

团 体 标 准

T/PSC 10—2022

风暴潮灾害风险预警技术导则

Technical guidelines for risk early warning of storm surge disaster

2022-03-31 发布

2022-03-31 实施

中国太平洋学会 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 工作程序	1
5 资料收集	2
6 评价单元	2
6.1 海堤评价单元	2
6.2 淹没评价单元	3
7 脆弱性与应急能力评估	3
7.1 风暴潮灾害承灾体	3
7.2 脆弱性评估	3
7.2.1 承灾体易损性评估	3
7.2.2 承灾体重要程度评估	3
7.3 应急能力评估	3
8 危险性评估	4
8.1 漫堤危险性评估	4
8.2 漫堤危险性等级划分	4
8.3 淹没危险性评估	4
8.4 淹没危险性等级划分	4
9 风险评估与预警	4
9.1 评价单元风险指数计算	4
9.2 淹没风险预警分级	5
9.2.1 预警分级	5
9.2.2 敏感时间分析	5
10 预警图编制	5
11 简报编制	5
附录 A（资料性） 风暴潮灾害主要承灾体易损性与重要程度等级	6
附录 B（资料性） 波浪爬高计算	7
附录 C（资料性） 风暴潮灾害风险预警图编制要求	9
附录 D（资料性） 风暴潮灾害风险预警简报	10
参考文献	11

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。

本文件由清华大学提出。

本文件由中国太平洋学会归口。

本文件起草单位：清华大学、北京辰安科技股份有限公司、国家海洋信息中心、国家海洋局北海预报中心、自然资源部第二海洋研究所、武汉大学。

本文件主要起草人：栗健、刘海洋、张维、杨秀中、黄全义、相文玺、宋占龙、孙丽娥、靳熙芳、王宁、梁建峰、向先全、刘金、姜晓轶、王迪峰、赵前胜、罗年学、陈建国、林天埜、辛冰、吴乐。

引 言

风暴潮灾害是一种严重影响人民生命财产安全的海洋灾害。风暴潮灾害会引起沿海水位暴涨，海水倒灌，造成海岸区域被淹。风暴潮灾害风险预警服务于风暴潮灾害应对，在风暴潮灾害发生并造成影响之前，对可能发生漫堤的堤段，以及海水越过海堤发生漫滩淹没后对淹没区域可能造成影响的程度进行预警，为采取区域精细化风险防控措施提供决策参考。

为规范风暴潮灾害风险预警工作的技术方法和技术要求，将风暴潮灾害风险预警纳入科学化、标准化、制度化的轨道，保障沿海地区人民的生命财产安全，本文件建立了风暴潮灾害风险预警的模型方法和产品，形成的风险预警产品目前已在应急管理部、自然资源部等部委和地方政府得到了初步应用。

风暴潮灾害风险预警技术导则

1 范围

本文件规定了风暴潮灾害风险预警的工作程序、资料收集、评价单元、脆弱性与应急能力评估、危险性评估、风险评估与预警、预警图编制、简报编制等内容。

本文件适用于风暴潮灾害风险预警的技术性工作。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风暴潮 storm surge

由热带气旋、温带天气系统、海上飚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。

注：风暴潮中局部海面振荡或非周期性异常升高现象称为风暴增水，简称增水；风暴潮中局部海面振荡或非周期性异常降低现象称为风暴减水，简称减水。

[来源：GB/T 19721.1—2017，3.1]

3.2

风暴潮灾害 disaster of storm surge

风暴潮、天文潮和海浪等因素相互叠加作用引起的沿岸涨水造成的灾害统称。

[来源：HY/T 0273—2019，3.4]

3.3

风暴潮灾害风险预警 risk early warning of storm surge disaster

根据风暴潮观测、预测、预报信息等，考虑风暴潮灾害的致灾因子危险性、承灾体易损性与重要程度、区域应急能力、重要时段等信息，对风暴潮灾害的风险等级进行评估和发布。

3.4

波浪爬高 wave run-up

岸坡上被波浪浸没的最高点相对于平均海平面的高度。

[来源：GB/T 51015—2014，2.0.18]

3.5

风暴潮漫堤 storm surge overtopping of dike

沿岸发生风暴潮时，潮水漫过海堤的现象。

[来源：HY/T 195—2015，3.3]

3.6

淹没水深 inundation depth

风暴潮发生漫堤漫滩造成陆地淹没时的地表积水厚度。

3.7

承灾体 exposure

承受灾害的对象。

[来源：MZ/T 027—2011，3.6]

