

# 关于隔热堤及挡砂堤波浪物理模型试验研究

张翰林 姜云鹏

交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456

**[摘要]**文中在研究现状与相关理论的基础上, 通过隔热堤及挡砂堤断面波浪物理模型试验, 验证隔热堤及挡砂堤结构在各水位及相应波浪的作用下护面块体、护底块石等各部位的稳定性。观测隔热堤及挡砂堤在各水位及相应波浪作用下的越浪量、水舌厚度、越浪落点及堤顶越浪情况, 并对设计断面的可行性、合理性提出建议。

**[关键词]**物理; 模型试验; 波浪

DOI: 10.33142/aem.v4i8.6786

中图分类号: TV854

文献标识码: A

## Experimental Study on Wave Physical Model of Heat Insulation Dike and Sand Retaining Dike

ZHANG Hanlin, JIANG Yunpeng

Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M. O. T., Tianjin, 300456, China

**Abstract:** Based on the research status and relevant theories, through the wave physical model test of the section of the thermal insulation dike and sand retaining dike, the stability of the surface protection block, bottom protection block stone and other parts of the thermal insulation dike and sand retaining dike structure under the action of each water level and corresponding waves is verified. Observe the overtopping volume, tongue thickness, overtopping landing point and overtopping condition of the thermal insulation dike and sand retaining dike under the action of each water level and corresponding waves, and put forward suggestions on the feasibility and rationality of the design section.

**Keywords:** physics; model test; wave

### 1 简介

取排水项目位于蓬莱市北沟镇栾家口港西侧(电厂厂区北侧, 见图 1)。东侧邻近港口为液化品码头, 工程附近有部分围海堤坝; 排水管道区域有底播养殖和筏式养殖分布; 西侧 1.5km 外有国电蓬莱电厂排水口、取水口。为防止工程取水受到电厂温排水回流的影响, 本期工程在取水明渠的西侧修建一条取水明渠隔热堤; 为防止海底来砂对明渠造成的淤积, 本期工程在取水明渠的东侧修建一条取水明渠挡砂堤。隔热堤长度 1.2km、挡砂堤长度约 0.9km。

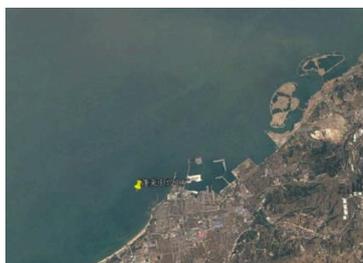


图 1 项目位置图

### 2 研究思路

#### 2.1 试验方向及波浪条件

物理模型起始边界波要素依据《中兴电力蓬莱一期取水明渠结构优化波浪推算报告, 中国海洋大学, 2018 年 12 月》。

试验波浪条件选择 A3、A5 和 A8 断面 50 年和 5 年重

现期对应的波要素, 各结果见表 1 和表 2。

表 1 隔热堤试验波浪要素

重现期	水位	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	$\bar{T}$ (s)	备注
A3 断面 50a	极端高	4.56	4.10	4.01	3.57	8.56	NW 向浪
	设计高	3.77	3.53	3.46	3.10	8.56	
	设计低	2.46	2.46	2.46	2.34	8.56	
堤头 A5 50a	极端高	5.57	4.94	4.82	4.23	8.56	
	设计高	5.02	4.47	4.36	3.84	8.56	
	设计低	4.12	3.69	3.61	3.20	8.56	
A3 5a	设计高	3.57	3.19	3.12	2.77	6.72	
A5 5a	设计高	4.07	3.57	3.47	3.03	6.72	
A3 A5	+0.41m	—	—	—	1.0	8.56	

表 2 拦砂堤试验波浪要素

位置及重现期	水位	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	$\bar{T}$ (s)	备注
A8 断面 50a	极端高	3.26	2.94	2.88	2.56	8.56	NW 向浪
	设计高	2.39	2.29	2.25	2.02	8.56	
	设计低	1.07	1.07	1.07	1.07	8.56	
A8 5a	设计高	2.39	2.19	2.14	1.91	6.72	

