

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T ××××—202×

沿海大型工程海洋灾害  
风险排查技术规程

Technical regulations on the risk of  
marine disasters in large coastal projects

(报批稿)

2022-××-××发布

2022-××-××实施

中华人民共和国自然资源部发布

## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 通则 .....	4
5 数据资料收集、现场勘测与补充调查 .....	7
6 特征参数分析 .....	10
7 海洋灾害风险分析 .....	15
8 结论与建议 .....	18
附录 A（规范性）沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书格式与内容 .....	20
附录 B（资料性）风暴潮数值模型方法 .....	23
附录 C（资料性）天文潮-风暴潮-海浪耦合数值模型 .....	25
附录 D（资料性）可能最大风暴潮（PMSS）推算 .....	30
附录 E（资料性）风暴潮特征参数计算方法 .....	333
附录 F（资料性）深水区海浪推算的模型选择与检验 .....	355
附录 G（资料性）浅水区海浪推算的模型选择与检验 .....	366
附录 H（资料性）太平洋地区地震震源和震级 .....	377
附录 I（资料性）海啸数值模型 .....	40
附录 J（资料性）单层平整冰厚分区 .....	43
参考文献 .....	45

## 前 言

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：自然资源部海洋咨询中心、中国海洋工程咨询协会、国家海洋环境监测中心、国家海洋环境预报中心。

本文件主要起草人：向友权、王健国、王桂全、张继承、董剑希、王培涛、许宁、祁琪。

## 引 言

我国是世界上海洋灾害（风暴潮、海浪、海啸和海冰）最严重和频发的国家之一。沿海大型工程在全球变化以及极端气候事件频发的背景下，增加了海洋灾害的潜在风险。因此，开展已建沿海大型工程的海洋灾害潜在风险的排查，及早发现潜在风险隐患尤为重要。为科学评估已建沿海大型工程海洋灾害的潜在风险，规范沿海大型工程海洋灾害风险排查的技术方法、技术内容和技术要求，特制定本文件。

# 沿海大型工程海洋灾害风险排查技术规程

## 1 范围

本文件规定了沿海大型工程海洋灾害风险排查的资料收集、现场勘测、特征参数与风险分析等方法、程序及成果要求等内容。

本文件适用于已建沿海大型工程因风暴潮、海浪、海啸和海冰所导致的海洋灾害的风险排查与评估，不适用于沿海大型工程的设计安全评估。

## 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。

GB/T 12763（所有部分）	海洋调查规范
GB/T 14912	1:500 1:1000 1:2000 外业数字测图技术规程
GB/T 14914（所有部分）	海洋观测规范
GB 17378（所有部分）	海洋监测规范
GB 50074	石油库设计规范
GB 50201	防洪标准
GB 50286	堤防工程设计规范
GB/T 50663	核电厂工程水文技术规范
GB 51015	海堤工程设计规范
CJJ 50	城市防洪设计规范
HAD101	滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定
JTJ 300	港口及航道护岸工程设计与施工规范
JTS 145	港口与航道水文规范
JTS 154-1	防波堤设计与施工规范
NB/T 25002	核电厂海工构筑物设计规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**沿海大型工程** large coastal engineering

滨海区域建设的规模较大、涉及因素众多、受风暴潮、海浪、海啸和海冰灾害影响后果重大而且次生灾害影响深远的大型工程项目。

## 3.2

**海洋灾害 marine disaster**

由风暴潮、海浪、海冰和海啸等自然因素造成生命、财产损失和生态环境损害的事件或现象。

## 3.3

**灾害风险 disaster risk**

以自然变异为主因导致的未来不利事件发生的可能性及其损失。

## 3.4

**风暴潮 storm surge**

由于热带气旋、温带天气系统、海上爬线等风暴过境所伴随的强风和气压骤变而引起的局部海面振荡或非周期性异常升高（降低）现象。

[来源：GB/T 19721.1-2005, 3.1]

## 3.5

**可能最大风暴潮 probable maximum storm surge****可能最大风暴增水**

针对某特定点，其周边一定区域内可能最强台风、最强温带天气系统以最利于风暴增水的路径、移动速度等影响此特定点时引起的增水。

## 3.6

**可能最大风暴减水 probable maximum minus storm surge****可能最大负风暴潮**

针对某特定点，其周边一定区域内可能最强台风、最强温带天气系统以最利于风暴减水的路径、移动速度等影响此特定点时引起的减水。

## 3.7

**设计基准洪水位 design basis flood**

选定用于核电厂址设计基准而计算得到洪水水位，主要包括10%超越概率天文高潮位（或19年天文最高潮位）与可能最大风暴潮、可能最大海啸、可能最大假潮三者中大者之和，与核电厂址寿期内的海平面上升量。

注：我国沿海核电厂设计基准洪水位确定中通常选用可能最大风暴潮。

## 3.8

**海浪 ocean wave**

由风引起的海面波动现象。包括风浪及其演变而成的涌浪。

[来源：GB/T 15920-2010, 2.4.1]

## 3.9

**海啸 tsunami**

由水下地震、火山爆发或水下塌陷和滑坡等所激起的长周期小振幅的散射波，以每小时数百千米速度传至岸边，形成的来势凶猛危害极大的巨浪。

[来源：GB/T 15920-2010， 2.5.60]

### 3.10

#### 海冰 sea ice

所有在海上出现的冰统称海冰，除由海水直接冻结而成的冰外，它还包括源于陆地的河冰、湖冰和冰川冰。

[来源：GB/T 19721.3-2005， 2.1]。

### 3.11

#### 设计潮位 design tide level

规划和设计依据的符合某一重现期设计标准要求的潮（水）位值。

[改写GB/T 51015-2014， 2.0.2]

### 3.12

#### 10%超越概率天文高潮位 the 10% exceedance astronomical high tide

在连续 19 年以上的月最大天文潮中，只有 10%超越或者等于其高度的天文潮位。

[改写 NB/T25002-2011， 6.2.3.1]

### 3.13

#### 波浪爬高 wave run-up

波浪沿着挡水坡面爬升而高于静水面的垂直高度。

[改写 GB/T 51015-2014， 2.0.18]

### 3.14

#### 单层冰 level ice

整个冬季连续增长，相对未受扰动的平坦海冰。

[来源：Q/HSn 3000-2002， 2.2.1.1]

### 3.15

#### 海平面变化 sea level change

由于气候变化等引起的海平面升降变化。

### 3.16

#### 设计使用年限 design working life

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的期限。

[来源：GB 50068-2001， 2.1.7]

## 3.17

**海啸源 tsunami source**

海啸的生成区域，指发生海底地震、火山喷发、山体滑坡等并造成大规模、快速的水体变形导致海啸的区域。

## 3.18

**海啸数值模拟 tsunami numerical modeling**

采用数学方法描述海啸现象及其影响。

## 3.19

**海啸波幅 tsunami amplitude**

海啸发生时引起的海平面异常升高（或降低）的幅度。

## 3.20

**局地海啸 local tsunami**

海啸源距离受海啸破坏性影响的区域约 100 km 以内（或海啸传播时间不超过 1 h）的海啸。

注：局地海啸通常由地震引起，滑坡或火山喷发引起的火山灰流也能引发海啸。

## 3.21

**区域海啸 regional tsunami**

海啸源距离受海啸破坏性影响的区域约 1000 km 以内（或海啸传播时间在 1 h~3 h）的海啸。

注：区域海啸有时也会对区域外造成影响，但影响区域和影响程度均较小。

## 3.22

**越洋海啸 ocean-wide tsunami**

能够造成大范围破坏或影响的海啸。越洋海啸不仅重创海啸生成源区附近的近岸地区，而且能够穿过大洋影响其他地区。

## 4 通则

### 4.1 排查原则

沿海大型工程海洋灾害风险排查应遵循科学、严谨、客观的总体要求，遵循可靠性原则、分类原则和综合性原则。

#### 4.1.1 可靠性原则

用于风险排查的数据资料来源明确并具有客观性和可靠性；排查所使用的数值模型等应具有明确的描述和通用性并经过可靠性和准确度验证。



#### 4.1.2 分类原则

按照沿海核电类工程（A类）和非核电类工程（B类），分别开展海洋灾害风险排查。

#### 4.1.3 综合性原则

综合考虑沿海大型工程所在海域的风暴潮、海浪、海啸、海冰海洋灾害的特点，考虑海平面变化等状况，开展工程现状和设计使用年限末期的海洋灾害风险排查与评估；其中B类工程主要考虑海啸情景模拟状况下的灾害风险评估。

#### 4.2 排查对象

沿海大型工程海洋灾害风险排查对象包括：

- 沿海核电工程：所有规模；
  - 海洋石油勘探开发工程：原油年产能大于或等于30万m<sup>3</sup>的人工岛式油田和冰区平台式油田；
  - 沿海石油化工（炼化）工程：年产能大于100万t的工程；
  - 沿海石化储藏工程：油类储藏规模大于20万m<sup>3</sup>和化学危险品储藏规模大于1万m<sup>3</sup>的工程；
  - 沿海机场：填海形成跑道、场区的机场或高程较低的沿海机场；
  - 海岸防护工程：海堤长度大于或等于5 km的海岸防护工程；
  - 沿海城镇防护工程：防护人口大于等于5万人的沿海城镇防护工程；
  - 人工岛工程：面积大于等于30hm<sup>2</sup>的海上人工岛建设项目；
  - 填海工程：沿海产业园区工程、沿海建设造地工程、沿海农业围垦工程,填海面积大于或等于50hm<sup>2</sup>的建设项目；
  - 大型港口工程：年吞吐量大于1亿t、1000万集装箱、500万m<sup>3</sup>油品的港口；
  - 沿海钢铁基地工程：年冶炼能力大于1000万t的工程；
  - 沿海能源工程（不含核电）：产能大于500MW的火电工程；产能大于200MW的海上风电工程。
- 可参照上述类型及规模，界定需开展海洋灾害风险排查的其他涉海工程。

#### 4.3 排查灾种与参数

排查灾种主要包括风暴潮、海浪、海啸和海冰。排查参数主要包括防护工程顶高程和厂坪标高、排查工程的水文设计参数、海洋灾害特征参数(见 6.1-6.4)。根据工程类别和特征，结合防护对象的基础稳定性分析，可依据表 1 确定具体工程的海洋灾害风险排查灾种与参数。

表 1 海洋工程风险排查灾种与参数

排查对象	海洋灾害风险排查主要内容	排查灾种与参数
A类	在风暴潮、海浪、海啸和海冰作用下核岛的防护工程风险排查、取排水安全风险排查。	1) 风暴潮+海浪：天文潮-可能最大风暴潮（PMSS）-海浪计算；防护工程顶高程和厂坪标高分析； 2) 海啸：天文潮与可能最大海啸爬高计算； 3) 海冰：海冰的影响评估计算（仅考虑渤海、黄海北部海域）； 4) 海平面变化。
B类	风暴潮、海浪和海冰作用下的防护工程风险排查；海啸情景模拟条件下的风险评估。	1) 风暴潮+海浪：设计参数计算（至少包含设计重现期）；防护工程顶高程风险分析； 2) 海啸情景模拟：天文潮与历史最大海啸爬高计算； 3) 海冰：海冰风险评估（仅考虑渤海、黄海北部海域）； 4) 海平面变化。

