

ICS 07.060

CCS A 45

# 团体标准

T/CHES XXX—20XX

## 海岸波浪泥沙物理模型试验规程

Regulation for physical model tests of coastal wave and  
sediment transport

(报批稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

# 目 次

前 言 .....	III
引 言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	3
5 资料收集与调查 .....	3
5.1 一般规定 .....	3
5.2 水文气象资料 .....	3
5.3 泥沙资料 .....	4
5.4 水下地形资料 .....	4
5.5 涉水工程资料 .....	5
5.6 其他资料 .....	5
6 模型设计 .....	5
6.1 相似准则 .....	5
6.2 相似比尺及变率 .....	7
6.3 试验选沙 .....	8
6.4 模型布置 .....	8
7 模型制作 .....	8
7.1 地形 .....	8
7.2 建筑物 .....	9
8 试验设备与量测仪器 .....	9
8.1 一般规定 .....	9
8.2 生潮设备 .....	9
8.3 造波设备 .....	10
8.4 量测仪器 .....	10
9 试验水文动力条件选择与要素率定 .....	11
9.1 试验水文动力条件选择 .....	11
9.2 试验水文动力要素率定 .....	11
10 冲淤验证试验 .....	12
10.1 一般规定 .....	12
10.2 验证条件 .....	12
10.3 验证结果与分析 .....	13
11 方案试验 .....	13
11.1 沙质海岸方案试验 .....	13
11.2 粉沙质海岸、淤泥质海岸方案试验 .....	13
12 试验数据整理分析与报告编写 .....	14
12.1 试验成果整理分析 .....	14
12.2 试验报告编写 .....	14
附 录 A（资料性） 海岸泥沙起动波高的常见公式 .....	16
附 录 B（资料性） 海岸平常浪代表波要素的计算方法 .....	17

附录 C（资料性）	海岸平常浪代表波要素的近似确定方法 .....	18
附录 D（资料性）	沙质海岸波浪作用下沿岸输沙率计算方法 .....	19
附录 E（资料性）	海岸波浪泥沙物理模型试验报告编制提纲 .....	21

## 前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件共12章和5个附录，主要内容包括总体要求、资料要求、模型设计、模型制作、试验设备与量测仪器、试验水文动力条件选择与要素率定、冲淤验证试验、方案试验、试验数据整理分析与报告编写等。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院）。

本文件参编单位：水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院、珠江水利委员会珠江水利科学研究院、水利部产品质量标准研究所、长江水利委员会长江科学院、海南省海洋与渔业科学院。

本文件主要起草人：邵杰、黄君宝、孙波、卢陈、黄世昌、邱立国、王宁舸、董伟良、胡晓张、许国、唐磊、梁斌、栾华龙、吴尧、王永举、戴鹏、郑寓、刘晓健、姚文伟、高海峰、陈大可、袁菲、石磊、霍宏、缪银琦、王其松、肖凯、杨裕桂、李梦雨、许立祥、李桃、石玉成、廖王威等。

## 引 言

海岸地区水动力条件复杂，波浪、潮流是海岸泥沙运动的主要动力，海岸工程将导致其附近水动力与海床冲淤发生变化。为解决工程布置、方案比选、结构设计等环节的波浪泥沙问题，波浪泥沙物理模型试验是目前最可靠的研究手段之一。

为规范和统一波浪泥沙物理模型试验方法，提升试验模拟的可靠性与规范性，充分发挥海岸波浪泥沙物理模型试验在海岸工程规划、设计、施工和研究等环节中的基础性作用，特制定本文件。

# 海岸波浪泥沙物理模型试验规程

## 1 范围

本文件规定了海岸波浪泥沙物理模型试验的总体要求、资料要求、模型设计、模型制作、试验设备与量测仪器、试验水文动力条件选择与要素率定、冲淤验证试验、方案试验、试验数据整理分析与报告编写等方面的内容和要求。

本文件适用于波浪对泥沙运动占主导作用的沙质海岸、粉沙质海岸、淤泥质海岸泥沙输移与海床冲淤物理模型试验。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTS/T 231 水运工程模拟试验技术规范

## 3 术语和定义

JTS/T 231 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**海岸波浪泥沙物理模型** physical model of coastal wave and sediment transport

以海岸工程周边岸滩水域、涉水建筑物作为研究对象，按相似条件缩尺布置、制作的实体模型。按模拟对象的类别，分为整体模型、局部模型、断面模型三类。

### 3.2

**整体物理模型** whole physical model

以海岸工程涉水建筑物整体及其周边较大范围岸滩水域作为研究对象的物理模型。

### 3.3

**局部物理模型** partial physical model

以海岸工程涉水建筑物整体或局部及其周边局部岸滩水域作为研究对象的物理模型。

### 3.4

**断面物理模型** sectional physical model

以海岸工程涉水建筑物典型断面及其前沿岸滩水域典型断面作为研究对象的物理模型。

### 3.5

**沙质海岸 sandy coast**

由床沙中值粒径大于 0.10 mm、黏粒含量几乎等于 0 的沙或砾石等相对粗大物质所组成的海岸。

**3.6****粉沙质海岸 silty sand coast**

由床沙中值粒径介于 0.03~0.10mm、黏粒含量小于 25%的粉沙等物质组成的坡度平缓的海岸。

**3.7****淤泥质海岸 muddy coast**

由床沙中值粒径小于 0.03mm、黏粒含量不小于 25%的淤泥等细颗粒物质所组成的坡度平缓的海岸。

**3.8****海岸泥沙输移 coastal sediment transport**

海岸的岸滩泥沙颗粒在波浪、水流作用下的搬运过程。

**3.9****海床冲淤 seabed erosion and deposition**

海床面在波浪、水流作用下的冲刷和淤积。

**3.10****模型沙 model sand**

物理模型中按照相似条件模拟原型海岸泥沙的固态颗粒状材料。

**3.11****波浪运动相似 wave kinematic similarity**

物理模型与原型的波浪水质点运动轨迹几何相似，且波浪水质点运动经过相应轨迹所需时间保持固定比例关系，即速度场的几何相似。

**3.12****起动波高相似 threshold wave height similarity**

在一定水深条件下模型沙与原型沙的起动波高满足几何相似。

**3.13****水动力率定试验 test for hydrodynamic calibration**

检验物理模型波浪、水流等水动力条件与原型相似程度的试验。

**3.14**

### 冲淤验证试验 test for erosion and deposition validation

检验物理模型海床面冲淤变化与原型相似程度的试验。

### 3.15

### 方案试验 test for engineering options

针对工程方案与相应水文动力条件模拟和预测海床面冲淤变化及其它影响的模型试验。

## 4 总体要求

4.1 应根据海岸自然条件和研究目的，全面收集整理试验输入资料，合理确定相似比尺，并据此布置、制作模型。在模型率定和验证良好的基础上，针对试验方案开展冲淤试验，整理分析试验数据并编写试验报告。

