

附件 1

# 四川省林草碳普惠项目方法学

## 大熊猫栖息地保护修复

(SCER-LY-001-V01)

# 目 录

1 引言 .....	1
2 适用条件.....	1
3 规范性引用文件.....	1
4 术语定义.....	2
5 项目边界、计入期.....	2
6 碳库和温室气体排放源.....	3
7 项目减排量核算方法.....	3
8 监测方法.....	5
9 项目审定与减排量核查要点.....	11
附录 A 森林生物质碳储量变化计算方法.....	13
附录 B 监测样地数量计算与样地布设方法.....	18
附录 C 森林生物质碳储量变化的样地监测方法.....	20
附录 D 碳计量主要参数.....	22

# 四川省林草碳普惠项目方法学 大熊猫栖息地保护修复

## (SCER-LY-001-V01)

### 1 引言

大熊猫栖息地是大熊猫在生态系统中生存、繁衍和生长发育的生活环境，大熊猫栖息地保护修复碳普惠项目可通过栖息地保护修复措施增强大熊猫栖息地的连通性、协调性和完整性，增加森林生态系统碳储量，提升生态系统的多样性、稳定性和持续性。符合条件的大熊猫栖息地保护修复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

本文件适用于自然保护区内的大熊猫栖息地人工商品林由商业采伐转向保护和修复的活动，使用本文件的大熊猫栖息地保护修复项目必须满足以下条件：

- a) 项目土地在自然保护区非核心保护区范围内；
- b) 实施项目的土地为乔木林地的人工成熟林和过熟林；
- c) 项目单个地块土地连续面积不小于 400 m<sup>2</sup>。对于 2019 年（含）之前开始的项目，土地连续面积不小于 667m<sup>2</sup>；
- d) 项目土地权属清晰，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；
- e) 项目符合法律法规、政策措施和相关的技术标准或规程。

### 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 38590 森林资源连续清查技术规程
- GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程
- LY/T 1556 公益林与商品林分类技术指标
- LY/T 1845 大熊猫及其栖息地监测技术规程
- LY/T 2365 大熊猫栖息地植被恢复技术规程
- LY/T 3291 自然保护区分类分级
- DB51/T 2028 大熊猫栖息地修复技术规程
- DB51/T 2918 林木采伐技术规程
- 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

## 4 术语定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 4.1 自然保护地 protected area

由各级政府依法划定或确认，对重要的自然生态系统、自然遗迹、自然景观或其所承载的自然资源、生态功能和文化价值实施长期保护的陆域或海域。

[来源：LY/T 3291-2021，3.1]

### 4.2 人工商品林 commercial forest

通过人工措施形成的，以生产木材和提供其他林特产品，满足人类社会经济需求为主体功能的森林，包括传统的用材林和木本药材经济林。

[来源：LY/T 1556-2000，2.4。有修改]

### 4.3 大熊猫栖息地 giant panda habitat

大熊猫个体或种群为满足生存和繁衍的需要而占据的休息、采食、繁殖、隐蔽、迁移等具体场所。

[来源：LY/T 1845-2009，2.1]

### 4.4 商业性采伐 commercial cutting

以生产木材等为主要目的的采伐，主要包括用材林的主伐和需要全株收获の木本药材林采伐。

[来源：DB51/T 2918-2022，3.3。有修改]

### 4.5 栖息地保护 habitat protection

通过封育保护、封山育林等人工措施，减少和去除放牧、采伐和采集等人为干扰。

### 4.6 栖息地修复 habitat restoration

通过补植补播、抚育调控、人工促进天然更新等人工措施，修复大熊猫的生存环境。

[来源：LY/T 2365-2014，3.4。有修改]

## 5 项目边界、计入期

### 5.1 项目边界

项目区域可包括若干个不连续的地块，每个地块应有明确的地理边界。项目边界采用下述方法之一确定：

a) 利用北斗卫星导航系统（BDS）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) 利用项目实施前两年内，空间分辨率高于 5m 的遥感数据（如卫星遥感影像、航拍影

像等)、森林资源管理“一张图”、林地保护利用规划、森林经营方案等,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20年,最长40年。