#### 2.2 试验方案

本期工程在取水明渠的东侧修建一条取水明渠挡砂堤。隔热堤长度 1.2km、挡砂堤长度约 0.9km。工程平面

布置图见图2。

根据不同断面处水深和结构型式,结合本次实验目的,选取隔热堤堤头 A5、堤身 A3、挡沙堤代表断面 A8 作为典型结构断面进行实验。各断面图见图3-6。

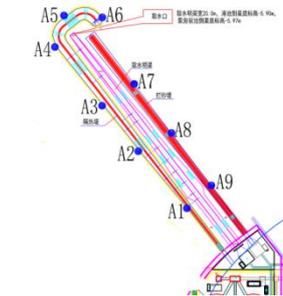


图2 工程平面布置图

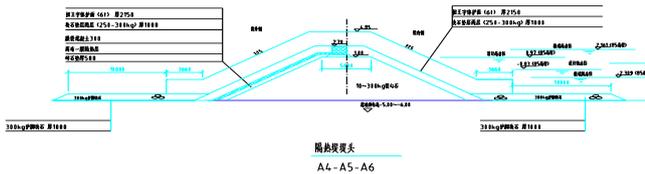


图3 原隔热堤堤头断面图 A5 (6t 块体 高程+4.85m)

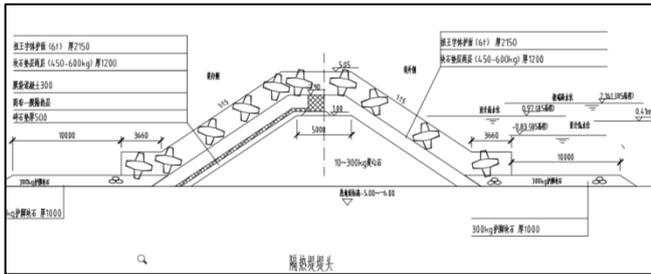


图4 优化后隔热堤堤头断面图 A5 (6t 块体 高程 +5.05m)

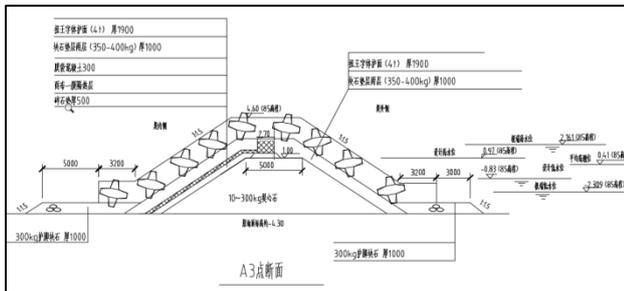


图5 隔热堤堤身断面图 A3 (4t 块体)

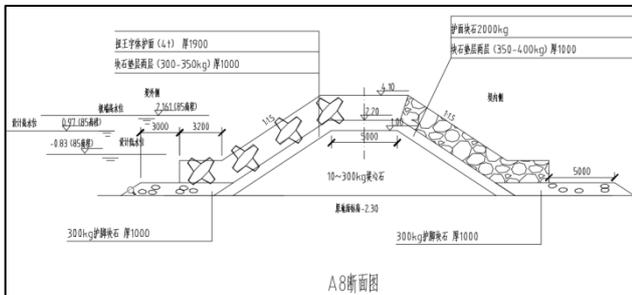


图6 挡沙堤堤身断面图 A8 (4t 块体)

不同断面位置及对应点位见表3。

表3 断面位置对应的数模点位

断面位置	对应数模点位
隔热堤堤头 6t	堤头 A5
隔热堤堤身 4t	A3
挡沙堤堤身 4t	A8

### 3 实验过程

根据试验要求、《波浪模型试验规程》(JTJ/T 234-2001)的规定、造波设备的性能和试验水槽的尺寸以及现有块体的储备情况等确定该断面试验的长度比尺为26。

物理模型的设计、制作及试验等过程均遵循《波浪模型试验规程》(JTJ/T234-2001)进行。模型按重力相似和几何相似设计,采用定床、正态模型,各比尺关系如下:

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

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

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

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

式中:  $\lambda_l$ —模型长度比尺,  $l_p$ —原型长度,  $l_m$ —模型长度,  $\lambda_t$ —时间比尺,  $\lambda_H$ —一波高比尺,  $\lambda_T$ —一波周期比尺。

断面各位置高程用水准仪精确控制,偏差在±1mm以内。各种块体、块石按照重力比尺进行挑选,质量偏差控制在±5%以内。模型中的块体采用原子灰加铁粉配制,重量偏差与几何尺寸误差均满足试验规程的要求。由于模型试验采用的是淡水,而实际工程中为海水,受淡水与海水的密度差影响,模型中考虑  $\rho_{海水}/\rho_{淡水}=1.025$ ,即在块体、块石的选取以及制作中考虑了这种影响。

