

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3372—2026

城市生态系统温室气体清除碳汇核算技术规范

2026 - 07 - 02 发布

2026 - 08 - 02 实施

四川省市场监督管理局 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 核算边界 1

5 核算方法 2

6 监测要求 6

附录 A（规范性） 碳储量的计算方法 8

附录 B（规范性） 建设及管养时期引起的碳排放 14

附录 C（规范性） 监测样地数量与样地设置 17

附录 D（规范性） 生物质碳储量的监测方法 18

附录 E（资料性） 常见园林树种生物量模型 22

附录 F（资料性） 不同树种单木物量模型修正系数 25

附录 G（资料性） 土壤有机碳密度的参考值 26

附录 H（资料性） 主要的监测参数 27

参考文献 28

前 言

本文件按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。

本文件由四川省林业和草原局提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：四川天府新区生态环境和城市管理局、中国绿色碳汇基金会、北京林业大学、四川山水绿碳科技有限公司、四川省林业和草原调查规划院、成都天府新区规划设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：余睿、冯凯、侯远青、朱攀、陶鹏、王寄梅、武曙红、张简、陈烨、唐才富、汪晖、代丽梅、谭欣悦、唐艺挈、郭恒、赖长鸿、宋放、余淼、胡晓艳、唐珩巧、王朕、何廷宇、刘币、范钰铄、李靓怡、高欣、张志明、汪昊、杨业波、程憬怡、樊戢、譙程骏。

城市生态系统温室气体清除碳汇核算技术规范

1 范围

本文件规定了城市生态系统温室气体清除碳汇的核算边界、核算方法和监测要求。
本文件适用于城市生态系统温室气体清除项目的碳汇监测和核算。

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 21010 土地利用现状分类
- GB/T 28584 城市坐标系统建设规范
- GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程
- GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市生态系统温室气体清除 greenhouse gas removal in urban ecosystem
通过实施城市绿化、改进园林养护等活动，将某一温室气体从大气中移除。
[来源：GB/T 46566，3.2.6，有修改]

3.2

基线情景 baseline scenario
在没有城市生态系统温室气体清除项目时，能合理地代表项目区未来最可能发生的土地利用和管理的假定情景。
[来源：GB/T 41198，3.3，有修改]

3.3

碳汇量 carbon sink
也叫温室气体汇清除，是项目边界内所选碳库中的碳储量变化量，减去项目边界内温室气体排放的增加量。
[来源：LY/T 3253，2.3.38，有修改]

3.4

净碳汇量 net carbon sink
也叫净人为温室气体汇清除，指由于项目活动产生的净碳汇量。
注：净碳汇量等于项目情景碳汇量减去基线情景碳汇量，再减去泄漏量。
[来源：LY/T 3253，2.3.39，有修改]

4 核算边界

4.1 地理边界

- 4.1.1 项目区域可包括若干个不连续的地块，每个地块应有特定的地理边界。
- 4.1.2 项目边界内不应包括硬化道路、沟渠、坑塘、河流和湿地等土地以及建筑设施。
- 4.1.3 项目地理边界的确定可选择以下方法：
 - a) 采用卫星定位系统进行单点定位或差分技术直接测定项目地块边界的拐点坐标；
 - b) 利用高分辨率（不低于2m）的地理空间数据（如卫星影像、航片）或城市规划图等，在地理信息系统辅助下直接读取项目地块的边界坐标，坐标系统应按照GB/T 28584的要求执行。

4.2 开始时间

项目开始时间应以项目开始种植、改建或改善绿地的经营管理活动的日期确定。

4.3 碳库和排放源

4.3.1 项目碳库选择按表 1 所示的方法确定。

表 1 碳库的选择

碳库	是否选择	说明
地上活体植物生物质	是	项目活动会导致该碳库碳储量发生显著变化。
地下活体植物生物质	是	项目活动会导致该碳库碳储量发生显著变化。
枯死木	否	基于保守性原则忽略该碳库。
枯落物	否	基于保守性原则忽略该碳库。
土壤有机碳	是	项目活动会导致该碳库碳储量发生显著变化。

4.3.2 项目温室气体排放源的选择按表 2 所示方法确定。

表 2 项目温室气体排放源的选择

温室气体类型	排放源	是否选择	说明
N ₂ O	肥料使用	是	建设、管理养护过程中园林植物的栽植及后期管养过程中的肥料使用将造成显著的 N ₂ O 排放。
CO ₂	化石燃料使用	是	建设、管理养护中涉及的苗木运输、客土运输及后期管养活动中运输及管护设备的使用将导致 CO ₂ 排放。
	客土使用	是	建设、管理养护的客土过程会造成土壤获取地的土壤扰动，造成项目边界外土壤有机碳的损失。
	购入电力	否	购买的电力所产生的温室气体排放为地理边界外间接排放（范围二）。

5 核算方法

5.1 基线情景识别

- 5.1.1 项目基线情景为项目建设开始前的土地利用与管理方式。
- 5.1.2 其土地利用与管理方式描述应按照 GB/T 21010 和 GB 50137 执行。

5.2 碳层划分

- 5.2.1 碳层划分包括基线碳层划分、项目碳层划分。
- 5.2.2 应按照项目特点对基线情景和项目情景下的地块进行分层：按生境及斑块特点，可将城市绿地系统类型、景观类型、树种组成等作为分层依据进行分层，在此分层基础上按管理特点，可将灌溉方案、修剪频率等作为分层依据进行分层。

5.3 基线情景碳汇量

- 5.3.1 项目基线情景碳汇量的计算，通过在没有项目活动的情景下，以项目边界内所选碳库的碳储量的变化量之和，减去温室气体排放量之和，计算方法见公式（1）、公式（2）。

$$\Delta C_{BSL,t} = \sum_{i=1}^n \Delta C_{BSL,i,t} \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$\Delta C_{BSL,i,t} = \Delta C_{UGL_BSL,i,t} - GHG_{UGL_BSL,i,t} \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

- $\Delta C_{BSL,t}$ — 第 t 年的基线情景碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- $\Delta C_{BSL,i,t}$ — 第 t 年第 i 碳层基线情景碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- $\Delta C_{UGL_BSL,i,t}$ — 第 t 年第 i 碳层边界内基线情景碳库碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- $GHG_{UGL_BSL,i,t}$ — 第 t 年第 i 碳层边界内基线情景温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- BSL — 基线情景；
- i — 1, 2, 3.....基线碳层数；
- t — 1, 2, 3.....项目开始以来的年数，单位为年（a）。

- 5.3.2 基线情景碳储量变化量的计算，通过项目边界内原有的乔木、竹子、灌木、草坪及地被物的地上、地下生物质碳库碳储量与土壤有机碳储量的变化量相加，计算方法见公式（3）。

$$\Delta C_{UGL_BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{BAMB_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{COVER_BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} \cdots (3)$$

式中：

- $\Delta C_{UGL_BSL,t}$ — 第 t 年基线情景碳库碳储量的变化量，吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- $\Delta C_{TREE_BSL,t}$ — 第 t 年项目边界内基线情景下乔木碳储量变化量，计算方法应按照附录 A.1 执行，附录 E 和附录 F 给出了常见园林树种生物量模型和不同树种单木物量模型修正系数，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- $\Delta C_{BAMB_BSL,t}$ — 第 t 年项目边界内基线情景下竹子碳储量变化量，计算方法应按照附录 A.2 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；

- $\Delta C_{\text{SHRUB_BSL},t}$ — 第 t 年项目边界内基线情景下灌木碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.3 执行，附录 E 给出了常见园林树种生物量模型，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{\text{COVER_BSL},t}$ — 第 t 年项目边界内基线情景下草坪及地被物碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.4 执行，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta \text{SOC}_{\text{BSL},t}$ — 第 t 年项目边界内基线情景下土壤有机碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.5 执行，附录 G 给出了土壤有机碳密度的参考值，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)。

