

附件 2

四川省林草碳普惠项目方法学

森林经营

(SCER-LY-002-V01)

目 录

1 引言	1
2 适用条件.....	1
3 规范性引用文件.....	1
4 术语与定义.....	2
5 项目边界、计入期.....	3
6 碳库和温室气体排放源.....	4
7 项目减排量核算方法.....	4
8 监测方法.....	6
9 项目审定与减排量核查要点.....	12
附录 A 森林生物质碳储量变化计算方法	15
附录 B 监测样地数量计算与样地布设方法	19
附录 C 森林生物质碳储量变化的样地监测方法	21
附录 D 碳计量主要参数.....	24
参考文献.....	30

四川省林草碳普惠项目方法学 森林经营

(SCER-LY-002-V01)

1 引言

森林是陆地生态系统中最大的碳库，森林经营碳普惠项目可通过森林经营与管理活动，巩固提升森林生态系统的固碳增汇能力，实现二氧化碳清除，是减缓气候变化、助力碳达峰碳中和目标实现的重要途径。符合条件的森林经营碳普惠项目可按照本文件要求，开展林草碳普惠项目监测和减排量核算，以及审定林草碳普惠项目和核查其减排量。

2 适用条件

本文件适用于四川省内的森林经营，使用本文件的森林经营碳普惠项目必须满足以下条件：

a) 项目开始时，项目边界内的林地应为乔木林地的幼龄林、中龄林和近熟林，以及符合定义的成林稳定阶段竹林；

b) 项目单个地块土地连续面积不小于400m²。对于2019年（含）之前开始的项目，土地连续面积不小于667m²；

c) 项目土地和减排量权属清晰。项目土地具备不动产权属证书、土地证、林权证、集体林地承包合同或流转合同中的任意一种；具有与拥有林木所有权或经营权的项目实施主体的项目减排量收益分配合同或协议；

d) 项目活动符合相关技术标准或规程，包括森林抚育、退化林修复、有害生物防治和可持续森林经营管理，以及促进竹林发笋、改善竹林结构、竹种更新调整、维护竹林健康等固碳增汇措施；

e) 除对病（虫）原疫木进行必要的火烧外，项目不允许其他人为火烧活动；

f) 项目应符合法律法规要求，符合行业发展政策。

3 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 26423 森林资源术语

GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程

GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程

GB/T 15781 森林抚育规程

GB/T 44351 退化林修复技术规程

LY/T 1812 林地分类

LY/T 2908 主要树种龄级与龄组划分

DB51/T 2982 森林经营碳普惠方法学

DB51/T 2985 竹林经营碳普惠方法学

CCER-14-001-V01 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇

4 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1 森林经营 forest management

对符合碳普惠项目适用条件的乔木林和竹林，通过人工措施提高固碳增汇能力和其他生态服务功能的过程。森林经营和退化林修复技术要求按GB/T 15781和GB/T 44351的规定执行。

[来源：DB51/T 2982-2022，3.1；DB51/T 2985-2022，3.1。有修改]

4.2 碳普惠项目 carbon inclusive project

基于碳普惠机制的增汇和减排活动，经核证的减排量可用于抵消碳排放。

[来源：DB51/T 2982-2022，3.2。有修改]

4.3 乔木林 arboreal forests

乔木（含因人工栽培而矮化的）郁闭度 ≥ 0.2 的片林或林带。其中，乔木林带行数应在2行以上且行距 $\leq 4\text{m}$ 或林冠冠幅水平投影宽度在10m以上。

[来源：GB/T 26423-2010，6.68；LY/T 1812-2021，表1。有修改]

4.4 竹林 bamboo forest

郁闭度 ≥ 0.2 ，附着有胸径 2cm 以上的竹类植物的片林或林带。

[来源：GB/T 26423-2010，6.69；LY/T 1812-2021，表1。有修改]

4.5 龄组 age group

根据林木生长发育阶段和经营目的而进行的对林分龄级的分组。

乔木林分为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林。

竹林分为幼龄竹、壮龄竹和老龄竹。

[来源：LY/T 2908-2017，3.3。有修改]

4.6 碳库 carbon pools

生态系统中碳储存的形式或场所，包括地上生物质、地下生物质、枯落物、枯死木、土壤有机碳和木（竹）产品。

[来源：CCER-14-001-V01，4.10]

4.7 地上生物质 aboveground biomass

土壤层以上所有活体植物的生物质，包括茎干、桩、枝、皮、叶、花、果和繁殖体等。

[来源：CCER-14-001-V01，4.11]

4.8 地下生物质 belowground biomass

土壤层以下所有植物活根的生物质，通常不包括难以从土壤有机成分或枯落物中区分出来的直径 $\leq 2\text{mm}$ 的细根。

[来源：CCER-14-001-V01，4.12]

4.9 木（竹）产品 harvested wood or bamboo products

由项目产生的、从项目边界内移出的木材（或竹材）加工而成，在项目计入期结束后仍然在用或进入到垃圾填埋的木制（或竹制）产品。

[来源：CCER-14-001-V01，4.17]

4.10 枯落物 litter

枯落物是土壤层以上，直径 $\leq 5\text{cm}$ 、处于不同分解状态的所有死有机质，包括凋落物、腐殖质，以及难以从地下生物质区分出来的细根。

[来源：CCER-14-001-V01，4.14]

4.11 枯死木 dead wood

枯落物以外的所有死有机质，包括枯立木、枯倒木以及直径 $> 5\text{cm}$ 的枯枝、死根和树桩。

[来源：CCER-14-001-V01，4.15]

5 项目边界、计入期

5.1 项目边界

项目活动可在若干不同地块上进行，但每个地块都需要明确的地理边界。

项目边界采用下列方法之一确定：

a) 采用北斗卫星导航系统（BDS）等卫星导航定位系统，直接测定项目地块的边界坐标，单点定位误差不超过 5m；

b) 利用高分辨率的地理空间数据（如卫星影像、航片）、森林分布图、林相图、林地“一张图”或林草资源“一张图”、森林经营管理规划图、森林经营设计或验收等，在地理信息系统（GIS）辅助下直接读取项目地块的边界坐标；

c) 使用比例尺不小于1:10000的地形图进行现场勾绘，结合罗盘仪、卫星导航定位系统进行精度控制。

5.2 项目计入期

项目计入期为可申请项目减排量登记的时间期限，从项目业主申请登记的项目减排量的产生时间开始，项目计入期最短时间不低于10年，最长40年。

6 碳库和温室气体排放源

6.1 碳库选择

项目边界内选择或不选择的碳库如表1所示。

表 1 碳库的选择

情景	碳库	选择	理由
基准线情景	地上生物质	是	基准线情景该碳库会发生显著变化
	地下生物质	是	基准线情景该碳库会发生显著变化
	枯死木	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	枯落物	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	土壤有机碳	否	基于保守性原则，忽略不计
	木（竹）产品	否	基准线情景下不会有木材和竹材收获，忽略不计
项目情景	地上生物质	是	项目会导致该碳库碳储量发生显著变化
	地下生物质	是	项目会导致该碳库碳储量发生显著变化
	枯死木	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	枯落物	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	土壤有机碳	否	基于保守性原则，忽略不计
	木产品	否	项目情景相比于基准线情景，乔木林经营出材较少，基于保守性原则，忽略不计
	竹产品	可选	项目情景相比于基准线情景，竹产品碳库会发生显著变化，基于保守性原则也可忽略不计

