



团 体 标 准

T/CAOE 21.2-2020

海岸带生态减灾修复技术导则 第 2 部分：红树林

Technical guideline on coastal ecological rehabilitation for hazard mitigation—
Part 2: Mangroves

2020-07-21 发布

2020-07-21 实施

中国海洋工程咨询协会 发布

目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 工作流程.....	1
5 资料收集与调查.....	1
5.1 资料收集与调查内容.....	1
5.2 生态系统现状调查.....	2
5.3 减灾功能现场观测.....	2
6 适宜性评价.....	2
6.1 评价内容.....	2
6.2 生态现状评估.....	3
6.3 减灾功能评估.....	3
6.4 修复适宜性评价.....	3
7 实施方案编制.....	4
8 红树林生态修复.....	4
8.1 生境改造.....	4
8.2 物种选择与配置.....	4
8.3 种植.....	5
8.4 管护.....	5
9 监测与评估.....	5
9.1 跟踪监测与调查.....	5
9.2 效果评估.....	6
10 质量控制.....	7
11 成果与归档.....	8
附录 A（规范性附录）盐沼生态系统减灾功能评估方法.....	9
附录 B（资料性附录）盐沼植被波高衰减率参考表.....	15
附录 C（资料性附录）基于减灾的植被优化种植设计.....	20

前 言

T/CAOE 21《海岸带生态减灾修复技术导则》分为 11 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：红树林；
- 第 3 部分：盐沼；
- 第 4 部分：珊瑚礁；
- 第 5 部分：海草床；
- 第 6 部分：牡蛎礁；
- 第 7 部分：砂质海岸；
- 第 8 部分：海堤生态化建设；
- 第 9 部分：连岛海堤和沿岸工程整治改造；
- 第 10 部分：围填海工程海堤生态化建设。
- 第 11 部分：监管监测。

本部分为 T/CAOE 21 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T1.1-2009 给出的规则起草。

本部分由自然资源部海洋预警监测司提出。

本标准由中国海洋工程咨询协会归口。

本部分起草单位：自然资源部海洋减灾中心、自然资源部第三海洋研究所、四川大学。

本部分主要起草人：王斌、陈新平、陈顺洋、林鹏智、国志兴、陈光程、张小霞、宋美杰。

海岸带生态减灾修复技术导则

第 2 部分：红树林

1 范围

T/CAOE 21 的本部分规定了红树林生态减灾修复的工作程序、资料收集与调查、适宜性评价、实施方案编制、盐沼生态减灾修复技术、跟踪监测与效果评估、质量控制以及成果与归档等内容。

本部分适用于海岸带保护修复工程中的红树林生态减灾修复工作,其他相关工作可参照使用。

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。

GB/T 12763.2 海洋调查规范 第 2 部分:海洋水文观测

HY/T 214-2017 红树林植被恢复技术指南

LY/T 1938-2011 红树林建设技术规程

LY/T 2972-2018 困难立地红树林造林技术规程

T/CAOE 20.3 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 3 部分:红树林

T/CAOE 21.1-2020 海岸带生态减灾修复技术导则 第 1 部分:总则

DB44/T 284-2005 红树林造林技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

红树 mangrove

生长于热带、亚热带地区潮间带的木本植物。

3.2

红树林 mangroves

热带、亚热带海岸以红树植物为主体的生物群落。

4 工作流程

按照 T/CAOE 21.1 第 6 章规定的要求执行。

5 资料收集与调查

5.1 资料收集与调查内容

红树林生态修复工程所需的资料应包括工程区概况、红树林植被、生物群落、环境要素及威胁因素等,具体要素、调查方式见表 1。

表 1 资料收集与调查内容

调查内容	调查要素	调查方式
工程区概况	环境概况:自然条件、生态特征和环境现状	资料收集
	地理属性:具体位置和地理坐标	资料收集与测量
	政策法规:法律法规、规划	资料收集

红树林植被	红树林植被：面积及分布、物种、覆盖度、植株密度、株高、胸径、基径、根密度、幼苗	现场调查
生物群落	大型底栖动物群落：种类组成、密度、生物量	现场调查
	鸟类群落：种类组成、数量	现场调查
环境要素	水文环境：水温、盐度、水位、海浪要素（波高、周期等）	资料收集、现场调查
	底质环境：沉积物粒度、有机碳、硫化物、总磷、总氮	现场调查
	地形：滩涂高程	现场调查
威胁因素	自然因素：风暴潮等自然灾害、外来物种入侵等	资料收集、现场调查、社会调查等
	人为因素：水产养殖活动、渔业捕捞、海岸带工程、排污状况、周边资源利用情况、旅游开发活动等	资料收集、现场调查、社会调查等

5.2 生态系统现状调查

5.2.1 调查要素与方法

现场调查要素见表 1,除水位和海浪要素外,其他调查要素的调查方法按照 T/CAOE 20.3 执行。

5.2.2 调查时间

红树林生态减灾修复工程实施前应开展 1 次调查,调查时间宜安排在 7 月~10 月进行。

红树林生态减灾修复工程实施过程中和实施后应开展跟踪监测与调查,监测调查时间见本文件 9.1。

5.3 减灾功能现场观测

5.3.1 测量断面与测点选取

红树林减灾功能现场观测采取断面观测方式,断面应尽量与波浪来波方向平行,断面植株密度和植被带宽度应当能较好地反映整个红树林区域的情况。当红树林分布区域特征差异较大时,应选取多个断面。每个断面测点不少于两个,向海一侧边缘处(向海点)和植被区向陆一侧边缘处(向陆点)。

5.3.2 观测要素与方法

减灾功能现场观测要素包括向海点和向陆点处的波高和潮位。波高、周期等海浪要素和潮位的观测方法按照 GB/T 12763.2 的相关规定执行。

5.3.2 观测时间

减灾功能现场观测时段应包含整个风暴潮影响期间(风暴潮预警前 1 天~3 天至风暴潮预警解除)。

6 适宜性评价

6.1 评价内容

在盐沼修复工程实施前，应开展适宜性评价，编制适宜性评价报告。评价内容包括生态现状评估、减灾功能评估、修复适宜性评价等内容；如果该区域无红树林，则无需进行本文件 6.3 的减灾功能评估。

