

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

海岸波浪泥沙物理模型试验规程

Regulation for coastal wave and sediment physical model
tests

（征求意见稿）

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 资料要求	3
5.1 一般规定	3
5.2 海洋水文资料	4
5.3 海岸泥沙资料	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	7
6.4 模型布置	7
7 模型制作	8
7.1 模型地形制作	8
7.2 模型建筑物（构筑物）制作	8
8 试验设备与量测仪器	8
8.1 一般规定	8
8.2 生潮设备	9
8.3 造波设备	9
8.4 量测仪器	9
9 试验水文条件选择与要素率定	10
9.1 试验水文条件选择	10
9.2 试验水文要素率定	11
10 模型冲淤验证	12
10.1 验证资料	12
10.2 验证条件	12
10.3 验证结果与分析	12
11 方案冲淤试验	12
11.1 沙质海岸波浪泥沙模型试验	12
11.2 粉沙质海岸、淤泥质海岸波浪泥沙模型试验	13
12 试验数据整理分析与报告编写	13
12.1 试验数据整理分析	13
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	15
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）海岸波浪泥沙物理模型试验报告编制提纲	19

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。

本文件为12章和4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、试验水文条件选择与要素率定、模型冲淤验证、方案冲淤试验、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。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

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。在波浪动力主导的海岸地区，为解决工程布置、方案比选优化、结构设计问题，波浪泥沙物理模型是目前最可靠的研究手段。

为规范和统一波浪泥沙物理模型试验方法，提升试验模拟精度、效率，充分发挥海岸波浪泥沙物理模型试验在海岸工程咨询、研究、设计、施工等环节中的指导性作用，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、试验水文条件选择与要素率定、模型冲淤验证、方案冲淤试验、试验数据整理分析与报告编写等方面的内容和要求。

本文件适用于波浪动力占主导的沙质海岸、粉沙质海岸、淤泥质海岸，以规范海岸工程相关的泥沙输移与海床冲淤试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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

海岸物理模型 Coastal Physical Model

以海岸工程及其周边岸滩、涉水建筑物（构筑物）作为研究对象，按一定的相似条件缩尺后布置、制作的实体模型。按模拟对象的类别，分为整体物理模型、局部物理模型、断面物理模型三类。

3.2

整体物理模型 Global physical model

以海岸工程涉水建筑物（构筑物）与其周边较大范围岸滩作为研究对象的物理模型。

3.3

局部物理模型 Local physical model

以海岸工程涉水建筑物（构筑物）与其周边局部岸滩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（构筑物）与其前沿岸滩的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 的砂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 10%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 Siltation**

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**中值粒径 Median particle Diameter**

小于某粒径的泥沙质量百分数为 50%的粒径，以 D_{50} 表示。

3.12**波浪运动相似 Kinematic Similarity**

原型与物理模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。

3.13**起动波高相似 Threshold Wave Height Similarity**

原型沙与模型沙在一定水深条件下的起动波高满足几何相似。

3.14

水动力率定试验 Model Calibration Experiment

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。

3.15

冲淤验证试验 Model Validation Experiment

检验物理模型海床面冲淤变化与原型相似程度的试验。

3.16

方案冲淤试验 Model Scheme Experiment

针对工程方案与相应水文条件测定海床面冲淤变化的模型试验。

4 总体要求

4.1 海岸波浪泥沙物理模型试验应根据海岸类型、泥沙特性、研究范围和研究目的开展，全面收集整理试验输入资料，明确物理模型类别，选取合适的相似比尺和试验用沙，合理布置模型并精准制作，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，对试验数据整理分析并编写试验报告。

4.2 针对沙质海岸、粉沙质海岸、淤泥质海岸三种海岸类型，均应根据模拟对象和研究需要，在整体物理模型试验、局部物理模型试验、断面物理模型试验三种类别中选取确定物理模型试验的类别。

4.3 波浪为主要动力作用下泥沙沿岸输移、海床冲淤和港口、航道回淤等研究，宜采用整体物理模型试验或局部物理模型试验。波浪为主要动力作用下岸滩横剖面泥沙输移和建筑物（构筑物）附近底床局部冲淤变化等研究，宜采用断面物理模型试验。