排查对象	海洋灾害风险排查主要内容	排查灾种与参数
注：海冰灾害排查对象：核电和火电工程，海洋石油勘探开发工程，大型港口工程。		

#### 4.4 技术流程与方法

风险排查技术流程为：数据资料收集——排查技术方案编制——现场勘测——补充调查——特征参数分析计算——海洋灾害风险分析——排查报告书编制。

各阶段的主要技术方法如下：

- 数据资料收集：收集研究相关技术文件，收集被排查工程的基础数据和技术资料，收集有关历史和现状数据资料，开展基础数据和工程资料的初步分析。
- 排查技术方案编制：依据收集的数据资料和工程资料的初步分析，编制排查技术方案，包括：明确基础数据资料收集、现场勘测和补充调查的内容与要求，明确排查的风暴潮和海浪参数、海啸模拟参数、海平面变化等特征参数的分析方法和要求，确定排查内容和成果要求等。排查技术方案通过专家技术审查后，应作为指导排查工作的技术依据。
- 现场勘测：排查对象的防护工程（防浪墙）顶高程需进行现场勘测，给出顶高程勘测成果和精度检验结果；依据防护工程的平面布置和分段，分析阐明防护工程的代表性分段的现状（宜与工程设计的代表性分段相同或相近），筛选出排查代表性点位作为防护工程风险排查的控制性点位。
- 补充调查：如需要开展现场水文气象补充调查时，应明确补充调查的内容、站位、调查要素、时段、频次、设施设备等的要求。
- 特征参数分析计算：依据收集、补充调查和数值模拟获得数据资料，开展风暴潮、海浪、海冰参数的分析计算及海啸情景模拟，开展海平面变化分析预测；上述分析方法和采用的参数应通过专家技术审查。
- 海洋灾害风险分析：根据特征参数分析计算结果，与工程原设计参数进行比较分析；结合被排查工程防御设计标准，进行风暴潮、海浪、海啸和海冰灾害的设计标准变化分析；以风暴潮和海浪特征参数的分析结果，结合工程原设计的安全超高值、海平面变化预测结果所获得的应达到的防护顶高程值，与防护顶高程现场勘测值进行比较，阐明风险排查结论。
- 排查报告书编制：依据附录 A 的要求，编制风险排查报告书；依据工程海洋灾害风险排查结论，提出海洋灾害防御的对策和建议。

沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书应通过专家技术审查。

#### 4.5 风险参数的分析内容

##### 4.5.1 风暴潮和海浪

风暴潮和海浪参数分析的内容如下：

- a) 资料收集与处理：收集历史与现状资料，包括潮位、海浪、气象等资料，防护工程概况、地形地貌等数据以及其他相关的资料。
- b) 风暴潮、海浪参数分析：依据表1明确被排查工程需要分析的参数。其中A类工程主要为天文高潮位、海平面变化、可能最大风暴潮（PMSS）、可能最大台风浪、设计基准洪水位（DBF）、防护工程顶高程或厂坪标高等；B类工程主要为设计标准、设计潮位、设计波高、波浪爬高、海平面变化、设计防护工程顶高程等。

##### 4.5.2 海啸

海啸参数分析的内容如下：

- a) 资料收集与处理：收集与排查工程有关的历史和现状数据资料。主要包括潮位、海啸、地震等资料；防护工程概况、地形地貌等数据以及与排查相关的资料。
- b) 海啸参数分析与计算：A类工程海啸参数主要为天文高潮位、可能最大地震震源参数、可能最大海啸、设计基准洪水位（DBF）等；B类工程主要开展海啸情景的数值模拟，主要内容为：依据可能最大地震震源参数，按照局地海啸、区域海啸、越洋海啸类别，分别模拟预测历史最大和可能最大海啸的传播过程及可能最大海啸波爬高等参数。
- c) 海啸风险分析：B类工程主要针对各类情景模拟条件下可能最大海啸爬高值与实测的防护工程顶高程进行比较，简述工程风险。

#### 4.5.3 海冰

海冰参数分析的内容如下：

- a) 资料收集与处理：收集与排查有关的历史和现状数据与资料。主要包括海冰、海冰灾害、冰期水文与气象等资料；防护工程概况、海冰灾害风险监控系統概况、地形数据等相关资料。
- b) 海冰参数分析与计算：A类工程海冰参数主要为单层平整冰厚，还应在初冰期和融冰期考虑冰块大小、流动速度及维持时间等因素；B类工程主要为单层平整冰厚。
- c) 海冰灾害风险分析：A类工程分别针对设计条件进行海冰载荷的稳定评估与风险排查；B类工程分别针对设计标准、设计条件进行海冰载荷稳定评估与风险排查。

#### 4.6 排查成果

排查成果为沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书及其附件，报告书的编制应符合本文件相关章节和附录A的要求。

### 5 数据资料收集、现场勘测与补充调查

#### 5.1 水文气象数据资料

水文气象观测数据资料包括气象、潮位、海浪、海啸、海冰等观测资料。

##### 5.1.1 气象数据资料

收集工程点附近有代表性的最新的长时间序列气象资料，包括：

- 气象观测台（站）名称、位置（地理坐标）、观测场高程、数据观测年限及观测精度等；
- 气象要素数据（宜不少于连续20年）：气压、风向、风速，持续时间等；
- 主要天气过程数据资料，主要包括热带、温带气旋及强冷空气或寒潮大风过程的活动时间、强度、路径、影响范围以及登陆地点等。

##### 5.1.2 潮位数据资料

收集工程点附近有代表性的最新的长时间序列的潮位资料，包括：

- a) 工程所在海域或其附近潮位站的历年潮位资料，包括不少于20年连续的潮位及高低潮资料，潮位基准面及其换算关系，工程交（竣）工后开展的潮位观测资料等；

- 1) 工程项目附近如有长期站位资料,收集的潮位资料宜包括20年连续年极值潮位(年最高潮位和年最低潮位)、潮位特征值(最高潮位、最低潮位、平均潮位、最大潮差、平均潮差),以及(1~5)年的逐时潮位资料和日高低潮位资料;
- 2) 工程项目附近如缺少长期站位资料且只有短期潮位资料时,则收集的潮位资料除了至少包括短期站位建站以来的连续年极值潮位(年最高潮位和年最低潮位)、潮位特征值(最高潮位、最低潮位、平均潮位、最大潮差、平均潮差),(1~5)年的逐时潮位资料和日高低潮位资料,还需要收集潮汐相似性高的附近潮位站不少于20年的连续年极值潮位(年最高潮位和年最低潮位)、潮位特征值(最高潮位、最低潮位、平均潮位、最大潮差、平均潮差),以及与短期站位资料同步的(1~5)年的逐时潮位资料和日高低潮位资料。

b) 工程设计时采用的潮位设计参数及计算方法等;

c) 影响到工程的河口径流资料;

d) 历史风暴潮灾害现场调查的潮水淹没范围、最高潮位(含收集的潮位站数据)等数据资料。

### 5.1.3 海浪数据资料

收集工程点附近有代表性的最新的时间序列的海浪资料,包括:

- 工程所在海域历史海浪观测资料,时间宜不少于20年;工程完工后开展的海浪观测资料等;排查工程缺少长期的、有代表性的波浪资料时,应开展不少于一年的现场代表性波浪补充观测。
- 工程设计时采用的海浪设计参数及计算方法等;
- 历史海浪灾害现场调查的有效波高、最大波高过程等数据资料。

### 5.1.4 海啸数据资料

收集的海啸与地震数据资料包括:

- 工程所在海域及其附近潮位站历史海啸过程数据资料,目击者观测到的海啸描述等资料;
- 工程附近海域历史海啸灾害现场调查的淹没范围、最高潮位(含收集的潮位站数据)等数据资料;
- 历史最大震源参数,包括全球范围内可能引发影响我国沿海海啸的历史最大震源参数。

### 5.1.5 海冰数据资料

收集的海冰数据资料(渤海、北黄海)包括:

- 冰况资料:初冰日、终冰日、总冰期和流冰密度,固定冰宽度;流冰的冰型、流冰量和流冰密集度,冰况影响等数据资料;
- 工程点附近最新的长序列海冰及相关环境要素观测数据资料;
- 最新的长序列渤海和黄海北部海冰数据资料。

## 5.2 地形地貌与工程地质资料

收集工程及其附近海域的地形地貌与工程地质资料包括:

- 工程所在海域地层结构,岩土性质等内容。
- 工程所在海域地形地貌数据资料,比例尺宜大于1:5000。
- 工程附近海域的大比例尺的水深、岸线地形数据资料;如果项目所在海域海岸线曲折、地形复杂,水深、地形等资料比例尺宜大于1:10000;如项目所在海域海岸线较为平直,水深、地形等资料比例尺宜大于1:50000;距离工程较远处的水深、地形资料的比例尺宜优于

1:100000。

### 5.3 相关数据资料

- 排查工程相关数据资料涉及工程概况、防护工程概况、海洋灾害风险监控系統概况等，主要包括：
- 核电、火电等能源项目应给出单台机组容量、机组数量、总装机容量、平面布置等；
  - 石油化工项目应阐明工程平面布置及各组成部分，阐明主要规模、产量，有毒、有害和可引起严重污染的产品产量、储藏方式及位置，原油、石化和化工品的原材料、半成品、成品的仓储容量，单个贮罐容量、贮罐数量、总贮罐容量等；
  - 石油石化储藏基地工程应阐明工程平面布置及各组成部分，明确单个贮罐容量、贮罐数量、总贮罐容量等；
  - 海洋石油开采项目阐明工程平面布置及各组成部分，明确海上平台、平台结构型式、海底输油和输气管道、浮式生产装置等的规格、数量，采油、采气产量等；
  - 沿海机场应阐明场区的平面布置及各组成部分，明确跑道、机位、候机楼等主要部分的位置、规模、地面高程等；
  - 大型港口码头工程、沿海钢铁基地工程、大型沿海能源工程等应阐明工程平面布置及各组成部分，明确各部分的相互关系、功能与作用等；
  - 防护工程应阐明防护设计参数，明确防护工程结构的类型，断面形式（陡墙式、斜坡式、复合斜坡式）与尺度和平面布置等；
  - 防护工程建成后所经历的风暴潮、海浪、海啸、海冰灾害的相关数据资料。

### 5.4 现场勘测与补充调查

排查对象应通过现场勘测，获取防护工程（含防浪墙）顶高程勘测数据并阐明勘测精度检验结果；绘制防护工程顶高程的纵剖面图、控制性点位顶高程数据和平面位置图，作为风险排查的基础技术依据。

收集的基础数据资料不能满足风险排查需要时，应开展必要的现场补充调查与观测；现场补充调查与观测的技术方法、数据和成果等应符合GB/T 12763、GB/T 14912、GB/T 14914、GB 17378和本文件的要求。

### 5.5 数据资料的代表性和可靠性

用于沿海大型工程海洋灾害风险排查的历史数据资料、现场观测数据资料等应具备代表性和可靠性。

**代表性：**获取风暴潮、海浪等水文气象历史数据资料的地理环境条件、水文气象条件等，可以代表所排查工程的海洋地理、水文气象的历史和现状情况。

**可靠性：**历史数据资料来源可靠，现场观测数据资料符合技术标准要求，并均经过严格的质量控制。

采用的所有现状数据资料和历史数据资料应注明出处，详细列出提供数据资料的机构或单位名称，明确提供数据资料的观测站位、时间、内容、要素等基本内容。

收集到的数据资料分别按GB/T 14914、GB 17378和GB/T 12763等相关条款规定的方法和要求处理数据，发现并剔除不合理记录，修正系统误差，保证资料不重、不漏、不错。对历史观测数据资料进行质量控制时，应着重对出现的可疑值、特大值、极值进行认真分析和处理。

数据处理及导出量计算均应符合法定计量单位的要求。

当获取数据资料的环境背景已发生了较大变化，或所采用的设备（手段）已被淘汰（替代）及分析方法依据改变的，其数据资料应经过重新分析和论证后采信；采信的数据资料，应按照GB/T 14914、GB/T 12763、GB 17378中数据质量控制的方法和要求经处理后方可使用。

## 5.6 专题研究成果（数据资料）的采信

当风险排查中采用了科研、设计、勘测单位为工程设计和建设提供的气象、水文、工程底质、地形地貌、泥沙运动等专题研究成果的数据资料、数值模型和物理模型的分析结果及专题的内容和结论时，应阐明其成果和数据资料提供的单位、时间和成果名称，明确成果和数据资料的责任签署的完整性，并提供相应技术审查的依据。

## 6 特征参数分析

### 6.1 风暴潮和海浪灾害特征参数计算

#### 6.1.1 A类工程风暴潮和海浪灾害特征参数计算

A类工程风暴潮、海浪的特征参数主要包括：

- 天文潮位；
- 海平面变化；
- 可能最大风暴潮（PMSS）、可能最大风暴潮减水（-PMSS）和可能最大台风浪；
- 设计基准洪水位（DBF）；
- 防护工程顶高程或厂坪标高。