4.2 应根据模拟对象和研究需要，确定模型试验的类别。模拟一定范围内泥沙输移、海床冲淤的三维水沙运动，宜采用整体物理模型试验或局部物理模型试验。模拟岸滩横剖面泥沙输移和建筑物附近底床局部冲淤变化等二维水沙运动，宜采用断面物理模型试验。

4.3 对于涉水工程重要程度较高或岸滩情况较复杂的模型试验，应编制工作大纲。工作大纲的主要内容应包括但不限于下列内容：

- a) 项目概况、研究目的、主要研究内容和技术路线；
- b) 海域自然条件分析；
- c) 模型设计；
- d) 拟投入的人员、主要仪器设备；
- e) 模型水动力率定、冲淤验证试验条件说明与实施计划；
- f) 方案试验的组次、测量内容；
- g) 工作进度计划与预期提交成果；
- h) 试验所需的资料清单。

## 5 资料收集与调查

### 5.1 一般规定

5.1.1 波浪泥沙整体物理模型试验、波浪泥沙局部物理模型试验依据的资料，应包括水文气象、泥沙、水下地形、涉水工程、周边工程等资料及其他资料。

5.1.2 波浪泥沙断面物理模型试验依据的资料，应包括水文气象、工程区泥沙、工程区水下地形、涉水工程等资料。

5.1.3 工程区前沿设有波浪测站的，波浪动力条件可采用测站的波浪统计数据；工程区前沿没有波浪测站的，波浪动力条件可由波浪数学模型计算获取。

### 5.2 水文气象资料

5.2.1 水文气象资料主要应包括波浪、潮汐、潮流、风况、工程设计水文要素等资料。

5.2.2 用于推求平常海况代表波的波浪资料不宜少于 1 站，资料时长不宜少于 1 年，宜包括以下内容：



- a) 波浪玫瑰图，含常浪向及其频率、强浪向及其频率；
  - b) 波高周期联合分布、波高波向联合分布；
  - c) 收集并分析影响工程区的历史风暴潮过程及相应的台风、寒潮数据。
- 5.2.3 潮汐资料不宜少于 2 站，宜包括以下内容：
- a) 工程附近潮位站的潮汐特征值，包括历年最高潮位、最低潮位、平均潮位、平均高潮位、平均低潮位、最大潮差、最小潮差、平均潮差、涨落潮历时等；
  - b) 潮汐性质，包括主要全日分潮振幅之和与主要半日分潮振幅之比、主要浅水分潮与主要半日分潮振幅比、主要浅海分潮振幅等。
- 5.2.4 潮流资料不宜少于 2 站，资料年限宜为近 5 年内，夏、冬两季中应至少包含一季，宜包括以下内容：
- a) 潮流运动形式，流矢图；
  - b) 垂线平均最大涨、落潮流速和流向；
  - c) 余流大小和方向。
- 5.2.5 风况资料不宜少于 1 站，宜包括以下内容：
- a) 风玫瑰图，含常风向及其频率、强常风向及其频率；
  - b) 风速风向联合分布。
- 5.2.6 极端海况下的工程设计水文要素资料宜包括以下内容：
- a) 设计潮位：设计高、低水位，各重现期设计高、低潮位；
  - b) 设计波浪：各重现期设计波浪要素，近岸波矢图；
  - c) 设计风速：各重现期设计风速；
  - d) 设计流速：各重现期设计流速及其他汇流来水资料。
- 5.3 泥沙资料**
- 5.3.1 泥沙资料应包括潮汐、潮流等水文资料同期的水体含沙量、悬沙、底质等资料，不应少于 2 站，资料年限宜为近 5 年内，夏、冬两季中应至少包含一季。对于沙质海岸，底质取样剖面不宜少于 3 个，点数不宜少于 9 个。
- 5.3.2 水体含沙量资料宜包括以下内容：
- a) 平均含沙量和最大、最小含沙量；
  - b) 含沙量随潮汐、波浪的变化；
  - c) 含沙量的空间分布，包括平面分布与垂向分布。
- 5.3.3 悬沙资料宜包括以下内容：
- a) 悬沙类型；
  - b) 悬沙中值粒径、级配。
- 5.3.4 底质资料宜包括以下内容：
- a) 底质类型；
  - b) 底质中值粒径、级配。
- 5.4 水下地形资料**
- 5.4.1 水下地形资料宜包括水下地形测图、海图，资料范围应覆盖模型试验区域。
- 5.4.2 水下地形测图资料应满足以下要求：
- a) 水下地形测图若为新测地形，工程区的测图比例尺不小于 1:2000，工程区外围的测图比例尺不小于 1:10000；
  - b) 水下地形测图若为历史地形，各测次历史资料中最近测次的年限应为近 5 年内。

5.4.3 海图资料应采用最新的版本，比例尺不宜小于 1:50000。

5.4.4 所有地形资料应换算到统一的平面坐标系和高程基准面。

## 5.5 涉水工程资料

5.5.1 涉水工程资料应包括本工程资料、已建工程资料、规划工程资料等。

5.5.2 本工程资料应包括以下内容：

- a) 工程设计图，包括总平面布置图、立面图、剖面图等；
- b) 工程可行性研究报告或初步设计报告；
- c) 工程地质勘探报告，包括柱状取样颗粒级配分析等成果。

5.5.3 已建工程资料宜包括已建工程设计文本、施工图纸、实际运营地形测量数据、相关专题报告等。

5.5.4 规划工程资料宜包括规划工程文本、图纸、相关专题成果等。

## 5.6 其他资料

5.6.1 其他资料宜包括工程区域海床演变分析成果、水文动力泥沙数值模拟成果、沿岸输沙数据等。

5.6.2 工程区域海床演变分析成果宜包括以下内容：

- a) 等深线变化；
- b) 深槽和边滩冲淤变化；
- c) 典型剖面冲淤变化。

5.6.3 工程区域水文动力泥沙数值模拟成果宜包括以下内容：

- a) 平常海况波浪模拟计算成果，含近岸波矢图；
- b) 潮位、潮流模拟计算成果；
- c) 海床冲淤模拟计算成果。

5.6.4 工程区域沿岸输沙数据宜包括一定潮周期内或年平均的输沙量、输沙方向。

# 6 模型设计

## 6.1 相似准则

6.1.1 模型设计应满足几何相似，并遵循波浪运动相似、泥沙运动相似、海床冲淤变化相似。若需模拟水流运动，水流连续性相似、重力相似自动满足，还应满足阻力相似。

6.1.2 模型设计的几何相似比尺应按公式（1）和公式（2）确定。对于正态模型， $\lambda_l = \lambda_h$ 。对于变态模型， $\lambda_l \neq \lambda_h$ ，但近岸建筑物宜按 $\lambda_l = \lambda_h$ 进行模拟。

$$\lambda_l = l_p / l_m \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\lambda_h = h_p / h_m \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$l_p$  ——原型的平面几何尺度(m)；