## 6 碳库和温室气体排放源

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
	木产品	是	基准线情景下会有大量木材收获,基于保守性原则需要计量该碳库的清除量
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不会有大量的木材收获,基于保守性原则,忽略不计

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CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O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,基于保守性原则,项目林地在计入期内设计只开展一次商业性采伐的主伐和更新。采伐强度以及采伐后的更新要求等,按照DB51/T 2028、DB51/T 2918执行。

## 7.2 额外性论证

大熊猫栖息地保护修复碳普惠项目以保护和修复大熊猫栖息地为主要目的，需要投入栖息地保护和修复等成本，在计入期只能获得相应的碳普惠减排量收益，同时将失去获得采伐木材等经济收益的可能，前者相较于后者的经济收益而言，不具备财务吸引力。

大熊猫栖息地的保护修复，是保护生物多样性、建设生态文明建设的重要行动，需要栖息地内的社区居民及相关利益主体牺牲一部分自身的经济利益作为交换。碳普惠项目作为现行生态补偿机制的有益补充，能够通过市场化手段为项目实施主体带来一定的收益，有助于支持和鼓励利益相关方加强对大熊猫栖息地的保护和修复。

基于项目不具备财务吸引力，同时可以带来良好的社会效益和生态效益，因此不需进行额外性论证。

## 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树种组成、龄组、郁闭度、蓄积等因素，将无显著差别的乔木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，依据项目保护和修复活动的实施情况进行划分。

## 7.4 基准线清除量计算

基准线清除量按照如下公式计算：

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

式中：

- $\Delta C_{BSL}$  — 计入期内基准线年清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\text{CO}_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{BSL,TREE}$  — 计入期内基准线乔木生物质碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\text{CO}_2e \cdot a^{-1}$ ）（见附录 A.1）。

## 7.5 项目清除量计算

项目清除量按照如下公式计算：

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

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（ $t\text{CO}_2e \cdot a^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{PROJ,BIO,t}$  — 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（ $t\text{CO}_2e \cdot a^{-1}$ ）（见附录 A.2）；

$t$  — 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 项目减排量的核算

项目减排量等于项目清除量与基准线清除量和泄漏之差。

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

式中：

- $CDR_t$  — 第  $t$  年的项目减排量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{PROJ,t}$  — 第  $t$  年的项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{BSL}$  — 计入期内基准线情景下年清除量，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

无需监测的固定参数和数据的技术内容和确定方法见表 2 至表 8。

**表 2  $RE_{t_e}$  的技术内容和确定方法**

数据/参数名称	$RE_{t_e}$
应用的公式编号	公式 (A-5)
数据描述	采伐收获的木材转化为木产品后在计入期末年 $t_e$ 仍保留下来的比例
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木材收获量以及木产品的产量，考虑木材生产过程的废料比例、使用寿命等计算得到
数值	见附录 D-1
数据用途	用于计算基准线情景下木产品碳库的碳储量

**表 3  $CF$  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-4)、公式 (A-5)、公式 (A-11)
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-2
数据用途	用于将生物量转换为生物质碳储量

**表 4  $R$  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-6)、公式 (A-12)、公式 (A-16)
数据描述	乔木 (竹林) 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-3
数据用途	用于利用地上生物量计算地下生物量

**表 5  $f_{V,tree}(DBH)$  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-13)
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-6
数据用途	用于利用胸径计算单株乔木材积

**表 6  $f_{B,BF}(DBH,H)$  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-15)
数据描述	单株竹子地上生物量与胸径、竹高的相关方程
数据单位	$kg \text{ d.m.} \cdot \text{株}^{-1}$
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-8
数据用途	用于利用胸径和树高计算竹林单株生物量

表 7 **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-5)、公式 (A-6)、公式 (A-12)
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 <sup>-3</sup>
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-4
数据用途	用于将林木蓄积量转换为树干生物量

表 8 **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-6)、公式 (A-12)
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-5
数据用途	用于将乔木林树干生物量转化为地上生物量