6.2 温室气体排放源

项目计入期内，由于项目情景相较于基准线情景并没有增加森林火灾的风险，故不考虑森林火灾带来的CH₄和N₂O排放。

7 项目减排量核算方法

7.1 基准线情景识别

本文件规定，在没有项目活动时，项目边界内森林经营的普遍现状在未来不会发生重大变化。

7.2 额外性论证

森林经营碳普惠项目以建立稳定、健康、优质、高效的森林生态系统为目标，通过科学有效地实施各种经营措施，修复和增强森林的供给、调节、服务、支持等多种功能。项目不仅有利于提高森林质量和森林固碳增汇能力，同时具有保护生物多样性、缓解全球气候变化、遏制土地退化、控制水土流失和满足多样化社会文化需求的重要作用。项目带来的减排量收益将惠及拥有林木所有权或经营权的项目实施主体，有助于乡村、国有林场或企业的可持续发展。森林经营和森林管护等活动成本高，收益很低或难以获得减排量以外的其他经济收入，不具备财务吸引力。

基于项目所发挥的生态效益和社会效益，森林经营碳普惠项目的额外性免于论证。

7.3 碳层划分

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抽样层次（简称“碳层”）。碳层划分需要综合考虑项目边界内林地的乔木（竹）树种组成、龄组、蓄积、郁闭度等因素，将无显著差别的乔木（竹）林地划分为同一碳层。

基准线碳层划分主要目的是估算基准线情景的碳储量变化量，并为项目第一次监测活动提供依据。

项目碳层划分用于计算项目实际碳储量变化量，依据实施森林经营活动后的林分现状进行划分。

7.4 基准线清除量计算

基准线清除量按照如下公式计算：

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{BSL,BIO,t} \quad \text{公式（1）}$$

式中：

- $\Delta C_{BSL,t}$ — 项目第 t 年的基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\text{CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{BSL,BIO,t}$ — 项目第 t 年的基准线森林生物质碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\text{CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用附录 A 计算。成林稳定阶段竹林生物质碳储量处于动态平衡，基准线清除量为 0；
- t — 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

7.5 项目清除量计算

项目清除量按照如下公式计算：

$$\Delta C_{PROJ,t} = \Delta C_{PROJ,BIO,t} + \Delta C_{PRO,HWP,t} \quad \text{公式（2）}$$

式中：

- $\Delta C_{PROJ,t}$ — 第 t 年的项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{PROJ,BIO,t}$ — 第 t 年的项目边界内森林生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)，采用附录 A 计算；
- $\Delta C_{PRO,HWP,t}$ — 第 t 年的竹产品碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)，采用附录 A 计算；
- t — 1,2,3,.....项目开始以来的年数 (a)。

7.6 项目泄漏计算

根据本文件适用条件，项目不考虑泄漏，故 $LK_t = 0$ 。

7.7 项目减排量核算

项目减排量等于项目清除量与基准线清除量和泄漏之差。

$$CDR_t = \Delta C_{PROJ,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad \text{公式 (3)}$$

式中：

- CDR_t — 项目第 t 年的项目减排量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{PROJ,t}$ — 项目第 t 年的项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{BSL,t}$ — 项目第 t 年的基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- LK_t — 项目第 t 年的泄漏量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- t — 1,2,3,.....项目开始以来的年数 (a)。

8 监测方法

8.1 无需监测的参数和数据

表 2 **CF**的技术内容和确定方法

数据/参数名称	CF
应用的公式编号	公式 (A-2)、公式 (A-5)、公式 (A-6)
数据描述	生物质含碳率
数据单位	$tC\cdot(td.m.)^{-1}$
数据来源	可选择地方标准中适用于项目区的数据；或采用本文件及附录中推荐的缺省值
数值	见附录 D-4
数据用途	用于将生物量转换为生物质碳储量

表 3 R的技术内容和确定方法

数据/参数名称	R
应用的公式编号	公式 (A-3)、公式 (A-7)、公式 (A-11)
数据描述	森林地下生物量占地上生物量的比例
数据单位	无量纲
数据来源	可选择地方标准中适用于项目区的数据；或采用本文件及附录中推荐的缺省值
数值	见附录 D-5
数据用途	用于利用地上生物量计算地下生物量

表 4 $f_{V,tree}(DBH)$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$f_{V,tree}(DBH)$
应用的公式编号	公式 (A-8)
数据描述	单株乔木材积与胸径的相关方程
数据单位	m^3
数据来源	采用本文件及附录中推荐的缺省值
数值	见附录 D-8
数据用途	用于利用胸径计算单株乔木材积

表 5 $f_{B,BF}(DBH,H)$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$f_{B,BF}(DBH,H)$
应用的公式编号	公式 (A-10)、公式 (A-12)
数据描述	单株竹子 (全株) 地上生物量与胸径树高的相关方程
数据单位	$t\ d.m. \cdot 株^{-1}$
数据来源	可选择地方标准中适用于项目区的数据；或采用本文件及附录中推荐的缺省值
数值	见附录 D-9
数据用途	用于利用胸径和树高计算竹林单株生物量

表 6 WD的技术内容和确定方法

数据/参数名称	WD
应用的公式编号	公式 (A-3)、公式 (A-7)
数据描述	乔木树种的基本木材密度，即单位材积的干物质重量
数据单位	$t\ d.m. \ m^{-3}$
数据来源	采用本文件及附录中推荐的缺省值
数值	见附录 D-6
数据用途	用于将林木蓄积量转换为树干生物量

表 7 BEF的技术内容和确定方法

数据/参数名称	BEF
应用的公式编号	公式 (A-3)、公式 (A-7)
数据描述	乔木林生物量扩展因子
数据单位	无量纲
数据来源	采用本文件及附录中推荐的缺省值
数值	见附录 D-7
数据用途	用于将乔木林树干生物量转化为地上生物量

表 8 RE_t 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	RE_t
应用的公式编号	公式 (A-6)
数据描述	项目情景下采伐收获的竹材转化为竹产品后在不同年份保留下来的比例
数据单位	%
数据来源	本表默认值。通过对四川省 2020-2022 年林业统计年鉴中的毛竹收获量以及竹地板和人造板的产量，考虑生产过程的竹材利用率、产品使用寿命等计算得到
数值	见附录 D-10
数据用途	用于计算项目情景下竹产品碳库的碳储量

8.2 需要监测的参数和数据

表 9 $A_{i,j,t}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$A_{i,j,t}$
应用的公式编号	公式 (A-3)、公式 (A-7)、公式 (A-10)、公式 (A-11)
数据描述	第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的森林面积
数据单位	hm ²
数据来源	野外测定
监测点要求	所有实际实施森林经营活动的项目地块边界坐标
监测仪表要求	实时动态差分技术 (RTK)、BDS 等导航设备、高分辨率卫星影像和大比例尺地形图
监测程序与方法要求	核对实际实施的项目地块边界坐标与项目设计或项目验收是否一致，针对不一致的地方： a) 位于项目设计或验收边界之外的部分，不得纳入项目边界内； b) 项目设计或验收边界内尚未实际实施的部分地块须移出项目边界外，并重新测定相关部分的项目边界坐标

监测频次与记录要求	首次核查开始，一般每 5 年至少监测一次。须有项目及碳层边界坐标的.shp 或.kml 文件
质量保证/质量控制程序要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算项目清除量

表 10 DBH的技术内容和确定方法

数据/参数名称	DBH
应用的公式编号	公式（A-8）、公式（A-10）、公式（A-12）
数据描述	乔木或竹子的胸径
数据单位	cm
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	胸径测量仪、皮尺；罗盘、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	首次核查开始，每 5 年至少监测一次。精确到小数点后一位
质量保证/质量控制程序要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算监测样地的单位面积生物量

表 11 H的技术内容和确定方法

数据/参数名称	H
应用的公式编号	公式（A-10）、公式（A-12）
数据描述	竹子的高度
数据单位	m
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	测高仪、皮尺；罗盘、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	首次核查开始，每 5 年至少监测一次。精确到小数点后一位
质量保证/质量控制程序要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算监测样地的单位面积生物量