4.4 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，宜编制工作大纲。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) 物理模型设计；
- d) 拟投入的人员、主要仪器设备；
- e) 物理模型率定、验证；
- f) 方案试验的组次、测量内容；
- g) 工作进度计划与预期提交的成果；
- h) 开展工作的资料清单。

4.5 海岸波浪泥沙物理模型设计应在遵循相似准则的前提下，合理确定相似比尺以适应波浪、水流、泥沙、岸滩地形、涉水建筑物（构筑物）的高精度模拟，并据此布置模型。

5 资料要求

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，应包括海洋水文、海岸泥沙、水下地形、涉水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，应包括海洋水文、海岸泥沙、水下地形、涉水工程等资料。

5.2 海洋水文资料

5.2.1 海洋水文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 波浪资料宜不少于 1 站，宜包括以下内容：

- a) 波向玫瑰图、波高玫瑰图，含常浪向及其频率、强浪向及其频率；
- b) 有效波高分级分向联合分布。

5.2.3 潮汐资料宜不少于 1 站，宜包括以下内容：

- a) 工程附近潮位站的潮汐特征值，含历年最高潮位、最低潮位、平均海面、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 潮流资料宜不少于 2 站，资料年限应为近 5 年内，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 风况资料宜不少于 1 站，宜包括以下内容：

- a) 风速玫瑰图、风向玫瑰图，含常风向及其频率、强常风向及其频率；
- b) 风速分级分向联合分布。

5.2.6 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：本工程的设计波浪要素，近岸波矢图；
- c) 设计风速：本工程的各重现期设计风速。

5.3 海岸泥沙资料

5.3.1 海岸泥沙资料主要应包括水体含沙量、悬沙、底质等资料，宜不少于 2 站，资料年限应为近 5 年内。

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) 含沙量的时间变化；
- c) 含沙量的空间分布，包括在海域平面上分布与垂向分布。

5.3.3 悬沙资料宜包括以下内容：

- a) 悬沙类型；
- b) 悬沙中值粒径及粒度组成；

5.3.4 底质资料宜包括以下内容：

- a) 底质类型；
- b) 底质中值粒径及粒度组成。

5.4 水下地形资料

5.4.1 水下地形资料应包括水下地形测图资料、海图资料，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) 水下地形测图资料若为新测地形，工程近区测图比例尺不小于 1:2000，工程远区测图比例尺不小于 1:10000；
 - b) 水下地形测图资料若为历史资料，资料年限应为近 5 年内。
- 5.4.3 海图资料应采用最新的版本，比例尺应不小于 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资料：
- 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、相关专题报告等资料。
- 5.5.4 规划工程资料宜包括规划工程文本、图纸、相关专题成果等资料。

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、水文水动力泥沙数值模拟成果、沿岸输沙实测数据等资料。
- 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) 典型断面冲淤变化。
- 5.6.3 工程区域水文水动力泥沙数值模拟成果宜包括以下内容：
- a) 潮位、潮流模拟计算成果；
 - b) 海床冲淤模拟计算成果。
- 5.6.4 工程区域沿岸输沙数据，可依据实测数据或海床演变分析结果，反映一定潮、浪周期内的输沙量、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，其相似比尺应按式确定：

$$\lambda_l = \lambda_h = l_p / l_m = h_p / h_m \quad (1)$$

式中：

λ_l ——平面比尺；

λ_h ——垂直比尺；

- 6.1.2 模型设计应在几何相似的基础上，遵循波浪运动相似、泥沙运动相似、海床冲淤变化相似。
- 6.1.3 波浪运动相似应满足几何相似、重力相似，宜满足波浪折射相似、绕射相似、反射相似、波浪破碎相似。
- 6.1.4 波浪运动相似应按波长比尺等同水深比尺考虑，即 $\lambda_L = \lambda_h$ ，遵循公式（2）和公式（3）计算。

$$\lambda_L = \lambda_h = \lambda_H \quad (2)$$

式中：

λ_L ——波长比尺；

λ_h ——水深比尺；

λ_H ——波高比尺。

$$\lambda_T = \lambda_C = \lambda_V = \lambda_{u_b} = \lambda_h^{1/2} \quad (3)$$