5.3.3 若基线情景缺乏数据时，基线情景碳储量的变化按照公式（4）计算。

$$\Delta C_{\text{UGL_BSL},i,t} = \Delta C_{\text{LU},i,t} \times A_i + \Delta \text{SOC}_{\text{BSL},i,t} \quad \text{..... (4)}$$

式中：

- $\Delta C_{\text{UGL_BSL},i}$ — 第 t 年 第 i 碳层基线情景碳库碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{\text{LU},i,t}$ — 第 t 年 第 i 碳层基线情景下不同二级土地利用类型上植被年均固碳量，单位为吨二氧化碳当量每公顷每年 ($\text{t CO}_2\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- A_i — 第 t 年 第 i 碳层基线情景下该土地利用类型面积，单位为公顷 (hm^2)；
- $\Delta \text{SOC}_{\text{BSL},i,t}$ — 第 t 年 第 i 碳层基线情景下土壤有机碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.5 执行；单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)。

5.3.4 基线情景下温室气体排放量通过施用肥料、使用园林机械设备燃烧化石燃料造成的温室气体排放量之和来计算，计算方法见公式（5）。

$$\text{GHG}_{\text{UGL_BSL},t} = \text{GHG}_{\text{FERT_BSL},t} + \text{GHG}_{\text{GM_FC_BSL},t} \quad \text{..... (5)}$$

式中：

- $\text{GHG}_{\text{UGL_BSL},t}$ — 第 t 年项目边界内基线的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\text{GHG}_{\text{FERT_BSL},t}$ — 第 t 年基线情景项目边界内施肥引起的温室气体排放量，计算方法应参照附录 B.1 执行，单位为吨二氧化碳当量每公顷每年 ($\text{t CO}_2\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\text{GHG}_{\text{GM_FC_BSL},t}$ — 第 t 年基线情景项目边界内使用园林机械和设备燃烧化石燃料造成的温室气体排放量，计算方法应参照附录 B.2 执行，单位为公顷 (hm^2)。

5.4 项目情景碳汇量

5.4.1 项目情景下碳汇量通过项目边界内所选碳库的碳储量的变化量之和，减去温室气体排放量之和来估算，计算方法见公式（6）。

$$\Delta C_{\text{ACTUAL},t} = \Delta C_{\text{UGL_PROJ},t} - \text{GHG}_{\text{UGL_PROJ},t} \quad \text{..... (6)}$$

式中：

- $\Delta C_{\text{ACTUAL},t}$ — 第 t 年项目产生的碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{\text{UGL_PROJ},t}$ — 第 t 年项目边界内项目各碳库碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；

GHG_{UGL_PRO} — 第 t 年项目活动引起的温室气体排放，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）。

5.4.2 项目情景边界内乔木、竹子、灌木、草坪及地被物的地上、地下生物质碳库碳储量与土壤有机碳储量的变化量相加，计算方法见公式（7）。

$$\Delta C_{UGL_PROJ,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{BAMB_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{COVER_PROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t} \dots (7)$$

式中：

- $\Delta C_{UGL_PROJ,t}$ — 第 t 年项目情景碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{TREE_PROJ,t}$ — 第 t 年项目边界内项目情景下乔木碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.1 执行，附录 E 和附录 F 给出了常见园林树种生物量模型和不同树种单木物量模型修正系数，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{BAMB_PROJ,t}$ — 第 t 年项目边界内基线情景下竹子碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.2 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$ — 第 t 年项目边界内项目情景下灌木碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.3 执行，附录 E 给出了常见园林树种生物量模型，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{COVER_PROJ,t}$ — 第 t 年项目边界内项目情景下草坪及地被物碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.4 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta SOC_{PROJ,t}$ — 第 t 年的项目边界内项目情景下土壤有机碳储量变化量，计算方法应参照附录 A.5 执行，附录 G 给出了土壤有机碳密度的参考值，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）。

5.4.3 项目活动下，项目边界内温室气体排放量的计算方法见公式（8）。

$$GHG_{UGL_PROJ,t} = GHG_{FERT_PROJ,t} + GHG_{GM_FC_PROJ,t} \dots (8)$$

式中：

- $GHG_{UGL_PROJ,t}$ — 第 t 年项目边界内项目情景的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- GHG_{FERT_PROJ} — 第 t 年项目情景下项目边界内由于施肥引起的温室气体排放量，计算方法应参照附录 B.1 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $GHG_{GM_FC_PRC}$ — 第 t 年项目情景下项目边界内使用园林机械和设备燃烧化石燃料造成的温室气体排放量，计算方法应参照附录 B.2 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；

5.5 项目泄漏的计算

建设管理温室气体清除项目应考虑以下项目活动过程中造成的泄漏：

- a) 运送苗木、土壤、灌溉水、肥料等过程中使用运输设备或工具导致项目边界外化石能源消耗量增加；
- b) 项目种植活动过程中，由于建设土方的获取导致的项目边界外的 CO_2 排放的增加。
具体计算方法见公式（9）。

$$LK_t = LK_{Vehicle,t} + LK_{SD,t} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- LK_t — 第 t 年的泄露量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $LK_{Vehicle}$ — 第 t 年由项目活动引起的，从项目边界外运送苗木、土壤、灌溉水、肥料等过程中使用运输工具引起的温室气体排放的增加量，计算方法应按照附录 B.3 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $LK_{SD,t}$ — 第 t 年由项目活动引起的客土使用引起的排放的增加量，计算方法应按照附录 B.4 执行，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）。

5.6 温室气体净碳汇量的计算

活动所产生的净碳汇量，等于项目情景碳汇量与净基线情景碳汇量之差，减去泄漏，计算方法见公式（10）。

$$CDR_t = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- CDR_t — 第 t 年的项目的温室气体净碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{ACTUAL,t}$ — 第 t 年的项目情景碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{BSL,t}$ — 第 t 年的基线情景碳汇量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- LK_t — 第 t 年的泄漏量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）。

6 监测要求

6.1 基线情景碳汇量监测

基线情景碳汇量按照本文件 5.3 确定后，后续监测应采用首次监测基线核算方法和参数。

6.2 项目地理边界监测

6.2.1 应对项目地理边界进行定期监测。

6.2.2 若实际边界发生变化，位于项目已经确定的边界外的部分不应计入项目地理边界中。如果实际边界位于已经确定的边界之内，应以实际边界为准。

6.2.3 若项目地理边界发生任何变化，应测定变化区域的地理坐标和面积。

6.3 项目活动的监测

6.3.1 主要监测项目运行期内的所有与减排增汇措施相关的活动，包括但不限于以下情况：

- a) 项目建设、改造施工活动：包括挖树穴、客土、苗木栽植、草坪（或地被植物）铺设等；
- b) 项目管护活动：抚育、施肥、修剪、灌溉以及病虫害防治措施等；如果项目中涉及到新树的种植，则应记录新增树种的名称和株数；项目区域内因自然原因死亡的树木或由于管理和其他人为干预移除的树木都要记录对应名称和株数；
- c) 施工和管护机械设备的使用：包括机械设备的类型、燃料及电力使用情况；

- d) 项目边界内火灾、旱灾、冰灾以及病虫害等自然灾害发生的时间、地点、面积、边界等情况。
- 6.3.2 应详细描述项目所采取的减排增汇的施工和管护措施及其监测活动。
- 6.3.3 在监测活动中应制定标准操作程序及质量保证和质量控制程序，包括野外数据的采集、数据记录、管理和存档。

6.4 项目碳层调整要求

- 6.4.1 如果项目边界内出现下述情形之一，应在每次监测前调整上一次划分的碳层：
 - a) 项目实际活动与第一次监测前不一致，并影响了项目碳层内的均一性，如项目活动面积，边界以及树种等发生变化；
 - b) 因病虫害或其他自然灾害等导致碳层内的变异性增加；
 - c) 因施工设备或管护措施等发生变化。
- 6.4.2 若上一次监测发现，两个或多个碳层具有相近的碳储量及其变化，则可将这些不同的碳层合并成一个碳层。