表 12 $NC_{BF,i,j,t}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$NC_{BF,i,j,t}$
数据描述	第 t 年时，第 i 项目碳层竹种 j 择伐的株数
数据单位	株
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺；罗盘、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	记录各碳层监测样地竹子每次择伐时间和择伐株数，并对伐桩进行标记（至少保证下一次监测和核查时可查）。一般每 5 年至少监测一次
质量保证/质量控制程序要求	采用森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424）和森林资源连续清查技术规程（GB/T 38590）使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算竹产品碳储量的变化

8.3 项目实施及监测的数据管理要求

8.3.1 监测质量要求

项目业主应采取以下措施，确保监测参数和数据的质量：

- a) 在开展监测活动前应制定详细的监测方案；
- b) 建立可信且透明的内部管理制度和质量保障体系，包括但不限于可靠的外业测定、内业数据的输入、计算和核实等；
- c) 明确负责部门及其职责、具体工作要求、数据管理程序、工作时间节点等；
- d) 指定专职人员负责项目边界、项目实施情况、测树因子等数据的监测、收集、记录和交叉核对。

8.3.2 基准线清除量监测

乔木林的基准线清除量按照不同树种林分年龄与蓄积的方程进行监测核算，在项目与减排量首次登记确认后，后续监测必须采用首次监测基准线计量方法和参数。

竹林基准线清除量为零，无需监测。

8.3.3 项目边界监测要求

在计入期内，项目业主须根据监测方案对项目边界进行监测，检查项目实际边界是否与项目设计或验收时一致。如果实际边界位于项目设计或验收文件描述的边界之外，则边界以项目设计或验收文件为准；如果实际边界位于项目设计或验收文件描述的边界之内，则以实际边界为准。如果项目边界发生变化，应测定变化地块的地理坐标和面积，并提供新的项目边界矢量数据文件。

8.3.4 项目实施情况监测要求

主要监测和记录项目边界内所发生的森林经营与管理活动的实施情况，并判断是否与项目设计或验收文件一致。主要包括：

- a) 森林经营活动：森林经营时间、森林经营地块、森林经营措施等；
- b) 森林管护活动：巡护、有害生物防治和森林火灾预防措施等；
- c) 项目边界内自然灾害（如火灾、病虫害、干旱等）和人为干扰（如土地利用变化等）的发生情况（如时间、地点、面积、边界、损害强度等）；
- d) 竹林经营活动：改善竹林培育、竹林保护、竹林砍伐等。

8.3.5 项目碳层划分要求

如果项目边界内出现下述情形之一，须在每次监测前对上一次划分的碳层进行调整：

- a) 项目实际活动与项目设计或验收文件不一致，影响了项目碳层内的均一性；
- b) 因自然因素（如火灾、病虫害、干旱等）或人为干扰（如火烧、采伐等）导致碳层内的变异性增加；
- c) 因土地利用类型变化等造成碳层边界发生变化。

若上一次监测发现，两个或多个碳层具有相近的碳储量及变化，则可将这些不同的碳层合并成一个碳层，以降低监测工作量。

8.3.6 抽样设计要求

要求对项目生物质碳储量进行抽样监测，监测应达到 90%可靠性水平下 90%的精度要求。项目业主须按照附录 B 步骤计算获得抽样监测所需样地数量及在各碳层中的分布。

8.3.7 样地设置要求

项目生物质碳储量的变化可采用固定样地连续监测。项目业主须按照附录 B 步骤，采用随机起点、系统布点的方法设置样地。

8.3.8 监测频率与时间要求

项目业主应在项目登记时确定固定样地监测频率，一般每 5 年至少监测一次，乔木林不能在间伐前一年监测，竹林如遇上择伐年，要选在竹笋长成新竹后和竹材采伐收获前进行监测。

8.3.9 项目生物质碳储量监测与计算要求

项目业主须按照附录 C 步骤，通过项目样地监测得到的平均单位面积年生物质碳储量，计算项目边界内生物质碳储量的年变化量。

8.3.10 项目竹产品碳储量监测与计算要求

项目业主应对项目择伐活动进行记录，并对固定样地中标记的伐桩进行标记，同时结合样地监测时测得的伐桩数量，按照附录 C 步骤，计算项目边界内竹产品碳储量的年变化量。

本文件竹产品参数只涉及毛竹，项目竹产品碳储量只做毛竹择伐监测，其余竹种不计量竹产品碳储量。由于竹产品需要对择伐竹材进行记录和标记，为保证数据可查，只监测和计算在本文件发布后开展的择伐活动带来的竹产品碳储量变化。

8.3.11 数据精度控制与校正要求

基于样地的生物质碳储量的抽样调查（见附录 C），要求达到 90%可靠性水平下 90%的精度要求。若测定精度低于该值，项目业主可按照附录 B 方法增加样地数量进行补测，从而使测定结果达到精度要求；或选择扣减一定比例清除量的方式进行校正。

$$\Delta C_{BIO-N,t} = \Delta C_{BIO,t} \times (1 - DR) \quad \text{公式 (4)}$$

式中：

- $\Delta C_{BIO-N,t}$ — 校正后项目第 t 年的森林生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{BIO,t}$ — 监测得到项目第 t 年的森林生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用附录 C 的方法计算得到；
- DR — 用于校正清除量的扣减率，单位为百分比（%）；
- t — 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

表 13 样地监测生物质碳储量变化量的扣减率

不确定性	扣减率（DR）
小于或等于 10%	0%
大于 10%但小于或等于 20%	6%
大于 20%但小于或等于 30%	11%
大于 30%	须增加样地数量，直至测定结果达到精度要求

8.3.12 数据管理与归档要求

对于收集到的监测数据，项目业主应建立数据、信息等原始记录和台账管理制度，妥善保管监测数据、原始记录、证明材料（权属证明文件、土地合格性证明）相关的书面文件等。原始记录和台账应明确数据来源、数据获取时间及填报台账的相关责任人等信息。

项目监测的所有数据均应进行电子存档，在项目最后一期减排量登记后至少保存 10 年，确保相关数据可被追溯。

9 项目审定与减排量核查要点

9.1 项目适用条件的审定与核查要点

审定与核查机构应基于项目监测与减排量核算文件，对本文件适用条件进行逐条分析，重点审核以下内容：

- a) 核实项目活动合法性。可通过查阅《中华人民共和国森林法》《中华人民共和国森

林法实施条例》《中华人民共和国土地管理法》等法律及森林经营管理相关的法规和政策，确认项目不违反有关法律法规和政策，符合行业发展政策；

b) 核实项目地块合格性。可通过项目开始前项目边界内的土地利用现状图、现场照片或高分辨率的地理空间数据（如卫星影像、航片）、林地“一张图”或林草资源“一张图”、森林资源规划调查数据、森林经营管理相关设计或实施方案等，确认项目边界内地块在项目开始前符合本文件的适用条件；

c) 核实项目土地和减排量权属。通过核对项目土地权属证据（如证书、合同或协议）和减排量收益分配证明文件（如合同或协议），确认土地和减排量权属符合本文件的适用条件。

9.2 项目开始时间的审定与核查要点

审定与核查机构须通过证据文件核实等方法，验证项目开始时间的真实性。项目业主可选择提供下列材料之一，说明项目的开始时间：

- a) 经县级（含）以上行业主管部门批复的设计和（或）出具的验收报告；
- b) 项目施工合同和相关付款证明；
- c) 其他具有法律效力的、注明项目开始日期的文件（如项目监理报告）。

9.3 项目边界的审定与核查要点

审定与核查机构须根据项目业主提供项目边界的矢量数据文件，重点开展以下工作：

- a) 通过遥感影像或实地抽查样地所在地块，确认项目边界是否符合本文件的适用条件；
- b) 通过项目所在地遥感影像、森林经营设计（或实施方案）、验收报告等资料，核对实施边界与项目设计边界是否一致，识别项目实施与项目设计是否出现偏移，并确认出现的偏移是否按照要求调整碳层划分；
- c) 核实项目边界内土地利用类型是否发生变化。对土地利用方式已经发生变化的地块，需要从项目边界内调出。