式中：

λ_T ——波周期比尺；

λ_C ——波速比尺；

λ_V ——流速比尺；

λ_{u_b} ——波浪底部轨迹速度比尺。

6.1.5 小变率模型应遵循 $\lambda_L = \lambda_h$ ，近岸建筑物（构筑物）应按正态模型模拟。

6.1.6 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。

6.1.7 为满足泥沙起动相似，泥沙粒径比尺可依据附录 A.3 泥沙起动波高公式简化后按公式（4）计算。

$$\lambda_{d_{50}}^{1/3} = \lambda_h^{1/3} / \lambda_{(\rho_s - \rho)} \quad (4)$$

式中：

$\lambda_{d_{50}}$ ——泥沙中值粒径比尺；

ρ ——水的密度；

ρ_s ——泥沙密度。

6.1.8 为满足泥沙沉降相似，沉降速度比尺可按公式（5）计算，相应的泥沙粒径比尺可按公式（6）计算。

$$\lambda_\omega = \frac{\lambda_h^{3/2}}{\lambda_l} \quad (5)$$

$$\lambda_{d_{50}} = \sqrt{\lambda_\omega \lambda_{(\rho_s - \rho)}} \quad (6)$$

式中：

λ_ω ——泥沙沉降速度比尺；

$\lambda_{d_{50}}$ ——泥沙中值粒径比尺；

ρ ——水的密度；

ρ_s ——泥沙密度。

6.1.9 为同时满足起动相似、泥沙沉降，可将公式（4）、（6）计算分别得到的 $\lambda_{d_{50}}$ 取平均处理。

6.1.10 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（7）计算。当满足公式（5）泥沙沉降相似时，含沙量按公式（8）计算。

$$\lambda_S = \frac{\lambda_{\gamma_s}}{\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}} \cdot \frac{\lambda_h^{3/2}}{\lambda_l \lambda_\omega} \quad (7)$$

$$\lambda_S = \frac{\lambda_{\gamma_s}}{\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\gamma}} \quad (8)$$

式中：

λ_S ——含沙量比尺；

γ ——水的容重；

γ_s ——泥沙容重。

6.1.11 水动力时间比尺 λ_{t_1} 可按公式(9)计算,海床冲淤时间比尺 λ_{t_2} 可按公式(10)计算。

$$\lambda_{t_1} = \frac{\lambda_l}{\lambda_h^{1/2}} \quad (9)$$

$$\lambda_{t_2} = \frac{\lambda_{\gamma_0}}{\lambda_s} \lambda_{t_1} \quad (10)$$

式中:

λ_{t_1} ——水动力时间比尺;

λ_{t_2} ——海床冲淤时间比尺;

λ_{γ_0} ——干密度比尺。

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,相似比尺宜不大于 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,平面几何比尺宜不大于 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,其平面几何比尺宜不大于 800,模型变率宜不大于 10;粉沙质海岸、淤泥质海岸的局部模型,其平面几何比尺宜不大于 500,模型变率宜不大于 5。

6.2.4 各类模型应结合试验场地范围、模型选沙情况,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 2cm,平均波周期不应小于 0.5s;不规则波的有效波高不应小于 2cm,谱峰周期不应小于 0.8s;
- b) 模型试验段内的浅滩段在低水位下的水深宜不小于 3cm。

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,筛选分析后确定。

6.3.2 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。

6.3.3 试验模型沙应根据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、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、塑料沙或其他新型模型沙。

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,后与采用附录 A 的公式估算的泥沙起动波高作对比、校核。

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，应距离工程岸滩不小于 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，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 5cm 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 模型地形制作

7.1.1 模型岸滩的现状水下地形，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 打印或断面雕刻来制作。