6.5 抽样设计要求

应对项目生物质碳储量进行抽样监测。按照本文件附录 C 获得抽样监测所需的样地数量及在各碳层中的分布。

6.6 样地设置要求

- 6.6.1 项目碳库碳储量的变化可采用固定样地连续监测，也可以根据项目情况每次监测时重新布设。
- 6.6.2 按照本文件附录 C 的方法设置样地。

6.7 项目情景碳汇量监测

- 6.7.1 项目情景碳汇量包括项目情景各碳库碳储量监测和温室气体排放量监测。
- 6.7.2 碳库碳储量的监测按照本文件附录 D 要求进行监测。
- 6.7.3 温室气体排放量监测应详细记录项目边界内每次使用机械或设备的类型及耗能和耗油量、每次施肥的方式和用量、每次修剪方式和强度等信息。
- 6.7.4 泄漏的监测应详细记录项目边界外每次使用运输设备或工具的类型及耗能和耗油量，以及获取客土的来源和地点。

6.8 主要的监测参数

主要的监测参数应根据项目选择的核算方法选择，具体可参考文件附录H。

6.9 监测频率与时间

- 6.9.1 宜每 3~5 年监测一次。首次监测时间由项目实施主体根据项目设计自行选择。
- 6.9.2 监测时间的选择要避免引起未来的监测时间与影响项目碳储量的活动（如修剪、移栽）的时间重合。

附录 A (规范性) 碳储量的计算方法

A.1 乔木碳储量变化的计算方法

A.1.1 碳储量变化法

A.1.1.1 乔木碳储量的变化量通过各层乔木碳储量变化量之和来计算，计算方法见公式（A.1）。

$$\Delta C_{UGL_TREE,t} = \sum_{i=1} \frac{C_{UGL_TREE,i,t_2} - C_{UGL_TREE,i,t_1}}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$\Delta C_{UGL_TREE,t}$ — 第 t 年时，项目边界内乔木生物质碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；

C_{UGL_TREE,i,t_2} — 第 t_2 年时，项目边界内第 i 碳层乔木生物质的碳储量，单位为吨二氧化碳当量（ $t\ CO_2e$ ）；

C_{UGL_TREE,i,t_1} — 第 t_1 年时，项目边界内第 i 碳层乔木生物质的碳储量，单位为吨二氧化碳当量（ $t\ CO_2e$ ）；

t_1, t_2 — 项目开始后第 t_1 年和第 t_2 年。

A.1.1.2 乔木生物质碳储量计算方法见公式（A.2）。

$$C_{UGL_TREE,i,t} = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1} (B_{TREE,i,j,t} \times CF_{TREE,j}) \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$C_{UGL_TREE,i,t}$ — 第 t 年时，项目边界内第 i 碳层乔木生物质的碳储量，单位为吨二氧化碳当量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e$ ）；

$B_{TREE,i,j,t}$ — 第 t 年时，项目边界内第 i 碳层树种 j 的乔木生物量，乔木按本文件附录 A.1.3 的方法计算，单位为吨干生物质量（ $t\ d.m.$ ）；

$CF_{TREE,j}$ — 树种 j 的生物量含碳率，单位为吨碳每吨干生物质量（ $t\ C \cdot (t\ d.m.)^{-1}$ ）；

$\frac{44}{12}$ — CO_2 与 C 的分子量比；无量纲。

A.1.2 乔木生物量计算方法

A.1.2.1 生物量方程法

乔木生物量通过公式（A.3）生物量与测树因子相关的模型估算。当栽植时没有对乔木进行移栽截根、截干或修枝时，单木生物量修正系数为 1。

$$B_{TREE,i,j,t} = f_{BTOT,j}(x) \times \frac{MI_{AGB,j} + R_{TREE,j} \times MI_{BGB,j}}{1 + R_{TREE,j}} \times N_{TREE,i,j,t}$$

$$\text{或 } B_{\text{TREE},i,j,t} = f_{\text{AGB},j}(x) \times (MI_{\text{AGB},j} + R_{\text{TB},j} \times MI_{\text{BGB},j}) \times N_{\text{TREE},i,j,t} \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

式中:

- $B_{\text{TREE},i,j,t}$ — 第 t 年时, 第 i 碳层树种 j 的生物量, 单位为吨干生物质量 (t d.m.);
- $f_{\text{BTOT},j}(x)$ — 树种 j 的乔木全株生物量与测树因子的相关方程, 单位为干生物质量每株 (t d.m.株⁻¹);
- $f_{\text{AGB},j}(x)$ — 树种 j 的乔木地上生物量与测树因子的相关方程, 单位为干生物质量每株 (t d.m.株⁻¹);
- $MI_{\text{AGB},j}$ — 树种 j 单木地上生物量修正系数, 缺省值见本文件附录 F, 无量纲;
- $MI_{\text{BGB},j}$ — 树种 j 单木地下生物量修正系数, 缺省值见本文件附录 F; 无量纲;
- $R_{\text{TREE},j}$ — 树种 j 的地下生物量与地上生物量之比, 无量纲;
- $N_{\text{TREE},i,j,t}$ — 第 t 年时, 第 i 碳层树种 j 的株数; 单位: 株。

A.1.2.2 生物量扩展因子法

乔木生物量通过材积与测树因子相关的模型估算, 计算方法见公式 (A.4)。当栽植时没有对乔木进行移栽截根、截干或修枝时, 单木生物量修正系数为 1。

$$B_{\text{TREE},i,j,t} = f_{\text{BTRK},j}(x) \times (MI_{\text{AGB},j} + R_{\text{TREE},j} \times MI_{\text{BGB},j}) \times \text{BEF}_{\text{TREE},j} \times N_{\text{TREE},i,j,t} \times 0.001$$

$$\text{或 } B_{\text{TREE},i,j,t} = f_{V,j}(x) \times \text{WD}_{\text{TREE},j} \times (MI_{\text{AGB},j} + R_{\text{TREE},j} \times MI_{\text{BGB},j}) \times \text{BEF}_{\text{TREE},j} \times N_{\text{TREE},i,j,t} \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

式中:

- $B_{\text{TREE},i,j,t}$ — 第 t 年时, 第 i 碳层树种 j 的生物量, 单位为吨干生物质量 (t d.m.);
- $f_{\text{BTRK},j}(x)$ — 第 t 年, 树种 j 树干生物量和测树因子相关的模型, 单位为千克干生物质量每株 (kg d.m.株⁻¹);
- $f_{V,j}(x)$ — 第 t 年, 树种 j 树干材积和测树因子相关的模型, 单位为立方米每株 (m³·株⁻¹);
- $\text{WD}_{\text{TREE},j}$ — 树种 j 的基本木材密度, 单位为吨干生物质量每立方米 (t d.m.·m⁻³);
- $MI_{\text{AGB},j}$ — 树种 j 单木地上生物量修正系数, 缺省值见本文件附录 F, 无量纲;
- $MI_{\text{BGB},j}$ — 树种 j 单木地下生物量修正系数, 缺省值见本文件附录 F, 无量纲;
- $R_{\text{TREE},j}$ — 树种 j 的地下生物量与地上生物量之比, 无量纲;
- $\text{BEF}_{\text{TREE},j}$ — 树种 j 的生物量扩展因子, 用于将树干材积转化为乔木地上生物量, 无量纲;
- $N_{\text{TREE},i,j,t}$ — 第 t 年时, 第 i 碳层树种 j 的株数, 单位: 株;
- 0.001 — 将千克转换成吨的系数。