6.2 生态现状评估

现状评估内容及方法按照 T/CAOE 20.3 执行。

6.3 减灾功能评估

6.3.1 评估内容

红树林对风暴潮和海浪等的减弱作用。因为红树林区域存在一定的地形变化，本文件的减灾功能评估包含红树林植被和该区域的地形变化等红树林区域的综合减灾功能。

6.3.2 评估指标

波高衰减率。

6.3.3 波高衰减率

波高衰减率 (R_{wL}) 为风暴潮期间，波浪经过一定宽度的红树林植被带后，波高衰减量 (H_0-H_L) 与来波波高 H_0 的比值百分数，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：

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）。

6.3.4 评估方法

见附录 A。

6.3.5 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。对于同一浪级，波高消减率越高时，红树林的减灾效果越好，减灾功能评估等级越高。

表 2 波高衰减率对应的红树林减灾能力

波高衰减率	减灾能力等级
≥80%	优
≥60%~<80%	良
≥30%~<60%	中
<30%	差

6.4 修复适宜性评价

6.4.1 评价指标

根据修复区的生境条件和周边区域的规划与人为干扰等判定红树林生态修复适宜性。适宜性判断的指标包括但不限于表 3 的内容。

表 3 红树林生态修复适宜性判定指标

指标类型	评价指标	适宜范围	生境改造可能性
生境	温度	最冷月平均气温≥9.3℃；最冷月平均海温	不可改造

条件		$\geq 10.6^{\circ}\text{C}$	
	海水盐度	2~30	可改造, 可疏通受阻河流通道改善盐度条件
	滩涂高程	平均海平面(或稍上)与回归潮平均高高潮位之间	可改造, 应该根据具体情况分析可行性
	底质类型	淤泥、泥炭、泥沙等, 以淤泥质滩涂为宜	可改造, 应该根据具体情况分析可行性
规划与人为干扰	海岸工程建设	周边不可有影响底质类型变化的大型海岸建设	可改造, 难度大, 需要协调区域规划
	航道	周边不可有明显影响修复区的水运航道	可改造, 难度大, 需要协调区域规划

6.4.2 适宜性分析

分析修复区生境条件是否满足红树林生态修复的适宜性; 如生境条件不满足, 分析是否可通过的生境改造达到适宜程度。温度指标若不满足则为“不适宜”。

分析在修复区采取的生境改造措施和种植技术可行性, 如技术不可行则不适宜进行修复。

分析红树林生态修复是否与区域发展相关规划相吻合等, 如存在冲突则不适宜修复;

分析周边区域的土地利用、人类活动对修复地可能产生的不利影响, 及红树林生态修复项目对周边生态环境的影响分析等, 如不可调协则不宜开展修复。

6.4.3 适宜性分区划定

适应性分区包括适宜修复区、可改造修复区和不适宜修复区, 按照以下要求划定:

——不需要通过生境改造满足所有红树林修复适宜性的区域, 为适宜修复区;

——满足基本气候、水文条件, 生境改造可行, 且改造后可满足红树林修复条件的区域, 为可改造修复区;

——不满足基本气候、水文条件, 或生境改造不可行、与当地规划相冲突、环境影响大的区域, 为不适宜修复区。

7 实施方案编制

按照 T/CAOE 21.1 7.3 规定的要求执行。

8 红树林生态修复

8.1 生境改造

对于可改造修复区, 开展生境改造使生境条件满足红树林植被修复的要求。生境改造方案按照 HY/T 214-2017 中 8.1 执行。

8.2 物种选择与配置

红树林物种及搭配方式应根据恢复地的气候条件、底质类型、滩涂高程、盐度和水动力条件等确定, 以气候条件和滩涂高程为主要选种依据。

按照 LY/T 1938-2011 中的附录 A 确定所属气候带可种植的红树林物种, 也可根据恢复地所在地区或周边地区分布的红树林物种确定。

根据种植区域的滩涂高程进一步选择可种植的物种, 也可根据具有相似高程的毗邻区域的红树林分布情况确定。不同滩涂高程下物种的选择参见 LY/T 1938-2011 中的附录 C 和 DB44/T 284-2005 中 6.2.3。困难立地区域红树林修复的物种选择参见 LY/T 2972-2018 中的附录 A。

根据种植面积、种植区域和不同物种的潮间带分布特征，合理分配种植区块、确定关键坐标点、设计物种的搭配种植方式（包括单一物种种植和混交种植）。

8.3 种植

8.3.1 种植方式

红树林种植方式应结合红树林植物的繁殖体类型、项目需求和工程成本等因素确定。种植方式包括直接插植胚轴、播种胚轴（或种子）、种植容器苗或移植大苗等，宜采取直接插植胚轴和种植容器苗两种方式，具体参见 LY/T 214-2017 中 8.2.2。

8.3.2 种植时间

红树林的种植时间应根据种植方式、繁殖体成熟期和气候条件等确定按照 HY/T 214-2017 中 8.2.3 执行。

8.3.3 种植密度和宽度

种植密度可根据种植物种的形态特征和生长特性设定，具体参见 LY/T 1938-2011 中的附录。此外，种植密度和宽度还要兼顾项目需求、工程成本以及生境等具体情况而定。

8.3.4 减灾种植优化设计

8.3.4.1 优化设计要求

红树林种植需要考虑其（达到成熟期）发挥对风暴潮等海洋灾害的减灾功能，在考虑种植物种的形态特征和生长特性的基础上，进一步对种植密度和种植带宽度进行优化设计，充分发挥红树林对风暴潮等海洋灾害的减灾功能，提升红树林的海洋减灾能力。

