

ICS 07.060
CCS A45

HY

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T ×××××-××××

海岸带生态系统减灾功能评估技术导则 红树林 和盐沼

Technical guidelines for the assessment of marine hazard mitigation functions of
coastal ecosystems: Mangroves and salt marshes

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	1
4.1 科学性	1
4.2 可靠性	1
4.3 一致性	1
5 资料收集与调查.....	1
5.1 调查内容.....	1
5.2 资料收集.....	2
6 现场调查方法	2
6.1 断面和站位布设.....	2
6.2 植被调查.....	2
6.3 环境要素调查.....	3
6.4 调查时间.....	3
7 减灾功能评估	3
7.1 评估内容.....	3
7.2 评估指标.....	3
7.3 减灾功能评估方法	3
7.4 评估结果.....	7
附录 A（资料性）红树林波高衰减率参考说明.....	8
附录 B（资料性）滨海盐沼波高衰减率参考说明.....	13
附录 C（资料性）红树林、滨海盐沼植物区内波流运动控制方程参考说明.....	16

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。

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专利的责任。

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：自然资源部海洋减灾中心、四川大学、自然资源部第一海洋研究所、自然资源部第三海洋研究所、复旦大学。

本文件主要起草人：陈新平、林鹏智、王斌、国志兴、张小霞、尹子祺、王炜、姜彦琪、陈顺洋、陈光程、李博、孙海龙、宋美杰、龚泽林。

海岸带生态系统减灾功能评估技术导则 红树林和盐沼

1 范围

本文件规定了红树林和滨海盐沼海洋减灾功能评估的一般要求、资料收集与调查、现场调查方法、评估方法等内容。

本文件适用于红树林和滨海盐沼对海洋动力灾害过程的波高衰减能力评估。

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 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测

HY/T 081 红树林生态监测技术规程

TD/T 1055 第三次全国国土调查技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

红树林 mangrove forest

生长在热带和亚热带沿海潮间带，受海水周期性浸淹的木本植物群落。

[来源：HY/T 081，3]

3.2

滨海盐沼 coastal salt marshes

处于海陆过渡区，周期性或者间歇性受海洋潮汐影响，并覆盖有草本或者低矮灌木的淤泥质或砂质潮间带湿地生态系统。

4 一般要求

4.1 科学性

红树林和滨海盐沼海洋减灾功能评估过程须建立在科学地获取当地植被特征和海洋动力参数的基础上。确保植被特征和海洋动力参数具有很好的代表性，数据精确可靠。

4.2 可靠性

采用的数据资料来源、精度及质量应可靠，保证所用资料权威可靠；对所采用的技术方法应采用历史资料或现场观测进行验证，保证评估精度。

4.3 一致性

评估工作宜同时选取不同的方法，所采用的不同评估方法对红树林、滨海盐沼开展海洋减灾功能评估得出的减灾能力等级应该具有一致性。

5 资料收集与调查

5.1 调查内容

红树林、滨海盐沼减灾功能评估所需的资料包括植被特征和环境要素，具体要素、调查方式和调

查方法见表 1。

表 1 调查内容

调查内容	调查要素	调查方式	调查方法
植被	红树林：面积、分布、林带宽度、物种、植株密度、株高、胸径、基径、气生根密度、平均直径	现场调查、遥感调查	见 6.2
	盐沼：面积、分布、物种、密度、平均高度、基径、植被带宽度、平均直径		
环境要素	水动力环境：水位、海浪要素（波高、波周期、波向）	资料收集、现场调查	见 6.3
	水深地形：水深、高程	资料收集、现场调查	

5.2 资料收集

收集近三年内红树林、滨海盐沼海洋减灾功能待评估区域近岸的水深地形数据以及近岸海域的海浪要素（波高、波周期等）、潮位等水动力参数数据，必要时可开展现场调查观测。

6 现场调查方法

6.1 断面和站位布设

红树林调查区断面和站位布设应综合考虑调查区域红树林面积、分布等综合因素，断面、站位和调查样方的布设方法按照 HY/T 081 规定执行。

滨海盐沼调查区断面和站位布设应符合以下要求：

- 综合考虑调查区域植被分布等因素，断面站位应合理布局，在空间上涵盖整个调查区域，充分反映调查区域植被的整体特征；
- 断面数量应根据植被面积、分布等特征确定，开展植被要素调查时，每一条断面应至少设置 3 个站位，站位设置应全面反映植被分布的潮带（高潮滩、中潮滩、低潮滩）；
- 每个站位应布设不少于一个 1m×1m 的样方。

