

温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇

(征求意见稿)

1 引言

造林是基于自然的解决方案，是通过森林生态系统固碳增汇、减缓气候变化的重要途径。造林碳汇项目通过增加森林生物质、死有机质、土壤有机碳碳储量，实现二氧化碳的清除。本方法学参照 AR-CM-001-V01 碳汇造林项目方法学和 AR-CM-002-V01 竹子造林碳汇项目方法学制订，属于林业领域方法学。符合条件的造林活动可以按照本方法学要求设计、审定温室气体自愿减排项目，以及核算、核查温室气体自愿减排项目的减排量。

2 适用条件

本方法学适用于防护林、用材林、能源林、特种用途林造林（含竹林），不包括经济林造林、更新造林、非林地绿化（如乡村绿化、通道绿化、四旁植树、公园绿化等）。使用本方法学的造林碳汇项目必须满足以下条件：

- (1) 项目土地在项目开始前为：疏林地、裸土地和裸岩石砾地等不符合森林定义的可规划用于造林的土地，或者 2019 年（含）前的宜林地；
- (2) 项目土地权属清晰，具有由县（含）级以上人民政府核发的土地权属证书或者土地流转合同；
- (3) 项目土地连续面积不小于 400m²。其中 2019 年（含）之前开始的项目，土地连续面积不小于 666.7m²；
- (4) 项目土地不属于湿地；
- (5) 项目实施后，乔木或者胸径 2cm 以上的竹子郁闭成林后郁闭度不低于 0.20；乔木林带的行数不少于 2 行且行距 4m 以上，或者郁闭成林后林冠冠幅投影宽度不少于 10m；灌木或者胸径小于 2cm 的竹子郁闭成林后覆盖度不低于 40%；成林后平均高度不低于 2m；
- (6) 项目不移除原有林木（或者竹子），原有灌木（含胸径小于 2cm 的杂竹）的移除比例不超过地表面积的 20%；
- (7) 除对病原疫木进行必要的烧除外，项目不允许其它人为火烧活动；
- (8) 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。

3 引用文件

本方法学内容引用了下列文件或者其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本方法学。

GB/T 15776 造林技术规程

GB/T 18337.2 生态公益林建设 规划设计通则

GB/T 26423 森林资源术语

GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程

GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

LY/T 1812 林地分类

LY/T 2647 通道绿化技术规程

LY/T 2645 乡村绿化技术规程

LY/T 2736 经济林名词术语

TD/T 1055 第三次全国国土调查技术规程

自然资源部，国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南（试行）

国家林业和草原局，全国森林、草原、湿地调查监测技术规程

国务院第三次全国国土调查领导小组办公室，第三次全国国土调查工作分类地类认定细则

4 术语与定义

下列术语和定义适用于本方法学。

4.1

造林 forestation

在疏林地、裸土地和裸岩石砾地等不符合森林定义的土地上，通过人工措施（含飞播造林）营建或者恢复森林的过程。不包括更新造林，也不包括城乡绿化、通道绿化、四旁植树、公园绿化等。

[来源：GB/T 15776 造林技术规程，有修改。]

4.2

更新造林 reforestation

在采伐迹地上或者在林木采伐前的林地上，通过人工措施重新营建或者恢复森林的过程。包括迹地更新造林和伐前更新造林。

[来源：GB/T 15776 造林技术规程，有修改。]

4.3

森林 forest

由乔木或者胸径 2cm 以上的竹子组成且郁闭度 0.20 以上，或者由灌木（或者胸径 2cm 以下的竹子）组成且覆盖度 40%以上，平均高度不低于 2m 的植物群落。

[来源：GB/T 26423 森林资源术语，LY/T 1821 林地分类，有修改。]

4.4

乔木林地 arboreal forest land

由乔木（含因人工栽培而矮化的）树种组成，郁闭度 ≥ 0.20 的片林或者林带。其中，乔木林带行数应当在2行以上且行距 $\leq 4\text{m}$ 或者林冠冠幅水平投影宽度在10m以上。不包括森林沼泽。

[来源：GB/T 26423 森林资源术语，LY/T 1821 林地分类，有修改。]

4.5

竹林地 bamboo forest land

附着有胸径2cm以上的竹类植物，郁闭度 ≥ 0.20 的林地。

[来源：GB/T 26423 森林资源术语，LY/T 1821 林地分类，有修改。]

4.6

疏林地 scattered wood land

由乔木树种组成，郁闭度在0.10~0.19之间的林地。

[来源：GB/T 26423 森林资源术语，LY/T 1821 林地分类，有修改。]

4.7

灌木林地 shrub land

附着有灌木树种或者因生境恶劣矮化成灌木型的乔木树种以及胸径小于2cm的小杂竹，覆盖度在40%以上的林地。不包括灌丛沼泽。

[来源：GB/T 26423 森林资源术语，LY/T 1821 林地分类，有修改。]

4.8

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 通道绿化技术规程]

4.9

乡村绿化 village greens

乡村范围内的四旁地、场院用地、废弃闲置地、公共绿地等土地上进行的植树种草和植被保护修复，并且形成林草覆盖的过程。

[来源：LY/T 2645 乡村绿化技术规程，有修改。]

4.10

生态公益林 non-commercial forest

以保护和改善人类生存环境、维持生态平衡、保存种质资源、科学实验、森林旅游、国土保安等需要为主要经营目的的森林、林木、林地，包括防护林和特种用途林。依据GB/T 18337.2的有关要求区划为特殊保护、重点保护和一般保护三个等级。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《重点公益林区划界定办法》的相关规定。

[来源：GB/T 26423 森林资源术语，GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程]

4.11

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。其中，经济林包括以生产各种干、鲜果品为主要目的的果品林，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，以生产树脂、橡胶、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，以生产药材、药用原料为主要目的的药用林，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 经济林名词术语，有修改。]

4.12

碳库 carbon pool

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、枯死木、枯落物、土壤有机碳和木（竹）产品碳库。

4.13

地上生物质 aboveground living matter

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

4.14

地下生物质 belowground living matter

土壤层以下所有植物活根的生物质，但通常不包括难以从土壤有机成分或者枯落物中区分出来的直径 $\leq 2.0\text{mm}$ 的细根。

4.15

死有机质 dead organic matter

包括枯落物和枯死木。枯落物是土壤层以上，直径小于 $\leq 5.0\text{cm}$ 、处于不同分解状态的所有死生物量。包括凋落物、腐殖质，以及难以从地下生物量中区分出来的细根。枯死木是枯落物以外的所有死生物量，包括枯立木、枯倒木以及直径 $\geq 5.0\text{cm}$ 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量中区分出来的直径 $\leq 2.0\text{mm}$ 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（或者竹材）加工而成，在项目计入期结束后仍然在用的木制（或者竹制）产品。

4.18

湿地 wetlands

湿地包括全年（或者一年中大部分时间，如泥炭土）被水淹没或者土壤水分处于饱和状态的陆地，且不属于森林、农田、草地和居住用地的范畴。

5 项目边界及排放源

5.1 项目边界

一个造林碳汇项目可在若干个不连续的地块上进行，但每个地块应当有特定的地理边界。在项目设计阶段，项目边界不包含宽度大于3m的道路、沟渠、坑塘、河流等不符合适用条件的土地。

在项目设计阶段，项目业主须明确项目计划的地块边界，提供所有地块边界的矢量数据文件。

在项目实施阶段，项目业主须测量实际造林的地块边界，并且由审定和核查机构对项目实际边界进行核实。

项目边界可采用下述方法之一确定：

(1) 利用全球导航卫星系统（GNSS）或其它卫星定位系统，直接测定项目地块边界的拐点坐标，单点定位误差不超过±5m。

(2) 利用高分辨率的地理空间数据（如卫星遥感影像、航拍影像）、林草湿资源一张图、造林作业设计等，在地理信息系统辅助下直接读取项目地块的边界坐标。

5.2 项目开工日期、计入期和寿命期限

项目的开工日期为在项目边界内的土地上首次实施整地、播种或者植苗的日期。

项目计入期不低于20年，最长不超过40年。

项目寿命期限须根据项目业主对项目边界内土地的所有权（或者使用权）或者项目边界内林木的所有权（或者经营权）的有效期限进行确定。计入期须在项目寿命期限范围之内。

5.3 碳库和温室气体排放源的选择

项目边界内选择或者不选择的碳库如表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	是	基准线情景项目边界内主要碳库，必须选择。

	地下生物质	是	基准线情景项目边界内主要碳库，必须选择。
	枯死木	否	忽略基准线情景枯死木的变化。
	枯落物	否	忽略基准线情景枯落物的变化。
	土壤有机碳	否	忽略基准线情景土壤有机碳储量的变化。
	木（竹）产品	否	基准线情景无木（竹）产品。
项目情景	地上生物质	是	地上生物质是造林项目产生的主要碳库，必须选择。
	地下生物质	是	地下生物质是造林项目产生的主要碳库，必须选择。
	枯死木	是或者否	相比基准线情景，造林项目会增加枯死木碳库的碳储量，如果项目活动不移除枯死木，可以保守地忽略该碳库，不进行计量和监测。
	枯落物	是或者否	相比基准线情景，造林项目会增加枯落物碳库的碳储量，如果项目活动不移除枯落物，可以保守地忽略该碳库，不进行计量和监测。
	土壤有机碳	否	相比基准线情景，造林项目会降低或增加土壤有机碳碳库的碳储量，并且在计入期内该碳库变化量不明显，监测成本高，出于成本有效性考虑，不进行计量和监测。
	木（竹）产品	否	在项目寿命期限结束或在木（竹）产品生产后 30 年时，仍在在使用或进入垃圾填埋场的木（林）产品难以追踪、核查，且碳库所属权难以明确，因此不计量和监测该碳库。

项目边界内选择或者不选择的温室气体种类与排放源如表 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	火灾或者人为火烧	CO ₂	否	无法提前预料，忽略。
		CH ₄	否	无法提前预料，忽略。
		N ₂ O	否	无法提前预料，忽略。
	化石能源使用（项目运行过程中车辆、机械设备等使用产生的排放）	CH ₄ 和 N ₂ O	否	根据适用条件，忽略。
	施肥（石灰、污泥）	CH ₄ 和 N ₂ O	否	根据适用条件，忽略。

项目情景	火灾或者人为火烧	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，不需要重复计算。
		CH ₄	是或者否	如果项目期内发生森林火灾或者人为的火烧活动，会导致生物质或者死有机质燃烧产生 CH ₄ 排放，则必须选择该排放源。
		N ₂ O	是或者否	如果项目期内发生森林火灾或者人为的火烧活动，会导致生物质或者死有机质燃烧产生 N ₂ O 排放，则必须选择该排放源。
	化石能源使用（项目运行过程中车辆、机械设备等使用产生的排放）	CH ₄ 和 N ₂ O	否	排放量小、监测难度大、成本高，忽略不计。
	施肥（石灰、污泥）	CH ₄ 和 N ₂ O	否	排放量小、监测难度大、成本高，忽略不计。

6 减排量核算方法学

6.1 基准线情景识别

项目基准线情景为：维持项目开始前的土地利用与管理方式，可根据记录（例如县志、林业志或土地志等地方志或史志）、实地调查的数据等途径进行识别确定。

6.2 额外性论证

根据项目实际情况选择下列方式之一对项目的额外性进行论证。

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，通常不具备财务吸引力。符合下列条件之一的造林项目，其额外性免于论证：

- (1) 在年均降水量≤400mm 的地区开展的非经济林造林项目；
- (2) 在国家重点生态功能区开展的非经济林造林项目；
- (3) 在国家级公益林区和地方级公益林区开展的生态公益林造林项目。

6.2.2 一般论证

其他非经济林造林项目按照《温室气体自愿减排项目额外性论证工具》对项目减排量的额外性进行一般论证。

6.3 碳层划分

为提高碳储量变化计算的精度，并且在一定精度要求下精简监测样地数量，应将项目边界内的植被进行分层，即碳层划分，包括采用不同的分层因子将项目地块划分为不同的

层次（类型、亚总体）。项目碳层划分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。项目业主可以根据实际情况，选择碳层划分的数量。

项目设计阶段划分的碳层用于项目设计阶段的碳储量变化预估，综合造林前的土地利用类型、植被状况、土壤条件等是否存在显著差别来划分基准线碳层。在基准线碳层的基础上，根据拟实施的项目造林时间、造林树种、造林密度等进一步划分项目碳层。

项目实施阶段划分的碳层用于项目实施阶段的碳储量变化的监测，主要基于项目设计阶段碳层的划分，结合造林活动的实际进行调整确定。如果发生自然（如火灾、病虫害）或者人为（如火灾、间伐或者主伐）干扰，或者因为其他原因（如立地条件的差异）导致项目设计阶段划分的项目碳层的异质性增加，在每次监测和核查前均须考虑这些因素的影响，并对项目碳层进行调整。项目业主可使用项目开始时和发生干扰时的卫星影像进行对比，确定项目碳层。

6.4 基准线清除量的计算

基准线清除量，是指在基准线情景下项目边界内所选碳库的碳储量变化量之和，再减去基准线情景下项目边界内的温室气体排放变化量：

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

$$\Delta C_{BSL,t} = \sum_{i=1}^n \Delta C_{BSL,i,t} \quad (2)$$

式中：

- $\Delta C_{BSL,t}$: 第 t 年时的基准线清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $\Delta C_{BSL,i,t}$: 第 t 年时基准线第 i 个碳层的清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $\Delta C_{Biomass_BSL,i,t}$: 第 t 年时基准线第 i 个碳层的生物质碳库碳储量变化量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)，采用本方法学附件 1 “森林生物质碳储量变化的评估工具” 计算；
- BSL : 基准线情景 (Baseline);
- i : 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, J$, J 为碳层总数, 无量纲;
- t : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$ 。

项目业主可以通过标记或者记录监测样地内原有林木（或者竹子）的数量，确保原有植被的移除量符合适用条件。此时，项目业主可以不对基准线情景下的原有植被进行计量或者监测，并且将基准线情景下的生物质碳储量变化视作为 0，同时在项目情景下只监测项目新增的林木（或者竹子、灌木），这不会导致项目减排量的高估，也符合成本有效性原则。

项目基准线情景下的枯死木和枯落物碳库的碳储量变化通常较小，可以忽略不计，统一视为 0。

火灾和人为火烧引起的温室气体排放通常都无法提前预料，因此基准线情景下火烧引起的温室气体排放视作为 0。

项目设计阶段的基准线清除量经过审定后，在整个计入期内都是有效的。项目业主可以选择不再对基准线清除量进行监测。

6.5 项目清除量的计算

项目清除量，是指在项目情景下项目边界内所选碳库的碳储量变化量之和，再减去项

目情景下项目边界内的温室气体排放变化量：

$$\Delta C_{PROJ,i,t} = \Delta C_{Biomass_PROJ,i,t} + \Delta C_{DOM_PROJ,i,t} - \Delta GHG_{PORJ,i,t} \quad (3)$$

$$\Delta C_{PROJ,t} = \sum_{i=1}^I \Delta C_{PROJ,i,t} \quad (4)$$

式中：

- $\Delta C_{PROJ,t}$: 第 t 年时的项目清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $\Delta C_{PROJ,i,t}$: 第 t 年时项目第 i 个碳层的清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $\Delta C_{Biomass_PROJ,i,t}$: 第 t 年时项目第 i 个碳层的生物质碳库碳储量变化量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$), 采用本方法学附件 1 “森林生物质碳储量变化的评估工具” 计算;
- $\Delta C_{DOM_PROJ,i,t}$: 第 t 年时项目第 i 个碳层的死有机质碳库碳储量变化量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$), 采用本方法学附件 2 “森林死有机质碳储量变化的评估工具” 计算;
- $\Delta GHG_{PROJ,i,t}$: 第 t 年时项目第 i 个碳层因火烧引起的温室气体排放增加量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$), 采用本方法学附件 3 “森林火烧引起的温室气体排放量的评估工具” 计算;
- $PROJ$: 项目情景 (Project);
- i : 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, I$, I 为碳层总数, 无量纲;
- t : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$ 。

项目地块原有植被的移除须符合方法学适用条件, 因此在项目设计阶段和项目实施阶段, 可以同时忽略基准线情景和项目情景下原有植被碳储量变化, 仅考虑项目情景下林地中新增的林木 (或者竹子、灌木), 并且评估项目情景下的生物质碳储量变化。

项目业主在项目设计阶段和项目实施阶段可以选择计算项目情景下枯死木和枯落物碳库的碳储量变化, 也可以保守地选择忽略上述碳库的碳储量变化, 视作为 0。

在项目设计阶段, 火烧引起的温室气体排放通常无法预料, 因此项目情景下的火烧排放可以设置为 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, 估计项目温室气体排放量。

6.6 项目泄漏的计算

根据方法学适用条件, 项目不会造成项目边界内原有农业活动 (如种植业、放牧等) 的转移, 不存在潜在泄漏, 即 $LK_t = 0$ 。

6.7 项目减排量的核算

综合项目基准线清除量、项目清除量、项目泄漏及项目非持久性影响风险因素, 计算项目减排量:

$$CDR_t = (\Delta C_{PROJ,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t) \times (1 - K_{RISK,t}) \quad (5)$$

式中:

- CDR_t : 可以签发的项目第 t 年的核证减排量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $\Delta C_{PROJ,t}$: 第 t 年时的项目清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $\Delta C_{BSL,t}$: 第 t 年时的基准线清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- LK_t : 第 t 年时的项目活动泄漏量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
- $K_{RISK,t}$: 第 t 年时的项目风险值 (%)。

7 监测方法学

7.1 项目设计阶段确定的参数和数据

在项目设计阶段，项目业主可以（1）根据方法学要求，通过监测调查、文献资料整理、专家论证等过程确定适用于本项目的参数和数据；或者（2）采用省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）；或者（3）直接采用本方法学及附件工具推荐的缺省值。这些参数和数据在通过审定后，在整个计入期内都是有效的，可以不再进行监测。项目设计阶段确定的参数和数据，如下列表：

数据/参数名称	K_{RISK}
应用的公式编号	6.7 项目减排量的核算，公式（5）。
数据描述	项目所在地区历史（如 20 年）火灾、病虫害等灾害损失比例，可以是损失蓄积或者损失面积的占比。
数据单位	%
数据来源	基于《中国林业统计年鉴》统计全国及各省区因火灾引起的蓄积损失量占当年森林蓄积增长量的比例，以及病虫害害重度危害面积占森林面积的比例，结合专家判断。
数据选用的合理性	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（如有）	10%
数据用途	用于计算项目减排量的非持久性风险与扣减。
备注	无。

数据/参数名称	CF
应用的公式编号	附件 1 公式（2）、公式（3）、公式（5）； 附件 2 公式（2）； 附件 3 公式（3）。
数据描述	生物量含碳率。
数据单位	$tC \cdot (t.d.m.)^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	林业行业标准《立木生物量模型与碳计量参数》系列，提供了全国主要树种的生物量含碳率，平均每个树种的参数来自 50 个左右的样本实测；中国土地利用、土地利用变化与林业温室气体清单，也基于大量文献分析了部分树种的生物量含碳率；部分缺失的树种采用了 IPCC 推荐值。
数值（如有）	附表 1-12。
数据用途	用于将生物量转换为碳储量。
备注	无。

数据/参数名称	RSR
应用的公式编号	附件 1 公式（7）、公式（11）、公式（12）、公式（22）、公式

	(24)。
数据描述	林木、竹子或者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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》数据的分析整理，原始数据来源于国内外相关文献，经过严格比对筛选，建立数据库。中国土地利用、土地利用变化与林业温室气体清单也基于大量文献构建了数据库并且进行了统计分析。
数值（如有）	附表 1-10、附表 1-11、附表 1-14、附表 1-17。
数据用途	用于利用地上生物量计算地下和全林生物量。
备注	无。

数据/参数名称	$f(DBH)$
应用的公式编号	附件 1 公式 (8)。
数据描述	乔木林全株（或地上）单株生物量与胸径的相关方程。
数据单位	$kg\ d.m. \cdot stem^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国主要林木生物量模型手册》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-1、附表 1-2。
数据用途	利用胸径计算乔木林单株生物量。
备注	无。

数据/参数名称	$f(DBH, H)$
应用的公式编号	附件 1 公式 (8)。

数据描述	乔木林单株生物量与胸径和树高的相关方程。
数据单位	kg d.m.·stem ⁻¹
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国主要林木生物量模型手册》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-1、附表 1-3。
数据用途	利用胸径和树高计算乔木林单株生物量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{AGB}(V_{AF})$
应用的公式编号	附件 1 公式 (9)。
数据描述	乔木林单位面积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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国主要林木生物量模型手册》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-6。
数据用途	利用单位面积蓄积量估计乔木林地上生物量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{B_total}(V_{AF})$
应用的公式编号	附件 1 公式 (9)。

数据描述	乔木林单位面积全林生物量与蓄积量的相关方程。
数据单位	t d.m.·hm ⁻²
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国主要林木生物量模型手册》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-5。
数据用途	利用单位面积蓄积量估计乔木林全林生物量。
备注	无。

数据/参数名称	<i>BCEF</i>
应用的公式编号	附件 1 公式（11）、公式（12）。
数据描述	乔木林生物量转换与扩展因子，是全林（或者地上）生物量与蓄积量的比值。
数据单位	t d.m.·hm ⁻²
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-7、附表 1-8。
数据用途	将乔木林蓄积量转化为地上生物量。
备注	无。

数据/参数名称	<i>BEF</i>
应用的公式编号	附件 1 公式（13）、公式（14）。

数据描述	乔木林生物量转换因子，是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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-9。
数据用途	将乔木林树干生物量转化为地上生物量。
备注	无。

数据/参数名称	<i>SVD</i>
应用的公式编号	附件 1 公式（13）、公式（14）。
数据描述	乔木树种的基本木材密度，是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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《立木生物量模型与碳计量参数》系列林业行业标准，中国土地利用、土地利用变化与林业温室气体清单。
数值（如有）	附表 1-12。
数据用途	用于将林木蓄积量转换为树干生物量。
备注	无。

数据/参数名称	<i>AGB_{BF,T}</i>
应用的公式编号	附件 1 公式（21）、公式（22）。
数据描述	竹林成熟后的单位面积生物量。

数据单位	t d.m.·hm ²
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-14。
数据用途	用于估计竹林生物量年变化量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{AGB,BF}(DBH,H)$
应用的公式编号	附件 1 公式（17）。
数据描述	竹子单株生物量与胸径、竹高的相关方程。
数据单位	kg d.m.·stem ⁻¹
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	基于地面实测数据的建模。
数值（如有）	附表 1-16。
数据用途	用于估计竹林生物量年变化量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{DBH,BF}(t)$
应用的公式编号	附件 1 公式（18）。
数据描述	竹子胸径与竹龄（或者度数）的相关方程。
数据单位	cm

数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	基于地面实测数据的建模。
数值（如有）	无。
数据用途	用于估计竹子胸径随竹龄的变化量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{H,BF}(DBH,t)$
应用的公式编号	附件 1 公式（19）。
数据描述	竹子高度与胸径、竹龄（或者度数）的相关方程。
数据单位	m
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	基于地面实测数据的建模。
数值（如有）	无。
数据用途	用于估计竹子高度随竹子胸径、竹龄的变化量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{N,BF}(t)$
应用的公式编号	附件 1 公式（20）。
数据描述	竹林单位面积株数与竹龄（或者度数）的相关方程。
数据单位	stem·hm ²
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于

	5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	基于地面实测数据的建模。
数值（如有）	无。
数据用途	用于估计竹子株数随竹龄的变化量。
备注	无。

数据/参数名称	AGB_{SF}
应用的公式编号	附件 1 公式（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	$t\ d.m. \cdot hm^{-2}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 1-17。
数据用途	用于估计灌木林地上生物量。
备注	无。

数据/参数名称	$f_{SF}(x_1, x_2, x_3 \dots)$
应用的公式编号	附件 1 公式（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	$kg\ d.m. \cdot stem^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析；

	(2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国常见灌木生物量模型手册》对于大量文献数据的整理和专项调查实测数据的建模。
数值（如有）	附表 1-18、附表 1-19。
数据用途	用于估计灌木林地上生物量、地下生物量和全林生物量。
备注	无。

数据/参数名称	DF_L
应用的公式编号	附件 2 公式（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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 2-1、附表 2-3。
数据用途	用于估计枯落物生物量。
备注	无。

数据/参数名称	DF_{DW}
应用的公式编号	附件 2 公式（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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）；

	(3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	来源于《中国森林生态系统生物量及其分配研究》对大量相关文献数据的分析整理。
数值（如有）	附表 2-2。
数据用途	用于估计枯死木生物量。
备注	无。

数据/参数名称	<i>COMF</i>		
应用的公式编号	附件 3 公式 (2)。		
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	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）； (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。		
数据选用的合理性	缺省数据来源于 IPCC LULUCF 优良做法指南。		
数值（如有）	森林类型	林龄（年）	缺省值
	亚热带/热带森林	3-5	0.46
		6-10	0.67
		11-17	0.50
		18 以上	0.32
	寒温带森林	所有的	0.40
	温带森林	所有的	0.45
数据用途	用于估计森林火烧引起的温室气体排放量。		
备注	无。		

数据/参数名称	EF_{CH_4}
应用的公式编号	附件 3 公式 (2)、公式 (4)。
数据描述	CH_4 排放因子。
数据单位	$g CH_4 \cdot (kg \text{ 燃烧的干物质 d.m.})^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择： (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析； (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据（如：国家、行业或者地方标准）；

	(3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	缺省数据来源于 IPCC LULUCF 优良做法指南。
数值 (如有)	热带森林: 6.8; 其它森林: 4.7。
数据用途	用于估计森林火烧引起的 CH ₄ 排放量。
备注	无。

数据/参数名称	EF_{N_2O}
应用的公式编号	附件 3 公式 (2)、公式 (4)。
数据描述	N ₂ O 排放因子。
数据单位	g N ₂ O·(kg 燃烧的干物质 d.m.) ⁻¹
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择: (1) 项目区当地、相邻地区或者相似生态条件下的调查统计数据。须基于 5 篇以上不同来源国内外核心期刊发表的、总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析; (2) 省级或者国家水平的适用于项目区的数据 (如: 国家、行业或者地方标准); (3) 本方法学及附件中推荐的缺省值。
数据选用的合理性	缺省数据来源于 IPCC LULUCF 优良做法指南。
数值 (如有)	热带森林: 0.20; 其它森林: 0.26。
数据用途	用于估计森林火烧引起的 N ₂ O 排放量。
备注	无。

数据/参数名称	GWP_{CH_4}
应用的公式编号	附件 3 公式 (2)、公式 (4)。
数据描述	CH ₄ 的全球增温潜势。
数据单位	无量纲
数据来源	IPCC 评估报告。
数据选用的合理性	IPCC 评估报告发布的数值。
数值 (如有)	27
数据用途	将 CH ₄ 排放量转化为 CO _{2e} 排放量。
备注	如 IPCC 或我国发布新的数值, 采用更新的数值。

数据/参数名称	GWP_{N_2O}
应用的公式编号	附件 3 公式 (2)、公式 (4)。
数据描述	N ₂ O 的全球增温潜势。
数据单位	无量纲
数据来源	IPCC 评估报告。

数据选用的合理性	IPCC 评估报告发布的数值。
数值（如有）	273
数据用途	将 N ₂ O 排放量转化为 CO ₂ e 排放量。
备注	如 IPCC 或我国发布新的数值，采用更新的数值。

7.2 项目实施阶段需监测的参数和数据

除非下列监测变量表中另有要求，所有数据（包括本方法学中要求的监测项）均须按相关标准进行全面监测和测定。监测过程中收集的所有数据都须以电子版和纸质方式存档，直到计入期结束后至少 10 年。项目实施阶段需要监测的参数和数据，如下列表：

数据/参数名称	$A_{i,j,t}$
应用的公式编号	附件 1 公式 (2)、公式 (3)、公式 (5)。
数据描述	第 t 年时项目第 i 碳层第 j 树种的土地面积。
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	RTK、GPS、COMPASS 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的部分地块，如果面积 $\geq 400\text{m}^2$ ，须单独纳入新的碳层或者移出项目边界外（如改变土地用途），并且重新测定相关部分的项目边界坐标。
监测频次与记录要求	南方地区速生树种 3~5 年监测一次、慢生树种 5~8 年监测一次；北方地区速生树种 5~10 年监测一次，慢生树种 8~15 年监测一次。须提供记录有项目及碳层边界坐标的 shp 或者 kml 文件。
质量保证/质量控制程序要求	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查使用的质量保证和质量控制 (QA/QC) 程序。
数据用途	计算项目清除量。
备注	

数据/参数名称	DBH
应用的公式编号	附件 1 公式 (8)、公式 (17)、公式 (19)。
数据描述	乔木（或者竹子）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；RTK、GPS、COMPASS 等定位和导航设备、罗盘。
监测程序与方法要求	采用国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
监测频次与记录要求	南方地区速生树种（或者竹林）3~5 年监测一次、慢生树种 5~8 年监测一次；北方地区速生树种 5~10 年监测一次，慢生树种 8~15 年监测一次。精确到小数点后一位。
质量保证/质量控制程序要求	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查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。
备注	

数据/参数名称	H
应用的公式编号	附件 1 公式（8）、公式（17）、公式（19）。
数据描述	乔木（或者竹子）的高度。
数据单位	m
数据来源	野外测定。
监测点要求	所有野外监测样地。
监测仪表要求	测高仪、皮尺；RTK、GPS、COMPASS 等定位和导航设备、罗盘。
监测程序与方法要求	采用国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
监测频次与记录要求	南方地区速生树种 3~5 年监测一次、慢生树种 5~8 年监测一次；北方地区速生树种 5~10 年监测一次，慢生树种 8~15 年监测一次。精确到小数点后一位。
质量保证/质量控制程序要求	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查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。
备注	

数据/参数名称	$SC_{BF,t}$
应用的公式编号	附件 1 公式（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；RTK、GPS、COMPASS 等定位和导航设备、罗盘。
监测程序与方法要求	采用国家森林资源清查、省级林业规划设计调查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	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查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。
备注	

数据/参数名称	$CC_{SE,t}$
应用的公式编号	附件 1 公式（24）。 错误!未找到引用源。
数据描述	第 t 年时的灌木林覆盖度，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、RTK、GPS、COMPASS 等定位和导航设备、罗盘。
监测程序与方法要求	采用国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
监测频次与记录要求	南方地区速生树种 3~5 年监测一次、慢生树种 5~8 年监测一次；北方地区速生树种 5~10 年监测一次，慢生树种 8~15 年监测一次。精确到小数点后一位。
质量保证/质量控制程序要求	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查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。
备注	

数据/参数名称	$A_{BURN,i,t}$
应用的公式编号	附件 3 公式（2）、公式（3）。
数据描述	第 t 年第 i 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、RTK、GPS、COMPASS 等定位和导航设备、罗盘。
监测程序与方法要求	采用国家森林资源清查、省级林业规划设计调查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。火烧地块位置应当用 GPS 或者 Compass 定位并且记录经纬度坐标 (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	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查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。
备注	

数据/参数名称	$R_{BURN,i,t}$
应用的公式编号	附件 3 公式 (4)。
数据描述	第 t 年第 i 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、RTK、GPS、COMPASS 等定位和导航设备、罗盘。
监测程序与方法要求	采用国家森林资源清查、省级林业规划设计调查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	采用国家或者省级森林资源清查、规划设计调查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。
备注	

数据/参数名称	$\hat{f}(x_k^l)$
应用的公式编号	附件 6 公式 (3)。
数据描述	生物量与激光点云数据 (如树高、冠幅、枝下高等) 的拟合方程。
数据单位	$\text{kg d.m.} \cdot \text{stem}^{-1}$
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、机载激光雷达、RTK、GPS、COMPASS 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、国家森林资源清查、省级林业规划设计调查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，南方地区速生树种 3~5 年监测一次、慢生树种 5~8 年监测一次；北方地区速生树种 5~10 年监测一次，慢生树种 8~15 年监测一次。无人机点云密度不得少于 100 个/平方米。
质量保证/质量控制程序要求	基于地面调查数据与激光雷达测量数据的关系建模。
数据用途	用于估计乔木或者竹林生物量。
备注	

7.3 项目实施及监测的数据管理要求

项目业主须在项目设计阶段制定详细的监测方案，并且在监测方案中详细描述采取的质量保证和质量控制程序，包括但不限于可靠的外业测定、外业测定的互检互核、内业数据的输入和核实等，明确负责的部门及其职责、具体工作要求、数据管理程序、工作时间节点等。指定专职人员分别负责项目事件、项目边界与地块面积、生物质碳储量、火烧情况（若有）等数据的测量、收集、记录和校核，以确保准确获得项目减排量计算所必需的所有信息。

7.3.1 项目事件的监测

主要监测和记录项目边界内所发生的营造林活动，并判断是否与项目设计文件描述一致，以及是否发生毁林、森林火灾等事件，须详细记录活动类型、发生时间、地点（坐标、边界）、面积、密度、强度等。

如果出现下述情形之一，需要对项目设计阶段或者上一次监测时划分的碳层进行更新：

- (1) 自然干扰（如林火、病虫害）增加碳层内的变异性；
- (2) 项目实际造林活动与项目设计文件中描述的不一致，并且影响了项目碳层内的均一性；
- (3) 发生了土地利用变化（如毁林）；
- (4) 过去的监测发现层内碳储量及其变化存在变异性，需要将变异性大的碳层细分为两个或者多个碳层，将变异性相近的两个或者多个碳层合并为一个碳层。

7.3.2 项目边界的监测

在计入期内须对项目边界进行定期监测，检查项目实际边界是否与项目设计文件中描述的边界一致。如果实际边界位于项目设计文件描述的边界之外，则边界外的部分不计入项目边界中；如果实际边界位于项目设计文件描述的边界之内，应当以实际边界为准，并且提供新的项目边界矢量数据文件。

如果项目边界发生任何变化，例如发生毁林，应当测定毁林地块的地理坐标和面积，并且在下次核查中予以说明。毁林部分地块将调出项目边界之外，并且在之后不再监测，也不能再重新纳入项目边界内。但是，如果在调出项目边界之前对这些地块进行过核查，

其前期经核查的碳储量应当保持不变，并且纳入后期碳储量变化的计算中。

7.3.3 项目生物质碳储量的监测

基于样地的生物质碳储量的抽样调查，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，项目业主可以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；或者直接选择打折扣减的方法进行矫正。

$$\Delta C_{Biomass_PROJ_R,t} = \Delta C_{Biomass_PROJ,t} \times (1 - DR) \quad (8)$$