8.3.4.2 优化设计方法

基于减灾需求的种植密度和宽度优化设计方法具体如下：

——根据当地海洋减灾需求，结合区域波浪条件，对拟开展种植区域设定适宜的预期波高衰减率，到植被生长成熟期其值宜大于 60%；

——我国常见的红树物种的种植密度和宽度可按照本文件附录 C 的规定执行；

——对于相同的预期波高衰减率，植被种植密度和种植带宽度可有多种组合可供参考，在实际的种植设计时，应从经济成本最合理的角度出发，选取合适的种植密度和种植带宽度。

8.4 管护

8.4.1 管护时间

管护期宜设定为 3 年。

8.4.2 管护措施

管护措施包括封滩育林、清理垃圾和补种等按照 HY/T 214-2017 中 10.1.3 执行。

9 监测与评估

9.1 跟踪监测与调查

9.1.1 跟踪监测

红树林修复种植后的 6 个月内宜逐月监测幼苗的成活率。

红树林修复宜至少开展 3 年的跟踪监测,跟踪监测的内容宜包含红树林植被、生物群落、环境要素和威胁因素(调查要素见本文件表 1),且宜开展春季、夏季、秋季和冬季 4 次调查,调查要素和时间可根据实际情况适当调整。

9.1.2 灾后调查

灾后调查的内容为红树林植被(见本文件表 1),其他生物群落、环境要素和威胁因素可根据实际情况选做,调查的方法见本文件 5.2。调查时间宜在风暴潮灾后 10 天内开展。

9.2 效果评估

9.2.1 减灾功能评估

按照本文件 6.2 规定的方法。

9.2.2 生态效果评估

9.2.2.1 评估指标

红树林生态状况评估从红树林植被、生物群落、环境要素 3 个方面进行评估,具体评估指标与权重赋值见表 4。

表 4 红树林生态修复效果评估指标与权重赋值

评估内容	评估指标	指标权重赋值
红树林	总面积	15
	盖度	15
	种植成活率	10
	林带宽度	10
	红树植物物种数	5
生物群落	大型底栖动物丰富度指数	5
	大型底栖动物多样性指数	5
	鸟类物种数	5
环境要素	水体盐度	10
	水体溶解氧	5
	沉积速率	10
	沉积物类型	5

9.2.2.2 选取参照系

以红树林生态修复工程建设前为评估参照系。

9.2.2.3 评估时间与频次

红树林修复的生态修复效果评估宜在红树植被稳定后开展,可在 1 年后开展评估。根据项目具体情况,可间隔 2~4 年开展 1 次效果评估。

9.2.2.4 评估方法

9.2.2.4.1 红树林植被指标赋值与计算

红树林植被评价指标、分级与赋值见表 5。红树林植被评价指标计算方法按照 T/CAOE 20.3 执行。

表 5 红树林植被评价指标、分级与赋值

序号	指标	I	II	III
1	面积变化	≥10%	>5%~≤10%	≤5%
	赋值	15	9	3
2	盖度变化	>10%	>5%~≤10%	≤5%
	赋值	15	9	3
3	种植成活率	≥75%	≥45%~<75%	<45%
	赋值	10	6	2
4	林带宽度 m	≥100	≥50~<100	<50
	赋值	10	6	2
5	红树植物物种数变化	>60%	>20%~≤40%	≤20%
	赋值	5	3	1

注1：林带宽度考虑红树林林带宽度对减灾护岸功能的影响，取林带宽度值
注2：植物物种数为乡土红树植物物种数，外来物种数不计入评估指标

9.2.2.4.2 生物群落赋值与计算

红树林群落生物评价指标、分级与赋值见表6。群落生物评价指标计算方法按照 T/CAOE 20.3 规定执行。

表6 群落生物评价指标、分级与赋值

序号	指标	I	II	III
1	大型底栖动物丰富度指数	≥2.5	≥1~<2.5	<1
	赋值	5	3	1
2	大型底栖动物多样性指数	≥2.0	≥1~<2.0	<1
	赋值	5	3	1
3	鸟类物种数	≥65	≥30~<65	<30
	赋值	5	3	1

9.2.2.4.3 环境要素赋值与计算

环境要素评价指标、分级与赋值按照 T/CAOE 20.3 规定执行。

沉积环境评价指标计算方法按照 T/CAOE 20.3 规定执行。

9.2.2.4.4 红树林生态状况综合评估

修复后红树林生态系统评价指数 (CEH_{index}) 计算方法按照 T/CAOE 20.3 规定执行。

根据 CEH_{index} 的大小，将红树林生态状况划分为三个等级：I 级，显著改善；II 级，改善；III 级，基本无变化（表 7）。

表7 生态（修复）效果评估标准

效果等级	I 显著改善	II 改善	III 基本无变化
变化率 (%)	>76	52~76	0~52

10 质量控制

按照 T/CAOE 21.1 第 8 章规定的要求执行。

11 成果与归档

按照T/CAOE 21.1第9章规定的要求执行。

附录 A
(规范性附录)
红树林减灾功能评估方法

A.1 现场观测方法

A.1.1 现场观测方法的适用性

现场观测方法适用于受灾频繁，且经济条件许可的待评估区域。在开展红树林海洋减灾功能评估的年份，应至少有一次风暴潮对评估区域造成显著影响。

A.1.2 观测数据分析及计算方法

依据现场观测的波高序列（具体见本文件 5.3），计算有效波高序列，选取其中最不利（有效波高最高）时段（时长可取为 30 分钟），将观测断面向海点、向陆点的有效波高 H_0 和 H_L 带入公式（1）（见本文件 6.3.3），计算得到波高衰减率 R_{wL} 。

A.2 经验公式法

A.2.1 经验公式方法的适用性

经验公式法适用于断面坡度较小（因该方法采用了平底假定，宜用于断面坡度小于 0.02 的情况），植被物种单一，植被参数易于概化的红树林减灾功能评估，该法也可用于快速评估红树林减灾能力。