9.4 项目减排量核算的审定与核查要点

a) 审定与核查机构须核实项目减排量核算过程符合本文件的要求，每次监测和计算方法一致，参数选择合理，计算结果准确且符合保守性原则；

b) 在项目首次监测确定的基准线清除量计算方法和参数，经过审定后，在整个计入期内都是有效的；

- c) 审定与核查机构须对项目业主自选参数的真实性和保守性进行核实。

9.5 样地监测的审定与核查要点

确认项目是否按照本文件的要求制定了监测方案并实施，重点审核以下要点：

a) 确认监测方案是否包含了监测实施的组织形式和职责分工、监测方法、程序和频次、数据记录与收集程序、抽样方案等；

b) 确认项目碳层划分、抽样设计和样地设计是否满足 90%可靠性水平下 90%的精度要求，是否满足 8.3.11 节的要求；

- c) 确定项目碳层划分的合理性；

d) 确认固定样地的布设是否根据附录 B 执行；

e) 审定核查机构须从项目所有监测样地中随机选择至少 3 个样地进行现场测定核查，若有 3 个及以上碳层，核查样地则不能分布在同一个碳层。首先须核实监测样地与所属碳层样地外的林分与经营措施的一致性，确定无误后开展样地测定核查。测定内容包括：样地位置、面积以及每木检尺的株数、胸径、竹林监测期内伐桩数量等，并与项目业主的测定结果进行对比。要求样地面积与核算报告描述面积一致，样地中心点复位误差不超过 5m，否则应重新监测。在误差允许范围内，使用业主的测量值。在误差允许范围之外，若业主测量值更保守，则使用业主的测量值；若业主测量值偏高，项目业主须重新监测和核算。样地测量因子的平均允许误差如下：

——株数：胸径 $\geq 2\text{cm}$ 的检尺株数测量误差不超过 $\pm 5\%$ ；

——胸径：样地平均胸径测量误差不超过 $\pm 5\%$ 。

9.6 参数的审定与核查要点

审定与核查机构须对无需监测参数选取的适用性、准确性、保守性进行核查，查阅项目监测与核算报告中的参数取值是否符合 8.1 节对参数的技术内容和确定方法的要求；对需要监测参数的准确性进行核查，比较核查因子与项目业主的监测结果误差是否符合 9.5 节的要求。

附录 A 森林生物质碳储量变化计算方法

A.1 基准线清除量计算

采用“碳储量变化法”计算项目边界内的基准线森林生物质碳储量在计入期内的年均变化：

$$\Delta C_{BSL,BIO,t} = \frac{C_{BSL,BIO,t_e} - C_{BSL,BIO,t_s}}{t_e - t_s} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (A-1)}$$

$$C_{BSL,BIO,t} = \sum_i \sum_j (B_{BSL,i,j,t} \times CF_{i,j}) \quad \text{公式 (A-2)}$$

式中：

- $\Delta C_{BSL,BIO,t}$ — 项目第 t 年基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年 (tCO₂e·a⁻¹)；
- C_{BSL,BIO,t_e} — 第 t_e 年基准线森林生物质碳储量，单位为吨碳 (tC)；
- C_{BSL,BIO,t_s} — 第 t_s 年基准线森林生物质碳储量，单位为吨碳 (tC)；
- $C_{BSL,BIO,t}$ — 第 t 年基准线森林生物质碳储量，单位为吨碳 (tC)；
- $B_{BSL,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层树种 j 的生物量，单位为吨干物质 (t d.m.)；
- $CF_{i,j}$ — 第 i 碳层树种 j 的生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质 (tC·(t.d.m.)⁻¹)；
- t_s, t_e — 两次监测或核查时间，项目开始以后的第 t_s 年和第 t_e 年；
- t — 自项目活动以来的年数 (a)， $t_s \leq t \leq t_e$ ；
- $\frac{44}{12}$ — 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

计算乔木林生物量时，用乔木林生物量扩展因子及基本木材密度将乔木林蓄积量转化为乔木林地上生物量，再利用乔木林地下生物量占地上生物量的比例计算全林生物量。

$$B_{BSL,TREE,i,j,t} = V_{i,j,t} \times WD_j \times BEF_j \times (1 + R_j) \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-3)}$$

式中：

- $B_{BSL,TREE,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层乔木树种 j 的生物量，单位为吨干物质 (t d.m.)；
- $V_{i,j,t}$ — 第 t 年时，森林第 i 碳层树种 j 的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 (m³·hm⁻²)；
- WD_j — 树种 j 的基本木材密度，单位为吨每立方米 (t d.m.·m⁻³)；
- BEF_j — 树种 j 的生物量扩展因子，用于将树干生物量转化为林木地上生物量，无量纲；
- R_j — 树种 j 的地下生物量占地上生物量的比例，无量纲；
- $A_{i,j,t}$ — 项目边界内第 i 碳层树种 j 的面积，单位为公顷 (hm²)；
- i — 项目碳层， $i=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- j — 树种， $j=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- t — 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

A.2 项目清除量计算

采用“碳储量变化法”计算项目边界内的项目乔木林生物质碳储量和竹产品碳储量在一段时间内的年均变化：

$$\Delta C_{PROJ,t} = \frac{(C_{PROJ,BIO,t_e} + C_{PROJ,HWP,t_e}) - (C_{PROJ,BIO,t_s} + C_{PROJ,HWP,t_s})}{t_e - t_s} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (A-4)}$$

$$C_{PROJ,BIO,t} = \sum_i \sum_j (B_{PROJ,i,j,t} \times CF_{i,j}) \quad \text{公式 (A-5)}$$

$$C_{PROJ,HWP,t} = \sum_i \sum_j (HB_{i,j,t,har} \times CF_{i,j}) \times RE_{t_m} \quad \text{公式 (A-6)}$$

式中：

$\Delta C_{PROJ,t}$	—	第 t 年时，项目情景碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t \text{ CO}_2\text{-e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
C_{PROJ,BIO,t_e-t_s}	—	第 t_e 、 t_s 年时，项目情景森林生物质的碳储量，单位为吨碳 (tC)；竹林在项目开始时的生物质碳储量可采用单位面积碳储量缺省值（见表 D-2）乘以面积直接得到；
C_{PROJ,HWP,t_e-t_s}	—	第 t_e 、 t_s 年时，项目情景竹产品的碳储量，单位为吨碳 (tC)；
$B_{PROJ,i,j,t}$	—	第 t 年时，第 i 碳层树种 j 的生物量，单位为吨干物质 ($t \text{ d.m.}$)；
$CF_{i,j}$	—	第 i 碳层树种 j 的生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质 ($tC \cdot (t \text{ d.m.})^{-1}$)；
$HB_{i,j,t,har}$	—	第 t 年时，项目情景下，第 i 碳层采伐收获的 j 竹种（组）的竹秆干重生物量，单位为吨干物质 ($t \text{ d.m.}$)。如果采伐的竹子是以竹秆鲜重计，则应将鲜重通过含水率换算成干重；
RE_{t_m}	—	采伐收获的竹材转化为竹产品后在监测期内仍保留下来的比例，需根据每一次竹材收获的年份距离监测期末年份之差选择适用的参数，即 $t_m = t_e - t$ ；
t_s, t_e	—	两次监测或核查时间，项目开始以后的第 t_s 年和第 t_e 年；
t	—	自项目活动以来的年数 (a)， $t_s \leq t \leq t_e$ ；
$\frac{44}{12}$	—	二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