6.2 植被调查

6.2.1 红树林植被调查

红树林植被要素调查方法如下：

- 红树林面积、分布调查方法按 TD/T 1055 规定执行；红树林胸径、株高、物种、植株密度调查方法按照 HY/T 081 规定执行；
- 根据现场调查的红树林面积、分布数据，确定调查断面的林带宽度；
- 红树林的平均直径（ D ）为最大淹没水深（ h ）以下的植株的垂向平均直径，用于减灾功能评估；调查过程中，可使用红树林树木的基部、 h 高度以下水淹没的植株高度（ h_v ）以及二者中间位置（ $h_m = \frac{h_v}{2}$ ）等 3 个位置的树木的直径的平均值作为 D 的近似值，测量和计算方法如下：
 - h 为减灾功能评估的海洋动力灾害期间的最大水位，调查方法见 7.3.2；
 - 根据 h 与红树林平均株高的关系确定 h_v 的值，当红树林平均株高小于 h 时， h_v 等于红树林的平均株高，当红树林的平均株高大于 h 时， h_v 等于 h ；
 - 采用卷尺等工具测量红树林树木基部的直径（即为植株的基径）；
 - 测量红树林树木在 h_v 、 h_m 高度处的周长，计算其横截面积，并换算成对应的直径；
 - 当红树林树木的形状和生长形态较为复杂时，横截面积的测量应尽量包含测量位置处所有的枝干，应至少包含到二级枝干，计算各枝干的横截面积，并计算其总和，换算成对应的平均直径；
 - D 为基径、 h_m 和 h_v 位置处的树木直径的平均值；
 - 调查区域的红树林的平均直径为所有样方内红树林树木的平均直径的平均值。

6.2.2 滨海盐沼植被调查

滨海盐沼植被要素调查方法如下：

- 滨海盐沼面积、分布、植被带宽度采用现场调查和无人机遥感调查相结合的方式；
- 平均高度的测算应结合实测与目测的方法估算样方内植株的平均高度；

- c) 统计样方内的植株数量，换算为单位面积数量，具有分蘖特征的滨海盐沼植物类型，按照分蘖数统计，单位为株每平方米（株/m²）；
- d) 在减灾功能评估中，滨海盐沼植物的平均直径（ D ）为最大淹没水深（ h ）以下的植株的垂向平均直径，不同滨海盐沼植物类型的测量方法如下：
- 芦苇、海三棱藨草等禾本科和莎草科滨海盐沼植物的平均直径（ D ）可采用调查样方内的植株的平均基径作为近似值，可采用卡尺、卷尺等测量工具测量；
 - 碱蓬属等滨海盐沼植物的平均直径（ D ）可使用植株冠幅部分的直径作为 D 的近似值，可采用卡尺、卷尺等测量工具测量；
 - 在每个样方内，应取不少于总植株数量 10%的植株（原则上不少于 10 株有代表性的植株），计算得到样方内植株的平均直径值（ D ）。

6.3 环境要素调查

水位和海浪要素（波高、波周期、波向）的调查方法见 7.3.2。

调查区域的高程采用断面测量法，采用载波相位动态实时差分技术—全球定位系统（Real Time Kinematic-Global Position System, RTK-GPS）等测量仪器沿红树林、滨海盐沼植被调查断面测量，测点间距宜不大于 10m，地形变化较大区域应加密测点，测点观测记录数据不少于 3 组，取中位数。

6.4 调查时间

植被和环境要素调查时间应符合以下要求：

- a) 植被要素调查时间宜安排在海洋动力灾害过程多发季节；
- b) 除高程要素外，其余环境要素现场调查宜安排在发生海洋动力灾害过程期间。高程调查时间宜与植被要素调查同步进行。

7 减灾功能评估

7.1 评估内容

红树林、滨海盐沼对海洋动力灾害过程的波高衰减能力，包含红树林、滨海盐沼植被作用和地形变化等因素的综合减灾功能。

7.2 评估指标

评估指标为波高衰减率（ R_{wL} ），是海洋动力灾害过程期间，波浪经过一定宽度的红树林、滨海盐沼植被带后，波高的衰减量（ H_0-H_L ）与来波波高（ H_0 ）的比值百分数，本文件波高采用有效波高计算 R_{wL} ，按公式（1）进行计算：

$$R_{wL} = \frac{H_0 - H_L}{H_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_{wL} ——波高衰减率，无量纲；

H_0 ——植被区沿海一侧边缘处（前测点）的有效波高，单位为米（m）；

H_L ——植被区向陆一侧边缘处（后测点）的有效波高，单位为米（m）。

7.3 减灾功能评估方法

7.3.1 评估方法的选取

7.3.1.1 评估方法及适用范围

红树林、滨海盐沼减灾功能评估方法包括现场观测方法、物理模型试验方法、数值模型方法、经验公式法，各类方法的适用范围具体如下：

- a) 现场观测方法适用于海洋动力灾害过程期间开展现场观测；
- b) 在具备物理水槽试验条件时，可选用物理模型试验方法。该方法适用于评估具有物种多样、形态复杂、分布不均等复杂特征的红树林、滨海盐沼海洋减灾功能，并可考虑地形变化等因素对减灾功能的影响；
- c) 在具备成熟的数值模拟技术条件时，可采用数值模型方法。该方法适用于评估植被作用和地形

变化的综合减灾功能，并可考虑复杂特征的红树林、滨海盐沼植被减灾功能；

- d) 经验公式法适用于地形较为平坦的目标区域，如果评估区域地形变化较大，应采用其他评估方法。

7.3.1.2 选取原则与顺序

各方法的选取应结合区域的现场条件、经济条件、技术设备以及实验条件等因素综合考虑，在同时采取多种评估方法时，评估结果的选取按照现场观测方法、物理模型试验方法、数值模拟方法和经验公式法以及参考基于经验公式法计算得到的表A.1~表A.7和表B.1~表B.4的优先顺序选择结果。

