

DB4403

深 圳 市 地 方 标 准

DB4403/T XXX—XXXX

红树林碳储量碳汇核算指南

Guideline on Mangrove carbon accounting

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 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 核算原则	2
5 调查	3
6 红树林碳计量	5
7 红树林活动碳汇计量	8
附录 A（资料性） 红树林碳储量调查与分析记录表	9
附录 B（资料性） 林木生物质碳储量生物量的计算方法	11
附录 C（资料性） 抽样设计方法	13
参考文献	15

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。

本文件由深圳市规划和自然资源局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市规划和自然资源局、深圳市自然资源和不动产评估发展研究中心、深圳市绿创人居环境促进中心、广东省环境科学研究院、深圳巨湾科技有限公司、深圳排放权交易所、深圳海洋资源交易有限公司。

本文件主要起草人：苗晶、王欢欢、张晖、李鹏、唐琳、夏雷、何鸿、程国明、马莹、林梦笑、陈登、许鹏程、赵秋月、熊一颖、张明、樊哲翾、杨微石、项前、齐爽、杨斌彬、钟如仕、王晓静、张修玉、谢紫霞、郑子琪、曾国炜、谢婧、曹玥、刘洋、吴思玥、林义益、李运国。

红树林碳储量碳汇核算指南

1 范围

本标准规定了红树林碳计量的核算原则、调查方法、红树林碳计量和红树林活动碳计量。
本标准适用于红树林碳计量工作。

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 12763.8 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查

HY/T 081 红树林生态监测技术规程

T/CAOE 20.2 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第2部分：海岸带生态系统遥感识别与现状核查

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

红树林 mangroves

在热带和亚热带潮间带，以红树植物为主体的各种耐盐的乔木和灌木组成的潮滩湿地木本生物群落。

[来源：HY/T 0349—2022，3.2]

3.2

碳库 carbon pool

碳的储存库。

注：通常包括地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤有机质碳库。其单位为质量单位。此外，木质林产品也可以视作是一个碳库。

[来源：LY/T 2252—2014，3.2，有修改]

3.3

地上生物量 above-ground biomass

土壤层以上以干重表示的植被所有活体的生物量。

注：包括干、桩、枝、皮、种子、花、果和叶及草本植物。

[来源：LY/T 3253—2021，2.2.17，有修改]

3.4

地下生物量 below-ground biomass

所有活根生物量。

注：通常不包括难以从土壤有机成分或枯落物中区分出来的细根（直径 $\leq 2.0\text{mm}$ ）。

[来源：LY/T 3253—2021，2.2.18，有修改]

3.5

枯落物 litter

土壤层以上，直径小于 5.0cm，处于不同分解状态的所有死的植物体。

注：包括凋落物、腐殖质以及死根。

[来源：LY/T 2988—2018，3.6，有修改]

3.6

枯死木 deadwood

除枯落物以外，所有死的林木生物质。

[来源：GB/T 41198—2021，3.11，有修改]

3.7

土壤有机碳 soil organic carbon

一定深度内（通常为 1.0m）矿质土和有机土（包括泥炭土）中的有机碳。

注：包括难以从地下生物量中区分出来的细根（小于2mm）。

[来源：LY/T 3253-2021，2.2.24，有修改]

3.8

活动碳汇 anthropogenic carbon sink

生态系统内生物受人为干预影响额外从外界吸收、储存二氧化碳的过程、活动和机制。

注：生态系统内生物，本文件特指海洋生态系统内浮游植物、底栖植物、贝类、螺类、甲壳动物、红树植物、盐沼植物等生物。

[来源：DB4403/T 401—2023，3.2]

3.9

沉积物碳库 carbon bankin mangrove sediment

来源于根系分泌物、生物碎屑、微生物、底栖藻类等含碳物质，是复杂多样的生物地球化学循环过程中产生的中间态和终结态产物，是红树林湿地中的生物累积沉淀子系统。

3.10

凋落物 litter

蓝碳生态系统中脱落或死亡的叶片、茎、花、果实和繁殖体等。

4 核算原则

4.1 完整性

碳计量中应涵盖所有碳库。

4.2 一致性

碳计量中监测样地、监测参数应与相关国家法律法规和国家、行业标准以及联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）保持一致。

4.3 准确性

核算应尽可能减少偏差和不确定性。

4.4 保守性

使用保守的假定与数值，以确保不高估碳汇量。

4.5 针对性

充分考虑区域和尺度差异，应结合本地实际和地域特色，适当优化评估方法，体现当地自然资源禀赋。

5 调查

5.1 调查范围

应根据调查目的和调查对象确定调查范围。红树林分布范围宜通过地图、海图、地形图、航空或卫星遥感影像以及文献、历史调查资料确定。对于缺乏资料的调查对象，应在实地踏勘和预调查的基础上确定边界。调查边界应精确绘制并标明经纬度。边界一旦确定，应避免轻易改变；改变不可避免时，应当详细记录。