A.2.2 经验公式方法

采用经验公式估算波高衰减率，计算公式见式（A.1）。

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

式中：

L ——所评估红树林的植被带宽度，单位为 m；

α ——波高衰减系数，单位为 m^{-1} ，依据线性波理论推导得到其理论表达式见式（A.2）。

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

式中：

C_D ——植物拖曳力系数，根据经验公式（A.3）计算；

D ——单位垂直高度的植物面积，即垂向平均植物直径，其值为 $\int_0^{h_v} \frac{D(z)dz}{h_v}$ ，单位为米（m）；

N ——单位面积植株数量，单位为株/ m^2 ；

H_0 ——风暴潮引起的植被区前海浪有效波高，单位为米（m）；

k ——植物区前端波数；

h ——从植被区测点地面起算的风暴潮位，即植被区水位，单位为米（m）；

h_v ——水面以下的植物高度，当植物高度大于水位 h 即植物出水时， $h_v = h$ ，当植物高度小于水位 h 时， h_v 为植物真实高度，单位为米（m）。

部分参数的具体含义可参考图 A.1。

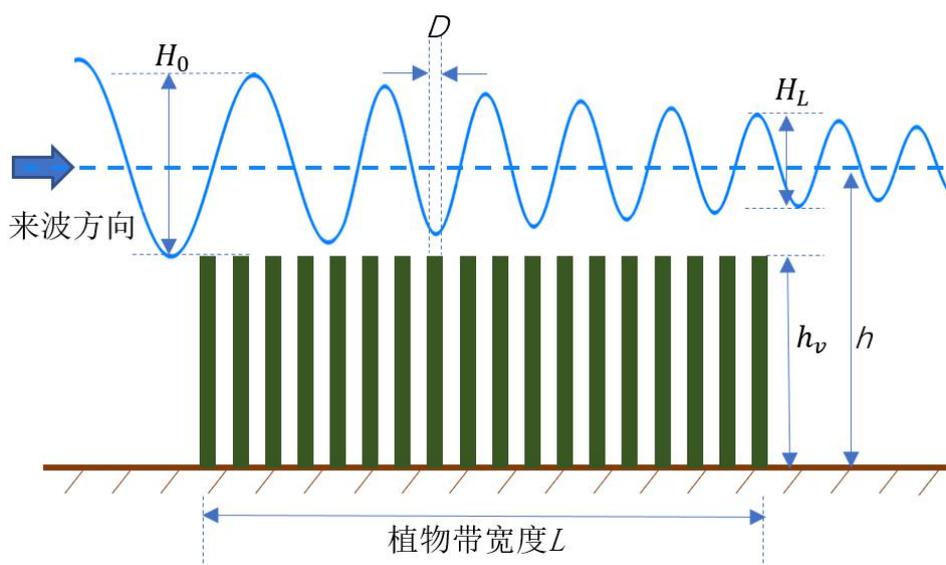


图 A.1 经验公式法中相关参数示意图

植物拖曳力系数 C_D 与植被和水动力参数相关，其值的正确选取对于准确评估红树林的波高消减率至关重要，计算公式见公式（A.3）。

$$C_D = 2 \left(\frac{\alpha_0}{Re} + \alpha_1 \right) \times \left(1 + \frac{\alpha_2}{KC} \right) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

α_0 ——经验系数，与植物体积占比 $\phi (= \pi \frac{D^2}{4} N \frac{h_v}{h})$ 有关，其取值可参考表 A.1；

α_1 ——经验系数，与植物体积占比 ϕ 有关，其取值可参考表 A.1；

α_2 ——经验系数，其取值可参考表 A.1；

Re ——雷诺数，其定义式为 $Re = \frac{|u|D}{\nu}$ ，其中 $|u|$ 为波浪作用下水质点运动的最大速度，可取最高淹

没植物高度处的流速，根据线性波理论， $|u| = \frac{\pi H_0 \cosh(k h_v)}{T \sinh(k h)}$ ， ν 为海水的运动粘性系数，其值可取为 1×10^{-6} m²/s。

KC ——定义式为 $KC = \frac{|u|T}{D}$ ，其中 T 为波浪周期。

表 A.1 拖曳力系数计算经验系数

参数名称	计算公式或取值范围
α_0	$\alpha_0 = \begin{cases} 25 \pm 12 & (\phi = 0.091) \\ 84 \pm 14 & (\phi = 0.15) \\ 83.8 & (0.15 \leq \phi \leq 0.35) \end{cases}$
α_1	$\alpha_1 = (0.46 \pm 0.11) + (3.8 \pm 0.5)\phi$
α_2	$\alpha_2 = 5.5 \sim 9.5$

A.3 物理模型试验方法

A.3.1 物理模型试验法的适用性

区域海洋灾害频率较低（评估年份内未发生影响待评估区域的风暴潮）或观测条件限制等导致无法进行现场观测的情况下，可采用物理模型试验方法。与经验公式法相比，物理模型试验法的优势在于可以评估具有物种多样，形态复杂，分布不均等复杂特征的红树林海洋减灾效果。

A.3.2 技术方法

A.3.2.1 模型植物选取

物理模型需要选取模型植物，可根据湿地植被的主杆、枝叶及冠层等结构特征，按照长度相似准则确定模型植物尺寸，长度相似比尺 λ_L 如式（A.4）所示。在进行红树林海洋减灾功能评估时可采用植物高度作为长度比尺计算依据，长度比尺 λ_L 的取值不宜大于 20。

$$\lambda_L = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

L_p ——原型的特征长度，单位为米（m）；

L_m ——模型的特征长度，单位为米（m）。

A.3.2.2 模型植物布置

根据实际湿地植被分布特征（规则矩形、正三角形、梅花形及随机分布形式）布置模型植物。模型植物布置密度 N_m 和植被带宽度 L_m 可根据长度相似比尺分别按照式（A.5）和式（A.6）计算， N_p 和 N_m 分别为原型和模型的特征密度， L_p 和 L_m 分别为原型和模型植被带的特征宽度。

$$N_m = N_p \lambda_L^2 \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

N_p 原型的特征密度；

N_m 模型的特征密度。

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

式中：

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）。

A.3.2.3 水位和波浪条件

根据待评估区域近岸潮汐及波浪特征，模型水动力参数中波高和水位可采用长度比尺推求，计算公式如式（A.7）和式（A.8）所示。模型试验与原型参数还应符合重力相似准则，即原型弗洛德数 Fr_p