7.3.2 现场观测方法

7.3.2.1 技术方案设计

采用现场观测方法时，应根据红树林、滨海盐沼海洋减灾功能评估需要设计技术方案，主要内容

包括：

- a) 测量断面与测点；
- b) 观测要素；
- c) 测量方法与要求；
- d) 测量仪器；
- e) 观测资料分析及减灾功能评估。

7.3.2.2 观测断面与测点

减灾功能评估现场观测采取断面观测方式，调查断面应平行于来波方向，断面选取的数量与6.1中植被调查断面相同。每条观测断面应选取不少于2个观测站位，分别位于断面向海一侧边缘处（向海点）和向陆一侧边缘处（向陆点），其余站位应在断面中间布设。

7.3.2.3 观测要素

海洋动力灾害过程期间的现场观测要素包括各断面向海点和向陆点处的水位和海浪要素（波高、波周期等）。

7.3.2.4 测量方法与要求

水位和海浪要素现场观测方法和要求按照GB/T 12763.2的相关规定执行。

7.3.2.5 观测时间

现场观测时段应包含海洋动力灾害过程的整个影响期间。

7.3.2.6 观测仪器

海洋动力参数测量仪器包括水位计、浪潮仪等，采样频率不宜低于 2 Hz。应选择稳妥的方式固定仪器，有必要时可采用专门的设备固定仪器，确保仪器在海洋动力灾害过程期间的安全性和可靠性。

7.3.2.7 观测数据分析及计算

观测数据的分析和波高衰减率的计算方法如下：

- a) 若所用观测仪器具备配套数据分析软件，直接将观测数据导入数据分析软件即可得到有效波高数据；
- b) 对于不具备配套数据分析软件的观测仪器，可将现场观测得到的波动时间序列数据进行潮波分离，再对分离得到的波浪信号应用能谱分析等方法计算得到测量时段的有效波高数据；
- c) 依据有效波高序列数据，选取其中最不利时段（宜取有效波高最高值前后 30 分钟），将观测断面向海点的有效波高（ H_0 ）和向陆点的有效波高（ H_L ）代入公式（1），计算得到各观测断面的波高衰减率（ R_{wL} ）；
- d) 评估区域红树林、滨海盐沼的波高衰减率（ R_{wL} ）宜取各观测断面波高衰减率（ R_{wL} ）的平均值。

7.3.3 经验公式法

经验公式估算波高衰减率按公式（2）计算：

$$R_{wL} = \frac{\alpha L}{1 + \alpha L} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R_{wL} ——波高衰减率，无因次量；

L ——所评估红树林或滨海盐沼的植被带宽度，单位为米（m）；

α ——波高衰减参数，单位为每米（ m^{-1} ），按公式（3）计算。

$$\alpha = \frac{4}{9\pi} C_D D N H_0 k \frac{\sinh^3(kh_v) + 3 \sinh(kh_v)}{(\sinh(2kh) + 2kh) \sinh(kh)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

α ——波高衰减参数，单位为每米（ m^{-1} ）；

D ——植物淹没部分的垂向平均直径， D 的测量与计算方法见 6.2；

N ——单位面积植株数量，单位为株每平方米（株/ m^2 ）；

H_0 ——植被区前海浪有效波高，单位为米（m）；

k ——植物区前波数，单位为每米（ m^{-1} ）；

h ——从植被区测点地面起算的水位，即植被区水位，单位为米（m）；

h_v ——水面以下的植物总高度，单位为米（m）；

C_D ——植物拖曳力系数，按照公式（4）计算。

$$C_D = 2 \left(\frac{\alpha_0}{Re} + \alpha_1 \right) \times \left(1 + \frac{\alpha_2}{K_C} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

C_D ——植物拖曳力系数；

Re ——雷诺数，无量纲数；

K_C —— K_C 数，无量纲数；

α_0 ——经验系数，宜按照 $\alpha_0 = 730\phi - 25.5$ 计算， ϕ 为植物体积占比，按照公式（5）计算；

α_1 ——经验系数，宜按照 $\alpha_1 = 0.46 + 3.8\phi$ 计算， ϕ 为植物体积占比，按照公式（5）计算；

α_2 ——经验系数，取值宜为 7.5。

$$\phi = \frac{\pi N D^2 h_v}{4h} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

ϕ ——单位空间中植物体积所占的比例；

h ——从植被区测点地面起算的水位，即植被区水位，单位为米（m）；

h_v ——水面以下的植物总高度，单位为米（m）；

N ——单位面积植株数量，单位为株每平方米（株/ m^2 ）；

D ——植物淹没部分的垂向平均直径， D 的测量与计算方法见 6.2。

7.3.4 物理模型试验方法

7.3.4.1 技术方法

7.3.4.1.1 模型植物选取

物理模型试验需要选取模型植物，应根据评估目标区域的植物的主杆、枝叶、冠层等结构特征，按照几何相似准则确定模型植物尺寸，宜采用植物高度和物理模型试验条件作为几何比尺计算依据，模型的特征高度（ L_m ）按照公式（6）计算：

$$L_m = \frac{L_p}{\lambda_L} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

