

温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇 (CCER—14—001—V01)

1 引言

造林碳汇项目可通过增加森林面积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，包括防护林、特种用途林、用材林等造林，不包括经济林造林、非林地上的通道绿化、城镇村及工矿用地绿化，使用本文件的造林碳汇项目必须满足以下条件：

- a) 项目土地在项目开始前至少三年为不符合森林定义的规划造林地；
- b) 项目土地权属清晰，具有不动产权属证书、土地承包或流转合同；或具有经有批准权的人民政府或主管部门批准核发的土地证、林权证；
- c) 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；
- d) 项目土地不属于湿地；
- e) 项目不移除原有散生乔木和竹子，原有灌木和胸径小于 2cm 的竹子的移除比例总计不超过项目边界内地表面积的 20%；
- f) 除项目开始时的整地和造林外，在计入期内不对土壤进行重复扰动；
- g) 除对病（虫）原疫木进行必要的火烧外，项目不允许其它人为火烧活动；
- h) 项目不会引起项目边界内农业活动（如种植、放牧等）的转移，即不会发生泄漏；
- i) 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

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 |
| CH/T 8024 | 机载激光雷达数据获取技术规范 |
| LY/T 1812 | 林地分类 |
| BD 420073 | 全球卫星导航系统（GNSS）定向设备性能要求及测试方法 |

4 术语和定义

GB/T 15776、GB/T 18337.1、GB/T 26423、LY/T 1812、LY/T 2647、LY/T 2736 和 TD/T 1055 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

4.1

造林 *forestation*

在不符合森林定义的规划造林地上，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

规划造林地 *planning afforestation land*

依据全国国土调查及其最新年度国土变更调查成果数据，综合考虑降水、积温、地貌、海拔、坡度、坡向、地表基质、土壤类型等自然条件，在各级国土空间规划中明确的，可用于造林绿化的用地空间。

[来源：《造林绿化落地上图技术规范（试行）》（办生字〔2021〕87号），3.1，有修改]

4.3

森林 *forest*

包括乔木林、竹林和国家特别规定的灌木林。其中，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。

[来源：中华人民共和国森林法，第八十三条]

4.4

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。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，有修改]

4.5

竹林 *forests of bamboos*

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]

4.6

通道绿化 *passageway greening*

在铁路、公路沿线及两侧，以及河道两岸、渠道两侧，以保护铁路、公路、河岸、渠岸等生态安全、改善生态景观为主要目标的造林绿化。

[来源：LY/T 2647-2016，3.1]

4.7

城镇村及工矿用地 towns, villages, industrial and mining area

城乡居民点、独立居民点以及居民点以外的工矿、国防、名胜古迹等企事业单位用地，包括城市、建制镇、村庄、盐田及采矿用地、特殊用地。

[来源：TD/T 1055-2019，表 A.3，有修改]

4.8

生态公益林 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》的相关规定。

[来源：GB/T 18337.1-2001，2.1；《国家级公益林区划界定办法》（林资发〔2017〕34号），有修改]

4.9

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），以及以生产其他林副（特）产品为主要目的的其他经济林。

[来源：LY/T 2736-2016，2.1，有修改]

4.10

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。

4.11

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。

4.12

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。

4.13

生物量 biomass

地上生物质和地下生物质总的干物质质量。

4.14

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。

4.15

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。

4.16

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 $\leq 2\text{mm}$ 的细根。

4.17

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。

4.18

湿地 wetlands

全年（或一年中大部分时间，如泥炭土）被水淹没或土壤水分处于饱和状态的土地，且不属于森林、农田、草地和居住用地的范畴。

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包括若干个不连续的地块，每个地块应有特定的地理边界。项目边界内不包括宽度大于 3m 的道路、沟渠、坑塘、河流等不符合适用条件的土地。项目边界可采用下述方法之一确定：

a) 利用北斗卫星导航系统（BDS）、全球定位系统（GPS）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 $\pm 5\text{m}$ ；

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“一张图”、造林作业设计等，在地理信息系统（GIS）辅助下直接读取项目地块的边界坐标。

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，从项目业主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。项目计入期须在项目寿命期限范围之内。

5.2.2 项目寿命期限应在项目业主对项目边界内土地的所有权（或使用权）或项目边界内林木的所有权（或经营权）的有效期限之内。项目寿命期限的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。

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 | 在计算项目清除量时扣除 |
| | 地下生物质 | | |
| | 枯死木 | 否 | 根据适用条件，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 | 根据适用条件，土地处于稳定或退化状态，忽略不计 |
| 木（竹）产品 | 否 | 根据适用条件，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 | 主要碳库 |
| | 地下生物质 | | |
| | 枯死木 | 是或否 | 相比基准线情景，造林项目通常会增加枯死木碳储量；如果项目存在移除枯死木的情形，基于保守性原则不选择该碳库 |
| | 枯落物 | 是或否 | 相比基准线情景，造林项目通常会增加枯落物碳储量；如果项目存在移除枯落物的情形，基于保守性原则不选择该碳库 |
| | 土壤有机碳 | 是 | 造林项目会引起土壤有机碳储量发生变化 |
| 木（竹）产品 | 否 | 按照保守性原则，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 ₂ O | 否 | 按照保守性原则，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 排放已在碳储量变化中考虑 |
| | | CH ₄ 和 N ₂ O | 是 | 在项目设计阶段计为 0；如果项目计入期内发生森林火灾或人为的火烧活动，则必须选择该排放源 |
| | 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 ₂ O | 否 | 相对于基准线情景，排放量的变化量不显著，忽略不计 |
| | | | | |

6 项目减排量核算方法

6.1 基准线情景识别

本文件规定的造林碳汇项目基准线情景为：维持造林项目开始前的土地利用与管理方式。

6.2 额外性论证

6.2.1 免于论证

以保护和改善人类生存环境、维持生态平衡等为主要目的的公益性造林项目，在计入期内除减排量收益外难以获得其他经济收入，造林和后期管护等活动成本高，不具备财务吸引力。符合下列条件之一的造林项目，其额外性免于论证：

a) 在年均降水量 $\leq 400\text{mm}$ 的地区开展的造林项目；

注：年均降水量 $\leq 400\text{mm}$ 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）。

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可参考《国务院关于印发全国主体功能区规划的通知》（国发〔2010〕46号）、《国务院关于同意新增部分县（市、区、旗）纳入国家重点生态功能区的批复》（国函〔2016〕161号）。

c) 属于生态公益林的造林项目。

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 为提高碳储量变化量计算的精度，并在一定精度要求下精简监测样地数量，应按照不同的分层因子将项目边界内的地块划分为不同的层次，包括项目设计阶段的碳层划分和项目实施阶段的碳层划分。

6.3.2 项目设计阶段划分的碳层用于预估碳储量变化量，综合考虑项目边界内土地在造林前的立地条件（如土壤类型、坡度坡向、海拔等），以及拟实施的项目造林时间、造林树种、造林密度等因素划分项目碳层，将无显著差别的造林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计算碳储量变化量，主要基于项目设计阶段碳层的划分，结合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（如火烧、采伐等）导致原有碳层的异质性增加，或土地利用发生变化，须对项目碳层进行调整。

6.4 基准线清除量计算

基准线情景下原有植被的生物质碳储量变化量在项目清除量的计算中给予考虑。根据表1和表2，项目开始后第 t 年的基准线清除量计为0，即：

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

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（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；

t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

6.5 项目清除量计算

项目开始后第 t 年的项目清除量按照公式（2）计算：

$$\Delta C_{\text{PROJ},t} = \Delta C_{\text{BiomassPROJ},t} + \Delta C_{\text{DOMPROJ},t} + \Delta \text{SOC}_{\text{PROJ},t} - \text{GHG}_{\text{PROJ},t} - \Delta C_{\text{BiomassPE},t} \quad (2)$$

式中：

- $\Delta C_{\text{PROJ},t}$ —— 项目第 t 年的项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{\text{BiomassPROJ},t}$ —— 项目第 t 年的生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用本文件附录 A 计算；
- $\Delta C_{\text{DOMPROJ},t}$ —— 项目第 t 年的死有机质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用本文件附录 B 计算；
- $\Delta \text{SOC}_{\text{PROJ},t}$ —— 项目第 t 年的土壤有机碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用本文件附录 C 计算；
- $\text{GHG}_{\text{PROJ},t}$ —— 项目第 t 年因火烧引起的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用本文件附录 D 计算；
- $\Delta C_{\text{BiomassPE},t}$ —— 项目第 t 年原有植被（乔木、竹子和灌木）的生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ），采用本文件附录 A 计算；
- t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

在项目设计阶段，火烧引起的温室气体排放通常无法预料，因此项目情景下火烧引起的温室气体排放量计为 0。在项目实施阶段，通过监测项目边界内实际火烧发生情况，计算项目温室气体排放量。

6.6 项目泄漏计算

根据本文件适用条件，项目不考虑泄漏。

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（3）核算：

$$\text{CDR}_t = (\Delta C_{\text{PROJ},t} - \Delta C_{\text{BSL},t} - LK_t) \times (1 - K_{\text{RISK}}) \quad (3)$$

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（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{\text{PROJ},t}$ —— 项目第 t 年的项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{\text{BSL},t}$ —— 项目第 t 年的基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；
- LK_t —— 项目第 t 年的泄漏量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$ ）；根据适用条件， $LK_t = 0$ ；
- K_{RISK} —— 项目的非持久性风险扣减率，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。

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 26。

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 (3) |
| 数据描述 | 造林碳汇项目可能会由于自然因素（如火灾、病虫害、雨雪冰冻、风灾等）或人为干扰（如非法采伐和破坏等）原因导致项目清除的温室气体重新释放到大气中，即非持久性风险。在核算减排量时须按照项目非持久性风险扣减率，扣除一定比例的项目减排量。非持久性风险扣减率采用历史火灾、病虫害等灾害导致的森林蓄积量或森林面积的损失比例计算确定 |
| 数据单位 | % |
| 数据来源 | 本表默认值，根据《中国林业统计年鉴》统计全国及各省（区、市）因火灾引起的蓄积损失量占当年森林蓄积增长量的比例，以及病虫害重度危害面积占森林面积的比例，1999-2018 年全国年均因灾损失率约 4.98%，出于保守性原则取值 10% |
| 数值 | 10% |
| 数据用途 | 用于计算项目减排量的非持久性风险 |

表 4 $A_{i,j,t}$ 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.2)、公式 (A.3)、公式 (A.4)、公式 (B.2) |
| 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 | 项目设计文件及审定确认的项目碳层各树种的森林面积 |
| 数值 | / |
| 数据用途 | 用于预估项目清除量 |

表 5 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.3)、公式 (A.4)、公式 (B.2)、公式 (D.3) |
| 数据描述 | 生物量含碳率 |
| 数据单位 | t C·(t d.m.) ⁻¹ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.10 |
| 数据用途 | 用于将生物量转换为生物质碳储量 |

表 6 RSR 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | RSR |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.8)、公式 (A.13)、公式 (A.14)、公式 (A.16)、公式 (A.22)、公式 (A.24) |
| 数据描述 | 乔木、竹子或灌木的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 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的 |

| | |
|------|---------------------------|
| | 整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.8、表 A.9、表 A.12、表 A.15 |
| 数据用途 | 用于利用地上生物量计算地下生物量 |

表 7 $f(DBH, H)$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | $f(DBH, H)$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.10) |
| 数据描述 | 单株乔木全株 (或地上) 生物量与胸径和 (或) 树高的相关方程 |
| 数据单位 | kg d.m.·stem ⁻¹ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.1、表 A.2、表 A.3 |
| 数据用途 | 用于利用胸径和树高计算乔木林单株生物量 |

表 8 $f(V_{AF,t})$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | $f(V_{AF,t})$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.6) |
| 数据描述 | 乔木林单位面积全林 (或地上) 生物量与蓄积量的相关方程 |
| 数据单位 | t d.m.·hm ² |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.5 |
| 数据用途 | 用于利用单位面积蓄积量计算乔木林全林 (或地上) 生物量 |

表 9 $f(Age_{AF,t})$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | $f(Age_{AF,t})$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.7) |
| 数据描述 | 乔木林单位面积蓄积量与林龄的相关方程 |
| 数据单位 | m ³ ·hm ² |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.11 |
| 数据用途 | 用于利用单位面积蓄积量计算乔木林全林生物量 |

表 10 $BCEF$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | <i>BCEF</i> |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.13)、公式 (A.14) |
| 数据描述 | 乔木林生物量转换与扩展因子，即全林（或地上）生物量与蓄积量的比值 |
| 数据单位 | $t\ d.m. \cdot m^{-3}$ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.5、表 A.6 |
| 数据用途 | 用于将乔木林蓄积量转化为全林生物量或地上生物量 |

表 11 *BEF*的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | <i>BEF</i> |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.17) |
| 数据描述 | 乔木林生物量扩展因子，即地上生物量与树干生物量的比值 |
| 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； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.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 12 *SVD*的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | <i>SVD</i> |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.17) |
| 数据描述 | 乔木树种的基本木材密度，即单位体积木材的干物质重量 |
| 数据单位 | $t\ d.m. \cdot m^{-3}$ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.10 |
| 数据用途 | 用于将林木蓄积量转换为树干生物量 |

表 13 $f_v(DBH, H)$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|-----------------------|
| 数据/参数名称 | $f_v(DBH, H)$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.15) |
| 数据描述 | 乔木单株材积与树高和（或）胸径的相关方程 |
| 数据单位 | $m^3 \cdot stem^{-1}$ |

| | |
|------|---|
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.4 |
| 数据用途 | 用于计算乔木林单位面积全林生物量 |

表 14 AGB_{BF,T_b} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | AGB_{BF,T_b} |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.20)、公式 (A.22) |
| 数据描述 | 竹林成熟稳定后的单位面积地上生物量 |
| 数据单位 | t d.m.·hm ² |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.12 |
| 数据用途 | 用于计算竹林单位面积地上生物量 |

表 15 $f_{AGB,BF}(DBH, H)$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | $f_{AGB,BF}(DBH, H)$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.21) |
| 数据描述 | 竹子单株生物量与胸径和 (或) 竹高的相关方程 |
| 数据单位 | kg d.m.·stem ⁻¹ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.13、表 A.14 |
| 数据用途 | 用于计算竹林单位面积地上生物量 |

表 16 AGB_{SF} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|--|
| 数据/参数名称 | AGB_{SF} |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.24) |
| 数据描述 | 灌木林成熟稳定时的单位面积地上生物量 |
| 数据单位 | t d.m.·hm ² |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； |

| | |
|------|---|
| | d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.15 |
| 数据用途 | 用于计算灌木林地上生物量 |

表 17 $f_{SF}(x_1, x_2, x_3 \dots)$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | $f_{SF}(x_1, x_2, x_3 \dots)$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.23) |
| 数据描述 | 灌木单株生物量与灌木测树因子（如基径、灌高、冠幅、灌径等）的相关方程 |
| 数据单位 | kg d.m.·stem ⁻¹ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 A.16、表 A.17 |
| 数据用途 | 用于计算灌木林地上生物量、地下生物量和全林生物量 |

表 18 CD_{PE,i,t_0} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|--|
| 数据/参数名称 | CD_{PE,i,t_0} |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.25) |
| 数据描述 | 项目开始前，各项目碳层样地内原有散生木（竹）的平均冠层盖度，即树冠投影面积与林地面积的比值 |
| 数据单位 | 无量纲，以小数计 |
| 数据来源 | 根据项目开始前的森林资源调查数据确定；或利用分辨率不超过 2m 的高清卫星影像数据，借助 GIS 等工具进行分析确定 |
| 数值 | 实际测量 |
| 数据用途 | 用于扣减项目碳层原有散生木（竹）继续生长产生的清除量 |

表 19 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.3) |
| 数据描述 | 枯落物生物量与森林地上生物量的比例 |
| 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； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 B.1 |
| 数据用途 | 用于计算枯落物生物量 |

表 20 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.4) |
| 数据描述 | 枯死木生物量与森林地上生物量的比例 |
| 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； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 B.2 |
| 数据用途 | 用于计算枯死木生物量 |

表 21 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.2) |
| 数据描述 | 造林后土壤有机碳密度平均年变化率 |
| 数据单位 | $t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 C.1 |
| 数据用途 | 用于计算土壤有机碳储量变化 |

表 22 $COMF$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | $COMF$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (D.2)、公式 (D.4) |
| 数据描述 | 燃烧因子 (针对不同的植被类型) |
| 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； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； c) 本文件及附录中推荐的缺省值； d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析，且经过同行专家评议 |
| 数值 | 表 D.1 |
| 数据用途 | 用于计算森林火烧引起的温室气体排放量 |

表 23 EF_{CH_4} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | EF_{CH_4} |
| 应用的公式编号 | 公式 (D.2)、公式 (D.4) |
| 数据描述 | CH_4 排放因子 |
| 数据单位 | $g CH_4 \cdot (kg d.m.)^{-1}$ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择： a) 地方标准； b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据； |

| | |
|------|---|
| | c) 本表缺省值; d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析, 且经过同行专家评议 |
| 数值 | 热带森林: 6.8; 其它森林: 4.7 |
| 数据用途 | 用于计算森林火烧引起的 CH ₄ 排放量 |

表 24 EF_{N_2O} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|--|
| 数据/参数名称 | EF_{N_2O} |
| 应用的公式编号 | 公式 (D.2)、公式 (D.4) |
| 数据描述 | N ₂ O 排放因子 |
| 数据单位 | g N ₂ O·(kg d.m.) ⁻¹ |
| 数据来源 | 项目业主须按照如下优先顺序选择: a) 地方标准; b) 国家或行业标准中适用于项目区的数据; c) 本表缺省值; d) 项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析, 且经过同行专家评议 |
| 数值 | 热带森林: 0.20; 其它森林: 0.26 |
| 数据用途 | 用于计算森林火烧引起的 N ₂ O 排放 |

表 25 GWP_{CH_4} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|--|
| 数据/参数名称 | GWP_{CH_4} |
| 应用的公式编号 | 公式 (D.2)、公式 (D.4) |
| 数据描述 | 100 年时间尺度下 CH ₄ 的全球增温潜势 |
| 数据单位 | 无量纲 |
| 数据来源 | 本表默认值, 参考 IPCC 第五次评估报告 |
| 数值 | 28 |
| 数据用途 | 将 CH ₄ 排放量转化为 CO ₂ e |

表 26 GWP_{N_2O} 的技术内容和确定方法

| | |
|---------|---|
| 数据/参数名称 | GWP_{N_2O} |
| 应用的公式编号 | 公式 (D.2)、公式 (D.4) |
| 数据描述 | 100 年时间尺度下 N ₂ O 的全球增温潜势 |
| 数据单位 | 无量纲 |
| 数据来源 | 本表默认值, 参考 IPCC 第五次评估报告 |
| 数值 | 265 |
| 数据用途 | 将 N ₂ O 排放量转化为 CO ₂ e |

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 27—表 34。

表 27 $A_{i,j,t}$ 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.2)、公式 (A.3)、公式 (A.4)、公式 (B.2) |

| | |
|---------------|---|
| 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 | 所有实际实施造林活动的项目地块及其拐点坐标 |
| 监测仪表要求 | 实时动态差分技术 (RTK)、GPS、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及其拐点坐标与项目设计是否一致, 针对不一致的地方: a) 位于项目设计边界之外的部分, 不得纳入项目边界内; b) 在监测时, 项目设计边界内尚未实际实施造林的部分地块, 如果面积 $\geq 400\text{m}^2$, 须单独纳入新的碳层或移出项目边界外 (如改变土地用途), 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 | 自首次核查后, 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 28 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.10)、公式 (A.15)、公式 (A.21) |
| 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、GPS、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 | 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 29 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.15)、公式 (A.21)、公式 (A.23) |
| 数据描述 | 乔木 (或竹子、灌木) 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、GPS、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 | 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 30 $SC_{BF,t}$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------------|--|
| 数据/参数名称 | $SC_{BF,t}$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.22) |
| 数据描述 | 竹林 t 年时, 累计择伐地上生物量占其单位面积地上生物量的比例 (如株数比例) |
| 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 | 测高仪、皮尺; 罗盘、RTK、GPS、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 | 每次择伐时记录 |
| 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 31 $CC_{SF,t}$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------------|--|
| 数据/参数名称 | $CC_{SF,t}$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (A.24) |
| 数据描述 | 第 t 年时, 灌木林覆盖度, 用小数表示 (例如覆盖度 10% 记为 0.10) |
| 数据单位 | 无量纲 |
| 数据来源 | 野外测定灌木冠幅和株数, 换算成单位面积灌木覆盖度 |
| 监测点要求 | 所有野外监测样地 |
| 监测仪表要求 | 皮尺; 罗盘、RTK、GPS、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 | 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 32 $A_{BURN,i,t}$ 的技术内容和确定方法

| | |
|-----------|---|
| 数据/参数名称 | $A_{BURN,i,t}$ |
| 应用的公式编号 | 公式 (D.2)、公式 (D.3) |
| 数据描述 | 第 t 年时, 第 i 项目碳层发生燃烧的面积 |
| 数据单位 | hm ² |
| 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、GPS、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)。对于在坡地上的样地, 须进行坡度校正 |
| 监测频次与记录要求 | 火灾发生后当年监测。火烧地块位置应用 GPS 或 BDS 定位并记录经纬度坐标 (以度表示的坐标至少保留 6 位小数)、位置 (县、乡、村和小地名) 以及地块的形状和大小 |

| | |
|---------------|--|
| 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 | 用于计算火烧引起的温室气体排放量 |

表 33 $R_{\text{BURN},i,t}$ 的技术内容和确定方法

| | |
|---------------|--|
| 数据/参数名称 | $R_{\text{BURN},i,t}$ |
| 应用的公式编号 | 公式（D.4） |
| 数据描述 | 第 t 年时，第 i 项目碳层烧除的病原疫木的数量占比 |
| 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 | 胸径测量仪、皮尺、测高仪、罗盘、RTK、GPS、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 | 伐除前监测。记录伐除木树种、胸径、树高、单位面积株数等 |
| 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 | 用于计算火烧引起的温室气体排放量 |

表 34 x_k^1 的技术内容和确定方法

| | |
|---------------|--|
| 数据/参数名称 | x_k^1 |
| 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、GPS、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，首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。无人机点云密度不得少于 100 个/m ² |
| 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 |

7.3 项目实施及监测的数据管理要求

7.3.1 一般要求

7.3.1.1 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。

7.3.1.2 鼓励项目减排量收益至少不低于 90%返给具体实施了造林活动，并拥有林木的所

有权或经营权的项目实施主体。

7.3.2 项目边界监测要求

7.3.2.1 在项目设计阶段，项目业主须明确项目计划造林的地块边界，并提供所有项目地块边界的矢量数据文件。在项目实施阶段，项目业主须测量项目实际造林的地块边界。