式中：

- $\Delta C_{Biomass_PROJ_R,t}$: 矫正后的项目第 t 年的项目减排量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
 $\Delta C_{Biomass_PROJ,t}$: 监测的项目第 t 年的项目减排量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);
 DR : 扣减率 (%)。

相对误差的计算见附件 5，扣减率 (DR) 可从表 3 中获得：

表 3 扣减率

相对误差的范围	扣减率 (DR)
小于或者等于 10%	0%
大于 10%但小于或者等于 20%	6%
大于 20%但小于或者等于 30%	11%
大于 30%	须额外增加样地数量，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，本方法学鼓励项目参与方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时，须使用实测数据充分检验该技术在当前场景下的适用性（详见附件 6）。在确保能够满足最低精度要求后，采用本方法计算的项目范围内林木生物质碳储量作为校核依据，与基于样地监测方法的结果进行比较。结果比较的误差须不超过 10%，选取结果中较小值作为项目当年的林木生物质碳储量。在首次监测满足全部精度要求的前提下，后续监测可根据实际情况复用首次监测建立的生物量模型，无需重复建模。

若选择激光雷达估算结果作为当年生物质碳储量，在计算减排量时需根据精度检验结果采用打折扣减的方法（表 4）进行校正。

表 4 激光雷达扣减率

精度检验 R^2 值	扣减率 (DR)
大于或者等于 0.9	0%
大于 0.8 但小于或者等于 0.9	6%
大于 0.7 但小于或者等于 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

在项目监测阶段，项目参与方须在监测报告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)。

7.3.4 火烧监测

项目业主须详细记录项目边界内每一次森林火灾（如有）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量所引起的温室气体排放量。

如果发生有计划的人为清除病原疫木和火烧，项目业主须在伐前监测各样地内疫木的树种、胸径、树高、数量等，估计清除的病原疫木的生物质碳储量，进而评估病原疫木火烧引起的温室气体排放量。

7.3.5 数据管理与归档

对于所收集的监测数据，项目业主须建立内部原始凭证和台账管理制度，妥善保管监测数据、结算凭证以及与之相关的书面文件等。台账应明确数据来源、数据获取时间及填报台账的相关责任人等信息。项目监测的所有数据均应进行电子存档，并且至少保存至计入期结束后 10 年，确保相关数据可被追溯。

项目业主须建立数据内部审核制度，对监测数据进行交叉校验，确保其符合技术规范、内部管理制度和质量保证要求。

8 项目审定与核查要点

除符合《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》《温室气体自愿减排项目设计与实施规范》和《温室气体自愿减排项目审定与减排量核查实施规则》规定的基本要求外，针对造林碳汇项目，须重点审定和核查下列事项。

8.1 项目合格性

在项目审定时，项目业主可提供项目开始日期前项目边界内的土地利用现状图、现场照片或者高分辨率的地理空间数据（如卫星影像、航片）、林地一张图或者林草湿资源一张图、森林资源规划调查数据、造林作业设计、森林经营方案、同行评议的研究报告等。

审定机构基于上述证明资料，结合高清卫星影像，利用 GIS 或者其他地理分析工具，核实并且确认项目开始前的土地利用和覆盖情况是否符合本方法学适用条件的要求。对于通过上述方式无法确定造林地块合格性的，应当采用现场走访的方式确认，并且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。

在项目审定时，项目业主须提供项目全部的土地（或者林木）所有权或者使用权的证据，如县（含）级以上人民政府核发的土地（或者林木）权属证书。在首次核查时，项目业主须提供所有项目地块的土地（或者林木）所有权或者使用权的证据。

如果项目业主不是土地（或者林木）权属所有人，项目业主应当取得项目边界内土地（或者林木）所有权或者使用权人授予的相关权利，并且提供相关证明文件。

审定机构可以通过项目业主与对林木拥有经营权的相关方签署的协议等核实项目减排量的归属权。项目减排量收益在扣除项目运营成本后，应主要归属于项目实施主体（或实施方）。运营成本包括从项目开发至交易各个环节所发生的费用及项目业主的权益。项目实施主体（或实施方）应具体实施了造林活动，并拥有林木的所有权或经营权。

鼓励项目减排量收益扣除运营成本后，至少不低于 80% 返给具体实施了造林活动且拥有项目土地（或林木）的所有权（或经营权）的项目实施主体。

8.2 项目开始时间

审定机构须通过对比项目开始前后的卫星遥感影像、现地测量树木年龄（如查数针叶树轮枝数或者年轮数）、核实证据文件等方法，验证项目首次造林活动开始时间的真实性。

项目业主须根据下列材料的优先顺序提供证明材料，说明项目的开始时间：

- (1) 造林工程监理报告；
- (2) 经县级（含）以上行业主管部门批复的作业设计；
- (3) 经县级（含）以上行业主管部门出具的验收报告；
- (4) 其他具有法律效力的、注明项目开始日期的文件。

8.3 项目边界

在项目审定和核查时，项目业主须提供项目边界的矢量数据文件（如 shp 文件或者 kml 文件），并且细化到地块（如小班）。

在项目审定时，审定机构须以随机的方式从每个碳层中选取至少 1 个地块（或者总共不少于 5 个地块），对所选地块的全部多边形边界及其拐点坐标进行现场测定和核实，误差不大于±5m，记录全部核实的拐点坐标。审定机构须核实，项目边界内不包含不符合项目适用条件的土地。

在项目核查时，核查机构须核实项目边界是否发生变化，项目边界的调整是否符合监测方法学的要求。

8.4 项目减排量的计算

审定和核查机构须核实项目减排量计算过程符合方法学的要求，项目设计阶段和项目实施阶段的计算方法一致，参数选择合理，计算结果准确且符合保守性原则。

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，项目业主可以选择不对基准线清除量进行监测，核查机构也不需要基准线清除量进行核查。

如果项目业主利用自选参数计算的项目减排量，相比采用缺省参数估计的项目减排量高出 10%（含）以上，审定和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 篇以上不同来源的国内外核心期刊发表的、且总数不少于 30 个样本的研究数据的整合分析结果。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以参考《IPCC 2000 不确定性管理优良做法指南》。

8.5 样地监测

在项目核查时，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）高或者灌木覆盖度，并与项目业主的测定结果进行对比。允许误差如下：

- (1) 样地位置：对样地中心点定位时，横纵坐标定位误差不超过 10m-15m；

(2) 样地面积：样地面积与监测报告描述面积一致；

(3) 株数：胸（地）径 $\geq 2\text{cm}$ 的检尺株数允许误差为 5%，最多不超过 3 株；

(4) 胸（地）径：监测样地样木挂牌编号的，胸（地）径测量误差在 0.3cm-0.5cm（业主测定值与核查机构测定值之差）的株树不允许超过总株树的 5%；监测样地样木未挂牌编号的，平均胸（地）径测量误差不超过 5%，计算方法：（业主测定均值 - 核查机构测定均值）/核查机构测定均值 $\times 100\%$ 。

(5) 灌木覆盖度：平均覆盖度误差不超过 10%。

如无法满足以上任何一条，则视作样地监测不合格。当出现样一个样地监测不合格时，直接扣减签发减排量的 20%；两个及以上时核查不予通过，且一年内不可申请核查。

8.6 参数的审定与核查

序号	内容	审定要点及方法	核查要点及方法
1	$A_{i,j,t}$	<ul style="list-style-type: none"> - 查阅项目设计文件，确认项目碳层划分的准确性； - 查阅项目活动监测记录，确认项目碳层调整的合理性； - 应确认空间数据分辨率不低于 5 m。 	<ul style="list-style-type: none"> - 利用全球导航卫星系统（GNSS）或其它卫星定位系统，直接测定项目地块边界的拐点坐标。 - 利用高分辨率的地理空间数据（如卫星遥感影像、航拍影像）、林草湿资源一张图、造林作业设计等，在地理信息系统辅助下直接读取项目地块的边界坐标。
2	DBH	/	<ul style="list-style-type: none"> - 监测样地样木挂牌编号的，胸径测量误差在 0.3cm-0.5cm（业主测定值与核查机构测定值之差）的株树不允许超过总株树的 5%； - 监测样地样木未挂牌编号的，平均胸径测量误差不超过 5%，计算方法：（业主测定均值 - 核查机构测定均值）/核查机构测定均值 $\times 100\%$。
3	H	/	<ul style="list-style-type: none"> - 树高的测量是否符合国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
4	$SC_{BF,t}$	/	<ul style="list-style-type: none"> - 核查监测报告中提供的参数是否和择伐记录一致。 - 择伐比例的测量是否符合国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
5	$CC_{SF,t}$	/	<ul style="list-style-type: none"> - 核查监测报告中提供的参数是否和采伐记录一致。 - 盖度的测量是否符合国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
6	$A_{BURN,i,t}$	/	<ul style="list-style-type: none"> - 核查火烧地块位置是否提供 GPS 或者 Compass 定位并记录的经纬度坐标（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。 - 火烧地块的监测是否符合国家森林资源清查、省级林业规划设计调查使用的标准操作程序（SOP）。
7	$R_{BURN,i,t}$	/	<ul style="list-style-type: none"> - 核查监测报告中的伐除木树种、胸径、树高、单位面积株树等信息是否与作业记录或作业日志一致。

8	$\hat{f}(x_k^l)$	/	<ul style="list-style-type: none"> - 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》 - 核查分割匹配的精度是否符合要求。 - 核查模型精度是否达到要求。
---	------------------	---	--

9 方法学编制单位

在本方法学编制工作中，中国林业科学研究院以及大自然保护协会北京代表处、中国绿色碳汇基金会、北京林业大学、清华大学能源环境经济研究所、北京汇智绿色资源研究院、扬州大学、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、国家林草局林草调查规划院、生态环境部环境与经济政策研究中心、中国计量科学研究院、北京碳宝科技有限公司、中建生态科技有限公司、中国林场协会、江南大学、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积极贡献。

附件 1 森林生物质碳储量变化评估工具

附 1.1 森林生物质碳储量变化的计算

本工具采用“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:

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

式中:

$\Delta C_{Biomass,T}$: 项目开始第 T 年时森林生物质碳储量的年变化量 ($t\text{CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);

$C_{Biomass,t_1}$: 第 t_1 年的森林生物质碳储量 ($t\text{C}$);

$C_{Biomass,t_2}$: 第 t_2 年的森林生物质碳储量 ($t\text{C}$);

44/12 : 将 C 转化为 CO_2e 的系数, 无量纲;

T : 计算生物质碳储量的时长 (a), $T = t_2 - t_1$;

t_1, t_2 : 项目开始后的第 t_1 年和第 t_2 年 (a), 且 $t_1 \leq t \leq t_2$ 。

为了区分基准线和项目情景下项目在 T 年间森林生物质碳储量的年变化量, 可以在基准线情景下加脚标 BSL ($\Delta C_{Biomass_BSL,T}$), 在项目情景下加脚标 $PROJ$ ($\Delta C_{Biomass_PROJ,T}$), 以下同。

附 1.2 森林生物质碳储量的计算

首先分别估计各碳层 (用 i 表示) 内各树种 (含竹, 用 j 表示) 的全林生物质碳储量。当无法直接估计全林生物质碳储量时, 可以选择分别估计各碳层内各树种的地上和地下生物质碳储量, 再加总到全林生物质碳储量:

$$C_{AGB,t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times AGB_{i,j,t} \times CF_{AGB,i,j}) \quad (2)$$

$$C_{BGB,t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times BGB_{i,j,t} \times CF_{BGB,i,j}) \quad (3)$$

$$C_{Biomass,t} = C_{AGB,t} + C_{BGB,t} \quad (4)$$

$$C_{Biomass,t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times B_{Total,i,j,t} \times CF_{Total,i,j}) \quad (5)$$

式中:

$C_{Biomass,t}$: 第 t 年的森林生物质碳储量 ($t\text{C}$);

$C_{AGB,t}$: 第 t 年的森林地上生物质碳储量 ($t\text{C}$);

$C_{BGB,t}$: 第 t 年的森林地下生物质碳储量 ($t\text{C}$);

$A_{i,j,t}$: 第 t 年第 i 碳层树种 j 的森林面积 (hm^2);

$AGB_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积地上生物量 ($t\text{d.m}\cdot\text{hm}^{-2}$);

$BGB_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积地下生物量 ($t\text{d.m}\cdot\text{hm}^{-2}$);

- $B_{Total,i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积全林生物量 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$) ;
 $CF_{AGB,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的平均地上生物量含碳率 ($t\text{ C}\cdot t\text{ d.m.}$) ;
 $CF_{BGB,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的平均地下生物量含碳率 ($t\text{ C}\cdot t\text{ d.m.}$) ;
 $CF_{Total,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的平均全林生物量含碳率 ($t\text{ C}\cdot t\text{ d.m.}$) ;
 i : 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, I$, I 为碳层总数, 无量纲;
 j : 树种, $j=1, 2, 3, \dots, J$, J 为树种总数, 无量纲;
 t : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$ 。

上述方法适用于所有类型的森林。本工具提供了乔木林、竹林和灌木林的单位面积全林生物量 (B_{Total})、地上生物量 (AGB) 和地下生物量 (BGB) 的估计方法。

附 1.3 乔木林生物量的计算

乔木林全林生物量 ($B_{Total,AF}$) 包括地上生物量 (AGB_{AF}) 和地下生物量 (BGB_{AF}):

$$B_{Total,AF} = AGB_{AF} + BGB_{AF} \quad (6)$$

其中, 地下生物量可以利用乔木林地下/地上生物量的比例 (RSR_{AF}) 来估计:

$$BGB_{AF} = AGB_{AF} \times RSR_{AF} \quad (7)$$

式中:

- $B_{Total,AF}$: 乔木林单位面积全林生物量 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$) ;
 AGB_{AF} : 乔木林单位面积地上生物量 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$) ;
 BGB_{AF} : 乔木林单位面积地下生物量 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$) ;
 RSR_{AF} : 乔木林地下生物量/地上生物量的比例, 无量纲。

估计单位面积乔木林 (全林、地上或者地下) 生物量时, 优先选择全林生物量的估计方法。推荐按照下列方法的优先顺序进行公式的选择使用, 但在项目设计阶段和项目实施阶段, 均须使用同一类方法, 以保证减排量估计结果的可比性。

(1) 生物量方程法

项目实施阶段, 可以使用单株林木 (全株或者地上) 生物量与林木胸径 (DBH_{AF}) 和 (或者) 树高 (H_{AF}) 的相关方程 (附表 1-1、附表 1-2 和附表 1-3), 再根据单位面积林木数量, 汇总到乔木林全林生物量 (或者地上生物量)。

$$B_{Total,AF,t}(\text{或}AGB_{AF,t}) = \sum_{j=1} [f(DBH_{AF,j,t}, H_{AF,j,t}) \times N_{j,t}] \quad (8)$$

式中:

- $B_{Total,AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积全林生物量 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$) ;
 $AGB_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积地上生物量 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$) ;
 $f(DBH,H)$: 乔木全株 (或者地上) 生物量与胸径 (cm) 和 (或者) 树高 (m) 的相关方程 ($t\text{ d.m.}\cdot\text{stem}^{-1}$) ;
 $DBH_{j,t}$: 第 t 年时乔木林第 j 树种的平均胸径 (cm) ;

- $H_{j,t}$: 第 t 年时乔木林第 j 树种的平均树高 (m) ;
 j : 树种, $j=1, 2, 3, \dots, J$, J 为树种总数, 无量纲;
 $N_{j,t}$: 第 t 年时乔木林第 j 树种的株数 ($\text{stem} \cdot \text{hm}^{-2}$)
 t : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$ 。

如果估计的只是乔木林地上生物量 (AGB_{AF}), 须利用乔木林地下/地上生物量比例 (RSR_{AF}) 估计乔木林地下生物量 (BGB_{AF}), 再汇总到乔木林全林生物量 ($B_{Total,AF}$)。

也可以直接构建乔木林全林或者地上生物量与单位面积蓄积量 (V_{AF}) 的相关方程 (附表 1-5 和 1-6) 来估计乔木林全林或者地上生物量:

$$B_{Total,AF,t}(\text{或}AGB_{AF,t}) = f(V_{AF,t}) \quad (9)$$

式中:

- $f(V_{AF})$: 乔木林单位面积全林生物量 (或者地上生物量) 与单位面积蓄积量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 的相关方程;
 $V_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积蓄积量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)。

在项目设计阶段可以采用乔木林单位面积蓄积量 (V_{AF}) 随林龄 (Age) 的模型 (详见附表 1-13) 来估计从项目开始以来逐年的单位面积蓄积量。在项目实施阶段则需要通过监测乔木林密度、平均树高和胸径等 (详见附件 5) 来估计单位面积蓄积量和生物量。

也可以采用估计单木蓄积量并结合林木株数来计算生物量及其变化。如果缺少单木蓄积量随年龄的相关方程, 可以采用如下办法估计:

1) 利用上述方法估计第 t 年时的林龄 (Age_t)、单位面积蓄积量 (V_{AF}) 和单位面积生物量 ($B_{AF,t}$), 以及第 $t-1$ 年的单位面积生物量 ($B_{AF,t-1}$), 并计算二者的比值, 即相对增长率;