L_m ——模型的特征高度，单位为米（m）；

L_p ——原型的特征高度，单位为米（m）；

λ_L ——几何比尺，无因次量。

在进行红树林、滨海盐沼海洋减灾功能评估时， λ_L 的取值不宜大于 40。

7.3.4.1.2 模型植物布置

根据实际红树林、滨海盐沼植物特征布置模型植物。模型植物布置密度（ N_m ）按照式（7）计算：

$$N_m = N_p \lambda_L^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

λ_L ——几何比尺，无因次量；

N_p ——原型的特征密度；

N_m ——模型的特征密度。

植被带宽度 (L_m) 按照公式 (8) 计算：

$$L_m = \frac{L_p}{\lambda_L} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

λ_L ——几何比尺，无因次量；

L_p ——原型植被带的特征宽度，单位为米 (m)；

L_m ——模型植被带的特征宽度，单位为米 (m)。

7.3.4.1.3 水位、波浪条件及地形因素

根据待评估区域海洋水动力灾害过程特征，模型水动力参数中波高采用几何比尺推求，按公式 (9) 计算：

$$H_{0m} = \frac{H_{0p}}{\lambda_L} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

λ_L ——几何比尺，无因次量；

H_{0p} ——原型有效波高，单位为米 (m)；

H_{0m} ——模型有效波高，单位为米 (m)。

模型水动力参数中水位采用几何比尺推求，按公式 (10) 计算：

$$\eta_m = \frac{\eta_p}{\lambda_L} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

λ_L ——几何比尺，无因次量；

η_p ——原型特征水位，单位为米 (m)；

η_m ——模型特征水位，单位为米 (m)。

模型设置的波浪周期与真实海况波浪周期的关系应符合公式 (11)：

$$T_m = \frac{T_p}{\sqrt{\lambda_L}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

λ_L ——几何比尺，无因次量；

T_p ——原型水动力参数的特征波谱谱峰周期，单位为秒 (s)；

T_m ——模型水动力参数的特征波谱谱峰周期，单位为秒 (s)。

植被区域的地形变化因素应在试验水槽中得到体现，尤其对于变化较大的情况，地形的变化应同样按照几何相似准则，合理布置与原地形相似的试验条件。

7.3.4.1.4 水槽及测量仪器布置

水槽及测量仪器布置应遵循以下原则：

- a) 水槽首端宜布设具备主动吸波功能的造波设备；
- b) 模型植物布置在水槽中部，与造波设备相隔一定距离；
- c) 在植物区后，经过一段距离后设置消波设备；
- d) 水槽中应布设波高测量仪器，用于测量波浪在植物区的传播，应至少布设 2 个采样点，分别位于植物区前和植物区后。

7.3.4.2 模型试验与数据分析

模型试验与数据分析方法如下：

- a) 合理布置试验水槽、模型植物及测量仪器，具体方法见 7.3.4.1；
- b) 根据待评估的海洋水动力灾害过程环境要素特征，确定水槽试验的波浪参数、水位参数和地形参数，方法见 7.3.4.1；

- c) 开展试验, 并获取采样点数据, 计算得到有效波高;
 d) 将植物区前和植物区后 2 个采样点的有效波高带入到公式 (1) 中, 计算得到波高衰减率 (R_{wL})。

7.3.5 数值模型方法

7.3.5.1 数值模型

现有的植物与波浪相互作用的数值模型主要有三类, 应根据实际需求和计算能力等条件选择合适的数值模型。三类数值模型具体如下:

- a) 在海浪模型中, 例如近岸海浪数值模型 (Simulating WAVes Nearshore, SWAN) 中, 直接增加一项植物作用力项来表征植物作用, 并对模型在红树林、滨海盐沼区域的相关参数进行修正;
 b) 统计模型, 主要依据红树林、滨海盐沼植被参数 (植株高度、密度、盖度等) 与波浪等海洋水动力灾害过程相互作用的定量关系;
 c) 专门的红树林或滨海盐沼中的波流运动模型, 这一类模型存在不同的处理方法。其中, 常用的植物区内的波流运动模型为将植被区植株概化为多孔介质, 进行计算流体动力学模拟, 控制方程参考附录 C。

7.3.5.2 数值模拟与结果分析

数值模拟与结果分析方法如下:

- a) 根据模型需要, 输入植物参数、水深地形、高程、初始水位等数据资料;
 b) 根据模型需要, 依据海洋水动力过程环境要素特征, 设置模型的入射边界的波浪参数 (波高、周期等);
 c) 开展数值模拟, 获取调查断面的植物区域前后 2 个测点处的有效波高, 根据公式 (1), 计算出各断面处的波高衰减率 (R_{wL});
 d) 评估区域的波高衰减率 (R_{wL}) 宜取各断面处波高衰减率 (R_{wL}) 的平均值。

7.4 评估结果

评估结果可根据波高衰减率将减灾能力分为优、良、中、差四个等级, 具体见表 2 和表 3。

表 2 波高衰减率对应的红树林海洋减灾能力

波高衰减率 (R_{wL})	减灾能力等级
$80\% \leq R_{wL}$	优
$60\% \leq R_{wL} < 80\%$	良
$30\% \leq R_{wL} < 60\%$	中
$R_{wL} < 30\%$	差

表 3 波高衰减率对应的滨海盐沼海洋减灾能力

波高衰减率 (R_{wL})	减灾能力等级
$60\% \leq R_{wL}$	优
$30\% \leq R_{wL} < 60\%$	良
$10\% \leq R_{wL} < 30\%$	中
$R_{wL} < 10\%$	差