## 8.2 需监测的参数和数据

需监测的参数和数据的技术内容和确定方法见表 9—表 11。

表 9 **A<sub>i,t</sub>**的技术内容和确定方法

数据/参数名称	<b>A<sub>i,t</sub></b>
应用的公式编号	公式 (A-6)、公式 (A-12)、公式 (A-15)、公式 (A-16)
数据描述	第 <i>i</i> 项目碳层的面积
数据单位	hm <sup>2</sup>
数据来源	野外测定
监测点要求	无
监测仪表要求	无
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 5~10 年一次
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-13）、公式（A-15）
数据描述	乔木、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 5~10 年一次
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-15）
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 5~10 年一次
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	用于计算监测样地的单位面积生物量

## 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、火烧等数据的监测、收集、记录和交叉核对。

### 8.3.2 基准线清除量监测

基准线清除量在项目与减排量首次登记确认后无需监测。

### 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实施方案或验收时一致。如果有因为不可控的原因导致项目边界内林地发生变化（包括森林类别由商品林转为公益林），应测定变化地块的地理坐标和面积，将这部分地块调出项目边界，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、森林管护以及与温室气体排放有关的项目实施情况，并判断是否与项目实施方案一致。主要包括：

- a) 栖息地保护和修复活动：补植的树种、株数、整地方式、成活率和保存率，以及森林抚育、退化林修复等；
- 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）。

### 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) 项目实际活动与实施方案或验收不一致，影响了项目碳层内的均一性；
- b) 因自然因素（如火灾、病虫害等）或人为干扰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的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 5 年监测一次，不能在间伐前一年之内监测。

### 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 数据精度控制与校正要求

基于样地的生物质碳储量抽样调查（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  $t$  年的林木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  $t$  年的林木生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t \text{ CO}_2\text{e} \cdot \text{a}^{-1}$ ）；
- $DR$  — 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 12 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

### 8.3.11 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报告，对本文件适用条件进行逐条分析，重点确定以下内容：

a) 核实项目是否符合法律、法规要求，符合行业发展政策。可查阅《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》《国家公园管理暂行办法》《四川省大熊猫国家公园管理条例》等法律及大熊猫栖息地和国家公园相关的法规和政策，确认项目不违反有关法律法规和政策；

b) 核实项目地块的合格性。可通过项目开始前项目边界内的土地利用现状图、县级或单位森林经营方案、林地或林草资源“一张图”、林地保护利用规划、森林资源规划调查数据、森林采伐设计或实施方案、栖息地保护修复方案等确认项目边界内地块在项目开始前符合本文件要求的林分条件。通过最新版本的全国大熊猫调查报告和大熊猫国家公园总体规划确认项目边界内地块是满足本文件中大熊猫栖息地的定义范围；

c) 核实项目地块土地和减排量权属。核对项目土地权属证据和减排量收益分配证明文件，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方案或出具的验收报告，或实施栖息地保护和修复措施的过程证明文件；

b) 其他具有法律效力的、注明项目开始日期的文件。

### 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的项目边界矢量数据文件，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、森林采伐设计和栖息地保护修复方案等资料，核对项目实际地块边界与项目报告中的地块边界是否一致；

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) 项目首次监测确定的基准线清除量，经审定核查后，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；

d) 若上一个监测期后项目发生了边界变化，应在核查时根据边界变化面积以及已签发

量情况，在下次核查时将变动边界内已签发的减排量进行扣除。

## 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 8.3.10 节的要求；
- c) 确认项目监测时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 的要求执行；
- 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，监测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项目措施的一致性，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和胸径，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>2cm 的检尺株数测量误差不超过±5%；
  - 胸径：样地平均胸径测量误差不超过±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