7.3.2.2 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文件一致。如果实际边界位于项目设计文件描述的边界之外，则边界以项目设计文件为准；如果实际边界位于项目设计文件描述的边界之内，则以实际边界为准，并提供新的项目边界矢量数据文件。

7.3.2.3 如果项目边界发生任何变化，例如土地利用类型发生变化，应测定被征占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

项目实施阶段，主要监测和记录项目边界内所发生的造林、管护以及与温室气体排放有关项目活动的实施情况，并判断是否与项目设计文件及监测方案一致。主要内容包括：

- 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）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）。

7.3.4 项目碳层划分要求

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、造林面积以及边界等发生变化；
- 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。

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 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

项目生物质碳储量的变化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。

7.3.7 监测频率与时间要求

项目业主应在项目设计阶段确定固定样地监测频率，一般每 5 年至少监测一次。首次监测时间不早于项目申请登记时间。

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 F 步骤，通过在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。

7.3.9 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 F），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；或选择扣减一定比例清除量的方式进行校正。

$$\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PROJ},t}} = \Delta C_{\text{Biomass},t} \times (1 - DR) \quad (4)$$

式中：

- $\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PROJ},t}}$ —— 校正后第 t 年的项目生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- $\Delta C_{\text{Biomass},t}$ —— 监测的第 t 年的项目生物质碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
- DR —— 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。

扣减率可从表 35 获得，不确定性的计算见附录 F。

表 35 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 |

为保证监测数据的可靠性，在现有监测方法的基础上，本文件鼓励使用机载激光雷达技术作为林木生物质碳储量监测的辅助校核工具。

在拟开发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，充分检验该技术在当前场景下的适用性（见附录 G）。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。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小于 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。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较，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。

$$C_{\text{Biomass},t} = C_{\text{Biomass},t}^l \times \frac{C_{\text{Biomass},T_1}^m}{C_{\text{Biomass},T_1}^l} \quad (5)$$

式中：

| | | |
|----------------------------|----|--|
| $C_{\text{Biomass},t}$ | —— | 项目第 t 年时的森林生物质碳储量，单位为吨碳（t C）； |
| $C_{\text{Biomass},t}^l$ | —— | 第 t 年时，使用激光雷达方法监测的森林生物质碳储量，单位为吨碳（t C）； |
| C_{Biomass,T_1}^l | —— | 首次监测时（ T_1 ），使用激光雷达方法监测的森林生物质碳储量，单位为吨碳（t C）； |
| C_{Biomass,T_1}^m | —— | 首次监测时（ T_1 ），使用样地监测方法监测的森林生物质碳储量，单位为吨碳（t C）； |
| l | —— | 通过激光雷达获取或计算的值，无量纲； |
| m | —— | 样地实测直接获取或计算的值，无量纲。 |

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，采用扣减的方法进行校正，扣减率见表 36。

表 36 激光雷达监测的生物质碳储量变化量的扣减率

| 精度检验 R^2 值 | 扣减率（DR） |
|-------------------|-----------------------------|
| 大于或等于 0.9 | 0% |
| 大于或等于 0.8 但小于 0.9 | 6% |
| 大于或等于 0.7 但小于 0.8 | 11% |
| 小于 0.7 | 须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 |

7.3.10 项目火烧排放监测和计算要求

7.3.10.1 项目业主须详细记录项目边界内每一次森林火灾发生的时间、面积、地理边界等信息，根据火烧前最近一次核查确定的单位面积生物量，计算项目边界内由于森林火灾燃烧地上生物质和死有机质所引起的温室气体排放量。

7.3.10.2 如果发生有计划的人为清除病原疫木引起的火烧，项目业主须在伐前监测各样地内病原疫木的树种、胸径、树高、数量等，计算清除的病原疫木的生物质碳储量，进而计算人为火烧引起的温室气体排放量。

7.3.11 数据管理与归档要求

7.3.11.1 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。

7.3.11.2 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 项目适用条件的审定与核查要点

审定与核查机构应基于项目设计文件，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》等法律及

造林相关的法规和政策，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、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、造林作业设计、同行评议的研究报告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；

——对于无法通过上述方式确定造林地块合格性的，应采用现场走访的方式确认，并以影像等可证明的方式记录赴现场开展审核活动的点位和线路。

c) 核实项目边界内的土地权属。在项目审定和减排量核查时，须核对项目全部的土地所有权（或使用权）或林木所有权（或经营权）的证据，如不动产权属证书、土地承包或流转合同；或经有批准权的人民政府或主管部门批准核发的土地证、林权证等；如果项目业主不是项目边界内土地（或林木）权属所有人，项目业主应取得权属人授予的相关权利，并提供相关证明文件；

d) 核实造林活动对项目地块的影响。可基于造林作业设计、卫星影像和实地走访等方式核查项目区域原有植被的移除比例、土壤的扰动程度、清林方式、造林模式等。

8.2 项目开始时间的审定与核查要点

审定与核查机构须通过对比项目开始前后的卫星遥感影像或现地走访（如查数针叶树轮枝数或年轮数确定树木年龄），并结合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作业设计和（或）出具的验收报告；
- b) 项目业主与施工方签署的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）。

8.3 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（如.shp 文件或.kml 文件，并细化到地块），重点开展以下工作：

a) 从每个碳层中以随机方式选取至少1个地块（或总共不少于5个地块），利用BDS或GPS系统，直接测定项目地块的全部多边形边界及其拐点坐标，核实单点定位误差是否超过±5m。根据重要拐点坐标定位，计算选取项目地块的面积，与项目业主的测定结果进行对比，核实项目边界面积误差是否超过±5%；

b) 通过遥感影像或实地走访，确认项目边界内是否包含宽度大于3m的道路、沟渠、坑塘、河流等不符合适用条件的土地；

c) 通过项目所在地遥感影像、造林作业设计、造林验收报告等资料，核对实际造林地块的边界与项目设计文件中计划实施的边界是否一致，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6.3和7.3.4要求调整碳层划分；

d) 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。

8.4 项目减排量核算的审定与核查要点

8.4.1 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，项目实施阶段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。

8.4.2 在项目设计阶段，基准线清除量经过审定后，在整个计入期内都是有效的。在项目实施阶段，项目业主可选择不对基准线清除量进行监测，核查机构也不需要不对基准线清除

量进行核查。

8.4.3 如果项目业主选择对项目开始时的原有散生木（竹）进行标记，在项目实施阶段，项目核查机构须随机抽取不少于 10 个样地，核对原有散生木（竹）的标记情况，株数误差不超过 1 株，并确认没有人为移除原有散生木（竹）的情况发生。如果项目业主未选择对项目开始时的原有散生木（竹）进行标记，在项目设计阶段或项目实施阶段，审定与核查机构须根据项目业主提供的项目开始前的森林资源调查数据、或利用高清卫星影像（分辨率不超过 2m）来确定项目边界内原有散生木（竹）的冠层盖度，与项目业主测定值误差不超过 10%。

8.4.4 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。自选参数必须是基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的或总数不少于 30 个样本的调查数据的整合分析结果，且经过同行专家评议。整合分析须采用剔除异常值之后的样本数据，计算参数平均值和 95% 置信区间，或构建模拟模型且决定系数（ R^2 值）不低于 0.7，并将参数或模型的不确定性整合到碳储量变化计算结果的不确定性。不确定性的整合方法可参考《IPCC 2000 不确定性管理优良做法指南》。

8.5 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计划并实施，重点审定与核查以下要点：

a) 确认监测计划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 7.3.9 节的要求；

c) 确认项目监测阶段项目碳层调整与地块生物质碳储量异质性变化的符合性，可使用项目开始时和发生干扰时的卫星影像进行对比，确定项目实施阶段项目碳层调整的合理性；

d) 确认固定样地的布设是否根据 7.3.6 节执行；

e) 现场核查须在监测完成后 6 个月之内完成。核查机构须从项目所有监测样地中随机选择至少 10 个样地，且每个碳层至少抽 1 个监测样地（以数量多的为准），进行现场测定核查。首先须核实监测样地与所属碳层样地外的造林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（地）径、树（株）高或灌木覆盖度，并与项目业主的测定结果进行对比。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，项目业主须重新监测和核算。样地监测的平均允许误差如下：

——样地位置：样地中心点复位误差不超过 $\pm 5\text{m}$ ；

——样地面积：样地面积与核算报告描述面积一致；

——株数：胸（地）径 $\geq 2\text{cm}$ 的检尺株数测量误差不超过 $\pm 5\%$ ，最多不超过 ± 3 株；

——胸（地）径：样地平均胸（地）径测量误差不超过 $\pm 5\%$ ；

——灌木覆盖度：平均覆盖度误差不超过 $\pm 10\%$ 。

8.6 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 37。

表 37 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 | CF | 确认参数的来源并评估其适用 | a) 查阅项目减排量核算报告中的参 |

| | | | |
|----|-------------------------------|--|---|
| 2 | RSR | <p>性:</p> <p>a) 若参数来源为地方标准、行业标准、国家标准或本文件及附录中推荐的缺省值, 则须审定参数是否适用于项目所在地和所选树种;</p> <p>b) 若参数为项目业主自选参数, 则须判断参数选择是否符合以下要求: ——参数为项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据; ——参数为基于 5 篇以上国内外核心期刊发表的研究结果的整合; 或经过同行专家评议的不少于 30 个样本的调查数据的整合结果。</p> | <p>数取值是否与项目设计文件一致、准确;</p> <p>b) 须对参数选取的适用性、准确性、保守性进行核查, 核查是否符合 7.1 对参数的技术内容和确定方法的要求。</p> |
| 3 | $BCEF$ | | |
| 4 | BEF | | |
| 5 | SVD | | |
| 6 | AGB_{BF,T_b} | | |
| 7 | AGB_{SF} | | |
| 8 | DF_{LI} | | |
| 9 | DF_{DW} | | |
| 10 | δSOC | | |
| 11 | $COMF$ | | |
| 12 | EF_{CH_4} | | |
| 13 | EF_{N_2O} | | |
| 14 | $f(DBH, H)$ | | |
| 15 | $f(V_{AF,t})$ | | |
| 16 | $f_{AGB,BF}(DBH, H)$ | | |
| 17 | $f_{SF}(x_1, x_2, x_3 \dots)$ | | |
| 18 | $A_{i,j,t}$ | | |
| 19 | CD_{PE,i,t_0} | 根据项目开始前的森林资源调查数据, 或分辨率不超过 2m 的高清卫星影像数据, 审定该数据是否准确。 | <p>a) 查阅项目减排量核算报告中的参数取值是否与项目设计文件一致、准确;</p> <p>b) 须对参数选取的适用性、准确性、保守性进行核查, 核查是否符合 7.1 对参数的技术内容和确定方法的要求。</p> |
| 20 | DBH | 项目审定阶段不包括该参数。 | <p>确认测树因子监测的准确性:</p> <p>a) 从监测样地中, 随机选择至少 10 个样地, 且每个碳层至少抽 1 个监测样地, 以数量多的为准进行现场测定, 包括样地位置、面积以及株数、胸 (基) 径和株高;</p> <p>b) 比较核查测树因子与项目业主的监测结果误差是否符合 8.5 节的要求。</p> |
| 21 | H | | |
| 22 | $SC_{BF,t}$ | | |
| 23 | $CC_{SF,t}$ | | |
| 24 | $A_{BURN,i,t}$ | | |
| | | | 核查管理日志, 确定项目边界内火灾发生的时间、面积、地理边界等信息 |

| | | | |
|----|----------------|--|---|
| | | | 与项目业主的监测结果相比是否在误差范围内。 |
| 25 | $R_{BURN,i,t}$ | | 核查病原疫木伐除记录，确定各样地内疫木的树种、胸径、树高、数量等与项目业主的监测结果相比是否在误差范围内。 |
| 26 | x_k^1 | | 核查机载激光雷达数据的获取是否符合《CH/T 8024-2011 机载激光雷达数据获取技术规范》。 |

9 方法学编制单位

在本文件编制工作中，中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所，以及大自然保护协会北京代表处、北京林业大学生态与自然保护学院、清华大学能源环境经济研究所、中国绿色碳汇基金会、扬州大学植物保护学院生态学系、中国林业科学研究院资源信息研究所、北京天德泰科技股份有限公司、中国林业集团有限公司、大兴安岭林业集团公司、腾讯科技（北京）有限公司、国家林业和草原局林草调查规划院、中国林业科学研究院林业研究所、生态环境部环境与经济政策研究中心、中国内蒙古森林工业集团有限责任公司、北京汇智绿色资源研究院、中国计量科学研究院、中国林业与环境促进会、北京碳宝科技有限公司、中建生态环境集团有限公司、中国林场协会、江南大学国家安全与绿色发展研究院、北京和碳环境技术有限公司、中国民贸一乡一品产业促进中心、海南斯兰低碳研究中心有限公司、广西森工集团股份有限公司、广西壮族自治区国有高峰林场、广西力源宝科技有限公司、广西壮族自治区国有三门江林场、广西壮族自治区国有黄冕林场、广西壮族自治区国有维都林场等单位作出了积极贡献。

附录 A

(资料性附录)

森林生物质碳储量变化计算方法

A.1 森林生物质碳储量变化的计算

本文件采用“储量变化法 (Stock Difference Method)”计算项目边界内的森林生物质碳储量在一段时期内的年均变化量:

$$\Delta C_{\text{Biomass},t} = \frac{C_{\text{Biomass},t_2} - C_{\text{Biomass},t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \quad (\text{A.1})$$

式中:

- $\Delta C_{\text{Biomass},t}$ —— 项目开始第 t 年的森林生物质碳储量的年变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- C_{Biomass,t_1} —— 第 t_1 年时, 森林生物质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- C_{Biomass,t_2} —— 第 t_2 年时, 森林生物质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- $44/12$ —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比, 无量纲;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲;
- 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 $t_1 \leq t \leq t_2$ 。

A.2 森林生物质碳储量的计算

首先分别计算各碳层内各树种 (含竹子和灌木) 的全林生物质碳储量。当无法直接计算全林生物质碳储量时, 可选择分别计算各碳层内各树种的地上和地下生物质碳储量, 然后加总得到全林生物质碳储量:

$$C_{\text{Biomass},t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times B_{\text{Total},i,j,t} \times CF_{\text{Total},i,j}) \quad (\text{A.2})$$

$$C_{\text{AGB},t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times AGB_{i,j,t} \times CF_{\text{AGB},i,j}) \quad (\text{A.3})$$

$$C_{\text{BGB},t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times BGB_{i,j,t} \times CF_{\text{BGB},i,j}) \quad (\text{A.4})$$

$$C_{\text{Biomass},t} = C_{\text{AGB},t} + C_{\text{BGB},t} \quad (\text{A.5})$$

式中:

- $C_{\text{Biomass},t}$ —— 第 t 年时, 森林生物质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- $C_{\text{AGB},t}$ —— 第 t 年时, 森林地上生物质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- $C_{\text{BGB},t}$ —— 第 t 年时, 森林地下生物质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- $A_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的森林面积, 单位为公顷 (hm^2);
- $AGB_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的单位面积地上生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- $BGB_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的单位面积地下生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- $B_{\text{Total},i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的单位面积全林生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);

| | | |
|------------------|----|---|
| $CF_{AGB,i,j}$ | —— | 第 i 项目碳层树种 j 的地上生物量含碳率，单位为吨碳每吨 (t C·(t d.m.) ⁻¹)； |
| $CF_{BGB,i,j}$ | —— | 第 i 项目碳层树种 j 的地下生物量含碳率，单位为吨碳每吨 (t C·(t d.m.) ⁻¹)； |
| $CF_{Total,i,j}$ | —— | 第 i 项目碳层树种 j 的全林生物量含碳率，单位为吨碳每吨 (t C·(t d.m.) ⁻¹)； |
| 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.3 乔木林生物量的计算

推荐优先使用生物量方程法，其次为生物量转换因子法，并可采用激光雷达估测法进行校核。当选择生物量方程法或生物量转换因子法时，优先选择全林生物量的计算方法，其次选择分别计算地上生物量和地下生物量的方法。在项目实施阶段，每次监测和核算均须使用同一类方法，以保证项目减排量核算结果的可比性。

A.3.1 生物量方程法

在项目设计阶段，采用乔木林全林（或地上）生物量与单位面积蓄积量的相关方程（表 A.5）计算乔木林全林（或地上）生物量。其中，乔木林单位面积蓄积量采用单位面积蓄积量与林龄的相关方程（表 A.11）计算：

$$B_{Total,AF,t} = f(V_{AF,t}) \quad (A.6)$$

$$V_{AF,t} = f(Age_{AF,t}) \quad (A.7)$$

式中：

| | | |
|------------------|----|--|
| $B_{Total,AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 (t d.m.·hm ⁻²)； |
| $f(V_{AF})$ | —— | 乔木林单位面积全林（或地上）生物量与单位面积蓄积量的相关方程，单位为吨每公顷 (t d.m.·hm ⁻²)； |
| $f(Age_{AF})$ | —— | 乔木林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 ·hm ⁻²)； |
| $V_{AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 (m ³ ·hm ⁻²)； |
| $Age_{AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林的林龄，无量纲。 |

如果采用通过地上生物量计算地下生物量的方法，在得到乔木林地上生物量后，利用乔木林地下生物量与地上生物量的比值计算乔木林地下生物量，并加和得到乔木林全林生物量。

$$BGB_{AF} = AGB_{AF} \times RSR_{AF} \quad (A.8)$$

$$B_{Total,AF} = AGB_{AF} + BGB_{AF} \quad (A.9)$$

式中：

| | | |
|----------------|----|--|
| $B_{Total,AF}$ | —— | 乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 (t d.m.·hm ⁻²)； |
|----------------|----|--|

- AGB_{AF} —— 乔木林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
 BGB_{AF} —— 乔木林单位面积地下生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
 RSR_{AF} —— 乔木林地下生物量与地上生物量的比值，无量纲。

在项目实施阶段，须使用单株林木的全株（地上或地下）生物量（表 A.1、表 A.2 和表 A.3）与林木胸径和（或）树高的相关方程，再根据单位面积林木数量，计算乔木林全林生物量。

$$B_{Total,AF,i,t} = \sum_j [f(DBH_{AF,i,j,t}, H_{AF,i,j,t}) \times N_{i,j,t}] \times 10^{-3} \quad (A.10)$$

$$B_{Total,AF,t} = \sum_i B_{Total,AF,i,t} \quad (A.11)$$

式中：

- $B_{Total,AF,t}$ —— 第 t 年时，乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
 $B_{Total,AF,i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
 $f(DBH_{AF}, H_{AF})$ —— 乔木全株（或地上）生物量与胸径（单位为厘米，cm）和（或）树高（单位为米，m）的相关方程（单位为千克每株，kg d.m.·stem⁻¹）；
 $DBH_{AF,i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林第 j 树种的平均胸径，单位为厘米（cm）；
 $H_{AF,i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林第 j 树种的平均树高，单位为米（m）；
 j —— 树种， $j=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
 i —— 项目碳层， $i=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
 $N_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林树种 j 的单位面积株数，单位为株每公顷（stem·hm⁻²）；
 t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
 10^{-3} —— 将千克转换为吨的常数。

在项目实施阶段，如果项目首次监测时间（ T_1 ）是在项目计入期开始（ t_0 ）之后，则可根据经核查的首次监测结果，采用如下办法计算计入期开始时（第 t_0 年）的单位面积生物量：

- 根据项目设计阶段预估的单位面积生物量（公式 A.6 和公式 A.7），计算项目开始至首次监测间每一年的单位面积生物量与上一年的比值（ $b_{Total,AF,t}/b_{Total,AF,t-1}$ ）；
 ——通过首次监测的项目实际单位面积生物量，计算前一年的单位面积生物量，直至计入期开始时。

$$B_{Total,AF,T_1-1} = B_{Total,AF,T_1} / (b_{Total,AF,T_1} / b_{Total,AF,T_1-1}) \quad (A.12)$$

式中：

- B_{Total,AF,T_1} —— 经核查的首次监测时的乔木林单位面积生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
 B_{Total,AF,T_1-1} —— 首次监测前一年时，乔木林单位面积生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；

- $b_{\text{Total,AF},T_1}$ —— 项目设计阶段预估的第 T_1 年时，乔木林单位面积生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)；
- $b_{\text{Total,AF},T_1-1}$ —— 项目设计阶段预估的第 T_1-1 年时，乔木林单位面积生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)。

A. 3. 2 生物量转换因子法

首先选择利用生物量转换与扩展因子法，将乔木蓄积量（或单株材积）转换为乔木林（或单木）的全林（或地上）生物量。若计算的是全林生物量，则利用表 A.5 提供的全林生物量方程计算。若计算的是地上生物量，则利用乔木林地下生物量与地上生物量的比值转化为乔木林全林生物量，见公式 (A.13)、公式 (A.14) 和公式 (A.15)：

$$B_{\text{Total,AF},t} = V_{\text{AF},t} \times BCF \times (1 + RSR_{\text{AF}}) \quad (\text{A.13})$$

$$B_{\text{Total,AF},t} = \sum_j \sum_s [v_{j,s,t} \times BCF_j \times (1 + RSR_{\text{AF},j})] / A_{\text{AF},t} \quad (\text{A.14})$$

$$v_{j,s,t} = f_v(DBH_{j,s,t}, H_{j,s,t}) \quad (\text{A.15})$$

式中：

- $B_{\text{Total,AF},t}$ —— 第 t 年时，乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)；
- $V_{\text{AF},t}$ —— 第 t 年时，乔木林的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)；
- $v_{j,s,t}$ —— 第 t 年时，乔木林内树种 j 第 s 株树的立木材积，单位为立方米 ($\text{m}^3\cdot\text{stem}^{-1}$)；
- BCF —— 基于林分的乔木林地上生物量转换与扩展因子，单位为吨每立方米 ($\text{t d.m.}\cdot\text{m}^{-3}$)；
- BCF_j —— 基于单木的乔木林树种 j 的地上生物量转换与扩展因子，单位为吨每立方米 ($\text{t d.m.}\cdot\text{m}^{-3}$)；
- RSR_{AF} —— 基于林分的乔木林地下生物量与地上生物量的比值，无量纲；
- $RSR_{\text{AF},j}$ —— 基于单木的乔木林树种 j 的地下生物量与地上生物量的比值，无量纲；
- $A_{\text{AF},t}$ —— 第 t 年时，乔木林面积，单位为公顷 (hm^2)；
- $f_v(DBH_j, H_j)$ —— 乔木林内树种 j 的单株立木材积方程，单位为立方米 (m^3)，见表 A.4；
- j —— 树种， $j=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- s —— 乔木林内树种 j 的单木， $s=1, 2, 3, \dots$ ，单位为株 (stem)；
- t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