5.2 确定核算期和核算边界

5.2.1 核算期

5.2.1.1 选择合适的连续的时间区间，该时间区间内红树林碳汇的信息数据均可被核查。

5.2.1.2 核算范围内所有碳汇子项的核算保持一致。

5.2.2 核算边界

5.2.2.1 红树林碳汇总碳汇核算边界

深圳市（含深汕特别合作区）行政区域内拟进行红树林碳汇量核算的地理范围，既包括自然生长活动的红树林碳汇，也包括人为干预活动的红树林碳汇。

5.2.2.2 红树林碳汇活动碳汇核算边界

拥有海域使用权或被授予经营权的企事业单位或社会团体实施人为干预活动并形成红树林碳汇增汇的地理范围。

5.2.2.3 明确红树林碳汇核算边界

按上述描述明确拟核查红树林碳汇的核算边界。

5.3 分层

5.3.1 碳层划分

描述所选方法学中按照预分层的程序进行分层的结果。为提高碳储量变化量计算的精度，并在一定精度要求下精简监测样地数量，应按照不同的分层因子将项目边界内的地块划分为不同的层次，包括项目设计阶段的碳层划分和项目实施阶段的碳层划分。

5.3.2 项目设计阶段碳层划分

项目设计阶段划分的碳层用于预估碳储量变化量，在项目区域内红树林群落特征或地形地貌差异明显时，需按照异质性情况进行项目碳层划分。参考划定为同一碳层的红树林应符合以下条件：

——主要植被种类及群落特征一致；

——地形地貌一致；

——其他可能影响红树林碳储量的因素（如种植时间、种植密度等因素）一致。

5.3.3 项目实施阶段碳层划分

项目实施阶段划分的碳层用于计算碳储量变化量，主要基于项目设计阶段碳层的划分，结合红树林种植活动的实际情况进行调整确定。若存在自然因素（如病虫害、台风风暴潮、寒潮等）或人为干扰（如砍伐等）引起植物死亡，导致原有碳层的异质性增加，或因海域使用或土地利用类型发生变化造成碳层边界发生变化，须对项目碳层进行调整。

5.4 调查内容

红树林碳储量调查内容见表1，详见附录A。

表 1 红树林碳储量调查内容

调查内容	调查要素	调查方式
红树植被	分布和面积、物种、数量、株高、胸径（或基径 ^a ）	面积要素采用遥感调查或实地踏勘，其他要素采用现场调查
沉积物碳密度	沉积物粒度、沉积物总有机碳、容重	现场调查、室内分析
凋落物碳密度	凋落物碳密度	现场调查、室内分析
^a 个别红树种类可测量基径来进行后续的计算。		

5.5 调查方式

5.5.1 红树植被调查

5.5.1.1 分布和面积

项目范围内各类红树植被分布、覆盖面积要素通过遥感识别与现场核查方法获取，遥感识别、现状核查技术方法按照 T/CAOE 20.2 中相关规定执行。

5.5.1.2 群落特征

红树植被其他调查要素采用现场调查，在永久固定样地中，调查样地或样方内所有红树植物的物种、数量、株高、胸径（或基径），相关参数调查按 HY/T 081 规定执行。

5.5.1.3 一般要求

红树林碳储量调查的一般要求为：

- 应满足调查目的及准确度的要求；
- 应覆盖所有调查分区，并反映各分区的生态特征；
- 优先选择干扰少的位置布设；
- 地上生物量、地下生物量样方应一致；
- 尽量减小对红树林的干扰和破坏；
- 应满足作业的要求。

5.5.1.4 布设方法

每个分区结合离岸距离和林带宽度设置调查站位，站位应能代表所在分区的红树群落类型。

5.5.1.5 站位数量

每个分区应设置 3 个站位。

5.5.1.6 样方大小

红树林碳储量调查样方大小确定方法应遵循以下要求：

- 每个调查站位设置 1 个 10 m×10 m 的永久固定红树林植被样方，各样方红树植被密度和生长情况应尽量相似，样方内植株密度不宜过密或过疏，具体植株数可参考 HY/T 081 中 5.4.1.3 的规定；
- 若站位所在区域的红树群落以灌木为主或植株密度过高，可改为 5 m×5 m 的固定样方；
- 植株密度实在过高且难以穿行的，可在 10 m×10 m 的样方内的 4 个角各设置 1 个 2 m×2 m 的样方。