基准线清除量按照基准线情景下的采伐措施预估，包括林木采伐、木产品以及更新造林带来的碳储量变化。项目业主应通过调查确定项目开始前的乔木林地现状，并以此为依据来确定基准线采伐情况，包括主伐的方式、采伐量、恢复方式等。基准线清除量的计算应首先计算完整项目计入期内的总清除量，然后根据计入期长度计算年均基准线清除量，最后再根据项目开始以来经过的时间年份，计算得到相应监测周期内基准线清除量：

$$\Delta C_{BSL,TREE} = \frac{C_{BSL,TREE,t_e} - C_{BSL,TREE,t_0}}{T} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (A-1)}$$

$$C_{BSL,TREE,t_0} = C_{BSL,forest,t_0} \quad \text{公式 (A-2)}$$

$$C_{BSL,TREE,t_e} = C_{BSL,forest,t_e} + C_{BSL,HWP,t_e} \quad \text{公式 (A-3)}$$

$$C_{BSL,forest,t} = \sum_i \sum_j (B_{BSL-forest,i,j,t} \times CF_{i,j}) \quad \text{公式 (A-4)}$$

$$C_{BSL,HWP,t_e} = \sum_i \sum_j (V_{i,j,HAR} \times WD_j \times CF_{i,j}) \times RE_{t_e} \quad \text{公式 (A-5)}$$

式中：

- $\Delta C_{BSL,TREE}$  — 计入期内基准线生物质碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO<sub>2</sub>e·a<sup>-1</sup>）；
- $C_{BSL,TREE,t_e}$  — 计入期末年 $t_e$ 基准线生物质的碳储量，单位为吨碳（t C）；
- $C_{BSL,TREE,t_0}$  — 计入期初年 $t_0$ 基准线生物质的碳储量，单位为吨碳（t C）；
- $C_{BSL,forest,t}$  — 第 $t$ 年时，基准线林木生物质的碳储量，单位为吨碳（t C）；
- $C_{BSL,HWP,t_e}$  — 计入期末年 $t_e$ 基准线木产品的碳储量，单位为吨碳（t C）；
- $B_{BSL-forest,i,j,t}$  — 第 $t$ 年时，基准线第 $i$ 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（t C·(t d.m.)<sup>-1</sup>）；
- $V_{i,j,HAR}$  — 计入期内第 $i$ 碳层原有树种 $j$ 的基准线采伐蓄积量，单位为立方米（m<sup>3</sup>）；
- $WD_j$  — 树种 $j$ 的基本木材密度，单位为吨干物质每立方米（t d.m.·m<sup>-3</sup>）；
- $RE_{t_e}$  — 采伐收获的木材转化为木产品后在末年 $t_e$ 仍保留下来的比例，根据项目设计的计入期限选择适用的参数（见 8.1）；
- $t$  — 计入期初年 $t_0$ 或计入期末年 $t_e$ ，单位为年（a）；
- $T$  — 项目计入期，单位为年（a）；
- $\frac{44}{12}$  — 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

地上和地下生物量的计算，利用生物量拓展因子及基本木材密度将乔木蓄积量转换为乔

木林全林生物量。

$$B_{BSL-forest,i,j,t} = V_{i,j,t} \times WD_j \times BEF_j \times (1 + R_j) \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-6)}$$

$$V_{i,j,t} = V_{O,i,j,t} + V_{N,i,j,t} \quad \text{公式 (A-7)}$$

式中：

$B_{BSL-forest,i,j,t}$	—	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 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
$WD_j$	—	树种 $j$ 的基本木材密度，单位为吨干物质每立方米 ( $\text{t d.m.} \cdot \text{m}^{-3}$ )；
$BEF_j$	—	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 ( $\text{hm}^2$ )；
$V_{O,i,j,t}$	—	第 $t$ 年时，第 $i$ 碳层树种 $j$ 原有植被乔木单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
$V_{N,i,j,t}$	—	第 $t$ 年时，第 $i$ 碳层树种 $j$ 补植和更新乔木单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
$i$	—	1,2,3.....第 $i$ 碳层；
$j$	—	1,2,3.....树种 $j$ ；
$t$	—	计入期初年 $t_0$ 或计入期末年 $t_e$ ，单位为年 (a)。