A.2.1 乔木林生物量计算

当项目林分为乔木林时 $B_{PROJ,i,j,t} = B_{PROJ,TREE,i,j,t}$ 。使用单株乔木材积与胸径的相关方程，根据单位面积乔木数量计算得到单位面积乔木蓄积量，用基本木材密度和乔木林生物量扩展因子将乔木林蓄积量转化为乔木林地上生物量，再利用乔木林地下生物量占地上生物量的比例计算全林生物量。

$$B_{PROJ,TREE,i,j,t} = V_{i,j,t} \times WD_j \times BEF_j \times (1 + R_{TREE,j}) \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-7)}$$

$$V_{i,j,t} = f_{V,trees,j}(DBH) \times N_{TREE,i,j,t} \quad \text{公式 (A-8)}$$

式中：

- $B_{PROJ,TREE,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层乔木树种 j 的生物量，单位为吨干物质（t d.m.）；
- $V_{i,j,t}$ — 第 t 年时，乔木林第 i 碳层树种 j 的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷（ $m^3 \cdot hm^{-2}$ ）；
- WD_j — 树种 j 的基本木材密度，单位为吨每立方米（t d.m. $\cdot m^{-3}$ ）；
- BEF_j — 树种 j 的生物量扩展因子，用于将树干生物量转化为林木地上生物量，无量纲；
- $R_{TREE,j}$ — 树种 j 的地下生物量占地上生物量的比例，无量纲；
- $f_{V,tree,j}(DBH)$ — 树种 j 的单株乔木材积与胸径的相关方程，单位为立方米每株（ $m^3 \cdot 株^{-1}$ ）；
- $N_{TREE,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层树种 j 的单位面积株数，单位为株每公顷（ $株 \cdot hm^{-2}$ ）；
- $A_{i,j,t}$ — 第 t 年时，项目边界内第 i 碳层树种 j 的面积，单位为公顷（ hm^2 ）；
- i — 项目碳层， $i=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- j — 树种， $j=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- t — 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

A.2.2 竹林生物量计算

当项目林分为竹林时 $B_{PROJ,i,j,t} = B_{PROJ,BF,i,j,t}$ 。单位面积竹林生物量包括地上生物量和地下生物量：

$$B_{PROJ,BF,i,j,t} = B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t} + B_{PROJ,BF-BGB,i,j,t} \quad \text{公式 (A-9)}$$

式中：

- $B_{PROJ,BF,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的生物量，单位为吨干物质（t d.m.）；
- $B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的地上生物量，单位为吨干物质（t d.m.）；
- $B_{PROJ,BF-BGB,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的地下生物量，单位为吨干物质（t d.m.）。

在竹林经营活动期间，竹林地上生物量只计算达到竹林成林结构稳定的生物量。竹林单位面积地上生物量可根据竹林的平均立竹度、平均胸径、平均高度结合单竹生物量方程计算。

$$B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t} = f_{B,BF}(DBH, H) \times N_{BF,i,j,t} \times 10^{-3} \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-10)}$$

式中：

- $B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的地上生物量，单位为吨干物质（t d.m.）；
- $f_{B,BF}(DBH, H)$ — 单株竹子生物量与胸径、竹高的相关方程，单位为千克每株（ $kg \cdot d.m. \cdot 株^{-1}$ ）；

- $N_{BF,i,j,t}$ — 第 t 年时，单位面积竹林的立竹数量，单位为株每公顷（株·hm⁻²）；
 10^{-3} — 将千克转换为吨的常数；
 $A_{i,j,t}$ — 第 t 年时，项目边界内第 i 碳层竹种 j 的面积，单位为公顷（hm²）。

竹林单位面积地下生物量可根据竹林的平均立竹度、平均胸径、平均高度结合单竹生物量方程计算（如公式A-10）；或根据如下公式计算：

$$B_{PROJ,BF-BGB,i,j,t} = B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t} \times R_{BF,j} \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-11)}$$

式中：

- $B_{PROJ,BF-BGB,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的地下生物量，单位为吨干物质（t d.m.）；
 $B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
 $R_{BF,j}$ — 竹种 j 地下生物量占地上生物量的比例，无量纲；
 $A_{i,j,t}$ — 第 t 年时，项目边界内第 i 碳层竹种 j 的面积，单位为公顷（hm²）。

A.2.3 收获竹秆的生物量计算

本文件只计量毛竹收获的竹秆生物量，根据收获的毛竹株数以及平均胸径、平均高度结合单竹生物量方程计算。

$$HB_{i,j,t,har} = f_{B,BF}(DBH,H) \times NC_{BF,i,j,t} \times 10^{-3} \quad \text{公式 (A-12)}$$

式中：

- $HB_{i,j,t,har}$ — 第 t 年时，第 i 碳层竹种 j 的地上生物量，单位为吨干物质（t d.m.）；
 $f_{B,BF}(DBH,H)$ — 单株竹秆生物量方程（单株竹秆生物量与胸径、竹高的相关方程），单位为千克每株（kg d.m.·株⁻¹）；
 $NC_{BF,i,j,t}$ — 第 t 年时，采伐竹种 j 的株数，单位为株；采伐株数必须有采伐记录、销售记录等监测数据证明，本文件要求只有发生在本方法发布之日后发生的竹材采伐可以纳入计算，在此之前的采伐无法追溯和监测，故而不考虑；
 10^{-3} — 将千克转换为吨的常数。

附录 B 监测样地数量计算与样地布设方法

B.1 抽样设计

本文件要求生物质碳储量的抽样调查达到 90%可靠性水平下 90%的精度要求。项目监测所需的样地数量按照公式 (B-1) 计算:

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E}\right)^2 \times \left(\sum_i w_i \times s_i\right)^2 \quad (\text{B-1})$$

式中:

n	——	项目边界内计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, 取值为 1.645, 无量纲;
E	——	项目单位面积生物质碳储量估计值允许的误差范围, 单位为吨碳每公顷 ($\text{tC}\cdot\text{hm}^{-2}$); 采用项目单位面积生物质碳储量估计值的 10%;
w_i	——	项目边界内第 i 项目碳层的面积权重, $w_i=A_i/A$, 其中 A 是项目总面积 (hm^2), A_i 是第 i 项目碳层的面积 (hm^2), 无量纲;
s_i	——	项目边界内第 i 项目碳层单位面积碳储量估计值的标准差, 单位为吨碳每公顷 ($\text{tC}\cdot\text{hm}^{-2}$); 借助现存设计资料预估各碳层内标准差;
i	——	项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。

分配到各碳层的监测样地数量, 按照公式 (B-2) 进行计算。分配样地数量不足 3 个的碳层, 最少设置 3 个样地:

$$n_i = n \times \frac{w_i \times s_i}{\sum_i (w_i \times s_i)} \quad (\text{B-2})$$

式中:

n_i	——	项目边界内第 i 项目碳层计算生物质碳储量所需的监测样地数量, 无量纲;
n	——	项目边界内计算生物质碳储量所需的监测样地数量, 无量纲;
w_i	——	项目边界内第 i 项目碳层的面积权重, $w_i=A_i/A$, 其中 A 是项目总面积 (hm^2), A_i 是第 i 项目碳层的面积 (hm^2), 无量纲;
s_i	——	项目边界内第 i 项目碳层单位面积碳储量估计值的标准差, 单位为吨碳每公顷 ($\text{tC}\cdot\text{hm}^{-2}$); 借助现存设计资料预估第 i 碳层内标准差;
i	——	项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。

B.2 样地布设流程和要求

在各项目碳层内样地的空间布设须采用随机起点、系统布点的方法, 具体操作流程如下:

- 采用 GIS 等空间工具将每个碳层网格化, 每个网格大小宜与监测样地大小相同;
- 保留各碳层内规则正方形的完整网格 (不保留与碳层边缘相切和相交的网格), 将每个完整的网格按固定顺序编号, 确定碳层内保留的完整网格的数量 (N_i);

c) 在 $1 \sim N_i$ 之间产生一个随机数，该随机数代表的网格编号即为该碳层的第 1 个监测样地；

d) 首先计算间隔数，间隔数等于该碳层的网格数量 (N_i) 除以该碳层样地数量 (n_i) 后取整数；

e) 计算该碳层其他样地所在的网格编号：第 2 个样地的网格编号等于第 1 个样地的网格编号加间隔数，该第 3 个样地的网格编号等于第 2 个样地的网格编号加间隔的网格数，依此类推。若到达最大的网格编号时仍未编号好需要的样地数量，可接着从第 1 个网格循环往下数；

f) 在 GIS 等空间分析工具的帮助下，确定每个网格边界，即为监测样地的经纬度范围。

B.3 样地设置

样地水平面积为 $0.04\text{hm}^2 \sim 0.06\text{hm}^2$ ，样地形状采用矩形或圆形。对于在坡地上的样地，须进行坡度校正。首次监测时，宜采用标志桩或其他标志物对样地的四个角（方形样地）或中心位置（圆形样地）进行定位，便于后续监测时的位置识别。样地边界除用于测定时识别外，不宜建立永久性标志。在同一个项目中，所有样地的面积应相同，样地内林木和管理方式应与所在碳层保持一致。

监测时应记录经纬度坐标（以度表示的坐标至少保留 6 位小数）、位置（县、乡、村和小地名）、样地名称/编号、样地的形状和面积大小、树种和抚育时间等信息。固定样地复位率需达 100%。

B.4 样地调整与补测

首次监测时，若：

a) 若部分样地因地形影响难以布设，可在原样方的四周移动一个网格布设新样方，记录新的样地坐标（以度表示的坐标至少保留 6 位小数）；

b) 若因环境条件和交通等限制难以到达，则应放弃该样地；

c) 项目实施阶段，如果重新调整了碳层划分，或为了满足抽样精度需要额外增加样地，须对碳层内的样地数量和布设进行调整。每个碳层在保留已有样地的基础上，在新碳层内按照上述原则和步骤，补充并布设新的监测样地，以确保抽样精度。

附录 C 森林生物质碳储量变化的样地监测方法

第一步：样地每木检尺，实测样地内所有活立木（竹）的胸径以及竹子的高度，起测胸径为 2cm。

第二步：采用附录 A 的方法计算单株林木的生物量，再结合生物质含碳率计算生物质碳储量，累加得到样地水平的单位面积生物质碳储量。

第三步：计算第 i 项目碳层样本平均数（平均单位面积生物质碳储量的估计值）及其方差：

$$c_{BIO,i,t} = \frac{\sum_p c_{BIO,i,p,t}}{n_i} \quad \text{公式 (C-1)}$$

$$S_{c_{BIO,i,t}}^2 = \frac{\sum_p (c_{BIO,i,p,t} - c_{BIO,i,t})^2}{n_i \times (n_i - 1)} \quad \text{公式 (C-2)}$$

式中：

$c_{BRO,i,t}$	—	第 t 年时，项目第 i 碳层平均单位面积林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
$c_{BRO,i,p,t}$	—	第 t 年时，项目第 i 碳层样地 p 的单位面积林木生物质碳储量，单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
n_i	—	项目第 i 碳层的样地数；
$S_{c_{BRO,i,t}}^2$	—	第 t 年时，项目第 i 碳层平均单位面积林木生物质碳储量估计值的方差，单位为吨碳每公顷的平方 ($(tC \cdot hm^{-2})^2$)；
i	—	项目碳层号， $i=1,2,3,\dots$ ，无量纲；
p	—	项目第 i 碳层中的样地， $p=1,2,3,\dots$ ，无量纲；
t	—	自项目开始以来的年数 (a)， $t=1,2,3,\dots$ 。

第四步：计算项目总体平均数估计值(平均单位面积生物质碳储量的估计值)及其方差：

$$c_{BIO,t} = \sum_{i=1}^M (w_i \times c_{BIO,i,t}) \quad \text{公式 (C-3)}$$

$$S_{c_{BIO,t}}^2 = \sum_{i=1}^M (w_i^2 \times \frac{S_{c_{BIO,i,t}}^2}{n_i}) \quad \text{公式 (C-4)}$$

式中：

$c_{BIO,t}$	—	第 t 年时，项目边界内平均单位面积林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
w_i	—	项目第 i 碳层面积与项目总面积之比， $w_i = A_i/A$ ，无量纲；
$c_{BIO,i,t}$	—	第 t 年时，项目第 i 碳层的平均单位面积林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
$S_{c_{BIO,t}}^2$	—	第 t 年时，项目总体平均数（平均单位面积林木生物质碳储量）估计值的方差，单位为吨碳每公顷的平方 ($(tC \cdot hm^{-2})^2$)；
$S_{c_{BIO,i,t}}^2$	—	第 t 年时，项目第 i 碳层平均单位面积林木生物质碳储量估计值的方差，单位为吨碳每公顷的平方 ($(tC \cdot hm^{-2})^2$)；

- n_i — 项目第*i*碳层的样地数；
- i — 项目碳层号， $i=1,2,3,\dots$ ，无量纲；
- t — 自项目开始以来的年数（ a ）， $t=1,2,3,\dots$ 。

第五步：计算项目边界内平均单位面积生物质碳储量的不确定性：

$$u_{c_{BIO,t}} = \frac{t_{VAL} \times S_{c_{BIO,t}}}{c_{BIO,t}} \quad \text{公式 (C-5)}$$

式中：

- $u_{c_{BIO,t}}$ — 第*t*年时，项目边界内平均单位面积林木生物质碳储量的估计值的不确定性，即相对误差限（%）。要求相对误差不大于 10%，即抽样精度不低于 90%；
- t_{VAL} — 可靠性指标：自由度等于 $n - M$ （其中 n 是项目边界内样地总数， M 是林木生物量计算的碳层数），置信水平为 90%，查 t 分布双侧分位数表获得，无量纲。例如：置信水平为 90%，自由度为 45 时，双侧 t 分布的 t 值在 Excel 电子表中输入“=TINV(0.10,45)”可以计算得到 t 值为 1.6794；
- $S_{c_{BIO,t}}$ — 第 t 年时，项目边界内平均单位面积林木生物质碳储量估计值方差的平方根，即标准误差，单位为吨碳每公顷（ $tC \cdot hm^{-2}$ ）；
- $c_{BIO,t}$ — 第 t 年时，项目边界内平均单位面积林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷（ $tC \cdot hm^{-2}$ ）；
- t — 自项目开始以来的年数（ a ）， $t=1,2,3,\dots$ 。

第六步：计算第 t 年项目边界内的林木生物质总碳储量：

$$C_{BIO,t} = A \times c_{BIO,t} \quad \text{公式 (C-6)}$$

式中：

- $C_{BIO,t}$ — 第 t 年时，项目边界内林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳（ tC ）；
- A — 项目边界内各碳层的面积总和，单位为公顷（ hm^2 ）；
- $c_{BIO,t}$ — 第 t 年时，项目边界内平均单位面积林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷（ $tC \cdot hm^{-2}$ ）；
- t — 自项目开始以来的年数（ a ）， $t=1,2,3,\dots$ 。

第七步：计算核算期内第 t 年项目边界内生物质碳储量的年变化量。假设在核算期内，生物质碳储量变化是线性的：

$$\Delta C_{BIO,t} = \frac{C_{BIO,t_2} - C_{BIO,t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (C-7)}$$

式中：

- $\Delta C_{BIO,t}$ — 核算期内第 t 年的项目边界内林木生物质碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $tCO_2-e \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{BIO,t_1} — 第 t_1 年时，项目边界内林木生物质碳储量，单位为吨碳（ tC ）；
- C_{BIO,t_2} — 第 t_2 年时，项目边界内林木生物质碳储量，单位为吨碳（ tC ）；

- t — 自项目开始以来的年数 (a) , $t=1,2,3,\dots$, $t_1 \leq t \leq t_2$;
- t_1, t_2 — 自项目开始以来的第 t_1 年和第 t_2 年;
- $\frac{44}{12}$ — 二氧化碳与碳的相对分子质量之比, 无量纲。