$l_m$  ——模型的平面几何尺度(m)；

$h_p$  ——原型的垂向几何尺度(m)；

$h_m$  ——模型的垂向几何尺度(m)；

$\lambda_l$  ——平面比尺；

$\lambda_h$  ——垂直比尺。

6.1.3 波浪运动相似，包括波浪传播相似、波浪折射相似、波浪绕射相似、波浪反

射相似、波浪破碎相似等，宜满足以下要求：

- a) 为保证波速比尺不受水深影响，应将波长比尺等同于水深比尺，可满足波浪传播相似、波浪折射相似、波浪破碎相似，相应的相似比尺按公式（3）和公式（4）计算；

$$\lambda_L = \lambda_D = \lambda_H = \lambda_{H_b} = \lambda_h \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda_T = \lambda_C = \lambda_V = \lambda_{u_b} = \lambda_h^{1/2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\lambda_L$  ——波长比尺；

$\lambda_D$  ——水深比尺；

$\lambda_H$  ——波高比尺；

$\lambda_{H_b}$  ——破碎波高比尺；

$\lambda_T$  ——波周期比尺；

$\lambda_C$  ——波速比尺；

$\lambda_V$  ——流速比尺；

$\lambda_{u_b}$  ——波浪底部轨迹速度比尺。

- b) 波浪绕射相似，只有在正态模型才能实现，变态模型一般会夸大绕射现象，需要尽量减小模型变率来消除其影响；
- c) 波浪反射相似，只有在正态模型才能实现，近岸建筑物宜按正态设计、制作，试验中通过反复调整确定反射系数，可保证波浪反射基本相似。

6.1.4 泥沙运动相似，包括波浪作用下泥沙起动相似、泥沙沉降相似、破波掀沙相似等，宜满足以下要求：

- a) 为满足泥沙起动相似，可开展波浪作用下的泥沙起动试验，根据起动波高相似确定合适的泥沙粒径比尺。对于沙质海岸、粉沙质海岸，泥沙起动波高可依据附录 A.2 泥沙起动波高公式，满足泥沙起动波高相似的泥沙粒径比尺可按公式（5）计算；

$$\lambda_{d_{50}} = \lambda_D / \frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}^3}{\gamma} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\lambda_{d_{50}}$  ——泥沙中值粒径比尺；

$\lambda_D$  ——水深比尺；

$\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}$  ——泥沙相对容重比尺；

$\gamma$  ——水的容重 (kN/m<sup>3</sup>)；

$\gamma_s$  ——泥沙容重 (kN/m<sup>3</sup>)。

- b) 为满足泥沙沉降相似，沉降速度比尺可按公式（6）计算，相应的泥沙粒径比尺可按公式（7）计算；

$$\lambda_{\omega_s} = \frac{\lambda_h^{3/2}}{\lambda_l} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\lambda_{d_{50}} = \sqrt{\frac{\lambda_{\omega_s}}{\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\lambda_{\omega_s}$  ——泥沙沉降速度比尺；

$\lambda_{d_{50}}$  ——泥沙中值粒径比尺；

$\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}$  ——泥沙相对容重比尺；

$\gamma$  ——水的容重 ( $\text{kN/m}^3$ )；

$\gamma_s$  ——泥沙容重 ( $\text{kN/m}^3$ )。

- c) 为同时满足泥沙起动相似、泥沙沉降相似，选取合适的模型沙，使得按公式 (5)、(7) 计算分别得到的  $\lambda_{d_{50}}$  尽量接近；
- d) 为满足破波掀沙相似，在破波区内应满足破碎波引起的平均水体含沙量相似，含沙量相似比尺可按公式 (8) 计算。当满足公式 (6) 泥沙沉降相似时，含沙量相似比尺按公式 (9) 计算。

$$\lambda_S = \frac{\lambda_{\gamma_s}}{\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}} \cdot \frac{\lambda_h^{3/2}}{\lambda_l \lambda_{\omega_s}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\lambda_S = \frac{\lambda_{\gamma_s}}{\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\lambda_S$  ——含沙量比尺；

$\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}$  ——泥沙相对容重比尺；

$\lambda_{\omega_s}$  ——泥沙沉降速度比尺；

$\gamma$  ——水的容重 ( $\text{kN/m}^3$ )；

$\gamma_s$  ——泥沙容重 ( $\text{kN/m}^3$ )。

- 6.1.5 海床冲淤变化相似，涉及的水动力时间比尺  $\lambda_{t_1}$  可按公式 (10) 计算，海床冲淤时间比尺  $\lambda_{t_2}$  可按公式 (11) 计算。

$$\lambda_{t_1} = \frac{\lambda_l}{\lambda_h^{1/2}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\lambda_{t_2} = \frac{\lambda_{\gamma_0}}{\lambda_s} \lambda_{t_1} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$\lambda_{t_1}$  ——水动力时间比尺；

$\lambda_{t_2}$  ——海床冲淤时间比尺；

$\lambda_{\gamma_0}$  ——泥沙干容重比尺。

- 6.1.6 模型糙率应满足阻力相似的要求，可由式 (12) 计算糙率比尺，根据原型床面糙率确定模型床面糙率，从而在模型上采用合适的加糙材料与加糙方法。

$$\lambda_n = \frac{\lambda_h^{2/3}}{\lambda_l^{1/2}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

## 6.2 相似比尺及变率

- 6.2.1 波浪泥沙断面模型宜采用正态模型，相似比尺不应大于 60。

- 6.2.2 波浪泥沙整体模型、波浪泥沙局部模型可采用小变率的变态模型。沙质海岸的整体模型、局部模型，可仅考虑波浪作用，平面几何比尺不宜大于 300，模型变率宜为 2~3，不应大于 5。

