关于发布《温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇（CCER—14—001—V02）》的通知

为实施积极应对气候变化国家战略，鼓励更广泛的行业、企业自愿参与温室气体减排行动，规范全国温室气体自愿减排项目设计、实施、审定和减排量核算、核查工作，我们根据《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》（以下简称《管理办法》），在《温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇（CCER—14—001—01）》基础上，修订形成了《温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇（CCER—14—001—V02）》。现予以发布，并就做好该项方法学贯彻执行通知如下。

一、坚持诚信和自愿原则，引导动员社会减排。各地方生态环境、林草等主管部门应鼓励支持符合条件的造林项目积极参与全国温室气体自愿减排交易市场并获得减排量收益。指导有关项目业主按照《管理办法》规定，对项目唯一性以及所提供材料的真实性、完整性和有效性作出承诺，并加强能力建设。

二、优化项目管理机制，明确减排量权属。提交申请的造林项目应符合产权清晰的条件。本文件规定的项目减排量

属于林木所有权人。如项目业主不是林木所有权人，除提供林木所有权证明文件外，还须提供林木所有权人与项目业主之间签订的减排量转让协议。

三、强化事中事后监管，确保项目规范实施。项目业主应取得项目林木所有权人出具的项目寿命期内不皆伐的承诺证明。省级、设区的市级生态环境主管部门会同林草主管部门，按职责分工对已登记的温室气体自愿减排项目与核证自愿减排量组织开展监督检查，受理对本行政区域内温室气体自愿减排项目提出的公众举报，查处违法行为，及时报告有关情况。

四、本通知自印发之日起30天后正式施行。正式施行前按照《温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇（CCER—14—001—01）》在全国温室气体自愿减排注册登记系统及平台注册登记的造林碳汇项目，继续适用原方法学。

五、联系人和联系方式

（一）生态环境部应对气候变化司 罗梦、孙艺珈

电话：（010）65645679

国家应对气候变化战略研究和国际合作中心（全国温室气体自愿减排注册登记机构） 张欣、刘海燕

电话：（010）82268485

（二）国家林业和草原局生态保护修复司 穆巴拉克

电话：（010）84238509

附件：温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇（CCER—14—001—V02）

生态环境部办公厅

国家林草局办公室

2026 年 10 月 9 日

（此件社会公开）

抄送：市场监管总局办公厅，各省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团生态环境厅（局）、林草主管部门，国家应对气候变化战略研究和国际合作中心，北京绿色交易所。

附件

温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇
（CCER—14—001—V02）

1 引言

造林碳汇项目可通过增加森林面积、森林蓄积量和森林生态系统碳储量实现二氧化碳清除，是减缓气候变化的重要途径。本方法学属于林业和其他碳汇类型领域方法学。符合条件的造林碳汇项目可按照本文件要求，设计和审定温室气体自愿减排项目，以及核算和核查温室气体自愿减排项目的减排量。

2 适用条件

本文件适用于乔木、竹子和灌木造林，不包括经济林造林。使用本文件的造林碳汇项目必须满足以下条件：

a） 项目土地在造林活动开始前至少连续三年为不符合森林定义的土地；

b） 项目单个地块的土地连续面积不小于 400m^2；

c） 项目土地权属和减排量权属清晰；

d） 项目应符合法律法规的要求，符合行业发展政策。

3 规范性引用文件

本文件引用了下列文件或其中的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是未注日期的引用文件，其有效版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

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 43648 主要树种立木生物量模型与碳计量参数

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

4 术语和定义

《中华人民共和国森林法》、GB/T 15776、GB/T 26423、GB/T 18337.1、LY/T 1812 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

4.1

造林 forestation

在至少连续三年为不符合森林定义的土地上，通过人工措施营建或恢复森林的过程。

[来源：GB/T 15776—2023，3.1，有修改]

4.2

森林 forest

包括乔木林、竹林和国家特别规定的灌木林。

注：国家特别规定的灌木林按照国家相关行业主管部门的规定（林资发〔2004〕14号）。

[来源：《中华人民共和国森林法》，第八十三条]

4.3

乔木林 arboreal forests

由乔木（含因人工栽培而矮化的）树种组成，郁闭度≥0.2的片林或林带。

[来源：GB/T 26423—2010，6.68，有修改]

4.4

竹林 bamboo forests

附着有胸径2cm以上的竹类植物，郁闭度≥0.2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

经济林 non-wood product forest

以生产果品，食用油料、调料、饮料，工业原料，药材和生物质能源为主要目的的林种。包括以生产各种干、鲜果品为主要目的的果品林（如香榧、枣、苹果、梨、桃等），以生产食用油料、饮料、调料、香料等为主要目的的食用原料林（如咖啡、茶树、椰子等），以生产工业油料、树脂、木栓、单宁等非木质林产化工原料为主要目的的林产工业原料林（如油茶、小桐子、棕榈等），以生产药材、药用原料为主要目的的药用林（如杜仲、厚朴、肉桂等），以生产其他林副（特）产品为主要目的的经济林。

[来源：LY/T 2736—2016，2.1，有修改]

4.6

公益林 non-commercial forest

为维护和改善生态环境，保持生态平衡，保护生物多样性等满足人类社会的生态、社会需求和可持续发展为主体功能，主要提供公益性、社会性产品或服务的森林、林木、林地。生态公益林按事权等级划分为国家级公益林和地方级公益林。国家级公益林区划界定执行《国家级公益林区划界定办法》的规定。

[来源：GB/T 18337.1—2001，2.1；《国家级公益林区划界定办法》，有修改]

4.7

郁闭度 shade density

乔木林或竹林的林冠垂直投影面积与林地面积之比，用十分法表示。

注：灌木树冠垂直投影面积与林地面积的百分比，称为覆盖度。

[来源：GB/T 26423—2010，6.42，6.62；有修改]

4.8

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。

4.9

地上生物质 aboveground biomass

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

4.10

地下生物质 belowground biomass

土壤层以下所有植物活根的有机物质，通常不包括难以从土壤有机成分中区分出来的直径≤2mm 的细根。

4.11

生物量 biomass

特定区域内或特定物种的活体有机物质总量，通常以干重表示。

4.12

枯落物 litter

土壤层以上处于不同分解状态的所有死有机物质，包括直径≤5cm 的凋落物、腐殖质和死根。

4.13

枯死木 dead wood

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

4.14

土壤有机碳 soil organic carbon

一定深度内（通常为 30cm）矿质土和有机土（包括泥炭土）中的有机碳，包括难以从地下生物质中区分出来的直径≤2mm 的细根中的碳。

4.15

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。

5 项目边界、计入期、碳库和温室气体排放源

5.1 项目边界

造林碳汇项目区域可以由位于同一行政区（省、自治区、直辖市）内的若干个不连续的地块组成，但每个地块都应有明确的地理边界。可采用下述方法之一确定项目边界，形成矢量数据文件并细化到地块：

a） 利用北斗卫星导航系统（BDS）等卫星定位系统，直接测定项目地块边界的拐点坐标，单点定位误差不超过±5m；

b） 利用空间分辨率不低于 5m 的地理空间数据（如卫星遥感影像、航拍影像等）、林草资源图、作业设计、验收报告等一项或多项资料，在地理信息系统（GIS）辅助下直接读取项目地块的边界坐标。

5.2 项目计入期

5.2.1 项目计入期为可申请项目减排量登记的时间期限。项目计入期从项目业主首次申请登记的项目减排量的产生时间开始，最短时间不低于 20 年，最长不超过 40 年。

5.2.2 项目寿命期限为项目开始至项目结束的时间。项目开始时间即项目边界内首次实施整地、播种或植苗的项目开工日期，项目结束时间为项目计入期结束之后至少再延续 10 年。

5.3 碳库和温室气体排放源的选择

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	是否选择	理由
基准线情景	地上生物质	否	造林土地上原有植被生物质碳储量变化纳入项目清除量计算，基准线情景下计为 0
	地下生物质		
	枯死木	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	枯落物		
	土壤有机碳	否	项目土地处于稳定或退化状态，忽略不计
	木竹产品	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
项目情景	地上生物质	是	项目活动的主要碳库
	地下生物质		
	枯死木	是或否	项目活动通常会增加该碳库的碳储量，基于保守性原则可忽略不计
	枯落物		
	土壤有机碳	是或否	项目计入期内土壤有机碳增加或保持稳定时，基于保守性原则可忽略不计
	木竹产品	是或否	项目活动通常会增加该碳库的碳储量，基于保守性原则可忽略不计

项目边界内选择或不选择的温室气体排放源与种类如表 2 所示。

表 2 温室气体排放源的选择

情景	温室气体排放源	温室气体种类	是否选择	理由
基准线情景	火灾或人为火烧	CO_2、CH_4 和 N_2O	否	该排放源的影响较小，基于成本有效性原则和保守性原则忽略不计
	使用车辆、机械设备等过程中化石燃料燃烧产生的排放			
	使用石灰、污泥施肥过程中产生的排放			
项目情景	火灾或人为火烧	CO_2	否	生物质燃烧导致的 CO_2 排放已在生物质碳储量变化中考虑
		CH_4 和 N_2O	否	CH_4 和 N_2O 排放相比 CO_2 占比很低，且项目已考虑了非持久性风险，不再重复计算
	使用车辆、机械设备等过程中化石燃料燃烧产生的排放	CO_2、CH_4 和 N_2O	否	项目活动对该排放源的影响较小，基于成本有效性原则和保守性原则忽略不计
	使用石灰、污泥施肥过程中产生的排放			

6 项目减排量核算方法

6.1 基准线情景识别

本文件规定造林碳汇项目的基准线情景为：维持造林活动开始前的土地利用与管理方式。

6.2 额外性论证

6.2.1 免予论证

满足下列条件之一的造林项目，以保护和改善人类生存环境、维持生态平衡等为主要目的，前期造林和后期管护等活动成本高，除减排量收益外难以获得其他经济收入，不具备财务吸引力，项目额外性可以免予论证：

a） 在年均降水量≤400mm 的地区开展的造林项目；

注：年均降水量≤400mm 的地区可参考《国家林业局关于颁发<“国家特别规定的灌木林地”的规定>（试行）的通知》（林资发〔2004〕14 号）及其最新规定。

b） 在国家重点生态功能区开展的造林项目；

注：国家重点生态功能区名录可参照各省（自治区、直辖市）国土空间规划确定。

c） 属于公益林的造林项目；

注：公益林可参考《国家级公益林区划界定办法》、《国家级公益林管理办法》、省级公益林区划界定办法或省级公益林管理办法及其最新规定；县级以上林草主管部门最新的公益林落界数据库、“林草资源图”小班属性、以及政府公布文件及原始区划界定书等。

d） 项目计入期内未达到主伐年龄的造林项目。

注：主要人工造林树种的主伐年龄可参考《森林采伐更新管理办法》（2011 年修订）及其最新规定。

6.2.2 一般论证

其他造林项目按照《温室气体自愿减排项目设计与实施指南》中“温室气体自愿减排项目额外性论证工具”对项目额外性进行一般论证。

6.3 项目碳层划分

6.3.1 碳层划分是按照各种分层因子将项目边界内的地块划分为若干个相对均一的总体，目的是提高项目碳储量变化量计算的精度，并精简项目监测所需的样地数量。项目业主可根据实际情况划分项目碳层，包括项目设计阶段的碳层划分和项目实施阶段的碳层划分。

6.3.2 项目设计阶段划分的碳层用于预估项目碳储量变化量。可以综合考虑项目边界内土地的立地条件（如土壤类型、坡度坡向、海拔等），以及造林时间、造林树种、造林密度等因素划分项目碳层，将无显著差别的地块划分为同一碳层。

6.3.3 项目实施阶段划分的碳层用于监测和计算项目碳储量变化量。在项目设计阶段碳层划分的基础上，结合造林活动的实际情况进行调整确定。若存在自然因素（如立地条件、火灾、病虫害等）或人为干扰（如采伐、土地利用变化等）导致原有碳层的异质性增加，应对项目碳层进行调整。

6.4 基准线清除量计算

造林碳汇项目基准线情景下的碳库与排放源均忽略不计，基准线清除量计为 0，即：

$$\Delta C_{\mathrm{BSL},t}=0 \quad (1)$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{BSL},t}$ —— 项目开始后第 t 年时的基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

6.5 项目清除量计算

造林碳汇项目开始后第 t 年的项目清除量按照公式（2）计算：

$$\Delta C_{\mathrm{PROJ},t}=\Delta C_{\mathrm{BIOM_{PROJ}},t}+\Delta C_{\mathrm{DOM_{PROJ}},t}+\Delta C_{\mathrm{SOC_{PROJ}},t}+\Delta C_{\mathrm{HWP_{PROJ}},t} \quad (2)$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{PROJ},t}$ —— 项目开始后第 t 年时的项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{BIOM_{PROJ}},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目生物质碳库的碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），按本文件附录 A 计算；

$\Delta C_{\mathrm{DOM_{PROJ}},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目死有机质碳库的碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），按本文件附录 B 计算；

$\Delta C_{\mathrm{SOC_{PROJ}},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目土壤有机碳库的碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），按本文件附录 C 计算；

$\Delta C_{\mathrm{HWP_{PROJ}},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目木竹产品碳库碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），按本文件附录 D 计算。

6.6 项目泄漏计算

造林碳汇项目不考虑泄漏，即：

$$LK_t=0 \quad (3)$$

式中：

LK_t —— 项目开始后第 t 年时的项目泄漏量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）。

6.7 项目减排量核算

项目开始后第 t 年的项目减排量按照公式（4）核算：

$$CDR_t=\left(\Delta C_{\mathrm{PROJ},t}-\Delta C_{\mathrm{BSL},t}-LK_t\right)\times\left(1-K_{\mathrm{RISK}}\right) \quad (4)$$

式中：

CDR_t —— 项目开始后第 t 年时的项目减排量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

K_{RISK} —— 项目的非持久性风险扣减率，单位为百分比（%）。

7 监测方法

7.1 项目设计阶段确定的参数和数据

项目设计阶段需确定的参数和数据的技术内容和确定方法见表 3—表 15。

表 3 K_{RISK}的技术内容和确定方法

数据/参数名称	K_{RISK}
应用的公式编号	公式（4）

数据描述	因自然灾害（如火灾等）或人为原因（如非法破坏等）导致造林碳汇项目清除的温室气体重新释放到大气中的风险概率，即非持久性风险。
数据单位	%
数据来源	根据《中国林业统计年鉴》分析近 20 年全国因火灾引起的森林蓄积损失量占比、各类灾害（病虫害等）危害森林面积占比，合计约 4.98%
数值	基于保守性原则，取值 6%
数据用途	用于计算项目减排量的非持久性风险