A.2 竹子碳储量变化

A.2.1 碳储量变化法

- A.2.1.1 项目活动下，项目边界内竹子碳储量变化量与本文件附录A.1.1一致。
- A.2.1.2 实际计算时，用字母下标“BAMB”代替公式（A.1）、公式（A.2）中的字母下标“TREE”，如：用 $\Delta C_{BAMB,t}$ 代替 $\Delta C_{TREE,t}$ ，用 $B_{BAMB,i,j,t}$ 代替 $B_{TREE,i,j,t}$ 。
- A.2.1.3 竹子生物量按附录A.1.2.1生物量方程法计算，用字母下标“BAMB”代替公式（A.3）中的字母下标“TREE”。其中竹子的单木生物量修正系数默认为1。
- A.2.1.4 主要竹种生物量方程可参考DB51/T 2985 附录A的表A.1 主要竹种（组）生物量方程参考表。

A.3 灌木碳储量变化

A.3.1 碳储量变化法

- A.3.1.1 项目活动下，项目边界内灌木碳储量变化量与本文件附录A.1.1一致。
- A.3.1.2 实际计算时，用字母下标“SHRUB”代替公式（A.1）、公式（A.2）中的字母下标“TREE”，如：用 $\Delta C_{SHRUB,t}$ 代替 $\Delta C_{TREE,t}$ ，用 $B_{SHRUB,i,j,t}$ 代替 $B_{TREE,i,j,t}$ 。
- A.3.1.3 灌木生物量按附录A.3.3灌木生物量计算的方法计算。
- A.3.1.4 主要灌木生物量方程可参考附件E，也可参考DB51/T 3317 的附录B的表B.1 常见灌木生物量估算的异速生长方程。

A.3.2 干材生长量法

灌木由于地上枝叶经常修剪，应直接查找当地或相近区域相关研究成果中单株干材生长量计算第*i*碳层灌木的碳储量的变化量。

$$\Delta C_{UGL_SHRUB,i,t} = \sum_{j=1} [\Delta V_{SHRUB,i,j} \times WD_{SHRUB,j} \times (1 + R_{SHRUB,j}) \times CF_{SHRUB,j} \times N_{SHRUB,j}] \times \frac{44}{12} \dots\dots (A.5)$$

式中：

- ΔC_{UGL_SHRUB} — 第*t*年时，项目边界内第*i*碳层灌木生物质的碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta V_{SHRUB,i,j}$ — 项目边界内第*i*碳层灌木*j*的单株年均干材生长量，单位为立方米每株每年（ $m^3 \cdot 株^{-1} \cdot a^{-1}$ ）；
- $WD_{SHRUB,j}$ — 灌木*j*的基本木材密度，单位为吨干生物质量每立方米（ $t\ d.m. \cdot m^{-3}$ ）；
- $R_{SHRUB,j}$ — 树种*j*的地下生物量与地上生物量之比，无量纲；
- $CF_{SHRUB,j}$ — 灌木*j*的生物量含碳率，单位为吨碳每吨干生物质量（ $t\ C \cdot (t\ d.m.)^{-1}$ ）；
- $N_{SHRUB,j}$ — 灌木*j*的株数，单位为株；
- $\frac{44}{12}$ — CO_2 与C的分子量比，无量纲。

A.3.3 灌木生物量计算方法

A.3.3.1 单株生物量方程法

第*i*碳层灌木*j*的生物量根据单株灌木地上生物量模型进行估算，计算方法见公式（A.6）。

$$B_{\text{SHRUB},i,j,t} = f_{\text{SHRUB_AGB},j}(x) \times (1 + R_{\text{SHRUB},j}) \times N_{\text{SHRUB},i,j,t} \times 0.001$$

$$\text{或 } B_{\text{SHRUB},i,j,t} = f_{\text{SHRUB},j}(x) \times N_{\text{SHRUB},i,j,t} \times 0.001$$

$$\text{或 } B_{\text{SHRUB},i,j,t} = f_{\text{SHRUB},j}(x) \times N_{\text{SHRUB SQ},i,j,t} \times A_{i,j,t} \times 0.001 \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中：

- $B_{\text{SHRUB},i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层灌木 j 的生物量，单位为吨干生物质量（t d.m.）；
- $f_{\text{SHRUB_AGB},j}()$ — 第 t 年时，灌木 j 的单株地上生物量的回归方程，单位为克干生物质量每株（kg d.m.·株⁻¹）；
- $f_{\text{SHRUB},j}(x)$ — 第 t 年时，灌木 j 的单株全株生物量的回归方程，单位为克干生物质量每株（kg d.m.·株⁻¹）；
- $R_{\text{SHRUB},j}$ — 灌木 j 的地下生物量与地上生物量之比，单位为无量纲；
- $N_{\text{SHRUB},i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层灌木 j 的株数，单位为株；
- $N_{\text{SHRUB SQ},i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层灌木 j 的单位面积株数，单位为株每平方米（株·m⁻²）；
- $A_{i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层灌木 j 的面积，单位为平方米（m²）；
- 0.001 — 将千克转换成吨的系数；
- x — 测树因子，可以是基径、株高、冠幅等。

A. 3. 3. 2 单位体积生物量法

使用单位体积生物量（全株），通过以下公式计算灌木生物量：

$$B_{\text{SHRUB},i,j,t} = B_{\text{UV},i,j} \times (A_{\text{SHRUB},i,j,t} \times CC_{\text{SHRUB},i,j,t} \times H_{\text{SHRUB},i,j,t}) \times 0.001 \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

式中：

- $B_{\text{SHRUB},i,j,t}$ — 第 t 年时，项目边界内 i 碳层灌木 j 生物量，单位为吨干生物质量（t d.m.）；
- $B_{\text{UV},i,j}$ — 第 i 碳层灌木 j 单位体积生物量，单位为千克干生物量每立方米（（kg d.m.）·m⁻³）；
- $A_{\text{SHRUB},i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层灌木 j 的面积，单位为平方米（m²）；
- $CC_{\text{SHRUB},i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层灌木 j 的覆盖度，百分比表示（%）；
- $H_{\text{SHRUB},i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层灌木 j 的平均高度，单位为米（m）；
- 0.001 — 将千克转换成吨的系数。

A. 4 草坪及地被物碳储量变化

A. 4. 1 草坪碳储量变化

保守地忽略草坪地上活体植物生物质和地下活体植物生物质两个碳库。

A. 4. 2 地被物碳储量变化法

A. 4. 2. 1 项目活动下，项目边界内地被物碳储量变化量实际计算时，用字母下标“COVER”代替本文件附录A. 1. 1的公式（A. 1）、公式（A. 2）中的字母下标“TREE”，如：用 ΔC_{COVER} 代替 ΔC_{TREE} ，用 B_{COVER} 代替 B_{TREE} 。

A. 4. 2. 2 地被物生物量通过对样方内不同类型多年生草本植物、地被物或宿根花卉进行采样烘干，实验室测定其生物量干重及含碳率，构建与栽植年限相关的生物量方程。

A. 4. 2. 3 地被物生物量按A. 3. 3. 2或查找当地或相近区域相关研究成果对地被植物碳储量进行计算。

A. 5 土壤有机碳储量变化

A. 5. 1 碳储量变化法

A. 5. 1. 1 项目建设和改造活动由于产生扰动，会使项目地块的土壤有机碳储量发生变化，最终趋于稳定。对于基线情景和项目情景的土壤有机碳储量的变化的预测本方法学采用以下假设：

- a) 土壤有机碳含量从项目开始前的植被类型的初始水平变化到与另种植被类型的稳态水平，大约需要20年时间；
- b) 从初始水平变化到与另种植被类型的稳态水平的20年间内，项目情景下各阶段土壤有机碳储量的变化是线性的。

A. 5. 1. 2 第t年时，所有碳层的土壤有机碳储量变化估算按公式（A. 8）进行计算。

$$\Delta SOC_t = \frac{44}{12} \times \sum_{i=1} (A_{SD,i,t} \times dSOC_{t,i}) \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中：