5.5.2 沉积物碳密度

5.5.2.1 沉积物碳密度调查

使用螺旋形土钻采样器在每个植被调查样方内采集沉积物柱状样，采样深度为 0—100 cm，采集后 0—50 cm 样品按照 10 cm 为单位进行分层，50—100 cm 样品单独为一层，共分 6 层，分别装入样品袋中，做好标记。分别测量每层样品的干重、体积和有机碳含量。具体计算方法如下：

- a) 沉积物样品保存、运输和总有机碳测定方法按 GB/T 12763.8 规定执行；

b) 使用“重量法”，计算每层样品的容重。计算公式见（1）。

$$W_n = M_n/V_n \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

W_n ——第 n 层沉积物样品容重，单位：g/cm³；

M_n ——第 n 层样品干重，单位：g；

V_n ——第 n 层样品原始体积，单位：cm³。

5.5.2.2 沉积物碳密度评估

沉积物碳密度计算过程如下：

a) 样方内每层沉积物样品的碳密度（单位：gC/cm²）。计算见公式（2）；

$$C_n = C_{vn} \times d \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

C_n ——第 n 层沉积物样品的碳密度，单位 gC/cm²；

C_{vn} ——第 n 层沉积物样品的单位体积碳含量，单位：gC/cm³；

d ——样品间隔的厚度，单位：cm。

b) 将每个样方所采柱状样的 6 层沉积物样品的碳密度相加，即得到样方内整个柱状样的碳密度计算公式见（3）。

$$C_Z = \sum_1^n C_n \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

C_Z ——整个柱状样的碳密度，单位：gC/cm²；

C_n ——第 n 层沉积物样品的碳密度，单位：gC/cm²。

5.5.3 凋落物碳密度

5.5.3.1 凋落物碳密度调查

在每个固定样地内设置 1 个 50 cm×50 cm 的小样方，收集小样方内所有的凋落物（死的叶片、花、果实、种子和树皮碎片），称量其干重（生物量）。

5.5.3.2 凋落物碳密度评估

凋落物碳密度计算过程如下：

a) 按 0.45 的转换系数换算成碳含量，即为凋落物碳含量。计算见公式（4）；

$$C_{lp} = B_{lp} \times 0.45 \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中：

C_{lp} ——样方内凋落物碳含量，单位：kgC；

B_{lp} ——样方内凋落物干重，单位：kg。

b) 按相同办法计算所有样方中凋落物碳含量。计算见公式（5）。

$$C_1 = C_{1p} / S_1 \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中：

C_1 ——单位面积凋落物碳密度，单位：kgC/m²；

C_{1p} ——小样方内凋落物碳含量，单位：kgC；

S_1 ——小样方的面积，单位：m²。

6 红树林碳计量

6.1 红树林碳储量核算

6.1.1 总碳储量

红树林的总碳储量是检测区域内各碳库的碳储量之和。计算见公式（6）。

$$C_{总} = C_{林木} + C_{灌木} + C_{藤本} + C_{枯死木} + C_{凋落物} + C_{沉积物} \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中：

- $C_{总}$ ——红树林总的碳储量；
- $C_{林木}$ ——林木生物质碳储量；
- $C_{灌木}$ ——灌木生物质碳储量；
- $C_{藤本}$ ——藤本生物质碳储量；
- $C_{枯死木}$ ——枯死木生物质碳储量；
- $C_{凋落物}$ ——凋落物碳储量；
- $C_{沉积物}$ ——沉积物碳储量。

6.1.2 林木生物质碳储量

红树林林木生物质碳储量计算方法为利用林木生物量含碳率将林木生物量转化为碳含量，再利用 CO_2 与 C 的分子量比 $\frac{44}{12}$ 将碳含量 (tC) 转换为二氧化碳当量 (tCO₂-e)。计算见公式 (7)。

$$C_{TREE_BSL,i} = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1} (B_{TREE_BSL,i,j} \times CF_j) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $C_{TREE_BSL,i,t}$ ——红树林第 i 碳层林木生物质碳储量，单位：tCO₂-e；
- $B_{TREE_BSL,i,j,t}$ ——红树林第 i 碳层树种 j 的生物量，单位：t. d. m.；
- CF_j ——树种 j 的生物量含碳率，单位：tC·(t.d. m.)⁻¹；
- i ——1, 2, 3……红树林第 i 碳层；
- j ——1, 2, 3……红树林第 i 碳层的树种 j；
- $\frac{44}{12}$ ——CO₂ 与 C 的分子量比。