4 工作程序

风暴潮灾害风险预警工作程序见图1。

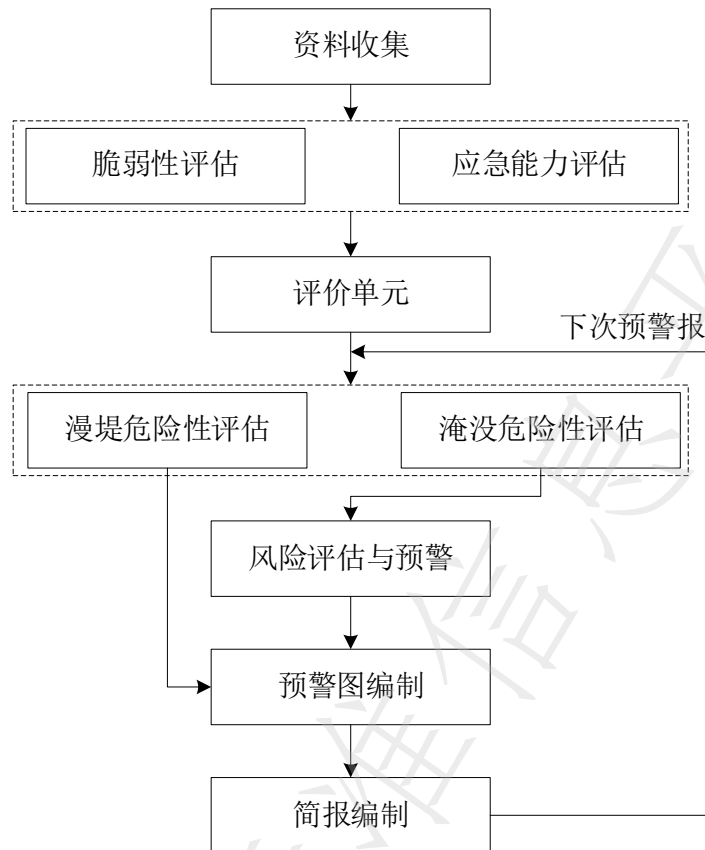


图1 风暴潮灾害风险预警工作程序

5 资料收集

收集和整理基础地理信息、沿海堤防、承灾体、减灾能力等相关资料，获取风暴潮数值模拟所需数据与重要活动信息，具体内容如下：

- 基础地理信息资料：包括全国水系(入海河流到3级)、重要居民点(省会城市、直辖市及沿海重要城市)、境界(国界、省界)、岛屿和地貌等要素,基础地理数据比例尺不低于1:1000000;
- 沿海堤防数据：包括位置、堤防结构和材料、高程、实际防御标准、设计防御标准、保护对象等；
- 承灾体数据：评估区域内的重要承灾体信息，包括堤防工程、沿岸重要基础设施、沿岸重点单位、沿岸社区人口与房屋等，当承灾体信息出现变更时应及时进行更新；
- 减灾能力数据：评估区域分市或县风暴潮灾害发生次数统计与人均GDP等海洋减灾能力相关数据；
- 风暴潮数值模拟所需数据：水文、气象、海堤地形与沿海岸线数据，风暴潮观测、预测、预报数据、台风路径预报数据等；
- 重要活动信息：评估区域内的重要会议或活动信息。

6 评价单元

6.1 海堤评价单元

海堤评价单元划分原则如下：

- a) 1条海堤至少包含1个评价单元；如果海堤长度大于1 km，应增加评价单元；如果海堤长度小于1 km，但是海堤高程有变化，则应依据变化情况增加评价单元；
- b) 同一条海堤分别处于海湾的湾顶、湾口或开敞式海岸等不同位置处，则应分别在湾顶、湾口或迎海面出分别划分评价单元；

c) 依据海堤后方保护对象来划分评价单元。

6.2 淹没评价单元

以陆地上1 km×1 km 网格作为评价单元，对于承灾体较为稀少的陆地区域应适当增加网格大小。

7 脆弱性与应急能力评估

7.1 风暴潮灾害承灾体

风暴潮灾害承灾体分为4个一级类，包括：堤防工程、沿岸重要基础设施、沿岸重点单位、沿岸社区人口与房屋，每个一级类进一步细分为二级类。风暴潮灾害主要承灾体类型见附录A中表A.1。