其次，可利用基本木材密度（表 A.10）和生物量扩展因子（表 A.7）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与地上生物量的比值计算全林生物量：

$$B_{\text{Total,AF},t} = AGB_{\text{AF},t} \times (1 + RSR_{\text{AF}}) \quad (\text{A.16})$$

$$AGB_{\text{AF},t} = V_{\text{AF},t} \times SVD \times BEF \quad (\text{A.17})$$

式中：

- $B_{\text{Total,AF},t}$ —— 第 t 年时，乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)；

| | | |
|--------------|----|--|
| $V_{AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷 ($m^3 \cdot hm^{-2}$)； |
| RSR_{AF} | —— | 基于林分的乔木林地下生物量与地上生物量的比值，无量纲； |
| $AGB_{AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t \cdot d.m \cdot hm^{-2}$)； |
| SVD | —— | 乔木林的基本木材密度，单位为吨每立方米 ($t \cdot d.m \cdot m^{-3}$)； |
| BEF | —— | 乔木林的生物量扩展因子，是地上生物量与树干生物量的比值，无量纲； |
| t | —— | 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3 \dots$ ，无量纲。 |

在项目设计阶段可采用乔木林单位面积蓄积量随林龄变化的模型（表 A.11）计算从项目开始以来逐年单位面积蓄积量（公式 A.7）。在项目实施阶段则须通过监测乔木林密度、平均树高和（或）胸径等（见附录 F）来计算单位面积蓄积量。

A. 3.3 机载激光雷达估测法

利用机载激光雷达数据进行单木分割，获取单木位置、树高和冠幅，并与实际中单木位置进行精准匹配。通过实测不同径级的单木样株生物量，构建单木生物量模型。基于激光雷达单木分割获取的每株单木的激光点云数据，计算每株单木的地上生物量，以及单位面积地上生物量：

$$AGB_{AF,t} = \frac{\sum_i \sum_j \sum_s f_{AGB,AF}(x_{1,i,j,s,t}, x_{2,i,j,s,t}, x_{3,i,j,s,t} \dots)}{A_{AF,t}} \times 10^{-3} \quad (A.18)$$

式中：

| | | |
|-----------------------------------|----|---|
| $AGB_{AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t \cdot d.m \cdot hm^{-2}$)； |
| $f_{AGB,AF}(x_1, x_2, x_3 \dots)$ | —— | 乔木单株地上生物量与激光点云数据的相关方程，单位为千克每株 ($kg \cdot d.m \cdot stem^{-1}$)。其中， $x_1, x_2, x_3 \dots$ 为树高、冠幅、枝下高等； |
| $A_{AF,t}$ | —— | 第 t 年时，乔木林面积，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； |
| s | —— | 第 i 项目碳层内第 j 类树种的单木， $s=1, 2, 3 \dots$ ，单位为株 ($stem$)； |
| t | —— | 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3 \dots$ ，无量纲。 |

基于上述方法获得乔木林单位面积地上生物量，再利用乔木林地下生物量与地上生物量的比值转换成单位面积全林生物量。

A. 4 竹林生物量的计算

单位面积竹林生物量包括地上生物量和地下生物量：

$$B_{Total,BF} = AGB_{BF} + BGB_{BF} \quad (A.19)$$

式中：

| | | |
|----------------|----|--|
| $B_{Total,BF}$ | —— | 竹林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 ($t \cdot d.m \cdot hm^{-2}$)； |
|----------------|----|--|

- AGB_{BF} —— 竹林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
 BGB_{BF} —— 竹林单位面积地下生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)。

A. 4. 1 竹林地上生物量的计算方法

新造竹林生长发育可分为发育阶段（一般大径散生竹林 1-9 年、小径散生竹林 1-5 年、丛生竹 1-5 年、混生竹 1-6 年）和成林稳定阶段（一般大径散生竹林从第 10 年开始、小径散生竹林从第 6 年开始、丛生竹从第 6 年开始、混生竹从第 7 年开始）。

在发育阶段，竹林的生物量、株数、平均胸径、平均竹高等都会发生明显的变化。而达到成林稳定阶段后，由于择伐或自然枯损以及新竹的生长，竹林地上生物量基本上处于动态平衡状态。

假定竹林达到成熟稳定的竹龄为 T_b ，在竹龄 (t_b) 达到成熟稳定年龄之前 ($t_b \leq T_b$)，可采用下列方法计算竹林地上生物量。竹林达到成林稳定后 ($t_b > T_b$)，则等于第 T_b 年时的竹林地上生物量。

在项目设计阶段，采用平均生长量的方法计算竹林地上生物量：

$$AGB_{BF,t_b} = \begin{cases} \frac{AGB_{BF,T_b}}{T_b} \times t_b & t_b \leq T_b \\ AGB_{BF,T_b} & t_b > T_b \end{cases} \quad (A.20)$$

式中：

- AGB_{BF,t_b} —— 第 t_b 年时，竹林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
 AGB_{BF,T_b} —— 竹林达到成熟稳定后的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)，见表 A.12；
 T_b —— 竹林达到成熟稳定的年龄，无量纲；
 t_b —— 项目竹龄，无量纲。

在项目实施阶段，监测竹林单位面积株数、平均胸径和（或）竹高等（见附录 F），采用单株地上生物量与胸径和（或）竹高的相关方程计算单位面积地上生物量。

$$AGB_{BF,t_b} = f_{AGB,BF}(DBH_{t_b}, H_{t_b}) \times N_{t_b} \times 10^{-3} \quad (A.21)$$

式中：

- AGB_{BF,t_b} —— 第 t_b 年时，竹林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
 $f_{AGB,BF}(DBH, H)$ —— 竹子单株地上生物量与胸径和（或）竹高的相关方程，单位为千克每株 ($kg\ d.m.\cdot stem^{-1}$)，见表 A.13 和表 A.14；
 DBH_{t_b} —— 第 t_b 年时，竹林平均单株胸径，单位为厘米 (cm)；
 H_{t_b} —— 第 t_b 年时，竹林平均单株高度，单位为米 (m)；
 N_{t_b} —— 第 t_b 年时，竹林的单位面积株数，单位为株每公顷 ($stem\cdot hm^{-2}$)；
 t_b —— 项目竹龄，无量纲；
 10^{-3} —— 将千克转换为吨的常数。

A. 4. 2 竹林地下生物量的计算方法

由于竹林经营通常只移除地上部分，而地下部分（竹蔸、竹根和竹鞭）仍会在较长时间内留存于林地中，竹林地下生物质碳储量通常还会继续增加，即竹林地下生物量与地上生物量的比值会随着竹林年龄的增加而增加，呈现动态变化关系。

在竹林达到成熟稳定的年龄前，通过竹林地下生物量与地上生物量的比值，结合竹林地上生物量的变化，计算竹林地下生物量。当竹林成熟稳定后，经过一段时间的经营，考虑到地下生物量生长也存在上限，本文件保守地假定 $t_b > 2T_b$ 时，地下生物量不再增长。

$$BGB_{BF,t_b} = \begin{cases} AGB_{BF,t_b} \times RSR_{BF}, & t_b \leq T_b \\ AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF} + SC_{BF,t_b} \times AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF}, & T_b < t_b \leq 2T_b \\ AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF} + SC_{BF,2T_b} \times AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF}, & t_b > 2T_b \end{cases} \quad (A.22)$$

式中：

- BGB_{BF,t_b} —— 第 t_b 年时，竹林单位面积地下生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
- AGB_{BF,t_b} —— 第 t_b 年时，竹林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
- RSR_{BF} —— 基于林分的竹林地下生物量与地上生物量的比值，无量纲，见表 A.12；
- AGB_{BF,T_b} —— 竹林达到稳定成熟年龄时的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
- SC_{BF,t_b} —— 第 t_b 年时，竹林累计择伐地上生物量占 AGB_{BF,T_b} 的比例（如株数比例），无量纲。

A. 5 灌木林单位面积生物量的计算

灌木林单位面积生物量计算方法，可按照下列方法的优先顺序进行选择。在项目实施阶段，每次监测和核算均须使用同一类方法，以保证项目减排量核算结果的可比性。

A. 5. 1 生物量方程法

通过构建灌木林单株全株生物量、地上（或地上部各器官）或地下生物量与灌木测树因子（如基径、灌高、冠幅等）的相关方程，再结合单位面积灌木株数进行计算。在选择生物量方程时，优先选择全株生物量方程，其次选择地上和地下生物量方程（表 A.16 和表 A.17）。

$$B_{Total,SF} = \sum_j \sum_p f_{SF,j,p}(x_1, x_2, x_3 \dots) \times N_j \times 10^{-3} \quad (A.23)$$

式中：

- $B_{Total,SF}$ —— 灌木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；
- $f_{SF,j,p}(x_1, x_2, x_3 \dots)$ —— 灌木林中第 j 类灌木器官 p 的生物量与测树因子（ $x_1, x_2, x_3 \dots$ ，如基径、灌高、冠幅等）的相关方程，单位为千克每株（kg·stem⁻¹）；
- N_j —— 灌木林中第 j 类灌木的单位面积株数，单位为株每公顷（stem·hm⁻²）；

| | | |
|-----------|----|--|
| j | —— | 灌木种类, $j=1, 2, 3, \dots$, 无量纲; |
| p | —— | 灌木的器官, 可分为叶、枝、茎、根等; 也可分为地上与地下部分; 也可是全株, 无量纲; |
| 10^{-3} | —— | 将千克转换为吨的常数。 |

A. 5. 2 缺省值法

对于灌木造林, 当灌木盖度 <0.05 时, 灌木生物量可忽略不计, 计为 0。当灌木盖度 ≥ 0.05 时, 按照下列方式计算:

$$B_{\text{Total,SF},t} = AGB_{\text{SF}} \times CC_{\text{SF},t} \times (1 + RSR_{\text{SF}}) \quad (\text{A.24})$$

式中:

| | | |
|-------------------------|----|--|
| $B_{\text{Total,SF},t}$ | —— | 第 t 年时, 灌木林单位面积全林生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$); |
| AGB_{SF} | —— | 灌木林成熟稳定时的平均单位面积地上生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$), 见表 A.15; |
| $CC_{\text{SF},t}$ | —— | 第 t 年时, 灌木林盖度, 用小数表示 (例如盖度 10% 记为 0.10), 无量纲; |
| RSR_{SF} | —— | 基于林分的灌木林地下生物量与地上生物量的比值, 无量纲, 见表 A.15。 |

A. 6 原有植被生物质碳储量变化量的计算

项目业主须选择以下方式之一, 确定项目原有植被生物质碳储量变化量:

a) 在项目设计阶段和项目实施阶段, 项目业主可选择对每个项目碳层内原有的散生木(竹)进行逐一标记, 记录编号和数量, 并确保项目实施阶段不会人为移除原有散生木(竹)。项目业主仅对造林项目新增的林木(竹)进行监测, 同时忽略原有植被的生物质碳储量变化量, 即 $\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PE}},t} = 0$;

b) 如果项目开始时项目业主未对原有散生木(竹)进行标记, 则在项目首次监测时须补充标记原有散生木(竹)。项目业主须对新增林木进行监测, 并计算项目各碳层的生物质碳储量变化量, 再对原有植被的生物质碳储量变化量进行扣除。原有植被的生物质碳储量变化量按照公式 (A.25) 进行计算。

$$\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PE}},t} = \sum_i (\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PRO}},i,t} \times CD_{\text{PE},i,t_0}) \quad (\text{A.25})$$

式中:

| | | |
|--|----|---|
| $\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PE}},t}$ | —— | 项目原有散生木(竹)第 t 年的生物质碳储量变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$); |
| $\Delta C_{\text{Biomass}_{\text{PRO}},i,t}$ | —— | 第 i 个项目碳层第 t 年的生物质碳储量变化量 (包括原有植被和新增林木), 单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$), 采用本文件附录 A 计算; |
| CD_{PE,i,t_0} | —— | 项目开始时第 i 个项目碳层原有散生木(竹)的平均冠层盖度, 无量纲。须利用项目开始前的调查数据或高清遥感影像资料进行确定。以小数表示, 例如盖度 10% 计为 0.10, 若无散生木(竹)则计为 0; |
| i | —— | 项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。 |

c) 如果基准线和项目情景下会发生灌木的移除, 可根据移除比例 (如灌木盖度变化), 采用公式 (A.24) 计算项目边界内原有灌木生物量的减少量。

A.7 生物量模型与参数

表 A.1 中国主要乔木林树种单株生物量与胸径或树高的相关方程（行业标准汇总）

| 树种 | 适用范围 | 生物量 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | |
|-----|--------------------------|---------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | | | | 模型参数 | | R^2 | 模型参数 | | | R^2 |
| | | | | a | b | | a | b | c | |
| 油松 | 晋冀鲁 京津蒙 辽豫甘 青宁陕 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.08611 | 2.46157 | 0.95 | 0.06777 | 2.18050 | 0.4361 | 0.95 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.42937 | 1.46329 | | 0.39835 | 1.07994 | 0.4361 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.01093 | 2.66478 | 0.87 | 0.01090 | 2.66184 | 0.0046 | 0.87 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.10931 | 1.23382 | | 0.13901 | 1.07994 | 0.0046 | |
| 湿地松 | 闽赣湘 粤桂 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.08389 | 2.44091 | 0.94 | 0.04744 | 2.10359 | 0.6311 | 0.97 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.30976 | 1.62928 | | 0.29002 | 0.97868 | 0.6311 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.04357 | 2.22877 | 0.91 | 0.03526 | 2.10359 | 0.2342 | 0.90 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.07144 | 1.92151 | | 0.07199 | 1.66011 | 0.2342 | |
| 云南松 | 川滇藏 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09492 | 2.35667 | 0.92 | 0.07023 | 2.10392 | 0.4112 | 0.95 |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.01654 | 2.34490 | 0.78 | 0.01436 | 2.22637 | 0.1928 | 0.81 |
| 马尾松 | 苏浙徽 闽赣湘 粤桂贵 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09949 | 2.40859 | 0.95 | 0.06662 | 2.09317 | 0.4976 | 0.96 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.14769 | 2.16312 | | 0.11727 | 1.74179 | 0.4976 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.00811 | 2.69505 | 0.89 | 0.00883 | 2.73828 | -0.0803 | 0.88 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.03384 | 1.80754 | | 0.04367 | 1.74485 | -0.0803 | |
| | 鄂川 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.13792 | 2.34359 | 0.91 | 0.09235 | 2.02817 | 0.4976 | 0.92 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.18919 | 2.14721 | | 0.18167 | 1.60778 | 0.4976 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.01125 | 2.63005 | 0.58 | 0.01224 | 2.67327 | -0.8026 | 0.75 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.04335 | 1.79163 | | 0.06766 | 1.61084 | -0.8026 | |
| 杉木 | 湘鄂粤 桂浙徽 苏川贵 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07637 | 2.40393 | 0.96 | 0.06539 | 2.01735 | 0.4943 | 0.97 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.21277 | 1.76730 | | 0.19071 | 1.35226 | 0.4943 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.01550 | 2.44421 | 0.92 | 0.01639 | 2.52941 | -0.1174 | 0.92 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.03299 | 1.97505 | | 0.34655 | 2.06398 | -0.1174 | |
| | 赣闽 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.04363 | 2.54589 | 0.98 | 0.03272 | 2.11093 | 0.6021 | 0.98 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.20848 | 1.57405 | | 0.17382 | 1.07322 | 0.6021 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.00886 | 2.58617 | 0.76 | 0.00820 | 2.62298 | -0.0096 | 0.84 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.03232 | 1.78179 | | 0.31586 | 1.78495 | -0.0096 | |
| 落叶松 | 黑吉辽、蒙东部 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.11270 | 2.39582 | 0.96 | 0.06848 | 2.01549 | 0.5915 | 0.97 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.18254 | 2.09620 | | 0.14583 | 1.54581 | 0.5915 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.04258 | 2.37053 | 0.94 | 0.04441 | 2.40255 | -0.0498 | 0.94 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.01671 | 2.95176 | | 0.01632 | 3.02446 | -0.0498 | |
| | 晋冀、蒙中西部 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07302 | 2.47298 | 0.92 | 0.06233 | 2.01549 | 0.5915 | 0.92 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.14214 | 2.05910 | | 0.17051 | 1.39024 | 0.5915 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02829 | 2.36403 | 0.90 | 0.02867 | 2.40255 | -0.0498 | 0.90 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.02275 | 2.49938 | | 0.03919 | 2.20824 | -0.0498 | |
| | 新 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.11795 | 2.33612 | 0.92 | 0.05851 | 2.01549 | 0.5915 | 0.96 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.14236 | 2.21923 | | 0.12291 | 1.55432 | 0.5915 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02055 | 2.37556 | 0.70 | 0.02180 | 2.40255 | -0.0498 | 0.70 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.07852 | 1.54259 | | 0.05325 | 1.84756 | -0.0498 | |
| | 川滇藏 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.11161 | 2.32803 | 0.90 | 0.05577 | 2.01549 | 0.5915 | 0.95 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.16341 | 2.09118 | | 0.15678 | 1.37332 | 0.5915 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02136 | 2.37623 | 0.71 | 0.02265 | 2.40255 | -0.0498 | 0.71 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.03663 | 2.04127 | | 0.03145 | 2.19867 | -0.4980 | |
| 云杉 | 黑吉 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09307 | 2.43215 | 0.97 | 0.08070 | 2.25957 | 0.2566 | 0.98 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.13695 | 2.19211 | | 0.12976 | 1.96448 | 0.2566 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02072 | 2.47431 | 0.81 | 0.02513 | 2.70802 | -0.3475 | 0.80 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.77534 | 1.65434 | | 0.08751 | 1.93277 | -0.3475 | |
| | 甘青、新疆天山 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.14865 | 2.28906 | 0.91 | 0.12890 | 2.09828 | 0.2566 | 0.91 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.31796 | 1.81664 | | 0.30798 | 1.55710 | 0.2566 | |
| BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.04632 | 2.28836 | 0.81 | 0.05618 | 2.54672 | -0.3475 | 0.85 | | |

| 树种 | 适用范围 | 生物量 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | | |
|----|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|------|
| | | | | 模型参数 | | R ² | 模型参数 | | | R ² | |
| | | | | a | b | | a | b | c | | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.09703 | 1.82893 | | 0.09415 | 2.22593 | -0.3475 | | |
| | 新疆阿尔泰山 | AGB | DBH≥5cm | 0.15559 | 2.25877 | 0.83 | 0.13492 | 2.07331 | 0.2566 | 0.89 | |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.17081 | 2.20079 | | 0.17492 | 1.91201 | 0.2566 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.03408 | 2.27061 | 0.84 | 0.04134 | 2.52175 | -0.3475 | 0.85 | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.06622 | 1.85795 | | 0.06690 | 2.22700 | -0.3475 | | |
| | 川 | AGB | DBH≥5cm | 0.12961 | 2.30961 | 0.89 | 0.11239 | 2.12257 | 0.2566 | 0.89 | |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.30880 | 1.77020 | | 0.31004 | 1.49208 | 0.2566 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.02679 | 2.31771 | 0.97 | 0.03249 | 2.57101 | -0.3475 | 0.97 | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.69286 | 1.72732 | | 0.05914 | 2.19889 | -0.3475 | | |
| | 滇 | AGB | DBH≥5cm | 0.10554 | 2.38926 | 0.96 | 0.09152 | 2.21060 | 0.2566 | 0.98 | |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.18746 | 2.03230 | | 0.16923 | 1.82866 | 0.2566 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.02413 | 2.41710 | 0.94 | 0.02927 | 2.65904 | -0.3475 | 0.93 | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.03062 | 2.26907 | | 0.03812 | 2.49485 | -0.3475 | | |
| | 藏 | AGB | DBH≥5cm | 0.18143 | 2.21804 | 0.91 | 0.15732 | 2.03623 | 0.2566 | 0.92 | |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.13692 | 2.39293 | | 0.12691 | 2.16973 | 0.2566 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.03144 | 2.23846 | 0.85 | 0.03813 | 2.48467 | -0.3475 | 0.80 | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.02642 | 2.34646 | | 0.03278 | 2.57872 | -0.3475 | | |
| | 冷杉 | 黑吉 | AGB | DBH≥5cm | 0.09088 | 2.41762 | 0.95 | 0.06945 | 2.05753 | 0.5084 | 0.96 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.14035 | 2.14761 | | 0.12545 | 1.69012 | 0.5084 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.02608 | 2.30198 | 0.81 | 0.03118 | 2.54141 | -0.3380 | 0.82 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.02230 | 2.39904 | | 0.02516 | 2.67482 | -0.3380 | |
| | | 甘青、新疆天山 | AGB | DBH≥5cm | 0.09751 | 2.42878 | 0.89 | 0.07451 | 2.05753 | 0.5084 | 0.95 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.13128 | 2.24404 | | 0.10279 | 1.85762 | 0.5084 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.03863 | 2.29457 | 0.89 | 0.04620 | 2.54141 | -0.3380 | 0.90 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.01360 | 2.94304 | | 0.01570 | 3.21188 | -0.3380 | |
| | | 川 | AGB | DBH≥5cm | 0.08486 | 2.40985 | 0.88 | 0.06484 | 2.05753 | 0.5084 | 0.93 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.16896 | 1.98195 | | 0.15765 | 1.50552 | 0.5084 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.02407 | 2.30715 | 0.85 | 0.02879 | 2.54141 | -0.3380 | 0.83 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.02519 | 2.27893 | | 0.02722 | 2.57625 | -0.3380 | |
| | | 滇 | AGB | DBH≥5cm | 0.08018 | 2.41049 | 0.99 | 0.06127 | 2.05753 | 0.5084 | 0.99 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.18175 | 1.90205 | | 0.19406 | 1.34122 | 0.5084 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.02942 | 2.30673 | 0.87 | 0.03518 | 2.54141 | -0.3380 | 0.90 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.05096 | 1.96530 | | 0.05257 | 2.29188 | -0.3380 | |
| | 藏 | AGB | DBH≥5cm | 0.08116 | 2.42411 | 0.94 | 0.06202 | 2.05753 | 0.5084 | 0.95 | |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.10366 | 2.27209 | | 0.09159 | 1.81526 | 0.5084 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.03035 | 2.29767 | 0.94 | 0.03630 | 2.54141 | -0.3380 | 0.94 | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.01041 | 2.96271 | | 0.01263 | 3.19747 | -0.3380 | | |
| | 柳杉 | AGB | DBH≥5cm | 0.15483 | 2.17100 | 0.94 | 0.09311 | 1.81174 | 0.6068 | 0.97 | |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.22754 | 1.93180 | | 0.19780 | 1.34355 | 0.6068 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.01406 | 2.57193 | 0.87 | 0.01679 | 2.69756 | -0.2122 | 0.86 | |
| | | BGB | DBH<5cm | 0.06279 | 1.93180 | | 0.05884 | 1.91838 | -0.2122 | | |
| | 栎树 | 黑吉辽、蒙东部 | AGB | DBH≥5cm | 0.09135 | 2.48954 | 0.92 | 0.06149 | 2.14380 | 0.5839 | 0.95 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.11963 | 2.32194 | | 0.10918 | 1.78705 | 0.5839 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.04588 | 2.30079 | 0.81 | 0.05183 | 2.40723 | -0.1797 | 0.80 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.08646 | 1.90705 | | 0.29352 | 1.32981 | -0.1797 | |
| | | 豫晋冀陕青甘宁 | AGB | DBH≥5cm | 0.09393 | 2.54608 | 0.94 | 0.07509 | 2.32637 | 0.3302 | 0.95 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.20484 | 2.06167 | | 0.15419 | 1.87937 | 0.3302 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.05209 | 2.30130 | 0.89 | 0.06989 | 2.58980 | -0.4335 | 0.88 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.12730 | 1.74612 | | 0.17702 | 2.01240 | -0.4335 | |
| | | 川滇 | AGB | DBH≥5cm | 0.11520 | 2.42424 | 0.91 | 0.07806 | 2.06321 | 0.5739 | 0.92 |
| | | | AGB | DBH<5cm | 0.29813 | 1.83342 | | 0.22999 | 1.39183 | 0.5739 | |
| | | | BGB | DBH≥5cm | 0.04890 | 2.20730 | 0.77 | 0.05561 | 2.32664 | -0.1897 | 0.78 |
| | | | BGB | DBH<5cm | 0.14067 | 1.55077 | | 0.15621 | 1.68493 | -0.1897 | |