表 4　$A_{i,p,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$A_{i,p,t}$
应用的公式编号	公式（A.12）
数据描述	第 t 年时，第 i 碳层样地 p 的面积
数据单位	m^2
数据来源	项目设计文件确定的项目碳层的样地面积
数值	/
数据用途	用于项目设计阶段预估和项目实施阶段监测项目清除量

表 5　$CC_{\mathrm{E},i,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$CC_{\mathrm{E},i,t}$
应用的公式编号	公式（A.2）（A.7）（A.10）（A.11）（A15）（B.2）（D.2）
数据描述	第 t 年时，第 i 碳层原有植被的冠层盖度（或郁闭度）
数据单位	用小数表示，无量纲
数据来源	项目业主可以选择： a）在造林开始前实测造林地原有植被冠层盖度（或郁闭度）； b）通过造林前的林地资源“一张图”、森林资源调查资料、作业设计或验收报告、高分辨率的遥感影像以及现场走访的形式，借助地理信息系统等进行分析确定； c）基于保守性原则，采用本文件及附录中推荐的缺省值。
数值	表 A.1
数据用途	用于校正项目实际造林作业面积，在项目减排量中扣除原有植被的影响

表 6　$\Delta C_{\mathrm{BIOM},i,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$\Delta C_{\mathrm{BIOM},i,t}$
应用的公式编号	公式（A.2）（A.10）（B.2）（D.3）
数据描述	第 t 年时，第 i 碳层的单位面积全林生物质固碳速率
数据单位	$t\,C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$
数据来源	项目业主可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 A.3
数据用途	用于项目设计阶段预估项目清除量

表 7　$f(V)$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$f(V)$
应用的公式编号	公式（A.5）
数据描述	乔木单位面积全林生物量与蓄积量的相关方程
数据单位	t d.m.·m^{-3}
数据来源	项目业主可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 A.5
数据用途	用于计算原有植被的单位面积生物量

表 8　TB_i的技术内容和确定方法

数据/参数名称	TB_i
应用的公式编号	公式（A.7）
数据描述	项目第 *i* 碳层竹子或灌木在林分水平的全林生物量
数据单位	t d.m.·hm^{-2}
数据来源	项目业主可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	毛竹林 99.07、杂竹林 40.22、天然灌木林 17.27、人工灌木林 24.64
数据用途	用于计算原有植被的单位面积生物量

表 9　$f(x)$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$f(x)$
应用的公式编号	公式（A.12）
数据描述	林木单株生物量与胸径（或地径、株/树高、冠幅等测量因子）的相关方程
数据单位	kg d.m.·$stem^{-1}$
数据来源	项目业主应优先选择全株生物量方程，也可以选择利用分部位（如地上部、地下部、叶、茎枝、根等）的单株生物量方程，分别计算各部位生物量再求和得到全株生物量。生物量方程的来源可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 A.6—表 A.8
数据用途	用于计算林木单株生物量

表 10　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）（A.12）（D.4）
数据描述	乔木（竹子、灌木）的生物质含碳率
数据单位	t C·(t d.m.)$^{-1}$
数据来源	项目业主应优先选择全株生物质含碳率，也可以选择计算单株各器官（如地上部、地下部、叶、茎枝、根等）的生物量，利用各器官的生物质含碳率，计算单株各器官的生物质碳储量，再求和得到单株生物质碳储量。生物质含碳率的来源可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 A.4
数据用途	用于将生物量转换为生物质碳储量

表 11　DR 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	DR
应用的公式编号	公式（A.19）
数据描述	项目生物质碳储量变化量的扣减率
数据单位	%
数据来源	参考清洁发展机制（CDM）造林再造林项目方法学，经专家论证后确定。
数值	表 A.2、表 G.1
数据用途	用于监测精度无法满足项目要求时，校正项目生物质碳储量变化量

表 12　DF_{LI}的技术内容和确定方法

数据/参数名称	DF_{LI}
应用的公式编号	公式（B.1）
数据描述	单位面积枯落物碳储量与全林生物质碳储量的比例
数据单位	无量纲
数据来源	项目业主须按照如下优先顺序选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 B.1
数据用途	用于计算枯落物碳储量

表 13　DF_{DW}的技术内容和确定方法

数据/参数名称	DF_{DW}
应用的公式编号	公式（B.1）
数据描述	单位面积枯死木碳储量与全林生物质碳储量的比例

数据单位	无量纲
数据来源	项目业主可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 B.2
数据用途	用于计算枯死木碳储量

表 14　δSOC 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	δSOC
应用的公式编号	公式（C.1）
数据描述	整地造林后土壤有机碳密度的平均年变化量
数据单位	t C·hm^{-2}·a^{-1}
数据来源	项目业主可以选择： a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的数据； b）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议； c）本文件及附录中推荐的适用于项目区的缺省值。
数值	表 C.1
数据用途	用于计算土壤有机碳储量变化

表 15　CSR_{30}的技术内容和确定方法

数据/参数名称	CSR_{30}
应用的公式编号	公式（D.2）（D.4）（D.5）
数据描述	自采伐起至 30 年后，木竹产品中剩余碳储量占采伐消耗生物质碳储量的比例
数据单位	以小数表示，无量纲
数据来源	项目业主可以选择： a）国家或省级主管部门发布的适用于项目区的木竹产品碳储量核算方法及参数； b）本文件及附录中推荐的缺省值。
数值	表 D.1
数据用途	用于计算木竹产品碳储量变化

7.2　项目实施阶段需监测的参数和数据

项目实施阶段需确定的参数和数据的技术内容和确定方法见表 16—表 19。

表 16　$A_{i,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$A_{i,t}$
应用的公式编号	公式（A.2）（A.4）（A.9）（A.11）（B.2）（C.1）（D.2）（D.4）（D.5）
数据描述	第 t 年时，第 i 碳层的面积
数据单位	hm^2

数据来源	项目设计阶段，可以根据项目边界矢量文件确定。项目实施阶段，通过野外测定或结合卫星影像判别土地利用变化（或发生干扰）的面积，结合设计阶段确定的项目边界矢量文件，对项目边界进行必要调整。
监测点要求	发生土地利用变化、自然或人为干扰的地块
监测仪表要求	罗盘仪、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 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 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算项目各碳层的面积

表 17　x 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	x
应用的公式编号	公式（A.12）
数据描述	林木胸径（或地径、株/树高、冠幅等测量因子）
数据单位	cm
数据来源	野外测定
监测点要求	监测样地中所有达到检尺要求的林木
监测仪表要求	直径圈尺、皮尺；罗盘仪、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 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 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算样地的单位面积生物质碳储量

表 18　x_k^l的技术内容和确定方法

数据/参数名称	x_k^l
应用的公式编号	公式（G.4）
数据描述	第 k 株单木的激光雷达特征参数
数据单位	m 或无量纲
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	无人机或有人机、机载激光雷达、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用机载激光雷达数据获取技术规范（CH/T 8024）使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	与样地监测频次同时进行。自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。无人机激光雷达点云密度不少于 100 个/平方米
质量保证/质量控制程序要求	采用机载激光雷达数据获取技术规范（CH/T 8024）使用的标准操作程序（SOP）
数据用途	用于计算乔木或竹林生物量

表 19　$SCR_{i,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$SCR_{i,t}$
应用的公式编号	公式（A.4）（A.6）（A.8）（A.9）（A.10）（D.2）（D.3）（D.4）（D.5）
数据描述	第 t 年时，第 i 碳层的植被清除（采伐）比例
数据单位	无量纲
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	直径圈尺、皮尺；罗盘仪、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次并汇总监测期内的采伐量（采伐比例）
质量保证/质量控制程序要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算植被移除（或采伐）消耗的生物质碳储量

7.3　项目实施及监测的数据管理要求

7.3.1　一般要求

项目业主应采取以下措施，确保监测参数和数据的质量：

a）　遵循项目设计阶段确定的数据监测程序与方法要求，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、外业测定的互检互核、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、项目适用条件的证明文件、项目实施情况、需监测的数据或参数等的监测、收集、记录和交叉核对。

7.3.2　项目边界监测要求

在项目实施阶段，项目业主须根据监测方案对项目边界进行监测，检查项目实际边界与项目设计文件的描述是否一致：

a）　如果实际造林边界位于项目设计文件描述的边界之外，项目边界应以项目设计文件为准，超出的部分不能纳入项目边界；

b）　如果实际造林边界位于项目设计文件描述的边界之内，项目业主可以选择以实际造林边界为准，并提供新的项目边界矢量数据文件；或者将边界内尚未完成造林的土地划分至新的碳层；

c）　如果项目边界内发生林地转化，且连续面积≥400m^2，应测定相应地块的地理坐标和面积，将这部分地块调出项目边界，并在后续减排量核算报告中予以说明，之后不再纳入项目边界。

7.3.3　项目实施情况监测要求

在项目实施阶段，主要监测和记录项目寿命期内项目边界内所发生的造林、管护等有关项目活动的实施情况，以及自然或人为干扰等。项目计入期结束后，应持续监测至少 2 次，直至项目寿命期结束，并报告项目存续状态。监测内容主要包括：

a）　造林活动：造林时间、造林地块、造林树种、造林密度、苗木成活率和保存率、整地清

林方式等；

b） 管护活动：巡护、补植、采伐、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、台风、干旱等）；

d） 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）。

7.3.4 项目碳层划分要求

在项目实施阶段，如果项目边界内出现下述情形之一，项目业主可选择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文件不一致，并影响了项目碳层内的均一性，如造林时间、树种选择、造林密度、以及造林边界等发生变化；

b） 因自然因素（如立地条件、火灾、病虫害等）或人为干扰（如采伐等）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；

d） 若上一次监测发现两个或多个碳层具有相近的平均单位面积碳储量，且已满足监测精度要求，在下次监测时可将这些碳层合并成一个碳层。

7.3.5 抽样设计要求

本文件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E的步骤，计算获得抽样监测所需的样地数量及在各碳层中的分布。

7.3.6 样地设置要求

项目生物质碳储量可采用固定样地连续监测。项目业主须按照附录E步骤，采用随机起点、系统布点的方法设置样地，明确所有样地的地理坐标。在项目实施阶段，如果项目碳层发生了变化，或为了满足监测精度要求而增加样地数量，须在后续监测中报告和说明样地调整信息。

7.3.7 监测频率与时间要求

项目固定样地的监测频率一般为每5年至少监测一次。首次监测时间不早于项目申请登记的时间。

7.3.8 项目生物质碳储量监测与计算要求

项目业主须按照附录A.2的步骤，通过项目样地监测得到项目生物质碳储量，并计算项目边界内生物质碳储量的年变化量。

7.3.9 数据精度控制与校正要求

7.3.9.1 基于样地的生物质碳储量监测，要求达到90%可靠性水平下90%的精度要求。如果测定精度低于该值，项目业主可通过增加样地数量进行补测，从而使测定结果达到精度要求。项目业主也可以基于保守性原则，选择采用扣减一定比例项目清除量的方式，按照附录A.2.3的方法对项目生物质碳储量变化量进行校正。

7.3.9.2 鼓励使用激光雷达技术开展林木生物质碳储量监测（附录G）。根据激光雷达生物量模型精度检验结果，基于保守性原则对项目生物质碳储量变化量进行校正。

7.3.10 数据管理与归档要求

7.3.10.1 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（植被调查、生态综合调查数据）、证明材料（权属证明文件、土地合格性证明）相关的书面文件或电子档案等。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。

7.3.10.2 项目监测的所有数据均应进行电子存档，在该温室气体自愿减排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。

8 项目审定与核查要点

8.1 项目审定要点

8.1.1 项目适用条件

a）核实项目地块的合格性。可以通过作业设计、验收报告（含自查验收报告）、林草湿荒调查监测（普查）、森林资源规划调查数据、林地一张图或林草资源图、自然资源管理与国土空间规划“一张图”、土地利用现状图、高分辨率的地理空间数据等一项或多项证明材料，判断项目地块在造林开始前至少连续三年不属于乔木林地、竹林地或国家特别规定的灌木林地，项目造林的林种不属于经济林（采用经济树种营建的公益林，不属于经济林）。对于分批实施造林的项目，应分地块判断其在造林活动开始前的合格性；

b）核实项目土地、林木和减排量权属。项目减排量所有权原则上应与林木所有权保持一致。可依据项目业主提供的合法有效的闭环证明链，按本文件附录 F 的要求核实项目林木所有权与减排量权属；

c）核实项目地块的最小连续面积不小于 400m^2。带状造林可以利用林带长度乘以林带宽度折算成林带面积，林带宽度为林带两侧树冠外缘间的平均宽度（平均宽度不足 8m 时按 8m 计）；

d）确认项目是否符合法律法规的要求，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》《中华人民共和国自然保护区条例》等，确认项目活动不违反有关法律法规的要求。

8.1.2 项目开始时间

a） 核实项目开始时间的真实性。项目开始时间以首次整地、播种、植苗等实质性造林作业发生之日为准，可依据项目业主提供的项目施工合同、监理报告、苗木出库单、付款证明、作业设计、验收报告（含自查验收报告），以及其他具有法律效力的文件等一项或多项证明材料，结合现场访谈、遥感影像或直接测定树龄后推算等辅助方式，核实项目开工日期符合项目开始时间的要求；

b） 核实项目寿命期的有效性。依据项目业主提供的林木权属文件或减排量权属相关证明材料，核实其在项目申请登记时有效。

8.1.3 项目边界

审定机构须从每个项目碳层中随机选取至少 1 个地块，且总数不少于 5 个地块，利用精度不低于 5m 的定位系统（如 BDS），测定所选地块的重要拐点坐标，与项目业主提供的项目边界矢量数据文件进行对比，核实拐点坐标误差不超过±5m。在误差允许范围内时，使用项目业主的

测量值；在误差允许范围之外时，项目业主须重新设计项目边界。

8.1.4 项目减排量核算

核实项目减排量计算过程、参数选择等符合本文件的要求，计算结果准确且符合保守性原则。

8.1.5 样地监测

确认项目是否按照本文件的要求制定了监测计划，具体包括：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，碳层划分、抽样设计和样地布设等。