##### 6.1.1.1 天文高潮位分析计算

10%超越概率天文高潮位计算：分析计算工程所在海域的潮汐特征并推算19年天文潮，取每月最大天文潮排序，获得该处10%超越天文高潮位。

19年天文高（低）潮位计算：分析计算工程所在海域的潮汐特征并推算19年天文潮，取最大（小）值为最高（低）天文潮位。

##### 6.1.1.2 可能最大风暴潮（PMSS）、可能最大风暴潮减水（-PMSS）和可能最大台风浪计算

###### 6.1.1.2.1 可能最大台风风暴潮计算

分析并确定可能最大台风（PMTTC）参数，采用台风风暴潮数值模型计算PMSS。

PMTTC参数包括：

- 台风中心气压；
- 台风最大风速半径；
- 最大风速；
- 台风移速；
- 外围海面气压。

台风风暴潮数值模型应满足下述条件：

- 采用成熟的、适用于中国沿海的风暴潮数值模型；也可以采用成熟的天文潮-风暴潮-海浪耦合模式；
- 网格分辨率足够高，以便较好刻画核电站工程周边的地形；

——计算区域覆盖范围足够大，要与强台风尺度相当，其外海边界距研究对象（核电站工程）的距离最少在800 km以上；

——对历史上影响工程所在区域的典型风暴潮过程进行模拟检验，确保工程附近主要潮位站的最大风暴潮误差在8%以内，用于检验的典型风暴潮个例原则上不少于15个。

模型的详细要求及推荐模型详见附录B和附录C；可能最大风暴潮各参数选取详见附录D。

#### 6.1.1.2.2 可能最大风暴潮减水（-PMSS）计算

参照可能最大台风风暴潮（PMSS）中的方法确定可能最大台风减水的台风参数，采用台风风暴潮模型计算 - PMSS。

位于渤海、黄海北部海域的工程，最大减水可能是由持续时间长的温带气旋的大风风场产生，因此在必要的时候，要进行可能最大温带减水的计算。

可采用10%超越概率天文低潮位或19年最低天文潮位+可能最大风暴减水，分析可能最低潮位。

#### 6.1.1.2.3 可能最大台风浪计算

以确定的可能最大热带气旋的风速、风向、可能最大风暴潮（PMSS）等参数，采用海浪数值模型，推算工程附近的可能最大台风浪。可能最大台风浪的计算位置宜与PMSS的计算位置保持一致（或与工程设计时计算的位置保持一致）。可能最大风暴潮（PMSS）时的波浪分析，一般采用假定计算方法，考虑偏保守的原则，计算指定工程位置的波高、波周期等过程曲线。

海浪数值模型应满足一定的条件，主要包括：

——网格分辨率足够高，以便较好刻画核电站工程周边的地形；

——计算区域覆盖范围足够大，其外海边界距研究对象（核电站工程）的距离最少在800 km以上；

——开展台风、寒潮大风、温带气旋等强海况下的后报检验，有效波高大于2 m以上的相对误差原则上不大于15%。

模型的详细要求及推荐模型见附录F。

#### 6.1.1.3 设计基准洪水位（DBF）计算

依据NB/T 25002、HAD101的要求分析计算设计基准洪水位（DBF），其组合包括：

1) 10%超越概率天文高潮位（或19年最高天文潮位）；

2) 可能最大风暴潮（PMSS）<sup>1</sup>。

#### 6.1.2 B类工程风暴潮和海浪特征参数计算

B类工程风暴潮、海浪特征参数主要包括：

——海平面变化；

——设计潮位（依据被排查工程原设计采用的技术方法分析计算）；

——设计波高（依据被排查工程原设计采用的技术方法分析计算）；

——防护工程的设计顶高程（含安全超高）。

##### 6.1.2.1 设计潮位计算

1) <sup>1</sup> 目前所有已运行的沿海核电工程 DBF 中均是由 PMSS 参与组合，并且都是由台风引起的。

依据工程至少连续20年潮位资料,利用统计方法计算不同重现期高潮位,并根据设计标准取其设计潮位。重现期高潮位计算方法如下。

a) 基于长时间序列历史潮位资料的高潮位重现期推算

如果工程所在海域有不少于20年连续的逐时和高潮资料,可使用统计分析方法确定工程所在海域高潮位年极值系列,此时,还应调查历史上出现的特高潮位值,作为大值补充至该系列中。

b) 基于短时间序列历史潮位资料的高潮位重现期推算

如果同时具备以下情况,可使用高潮同步相关法与长期潮位站进行同步相关分析或使用极值同步差比法与长期潮位站进行同步相关分析,同时应满足下述条件:

- 1) 有不少于3年连续的逐时和高潮资料;
- 2) 潮汐相似性高的附近潮位站有不少于20年的连续高潮资料,并且与工程所在海域为同步潮位观测。

在采用高潮同步相关法或极值同步差比法计算时,工程所在海域与长期站之间应满足潮汐性质相似、地理位置邻近、受河流径流影响相似、受增减水影响相似等条件。

通过同步潮位观测资料分析,建立工程所在海域与长期潮位站之间的高潮位相关关系,构建出工程所在海域的高潮位年极值序列,并根据情况,尽可能调查历史上出现的特高潮位值。高潮同步相关法和极值同步差比法见附录E。

c) 基于数值方法的高潮位重现期推算

如果不具备上述a)和b)的数据资料条件,可采用数值模拟的方法分析计算工程处高潮位年极值系列数据,并根据情况尽可能调查历史上出现的特高潮位值。

风暴潮数值模型及推算应满足的条件:

- 1) 采用成熟的、适用于中国沿海的风暴潮数值模型;也可采用成熟的天文潮-风暴潮-海浪耦合模型;
- 2) 网格分辨率足够高,以便较好刻画海洋工程周边的地形;
- 3) 计算区域覆盖范围足够大,要与强台风尺度相当,其外海边界距研究对象(海洋工程)的距离最少在800 km以上;
- 4) 对历史上影响海洋工程所在区域的典型风暴潮过程进行模拟检验,工程附近主要潮位站的最大风暴潮误差在8%以内,风暴高潮位误差不大于20 cm;
- 5) 用于检验的典型风暴潮个例原则上不少于15个。

基于数值方法的高潮位重现期的频率分析方法与6.1.1.2.1相同;基于数值方法的可能最大减水计算方法与6.1.1.2.2相同。

推荐模型及要求见附录B和附录C,数值方法推算风暴潮见附录E。

### 6.1.2.2 设计波高计算

设计波高首先计算工程外海-20 m水深处或0.5倍特征波长水深处的重现期波高,据此推算工程所在海域设计波高。重现期设计波高的推算方法原则上与工程设计阶段采用的推算方法一致;当与工程现行标准规定的推算方法不一致时,应采用现行标准规定的推算方法。

#### 6.1.2.2.1 工程外海深水重现期极值波高推算

工程外海深水重现期极值波高可依据资料情况采用统计法或数值法进行推算。

a) 统计法

海浪观测资料若满足以下任意一种情况时,可采用资料分析方法推算工程外海多年一遇的极值波高:



## 1) 工程外海有长期波浪观测资料

如果工程外海有长期波浪观测资料（时间序列不少于20年），选取对海洋工程影响不利的波浪方向，分别统计各个方向上的波高年极值，并根据地面天气图、西北太平洋海浪实况分析图对统计结果进行逐一的校核；剔除不合理的观测数据，建立各个方向的波高年极值序列值。

## 2) 工程外海有短期观测资料，但附近海域有长期观测资料

如果工程外海有1年以上的短期观测资料，但附近海域有不少于20年的连续观测资料，可通过分析附近海域与海洋工程外海处海浪的相关性，利用二者的相关关系（二者相关系数不低于0.7）重建海洋工程外海处的年极值波高序列，进而推算海洋工程外海处多年一遇的极值波高。

## b) 数值法

若海浪观测不满足长期和短期资料的要求，则需采用数值方法推算海洋工程附近外海多年一遇的极值波高。

采用国内外成熟、业务化的深水海浪数值模型重建海洋工程附近深水处的历史海浪场数据集。根据数值计算结果，统计海洋工程外海深水处各个方向的年极值波高。并根据地面天气图、西北太平洋海浪实况分析图、历史观测资料等，对统计结果进行逐一的校核和订正，建立各个方向的波高年极值序列值。然后采用工程设计阶段的推算方法推算工程所在海域各个方向的多年一遇的波高值。其中深水海浪计算应满足如下条件：

- 1) 构建的历史海浪场数据集的长度不少于20年；
- 2) 网格分辨率足够高，以便较好刻画排查工程周边的地形；
- 3) 计算区域覆盖范围足够大，其外海边界距研究对象（海洋工程）的距离最少在800 km以上；
- 4) 开展台风、寒潮大风、温带气旋等强海况下的后报检验（有效波高大于2 m以上的相对误差不大于15%）。

深水海浪推算方法及模型见附录F。

## 6.1.2.2.2 海洋工程区重现期波高推算

以海洋工程区外海-20米水深处的重现期波高作为入射边界，基于近岸水波动力学模型，推算极端高水位下工程所在海域重现期波高值。推算中应满足如下条件：

- 对无港口、地形地貌相对简单的大型沿海工程，可采用缓坡方程模型；对有港口、地形地貌特征复杂，波浪反射、折射、绕射等相互作用复杂的大型海洋工程，可采用Boussinesq方程模型；
- 空间分辨率不大于100 m，以便精细地刻画工程所在海域周边的地形；
- 应采用工程所在海域现场观测数据资料对模式进行参数验证。

工程区重现期海浪推算方法及模型见附录G。

## 6.2 海平面变化分析

依据工程所在海域或与工程所在海域潮汐性质相似性高的附近潮位站的多年潮位资料（不少于连续19年），分析得到工程所在海域历史多年平均海平面值及年均变化趋势，根据排查工程的设计使用年限，预估未来设计使用期内（期末）的海平面年均变化趋势以及最大海平面变化预测高度值；预估值应与最新的《中国海平面公报》中结果进行比对并经过专家技术审查。

### 6.3 海啸情景模拟特征参数计算

针对B类排查工程，海啸灾害情景模拟分析的特征参数主要包括：

- 可能最大地震源参数；
- 可能最大地震海啸波幅。

#### 6.3.1 海啸源位置、最大震级及震源参数的确定

##### 6.3.1.1 潜在海啸源位置确定

海啸情景模拟的潜在海啸源位置主要依据海啸产生的水深条件、历史和现代地震海啸发生地区和地震构造环境特征相似性，选择对排查工程最不利的潜在海啸源位置来确定；所模拟的潜在海啸源位置应包括近海和远离大陆的外海海啸源，见附录H。

##### 6.3.1.2 最大地震震级确定

地震震级参数的确定：采用历史最大和可能最大地震海啸震级参数。根据历史资料，系统分析环太平洋地震带地质背景和地震活动特征和各板块地震带强震活动规律，采用震级上限估计方法，确定可能的最大地震震源参数，见附录H。

##### 6.3.1.3 震源参数的确定

参与地震海啸情景模拟分析的震源参数主要包括：

- 震源位置：确定可能最大地震震源位置；
- 地震震级：确定地震震级（ $M_w$ ）；
- 震源深度：根据震源处历史海啸地震获得震源深度。

收集潜在海啸震源区地质构造特征资料，综合给出震源机制特征参数。

历史海啸地震特别是大震级地震参数，应经过大量研究分析后给出地震相关参数；若取得地震权威机构确认的可直接引用。

#### 6.3.2 情景模拟的地震海啸波幅计算

##### 6.3.2.1 海啸数值计算模型建立

海啸模型利用线性长波理论计算在深水中传播的海啸波动；对于浅水区域，应利用包含非线性和底摩擦项的浅水波动方程计算海啸波的传播。海啸演化过程的计算如下。

a) 海啸模拟的基本方程。海啸波属于长波，利用非线性浅水方程可以刻画出海啸波从深海波源传播至浅海及岸边的全过程。

b) 海啸初始场计算方法。海啸初始场即利用海床位移量来估算地震引起的初始水面高度，为海啸数值模型提供初始条件。

c) 海啸越洋传播计算方法。在大洋中由于海啸波幅相对于水深来说可以忽略不计，可利用线性波动方程计算越洋海啸，其计算可以采用不考虑底摩擦效应的线性频散波动理论。

d) 海啸近岸传播计算方法。海啸波传播至近岸地区时，波动的非线性效应、底摩擦效应逐步增强，因此海啸波在近岸传播的数值计算应该采用包含非线性项和底摩擦项的浅水方程。海啸传播至沿海大型工程处，应计算海啸在防护工程上的爬高。