附录 D 碳计量主要参数

表 D-1 竹种（组）竹林成林稳定年龄

竹种（组）	成林稳定年龄（年）
大径散生竹	9
小径散生竹	5
丛生竹（大径和小径）	5
复轴混生竹	6

来源：DB51/T 2985 -2022 竹林经营碳普惠方法学

表 D-2 竹林基准线单位面积碳储量

竹种（组）	单位面积碳储量(t C·hm ⁻²)
大径丛生竹	37.66
大径散生竹	28.85
复轴混生竹	26.43
小径丛生竹	19.04
小径散生竹	13.12

注：根据“四川省 2020 年森林资源‘一张图’”数据计算的竹林成林稳定阶段缺省值

表 D-3 乔木林基准线蓄积量缺省公式

树种（组）	a	b	样本数量	复相关系数及 F 检验
冷杉	7.272568	0.001614	961	0.808
云杉	10.703001	0.001522	886	0.715
落叶松	2.665806	0.003178	114	0.816
马尾松	1.970794	0.004394	383	0.827
云南松	3.306534	0.00294	690	0.782
杉木	1.207834	0.003209	129	0.787
柳杉	0.479704	0.002652	278	0.880
柏木	5.92349	0.002855	936	0.717
栎类	4.382042	0.004234	687	0.900
桦木	5.239108	0.003888	199	0.834
樟楠	1.178498	0.006571	80	0.911
硬阔类	2.280406	0.00533	159	0.815
桉树	0.143633	0.006436	157	0.873
软阔类	1.651736	0.004005	392	0.814
阔叶混	2.29634	0.004485	1536	0.899
针阔混	4.993938	0.002827	2249	0.862

树种(组)	a	b	样本数量	复相关系数及 F 检验
针叶混	4.417925	0.002338	362	0.837
华山松	0.040865	1.272307	149	0.806

数据来源：根据四川省森林资源规划设计调查样地数据拟合

注：林分蓄积-年龄模型除华山松按 $V = \left(\frac{1}{a + \frac{b}{A}}\right)^2$ 外，其余模型为 $V = \frac{A^2}{a + b + A^2}$ ，式中 V 为单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ($m^3 \cdot hm^{-2}$)，A 为林分年龄

表 D-4 主要优势树种(组) 林木生物物质含碳率 (CF)

树种(组)	CF	树种(组)	CF
云杉	0.487	桦类(红桦、白桦等)	0.481
冷杉	0.490	栎类(高山栎、辽东栎)	0.481
铁杉	0.478	杨属(高山杨、青杨等)	0.462
云南松	0.478	桉属(巨桉、直干桉)	0.476
柏木	0.483	柳属(垂柳、高山柳)	0.477
落叶松	0.496	樟、楠(润楠、香樟等)	0.470
马尾松	0.475	软阔(桤木、喜树等)	0.465
油杉	0.488	硬阔(青冈、木荷等)	0.466
高山松	0.502	经济林木(核桃、板栗)	0.436
华山松	0.491	阔叶平均	0.468
杉木	0.467	麻竹	0.425
针叶平均	0.485	绵竹	0.426
慈竹	0.443	其他竹种	0.50
毛竹	0.452	苦竹	0.4227
水竹	0.3989		

参数来源：四川省林业调查规划院，区域林业碳汇/源计量体系开发及应用研究课题组，《区域林业碳汇/源计量体系开发及应用研究》(2013)

表 D-5 主要优势树种(组) 地下生物量与地上生物量的比值 (R)

树种(组)	R	树种(组)	R
云冷杉	0.219	桦木	0.256
落叶松	0.237	枫香、荷木	0.256
油松	0.223	樟树楠木	0.286
华山松	0.172	其他硬阔类	0.282
马尾松	0.171	杨树	0.248
湿地松	0.242	桉树	0.246
其他松(云南松、高山松等)	0.233	其他软阔类(椴树、楝树等)	0.298

树种（组）	R	树种（组）	R
柏木	0.239	针叶混	0.235
杉木	0.247	阔叶混	0.243
其他杉（水杉、柳杉）	0.237	针阔混	0.235
栎类	0.301		

参数来源：四川省林业调查规划院，区域林业碳汇/源计量体系开发及应用研究课题组，《区域林业碳汇/源计量体系开发及应用研究》（2013）

表 D-6 主要优势树种（组）基本木材密度（WD）

树种（组）	WD	树种（组）	WD
云杉	0.3597	桦木	0.4848
冷杉	0.3597	硬阔类	0.5257
落叶松	0.4059	杨树	0.4177
油松	0.4243	桉树	0.3848
马尾松	0.4476	软阔类	0.3848
杉木	0.3098	针叶混	0.3828
柳杉	0.3098	阔叶混	0.4967
柏木	0.501	针阔混	0.4397
栎类	0.5762		

参数来源：CCER-14-001-V01 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇

表 D-7 主要优势树种（组）生物量扩展因子（BEF）

树种（组）	BEF	树种（组）	BEF
云杉	1.4048	桦木	1.2416
冷杉	1.4048	硬阔类	1.3104
落叶松	1.2224	杨树	1.4184
油松	1.4081	桉树	1.1266
马尾松	1.2063	软阔类	1.3335
杉木	1.2875	针叶混	1.3033
柳杉	1.2875	阔叶混	1.3587
柏木	1.3593	针阔混	1.3725
栎类	1.2693		

参数来源：CCER-14-001-V01 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇

表 D-8 四川主要树种材积方程

适用树种	公式
高原丘陵区冷杉	$0.0000632194 * ((-0.21797692 + 0.99982812 * D)^{1.9006108}) * (D / (1.0246184 + 0.016312831 * D))^{0.96265927}$
高山峡谷区冷杉	$0.0000632194 * ((-0.1027115 + 0.995766 * D)^{1.9006108}) * (45.79737 - 1837.2261 / (D + 38.406037))^{0.96265927}$
盆地区冷杉	$0.0000632194 * ((-0.41976961 + 0.98313007 * D)^{1.9006108}) * (D / (1.1882851 + 0.020225291 * D))^{0.96265927}$
高原丘陵区云杉	$0.0000567905 * ((0.05826205 + 0.99198249 * D)^{1.851732}) * (D / (1.1122673 + 0.015431251 * D))^{1.0334624}$
高山峡谷区云杉	$0.0000567905 * ((0.37388055 + 0.97209938 * D)^{1.851732}) * (D / (1.1294737 + 0.01611167 * D))^{1.0334624}$
盆地区云杉	$0.0000567905 * ((0.37388055 + 0.97209938 * D)^{1.851732}) * (D / (1.2018791 + 0.019490405 * D))^{1.0334624}$
高原丘陵区桦木	$0.0000489419 * ((-0.71541913 + 1.0509503 * D)^{2.0172708}) * (D / (0.60156264 + 0.045978797 * D))^{0.88580889}$
高山峡谷区桦木	$0.0000489419 * ((-0.3302824 + 0.98390498 * D)^{2.0172708}) * (33.272677 - 1031.4484 / (D + 31.549341))^{0.88580889}$
盆地区桦木	$0.0000489419 * ((-0.50029025 + 0.99987831 * D)^{2.0172708}) * (29.536839 - 730.3551 / (D + 25.540806))^{0.88580889}$
盆地区柏木	$0.0000571736 * ((0.082547805 + 0.96794776 * D)^{1.8813305}) * (D / (0.74595341 + 0.046672977 * D))^{0.99568845}$
高原区及高山峡谷区柏木	$0.0000571736 * ((0.11983702 + 0.95647173 * D)^{1.8813305}) * (25.857007 - 861.13344 / (D + 33.466212))^{0.99568845}$
铁杉、三尖杉、红豆杉	$0.0000571736 * ((-0.1843827 + 0.94888642 * D)^{1.8813305}) * (D / (1.1354066 + 0.023356616 * D))^{0.99568845}$
落叶松	$0.0000543814 * ((1.914734 + 0.8944415 * D)^{1.8288952}) * (D / (1.0015491 + 0.027188687 * D))^{1.0666428}$
油松	$0.0000664925 * ((-0.19006179 + 1.0134423 * D)^{1.8655617}) * (-9.9109753 + 8.0113972 * \log(D))^{0.93768879}$
马尾松、湿地松、花旗松、火炬松、巴山松、国外松、其它松类	$0.0000600491 * ((-0.19006179 + 1.0134423 * D)^{1.8719753}) * (D / (1.1388838 + 0.020715501 * D))^{0.97180232}$
华山松	$0.0000599738 * ((-0.23824869 + 1.0090879 * D)^{1.8334312}) * (D / (1.0626046 + 0.030852205 * D))^{1.0295315}$
全南松、思茅松	$0.0000582901 * ((-0.020569558 + 0.99518806 * D)^{1.9796344}) * (D / (1.2349114 + 0.022093234 * D))^{0.90715154}$
高山松	$0.0000612389 * ((0.030935748 + 0.98672762 * D)^{2.0023969}) * (-11.548233 + 8.459508 * \log(D))^{0.85927542}$
杉木、水杉、油杉、铁尖杉、红杉、其它杉类	$0.000058777 * ((0.056577129 + 0.99150783 * D)^{1.9699831}) * (D / (1.200348 + 0.030960985 * D))^{0.89646156}$