7.2 脆弱性评估

7.2.1 承灾体易损性评估

承灾体易损性等级参见附录A中表A.1，各易损性等级的计算分值如表1所示。

表1 易损性等级分值量化

易损性等级	计算分值
I	10
II	7
III	4
IV	1

7.2.2 承灾体重要程度评估

承灾体重要程度参见附录A中表A.1分为5个等级，每一级的计算分值如表2所示。

表2 重要程度分级标准

重要程度等级	计算分值
I	10
II	8
III	6
IV	4
V	2

7.3 应急能力评估

应急能力评估主要包括2个指标，分别为：历史风暴潮年平均发生频次指数 Q_i 和该地区经济发展水平（GDP）指数 D_i 。按照式（1）～式（3）计算区域应急能力：

$$C_i = w_1 Q_i + w_2 D_i \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{0.5(q_i - q_{\min})}{q_{\max} - q_{\min}} + 0.75 \quad (2)$$

$$D_i = \frac{0.5(d_i - d_{\min})}{d_{\max} - d_{\min}} + 0.75 \quad (3)$$

式中：

C_i ——行政区 i 的应急能力系数；

Q_i ——行政区 i 风暴潮年平均发生频次指数；

D_i ——行政区 i 经济发展水平指数；

w_1 ——频次指数权重，应急能力与灾害频次较为相关，宜取0.4；

w_2 ——经济发展水平指数权重，应急能力与应急发展水平相关，宜取0.6；

q_i ——行政区 i 历史风暴潮年平均发生频次；

$q_{\max}$ ——评估区内所有行政区的风暴潮年平均发生频次最大值；

$q_{\min}$ ——评估区内所有行政区的风暴潮年平均发生频次最小值；

d_i ——行政区 i 上一年的人均GDP；

d_{max} ——评估区内所有行政区的上一年人均GDP最大值;
 d_{min} ——评估区内所有行政区的上一年人均GDP最小值。

8 危险性评估

8.1 漫堤危险性评估

以评估区域内海堤评价单元中点向海一侧最近的数值模拟网格点作为该评价单元的代表点,按照附录B计算代表点波浪爬高值,以预报时段内代表点的模拟潮水高度(潮位与波浪爬高之和)的最大值与海堤堤顶高程,确定评价单元的危险性。

8.2 漫堤危险性等级划分

按表3划分危险性等级。

表3 漫堤危险性等级划分标准

危险性等级	危险性等级描述
I (红色)	潮水高度-堤顶高程 $\geq 1.2\text{m}$
II (橙色)	$1.2\text{m} > \text{潮水高度-堤顶高程} \geq 0.5\text{m}$
III (黄色)	$0.5 > \text{潮水高度-堤顶高程} \geq -0.3$
IV (蓝色)	$-0.3 > \text{潮水高度-堤顶高程} \geq -0.5\text{m}$

8.3 淹没危险性评估

风暴潮淹没危险性以淹没水深表示,评估范围最远为海岸线向陆方向10 km。基于风暴潮数值模拟结果,以预报时段内评价单元淹没水深最大值作为该单元的危险性指标,评估每个单元的危险性。

8.4 淹没危险性等级划分

按表4划分危险性等级并赋予相应计算分值。

表4 淹没危险性等级划分

危险性等级	淹没水深/cm	计算分值
I	> 300	10
II	$(120, 300]$	7
III	$(50, 120]$	4
IV	$(15, 50]$	1

9 风险评估与预警

9.1 评价单元风险指数计算

首先,按照式(4)计算评价单元内每个承灾体的风险值:

$$R_i = (H_i \times F_i \times I_i)^{1/3} \times \frac{1}{C_j} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

R_i ——承灾体 i 的风险值;
 H_i ——承灾体 i 所遭受的危险性计算值;
 F_i ——承灾体 i 的易损性计算值;
 I_i ——承灾体 i 的重要程度计算值;
 C_j ——评价单元所在行政区 j 的应急能力系数。

其次,将评价单元内承灾体风险值从大到小进行排序,然后按照式(5)计算评价单元风险值:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \times 0.5^{i-1} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

R ——评价单元综合风险值；

n ——评价单元内承灾体数量， $n \geq 1$ 。

9.2 淹没风险预警分级

9.2.1 预警分级

依据公式（5）计算的评价单元风险值按照表5划分风险等级。

表5 风暴潮淹没风险等级划分

风险等级	风险值区间	颜色表示
I	> 15	红
II	$(10, 15]$	橙
III	$(5, 10]$	黄
IV	$(0, 5]$	蓝

9.2.2 敏感时间分析

在风暴潮灾害发生时若恰逢重要会议或活动，相应区域内评价单元的风险上升一级。

10 预警图编制

预警图图件包括以下内容：

- 风暴潮漫堤危险性预警图；
 - 风暴潮淹没危险性与承灾体分布图；
 - 风暴潮淹没风险预警图。
- 各预警图件编制要求参见附录C。

11 简报编制

编制风暴潮灾害风险预警简报，其内容应包含：

- 风暴潮基本信息；
- 漫堤危险性预警结果分析，附风暴潮漫堤危险性预警图；
- 淹没危险性与承灾体分布分析，附风暴潮淹没危险性与承灾体分布图；
- 淹没风险预警结果分析，附风暴潮淹没风险预警图；
- 风险防控建议。