海啸数值计算推荐模型见附录I。

### 6.3.2.2 模型验证

6.3.2.2.1 利用海啸数值模式对历史地震海啸过程进行数值模拟，将计算得到的海啸波幅或海啸淹水范围与历史记录进行对比，分析数值计算方法的可行性，以确保所得评估结果的合理性。对于历史海啸过程须保证有完整可信的海啸波幅或淹水范围记录。

6.3.2.2.2 在条件允许的情况下，利用已有的海啸水槽物理模型试验，对模式的关键物理参数进行校准与率定，进一步完善地震海啸模型的物理过程及参数化过程的量化特征。

6.3.2.2.3 检验指标：选择历史典型海啸个例进行验证，采用的海啸个例不少于5个；模拟与实测的最大海啸波幅误差原则上不超过15%（波幅 $\geq 30$  cm）。

## 6.4 海冰特征参数计算

工程海冰灾害风险排查特征参数包括：单层平整冰厚，初冰期、融冰期的冰块大小、海冰漂流速度、海冰强度及冰冻时间等。

### 6.4.1 单层平整冰厚分析计算

不同重现期单层平整冰厚应依据工程设计标准分析和选取。单层平整冰厚的取值，参考Q/HSn 3000中推荐的设计值进行选取，见附录J。

### 6.4.2 其他海冰参数

初冰期、融冰期的冰块大小、海冰漂流速度、海冰强度及冰冻时间等海冰参数应依据工程所在海域的实测数据分析取用。

## 7 海洋灾害风险分析

### 7.1 A类工程海洋灾害风险分析

#### 7.1.1 设计标准变化分析

按照核电工程防护标准要求，核实工程原设计标准与现行标准的一致性。按照现行标准分析风暴潮、海浪、海啸、海冰灾害的防护设计的符合性，并据此阐明设计标准变化导致的风暴潮、海浪、海啸、海冰灾害的风险影响结论。

#### 7.1.2 风暴潮、海浪和海啸风险分析

##### 7.1.2.1 设计参数分析

核电工程排查的主要设计参数为设计基准洪水位（DBF），分别考虑风暴潮、海啸等事件：

a) 如果可能最大风暴潮（PMSS）大于可能最大海啸波幅，则以天文潮、风暴潮事件组合进行计算，开展下列分析：

- 1) 现状参数：依据10%超越概率高潮位（或19年最高天文潮位）、可能最大风暴潮计算设计基准洪水位DBFP，并和工程现在的DBF相对比；
- 2) 设计使用年限末参数：依据10%超越概率高潮位（或19年最高天文潮位）、可能最大风暴潮及核电工程设计使用年限内海平面变化相加来计算设计基准洪水位DBFP，并和工程现在的DBF相对比。

b) 如果PMSS小于可能最大海啸波幅，则以天文潮、海啸事件组合进行计算，开展下列分析：

- 1) 现状参数：依据10%超越概率高潮位（或19年最高天文潮位）、可能最大海啸计算设计基准洪水位DBFP，并和工程现在的DBF相对比。
- 2) 设计使用年限末参数：依据10%超越概率高潮位（或19年最高天文潮位）、可能最大海啸及核电工程寿命期内海平面变化相加来计算设计基准洪水位DBFP，并和工程现在的DBF相对比。

### 7.1.2.2 核电防护工程（厂坪标高）风险排查

7.1.2.2.1 当核电工程的防护工程顶高程高于厂坪标高时，分析防护工程顶高程的现状风险和设计使用年限末风险：

- a) 现状风险：将参数分析的设计基准洪水位（DBFP）加波浪爬高、加工程设计时考虑的安全超高（裕度），得到的风险排查的防护工程堤顶高程，与实测的防护工程堤顶高程进行对比，判别防护工程堤顶高程是否存在现状风险。
- b) 设计使用年限末风险：将风险分析的设计基准洪水位（DBFP）加波浪爬高、加工程设计时考虑的安全超高（裕度），再加上设计使用年限内的海平面变化值（不应重复考虑）得到的防护工程堤顶高程，与实测的防护工程堤顶高程进行对比（防护工程堤顶高程的计算方法应与设计时采用的计算方法保持一致），判别防护工程堤顶高程是否存在设计使用年限末风险。

7.1.2.2.2 当核电工程的厂坪标高高于防护工程顶高程时，分析厂坪标高的现状风险和设计使用年限末风险。

- a) 现状风险：将参数分析的设计基准洪水位（DBFP）加波浪爬高、加工程设计时考虑的安全超高（裕度），得到的风险排查的厂坪标高，与实测的厂坪标高进行对比（厂坪标高的计算方法应与设计时采用的计算方法保持一致），判别厂坪标高是否存在现状风险。
- b) 设计使用年限末风险：将风险分析的设计基准洪水位（DBFP）加波浪爬高、加工程设计时考虑的安全超高（裕度），再加上设计使用年限内的海平面变化值（不应重复考虑），得到的厂坪标高，与实测的厂坪标高进行对比（厂坪标高的计算方法应与设计时采用的计算方法保持一致），判别厂坪标高是否存在设计使用年限末风险。

### 7.1.3 取水风险分析

采用10%超越概率低潮位或19年最低天文潮位+可能最大风暴减水计算可能最低潮位，同时考虑可能最大海啸波幅（减水），依据核电厂重要厂用水取水口高程是否高于可能最低潮位，分析工程取水是否存在风险。

### 7.1.4 海冰

沿海核电站工程海冰灾害风险排查主要包括海冰设计参数复核、工程取水安全。

依据工程设计标准要求，计算单层平整冰厚设计频率对应的最大单层平整冰厚 $T_1$ ，和工程现有的设计冰厚 $T_0$ 相比较，如 $T_1 \leq T_0$ ，则设计参数低级风险；如 $T_1 > T_0$ ，应计算 $T_0$ 在现有冰厚序列中所对应的重现期 $D$ ，与工程要求的设计冰厚重现期 $D$ 相对比，分析设计参数存在的风险。

依据排查获得的最大单层平整冰厚、冰冻期、冰块大小、海冰漂流速度、海冰强度等参数，与工程设计参数进行比较，评估设计参数合理性，综合分析工程取水安全的风险。

## 7.2 B类工程海洋灾害风险分析

### 7.2.1 风暴潮、海浪风险分析

### 7.2.1.1 设计标准变化分析

按照各类工程防护标准要求，核实工程原设计标准与现行标准的一致性，分析风暴潮、海浪等海洋灾害的防护设计与现有标准规范的符合性。

### 7.2.1.2 设计参数分析

#### 7.2.1.2.1 设计潮位分析

依据被排查工程的设计标准和设计潮位重现期 $T_d$ ，计算得到 $H_d$ ， $H_d$ 为与设计标准对应的排查的重现期高潮位， $H$ 为工程原设计潮位，对比分析 $H_d$ 和 $H$ 。

#### 7.2.1.2.2 设计波高分析

依据被排查工程的设计标准和防护工程的结构，分析计算与设计频率对应的排查的波高值 $H_n$ ，与工程原设计频率的波高 $H$ 相比较。

### 7.2.1.3 防护工程堤顶高程风险排查

依据风险排查中推算的潮位、设计分析计算结果，考虑工程设计时的安全超高，考虑设计使用年限内的海平面变化，分析排查工程是否存在风暴潮海浪灾害风险。

B类排查工程的风暴潮海浪灾害风险分为防护工程现状风险和防护工程设计使用年限末风险两种状况，以防护工程顶高程为风险排查依据；公式如下：

$$H=Z-Z_p \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$H$ ——防护工程顶高程风险参数，单位为米（m）；

$Z$ ——防护工程实测顶高程，单位为米（m）；

$Z_p$ ——排查应达到的防护顶高程，单位为米（m）。

其中，现状风险的 $Z_p$ ： $Z_p$ =排查潮位+排查波浪（含波浪爬高）+安全超高（与原设计相同）；

设计使用年限末风险的 $Z_p$ ： $Z_p$ =排查潮位+排查波浪（含波浪爬高）+安全超高（与原设计相同）+至设计使用年限末的海平面变化值。

当具备原设计波浪爬高值时，应直接采用原设计的波浪爬高值；当不具备原设计波浪爬高值时，排查的波浪爬高分析应依据允许越浪和不允许越浪的不同状况，采用与原设计相同的技术标准和方法分析计算，其结果应经过专家把关。

如果 $H \geq 0$ ，则防护工程的风暴潮和海浪灾害风险低，否则防护工程存在风暴潮和海浪灾害风险。

### 7.2.2 海啸风险情景模拟

B类工程的海啸（情景模拟）风险考虑平均高潮位、历史最大海啸爬高、海平面变化等因素，与防护工程实测顶高程相比较，简述工程海啸（情景模拟）的风险。可采用以下方法分析评估：

防护工程的海啸（情景模拟）风险判别见式（2）：

$$H_i=Z-(H_{\max\_ts}+S_{\text{level}}+T_{\text{level}}+h_l) \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$Z$ ——防护工程实测顶高程，单位为米（m）；

$H_{\max\_ts}$ ——排查的最大海啸波幅爬高值，单位为米（m）；

$S_{\text{level}}$ ——至设计使用年限末的海平面变化值，单位为米（m）；

$T_{\text{level}}$ ——平均高潮位，单位为米（m）；

$\Delta_{hl}$ ——安全超高（宜与原设计相同），单位为米（m）。

如果 $H \geq 0$ ，则防护工程的海啸灾害风险低，否则防护工程存在海啸灾害风险。

### 7.2.3 海冰

#### 7.2.3.1 设计标准变化分析

按照各类大型工程防护标准要求，核实工程原设计标准与现行标准的一致性，分析海冰灾害的防护设计与现有标准规范的符合性。

#### 7.2.3.2 设计参数分析

依据工程设计标准要求，计算单层平整冰厚设计频率对应的最大单层平整冰厚  $T_1$ ，和工程现有的设计冰厚  $T_0$  相比较，如  $T_1 \leq T_0$ ，则设计参数低级风险；如  $T_1 > T_0$ ，应计算  $T_0$  在现有冰厚序列中所对应的重现期  $T_r$ ，与工程要求的设计冰厚重现期  $T_r$  相对比，分析设计参数存在的风险。

### 7.3 潜在次生灾害风险分析

依据排查工程的海洋灾害风险排查结果，分析可能发生的次生灾害的类型和特点（参见表2），综合分析、判明各类海洋灾害条件下工程及其周边区域可能产生的潜在次生灾害及其影响。

表2 海洋工程类别与可能发生的次生灾害类型表

海洋工程类别	可能发生的次生灾害类型
沿海核电站工程	火灾爆炸、核辐射泄漏、危险污染物扩散、财产损失、环境和生态灾害、人员伤亡等
海洋石油勘探开发、沿海石化炼化和储藏工程	火灾爆炸、财产损失、环境和生态灾害、危险污染物扩散、人员伤亡等
各类工业园区、临港工业区	财产损失、环境和生态灾害、危险污染物扩散、人员伤亡、环境和生态损害等
海岸防护、沿海城镇防护、人工岛工程	溃堤（坝）、人员伤亡、火灾爆炸、财产损失、环境和生态灾害等
沿海机场、大型港口工程	人员伤亡、火灾爆炸、财产损失、环境和生态灾害、危险污染物扩散等
沿海建设造地，沿海农业围垦	财产损失、人员伤亡、环境和生态损害等
沿海能源工程	火灾爆炸、财产损失、环境和生态损害、人员伤亡等