8.2 项目核查要点

8.2.1 项目适用条件

检查 8.1.1 节的审定内容是否发生变化，并确认项目适用条件满足本文件的要求。

8.2.2 项目计入期与项目寿命期

a）查看项目业主提供的权属文件或相关证明材料，核实其有效期能够覆盖项目减排量产生的时间区间；

b）项目计入期结束后，继续通过遥感卫星或现场踏查等方式确认项目存续状态，确保在项目寿命期结束前项目边界内不发生毁林。

8.2.3 项目边界

通过项目所在地的林草资源图、森林资源调查数据、验收报告（含自查验收报告）、高分辨率遥感影像等一项或多项证明材料，核实项目实际造林地块边界与项目设计文件描述边界的一致性，并检查项目边界调整是否符合本文件第 7.3.2 节的要求。

8.2.4 项目减排量核算

核实每个监测期内项目减排量核算方法的一致性，监测数据达到精度要求，计算过程、所选参数符合本文件的要求，计算结果准确且采取了保守性做法。

8.2.5 样地监测

a）确认项目监测是否按照项目设计文件的监测方案执行。如果项目监测相比监测方案发生了调整，核实调整后的项目监测活动是否符合本文件第 7.3 节的要求，并确认在项目实施过程中监测样地与样地外同一碳层的管理措施基本一致；

b）从每个项目碳层至少抽取 1 个监测样地，且总数不少于 10 个样地，进行现场测定。项目样地总数少于 10 个时应监测全部样地。现场核查须在监测完成后的 3 个月之内完成，样地允许的平均测量误差符合以下要求：

——样地位置：样地复位率 100%，样地中心点（或西南角）复位误差不超过±5m；

——样地面积：样地面积与核算报告描述面积一致；

——株数：胸（地）径≥2cm 且≤8cm 的检尺株数允许误差为±5%，最多不超过±3 株，胸径大于 8cm 的应检尺株数不允许有误差；

——平均胸（地）径：测量误差不超过±5%或±0.5cm（以数值大的为准）；

——平均株（树）高：测量误差不超过±10%或±0.2m（以数值大的为准）；

——平均冠幅：测量误差不超过±10%。

8.3 参数的审定与核查要点及方法

参数的审定与核查要点及方法见表 20。

表 20 参数的审定与核查要点及方法

序号	内容	审定要点及方法	核查要点及方法
1	K_{RISK}	检查取值是否符合本文件要求。	检查取值是否符合本文件要求。
2	$A_{i,p,t}$	检查项目设计文件中监测计划确定的各碳层样地数量和面积是否符合本文件的要求。	按照 8.2.5 的要求核查样地面积与项目设计文件的一致性。
3	$CC_{\mathrm{E},i,t}$	a）检查实测的造林前土地原有植被盖度是否准确。可以采用 8.1.3 的步骤抽取部分地块进行核实； b）通过造林前的林地资源“一张图”、森林资源调查资料、作业设计或验收报告、高分辨率的遥感影像以及现场走访形式，借助地理信息系统等分析确定； c）是否采用了本文件及附录中推荐的缺省值。	查阅项目减排量核算报告中的参数取值是否与经审定的项目设计文件一致。
4	$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t}$	检查项目设计文件中参数选取的来源和准确性，并评估其适用性： a）所选参数是否来源于地方标准、行业标准或国家标准，是否适用于项目区； b）自选参数是否经过不少于 5 位具有高级职称的同行专家评议，评议结论是否能证明参数的适用性； c）所选参数是否来自于本文件及附录中适用于本项目区的缺省值。	
5	$f(V)$		
6	TB_i		
7	$f(x)$		
8	CF		
9	DR		
10	DF_{LI}		
11	DF_{DW}		
12	δSOC		
13	CSR_{30}		
14	$A_{i,t}$	a）检查项目边界矢量文件。追溯项目以实际造林地块边界为准；拟建项目以计划实施的边界为准。 b）按照 8.1 步骤判断各地块符合本文件的适用条件； c）将符合条件的地块纳入项目边界，并形成项目边界矢量文件； d）按照 8.1.3 步骤判断项目边界的准确性； e）按照项目业主的碳层划分，依据矢量文件确定各个项目碳层的面积。	a）按照 8.2.3 步骤，检查项目实际造林边界是否发生偏移，是否按照 7.3.2 的要求进行了调整，并提供新的项目边界矢量文件； b）根据项目业主调整的碳层划分，依据矢量文件确定各个项目碳层的面积。
15	x	项目审定阶段不包括该参数。	按照 8.2.5 的步骤和要求进行现场测定核查，确认项目减排量核算报告中所采用的监测因子的准确性与保守性。
16	x_k^{l}		
17	$SCR_{i,t}$	检查参数选择是否与项目设计文件、作业设计或项目实施方案等相一致，是否采取了保守性做法。	

附 录 A

（规范性附录）

森林生物质碳储量变化计算方法

A.1 项目设计阶段的计算方法

在项目设计阶段，可以采用“损益法”计算项目边界内生物质碳储量的变化量：

$$\Delta C_{\mathrm{BIOM},t} = \Delta C_{\mathrm{GAIN},t} - \Delta C_{\mathrm{LOSS},t} \quad （A.1）$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{BIOM},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内生物质碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{GAIN},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内生物质碳储量的增加量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{LOSS},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内生物质碳储量的损失量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

A.1.1 项目生物质碳储量增加量的计算

根据本文件的适用条件，项目原有植被处于稳定或退化状态，其继续生长对生物质碳储量变化的影响可以忽略不计，因此项目仅考虑新增林木生长引起的生物质碳储量增加。在项目设计阶段，根据项目开始前原有植被的冠层盖度（林木郁闭度或灌木覆盖度）折算项目实际造林面积，再利用造林树种的单位面积全林（包括地上和地下）生物质固碳速率的缺省值，计算项目边界内因新增林木生长引起的生物质碳储量的增加量：

$$\Delta C_{\mathrm{GAIN},t} = \sum_{i} \left[A_{i,t} \times \left(1 - CC_{\mathrm{E},i,t}\right) \times \Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t} \right] \times \frac{44}{12} \quad （A.2）$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{GAIN},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内生物质碳储量的增加量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$A_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

$CC_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层原有植被的冠层盖度（林木郁闭度或灌木覆盖度），以小数表示，无量纲。可以选择实测、结合历史资料判断；或采用本文件附表 A.1 中的缺省值；

$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层的单位面积全林生物质固碳速率，单位为吨碳每公顷每年（t $C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）。可根据第 t 年时第 i 碳层树种的平均林龄，参考本文件附表 A.3 取值；

44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲。

表 A.1　造林碳汇项目土地原有植被冠层盖度缺省值

造林前地类	灌木林地		疏林地	未成林地	其他林地	非林业用地
造林类型	灌木造林	乔木或竹子造林	所有类型			
$CC_{\mathrm{E},i,t}$取值	0.30	0.10	0.15	0.10	0.00	0.00

A.1.2　项目生物质碳储量损失量的计算

项目设计阶段，通常无法预计因自然灾害或计划外人为破坏导致的生物质碳损失。项目生物质碳储量损失量，主要考虑有计划地人为采伐（或清除）林木而导致的碳损失，包括项目原有植被的损失，也包括项目新增林木的损失：

$$\Delta C_{\mathrm{LOSS},t} = \Delta C_{\mathrm{LOSS,E},t} + \Delta C_{\mathrm{LOSS,P},t} \quad (A.3)$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{LOSS},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目生物质碳储量的损失量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{LOSS,E},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目原有植被清除的生物质碳储量的损失量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{LOSS,P},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目新增林木采伐的生物质碳储量的损失量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）。

A.1.2.1　项目原有植被生物质碳储量损失量计算

项目设计阶段，项目业主可根据项目实施计划确定原有植被的清除时间和比例，采用如下方法计算项目原有植被生物质碳储量损失量：

$$\Delta C_{\mathrm{LOSS,E},t} = \sum_i \left[A_{i,t} \times TB_{\mathrm{E},i,t} \times CF_i \times SCR_{\mathrm{E},i,t}\right] \times \frac{44}{12} \quad (A.4)$$

$$TB_{\mathrm{E},i,t} = f\left(V_{\mathrm{E},i,t}\right) \quad (A.5)$$

$$V_{\mathrm{E},i,t} = V_{\mathrm{E},i,t-1} \times \left(1 - SCR_{\mathrm{E},i,t-1}\right) \quad (A.6)$$

$$TB_{\mathrm{E},i,t} = TB_{E,i} \times CC_{\mathrm{E},i,t} \quad (A.7)$$

$$CC_{\mathrm{E},i,t} = CC_{\mathrm{E},i,t-1} \times \left(1 - SCR_{\mathrm{E},i,t-1}\right) \quad (A.8)$$

式中：

$TB_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层原有植被的单位面积全林生物量，单位为吨干物质每公顷（t d.m.$\cdot hm^{-2}$）。乔木树种根据公式（A.5）和公式（A.6）计算；竹子、灌木采用公式（A.7）和公式（A.8）计算；

CF_i —— 项目第 i 碳层原有植被的生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质（t C$\cdot$t d.m.$^{-1}$）。可以根据第 i 碳层原有植被的类型，参考本文件附表 A.4 取值；

$SCR_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层原有植被的清除比例，单位为百分比（%）。可以采用原有林木（竹子）的采伐株数（或蓄积量）占比、或原有灌木盖度的清除比例。对于追溯项目，已经清除了原有植被但没有数据记录的，可以保守地假定项目造林活动开始时（t=0）对原有植被进行了一次性完全清除，即取值 100%；未进行采伐或清除，则取值为 0%；对于拟建项目，可以根据项目设计文件、作业设计或项目实施方案等确定；

$f(V_{\mathrm{E}})$ —— 项目原有植被（乔木）单位面积全林生物量与蓄积量的相关方程，单位为吨干物质每公顷（t d.m.·hm^{-2}）。可以根据原有乔木树种（或树种组）类型，参照本文件附表 A.5 取值；

$V_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层原有植被（乔木）的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷（m^3·hm^{-2}）。项目造林活动开始时（t=0），可以通过实测或结合历史资料判断等方式取值。例如：疏林地造林可以采用当地疏林地的平均值，未成林地和其他类型土地造林则可以忽略不计，计为 0；

TB_i —— 项目第 i 碳层的原有植被（竹子或灌木）树种林分水平的平均全林生物量，单位为吨干物质每公顷（t d.m.·hm^{-2}）。可以通过实测或结合历史资料判断等方式取值。本文件推荐的缺省值：毛竹林 99.07、杂竹林 40.22、天然灌木林 17.27、人工灌木林 24.64。

A.1.2.2 项目新增林木生物质碳储量损失量计算

项目设计阶段，项目业主可根据项目实施计划确定新增林木的采伐时间和比例，采用如下方法计算项目新增林木生物质碳储量损失量：

$$\Delta C_{\mathrm{LOSS,P},t} = \sum_{i} \left[A_{i,t} \times c_{\mathrm{BIOM},i,t} \times SCR_{\mathrm{P},i,t} \right] \times \frac{44}{12} \qquad (A.9)$$

$$c_{\mathrm{BIOM},i,t} = c_{\mathrm{BIOM},i,t-1} \times \left(1 - SCR_{\mathrm{P},i,t-1}\right) + \Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t} \times \left(1 - CC_{\mathrm{E},i,t}\right) \qquad (A.10)$$

式中：

$c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层新增林木的单位面积全林生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

$SCR_{\mathrm{P},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层新增林木的采伐或清除比例，单位为百分比（%）。可以采用项目新增林木（竹子）的采伐株数（或蓄积量）占比或项目新增灌木按盖度计的清除比例。如果项目不对新增林木进行采伐，则取值为 0%。对于拟建项目，可以根据项目设计文件、作业设计或项目实施方案等确定取值。

A.2 项目监测阶段的计算方法

在项目监测阶段，本文件要求对项目各碳层的生物质碳储量开展样地监测，包括样地内所有原有植被和新增林木。利用“储量变化法”计算项目各碳层平均单位面积生物质碳储量的年变化量，再基于保守性原则，按原有植被的冠层盖度（公式 A.8）进行扣除，从而计算得到项目边界内生物质碳储量的年变化量：

$$\Delta C_{\mathrm{BIOM},t} = \frac{\sum_I \left(c_{\mathrm{BIOM},i,t_2} \times A_{i,t_2}\right) - \sum_I \left(c_{\mathrm{BIOM},i,t_1} \times A_{i,t_1}\right)}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \qquad (A.11)$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{BIOM},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内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_2e·a^{-1}）；

c_{BIOM,i,t_1} —— 时间 t_1 时，监测到的项目第 i 碳层的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

c_{BIOM,i,t_2} —— 时间 t_2 年时，监测到的项目第 i 碳层的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

A_{i,t_1} —— 时间 t_1 时，项目碳层 i 的面积，单位为公顷（hm^2）；

A_{i,t_2} —— 时间 t_2 时，项目碳层 i 的面积，单位为公顷（hm^2）；

$t_2 - t_1$ —— 项目监测间隔期，开始于时间 t_1，结束于时间 t_2，单位为年（a）。其中，$t_1 \leqslant t \leqslant t_2$。

A.2.1 单位面积生物质碳储量的监测与计算

实测各个碳层监测样地内新增的活立林木的胸径（或灌木地径、株/树高、冠幅等），采用林木单株生物量方程并结合生物质含碳率，分别计算样地、碳层和项目边界内平均单位面积生物质碳储量：

$$c_{\mathrm{BIOM},i,p,t} = \frac{\sum_k \left[f\left(x_{i,p,k,t}\right) \times CF_k \right] \times 10^{-3}}{A_{i,p,t} \times 10^{-4}} \quad (A.12)$$

$$c_{\mathrm{BIOM},i,t} = \left(\sum_p c_{\mathrm{BIOM},i,p,t} \right) \Big/ n_i \quad (A.13)$$

$$c_{\mathrm{BIOM},t} = \sum_i \left(w_{i,t} \times c_{\mathrm{BIOM},i,t} \right) \quad (A.14)$$

式中：

$c_{\mathrm{BIOM},i,p,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层样地 p 的单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

$c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

$c_{\mathrm{BIOM},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

$f(x)$ —— 林木单株生物量与胸径（或地径、株/树高、冠幅等）的相关方程，单位为千克干物质每株（kg d.m.·$stem^{-1}$）。乔木、竹子和灌木分别可参考本文件附表 A.6、A.7 和 A.8 取值；

$x_{i,p,k,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层样地 p 内第 k 株林木的胸径（地径、株/树高、冠幅等）监测值，单位为厘米（cm）；

CF_k —— 第 i 碳层样地 p 内第 k 株林木的生物质含碳率，单位为千克碳每千克干物质（kg C·kg d.m.$^{-1}$）。可根据第 k 株林木的树种类型，参考本文件附表 A.4 取值；