- 6.2.3 粉沙质海岸、淤泥质海岸的整体模型，其平面几何比尺不宜大于 800，模型

变率不宜大于 10；粉沙质海岸、淤泥质海岸的局部模型，其平面几何比尺不宜大于 500，模型变率不宜大于 5。

6.2.4 各类模型应结合试验场地范围、模型选沙情况，以主要研究内容合理确定平面比尺、垂直比尺。

6.2.5 各类模型几何比尺的选取应满足以下要求：

- a) 模型的原始入射波，规则波的平均波高不应小于 2 cm，平均波周期不应小于 0.5 s；不规则波的有效波高不应小于 2 cm，谱峰周期不应小于 0.8 s；
- b) 模型试验中发生冲淤变化的岸滩前沿在低潮位下的水深不宜小于 3 cm。

### 6.3 试验选沙

6.3.1 模型沙应根据泥沙起动、沉降相似确定泥沙粒径比尺，筛选分析后综合确定。

6.3.2 模型沙应根据研究的海岸类型和床沙组成，在常用的模型沙中选择。对于沙质海岸，模型沙宜采用精制煤粉、粉煤灰、苯乙烯二乙烯苯（塑料沙）或其他新型模型沙；对于粉沙质海岸、淤泥质海岸，模型沙宜采用防腐木粉、电木粉、苯乙烯二乙烯苯（塑料沙）或其他新型模型沙。

6.3.3 模型沙的颗粒形状、级配、力学特性应保持稳定，模型沙的级配曲线尽量与原型沙级配曲线平行，级配曲线应通过筛析法与激光法相结合的方式综合分析确定。

6.3.4 采用原型泥沙进行试验时，应根据海岸类型选择。对于沙质海岸，宜直接采用海岸现场的原型沙样，或筛选分析后选用性能参数相近的人工沙样；对于粉沙质海岸、淤泥质海岸，宜直接采用海岸现场水陆交界处未经扰动的原状粉沙、淤泥，按地质勘探的技术要求进行取样和密封。

6.3.5 对于以泥沙起动为主的试验，应将选配的模型沙放入模型试验区进行起动波高的测量，再与采用附录 A 公式估算的泥沙起动波高作对比，校核泥沙起动波高的相似性。

### 6.4 模型布置

6.4.1 模型试验的范围应根据研究需要来确定，模型有效范围应覆盖工程影响范围。

6.4.2 模型首端造波机的位置应距离工程区岸滩坡脚不小于 6 倍波长，预留足够长度的过渡段。

6.4.3 断面模型应在末端设置消浪设施，其距离工程岸滩不小于 2 倍波长，预留足够长度的消浪段。

6.4.4 整体模型、局部模型应根据近岸实际情况在局部岸坡处设置消浪设施。

6.4.5 模型动床的离岸范围应按波浪作用下泥沙起动水深确定。模型动床的铺沙厚度，应大于可能最大海床冲刷深度 5 cm 以上。

6.4.6 模型冲刷幅度较大且表层海床覆盖层厚度较小时，应考虑按床沙级配垂向分层铺沙。

## 7 模型制作

### 7.1 地形

7.1.1 模型地形应采用能反映现状的实测地形图进行缩制，按断面板法或桩点法控制高程。模型前沿岛礁岸线宜采用 3D 打印或断面雕刻制作。

7.1.2 整体模型、局部模型采用断面法制模，制模断面间距不宜超过 1.5 m，地形复杂区域应加密布置。

### 7.1.3 模型地形制作的精度应符合以下要求:

- a) 断面模型高程控制设置 1 个以上水准点, 整体模型或局部模型高程控制设置多个水准点; 水准点高程允许偏差为 $\pm 0.5$  mm;
- b) 模型地形高程的允许偏差为 $\pm 1.0$  mm, 模型地形平面位置的允许偏差为 $\pm 10$  mm。

## 7.2 建筑物

7.2.1 模型的建筑物尺度应根据原型的建筑物尺度通过相似比尺转换得到, 模型制作完成后需进行多次校核, 模型几何尺度的允许偏差应为 $\pm 1\%$ , 局部小尺度的允许偏差应为 $\pm 0.5$  mm。

7.2.2 实体式建筑物应采用水泥砂浆浇筑相应的结构模块。透空式建筑物宜采用有机玻璃或 PVC 材质进行制模、拼装, 能满足轻质、刚劲的要求。

7.2.3 采用变态模型时, 近岸堤防、码头、航道边坡等宜按正态模型制作, 或适当减小建筑物的制作变率。建筑物坡脚的抛石, 应采用小石块或青石子铺设, 使之具有一定的渗透性。

7.2.4 对于较大范围的整体模型, 工程远区的近岸堤防建筑物宜采用不透水的特制沙袋组合砖块来模拟, 建筑物外海侧配以一定的消浪材料, 以适应其外围的水下地形。

7.2.5 对于进出水管道等规则截面建筑物, 在变态模型中宜按面积相似进行比尺换算后制作。

## 8 试验设备与量测仪器

### 8.1 一般规定

8.1.1 模型中若涉及潮流模拟, 应根据试验需要选择合适的生潮设备与控制方式。若不涉及潮流模拟, 可不用配备专门的生潮设备。

8.1.2 试验可能涉及的水位、波浪、流速流向、含沙量、地形等参数的量测仪器, 应根据试验要求、测量精度、模型布置确定种类、型式和数量。

8.1.3 试验设备和量测仪器应通过检验和率定, 其量程范围、测量精度、采样频率、灵敏度、稳定性等技术指标应满足试验要求。

8.1.4 选用各单位自行研制的非国标定型仪器设备, 首次使用时必须先进行校验, 确认其性能满足要求后方可使用, 在试验过程中应定期校验。

8.1.5 仪器设备的传感器不应破坏波形、流场和地形。

8.1.6 仪器设备应在安装完毕、单独检查和调试后进行联合运行调试。

8.1.7 模型应根据试验要求配备生潮、造波的控制、采集及数据处理系统。

### 8.2 生潮设备

8.2.1 应根据试验场地条件、模型生潮边界条件、试验水源、试验设施设备, 选择采用一种或多种形式组合的生潮控制方式。生潮控制方式包括水位控制、流量控制等, 宜采用计算机自动控制。

8.2.2 模型生潮应设置水量循环调配系统, 供水系统的供水能力应满足模型生潮流量, 宜设置回水系统。生潮能力应满足模型中涨落潮最大水位变化、最大流速变化、和最大潮流量的要求。