### 7.4 海洋灾害应急预案分析

根据不同的海洋工程性质和可能的次生灾害，工程所在海域的海洋生态与环境禀赋，防护工程的功能和结构型式，海洋灾害风险及次生灾害危害程度等，分析工程海洋灾害应急预案的合理性、完备性和可操作性。主要内容包括：是否充分考虑了海洋灾害的危害和损害；是否具有完善的应急处置流程；是否具有功能完备的应急监控手段；是否存在应急演练等管理措施；是否具备应急设备设施和防范与避难场所；是否具有保障畅通的信息网络等。

## 8 结论与建议

### 8.1 总体结论

根据沿海大型工程的分类，海洋工程风险排查结论内容主要包括：

a)沿海核电(A类)工程:工程设计标准是否符合国家或行业标准;现状和设计使用年限末状态下的厂坪标高和防护工程堤顶高程是否存在海洋灾害风险;位于渤海和黄海北部的核电工程是否存在海冰灾害风险;海洋灾害防御应急预案是否完备。

b)其他沿海(B类)工程:工程设计标准是否符合国家或行业标准;现状和设计使用年限末状态下的防护工程堤顶高程是否存在海洋灾害风险;在海啸情景模拟下是否存在海洋灾害风险;位于渤海和黄海北部的工程是否存在海冰灾害风险;海洋灾害防御应急预案是否完备。

## 8.2 对策与建议

依据风险分析结果和工程所在海域的海洋灾害特点和特征,从工程的海洋灾害设防标准、工程设计参数、工程防御类型和结构、工程的综合防御能力、工程被防御对象的重要性、潜在次生灾害、应急预案、防护工程加固加高等方面,提出有针对性的意见和建议。

## A

## 附 录 A

## (规范性)

## 沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书格式与内容

## A.1 文本格式

## A.1.1 文本规格

沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书的文本外形尺寸为A4（210mm×297mm）。

## A.1.2 封面格式

沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书封面格式如下：

第一行书写项目名称：××××项目（居中，指建设项目立项批复的名称，不超过30个汉字）；

第二行书写：××××工程海洋灾害风险排查报告书（居中）；

第三行落款书写：风险排查承担单位全称（居中）（加盖公章）；

第四行书写：××××年××月（居中）。

以上内容字体字号应适宜，各行间距应适中，保持封面美观。

## A.2 报告书内容

## A.2.1 封里1内容

封里1写明沿海大型工程海洋灾害风险排查承担单位和协作单位的全称、通信地址、邮政编码、联系电话、传真电话、电子信箱等内容。

## A.2.2 封里2内容

应写明沿海大型工程海洋灾害风险排查委托单位全称，沿海大型工程海洋灾害风险排查承担单位和协作单位的全称，排查单位和协作单位的负责人姓名、职务、职称，技术负责人姓名、职务或职称，项目负责人姓名、职务或职称等。

## A.2.3 封里3内容

封里3为技术签署页，应写明沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书主要编写（制）人员的姓名、专业、技术职称、负责编制的责任章节并签名，由技术负责人审核签字；明确灾害风险排查协作单位及其所承担的专题内容和主要参加人员情况并签名。

## A.2.4 报告书内容与章节安排

按照表A.1中章节（包括但不限于）编制沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书。可根据工程的特点和排查内容与重点的具体要求，适当增减有关章节。

工程的排查结果中应包括：已建沿海大型工程海洋灾害风险排查出的问题，海洋灾害危险源种类，工程海洋灾害的风险分析结果等内容。对策和建议中，应包括已建工程的设防标准、海洋灾害风险防控、



事故处置等对策措施和建议，工程潜在次生灾害评估、加高加固工程、加固防御设施设备等建议，海洋灾害风险管理的组织体制、应急机制、监督管理、风险监控等方面的对策措施和建议。

表A.1 沿海大型工程海洋灾害风险排查报告书编写内容

1 概述
1.1 排查工作由来
1.2 排查的法规和技术依据
1.3 排查技术方法和路线
1.4 排查内容和重点
2 工程海域自然环境状况
2.1 气象条件
2.2 风暴潮
2.3 海浪
2.4 海啸
2.5 海冰
2.6 自然地理信息（含地形地貌、工程地质信息等）
2.7 工程区域自然环境特征和社会经济特征
3 工程概况
3.1 工程名称、性质、规模及地理位置
3.2 工程的建设内容、总平面布置
3.3 防护工程平面布置与结构、尺度
4 工程防护原设计参数
4.1 原设计采用的潮位、波浪数据资料
4.2 原设计采用的技术标准和设计指标
4.3 原设计的潮位和波浪设计值
4.4 原设计安全超高数据及防护结构顶高程
5 防护工程顶高程勘测与特征（代表）点筛选
5.1 现场实测成果及精度控制
5.2 排查代表性控制点筛选
5.3 代表性控制点与原设计分区分段设计值关系分析
6 潮位分析与比对
6.1 潮位分析数据资料
6.2 排查的潮位分析计算标准及结果
6.3 潮位对比分析
7 波浪分析与比对
7.1 波浪分析数据资料
7.2 排查的波浪分析计算标准及结果
7.3 波浪对比分析
8 海啸情景模拟分析
8.1 海啸情景模拟代表点和控制点选择
8.2 潜在地震源分析
8.2.1 局地海啸震源参数筛选与分析（历史最大）

8.2.2 区域海啸震源参数筛选与分析（可能最大和历史最大）

8.2.3 越洋海啸震源参数筛选与分析（历史最大）

8.3 海啸情景模拟结果分析

9 海洋灾害风险分析

9.1 防护工程顶高程的排查分析结果

9.2 工程现状风险分析（含工程基础与结构稳定性分析）

9.3 设计使用年限末风险分析

9.4 海啸（情景模拟）灾害风险分析

9.5 海洋灾害风险应急预案分析

10 结论与建议

10.1 风暴潮、海浪和海冰风险防控对策与建议

10.2 海啸风险的应对建议

注：海冰灾害风险排查报告书参照执行

A 数据资料来源说明

A.1 收集和引用的数据资料说明（含计量认证分析测试（CMA）报告）

A.2 现场勘测、调查记录

A.3 其他数据资料来源说明

B 专题报告与图表

B.1 沿海大型工程海洋灾害风险排查技术工作实施方案

B.2 防护工程现场勘查报告

B.3 工程设计基础资料汇编与评估报告

B.4 风暴潮和海浪（海冰）特征参数选取与推算报告

B.5 局地、区域和越洋海啸震源参数筛选与分析报告

B.6 海洋灾害应急预案及评估报告

B.7 海洋灾害要素资料汇编

B.8 海洋灾害风险排查图集

B.9 工程建成后安全观测、检测、监测记录汇编（包括设防设施沉降、工程建成后遭受海洋灾害记录等）

B.10 其他应附的专题报告

C 附件

C.1 开展沿海大型工程海洋灾害风险排查工作的相关文件；

C.2 沿海大型工程海洋灾害风险排查工作委托书；

C.3 沿海大型工程海洋灾害风险排查承担单位技术负责人签署的技术审查意见；

C.4 现场调查勘测的计量认证（CMA）分析测试报告，可单独成册；

C.5 其他应附的附件

## B

附 录 B  
(资料性)  
风暴潮数值模型方法

## B.1 风暴潮数值模拟

无长时间序列潮位资料的海洋工程进行风暴潮风险分析时,可采用成熟的数值模拟方法:首先根据该工程所在海域的20年以上的历史天气数据资料,每年筛选3~5次可能造成影响最大的灾害性天气过程(热带气旋、温带气旋和强冷空气),利用成熟的数值模拟方法,反演推算并遴选出历史上可能出现过的年极值潮位;模拟推算过程中取得的计算极值应利用短期序列潮位值或附近的长期潮位站进行对比验证;距离海洋工程200公里范围内的主要潮位站的风暴潮高潮位误差应不大于20 cm,通过拟合验证后得到工程所在海域的长序列年极值潮位。

风暴潮的计算应利用完整的二维浅水方程来求解,基本方程包括连续方程和运动方程。在运动方程中,除了考虑平流项、科氏力项、底摩擦力项外,还考虑侧向黏性项。在笛卡尔直角坐标系中,连续方程和运动方程可表示为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hu) + \frac{\partial}{\partial y}(Hv) &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{sx} - \tau_{bx}) + A \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{sy} - \tau_{by}) + A \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$t$ ——时间,  $(x, y)$  分别表示向东为正和向北为正的坐标系;  
 $(u, v)$  ——相应于  $(x, y)$  方向的从海底到海面的垂直平均流速分量;

$\zeta$  ——水位;

$H$ ——总水深,  $H = \zeta + h$   $h$  则为未扰动海洋的水深,即平均海平面至海底的距离;

$f$ ——Coriolis参量,  $f = 2\omega \sin \varphi$ ;

$\rho_w$  ——海水密度;

$p_a$  ——大气压力;

$\tau_{bx}, \tau_{by}$  —— $x, y$  方向底应力;

$\tau_{sx}, \tau_{sy}$  —— $x, y$  方向海面风应力;

$A$ ——侧向涡动黏性系数。

海底摩擦力  $\vec{\tau}_b$  与深度平均流  $V$  的关系，采用二次平方律：

$$\vec{\tau}_b = k\rho\vec{V}|\vec{V}| - \beta\vec{\tau}_s \quad \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

$k$  ——摩擦力系数。

海面风应力  $\vec{\tau}_s$  与海面风  $W$  的关系，也采用二次平方律：

$$\vec{\tau}_s = C_D\rho_a\vec{W}|\vec{W}| \quad \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：

$\rho_a$  ——空气密度；

$C_D$  ——风曳力系数；

计算时取  $k = C_D = 2.6 \times 10^{-3}$ ， $\beta = 0.35$ 。

利用数值模拟方法进行工程所在海域天文潮汐特性的计算时，数值模拟的开边界条件应至少包括  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$ 、 $K_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $Q_1$  八个分潮，模拟结果应有不少于1个月的实测潮位验证，水位误差小于5%。

风暴潮数值模型的风场和气压场等外强迫条件，按照诱发风暴潮的大气扰动特征不同而具有不同的选取方式，由此可将风暴潮数值模型分为台风风暴潮数值模型和温带风暴潮数值模型。

## B. 2 风暴潮数值模型条件要求

B. 2. 1地形资料：如果工程所在海域海岸线曲折，地形复杂，水深、地形等资料的比例尺应不小于1:10000，如果工程所在海域海岸线较为平直，则水深、地形等资料的比例尺可不小于1:50000；距离海洋工程较远处水深、地形资料的比例尺可不小于1:100000。

B. 2. 2 网格分辨率及范围：可采用非结构网格，海洋工程附近的网格分辨率不低于50 m；向外网格可逐渐变粗，在满足计算稳定性条件下，外边界网格处的分辨率不低于4 km；

B. 2. 3 边界条件：考虑到边界对模拟结果的影响，外海边界距离海洋工程的距离最少800 km，海岸边界条件取  $V_n = 0$ ，这里  $V_n$  为岸边界的法向深度平均流流速。开边界取辐射边界条件。

B. 2. 4强迫资料：采用台风参数（包括时间、经度、纬度、中心气压、大风半径等）或中尺度大气数值预报模式模拟的气压场、风场作为风暴潮数值模型的强迫资料。

B. 2. 5误差要求：选择历史典型台风风暴潮或温带风暴潮过程开展模拟精度检验。海洋工程附近的潮位站最大风暴增水模拟误差应不大于8%，考虑天文潮与风暴潮耦合后的最高潮位模拟误差不大于20 cm。选择的典型过程原则上不少于15个。

中尺度大气数值预报模式模拟气压场、风场的输入给整个模型提供外在强迫资料。

## C

## 附录 C

(资料性)

## 天文潮-风暴潮-海浪耦合数值模型

## C.1 天文潮-风暴潮-海浪耦合模型变量交换

天文潮-风暴潮-海浪耦合模式的物理机制一般为：风暴潮模式将模拟的水位和流场提供给海浪模式，作为海浪模式的背景场；海浪模式则为风暴潮模式提供辐射应力，将其作为外力驱动加入风应力中，波长和周期信息也用来参与风暴潮模式的风应力计算。以ADCIRC和SWAN模型为例，耦合前后的交换变量计算方法简介如下。

## C.2 水位、流速计算方法

耦合变量中的流速、水位由ADCIRC模式计算直接得到。该模式通过将通用波动连续性方程（GWCE）与动量守恒方程一起作为控制方程进行求解式（C.1），该方程采用有限元法和有限差分法相结合的办法求解。模型在空间上采用有限元法，以适应复杂的边界条件，时间上则采用有限插分法以提高计算速度；水位和速度的求解都是自然解耦的，可以顺次求解方程，即先求解水位、然后再求解流速。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H} + D_x - B_x$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = -\frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0 H} + D_y - B_y$$

..... (C.1)

C.1)

将ADCIRC中计算得到的流速、水位等耦合变量信息，对SWAN中对应的流速、水位等变量场进行添加修正，使SWAN在运行过程中考虑ADCIRC运行得到的流速、水位，从而达到耦合的目的，实现风暴潮对海浪的物理作用模拟。

## C.3 辐射应力计算方法

未耦合状态下，SWAN中用波浪谱能量表示的辐射应力形式为：

$$S_{xx} = \rho g \int [n \cos^2 \theta + n - 1/2] E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \rho g \int n \sin \theta \cos \theta E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

$$S_{yy} = \rho g \int [n \sin^2 \theta + n - 1/2] E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

.....