| 树种 | 适用范围 | 生物量 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|
| | | | | 模型参数 | | R ² | 模型参数 | | | R ² |
| | | | | a | b | | a | b | c | |
| 鄂湘赣 徽浙渝 贵 | AGB | DBH≥5cm | 0.21360 | 2.30416 | 0.91 | 0.13188 | 1.82892 | 0.7112 | 0.97 | |
| | | DBH<5cm | 0.22586 | 2.26960 | | 0.15444 | 1.73082 | 0.7112 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.11060 | 2.05730 | 0.79 | 0.11460 | 2.09235 | -0.0525 | 0.75 |
| | | | DBH<5cm | 0.06271 | 2.40982 | | 0.05344 | 2.56640 | -0.0525 | |
| 桦树 | 黑吉、 蒙东部 (白桦) | AGB | DBH≥5cm | 0.10298 | 2.44022 | 0.94 | 0.06807 | 2.10850 | 0.5202 | 0.96 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.14305 | 2.23603 | | 0.10408 | 1.84470 | 0.5202 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.05511 | 2.25464 | 0.81 | 0.04409 | 2.07591 | 0.2803 | 0.79 |
| | | | DBH<5cm | 0.05612 | 2.24334 | | 0.04729 | 2.03242 | 0.2803 | |
| | 黑吉、 蒙东部 (其他桦) | AGB | DBH≥5cm | 0.09588 | 2.42564 | 0.92 | 0.06338 | 2.10850 | 0.5202 | 0.94 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.13863 | 2.19653 | | 0.11029 | 1.76426 | 0.5202 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.04916 | 2.24678 | 0.71 | 0.03933 | 2.07591 | 0.2803 | 0.71 |
| | | | DBH<5cm | 0.05998 | 2.12325 | | 0.05409 | 1.87801 | 0.2803 | |
| | 蒙中西部、 豫 晋陕青 甘宁新 | AGB | DBH≥5cm | 0.11146 | 2.42983 | 0.94 | 0.07367 | 2.10850 | 0.5202 | 0.95 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.30646 | 1.80136 | | 0.20254 | 1.48013 | 0.5202 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.05084 | 2.24904 | 0.86 | 0.04068 | 2.07591 | 0.2803 | 0.85 |
| | | | DBH<5cm | 0.08875 | 1.90290 | | 0.07566 | 1.69031 | 0.2803 | |
| | 川滇 | AGB | DBH≥5cm | 0.09615 | 2.41861 | 0.88 | 0.06356 | 2.10850 | 0.5202 | 0.90 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.13097 | 2.22660 | | 0.08907 | 1.89878 | 0.5202 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.04159 | 2.24300 | 0.82 | 0.03328 | 2.07591 | 0.2803 | |
| | | | DBH<5cm | 0.02004 | 2.69673 | | 0.01723 | 2.48504 | 0.2803 | 0.82 |
| 木荷 | AGB | DBH≥5cm | 0.17685 | 2.26314 | 0.96 | 0.12045 | 2.06446 | 0.3827 | 0.96 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.06408 | 2.19784 | 0.81 | 0.08177 | 2.32395 | -0.2429 | 0.82 |
| 枫香 | AGB | DBH≥5cm | 0.10615 | 2.46650 | 0.95 | 0.08909 | 2.25564 | 0.3041 | 0.96 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.09552 | 2.14190 | 0.92 | 0.12052 | 2.42178 | -0.4037 | 0.90 |
| 柏木 | 京津冀 晋蒙鲁 豫 | AGB | DBH≥5cm | 0.15341 | 2.31696 | 0.92 | 0.12483 | 1.91489 | 0.6152 | 0.95 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.36274 | 1.78224 | | 0.27086 | 1.43357 | 0.6152 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.05961 | 2.16657 | 0.88 | 0.04381 | 1.76750 | 0.6428 | 0.90 |
| | | | DBH<5cm | 0.14096 | 1.63185 | | 0.09507 | 1.28618 | 0.6428 | |
| | 陕甘青 | AGB | DBH≥5cm | 0.13313 | 2.25359 | 0.85 | 0.08947 | 1.91489 | 0.6152 | 0.90 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.48331 | 1.45248 | | 0.33843 | 1.08825 | 0.6152 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.05487 | 2.10320 | 0.81 | 0.03370 | 1.76750 | 0.6428 | 0.86 |
| | | | DBH<5cm | 0.19921 | 1.30209 | | 0.12749 | 0.94085 | 0.6428 | |
| | 川滇藏 | AGB | DBH≥5cm | 0.14179 | 2.32928 | 0.89 | 0.09433 | 1.91489 | 0.6152 | 0.98 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.23907 | 2.00472 | | 0.16090 | 1.58314 | 0.6152 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.03917 | 2.17890 | 0.77 | 0.02453 | 1.76750 | 0.6428 | 0.93 |
| | | | DBH<5cm | 0.06603 | 1.85434 | | 0.04184 | 1.43574 | 0.6428 | |
| | 浙鄂湘 粤渝贵 | AGB | DBH≥5cm | 0.14734 | 2.34512 | 0.93 | 0.10014 | 1.91489 | 0.6152 | 0.95 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.19117 | 2.18332 | | 0.12088 | 1.79791 | 0.6152 | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.05617 | 2.19473 | 0.87 | 0.03518 | 1.76750 | 0.6428 | 0.91 |
| | | | DBH<5cm | 0.07288 | 2.03293 | | 0.04247 | 1.65052 | 0.6428 | |
| 高山松 | AGB | DBH≥5cm | 0.10387 | 2.37122 | 0.90 | 0.08909 | 2.25564 | 0.3041 | 0.94 | |
| | | DBH<5cm | 0.24417 | 1.84015 | | 0.22306 | 1.62370 | 0.2747 | | |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.02174 | 2.37122 | 0.77 | 0.01586 | 2.19183 | 0.3257 | 0.79 |
| | | | DBH<5cm | 0.05024 | 1.84015 | 0.77 | 0.03958 | 1.62370 | 0.3257 | 0.79 |
| 思茅松 | 普洱、 西双版纳、 德宏、 临沧 | AGB | DBH≥5cm | 0.02742 | 2.80363 | 0.96 | 0.02106 | 2.52398 | 0.4163 | 0.97 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.11144 | 1.93247 | 0.96 | 0.10397 | 1.53180 | 0.4163 | 0.97 |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.00636 | 2.68731 | 0.94 | 0.00402 | 2.63445 | 0.2252 | 0.93 |
| | | | DBH<5cm | 0.01379 | 2.20606 | 0.94 | 0.01624 | 1.76761 | 0.2252 | 0.93 |
| 樟子松 | 蒙东 部、黑 吉辽 | AGB | DBH≥5cm | 0.07599 | 2.42539 | 0.94 | 0.05460 | 2.23412 | 0.3478 | 0.94 |
| | | AGB | DBH<5cm | 0.07599 | 2.42539 | 0.94 | 0.17577 | 1.50770 | 0.3478 | 0.94 |
| | | BGB | DBH≥5cm | 0.01281 | 2.50659 | 0.78 | 0.01131 | 2.57232 | -0.0398 | 0.76 |

| 树种 | 适用范围 | 生物量 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | |
|-----|--------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | | | | 模型参数 | | R^2 | 模型参数 | | | R^2 |
| | | | | a | b | | a | b | c | |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.08105 | 1.36051 | 0.78 | 0.03343 | 1.89875 | -0.0398 | 0.76 |
| 椴树 | 黑吉辽 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07111 | 2.45853 | 0.93 | 0.03798 | 2.12825 | 0.6112 | 0.96 |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02158 | 2.51509 | 0.86 | 0.01671 | 2.70249 | -0.1312 | 0.86 |
| 榆树 | 黑吉辽 冀蒙 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.18527 | 2.17522 | 0.92 | 0.10266 | 1.98520 | 0.4907 | 0.95 |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07187 | 2.14011 | 0.87 | 0.04323 | 2.06056 | 0.3372 | 0.91 |
| 黄山松 | 浙徽闽 赣 | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09421 | 2.41667 | 0.93 | 0.05952 | 2.12183 | 0.5238 | 0.95 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.18297 | 2.00425 | | 0.16591 | 1.48491 | 0.2524 | |
| 杨树 | 黑吉辽 蒙 (天然 山杨) | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07357 | 2.49646 | 0.94 | 0.04502 | 2.12223 | 0.5916 | 0.96 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.13307 | 2.12826 | | 0.08428 | 1.73268 | 0.5916 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02407 | 2.36207 | 0.92 | 0.02243 | 2.30820 | 0.0852 | 0.92 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.04152 | 2.02344 | | 0.05776 | 1.72050 | 0.0852 | |
| | 陕甘青 宁新 (天然 山杨) | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07529 | 2.51165 | 0.95 | 0.04607 | 2.14892 | 0.5916 | 0.95 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.15911 | 2.04669 | | 0.09107 | 1.72550 | 0.5916 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02512 | 2.38711 | 0.90 | 0.02341 | 2.33489 | 0.0852 | 0.90 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.09539 | 1.55813 | | 0.07508 | 1.61070 | 0.0852 | |
| | 川滇藏 (天然 山杨) | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09549 | 2.42842 | 0.93 | 0.05843 | 2.05186 | 0.5916 | 0.96 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.09977 | 2.40118 | | 0.06530 | 1.98276 | 0.5916 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02668 | 2.29204 | 0.87 | 0.02486 | 2.23783 | 0.0852 | 0.87 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.02217 | 2.40704 | | 0.02208 | 2.31139 | 0.0852 | |
| | 黑吉辽 蒙 (人工 杨树) | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09084 | 2.37209 | 0.92 | 0.05559 | 2.00861 | 0.5916 | 0.94 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.12638 | 2.16693 | | 0.09585 | 1.67005 | 0.5916 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.03389 | 2.24690 | 0.67 | 0.03157 | 2.19458 | 0.0852 | 0.66 |
| | | BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.03201 | 2.28221 | | 0.03961 | 2.05364 | 0.0852 | |
| | 鲁豫蒙 冀晋京 (人工 杨树) | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.07685 | 2.50731 | 0.92 | 0.04703 | 2.12487 | 0.5916 | 0.94 |
| | | AGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.10182 | 2.33251 | | 0.06741 | 1.90115 | 0.5916 | |
| | | BGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.02606 | 2.36590 | 0.91 | 0.02428 | 2.31085 | 0.0852 | 0.91 |
| | 苏徽鄂 湘渝贵 (人工 杨树) | AGB | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.04792 | 2.67346 | 0.97 | 0.02933 | 2.27634 | 0.5916 | 0.98 |
| AGB | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.13816 | 2.01559 | | 0.09837 | 1.52435 | 0.5916 | | |
| BGB | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.01232 | 2.51948 | 0.94 | 0.01148 | 2.46232 | 0.0852 | 0.94 | |
| BGB | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.05851 | 1.55130 | | 0.05966 | 1.43820 | 0.0852 | | | |

注 1: 一元模型方程的表达式为 $M = a \cdot DBH^b$, 二元模型方程的表达式为 $M = a \cdot DBH^b \cdot H^c$ 。其中, M 为单株生物量, 单位为千克 (kg d.m.); AGB 为地上生物量, 单位为千克 (kg d.m.); BGB 为地下生物量, 单位为千克 (kg d.m.); DBH 为胸径, 单位为厘米 (cm); H 为树高, 单位为米 (m); a 、 b 、 c 为模型参数; R^2 为决定系数。

注 2: 在造林密度和立地条件等相对一致的情况下, 应优先选择基于胸径的一元模型, 否则应选择基于胸径和树高的二元模型。本表中未包含的树种, 可参考表 A.2 和表 A.3 中的方程。本表未包含的树种, 可采用文献值。

表 A.2 中国主要乔木林树种单株生物量与胸径的相关方程 (文献混合建模)

| 树种 (组) | 器官 | a | b | R^2 | 胸径范围 |
|--------|----|--------|--------|-------|-----------|
| 针叶树 | 地上 | 0.1112 | 2.3689 | 0.926 | 1.0~95.0 |
| | 整株 | 0.1533 | 2.3377 | 0.917 | 1.0~95.0 |
| 阔叶树 | 地上 | 0.0622 | 2.5289 | 0.933 | 1.0~150.0 |
| | 整株 | 0.0277 | 2.7518 | 0.944 | 1.0~150.0 |
| 云冷杉 | 地上 | 0.2848 | 2.1344 | 0.962 | 1.0~95.0 |
| | 整株 | 0.3492 | 2.1103 | 0.963 | 1.0~95.0 |
| 红松 | 地上 | 0.1380 | 2.2885 | 0.980 | 1.0~80.0 |
| | 整株 | 0.0380 | 2.7330 | 0.996 | 1.0~50.0 |
| 栲类 | 地上 | 0.0076 | 3.2895 | 0.964 | 2.0~40.0 |
| | 整株 | 0.0130 | 3.1995 | 0.977 | 2.0~40.0 |

| 树种(组) | 器官 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>R</i> ² | 胸径范围 |
|-------|----|----------|----------|-----------------------|----------|
| 桉树 | 地上 | 0.1882 | 2.1916 | 0.953 | 2.0~19.7 |
| | 整株 | 0.1898 | 2.2407 | 0.937 | 2.0~19.7 |
| 橡胶 | 地上 | 0.1784 | 2.3197 | 0.984 | 2.0~38.0 |
| | 整株 | 0.2113 | 2.3117 | 0.991 | 2.0~38.0 |
| 青冈 | 地上 | 0.2235 | 2.2311 | 0.977 | 3.2~37.5 |
| | 整株 | 0.1930 | 2.3590 | 0.998 | 3.2~37.5 |

注：方程表达式为 $Y = a \cdot DBH^b$ 。其中，*Y*为单株生物量，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.3 中国主要乔木林树种单株生物量与胸径和树高的相关方程（文献混合建模）

| 树种(组) | 器官 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>R</i> ² | 胸径范围 | 树高范围 |
|-------|----|----------|----------|-----------------------|-----------|----------|
| 针叶树 | 地上 | 32.6335 | 0.9472 | 0.933 | 1.0~80.0 | 0.7~36.0 |
| | 整株 | 51.5232 | 0.9212 | 0.923 | 1.0~80.0 | 0.7~36.0 |
| 阔叶树 | 地上 | 119.1632 | 0.8542 | 0.921 | 1.0~150.0 | 0.7~66.8 |
| | 整株 | 102.1363 | 0.8793 | 0.931 | 1.0~150.0 | 0.7~66.8 |
| 云冷杉 | 地上 | 227.3627 | 0.7660 | 0.853 | 1.0~46.0 | 2.3~33.4 |
| | 整株 | 707.3147 | 0.6703 | 0.793 | 1.0~46.0 | 2.3~23.3 |
| 红松 | 地上 | 164.1689 | 0.7998 | 0.971 | 1.0~50.0 | 1.5~25.5 |
| | 整株 | 141.8679 | 0.8427 | 0.985 | 1.0~50.0 | 1.5~25.5 |
| 水杉 | 地上 | 131.9814 | 0.7589 | 0.967 | 2.0~32.0 | 5.8~22.7 |
| | 整株 | 191.4221 | 0.7385 | 0.964 | 2.0~32.0 | 5.8~22.7 |
| 侧柏 | 地上 | 270.7737 | 0.7326 | 0.861 | 2.0~20.0 | 2.4~11.5 |
| | 整株 | 72.5015 | 0.9334 | 0.985 | 2.0~20.0 | 2.4~9.8 |
| 桉树 | 地上 | 10.6870 | 1.1219 | 0.884 | 2.0~23.0 | 4.1~29.0 |
| | 整株 | 11.6078 | 1.1356 | 0.858 | 2.0~23.0 | 4.1~29.0 |
| 刺槐 | 地上 | 56.5556 | 0.9282 | 0.976 | 2.0~34.0 | 2.1~18.0 |
| | 整株 | 103.8042 | 0.8764 | 0.969 | 2.0~34.0 | 2.1~18.0 |
| 金合欢 | 地上 | 321.2532 | 0.7195 | 0.875 | 2.0~26.0 | 3.4~24.0 |
| | 整株 | 114.6927 | 0.8634 | 0.993 | 2.0~26.0 | 3.4~24.0 |
| 樟树 | 地上 | 5.7680 | 1.1846 | 0.985 | 2.0~26.0 | 2.8~19.1 |
| | 整株 | 7.4309 | 1.1827 | 0.985 | 2.0~26.0 | 2.8~19.1 |

注：方程表达式为 $Y = a \cdot (DBH^2 \cdot H)^b \cdot 10^{-3}$ 。其中，*Y*为单株生物量，单位为千克(kg d.m.)；*DBH*为胸径，单位为厘米(cm)；*H*为树高，单位为米(m)；*a*、*b*为模型参数；*R*²为决定系数。