8.2.3 生潮边界处应设置前池空间并布设消能设施以减少水体紊动, 使生潮水流能快速平稳, 造流能力应满足模型中可能的最大流速要求。

### 8.3 造波设备

- 8.3.1 应根据试验场地条件、模型造波边界条件布置造波设备，造波系统的造波能力应满足模型中最大波高和最大波周期的要求。
- 8.3.2 造波设备应可产生规则波和不规则波，不规则波波谱宜包括 P—M 谱、MPM 谱、B 谱、JONSWAP 谱、规范谱及自定义波谱等。
- 8.3.3 造波设备所产生的波形应平稳，造波重复性好。
- 8.3.4 试验水槽或水池的首尾两端应设消浪设施，尾部消浪设施应能消除 90%以上的反射波，并应采取措施消除或减小造波机二次反射波的影响。当存在斜向波浪反射时，水池两侧应另设消浪设施。
- 8.3.5 造流设备不应影响造波设备的布置。试验采用移动式造波设备时，应充分考虑不同波向更换造波机位置时对造流的影响。

### 8.4 量测仪器

- 8.4.1 水位量测仪器的选用应满足下列要求：
  - a) 恒定流水位测量选用测针、自动跟踪式水位计或超声波水位计等；
  - b) 非恒定流水位测量选用自动跟踪式水位计、超声波水位计或压力传感器等。
- 8.4.2 波浪量测仪器的选用应满足下列要求：
  - a) 波高仪在满量程条件下 2 h 内的零漂允许偏差应为 $\pm 5\%$ ，波高仪线性允许偏差应为 $\pm 2\%$ ；
  - b) 应配置与波高仪匹配的多通道同步采集系统。
- 8.4.3 流速流向量测仪器的选用应满足下列要求：
  - a) 根据试验目的和流速范围选用旋桨流速仪、超声多普勒流速仪、粒子成像流速仪或激光流速仪等测量流速设备；
  - b) 大面积表面流速、流态测量选用流场测量系统。
- 8.4.4 含沙量量测仪器的选用应满足下列要求：
  - a) 采用光电式浊度仪，实现多通道的浊度采集与转换；
  - b) 采集模型水样，通过比重瓶法获取含沙量。
- 8.4.5 地形量测仪器的选用应满足下列要求：
  - a) 采用地形仪观测地形冲淤变化时，模型试验段的两侧宜安置水平导轨；
  - b) 测点较少且分散的地形测量可选用测针或钢直尺，在模型排水后进行测量，测量精度应为 $\pm 0.5 \text{ mm}$ ；
  - c) 床面较平整的地形测量，在模型完全排水后可选用超声波地形仪或激光地形仪进行非接触扫描测量，超声波地形仪测量精度应为 $\pm 2 \text{ mm}$ ，激光地形仪测量精度应为 $\pm 1 \text{ mm}$ ；也可采用光电地形仪逐点测量，测量精度应为 $\pm 0.5 \text{ mm}$ ；
  - d) 带水情形下的浑水模型地形测量，如含沙量小于  $30 \text{ kg/m}^3$ ，宜采用光电地形仪，测量精度应为 $\pm 0.5 \text{ mm}$ ；如含沙量大于  $30 \text{ kg/m}^3$ ，宜采用电导率式地形仪，测量精度应为 $\pm 2 \text{ mm}$ ；
  - e) 测量界面反光强弱差别较大的海床宜选用光电式地形仪，测量精度应为 $\pm 0.5 \text{ mm}$ ；
  - f) 选用其他地形测量仪器时，其测量精度不应低于上述地形测量仪器。

## 9 试验水文动力条件选择与要素率定

### 9.1 试验水文动力条件选择

#### 9.1.1 波要素

9.1.1.1 模型试验输入的水文条件为试验水位组合相应的波浪要素，分平常海况与极端海况两种情形。

9.1.1.2 试验的波浪条件，宜采用单向不规则波，特殊需要时可考虑模拟多向不规则波。工程前沿水深较小且波浪破碎程度较高时，可采用规则波。

9.1.1.3 平常海况情形，可采用平均低潮位、平均潮位、平均高潮位、大潮平均高潮位分别组合平常浪代表波。

9.1.1.4 平常浪代表波的波高，宜根据实测分向分级的波浪统计资料，按附录 B 的方法计算代表波的波向、波高。

9.1.1.5 当缺乏当地实测波浪统计资料时，可按附录 C 的近似计算方法通过波浪数学模型与分向分级的测风资料推算分向分级的波高、波周期，计算分向分级的波能流，通过加权平均得到代表波的波向、波高。

9.1.1.6 极端海况情形，可采用工程设计水文要素中各重现期的设计潮位与设计波要素组合，也可采用典型台风或寒潮的同步潮、浪过程。

#### 9.1.2 水流条件

9.1.2.1 对于整体模型、局部模型，应根据工程海域的水动力条件、泥沙运动特征与海床演变规律，以及工程方案的主要影响因素，综合考虑是否叠加海岸水流条件。

9.1.2.2 对于沿海岸方向的水流条件，分析其原因，若是波高不等或波浪斜向入射引起的，应通过实测分析或数值模拟的方式确定其流速大小。

9.1.2.3 对于非沿岸方向的水流条件，应通过实测资料分析或数值模拟的方式给出其随时间变化的流速、流向过程，以及相应的潮位过程。

### 9.2 试验水文动力要素率定

#### 9.2.1 波要素率定

9.2.1.1 水动力率定试验应在相应的试验水位下进行波浪要素率定。对于不规则波，其波谱宜采用工程水域的实测波谱；若无实测波谱，可采用 JONSWAP 谱，按公式 (13) ~ (15) 计算。

$$S(f) = \beta_1 H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[ -1.25 (T_p f)^{-4} \right] \times \gamma^{\exp \left[ -(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2 \right]} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\beta_1 = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \times (1.094 - 0.01915 \ln \gamma) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$T_p = \begin{cases} T_s / [1 - 0.132(\gamma + 0.2)^{-0.559}] \\ \bar{T} / [1 - 0.532(\gamma + 2.5)^{-0.569}] \end{cases} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$S(f)$ ——谱密度 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )；

$\beta_1$ ——系数；

$f$ ——频率 ( $\text{s}^{-1}$ )；

$f_p$ ——谱峰频率 ( $\text{s}^{-1}$ )；

$\gamma$ ——谱峰升高因子， $\gamma=1-7$ ，均值3.3；



$H_{1/3}$ ——有效波高(m);

$T_p$ ——谱峰周期(s);

$T_s$ ——有效波周期(s);

$\bar{T}$ ——平均波周期(s);