..... (C.2)

沿x和y方向作用在单位面积上的辐射应力可表示为：

$$F_x = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}$$

$$F_y = -\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}$$

.....(C. 3)

从上述的公式中可以看到,SWAN计算的是辐射应力梯度,对 $S_{xx}$ 等3项求偏导数后得到的辐射应力 $F_x$ 和 $F_y$ ,而ADCIRC中需要的则是以 $S_{xx}$ 的形式将辐射应力添加至模型中,计算波浪辐射应力引起的水位和流场变化。因此耦合后,根据ADCIRC中的需要在SWAN程序中,适当地添加输出相关的辐射应力项,并按照ADCIRC的输入格式进行处理。

#### C.4 表面应力计算方法

ADCIRC模式在未考虑海浪影响时,风应力系数的计算:

$$C_d = \lambda \left( \frac{0.4}{14.86 - 2 \ln |U_{10}|} \right)^2$$

.....(C. 4)

在考虑波浪作用时,表面风应力的计算则主要通过改变海面粗糙度 $Z_0$ 来实现:

$$Z_0 = 3.7 \times 10^{-5} \frac{|u_{10}|^2}{g} \left( \frac{C_p}{|u_{10}|} \right)^{-0.9}$$

.....(C. 5)

相对应的 $C_d$ 计算公式改为:

$$C_d = \lambda \left( \frac{0.4}{\ln 10 - \ln Z_0} \right)^2$$

.....(C. 6)

其中 $C_p$ 是对应谱峰频率的波速; $\frac{u_{10}}{C_p}$ 表示波龄。

耦合后,通过SWAN中输出 $C_p$ 等并通过公式(C.5)、公式(C.6)的结合来计算ADCIRC所需的考虑波浪作用的表面风应力。

#### C.5 底摩擦力计算方法

浪流相互作用后,底摩擦力也会改变,假定浪流共同作用下的底剪切力符合叠加原理:

$$\tau_{b,\max} = \tau_c + \tau_w$$

..... (C. 7)

式中:

$\tau_c$ ——海流产生的底剪切力;

$\tau_w$ ——海浪产生的最大底剪切力。

$\tau_w$  可通过以下步骤来确定:

假设波浪是一个线性波, 则近底层波浪轨道速度:

$$U_w = \frac{\alpha\omega}{\sinh kh}$$

..... (C. 8)

式中:  $\alpha$ ,  $\omega$  分别是浪的振幅和频率;  $k$  是波数;  $h$  是水深; 而短波辐射应满足的频散关系:

$$\omega^2 = gk \tanh kh$$

..... (C. 9)

通过上述两式可以将  $U_w$  确定, 从而通过式 (C. 10) 确定  $\tau_w$  及其摩擦速度  $u_{*w}$ :

$$\tau_w = \rho u_{*w}^2 = \frac{1}{2} \rho f_w u_w^2$$

..... (C. 10)

其中  $f_w$  通过公式 (C. 11) 来确定:

$$f_w = \begin{cases} 0.13(k_b / A_b)^{0.40} & k_b / A_b < 0.08 \\ 0.23(k_b / A_b)^{0.82} & 0.08 < k_b / A_b < 1.00 \\ 0.23 & k_b / A_b > 1.00 \end{cases}$$

..... (C. 11)

式中:  $k_b$  是海底的物理粗糙度, 计算公式为:  $k_b = 27.7\eta^2 / \lambda$ ;  $A_b$  通过  $A_b = u_w / \omega$  来计算。

计算新的拖曳系数的方法如下:

首先给出拖曳系数  $C_b$  一个初始估计, 这个估计可以根据已有的模式中选用的底摩擦模型来获得。

由海流引起的底摩擦速度  $u_{*b}$  满足下式:

$$\tau_c = \rho u_{*b}^2$$

..... (C. 12)

而

$$\tau_c = \rho C_b |U_c| U_c$$

..... (C. 13)

故

$$u_{*b} = \sqrt{C_b} U_c$$

..... (C. 14)

浪流共同作用下的底摩擦速度

$$u_{*cw} = \sqrt{\tau_{b,\max} / \rho}$$

..... (C. 15)

因此

$$u_{*cw} = \sqrt{u_{*b}^2 + u_{*w}^2}$$

. 16)

表观海底粗糙度公式为:

$$k_{bc} = k_b \left[ 24 \frac{u_{*cw}}{u_w} \frac{A_b}{k_b} \right]^\beta$$

..... (C. 17)

$$\beta = 1 - \frac{u_{*b}}{u_{*cw}}$$

..... (C. 18)

从而得到新的拖曳系数

$$C_b = \left[ \frac{\chi}{\ln(30z_r / k_{bc})} \right]^2$$

..... (C. 19)

其中  $\chi$  为 Von Karman 常数, 大小为 0.41。

然后只要两次相应的  $C_b$  相差  $< 10^{-7}$  即可停止迭代。

通过上面程序的迭代求得  $C_b$ , 然后通过式 (C. 20) 就可以求出在考虑海浪作用下的底摩擦力, 即 ADCIRC 在耦合后由耦合器输入的底摩擦应力。



$$\tau_c = \rho C_b |U_c| U_c$$

..... (C. 20)

## D

附 录 D  
(资料性)  
可能最大风暴潮 (PMSS) 推算

## D.1 可能最大风暴潮 (PMSS) 参数

可能最大风暴潮 (PMSS) 的计算, 应假定一组极大化的、在工程区范围内可能出现的热带气旋, 并该热带气旋移至某位置时使得该工程处出现最大风暴增水, 为此, 需要合理地确定可能最大热带气旋参数 (PMTC) 的有关参数。参数确定应以 GB/T 50663、NB/T 25002、HAD101 为依据, 确定台风中心气压 ( $P_0$ )、台风最大风速半径、最大风速、台风移速、外围海面气压参数。

D.2 台风中心气压 ( $P_0$ )

可能最大热带气旋中的参数  $P_0$  宜采用概率论法进行计算。

在以核电工程厂址为中心, 300 km~400 km 为半径的范围内, 取每年路经本海区的热带气旋最小  $P_0$  值作样本, 如果当年没有热带气旋进入该区域, 则当年热带气旋  $P_0$  取为进入该区域的热带气旋  $P_0$  系列中的最大值。采用附录 E 中的两种统计方法分别计算, 适线后选取经验点与理论计算值拟合较好的线型, 取 1000 年一遇的  $P_0$  值为可能最大热带气旋中心气压。

## D.3 台风最大风速半径

可能最大热带气旋的最大风速半径应根据西北太平洋飞机探测台风资料和  $P_0$  值确定, 选取与 1000 年一遇  $P_0$  值相近的热带气旋中心气压所对应的大风半径, 作为最大风速半径。

## D.4 最大风速

最大风速半径的确定可采用概率论法、相关法以及压力廓线经验公式求得。

## a) 概率论法

以核电工程厂址为中心, 300 km~400 km 为半径的范围, 取每年路经本区的热带气旋中最大风速做样本, 如果当年没有热带气旋进入该区域内, 可取所有样本的平均值, 采用附录 E 中的两种统计方法分别计算, 适线后选取经验点与理论计算值拟合较好的线型, 取 1000 年一遇的最大风速为可能最大热带气旋的最大风速值。

b) 相关法

收集历史上发生在西北太平洋热带气旋的中心气压与最大风速数据，确定相关关系式，计算最大风速。

c) 压力廓线经验公式

压力廓线方程式推导最大风速是利用热带气旋的压力廓线，并将其代入梯度风平衡公式中，即可得到计算最大梯度风  $V_{gx}$ （即热带气旋最大风速  $V_{max}$ ）的方程。一般有如下三种压力廓线方程：

Meyrs廓线

$$p = p_0 + (p_w - p_0)e^{-\frac{R}{r}} \dots\dots\dots (D. 1)$$

藤田廓线

$$p = p_w - \frac{p_w - p_0}{\sqrt{1 + (\frac{r}{R})^2}} \dots\dots\dots (D. 2)$$

高桥浩一郎廓线

$$p = p_w - \frac{p_w - p_0}{1 + \frac{r}{R}} \dots\dots\dots (D. 3)$$

式中： $r$  为距热带气旋中心的距离， $P$  为距台风中心距离  $r$  处的气压， $P_w$  为环境气压（一般取台风最外围一根近似圆形的闭合等压线的数值）， $P_0$  为台风中心气压， $R$  为最大风速半径。

用Meyrs廓线计算的压力随  $r$  的分布介于其余的两者之间。一般多数采用Meyrs廓线。将Meyrs廓线代入梯度风平衡公式，即可得到计算最大风速的公式如下：

$$V_{max} = V_{gx} = k(p - p_0)^{1/2} - \frac{Rf}{2} \dots\dots\dots (D. 4)$$

$$k = \left(\frac{1}{\rho e}\right)^{1/2} = \left(\frac{R_t(273.15 + T)}{pe}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (D. 5)$$

式中：

$\rho$  ——空气密度；

$e$  ——自然指数；

$T$ ——摄氏温度；

$R_t$ ——干空气比气体常数， $R_t = 287J/(K \cdot kg)$ 。

#### D.5 台风移速

各个方向的台风移速应根据台风年鉴资料统计确定，计算的台风登陆路径密度其夹角不应大于 $22.5^\circ$ ；取最有利于核电工程增水方向的移速作为可能最大热带气旋的台风移速。

#### D.6 外围海面气压

取热带气旋外边界东、南、西、北四个方向上的海平面气压等值线曲率为0处的气压平均值。海平面气压数据可从中国气象局发布的历史地面天气图和大气再分析数据两种途径获取。

## E

附 录 E  
(资料性)  
风暴潮特征参数计算方法

## E.1 基于历史资料的高潮位重现期分析

高潮位重现期的确定,应根据工程所在海域及附近长期潮位站的历史资料的长短,选取合适的方法进行分析。

确定工程所在海域高潮位的重现期,一般要求有不少于20年的连续实测潮位资料,并应调查和核实历史上出现的特殊高潮位。

## E.2 基于3年~20年连续实测潮位资料的高潮位重现期分析

## E.2.1 高潮同步相关法

没有3年~20年连续实测潮位资料的海洋工程,高潮位年极值序列的确定可采用“高潮同步相关法”,与附近有不少于20年连续实测潮位资料的长期潮位站进行高潮同步相关分析求得。

分析步骤如下:

a) 利用最小二乘法建立长期潮位站和工程所在海域同期高潮位的相关关系;

$$y = ax + b$$

..... (E. 1)

式中:

$y$  ——海洋工程高潮位;

$x$  ——长期站高潮位;

$a$ 、 $b$  ——拟合系数。

b) 根据长期站和工程所在海域同期高潮位的相关关系,推算工程所在海域的逐年最高潮位。

## E.2.2 极值同步差比法

有3年~20年连续实测潮位资料的海洋工程,重现期高潮位计算可采用近似方法,即可用“极值同步差比法”与附近有不少于20年连续实测潮位资料的长期潮位站进行同步相关分析求得。