表 A.4 中国主要乔木林树种单株材积与胸径或树高的相关方程（行业标准汇总）

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | |
|-----|--------------------------|----------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------------------|
| | | | 模型参数 | | <i>R</i> ² | 模型参数 | | | <i>R</i> ² |
| | | | <i>a</i> | <i>b</i> | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | |
| 油松 | 晋冀鲁 京津蒙 辽豫甘 青宁陕 | $DBH \geq 5cm$ | 0.12867 | 2.45051 | 0.9659 | 0.08547 | 1.97057 | 0.74467 | 0.9876 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.31978 | 1.88486 | 0.9659 | 0.28135 | 1.23026 | 0.74467 | 0.9876 |
| 湿地松 | 闽赣湘 粤桂 | $DBH \geq 5cm$ | 0.16355 | 2.37833 | 0.9457 | 0.07788 | 1.93930 | 0.82136 | 0.9791 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.28709 | 2.02872 | 0.9457 | 0.26351 | 1.18195 | 0.82136 | 0.9791 |
| | 川滇藏 | $DBH \geq 5cm$ | 0.17251 | 2.37594 | 0.8800 | 0.09653 | 1.88886 | 0.79242 | 0.9733 |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | | |
|-----------------|-------------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|--------|
| | | | 模型参数 | | R ² | 模型参数 | | | R ² | |
| | | | a | b | | a | b | c | | |
| 云南松 | | DBH<5cm | 0.17251 | 2.37594 | 0.8800 | 0.09653 | 1.88886 | 0.79242 | 0.9733 | |
| 马尾松 | 苏浙徽 闽赣湘 粤桂贵 | DBH≥5cm | 0.13881 | 2.48492 | 0.9552 | 0.06694 | 1.91140 | 0.90485 | 0.9854 | |
| | | DBH<5cm | 0.21433 | 2.21499 | 0.9552 | 0.14091 | 1.44888 | 0.90485 | 0.9854 | |
| | 鄂川 | DBH≥5cm | 0.14644 | 2.48492 | 0.9448 | 0.07063 | 1.91140 | 0.90485 | 0.9831 | |
| | | DBH<5cm | 0.18142 | 2.35184 | 0.9448 | 0.16851 | 1.37100 | 0.90485 | 0.9831 | |
| 杉木 | 湘鄂粤 桂浙徽 苏川贵 | DBH≥5cm | 0.09301 | 2.61838 | 0.9413 | 0.06799 | 1.83798 | 0.99776 | 0.9934 | |
| | | DBH<5cm | 0.23149 | 2.05185 | 0.9413 | 0.18560 | 1.21398 | 0.99776 | 0.9934 | |
| | 赣闽 | DBH≥5cm | 0.09226 | 2.60314 | 0.9554 | 0.05561 | 1.83798 | 1.05922 | 0.9934 | |
| | | DBH<5cm | 0.20996 | 2.09213 | 0.9554 | 0.15249 | 1.21118 | 1.05992 | 0.9934 | |
| 落叶松 | 黑吉 辽、蒙 东部 | DBH≥5cm | 0.17694 | 2.43583 | 0.9617 | 0.07669 | 1.80035 | 0.99246 | 0.9878 | |
| | | DBH<5cm | 0.16654 | 2.47616 | 0.9617 | 0.11426 | 1.55262 | 0.99426 | 0.9878 | |
| | 晋冀、 蒙中西 部 | DBH≥5cm | 0.09477 | 2.56801 | 0.9574 | 0.07267 | 1.80035 | 0.99246 | 0.9868 | |
| | | DBH<5cm | 0.10844 | 2.48428 | 0.9574 | 0.14715 | 1.36194 | 0.99426 | 0.9868 | |
| | 新 | DBH≥5cm | 0.24773 | 2.33835 | 0.8857 | 0.07640 | 1.80035 | 0.99246 | 0.9669 | |
| | | DBH<5cm | 0.20864 | 2.44505 | 0.8857 | 0.16305 | 1.32936 | 0.99426 | 0.9669 | |
| | 川滇藏 | DBH≥5cm | 0.24067 | 2.32478 | 0.8808 | 0.07514 | 1.80035 | 0.99246 | 0.9760 | |
| | | DBH<5cm | 0.25551 | 2.28762 | 0.8808 | 0.23836 | 1.08307 | 0.99426 | 0.9760 | |
| 云杉 | 黑吉 | DBH≥5cm | 0.12677 | 2.48937 | 0.9394 | 0.07089 | 1.78562 | 1.04651 | 0.9876 | |
| | | DBH<5cm | 0.16450 | 2.32750 | 0.9394 | 0.13202 | 1.39924 | 1.04651 | 0.9876 | |
| | 甘青、 新疆天 山 | DBH≥5cm | 0.11801 | 2.56362 | 0.8616 | 0.06599 | 1.78562 | 1.04651 | 0.9903 | |
| | | DBH<5cm | 0.26385 | 2.06367 | 0.8616 | 0.23169 | 1.00526 | 1.04651 | 0.9903 | |
| | 新疆阿 尔泰山 | DBH≥5cm | 0.11747 | 2.54190 | 0.7919 | 0.06569 | 1.78562 | 1.04651 | 0.9680 | |
| | | DBH<5cm | 0.20471 | 2.19680 | 0.7919 | 0.22553 | 1.10920 | 1.04651 | 0.9680 | |
| | 川 | DBH≥5cm | 0.12123 | 2.54838 | 0.8313 | 0.06779 | 1.78562 | 1.04651 | 0.9576 | |
| | | DBH<5cm | 0.29252 | 2.00109 | 0.8313 | 0.29738 | 0.86695 | 1.04651 | 0.9576 | |
| | 滇 | DBH≥5cm | 0.12603 | 2.51419 | 0.8504 | 0.07047 | 1.78562 | 1.04651 | 0.9847 | |
| | | DBH<5cm | 0.26608 | 2.04985 | 0.8504 | 0.17530 | 1.21941 | 1.04651 | 0.9847 | |
| | 藏 | DBH≥5cm | 0.11773 | 2.52704 | 0.8066 | 0.06583 | 1.78562 | 1.04651 | 0.9807 | |
| | | DBH<5cm | 0.22263 | 2.13116 | 0.8066 | 0.16335 | 1.22096 | 1.04651 | 0.9807 | |
| | 冷杉 | 黑吉 | DBH≥5cm | 0.10871 | 2.55115 | 0.9650 | 0.06265 | 1.81341 | 1.04158 | 0.9895 |
| | | | DBH<5cm | 0.20966 | 2.14304 | 0.9650 | 0.16659 | 1.20574 | 1.04158 | 0.9895 |
| 甘青、 新疆天 山 | | DBH≥5cm | 0.11390 | 2.54010 | 0.8623 | 0.06564 | 1.81341 | 1.04158 | 0.9818 | |
| | | DBH<5cm | 0.17354 | 2.31237 | 0.8623 | 0.10514 | 1.52068 | 1.04158 | 0.9818 | |
| 川 | | DBH≥5cm | 0.10980 | 2.53524 | 0.9339 | 0.06328 | 1.81341 | 1.04158 | 0.9842 | |
| | | DBH<5cm | 0.22558 | 2.08785 | 0.9339 | 0.19574 | 1.11175 | 1.04158 | 0.9842 | |
| 滇 | | DBH≥5cm | 0.11956 | 2.53654 | 0.9081 | 0.0689 | 1.81341 | 1.04158 | 0.9647 | |
| | | DBH<5cm | 0.20097 | 2.21388 | 0.9081 | 0.22985 | 1.06486 | 1.04158 | 0.9647 | |
| 藏 | | DBH≥5cm | 0.11421 | 2.56444 | 0.9384 | 0.06582 | 1.81341 | 1.04158 | 0.9794 | |
| | | DBH<5cm | 0.17514 | 2.29877 | 0.9384 | 0.13592 | 1.36281 | 1.04158 | 0.9794 | |
| 柳杉 | 浙鄂湘 川渝 | DBH≥5cm | 0.15598 | 2.43125 | 0.9494 | 0.06650 | 1.82909 | 1.01703 | 0.9902 | |
| | | DBH<5cm | 0.20944 | 2.24816 | 0.9494 | 0.16561 | 1.26217 | 1.01703 | 0.9902 | |
| 栎树 | 黑吉 辽、蒙 东部 | DBH≥5cm | 0.11983 | 2.44828 | 0.9100 | 0.06405 | 1.90118 | 0.92394 | 0.9780 | |
| | | DBH<5cm | 0.12070 | 2.44378 | 0.9100 | 0.10443 | 1.59739 | 0.92394 | 0.9780 | |
| | | DBH≥5cm | 0.12007 | 2.51608 | 0.9289 | 0.06418 | 1.90118 | 0.92394 | 0.9741 | |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | | |
|-----------------|-------------------------------|------------------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|--------|
| | | | 模型参数 | | R ² | 模型参数 | | | R ² | |
| | | | a | b | | a | b | c | | |
| 豫晋冀 陕青甘 宁 | DBH<5cm | 0.42140 | 1.73601 | 0.9289 | 0.19029 | 1.22584 | 0.92394 | 0.9741 | | |
| | | 0.12466 | 2.48238 | 0.9172 | 0.06663 | 1.90118 | 0.92394 | 0.9671 | | |
| | 川滇 | DBH≥5cm | 0.19649 | 2.19967 | 0.9172 | 0.12939 | 1.48879 | 0.92394 | 0.9172 | |
| | | DBH<5cm | 0.12881 | 2.51860 | 0.9259 | 0.06884 | 1.90118 | 0.92394 | 0.9837 | |
| | 鄂湘赣 徽浙渝 贵 | DBH≥5cm | 0.18093 | 2.30746 | 0.9259 | 0.11042 | 1.60764 | 0.92394 | 0.9837 | |
| | | DBH<5cm | | | | | | | | |
| 桦树 | 黑吉、 蒙东部 (白 桦) | DBH≥5cm | 0.16415 | 2.40688 | 0.9482 | 0.08077 | 1.83864 | 0.89108 | 0.9797 | |
| | | DBH<5cm | 0.19500 | 2.29987 | 0.9482 | 0.11309 | 1.62952 | 0.89108 | 0.9797 | |
| | 黑吉、 蒙东部 (其他 桦) | DBH≥5cm | 0.16415 | 2.38190 | 0.8875 | 0.08077 | 1.83864 | 0.89108 | 0.9444 | |
| | | DBH<5cm | 0.31578 | 1.97537 | 0.8875 | 0.21343 | 1.23490 | 0.89108 | 0.9444 | |
| | 蒙中西 部、豫 晋陕青 甘宁新 | DBH≥5cm | 0.16415 | 2.38909 | 0.8617 | 0.08077 | 1.83864 | 0.89108 | 0.9283 | |
| | | DBH<5cm | 0.33894 | 1.93860 | 0.8617 | 0.16673 | 1.38833 | 0.89108 | 0.9283 | |
| | 川滇 | DBH≥5cm | 0.16415 | 2.36986 | 0.9462 | 0.08077 | 1.83864 | 0.89108 | 0.9676 | |
| | | DBH<5cm | 0.16159 | 2.37963 | 0.9462 | 0.08349 | 1.81809 | 0.89108 | 0.9676 | |
| | 木荷 | 滇闽赣 贵浙湘 粤 | DBH≥5cm | 0.18509 | 2.34176 | 0.9542 | 0.09250 | 1.98290 | 0.69115 | 0.9814 |
| | 枫香 | 桂闽赣 湘贵浙 徽渝 | DBH≥5cm | 0.12899 | 2.49044 | 0.9644 | 0.07752 | 1.87744 | 0.88418 | 0.9922 |
| | 柏木 | 京津冀 晋蒙鲁 豫 | DBH≥5cm | 0.10552 | 2.43135 | 0.9513 | 0.08077 | 0.07212 | 1.68893 | 0.9838 |
| | | | DBH<5cm | 0.32464 | 1.73310 | 0.9513 | 0.11309 | 0.18931 | 1.08929 | 0.9838 |
| 陕甘青 | | DBH≥5cm | 0.15131 | 2.31433 | 0.8647 | 0.08077 | 0.07264 | 1.68893 | 0.9772 | |
| | | DBH<5cm | 0.26101 | 1.97556 | 0.8647 | 0.21343 | 0.13518 | 1.30300 | 0.9772 | |
| 川滇藏 | | DBH≥5cm | 0.13976 | 2.45411 | 0.7916 | 0.08077 | 0.06585 | 1.68893 | 0.9699 | |
| | | DBH<5cm | 0.18766 | 2.27099 | 0.7916 | 0.16673 | 0.09033 | 1.49254 | 0.9699 | |
| 浙鄂湘 粤渝贵 | | DBH≥5cm | 0.13661 | 2.48335 | 0.9391 | 0.08077 | 0.06695 | 1.68893 | 0.9731 | |
| | | DBH<5cm | 0.18758 | 2.28632 | 0.9391 | 0.08349 | 0.08047 | 1.57467 | 0.9731 | |
| 高山松 | 藏川滇 | DBH≥5cm | 0.12797 | 2.45410 | 0.8814 | 0.07989 | 1.89095 | 0.86227 | 0.9848 | |
| | | DBH<5cm | 0.28232 | 1.96247 | 0.8814 | 0.21255 | 1.28297 | 0.86227 | 0.9848 | |
| 思茅松 | 普洱、 西版纳 纳、德 宏、临 沧 | DBH≥5cm | 0.09916 | 2.57713 | 0.9656 | 0.05648 | 1.98128 | 0.88709 | 0.9890 | |
| | | DBH<5cm | 0.22219 | 2.07585 | 0.9656 | 0.19167 | 1.22213 | 0.88709 | 0.9890 | |
| 樟子松 | 蒙东 部、黑 吉辽 | DBH≥5cm | 0.17523 | 2.35785 | 0.8835 | 0.07571 | 1.87223 | 0.88288 | 0.9759 | |
| | | DBH<5cm | 0.20629 | 2.25645 | 0.8835 | 0.19151 | 1.29559 | 0.88288 | 0.9759 | |
| 椴树 | 黑吉辽 | DBH≥5cm | 0.17860 | 2.37243 | 0.9403 | 0.07725 | 1.93103 | 0.81681 | 0.9840 | |
| 榆树 | 黑吉辽 冀蒙 | DBH≥5cm | 0.25977 | 2.13101 | 0.8719 | 0.09838 | 1.81849 | 0.80712 | 0.9494 | |
| | | DBH≥5cm | 0.14687 | 2.45581 | 0.9221 | 0.06799 | 1.96127 | 0.87851 | 0.9804 | |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | | 二元模型 | | | |
|--|--------------|-----------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | | | 模型参数 | | R^2 | 模型参数 | | | R^2 |
| | | | a | b | | a | b | c | |
| 黄山松 | 浙徽闽赣 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.22278 | 2.19693 | 0.9221 | 0.18905 | 1.32580 | 0.87851 | 0.9804 |
| 杨树 | 黑吉辽蒙天然山杨 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.13447 | 2.49461 | | 0.06124 | 1.89521 | 0.94759 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.17698 | 2.32395 | 0.9462 | 0.08515 | 1.69037 | 0.94759 | 0.9830 |
| | 陕甘青宁新(天然山杨) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.13427 | 2.47618 | | 0.06114 | 1.89521 | 0.94759 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.21850 | 2.17363 | 0.9437 | 0.08940 | 1.65919 | 0.94759 | 0.9848 |
| | 川滇藏(天然山杨) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.13560 | 2.49834 | | 0.06175 | 1.89521 | 0.94759 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.15005 | 2.43546 | 0.9447 | 0.07611 | 1.76530 | 0.94759 | 0.9848 |
| | 黑吉辽蒙(人工杨树) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.12763 | 2.47739 | | 0.05812 | 1.89521 | 0.94759 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.19993 | 2.19851 | 0.9326 | 0.12840 | 1.40268 | 0.94759 | 0.9700 |
| | 鲁豫蒙冀晋京(人工杨树) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.12296 | 2.50774 | | 0.05599 | 1.89521 | 0.94759 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.20946 | 2.17677 | 0.9624 | 0.10820 | 1.48589 | 0.94759 | 0.9889 |
| | 苏徽鄂湘渝贵(人工杨树) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.11991 | 2.53125 | | 0.05460 | 1.89521 | 0.94759 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.17900 | 2.28229 | 0.9489 | 0.10390 | 1.49547 | 0.94759 | 0.9849 |
| <p>注 1: 一元模型方程的表达式为 $V = a \cdot DBH^b \cdot 10^{-3}$, 二元模型方程的表达式为 $V = a \cdot DBH^b \cdot H^c \cdot 10^{-3}$。其中, V 为单株材积, 单位为立方米 (m^3); DBH 为胸径, 单位为厘米 (cm); H 为树高, 单位为米 (m); a、b、c 为模型参数; R^2 为决定系数。</p> <p>注 2: 在造林密度和立地条件等相对一致的情况下, 应优先选择基于胸径的一元模型, 否则应选择基于胸径和树高的二元模型。</p> | | | | | | | | | |

表 A.5 中国主要乔木树种林分水平全林(或地上)生物量方程与生物量转换与扩展因子

| 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 |
| <p>注 1: 全林生物量的方程表达式为$B_{\text{Total}} = a + b \cdot V$, 地上生物量的方程表达式为$AGB = c \cdot (a + b \cdot V)$。其中, B_{Total}为单位面积全林生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$); AGB为单位面积地上生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)。</p> <p>注 2: 全林生物量转换与扩展因子的方程表达式为$BCEF_{\text{Total}} = a/V + b$, 地上生物量转换与扩展因子的方程表达式为$BCEF_{\text{AGB}} = c \cdot (a/V + b)$。其中, $BCEF_{\text{Total}}$为全林生物量转换与扩展因子, 单位为吨每立方米 ($\text{t d.m.}\cdot\text{m}^{-3}$); $BCEF_{\text{AGB}}$为地上生物量转换与扩展因子, 单位为吨每立方米 ($\text{t d.m.}\cdot\text{m}^{-3}$)。 V为单位面积蓄积量, 单位为立方米每公顷 ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$); a、b、c为模型参数; R^2为决定系数。</p> | | | | |

表 A.6 中国主要乔木林树种的地上生物量转换与扩展因子 (行业标准汇总)

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | 二元模型 | | |
|-----|------------------|-----------------------|---------|----------|---------|----------|----------|
| | | | 模型参数 | | 模型参数 | | |
| | | | a | b | a | b | c |
| 油松 | 晋冀鲁京津蒙 辽豫甘青宁陕 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.66925 | 0.01106 | 0.79289 | 0.20994 | -0.30857 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.34270 | -0.42157 | 1.41587 | -0.15032 | -0.30857 |
| 湿地松 | 闽赣湘粤桂 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.51294 | 0.06258 | 0.60913 | 0.16429 | -0.19028 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.07895 | -0.39944 | 1.10058 | -0.20327 | -0.19028 |
| 云南松 | 川滇藏 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.55024 | -0.01927 | 0.72754 | 0.21506 | -0.38122 |
| 马尾松 | 苏浙徽闽赣湘 粤桂贵 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.71673 | -0.07633 | 0.99519 | 0.18177 | -0.40722 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.68906 | -0.05187 | 0.83220 | 0.29290 | -0.40722 |
| | 鄂川 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.94183 | -0.14134 | 1.30774 | 0.11677 | -0.40722 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.04284 | -0.20464 | 1.07805 | 0.23678 | -0.40722 |
| 杉木 | 湘鄂粤桂浙徽 苏川贵 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.82107 | -0.21445 | 0.96176 | 0.17937 | -0.50351 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.91913 | -0.28455 | 1.02753 | 0.13827 | -0.50351 |
| | 赣闽 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.47291 | -0.05725 | 0.58839 | 0.27295 | -0.45710 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.99295 | -0.51815 | 1.13991 | -0.13795 | -0.45710 |
| 落叶松 | 黑吉辽、蒙东 部 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.63696 | -0.04271 | 0.89292 | 0.21510 | -0.40100 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.09608 | -0.37997 | 1.27630 | -0.00682 | -0.40100 |
| | 晋冀、蒙中西 部 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.77052 | -0.09503 | 0.85779 | 0.21514 | -0.40100 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.31083 | -0.42570 | 1.15871 | 0.02830 | -0.40100 |
| | 新 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.47612 | -0.00224 | 0.76584 | 0.21514 | -0.40100 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.68235 | -0.22583 | 0.75383 | 0.22496 | -0.40100 |
| | 川滇藏 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.46376 | 0.00325 | 0.74226 | 0.21514 | -0.40100 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.63954 | -0.19644 | 0.65774 | 0.29025 | -0.40100 |
| 云杉 | 黑吉 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.73413 | -0.05722 | 1.13843 | 0.47395 | -0.78988 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.83254 | -0.13538 | 0.98287 | 0.56524 | -0.78988 |
| | 甘青、新疆天 山 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 1.25968 | -0.27456 | 1.95342 | 0.31266 | -0.78988 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.20508 | -0.24703 | 1.32927 | 0.55184 | -0.78988 |
| | 新疆阿尔泰山 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 1.32452 | -0.28313 | 2.05397 | 0.28769 | -0.78988 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.83440 | 0.00399 | 0.77559 | 0.89281 | -0.78988 |
| | 川 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 1.06911 | -0.23877 | 1.65789 | 0.33695 | -0.78988 |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 1.05564 | -0.23089 | 1.04260 | 0.62514 | -0.78988 |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | 二元模型 | | |
|---------|----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 模型参数 | | 模型参数 | | |
| | | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> |
| | 滇 | $DBH \geq 5cm$ | 0.83745 | -0.12493 | 1.29866 | 0.42498 | -0.78988 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.70453 | -0.01754 | 0.96536 | 0.60925 | -0.78988 |
| | 藏 | $DBH \geq 5cm$ | 1.54107 | -0.30900 | 2.38978 | 0.25061 | -0.78988 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.61499 | 0.26177 | 0.77690 | 0.94877 | -0.78988 |
| 冷杉 | 黑吉 | $DBH \geq 5cm$ | 0.83602 | -0.13353 | 1.10853 | 0.24412 | -0.53319 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.66940 | 0.00457 | 0.75304 | 0.48438 | -0.53319 |
| | 甘青、新疆天山 | $DBH \geq 5cm$ | 0.85612 | -0.14523 | 1.13518 | 0.24412 | -0.53319 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.75645 | -0.06833 | 0.97766 | 0.33694 | -0.53319 |
| | 川 | $DBH \geq 5cm$ | 0.77285 | -0.12539 | 1.02476 | 0.24412 | -0.53319 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.74899 | -0.10590 | 0.80543 | 0.39377 | -0.53319 |
| | 滇 | $DBH \geq 5cm$ | 0.67066 | -0.12605 | 0.88926 | 0.24412 | -0.53319 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.90439 | -0.31183 | 0.84430 | 0.37636 | -0.53319 |
| 藏 | $DBH \geq 5cm$ | 0.71064 | -0.14034 | 0.94228 | 0.24412 | -0.53319 | |
| | $DBH < 5cm$ | 0.59184 | -0.02667 | 0.67386 | 0.45244 | -0.53319 | |
| 柳杉 | 浙鄂湘川渝 | $DBH \geq 5cm$ | 0.99262 | -0.26025 | 1.40002 | -0.01734 | -0.41026 |
| | | $DBH < 5cm$ | 1.08643 | -0.31636 | 1.19435 | 0.08138 | -0.41026 |
| 栎树 | 黑吉辽、蒙东部 | $DBH \geq 5cm$ | 0.76233 | 0.04126 | 0.96000 | 0.24261 | -0.34004 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.99116 | -0.12184 | 1.04540 | 0.18966 | -0.34004 |
| | 豫晋冀陕青甘宁 | $DBH \geq 5cm$ | 0.78232 | 0.03000 | 1.17012 | 0.42518 | -0.59379 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.48610 | 0.32566 | 0.81026 | 0.65353 | -0.59379 |
| | 川滇 | $DBH \geq 5cm$ | 0.92409 | -0.05814 | 1.17159 | 0.16203 | -0.35001 |
| | | $DBH < 5cm$ | 1.51730 | -0.36625 | 1.77745 | -0.09695 | -0.35001 |
| 鄂湘赣徽浙渝贵 | $DBH \geq 5cm$ | 1.65835 | -0.21443 | 1.91568 | -0.07227 | -0.21275 | |
| | $DBH < 5cm$ | 1.24832 | -0.03796 | 1.39866 | 0.12318 | -0.21275 | |
| 桦树 | 黑吉、蒙东部（白桦） | $DBH \geq 5cm$ | 0.62738 | 0.03334 | 0.84379 | 0.26986 | -0.37089 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.73359 | -0.06384 | 0.92032 | 0.21518 | -0.37089 |
| | 黑吉、蒙东部（其他桦） | $DBH \geq 5cm$ | 0.58407 | 0.04374 | 0.78462 | 0.26986 | -0.37089 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.43899 | 0.22116 | 0.51674 | 0.52936 | -0.37089 |
| | 蒙中西部、豫晋陕青甘宁新 | $DBH \geq 5cm$ | 0.67898 | 0.04075 | 0.91211 | 0.26986 | -0.37089 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.90420 | -0.13724 | 1.21480 | 0.09180 | -0.37089 |
| 川滇 | $DBH \geq 5cm$ | 0.58767 | 0.04875 | 0.78688 | 0.26986 | -0.37089 | |
| | $DBH < 5cm$ | 0.81051 | -0.15304 | 1.06992 | 0.08069 | -0.37089 | |
| 木荷 | 滇闽赣贵浙湘粤 | $DBH \geq 5cm$ | 0.95545 | -0.07862 | 1.30222 | 0.08156 | -0.30851 |
| 枫香 | 桂闽赣湘贵浙徽渝 | $DBH \geq 5cm$ | 0.82290 | -0.02394 | 1.14926 | 0.37820 | -0.58004 |
| 柏木 | 京津冀晋蒙鲁豫 | $DBH \geq 5cm$ | 1.45379 | -0.11439 | 1.73094 | 0.22596 | -0.52074 |
| | | $DBH < 5cm$ | 1.11738 | 0.04914 | 1.43079 | 0.34429 | -0.52074 |
| | 陕甘青 | $DBH \geq 5cm$ | 0.87984 | -0.06075 | 1.23175 | 0.22596 | -0.52074 |
| | | $DBH < 5cm$ | 1.85167 | -0.52308 | 2.50363 | -0.21475 | -0.52074 |
| | 川滇藏 | $DBH \geq 5cm$ | 1.01457 | -0.12482 | 1.43257 | 0.22596 | -0.52074 |
| | | $DBH < 5cm$ | 1.27394 | -0.26627 | 1.78127 | 0.09060 | -0.52074 |
| 浙鄂湘粤渝贵 | $DBH \geq 5cm$ | 1.07857 | -0.13823 | 1.49567 | 0.22596 | -0.52074 | |
| | $DBH < 5cm$ | 1.01913 | -0.10301 | 1.50223 | 0.22324 | -0.52074 | |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | 二元模型 | | |
|-----|------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 模型参数 | | 模型参数 | | |
| | | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> |
| 高山松 | 藏川滇 | $DBH \geq 5cm$ | 0.81169 | -0.08289 | 1.11897 | 0.30088 | -0.58760 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.86488 | -0.12232 | 1.04945 | 0.34073 | -0.58760 |
| 思茅松 | 普洱、西双版纳、德宏、临沧 | $DBH \geq 5cm$ | 0.27656 | 0.22650 | 0.37281 | 0.54270 | -0.47075 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.50156 | -0.14338 | 0.54247 | 0.30967 | -0.47075 |
| 樟子松 | 蒙东部、黑吉辽 | $DBH \geq 5cm$ | 0.43367 | 0.06755 | 0.72123 | 0.36189 | -0.53513 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.87738 | -0.37029 | 0.91783 | 0.21211 | -0.53513 |
| 椴树 | 黑吉辽 | $DBH \geq 5cm$ | 0.39815 | 0.08610 | 0.49168 | 0.19723 | -0.20564 |
| 榆树 | 黑吉辽冀蒙 | $DBH \geq 5cm$ | 0.71322 | 0.04421 | 1.04356 | 0.16671 | -0.31638 |
| 黄山松 | 浙徽闽赣 | $DBH \geq 5cm$ | 0.64147 | -0.03914 | 0.87551 | 0.16057 | -0.35477 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.82127 | -0.19267 | 0.87756 | 0.15911 | -0.35477 |
| 杨树 | 黑吉辽蒙 (天然山杨) | $DBH \geq 5cm$ | 0.54713 | 0.00185 | 0.73523 | 0.22702 | -0.35596 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.75192 | -0.19569 | 0.98976 | 0.04231 | -0.35596 |
| | 陕甘青宁新 (天然山杨) | $DBH \geq 5cm$ | 0.56070 | 0.03547 | 0.75347 | 0.25371 | -0.35596 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.72820 | -0.12694 | 1.01871 | 0.06631 | -0.35596 |
| | 川滇藏 (天然山杨) | $DBH \geq 5cm$ | 0.70416 | -0.06991 | 0.94625 | 0.15665 | -0.35596 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.66491 | -0.03428 | 0.85802 | 0.21747 | -0.35596 |
| | 黑吉辽蒙 (人工杨树) | $DBH \geq 5cm$ | 0.71175 | -0.10530 | 0.95645 | 0.11340 | -0.35596 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.63212 | -0.03158 | 0.74651 | 0.26737 | -0.35596 |
| | 鲁豫蒙冀晋京 (人工杨树) | $DBH \geq 5cm$ | 0.62504 | -0.00043 | 0.83992 | 0.22966 | -0.35596 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.48613 | 0.15574 | 0.62303 | 0.41527 | -0.35596 |
| | 苏徽鄂湘渝贵 (人工杨树) | $DBH \geq 5cm$ | 0.39968 | 0.14221 | 0.53709 | 0.38113 | -0.35596 |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.77182 | -0.26669 | 0.94681 | 0.02887 | -0.35596 |