项目地块的原有植被乔木蓄积量的计算，采用平均单位面积林木蓄积量减去地块采伐蓄积量得到。

$$V_{O,i,j,t_e} = V_{i,j,t_0} - V_{i,j,har} \quad \text{公式 (A-8)}$$

式中：

$V_{O,i,j,t_e}$	—	第 $i$ 碳层树种 $j$ 的原有植被乔木单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
$V_{i,j,t_0}$	—	计入期初年原有森林生物质树种 $j$ 的单位面积林木蓄积量，单位为立方米每公顷 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )，可以通过调查后，采用附录 C 提供方法计算，或者采用附录 D 的缺省值；
$V_{i,j,har}$	—	计入期内第 $i$ 碳层原有树种 $j$ 的基准线单位面积采伐蓄积量，单位为立方米每公顷 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
$i$	—	1,2,3.....第 $i$ 碳层；
$j$	—	1,2,3.....树种 $j$ ；
$t_0$	—	计入期的开始年数 (a)。

地块补植和更新造林乔木蓄积量计算，采用乔木林单位面积蓄积量随林龄变化的模型与补植比例或更新造林比例来计算（见附录D）基准线情景下计入期末的单位面积蓄积量。

$$V_{N,i,j,t_e} = f_{V,j}(Age_{t_e}) \times r_{i,j} \quad \text{公式 (A-9)}$$

式中：

- $V_{N,i,j,t_e}$  — 计入期末年第  $i$  碳层树种  $j$  补植和更新单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )；
- $f_{V,j}(Age)$  — 树种  $j$  单位面积蓄积量与林龄的相关方程，单位为立方米每公顷 ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )；
- $r_j$  — 树种  $j$  补植或更新造林的面积比例 (%)；
- $i$  — 1,2,3.....第  $i$  碳层；
- $j$  — 1,2,3.....树种  $j$ ；
- $t_e$  — 计入期的结束年数 (a)。

## A.2 项目监测计算

采用“碳储量变化法”计算项目边界内项目森林生物质碳储量在一段时间内的年均变化：

$$\Delta C_{PROJ,BIO,t} = \sum_{i=1} \frac{C_{PROJ,BIO,t_2} - C_{PROJ,BIO,t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (A-10)}$$

$$C_{PROJ,BIO,t} = \sum_i \sum_j (B_{PROJ,i,j,t} \times CF_{i,j}) \quad \text{公式 (A-11)}$$

式中：

- $\Delta C_{PROJ,BIO,t}$  — 第  $t$  年，项目情景森林生物质碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ( $t CO_2-e \cdot a^{-1}$ )；
- $C_{PROJ,BIO,t_2}$  — 第  $t_2$  年，项目情景森林生物质的碳储量，单位为吨碳 (t C)；
- $C_{PROJ,BIO,t_1}$  — 第  $t_1$  年，项目情景森林生物质的碳储量，单位为吨碳 (t C)；
- $B_{PROJ,i,j,t}$  — 第  $t$  年时，项目情景第  $i$  碳层树种 (竹种)  $j$  的生物量，单位为吨干物质 (t d.m.)  
(计算乔木林时为  $B_{PROJ,TERR,i,j,t}$ ，计算竹林时为  $B_{PROJ,BF,i,j,t}$ )；
- $CF_{i,j}$  — 第  $i$  碳层树种 (竹种)  $j$  的生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质 ( $t C \cdot (t d.m.)^{-1}$ )；
- $t$  — 1,2,3.....自项目开始以来的年数 (a)；
- $t_1, t_2$  — 项目开始后的第  $t_1$  年和第  $t_2$  年，单位为年 (a)，且  $t_1 \leq t_2$ ；
- $\frac{44}{12}$  — 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

使用单株林木的材积与林木胸径的相关方程，根据单位面积林木数量计算得到单位面积乔木蓄积量，用基本木材密度和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。

$$B_{PROJ,TREE,i,j,t} = V_{i,j,t} \times WD_j \times BEF_j \times (1 + R_{TREE,j}) \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-12)}$$

$$V_{i,j,t} = f_{V,tree,j}(DBH) \times N_{TREE,i,j,t} \quad \text{公式 (A-13)}$$

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 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
- $WD_j$  — 树种  $j$  的基本木材密度 (带皮)，单位为吨干物质每立方米 ( $\text{t d.m.} \cdot \text{m}^{-3}$ )；
- $BEF_j$  — 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 ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ ) (见附录 D)；
- $N_{TREE,i,j,t}$  — 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 ( $\text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )；
- $A_{i,j,t}$  — 第  $t$  年时，项目边界内第  $i$  碳层树种  $j$  的面积，单位为公顷 ( $\text{hm}^2$ )；
- $i$  — 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