极值同步差比法的计算公式为:

$$h_{jY} = A_Y + \frac{R_Y}{R_X} (h_{jX} - A_X)$$

..... (E. 2)

式中:

$h_{jx}$ 、 $h_{jy}$  ——分别为长期站和工程所在海域的某重现期高潮位，单位为厘米（cm）；

$R_x$ 、 $R_y$  ——分别为长期站和工程所在海域的同期各年年最高潮位的平均值与平均海平面的差值，单位为厘米（cm）；

$A_x$ 、 $A_y$  ——分别为长期站和工程所在海域的平均海平面，单位为厘米（cm）。

### E.3 数值方法推算高潮位

根据工程所在海域连续20年以上的历史气象资料，利用成熟的数值模拟方法推算并遴选出历史上可能出现过的年极值潮位。模拟过程中取得的计算极值可利用已有的短期序列潮位值或邻近工程所在海域的潮位过程进行比对验证，潮位计算的平均误差应小于20 cm。

#### E.3.1 风暴潮位拟合计算

对每年可能产生高潮位的灾害性天气过程进行风暴潮位拟合计算时，可进行天文潮、风暴潮的联合计算。模拟过程中取得的风暴高潮位计算极值可利用已有的短期序列潮位值或邻近长期潮位站的潮位过程进行比对验证，潮位计算的平均误差应小于20 cm。

#### E.3.2 重现期高潮位计算

根据数值模拟结果确定年极值高潮位。

## 附录 F

(资料性)

### 深水区海浪推算的模型选择与检验

#### F.1 深水区海浪推算模型构建的基本要求

基于成熟的业务化海浪数值模型，重建被排查工程区外海的历史海浪场数据集。构建的海浪场数据集的长度不少于20年，空间分辨率不低于 $6' \times 6'$ 。海浪数值模型的选择和条件要求如下。

#### F.2 模型选择

深水海浪推算宜采用基于能量守恒原理的能量平衡方程的波浪谱模型，它是各种物理过程考虑较完善，较少经验假定的波浪模型，模型中考虑了水深变化、背景流和障碍物等对波浪传播的影响，同时考虑了包括风摄入波动能量、白浪耗散、水深变化导致的波浪破碎、底摩擦耗散等物理过程。

#### F.3 参数比选和优化

分别选取强冷空气和台风等典型天气系统，进行海浪过程数值模拟，开展关键物理过程的参数比选试验，通过参数优化确定适合于所评价工程附近海域的深水海浪数值模型。

#### F.4 条件要求

为体现深水海浪推算的合理性和准确性，需利用工程所在海域及附近观测资料对模拟结果进行检验和评估，并通过进一步调整模式参数（如底摩擦、波浪破碎指标等），提高数值模型模拟精度。

误差要求：分别开展台风、寒潮、温带气旋等强海况下的后报检验。有效波高大于2 m以上的相对误差不大于15%。

## 附录 G

(资料性)

### 浅水区海浪推算的模型选择与检验

#### G.1 浅水区海浪推算模型构建的基本要求

以被排查工程区外海深水多年一遇的波高作为入射边界，基于近岸水波动力学模型，推算校核高水位下工程位置处多年一遇的波高值。模型空间分辨率不大于100 m。

#### G.2 模式选择

选用的海洋工程区浅水海浪推算模型应能考虑波浪在不规则底部水域和绕岛屿传播中的变浅、折射、能量耗散和绕射、破碎等复杂物理过程。对于无港口设施、地形相对简单的大型沿海工程，可采用缓坡方程模型开展计算；对有港口、地形结构复杂、波浪反射严重的沿海工程，可采用Boussinesq方程模型等。

#### G.3 模型检验和参数优化

利用工程所在海域及附近观测资料对所采用的模型进行检验，并根据检验结果进一步调整和优化模型参数。



## 附录 H

(资料性)

## 太平洋地区地震震源和震级

根据环太平洋地区的地震地质环境与地震活动特征,对环太平洋海沟型潜在海啸源进行评估,对具有相似发震构造特征、相似发震机理震源区域进行划分,并结合不同段的构造特征,综合给出各破裂源参数,为海啸传播数值计算提供基本参数。

表 H.1 详细给出东菲律宾俯冲带破裂源 (EPSZ)、勘察加—千岛—日本海沟—伊豆—小笠原—马里亚纳—亚普俯冲带破裂源 (KSZ)、中南美俯冲带破裂源 (CSSZ)、阿留申—阿拉斯加—加拿大—卡斯凯迪亚俯冲带破裂源 (AASZ)、马努斯俯冲带破裂源 (MOSZ)、新几内亚俯冲带破裂源 (NGSZ)、新不列颠—所罗门—瓦努阿鲁俯冲带破裂源 (NVSZ) 和新西兰—汤加俯冲带破裂源 (NTSZ) 8 个环太平洋地区俯冲带破裂源震源参数,主要包括各俯冲带破裂面分段标识、分段节点坐标和震级参数。

表 H.1 环太平洋俯冲带破裂源的震源参数表

名称	分段标识	节点坐标		震级 Mw	
		经度	纬度		
东菲律宾俯冲带 破裂源	EPSZ 1	E1	129° 27'	1° 24'	8.9
	EPSZ 2	E2	127° 36'	5° 31'	9.2
	EPSZ 3	E3	126° 15'	11° 59'	8.9
		E4	123° 24'	15° 48'	
马努斯俯冲带破 裂源	MOSZ 1	M1	142° 1'	-2° 17'	8.6
	MOSZ 2	M2	144° 51'	-0° 29'	8.7
	MOSZ 3	M3	148° 27'	-0° 26'	8.8
	MOSZ 4	M4	152° 33'	-2° 0'	8.7
		M5	154° 59'	-4° 41'	
新几内亚俯冲带 破裂源	NGSZ 1	N1	131° 30'	0° 7'	8.3
		N2	133° 43'	-0° 27'	
	NGSZ 2	N3	134° 42'	0° 22'	9.5
		N4	144° 9'	-3° 35'	
新西兰—汤加俯 冲带破裂源	NTSZ 1	NT1	184° 10'	-14° 24'	8.0
	NTSZ 2	NT2	185° 46'	-14° 15'	8.3
	NTSZ 3	NT3	187° 42'	-15° 15'	8.9
	NTSZ 4	NT4	186° 46'	-20° 9'	8.8
	NTSZ 5	NT5	184° 52'	-24° 12'	9.0
	NTSZ 6	NT6	183° 50'	-29° 28'	8.6
	NTSZ 7	NT7	182° 19'	-32° 41'	9.5
	NTSZ 8	NT8	177° 51'	-41° 16'	8.6
		NT9	173° 55'	-42° 18'	
新不列颠—所罗	NVSZ 1	NV1	148° 39'	-7° 19'	8.9

名称	分段标识	节点坐标		震级 M <sub>w</sub>	
		经度	纬度		
门—瓦努阿鲁俯 冲带破裂源	NVSZ 2	NV2	152° 48′	-5° 25′	8.6
	NVSZ 3	NV3	155° 32′	-7° 35′	8.8
	NVSZ 4	NV4	159° 9′	-9° 52′	8.6
	NVSZ 5	NV5	161° 59′	-11° 24′	8.4
	NVSZ 6	NV6	164° 32′	-10° 52′	8.0
	NVSZ 7	NV7	165° 45′	-11° 46′	8.2
	NVSZ 8	NV8	166° 12′	-13° 46′	8.1
	NVSZ 9	NV9	166° 16′	-15° 36′	8.1
	NVSZ 10	NV10	167° 13′	-17° 4′	8.5
	NVSZ 11	NV11	168° 2′	-19° 43′	8.4
	NVSZ 12	NV12	169° 21′	-21° 48′	8.4
		NV13	171° 44′	-23° 8′	
	勘察加—千岛— 日本海沟—伊豆 —小笠原—马里 亚纳—亚普俯冲 带破裂源	KSZ 1	K1	164° 5′	55° 23′
KSZ 2		K2	153° 46′	46° 11′	9.5
KSZ 3		K3	144° 38′	41° 0′	9.3
KSZ 4		K4	142° 0′	34° 11′	9.5
KSZ 5		K5	143° 9′	24° 54′	9.1
KSZ 6		K6	147° 4′	20° 43′	8.5
KSZ 7		K7	147° 50′	18° 9′	8.8
KSZ 8		K8	147° 10′	13° 57′	8.7
KSZ 9		K9	144° 26′	11° 47′	8.5
KSZ 10		K10	141° 39′	11° 4′	8.5
KSZ 11		K11	138° 50′	11° 3′	8.6
KSZ 12		K12	137° 46′	7° 57′	8.0
KSZ 13		K13	136° 31′	7° 13′	8.0
KSZ 14		K14	135° 1′	7° 26′	8.4
		K15	133° 19′	5° 37′	
中南美俯冲带破 裂源	CSSZ 1	C1	253° 36′	20° 56′	8.1
	CSSZ 2	C2	253° 59′	19° 25′	8.4
	CSSZ 3	C3	255° 59′	17° 51′	9.2
	CSSZ 4	C4	262° 16′	15° 31′	8.2
	CSSZ 5	C5	264° 12′	15° 14′	9.3
	CSSZ 6	C6	271° 30′	11° 44′	8.7
	CSSZ 7	C7	274° 8′	9° 17′	9.0
	CSSZ 8	C8	278° 38′	6° 43′	8.6
	CSSZ 9	C9	281° 55′	6° 55′	8.5
	CSSZ 10	C10	281° 50′	4° 19′	9.0

名称	分段标识	节点坐标		震级 M <sub>w</sub>	
		经度	纬度		
	CSSZ 11	C11	278° 49'	-0° 16'	9.0
	CSSZ 12	C12	277° 51'	-5° 42'	9.3
	CSSZ 13	C13	281° 1'	-12° 16'	9.1
	CSSZ 14	C14	285° 19'	-16° 43'	8.5
	CSSZ 15	C15	287° 46'	-18° 19'	8.5
	CSSZ 16	C16	288° 54'	-20° 48'	9.3
	CSSZ 17	C17	287° 50'	-28° 18'	8.9
	CSSZ 18	C18	287° 26'	-32° 54'	9.0
	CSSZ 19	C19	285° 21'	-37° 37'	9.4
	CSSZ 20	C20	284° 0'	-46° 18'	8.7
	CSSZ 21	C21	282° 57'	-49° 55'	8.9
	CSSZ 22	C22	284° 39'	-54° 17'	8.8
		C23	290° 32'	-56° 59'	
阿留申—阿拉斯加—加拿大—卡斯凯迪亚俯冲带 破裂源	AASZ 1	A1	164° 5'	55° 23'	9.1
	AASZ 2	A2	172° 32'	51° 42'	8.8
	AASZ 3	A3	178° 57'	50° 35'	9.2
	AASZ 4	A4	192° 22'	51° 33'	9.3
	AASZ 5	A5	203° 17'	54° 19'	8.9
	AASZ 6	A6	210° 25'	56° 59'	8.4
	AASZ 7	A7	213° 39'	59° 2'	8.2
	AASZ 8	A8	217° 18'	59° 21'	8.7
	AASZ 9	A9	223° 15'	57° 44'	9.1
	AASZ 10	A10	227° 47'	52° 30'	8.9
	AASZ 11	A11	232° 54'	49° 12'	8.1
	AASZ 12	A12	234° 20'	47° 49'	8.1
	AASZ 13	A13	234° 59'	46° 13'	8.4
	AASZ 14	A14	234° 54'	43° 38'	8.6
			A15	235° 31'	40° 19'

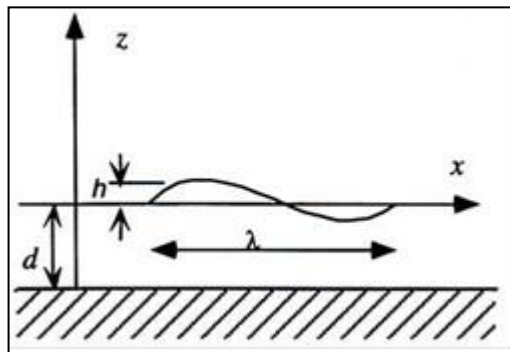
注：表中数据来源于中国地震局地球物理研究所整理自全球地震目录(1900-2012)。