- ΔSOC_t — 第t年时，所有碳层的土壤有机碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $A_{SD,i,t}$ — 第t年时，第i碳层的土壤扰动面积，单位为公顷（ hm^2 ）；
- $dSOC_i$ — 第i碳层的土壤有机碳储量年变化率，单位为吨碳每公顷每年（ $t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ）；
- $\frac{44}{12}$ — 将C转换为 CO_2 的分子量比值。

A. 5. 1. 3 土壤有机碳储量年变化，当 $t > 20$ ， $dSOC_{i,t} = 0$ ；当 $t \leq 20$ 时采用下式计算：

$$dSOC_{t,i} = \frac{SOC_{REF,T,i} - SOC_{INITIAL,i}}{20} \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中：

- $dSOC_i$ — 第i项目碳层的土壤有机碳储量年变化率；单位为吨碳每公顷每年（ $t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ）；
- $SOC_{REF,T,i}$ — 与第i碳层项目情景实际植被类型土壤有机碳储量的稳态水平，可使用本文件附录G的参考值；单位为吨碳每公顷（ $t C \cdot hm^{-2}$ ）；

- $SOC_{INITIAL,i}$ — 项目开始时，第 i 项目碳层单位面积土壤有机碳储量初始水平，可使用本文件附录 G 的参考值，单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
- 20 — 土壤有机碳达到新的平衡态时所需时间，单位为年 (a)。

附 录 B
(规范性)
建设及管养时期引起的碳排放

B.1 施肥引起的温室气体排放

- B.1.1 如果基线情景确定为非绿地，则基线情景施肥引起的温室气体排放量设为 0。
- B.1.2 如果基线情景确定为绿地，基线情景和项目情景按照以下方法计算。计算方法见公式 (B.1) ~ (B.3)。假定施用肥料引起的N₂O排放全部发生在施用当年。

$$GHG_{FERT,t} = (F_{SN,P,t} + F_{ON,P,t}) \times EF_1 \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$F_{SN,P,t} = \sum_{i=1}^I M_{SF,i,P,t} \times NC_{SF,i} \times (1 - Frac_{GASF}) \dots\dots\dots (B.2)$$

$$F_{ON,P,t} = \sum_{j=1}^J M_{OF,j,P,t} \times NC_{OF,j} \times (1 - Frac_{GASM}) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

- GHG_{FERT,t} — 项目第 t 年时边界内施肥造成的 N₂O 直接排放，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂e·a⁻¹）；
- F_{SN,t} — 扣除以 NH₃ 和 NO_x 形式挥发的 N 以外，第 t 年项目活动下合成氮肥施用量，单位为吨氮（t-N）；
- F_{ON,t} — 扣除以 NH₃ 和 NO_x 形式挥发的 N 以外，第 t 年项目活动下有机氮肥施用量，单位为吨氮（t-N）；
- EF₁ — 肥料的 N₂O 排放因子，取值 0.0109，单位为吨亚硝态氮每吨氮（t N₂O-N·(t-N)⁻¹）；
- GWP_{N₂O} — N₂O 的增温潜势，取 273；
- M_{SF,i,t} — 第 t 年时，合成氮肥施用量，单位为吨（t）；
- M_{OF,j,t} — 第 t 年时，有机肥施用量，单位为吨（t）；
- NC_{SF,i} — 合成氮肥类型 i 的含氮量，单位为吨氮每吨（t-N·t⁻¹）；
- NC_{OF,j} — 有机肥类型 j 的含氮量，单位为吨氮每吨（t-N·t⁻¹）；
- Frac_{GASF} — 合成氮肥以 NH₃ 和 NO_x 形式挥发的比例，取 0.10；
- Frac_{GASM} — 有机肥以 NH₃ 和 NO_x 形式挥发的比例，取 0.20；
- i — 合成氮肥类型；
- j — 有机肥类型。

B.2 园林机械设备消耗燃料引起的温室气体排放

- B.2.1 若基线情景确定为非绿地，则基线情景园林机械设备消耗燃料引起的温室气体排放量为 0。
- B.2.2 若基线情景确定为绿地，基线情景和项目情景按照以下方法计算。

B.2.3 城市绿地施工和管护过程中使用绿篱机、打药机、剪草机、吊机、挖机等消耗化石燃料引起的温室气体排放计算见公式（B.4）。

$$GHG_{GM_FC,t} = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K FC_{GM,k,l} \times EF_{CO_2,k} \times NCV_k \times 0.001 \dots \dots \dots (B.4)$$

式中：

- $GHG_{GM_FC,l}$ — 第 t 年时，项目活动下使用园林机械作业燃油排放量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $FC_{GM,k,l,t}$ — 第 t 年时，园林机械类型 l 作业时消耗的燃料类型 k 的量，单位为千克（ kg ）或升（ L ）；
- $EF_{CO_2,k}$ — 燃料类型 k 的排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吉焦（ $kgCO_2e \cdot GJ^{-1}$ ）；
- NCV_k — 燃料类型 k 的净热值，单位为吉焦每千克（ $GJ \cdot kg^{-1}$ ）或吉焦每升（ $GJ \cdot L^{-1}$ ）；
- k — 燃料类型；
- K — 燃料类型数量；
- l — 机械类型；
- L — 机械类型数量；
- 0.001 — 将千克转换成吨。

B.3 泄漏—材料运输引起的温室气体排放的估算

施工过程中使用运输设备或工具导致项目边界外化石能源消耗量增加产生温室气体泄漏，计算方法见公式（B.5）。

$$LK_{Vehicle,t} = \sum_k (FC_{Vehicle,k,t} \times EF_{CO_2,k} \times NCV_k) \times 0.001 \dots \dots \dots (B.5)$$

式中：

- $LK_{Vehicle,t}$ — 第 t 年时，项目活动下使用运输设备的泄漏量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $FC_{Vehicle,k}$ — 第 t 年时，项目活动下使用运输设备消耗燃料 k 的使用量，单位为吨（ t ）或升（ L ）；
- $EF_{CO_2,k}$ — 燃料类型 k 的排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吉焦（ $kgCO_2e \cdot GJ^{-1}$ ）；
- NCV_k — 燃料类型 k 的净热值，单位为吉焦每千克（ $GJ \cdot kg^{-1}$ ）或吉焦每升（ $GJ \cdot L^{-1}$ ）；
- k — 燃料类型；
- 0.001 — 将千克转换成吨。

B.4 泄漏—客土使用引起的温室气体排放的估算

从项目边界外挖取客土，对客土原地的扰动而引起的有关碳库中碳储量的减少，计算方式见公式（B.6）～（B.9）。

$$LK_{SD,t} = LK_{TREE,t} + LK_{SHRUB,t} + LK_{SOC,t} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$LK_{TREE,t} = B_{FOREST_AGB} \times (1 + R_{TREE}) \times A_{LK,t} \times CF_{FOREST} \times \frac{44}{12} \dots\dots\dots (B.7)$$

$$LK_{SHRUB,t} = B_{SHRUB_LK} \times (1 + R_{SHRUB}) \times A_{LK,k,t} \times CF_{SHRUB} \times \frac{44}{12} \dots\dots\dots (B.8)$$

$$LK_{SOC,t} = \sum_k SOC_{REF,k} \times A_{LK,k,t} \times C_d \times \frac{44}{12} \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