$A_{i,p,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层样地 p 的面积，单位为平方米（m^2）；

p —— 样地，p=1, 2, 3……，无量纲；

k —— 样地内的林木株数，k=1, 2, 3……，无量纲；

n_i —— 项目第 i 碳层的监测样地数，无量纲；

$w_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层的面积权重，即项目第 i 碳层面积占项目总面积的比例，$w_{i,t} = \frac{A_{i,t}}{\sum_i A_{i,t}}$，无量纲；

$A_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

10^{-3} —— 将千克转换为吨的常数；

10^{-4} —— 将平方米转换为公顷的常数。

如实测时，新增林木与原有林木已难以分辨（如胸径、树高等相近），可以选择实测样地内所有活立林木（包括原有的与新增的），再计算样地、碳层和项目边界内平均单位面积生物质碳储量。此时，需要通过扣减原有植被郁闭度（或盖度）的方式对公式 A.13 进行修正，即：

$$c_{\mathrm{BIOM},i,t} = \left(\sum_p c_{\mathrm{BIOM},i,p,t}\right) \times \left(1 - CC_{\mathrm{E},i,t}\right) \Big/ n_i \qquad (A.15)$$

A.2.2 监测不确定性的计算

按如下步骤和方法计算项目边界内单位面积生物质碳储量的不确定性：

$$S^2_{c_{\mathrm{BIOM},i,t}} = \frac{n_i \times \sum_p c^2_{\mathrm{BIOM},i,p,t} - \left(\sum_p c_{\mathrm{BIOM},i,p,t}\right)^2}{n_i \times (n_i - 1)} \qquad (A.16)$$

$$S^2_{c_{\mathrm{BIOM},t}} = \sum_i \left(w^2_{i,t} \times \frac{S^2_{c_{\mathrm{BIOM},i,t}}}{n_i} \right) \qquad (A.17)$$

$$u_{c_{\mathrm{BIOM},t}} = \frac{t_{\mathrm{VAL}} \times S_{c_{\mathrm{BIOM},t}}}{c_{\mathrm{BIOM},t}} \qquad (A.18)$$

式中：

$S^2_{c_{\mathrm{BIOM},i,t}}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层平均单位面积生物质碳储量的方差，单位为吨碳每公顷的平方（（t C·hm^{-2}）^{2}）；

$S^2_{c_{\mathrm{BIOM},t}}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内平均单位面积生物质碳储量的方差，单位为吨碳每公顷的平方（（t C·hm^{-2}）^{2}）；

$S_{c_{\mathrm{BIOM},t}}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内平均单位面积生物质碳储量方差的平方根，即标准误差，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

$u_{c_{\mathrm{BIOM},t}}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目边界内平均单位面积生物质碳储量的不确定性，即相对误差限，单位为百分比（%）。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 是碳层数），置信水平为 90%，查 t-分布双侧分位数表获得，无量纲。如置信水平为 90%，自由度为 45 时，双侧 t-分布的 t 值在电子表格中输入“=TINV(0.10,45)”可计算得到 t 值为 1.6794。

A.2.3 项目生物质碳储量变化量的校正

（1）如果项目首次监测是在项目计入期开始之后，可以根据 A.2.1 先分别计算项目开始（时间为 t_0）、计入期开始时（时间为 t_1）和首次监测时（时间为 t_2）各碳层和项目生物质碳储量，再根据公式（A.11）计算自项目开始至首次监测期间（从 t_0 至 t_2）的项目生物质碳储量年变化量，以此作为自项目计入期开始至首次监测期间（从 t_1 至 t_2）的项目生物质碳储量年变化量。造林苗木平均胸径＜2cm 时，其生物质碳储量可计为 0；造林苗木平均胸径≥2cm 时，应按 A.2.1 计算 t_0 生物质碳储量。

（2）项目边界内单位面积生物质碳储量的监测精度，应达到 90%可靠性水平下 90%的精度要求。如果监测精度低于该值，项目业主可通过增加样地数量的方式进行补充监测，直至使监测结果达到精度要求。项目业主也可以选择采用按比例扣减的方式，按照如下方法对项目生物质碳储量变化量进行保守性校正：

$$\Delta C_{\mathrm{BIOM_{PROJ}},T} = \Delta C_{\mathrm{BIOM},T} \times (1 - DR) \qquad (A.19)$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{BIOM_{PROJ}},T}$ —— 第 T 个监测期内，按照精度要求进行校正后的项目生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO_2e·a^{-1}）；

$\Delta C_{\mathrm{BIOM},T}$ —— 第 T 个监测期内，实际监测计算得到的项目生物质碳储量年

	——	变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；
DR	——	扣减率，单位为百分比（%），可参考本文件附表 A.2 取值；
T	——	自项目开始以来的监测期数，T=1, 2, 3……，无量纲。

表 A.2　样地监测生物质碳储量变化量的扣减率

不确定性（$u_{c_{\mathrm{BIOM},t}}$）	扣减率（DR）
小于或等于 10%	0%
大于 10%但小于或等于 15%	3%
大于 15%但小于或等于 20%	6%
大于 20%但小于或等于 30%	11%
大于 30%	增加样地数量，直至测定结果达到精度要求

A.3　生物量模型与参数

表 A.3　主要造林树种全林生物质固碳速率

适用地区	造林树种	林龄阶段（年）							
		0~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80
京津晋冀鲁	落叶松	1.28	2.17	1.86	1.25	0.75	0.42	0.23	0.13
	油松	0.63	1.20	1.34	1.23	1.02	0.80	0.60	0.45
	柏木	0.39	0.77	0.89	0.84	0.70	0.55	0.41	0.29
	其他硬阔类	0.65	1.06	1.05	0.86	0.62	0.42	0.28	0.18
	刺槐	0.62	0.90	0.83	0.63	0.43	0.27	0.16	0.10
	杨树	2.04	2.19	1.41	0.78	0.41	0.21	0.11	0.06
	其他软阔类	1.88	1.24	0.38	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01
	其他针叶林	0.56	1.11	1.39	1.42	1.28	1.06	0.83	0.62
	阔叶混	1.48	1.29	0.57	0.21	0.08	0.04	0.02	0.02
	针阔混	1.03	2.08	1.65	0.92	0.44	0.20	0.09	0.05
黑吉辽蒙（东）	落叶松	0.82	1.83	1.94	1.60	1.18	0.83	0.56	0.38
	樟子松	0.58	1.55	1.60	1.16	0.72	0.42	0.24	0.13
	油松	0.19	0.67	1.03	1.07	0.91	0.69	0.49	0.34
	其他硬阔类	0.58	1.18	1.29	1.16	0.95	0.74	0.56	0.42
	刺槐	0.07	0.48	1.15	0.82	0.34	0.11	0.03	0.01
	杨树	1.56	1.56	1.05	0.67	0.41	0.26	0.16	0.10
	其他软阔类	1.55	2.95	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	其他针叶林	1.06	1.48	1.29	1.00	0.74	0.54	0.39	0.27
	阔叶混	0.95	1.04	0.47	0.18	0.07	0.03	0.01	0.01
	针阔混	1.11	2.02	1.83	1.35	0.91	0.59	0.38	0.24
苏浙沪皖赣闽	马尾松	0.53	1.63	1.62	1.04	0.57	0.29	0.14	0.07
	湿地松	1.41	2.42	1.35	0.56	0.21	0.08	0.03	0.02
	杉木	1.10	2.31	2.29	1.77	1.23	0.82	0.53	0.34
	其他硬阔类	1.06	2.25	2.33	1.88	1.38	0.96	0.65	0.43
	杨树	2.42	2.76	1.58	0.79	0.37	0.18	0.09	0.05
	桉树	2.99	0.48	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	其他软阔类	1.68	1.68	0.88	0.41	0.18	0.08	0.04	0.02
	其他针叶林	1.11	3.30	3.07	1.85	0.96	0.46	0.21	0.10
	阔叶混	1.66	2.83	1.96	1.07	0.53	0.26	0.12	0.06
	针阔混	1.11	2.45	2.24	1.53	0.94	0.55	0.31	0.17

适用地区	造林树种	林龄阶段（年）							
		0~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80
豫鄂湘	油松	1.42	1.71	1.29	0.88	0.58	0.38	0.25	0.16
	马尾松	0.70	1.62	1.52	1.05	0.65	0.38	0.21	0.12
	湿地松	1.19	1.72	0.55	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00
	杉木	1.15	2.25	1.90	1.25	0.75	0.43	0.24	0.13
	栎类	0.75	2.00	2.11	1.58	1.04	0.64	0.38	0.22
	刺槐	1.78	0.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	其他硬阔类	0.51	1.63	1.79	1.28	0.77	0.42	0.22	0.11
	杨树	2.75	2.33	0.87	0.29	0.10	0.04	0.02	0.01
	其他软阔类	2.64	0.47	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	其他针叶林	0.82	1.93	1.83	1.27	0.78	0.46	0.26	0.14
	阔叶混	1.36	1.43	0.95	0.58	0.34	0.20	0.12	0.07
	针阔混	0.95	2.00	1.54	0.87	0.44	0.22	0.10	0.05
粤桂琼	马尾松	0.91	2.89	1.23	0.28	0.05	0.01	0.01	0.00
	湿地松	0.38	2.05	2.74	1.71	0.80	0.33	0.13	0.05
	杉木	1.53	3.00	1.75	0.73	0.27	0.10	0.04	0.02
	其他硬阔类	0.32	2.39	4.12	2.91	1.32	0.50	0.19	0.08
	桉树	2.93	1.81	0.79	0.34	0.15	0.07	0.04	0.02
	相思	1.81	3.39	1.87	0.75	0.27	0.10	0.04	0.02
	其他软阔类	2.13	3.12	2.24	1.35	0.76	0.42	0.23	0.13
	其他针叶林	1.22	2.17	1.84	1.26	0.80	0.49	0.29	0.17
	阔叶混	1.31	1.97	1.65	1.18	0.80	0.52	0.34	0.22
	针阔混	1.05	2.22	1.73	0.99	0.51	0.25	0.12	0.06
川渝贵滇	华山松	0.42	1.58	2.17	1.85	1.28	0.80	0.48	0.28
	马尾松	0.70	1.93	2.22	1.82	1.30	0.86	0.55	0.34
	云南松	0.68	1.20	1.00	0.68	0.42	0.25	0.15	0.09
	杉木	1.42	2.48	2.16	1.55	1.03	0.65	0.41	0.25
	柏木	0.39	1.05	1.33	1.24	1.00	0.75	0.54	0.38
	其他硬阔类	0.82	1.81	1.08	0.45	0.17	0.06	0.02	0.01
	桉树	2.89	1.92	0.92	0.42	0.20	0.10	0.05	0.03
	其他软阔类	1.29	2.33	1.76	1.04	0.56	0.29	0.15	0.08
	其他针叶林	0.99	2.43	2.09	1.27	0.68	0.34	0.16	0.08
	阔叶混	1.40	1.11	0.53	0.23	0.10	0.05	0.02	0.01
	针阔混	1.33	2.05	1.26	0.61	0.28	0.12	0.06	0.03
新青宁甘陕藏蒙（西）	云杉	0.17	0.52	0.84	1.04	1.09	1.03	0.92	0.79
	落叶松	1.05	1.69	1.38	0.94	0.61	0.38	0.23	0.14
	油松	0.55	1.41	1.64	1.41	1.07	0.76	0.52	0.35
	榆树	0.38	1.09	1.27	1.03	0.72	0.48	0.30	0.19
	其他硬阔类	0.53	1.08	0.99	0.71	0.46	0.28	0.17	0.10
	杨树	1.79	3.04	2.06	1.09	0.53	0.25	0.12	0.06
	其他软阔类	1.41	1.28	0.54	0.20	0.07	0.03	0.01	0.01
	其他针叶林	0.17	1.05	1.38	0.76	0.31	0.11	0.04	0.01
	阔叶混	0.91	1.41	0.84	0.40	0.18	0.08	0.03	0.02
	针阔混	0.95	1.95	1.62	1.02	0.58	0.31	0.17	0.09
全国	毛竹林	4.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	杂竹林	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	灌木林	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：根据第 6~9 次全国森林资源清查的人工林样地尺度数据，采用 Richard、Hossfeld 和 Weibull 方程联合，构建单位面积生物质碳储量与林龄的分级生长模型，并以此地区此类森林所有样地的加权平均值计算不同林龄阶段生物质碳储量的年变化量，单位为吨碳每公顷每年（$t\,C\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）。

表 A.4　主要造林树种的生物质含碳率

森林类型	CF_{Total}	CF_{AGB}	CF_{BGB}
云冷杉林	0.4931	0.4931	0.4933
落叶松林	0.4893	0.4895	0.4884
温性针叶林	0.4961	0.4967	0.4955
油松林	0.5165	0.5184	0.5093
马尾松林	0.5252	0.5254	0.5082
暖性针叶林	0.5034	0.5045	0.4912
杉类	0.4990	0.5003	0.4880
柏木林	0.4847	0.4846	0.4851
栎类	0.4802	0.4827	0.4678
桦木林	0.4872	0.4897	0.4779
其他硬阔类	0.4711	0.4734	0.4637
杨树林	0.4705	0.4728	0.4644
桉树林	0.4730	0.4750	0.4685
其他软阔类	0.4730	0.4750	0.4685
针叶混	0.5005	0.5014	0.4943
阔叶混	0.4718	0.4741	0.4652
针阔混	0.4861	0.4877	0.4797
竹子	0.47		
灌木	0.47		

注：CF_{Total}为林木整株生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质（t C·(t d.m.)$^{-1}$）。CF_{AGB}表示地上生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质（t C·(t d.m.)$^{-1}$）。CF_{BGB}表示地下生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质（t C·(t d.m.)$^{-1}$）。

表 A.5　主要乔木树种的生物量-蓄积量相关方程

森林类型	*a*	*b*	*c*	R^2
冷杉林	4.1095	0.5976	0.8181	0.871
云杉林	1.3879	0.7168	0.7991	0.913
落叶松林	0.6986	0.8262	0.7794	0.936
杉木林	0.5743	0.7120	0.8109	0.936
柏木林	0.4545	1.5341	0.8007	0.947
马尾松林	1.4282	0.9768	0.8297	0.953
油松林	0.2112	1.1235	0.8098	0.966
云南松林	0.9158	0.6501	0.8453	0.973
其他针叶林	1.0721	0.8303	0.8041	0.946
栎类林	0.7196	1.2948	0.7930	0.917
桦树林	0.7507	1.0118	0.7821	0.898
杨树林	0.2945	0.8978	0.8246	0.934
刺槐林	0.3864	1.5499	0.7833	0.933
桉树林	0.3330	1.1740	0.7793	0.962
橡胶林	0.2401	0.8679	0.7981	0.989
其他软阔类	0.3454	1.2130	0.7880	0.933
其他硬阔类	0.6534	0.9920	0.7954	0.897
针叶混交林	3.3612	0.8348	0.8088	0.919