与模型弗洛德数 Fr_m 相等，即 $\frac{v_p}{\sqrt{gh_p}} = \frac{v_m}{\sqrt{gh_m}}$ ，根据长度比尺及重力相似准则，可知原型与模型速度比尺为

$\frac{v_p}{v_m} = \sqrt{\frac{h_p}{h_m}} = \sqrt{\lambda_L}$ 。于是，模型设置波浪周期与真实海况周期的关系应符合式（A.9）所示。

$$H_{0m} = \frac{H_{0p}}{\lambda_L} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

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）。

$$\eta_m = \frac{\eta_p}{\lambda_L} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

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）。

$$T_m = \frac{T_p}{\sqrt{\lambda_L}} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

T_p ——原型水动力参数的特征有效波周期，单位为秒（s）；

T_m ——模型水动力参数的特征有效波周期，单位为秒（s）。

A.3.2.4 水槽及测量仪器布置

物理模型试验的水槽首端应布设具备主动吸波功能的造波设备。模型植被布置在水槽中部，与造波设备相隔一定距离。在植物区后，经过一段距离后设置消波设备。实验室通常采用数字波高仪测量波浪在植物区的传播衰减，可将波高仪布置在植物区及其前后，波高仪测点宜不少于3个（植物带的前边缘、中间、后边缘各一个），布置位置可参照图A.2。在波高仪数量有限时，可将一支波高仪固定在植物区前端，将另一支波高仪安装在滑动装置上沿水槽滑动测量植物区波高沿程变化。

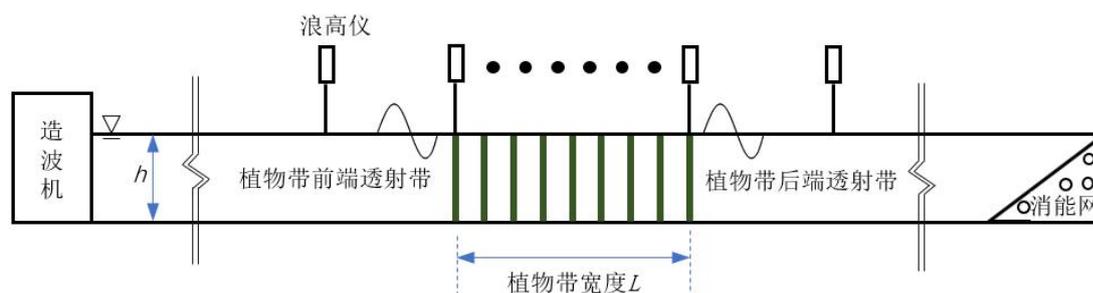


图 A.2 模型试验布置示意图

A.3.3 试验数据分析及计算

利用模型试验得到的数据，将试验工况的水位、波高、周期等水动力参数及植被带宽度、密度、植被高度等植被参数以公式（A.4）～公式（A.9）计算相应的参数，并将待评估原型红树林减灾植被区前后的波高 $H_0=H_{0p}$ 和 $H_L=H_{Lp}$ 带入到公式（1），即可计算得到波高衰减率 R_{wL} 。

A.4 数值模拟方法

A.4.1 数值模拟法的适用性

在区域海洋灾害频率较低（评估年份内未发生影响待评估区域的风暴潮）或经济技术条件不允许采用现场观测方法时，若掌握了区域下垫面、植被参数、水动力条件，且有成熟的数值模拟技术条件时，可采用此法评价红树林减灾功能。

A.4.2 数值模型

现有的植物与波浪相互作用的数值模型主要有两类，一类是在海浪模型（例如 SWAN（Simulating WAves Nearshore）模型）中直接增加一项植物作用力项来表征植物作用，并对模型在红树林区域的相关参数进行修正；另一类是使用专门的红树林中的波流运动模型，这一类模型也有不同的处理方法，如

将植物区视为多孔介质进行空间平均推导得到的植物区波流运动流体控制方程；第三类是统计模型，主要依据红树林植被参数（如植株高度、密度、盖度等）与海浪相互作用的定量关系。具体的数值模拟可根据实际需求和计算能力等条件选择合适的数值模型。

本导则给出多孔介质波流运动流体控制方程的计算方法，具体如下：

该模型将植被区植株视为多孔介质，对 N-S 方程进行空间平均推导得到，模型控制方程如式 (A.10) 和式 (A.11)。该模型能够较好的模拟波浪在植被区传播衰减的过程。

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle P \rangle}{\partial x_i} + g_i + \nu \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial^2 \langle u_i' u_j' \rangle}{\partial x_j} - \langle f_i \rangle \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：

$\langle u_i \rangle$ ——i（二维问题中 i=1,2；三维问题中 i=1,2,3）方向的空间平均速度；

$\langle P \rangle$ ——空间平均压力；

ρ ——流体密度；

g_i ——i 方向的重力加速度；

ν ——流体运动粘度；

$\langle u_i' u_j' \rangle$ ——空间平均雷诺应力，可采用 k-e 流模型求解；

$\langle f_i \rangle$ ——空间平均植物作用力。

植被区作用力 $\langle f_i \rangle$ 可概化为拖曳力项和惯性力项，对于单根圆柱可分别采用式 (A.12) 和式 (A.13) 计算其对水体作用的拖曳力和惯性力。

$$f_D = \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

$$f_I = \rho C_m \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

式中：

f_D ——拖曳力；

f_I ——惯性力；

C_D ——拖曳力系数（可根据不同红树植物种类的具体特征进行确定）；

C_m ——惯性力系数（可根据不同红树植物种类的具体特征进行确定）；

ρ ——流体的密度，单位为 kg/m^3 ；

D ——垂向平均植物直径（具体计算见下面说明），单位为 m；

u ——水流速度，单位为 m/s。

A.4.3 数值模拟结果分析及计算

采用数值模拟方法评估减灾功能时，应采用真实尺度进行模拟计算，并将模拟得到的待评估红树林植被区前后的波高 H_0 和 H_L 以及评估断面植被带宽度 $L=L_v$ 带入到公式 (1)（见本文件 6.3.3），即可计算得到波高衰减率 R_{wL} 。