- $LK_{SD,t}$ — 第 t 年时，由项目活动引起的客土使用引起的 CO_2 排放的增加量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $LK_{TREE,t}$ — 第 t 年时，客土使用引起的乔木生物质碳储量的减少量，单位为吨二氧化碳当量每 年
（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $LK_{SHRUB,t}$ — 第 t 年时，客土使用引起的灌木生物质碳储量的减少量，单位为吨二氧化碳当量每 年
（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $LK_{SOC,t}$ — 第 t 年时，客土使用引起的土壤有机碳储量的减少量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- B_{FOREST_AGB} — 项目所在地区完全郁闭的森林每公顷地上生物量平均值，单位为吨干生物质量每 公 顷
（ $t\ d.m \cdot hm^{-2}$ ）；
- R_{TREE} — 项目所在地区乔木地下生物量与地上生物量之比，单位为无量纲，此处取缺省值 0.243；
- CF_{FOREST} — 项目所在地区森林生物量中的含碳率，单位为吨碳每吨干生物质量（ $t\ C \cdot (t\ d.m.)^{-1}$ ），此处取缺省值 0.47；
- $A_{LK,k,t}$ — 第 t 年时，客土挖取破坏 k 类植被及土壤的面积，单位为公顷（ hm^2 ）；
- B_{SHRUB_LK} — 第 t 年时，客土挖取地灌木的每公顷地上生物量平均值；单位为吨干生物质量每公顷（ $t\ d.m \cdot hm^{-2}$ ）；
- R_{SHRUB} — 灌木的地下生物量与地上生物量之比，无量纲；
- CF_{SHRUB} — 灌木生物量中的含碳率，单位为吨碳每吨干生物质量（ $t\ C \cdot (t\ d.m.)^{-1}$ ）；
- $SOC_{REF,k}$ — 与客土原位所在地具有相似气候、土壤条件的 k 型地类或者植被类型下土壤有机碳储量的缺省值，缺省值见本文件附录 G，单位为吨碳每公顷（ $t\ C \cdot hm^{-2}$ ）；
- C_d — 土壤碳排放比例；单位为无量纲，缺省值为 0.20；
- $\frac{44}{12}$ — CO_2 与 C 的分子量之比；单位为无量纲。

附 录 C
(规范性)
监测样地数量与样地设置

C.1 样地设置

- C.1.1 项目地块多为斑块面积小（小于 1200m²）的，可选择斑块为取样单位。
- C.1.2 项目地块多为大型斑块（包含长条形和弧形）的，可选择样方/样带或样圆/半圆。
- C.1.3 项目地块多为大型斑块，植被组成复杂，且进入困难的，可选择特定路线样带，也可从乔木和散生灌木中抽取各树种总株数的 5%进行单株样木监测。
- C.1.4 样地、样带或样木都应有确定的位置信息。具体样地或样木布设参照表C.1。

表 C.1 监测样地设置原则表

监测地块特点	监测方法	样地设置方法及规格
斑块面积小	整个碳层内抽取斑块	按各碳层斑块数量比例的 5%，以整个斑块为调查单位。
大型斑块	碳层内布设样方	按碳层面积比例的 4%（每公顷 400 m ² ）设置，既每个碳层至少布设一个样方。
长条形斑块	碳层内布设样带	随机起点，进行 10m 的样带调查，样带长度是该碳层斑块总长度的 4%（每公里 40m 样带）。
弧形大型斑块	样圆、半圆	半径 50m 的半圆或 400 m ² 的圆形，取样面积占碳层面积的 4%（每公顷 400 m ² ）。
大型斑块，植被组成复杂， 且进入困难	特定路线样带	样带要穿过主要植被群落类型，根据树种累积数量确定横断面长度，树种总积累量至少达到总株数的 5%。
	总株数抽样木	抽取各树种总株数的 5%，结合网格样方、样带调查，保证不同树种中各规格都被覆盖。

C.2 片状灌木及地被物的样地设置

对灌木或地被物各层进行等面积划分，应使用简单随机抽样方法抽取碳层面积的至少 1%进行调查。

附 录 D
(规范性)
生物质碳储量的监测方法

D.1 乔木、散生灌木生物质碳储量监测

D.1.1 监测步骤

D.1.1.1 样地/带每木检尺

实测样地内所有活立木的胸径（基径）、树高，乔木起测胸径为 2.0cm，灌木起测基径 1.0cm。其余要求按照 GB/T 38590 执行。

D.1.1.2 计算样地生物质碳储量

采用本文件附录 A 中的方法计算样地内各树种的乔木生物质碳储量，累加后得到各样地的生物质碳储量。

D.1.1.3 计算各碳层单位面积（或单株平均）生物质碳储量

计算第 i 碳层平均单位面积（或单株平均）乔木、散生灌木生物质碳储量的估计值及其方差，计算方法见公式（D.1）、公式（D.2）。散生灌木实际计算时，用字母下标“SC_SHRUB”代替公式中的字母下标“TREE”。

$$C_{TREE,i,t} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} C_{TREE,i,p,t}}{n_i} \dots\dots\dots (D.1)$$

$$S^2_{C_{TREE,i,t}} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} (C_{TREE,i,p,t} - C_{TREE,i,t})^2}{(n_i - 1)} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

- $C_{TREE,i,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷（t C·hm-2）或吨碳每株（t C·株-1）；
- $C_{TREE,i,p}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层样地 p 的单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量，吨碳每公顷（t C·hm-2）或吨碳每株（t C·株-1）；
- n_i — 第 i 项目碳层的样地数或监测株数，单位为个或株；
- $S^2_{C_{TREE,i,t}}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量估计值的方差，单位为吨碳每公顷的平方（（t C·hm-2）²）或吨碳每株的平方（（t C·株-1）²）。

D.1.1.4 计算项目总体单位面积（单株）生物质碳储量和方差

计算项目总体的平均单位面积/单株乔木生物质碳储量的估计值及其方差，计算方法见公式（D.3）～（D.4）。

$$C_{TREE,t} = \sum_{i=1}^M (w_i \times C_{TREE,i,t}) \dots\dots\dots (D.3)$$

$$S^2_{C_{TREE,t}} = \sum_{i=1}^M (w_i^2 \times \frac{S^2_{C_{TREE,i,t}}}{n_i}) \dots\dots\dots (D.4)$$

式中：

- $C_{TREE,t}$ — 第 t 年时，项目边界内的平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷（ $t\ C \cdot hm^{-2}$ ）或吨碳每株（ $t\ C \cdot 株^{-1}$ ）；
- w_i — 第 i 项目碳层面积（或碳层内株数）与项目总面积（或总株数）之比， $w_i=A_i/A$ （或 $w_i=N_i/N$ ），项目情景监测时的乔木总株数按照本文件附录 D.1.2 的方法计算，无量纲；
- $C_{TREE,i,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层的平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷（ $t\ C \cdot hm^{-2}$ ）或吨碳每株（ $t\ C \cdot 株^{-1}$ ）；
- $S^2_{C_{TREE,t}}$ — 第 t 年时，项目总体平均数（平均单位面积（或单株平均）乔木木生物质碳储量）估计值的方差，单位为吨碳每公顷的平方（ $(t\ C \cdot hm^{-2})^2$ ）或吨碳每株的平方（ $(t\ C \cdot 株^{-1})^2$ ）；
- $S^2_{C_{TREE,i,t}}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量估计值的方差；单位为吨碳每公顷的平方（ $(t\ C \cdot hm^{-2})^2$ ）或吨碳每株的平方（ $(t\ C \cdot 株^{-1})^2$ ）；
- n_i — 第 i 项目碳层的样地数/监测株数，单位为个或株；
- M — 项目边界内估算乔木生物质碳储量的分层总数。

D.1.1.5 计算生物质碳储量的不确定性

计算项目边界内平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的不确定性，不确定性要求相对误差 不大于 10%，即抽样精度不低于 90%，同时可靠性指标为 90%。计算方法见公式（D.5）。

$$u_{C_{TREE,t}} = \frac{t_{VAL} \times S_{C_{TREE,t}}}{C_{TREE,t}} \dots\dots\dots (D.5)$$