公式 (7) 中的 $B_{TREE_BSL,i,j,t}$ 可通过生物量方程法、生物量转换因子法或平均生长量法获取。具体公式见附录 B。

6.1.3 灌木生物质碳储量

灌木生物质的碳储量。计算见公式 (8)。

$$C_{SHRUB_BSL,i} = \frac{44}{12} \times CF_S * (1 + R_S) \times B_{SHRUB_BSL,i} \times A_{BSL,i} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $C_{SHRUB_BSL,i,t}$ ——红树林第 i 碳层灌木生物质的碳储量，单位：tCO₂-e；
- CF_S ——灌木生物量含碳率，单位：tC·(t.d. m.)⁻¹ 或 gC·(t.d. m.)⁻¹；
- R_S ——灌木的地下生物量/地上生物量之比；
- $B_{SHRUB_BSL,i,t}$ ——红树林第 i 碳层平均每公顷的灌木生物量，单位：t.d. m·hm⁻²；
- $A_{BSL,i}$ ——红树林第 i 碳层的面积，单位：hm²；
- i ——1, 2, 3……红树林第 i 碳层；
- $\frac{44}{12}$ ——CO₂ 与 C 的分子量比。

6.1.4 藤本生物质碳储量

采用样本收获法测定藤本样品的生物量，推算获得单位面积藤本的生物量数据。藤本的碳储量是其生物量与含碳率的乘积。计算见公式 (9)。

$$C_{VINE_BSL,i} = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1} (B_{VINE_BSL,i,j} \times CF_{V,j}) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $C_{VINE_BSL,i,t}$ ——红树林第 i 碳层藤本植物生物质的碳储量，单位：tCO₂-e；
- $B_{VINE_BSL,i,j,t}$ ——红树林第 i 碳层藤本植物 j 的生物量，单位：t. d. m.；
- $CF_{V,j}$ ——藤本植物 j 生物量含碳率，单位：tC·(t.d. m.)⁻¹ 或 gC·(t.d. m.)⁻¹；
- i ——1, 2, 3……红树林第 i 碳层；
- $\frac{44}{12}$ ——CO₂ 与 C 的分子量比。

6.1.5 枯死木生物质碳储量

采用样本收获法测定枯死木样品的生物量，推算获得单位面积枯死木的生物量数据。枯死木的碳储

量是其生物量与含碳率的乘积。计算见公式（10）。

$$C_{DW_BSL,i} = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1} (B_{DW_BSL,i,j} \times CF_{V,j}) \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- $C_{DW_BSL,i,t}$ ——红树林第 i 碳层枯死木生物质的碳储量，单位：tCO₂^e；
 $B_{DW_BSL,i,j,t}$ ——红树林第 i 碳层枯死木 j 的生物量，单位：t. d. m.；
 $CF_{V,j}$ ——枯死木 j 生物量含碳率，单位：tC·(td. m.)⁻¹或 gC·(td. m.)⁻¹；
i ——1, 2, 3……红树林第 i 碳层；
 $\frac{44}{12}$ ——CO₂与 C 的分子量比。

6.1.6 凋落物碳储量

计算调查样地中不同样方的凋落物碳密度平均值，将计算所得平均值乘以该调查样地的红树林面积，即为该调查样地的凋落物碳储量。计算见公式（11）。

$$C_{LT} = \bar{C}_L \times S_A \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- C_{LT} ——调查样地凋落物碳储量，单位：MgC；
 \bar{C}_L ——调查样地中样品碳密度的平均值，单位：MgC/hm²；
 S_A ——调查样地的红树林面积，单位：hm²。

6.1.7 沉积物碳储量

计算调查样地中柱状样的碳密度，并计算同一样地中不同柱状样碳密度的平均值，将计算所得沉积物柱状样碳密度平均值乘以该样地的红树林面积，即为该调查范围内沉积物碳储量。计算见公式（12）。

$$C_{ZT} = \bar{C}_Z \times S_A \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- C_{ZT} ——调查样地沉积物碳储量，单位：tCO₂^e；
 \bar{C}_Z ——调查样地中样品碳密度的平均值，单位：tCO₂^e/hm²；
 S_A ——调查样地的红树林面积，单位：hm²。

6.2 红树林碳汇量计量

6.2.1 计量方法

红树林碳汇量的计量可根据数据获取的情况依次选择库差法、损益法进行计算。

6.2.2 库差法

用库差法计算调查范围内碳汇量。计算见公式（13）和（14）。

$$\Delta C_B = \Delta C_{AGB} + \Delta C_{BGB} \dots\dots\dots (13)$$

$$\Delta C_{AGB} + \Delta C_{BGB} = \Delta C_{\text{林木}} + \Delta C_{\text{灌木}} + \Delta C_{\text{藤本}} + \Delta C_{\text{枯死木}} + \Delta C_{\text{凋落物}} + \Delta C_{\text{沉积物}} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- ΔC_B ——计量分区红树林生物量的 CO₂年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 ΔC_{AGB} ——区域红树林地上生物量的 CO₂年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 ΔC_{BGB} ——区域红树林地下生物量的 CO₂年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 $\Delta C_{\text{林木}}$ ——林木生物质年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 $\Delta C_{\text{灌木}}$ ——灌木生物质年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 $\Delta C_{\text{藤本}}$ ——藤本生物质年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 $\Delta C_{\text{枯死木}}$ ——枯死木生物质年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 $\Delta C_{\text{凋落物}}$ ——凋落物年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
 $\Delta C_{\text{沉积物}}$ ——沉积物年净碳汇量，单位：tCO₂/a。