适用树种	公式
柳杉	$0.0000571736 * ((0.12635659 + 0.98855764 * D)^{1.8813305} * (D / (0.82592758 + 0.034909691 * D)))^{0.99568845}$
高山栎	$0.0000483466 * ((0.66922634 + 0.94611747 * D)^{1.8905785} * (D / (1.1068988 + 0.038317588 * D)))^{1.07694}$
麻栎	$0.0000595998 * ((0.32819914 + 0.96596294 * D)^{1.8564005} * (D / (0.78064739 + 0.04066669 * D)))^{0.98056206}$
石栎	$0.0000595998 * ((0.2833758 + 0.97277021 * D)^{1.8564005} * (-9.0030464 + 6.8393105 * \log(D)))^{0.98056206}$
栓皮栎	$0.0000595998 * ((0.69595276 + 0.93366043 * D)^{1.8564005} * (13.05865 - 217.66198 / (D + 18.824672)))^{0.98056206}$
丝栗、锥栗类	$0.0000483466 * ((0.27415423 + 0.95625085 * D)^{1.8905785} * (D / (0.92274017 + 0.037240688 * D)))^{1.07694}$
青杠、铁青杠	$0.0000595998 * ((0.047611611 + 0.97987013 * D)^{1.8564005} * (28.238195 - 890.55173 / (D + 32.205787)))^{0.98056206}$
水青杠	$0.0000595998 * ((0.27415423 + 0.95625085 * D)^{1.8564005} * (D / (0.832271 + 0.035995311 * D)))^{0.98056206}$
樟、檫	$0.0000527507 * ((0.21659313 + 0.96557819 * D)^{1.9450324} * (D / (0.73187361 + 0.049410696 * D)))^{0.9388533}$
楠木	$0.0000527507 * ((-0.14595262 + 1.0122958 * D)^{1.9450324} * (D / (0.87937754 + 0.034274269 * D)))^{0.9388533}$
槭树	$0.0000527507 * ((0.4989625 + 0.96609377 * D)^{1.9450324} * (D / (0.84117804 + 0.038125488 * D)))^{0.9388533}$
木荷、厚朴	$0.0000527507 * ((0.053351778 + 1.0050781 * D)^{1.9450324} * (D / (0.47946061 + 0.046199076 * D)))^{0.9388533}$
鹅耳枥	$0.0000527507 * ((0.10644293 + 0.90883213 * D)^{1.9450324} * (D / (0.81586047 + 0.045549371 * D)))^{0.9388533}$
枫香、枫树	$0.0000527507 * ((-0.2087605 + 1.0239729 * D)^{1.9450324} * (D / (0.77837203 + 0.037902833 * D)))^{0.9388533}$
椴树	$0.0000527507 * ((0.4989625 + 0.96609377 * D)^{1.9450324} * (-10.095174 + 8.6964092 * \log(D)))^{0.9388533}$
杨、柳	$0.0000527507 * ((-0.51619463 + 1.0942555 * D)^{1.9450324} * (D / (0.74622904 + 0.042052847 * D)))^{0.9388533}$
桤木	$0.0000527507 * ((1.617869 + 0.9081574 * D)^{1.9450324} * (D / (0.96230798 + 0.028855744 * D)))^{0.9388533}$
珙桐、榆、刺槐、核桃、漆树、杜仲、银杏、黄柏、其他硬阔树种	$0.0000527507 * ((0.10644293 + 0.90883213 * D)^{1.9450324} * (D / (0.95395109 + 0.032786132 * D)))^{0.9388533}$
泡桐、枫杨、楸、桉、楝及其他软阔树种	$0.0000527507 * ((0.000556689 + 0.99772667 * D)^{1.9450324} * (D / (0.89025916 + 0.030562134 * D)))^{0.9388533}$
参数来源：四川省林业和草原调查规划院。 注：高原区指若尔盖、红原、阿坝、壤塘、炉霍、色达、甘孜、德格、石渠、邓柯；峡谷区指南坪、松潘、黑水、茂汶、理县、汶川、马尔康、金川、小金、丹巴、道孚、新龙、雅江、白玉、巴塘、理塘、德荣、乡城、稻城、康定、九龙、木里、乾宁、义敦；其它地区均属于盆地区。	

表 D-9 四川主要竹种生物量方程

竹种(组)	生物量部位	f(D,H) (单位: kg.d.m)	a	b	R ²
毛竹	全株	$W = aD^b$	0.119	2.040	0.907
慈竹	全株	$W = aD^b$	0.317	1.705	0.876
绵竹	全株	$W = a (D^2H)^b$	0.040	0.768	0.94
苦竹	全株	$W = a (D^2H)^b$	0.653	0.380	0.531
方竹	全株	$W = aD^b$	0.061	2.455	0.949
白夹竹	全株	$W = aD^b$	0.204	1.951	0.954
箬竹	全株	$W = aD^b$	0.317	1.705	0.876
硬头黄	全株	$W = aD^b$	0.558	1.895	0.795

来源: DB51/T 2985-2022 竹林经营碳普惠方法学

箭竹(单株地上生物量): $W=110.6306-0.9977*D^2+0.0987D^3$
 来源: 杨春花,周小平,王小明. 卧龙自然保护区华西箭竹地上生物量回归模型[J]. 林业科学,2008, (03): 113-123.

毛竹(竹秆生物量): $W = 0.1857D^2 - 1.057D + 3.6895$
 参数来源: 四川省林业调查规划院, 区域林业碳汇/源计量体系开发及应用研究课题组, 《区域林业碳汇/源计量体系开发及应用研究》(2013)

表 D-10 竹产品不同年份保留比例

t (年份)	RE _t	t (年份)	RE _t
3	43.85	22	28.27
4	42.85	23	27.63
5	41.87	24	26.99
6	40.92	25	26.38
7	39.98	26	25.78
8	39.07	27	25.19
9	38.18	28	24.61
10	37.30	29	24.05
11	36.45	30	23.50
12	35.62	31	22.96
13	34.81	32	22.44
14	34.01	33	21.93
15	33.23	34	21.43
16	32.47	35	20.94
17	31.73	36	20.46
18	31.01	37	19.99
19	30.30	38	19.53
20	29.61	39	19.09
21	28.93	40	18.65

数据来源: 根据四川省林业和草原统计数据拟合

参考文献

- [1] AR-CM-003-V01 森林经营碳汇项目方法学
- [2] AR-CM-005-V01 竹林经营碳汇项目方法学
- [3] 四川省林业调查规划院，区域林业碳汇/源计量体系开放及应用研究（R），2013年