针阔混交林	2.2575	0.9560	0.7961	0.892
阔叶混交林	1.3944	1.1086	0.7938	0.916

注：全林生物量的方程表达式为 $TB = a + b \cdot V$，地上生物量的方程表达式为 $AGB = c \cdot (a + b \cdot V)$。其中，$TB$ 为单位面积全林生物量、AGB 为单位面积地上生物量，单位为吨干物质每公顷（t d.m.·hm^{-2}）；V 为单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷（m^3·hm^{-2}）；a、b、c 为模型参数；R^2 为模型相关系数。

表 A.6　主要乔木树种单株生物量与胸径的相关方程

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		
				模型参数		R^2
				a	b	
油松	晋冀鲁京津蒙辽豫甘青宁陕	地上	DBH≥5cm	0.08611	2.46157	0.95
		地上	DBH＜5cm	0.42937	1.46329	
		地下	DBH≥5cm	0.01093	2.66478	0.87
		地下	DBH＜5cm	0.10931	1.23382	
湿地松	闽赣湘粤桂	地上	DBH≥5cm	0.08389	2.44091	0.94
		地上	DBH＜5cm	0.30976	1.62928	
		地下	DBH≥5cm	0.04357	2.22877	0.91
		地下	DBH＜5cm	0.07144	1.92151	
云南松	川滇藏	地上	DBH≥5cm	0.09492	2.35667	0.92
		地下	DBH≥5cm	0.01654	2.34490	0.78
马尾松	苏浙徽闽赣湘粤桂贵	地上	DBH≥5cm	0.09949	2.40859	0.95
		地上	DBH＜5cm	0.14769	2.16312	
		地下	DBH≥5cm	0.00811	2.69505	0.89
		地下	DBH＜5cm	0.03384	1.80754	
	鄂川	地上	DBH≥5cm	0.13792	2.34359	0.91
		地上	DBH＜5cm	0.18919	2.14721	
		地下	DBH≥5cm	0.01125	2.63005	0.58
		地下	DBH＜5cm	0.04335	1.79163	
杉木	湘鄂粤桂浙徽苏川贵	地上	DBH≥5cm	0.07637	2.40393	0.96
		地上	DBH＜5cm	0.21277	1.76730	
		地下	DBH≥5cm	0.01550	2.44421	0.92
		地下	DBH＜5cm	0.03299	1.97505	
	赣闽	地上	DBH≥5cm	0.04363	2.54589	0.98
		地上	DBH＜5cm	0.20848	1.57405	
		地下	DBH≥5cm	0.00886	2.58617	0.76
		地下	DBH＜5cm	0.03232	1.78179	
落叶松	黑吉辽、蒙东部	地上	DBH≥5cm	0.11270	2.39582	0.96
		地上	DBH＜5cm	0.18254	2.09620	
		地下	DBH≥5cm	0.04258	2.37053	0.94
		地下	DBH＜5cm	0.01671	2.95176	
	晋冀、蒙中西部	地上	DBH≥5cm	0.07302	2.47298	0.92
		地上	DBH＜5cm	0.14214	2.05910	
		地下	DBH≥5cm	0.02829	2.36403	0.90
		地下	DBH＜5cm	0.02275	2.49938	
	新	地上	DBH≥5cm	0.11795	2.33612	0.92

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		
				模型参数		R^2
				a	*b*	
		地上	*DBH*＜5cm	0.14236	2.21923	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02055	2.37556	0.70
		地下	*DBH*＜5cm	0.07852	1.54259	
	川滇藏	地上	*DBH*≥5cm	0.11161	2.32803	0.90
		地上	*DBH*＜5cm	0.16341	2.09118	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02136	2.37623	0.71
		地下	*DBH*＜5cm	0.03663	2.04127	
云杉	黑吉	地上	*DBH*≥5cm	0.09307	2.43215	0.97
		地上	*DBH*＜5cm	0.13695	2.19211	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02072	2.47431	0.81
		地下	*DBH*＜5cm	0.07753	1.65434	
	甘青、新疆天山	地上	*DBH*≥5cm	0.14865	2.28906	0.91
		地上	*DBH*＜5cm	0.31796	1.81664	
		地下	*DBH*≥5cm	0.04632	2.28836	0.81
		地下	*DBH*＜5cm	0.09703	1.82893	
	新疆阿尔泰山	地上	*DBH*≥5cm	0.15559	2.25877	0.83
		地上	*DBH*＜5cm	0.17081	2.20079	
		地下	*DBH*≥5cm	0.03408	2.27061	0.84
		地下	*DBH*＜5cm	0.06622	1.85795	
	川	地上	*DBH*≥5cm	0.12961	2.30961	0.89
		地上	*DBH*＜5cm	0.30880	1.77020	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02679	2.31771	0.97
		地下	*DBH*＜5cm	0.06928	1.72732	
	滇	地上	*DBH*≥5cm	0.10554	2.38926	0.96
		地上	*DBH*＜5cm	0.18746	2.03230	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02413	2.41710	0.94
		地下	*DBH*＜5cm	0.03062	2.26907	
	藏	地上	*DBH*≥5cm	0.18143	2.21804	0.91
		地上	*DBH*＜5cm	0.13692	2.39293	
		地下	*DBH*≥5cm	0.03144	2.23846	0.85
		地下	*DBH*＜5cm	0.02642	2.34646	
冷杉	黑吉	地上	*DBH*≥5cm	0.09088	2.41762	0.95
		地上	*DBH*＜5cm	0.14035	2.14761	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02608	2.30198	0.81
		地下	*DBH*＜5cm	0.02230	2.39904	
	甘青、新疆天山	地上	*DBH*≥5cm	0.09751	2.42878	0.89
		地上	*DBH*＜5cm	0.13128	2.24404	
		地下	*DBH*≥5cm	0.03863	2.29457	0.89
		地下	*DBH*＜5cm	0.01360	2.94304	
	川	地上	*DBH*≥5cm	0.08486	2.40985	0.88
		地上	*DBH*＜5cm	0.16896	1.98195	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02407	2.30715	0.85

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		
				模型参数		R^2
				a	*b*	
		地下	*DBH*＜5cm	0.02519	2.27893	
	滇	地上	*DBH*≥5cm	0.08018	2.41049	0.99
		地上	*DBH*＜5cm	0.18175	1.90205	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02942	2.30673	0.87
		地下	*DBH*＜5cm	0.05096	1.96530	
	藏	地上	*DBH*≥5cm	0.08116	2.42411	0.94
		地上	*DBH*＜5cm	0.10366	2.27209	
		地下	*DBH*≥5cm	0.03035	2.29767	0.94
		地下	*DBH*＜5cm	0.01041	2.96271	
柳杉	浙鄂湘川渝	地上	*DBH*≥5cm	0.15483	2.17100	0.94
		地上	*DBH*＜5cm	0.22754	1.93180	
		地下	*DBH*≥5cm	0.01406	2.57193	0.87
		地下	*DBH*＜5cm	0.06279	1.93180	
栎树	黑吉辽、蒙东部	地上	*DBH*≥5cm	0.09135	2.48954	0.92
		地上	*DBH*＜5cm	0.11963	2.32194	
		地下	*DBH*≥5cm	0.04588	2.30079	0.81
		地下	*DBH*＜5cm	0.08646	1.90705	
	豫晋冀陕青甘宁	地上	*DBH*≥5cm	0.09393	2.54608	0.94
		地上	*DBH*＜5cm	0.20484	2.06167	
		地下	*DBH*≥5cm	0.05209	2.30130	0.89
		地下	*DBH*＜5cm	0.12730	1.74612	
	川滇	地上	*DBH*≥5cm	0.11520	2.42424	0.91
		地上	*DBH*＜5cm	0.29813	1.83342	
		地下	*DBH*≥5cm	0.04890	2.20730	0.77
		地下	*DBH*＜5cm	0.14067	1.55077	
	鄂湘赣徽浙渝贵	地上	*DBH*≥5cm	0.21360	2.30416	0.91
		地上	*DBH*＜5cm	0.22586	2.26960	
		地下	*DBH*≥5cm	0.11060	2.05730	0.79
		地下	*DBH*＜5cm	0.06271	2.40982	
桦树	黑吉、蒙东部（白桦）	地上	*DBH*≥5cm	0.10298	2.44022	0.94
		地上	*DBH*＜5cm	0.14305	2.23603	
		地下	*DBH*≥5cm	0.05511	2.25464	0.81
		地下	*DBH*＜5cm	0.05612	2.24334	
	黑吉、蒙东部（其他桦）	地上	*DBH*≥5cm	0.09588	2.42564	0.92
		地上	*DBH*＜5cm	0.13863	2.19653	
		地下	*DBH*≥5cm	0.04916	2.24678	0.71
		地下	*DBH*＜5cm	0.05998	2.12325	
	蒙中西部、豫晋陕青甘宁新	地上	*DBH*≥5cm	0.11146	2.42983	0.94
		地上	*DBH*＜5cm	0.30646	1.80136	
		地下	*DBH*≥5cm	0.05084	2.24904	0.86
		地下	*DBH*＜5cm	0.08875	1.90290	
	川滇	地上	*DBH*≥5cm	0.09615	2.41861	0.88

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		
				模型参数		R^2
				a	*b*	
		地上	*DBH*＜5cm	0.13097	2.22660	
		地下	*DBH*≥5cm	0.04159	2.24300	0.82
		地下	*DBH*＜5cm	0.02004	2.69673	
木荷	滇闽赣贵浙湘粤	地上	*DBH*≥5cm	0.17685	2.26314	0.96
		地下	*DBH*≥5cm	0.06408	2.19784	0.81
枫香	桂闽赣湘贵浙徽渝	地上	*DBH*≥5cm	0.10615	2.46650	0.95
		地下	*DBH*≥5cm	0.09552	2.14190	0.92
柏木	京津冀晋蒙鲁豫	地上	*DBH*≥5cm	0.15341	2.31696	0.92
		地上	*DBH*＜5cm	0.36274	1.78224	
		地下	*DBH*≥5cm	0.05961	2.16657	0.88
		地下	*DBH*＜5cm	0.14096	1.63185	
	陕甘青	地上	*DBH*≥5cm	0.13313	2.25359	0.85
		地上	*DBH*＜5cm	0.48331	1.45248	
		地下	*DBH*≥5cm	0.05487	2.10320	0.81
		地下	*DBH*＜5cm	0.19921	1.30209	
	川滇藏	地上	*DBH*≥5cm	0.14179	2.32928	0.89
		地上	*DBH*＜5cm	0.23907	2.00472	
		地下	*DBH*≥5cm	0.03917	2.17890	0.77
		地下	*DBH*＜5cm	0.06603	1.85434	
	浙鄂湘粤渝贵	地上	*DBH*≥5cm	0.14734	2.34512	0.93
		地上	*DBH*＜5cm	0.19117	2.18332	
		地下	*DBH*≥5cm	0.05617	2.19473	0.87
		地下	*DBH*＜5cm	0.07288	2.03293	
高山松	藏川滇	地上	*DBH*≥5cm	0.10387	2.37122	0.90
		地上	*DBH*＜5cm	0.24417	1.84015	
		地下	*DBH*≥5cm	0.02174	2.37122	0.77
		地下	*DBH*＜5cm	0.05024	1.84015	0.77
思茅松	普洱、西双版纳、德宏、临沧	地上	*DBH*≥5cm	0.02742	2.80363	0.96
		地上	*DBH*＜5cm	0.11144	1.93247	0.96
		地下	*DBH*≥5cm	0.00636	2.68731	0.94
		地下	*DBH*＜5cm	0.01379	2.20606	0.94
樟子松	蒙东部、黑吉辽	地上	*DBH*≥5cm	0.07599	2.42539	0.94
		地上	*DBH*＜5cm	0.07599	2.42539	0.94
		地下	*DBH*≥5cm	0.01281	2.50659	0.78
		地下	*DBH*＜5cm	0.08105	1.36051	0.78
椴树	黑吉辽	地上	*DBH*≥5cm	0.07111	2.45853	0.93
		地下	*DBH*≥5cm	0.02158	2.51509	0.86
榆树	黑吉辽冀蒙	地上	*DBH*≥5cm	0.18527	2.17522	0.92
		地下	*DBH*≥5cm	0.07187	2.14011	0.87
黄山松	浙徽闽赣	地上	*DBH*≥5cm	0.09421	2.41667	0.93
		地上	*DBH*＜5cm	0.18297	2.00425	
杨树	黑吉辽蒙	地上	*DBH*≥5cm	0.09084	2.37209	0.92

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		
				模型参数		R^2
				a	b	
		地上	DBH＜5cm	0.12638	2.16693	
		地下	DBH≥5cm	0.03389	2.24690	0.67
		地下	DBH＜5cm	0.03201	2.28221	
	鲁豫蒙冀晋京	地上	DBH≥5cm	0.07685	2.50731	0.92
		地上	DBH＜5cm	0.10182	2.33251	
		地下	DBH≥5cm	0.02606	2.36590	0.91
		地下	DBH＜5cm	0.03539	2.17573	
	苏徽鄂湘渝贵	地上	DBH≥5cm	0.04792	2.67346	0.97
		地上	DBH＜5cm	0.13816	2.01559	
		地下	DBH≥5cm	0.01232	2.51948	0.94
		地下	DBH＜5cm	0.05851	1.55130	
红松	全国	地上	DBH[1.0~80.0cm]	0.1380	2.2885	0.980
		整株	DBH[1.0~50.0cm]	0.0380	2.7330	0.996
栲类	全国	地上	DBH[2.0~40.0cm]	0.0076	3.2895	0.964
		整株		0.0130	3.1995	0.977
桉树	全国	地上	DBH[2.0~20.0cm]	0.1882	2.1916	0.953
		整株		0.1898	2.2407	0.937
橡胶	全国	地上	DBH[2.0~38.0cm]	0.1784	2.3197	0.984
		整株		0.2113	2.3117	0.991
青冈	全国	地上	DBH[3.2~37.5cm]	0.2235	2.2311	0.977
		整株		0.1930	2.3590	0.998
其他针叶树	全国	地上	DBH[1.0~95.0cm]	0.1112	2.3689	0.926
		整株		0.1533	2.3377	0.917
其他阔叶树	全国	地上	DBH[1.0~150.0cm]	0.0622	2.5289	0.933
		整株		0.0277	2.7518	0.944