6.2.3 损益法

用损益法计算调查范围内碳汇量。计算见公式（15）和（16）。

$$\Delta C_B = \Delta C_{AGB} - \Delta C_{BGB} - \Delta C_L \dots\dots\dots (15)$$

$$\Delta C_{AGB} - \Delta C_{BGB} - \Delta C_L = \sum i G_{AGB} \times CF \times (1+R) \times A_i \times k - \Delta C_L \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- ΔC_B —— 计量分区红树林生物量的 CO₂年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
- ΔC_{AGB} —— 区域红树林地上生物量的 CO₂年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
- ΔC_{BGB} —— 区域红树林地下生物量的 CO₂年净碳汇量，单位：tCO₂/a；
- ΔC_L —— 区域红树林因砍伐、火灾或其他情况造成的 CO₂年排放量，单位：tCO₂/a；若无上述情况发生，变化量可默认为 0；
- G_{AGB} —— 区域红树林地上生物量的年生长速率，单位：t/（hm²·a）；
- CF —— 红树林地上生物量的有机碳含量，单位：%；
- R —— 根冠比，无量纲；
- A_i —— 各红树植被类型面积，单位：hm²；
- K —— CO₂与 C 的质量转换系数，取常值 $\frac{44}{12}$ ；
- i —— 植被类型数。

7 红树林活动碳汇计量

7.1 红树林活动碳汇调查

红树林活动碳汇的调查方法参照第5部分。红树林活动碳汇量的调查核算精度须达到90%可靠性水平下90%的精度要求。如果测定的精度低于该值，可通过增加样地数量，从而使测定结果达到精度要求。项目监测所需要的样地数量的计算方法见附录C。

7.2 额外性的论证

红树林碳汇项目是不以营利为目的的公益性行为。红树林易受极端气候事件和人为活动干扰，通常红树林植被种植和后期管护等活动成本高，不具备财务吸引力。符合本文件适用条件的项目，其额外性建议免于论证。

7.3 红树林活动碳汇量计算方法

活动碳汇量等于核算期开始时刻碳汇量减去核算期截止时刻碳汇量，再减去红树林活动引起的泄漏。计算见公式（17）。

$$\Delta C_{活动} = \Delta C_{开始} - \Delta C_{截止} - LK \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- $\Delta C_{活动}$ —— 红树林活动碳汇量，单位：tCO₂^e/a；
- $\Delta C_{开始}$ —— 核算期开始时刻红树林碳汇量，单位：tCO₂^e/a；
- $\Delta C_{截止}$ —— 核算期截止时刻红树林碳汇量，单位：tCO₂^e/a；
- LK —— 红树林活动引起的泄漏量，单位：tCO₂^e/a。

附 录 A
(资料性)
红树林碳储量调查与分析记录表

A.1 红树植被每木调查表

红树植被每木调查表见表 A.1。

表 A.1 红树植被每木调查表

调查时间					碳层红树林面积 (单位: ha)		
碳层编号		样地编号		样地形状			
样地面积 (m ²)		样方面积 (m ²)		中心经纬度			
序号	种名	胸围/基围 (cm)	胸径/基径 (cm)	株高 (cm)	地上生物量 (Kg)	地下生物量 (Kg)	
注: 若在样地中设置样方, 填写样方面积, 反之不用填写。红树林面积、胸围 (或基围)、胸径 (或基径) 和株高保留至小数点后两位, 生物量保留至小数点后一位。							
调查人员: _____ 校对人员: _____							

A.2 红树植物碳储量分析记录表

红树植物碳储量分析记录表见表 A.2。

表 A.2 红树植物碳储量分析记录表

项目编号:		碳层编号:			
分析时间:					
样地编号	样地面积 (m ²)	生物量 (Kg)		有机碳含量 (KgC)	
		地上	地下	地上	地下
平均值					
注: 生物量保留至小数点后一位, 有机碳保留至小数点后三位。地上部分碳转换系数按附录E给出的不同红树种类的数值计算, 地下部分碳转换系数按0.39计算。					
填表人: _____ 校对人员: _____					