7.1.2 对于整体模型、局部模型，制模断面间距不宜超过 1.5m，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) 高程控制应设置 1 个以上水准点，整体模型或局部模型应设置多个水准点且水准点高程允许偏差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ ；
- b) 模型地形高程的允许偏差不超过 $\pm 1.0\text{mm}$ ，模型地形平面位置的允许偏差不超过 $\pm 10\text{mm}$ 。

7.2 模型建筑物（构筑物）制作

7.2.1 模型的结构尺度应根据原型的结构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不超过 $\pm 1\%$ ，局部小尺度的允许偏差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

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

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（构筑物）的制作变率。建筑物（构筑物）坡脚的抛石，应采用小石块或瓜子片铺设，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 对于进出水管道等圆形建筑物（构筑物），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，技术指标应满足试验精度和稳定性的要求。

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计算机控制、采集及处理系统。

8.2 生潮设备

8.2.1 应根据试验场地条件、模型生潮边界条件及水库、固定设备情况，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，应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，布置一台或多台造波设备，造波设备距离模型工程区不小于 10 倍波长。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国内外常用的不规则波，包括 P—M 谱、MPM 谱、B 谱、J 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) 水位计的选型满足量程范围和响应频率的要求，并与二次仪表匹配；
- b) 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；
- c) 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) 波高仪满足灵敏度和稳定性的要求，在满量程条件下 2h 内的零漂允许偏差为 $\pm 5\%$ ，波高仪线性允许偏差为 $\pm 2\%$ ；
- 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;
 - c) 流速、流向测量仪器的选型满足量程和精度要求。
- 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, 通过烘干称重法获取含沙量。
- 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, 测量精度应不低于 $\pm 0.5\text{mm}$;
 - c) 淤积面较平整的地形测量, 在模型排水后选用超声波地形仪进行非接触扫描测量, 测量精度应不低于 $\pm 2\text{mm}$; 也可采用光电地形仪逐点测量, 测量精度应不低于 $\pm 0.5\text{mm}$;
 - d) 带水情形下的浑水模型地形测量, 如含沙量小于 $30\text{kg}/\text{m}^3$, 可采用光电地形仪, 测量精度应不低于 $\pm 0.5\text{mm}$; 如含沙量大于 $30\text{kg}/\text{m}^3$, 可采用电导率式地形仪, 测量精度应不低于 $\pm 2\text{mm}$;
 - e) 测量淤积界面反光强弱差别较大的河床宜选用光电式地形仪, 测量精度应不低于 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

9 试验水文条件选择与要素率定

9.1 试验水文条件选择

9.1.1 试验波要素

- 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能使泥沙起动的平常浪代表波。
- 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, 可采用设计重现期的设计潮位与设计波要素组合。

9.1.2 试验水流条件

- 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 试验水文要素率定

9.2.1 试验波要素率定

9.2.1.1 试验波要素率定在相应的试验水位下进行。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，按照公式（11）计算。

$$S(f) = \beta_J H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[-1.25 (T_p f)^{-4} \right] \times \gamma^{\exp \left[-(T_p f - 1)^2 / 2 \sigma^2 \right]} \quad (11)$$

式中：

$$\beta_J = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1 + \gamma)^{-1}} \times (1.094 - 0.01915 \ln \gamma)$$

$$T_p = \frac{\bar{T}}{1 - 0.532(\gamma + 2.5)^{-0.569}}$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07, & f \leq f_p \\ 0.09, & f \geq f_p \end{cases}$$

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

F ——波频率 (s^{-1})；

f_p ——谱峰频率 (s^{-1})；

γ ——谱峰升高因子，取3.3；

$H_{1/3}$ ——有效波高 (m)；

T_p ——谱峰周期 (s)；

$\bar{T}$ ——平均波周期 (s)；

σ ——峰形参数。

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，送给伺服放大器，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，采集的波浪个数应不少于 1000 个；对于规则波，采集的波浪个数应不少于 100 个。