注：方程的表达式为 $M = a \cdot DBH^b$。其中，M 为生物量，单位为千克（kg d.m.）；DBH 为胸径，单位为厘米（cm）；a、b 为模型参数；R^2 为决定系数。

表 A.7　主要竹子单株生物量方程

生长型	器官	a	b	R^2	胸径范围
散生竹	地上	0.1697	2.0812	0.912	1.9~17.0
	整株	0.1782	2.1003	0.954	1.9~17.0
丛生竹	地上	0.4723	1.7928	0.948	0.5~7.0
	整株	0.4117	1.8921	0.921	0.5~7.0
混生竹	地上	0.3382	1.9156	0.989	1.0~5.5
	整株	1.0491	1.2832	0.898	1.0~5.5

注：方程的表达式为 $M = a \cdot DBH^b$。其中，M 为生物量，单位为千克每株（kg·stem^{-1}）；DBH 为胸径，单位为厘米（cm）；a、b 为模型参数；R^2 为决定系数。

表 A.8　主要灌木单株生物量方程

植被分区	枝干形态	器官	自变量	方程形式	模型系数			R^2
					a	b	λ	
温带针叶、落叶阔叶混交林区域	类型 a	整株	D^2H	$M = a + b \cdot D^2H$	0.0121	0.0397		0.8642
暖温带落叶阔叶林区域	类型 a	地下	M_a	$M = a \cdot M_a^b$	0.0119	0.6172		0.4026
		叶	D^2H	$M = a + b \cdot D^2H$	0.0487	0.0028		0.3354
		茎枝	D^2H	$M = a + b \cdot D^2H$	0.0669	0.0266		0.6205
亚热带常绿阔叶林区域	类型 a	整株	D^2H	$M = a + b \cdot D^2H$	0.2652	0.0367		0.6181
	类型 b	地下	M_a	$M = a \cdot M_a^b \cdot \lambda$	0.6561	0.7998	1.1974	
		叶	A_c	$M = a \cdot A_c^b \cdot \lambda$	0.0778	0.9059	1.2669	
		茎枝	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.0211	0.4208		0.5613
温带草原区域	类型 b	整株	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	-0.0214	1.3520		0.5550
温带荒漠区域	类型 b	整株	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.2306	1.5633		0.6258
青藏高原高寒植被区域	类型 b	整株	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.2213	0.4632		0.4515

注 1：根据个体的枝干形态，可将灌木划分为 2 种类型：类型 a 为分枝明确、枝干离散可数的灌木；类型 b 为分枝不明确、枝干成簇成团的灌木。

注 2：M_a 为单株地上生物量，单位为千克每株（kg·stem^{-1}）；M 为对应器官的生物量，单位为千克每株（kg·stem^{-1}）；Ac 为冠幅投影面积，单位为平方米（m^2）；D 为地径，为地面高度 5cm 处的树干直径，单位为厘米（cm）；H 为植株高度，单位为米（m）；D^2H 为地径平方与株高的乘积；a、b 为模型系数，λ为幂函数模型中由对数单位（ln$M$）转换为测量单位（M）时的标准误修正因子；R^2 表示调整后的决定系数（adj-R^2）。

附　录　B

（规范性附录）

森林死有机质碳储量变化计算方法

B.1　项目设计阶段的计算方法

在项目设计阶段，项目业主可以采用“缺省值法”计算项目边界内死有机质碳储量在一段时间内的年均变化量：

$$\Delta C_{\mathrm{DOM},t}=\sum_{i}\left[\Delta C_{\mathrm{BIOM},i,t}\times\left(DF_{\mathrm{LI},i,t}+DF_{\mathrm{DW},i,t}\right)\right]\times\frac{44}{12} \quad \text{（B.1）}$$

$$\Delta C_{\mathrm{BIOM},i,t}=A_{i,t}\times\left(1-CC_{\mathrm{E},i,t}\right)\times\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t} \quad \text{（B.2）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{DOM},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目死有机质碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e\cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的全林生物质碳储量的年变化量，单位为吨碳每年（t $C\cdot a^{-1}$）；

$DF_{\mathrm{LI},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的枯落物碳储量占全林生物质碳储量的比例，无量纲。可参照本文件附表 B.1 取值；

$DF_{\mathrm{DW},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的枯死木碳储量占全林生物质碳储量的比例，无量纲。可参照本文件附表 B.2 取值；

$A_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

$CC_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层原有植被的冠层盖度，用小数表示，无量纲。可以选择实测、结合历史资料判断，或基于保守性原则采用本文件附表 A.1 中的缺省值；

$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层的单位面积全林生物质固碳速率，单位为吨碳每公顷每年（t $C\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）。可根据第 t 年时项目第 i 碳层树种 j 的平均林龄，参考本文件附表 A.3 取值；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲；

44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

表 B.1　主要森林类型单位面积枯落物碳储量与全林生物质碳储量的比值（DF_{LI}，%）

森林类型		适用的林龄范围（年）				
		1~10	**11~20**	**21~30**	**31~40**	**>40**
南方地区	针叶林	3.12	3.28	3.45	3.21	
	阔叶林	5.72	4.10	2.79	2.58	
	针阔混	4.64	4.49	4.01	2.89	
北方地区	针叶林	3.56		5.80		8.64
	阔叶林	4.62		4.55		4.55

森林类型		适用的林龄范围（年）				
		1~10	11~20	21~30	31~40	>40
	针阔混	5.32				
毛竹林		3.92				
其他竹林		10.50				
灌木林		9.65				

注：南方地区适用于沪、苏、浙、皖、赣、闽、粤、桂、琼、川、滇、贵、藏、渝、鄂、湘等；北方地区适用于黑、吉、辽、蒙、晋、冀、京、津、鲁、豫、陕、青、甘、宁、新等省（自治区、直辖市）。

表 B.2　主要森林类型单位面积枯死木碳储量与全林生物质碳储量的比值（DF_{DW}，%）

森林类型		适用的林龄范围（年）			
		1~10	11~20	21~30	>30
南方地区	针叶林	3.03	3.14	3.45	1.03
	阔叶林	2.72			
	针阔混	1.94			
北方地区	针叶林	1.99			
	阔叶林	1.89			
	针阔混	1.94			

注 1：南方地区适用于沪、苏、浙、皖、赣、闽、粤、桂、琼、川、滇、贵、藏、渝、鄂、湘等；北方地区适用于黑、吉、辽、蒙、晋、冀、京、津、鲁、豫、陕、青、甘、宁、新等省（自治区、直辖市）。

注 2：竹林可参考阔叶林取值；灌木林可忽略枯死木，取值为 0。

B.2　项目实施阶段的计算方法

在项目实施阶段，项目业主须采用本文件附录 A.2 的方法，通过样地实测数据利用公式（A.13）计算得到项目各碳层平均单位面积生物质碳储量（$c_{\mathrm{BIOM},i,t}$），利用公式（B.3）计算项目各碳层平均单位面积生物质碳储量的年变化量（$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t}$），然后利用公式（B.1）和公式（B.2）计算项目边界内死有机质碳储量变化量：

$$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t} = \frac{c_{\mathrm{BIOM},i,t_2} - c_{\mathrm{BIOM},i,t_1}}{t_2 - t_1} \qquad (B.3)$$

式中：

$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的全林单位面积生物质碳储量的年变化量，单位为吨碳每年（t C·hm^{-2}·a^{-1}）；

$c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）。

$t_2 - t_1$ —— 项目监测间隔期，开始于时间 t_1，结束于时间 t_2，单位为年（a）。其中，$t_1 \leqslant t \leqslant t_2$。

附 录 C

（规范性附录）

森林土壤有机碳储量变化计算方法

土壤有机碳储量及其变化的监测成本高、监测结果不确定性大。基于保守性原则和成本有效性原则，项目业主可以基于以下假设和步骤计算土壤有机碳储量及其变化量：

a） 基准线情景下土壤有机碳储量变化量计为 0；

b） 项目开始时的整地与造林在同一年进行。林下种植、补植补造等活动对造林土地土壤的重复扰动忽略不计；

c） 造林之后 0—5 年内，因土壤扰动造成项目土地的土壤有机碳密度呈线性下降；造林之后 6—40 年，随着林木根系和凋落物分解的返还，项目土地的土壤有机碳含量逐渐上升，在第 40 年后土壤有机碳含量达到稳定状态，即不再增长。

项目情景下土壤有机碳储量年变化量采用如下公式计算：

$$\Delta C_{\mathrm{SOC},t}=\sum_{i}\left(\delta SOC_{i,t}\times A_{i,t}\right)\times\frac{44}{12} \qquad \text{（C.1）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{SOC},t}$ —— 项目开始后第 t 年，项目边界内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 $CO_2e\cdot a^{-1}$）；

$\delta SOC_{i,t}$ —— 第 i 碳层整地造林后第 t 年时，土壤有机碳密度的年变化量，单位为吨碳每公顷每年（t $C\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）。可参考本文件附表 C.1 取值；

$A_{i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

t —— 自项目整地造林后的年数，t=1, 2, 3……，无量纲；

44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

表 C.1 整地造林后土壤有机碳密度年变化量参考值（t $C\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）

整地造林后的年限	常绿阔叶	落叶阔叶	针叶	竹子	灌木
≤5 年	−0.40	−0.40	−0.40	−0.40	−0.20
6—20 年	+0.20	+0.15	+0.15	+0.15	+0.10
21—40 年	+0.70	+0.40	+0.40	+0.40	+0.10
≥41 年	0	0	0	0	0

附 录 D

（规范性附录）

木竹产品碳储量变化计算方法

D.1 项目设计阶段的计算方法

木竹产品碳储量变化的计算，包括项目新增林木采伐形成的木竹产品，以及项目移除原有植被形成的木竹产品：

$$\Delta C_{\mathrm{HWP},t} = \Delta C_{\mathrm{HWP,P},t} + \Delta C_{\mathrm{HWP,E},t} \quad \text{（D.1）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{HWP},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目木竹产品产生的减排量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{HWP,P},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目新增林木采伐形成的木竹产品的碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{HWP,E},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目清除原有植被形成的木竹产品的碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）。

D.1.1 项目新增林木采伐形成的木竹产品碳储量变化量的计算方法

项目木竹产品产生的减排量，等于自采伐之日起至第 30 年时依然在用的木竹产品中剩余的碳储量。在项目设计阶段，项目业主可以预先估计项目新增林木的采伐时间和采伐量（或采伐比例），按如下方法计算项目产生的木竹产品碳储量变化：

$$\Delta C_{\mathrm{HWP,P},t} = \sum_i \left[c_{\mathrm{BIOM},i,t} \times A_{i,t} \times SCR_{\mathrm{P},i,t} \times CSR_{30}\right] \times \frac{44}{12} \quad \text{（D.2）}$$

$$c_{\mathrm{BIOM},i,t} = \left[c_{\mathrm{BIOM},i,t-1} \times \left(1 - SCR_{\mathrm{P},i,t-1}\right)\right] + \Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t} \times \left(1 - CC_{\mathrm{E},i,t}\right) \quad \text{（D.3）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{HWP,P},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目新增林木采伐形成的木竹产品的碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层新增林木的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t $C \cdot hm^{-2}$）；

$\Delta c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层新增林木的单位面积全林生物质固碳速率，单位为吨碳每公顷每年（t $C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）。可根据第 t 年时第 i 碳层树种 j 的平均林龄，参考本文件附表 A.3 取值；

$A_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

$CC_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层原有植被的冠层盖度（或郁闭度），用小数表示，无量纲。可以通过实测、结合历史资料判断，或基于保守性原则采用本文件附表 A.1 中的缺省值；

$SCR_{\mathrm{P},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层新增林木的平均采伐比例，单位为百分比（%）。可以使用采伐株数比例、采伐盖度比例、或采伐蓄积量占林地立木蓄积量的比例；

CSR_{30} —— 考虑了采伐损失、产品加工损失、产品使用寿命等因素，自采伐起至 30 年后，木竹产品中剩余的碳储量占采伐消耗的生物

量碳储量的比例，以小数表示，无量纲。可根据项目第 i 碳层的树种类型，参考本文件附表 D.1 取值。其中采伐收获林木的平均径级，可以参考本文件附表 D.2 取值；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲；

44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

表 D.1　主要木竹产品生产 30 年后剩余碳储量的占比

产品来源	乔木			竹子		灌木
采伐径级（DBH）	＜12cm	12cm~35cm	＞35cm	＜10cm	≥10cm	
CSR_{30}取值	0.12	0.24	0.40	0.24	0.40	0.12

表 D.2　主要乔木树种胸径随树龄变化的参考值（cm）

树种	适用范围	树龄（年）									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
云杉	西北	0.16	0.62	1.33	2.26	3.37	4.65	6.05	7.57	9.18	10.87
冷杉	长白山	4.46	5.30	6.22	7.22	8.31	9.46	10.69	11.97	13.30	14.68
落叶松		2.14	5.82	9.65	13.14	16.14	18.62	20.64	22.25	23.52	24.52
油松		1.40	3.49	5.58	7.46	9.07	10.41	11.50	12.39	13.10	13.67
赤松		0.86	2.98	5.93	8.81	11.16	12.95				
樟子松		0.13	2.93	7.26	10.43	12.36	13.52				
华山松		2.40	4.94	7.36	9.60	11.67	13.55	15.27	16.83	18.23	19.51
马尾松		4.07	7.94	11.57	14.96	18.13	21.08	23.84	26.41	28.80	31.03
湿地松		5.09	9.55	13.47	16.92	19.96	22.62	24.97	27.04	28.85	30.45
云南松		2.71	4.85	6.79	8.60	10.29	11.91	13.44	14.91	16.32	17.68
柏木		1.63	4.90	7.93	10.20	11.74	12.75	13.39	13.78	14.03	14.18
杉木		4.63	8.82	12.05	14.46	16.23	17.52	18.46	19.13	19.62	19.97
杨树	南方		17.09	24.65	25.79	25.95					
	北方		14.12	24.46	30.51	33.90	35.76				
桦树		2.51	4.46	6.27	7.79	9.12	10.32				
栎类	东北	2.29	4.84	7.34	9.75	12.02	14.16	16.17	18.04	19.77	21.39
	华北	2.12	4.25	6.30	8.24	10.09	11.83	13.48	15.03	16.49	17.86
	秦岭大巴山	1.48	3.95	6.70	9.46	12.09	14.52	16.74	18.73	20.50	22.06
	广西贵州	4.84	9.96	14.32	17.84	20.62	22.79	24.47	25.77	26.76	27.52
刺槐		3.38	6.19	8.48	10.36	11.89	13.13	14.14	14.97	15.64	16.18
桉树		11.36	15.57	19.57	24.33						
相思		7.75	14.60	18.97	21.58	23.09	23.95				