在风暴潮灾害发生期间，风暴潮灾害风险预警简报应每天更新。风暴潮灾害风险预警简报格式参见附录D。

附录 A

(资料性)

风暴潮灾害主要承灾体易损性与重要程度等级

风暴潮灾害主要承灾体易损性与重要程度等级见表A.1。

表A.1 风暴潮灾害主要承灾体易损性与重要程度等级

一级类	二级类	易损性等级	重要程度等级
堤防工程	海堤	III	I
沿岸重要基础设施	滨海机场	III	I
	主要公路	II	III
	铁路	II	III
	公路隧道	II	II
	核电站	IV	I
	火电站	II	II
	风电站	IV	IV
	变电站	II	II
	通讯设施	II	IV
	钢铁基地	III	I
	石油化工基地	II	I
	水库大坝	II	I
沿岸重点单位	危险化学品设施	II	I
	物资储备基地	II	I
	工业园区	II	I
	沿岸旅游娱乐区	II	III
	海水养殖区	I	II
	港口码头	IV	I
	船厂	III	III
	尾矿库	I	II
	农田	IV	V
	公众聚集场所	I	II
	古建筑	III	IV
	医院	II	II
	学校	II	II
沿岸社区人口与房屋	人口集聚区	I	I
	房屋	III	II
	应急避难场所	III	II
	地下车库	I	II

附录 B
(资料性)
波浪爬高计算

B.1 单一斜坡堤正向来波

适用条件:

- 波浪正向作用;
- 斜坡坡度 1: m , m 为 1~5;
- 堤前水深 d 为 $1.5H_w \sim 5.0H_w$;
- 堤前底坡 $i \leq 1/50$ 。

正向来波在单一斜坡上的波浪爬高按照式(B.1)~(B.6)确定。

$$R_w = K_\Delta R_{w1} H_w \quad (\text{B.1})$$

$$R_{w1} = 1.24 \text{th}(0.432M) + [(R_{w1})_m - 1.029] R_w(M) \quad (\text{B.2})$$

$$M = \frac{1}{m} \left(\frac{L}{H_w} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\text{th} \frac{2\pi d}{L} \right)^{-1/2} \quad (\text{B.3})$$

$$m = \cot \alpha \quad (\text{B.4})$$

$$(R_{w1})_m = 2.49 \text{th} \frac{2\pi d}{L} \left[1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\text{sh} \frac{4\pi d}{L}} \right] \quad (\text{B.5})$$

$$R_w(M) = 1.09 M^{3.32} \exp(-1.25M) \quad (\text{B.6})$$

式中:

- R_w ——波浪爬高, 由静水位算起, 向上为正, 单位为米 (m);
- K_Δ ——斜坡的糙率及渗透性系数, 根据护面类型按表B.1确定;
- R_{w1} —— $K_\Delta=1.00$ 、 $H_w=1$ 时的波浪爬高, 单位为米 (m);
- H_w ——海堤所在处进行波波高, 单位为米 (m);
- M ——斜坡的应坡比相关的函数;
- $R_w(M)$ ——波浪爬高函数;
- L ——波长, 单位为米 (m);
- d ——堤前水深(m);
- α ——斜坡破角, 单位为度 (°);
- $(R_{w1})_m$ ——相对于某 d/L 时的爬坡最大值, 单位为米 (m)。

表B.1 斜坡的糙率及渗透性系数 K_Δ

护面类型	K_Δ
光滑不透水护面 (沥青混凝土、混凝土)	1.0
混凝土板	0.95
草皮	0.90
砌石	0.80
抛填两层块石 (不透水堤心)	0.60~0.65
抛填两层块石 (透水堤心)	0.50~0.55