附录 I

(资料性)  
海啸数值模型

1.1 海啸波控制方程

由于海啸波是一种超大波长的波，其数百千米的波长比大洋水深要大得多，因此海啸波一般用浅水方程来模拟。浅水理论假设：相对于重力加速度，水粒子垂直方向的运动可以忽略不计，因此水粒子垂直方向上的运动对于压力分布没有影响，流体处于流体静力平衡状态；在垂直方向上，水粒子（流体）的水平运动速度是相同的。



图I.1 海啸长波示意图

基于以上假设，浅水方程可表示为：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0 \quad \text{.....(J.1)}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} \quad \text{.....(J.2)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} \quad \text{.....(J.3)}$$

其中，公式 (J.1) 为连续方程（质量守恒方程），公式 (J.2)、公式 (J.3) 为运动方程（动量守恒方程），x和y为水平坐标，t为时间，h为静止水深， $\eta$  为水位变化，u和v分别为x和y方向上水的流速，

$g$ 为重力加速度， $\rho$  和  $\rho$  分别为x和y方向上的底摩擦力。

底摩擦力可表示为以下形式：

$$\frac{f}{\rho D} \sqrt{2\tau_b}, \quad \frac{f}{\rho D} \sqrt{2\tau_b}$$

其中， $D$ 为总水深（ $D=h+\eta$ ）， $f$ 为摩擦系数。由于摩擦系数 $f$ 与曼宁系数 $n$ 有如下关系：

$$n = \frac{1.49}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{f}{\rho D}}$$

所以，底摩擦力又可表示为：

$$\frac{f}{\rho D} \sqrt{2\tau_b}, \quad \frac{f}{\rho D} \sqrt{2\tau_b}$$

另外， $M$ 和 $N$ 分别为 $x$ 和 $y$ 方向上的通量，即

$$M = \int_{-\infty}^{\infty} u \eta dx, \quad N = \int_{-\infty}^{\infty} v \eta dy$$

所以，由上述条件，浅水方程（J.1）、（J.2）、（J.3）又可表示为以下形式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{.....(J.4)}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} + \frac{1}{2} \rho g \eta^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} (MN) = -\tau_b \eta \quad \text{.....(J.5)}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (MN) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} + \frac{1}{2} \rho g \eta^2 \right) = -\tau_b \eta \quad \text{.....(J.6)}$$

TUNAMI-N2模式的基本控制方程即为浅水方程（J.4）、（J.5）、（J.6）。在数值模拟中，上述浅水控制方程采用“蛙跳”有限差分格式（leap-frog finite difference scheme）来求解。

## 1.2 模型参数选择

根据海啸灾害情景模拟的需求建立数值计算模型，确定模型计算的区域范围、空间网格、时间步长等参数，为模型准备必要的水深、地形等基础数据。其中：

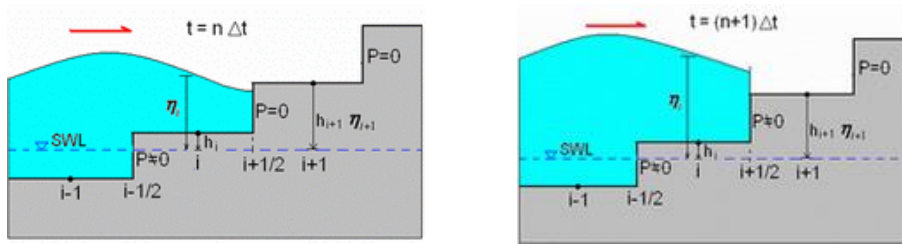
- a)地形资料：海洋工程附近的水深、地形等资料分辨率原则上不低于1:5000，距离海洋工程较远处可采用分辨率原则上不低于1:100000的资料；
- b)网格分辨率及范围：采用非结构网格、正交网格、多重套网格等方法，海洋工程附近的网格分辨率原则上不低于100 m；向外格距可逐渐变大，在满足计算稳定性条件下，外边界网格处的分辨率最大原则上不低于10 km。

### 1.3 海啸爬坡计算

#### 1.3.1 采用移动边界方法计算海啸爬坡

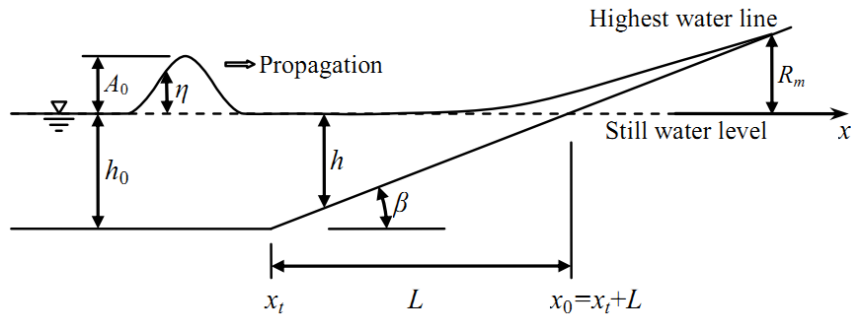
动边界处理方法计算海啸漫滩(爬坡)有多种形式,主要包括:干湿法、窄缝法、冻结法、自适应网格法等,其中干湿法是最为常见的漫滩处理方法。干湿法是一种显式处理动边界的方法,其基本概念是:根据某时刻计算节点及相邻节点处的水位、水深等已知结果判断出下一时刻该节点的干湿状态,对于干出的节点作为固壁处理,即令其流速为零。

具体计算方法如下:



- 当 $h_i > 0$ 并且 $h_{i+1} \leq 0$ , 启动移动边界算法。
- 如果  $h_{i+1} + \eta_i < 0$ , 岸线外移到 $i+1/2$ 并且  $P_{i+1/2} = 0, H_{i+1} = 0$ 。
- 如果  $h_{i+1} + \eta_i > 0$ , 岸线移动到 $i+1$  和  $i+2, P_{i+1/2} \neq 0, i+1$ 处的水深为 $H = h_{i+1} + \eta_i$ 。

#### 1.3.2 采用经验公式法计算海啸爬坡



图I.2 孤立波爬坡物理过程示意图

非破碎孤立波, 爬坡计算方程式:

$$\mathfrak{R} = 2.831H \left( \frac{H}{d} \right)^{\frac{1}{4}} \left( 1 + \frac{H}{d} \right)^{\frac{1}{4}} \sqrt{\cot(\beta)} \dots\dots\dots(J.7)$$

## 附录 J

(资料性)  
单层平整冰厚分区

## J.1 中国海海冰区划图

中国海洋石油生产研究中心根据中国海冰分布及变化的基本特征,同时考虑到工业设计和生产部门的使用方便,将中国的结冰海区—渤海和黄海北部划分为21个区域,即21个冰区,划分的原则是每个区域的冰情基本一致,冰区划分如图J.1所示。每个海区的名称分别是:1)营口;2)锦州湾;3)复州湾;4)绥中;5)秦皇岛;6)南堡;7)歧口;8)曹妃甸;9)岔尖;10)羊角沟;11)龙口;12)渤中;13)旅大;14)金州湾;15)蓬莱;16)北隍城岛;17)大连湾;18)獐子岛;19)大鹿岛;20)烟台;21)威海。

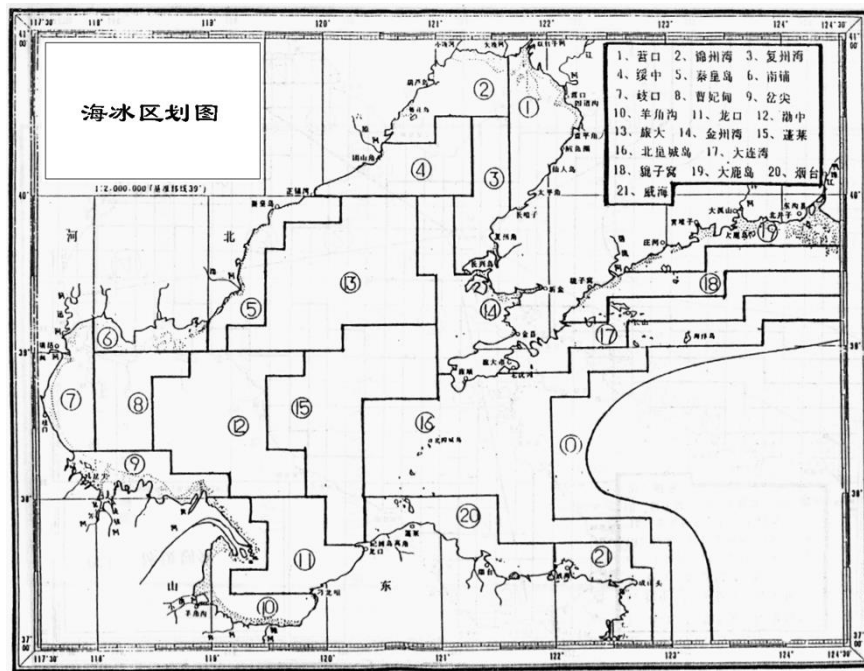


图 J.1 渤海及黄海北部海域海冰区划图

## J.2 各冰区海冰厚度推荐值

21个冰区不同重现期单层冰的设计冰厚推荐值见表J.1。

表 J.1 设计单层冰冰厚（推荐设计冰厚）

单位为厘米

冰区	重现期（年）							
	1	2	5	10	20	25	50	100
1	16.0	25.2	34.2	37.0	43.5	45.0	47.6	50.0
2	13.1	23.8	33.0	37.8	42.7	44.2	46.7	47.2
3	13.0	23.5	32.7	37.4	42.5	44.0	46.0	48.5
4	10.5	20.0	27.8	30.8	33.1	33.8	45.0	47.5
5	7.6	15.2	22.0	25.4	28.1	28.7	35.0	38.5
6	6.8	15.4	22.4	27.5	31.4	32.0	36.2	40.4
7	6.6	14.5	21.4	25.0	27.2	30.0	37.5	42.2
8	6.2	14.0	20.4	24.5	28.0	28.5	37.4	37.8
7	6.5	14.4	21.0	24.8	28.5	27.5	38.2	41.6
10	6.6	14.4	21.2	24.8	27.0	27.7	34.7	37.0
11	5.3	12.2	8.6	22.0	24.8	25.7	32.5	34.5
12	6.0	10.0	15.6	22.0	25.0	25.5	31.5	35.0
13	5.0	8.5	15.0	17.5	22.0	22.8	30.0	34.5
14	11.0	15.8	23.0	26.4	31.4	32.0	36.8	40.0
15	0.0	0.0	0.0	7.2	14.0	14.5	20.6	25.5
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	15.0
17	5.2	12.5	18.5	21.0	24.2	24.7	31.5	33.8
18	7.8	14.0	20.5	24.1	27.3	28.0	33.2	37.0
19	11.7	22.5	33.0	36.0	40.0	40.8	46.0	47.5
20	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.8	13.0	16.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	7.2	13.0	16.0



## 参 考 文 献

- [1] Schwerdt R W, Ho F P and Watkins R R. Meteorological criteria for standard project hurricane and probable maximum hurricane wind fields, Gulf and East Coasts of the United States (R). National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report no. N W S 23. Washington, D.C.: US. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service. 1979
- [2] TS-R-1-2003. Iaea Safety Standards Series
- [3] The Tsunami Evaluation Subcommittee. Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan (R). Japan: 2002
- [4] González, F I, Bernard E, Dunbar P, et al. Scientific and technical issues in tsunami hazard assessment of nuclear power plant sites. NOAA Tech. Memo. OAR PMEL-136, Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA. 2007
- [5] 国家海洋局. 中国海平面公报
- [6] 方国洪, 陈宗镛, 郑文振等.潮汐和潮流的分析和预报 (M) .北京: 海洋出版社
- [7] GB/T 26376-2010 自然灾害管理基本术语 (S), 北京: 中华人民共和国民政部, 2011
- [8] UNESCO/IOC. International Tsunami Information Center, Tsunami Glossary. IOC Technical Series 85. Paris:UNESCO, rev 2019. In English.
- [9] Q/HSn 3000-2002 中国海海冰条件及应用规定 (S), 天津: 中国海洋石油总公司, 2002
-