式中：

- $u_{C_{TREE,t}}$ — 第 t 年时，项目边界内平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的估计值的 不确定性（相对误差限），单位为%；
- t_{VAL} — 可靠性指标：自由度等于 $n-M$ （其中 n 是项目边界内样地（样木）总数， M 是乔木 生物量估算的分层总数），置信水平为 90%，查 t 分布双侧分位数表获得；
- $S_{C_{TREE,t}}$ — 第 t 年时，项目边界内平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的估计值的 方差的平方根（即标准误差），吨碳每公顷（ $t\ C \cdot hm^{-2}$ ）或吨碳每株（ $t\ C \cdot 株^{-1}$ ）；
- $C_{TREE,t}$ — 第 t 年时，项目边界内的平均单位面积（或单株平均）乔木生物质碳储量的估计值， 单位为吨碳每公顷（ $t\ C \cdot hm^{-2}$ ）或吨碳每株（ $t\ C \cdot 株^{-1}$ ）。

D.1.1.6 计算乔木生物质总碳储量

计算第 t 年项目边界内的乔木生物质总碳储量，计算方法见公式（D.6）。

$$C_{TREE,t} = AN \times C_{TREE,t} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中：

- $C_{TREE,t}$ — 第 t 年项目边界内乔木生物质碳储量的估计值，吨碳（t C）；
- AN — 项目边界内各碳层的面积（或株数）总和，项目情景监测时的乔木总株数按照本文件附录 D.1.2 的方法计算，单位为公顷（hm²）或株；
- $C_{TREE,t}$ — 第 t 年项目边界内平均单位面积/单株乔木生物质碳储量估计值，单位为吨碳每公顷（t C·hm⁻²）或吨碳每株（t C·株⁻¹）。

D. 1. 1. 7 计算生物质碳储量的年变化量

计算项目边界内乔木生物质碳储量的年变化量。假设一段时间内，乔木生物量的变化是线性的，计算核查期内第 t 年（t₁≤t≤t₂）时项目边界内乔木生物质碳储量的变化量，计算方法见公式（D. 7）。

$$\Delta C_{TREE(t_1,t_2)} = \frac{C_{TREE,t_2}-C_{TREE,t_1}}{t_2-t_1} \dots\dots\dots (D.7)$$

式中：

- $\Delta C_{TREE(t_1,t_2)}$ — 第 t₁ 年和第 t₂ 年之间项目边界内乔木生物质碳储量的年变化量，吨碳每年（t C·a⁻¹）；
- C_{TREE,t_2} — 第 t₁ 年时，项目边界内乔木生物质碳储量估计值，单位为吨碳（t C）；
- C_{TREE,t_1} — 第 t₂ 年时，项目边界内乔木生物质碳储量估计值，单位为吨碳（t C）；
- t₂ - t₁ — 两次连续测定的时间间隔，单位为年（a）。

注：首次核查时，将项目活动开始时乔木生物量的碳储量赋值给公式（D. 1）中的变量 C_{TREE, i, t0}。

D. 1. 2 乔木、散生灌木总株数的监测和计算方法

D. 1. 2. 1 全面调查法

当项目地块面积较小或调查成本可控时，对整个项目区域开展实地调查，对于每个地块中每种树种的存活株数进行计数，得到各树种株数信息，并对每棵乔木（灌木）进行编号以确保追踪；或利用高分辨率的地理空间影像（如卫星影像、航片）判读，得到株数信息；拥有乔木登记、监测和管理系统的可以直接使用系统中的乔木株数信息。

D. 1. 2. 2 抽样调查法

当项目地块面积较大或调查成本过高时，结合监测的抽样调查，对于样地/样带的每种树种的存活株数进行计数，通过以下步骤估算出总株数：

- a) 第一步：样地/样带每木计数。确定实测样地内所有活立木的株数 N_{PLOT, t}。
- b) 第二步：将样地/样带边界与空间校正后的建设施工图纸或验收图纸进行空间叠加，得到样地/带内建设完成时株数 N_{PLOT, t0}。
- c) 第三步：将实测样地/样带活立木株数 N_{PLOT, t} 与建设完成时株数 N_{PLOT, t0} 比较。
 - 1) 当监测时的株数 N_{PLOT, t} 小于初始的株数 N_{PLOT, t0} 时，第 t 年项目情景下各树种的总株数 N_{PROJ, t} 通过以下公式（D. 8）计算。

$$N_{PROJ,i,t} = \frac{N_{PLOT,i,t}}{N_{PLOT,i,t_0}} \times N_{TREE,i,t_0} \dots\dots\dots (D.8)$$

式中：

- $N_{PROJ,i,t}$ — 第 t 年时，i 碳层乔木的总株数，单位为株；
 - $N_{PLOT,i,t}$ — 第 t₀ 年时，样地/带内 i 碳层设计或验收的株数，单位为株；
 - N_{PLOT,i,t_t} — 第 t 年时，样地/带内 i 碳层监测记录的株数，单位为株；
 - N_{TREE,i,t_t} — 第 t₀ 年时，i 碳层设计或验收的总株数，单位为株。
- 2) 当监测时的株数 $N_{PLOT, t}$ 大于初始的株数 N_{PLOT, t_0} 时，第 t 年项目情景下监测时各碳层的株数就是设计或验收株数 N_{PLOT, t_0} 。

D.2 片状灌木及地被物生物物质碳储量监测

D.2.1 在第i项目碳层样地p内设置样方q（面积≥2m²），测定样方内灌木的基径、高、冠幅和株数等，利用A.4.2 章节，计算样地p内灌木的单位面积生物量，见公式（D.9）。

$$b_{SHRUB,i,p,t} = \frac{\sum_{j=1} b_{SHRUB,i,q,j,t} \times 0.001}{\sum A_{SHRUB,i,p,q,t}} \dots\dots\dots (D.9)$$

式中：

- $b_{SHRUB,i,p,t}$ — 第 t 年时，项目边界内第 i 项目碳层样地 p 内的平均单位面积灌木生物量，单位为吨干生物质量每公顷（t d.m·hm⁻²）；
- $b_{SHRUB,i,q,j}$ — 第 i 项目碳层内样方 q 中第 j 类灌木生物量，单位为千克干生物质量（kg d.m）；
- $A_{SHRUB,i,p,t}$ — 第 t 年时，第 i 项目碳层内样方 q 的面积，单位为公顷（hm²）。

D.2.2 余下步骤参考附录 D.1 节第三步至第七步提供的方法，实际计算时，用字母下标“SHRUB”或“COVER”代替公式中的字母下标“TREE”。

附 录 E
(资料性)
常见园林树种生物量模型

常见园林乔木树种的生物量模型见表 E. 1，灌木的生物量模型见表 E. 2。

表 E. 1 常见园林乔木单株树种生物量模型

树种（组）名	器官	模型表达式 ^a	模型参数		R ²
			a	b	
槭	全株	$B=a \cdot (D^2H)^b$	0.4746	0.9113	0.854
金合欢	全株		0.1147	0.8634	0.993
大叶相思	全株		0.1710	0.8220	0.955
印楝	全株		0.1460	0.8280	0.972
银杏	全株	$B=a+b \cdot (D^2H)$	-0.684	0.090	0.955
杜英	全株		1.422	0.028	0.972
栎树	全株		0.915	0.100	0.796
刺槐	全株		0.714	0.029	0.859
香樟	全株		0.937	0.037	0.995
紫薇	全株		0.895	0.035	0.910
大叶女贞	全株		0.907	0.010	0.956
杜仲	全株		1.687	0.046	0.946
南酸枣	全株		0.825	0.020	0.895
云杉	树干	$B=a \cdot (D^2H)+b$	0.011	37.563	0.930
云南松	树干		0.012	6.965	0.940
柏木	树干		0.019	2.460	0.820

表 E.1 常见园林乔木单株树种生物量模型（续）

树种（组）名	器官	模型表达式 ^a	模型参数		R ²
杉木	树干		0.010	5.011	0.880
马尾松	树干		0.013	13.058	0.910
落叶松	树干		0.011	4.767	0.940
其他松类	树干		0.021	1.616	0.980
桦类	树干		0.012	30.346	0.750
栎类	树干		0.018	20.587	0.890
樟	树干		0.017	6.742	0.930
楠	树干		0.017	6.186	0.880
杨属	树干		0.009	25.833	0.930
桉属	树干		0.017	-0.533	0.940
硬阔	树干		0.022	7.421	0.860
软阔	树干		0.017	4.011	0.970
^a B—生物量，单位为千克（kg）； D—胸径，单位为厘米（cm）； H—树高，单位为米（m）。					