竹林生物质碳储量变化只发生在项目情景下，因恢复大熊猫栖息地而补植或栽植竹林带来的竹林生物质碳储量的变化。单位面积竹林生物量包括地上生物量和地下生物量：

$$B_{PROJ,BF,i,j,t} = B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t} + B_{PROJ,BF-BGB,i,j,t} \quad \text{公式 (A-14)}$$

式中：

- $B_{PROJ,BF,i,j,t}$  — 第  $t$  年时，第  $i$  碳层竹种  $j$  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.)。

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。

$$B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t} = f_{B,BF}(DBH, H) \times N_{BF,i,j,t} \times 10^{-3} \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-15)}$$

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.)；

- $f_{B,BF}(DBH,H)$  — 单株竹子地上生物量与胸径竹高的相关方程，单位为千克每株 (kg d.m.·株<sup>-1</sup>);
- $N_{BF,i,j,t}$  — 单位面积竹林的立竹数量，单位为株每公顷 (株·hm<sup>-2</sup>);
- $10^{-3}$  — 将千克转换为吨的常数;
- $A_{i,j,t}$  — 项目边界内第  $i$  碳层竹种  $j$  的面积，单位为公顷 (hm<sup>2</sup>)。

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-15); 或根据如下公式计算:

$$B_{PROJ,BF-BGB,i,j,t} = B_{PROJ,BF-AGB,i,j,t} \times R_{BF,j} \times A_{i,j,t} \quad \text{公式 (A-16)}$$

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，单位为吨干物质每公顷 (t d.m.·hm<sup>-2</sup>);
- $R_{BF,j}$  — 竹林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  $i$  碳层竹种  $j$  的面积，单位为公顷 (hm<sup>2</sup>)。

## 附录 B 监测样地数量计算与样地布设方法

### B.1 抽样设计

方法学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:

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

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 ( $\infty$ ) 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 ( $tC \cdot hm^{-2}$ ); 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 ( $tC \cdot hm^{-2}$ ); 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:

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

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 ( $tC \cdot hm^{-2}$ ); 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

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，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（圆心）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：

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：

- $c_{BIO,i,t}$  — 第  $t$  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 ( $tC \cdot hm^{-2}$ )；
- $c_{BIO,i,p,t}$  — 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；
- $S_{c_{BIO,i,t}}^2$  — 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 ( $(tC \cdot hm^{-2})^2$ )；
- $i$  — 1,2,3.....项目碳层；
- $p$  — 1,2,3.....项目第  $i$  碳层中的样地；
- $t$  — 1,2,3.....自项目开始以来的年数 (a)。

**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；
- $i$  — 1,2,3……项目碳层；
- $t$  — 1,2,3……自项目开始以来的年数（a）。

**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%；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；
- $t_{VAL}$  — 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·hm<sup>-2</sup>）；
- $S_{c_{BIO,t}}$  — 第  $t$  年时，项目边界内平均单位面积林木生物质碳储量的估计值，单位为吨碳每公顷（tC·hm<sup>-2</sup>）；
- $C_{BIO,t}$  — 1,2,3……自项目开始以来的年数（a）。

**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<sup>2</sup>）；
- $c_{BIO,t}$  — 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·hm<sup>-2</sup>）；
- $t$  — 1,2,3……自项目开始以来的年数（a）。

**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<sub>2</sub>-e·a<sup>-1</sup>）；
- $C_{BIO,t_1}$  — 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）；
- $t$  — 1,2,3……自项目开始以来的年数（a）；
- $t_1, t_2$  — 自项目开始以来的第  $t_1$  年和第  $t_2$  年， $t_1 \leq t \leq t_2$ ；
- $\frac{44}{12}$  — 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 木产品在计入期末年保留比例