注：表中空白处代表暂无可用数据。未明确适用范围的，可对应树种分布区进行选择。

D.1.2　项目清除原有植被形成的木竹产品碳储量变化量的计算方法

造林活动如果清除原有植被，其中一部分可能会形成木竹产品，可以选择计算这部分木竹产品的储碳贡献，并纳入项目减排量的计算范围之内。在项目设计阶段，项目业主可事先预计项目

各碳层清除（或采伐）原有植被的时间和比例，按如下方法计算项目产生的木竹产品碳储量变化：

$$\Delta C_{\mathrm{HWP,E},t} = \sum_{i} \left[A_{i,t} \times TB_{\mathrm{E},i,t} \times CF_i \times SCR_{\mathrm{E},i,t} \times CSR_{30} \right] \times \frac{44}{12} \qquad \text{（D.4）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{HWP,E},t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目清除原有植被形成的木竹产品的碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$TB_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层原有植被的单位面积全林生物量，单位为吨干物质每公顷（t d.m.·hm^{-2}）。采用本文件附录公式（A.5—A.8）计算；

CF_i —— 项目第 i 碳层原有植被的生物质含碳率，单位为吨碳每吨干物质（t C·t d.m.$^{-1}$）。可以根据第 i 碳层原有植被的类型，参考本文件附表 A.4 取值；

$SCR_{\mathrm{E},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目原有植被的清除比例，单位为百分比（%）。可以采用原有林木（竹子）的采伐株数（或蓄积量）占比、或原有灌木盖度的清除比例。对于追溯项目，已经清除了原有植被但没有数据记录的，可以保守地假定项目开始时对原有植被进行了一次性完全清除，即取值 100%。

D.2 项目实施阶段的计算方法

在项目实施阶段，项目业主可以通过记录项目实施阶段采伐前经核查的各碳层生物质碳储量、采伐蓄积量（或株数、盖度）比例等信息，采用如下方法计算项目木竹产品产生的减排量：

$$\Delta C_{\mathrm{HWP},t} = \sum_{i} \left[A_{i,t} \times c_{\mathrm{BIOM},i,t} \times SCR_{i,t} \times CSR_{30} \right] \times \frac{44}{12} \qquad \text{（D.5）}$$

式中：

$A_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

$c_{\mathrm{BIOM},i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，第 i 碳层的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）。按本文件公式（A.13）计算；

$SCR_{i,t}$ —— 项目开始后第 t 年时，项目第 i 碳层的采伐比例。乔木采用采伐蓄积量比例，竹子采用采伐株数比例，灌木占比盖度清除比例，单位为百分比（%）；

CSR_{30} —— 考虑了采伐损失、产品加工损失、产品使用寿命等因素，自采伐起至 30 年后，木竹产品中剩余的碳储量占采伐消耗的生物量碳储量的比例，以小数表示，无量纲。可根据项目第 i 碳层的树种类型，参考本文件附表 D.1 取值。其中采伐收获林木的平均径级，可以参考本文件附表 D.2 取值；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲；

44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

附 录 E

（规范性附录）

监测样地数量计算与样地布设方法

E.1 抽样设计要求

项目监测所需的样地数量，可采用如下方法进行计算：

（1）计算项目监测所需的样地数量 n：

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

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；

w_i —— 项目边界内第 i 碳层的面积权重，$w_i=A_i/A$，其中 A 是项目总面积（hm^2），A_i 是第 i 碳层的面积（hm^2），无量纲；

S_i —— 项目边界内第 i 碳层单位面积碳储量估计值的标准差，单位为吨碳每公顷（$t\ C \cdot hm^{-2}$）。在项目设计阶段，可以保守地采用碳层单位面积生物质碳储量估计值的 20%~50%；

E —— 项目单位面积生物质碳储量估计值允许的绝对误差限，单位为吨碳每公顷（$t\ C \cdot hm^{-2}$）；项目设计阶段，采用项目单位面积生物质碳储量估计值的 10%；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲。

（2）计算分配到各个碳层的监测样地数量，采用最优分配法进行计算。分配后样地数量不足 3 个的碳层，最少应设置 3 个样地：

$$n_i = n \times \frac{w_i \times S_i}{\sum_i (w_i \times S_i)} \quad \text{（E.2）}$$

式中：

n_i —— 项目边界内第 i 碳层计算生物质碳储量所需的监测样地数量，无量纲。

E.2 样地布设方案

样地的空间布设需采用随机起点、系统布点的方法，具体操作流程如下：

a） 采用 GIS 等空间工具将每个碳层网格化，每个网格面积大小与监测样地面积大小相同。计算第 i 个项目碳层的总网格交叉点的数量（N_i），将每个网格交叉点按照固定顺序编号，从 1、2、3……直到N_i；

b） 在 1~ N_i 之间产生一个随机数（如在电子表格中，使用随机数公式 $f(x)$=ROUND(RAND()*(N_i),0)产生一个随机数），该随机数代表的网格交叉点编号即为第 i 项目碳层的第 1 个监测样地的中心点（或作为矩形样地的西南拐角点）。第 2 个样地的中心点等于第 1 个样地的网格交叉点编号加间隔的网格交叉点数，该间隔数等于第 i 项目碳层的总网格交叉点数量（N_i）除以该碳层样地数量（n_i）后取整数；第 3 个样地中心点的网格交叉点编号等于第 2 个样地的网格交叉点编号加间隔的网格交叉点数，以此类推；

c） 将每个确定的网格交叉点作为监测样地的中心点，在 GIS 等空间分析工具的帮助下，确定每个监测样地的经纬度坐标。坐标以度表示，至少保留 6 位小数。

E.3 样地设置

a） 根据确定的样地中心点（或西南拐角点）坐标，使用 RTK 等定位工具找到样地准确的地理位置。如果样地边界距离林缘、悬崖等地形地物小于 10m，须沿这些地形地物边缘线的垂直方向移动一定距离，最多不超过 10m。现场记录经纬度坐标（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、树种和造林时间等信息。监测时，固定样地复位率须达 100%；

b） 首次监测时，可在样地中心点（或西南拐角点）设置永久性标志，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。样地面积为 0.04hm^2~0.06hm^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。对于灌木造林，须在每个样地的四个角和中心点位置，设置 5 个固定样方，每个固定样方面积不小于 4m^2；

c） 在同一个项目中，样地内林木和管理方式应与样地外完全一致。

E.4 样地调整

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，需对碳层内的样地数量和布设进行调整：

a） 在某一个碳层内额外增加监测样地时，利用公式 E.1（其中碳层数 i 设为 1，E 采用该碳层实际监测样地的误差值）计算所需样地数量，在保留已有样地的基础上，按照上述原则和步骤补充布设新的监测样地；

b） 一个碳层拆分为两个或多个碳层时，按照步骤 a）补充布设新的监测样地，以确保各碳层的抽样精度；

c） 两个或多个碳层合并成一个碳层时，可按步骤 a）计算新碳层所需的监测样地数量，采用随机方式对新碳层内已有的样地进行删减或维持不变。

附 录 F
（规范性附录）
项目林木权属与减排量权属划分

F.1 土地与林木权属

F.1.1 土地所有权

中国实行土地的社会主义公有制，土地归国家或农民集体所有。城市市区的土地属于国家所有。农村和城市郊区的土地，除由法律规定属于国家所有的以外，属于农民集体所有；宅基地和自留地、自留山，属于农民集体所有。农民集体所有的土地，由县级人民政府登记造册，核发证书，确认所有权。

F.1.2 土地使用权

《土地管理法》规定，国有土地和农民集体所有的土地，可以依法确定给单位或者个人使用。《农村土地承包法》规定，承包方承包土地后，享有土地承包经营权；也可以保留土地承包权，流转其承包地的土地经营权，由他人经营。

F.1.3 土地承包经营权

土地承包经营权是我国农村土地承包经营制度下确立的法定用益物权，指承包方依法对其承包经营的耕地、林地、草地等农业用地享有占有、使用和收益，自主从事农业生产经营并处置收益的权利。土地承包经营权由本集体经济组织成员以家庭承包方式从发包方处取得，自承包合同生效时设立，权利主体仅限本集体经济组织成员及其户内家庭成员，享有承包地的资格权益、使用权益、流转收益权等完整权能。

F.1.4 土地经营权

土地经营权是从农村土地承包经营权中分离出的、不绑定集体经济组织成员身份的农用地使用类用益物权。土地经营权可通过两种方式取得，一是由土地承包经营权人通过出租、入股、转包等合法流转方式让渡部分权能后由受让方取得，二是针对不宜采取家庭承包方式的荒山、荒沟、荒丘、荒滩等农村土地，由主体通过招标、拍卖、公开协商等方式直接取得，权利主体无身份限制。

F.1.5 林木所有权

林木所有权是指权利主体依法对森林、林木（包括树木和竹子）及林地享有的占有、使用、收益和处分的权利。可以通过不动产权证（或林权证）等一项或多项法定权属证书，或结合辅助性确权文件，判定林木所有权（表 F.1）。

——森林资源属于国家所有，由法律规定属于集体所有的除外。

——集体所有和国家所有依法由农民集体使用的林地实行承包经营的，承包方享有承包林地上的林木所有权，合同另有约定的从其约定。承包方可以依法采取出租（转包）、入股、转让等方式流转林木所有权。

——未实行承包经营的集体林地以及林地上的林木，由农村集体经济组织统一经营。经本集体经济组织成员的村民会议三分之二以上成员或者三分之二以上村民代表同意并公示，可以通过招标、拍卖、公开协商等方式依法流转林木所有权。

——农村居民在房前屋后、自留地、自留山种植的林木，归个人所有。城镇居民在自有房屋的庭院内种植的林木，归个人所有。

——集体或者个人承包国家所有和集体所有的宜林荒山荒地荒滩营造的林木，归承包的集体或者个人所有；合同另有约定的从其约定。

——其他组织或者个人营造的林木，依法由营造者所有并享有林木权属；合同另有约定的从其约定。

表 F.1　项目土地和林木权属证明文件

法定权属证书			辅助性确权文件
证书名称	确认的权利类型	权利主体	
不动产权证或林权证	土地（林地）使用权、林木所有权等	单位和个人	**合同协议类：**土地承包合同、林木所有权流转合同、林地或土地经营权流转合同、合资/合作协议等。 **政府文件类：**用地许可或批准文件；人民政府对土地权属争议的处理决定书。 **历史与事实凭证类：**集体土地台账与登记簿、相关税费缴纳凭证、历史权源文件等。 **司法文书类：**人民法院、仲裁机构作出的生效判决书、裁定书、调解书等。
集体土地所有证	集体土地所有权	农民集体	
国有土地使用证	国有土地使用权	依法使用国有土地的单位和个人	
集体土地使用证	集体土地使用权	依法使用集体土地的单位和个人	

注：林权登记已纳入不动产统一登记，原有权机关依法颁发的林权证继续有效、不变不换。

F.2　项目减排量权属

本文件规定项目减排量属于林木所有权人。如果项目业主不是林木所有权人，除提供林木所有权证明文件外，还须提供林木所有权者与项目业主之间签订的转让协议。

——林木所有权人将其拥有权属的林业资源产生的温室气体减排量权属转让给项目业主，项目业主负责项目的开发、登记和交易。林木所有权人应及时更新相关产权证明文件和减排量转让协议，确保其在项目寿命期内有效。

——林木所有权属于个人的，林木所有权人可将其拥有权属的林业资源产生的温室气体减排量权属转让给农村集体经济组织，农村集体经济组织可代表成员与项目业主签订温室气体自愿减排项目转让协议，并进行公示。暂未设立农村集体经济组织的，可由村民委员会代行村集体经济组织职能。

——项目业主提供的转让协议应具有唯一性；林木所有权人不应将其拥有权属的林业资源产生的温室气体减排权益转让给多个主体。

——鼓励项目减排量收益至少不低于 80%返给具体实施了造林活动、并拥有林木所有权的项目实施主体。

附 录 G

（规范性附录）

森林生物质碳储量的激光雷达估测方法

G.1 样本单木选择与实测

（1）根据项目造林树种情况，在项目所在地区的人工林中随机选择不少于 60 株单木作为建模样本。选取的样本应能代表不同径阶、不同立地条件（坡向、坡位等）、不同密度（盖度）、不同管理措施（如人工整枝等）等。样本单木胸径不小于 2cm，按照 2cm~3cm 的径阶间隔进行划分，每个径阶不少于 3 株样木，尽可能覆盖所有径阶。所有被选择的样本单木应较容易从激光雷达点云数据中分割。

（2）使用实时动态载波相位差分技术（RTK）等设备对单木坐标进行精确定位（定位误差小于 0.3m）并标记编号（k=1, 2, 3……）。

（3）实测所有样本单木的胸径，利用生物量方程法（本文件附表 A.6）计算单木 k 的全株（或地上）生物量，以此作为单木 k 的实测全株（或地上）生物量（b_k^{m}）。

G.2 激光雷达单木特征参数获取

参照《机载激光雷达数据获取技术规范》（CH/T 8024—2011），使用机载激光雷达对所有样木所在范围内的林木进行扫描，获取机载激光雷达数据，进行噪声去除、点云分类（地面点与非地面点）、点云归一化、单木分割、单木特征参数提取等处理。单木特征参数包括但不限于树高、百分位树高、冠幅等。

（1）单木位置和树高。利用基于栅格的方法或基于点云的方法对机载激光雷达数据进行单木分割，获取每株单木的机载激光点云，并从单木机载激光点云中计算获取单木的位置和树高。单木位置和树高可由最高点的空间坐标来确定：

$$(X_{\mathrm{Tree}},Y_{\mathrm{Tree}},Z_{\mathrm{Tree}})=\left(X_{\mathrm{Highest}},Y_{\mathrm{Highest}},Z_{\mathrm{Highest}}\right) \tag{G.1}$$

式中：

$(X_{\mathrm{Tree}},Y_{\mathrm{Tree}},Z_{\mathrm{Tree}})$ —— 最终确定的单木三维坐标，单位为米（m）；

$\left(X_{\mathrm{Highest}},Y_{\mathrm{Highest}},Z_{\mathrm{Highest}}\right)$ —— 单木最高点的三维坐标，单位为米（m）。