9.2.1.4 根据反馈信号进行谱分析，修正传递函数，重新生成造波信号进行造波和数据采集，生成的波列各项参数应达到以下允许误差范围内：

- 对于不规则波，有效波高、有效波周期的率定误差应在 $\pm 5\%$ 以内，波能谱总能量的率定误差应在 $\pm 10\%$ 以内；
- 对于规则波，平均波高、平均波周期的率定误差应在 $\pm 5\%$ 以内。

9.2.2 试验水流条件率定

9.2.2.1 对于沿海岸方向的水流条件，需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。沿岸流流速的率定误差应在 $\pm 10\%$ 以内。

9.2.2.2 对于非沿岸方向的水流条件，造流试验中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。水流流速的率定误差应在 $\pm 10\%$ 以内。

10 模型冲淤验证

10.1 验证资料

10.1.1 宜选用台风期间大浪作用前、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；也可选用已建海岸工程建设前、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。

10.1.2 对于沙质海岸，可将现场沙损失量或一定时段的岸线变化作为验证对象。

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相吻合作为冲淤验证的控制条件。

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的控制条件。波浪作用的动力条件，应采用台风期实测或推算的台风浪波要素。若考虑波流共同作用，水流应采用台风期实测或推算的风暴潮流过程。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小的海岸，可进行平常代表浪作用一年后岸滩冲淤变化验证；常浪与台风浪交织的海岸，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（10）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 λ_{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 方案冲淤试验

11.1 沙质海岸波浪泥沙模型试验

11.1.1 对于沙质海岸的海床面，在试验段铺设沙质材料，应将铺设后的岸滩在水中浸泡 1~2h，并轻轻拍打表面，岸滩自然密实后进行试验。

11.1.2 试验时长应按下列要求确定：

- a) 整体物理模型试验、局部物理模型试验、断面物理模型试验，都根据实际情况考虑加沙与否；
- b) 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 λ_{t_2} 缩放后确定海床冲淤试验时长；海床冲淤时间比尺 λ_{t_2} ，按 10.3.2 条相关规定确定；
- c) 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 λ_{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。

11.1.3 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。

11.1.4 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。

11.1.5 每组试验应重复 2~3 次。

11.2 粉沙质海岸、淤泥质海岸波浪泥沙模型试验

11.2.1 对于粉沙质海岸、淤泥质海岸的海床面，在试验段铺设淤泥或模型沙，应将铺设后泥样用刮板刮平后在水中浸泡 3~6h，并轻轻拍打表面，泥样自然密实后进行试验。

11.2.2 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 λ_{t_2} 缩放后确定海床冲淤试验时长；海床冲淤时间比尺 λ_{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 λ_{t_2} 缩放后确定海床冲淤试验时长；海床冲淤时间比尺 λ_{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 λ_{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。

11.2.3 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。

11.2.4 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。

11.2.5 每组试验应重复 2~3 次。

12 试验数据整理分析与报告编写

12.1 试验数据整理分析

12.1.1 试验人员应按照试验规程进行数据采集与记录。计算机采集的数据应按试验工况进行数据命名，并存储备份。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 当试验数据整理分析后，若发现两次试验的水动力偏差超过 $\pm 10\%$ 或海床冲淤幅度偏差超过 $\pm 20\%$ ，应进行重复性试验。

12.1.3 试验数据量较大时，应以列表、图件的形式展示。若试验结果涉及公式拟合

的，应给出拟合后的经验公式计算值与试验值的偏差。

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，宜按照附录 D 的要求进行编写。

12.2.2 试验报告中关于试验前、后与过程中的影像文件，应在试验报告中予以展示，并配以文字说明。

12.2.3 试验报告编写应符合以下规定。

- a) 条理清晰、语言精炼、用词规范；
- b) 无错字、漏字；
- c) 图号、表号与文字表述相对应。图、表过多时，宜在报告后作为附件；
- d) 封面应列出报告名称、编制单位名称、编制日期等；
- e) 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；
- f) 目录应列出各章、节名称和相应的页码；
- e) 试验报告的送审稿版本宜附上工作大纲审查意见；试验报告的最终稿版本宜附上专家审查意见。