表 E.2 常见灌木树种生物量模型

树种（组）名、 灌木类型	对象	器官	模型表达式 ^a	模型参数		R ²
				a	b	
灌木林	单位 面积	全株	$B=a \cdot e^{b \cdot cc}$	5.7953	2.1959	0.442

表 E.2 常见灌木树种生物量模型（续）

树种（组）名、 灌木类型	对象	器官	模型表达式 ^a	模型参数		R ²
大白杜鹃、白背杜鹃 金顶杜鹃	单株	茎	B=a+b • (GD ² H)	-0.211	0.064	0.885
		叶		0.043	0.004	0.828
		地下		-0.216	0.082	0.968
密枝杜鹃、草原杜鹃 头花杜鹃		茎		0.199	0.037	0.933
		叶		0.095	0.020	0.979
		根		0.393	0.061	0.969
小果蔷薇、绢毛杜鹃		茎		0.170	0.060	0.924
		叶		-0.001	0.027	0.934
		根		0.083	0.028	0.955
亚热带常绿阔叶林区域 a 类型灌木		全株		0.2652	0.0367	0.618
		地上		0.1169	0.0294	0.616
亚热带常绿阔叶林区域 b 类型灌木		茎枝	B=a+b • A _c	0.0211	0.4208	0.561
		叶	B=a • A _c ^b • 1.2669	0.0778	0.9059	—
青藏高原高寒植被区域 b 类型灌木		全株	B=a+b • A _c	0.2213	0.4632	0.452
		地上		0.1375	0.2029	0.3488
		地下	B=a+b • AGB	-0.0353	1.0296	0.710

^aB—生物量，单位为千克（kg）；

CC—盖度，无量纲；

GD—基径，单位为厘米（cm）；

H—树高，单位为米（m）；

A_c—冠幅投影面积，单位为平方米（m²）；

AGB—单株地上生物量，单位为千克（kg）。

附 录 F
(资料性)
不同树种单木物量模型修正系数

不同树种单木物量模型修正系数见表 F. 1。

表 F. 1 常见城市绿化树种单木物量模型修正系数

处理类型	树种（组） ^a	单木生物量修正系数 ^b	
		MI _{AGB}	MI _{BGB}
移栽截根、自然生长	银杏（DBH≤20cm）	/	0.3
	皂荚	/	0.15
	榕树	/	0.15
	玉兰	/	0.3
移栽截根、截干	樟树	0.8	0.25
	楠木	0.7	0.2
	桢楠	0.7	0.25
	朴树	0.8	0.15
	梧桐	0.6	0.2
	栎树	0.7	0.15
	紫薇	0.9	0.4
移栽截根、修枝	桂花	0.95	0.3
	天竺桂	0.95	0.3
移栽截根、截干并修枝	银杏（DBH>20cm）	0.8	0.2
^a DBH—胸径，单位为厘米（cm）； ^b MI _{AGB} —地上生物量修正系数，无量纲；MI _{BGB} —地下生物量修正系数，无量纲。			

附 录 G
(资料性)
土壤有机碳密度的参考值

与客土原位所在地具有相似植被类型下土壤有机碳储量的缺省值见表 G. 1。

表 G. 1 不同植被类型土壤有机碳密度的缺省值

地类/植被类型	参考值	地类/植被类型	参考值
亚热带常绿阔叶林	40.0	亚热带矮林	228.3
亚热带常绿-落叶阔叶林混交林	49.2	亚热带疏林	36.9
亚热带落叶阔叶林	53.6	亚热带灌丛	39.9
亚热带常绿针叶林	31.7	温带灌木半灌木荒漠	11.7
亚热带针阔混交林	50.3	高寒草原草甸	75.6
注：参数来源于 LY/T 2988-2018 森林生态系统碳储量计量指南和全国第二次土壤普查数据。			

附 录 H
(资料性)
主要的监测参数

监测的主要参数和描述见表 H.1。

表 H.1 主要监测的参数和描述

参数名称	描述	单位	备注
A	项目的面积	公顷 (hm ²)	项目地理边界内的面积
A _i	第 i 碳层的面积	公顷 (hm ²)	在项目情景下用 A _{PROJ, i} 表示, 在基线情景下用 A _{BSL, i} 表示
A _p	样地 p 的面积	公顷 (hm ²)	乔木使用 A _{p, TREE} 表示, 灌木使用 A _{p, HRUB} 表示, 竹子使用 A _{p, BAMB} 表示
A _{SD}	土壤扰动面积	公顷 (hm ²)	包括栽植和改变植被类型的面积
A _{LK, k}	客土挖取破坏 k 类植被及土壤的面积	公顷 (hm ²)	—
N _j	第 j 种乔(灌)木或竹子的株数	株	乔木使用 N _{TREE} 表示, 灌木使用 N _{SHRUB} 表示, 竹子使用 N _{BAMB} 表示
DBH	乔木或竹子的胸径	厘米 (cm)	项目情景使用实地监测数据, 基线情景使用施工或竣工文件植物规格的记录
GD	灌木树种的地径/基径	厘米 (cm) 或毫米 (mm)	根据使用的方程或模型的要求选择单位; 项目情景使用实地监测数据, 基线情景使用施工或竣工文件植物规格的记录
H	乔(灌)木或竹子的高度	米 (m)	根据使用的方程或模型的形式选择是否监测; 项目情景使用实地监测数据, 基线情景使用施工或竣工文件植物规格的记录
CD	散生灌木树种的冠幅	米 (m)	根据使用的方程或模型的形式选择是否监测; 项目情景使用实地监测数据, 基线情景使用施工或竣工文件植物规格的记录
CC	灌木林覆盖度	无量纲	小数表示 (如 10% 记为 0.1)
M	合成氮肥或有机肥施用量	吨 (t)	第 i 种合成氮肥施用量用 M _{SF, i} 表示, 第 j 种有机肥施用量用 M _{OF, j} 表示
FC _{GM, k, l}	第 l 类型园林机械作业消耗的 k 类型燃料的量	千克 (kg) 或升 (L)	根据使用的方程或模型的要求选择单位

参 考 文 献

- [1] GB/T 41198 林业碳汇项目审定和核证指南
 - [2] GB/T 46566 温室气体管理体系 要求
 - [3] LY/T 2988-2018 森林生态系统碳储量计量指南
 - [4] LY/T 3253 林业碳汇计量监测术语
 - [5] DB51/T 2985 竹林经营碳普惠方法学
 - [6] DB51/T 3317 高寒草地生态修复碳汇核算技术规范
 - [7] 方精云. 全球生态学：气候变化与生态响应[M]. 北京高等教育出版社, 2000
 - [8] 肖前刚, 廖兴勇, 任德智等. 成都市森林和园林树木碳计量及应用研究[R]. 四川省林业调查规划院, 成都市农林科学院, 2019
 - [9] 陈传国, 郭杏芳. 1984, 阔叶红松林生物量的研究[J]. 林业勘察设计, (2):10-19
 - [10] 高成杰, 唐国勇, 孙永玉, 等. 2012. 不同恢复模式下干热河谷幼龄印楝和大叶相思生物量及其分配[J]. 浙江农林大学学报, (29):482-490
 - [11] 贺红早, 黄丽华, 段旭等. 2007, 贵阳二环林带主要树种生物量研究[J]. 贵州科学, (03):33-39
 - [12] 刘波, 徐明, 张文, 等. 2013. 区域林业碳汇(源)计量体系开发及应用研究[R]
 - [13] CCER- 14-001-V01 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇
-