（2）单木冠幅。单木点云在 X 方向和 Y 方向上垂直投影的平均值，视为冠幅直径，可采用下式计算：

$$\mathrm{C}=\frac{(X_{\max}-X_{\min})+(Y_{\max}-Y_{\min})}{2} \tag{G.2}$$

式中：

C —— 单木的冠幅，单位为米（m）；

$X_{\max}$ —— 单木点云在 X 方向垂直投影的最大值，单位为米（m）；

$X_{\min}$ —— 单木点云在 X 方向垂直投影的最小值，单位为米（m）；

$Y_{\max}$ —— 单木点云在 Y 方向垂直投影的最大值，单位为米（m）；

$Y_{\min}$ —— 单木点云在 Y 方向垂直投影的最小值，单位为米（m）。

G.3 单木定位匹配

选取统一的参考坐标系对激光雷达单木定位与每木检尺样本单木定位进行匹配，获取每个样本单木对应的激光雷达特征参数和实测单木全株（或地上）生物量，形成单木特征参数与样地实测全株（或地上）生物量的数据集。同时检验单木分割精度，分割精度应大于等于 90%，否则应重新检验该技术在当前场景下的适用性：

$$\omega = \left(1 - \frac{\left|K^{\mathrm{l}} - K^{\mathrm{m}}\right|}{K^{\mathrm{m}}}\right) \times 100\% \qquad \text{（G.3）}$$

式中：

ω —— 单木分割精度，单位百分比（%）；

K^{l} —— 点云单木分割数量，单位为株（stem）；

K^{m} —— 样地实测单木数量，单位为株（stem）。

G.4 激光雷达生物量模型构建

（1）样本训练集与验证集的选取。从数据集中随机选取一定数量的样本作为训练集（如训练集与验证集按 3:1 的比例），根据不同林地的实际情况，选择适当的拟合方法（如最小二乘法）：

$$b_k^{\mathrm{m}} = f\left(x_k^{\mathrm{l}}\right) \overset{minimizing\ SSE}{\rightarrow} b_k^{\mathrm{l}} = \hat{f}\left(x_k^{\mathrm{l}}\right) \qquad \text{（G.4）}$$

式中：

b_k^{m} —— 第 k 株单木的样地实测全株生物量，单位为千克干物质（kg d.m.）；

b_k^{l} —— 第 k 株单木的激光雷达计算的全株生物量，单位为千克干物质（kg d.m.）；

x_k^{l} —— 第 k 株单木的激光雷达特征参数，单位为米（m）或无量纲；

SSE —— 残差平方和，$SSE = \sum_k \left(b_k^{\mathrm{m}} - b_k^{\mathrm{l}}\right)^2$；

$f\left(x_k^{\mathrm{l}}\right)$ —— 样地实测全株生物量与激光雷达特征参数之间的假设函数形式；通过最小化调查样地数据内的 SSE，可对 $f\left(x_k^{\mathrm{l}}\right)$求解参数，并将其记为$\hat{f}\left(x_k^{\mathrm{l}}\right)$，单位为千克干物质每株（kg d.m.·stem^{-1}）；

$\hat{f}\left(x_k^{\mathrm{l}}\right)$ —— 拟合所得的激光雷达全株生物量计算函数；也即对 $f\left(x_k^{\mathrm{l}}\right)$求解参数的结果，单位为千克干物质每株（kg d.m.·stem^{-1}）；

l —— 通过激光雷达直接获取或计算的值，无量纲；

m —— 样地实测直接获取或计算的值，无量纲；

k —— 样本单木，k=1, 2, 3……，无量纲。

（2）生物量模型的构建。结合从机载激光雷达中提取的所有样本单木的激光雷达生物量指数和树高，及野外实测获取的单木全株生物量，采用非线性回归方法构建单木生物量模型。以下所示为“激光雷达生物量指数（LBI）”模型构建方法，也可采用其他类似的建模方法（如样地尺度的模型）：

$$\ln B = \ln p + \beta \ln H_T + \frac{2\beta}{\alpha} \ln LBI \qquad \text{（G.5）}$$

$$LBI = \lim_{\Delta H \to 0} \sum_{H=H_C}^{H_T} \{U_L(H) \times \pi \times [r(H)]^2 \times \Delta H \times H\} \qquad \text{（G.6）}$$

式中：

B —— 单木全株生物量，单位为千克干物质每株（kg·stem^{-1}）；

H_T —— 单木的树冠高度，单位为米（m）；

LBI —— 单木的激光雷达生物量指数，无量纲；

p —— 模型参数，无量纲；

α —— 模型参数，无量纲；

β —— 模型参数，无量纲；

$U_L(H)$ —— 从激光雷达点云数据中提取的单木叶面积的体积密度函数，单位为平方米每立方米（m^2·m^{-3}）；

$r(H)$ —— 高度为 H 处的树冠的半径，通过点云单木特征参数提取，单位为米（m）；

ΔH —— 树冠纵向分层的间隔，单位为米（m）；

H_C —— 枝下高度（树冠低点），单位为米（m）；

H_T —— 单木树冠顶点高度，单位为米（m）。

G.5 激光雷达生物量模型精度检验

计算模型决定系数（R^2）。对于单一树种，训练集决定系数应不低于 0.9，验证集决定系数应不低于 0.8；对于多树种混交林，训练集与验证集决定系数均应不低于 0.7。若满足精度要求，后续监测可复用首次监测时建立的激光雷达生物量模型进行计算。若不能满足精度要求，则应重新建模，直至达到精度要求。用于检验模型的样本应能代表不同树种、不同立地条件（坡向、坡位等）、不同年龄、不同胸径、不同树高、不同密度（盖度）、不同管理措施（如人工整枝等）等可能会影响模型生物量计算结果的因子。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_k \left(b_k^{\mathrm{m}} - b_k^{\mathrm{l}}\right)^2}{\sum_k \left(b_k^{\mathrm{m}} - \bar{b}_k^{\mathrm{m}}\right)^2} \tag{G.7}$$

式中：

R^2 —— 模型决定系数，无量纲；

$\bar{b}_k^{\mathrm{m}}$ —— 样地实测全株生物量的平均值，单位为千克干物质（kg d.m.）；

b_k^{m} —— 第 k 株单木的样地实测全株生物量，单位为千克干物质（kg d.m.）；

b_k^{l} —— 第 k 株单木的激光雷达计算的全株生物量，单位为千克干物质（kg d.m.）；

k —— 样本单木，k=1, 2, 3……，无量纲；

l —— 通过激光雷达直接获取或计算的值，无量纲；

m —— 样地实测直接获取或计算的值，无量纲。

G.6 项目生物质碳储量变化量计算

（1）在模型满足精度的前提下，使用构建的激光雷达生物量模型计算第 i 项目碳层内每株单木的全株生物量，形成第 i 碳层内 j 树种激光雷达单木全株生物量数据集$b_{i,j,1}^{\mathrm{l}}, b_{i,j,2}^{\mathrm{l}} \cdots\cdots, b_{i,j,s}^{\mathrm{l}}$，再结合各类型树种生物质含碳率将单木生物量转换为单木生物质碳储量，再计算各碳层的生物质碳储量：

$$c_i^{\mathrm{l}} = \sum_j \sum_s c_{i,j,s}^{\mathrm{l}} \tag{G.8}$$

式中：

c_i^{l} —— 第 i 碳层的激光雷达生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$c_{i,j,s}^{\mathrm{l}}$ —— 第 i 碳层第 j 类树种第 s 株单木的激光雷达生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

s —— 第 i 碳层内第 j 类树种的单木，s=1, 2, 3……，单位为株（stem）；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

j —— 树种，j=1, 2, 3……，无量纲；

l —— 通过激光雷达直接获取或计算的值，无量纲。

（2）利用各碳层生物质碳储量，计算项目边界内生物质碳储量：

$$c^{\mathrm{l}} = \sum_i c_i^{\mathrm{l}} \tag{G.9}$$

式中：

c^{l} —— 项目边界内激光雷达生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

c_i^{l} —— 第 i 碳层的激光雷达生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

l —— 通过激光雷达直接获取或计算的值，无量纲。

（3）利用本文件附录公式（A.11）计算项目边界内森林生物质碳储量的年变化量。

G.7 项目生物质碳储量变化量校正

在项目区域首次应用机载激光雷达技术开展监测时，须与样地监测数据比照，充分检验该技术在树种尺度上的适用性，在确保能够满足最低精度要求后，方可采用其计算项目范围内林木生物质碳储量（图 G.1）：

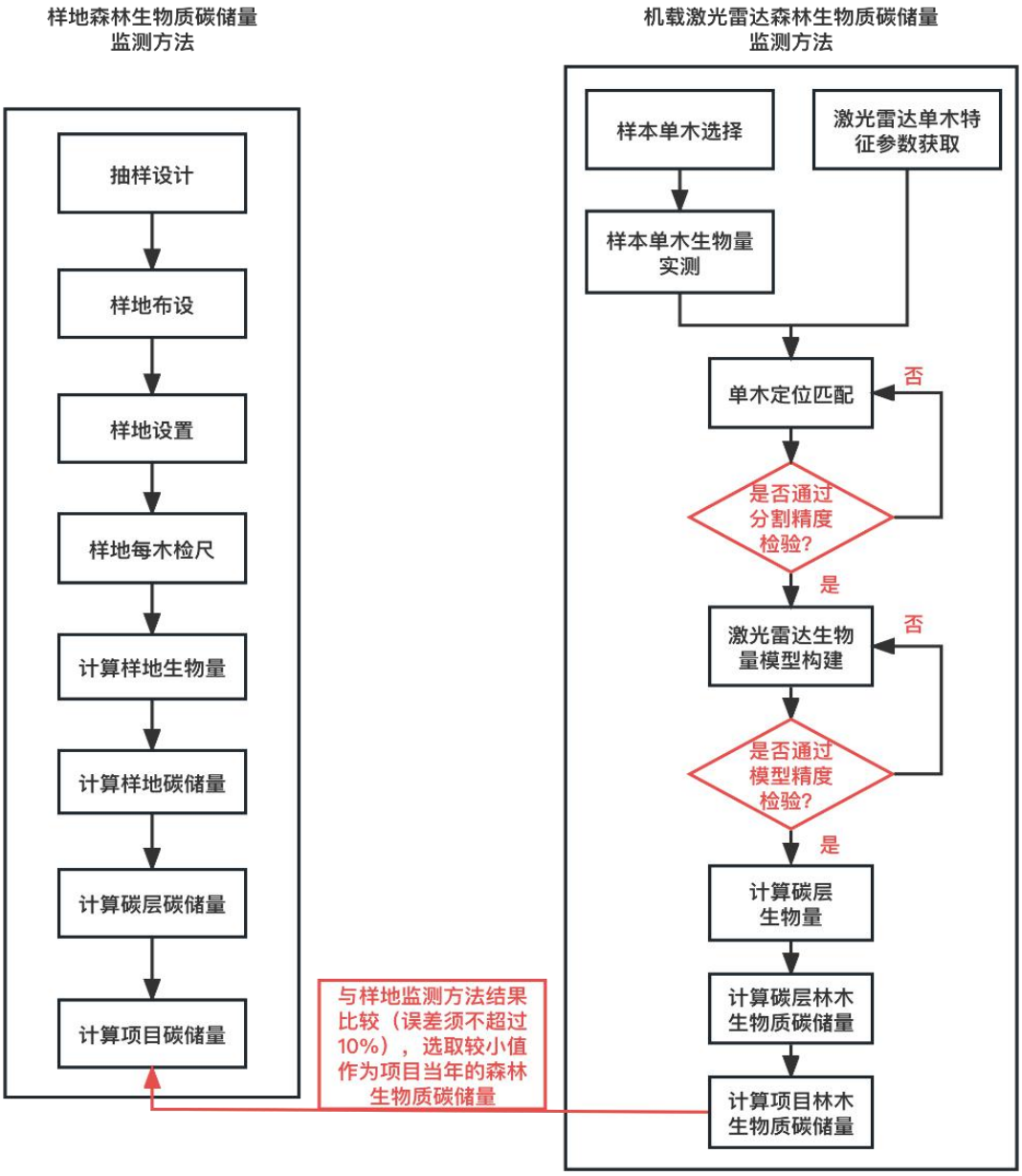


图 G.1 首次使用机载激光雷达监测森林生物质碳储量的操作流程

（1）若基于样地监测方法与基于激光雷达方法的计算结果相比误差低于±10%，可基于保守性原则，在首次监测时选取较小值作为项目当年的林木生物质碳储量。在满足上述精度与误差要求的基础上，后续可选用机载激光雷达方法进行监测，并复用首次监测时建立的激光雷达生物量模型进行计算。

（2）若首次监测时基于激光雷达方法计算结果与基于样地监测方法相比误差大于 10%，则须采用首次监测时基于样地监测方法与基于激光雷达方法计算结果的比值，向下修正基于激光雷达方法的计算结果：

$$\Delta C_{\mathrm{BIOM},T} = \Delta C^{\mathrm{l}}_{\mathrm{BIOM},T} \times \frac{\Delta C^{\mathrm{m}}_{\mathrm{BIOM},T_1}}{\Delta C^{\mathrm{l}}_{\mathrm{BIOM},T_1}} \qquad \text{（G.10）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{BIOM},t}$ —— 项目第 T 个监测期内的生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C^{\mathrm{l}}_{\mathrm{BIOM},T}$ —— 项目第 T 个监测期内，使用激光雷达方法监测的生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C^{\mathrm{l}}_{\mathrm{BIOM},T_1}$ —— 首次监测时（T_1），使用激光雷达方法监测的生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C^{\mathrm{m}}_{\mathrm{BIOM},T_1}$ —— 首次监测时（T_1），使用样地监测方法监测的生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

l —— 通过激光雷达获取并计算的值，无量纲；

m —— 样地实测直接获取并计算的值，无量纲。

（3）在计算最终生物质碳储量变化量时，根据激光雷达生物量模型精度检验结果，采用本文件公式（A.18）的方法，对计算所得的生物质碳储量变化量采用扣减的方法进行校正。其中，*DR* 的取值可以参考表 G.1：

表 G.1　激光雷达监测的生物质碳储量变化量的扣减率

精度检验 RMSE%值	扣减率（*DR*）
小于或等于 10%	0%
大于 10%但小于或等于 15%	3%
大于 15%但小于或等于 20%	6%
大于 20%但小于或等于 30%	11%
大于 30%	需优化模型或额外增加样地数量，直至测定结果达到精度要求