注 1: 一元模型方程的表达式为 $BCEF = a \cdot DBH^b$, 二元模型方程的表达式为 $BCEF = a \cdot DBH^b \cdot H^c$ 。其中, $BCEF$ 为地上生物量转换与扩展因子, 是地上生物量与树干蓄积量的比值, 单位为吨每立方米 ($t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$); DBH 为胸径, 单位为厘米 (cm); H 为树高, 单位为米 (m); a 、 b 、 c 为模型参数。

注 2: 在造林密度和立地条件等相对一致的情况下, 应优先选择基于胸径的一元模型, 否则应选择基于胸径和树高的二元模型。本表未包含的树种, 可采用文献值。

表 A.7 中国主要乔木林树种的生物量扩展因子 (文献整合分析)

| 森林类型 | 应用条件: 公顷蓄积 $\leq 100 m^3 \cdot hm^{-2}$ | 应用条件: 公顷蓄积 $> 100 m^3 \cdot hm^{-2}$ |
|-------|---|--------------------------------------|
| | <i>BEF</i> | <i>BEF</i> |
| 云冷杉林 | 1.8275 | 1.4048 |
| 落叶松林 | 1.4511 | 1.2224 |
| 温性针叶林 | 1.8100 | 1.3405 |
| 油松林 | 1.8359 | 1.4081 |
| 马尾松林 | 1.5565 | 1.2063 |
| 暖性针叶林 | 1.7119 | 1.3971 |
| 杉类 | 1.9085 | 1.2875 |
| 柏木林 | 1.7029 | 1.3593 |
| 栎类 | 1.3694 | 1.2693 |
| 桦木林 | 1.3889 | 1.2416 |
| 其它硬阔类 | 1.5670 | 1.3104 |

| | | |
|--|--------|--------|
| 杨树林 | 1.5558 | 1.4184 |
| 桉树林 | 1.2413 | 1.1266 |
| 其它软阔类 | 1.4719 | 1.3335 |
| 针叶混 | 1.6166 | 1.3033 |
| 阔叶混 | 1.4042 | 1.3587 |
| 针阔混 | 1.6713 | 1.3725 |
| 注: BEF 为生物量扩展因子, 是地上生物量与树干生物量的比值, 无量纲。 | | |

表 A.8 中国主要乔木林树种的地下生物量与地上生物量的比值 (行业标准汇总)

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | 二元模型 | | | |
|-----|------------------|----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 模型参数 | | 模型参数 | | | |
| | | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | |
| 油松 | 晋冀鲁京津蒙 辽豫甘青宁陕 | $DBH \geq 5cm$ | 0.12688 | 0.20321 | 0.16082 | 0.48134 | -0.43154 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.25457 | -0.22947 | 0.34897 | 0.00000 | -0.43154 | |
| 湿地松 | 闽赣湘粤桂 | $DBH \geq 5cm$ | 0.51937 | -0.21214 | 0.74331 | 0.00000 | -0.39689 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.23064 | 0.29223 | 0.24824 | 0.68143 | -0.39689 | |
| 云南松 | 川滇藏 | $DBH \geq 5cm$ | 0.17427 | -0.01177 | 0.20451 | 0.12245 | -0.21837 | |
| 马尾松 | 苏浙徽闽赣湘 粤桂贵 | $DBH \geq 5cm$ | 0.08154 | 0.28646 | 0.13252 | 0.64510 | -0.57789 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.22916 | -0.35558 | 0.37243 | 0.00307 | -0.57789 | |
| | 鄂川 | $DBH \geq 5cm$ | 0.08154 | 0.28646 | 0.13252 | 0.64510 | -0.57789 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.22916 | -0.35558 | 0.37243 | 0.00307 | -0.57789 | |
| 杉木 | 湘鄂粤桂浙徽 苏川贵 | $DBH \geq 5cm$ | 0.20301 | 0.04028 | 0.25059 | 0.52050 | -0.61168 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.15505 | 0.20775 | 0.18171 | 0.71173 | -0.61168 | |
| | 赣闽 | $DBH \geq 5cm$ | 0.20301 | 0.04028 | 0.25059 | 0.52050 | -0.61168 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.15505 | 0.20775 | 0.18171 | 0.71173 | -0.61168 | |
| 落叶松 | 黑吉辽、蒙东 部 | $DBH \geq 5cm$ | 0.37783 | -0.02529 | 0.64849 | 0.38706 | -0.64126 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.09154 | 0.85556 | 0.11192 | 1.47865 | -0.64126 | |
| | 晋冀、蒙中西 部 | $DBH \geq 5cm$ | 0.38739 | -0.10895 | 0.45990 | 0.38706 | -0.64126 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.16005 | 0.44027 | 0.22985 | 0.81800 | -0.64126 | |
| | 新 | $DBH \geq 5cm$ | 0.17421 | 0.03944 | 0.37253 | 0.38706 | -0.64126 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.55155 | -0.67664 | 0.43325 | 0.29325 | -0.64126 | |
| | 川滇藏 | $DBH \geq 5cm$ | 0.19141 | 0.04821 | 0.40608 | 0.38706 | -0.64126 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.22415 | -0.04991 | 0.20057 | 0.82535 | -0.64126 | |
| 云杉 | 黑吉 | $DBH \geq 5cm$ | 0.22262 | 0.04217 | 0.31139 | 0.44844 | -0.60415 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.56614 | -0.53777 | 0.6744 | -0.03171 | -0.60415 | |
| | 甘青、新疆天 山 | $DBH \geq 5cm$ | 0.31161 | -0.00070 | 0.43586 | 0.44844 | -0.60415 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.30516 | 0.01229 | 0.3057 | 0.66884 | -0.60415 | |
| | 新疆阿尔泰山 | $DBH \geq 5cm$ | 0.21906 | 0.01184 | 0.3064 | 0.44844 | -0.60415 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.38768 | -0.34284 | 0.38245 | 0.31069 | -0.60415 | |
| | 川 | $DBH \geq 5cm$ | 0.20670 | 0.00810 | 0.28912 | 0.44844 | -0.60415 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.22437 | -0.04288 | 0.19076 | 0.70681 | -0.60415 | |
| | 滇 | $DBH \geq 5cm$ | 0.22863 | 0.02784 | 0.31979 | 0.44844 | -0.60415 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.16334 | 0.23677 | 0.22525 | 0.66619 | -0.60415 | |
| | 藏 | $DBH \geq 5cm$ | 0.17328 | 0.02042 | 0.24238 | 0.44844 | -0.60415 | |
| | | $DBH < 5cm$ | 0.19298 | -0.04647 | 0.25827 | 0.40899 | -0.60415 | |
| | 冷杉 | 黑吉 | $DBH \geq 5cm$ | 0.28691 | -0.11563 | 0.44902 | 0.48388 | -0.84642 |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | 二元模型 | | |
|-----|--------------|-----------------------|----------|-----------|----------|----------|----------------------|
| | | | 模型参数 | | 模型参数 | | |
| | | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.15892 | 0.25143 | 0.20054 | 0.9847 | -0.84642 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.39615 | -0.13421 | 0.61997 | 0.48388 | -0.84642 |
| | 甘青、新疆天山 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.10363 | 0.69901 | 0.15276 | 1.35426 | -0.84642 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.38367 | -0.10270 | 0.44395 | 0.48388 | -0.84642 |
| | 川 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.14909 | 0.29698 | 0.17264 | 1.07073 | -0.84642 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.36688 | -0.10376 | 0.57416 | 0.48388 | -0.84642 |
| | 滇 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.28041 | 0.06325 | 0.27087 | 0.95066 | -0.84642 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.37396 | -0.12644 | 0.58525 | 0.48388 | -0.84642 |
| | 藏 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.10040 | 0.69062 | 0.13786 | 1.38221 | -0.84642 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.09077 | 0.40093 | 0.18034 | 0.88582 | -0.81895 |
| 柳杉 | 浙鄂湘川渝 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.27596 | -0.28993 | 0.29748 | 0.57483 | -0.81895 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.50224 | -0.18875 | 0.8429 | 0.26343 | -0.76364 |
| 栎树 | 黑吉辽、蒙东部 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.72273 | -0.41489 | 2.68849 | -0.45725 | -0.76364 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.55458 | -0.24479 | 0.93074 | 0.26343 | -0.76364 |
| | 豫晋冀陕青甘宁 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.62147 | -0.31554 | 1.14809 | 0.13303 | -0.76364 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.42448 | -0.21694 | 0.7124 | 0.26343 | -0.76364 |
| | 川滇 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.47183 | -0.28265 | 0.67919 | 0.29309 | -0.76364 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.51776 | -0.24687 | 0.86894 | 0.26343 | -0.76364 |
| | 鄂湘赣徽浙渝贵 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.27765 | 0.14032 | 0.346 | 0.83558 | -0.76364 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.53510 | -0.18558 | 0.64767 | -0.03259 | -0.23991 |
| 桦树 | 黑吉、蒙东部（白桦） | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.39229 | 0.00731 | 0.45432 | 0.18772 | -0.23991 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.51276 | -0.17885 | 0.62063 | -0.03259 | -0.23991 |
| | 黑吉、蒙东部（其他桦） | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.43263 | -0.07328 | 0.4904 | 0.11375 | -0.23991 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.45615 | -0.18079 | 0.55211 | -0.03259 | -0.23991 |
| | 蒙中西部、豫晋陕青甘宁新 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.28958 | 0.10153 | 0.37354 | 0.31018 | -0.23991 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.43256 | -0.17561 | 0.52356 | -0.03259 | -0.23991 |
| | 川滇 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.15300 | 0.47013 | 0.19338 | 0.58626 | -0.23991 |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.36234 | -0.065299 | 0.67887 | 0.25949 | -0.62553 |
| 木荷 | 滇闽赣贵浙湘粤 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.36234 | -0.065299 | 0.67887 | 0.25949 | -0.62553 |
| 枫香 | 桂闽赣湘贵浙徽渝 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.89984 | -0.3246 | 1.3527 | 0.16614 | -0.70784 |
| 柏木 | 京津冀晋蒙鲁豫 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.38859 | -0.15039 | 0.35097 | -0.14740 | 0.02765 ₁ |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.38859 | -0.15039 | 0.35097 | -0.1474 | 0.02765 ₁ |
| | 陕甘青 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.41217 | -0.15039 | 0.37672 | -0.14740 | 0.02765 ₁ |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.41217 | -0.15039 | 0.37672 | -0.14740 | 0.02765 ₁ |
| | 川滇藏 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.27622 | -0.15039 | 0.26005 | -0.14740 | 0.02765 ₁ |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.27622 | -0.15039 | 0.26005 | -0.1474 | 0.02765 ₁ |
| | 浙鄂湘粤渝贵 | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.38121 | -0.15039 | 0.35131 | -0.14740 | 0.02765 ₁ |
| | | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.38121 | -0.15039 | 0.35131 | -0.1474 | 0.02765 ₁ |
| 高山松 | 藏川滇 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.20576 | 0 | 0.17745 | 0 | 0.05105 ₄ |

| 树种 | 适用范围 | 应用条件 | 一元模型 | | 二元模型 | | | |
|-----|--|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | | 模型参数 | | 模型参数 | | | |
| | | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | |
| 思茅松 | 普洱、西双版纳、德宏、临沧 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.23177 | -0.11632 | 0.19105 | 0.11047 | -0.19119 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.12374 | 0.27359 | 0.15615 | 0.23581 | -0.19119 | |
| 樟子松 | 蒙东部、黑吉辽 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.17186 | 0.075065 | 0.2181 | 0.36695 | -0.44064 | |
| 椴树 | 黑吉辽 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.30349 | 0.056563 | 0.44003 | 0.57424 | -0.74241 | |
| 榆树 | 黑吉辽冀蒙 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.3879 | -0.03511 | 0.42112 | 0.075352 | -0.15356 | |
| 黄山松 | 浙徽闽赣 | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.15825 | 0.06621 | 0.20102 | 0.36734 | -0.46549 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.34655 | -0.42085 | 0.39221 | -0.04794 | -0.46549 | |
| 杨树 | 黑吉辽蒙 (天然山杨) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.32719 | -0.13439 | 0.49819 | 0.18597 | -0.50647 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.31198 | -0.10482 | 0.68533 | -0.01218 | -0.50647 | |
| | 陕甘青宁新 (天然山杨) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.33369 | -0.12454 | 0.50808 | 0.18597 | -0.50647 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.59949 | -0.48857 | 0.82444 | -0.11480 | -0.50647 | |
| | 川滇藏 (天然山杨) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.27936 | -0.13639 | 0.42537 | 0.18597 | -0.50647 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.2222 | 0.00586 | 0.33811 | 0.32863 | -0.50647 | |
| | 黑吉辽蒙 (人工杨树) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.37302 | -0.12519 | 0.56798 | 0.18597 | -0.50647 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.25331 | 0.11528 | 0.41324 | 0.38359 | -0.50647 | |
| | 鲁豫蒙冀晋京 (人工杨树) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.33904 | -0.14141 | 0.51623 | 0.18597 | -0.50647 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.34753 | -0.15678 | 0.54431 | 0.15306 | -0.50647 | |
| | 苏徽鄂湘渝贵 (人工杨树) | $DBH \geq 5\text{cm}$ | 0.25702 | -0.15398 | 0.39135 | 0.18597 | -0.50647 | |
| | | $DBH < 5\text{cm}$ | 0.42352 | -0.46429 | 0.60641 | -0.08615 | -0.50647 | |
| | <p>注 1: 一元模型方程的表达式为$RSR_{AF} = a \cdot DBH^b$, 二元模型方程的表达式为$RSR_{AF} = a \cdot DBH^b \cdot H^c$。其中, RSR_{AF} 为乔木林地下生物量与地上生物量的比值, 无量纲; DBH 为胸径, 单位为厘米 (cm); H 为树高, 单位为米 (m); a、b、c 为模型参数。</p> <p>注 2: 在造林密度和立地条件等相对一致的情况下, 应优先选择基于胸径的一元模型, 否则应选择基于胸径和树高的二元模型。本表未包含的树种, 可采用文献值。</p> | | | | | | | |

表 A.9 中国主要乔木林树种的地下生物量与地上生物量的比值 (文献整合分析)

| 森林类型 | RSR_{AF} |
|-------|------------|
| 冷杉林 | 0.2223 |
| 云杉林 | 0.2514 |
| 落叶松林 | 0.2830 |
| 杉木林 | 0.2332 |
| 柏木林 | 0.2489 |
| 马尾松林 | 0.2053 |
| 油松林 | 0.2349 |
| 云南松林 | 0.1830 |
| 其他针叶林 | 0.2436 |
| 栎树林 | 0.2610 |
| 桦树林 | 0.2786 |
| 杨树林 | 0.2127 |
| 刺槐林 | 0.2767 |
| 桉树林 | 0.2832 |
| 橡树林 | 0.2530 |
| 其他软阔类 | 0.2690 |

| | |
|--|--------|
| 其他硬阔类 | 0.2572 |
| 针叶混交林 | 0.2364 |
| 针阔混交林 | 0.2561 |
| 阔叶混交林 | 0.2598 |
| 注: RSR_{AF} 为乔木林地下生物量与地上生物量的比值, 无量纲。 | |

表 A. 10 中国主要乔木林树种的基本木材密度和生物量含碳率 (文献整合分析)

| 森林类型 | SVD | CF_{Total} | CF_{AGB} | CF_{BGB} |
|---|--------|--------------|------------|------------|
| 云冷杉林 | 0.3597 | 0.4931 | 0.4931 | 0.4933 |
| 落叶松林 | 0.4059 | 0.4893 | 0.4895 | 0.4884 |
| 温性针叶林 | 0.3897 | 0.4961 | 0.4967 | 0.4955 |
| 油松林 | 0.4243 | 0.5165 | 0.5184 | 0.5093 |
| 马尾松林 | 0.4476 | 0.5252 | 0.5254 | 0.5082 |
| 暖性针叶林 | 0.3942 | 0.5034 | 0.5045 | 0.4912 |
| 杉类 | 0.3098 | 0.4990 | 0.5003 | 0.4880 |
| 柏木林 | 0.5010 | 0.4847 | 0.4846 | 0.4851 |
| 栎类 | 0.5762 | 0.4802 | 0.4827 | 0.4678 |
| 桦木林 | 0.4848 | 0.4872 | 0.4897 | 0.4779 |
| 其它硬阔类 | 0.5257 | 0.4711 | 0.4734 | 0.4637 |
| 杨树林 | 0.4177 | 0.4705 | 0.4728 | 0.4644 |
| 桉树林 | 0.3848 | 0.4730 | 0.4750 | 0.4685 |
| 其它软阔类 | 0.3848 | 0.4730 | 0.4750 | 0.4685 |
| 针叶混 | 0.3828 | 0.5005 | 0.5014 | 0.4943 |
| 阔叶混 | 0.4967 | 0.4718 | 0.4741 | 0.4652 |
| 针阔混 | 0.4397 | 0.4861 | 0.4877 | 0.4797 |
| 注: SVD 为基本木材密度, 单位为吨每立方米 ($t \cdot d.m \cdot m^{-3}$); CF_{Total} 为全树生物量含碳率, 单位为吨碳每吨 ($t \cdot C \cdot (t \cdot d.m.)^{-1}$); CF_{AGB} 表示地上生物量含碳率, 单位为吨碳每吨 ($t \cdot C \cdot (t \cdot d.m.)^{-1}$); CF_{BGB} 表示地下生物量含碳率, 单位为吨碳每吨 ($t \cdot C \cdot (t \cdot d.m.)^{-1}$)。 | | | | |

表 A. 11 中国主要乔木林树种 (组) 单位面积蓄积量随林龄的 Richards 生长方程

| 区域 | 树种 (组) | a | b | c | R^2 |
|----|--------|---------|-------|-------|-------|
| 东北 | 落叶松 | 100.921 | 2.176 | 0.072 | 0.739 |
| | 其他针叶树 | 284.550 | 1.622 | 0.014 | 0.819 |
| | 栎类 | 171.960 | 2.029 | 0.032 | 0.776 |
| | 白桦 | 156.917 | 2.302 | 0.026 | 0.746 |
| | 其他阔叶树 | 204.535 | 1.326 | 0.019 | 0.701 |
| | 针叶混交类 | 224.047 | 2.311 | 0.031 | 0.814 |
| | 针阔混交类 | 236.051 | 1.629 | 0.019 | 0.738 |
| 华北 | 落叶松 | 117.890 | 2.189 | 0.044 | 0.612 |
| | 油松 | 207.730 | 1.745 | 0.014 | 0.743 |
| | 其他针叶树 | 102.044 | 0.288 | 0.001 | 0.591 |
| | 栎类 | 193.586 | 1.208 | 0.008 | 0.649 |
| | 桦木 | 173.604 | 1.587 | 0.020 | 0.661 |
| | 杨树 | 55.5530 | 2.319 | 0.177 | 0.628 |
| | 其他阔叶树 | 205.419 | 1.175 | 0.009 | 0.665 |

| 区域 | 树种(组) | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>R</i> ² |
|------|-------|----------|----------|----------|-----------------------|
| | 针阔混交类 | 200.447 | 0.931 | 0.006 | 0.68 |
| 西北 | 落叶松 | 293.610 | 1.498 | 0.012 | 0.767 |
| | 云杉 | 331.677 | 1.395 | 0.010 | 0.621 |
| | 其他针叶树 | 105.319 | 1.888 | 0.035 | 0.488 |
| | 栎类 | 135.739 | 0.939 | 0.179 | 0.520 |
| | 杨树 | 107.418 | 1.120 | 0.033 | 0.500 |
| | 其他阔叶树 | 133.516 | 1.317 | 0.016 | 0.702 |
| | 阔叶混交类 | 120.323 | 1.947 | 0.040 | 0.675 |
| | 针阔混交类 | 146.221 | 1.364 | 0.023 | 0.659 |
| 中南 | 马尾松 | 151.518 | 1.579 | 0.029 | 0.616 |
| | 杉木 | 149.544 | 1.786 | 0.056 | 0.693 |
| | 其他针叶树 | 73.352 | 0.981 | 0.036 | 0.558 |
| | 栎类 | 154.610 | 1.575 | 0.029 | 0.721 |
| | 杨树 | 92.694 | 2.466 | 0.210 | 0.673 |
| | 其他阔叶树 | 115.412 | 1.205 | 0.031 | 0.603 |
| | 针叶混交类 | 126.878 | 1.578 | 0.046 | 0.624 |
| | 阔叶混交类 | 475.254 | 1.134 | 0.007 | 0.670 |
| | 针阔混交类 | 216.571 | 1.101 | 0.015 | 0.615 |
| 东南沿海 | 马尾松 | 142.338 | 1.752 | 0.039 | 0.641 |
| | 杉木 | 183.207 | 1.355 | 0.037 | 0.58 |
| | 其他针叶树 | 161.892 | 1.252 | 0.031 | 0.602 |
| | 栎类 | 265.696 | 2.028 | 0.031 | 0.704 |
| | 桉树 | 70.355 | 2.713 | 0.457 | 0.658 |
| | 其他阔叶树 | 269.405 | 1.218 | 0.016 | 0.655 |
| | 针叶混交类 | 266.060 | 1.656 | 0.025 | 0.657 |
| | 阔叶混交类 | 320.261 | 1.644 | 0.022 | 0.742 |
| | 针阔混交类 | 286.927 | 1.502 | 0.021 | 0.735 |
| 西南 | 冷杉 | 395.017 | 2.092 | 0.02 | 0.533 |
| | 云南松 | 172.713 | 1.731 | 0.03 | 0.578 |
| | 马尾松 | 176.927 | 2.045 | 0.045 | 0.740 |
| | 杉木 | 123.337 | 3.352 | 0.14 | 0.759 |
| | 其他针叶树 | 465.204 | 0.857 | 0.004 | 0.647 |
| | 栎类 | 267.122 | 1.185 | 0.011 | 0.712 |
| | 其他阔叶树 | 492.465 | 0.837 | 0.034 | 0.653 |
| | 针叶混交类 | 513.458 | 1.123 | 0.008 | 0.678 |
| | 阔叶混交类 | 259.759 | 1.315 | 0.019 | 0.724 |
| | 针阔混交类 | 375.539 | 1.246 | 0.012 | 0.740 |

