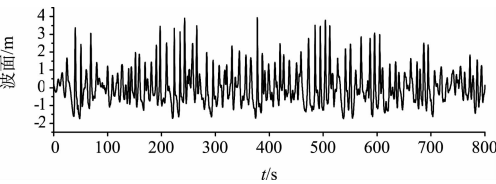


图 4 波面随时间变化过程

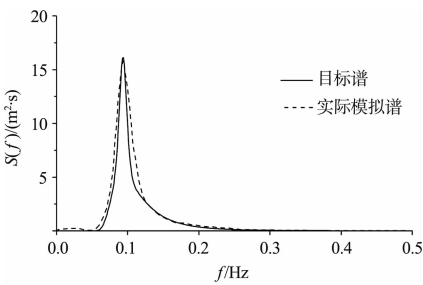


图 5 目标谱与实际模拟谱对比

2 试验结果及分析

2.1 东护岸

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 向波浪作为强浪向。护岸主体采用 3 t 扭王字块为主带并有弧形胸墙的斜坡堤，试验结果表明两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定（表 3）。

表 3 东护岸 N 向波浪作用下试验结果				
极端高水位/m	波浪重现期/a	护岸各单元稳定情况		
		150 ~ 300 kg 护底块石	3 t 扭王字块	胸墙
2.09 (100 a)	100 ($H_{1\%}=2.5\text{ m}$, $H_{13\%}=2.00\text{ m}$, $\bar{T}=5.1\text{ s}$)	稳定	稳定	稳定
2.24 (200 a)	200 ($H_{1\%}=2.5\text{ m}$, $H_{13\%}=2.10\text{ m}$, $\bar{T}=5.1\text{ s}$)	稳定	稳定	稳定

2.2 北护岸与东护岸连接段

北护岸与东护岸连接段采用与北护岸相同断面结构，护岸主体为 7 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤，主要受到 N 向波浪正向作用，试验结果表明两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定（表 4）。

表 4 北护岸与东护岸连接段 N 向波浪作用下试验结果				
极端高水位/m	波浪重现期/a	护岸各单元稳定情况		
		300 ~ 500 kg 护底块石	7 t 扭王字块	胸墙
2.09 (100 a)	100 ($H_{1\%}=2.5\text{ m}$, $H_{13\%}=2.00\text{ m}$, $\bar{T}=5.1\text{ s}$)	稳定	稳定	稳定
2.24 (200 a)	200 ($H_{1\%}=2.5\text{ m}$, $H_{13\%}=2.10\text{ m}$, $\bar{T}=5.1\text{ s}$)	稳定	稳定	稳定

2.3 北护岸

北护岸采用 7 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 主要受到 NW、WNW、W 向波浪作用, 其中 NW 向为强浪向, 试验结果表明两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定 (表 5)。

表 5 北护岸 NW 向波浪作用下试验结果				
极端 高水位/m	波浪重现期/a	护岸各单元稳定情况		
		300 ~ 500 kg 护底块石	7 t 扭 王字块	胸墙
2. 09 (100 a)	100($H_{1\%} = 4.66$ m, $H_{13\%} = 3.55$ m, $\bar{T} = 11.9$ s)	稳定	稳定	稳定
2. 24 (200 a)	200($H_{1\%} = 4.77$ m, $H_{13\%} = 3.64$ m, $\bar{T} = 12.3$ s)	稳定	稳定	稳定

2.4 北护岸与西护岸连接段

北护岸与西护岸连接段采用与北护岸相同的断面结构, 采用 7 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 主要受到 WNW、W 和 WSW 向波浪作用, 其中 WNW 向为强浪向。试验初步结果表明胸墙失稳, 经分析发现是胸墙背浪侧回填块石对胸墙支撑不够造成的。改进结构后再进行试验, 结果表明两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定 (表 6)。

表 6 北护岸与西护岸连接段 WNW 向波浪作用下试验结果				
极端 高水位/m	波浪重现期/a	护岸各单元稳定情况		
		300 ~ 500 kg 护底块石	7 t 扭 王字块	胸墙
2. 09 (100 a)	100($H_{1\%} = 4.86$ m, $H_{13\%} = 3.74$ m, $\bar{T} = 11.1$ s)	稳定	稳定	有松动
2. 24 (200 a)	200($H_{1\%} = 5.21$ m, $H_{13\%} = 4.05$ m, $\bar{T} = 11.9$ s)	稳定	稳定	失稳

2.5 西护岸

西护岸连接段采用与北护岸相同断面结构, 堤身为 5 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 主要受到 W、WSW 和 SW 向波浪作用, 其中 WSW 为强浪向。在极端高水位和不同重现期波浪下, 扭王字块失稳, 胸墙有松动。试验过程中观

察到越浪范围较大, 但水舌厚度均不大, 护岸失稳的原因可能是扭王字块质量不够引起的。将扭王字块改为 7 t, 并将胸墙后回填石顶高程抬高后再做试验, 结果表明护岸护底块石、扭王字块及胸墙均能够保持稳定 (表 7)。

表 7 西护岸 WSW 向波浪作用时试验结果				
极端 高水位/m	波浪重现期/a	护岸各单元稳定情况		
		300 ~ 500 kg 护底块石	7 t 扭 王字块	胸墙
2. 09 (100 a)	100($H_{1\%} = 4.95$ m, $H_{13\%} = 3.80$ m, $\bar{T} = 8.3$ s)	稳定	失稳	有松动
2. 24 (200 a)	200($H_{1\%} = 5.43$ m, $H_{13\%} = 4.89$ m, $\bar{T} = 8.8$ s)	稳定	失稳	失稳

3 结语

- 1) 东护岸主体采用 3 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定。
- 2) 北护岸与东护岸连接段主体采用 7 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定。
- 3) 北护岸主体采用 3 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 两种工况下护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定。
- 4) 北护岸与西护岸连接段主体采用 7 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤, 将胸墙后回填石加高后, 胸墙结构和块体均能够保持稳定。
- 5) 西护岸主体采用 5 t 扭王字块为主并带有弧形胸墙的斜坡堤时, 在 WSW 向浪作用下扭王字块失稳, 胸墙有松动; 但采用 7 t 扭王字块代替 5 t 扭王字块后, 护岸护底块石、扭王字块及胸墙均保持稳定。

参考文献:

[1] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].

[2] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].

[3] JTJ 298—1998 防波堤设计与施工规范[S].

(本文编辑 武亚庆)