2) 利用项目开始时 ($t=0$) 实测的苗木平均单株生物量 ($b_{AF,j,t=0}$) 结合上述相对的比值, 估计计入期内每一年的平均单株生物量 ($b_{AF,j,t}$), 并结合单位面积的株数 ($N_{j,t}$) 估计单位面积生物量。如果项目情景下有采伐计划, 需要基于采伐比例 (如株数或者蓄积量比例) 调整第 t 年时的株数 ($N_{j,t}$), 来反映因采伐导致的生物量变化。

$$B_{AF,t} = \sum_{j=1} \left[N_{j,t} \times b_{AF,j,t-1} \times \frac{B_{AF,j,t}}{B_{AF,j,t-1}} \right] \times 10^{-3} \quad (10)$$

式中:

- $B_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积生物量 ($\text{t d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$) ;
 $B_{AF,j,t}$: 第 t 年时乔木林内树种 j 的单位面积生物量 ($\text{t d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$) ;
 $b_{AF,j,t}$: 第 t 年时乔木林内树种 j 的平均单株生物量 ($\text{kg} \cdot \text{stem}^{-1}$)。可以通过监测的平均胸径 (DBH) 和 (或者) 平均树高 (H), 利用单株生物量公式 (附表 1-1、附表 1-2 和附表 1-3) 获得;
 $N_{j,t}$: 第 t 年时的乔木树种 j 的株数 ($\text{stem} \cdot \text{hm}^{-2}$) ;
 j : 树种, $j=1, 2, 3, \dots, J$, J 为树种总数, 无量纲;
 t : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$;

10^{-3} : 将 kg 转换为 t 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, 即计入期开始时没有进行过监测, 可以采用如下办法估计第 t_0 年的生物量:

1) 根据项目设计阶段估计的项目开始时 ($t=0$) 至第 t_1 年间每一年的生物量, 计算每一年的生物量相对于上一年的相对增长率;

2) 通过首次监测 (t_1) 的项目实际生物量, 按第 (1) 步预估的相对比例, 估计首次监测之前每一年的生物量, 直至获得从计入期开始时 (t_0) 的生物量。

(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 ($BCEF$, 全林或者地上生物量与林分蓄积量的比值, 附表 1-7 和 1-8), 将林分蓄积量 (或者单株材积) 转换为乔木林 (或者单木) 的全林或者地上生物量。如果获得的是地上生物量, 再利用乔木林地下/地上生物量比例 (RSR_{AF} , 附表 1-10 和 1-11) 转化为乔木林地下生物量 (BGB_{AF}) 和全林生物量 ($B_{Total,AF}$)。

其次, 可以利用基本木材密度 (SVD , 附表 1-12) 和生物量转换因子 (BEF , 地上生物量与树干生物量的比值, 附表 1-9) 将乔木林蓄积量 (或者单木材积) 转化为乔木林 (或者单木) 地上生物量, 再利用乔木林地下/地上生物量比例 (RSR_{AF}) 转化为乔木林地下生物量 (BGB_{AF}) 和全林生物量 ($B_{Total,AF}$):

$$B_{Total,AF,t} = V_{AF,t} \times BCEF \times (1 + RSR_{AF}) \quad (11)$$

$$B_{Total,AF,t} = \frac{\sum_j \sum_s [v_{j,s,t} \times BCEF_j \times (1 + RSR_{AF,j})]}{A_{AF,t}} \quad (12)$$

$$AGB_{AF,t} = V_{AF,t} \times SVD \times BEF \quad (13)$$

$$AGB_{AF,t} = \frac{\sum_j \sum_s (v_{j,s,t} \times SVD_j \times BEF_j)}{A_{AF,t}} \quad (14)$$

式中:

$B_{Total,AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积全林生物量 ($t \cdot d.m. \cdot hm^{-2}$);

$V_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林的单位面积蓄积量 ($m^3 \cdot hm^{-2}$);

$BCEF$: 乔木林的地上生物量转换与扩展因子 ($t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$);

RSR_{AF} : 乔木林的地下生物量/地上生物量比值, 无量纲;

$v_{j,s,t}$: 第 t 年时乔木林内树种 j 第 s 株树的立木材积 (m^3);

$BCEF_j$: 乔木林内树种 j 的地上生物量转换与扩展因子 ($t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$);

$RSR_{AF,j}$: 乔木林内树种 j 的地下生物量/地上生物量比值, 无量纲;

$A_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林面积 (hm^2);

$AGB_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积地上生物量 ($t \cdot d.m. \cdot hm^{-2}$);

SVD : 乔木林的基本木材密度 ($t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$);

BEF : 乔木林的生物量扩展因子, 无量纲;

SVD_j : 乔木林内树种 j 的基本木材密度 ($t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$);

BEF_j : 乔木林内树种 j 的生物量扩展因子, 无量纲;

T : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$ 。

在项目设计阶段可以采用乔木林单位面积蓄积量 (V_{AF}) 随林龄 (Age) 的模型 (详见附表 1-13) 来估计从项目开始以来逐年的单位面积蓄积量。在项目实施阶段则需要通过监测乔木林密度、平均树高和胸径等 (详见附件 5) 来估计单位面积蓄积量 (V_{AF}) 或立木材积 ($v_{j,s,t}$)。

(3) 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 (H) 和冠幅 (C), 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, 采用非线性回归方法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, 估计每株单木的地上生物量, 统计到单位面积地上生物量 (AGB_{AF}):

$$AGB_{AF,t} = \frac{\sum_i \sum_j f_{AGB,AF}(x_{1,i,j,t}, x_{2,i,j,t}, x_{3,i,j,t} \dots) \times 10^{-3}}{A_{AF,t}} \quad (15)$$

式中:

- $AGB_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林单位面积地上生物量 ($t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$) ;
- $f_{AGB,AF}(x_1, x_2, x_3 \dots)$: 乔木单株地上生物量 ($\text{kg d.m.} \cdot \text{stem}^{-1}$) 与激光点云数据的相关方程; 其中 $x_1, x_2, x_3 \dots$ 可以是树高、冠幅、枝下高等。
- $A_{AF,t}$: 第 t 年时的乔木林面积 (hm^2) ;
- i : 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, I$, I 为碳层总数, 无量纲;
- j : 树种, $j=1, 2, 3, \dots, J$, J 为树种总数, 无量纲;
- t : 项目开始以来的年数 (a), $t=1, 2, 3, \dots$ 。

基于上述方法获得乔木林单位面积地上生物量 (AGB_{AF}), 再利用乔木林地下生物量/地上生物量比例 (RSR_{AF}) 转换成单位面积地下生物量 (BGB_{AF}) 和全林生物量 ($B_{Total,AF}$)。

附 1.4 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:

$$B_{Total,BF} = AGB_{BF} + BGB_{BF} \quad (16)$$

式中:

- $B_{Total,BF}$: 竹林单位面积全林生物量 ($t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$) ;
- AGB_{BF} : 竹林单位面积地上生物量 ($t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$) ;
- BGB_{BF} : 竹林单位面积地下生物量 ($t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$) 。

(1) 竹林地上生物量连年增长变化法

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、丛生竹第 6 年开始、混生竹从第 7 年开始)。

在发育阶段, 竹林的株数和生物量、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, 由于择伐或者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 (a)。在竹龄 (t) 达到成熟稳定年龄之前 ($t \leq T$)，可以采用下列方法估计竹林地上生物量。竹林达到成林稳定后 ($t > T$)，则直接使用成熟稳定的时间 (T) 来估计竹林地上生物量，一般是一个固定值 (详见附表 1-14)。

在项目设计阶段可以采用公式 (17) 竹子单株地上生物量与立竹度、胸径和 (或者) 竹高的相关方程计算，胸径、竹高、立竹度采用公式 (18) ~ (20) 进行。在项目实施阶段则需要通过监测竹林密度、平均树高和胸径等 (详见附件 5) 来估计单位面积蓄积量或生物量。

$$AGB_{BF,t_b} = f_{AGB,BF}(DBH_{t_b}, H_{t_b}) \times N_{t_b} \times 10^{-3} \quad (17)$$

$$DBH_{t_b} = f_{DBH,BF}(t_b) \quad (18)$$

$$H_{t_b} = f_{H,BF}(DBH, t_b) \quad (19)$$

$$N_{t_b} = f_{N,BF}(t_b) \quad (20)$$

式中：

- AGB_{BF,t_b} : 第 t_b 年时竹林单位面积地上生物量 (t d.m.·hm²) ;
- $f_{AGB,BF}(DBH_{t_b}, H_{t_b})$: 竹子单株地上生物量与胸径、竹高的相关方程 (kg d.m.·stem⁻¹)，附表 1-15 和附表 1-16;
- DBH_{t_b} : 第 t_b 年时竹林平均胸径 (cm) ;
- H_{t_b} : 第 t_b 年时竹林平均高度 (m) ;
- N_{t_b} : 第 t_b 年时竹林单位面积株数 (立竹度) (stem·hm²) ;
- t_b : 竹龄 (a) 或者度数;
- $f_{DBH,BF}(t_b)$: 竹子胸径与竹龄 (或者度数) 的相关方程 (cm) ;
- $f_{H,BF}(DBH, t_b)$: 竹子高度与胸径、竹龄 (或者度数) 的相关方程 (m) ;
- $f_{N,BF}(t_b)$: 竹林单位面积株数与竹龄 (或者度数) 的相关方程 (stem·hm²) ;
- 10^{-3} : 将 kg 转换为 t 的常数。

(2) 竹林地上生物量年均生长变化法

也可以采用平均生长量的方法估计竹林地上生物量：

$$AGB_{BF,t_b} = \begin{cases} \frac{AGB_{BF,T_b}}{T_b} \times t_b & t_b \leq T_b \\ AGB_{BF,T_b} & t_b > T_b \end{cases} \quad (21)$$

式中：

- AGB_{BF,t_b} : 第 t_b 年时竹林单位面积地上生物量 (t d.m.·hm²) ;
- AGB_{BF,T_b} : 竹林达到成熟稳定后的单位面积地上生物量 (t d.m.·hm²)，附表 1-14;
- T_b : 竹林达到成熟稳定的年龄 (a)。

(3) 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（竹苑、竹根和竹鞭）仍会在较长时间内留存于林地中，竹林地下生物量通常还会继续增加，即竹林地下生物量与地上生物量之比通常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（ $t \leq T_b$ ）前，通过竹林地下生物量与地上生物量之比，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（ $t > T_b$ ），经过一段时间的择伐，虽然地上生物量相对稳定，但地下生物量仍会保持增长，其继续生长量与择伐移除的地上生物量相关。考虑到地下生物量生长也存在上限，本工具保守地假定 $t \geq 2T_b$ 时，地下生物量不再增长。

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

式中：

- BGB_{BF,t_b} : 第 t_b 年时竹林单位面积地下生物量 (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 (t d.m.·hm⁻²) ;
- RSR_{BF} : 竹林地下生物量与地上生物量的比例，无量纲；
- AGB_{BF,T_b} : 竹林达到稳定成熟年龄 (T_b) 时的单位面积地上生物量 (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。

附 1.5 灌木林单位面积生物量的计算

灌木林的单位面积生物量可以按下列方法的优先顺序，进行选择计算。

(1) 生物量方程法

通过构建灌木林单株全株生物量、地上（或者地上部各器官）或者地下生物量与灌木测量因子（如基径、灌高、冠幅、灌径等）的相关方程，再结合单位面积内的灌木株数进行估计。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（附表 1-18 和 1-19）。

$$B_{TOTAL,SF} = \sum_{j=1} \sum_{p=1} f_{SF,j,p}(x_1, x_2, x_3 \dots) \times N_j \times 10^{-3} \quad (23)$$

式中：

- $B_{TOTAL,SF}$: 灌木林单位面积全林生物量 (t d.m.·hm⁻²) ;
- $f_{SF,j,p}(x_1, x_2, x_3 \dots)$: 灌木林中第 j 类灌木的器官 p 的生物量与测量因子 ($x_1, x_2, x_3 \dots$ ，如基径、灌高、冠幅、灌径等) 的相关方程 (kg·stem⁻¹) ;
- N_j : 灌木林中第 j 类灌木的株数 (stem·hm⁻²) ;

- j : 灌木林中第 j 类灌木;
- p : 灌木的器官, 可以划分为叶、枝、茎、根等; 也可以只分地上与地下部分; 也可以是全株。
- 10^{-3} : 将 kg 转换为 t 的常数。

在项目设计阶段, 如果基准线和项目情景下会发生灌木的采伐, 可以根据采伐的比例 (或者灌木盖度的变化), 采用上述其中一种方法, 估计项目边界内灌木生物量的减少量, 并且计入灌木林单位面积生物量的变化量。

(2) 缺省值法

当灌木盖度 < 5% 时, 平均每公顷灌木生物量可以忽略不计, 视为 0。当灌木盖度 $\geq 5\%$ 时, 按下列方式进行估算:

$$B_{TOTAL,SF,t} = AGB_{SF} \times CC_{SF,t} \times (1 + RSR_{SF}) \quad (24)$$

式中:

- $B_{TOTAL,SF,t}$: 第 t 年时的灌木林单位面积全林生物量 (t d.m.·hm²);
- AGB_{AF} : 灌木林成熟稳定时的平均单位面积地上生物量 (t d.m.·hm²), 附表 1-17;
- $CC_{SF,t}$: 第 t 年时的灌木林盖度, 用小数表示 (例如盖度 10% 记为 0.10);
- RSR_{SF} : 灌木林的地下生物量/地上生物量比例, 无量纲。

附 1.6 生物量模型与参数

附表 1-1 中国主要乔木林树种单株生物量 (M, kg) 与胸径 (DBH, cm) 或者树高 (H, m) 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 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$						
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标			
				a	b	R^2	SEE	MPE	MPSE	a	b	c	R^2	SEE	MPE	MPSE
油松	晋冀鲁京津蒙辽豫甘青宁陕	AGB	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.08611	2.46157	0.9541	30.82	4.02	17.45	0.06777	2.18050	0.4361	0.95	32.44	4.23	18.18
		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	0.8739	15.07	9.54	25.30	0.01090	2.66184	0.0046	0.87	15.07	9.54	25.30
		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	0.9437	31.76	4.30	17.87	0.04744	2.10359	0.6311	0.97	24.68	3.34	14.97
		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	0.9068	9.27	5.87	33.83	0.03526	2.10359	0.2342	0.90	9.93	6.29	35.37
		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	0.9229	54.34	6.30	21.24	0.07023	2.10392	0.4112	0.95	44.57	5.17	22.54
		BGB	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.01654	2.34490	0.7818	13.31	12.54	30.82	0.01436	2.22637	0.1928	0.81	12.55	11.83	32.09
马尾松	苏浙徽闽赣湘粤桂贵	AGB	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.09949	2.40859	0.0404	53.04	4.99	19.15	0.06662	2.09317	0.4976	0.96	48.63	4.58	18.30
		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	0.8856	22.68	9.26	36.68	0.00883	2.73828	-0.0803	0.88	23.20	9.82	36.18
		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	0.9096	68.57	6.32	23.33	0.09235	2.02817	0.4976	0.92	63.56	5.86	20.18
		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	0.5767	24.02	14.69	37.41	0.01224	2.67327	-0.8026	0.75	23.81	14.48	34.14
		BGB	$DBH < 5\text{cm}$	0.04335	1.79163					0.06766	1.61084	-0.8026				
杉木		AGB	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.07637	2.40393	0.9621	30.69	4.20	17.69	0.06539	2.01735	0.4943	0.97	27.54	3.89	15.90
		AGB	$DBH < 5\text{cm}$	0.21277	1.76730					0.19071	1.35226	0.4943				

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$								
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标					
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE		
落叶松	湘鄂粤桂 浙徽苏川 贵	BGB	DBH \geq 5cm	0.01550	2.44421	0.9228	9.89	6.85	21.10	0.01639	2.52941	-0.1174	0.92	10.26	7.11	20.98		
		BGB	DBH<5cm	0.03299	1.97505					0.34655	2.06398	-0.1174						
	赣闽	AGB	DBH \geq 5cm	0.04363	2.54589	0.9766	24.19	3.31	17.25	0.03272	2.11093	0.6021	0.98	21.51	3.04	14.63		
		AGB	DBH<5cm	0.20848	1.57405					0.17382	1.07322	0.6021						
		BGB	DBH \geq 5cm	0.00886	2.58617	0.7583	21.36	14.25	24.24	0.00820	2.62298	-0.0096	0.84	21.67	14.45	24.39		
		BGB	DBH<5cm	0.03232	1.78179					0.31586	1.78495	-0.0096						
	落叶松	黑吉辽 蒙东部	AGB	DBH \geq 5cm	0.11270	2.39582	0.9593	47.53	4.34		0.06848	2.01549	0.5915	0.97	41.63	3.80		
			AGB	DBH<5cm	0.18254	2.09620					0.14583	1.54581	0.5915					
			BGB	DBH \geq 5cm	0.04258	2.37053	0.9375	20.62	6.02		0.04441	2.40255	-0.0498	0.94	21.18	6.18		
			BGB	DBH<5cm	0.01671	2.95176					0.01632	3.02446	-0.0498					
		晋冀 蒙中西部	AGB	DBH \geq 5cm	0.07302	2.47298	0.9159	50.47	6.31		0.06233	2.01549	0.5915	0.92	49.13	6.14		
			AGB	DBH<5cm	0.14214	2.05910					0.17051	1.39024	0.5915					
BGB			DBH \geq 5cm	0.02829	2.36403	0.9003	16.58	8.52		0.02867	2.40255	-0.0498	0.90	16.99	8.73			
BGB			DBH<5cm	0.02275	2.49938					0.03919	2.20824	-0.0498						
新疆		AGB	DBH \geq 5cm	0.11795	2.33612	0.9239	75.71	6.84		0.05851	2.01549	0.5915	0.96	54.28	4.90			
		AGB	DBH<5cm	0.14236	2.21923					0.12291	1.55432	0.5915						
		BGB	DBH \geq 5cm	0.02055	2.37556	0.6977	28.39	17.87		0.02180	2.40255	-0.0498	0.70	29.08	18.30			
		BGB	DBH<5cm	0.07852	1.54259					0.05325	1.84756	-0.0498						
川滇藏	AGB	DBH \geq 5cm	0.11161	2.32803	0.8980	74.76	7.69		0.05577	2.01549	0.5915	0.95	54.25	5.58				
	AGB	DBH<5cm	0.16341	2.09118					0.15678	1.37332	0.5915							
	BGB	DBH \geq 5cm	0.02136	2.37623	0.7082	30.45	18.53		0.02265	2.40255	-0.0498	0.71	31.06	18.90				
	BGB	DBH<5cm	0.03663	2.04127					0.03145	2.19867	-0.4980							
云杉	黑吉	AGB	DBH \geq 5cm	0.09307	2.43215	0.9709	36.08	3.59		0.08070	2.25957	0.2566	0.98	32.04	3.19			
		AGB	DBH<5cm	0.13695	2.19211					0.12976	1.96448	0.2566						