#### 3.1 波浪模拟

试验采用单向不规则波进行。单向不规则波的模拟采用频谱模拟。试验首先考虑采用《港口与航道水文规范》中推荐的波谱。对于有限深度水域 ( $0.1 < H^* \leq 0.5$ ),当已知有效波高和有效周期时,风浪频谱可按下列公式计算:

$$S(f) = 0.0687 H_s^2 T_s P \cdot \exp \left\{ -95 \times \left[ \ln \frac{P(5.813 - 5.137 H^*)}{(1.522 - 0.245 P + 0.00292 P^2)} \right] - (1.1 T_s f - 1)^{12.5} \right\} \quad \text{当 } 0 \leq f \leq 1.05/T_s$$

$$S(f) = 0.0687 H_s^2 T_s \frac{(6.77 - 1.088 P + 0.013 P^2)(1.307 - 1.426 H^*)}{5.813 - 5.137 H^*} \left( \frac{1.05}{f T_s} \right)^m \quad \text{当 } f > 1.05/T_s$$

此时

$$H^* = 0.626 H_s / d \quad (6)$$

应当满足  $0.5 \geq H^* > 0.1$

$$m = 2(2 - H^*) \quad (7)$$

$$P = 95.3 H_s^{1.35} / T_s^{2.7}, \quad 1.27 \leq P < 6.77 \quad (8)$$

以上各式中： $H_s$ —有效波高(m)； $T_s$ —有效周期(s)； $p$ —谱尖度因子； $H^*$ —波高水深比的一个参数； $d$ —水深(m)。

在规范谱中有两个参数来决定其适用条件即  $H^*$  和  $P$ 。其中  $H^*$  决定采用深水谱公式还是有限水深公式； $P$  值决定每个公式的适用范围。当  $0.5 \geq H^* > 0.1$  为有限深度水域，此时  $P$  要满足  $1.27 \leq P < 6.77$ 。经核算，本次试验采用的波谱均为规范谱。

### 3.2 稳定性判断

进行各断面稳定性试验时，每个水位条件下模拟原体波浪作用时间，依据《波浪试验规程》(JTJ/T234-2001)规定，应根据暴风浪的持续时间确定，但模拟的原型波浪作用的时间不宜少于 2h，本次模型试验暂取 3h，连续波浪作用以便观察断面在波浪累积作用下的变化情况。

护面块体的稳定性试验，根据波浪试验规程规定，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。每次试验护面块体均重新摆放。

#### (1) 护底、护脚块石稳定性判断

在波浪累积作用下观察护面形状改变情况，依据其表面是否发生明显变形判断其稳定性。

#### (2) 护面块石的失稳率按下式计算：

$$n = \frac{n_d}{N_1} \times 100(\%) \quad (9)$$

其中： $n$ —失稳率(%)； $n_d$ —静水位上、下各 1 倍设计波高范围内护面块体的失稳数； $N_1$ —静水位上、下各 1 倍设计波高范围内护面块体的总数。

依据《防波堤设计与施工规范》(JTS154-1-2011)表 4.2.4 规定，抛填两层护面块石允许失稳率  $n$  为 1~2%，安放一层则允许失稳率  $n$  为 0~1%。

### 3.3 越浪量的测定

越浪量统计即在测量点用接水装置接取越浪水体，通过测量重量或体积得到模型的越浪量。不规则波接取一个完整波列的总越浪水体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。单宽平均越浪量按下式计算：

$$q = \frac{V}{bt} \quad (10)$$

式中： $q$ —单宽平均越浪量 ( $m^3 / (m \cdot s)$ )； $V$ —一个波列作用下的总越浪水量 ( $m^3$ )； $b$ —收集越浪量的接水宽度 (m)； $t$ —一个波列作用的持续时间 (s)。

## 4 结论

通过隔热堤及挡沙堤波浪物理模型试验，对 50 年一遇以及施工期条件下隔热堤和挡沙堤代表性断面进行了模拟，研究了护面块体、块石以及护脚块石的稳定和越浪情况。主要结论如下：

### 4.1 隔热堤堤头 A5 断面试验

隔热堤堤头 A5 断面优化后，在 50 年波浪工况下，6t

护面块体、450-600kg 垫层块石和 300kg 护脚块石均保持稳定，在设计高和极端高水位下，越浪量分别为 43.2L/( $m \cdot s$ ) 和 253.9L/( $m \cdot s$ )。5 年波浪作用，堤顶无明显越浪，个别大浪时有溅浪。