附录 A

(资料性)

红树林波高衰减率参考说明

本文件采用经验公式法计算了 6 种水位 (1m、2m、3m、4m、5m 和 6m)、4 种有效波高 (0.5m、1.25m、2.5m 和 4m) 和 1 种波浪谱峰周期 (4s) 工况下, 不同红树植被参数 (株高、植株密度、平均直径和植被带宽度) 下的波高衰减率, 见表 A.1~表 A.7。

表 A.1 株高为 4m、平均直径为 15cm 的红树林(秋茄)在不同情况下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 75 株/100m ²				植株密度: 50 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	31%	48%	65%	79%	23%	37%	54%	70%
	2	20%	33%	50%	66%	14%	24%	39%	56%
	3	15%	26%	41%	58%	10%	18%	31%	47%
	4	13%	22%	37%	54%	9%	16%	27%	43%
	5	6%	12%	22%	36%	4%	8%	15%	27%
	6	4%	7%	13%	23%	2%	5%	9%	16%
1.25	2	34%	51%	68%	81%	25%	40%	57%	73%
	3	27%	42%	59%	74%	19%	32%	48%	65%
	4	23%	37%	54%	70%	16%	28%	43%	60%
	5	12%	21%	35%	52%	8%	15%	26%	41%
	6	6%	12%	21%	35%	4%	8%	15%	26%
2.5	3	41%	58%	73%	85%	31%	47%	64%	78%
	4	35%	52%	69%	81%	26%	41%	59%	74%
	5	20%	33%	49%	66%	14%	24%	39%	56%
	6	11%	19%	32%	49%	7%	13%	24%	38%
4	5	27%	43%	60%	75%	20%	33%	49%	66%
	6	15%	26%	42%	59%	10%	19%	32%	48%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 A.2 株高为 3.5m、平均直径为 10cm 的红树林(木榄)在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 75 株/100m ²				植株密度: 50 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	21%	35%	52%	69%	15%	26%	42%	59%
	2	13%	22%	37%	54%	9%	16%	27%	43%
	3	9%	17%	29%	45%	6%	12%	21%	35%
	4	6%	11%	19%	33%	4%	7%	14%	24%
	5	3%	6%	11%	19%	2%	4%	7%	13%
	6	2%	3%	6%	11%	1%	2%	4%	8%

表 A.2 (续)

海况		植株密度: 75 株/100m ²				植株密度: 50 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
1.25	2	24%	39%	56%	72%	17%	30%	46%	63%
	3	18%	31%	47%	64%	13%	23%	37%	54%
	4	11%	20%	34%	51%	8%	14%	25%	40%
	5	6%	11%	19%	32%	4%	7%	14%	24%
	6	3%	6%	11%	19%	2%	4%	7%	14%
2.5	3	30%	46%	63%	77%	22%	36%	53%	69%
	4	20%	33%	49%	66%	14%	24%	39%	56%
	5	10%	18%	31%	47%	7%	13%	23%	37%
	6	5%	10%	18%	30%	3%	7%	13%	22%
4	5	15%	26%	41%	58%	10%	19%	31%	48%
	6	8%	14%	25%	40%	5%	10%	18%	31%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 A.3 株高为 4m、平均直径为 20cm 的红树林(红海榄)在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 50 株/100m ²				植株密度: 25 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	30%	47%	64%	78%	17%	29%	45%	62%
	2	19%	32%	49%	66%	10%	19%	31%	48%
	3	15%	26%	41%	58%	8%	14%	25%	39%
	4	13%	22%	37%	54%	6%	12%	21%	35%
	5	7%	12%	22%	36%	3%	6%	12%	21%
	6	4%	7%	13%	23%	2%	3%	7%	13%
1.25	2	33%	49%	66%	79%	19%	31%	48%	65%
	3	25%	40%	58%	73%	14%	24%	39%	56%
	4	22%	36%	53%	69%	12%	21%	35%	52%
	5	11%	21%	34%	51%	6%	11%	20%	33%
	6	6%	12%	21%	34%	3%	6%	11%	20%
2.5	3	39%	56%	72%	83%	23%	37%	54%	71%
	4	34%	50%	67%	80%	19%	32%	49%	66%
	5	19%	31%	48%	64%	10%	18%	30%	46%
	6	10%	18%	31%	47%	5%	10%	18%	30%
4	5	26%	41%	58%	73%	14%	25%	40%	57%
	6	14%	25%	40%	57%	7%	14%	24%	39%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 A.4 株高为 1m、平均直径为 5cm 的红树林(白骨壤)在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 100 株/100m ²				植株密度: 50 株/100m ²			
		种植带宽度 m				种植带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	14.6%	25.5%	40.6%	57.8%	7.8%	14.5%	25.4%	40.5%
	2	3.4%	6.6%	12.4%	22.1%	1.7%	3.4%	6.6%	12.4%
	3	1.3%	2.6%	5.0%	9.6%	0.7%	1.3%	2.6%	5.0%
	4	0.6%	1.2%	2.4%	4.7%	0.3%	0.6%	1.2%	2.4%
	5	0.3%	0.6%	1.2%	2.5%	0.2%	0.3%	0.6%	1.2%
	6	0.2%	0.3%	0.7%	1.3%	0.1%	0.2%	0.3%	0.7%
1.25	2	7.5%	13.9%	24.5%	39.3%	3.9%	7.5%	13.9%	24.4%
	3	2.9%	5.6%	10.6%	19.1%	1.5%	2.9%	5.6%	10.5%
	4	1.3%	2.6%	5.1%	9.6%	0.7%	1.3%	2.6%	5.1%
	5	0.7%	1.3%	2.6%	5.0%	0.3%	0.7%	1.3%	2.6%
	6	0.3%	0.7%	1.4%	2.7%	0.2%	0.3%	0.7%	1.4%
2.5	3	5.4%	10.2%	18.5%	31.2%	2.7%	5.3%	10.2%	18.4%
	4	2.5%	4.8%	9.2%	16.8%	1.2%	2.5%	4.8%	9.2%
	5	1.2%	2.4%	4.7%	9.0%	0.6%	1.2%	2.4%	4.7%
	6	0.6%	1.3%	2.5%	4.8%	0.3%	0.6%	1.3%	2.5%
4	5	1.9%	3.7%	7.2%	13.4%	1.0%	1.9%	3.7%	7.2%
	6	1.0%	1.9%	3.8%	7.3%	0.5%	1.0%	1.9%	3.8%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 A.5 株高为 2.5m、平均直径为 10cm 的红树林(桐花树)在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 200 株/100m ²				植株密度: 100 株/100m ²			
		种植带宽度 m				种植带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	44%	61%	76%	86%	27%	42%	60%	75%
	2	29%	45%	62%	77%	16%	28%	44%	61%
	3	17%	30%	46%	63%	9%	17%	29%	45%
	4	9%	16%	27%	43%	4%	8%	15%	26%
0.5	5	4%	9%	16%	27%	2%	4%	8%	15%
	6	2%	5%	9%	17%	1%	2%	5%	9%
1.25	2	48%	65%	79%	88%	30%	47%	64%	78%
	3	31%	47%	64%	78%	18%	30%	46%	63%
	4	16%	28%	43%	61%	8%	16%	27%	43%
	5	8%	16%	27%	43%	4%	8%	15%	26%
	6	5%	9%	16%	28%	2%	4%	9%	16%
2.5	3	46%	63%	77%	87%	29%	45%	62%	77%
	4	26%	42%	59%	74%	15%	26%	41%	58%
	5	14%	25%	40%	57%	8%	14%	25%	40%
	6	8%	15%	25%	40%	4%	8%	14%	25%
4	5	21%	34%	51%	68%	11%	20%	34%	50%