A.3 红树林沉积物碳储量分析记录表

红树林沉积物碳储量分析记录表见表 A.3。

表 A.3 红树林沉积物碳储量分析记录表

调查时间					碳层红树林面积 (单位: ha)	
项目碳层编号		样地编号		样地经纬度		
样品层次 (cm)	样品干重 (g)	样品体积 (cm ³)	样品容重 (g/cm ³)	样品有机碳含量 (%)	单位体积样品碳含量 (g C/cm ³)	样品碳密度 (g C/cm ²)
0-10						
10-20						
20-30						
30-40						
40-50						
50-100						
整个柱状样						
注: 有机碳含量保留至小数点后三位, 容重保留至小数点后两位。						
					填表人: _____	校对入: _____

A.4 红树林凋落物碳储量调查与分析记录表

红树林凋落物碳储量调查与分析记录表见表 A.4。

表 A.4 红树林凋落物碳储量调查与分析记录表

调查时间					
碳层编号	样地编号	样方经纬度	凋落物鲜重 (kg)	凋落物干重 (kg)	凋落物碳含量 (kg C)
注: 生物量保留至小数点后一位, 有机碳保留至小数点后三位。凋落物碳转换系数按0.45计算。					
				填表人: _____	校对入: _____

附 录 B
(资料性)
林木生物质碳储量生物量的计算方法

B.1 生物量方程法

不同年份 t 第 i 碳层树种 j 的胸径 (DBH)、树高 (H) 和木材密度 (ρ)，可采用生物量方程法计算林木生物量。计算见公式 (B.1)。

$$B_{TREE_BSL_{i,j,t}} = f_{AB,j} \left(DBH_{TREE_BSL_{i,j,t}} H_{TREE_BSL_{i,j,t}} \rho_j \right) * (1 + R_j) * N_{TREE_BSL_{i,j,t}} * A_{BSL_i} \quad \dots\dots (B.1)$$

式中：

- $B_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的生物量，单位：t. d. m.；
 $f_{AB,j}(DBH, H, \rho)$ ——树种 j 的林木地上生物量与胸径、树高与木材密度的相关方程，
 单位：td. m·株⁻¹；
 $DBH_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的胸径，单位：cm；
 $H_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的树高，单位：cm；
 ρ_j ——树种 j 的木材密度，单位：g/cm³；
 R_j ——树种 j 的林木地下生物量/地上生物量之比；
 $N_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的每公顷株数，单位：株·hm⁻²；
 A_{BSL_i} ——基线第 i 碳层的面积，单位：hm²；
 i ——1, 2, 3……基线第 i 碳层；
 j ——1, 2, 3……基线第 i 碳层的树种 j ；
 t ——1, 2, 3……自项目开始以来的年数，单位 a。

B.2 生物量转换因子法

采用生物量转换因子法计算林木生物质碳储量，计算见公式 (B.2)。

$$B_{TREE_BSL_{i,j,t}} = V_{TREE_BSL_{i,j,t}} * \rho_j * BEF_j * (1 + R_j) * A_{BSL_i} \quad \dots\dots (B.2)$$

式中：

- $B_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的生物量，单位：t. d. m.；
 $V_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的单位面积蓄积量，单位：m³/hm²；
 ρ_j ——树种 j 的木材密度，单位：g/cm³；
 BEF_j ——树种 j 的生物量扩展因子；无量纲；
 R_j ——树种 j 的林木地下生物量/地上生物量之比；
 A_{BSL_i} ——基线第 i 碳层的面积，单位：hm²；
 i ——1, 2, 3……基线第 i 碳层；
 j ——1, 2, 3……基线第 i 碳层的树种 j ；
 t ——1, 2, 3……自项目开始以来的年数，单位：a。

B.3 平均生长量法

如项目边界内红树林或其中部分区域未进入成林稳定阶段，且项目参与方有该区域的红树林单株或单位面积生物量年变化量的数据，可直接根据该数据估算项目开始以后各年度的林木生物量，直至红树林进入成林稳定阶段。此后，假定红树林林木生物量变化量为 0。计算见公式 (B.3)。

$$B_{TREE_BSL_{i,j,t}} = B_{TREE_BSL_{i,j,t-1}} + \bar{B}_{TREE_BSL_{i,j,t}} * (1 + R_j) * N_{TREE_BSL_{i,j,t}} * A_{BSL_i} \quad \dots\dots (B.3)$$

式中：

- $B_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的生物量，单位：t. d. m.；
 $B_{TREE_BSL_{i,j,t-1}}$ ——第 $t-1$ 年时，基线第 i 碳层树种 j 的生物量，单位：t. d. m.；
 $\bar{B}_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——基线第 i 碳层树种 j 的单株地上生物量年变化量，单位：td. m·a⁻¹·株⁻¹；
 R_j ——树种 j 的林木地下生物量/地上生物量之比；
 $N_{TREE_BSL_{i,j,t}}$ ——第 t 年时，基线第 i 碳层树种 j 的单位面积株数，单位：株·hm⁻²；