年	$RE_{t_e}$	年	$RE_{t_e}$
20-30	23.21	36	20.21
31	22.68	37	19.75
32	22.17	38	19.30
33	21.66	39	18.86
34	21.16	40	18.43
35	20.68		

来源：根据四川省林业和草原统计数据拟合

表 D-2 主要优势树种（组）林木生物质含碳率（CF）

树种（组）	CF	树种（组）	CF
云杉	0.487	桉属（巨桉、直干桉）	0.476
冷杉	0.490	柳属（垂柳、高山柳）	0.477
铁杉	0.478	樟、楠（润楠、香樟等）	0.470
云南松	0.478	软阔（桤木、喜树等）	0.465
柏木	0.483	硬阔（青冈、木荷等）	0.466
落叶松	0.496	经济林木（核桃、板栗）	0.436
马尾松	0.475	阔叶平均	0.468
油杉	0.488	慈竹	0.4434
高山松	0.502	毛竹	0.4515
华山松	0.491	麻竹	0.4247
杉木	0.467	绵竹	0.4256
针叶平均	0.485	其他竹种	0.50
桦类（红桦、白桦等）	0.481	苦竹	0.4227
栎类（高山栎、辽东栎）	0.481	水竹	0.3989
杨属（高山杨、青杨等）	0.462		

来源：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》（2013）

表 D-3 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

树种（组）	R	树种（组）	R
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
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		

来源：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》（2013）

表 D-4 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		

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-5 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		

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-6 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-7 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 <sup>2</sup>
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.

表 D-8 四川主要乔木林树种(组) 单位面积蓄积量随林龄的 Richards 生长方程

树种(组)	a	b	c
冷杉	395.017	2.092	0.02
其他针叶树	465.204	0.857	0.004
马尾松	176.713	2.045	0.045
云南松	172.713	1.731	0.03
杉木	123.337	3.352	0.14
栎类	267.122	1.185	0.011
针叶混交类	513.458	1.123	0.008
阔叶混交类	259.759	1.315	0.019
针阔混交类	375.539	1.246	0.012

注:方程表达式为 $V = a * (1 - e^{-c*Age_t})^b$ 。其中, V 为单位面积蓄积量, 单位为立方米每公顷 ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ );  $Age_t$  为林龄, 无量纲; a、b、c 为模型参数  
 来源: 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇 (CCER-14-001-V01)

表 D-9 四川主要人工乔木林树种龄级龄组划分

树种	龄组划分		龄级期限	商品林主伐年龄
	成熟林	过熟林		
云杉、铁杉、柏木	61-100	>100	20	61 年以上
冷杉、落叶松	41-60	>60	10	41 年以上
云南松、高山松、油松、油杉、思茅松、华山松	31-50	>50	10	31 年以上
马尾松、巴山松	31-50	>50	10	31 年以上
杉木、柳杉、水杉、国外松	26-35	>35	5	26 年以上

树种	龄组划分		龄级期限	商品林主伐年龄
	成熟林	过熟林		
栎、樟、楠、栓皮栎	51-70	>70	10	51 年以上
桦、椴、漆树、其它硬阔	31-50	>50	10	31 年以上
杨、桉、檫、桐类、其它软阔	16-25	>25	5	16 年以上

来源：DB51/T 2918-2022 林木采伐技术规程

表 D-10 乔木林基准线成过熟林蓄积量缺省参数

树种（组）	a	树种（组）	a
桉树	144.98	软阔类	171.51
柏木	763.74	杉木	327.31
桦	249.99	杨树	245.64
阔叶混	163.08	硬阔类	290.94
冷杉	596.13	云南松	200.00
栎	228.63	云杉	539.23
柳杉	389.94	樟楠	92.22
落叶松	351.90	针阔混	295.13
马尾松	239.14	针叶混	402.13
其他松类	356.83		

来源：根据四川省森林资源规划设计调查样地数据拟合  
注：V=a\*Cd。其中，V 为单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷（m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>），Cd 为乔木林郁闭度，取值为 0-1，无量纲；a 为缺省参数