注：方程表达式为 $V = a \cdot (1 - e^{-c \cdot Age_t})^b$ 。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；*R*² 为决定系数。

表 A. 12 中国主要竹林类型的生物量参数（文献整合分析）

| 指标 | 毛竹 | 其他竹子 |
|--|---------|---------|
| 林分地上生物量 ($t \cdot d.m. \cdot hm^{-2}$) | 63.4237 | 34.1104 |
| 林分地下生物量 ($t \cdot d.m. \cdot hm^{-2}$) | 30.5144 | 16.5211 |

| | | |
|----------------------------------|---------|---------|
| 全林生物量 (t d.m.·hm ⁻²) | 99.0707 | 40.2236 |
| 林分地下/地上生物量的比值 | 0.5110 | 0.7224 |

表 A. 13 中国主要竹林类型单株生物量与胸径的相关方程 (文献混合建模)

| 生长型 | 器官 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>R</i> 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: 方程表达式为 $M = a \cdot DBH^b$ 。其中, *M* 为单株生物量, 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. 14 中国主要竹林类型单株生物量与胸径和竹高的相关方程 (文献混合建模)

| 生长型 | 器官 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>R</i> ² | 胸径范围 | 竹高范围 |
|-----|----|----------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| 散生竹 | 地上 | 0.0019 | 0.1239 | 3.1870 | 0.937 | 1.9~17.0 | 4.9~20.1 |
| | 整株 | 0.0390 | 0.5112 | 1.8956 | 0.945 | 1.9~17.0 | 4.9~20.1 |
| 丛生竹 | 地上 | 0.9993 | 2.0499 | -0.5615 | 0.881 | 0.5~7.0 | 1.5~16.0 |
| | 整株 | 0.3259 | 0.6172 | 1.1898 | 0.988 | 0.5~7.0 | 1.5~16.0 |
| 混生竹 | 地上 | 0.2756 | 3.4175 | -1.0315 | 0.519 | 1.0~5.5 | 1.5~13.8 |
| | 整株 | 1.8662 | 5.9533 | -3.2990 | 0.661 | 1.0~5.5 | 1.5~13.8 |

注 1: 方程表达式为 $M = a \cdot DBH^b \cdot H^c$ 。其中, *M* 为单株生物量, 单位为千克每株 (kg·stem⁻¹); *DBH* 为胸径, 单位为厘米 (cm); *H* 为竹高, 单位为米 (m); *a*、*b*、*c* 为模型参数; *R*² 为决定系数。

注 2: 在造林密度和立地条件等相对一致的情况下, 应优先选择基于胸径的一元模型, 否则应选择基于胸径和竹高的二元模型。

表 A. 15 中国主要灌木林的生物量参数 (文献整合分析)

| 指标 | 人工灌木林 | 天然灌木林 |
|------------------------------------|---------|---------|
| | 均值 | 均值 |
| 林分地上生物量 (t d.m.·hm ⁻²) | 13.4704 | 8.7383 |
| 林分地下生物量 (t d.m.·hm ⁻²) | 6.6772 | 9.3568 |
| 全林生物量 (t d.m.·hm ⁻²) | 24.6358 | 17.2700 |
| 林分地下/地上生物量的比值 | 0.6590 | 1.3838 |

表 A. 16 中国主要灌木林单株生物量模型 (基于文献汇总)

| 优势灌木物种 | 研究区域或地点 | 器官 | 自变量 | 模型形式 | 模型系数 | | | <i>R</i> ² |
|--|---------------|----|--------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|
| | | | | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>λ</i> | |
| 沙针、坡柳、石株、虾子花、朝天罐、水锦树、悬钩子、铁刀木、算盘子、酸藤子、余甘子 | 云南省临沧市, 膏桐种植区 | 地上 | <i>D</i> ² <i>H</i> | $M = a \cdot (D^2H)^b$ | 0.091643 | 0.6711 | | 0.976 |
| | | 地下 | <i>D</i> | $M = a \cdot D^b$ | 0.037879 | 2.341 | | 0.614 |
| | | 整株 | <i>D</i> ² <i>H</i> | $M = a \cdot (D^2H)^b$ | 0.013594 | 0.737 | | 0.875 |
| 驼绒藜、盐爪爪、珍珠猪毛菜、红砂 | 腾格里沙漠, 荒漠生态系统 | 地上 | <i>V</i> _c | $M = a \cdot V_c^b$ | 0.035 | 0.694 | | 0.693 |
| | | 地下 | <i>V</i> _c | $M = a \cdot V_c^b$ | 0.023 | 0.656 | | 0.653 |
| | | 整株 | <i>V</i> _c | $M = a \cdot V_c^b$ | 0.069 | 0.672 | | 0.718 |

| 优势灌木物种 | 研究区域或地点 | 器官 | 自变量 | 模型形式 | 模型系数 | | | R ² |
|--|-------------------|----|------------------|-----------------------------------|----------|-------|------|----------------|
| | | | | | a | b | λ | |
| 四川红淡、格药柃、梔子、满树星、美丽胡枝子、白株、杜鹃、盐肤木、山莓、长托裁英、山矾、白檀、轮叶蒲桃、南烛、牡荆 | 江西千烟洲红壤丘陵区, 林下灌木层 | 整株 | V _c | $M = a \cdot V_c^b \cdot \lambda$ | 0.165515 | 0.817 | 1.36 | |
| 大白杜鹃、白背杜鹃、金顶杜鹃、小鞍叶羊蹄甲 | 四川、云南 | 叶 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.043 | 0.004 | | 0.828 |
| | | 茎 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | -0.211 | 0.064 | | 0.885 |
| | | 地下 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | -0.216 | 0.082 | | 0.968 |
| 千里香杜鹃、密枝杜鹃、裂毛雪山杜鹃、草原杜鹃、头花杜鹃、金背杜鹃 | 青海、四川、云南 | 叶 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.095 | 0.02 | | 0.979 |
| | | 茎 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.199 | 0.037 | | 0.933 |
| | | 地下 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.393 | 0.061 | | 0.969 |
| 千果榄仁、香合欢、岗柃、胡颓子、潺槁木姜子、盐肤木 | 四川、云南 | 叶 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.089 | 0.011 | | 0.900 |
| | | 茎 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.26 | 0.096 | | 0.901 |
| | | 地下 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | -0.226 | 0.07 | | 0.966 |
| 小果蔷薇、绢毛蔷薇 | 贵州、四川、云南 | 叶 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | -0.001 | 0.027 | | 0.934 |
| | | 茎 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.17 | 0.06 | | 0.924 |
| | | 地下 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.083 | 0.028 | | 0.955 |
| 一担柴、银柴、银叶锥、锐齿斛株、唐梨 | 四川、云南 | 叶 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.054 | 0.003 | | 0.908 |
| | | 茎 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.064 | 0.018 | | 0.989 |
| | | 地下 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.237 | 0.015 | | 0.867 |
| 高山柏、香柏 | 四川、西藏 | 叶 | V _c | $M = a + b \cdot V_c$ | 0.283 | 1.466 | | 0.909 |
| | | 茎 | V _c | $M = a + b \cdot V_c$ | -0.466 | 3.86 | | 0.905 |
| | | 地下 | V _c | $M = a + b \cdot V_c$ | 0.065 | 6.265 | | 0.897 |
| 红棕杜鹃、单色杜鹃 | 西藏 | 叶 | V _c | $M = a + b \cdot V_c$ | 0.012 | 0.181 | | 0.858 |
| | | 茎 | V _c | $M = a + b \cdot V_c$ | -0.027 | 3.15 | | 0.932 |
| | | 地下 | V _c | $M = a + b \cdot V_c$ | -0.05 | 1.97 | | 0.976 |

注: M 为单株生物量, 单位为千克每株 (kg·stem⁻¹); D 为基径, 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); D²H 为基径平方与株高的乘积; V_c 为冠幅投影体积, 单位为立方米 (m³); a、b 为模型系数, λ 为幂函数模型中由对数单位 (lnM) 转换为测量单位 (M) 时的标准误修正因子; R² 表示调整后的决定系数 (adj-R²)。

表 A. 17 中国主要灌木林单株生物量模型 (基于调查的混合物种建模)

| 植被分区 | 枝干形态 | 器官 | 自变量 | 模型形式 | 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 | 地上 | D ² H | $M = a \cdot (D^2H)^b \cdot \lambda$ | 0.0323 | 0.7954 | 1.2187 | |
| | | 地下 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | -0.0026 | 0.0225 | | 0.7751 |
| | | 整株 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 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 ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.0487 | 0.0028 | | 0.3354 |
| | | 茎枝 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.0669 | 0.0266 | | 0.6205 |
| 亚热带常绿阔叶林区域 | 类型 a | 地上 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.1169 | 0.0294 | | 0.6156 |
| | | 地下 | M _a | $M = a \cdot M_a^b \cdot \lambda$ | 0.3753 | 0.8094 | 1.4315 | |
| | | 整株 | D ² H | $M = a + b \cdot D^2H$ | 0.2652 | 0.0367 | | 0.6181 |
| 亚热带常绿阔叶林区域 | 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 | |

| 植被分区 | 枝干形态 | 器官 | 自变量 | 模型形式 | 模型系数 | | | R^2 |
|--|------|----|-------|-----------------------------------|---------|--------|-----------|--------|
| | | | | | a | b | λ | |
| | | 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 | 地上 | A_c | $M = a + b \cdot A_c$ | 0.0249 | 0.5094 | | 0.6301 |
| | | 地下 | M_a | $M = a \cdot M_a^b \cdot \lambda$ | 0.7294 | 0.9674 | 1.3231 | |
| | | 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 | 地上 | A_c | $M = a + b \cdot A_c$ | 0.1480 | 1.1480 | | 0.5435 |
| | | 地下 | A_c | $M = a + b \cdot A_c$ | 0.0855 | 0.4036 | | 0.5621 |
| | | 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 | 地上 | A_c | $M = a + b \cdot A_c$ | 0.1375 | 0.2029 | | 0.3488 |
| | | 地下 | M_a | $M = a + b \cdot M_a$ | -0.0353 | 1.0296 | | 0.7104 |
| | | 整株 | A_c | $M = a + b \cdot A_c$ | 0.2213 | 0.4632 | | 0.4515 |
| <p>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。</p> <p>注 2: M_a 为单株地上生物量, 单位为千克每株 ($\text{kg} \cdot \text{stem}^{-1}$); M 为对应器官的生物量, 单位为千克每株 ($\text{kg} \cdot \text{stem}^{-1}$); A_c 为冠幅投影面积, 单位为平方米 (m^2); D 为基径, 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 为基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) 时的标准误差修正因子; R^2 表示调整后的决定系数 ($\text{adj-}R^2$)。</p> | | | | | | | | |

附录 B
(资料性附录)

森林死有机质碳储量变化计算方法

B.1 森林死有机质碳储量变化的计算

本文件采用“储量变化法 (Stock Difference Method)”计算项目边界内的森林死有机质碳储量在一段时期内的年均变化量:

$$\Delta C_{\text{DOM},t} = \frac{C_{\text{DOM},t_2} - C_{\text{DOM},t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \quad (\text{B.1})$$

式中:

- $\Delta C_{\text{DOM},t}$ —— 项目开始后第 t 年的森林死有机质碳储量的年变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- C_{DOM,t_1} —— 第 t_1 年时, 森林死有机质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- C_{DOM,t_2} —— 第 t_2 年时, 森林死有机质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- 44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比, 无量纲;
- t —— 项目开始后第 t 年, 无量纲;
- 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 $t_1 \leq t \leq t_2$ 。

B.2 森林死有机质碳储量的计算

森林死有机质包括枯落物和枯死木。下列方法适用于所有森林类型, 包括乔木林、竹林和灌木林:

$$C_{\text{DOM},t} = \sum_i \sum_j A_{i,j,t} \times (LI_{i,j,t} \times CF_{\text{LI},i,j} + DW_{i,j,t} \times CF_{\text{DW},i,j}) \quad (\text{B.2})$$

式中:

- $C_{\text{DOM},t}$ —— 第 t 年时, 森林死有机质碳储量, 单位为吨碳 (t C);
- $A_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的森林面积, 单位为公顷 (hm^2);
- $LI_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的单位面积枯落物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- $DW_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层树种 j 的单位面积枯死木量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- $CF_{\text{LI},i,j}$ —— 第 i 项目碳层树种 j 的枯落物含碳率, 单位为吨碳每吨 ($\text{t C}\cdot(\text{t d.m.})^{-1}$), 缺省值 0.37;
- $CF_{\text{DW},i,j}$ —— 第 i 项目碳层树种 j 的枯死木含碳率, 单位为吨碳每吨 ($\text{t C}\cdot(\text{t d.m.})^{-1}$), 缺省值 0.37。

B.3 枯落物量的计算

本文件采用缺省值的方法计算森林枯落物量。首先计算森林单位面积地上生物量, 再利用枯落物量与地上生物量的比值, 计算单位面积枯落物量:

$$LI_{i,j,t} = \text{AGB}_{i,j,t} \times \text{DF}_{\text{LI},i,j} \quad (\text{B.3})$$

式中:

- $LI_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积枯落物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
- $AGB_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
- $DF_{LI,i,j}$ —— 第 i 项目碳层树种 j 的枯落物量与地上生物量的比值，无量纲。

B.4 枯死木量的计算

本文件采用缺省值的方法估计乔木林枯死木量，竹林或灌木林的枯死木量计为 0。首先计算乔木林单位面积地上生物量，再利用枯死木量与地上生物量的比值，计算单位面积枯死木量：

$$DW_{i,j,t} = AGB_{i,j,t} \times DF_{DW,i,j} \quad (B.4)$$

式中：

- $DW_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积枯死木量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
- $AGB_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t\ d.m.\cdot hm^{-2}$)；
- $DF_{DW,i,j}$ —— 第 i 项目碳层树种 j 的枯死木量与地上生物量的比值，无量纲。

B.5 死有机质参数

表 B.1 中国主要乔木林树种的枯落物量与地上生物量的比值 (DF_{LI} , %) (基于文献整合分析)

| 森林类型 | | 适用的林龄范围 | | | | |
|---|-----|---------|---------|---------|---------|-------|
| | | 1年-10年 | 11年-20年 | 21年-30年 | 31年-40年 | ≥41年 |
| 南方地区 | 针叶林 | 5.27 | 5.54 | 5.82 | 5.42 | |
| | 阔叶林 | 9.67 | 6.92 | 4.72 | 4.35 | |
| | 针阔混 | 7.84 | 7.58 | 6.78 | 4.89 | |
| 北方地区 | 针叶林 | 6.01 | | 9.80 | | 14.59 |
| | 阔叶林 | 7.81 | | 7.69 | | 7.69 |
| | 针阔混 | 8.98 | | | | |
| 毛竹林 | | 6.63 | | | | |
| 其他竹林 | | 17.73 | | | | |
| 灌木林 | | 16.30 | | | | |
| 注：南方地区包括上海、江苏、浙江、安徽、江西、福建、广东、广西、海南、四川、云南、贵州、西藏、重庆、湖北、湖南等；北方地区包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、河北、北京、天津、山东、河南、陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆等。 | | | | | | |

表 B.2 中国主要乔木林的枯死木量与地上生物量的比值 (DF_{DW} , %) (基于文献整合分析)

| 森林类型 | | 适用的林龄范围 | | | |
|------|-----|---------|---------|---------|------|
| | | 1年-10年 | 11年-20年 | 21年-30年 | ≥31年 |
| 南方地区 | 针叶林 | 5.12 | 5.30 | 5.82 | 1.74 |
| | 阔叶林 | 4.60 | | | |
| | 针阔混 | 3.28 | | | |

| | | |
|---|-----|------|
| 北方地区 | 针叶林 | 3.36 |
| | 阔叶林 | 3.20 |
| | 针阔混 | 3.28 |
| 注：南方地区包括上海、江苏、浙江、安徽、江西、福建、广东、广西、海南、四川、云南、贵州、西藏、重庆、湖北、湖南等；北方地区包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、河北、北京、天津、山东、河南、陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆等。 | | |

附录 C

(资料性附录)

森林土壤有机碳储量变化计算方法

造林活动由于整地扰动土壤，可能会使项目地块的土壤有机碳储量在整地后发生减少；后期随着林木生长、死亡根系和枯落物返还与分解等，土壤有机碳又会逐渐增加，最终趋于稳定。

由于土壤有机碳储量及其变化的监测成本较高、监测结果的不确定性大，基于保守性原则和成本有效性原则，项目业主须基于以下假设条件对土壤有机碳储量及其变化量进行计算：

a) 整地造林之后 0-5 年，项目地块的土壤有机碳含量逐渐下降，从第 6 年之后逐渐上升，恢复至整地前的土壤有机碳水平大约需要 20 年左右；

b) 整地造林之后第 20-40 年，项目地块的土壤有机碳含量呈线性增加，且在第 40 年后土壤有机碳含量达到稳定状态，即不再增长；

c) 造林碳汇项目基准线情景下土壤有机碳储量变化量计为 0。

基于上述假设，项目情景下土壤有机碳储量年变化量可采用如下公式计算：

$$\Delta SOC_t = \sum_i \Delta SOC_{i,t} \quad (C.1)$$

$$\Delta SOC_{i,t} = \delta SOC \times \frac{44}{12} \times A_{i,t} \quad (C.2)$$

式中：

ΔSOC_t —— 整地造林后第 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 项目碳层整地造林后第 t 年的土壤有机碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2e \cdot a^{-1}$)；

δSOC —— 整地造林后土壤有机碳密度平均年变化率，单位为吨碳每公顷每年 ($t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)，见表 C.1；

44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲；

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

i —— 项目碳层， $i=1, 2, 3 \dots$ ，无量纲；

t —— 自项目整地造林后的年数，无量纲。

表 C.1 整地造林后土壤有机碳密度年变化率参考值 ($t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$) (基于文献整合分析)

| 整地造林后的年限 | 常绿阔叶 | 落叶阔叶 | 针叶 | 竹子 | 灌木 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0-5 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

(资料性附录)

森林火烧引起的温室气体排放量计算方法

D.1 森林火烧引起的温室气体排放量的计算

森林火烧包括火灾和人为火烧。森林火灾会引起林木地上生物质和死有机质的燃烧，人为伐除疫病死木并烧除，都可能会造成非 CO₂ 温室气体的排放。

$$GHG_t = GHG_{\text{FIRE,AGB},t} + GHG_{\text{FIRE,DOM},t} + GHG_{\text{BURN},t} \quad (\text{D.1})$$

式中：

- GHG_t —— 第 t 年时，项目边界内由于森林火烧引起的非 CO₂ 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂e·a⁻¹)；
- $GHG_{\text{FIRE,AGB},t}$ —— 第 t 年时，项目边界内由火灾引起的地上生物质燃烧造成的非 CO₂ 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂e·a⁻¹)；
- $GHG_{\text{FIRE,DOM},t}$ —— 第 t 年时，项目边界内由火灾引起的死有机质燃烧造成的非 CO₂ 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂e·a⁻¹)；
- $GHG_{\text{BURN},t}$ —— 第 t 年时，项目边界内由人为火烧造成的非 CO₂ 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂e·a⁻¹)。

D.2 火灾引起地上生物质燃烧造成的温室气体排放的计算

火灾引起森林地上生物质燃烧造成的非 CO₂ 温室气体排放，使用最近一次项目核查时 (T_V) 划分的碳层、各碳层地上生物量数据和燃烧因子进行计算：

$$GHG_{\text{FIRE,AGB},t} = \sum_i [A_{\text{BURN},i,t} \times AGB_{i,T_V} \times COMF_i \times (EF_{\text{CH}_4} \times GWP_{\text{CH}_4} + EF_{\text{N}_2\text{O}} \times GWP_{\text{N}_2\text{O}})] \times 10^{-3} \quad (\text{D.2})$$

式中：

- $GHG_{\text{FIRE,AGB},t}$ —— 第 t 年时，项目边界内由于森林火灾引起地上生物质燃烧造成的非 CO₂ 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂e·a⁻¹)；
- $A_{\text{BURN},i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层发生燃烧的土地面积，单位为公顷 (hm²)；
- AGB_{i,T_V} —— 火灾发生前，项目最近一次核查时第 i 项目碳层的地上生物量，单位为吨每公顷 (t d.m.·hm⁻²)；
- $COMF_i$ —— 第 i 项目碳层的燃烧指数，针对植被类型取值，无量纲；
- EF_{CH_4} —— CH₄ 排放因子，单位为克甲烷每千克 (g CH₄·(kg d.m.)⁻¹)；
- $EF_{\text{N}_2\text{O}}$ —— N₂O 排放因子，单位为克氧化亚氮每千克 (g N₂O·(kg d.m.)⁻¹)；
- GWP_{CH_4} —— CH₄ 的全球增温潜势，用于将 CH₄ 转换成 CO₂e，无量纲；
- $GWP_{\text{N}_2\text{O}}$ —— N₂O 的全球增温潜势，用于将 N₂O 转换成 CO₂e，无量纲；