- A_{BSL_i} ——基线第 i 碳层的面积，单位： hm^2 ；
- i ——1, 2, 3……基线第 i 碳层；
- j ——1, 2, 3……基线第 i 碳层的树种 j；
- t ——1, 2, 3……自项目开始以来的年数，单位：a。

红树植物的异速生长方程和碳含量见表 B. 1。

表 B. 1 红树植物的异速生长方程和碳含量

物种	异速生长方程	碳含量 (%)
桐花树 <i>A. corniculatum</i>	$B_{stem}=15.776 (DBH^2H)^{0.464}$	41.8
	$B_{branch}=12.883 (DBH^2H)^{0.463}$	41.8
	$B_{leaf}=2.472 (DBH^2H)^{0.475}$	41.8
	$B_{root}=9.268 (DBH^2H)^{0.303}$	39.0
白骨壤 <i>A. marina</i>	$B_{stem}=43.954 (DBH^2H)^{0.544}$	41.2
	$B_{branch}=78.886 (DBH^2H)^{0.567}$	41.2
	$B_{leaf}=4.898 (DBH^2H)^{0.287}$	39.8
	$B_{root}=22.961 (DBH^2H)^{0.615}$	39.5
木榄 <i>B. gymnorhiza</i>	$B_{stem}=312.320 (DBH^2H)^{0.969}$	46.3
	$B_{branch}=660.085 (DBH^2H)^{1.260}$	46.3
	$B_{leaf}=120.587 (DBH^2H)^{1.075}$	46.3
	$B_{root}=114.341 (DBH^2H)^{0.623}$	39.0
秋茄 <i>K. obovata</i>	$B_{stem}=145.211 (DBH^2H)^{0.544}$	43.2
	$B_{branch}=550.808 (DBH^2H)^{1.253}$	43.2
	$B_{leaf}=50.816 (DBH^2H)^{0.943}$	43.1
	$B_{root}=271.019 (DBH^2H)^{0.990}$	34.8
海桑 <i>S. caseolaris</i>	$B_{stem}=80.724 (DBH^2H)^{0.807}$	43.2
	$B_{branch}=84.918 (DBH^2H)^{0.951}$	43.2
	$B_{leaf}=11.722 (DBH^2H)^{0.931}$	39.9
	$B_{root}=32.211 (DBH^2H)^{0.777}$	39.0
无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	$B_{stem}=80.724 (DBH^2H)^{0.821}$	42.9
	$B_{branch}=39.788 (DBH^2H)^{0.572}$	42.9
	$B_{leaf}=7.803 (DBH^2H)^{0.536}$	38.6
	$B_{root}=41.284 (DBH^2H)^{0.759}$	41.1
注：DBH：胸径（米）；H：高度（米）； B_{stem} ：树干生物量（千克）； B_{branch} ：树枝生物量（千克）； B_{leaf} ：树叶生物量（千克）； B_{bark} ：树皮生物量（千克）； B_{root} ：树根生物量（千克）。		

附录 C (资料性) 抽样设计方法

抽样设计要求达到 90% 可靠性水平下 90% 的精度要求。如果测定的精度低于该值，项目参与方可通过增加样地数量，从而使测定结果达到精度要求。项目监测所需要的样地数量，可采用如下方法进行计算：

- a) 根据公式 (C.1) 计算，如果得到 $n \geq 30$ ，则最终的样地数即为 n 值；如果 $n < 30$ ，则需要采用自由度为 $n-1$ 时的 t 值，运用公式 (C.1) 进行第二次迭代计算，得到的 n 值即为最终的样地数；

$$n = \frac{N * t_{VAL}^2 * (\sum_i w_i * s_i)^2}{N * E^2 + t_{VAL}^2 * \sum_i w_i * s_i^2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- n ——项目边界内估算生物质碳储量所需的监测样地数量；无量纲；
 N ——项目边界内监测样地的抽样总体， $N=A/A_p$ ，其中 A 是项目总面积 (hm^2)， A_p 是样地面积；无量纲；
 t_{VAL} ——可靠性指标。在一定的可靠性水平下，自由度为无穷 (∞) 时查 t 分布双侧 t 分位数表的 t 值；无量纲；
 w_i ——项目边界内项目第 i 碳层的面积权重， $w_i=A_i/A$ ，其中 A 是项目总面积 (hm^2)， A_i 是项目第 i 碳层的面积 (hm^2)；无量纲；
 s_i ——项目边界内项目第 i 碳层生物质碳储量估计值的标准差，单位： tC/hm^2 ；
 E ——项目生物质碳储量估计值允许的误差范围（即置信区间的一半），在各碳层内用 s_i 表示，单位： $tC \cdot hm^{-2}$ ；
 i ——1, 2, , 3.....项目碳层。