在无护面块体的条件下，原设计断面 250-300kg 垫层块石在 5 年波浪作用下失稳，需加大重量。优化后重量为 350-400kg，在 2.0m 波高作用时垫层块石基本稳定，自 2.5m 波高开始少量块石滚落，2.9m 时垫层失稳，变形明显。

### 4.2 隔热堤堤身 A3 断面试验

在 50 年波浪作用下，A3 断面 4t 护面块体、350-400kg 垫层块石和 300kg 护脚块石均保持稳定。在 5 年波浪作用下，堤顶无明显越浪，个别大浪时有溅浪。

在无护面块体的条件下，施工期 A3 断面在 1.5m 波高作用时 350-400kg 垫层块石保持稳定，自 2.0m 波高开始迎浪侧出现淘刷，2.5m 时垫层失稳，堤心石外露。

### 4.3 挡沙堤 A8 断面

在 50 年波浪作用下，A8 断面 4t 护面块体、450-600kg 垫层块石和 300kg 护脚块石均保持稳定。在 5 年波浪作用下，堤顶无明显越浪，个别大浪时有溅浪。

后坡分别采用 2000kg 块石和 4t 块体均保持稳定。在无护面块体的条件下，施工期 A8 断面在 5 年波浪作用下 ( $H13\%1.94m$ ) 有少量块石滚落，判断为临界稳定。

## 5 建议

注意施工季节的选择。根据本工程《波浪推算报告》，5 年一遇波高冬季最大，秋季次之，夏季最小。以 A5 断面为例，冬季 5 年一遇波高  $H13\%$  为 3.0m，秋季为 2.13m，春夏季为 1.5m 以下。从断面试验结果看，在无护面块体防护条件下，波高大于 2m 时，垫层块石的稳定存在较大风险。建议选择春夏季进行施工，并在秋季来临前完成护面块体的安放。同时，应严格控制垫层块石的规格，保证施工质量。为降低工程造价，在保证安全的前提下，A8 断面后坡 4t 扭王字块可优化为 2000kg 块石。工程区实测波浪资料较少，冬季寒潮等恶劣天气易发生大浪过程，对隔热堤和挡沙堤安全造成影响。建议对建筑物进行及时健康巡查和监测。

### [参考文献]

- [1]何靖, 缙丽娜. 洋峪河河道堤岸设计研究[J]. 绿色科技, 2021, 23(24): 198-201.
- [2]崔广开, 刘海成. 柬埔寨西哈努克港燃煤电厂隔热堤方案优化研究[J]. 水利科技与经济, 2017, 23(12): 1-7.
- [3]陆宽, 刘鑫煜. 钢板桩挡浪结构在工程中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(2): 261-263.
- [4]张兵, 刘鸣洋, 朱颖涛, 等. 宽肩台斜坡堤堤头稳定性试验研究[J]. 水道港口, 2022, 43(1): 35-42.
- [5]张腾飞, 张浩, 孙雷. 浮式防波堤形状对挡浪消波效果的影响分析[J]. 珠江水运, 2022(8): 90-94.

- [6] 邓夕贵,朱颖涛,谢守鹏,等.宽肩台防波堤稳定性三维物理模型试验研究[J].水道港口,2021,42(6):709-718.
- [7] 路卫卫,张军,宋兰芳,等.导桩式混凝土浮式防波堤在非洲某码头工程中的应用[J].水运工程,2022(5):61-65.
- [8] 刘针,孟祥玮,姜云鹏,等.大比尺水槽波浪-防波堤-地基相互作用试验方法初探[J].水道港口,2015,36(6):481-485.
- [9] 孙骁帆,闻学,刘鹏飞.低透空率桩基防波堤消浪效果研究[J].水运工程,2022(5):14-20.
- [10] 王晓亮,陈永焜,刘勇,等.新型带反浪弧浮箱式防波堤消浪特性的数值和试验研究[J].水道港口,2021,42(5):567-581.
- [11] 夏运强,李欣,王海峰,等.突堤码头港池斜向浪作用泊稳条件试验研究[J].水道港口,2021,42(5):609-613.
- [12] 倪道俊,魏宇墨,齐欣.多孔结构防波堤消浪特性实验研究[J].港工技术,2022,59(2):1-5.
- [13] 姜云鹏,张烨,郑子龙.波浪作用下护岸三维稳定试验研究[J].水道港口,2014,35(1):15-18.
- [14] 陈德旺,刘海源.斜向波作用宽肩台式防波堤稳定性试验研究[J].水道港口,2021,42(4):451-456.
- 作者简介:张翰林(1989.12-)男,毕业院校大连海事大学,硕士,所学专业交通运输工程。