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$						
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标			
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE
		BGB	DBH \geq 5cm	0.02072	2.47431	0.8074	31.00	13.01		0.02513	2.70802	-0.3475	0.80	32.19	13.51	
		BGB	DBH<5cm	0.77534	1.65434					0.08751	1.93277	-0.3475				
甘青 新疆天山		AGB	DBH \geq 5cm	0.14865	2.28906	0.9128	82.11	7.06		0.12890	2.09828	0.2566	0.91	82.68	7.11	
		AGB	DBH<5cm	0.31796	1.81664					0.30798	1.55710	0.2566				
		BGB	DBH \geq 5cm	0.04632	2.28836	0.8148	33.95	12.55		0.05618	2.54672	-0.3475	0.85	30.87	11.41	
		BGB	DBH<5cm	0.09703	1.82893					0.09415	2.22593	-0.3475				
新疆阿尔 泰山		AGB	DBH \geq 5cm	0.15559	2.58770	0.8267	110.37	10.01		0.13492	2.07331	0.2566	0.89	88.05	7.99	
		AGB	DBH<5cm	0.17081	2.20079					0.17492	1.91201	0.2566				
		BGB	DBH \geq 5cm	0.03408	2.27061	0.8439	22.76	12.38		0.04134	2.52175	-0.3475	0.85	22.93	12.47	
		BGB	DBH<5cm	0.06622	1.85795					0.06690	2.22700	-0.3475				
川		AGB	DBH \geq 5cm	0.12961	2.30961	0.8937	88.27	7.98		0.11239	2.12257	0.2566	0.89	90.00	8.14	
		AGB	DBH<5cm	0.30880	1.77020					0.31004	1.49208	0.2566				
		BGB	DBH \geq 5cm	0.02679	2.31771	0.9717	10.68	4.50		0.32494	2.57101	-0.3475	0.97	11.73	4.94	
		BGB	DBH<5cm	0.69286	1.72732					0.05914	2.19889	-0.3475				
滇		AGB	DBH \geq 5cm	0.10554	2.38926	0.9622	45.81	4.43		0.09152	2.21060	0.2566	0.98	33.94	3.28	
		AGB	DBH<5cm	0.18746	2.03230					0.16923	1.82866	0.2566				
		BGB	DBH \geq 5cm	0.02413	2.41710	0.9360	13.21	6.72		0.02927	2.65904	-0.3475	0.93	14.07	7.16	
		BGB	DBH<5cm	0.03062	2.26907					0.03812	2.49485	-0.3475				
藏		AGB	DBH \geq 5cm	0.18143	2.21804	0.9077	77.22	7.24		0.15732	2.03623	0.2566	0.92	72.49	6.79	
		AGB	DBH<5cm	0.13692	2.39293					0.12691	2.16973	0.2566				
		BGB	DBH \geq 5cm	0.03144	2.23846	0.8544	13.61	9.17		0.03813	2.48467	-0.3475	0.80	16.37	11.03	
		BGB	DBH<5cm	0.02642	2.34646					0.32776	2.57872	-0.3475				
冷杉	黑吉	AGB	DBH \geq 5cm	0.09088	2.41762	0.9483	44.60	4.85		0.06945	2.05753	0.5084	0.96	41.16	4.48	
		AGB	DBH<5cm	0.14035	2.14761					0.12545	1.69012	0.5084				
		BGB	DBH \geq 5cm	0.02608	2.30198	0.8119	21.38	11.45		0.03118	2.54141	-0.3380	0.82	21.59	11.56	

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$						
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标			
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE
		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	0.8941	98.30	8.01		0.07451	2.05753	0.5084	0.95	71.38	5.79	
		AGB	DBH<5cm	0.13128	2.24404					0.10279	1.85762	0.5084				
		BGB	DBH≥5cm	0.03863	2.29457	0.8850	26.96	10.79		0.04620	2.54141	-0.3380	0.90	25.86	10.35	
		BGB	DBH<5cm	0.01360	2.94304					0.01570	3.21188	-0.3380				
	川	AGB	DBH≥5cm	0.08486	2.40985	0.8794	88.41	8.55		0.06484	2.05753	0.5084	0.93	67.88	6.57	
		AGB	DBH<5cm	0.16896	1.98195					0.15765	1.50552	0.5084				
		BGB	DBH≥5cm	0.02407	2.30715	0.8489	18.27	10.86		0.02879	2.54141	-0.3380	0.83	19.76	11.75	
		BGB	DBH<5cm	0.02519	2.27893					0.02722	2.57625	-0.3380				
	滇	AGB	DBH≥5cm	0.08018	2.41049	0.9855	29.78	3.09		0.06127	2.05753	0.5084	0.99	29.88	3.10	
		AGB	DBH<5cm	0.18175	1.90205					0.19406	1.34122	0.5084				
		BGB	DBH≥5cm	0.02942	2.30673	0.8693	19.20	10.73		0.03518	2.54141	-0.3380	0.90	17.45	9.75	
		BGB	DBH<5cm	0.05096	1.96530					0.05257	2.29188	-0.3380				
	藏	AGB	DBH≥5cm	0.08116	2.42411	0.9423	73.59	6.84		0.06202	2.05753	0.5084	0.95	65.82	6.11	
		AGB	DBH<5cm	0.10366	2.27209					0.09159	1.81526	0.5084				
		BGB	DBH≥5cm	0.03035	2.29767	0.9445	16.05	7.44		0.03630	2.54141	-0.3380	0.94	16.54	7.67	
		BGB	DBH<5cm	0.01041	2.96271					0.01263	3.19747	-0.3380				
柳杉	浙鄂湘川 渝	AGB	DBH≥5cm	0.15483	2.17100	0.9373	34.29	4.90		0.09311	1.81174	0.6068	0.97	25.21	3.60	
		AGB	DBH<5cm	0.22754	1.93180					0.19780	1.34355	0.6068				
		BGB	DBH≥5cm	0.01406	2.57193	0.8670	19.11	10.38		0.01679	2.69756	-0.2122	0.86	19.60	10.64	
		BGB	DBH<5cm	0.06279	1.93180					0.05884	1.91838	-0.2122				
栎树	黑吉辽 蒙东	AGB	DBH≥5cm	0.09135	2.48954	0.9216	50.45	5.46		0.06149	2.14380	0.5839	0.95	41.71	4.51	
		AGB	DBH<5cm	0.11963	2.32194					0.10918	1.78705	0.5839				
		BGB	DBH≥5cm	0.04588	2.30079	0.8113	22.56	10.62		0.05183	2.40723	-0.1797	0.80	23.65	11.13	

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$								
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标					
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE		
桦树	豫晋冀陕青甘宁	BGB	DBH<5cm	0.08646	1.90705					0.29352	1.32981	-0.1797						
		AGB	DBH≥5cm	0.09393	2.54608	0.9405	85.86	5.08		0.07509	2.32637	0.3302	0.95	80.50	4.76			
	川滇	AGB	DBH<5cm	0.20484	2.06167					0.15419	1.87937	0.3302						
		BGB	DBH≥5cm	0.05209	2.30130	0.8859	30.59	7.50		0.06989	2.58980	-0.4335	0.88	31.44	7.75			
		BGB	DBH<5cm	0.12730	1.74612					0.17702	2.01240	-0.4335						
	鄂湘赣徽浙渝贵	AGB	DBH≥5cm	0.11520	2.42424	0.9091	86.73	6.71		0.07806	2.06321	0.5739	0.92	82.14	6.36			
		AGB	DBH<5cm	0.29813	1.83342					0.22999	1.39183	0.5739						
		BGB	DBH≥5cm	0.04890	2.20730	0.7746	22.39	8.52		0.05561	2.32664	-0.1897	0.78	28.99	14.01			
	黑吉蒙东白桦	BGB	DBH<5cm	0.14067	1.55077					0.15621	1.68493	-0.1897						
		AGB	DBH≥5cm	0.21360	2.30416	0.9059	96.93	6.41		0.13188	1.82892	0.7112	0.97	56.79	3.75			
		AGB	DBH<5cm	0.22586	2.26960					0.15444	1.73082	0.7112						
		BGB	DBH≥5cm	0.11060	2.05730	0.7877	34.21	11.02		0.11460	2.09235	-0.0525	0.75	37.38	12.04			
	黑吉蒙东部其他桦	BGB	DBH<5cm	0.06271	2.40982					0.05344	2.56640	-0.0525						
		蒙中西部豫晋陕青甘宁新	AGB	DBH≥5cm	0.10298	2.44022	0.9419	56.69	5.04		0.06807	2.10850	0.5202	0.96	50.10	4.46		
			AGB	DBH<5cm	0.14305	2.23603					0.10408	1.84470	0.5202					
			BGB	DBH≥5cm	0.05511	2.25464	0.8056	37.11	12.67		0.04409	2.07591	0.2803	0.79	39.49	13.49		
BGB			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	0.9237	65.20	6.26		0.06338	2.10850	0.5202	0.94	57.21	5.49			
		AGB	DBH<5cm	0.13863	2.19653					0.11029	1.76426	0.5202						
		BGB	DBH≥5cm	0.04916	2.24678	0.7093	39.03	16.75		0.03933	2.07591	0.2803	0.71	39.79	17.07			
		BGB	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	0.9446	58.59	4.71		0.07367	2.10850	0.5202	0.95	54.03	4.35			
		AGB	DBH<5cm	0.30646	1.80136					0.20254	1.48013	0.5202						
		BGB	DBH≥5cm	0.05084	2.24904	0.8556	24.11	7.95		0.04068	2.07591	0.2803	0.85	24.81	8.18			

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$							
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标				
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	
	川滇	BGB	DBH<5cm	0.08875	1.90290					0.07566	1.69031	0.2803					
		AGB	DBH≥5cm	0.09615	2.41861	0.8752	86.52	8.44		0.06356	2.10850	0.5202	0.90	79.47	7.75		
		AGB	DBH<5cm	0.13097	2.22660					0.08907	1.89878	0.5202					
		BGB	DBH≥5cm	0.04159	2.24300	0.8182	21.93	11.11		0.03328	2.07591	0.2803					
		BGB	DBH<5cm	0.02004	2.69673					0.01723	2.48504	0.2803	0.82	22.48	11.39		
木荷	滇闽赣贵浙湘粤	AGB	DBH≥5cm	0.17685	2.26314	0.9564	49.69	4.48		0.12045	2.06446	0.3827	0.96	46.99	4.24		
		BGB	DBH≥5cm	0.06408	2.19784	0.8085	30.74	9.49		0.08177	2.32395	-0.2429	0.82	30.50	9.42		
枫香	桂闽赣湘贵浙徽渝	AGB	DBH≥5cm	0.10615	2.46650	0.9496	70.80	5.27		0.08909	2.25564	0.3041	0.96	64.40	4.79		
		BGB	DBH≥5cm	0.09552	2.14190	0.9189	22.69	6.41		0.12052	2.42178	-0.4037	0.90	25.38	7.17		
柏木	京津冀晋蒙鲁豫	AGB	DBH≥5cm	0.15341	2.31696	0.9181	34.42	6.03		0.12483	1.91489	0.6152	0.95	26.13	4.58		
		AGB	DBH<5cm	0.36274	1.78224					0.27086	1.43357	0.6152					
		BGB	DBH≥5cm	0.05961	2.16657	0.8800	13.26	9.51		0.04381	1.76750	0.6428	0.90	12.61	9.02		
		BGB	DBH<5cm	0.14096	1.63185					0.09507	1.28618	0.6428					
	陕甘青	AGB	DBH≥5cm	0.13313	2.25359	0.8481	68.71	8.61		0.08947	1.91489	0.6152	0.90	54.96	6.89		
		AGB	DBH<5cm	0.48331	1.45248					0.33843	1.08825	0.6152					
		BGB	DBH≥5cm	0.05487	2.10320	0.8106	18.57	10.19		0.03370	1.76750	0.6428	0.86	16.12	8.84		
		BGB	DBH<5cm	0.19921	1.30209					0.12749	0.94085	0.6428					
	川滇藏	AGB	DBH≥5cm	0.14179	2.32928	0.8892	76.28	7.17		0.09433	1.91489	0.6152	0.98	35.92	3.38		
		AGB	DBH<5cm	0.23907	2.00472					0.16090	1.58314	0.6152					
		BGB	DBH≥5cm	0.03917	2.17890	0.7744	19.94	11.73		0.02453	1.76750	0.6428	0.93	11.47	6.74		
		BGB	DBH<5cm	0.06603	1.85434					0.04184	1.43574	0.6428					
		AGB	DBH≥5cm	0.14734	2.34512	0.9297	76.04	6.15		0.10014	1.91489	0.6152	0.95	64.13	5.19		

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$					
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标		
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE
浙鄂湘粤渝贵	AGB	DBH<5cm	0.19117	2.18332					0.12088	1.79791	0.6152				
	BGB	DBH≥5cm	0.05617	2.19473	0.8703	22.31	7.78		0.03518	1.76750	0.6428	0.91	19.30	6.73	
	BGB	DBH<5cm	0.07288	2.03293					0.04247	1.65052	0.6428				
高山松	AGB	DBH≥5cm	0.10387	2.37122	0.9021	70.83	7.22		0.08909	2.25564	0.3041	0.94	57.85	5.90	
	AGB	DBH<5cm	0.24417	1.84015					0.22306	1.62370	0.2747				
	BGB	DBH≥5cm	0.02174	2.37122	0.7686	24.50	14.51		0.01586	2.19183	0.3257	0.79	23.68	14.02	
	BGB	DBH<5cm	0.05024	1.84015	0.7686	24.50	14.51		0.03958	1.62370	0.3257	0.79	23.68	14.02	
思茅松	AGB	DBH≥5cm	0.02742	2.80363	0.9643	51.94	4.70		0.02106	2.52398	0.4163	0.97	49.71	4.50	
	AGB	DBH<5cm	0.11144	1.93247	0.9643	51.94	4.70		0.10397	1.53180	0.4163	0.97	49.71	4.50	
	BGB	DBH≥5cm	0.00636	2.68731	0.9423	9.07	6.18		0.00402	2.63445	0.2252	0.93	10.03	6.83	
	BGB	DBH<5cm	0.01379	2.20606	0.9423	9.07	6.18		0.01624	1.76761	0.2252	0.93	10.03	6.83	
樟子松	AGB	DBH≥5cm	0.07599	2.42539	5.2300	41.06	4.70		0.05460	2.23412	0.3478	0.94	40.04	5.10	
	AGB	DBH<5cm	0.07599	2.42539	5.2300	51.94	4.70		0.17577	1.50770	0.3478	0.94	40.04	5.10	
	BGB	DBH≥5cm	0.01281	2.50659	0.7762	20.46	12.49		0.01131	2.57232	-0.0398	0.76	21.31	13.01	
	BGB	DBH<5cm	0.08105	1.36051	0.7762	20.46	12.49		0.03343	1.89875	-0.0398	0.76	21.31	13.01	
椴树	AGB	DBH≥5cm	0.07111	2.45853	0.9263	46.77	5.80		0.03798	2.12825	0.6112	0.96	33.31	4.13	
	BGB	DBH≥5cm	0.02158	2.51509	0.8583	29.77	11.27		0.01671	2.70249	-0.1312	0.86	29.75	11.26	
榆树	AGB	DBH≥5cm	0.18527	2.17522	0.9164	53.11	6.11		0.10266	1.98520	0.4907	0.95	42.95	4.94	
	BGB	DBH≥5cm	0.07187	2.14011	0.8659	25.11	9.02		0.04323	2.06056	0.3372	0.91	20.29	7.29	
黄山松	AGB	DBH≥5cm	0.09421	2.41667	0.9324	54.47	5.75		0.05952	2.12183	0.5238	0.95	47.64	5.03	
	AGB	DBH<5cm	0.18297	2.00425					0.16591	1.48491	0.2524				
杨树	AGB	DBH≥5cm	0.07357	2.49646	0.9448	50.58	5.14		0.04502	2.12223	0.5916	0.96	40.52	4.12	