A.5 评估方法的选取

评估方法的选取，应结合区域的现场条件、经济条件、技术设备以及实验条件综合考虑。在条件允许时，应优先考虑现场观测法直接测量计算风暴潮期间红树林的波高消减率。当条件有限，如近些年没有风暴潮影响评估区域，无法进行风暴潮灾害期间的现场观测式，可采用其他 3 种方法；如物理模型实验条件允许，可采用物理模型进行评估，要确保原型植被参数与海洋水动力参数真实可靠，并按照 6.5.3

中提出的相似准则建立物理模型；如果实验条件有限，可采用经验公式法评估，应保证公式中所用的各个参数真实的反应湿地植被特征及近岸海洋动力特征；当采用数值模拟方法评估时，应注意选取可靠的数值模型、确保植物作用合理准确的参数化。如果条件有限，以上方法都无法使用时，可查阅附录 B 中参考表数据获得所需的波高衰减率。

附录 B
(资料性附录)
红树林波高衰减率参考表

我国红树植物种类较多,不同物种植物形态特征差异明显,同一物种在不同生长环境下及不同树龄期也有较大差异。总体上看,中国红树林大部分为小乔木或灌木,株高通常在 5m 以下,冠幅在 2m~10m,地径 6cm~30cm,胸径 4cm~20cm。经实地调查及资料收集得到红树林植被密度随物种和分布区域变化幅度较大,从不到 10 株/100m² 至超过 300 株/100m²。视物种差异,红树林具有多种形式的根系,有板状根、气生根、支柱根、指状呼吸根、膝状根等。

本文件选取几类最为常见的红树林,包括本地品种红海榄 (*Rhizophora stylosa*)、白骨壤 (*Avicennia marina*)、木榄 (*Bruguiera gymnorrhiza*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、秋茄 (*Kandelia obovata*),以及常用的引进物种无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*)、拉关木 (*Laguncularia racemosa*)。其中,无瓣海桑、秋茄、木榄和红海榄为乔木代表,拉关木、桐花树和白骨壤为灌木代表。

本文件采用经验公式法计算了 4 种波高 (0.5m、1.25m、2.5m 和 4m)、6 种水位 (1m~6m)、1 种周期 (4s) 工况下,几种代表红树植物各选取成熟期树高和直径 1 种、种植密度两种、植被带宽度 4 种 (50m、100m、200m 和 400m) 对应的波高衰减率,计算过程中需要的红树植被资料见本文件 5。在组合多种参数时考虑其真实性 (如波高为 1m 时,对应的水位不应小于 2m),波高衰减率计算结果如表 B.1 至表 B.6 所示。

表 B.1 红树林 (秋茄) 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			
		种植带宽度 (m)				种植带宽度 (m)			
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潮位。

表 B. 2 红树林（木榄）在不同组合条件下的波高衰减率参考表

		红树类型：乔木 株高：3.5m				物种：木榄 树径：10cm			
海况		植株密度：75 株/100m ²				植株密度：50 株/100m ²			
		种植带宽度 (m)				种植带宽度 (m)			
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%
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潮位。

表 B. 3 红树林（红海榄）在不同组合条件下的波高衰减率参考表

		红树类型：乔木 株高：4m				物种：红海榄 树径：20cm			
海况		植株密度：50 株/100m ²				植株密度：25 株/100m ²			
		种植带宽度 (m)				种植带宽度 (m)			
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潮位。

表 B.4 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			
		种植带宽度 (m)				种植带宽度 (m)			
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潮位。

表 B.5 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)			
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%
	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%
	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潮位。

表 B.6 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			
		种植带宽度 (m)				种植带宽度 (m)			
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%
	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潮位。									

附录 C
(资料性附录)
基于减灾的植被优化种植设计

C.1 预期波高衰减率设定

根据当地海洋减灾需求,结合区域波浪条件,对拟开展植被种植的红树林区域设定适宜的预期波高衰减率,到植被生长成熟期其值宜大于 60%。

C.2 植被种植带宽度与种植密度的优化计算

为达到预期波高衰减率,应根据所选植被成熟期的生长参数计算不同海况下所需种植的植被密度和种植带宽度,本文件中给出经验公式法(见 C.2.1)和参考表(见 C.2.2)。有计算条件的情况下,可使用经验公式进行计算;无计算条件的情况下,可查阅参考表(表 C.1~表 C.6),找到相应的参考值。

C.2.1 经验公式

种植带宽度应根据预期波高衰减率和种植密度值,按公式(C.1)计算,种植密度应根据预期波高衰减率和种植带宽度值,并按公式(C.2)计算。经验公式中涉及的植被参数应在本文件 5.1 和 5.2 节中予以确定。

$$L = \frac{9\pi}{4} \frac{R_L}{C_D D H_0 N k (1-R_L)} \frac{(\sinh 2kh + 2kh) \sinh kh}{\sinh^3 kh_v + 3 \sinh kh_v} \dots\dots\dots (C.1)$$

$$N = \frac{9\pi}{4} \frac{R_L}{C_D D H_0 L k (1-R_L)} \frac{(\sinh 2kh + 2kh) \sinh kh}{\sinh^3 kh_v + 3 \sinh kh_v} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

L ——种植带宽度,单位为米(m);

R_L ——预期波高衰减率;

C_D ——植物拖曳力系数,可根据经验公式(A.3)计算;

N ——单位面积上的植株数量,单位为株/m²;

H_0 ——历史风暴潮或假想风暴潮引起的植被区前海浪波高,单位为米(m);