表 A.5 (续)

海况		植株密度: 200 株/100m ²				植株密度: 100 株/100m ²			
		种植带宽度 m				种植带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
4	6	11%	21%	34%	51%	6%	11%	20%	34%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 A.6 株高为 10m、平均直径为 30cm 的红树林(无瓣海桑)在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 75 株/100m ²				植株密度: 25 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	58%	73%	85%	92%	27%	43%	60%	75%
	2	44%	61%	76%	86%	17%	29%	45%	62%
	3	36%	53%	69%	82%	13%	23%	38%	55%
	4	31%	48%	64%	78%	11%	20%	33%	49%
	5	28%	44%	61%	76%	10%	17%	30%	46%
	6	26%	42%	59%	74%	9%	16%	28%	43%
1.25	2	59%	74%	85%	92%	28%	44%	61%	76%
	3	50%	67%	80%	89%	21%	35%	52%	69%
	4	44%	62%	76%	87%	18%	30%	46%	63%
	5	41%	58%	73%	85%	16%	27%	42%	60%
	6	38%	55%	71%	83%	14%	25%	40%	57%
2.5	3	64%	78%	88%	93%	32%	49%	66%	79%
	4	58%	74%	85%	92%	27%	43%	60%	75%
	5	54%	70%	83%	90%	24%	39%	56%	72%
	6	51%	68%	81%	89%	22%	36%	53%	69%
4	5	64%	78%	88%	93%	33%	49%	66%	79%
	6	61%	76%	86%	93%	30%	46%	63%	78%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 A.7 株高为 3.5m、平均直径为 4cm 的红树林(拉关木)在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 50 株/100m ²				植株密度: 25 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	69%	81%	90%	95%	51%	67%	80%	89%
	2	53%	69%	82%	90%	35%	52%	68%	81%
	3	44%	61%	76%	86%	27%	42%	60%	75%
	4	31%	47%	64%	78%	17%	30%	46%	63%

表 A.7 (续)

海况		植株密度: 50 株/100m ²				植株密度: 25 株/100m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	5	17%	29%	45%	62%	9%	16%	28%	44%
	6	9%	17%	29%	45%	5%	9%	16%	28%
1.25	2	73%	84%	92%	96%	56%	72%	83%	91%
	3	65%	79%	88%	94%	47%	64%	78%	87%
	4	51%	67%	81%	89%	33%	49%	66%	80%
	5	32%	48%	65%	79%	18%	31%	47%	64%
	6	18%	31%	47%	64%	10%	18%	30%	46%
2.5	3	78%	88%	94%	97%	63%	77%	87%	93%
	4	67%	80%	89%	94%	49%	66%	79%	88%
	5	47%	64%	78%	88%	30%	46%	63%	77%
	6	30%	46%	63%	78%	17%	29%	45%	62%
4	5	59%	74%	85%	92%	40%	58%	73%	84%
	6	40%	58%	73%	84%	25%	40%	57%	72%