- i —— 项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$; 根据第 T_V 年核查时的分层确定, 无量纲;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲;
- T_V —— 自项目开始至项目最近一次核查的时间, 无量纲;
- 10^{-3} —— 将千克转换成吨的常数。

第一次核查时, 如果核算期内有火灾发生, 但不清楚燃烧前的地上生物量, 可保守地采用第一次核查时火灾发生所在的同一碳层的平均单位面积地上生物量进行计算。

D.3 火灾引起死有机质燃烧造成的温室气体排放的计算

森林火灾引起死有机质燃烧造成的非 CO_2 温室气体排放, 应使用最近一次核查 (T_V) 的碳层死有机质碳储量来计算。第一次核查时, 可保守地采用第一次核查时同一碳层的平均单位面积死有机质碳储量进行计算:

$$GHG_{\text{FIRE,DOM},t} = \sum_i [A_{\text{BURN},i,t} \times (DW_{i,T_V} \times CF_{\text{DW}} + LI_{i,T_V} \times CF_{\text{LI}})] \times \frac{44}{12} \times 0.07 \quad (\text{D.3})$$

式中:

- $GHG_{\text{FIRE,DOM},t}$ —— 第 t 年时, 项目边界内由于森林火灾引起死有机质燃烧造成的非 CO_2 温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{t CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $A_{\text{BURN},i,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层发生燃烧的土地面积, 单位为公顷 (hm^2);
- DW_{i,T_V} —— 火灾发生前, 项目最近一次核查时第 i 项目碳层的枯死木单位面积干物质质量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$), 使用附录 B 的方法计算;
- CF_{DW} —— 枯死木干物质含碳率, 单位为吨碳每吨 ($\text{t C}\cdot(\text{t d.m.})^{-1}$);
- LI_{i,T_V} —— 火灾发生前, 项目最近一次核查时第 i 项目碳层的枯落物单位面积干物质质量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$), 使用附录 B 的方法计算;
- CF_{LI} —— 枯落物干物质含碳率, 单位为吨碳每吨 ($\text{t C}\cdot(\text{t d.m.})^{-1}$);
- i —— 项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$; 根据第 T_V 年核查时的分层确定, 无量纲;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲;
- T_V —— 自项目开始至项目最近一次核查的时间, 无量纲;
- $\frac{44}{12}$ —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比, 无量纲;
- 0.07 —— 非 CO_2 排放量占碳储量的比例。

D.4 人为火烧引起的温室气体排放

项目期内如果有伐除病原疫木并烧除的活动, 则须计算人为火烧活动引起的非 CO_2 温室气体排放。可通过调查人为火烧活动发生的碳层内采伐病原疫木的数量比例 (如蓄积量比例或株数比例), 使用最近一次项目核查时 (T_V) 划分的相同碳层的平均地上生物量数

据来计算燃烧的地上生物量，结合燃烧因子计算人为火烧活动引起的非 CO₂ 温室气体排放：

$$GHG_{\text{BURN},t} = \sum_i [A_{i,t} \times AGB_{i,T_V} \times R_{\text{BURN},i,t} \times COMF_i \times (EF_{\text{CH}_4} \times GWP_{\text{CH}_4} + EF_{\text{N}_2\text{O}} \times GWP_{\text{N}_2\text{O}})] \times 10^{-3} \quad (\text{D.4})$$

式中：

- $GHG_{\text{BURN},t}$ —— 第 t 年时，项目边界内由于人为火烧引起的非 CO₂ 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂e·a⁻¹)；
- $A_{i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层的土地面积，单位为公顷 (hm²)；
- AGB_{i,T_V} —— 火灾发生前，项目最近一次核查时第 i 项目碳层的地上生物量，单位为吨每公顷 (t d.m.·hm⁻²)，使用附录 A 的方法计算；
- $R_{\text{BURN},i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层内烧除病原疫木的数量占比 (如蓄积量比例或株数比例)，单位为百分比 (%)；
- $COMF_i$ —— 第 i 项目碳层的燃烧指数 (针对每个植被类型)，无量纲；
- EF_{CH_4} —— CH₄ 排放因子，单位为克甲烷每千克 (g CH₄·(kg d.m.)⁻¹)；
- $EF_{\text{N}_2\text{O}}$ —— N₂O 排放因子，单位为克氧化亚氮每千克 (g N₂O·(kg d.m.)⁻¹)；
- GWP_{CH_4} —— CH₄ 的全球增温潜势，用于将 CH₄ 转换成 CO₂e，无量纲；
- $GWP_{\text{N}_2\text{O}}$ —— N₂O 的全球增温潜势，用于将 N₂O 转换成 CO₂e，无量纲；
- i —— 项目碳层， $i=1, 2, 3, \dots$ ；根据第 T_V 年核查时的分层确定，无量纲；
- t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- T_V —— 自项目开始至项目最近一次核查的时间，无量纲；
- 10^{-3} —— 将千克转换成吨的常数。

第一次核查时，如果核算期内有人为火烧发生，但不清楚燃烧前的地上生物量，可保守地采用第一次核查时火灾发生所在的同一碳层的平均单位面积地上生物量。

表 D.1 不同植被类型燃烧因子参考值

| 森林类型 | 林龄 | 缺省值 |
|----------|---------|------|
| 亚热带/热带森林 | 3年-5年 | 0.46 |
| | 6年-10年 | 0.67 |
| | 11年-17年 | 0.50 |
| | ≥18年 | 0.32 |
| 寒温带森林 | 全林龄 | 0.40 |
| 温带森林 | 全林龄 | 0.45 |

附录 E

(资料性附录)

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：

第一步：计算样地数量 n 。如果 $n \geq 30$ ，则该步骤所得样地数为 n 值；如果 $n < 30$ ，则须采用自由度为 $n-1$ 时的 t_{VAL} 值，进行第二次迭代计算，得到的 n 值即为最终的样地数：

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

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；
- N —— 项目边界内监测样地的抽样总体， $N=A/A_p$ ；其中 A 是项目总面积， A_p 是样地面积，无量纲；
- t_{VAL} —— 可靠性指标。在一定的可靠性水平下，自由度为无穷 (∞) 时查 t -分布双侧 t -分位数表的 t 值，取值为 1.645，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 项目碳层单位面积生物质碳储量估计值的标准差，单位为吨碳每公顷 ($\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$)；项目设计阶段，采用碳层单位面积生物质碳储量估计值的 10%；
- 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 ($\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$)；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， $i=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

第二步：当抽样面积较大时（抽样面积大于项目面积的 5%），按公式 (E.1) 进行计算获得样地数 n 之后，按照公式 (E.2) 对 n 值进行调整，从而确定最终的样地数 (n_a)：

$$n_a = n \times \frac{1}{1 + n/N} \quad (E.2)$$

式中：

- n_a —— 调整后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；
- 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；
- N —— 项目边界内监测样地的抽样总体，无量纲。

第三步：当抽样面积较小时（抽样面积小于项目面积的 5%），可采用简化方式计算：

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E} \right)^2 \times \left(\sum_i w_i \times S_i \right)^2 \quad (E.3)$$

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 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 ($\text{t C}\cdot\text{hm}^{-2}$); 项目设计阶段, 采用碳层单位面积生物质碳储量估计值的 10%;
- 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 ($\text{t C}\cdot\text{hm}^{-2}$); 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, $i=1, 2, 3\cdots$, 无量纲。

第四步: 分配到各碳层的监测样地数量, 采用最优分配法进行计算。分配样地数量不足 3 个的碳层, 最少设置 3 个样地:

$$n_i = n \times \frac{w_i \times S_i}{\sum_i (w_i \times S_i)} \quad (\text{E.4})$$

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 项目碳层单位面积生物质碳储量标准差的估计值, 单位为吨碳每公顷 ($\text{t C}\cdot\text{hm}^{-2}$); 项目设计阶段, 采用碳层单位面积生物质碳储量估计值的 10%;
- i —— 项目碳层, $i=1, 2, 3\cdots$, 无量纲。

E.2 样地布设方案

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:

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 $1\sim N_i$ 之间产生一个随机数 (如在 Excel 表格中, 使用随机数公式 $f(x)=\text{ROUND}(\text{RAND}()*(N_i),0)$ 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。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, 依此类推。

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

根据确定的样地中心点坐标, 使用 RTK 等定位工具找到样地中心点准确地理位置。如果样地边界距离林缘、悬崖等地形地物小于 10m, 可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, 并记录新的样地中心点坐标。坐标以度表示, 至少保留 6 位小数。

首次监测时，可在样地中心点设置永久性标志，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 $0.04\text{hm}^2\sim 0.06\text{hm}^2$ ，样地形状采用矩形（样地测量闭合差 $\leq 0.5\%$ ）或圆形。对于在坡地上的样地，须进行坡度校正。在同一个项目中，所有样地的面积和形状应相同，样地内林木和管理方式应与样地外完全一致。

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 。

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。固定样地复位率须达 100%。

为了便于核查，项目开始前可对样地内的原有林木单独进行标记，在项目计入期内可不进行监测。

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，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 F
(资料性附录)

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，实测样地内除基准线林木以外所有活立木的胸径（或竹径），根据选择测量树高（或竹高），起测胸径为 2cm。对于灌木林可只选择监测样方内灌木株数、单株灌木的基径、分枝数、灌高、灌幅等，或监测样方内的灌木盖度。

第二步：采用附录 A 的方法计算单株林木（或竹子、灌木）的生物量，累加得到样地水平的生物量，再结合生物量含碳率计算样地水平的生物质碳储量，以及各碳层的平均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：

$$c_{\text{Biomass},i,t} = \left(\sum_p c_{\text{Biomass},i,p,t} \right) / n_i \quad (\text{F.1})$$

$$S_{c_{\text{Biomass},i,t}}^2 = \frac{n_i \times \sum_p c_{\text{Biomass},i,p,t}^2 - \left(\sum_p c_{\text{Biomass},i,p,t} \right)^2}{n_i \times (n_i - 1)} \quad (\text{F.2})$$

式中：

- $c_{\text{Biomass},i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷 ($\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$)；
- $c_{\text{Biomass},i,p,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层样地 p 的单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷 ($\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$)；
- n_i —— 第 i 项目碳层的监测样地数，无量纲；
- $S_{c_{\text{Biomass},i,t}}^2$ —— 第 t 年时，第 i 项目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 ($(\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2})^2$)；
- p —— 第 i 项目碳层中的样地， $p=1, 2, 3, \dots, n_i$ ，无量纲；
- i —— 项目碳层， $i=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

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：

$$c_{\text{Biomass},t} = \sum_i (w_i \times c_{\text{Biomass},i,t}) \quad (\text{F.3})$$

$$S_{c_{\text{Biomass},t}}^2 = \sum_i \left(w_i^2 \times \frac{S_{c_{\text{Biomass},i,t}}^2}{n_i} \right) \quad (\text{F.4})$$

式中：

- $c_{\text{Biomass},t}$ —— 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 ($\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$)；
- 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；
- $c_{\text{Biomass},i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷 ($\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2}$)；
- $S_{c_{\text{Biomass},t}}^2$ —— 第 t 年时，项目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 ($(\text{t C} \cdot \text{hm}^{-2})^2$)；
- $S_{c_{\text{Biomass},i,t}}^2$ —— 第 t 年时，第 i 项目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 $((t C \cdot hm^{-2})^2)$;
- n_i —— 第 i 项目碳层的监测样地数, 无量纲;
- i —— 项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$, 无量纲;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。

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:

$$u_{C_{Biomass,t}} = \frac{t_{VAL} \times S_{C_{Biomass,t}}}{C_{Biomass,t}} \quad (F.5)$$

式中:

- $u_{C_{Biomass,t}}$ —— 第 t 年时, 项目边界内平均单位面积生物质碳储量的估计值的不确定性, 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。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)” 可计算得到 t 值为 1.6794;
- $S_{C_{Biomass,t}}$ —— 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 $(t C \cdot hm^{-2})$;
- $C_{Biomass,t}$ —— 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 $(t C \cdot hm^{-2})$;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。

第六步: 计算第 t 年项目边界内的生物质总碳储量:

$$C_{Biomass,t} = A \times c_{Biomass,t} \quad (F.6)$$

式中:

- $C_{Biomass,t}$ —— 第 t 年时, 项目边界内生物质碳储量, 单位为吨碳 $(t C)$;
- A —— 项目边界内各碳层的面积总和, 单位为公顷 (hm^2) ;
- $c_{Biomass,t}$ —— 第 t 年时, 项目边界内的平均单位面积生物质碳储量, 单位吨碳每公顷 $(t C \cdot hm^{-2})$;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。

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:

$$\Delta C_{Biomass,t} = \frac{C_{Biomass,t_2} - C_{Biomass,t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \quad (F.7)$$

式中:

- $\Delta C_{Biomass,t}$ —— 核算期内第 t 年的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 $(t CO_2e \cdot a^{-1})$;
- $C_{Biomass,t_1}$ —— 第 t_1 年时, 项目边界内生物质碳储量, 单位为吨二氧化碳当量每年 $(t CO_2e \cdot a^{-1})$;
- $C_{Biomass,t_2}$ —— 第 t_2 年时, 项目边界内生物质碳储量, 单位为吨二氧化碳当量每年 $(t CO_2e \cdot a^{-1})$;
- 44/12 —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比, 无量纲;
- t_1, t_2 —— 核算期的间隔时间, 单位为年 (a); 开始于第 t_1 年, 结束于第 t_2 年, 且 $t_1 \leq t \leq t_2$;
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3, \dots$, 无量纲。

如果乔木造林使用的苗木平均胸径 $< 2cm$, 可假定造林时的林木生物质碳储量为 0。如果乔木造林活动采用了平均胸径 $\geq 2cm$ 以上的大苗, 须根据造林时各碳层的造林树种、平

均胸径、平均树高、造林密度、造林面积等，采用附录 A 的方法计算造林时的林木生物质碳储量。

附录 G
(资料性附录)

森林生物质碳储量的机载激光雷达监测方法

本附录文件主要适用于乔木（或竹子）造林。在项目监测阶段，项目业主须在减排量核算中明确说明实施过程，并提交实施过程中完整的数据文件，包括但不限于激光雷达点云文件（.las）、点云数据配套的边界矢量数据文件（.shp 或.kml）、数据处理代码文件以及相应的模型计算结果文件（.csv 或.xlsx）。首次使用机载激光雷达进行森林生物质碳储量监测的操作流程如图 G.1 所示：

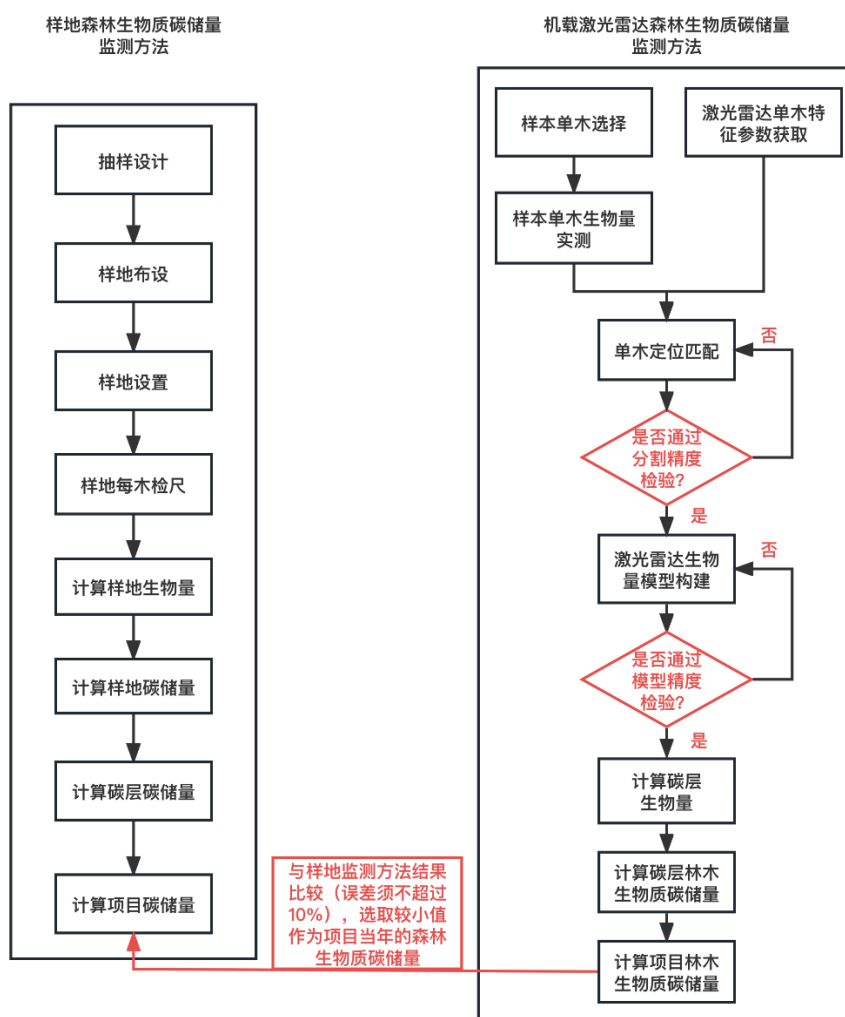


图 G.1 首次使用机载激光雷达监测森林生物质碳储量的操作流程

第一步：样本单木选择

根据项目树种选择在项目所在地针对每个树种随机选择不少于 60 株单木作为建模样本。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 2 株~3 株样本木，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。使用 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……)。

第二步：样本单木生物量实测

实测所有样本单木的胸径和（或）树高，并利用生物量方程法或生物量转换因子法计算单木 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)。

第三步：激光雷达单木特征参数获取

参照《CH/T 8024-2011 机载激光雷达数据获取技术规范》，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、激光雷达生物量指数 (LiDAR Biomass Index, LBI) 等。

a) 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：

$$(X_{Tree}, Y_{Tree}, Z_{Tree}) = (X_{Highest}, Y_{Highest}, Z_{Highest}) \quad (G.1)$$

式中：

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

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

b) 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：

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

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)。

第四步：单木定位匹配

选取统一的参考坐标系 (WGS84 或 CGCS2000) 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。

在进行该步骤时须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。

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

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）。

第五步：激光雷达生物量模型构建

根据不同林地的实际情况，可选择适当的拟合方法（如最小二乘法）构建激光雷达生物量模型。随机选取从第四步数据集中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），构建激光雷达生物量模型：

$$b_k^m = f(x_k^l) \xrightarrow{\text{minimizing } SSE} b_k^l = \hat{f}(x_k^l) \quad (\text{G.4})$$

式中：

- b_k^m —— 第 k 株单木的样地实测全株（或地上）生物量，单位为千克（kg d.m.）；
- b_k^l —— 第 k 株单木的激光雷达计算的全株（或地上）生物量，单位为千克（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， $SSE = \sum_k (b_k^m - b_k^l)^2$ ；
- $f(x_k^l)$ —— 样地实测全株（或地上）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 $f(x_k^l)$ 求解参数，并将其记为 $\hat{f}(x_k^l)$ ，单位为千克每株（kg d.m.·stem⁻¹）；
- $\hat{f}(x_k^l)$ —— 拟合所得的激光雷达全株（或地上）生物量计算函数；也即对 $f(x_k^l)$ 求解参数的结果，单位为千克每株（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， $k=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲。

此处以基于激光雷达生物量指数和树高的拟合方法为例，建立激光雷达特征参数与林木（或林地）特征参数的关系模型，也可选择采用其他建模方法：

a) LBI 的计算

对任一样本分割单木的激光点云数据从枝下高度（树冠低点）到树冠顶点高度以一定的高度间隔进行分层，并根据每层的点云计算对应层的体积，最终对所有层进行积分，获取单木树冠的激光雷达生物量指数：

$$LBI = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \sum_{H=H_C}^{H_T} \{U_L(H) \times \pi \times [r(H)]^2 \times \Delta H \times H\} \quad (\text{G.5})$$

式中：

- LBI —— 单木的激光雷达生物量指数，无量纲；
- $U_L(H)$ —— 从解析木的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（m²·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）。

b) 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（或地上）生物量，采用非线性回归方法构建单木生物量模型，公式（G.6）以使用 LBI 反演地上生物量的方法为例。也可采用其他类似的建模方法，选择不同的激光雷达特征参数和林木（或林地）特征参数，建立其与生物量之间的关系模型。

$$\ln AGB = \ln p + \beta \ln H_T + \frac{2\beta}{\alpha} \ln LBI \quad (G.6)$$

式中:

- AGB —— 单木地上生物量, 单位为千克每株 ($\text{kg}\cdot\text{stem}^{-1}$);
- 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。

第六步: 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。

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

式中:

- R^2 —— 模型决定系数, 无量纲;
- \bar{b}_k^m —— 样地实测全株 (或地上) 生物量的平均值, 单位为千克 (kg d.m.);
- b_k^m —— 第 k 株单木的样地实测全株 (或地上) 生物量, 单位为千克 (kg d.m.);
- b_k^l —— 第 k 株单木的激光雷达计算的全株 (或地上) 生物量, 单位为千克 (kg d.m.);
- k —— 样本单木, $k=1, 2, 3, \dots$, 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。

第七步: 碳层生物量和碳储量计算

若模型满足第六步中的精度要求, 则使用第五步得到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 (或地上) 生物量, 形成第 i 项目碳层内 j 树种激光雷达单木全株 (或地上) 生物量数据集 $b_{i,j,1}^l, b_{i,j,2}^l, \dots, b_{i,j,s}^l$, 再结合各类型树种生物量含碳率 (若计算的是地上生物量, 则须利用地下生物量与地上生物量的比值转化为全株生物量) 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:

$$c_i^l = \sum_j \sum_s c_{i,j,s}^l \quad (G.8)$$

式中:

- c_i^l —— 第 i 项目碳层的激光雷达生物质碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $c_{i,j,s}^l$ —— 第 i 项目碳层第 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 (tC);
- s —— 第 i 项目碳层内第 j 类树种的单木, $s=1, 2, 3, \dots$, 单位为株 (stem);
- i —— 项目碳层, $i=1, 2, 3, \dots$, 无量纲;
- j —— 树种, $j=1, 2, 3, \dots$, 无量纲;
- l —— 通过激光雷达直接获取或计算的值, 无量纲。

第八步：项目边界内生物质碳储量计算

利用各碳层生物质碳储量，计算项目边界内生物质碳储量：

$$c^l = \sum_i c_i^l \quad (\text{G.9})$$

式中：

- c^l —— 项目边界内激光雷达生物质碳储量，单位为吨碳（tC）；
- c_i^l —— 第 i 项目碳层的激光雷达生物质碳储量，单位为吨碳（tC）；
- i —— 项目碳层， $i=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
- l —— 通过激光雷达直接获取或计算的值，无量纲。

第九步：项目边界内生物质碳储量年变化量的计算

利用附录 A 公式（A.1）计算项目边界内森林生物质碳储量的年变化量。