D ——单位垂直高度的植物面积,即垂向平均植物直径,其值为 $\int_0^{h_v} \frac{D(z)dz}{h_v}$,单位为米(m);

k ——种植区前端波数;

h_v ——植物淹水高度,单位为米(m);

h ——从植被区测点地面起算的风暴潮位,单位为米(m)。

C.2.2 基于海洋减灾的红树林种植密度和种植带宽度参考表

针对我国常见的 7 种红树林植物:包括本地物种红海榄、白骨壤、木榄、秋茄、桐花树,以及常用的红树林修复引进物种无瓣海桑、拉关木,经实地调查及资料收集得到几种红树林植物的预期成熟植被参数。采用经验公式法计算 2 种预期波高衰减率(60%、80%),4 种波高(0.5m、1.25m、2.5m 和 4m),6 种水位(1m~6m),1 种周期(4s)作为海况条件,7 种红树各选取树高和直径 1 种,种植密度 4 种,运用式(1)计算各组条件和条件对应的种植带宽度见表 C.1~表 C.6 所示。在一些计算工况下,种植带的宽度达上千米,若在实际中不可取的,可根据实际种植情况,降低减灾功能要求,选取合适的种植宽度。

表 C.1 预期波高衰减率对应的红树林(秋茄)种植密度和宽度参考表

秋茄，成林树高 4m，树径 15cm						
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)			
			80	60	40	20
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)			
0.5	1	60%	150	200	300	650
		80%	400	550	850	1700
	2	60%	300	400	600	1200
		80%	750	1000	1500	3200
	3	60%	400	550	800	1700
		80%	1000	1400	2200	4400
	4	60%	500	650	1000	2100
		80%	1300	1800	2700	5600
	5	60%	1100	1500	2300	4700
		80%	2900	4000	6100	12400
	6	60%	2300	3100	4800	9700
		80%	6200	8400	13000	26000
1.25	2	60%	150	200	250	550
		80%	350	450	750	1500
	3	60%	200	250	400	800
		80%	500	700	1000	2100
	4	60%	250	300	500	1000
		80%	650	850	1300	2700
	5	60%	550	750	1100	2300
		80%	1400	2000	3000	6100
	6	60%	1100	1600	2400	4800
		80%	3100	4200	6300	13000
2.5	3	60%	100	150	200	450
		80%	250	350	550	1200
	4	60%	150	150	250	550
		80%	350	450	700	1500
	5	60%	300	400	600	1300
		80%	800	1100	1600	3300
	6	60%	650	850	1300	2600
		80%	1700	2300	3400	7000
4	5	60%	200	250	400	800
		80%	500	700	1100	2200
	6	60%	400	550	850	1700
		80%	1100	1500	2200	4500

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

表 C.2 预期波高衰减率对应的红树林（木榄）种植密度和宽度参考表

木榄，成林树高 3.5m，树径 10cm							
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)				
			80	60	40	20	
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)				
0.5	1	60%	250	350	500	1000	
		80%	650	900	1400	2800	
	2	60%	500	650	950	2000	
		80%	1300	1700	2600	5200	
	3	60%	700	900	1400	2800	
		80%	1800	2400	3700	7500	
	4	60%	1200	1600	2400	4900	
		80%	3200	4300	6500	13000	
	5	60%	2600	3500	5300	11000	
		80%	7000	9400	14200	29000	
	6	60%	5400	7300	11000	22000	
		80%	14000	19000	29000	59000	
1.25	2	60%	200	300	450	900	
		80%	550	750	1200	2400	
	3	60%	300	400	650	1300	
		80%	850	1100	1700	3400	
	4	60%	550	750	1100	2300	
		80%	1500	2000	3000	6100	
	5	60%	1200	1600	2500	5000	
		80%	3300	4400	6600	13400	
	6	60%	2500	3400	5200	10400	
		80%	6800	9100	13800	27600	
	2.5	3	60%	150	200	350	650
			80%	450	600	900	1800
4		60%	300	400	600	1200	
		80%	800	1000	1600	3200	
5		60%	650	850	1300	2700	
		80%	1700	2300	3500	7100	
6		60%	1300	1800	2700	5500	
		80%	3600	4800	7300	14600	
4		5	60%	400	550	850	1700
			80%	1100	1500	2200	4500
	6	60%	850	1200	1700	3500	
		80%	2300	3100	4700	9400	

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

表 C.3 预期波高衰减率对应的红树林（红海榄）种植密度和宽度参考表

红海榄，成林树高 4m，树径 20cm						
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)			
			80	60	40	20
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)			
0.5	1	60%	100	150	200	450
		80%	250	350	550	1200
	2	60%	200	250	400	800
		80%	450	650	1000	2100
	3	60%	250	350	550	1100
		80%	650	900	1400	3000
	4	60%	300	450	650	1400
		80%	800	1100	1800	3700
	5	60%	700	950	1500	3100
		80%	1900	2600	4000	8300
	6	60%	1500	2000	3200	6500
		80%	4000	5500	8400	17200
1.25	2	60%	90	100	200	400
		80%	250	300	500	1100
	3	60%	100	150	250	550
		80%	350	450	700	1500
	4	60%	150	200	350	700
		80%	400	600	900	1900
	5	60%	350	500	800	1600
		80%	950	1300	2100	4300
	6	60%	800	1100	1600	3400
		80%	2100	2800	4400	9100
2.5	3	60%	70	90	150	300
		80%	200	250	400	850
	4	60%	90	100	200	400
		80%	250	300	500	1100
	5	60%	200	300	450	900
		80%	550	750	1200	2400
	6	60%	450	600	900	1900
		80%	1200	1600	2400	5000
4	5	60%	150	200	300	600
		80%	350	500	750	1600
	6	60%	300	400	600	1200
		80%	750	1000	1600	3300