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位。

附录 B

(资料性)

滨海盐沼波高衰减率参考说明

本文件采用经验公式法计算了 6 种水位 (1m、2m、3m、4m、5m 和 6m)、4 种有效波高 (0.5m、1.25m、2.5m 和 4m)、1 种波浪谱峰周期 (4s) 工况下, 不同盐沼植物类型 (芦苇和海三棱藨草) 和不同植被参数 (平均高度、平均直径、植株密度和植被带宽度) 的波高衰减率, 见表 B. 1~表 B. 4。

表 B. 1 平均高度 2m、平均直径 1cm 的芦苇在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 50 株/m ²				植株密度: 100 株/m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	61%	76%	86%	93%	77%	87%	93%	96%
	2	45%	62%	76%	87%	63%	77%	87%	93%
	3	21%	35%	52%	69%	36%	53%	69%	82%
	4	11%	19%	32%	48%	19%	32%	49%	66%
	5	5%	10%	18%	31%	10%	19%	31%	48%
	6	3%	5%	10%	19%	5%	10%	19%	32%
1.25	2	67%	80%	89%	94%	80%	89%	94%	97%
	3	40%	57%	73%	84%	58%	73%	84%	92%
	4	22%	36%	53%	69%	37%	54%	70%	82%
	5	12%	21%	35%	52%	22%	35%	52%	69%
	6	6%	12%	21%	35%	12%	22%	35%	52%
2.5	3	57%	73%	84%	91%	73%	84%	91%	96%
	4	36%	53%	69%	82%	53%	70%	82%	90%
	5	21%	35%	52%	68%	35%	52%	68%	81%
	6	12%	21%	35%	52%	21%	35%	52%	68%
4	5	30%	46%	63%	77%	46%	63%	78%	87%
	6	18%	30%	46%	63%	30%	46%	63%	77%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 B. 2 平均高度 3m、平均直径 1cm 的芦苇在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 50 株/m ²				植株密度: 100 株/m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	61%	76%	86%	93%	77%	87%	93%	96%
	2	45%	62%	76%	87%	62%	77%	87%	93%
	3	36%	53%	69%	82%	53%	70%	82%	90%
	4	18%	31%	47%	64%	32%	48%	65%	79%
	5	9%	17%	30%	46%	18%	30%	46%	63%
	6	5%	9%	17%	29%	10%	17%	30%	46%
1.25	2	67%	80%	89%	94%	80%	89%	94%	97%
	3	58%	73%	84%	92%	74%	85%	92%	96%

表 B. 2 (续)

海况		植株密度: 50 株/m ²				植株密度: 100 株/m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
1.25	4	35%	52%	69%	81%	53%	69%	82%	90%
	5	20%	34%	50%	67%	34%	51%	67%	81%
	6	11%	20%	33%	50%	20%	34%	50%	67%
2.5	3	73%	84%	92%	96%	85%	92%	96%	98%
	4	52%	69%	81%	90%	69%	82%	90%	95%
	5	33%	50%	67%	80%	51%	67%	80%	89%
	6	20%	33%	50%	66%	33%	50%	67%	80%
4	5	44%	62%	76%	86%	62%	76%	87%	93%
	6	28%	44%	61%	76%	44%	61%	76%	86%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 B. 3 平均高度 0.3m、平均直径 0.1cm 的海三棱藨草在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 800 株/m ²				植株密度: 1600 株/m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	57%	72%	84%	91%	73%	84%	91%	95%
	2	22%	36%	53%	69%	36%	53%	69%	82%
	3	9%	17%	29%	45%	17%	29%	45%	62%
	4	4%	8%	16%	27%	8%	16%	27%	43%
	5	2%	4%	8%	15%	4%	8%	15%	27%
	6	1%	2%	4%	9%	2%	4%	9%	16%
1.25	2	41%	58%	73%	85%	58%	73%	85%	92%
	3	20%	33%	50%	67%	33%	50%	67%	80%
	4	10%	18%	31%	47%	18%	31%	47%	64%
	5	5%	10%	18%	31%	10%	18%	31%	47%
	6	3%	5%	10%	18%	5%	10%	18%	31%
2.5	3	33%	50%	67%	80%	50%	67%	80%	89%
	4	18%	31%	47%	64%	31%	47%	64%	78%
	5	10%	18%	30%	46%	18%	30%	46%	63%
	6	5%	10%	18%	30%	10%	18%	30%	47%
4	5	15%	26%	41%	58%	26%	41%	58%	73%
	6	8%	15%	26%	41%	15%	26%	41%	58%