注: $m \leq 1.0$, 砌石护面取 $K_\Delta = 1.0$ 。

B.2 带有平台的复式斜坡堤正向来波

先确定断面的折算坡率 m_e , 再按坡率为 m_e 的单坡断面确定其爬高。折算坡率 m_e 按式(B.7)~(B.10)计算。

a) 当 $\Delta m = (m_d - m_u) = 0$ 时:

$$m_e = m_u \left(1 - 4.0 \frac{|d_w|}{L} \right) K_b \quad (\text{B.7})$$

$$K_b = 1 + 3 \frac{B}{L} \quad (\text{B.8})$$

b) 当 $\Delta m > 0$ 时:

$$m_e = (m_u + 0.3\Delta m - 0.1\Delta m^2) \left(1 - 4.5 \frac{d_w}{L}\right) K_b \dots\dots\dots (B.9)$$

c) 当 $\Delta m < 0$ 时:

$$m_e = (m_u + 0.5\Delta m + 0.08\Delta m^2) \left(1 + 3.0 \frac{d_w}{L}\right) K_b \dots\dots\dots (B.10)$$

式中:

m_u ——平台以上的斜坡坡率;

m_d ——平台以下的斜坡坡率;

d_w ——平台的水深,当平台在静水位以下时取正值,平台在静水位以上时取负值,单位为米(m);

B ——平台宽度,单位为米(m)。

折算坡率法适用条件: $m_u = 1.0 \sim 4.0$, $m_d = 1.5 \sim 3.0$, $d_w/L = -0.025 \sim +0.025$, $0.05 < B/L \leq 0.25$ 。

B.3 非正向规则波换算

当来波波向线与堤轴线的法线成 β 角时,波浪爬高应乘以系数 K_β ,当堤坡坡率 $m \geq 1$ 时,按表B.2确定。

表B.2 系数 K_β

$\beta(^{\circ})$	≤ 15	20	30	40	50	60	90
K_β	1	0.96	0.92	0.87	0.82	0.76	0.6

附录 C

(资料性)

风暴潮灾害风险预警图编制要求

C.1 风暴潮漫堤危险性预警图

制图范围是在预报时间范围内可能受风暴潮漫堤影响的区域。

展示内容：

- 制图范围内各海堤评价单元的危险性等级分布；
- 可能受风暴潮漫堤影响的所有评价单元陆上敏感承灾体位置分布，如海堤、人口分布、港口码头、机场、医院等。若为台风风暴潮同时展示台风实际路径与预报路径；
- 风暴潮预报、台风路径预报等信息来源，预警图编制单位、编制时间。

C.2 风暴潮淹没危险性与承灾体分布图

制图范围是指在预报时间范围内风暴潮可能淹没到的所有区域。

展示内容：

- 制图范围内各评价单元的危险性等级分布；
- 受风暴潮淹没影响的陆上敏感承灾体，如海堤、港口码头、机场、医院等。若为台风风暴潮同时展示台风实际路径与预报路径；
- 信息来源。

C.3 风暴潮淹没风险预警图

制图范围是指在预报时间范围内风暴潮可能淹没到的所有区域。

展示内容：

- 制图范围内各评价单元的风险等级分布；
- 受风暴潮淹没影响的陆上敏感承灾体，如海堤、港口码头、机场、医院等。若为台风风暴潮同时展示台风实际路径与预报路径；
- 信息来源。

附录 D
(资料性)
风暴潮灾害风险预警简报

图D. 1为风暴潮灾害风险预警简报格式。

风暴潮灾害风险预警简报		
XX 年第 XX 期		
单位	时间	
主要内容:		
XX 单位根据 XX 观测和预测结果,开展 XX 风暴潮灾害风险评估及预警工作。		
漫堤危险性预警结果分析。		
图 XX 风暴潮漫堤危险性预警图		
淹没危险性与承灾体分布分析。		
图 XX 风暴潮淹没危险性与承灾体分布图		
淹没风险预警结果分析。		
图 XX 风暴潮淹没风险预警图		
风险防控建议。		
报送:		
抄送:		
分送:		
编辑:	审核:	签发:

图D. 1 风暴潮灾害风险预警简报格式

参 考 文 献

- [1] GB/T 51015—2014 海堤工程设计规范
- [2] HY/T 195—2015 风暴潮漫堤预报技术指南
- [3] HY/T 0273—2019 海洋灾害风险评估和区划技术导则 第1部分：风暴潮
- [4] 尹宝树, 徐艳青, 任鲁川等. 黄河三角洲沿岸海浪风暴潮耦合作用漫堤风险评估研究[J]. 海洋与湖沼, 2006(05):457-463.
- [5] 张莉, 商少平, 张峰等. 福建沿岸天文潮-风暴潮-台风浪耦合漫堤预警系统[J]. 海洋预报, 2016, 33(05):61-69.
- [6] 于福江, 傅赐福, 郭洪琳等. 现代风暴潮预报技术及应用[M]. 北京:科学出版社, 2020.
-