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

表 C.4 预期波高衰减率对应的红树林（桐花树）种植密度和宽度参考表

桐花树，成林树高 2.5m，树径 10cm							
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)				
			200	100	75	25	
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)				
0.5	1	60%	90	200	250	850	
		80%	250	550	700	2200	
	2	60%	200	400	500	1600	
		80%	500	1000	1400	4200	
	3	60%	350	750	1000	3200	
		80%	1000	2100	2800	8500	
	4	60%	900	1800	2500	7500	
		80%	2400	4900	6500	20000	
	5	60%	1900	3900	5200	16000	
		80%	5000	10000	14000	42000	
	6	60%	3800	7800	10000	32000	
		80%	10000	21000	28000	85000	
1.25	2	60%	80	150	250	700	
		80%	200	450	600	1900	
	3	60%	150	350	450	1500	
		80%	450	950	1300	3900	
	4	60%	400	850	1100	3500	
		80%	1100	2300	3000	9300	
	5	60%	900	1800	2400	7400	
		80%	2300	4800	6400	19600	
	6	60%	1800	3700	4900	14800	
		80%	4800	9700	13000	39600	
	2.5	3	60%	90	200	250	750
			80%	250	500	650	2000
4		60%	200	450	600	1800	
		80%	550	1200	1600	4900	
5		60%	450	950	1300	3900	
		80%	1200	2500	3400	10400	
6		60%	950	1900	2600	7900	
		80%	2500	5200	6900	21000	
4		5	60%	300	600	800	2500
			80%	800	1600	2200	6600
	6	60%	600	1200	1700	5000	
		80%	1600	3300	4400	13400	

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

表 C.5 预期波高衰减率对应的红树林（白骨壤）种植密度和宽度参考表

白骨壤，成林树高 2m，树径 20cm							
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)				
			80	60	50	40	
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)				
0.5	1	60%	100	150	200	450	
		80%	250	350	550	1200	
	2	60%	200	250	400	800	
		80%	450	650	1000	2100	
	3	60%	550	750	1100	2300	
		80%	1400	1900	3000	6200	
	4	60%	1200	1700	2600	5300	
		80%	3300	4500	6900	14000	
	5	60%	2600	3500	5300	10800	
		80%	6900	9300	14200	29000	
	6	60%	5200	7000	10600	21600	
		80%	14000	19000	28000	57000	
	1.25	2	60%	90	100	200	400
			80%	250	300	500	1100
3		60%	250	350	550	1200	
		80%	700	1000	1500	3100	
4		60%	650	850	1300	2700	
		80%	1700	2300	3500	7200	
5		60%	1300	1800	2800	5600	
		80%	3600	4800	7400	15000	
6		60%	2700	3600	5600	11200	
		80%	7200	9700	14800	30000	
2.5	3	60%	150	200	300	650	
		80%	400	550	850	1700	
	4	60%	350	500	750	1500	
		80%	950	1300	1900	4000	
	5	60%	750	1000	1500	3100	
		80%	2000	2700	4100	8400	
	6	60%	1500	2000	3100	6300	
		80%	4000	5400	8300	16800	
4	5	60%	500	650	1000	2000	
		80%	1300	1800	2700	5400	
	6	60%	1000	1300	2000	4100	
		80%	2600	3500	5400	11000	

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

表 C.6 预期波高衰减率对应的红树林（无瓣海桑）种植密度和宽度参考表

无瓣海桑，成林树高 10m，树径 30cm						
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)			
			80	60	40	20
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)			
0.5	1	60%	50	70	100	250
		80%	150	200	300	650
	2	60%	90	100	200	450
		80%	250	350	550	1200
	3	60%	100	150	300	600
		80%	300	450	750	1600
	4	60%	150	200	350	750
		80%	400	550	900	2000
	5	60%	150	250	400	850
		80%	450	650	1100	2300
	6	60%	200	250	450	950
		80%	500	700	1200	2500
1.25	2	60%	50	70	100	250
		80%	100	150	300	600
	3	60%	60	90	150	350
		80%	150	250	400	900
	4	60%	80	100	200	400
		80%	200	300	500	1100
	5	60%	90	150	200	500
		80%	250	350	600	1300
	6	60%	100	150	250	550
		80%	300	400	650	1400
2.5	3	60%	40	50	90	200
		80%	100	150	250	500
	4	60%	50	70	100	250
		80%	100	200	300	650
	5	60%	50	80	150	300
		80%	150	200	350	750
	6	60%	60	90	150	300
		80%	150	250	400	850
4	5	60%	40	50	80	200
		80%	100	150	250	500
	6	60%	40	60	90	200
		80%	100	150	250	550

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

表 C.7 预期波高衰减率对应的红树林（拉关木）种植密度和宽度参考表

拉关木，成林树高 3.5m，平均每株由 30 枝直径 4cm 的分枝簇生而成							
波高、水位及衰减率			种植密度 (株/100m ²)				
			80	60	40	20	
波高 (m)	水位 (m)	波高衰减率	种植宽度 (m)				
0.5	1	60%	20	30	40	90	
		80%	50	70	100	250	
	2	60%	40	50	80	200	
		80%	100	150	200	450	
	3	60%	60	80	100	250	
		80%	150	200	300	700	
	4	60%	100	150	200	450	
		80%	250	350	600	1200	
	5	60%	250	300	500	1000	
		80%	600	850	1300	2700	
	6	60%	500	650	1000	2100	
		80%	1300	1800	2700	5600	
1.25	2	60%	20	20	40	70	
		80%	40	60	90	200	
	3	60%	20	30	50	100	
		80%	60	90	150	300	
	4	60%	40	60	90	200	
		80%	100	150	250	500	
	5	60%	100	150	200	450	
		80%	250	350	550	1200	
	6	60%	200	300	450	900	
		80%	550	750	1200	2400	
	2.5	3	60%	10	20	30	60
			80%	30	40	70	150
4		60%	20	30	50	100	
		80%	60	80	150	250	
5		60%	50	70	100	200	
		80%	150	200	300	600	
6		60%	100	150	200	450	
		80%	300	400	600	1200	
4		5	60%	30	40	70	150
			80%	80	100	200	350
	6	60%	70	90	150	300	
		80%	200	250	400	800	

注：表中水位值指从植被区地面起算的水位高度。