$\sigma$ ——无维谱宽参数,  $f \leq f_p$  时,  $\sigma=0.07$ ;  $f > f_p$  时,  $\sigma=0.09$ 。

9.2.1.2 波要素率定时, 应将各组次给定的试验水深、波高、波周期和采用的波谱类型输入计算机, 生成造波文件。

9.2.1.3 计算机通过计算造波信号, 传送到伺服放大器, 驱动造波板作相应的推挽运动, 推动水体产生波列, 造波的同时进行波要素数据采集。对于不规则波, 采集的波浪个数不应少于 1000 个; 对于规则波, 采集的波浪个数不应少于 100 个。

9.2.1.4 根据反馈信号进行谱分析, 波列各项参数应满足下列精度要求:

- a) 对于不规则波, 率定有效波高、谱峰周期的允许偏差应为 $\pm 5\%$ , 率定波能谱总能量的允许偏差应为 $\pm 10\%$ ;
- b) 对于规则波, 率定平均波高、平均波周期的允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

## 9.2.2 水流条件率定

9.2.2.1 对于沿海岸方向的水流条件, 水动力率定试验应在造波的同时测定沿岸流的大小, 并与常用的沿岸流计算公式结果作比对率定。沿岸流流速率定的允许偏差应为 $\pm 10\%$ 。

9.2.2.2 对于非沿岸方向的水流条件, 水动力率定试验测定其随时间变化的流速、流向过程, 以及相应的潮位过程, 将其与实测资料或数值模拟结果作比对率定。涨、落潮时段, 原型最高、最低潮位的允许偏差应为 $\pm 0.1$  m, 平均流速率定的允许偏差应为 $\pm 10\%$ 。往复流时, 测站主流流向允许偏差应为 $\pm 10^\circ$ , 平均流向允许偏差应为 $\pm 10^\circ$ ; 旋转流时, 测站流向允许偏差应为 $\pm 15^\circ$ 。

## 10 冲淤验证试验

### 10.1 一般规定

10.1.1 宜选用工程海岸台风或寒潮期间大浪作用前、后的实测地形作为验证试验的基础资料, 将该地形的冲淤变化幅度、范围等作为验证试验的对象; 也可选用周边海岸两次实测地形作为验证试验的基础资料, 将该地形的冲淤变化幅度、范围等作为验证试验的对象。

10.1.2 对于沙质海岸, 可将研究区沙侵蚀或堆积量或一定时段的岸线变化作为验证对象。

10.1.3 对于缺乏实测地形对比资料的情形, 可选用推算分析或数学模型计算的冲淤变化结果作为物理模型海床冲淤的校核比对。

10.1.4 探索性基础研究, 可不用开展冲淤验证试验。

### 10.2 验证条件

10.2.1 对于沙质海岸, 若存在明显的沿岸输沙情形, 验证试验应以模型上、下游加沙、集沙点之间岸滩稳定性或岸线变化的相似为前提, 试验测定分析模型的沿岸输沙量, 应以其与原型的沿岸输沙量或附录 D 计算得到的沿岸输沙量相吻合作为冲淤验证试验的控制条件。

10.2.2 对于粉沙质海岸、淤泥质海岸, 试验测定模型大浪期间波浪作用或波流共同

作用下的含沙量，应以其与原型实测值或推算值相吻合作为冲淤验证试验的控制条件。波浪作用的动力条件，应采用台风或寒潮期实测或数学模型计算的波浪要素。若考虑波流共同作用，水流应采用台风或寒潮期实测或数学模型计算的风暴潮流过程。试验历时应按原型强浪作用时长 1~3 天控制，并不少于一个完整的潮汐过程。

10.2.3 对于平常波浪作用下冲淤变幅较小的海岸，可进行平常代表浪作用 1 年后岸滩冲淤变化验证；常浪与风暴大浪交织的海岸，可根据资料情况进行平常代表浪作用期间岸滩冲淤变化的验证。

### 10.3 验证结果与分析

10.3.1 应根据岸滩形态、冲淤幅度相似为目标，调试确定合适的模型边界条件和输入条件。

10.3.2 对于涉及加沙的试验，应先根据地形冲淤验证结果确定模型加沙强度、加沙量、加沙时段等，得到含沙量比尺，再按公式（11）计算确定相应的海床冲淤时间比尺。

10.3.3 对于不涉及加沙的验证试验，可将原型验证资料的潮汐、波浪作用时长按水动力时间比尺 $\lambda_{t_1}$ 缩放后作为验证试验时长，以地形冲淤变化相似作为验证目标。

## 11 方案试验

### 11.1 沙质海岸方案试验

11.1.1 初始地形制作后，应将铺设后的岸滩沙样在水中浸泡 1~2 h，或以较小波浪作用 1~2 h，沙样自然密实后进行试验。

11.1.2 模型试验的边界条件存在沿岸输沙问题时，宜考虑加沙。

11.1.3 试验时长应按下列要求确定：

- a) 对于涉及加沙的试验，宜将模拟对象的原型时长按海床冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2}$ 缩放后确定海床冲淤试验时长；海床冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2}$ ，按 10.3.2 条相关规定确定；
- b) 对于不涉及加沙的试验，当研究极限冲淤问题时，试验时长宜按邻近两次地形测量结果无明显变化来控制；当研究某一级定常水深的冲淤问题时，可将该水位的原型持续时长按水动力时间比尺 $\lambda_{t_1}$ 缩放后作为海床冲淤试验时长，并需同时满足该水位的原型波个数，最终确定海床冲淤试验时长。

11.1.4 沙质海岸典型部位的波浪冲淤模拟，宜采用断面模型开展极端海况试验，采用自动地形仪进行地形监测，测定其在大浪作用过程中滩面的最大冲刷深度、最大堆积体高度及其离岸距离；试验冲淤趋于平衡后，测定岸滩横断面的冲淤形态。

11.1.5 对于沿岸输沙显著的沙质岸段的波浪冲淤模拟，宜根据模拟范围采用整体模型、局部模型开展平常海况、极端海况试验，宜采用自动地形仪进行地形测量，测定其沿岸的平面冲淤形态与典型部位的横断面冲淤形态。

11.1.6 每组方案试验应重复 1~2 次，并通过数据采集、视频、照片等方式记录试验过程。若两次试验的水动力要素偏差大于±10%或海床冲淤结果偏差大于±30%，应再进行重复性试验。