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$					二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$						
				模型参数		评价指标			模型参数			评价指标			
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE
黑吉辽蒙 天然山杨	AGB	DBH<5cm	0.13307	2.12826					0.08428	1.73268	0.5916				
	BGB	DBH≥5cm	0.02407	2.36207	0.9189	15.90	8.23		0.02243	2.30820	0.0852	0.92	16.60	8.60	
	BGB	DBH<5cm	0.04152	2.02344					0.05776	1.72050	0.0852				
陕甘青宁 新 天然山杨	AGB	DBH≥5cm	0.07529	2.51165	0.9535	54.31	4.90		0.04607	2.14892	0.5916	0.95	56.11	5.06	
	AGB	DBH<5cm	0.15911	2.04669					0.09107	1.72550	0.5916				
	BGB	DBH≥5cm	0.02512	2.38711	0.8994	17.11	7.71		0.02341	2.33489	0.0852	0.90	17.37	7.82	
川滇藏 天然山杨	BGB	DBH<5cm	0.09539	1.55813					0.07508	1.61070	0.0852				
	AGB	DBH≥5cm	0.09549	2.42842	0.9311	63.75	6.05		0.05843	2.05186	0.5916	0.96	48.86	4.64	
	AGB	DBH<5cm	0.09977	2.40118					0.06530	1.98276	0.5916				
黑吉辽蒙 人工杨树	BGB	DBH≥5cm	0.02668	2.29204	0.8703	13.96	8.61		0.02486	2.23783	0.0852	0.87	14.08	8.68	
	BGB	DBH<5cm	0.02217	2.40704					0.02208	2.31139	0.0852				
	AGB	DBH≥5cm	0.09084	2.37209	0.9176	49.52	6.11		0.05559	2.00861	0.5916	0.94	41.24	5.12	
鲁豫蒙冀 晋京 人工杨树	AGB	DBH<5cm	0.12638	2.16693					0.09585	1.67005	0.5916				
	BGB	DBH≥5cm	0.03389	2.24690	0.6706	25.61	18.67		0.03157	2.19458	0.0852	0.66	26.47	19.29	
	BGB	DBH<5cm	0.03201	2.28221					0.03961	2.05364	0.0852				
苏徽鄂湘 渝贵 人工杨树	AGB	DBH≥5cm	0.07685	2.50731	0.9172	68.66	6.48		0.04703	2.12487	0.5916	0.94	60.50	5.71	
	AGB	DBH<5cm	0.10182	2.33251					0.06741	1.90115	0.5916				
	BGB	DBH≥5cm	0.02606	2.36590	0.9108	13.56	6.95		0.02428	2.31085	0.0852	0.91	13.69	7.01	
苏徽鄂湘 渝贵 人工杨树	BGB	DBH<5cm	0.03539	2.17573					0.03669	2.05421	0.0852				
	AGB	DBH≥5cm	0.04792	2.67346	0.9663	48.33	4.25		0.02933	2.27634	0.5916	0.98	36.49	3.17	
	AGB	DBH<5cm	0.13816	2.01559					0.09837	1.52435	0.5916				
BGB	DBH≥5cm	0.01232	2.51948	0.9424	10.32	6.13		0.01148	2.46232	0.0852	0.94	10.72	6.36		

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型 $M=a \cdot DBH^b$						二元模型 $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$						
				模型参数		评价指标				模型参数			评价指标			
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²	SEE	MPE	MPSE
		BGB	DBH<5cm	0.05851	1.55130					0.05966	1.43820	0.0852				

数据来源：《立木生物量模型及碳计量参数》系列林业行业标准（LY/T 2258-2014；LY/T 2259-2014；LY/T 2260-2014；LY/T 2261-2014；LY/T 2262-2014；LY/T 2263-2014；LY/T 2264-2014；LY/T 654-2016；LY/T 656-2016；LY/T 657-2016；LY/T 658-2016；LY/T 659-2016；LY/T 660-2016；LY/T 661-2016）。

注 1：AGB 为地上生物量（kg）；BGB 为地下生物量（kg）；M 为生物量（kg）；DBH 为胸径（cm）；H 为树高（m）；a、b、c 为模型参数；R² 为确定系数；SEE 为估计值的标准差（kg）；MPE 为平均估计误差（%）；MPSE 为平均百分标准误差（%）。

注 2：应当优先选择基于胸径（DBH）的一元模型，其次选择基于胸径（DBH）和树高（H）的二元模型。本表中未包含的树种，可以参考附表 1-2 和附表 1-3 中的方程。未提供的树种，可以采用文献值。

附表 1-2 中国主要乔木林树种单株生物量 (Y , kg) 与胸径 (DBH , cm) 的相关方程 ($Y=a \cdot DBH^b$) (文献混合建模)

树种(组)	器官	a	S.E.	b	S.E.	n	R^2	胸径范围
针叶树	地上	0.1112	0.0101	2.3689	0.0217	900	0.926	1.0~95.0
	整株	0.1533	0.0160	2.3377	0.0249	625	0.917	1.0~95.0
阔叶树	地上	0.0622	0.0051	2.5289	0.0176	1140	0.933	1.0~150.0
	整株	0.0277	0.0034	2.7518	0.0253	750	0.944	1.0~150.0
云冷杉	地上	0.2848	0.0748	2.1344	0.0611	55	0.962	1.0~95.0
	整株	0.3492	0.1214	2.1103	0.0804	35	0.963	1.0~95.0
红松	地上	0.1380	0.0237	2.2885	0.0411	130	0.980	1.0~80.0
	整株	0.0380	0.0051	2.7330	0.0358	60	0.996	1.0~50.0
栲类	地上	0.0076	0.0039	3.2895	0.1449	35	0.964	2.0~40.0
	整株	0.0130	0.0070	3.1995	0.1505	25	0.977	2.0~40.0
桉树	地上	0.1882	0.0415	2.1916	0.0820	50	0.953	2.0~19.7
	整株	0.1898	0.0822	2.2407	0.1558	25	0.937	2.0~19.7
橡胶	地上	0.1784	0.0319	2.3197	0.0538	40	0.984	2.0~38.0
	整株	0.2113	0.0397	2.3117	0.0555	20	0.991	2.0~38.0
青冈	地上	0.2235	0.0638	2.2311	0.0841	30	0.977	3.2~37.5
	整株	0.1930	0.0238	2.3590	0.0356	20	0.998	3.2~37.5

数据来源: 罗云建, 王效科, 谯非. 2015. 中国主要林木生物量模型手册. 北京: 中国林业出版社; Luo et al., 2020. A review of biomass equations for China's tree species. Earth Syst. Sci. Data, 12, 21–40. <https://doi.org/10.5194/essd-12-21-2020>.

附表 1-3 中国主要乔木林树种单株生物量 (Y , kg) 与胸径 (DBH , cm) 和树高 (H , m) 的相关方程 ($Y=a \cdot (DBH^b \cdot H^c)$) (文献混合建模)

树种(组)	器官	a	S.E.	b	S.E.	n	R^2	胸径范围	树高范围
针叶树	地上	200.6613	2.3949	0.9472	0.0047	1585	0.933	0.01~0.80	0.7~36.0
	整株	249.3463	3.5924	0.9212	0.0056	1200	0.923	0.01~0.80	0.7~36.0
阔叶树	地上	311.1302	8.6636	0.8542	0.0065	1260	0.921	0.01~1.50	0.7~66.8
	整株	336.0315	11.9323	0.8793	0.0079	985	0.931	0.01~1.50	0.7~66.8
云冷杉	地上	263.4628	19.9451	0.7660	0.0540	70	0.853	0.01~0.46	2.3~33.4
	整株	339.4788	29.7279	0.6703	0.0660	55	0.793	0.01~0.46	2.3~23.3
红松	地上	259.7113	7.8709	0.7998	0.0215	100	0.971	0.01~0.50	1.5~25.5
	整株	333.1841	11.1927	0.8427	0.0237	55	0.985	0.01~0.50	1.5~25.5
水杉	地上	143.2560	2.9064	0.7589	0.0324	35	0.967	0.02~0.32	5.8~22.7
	整株	172.1837	4.5280	0.7385	0.0364	25	0.964	0.02~0.32	5.8~22.7
侧柏	地上	230.6782	27.4055	0.7326	0.0807	35	0.861	0.02~0.20	2.4~11.5
	整株	392.5969	22.3747	0.9334	0.0396	25	0.985	0.02~0.20	2.4~9.8
桉树	地上	328.4407	9.5148	1.1219	0.0455	110	0.884	0.02~0.23	4.1~29.0
	整株	404.7143	14.1108	1.1356	0.0590	95	0.858	0.02~0.23	4.1~29.0
刺槐	地上	291.9278	5.2761	0.9282	0.0294	55	0.976	0.02~0.34	2.1~18.0
	整株	332.5177	7.3829	0.8764	0.0370	45	0.969	0.02~0.34	2.1~18.0
金合欢	地上	242.5758	12.7328	0.7195	0.0414	70	0.875	0.02~0.26	3.4~24.0
	整株	325.9385	4.6461	0.8634	0.0158	50	0.993	0.02~0.26	3.4~24.0
樟树	地上	315.8108	6.3591	1.1846	0.0461	30	0.985	0.02~0.26	2.8~19.1
	整株	399.7982	8.1554	1.1827	0.0466	30	0.985	0.02~0.26	2.8~19.1

数据来源: 罗云建, 王效科, 谯非. 2015. 中国主要林木生物量模型手册. 北京: 中国林业出版社; Luo et al., 2020. A review of biomass equations for China's tree species. Earth Syst. Sci. Data, 12, 21–40. <https://doi.org/10.5194/essd-12-21-2020>.

附表 1-4 中国主要乔木林树种单株材积 (V, m^3) 与胸径 (DBH, cm) 或者树高 (H, m) 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 $V=a \cdot DBH^b$				二元模型 $V=a \cdot DBH^b \cdot H^c$				
			模型参数		评价指标		模型参数			评价指标	
			a	b	R^2	MPE(%)	a	b	c	R^2	MPE(%)
油松	晋冀鲁京津蒙 辽豫甘青宁陕	$DBH \geq 5cm$	0.128670	2.45051	0.9659	3.45	0.085466	1.97057	0.74467	0.9876	2.09
		$DBH < 5cm$	0.319780	1.88486	0.9659	3.45	0.281348	1.23026	0.74467	0.9876	2.09
湿地松	闽赣湘粤桂	$DBH \geq 5cm$	0.163550	2.37833	0.9457	4.25	0.077882	1.93930	0.82136	0.9791	2.64
		$DBH < 5cm$	0.287090	2.02872	0.9457	4.25	0.263514	1.18195	0.82136	0.9791	2.64
云南松	川滇藏	$DBH \geq 5cm$	0.172510	2.37594	0.8800	8.31	0.096532	1.88886	0.79242	0.9733	3.93
		$DBH < 5cm$	0.172510	2.37594	0.8800	8.31	0.096532	1.88886	0.79242	0.9733	3.93
马尾松	苏浙徽闽赣湘 粤桂贵	$DBH \geq 5cm$	0.138810	2.48492	0.9552	4.74	0.066937	1.91140	0.90485	0.9854	2.72
		$DBH < 5cm$	0.214330	2.21499	0.9552	4.74	0.140913	1.44888	0.90485	0.9854	2.72
	鄂川	$DBH \geq 5cm$	0.146440	2.48492	0.9448	5.00	0.070627	1.91140	0.90485	0.9831	2.77
		$DBH < 5cm$	0.181420	2.35184	0.9448	5.00	0.168513	1.37100	0.90485	0.9831	2.77
杉木	湘鄂粤桂浙徽 苏川贵	$DBH \geq 5cm$	0.093012	2.61838	0.9413	5.50	0.067988	1.83798	0.99776	0.9934	1.84
		$DBH < 5cm$	0.231487	2.05185	0.9413	5.50	0.185604	1.21398	0.99776	0.9934	1.84
	赣闽	$DBH \geq 5cm$	0.992257	2.60314	0.9554	4.79	0.055606	1.83798	1.05922	0.9934	1.84
		$DBH < 5cm$	0.209962	2.09213	0.9554	4.79	0.152489	1.21118	1.05992	0.9934	1.84
落叶松	黑吉辽 蒙东部	$DBH \geq 5cm$	0.176940	2.43583	0.9617	4.30	0.07669	1.80035	0.99246	0.9878	2.44
		$DBH < 5cm$	0.166540	2.47616	0.9617	4.30	0.11426	1.55262	0.99426	0.9878	2.44
	晋冀 蒙中西部	$DBH \geq 5cm$	0.094770	2.56801	0.9574	4.32	0.07267	1.80035	0.99246	0.9868	2.41
		$DBH < 5cm$	0.108440	2.48428	0.9574	4.32	0.14715	1.36194	0.99426	0.9868	2.41
	新疆	$DBH \geq 5cm$	0.247730	2.33835	0.8857	8.31	0.0764	1.80035	0.99246	0.9669	4.49
		$DBH < 5cm$	0.208640	2.44505	0.8857	8.31	0.16305	1.32936	0.99426	0.9669	4.49
	川滇藏	$DBH \geq 5cm$	0.240670	2.32478	0.8808	8.77	0.075141	1.80035	0.99246	0.9760	3.95
		$DBH < 5cm$	0.255510	2.28762	0.8808	8.77	0.238361	1.08307	0.99426	0.9760	3.95
云杉	黑吉	$DBH \geq 5cm$	0.126770	2.48937	0.9394	5.40	0.07089	1.78562	1.04651	0.9876	2.45

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $V=a \cdot DBH^b$				二元模型 $V=a \cdot DBH^b \cdot H^c$					
			模型参数		评价指标		模型参数			评价指标		
			a	b	R^2	MPE(%)	a	b	c	R^2	MPE(%)	
冷杉	甘青 新疆天山	$DBH < 5cm$	0.164500	2.32750	0.9394	5.40	0.13202	1.39924	1.04651	0.9876	2.45	
		$DBH \geq 5cm$	0.118010	2.56362	0.8616	11.23	0.06599	1.78562	1.04651	0.9903	2.98	
	新疆阿尔泰山	$DBH < 5cm$	0.263850	2.06367	0.8616	11.23	0.23169	1.00526	1.04651	0.9903	2.98	
		$DBH \geq 5cm$	0.117470	2.54190	0.7919	12.73	0.06569	1.78562	1.04651	0.9680	5.01	
	川	$DBH < 5cm$	0.204710	2.19680	0.7919	12.73	0.22553	1.10920	1.04651	0.9680	5.01	
		$DBH \geq 5cm$	0.121230	2.54838	0.8313	13.19	0.06779	1.78562	1.04651	0.9576	6.64	
	滇	$DBH < 5cm$	0.292520	2.00109	0.8313	13.19	0.29738	0.86695	1.04651	0.9576	6.64	
		$DBH \geq 5cm$	0.126030	2.51419	0.8504	9.90	0.07047	1.78562	1.04651	0.9847	3.17	
	藏	$DBH < 5cm$	0.266080	2.04985	0.8504	9.90	0.1753	1.21941	1.04651	0.9847	3.17	
		$DBH \geq 5cm$	0.117730	2.52704	0.8066	13.08	0.06583	1.78562	1.04651	0.9807	4.15	
	黑吉	$DBH < 5cm$	0.222630	2.13116	0.8066	13.08	0.16335	1.22096	1.04651	0.9807	4.15	
		$DBH \geq 5cm$	0.108710	2.55115	0.9650	3.94	0.06265	1.81341	1.04158	0.9895	2.17	
冷杉	甘青 新疆天山	$DBH < 5cm$	0.209660	2.14304	0.9650	3.94	0.16659	1.20574	1.04158	0.9895	2.17	
		$DBH \geq 5cm$	0.113900	2.54010	0.8623	9.44	0.06564	1.81341	1.04158	0.9818	3.45	
	川	$DBH < 5cm$	0.173540	2.31237	0.8623	9.44	0.10514	1.52068	1.04158	0.9818	3.45	
		$DBH \geq 5cm$	0.109800	2.53524	0.9339	7.22	0.06328	1.81341	1.04158	0.9842	3.55	
	滇	$DBH < 5cm$	0.225580	2.08785	0.9339	7.22	0.19574	1.11175	1.04158	0.9842	3.55	
		$DBH \geq 5cm$	0.119560	2.53654	0.9081	8.36	0.0689	1.81341	1.04158	0.9647	5.20	
	藏	$DBH < 5cm$	0.200970	2.21388	0.9081	8.36	0.22985	1.06486	1.04158	0.9647	5.20	
		$DBH \geq 5cm$	0.114210	2.56444	0.9384	7.27	0.06582	1.81341	1.04158	0.9794	4.22	
	柳杉	浙鄂湘川渝	$DBH < 5cm$	0.175140	2.29877	0.9384	7.27	0.13592	1.36281	1.04158	0.9794	4.22
			$DBH \geq 5cm$	0.155980	2.43125	0.9494	4.30	0.0065	1.82909	1.01703	0.9902	2.08
	栎树	黑吉辽蒙东	$DBH < 5cm$	0.209440	2.24816	0.9494	4.30	0.16561	1.26217	1.01703	0.9902	2.08
			$DBH \geq 5cm$	0.119830	2.44828	0.9100	5.52	0.06405	1.90118	0.92394	0.9780	2.85