- b) 当抽样面积较大时（抽样面积大于项目面积的 5%），按公式 (C.1) 进行计算获得样地数 n 之后，按公式 (C.2) 对 n 值进行调整，从而确定最终的样地数 n_a ；

$$n_a = n * \frac{1}{1+n/N} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

- n_a ——调整后项目边界内估算生物质碳储量所需的监测样地数量；无量纲；
 n ——项目边界内估算生物质碳储量所需的监测样地数量；无量纲；
 N ——项目边界内监测样地的抽样总体；无量纲。

- c) 当抽样面积较小时（抽样面积小于项目面积的 5%），可以采用简化公式 (C.3) 计算：

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E}\right)^2 * (\sum_i w_i * s_i)^2 \dots\dots\dots (C.3)$$

- n ——项目边界内估算生物质碳储量所需的监测样地数量；无量纲；
 t_{VAL} ——可靠性指标。在一定的可靠性水平下，自由度为无穷 (∞) 时查 t 分布双侧 t 分位数表的 t 值；无量纲；
 w_i ——项目边界内项目第 i 碳层的面积权重， $w_i=A_i/A$ ，其中 A 是项目总面积 (hm^2)， A_i 是项目第 i 碳层的面积 (hm^2)；无量纲；
 s_i ——项目边界内项目第 i 碳层生物质碳储量估计值的标准差，单位： tC/hm^2 ；
 E ——项目生物质碳储量估计值允许的误差范围（即置信区间的一半），在各碳层内用 s_i 表示，单位： $tC \cdot hm^{-2}$ ；
 i ——1, 2, , 3.....项目碳层。

- d) 分配到各红树林类型的监测样地数量，采用最优分配法按公式 (C.4) 进行计算。

$$n = n_i = n * \frac{w_i * s_i}{\sum_i w_i * s_i} \dots\dots\dots (C.4)$$

- n_i ——项目边界内项目第 i 碳层估算生物质碳储量所需的监测样地数量；无量纲；
 n ——项目边界内估算生物质碳储量所需的监测样地数量；无量纲；
 w_i ——项目边界内项目第 i 碳层的面积权重， $w_i=A_i/A$ ，其中 A 是项目总面积 (hm^2)， A_i 是项目第 i

碳层的面积 (hm^2)；无量纲；

s_i ——项目边界内项目第 i 碳层生物质碳储量估计值的标准差，单位 $\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；

i ——1, 2, 3.....项目碳层。

参 考 文 献

- [1] GB/T 41198—2021 林业碳汇项目审定和核证指南
 - [2] HY/T 0349—2022 海洋碳汇核算方法
 - [3] LY/T 2252—2014 碳汇造林技术规程
 - [4] LY/T 2988—2018 森林生态系统碳储量计量指南
 - [5] LY/T 3253—2021 林业碳汇计量监测术语
 - [6] DB4403/T 401—2023 多功能智能杆系统接地与防雷技术规范
 - [7] 国家林业局. 全国林业碳汇计量和监测技术指南(试行). 2010年
 - [8] 国家林业局. 造林项目碳汇计量与监测指南. 2008年
 - [9] 国家林业局. 国家森林资源连续清查技术规定. 2014年
 - [10] 中华人民共和国自然资源部. 红树林生态系统碳储量调查与评估技术规程. 2023年
 - [11] 中华人民共和国自然资源部. 红树林生态系统碳汇计量监测技术规程(试行). 2023年
 - [12] 中华人民共和国自然资源部. 海草床生态系统碳汇计量监测技术规程(试行). 2023年
 - [13] 中华人民共和国自然资源部. 海草床生态系统碳储量调查与评估技术规程. 2023年
 - [14] 中华人民共和国自然资源部. 滨海盐沼生态系统碳汇计量监测技术规程(试行). 2023年
 - [15] 中华人民共和国自然资源部. 滨海盐沼生态系统碳储量调查与评估技术规程. 2023年
 - [16] 广东省林业厅. 林业碳汇计量与监测技术规程. 2016年
 - [17] 广东省林业厅. 碳汇造林技术规程. 2018年
 - [18] 广东省生态环境厅. 广东省红树林碳普惠方法学. 2023年
 - [19] 广东省生态环境厅. 广东省林业碳汇碳普惠方法学. 2022年
 - [20] 广东省发展改革委. 广东省森林经营碳普惠方法学. 2017年
 - [21] 广东省发展改革委. 广东省森林保护碳普惠方法学. 2017年
 - [22] 海南省生态环境厅. 海南红树林造林/再造林碳汇项目方法学. 2023年
 - [23] 深圳市规划和自然资源局. 红树林保护项目碳汇方法学(试行). 2023年
-