### 11.2 粉沙质海岸、淤泥质海岸方案试验

11.2.1 初始地形制作后，应将铺设后的岸滩泥样在水中浸泡 3~6 h，或以较小波浪作用 1~2 h，使泥样自然密实后进行试验。

11.2.2 研究粉沙质海岸、淤泥质海岸在波浪作用下的极限冲刷问题时，可不加沙；其余情形，宜考虑加沙。

11.2.3 试验时长应按以下要求确定：

- a) 整体物理模型试验、局部物理模型试验，宜同时模拟波浪、潮流且布设加沙条件，将原型潮汐作用时长按海床冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2}$ 缩放后确定海床冲淤试验时长；海床冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2}$ ，按 10.3.2 条相关规定确定；
- b) 断面物理模型试验，可将模拟对象的原型时长按海床冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2}$ 缩放后确定海床冲淤试验时长；海床冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2}$ ，按 10.3.2 条相关规定确定。当研究极限冲淤问题时，试验时长宜按邻近两次地形测量结果无明显变化来控制；当研究某一级定常水深的冲淤问题时，可将该水位的原型持续时长按水动力时间比尺 $\lambda_{t_1}$ 缩放后作为海床冲淤试验时长，并需同时满足该水位的原型波个数，最终确定海床冲淤试验时长。

11.2.4 粉沙质海岸、淤泥质海岸典型部位的波浪冲淤模拟，宜采用断面模型开展平常海况、极端海况试验，采用自动地形仪进行地形监测，测定其在大浪作用过程中横断面最大冲刷深度及其离岸距离。试验冲淤趋于平衡后，测定粉沙质岸滩、淤泥质岸滩横断面的海床地形分布、冲淤形态。

11.2.5 粉沙质海岸、淤泥质海岸地形变化剧烈或大角度斜向波入射情形下的波浪冲淤模拟，宜根据模拟范围采用整体模型、局部模型开展平常海况、极端海况试验。宜采用自动地形仪进行地形测量，测定粉沙质岸滩、淤泥质岸滩平面的海床地形分布、冲淤形态。试验冲淤趋于平衡后，给出最大冲刷坑的形态及影响范围。

11.2.6 每组方案试验应重复 1~2 次，并通过数据采集、视频、照片等方式记录试验过程。若两次试验的水动力要素偏差大于 $\pm 10\%$ 或海床冲淤结果偏差大于 $\pm 30\%$ ，应再进行重复性试验。

## 12 试验数据整理分析与报告编写

### 12.1 试验成果整理分析

12.1.1 试验应进行详细的数据采集与记录，并存储备份。计算机采集的数据应按试验工况进行数据命名，人工记录的数据应在试验后录入电子表格并按试验工况进行数据命名，并存储备份。

12.1.2 试验数据分为以下两大类：

- a) 工程区的波高、波周期、水位、流速、流向等水动力要素；
- b) 各代表点冲刷/淤积幅度、最大冲刷/淤积发生位置、冲刷坑/淤积体尺度、冲刷量/淤积量等海床冲淤结果。

12.1.4 试验数据分析宜包括时程分析、特征值统计等定量分析及海岸泥沙输移情况的定性分析。试验数据量较大时，应以列表、图件的形式展示。若试验结果需要进行公式拟合时，应给出拟合后的经验公式计算值与试验值的偏差。

12.1.5 试验影像应整理成册，在成果汇报中予以展示，配以文字说明，并以电子版形式作为报告附件。

### 12.2 试验报告编写

12.2.1 试验报告的章节安排与主要内容可按照附录 E 的要求进行编写。

12.2.2 试验报告的编写，应满足以下要求：

- a) 符号规范，使用法定计量单位；

- b) 图号、表号与文字表述相对应。图、表较多时，可作为报告附件；
- c) 封面应列出报告名称、编制单位名称、编制日期等；
- d) 扉页应列出项目负责人、报告编写人、项目组成员、项目内审人员等人员信息。

## 附录 A

(资料性)

## 海岸泥沙起动波高的常见公式

## A.1 窦国仁公式

$$H_c = \frac{T}{\pi} \sinh\left(\frac{2\pi D}{L}\right) \times \left\{ \sqrt{a\left(\frac{L}{\Delta}\right)^{1/2} \left[ 3.6 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d_{50} + \beta_\omega \beta \frac{\varepsilon_0 + gh\delta(\delta/d_{50})^{1/2}}{d} \right]} + \left(b \frac{\pi L}{T}\right)^2 - \left(b \frac{\pi L}{T}\right) \right\} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

 $H_c$  ——泥沙颗粒起动时的临界波高(m); $D$  ——水深(m); $L$  ——波长(m); $T$  ——波浪周期(s); $\rho_s$  ——泥沙密度(kg/m<sup>3</sup>); $\rho$  ——水的密度(kg/m<sup>3</sup>); $d_{50}$  ——泥沙粒径(mm); $a$  ——各起动状态下的经验参数, 少量动状态下  $a=0.051$ , 普遍动状态下  $a=0.079$ ; $b$  ——起动试验的经验系数, 通常取  $b=0.03$ ; $\delta$  ——泥沙颗粒薄膜水厚度(cm); $\varepsilon_0$  ——泥沙颗粒间的黏结力系数, 与颗粒材料有关, 天然沙  $\varepsilon_0=1.75\text{cm}^3/\text{s}^2$ ; $\Delta$  ——粗糙度。  $d_{50} \leq 0.05\text{mm}$  时,  $\Delta=1.0\text{mm}$ ; $\beta$  ——泥沙密实程度的参数,  $\beta=1$ ;  $\beta_\omega = (d_{50}/d_1)^{3/4}$ ,  $d_1=0.15\text{mm}$ 。

## A.2 刘家驹公式

$$H_c = 0.1 \left(\frac{L}{d_{50}}\right)^{1/3} \sqrt{\frac{L \sinh(2kD)}{\pi g} \left[ \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d_{50} + \frac{0.486}{d_{50}} \right]} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

 $H_c$  ——泥沙起动波高(m); $D$  ——水深(m); $L$  ——波长(m); $\rho_s$  ——泥沙密度(kg/m<sup>3</sup>); $\rho$  ——水的密度(kg/m<sup>3</sup>); $d_{50}$  ——泥沙粒径(mm)。

## 附录 B

(资料性)

## 海岸平常浪代表波要素的计算方法

B.1 当具有当地实测波浪统计资料时,可采用以下公式计算平常浪代表波的波高、波向角。

$$H_* = \left( \frac{\sum H_i^2 P_i}{\sum P_i} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (B. 1)$$

$$\alpha_* = \frac{1}{2} \arcsin \left[ \frac{\sum H_i^2 P_i \sin 2\alpha_i}{\sum H_i^2 P_i} \right] \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中:

$H_*$  ——代表波高 (m);

$H_i$  ——测站资料大于泥沙起动波高的第  $i$  级的有效波高 (m);

$P_i$  ——测站资料对应为  $i$  量级的波高及波向的出现频率 (%);

$\alpha_*$  ——代表波向 ( $^\circ$ );

$\alpha_i$  ——测站资料对应为  $i$  量级波浪的波向角 ( $^\circ$ )。

B.2 代表波周期可选取代表波高相对应的周期。

## 附录 C

(资料性)

## 海岸平常浪代表波要素的近似确定方法

- C.1 当缺乏当地实测波浪统计资料时，可通过波浪数学模型与分向分级的测风资料推算分向分级的波高、波周期，然后计算分向分级的波能流，继而通过加权平均得到代表波的波向、波高。
- C.2 应根据工程海域附近气象站一年以上逐时的风速风向资料，统计分析各向的各级风速出现频率；
- C.3 应根据气象站的下垫面情况、海拔高度等，将气象站风速通过高度订正换算到海面上 10m 高度处的风速，用于波浪计算；
- C.4 应通过大范围风推浪数学模型计算，得到各向来风对应的波向、各向风速对应的波高、波周期；
- C.5 根据附录 A 估算海岸泥沙起动波高；
- C.6 因近岸海域有不同程度的波浪折射现象，外海某几个来风向对应近岸某个波向，可合并后得到近岸大于泥沙起动波高的各级波高  $H_i$  出现频率  $P_i$ ，该波向的各级波能流  $(EC_g)_i$  出现频率也为  $P_i$ ；
- C.7 应按公式 C.1、C.2 计算平常浪代表波的波向、波高：

$$\alpha_* = \frac{1}{2} \arcsin \left[ \frac{\sum (EC_g)_i P_i \sin 2\alpha_i}{\sum (EC_g)_i P_i} \right] \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$H_* = \left( \frac{\sum H_i^2 P_i}{\sum P_i} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

$\alpha_*$  ——代表波向角 (°)；

$H_*$  ——代表波高 (m)；

$H_i$  ——大于泥沙起动波高的量级为  $i$  的有效波高 (m)；

$(EC_g)_i$  ——大于泥沙起动波高的量级为  $i$  的有效波高对应的波能流 (W/m)；

$\alpha_i$  —— $i$  量级波浪的波向角 (°)；

$P_i$  —— $i$  量级的波高、波向角的出现频率 (%)。

## 附录 D

(资料性)

## 沙质海岸波浪作用下沿岸输沙率计算方法

## D.1 CERC 公式

$$I_1 = KP_1 \quad \text{..... (D.1)}$$

$$P_1 = EC_g \sin \theta_b \cos \theta_b \quad \text{..... (D.2)}$$

式中:

 $I_1$  ——浮容重输沙率 (N/s); $P_1$  ——单位岸线长度上破波波能流的沿岸分量 (N/s); $E$  ——单位波峰线长度的破波波能 ( $\text{kg/s}^2$ ); $C_g$  ——破波波能传播速度 (m/s); $\theta_b$  ——破波波向与岸线的夹角 ( $^\circ$ );

$K$  ——经验系数, 当波能流采用均方根波高计算时,  $K$  取 0.77; 当波能流采用有效波高计算时,  $K$  取 0.39。

## D.2 Kamphuis 公式

$$Q_1 = 2.27 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m^{0.75} d_{50}^{-0.25} (\sin 2\theta_b)^{0.6} \quad \text{..... (D.3)}$$

式中:

 $Q_1$  ——浮重量输沙率 ( $\text{kg/s}$ ); $H_{sb}$  ——破碎波有效波高 (m); $d_{50}$  ——泥沙中值粒径 (m); $m$  ——岸滩坡度; $T_p$  ——谱峰周期 (s); $\theta_b$  ——破波波向与岸线的夹角 ( $^\circ$ )。

## D.3 赵今声公式

海岸线比较平直时, 沙质海岸沿岸输沙率可采用波能法按下列公式计算:

$$q = 0.64 \times 10^{-2} K' \delta_0 H_b^2 C_b n_b \sin 2\alpha_b \quad \text{..... (D.4)}$$

$$K' = \left( 3500 \frac{d_{50}}{d_{50}^4 + 2} \right)^{(11-100\delta_0)/10} \quad \text{..... (D.5)}$$

$$\delta_0 = \frac{H_0}{L_0} \quad \text{..... (D.6)}$$

$$H_b = K_r K_s H_0 \quad \text{..... (D.7)}$$

$$C_b = \frac{L_b}{T} \quad \text{..... (D.8)}$$

$$n_b = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\frac{4\pi d_b}{L_b}}{\text{sh} \frac{4\pi d_b}{L_b}} \right) \quad \text{..... (D.9)}$$

式中:



$q$  ——沿岸输沙率 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\delta_0$  ——深水波陡;

$H_b$  ——破碎波高 (m);

$C_b$  ——破碎波速 (m/s);

$\alpha_b$  ——波浪破碎时波峰线与等深线间的夹角 ( $^\circ$ ),  $\alpha_b$  小于  $90^\circ$  ;

$d_{50}$  ——泥沙中值粒径 (mm);

$H_0$  ——深水波高 (m), 采用均方根波高, 可取平均波高的 1.13 倍;

$L_0$  ——深水波长 (m);

$K_r$  ——折射系数;

$K_s$  ——浅水系数;

$L_b$  ——破碎波长 (m);

$T$  ——平均波周期 (s);

$d_b$  ——破碎水深 (m)。

## 附录 E

(资料性)

### 海岸波浪泥沙物理模型试验报告编制提纲

- E.1 第一章 前言，包括但不限于项目背景、地理位置、工程概况（附：工程总平面布置图、涉水部分结构图）、试验应关注的重点、主要研究内容、依据的基础资料等。
- E.2 第二章 自然条件，包括但不限于项目水下地形、气象、海洋水文（潮汐、潮流、波浪）、泥沙、海床演变特征等。
- E.3 第三章 物理模型设计，包括但不限于模型范围、模型比尺、模型选沙、模型制作、模型现场布置情况等。
- E.4 第四章 物理模型率定与验证，包括但不限于模型水文要素率定、模型地形冲淤验证等。
- E.5 第五章 物理模型方案试验，包括但不限于试验现象描述、试验数据测定方式、平面或横断面冲淤分布、关键部位冲淤范围与冲淤幅度等。
- E.6 第六章 结论与建议，包括但不限于数据成果的分类与归纳，形成主要结果与建议。
-