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $V=a \cdot DBH^b$				二元模型 $V=a \cdot DBH^b \cdot H^c$					
			模型参数		评价指标		模型参数			评价指标		
			a	b	R^2	MPE(%)	a	b	c	R^2	MPE(%)	
豫晋冀陕青甘宁	川滇	$DBH < 5cm$	0.120700	2.44378	0.9100	5.52	0.10443	1.59739	0.92394	0.9780	2.85	
		$DBH \geq 5cm$	0.120070	2.51608	0.9289	5.52	0.06418	1.90118	0.92394	0.9741	3.34	
	鄂湘赣徽浙渝贵	$DBH < 5cm$	0.421400	1.73601	0.9289	5.52	0.19029	1.22584	0.92394	0.9741	3.34	
		$DBH \geq 5cm$	0.124660	2.48238	0.9172	6.59	0.06663	1.90118	0.92394	0.9671	4.17	
	黑吉、蒙东部	$DBH < 5cm$	0.196490	2.19967	0.9172	6.59	0.12939	1.48879	0.92394	0.9172	6.59	
		$DBH \geq 5cm$	0.128810	2.51860	0.9259	6.16	0.06884	1.90118	0.92394	0.9837	2.90	
桦树	白桦	$DBH < 5cm$	0.180930	2.30746	0.9259	6.16	0.11042	1.60764	0.92394	0.9837	2.90	
		$DBH \geq 5cm$	0.164150	2.40688	0.9482	4.63	0.08077	1.83864	0.89108	0.9797	2.91	
	其他桦	$DBH < 5cm$	0.195000	2.29987	0.9482	4.63	0.11309	1.62952	0.89108	0.9797	2.91	
		$DBH \geq 5cm$	0.164150	2.38190	0.8875	7.61	0.08077	1.83864	0.89108	0.9444	5.37	
	蒙中西部、豫晋陕青甘宁新	$DBH < 5cm$	0.315780	1.97537	0.8875	7.61	0.21343	1.23490	0.89108	0.9444	5.37	
		$DBH \geq 5cm$	0.164150	2.38909	0.8617	7.85	0.08077	1.83864	0.89108	0.9283	5.67	
	川滇	$DBH < 5cm$	0.338940	1.93860	0.8617	7.85	0.16673	1.38833	0.89108	0.9283	5.67	
		$DBH \geq 5cm$	0.164150	2.36986	0.9462	5.75	0.08077	1.83864	0.89108	0.9676	4.48	
	木荷	滇闽赣贵浙湘粤	$DBH < 5cm$	0.161590	2.37963	0.9462	5.75	0.08349	1.81809	0.89108	0.9676	4.48
			$DBH \geq 5cm$	0.185090	2.34176	0.9542	4.82	0.092495	1.98290	0.69115	0.9814	3.80
	枫香	桂闽赣湘贵浙徽渝	$DBH < 5cm$	0.128990	2.49044	0.9644	4.35	0.07752	1.87744	0.88418	0.9922	2.04
	柏木	京津冀晋蒙鲁豫	$DBH < 5cm$	0.105520	2.43135	0.9513	4.79	0.08077	0.07212	1.68893	0.9838	2.77
$DBH \geq 5cm$			0.324640	1.73310	0.9513	4.79	0.11309	0.18931	1.08929	0.9838	2.77	
陕甘青		$DBH < 5cm$	0.151310	2.31433	0.8647	8.05	0.08077	0.07264	1.68893	0.9772	3.32	
		$DBH \geq 5cm$	0.261010	1.97556	0.8647	8.05	0.21343	0.13518	1.30300	0.9772	3.32	
川滇藏		$DBH < 5cm$	0.139760	2.45411	0.7916	10.56	0.08077	0.06585	1.68893	0.9699	4.03	
		$DBH \geq 5cm$	0.187660	2.27099	0.7916	10.56	0.16673	0.09033	1.49254	0.9699	4.03	

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $V=a \cdot DBH^b$				二元模型 $V=a \cdot DBH^b \cdot H^c$				
			模型参数		评价指标		模型参数			评价指标	
			a	b	R^2	MPE(%)	a	b	c	R^2	MPE(%)
	浙鄂湘粤渝贵	$DBH \geq 5cm$	0.136610	2.48335	0.9391	6.16	0.08077	0.06695	1.68893	0.9731	4.09
		$DBH < 5cm$	0.187580	2.28632	0.9391	6.16	0.08349	0.08047	1.57467	0.9731	4.09
高山松	藏川滇	$DBH \geq 5cm$	0.127970	2.45410	0.8814	8.27	0.07989	1.89095	0.86227	0.9848	2.97
		$DBH < 5cm$	0.282320	1.96247	0.8814	8.27	0.21255	1.28297	0.86227	0.9848	2.97
思茅松	普洱、西双版纳 德宏、临沧	$DBH \geq 5cm$	0.099161	2.57713	0.9656	4.40	0.056484	1.98128	0.88709	0.9890	2.49
		$DBH < 5cm$	0.222190	2.07585	0.9656	4.40	0.19167	1.22213	0.88709	0.9890	2.49
樟子松	蒙东部 黑吉辽	$DBH \geq 5cm$	0.175230	2.35785	0.8835	7.29	0.07571	1.87223	0.88288	0.9759	3.33
		$DBH < 5cm$	0.206290	2.25645	0.8835	7.29	0.19151	1.29559	0.88288	0.9759	3.33
椴树	黑吉辽	$DBH \geq 5cm$	0.178600	2.37243	0.9403	5.14	0.077254	1.93103	0.81681	0.9840	2.66
榆树	黑吉辽冀蒙	$DBH \geq 5cm$	0.259770	2.13101	0.8719	7.57	0.098379	1.81849	0.80712	0.9494	4.77
黄山松	浙徽闽赣	$DBH \geq 5cm$	0.146870	2.45581	0.9221	6.27	0.06799	1.96127	0.87851	0.9804	3.15
		$DBH < 5cm$	0.222780	2.19693	0.9221	6.27	0.18905	1.32580	0.87851	0.9804	3.15
杨树	黑吉辽蒙天然 山杨	$DBH \geq 5cm$	0.134470	2.49461			0.06124	1.89521	0.94759		
		$DBH < 5cm$	0.176980	2.32395	0.9462	5.01	0.08515	1.69037	0.94759	0.9830	2.82
	陕甘青宁新 天然山杨	$DBH \geq 5cm$	0.134270	2.47618			0.06114	1.89521	0.94759		
		$DBH < 5cm$	0.218500	2.17363	0.9437	5.67	0.0894	1.65919	0.94759	0.9848	2.96
	川滇藏 天然山杨	$DBH \geq 5cm$	0.135600	2.49834			0.06175	1.89521	0.94759		
		$DBH < 5cm$	0.150050	2.43546	0.9447	5.42	0.07611	1.76530	0.94759	0.9848	2.85
	黑吉辽蒙 人工杨树	$DBH \geq 5cm$	0.127630	2.47739			0.05812	1.89521	0.94759		
		$DBH < 5cm$	0.199930	2.19851	0.9326	6.13	0.1284	1.40268	0.94759	0.9700	4.10
	鲁豫蒙冀晋京 人工杨树	$DBH \geq 5cm$	0.122960	2.50774			0.05599	1.89521	0.94759		
		$DBH < 5cm$	0.209460	2.17677	0.9624	4.22	0.1082	1.48589	0.94759	0.9889	2.30
		$DBH \geq 5cm$	0.119910	2.53125			0.0546	1.89521	0.94759		

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $V=a \cdot DBH^b$				二元模型 $V=a \cdot DBH^b \cdot H^c$				
			模型参数		评价指标		模型参数			评价指标	
			a	b	R^2	MPE(%)	a	b	c	R^2	MPE(%)
	苏徽鄂湘渝贵 人工杨树	$DBH < 5cm$	0.179000	2.28229	0.9489	5.04	0.1039	1.49547	0.94759	0.9849	2.69

数据来源：《立木生物量模型及碳计量参数》系列林业行业标准（LY/T 2258-2014；LY/T 2259-2014；LY/T 2260-2014；LY/T 2261-2014；LY/T 2262-2014；LY/T 2263-2014；LY/T 2264-2014；LY/T 654-2016；LY/T 656-2016；LY/T 657-2016；LY/T 658-2016；LY/T 659-2016；LY/T 660-2016；LY/T 661-2016）。

注：应当优先选择使用一元模型，其次使用二元模型。

附表 1-5 中国主要乔木林单位面积全林生物量 (Y , t d.m.·hm⁻²) 与蓄积量 (V , m³·hm⁻²) 的相关方程 ($Y=a \cdot V^b \cdot \lambda$)

森林类型	a	S.E.	b	S.E.	n	R^2	λ
云冷杉林	5.4126	0.6626	0.6334	0.0244	25	0.9656	1.0119
落叶松林	2.9851	0.5892	0.7460	0.0403	38	0.9024	1.0219
温性针叶林	5.1166	0.7952	0.6022	0.0344	39	0.8894	1.0165
油松林	2.4751	0.2270	0.7518	0.0203	72	0.9506	1.0128
马尾松林	2.2802	0.2833	0.7794	0.0269	64	0.9303	1.0317
暖性针叶林	2.6849	0.6117	0.7460	0.0484	32	0.8840	1.0222
杉类	4.0124	0.2563	0.6311	0.0128	199	0.9243	1.0182
柏木林	6.7113	2.0323	0.5688	0.0638	26	0.7585	1.0398
栎类	1.6819	0.2711	0.9181	0.0331	18	0.9783	1.0072
其它硬阔类	3.3002	0.5360	0.7409	0.0353	59	0.8836	1.0348
桉树林	3.0097	0.8803	0.7152	0.0670	34	0.7737	1.0283
其它软阔类	4.3655	1.0932	0.6879	0.0526	32	0.8458	1.0554
阔叶混	1.5258	0.5171	0.9076	0.0699	20	0.8983	1.0280
针阔混	3.0885	0.6725	0.7343	0.0452	54	0.8321	1.0330

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026.

应优先选择全林生物量方程, 其次选择地上生物量方程结合地下/地上生物量比例估计全林生物量。

附表 1-6 中国主要乔木林单位面积地上生物量 (Y , t d.m.·hm⁻²) 与蓄积量 (V , m³·hm⁻²) 的相关方程 ($Y=a \cdot V^b \cdot \lambda$)

森林类型	a	S.E.	b	S.E.	n	R^2	λ
云冷杉林	4.7357	0.6449	0.6250	0.0261	37	0.9407	1.0156
落叶松林	1.6552	0.2778	0.7994	0.0353	85	0.8591	1.0303
温性针叶林	3.9144	0.5606	0.6129	0.0319	44	0.8953	1.0147
油松林	2.7444	0.2517	0.6828	0.0208	103	0.9138	1.0161
马尾松林	1.7668	0.2086	0.7991	0.0249	85	0.9244	1.0359
暖性针叶林	2.0515	0.3475	0.7623	0.0375	44	0.9055	1.0198
杉类	2.9941	0.1833	0.6453	0.0125	243	0.9167	1.0235
柏木林	2.6704	0.6284	0.7128	0.0536	33	0.8461	1.0640
栎类	1.7246	0.3757	0.8657	0.0459	28	0.9294	1.0225
其它硬阔类	2.1821	0.3029	0.7826	0.0301	83	0.8915	1.0335
杨树林	2.3421	0.8622	0.7724	0.0754	37	0.7427	1.1261
桉树林	1.8098	0.4504	0.7825	0.0567	59	0.7659	1.0284
其它软阔类	3.5620	0.6665	0.6926	0.0413	43	0.8698	1.0612
阔叶混	3.1828	1.1970	0.7200	0.0765	35	0.7202	1.0698
针阔混	1.9616	0.3602	0.7723	0.0396	79	0.8293	1.0370

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026.

附表 1-7 中国主要乔木林树种的全林生物量转换与扩展因子 (全林 $BCEF, t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$) (行业标准汇总)

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

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $BCEF=a \cdot DBH^b$		二元模型 $BCEF=a \cdot DBH^b \cdot H^c$		
			模型参数		模型参数		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
		$DBH < 5\text{cm}$	0.59184	-0.02667	0.67386	0.45244	-0.53319
柳杉	浙鄂湘川渝	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.99262	-0.26025	1.40002	-0.01734	-0.41026
		$DBH < 5\text{cm}$	1.08643	-0.31636	1.19435	0.08138	-0.41026
栎树	黑吉辽 蒙东	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.76233	0.04126	0.96000	0.24261	-0.34004
		$DBH < 5\text{cm}$	0.99116	-0.12184	1.04540	0.18966	-0.34004
	豫晋冀陕青甘 宁	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.78232	0.03000	1.17012	0.42518	-0.59379
		$DBH < 5\text{cm}$	0.48610	0.32566	0.81026	0.65353	-0.59379
	川滇	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.92409	-0.05814	1.17159	0.16203	-0.35001
		$DBH < 5\text{cm}$	1.51730	-0.36625	1.77745	-0.09695	-0.35001
鄂湘赣徽浙渝 贵	$DBH \geq 5\text{cm}$	1.65835	-0.21443	1.91568	-0.07227	-0.21275	
	$DBH < 5\text{cm}$	1.24832	-0.03796	1.39866	0.12318	-0.21275	
桦树	黑吉、蒙东部 白桦	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.62738	0.03334	0.84379	0.26986	-0.37089
		$DBH < 5\text{cm}$	0.73359	-0.06384	0.92032	0.21518	-0.37089
	黑吉、蒙东部 其他桦	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.58407	0.04374	0.78462	0.26986	-0.37089
		$DBH < 5\text{cm}$	0.43899	0.22116	0.51674	0.52936	-0.37089
	蒙中西部、豫 晋陕 青甘宁新	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.67898	0.04075	0.91211	0.26986	-0.37089
		$DBH < 5\text{cm}$	0.90420	-0.13724	1.21480	0.09180	-0.37089
	川滇	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.58767	0.04875	0.78688	0.26986	-0.37089
		$DBH < 5\text{cm}$	0.81051	-0.15304	1.06992	0.08069	-0.37089
木荷	滇闽赣贵浙湘 粤	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.95545	-0.07862	1.30222	0.08156	-0.30851
枫香	桂闽赣湘贵浙 徽渝	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.82290	-0.02394	1.14926	0.37820	-0.58004
柏木	京津冀晋蒙鲁 豫	$DBH \geq 5\text{cm}$	1.45379	-0.11439	1.73094	0.22596	-0.52074
		$DBH < 5\text{cm}$	1.11738	0.04914	1.43079	0.34429	-0.52074
	陕甘青	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.87984	-0.06075	1.23175	0.22596	-0.52074
		$DBH < 5\text{cm}$	1.85167	-0.52308	2.50363	-0.21475	-0.52074
	川滇藏	$DBH \geq 5\text{cm}$	1.01457	-0.12482	1.43257	0.22596	-0.52074
		$DBH < 5\text{cm}$	1.27394	-0.26627	1.78127	0.09060	-0.52074
	浙鄂湘粤渝贵	$DBH \geq 5\text{cm}$	1.07857	-0.13823	1.49567	0.22596	-0.52074
		$DBH < 5\text{cm}$	1.01913	-0.10301	1.50223	0.22324	-0.52074
高山松	藏川滇	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.81169	-0.08289	1.11897	0.30088	-0.58760
		$DBH < 5\text{cm}$	0.86488	-0.12232	1.04945	0.34073	-0.58760
思茅松	普洱、西双版纳 德宏、临沧	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.27656	0.22650	0.37281	0.54270	-0.47075
		$DBH < 5\text{cm}$	0.50156	-0.14338	0.54247	0.30967	-0.47075
樟子松	蒙东部 黑吉辽	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.43367	0.06755	0.72123	0.36189	-0.53513
		$DBH < 5\text{cm}$	0.87738	-0.37029	0.91783	0.21211	-0.53513
椴树	黑吉辽	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.39815	0.08610	0.49168	0.19723	-0.20564
榆树	黑吉辽冀蒙	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.71322	0.04421	1.04356	0.16671	-0.31638
黄山松	浙徽闽赣	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.64147	-0.03914	0.87551	0.16057	-0.35477
		$DBH < 5\text{cm}$	0.82127	-0.19267	0.87756	0.15911	-0.35477
杨树		$DBH \geq 5\text{cm}$	0.54713	0.00185	0.73523	0.22702	-0.35596

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $BCEF=a \cdot DBH^b$		二元模型 $BCEF=a \cdot DBH^b \cdot H^c$		
			模型参数		模型参数		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
黑吉辽蒙天然山杨		$DBH < 5\text{cm}$	0.75192	-0.19569	0.98976	0.04231	-0.35596
		$DBH \geq 5\text{cm}$	0.56070	0.03547	0.75347	0.25371	-0.35596
陕甘青宁新天然山杨		$DBH < 5\text{cm}$	0.72820	-0.12694	1.01871	0.06631	-0.35596
		$DBH \geq 5\text{cm}$	0.70416	-0.06991	0.94625	0.15665	-0.35596
川滇藏天然山杨		$DBH < 5\text{cm}$	0.66491	-0.03428	0.85802	0.21747	-0.35596
		$DBH \geq 5\text{cm}$	0.71175	-0.10530	0.95645	0.11340	-0.35596
黑吉辽蒙人工杨树		$DBH < 5\text{cm}$	0.63212	-0.03158	0.74651	0.26737	-0.35596
		$DBH \geq 5\text{cm}$	0.62504	-0.00043	0.83992	0.22966	-0.35596
鲁豫蒙冀晋京人工杨树		$DBH < 5\text{cm}$	0.48613	0.15574	0.62303	0.41527	-0.35596
		$DBH \geq 5\text{cm}$	0.39968	0.14221	0.53709	0.38113	-0.35596
苏徽鄂湘渝贵人工杨树		$DBH < 5\text{cm}$	0.77182	-0.26669	0.94681	0.02887	-0.35596
		$DBH \geq 5\text{cm}$					

数据来源：《立木生物量模型及碳计量参数》系列林业行业标准（LY/T 2258-2014；LY/T 2259-2014；LY/T 2260-2014；LY/T 2261-2014；LY/T 2262-2014；LY/T 2263-2014；LY/T 2264-2014；LY/T 654-2016；LY/T 656-2016；LY/T 657-2016；LY/T 658-2016；LY/T 659-2016；LY/T 660-2016；LY/T 661-2016）。

注：表中未包含的树种，可以参考基于文献的数据。

附表 1-8 中国主要乔木林树种的地上生物量转换与扩展因子 (地上 $BCEF, t \cdot d.m. \cdot m^{-3}$) (文献整合分析)

森林类型	应用条件: $V \leq 100 m^3 \cdot hm^{-2}$			应用条件: $V > 100 m^3 \cdot hm^{-2}$		
	<i>n</i>	<i>BCEF</i>	S.E.	<i>n</i>	<i>BCEF</i>	S.E.
落叶松林	32	0.7905	0.0487	53	0.6035	0.0188
温性针叶林	27	0.9203	0.0390	17	0.4901	0.0193
油松林	58	0.8681	0.0392	45	0.5616	0.0126
马尾松林	38	0.9050	0.0667	47	0.6280	0.0204
暖性针叶林	26	0.8163	0.0447	18	0.6316	0.0369
杉类	83	0.9607	0.0643	160	0.4531	0.0072
其它硬阔类	44	1.0185	0.0993	39	0.7222	0.0207
杨树林	16	1.2345	0.2133	21	0.7009	0.0449
桉树林	39	0.7653	0.0325	20	0.6478	0.0342
其它软阔类	27	1.3540	0.1809	16	0.6668	0.0357
针阔混	39	0.8260	0.0589	40	0.6440	0.0266

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026.