注: 表中水位值指从植被区地面起算的水位。

表 B.4 平均高度 0.6m、平均直径 0.2cm 海三棱藨草在不同组合条件下的波高衰减率参考表

海况		植株密度: 800 株/m ²				植株密度: 1600 株/m ²			
		植被带宽度 m				植被带宽度 m			
有效波高 m	水位 m	50	100	200	400	50	100	200	400
0.5	1	73%	85%	92%	96%	85%	92%	96%	98%
	2	36%	53%	70%	82%	53%	70%	82%	90%
	3	17%	30%	46%	63%	30%	46%	63%	77%
	4	9%	16%	27%	43%	16%	27%	43%	60%
	5	4%	8%	16%	27%	8%	16%	27%	43%
	6	2%	5%	9%	16%	5%	9%	16%	28%
1.25	2	58%	74%	85%	92%	74%	85%	92%	96%
	3	34%	51%	67%	80%	51%	67%	80%	89%
	4	19%	31%	48%	65%	31%	48%	65%	79%
	5	10%	18%	31%	47%	18%	31%	47%	64%
	6	5%	10%	18%	31%	10%	18%	31%	47%
2.5	3	50%	67%	80%	89%	67%	80%	89%	94%
	4	31%	47%	64%	78%	47%	64%	78%	88%
	5	18%	30%	47%	64%	31%	47%	64%	78%
	6	10%	18%	31%	47%	18%	31%	47%	64%
4	5	26%	41%	58%	74%	41%	58%	74%	85%
	6	15%	26%	41%	58%	26%	41%	59%	74%

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位。

附录 C
(资料性)

红树林、滨海盐沼植物区内波流运动控制方程参考说明

采用植物区域内的波流运动模型开展红树林、滨海盐沼减灾功能评估时，其中常用的植物区内的波流运动模型将红树林、滨海盐沼植物概化为多孔介质，对流体动力学方程进行时间和空间双平均推导，植物区内波流运动控制方程可参考公式 (C.1) 和公式 (C.2)：

$$\frac{\partial \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \dots \dots \dots (C.1)$$

式中：

$\langle \bar{u}_i \rangle$ —— i 方向的时间和空间双平均速度，单位为米每秒 (m/s)；
 x_i —— i 方向的坐标，单位为米 (m)。

$$\frac{1}{\theta} \frac{\partial}{\partial t} \langle \bar{u}_i \rangle + \frac{\langle \bar{u}_j \rangle}{\theta^2} \frac{\partial}{\partial x_j} \langle \bar{u}_i \rangle = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \langle \bar{p} \rangle + \frac{\nu}{\theta} \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_j} \langle \bar{u}_i \rangle + g_i - \frac{1}{\theta^2} \frac{\partial}{\partial x_j} \langle \bar{u}_i' u_j' \rangle - \langle \bar{f}_i \rangle \dots (C.2)$$

式中：

θ ——植物区孔隙率，为植物区内水体体积与植物区体积之比；
 x_i —— i 方向的坐标，单位为米 (m)；
 x_j —— j 方向的坐标，单位为米 (m)；
 t ——时间变量，单位为秒 (s)；

$\langle \bar{u}_i \rangle$ —— i 方向的时间和空间双平均速度，单位为米每秒 (m/s)；
 $\langle \bar{u}_j \rangle$ —— j 方向的时间和空间双平均速度，单位为米每秒 (m/s)；
 $\langle \bar{p} \rangle$ ——时间和空间双平均压力，单位为帕 (Pa)；
 ρ ——流体密度，单位为千克每立方米 (kg/m³)；
 g_i —— i 方向的重力加速度，单位为米每秒的平方 (m/s²)；
 ν ——流体运动粘度，单位为平方米每秒 (m²/s)。

$\langle \bar{u}_i' u_j' \rangle$ ——时间和空间双平均雷诺应力，单位为平方米每平方秒 (m²/s²)，可采用 k - ϵ 紊流模型求解；

$\langle \bar{f}_i \rangle$ ——时间和空间双平均植物作用力，单位为牛每千克 (N/kg)，可概化为时间和空间双平均拖曳力项 ($\langle \bar{f}_D \rangle$) 加上时间和空间双平均惯性力项 ($\langle \bar{f}_I \rangle$)，对于将植物概化为圆柱体的情况下， $\langle \bar{f}_D \rangle$ 和 $\langle \bar{f}_I \rangle$ 宜分别按照公式 (C.3) 和公式 (C.4) 计算。

$$\langle \bar{f}_D \rangle = \frac{2(1-\theta)}{\pi D} \rho C_D |\langle \bar{u}_i \rangle| \langle \bar{u}_i \rangle \dots \dots \dots (C.3)$$

式中：

$\langle \bar{f}_D \rangle$ ——时间和空间双平均拖曳力，单位为牛每千克 (N/kg)；
 θ ——植物区孔隙率，为植物区内水体体积与植物区体积之比；
 $\langle \bar{u}_i \rangle$ —— i 方向的时间和空间双平均速度，单位为米每秒 (m/s)；
 ρ ——流体密度，单位为千克每立方米 (kg/m³)；
 C_D ——拖曳力系数，应根据不同植物种类的具体特征进行确定；
 D ——垂向平均植物直径 (见 6.2.2)，单位为米 (m)。

$$\langle \bar{f}_I \rangle = (1-\theta) C_m \frac{\partial \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial t} \dots \dots \dots (C.4)$$

式中：

$\langle \bar{f}_I \rangle$ ——时间和空间双平均惯性力，单位为牛每千克 (N/kg)；
 θ ——植物区孔隙率，为植物区内水体体积与植物区体积之比；
 t ——时间变量，单位为秒 (s)；
 $\langle \bar{u}_i \rangle$ —— i 方向的时间和空间双平均速度，单位为米每秒 (m/s)；
 C_m ——惯性力系数，应根据不同植物种类的具体特征进行确定。