附 录 A
(资料性)
海岸泥沙起动波高的常见公式

A.1 佐藤公式

$$\frac{H_0}{L_0} = \alpha \left(\frac{d_m}{L_0} \right)^\beta \sinh \left(\frac{2\pi h_c}{L} \right) \cdot \frac{H_0}{H} \quad (\text{A.1})$$

H ——计算点处的起动波高；

L ——计算点处的波长；

H_0 ——深水波高；

L_0 ——深水波长；

d_m ——泥沙中值粒径；

h_c ——临界起动水深。

α 、 β ——经验系数。当泥沙处于个别移动、表层移动、全部移动时， α 分别为 0.565、1.35 和 2.40， β 为 1/3。

A.2 窦国仁公式

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

式中：

H_c ——泥沙颗粒起动时的临界波高；

H ——水深；

L ——波长；

T ——波浪周期；

ρ_s ——泥沙密度；

ρ ——水的密度；

d ——泥沙粒径；

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 $b=0.03$ ；

δ ——泥沙颗粒薄膜水厚度；

ε_0 ——泥沙颗粒间的黏结力系数，与颗粒材料有关，天然沙 $\varepsilon_0=1.75\text{cm}^3/\text{s}^2$ ；

Δ ——粗糙度。 $d \leq 0.05\text{mm}$ 时， $\Delta=1.0\text{mm}$ ；

B ——泥沙密实程度的参数， $\beta=1$ ； $\beta_\omega = (d/d_i)^{3/4}$ ， $d_i=0.15\text{mm}$ 。

A.3 刘家驹公式

$$H_0 = 0.1 \left(\frac{L}{D} \right)^{1/3} \sqrt{\frac{L \sinh(2kh)}{\pi g} \left[\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g D + \frac{0.486}{D} \right]} \quad (\text{A.3})$$

式中：

H_0 ——泥沙起动波高；

H ——水深；

L ——波长；
 ρ_s ——泥沙密度；
 ρ ——水的密度；
 D ——泥沙粒径。

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。

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

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

式中: H_* ——代表波高 (m);

H_i ——测站资料大于泥沙起动波高的量级为 i 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;

α_* ——代表波向;

α_i ——测站资料对应为 i 量级波浪的波向角。

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 ,其相应的各级波周期 T_i 出现频率也为 P_i ;
- C.7 应按波能流计算公式 $EC_g = kH^3T$,得到各向的各级波能流 $(EC_g)_i$ 出现频率 P_i ;
- C.8 应按公式 C.1、C.2 计算平常浪代表波的波向、波高:

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

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

式中:

- α_* ——代表波向;
- H_* ——代表波高;
- H_i ——大于泥沙起动波高的量级为 i 的有效波高;
- T_i ——大于泥沙起动波高的量级为 i 的有效波高对应的平均波周期;
- $(EC_g)_i$ ——大于泥沙起动波高的量级为 i 的有效波高对应的波能流;
- α_i —— i 量级波浪的波向角;
- P_i —— i 量级的波高、波周期、波向的出现频率。

附录 D

(资料性)

海岸波浪泥沙物理模型试验报告编制提纲

- D.1 第一章 前言，介绍但不仅限于项目背景、地理位置、工程概况（附：总平面布置图、细部结构图）、试验应关注的重点、主要研究内容、依据的基础资料等。
 - D.2 第二章 自然条件，介绍但不仅限于项目水下地形、气象、海洋水文（潮汐、潮流、波浪）、泥沙等。
 - D.3 第三章 物理模型设计，介绍但不仅限于模型范围、模型比尺、模型选沙、模型制作、模型现场布置情况等。
 - D.4 第四章 物理模型率定与验证，介绍但不仅限于模型水文要素率定、模型地形冲淤验证等。
 - D.5 第五章 物理模型方案试验，介绍但不仅限于试验现象描述、试验数据测定方式、平面或横断面冲淤分布、关键点位冲淤幅度等。
 - D.6 第六章 主要研究结论，介绍但不仅限于试验主要成果、委托方关注的的数据。
-