附表 1-9 中国主要乔木林树种的生物量转换因子 ($BEF=$ 地上生物量/树干生物量) (文献整合分析)

森林类型	应用条件: $V \leq 100 m^3 \cdot hm^{-2}$			应用条件: $V > 100 m^3 \cdot hm^{-2}$		
	<i>n</i>	<i>BEF</i>	S.E.	<i>n</i>	<i>BEF</i>	S.E.
落叶松林	32	1.4511	0.0364	53	1.2224	0.0155
温性针叶林	27	1.8100	0.0384	17	1.3405	0.0243
油松林	58	1.8359	0.0611	45	1.4081	0.0179
马尾松林	38	1.5565	0.0523	47	1.2063	0.0124
暖性针叶林	26	1.7119	0.0466	17	1.3971	0.0589
杉类	82	1.9085	0.0487	159	1.2875	0.0108
柏木林	19	1.7029	0.0642	14	1.3593	0.0480
其它硬阔类	44	1.5670	0.0437	39	1.3104	0.0214
杨树林	16	1.5558	0.0513	21	1.4184	0.0337
桉树林	39	1.2413	0.0215	20	1.1266	0.0126
其它软阔类	27	1.4719	0.0472	16	1.3335	0.0317
针阔混	36	1.6713	0.0538	38	1.3725	0.0291

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026.

附表 1-10 中国主要乔木林树种的地下生物量/地上生物量比例 (RSR_{AF}) (行业标准汇总)

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b$		二元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b \cdot H^c$		
			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
		$DBH < 5cm$					
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

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b$		二元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b \cdot H^c$			
			模型参数		模型参数			
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
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	
	新疆	$DBH \geq 5cm$	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
			$DBH < 5cm$	0.15892	0.25143	0.20054	0.9847	-0.84642
甘青 新疆天山		$DBH \geq 5cm$	0.39615	-0.13421	0.61997	0.48388	-0.84642	
		$DBH < 5cm$	0.10363	0.69901	0.15276	1.35426	-0.84642	
川		$DBH \geq 5cm$	0.38367	-0.10270	0.44395	0.48388	-0.84642	
		$DBH < 5cm$	0.14909	0.29698	0.17264	1.07073	-0.84642	
滇		$DBH \geq 5cm$	0.36688	-0.10376	0.57416	0.48388	-0.84642	
		$DBH < 5cm$	0.28041	0.06325	0.27087	0.95066	-0.84642	
藏		$DBH \geq 5cm$	0.37396	-0.12644	0.58525	0.48388	-0.84642	
		$DBH < 5cm$	0.10040	0.69062	0.13786	1.38221	-0.84642	
柳杉	浙鄂湘川渝	$DBH \geq 5cm$	0.09077	0.40093	0.18034	0.88582	-0.81895	
		$DBH < 5cm$	0.27596	-0.28993	0.29748	0.57483	-0.81895	
栎树	黑吉辽 蒙东	$DBH \geq 5cm$	0.50224	-0.18875	0.8429	0.26343	-0.76364	
		$DBH < 5cm$	0.72273	-0.41489	2.68849	-0.45725	-0.76364	
	豫晋冀陕青甘 宁	$DBH \geq 5cm$	0.55458	-0.24479	0.93074	0.26343	-0.76364	
		$DBH < 5cm$	0.62147	-0.31554	1.14809	0.13303	-0.76364	
	川滇	$DBH \geq 5cm$	0.42448	-0.21694	0.7124	0.26343	-0.76364	
		$DBH < 5cm$	0.47183	-0.28265	0.67919	0.29309	-0.76364	
	$DBH \geq 5cm$	0.51776	-0.24687	0.86894	0.26343	-0.76364		

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b$		二元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b \cdot H^c$		
			模型参数		模型参数		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
	鄂湘赣徽浙渝贵	$DBH < 5\text{cm}$	0.27765	0.14032	0.346	0.83558	-0.76364
桦树	黑吉、蒙东部 白桦	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.53510	-0.18558	0.64767	-0.03259	-0.23991
		$DBH < 5\text{cm}$	0.39229	0.00731	0.45432	0.18772	-0.23991
	黑吉、蒙东部 其他桦	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.51276	-0.17885	0.62063	-0.03259	-0.23991
		$DBH < 5\text{cm}$	0.43263	-0.07328	0.4904	0.11375	-0.23991
	蒙中西部、豫 晋陕 青甘宁新	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.45615	-0.18079	0.55211	-0.03259	-0.23991
		$DBH < 5\text{cm}$	0.28958	0.10153	0.37354	0.31018	-0.23991
	川滇	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.43256	-0.17561	0.52356	-0.03259	-0.23991
		$DBH < 5\text{cm}$	0.15300	0.47013	0.19338	0.58626	-0.23991
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	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.38859	-0.15039	0.35097	-0.14740	0.02765 1
		$DBH < 5\text{cm}$	0.38859	-0.15039	0.35097	-0.1474	0.02765 1
	陕甘青	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.41217	-0.15039	0.37672	-0.14740	0.02765 1
		$DBH < 5\text{cm}$	0.41217	-0.15039	0.37672	-0.14740	0.02765 1
	川滇藏	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.27622	-0.15039	0.26005	-0.14740	0.02765 1
		$DBH < 5\text{cm}$	0.27622	-0.15039	0.26005	-0.1474	0.02765 1
	浙鄂湘粤渝贵	$DBH \geq 5\text{cm}$	0.38121	-0.15039	0.35131	-0.14740	0.02765 1
		$DBH < 5\text{cm}$	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
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

树种	适用范围	应用条件	一元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b$		二元模型 $RSR_{AF}=a \cdot DBH^b \cdot H^c$		
			模型参数		模型参数		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
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	

数据来源：《立木生物量模型及碳计量参数》系列林业行业标准（LY/T 2258-2014；LY/T 2259-2014；LY/T 2260-2014；LY/T 2261-2014；LY/T 2262-2014；LY/T 2263-2014；LY/T 2264-2014；LY/T 654-2016；LY/T 656-2016；LY/T 657-2016；LY/T 658-2016；LY/T 659-2016；LY/T 660-2016；LY/T 661-2016）。

注：表中未包含的树种，可以采用基于文献的数据。

附表 1-11 中国主要乔木林树种的地下生物量/地上生物量比例 (RSR_{AF}) (文献整合分析)

森林类型	应用条件: $V \leq 100 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$			应用条件: $V > 100 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$		
	n	RSR_{AF}	S.E.	n	RSR_{AF}	S.E.
温性针叶林	23	0.2531	0.0078	16	0.2302	0.0121
暖性针叶林	14	0.2741	0.0137	18	0.2263	0.0261
其它硬阔类	30	0.3214	0.0223	29	0.2252	0.0119
桉树林	22	0.2528	0.0163	12	0.2085	0.0133
其它软阔类	19	0.2679	0.0194	13	0.1757	0.0212
针阔混	21	0.2590	0.0127	33	0.2132	0.0082

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026.

附表 1-12 中国主要乔木林树种的基本木材密度 ($SVD, \text{t d.m.} \cdot \text{m}^{-3}$) 和生物量含碳率 ($CF, \text{t C} \cdot (\text{t d.m.})^{-1}$) (文献整合分析)

森林类型	SVD	S.E.	全树		地上		地下	
			CF_{Total}	S.E.	CF_{AGB}	S.E.	CF_{BGB}	S.E.
云冷杉林	0.3597	0.0859	0.4931	0.0708	0.4931	0.0612	0.4933	0.0434
落叶松林	0.4059	0.0725	0.4893	0.0264	0.4895	0.0292	0.4884	0.0331
温性针叶林	0.3897	0.0716	0.4961	0.0372	0.4967	0.0326	0.4955	0.0262
油松林	0.4243	0.0611	0.5165	0.0057	0.5184	0.0087	0.5093	0.0066
马尾松林	0.4476	0.0996	0.5252	0.0094	0.5254	0.0096	0.5082	0.0291
暖性针叶林	0.3942	0.0762	0.5034	0.0116	0.5045	0.0135	0.4912	0.0207
杉类	0.3098	0.0592	0.4990	0.0120	0.5003	0.0115	0.4880	0.0179
柏木林	0.5010	0.1345	0.4847	0.0247	0.4846	0.0270	0.4851	0.0272
栎类	0.5762	0.1220	0.4802	0.0430	0.4827	0.0444	0.4678	0.0395
桦木林	0.4848	0.1232	0.4872	0.0273	0.4897	0.0290	0.4779	0.0298
其它硬阔类	0.5257	0.1033	0.4711	0.0259	0.4734	0.0261	0.4637	0.0265
杨树林	0.4177	0.0700	0.4705	0.0304	0.4728	0.0298	0.4644	0.0343
桉树林	0.3848	0.0608	0.4730	0.0224	0.4750	0.0214	0.4685	0.0256
其它软阔类	0.3848	0.0608	0.4730	0.0224	0.4750	0.0214	0.4685	0.0256
针叶混	0.3828	0.0705	0.5005	0.0265	0.5014	0.0244	0.4943	0.0217
阔叶混	0.4967	0.0965	0.4718	0.0239	0.4741	0.0239	0.4652	0.0247
针阔混	0.4397	0.0845	0.4861	0.0253	0.4877	0.0241	0.4797	0.0232

注: 数据来源于文献 (Luo et al., 2014)、《立木生物量模型与碳计量参数》系列行业标准、以及《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》土地利用、土地利用变化与林业 (LULUCF) 温室气体清单。

附表 1-13 中国主要乔木林树种 (组) 公顷蓄积量 ($V, \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 随林龄 (t, a) 的 Richards 生长方程 ($V=a \cdot (1-e^{-b})^c$)

区域	树种 (组)	a	b	c	n	R^2
东北	落叶松	100.921	2.176	0.072	1022	0.739
	其他针叶树	284.550	1.622	0.014	437	0.819
	栎类	171.960	2.029	0.032	1067	0.776
	白桦	156.917	2.302	0.026	593	0.746
	其他阔叶树	204.535	1.326	0.019	1905	0.701
	针叶混交类	224.047	2.311	0.031	176	0.814

区域	树种(组)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	R ²
	针阔混交类	236.051	1.629	0.019	3379	0.738
华北	落叶松	117.890	2.189	0.044	1037	0.612
	油松	207.730	1.745	0.014	732	0.743
	其他针叶树	102.044	0.288	0.001	311	0.591
	栎类	193.586	1.208	0.008	1123	0.649
	桦木	173.604	1.587	0.020	878	0.661
	杨树	55.5530	2.319	0.177	885	0.628
	其他阔叶树	205.419	1.175	0.009	1919	0.665
	针阔混交类	200.447	0.931	0.006	220	0.68
西北	落叶松	293.610	1.498	0.012	134	0.767
	云杉	331.677	1.395	0.010	581	0.621
	其他针叶树	105.319	1.888	0.035	1185	0.488
	栎类	135.739	0.939	0.179	712	0.520
	杨树	107.418	1.120	0.033	306	0.500
	其他阔叶树	133.516	1.317	0.016	1079	0.702
	阔叶混交类	120.323	1.947	0.040	1379	0.675
	针阔混交类	146.221	1.364	0.023	404	0.659
中南	马尾松	151.518	1.579	0.029	939	0.616
	杉木	149.544	1.786	0.056	1007	0.693
	其他针叶树	73.352	0.981	0.036	689	0.558
	栎类	154.610	1.575	0.029	804	0.721
	杨树	92.694	2.466	0.210	1666	0.673
	其他阔叶树	115.412	1.205	0.031	1026	0.603
	针叶混交类	126.878	1.578	0.046	484	0.624
	阔叶混交类	475.254	1.134	0.007	2944	0.670
	针阔混交类	216.571	1.101	0.015	1083	0.615
东南沿海	马尾松	142.338	1.752	0.039	917	0.641
	杉木	183.207	1.355	0.037	1523	0.58
	其他针叶树	161.892	1.252	0.031	280	0.602
	栎类	265.696	2.028	0.031	241	0.704
	桉树	70.355	2.713	0.457	865	0.658
	其他阔叶树	269.405	1.218	0.016	489	0.655
	针叶混交类	266.060	1.656	0.025	614	0.657
	阔叶混交类	320.261	1.644	0.022	3302	0.742
	针阔混交类	286.927	1.502	0.021	1121	0.735
西南	冷杉	395.017	2.092	0.02	686	0.533
	云南松	172.713	1.731	0.03	778	0.578
	马尾松	176.927	2.045	0.045	386	0.740
	杉木	123.337	3.352	0.14	483	0.759
	其他针叶树	465.204	0.857	0.004	1709	0.647

区域	树种(组)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>R</i> ²
	栎类	267.122	1.185	0.011	828	0.712
	其他阔叶树	492.465	0.837	0.034	1043	0.653
	针叶混交类	513.458	1.123	0.008	257	0.678
	阔叶混交类	259.759	1.315	0.019	1928	0.724
	针阔混交类	375.539	1.246	0.012	677	0.740

数据来源: 付晓, 张煜星, 王雪军. 2060年前我国森林生物量碳库及碳汇潜力预测. 林业科学, 2022, 58(02): 32-41.

附表 1-14 中国主要竹林类型成熟稳定时的生物量参数(文献整合分析)

	毛竹			杂竹		
	<i>n</i>	均值	S.E.	<i>n</i>	均值	S.E.
林分地上生物量 (t d.m.·hm ⁻²)	61	63.4237	4.9229	146	34.1104	2.2872
林分地下生物量 (t d.m.·hm ⁻²)	39	30.5144	2.2033	96	16.5211	0.9618
全林生物量 (t d.m.·hm ⁻²)	39	99.0707	8.6072	96	40.2236	2.3793
林分地下/地上生物量比值	39	0.5110	0.0342	96	0.7224	0.0182
单株地上生物量 (kg·stem ⁻¹)	50	22.3061	1.4777	118	4.9882	1.6807
单株地下生物量 (kg·stem ⁻¹)	28	10.4158	0.7473	80	1.3121	0.0977
单株全株生物量 (kg·stem ⁻¹)	28	32.4257	2.7233	80	3.1617	0.2426
单株地下/地上生物量比值	28	0.5204	0.0390	80	0.7386	0.0187

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026..

附表 1-15 中国主要竹林类型单株生物量 (*M*, kg·stem⁻¹) 与胸径 (*DBH*, cm) 的相关方程: $M=a \cdot DBH^b$ (文献混合建模)

生长型	器官	<i>a</i>	S.E.	<i>b</i>	S.E.	<i>R</i> ²	胸径范围
散生竹	地上	0.1697	0.0874	2.0812	0.2284	0.912	1.9~17.0
	整株	0.1782	0.0658	2.1003	0.1637	0.954	1.9~17.0
丛生竹	地上	0.4723	0.0516	1.7928	0.0874	0.948	0.5~7.0
	整株	0.4117	0.0596	1.8921	0.1158	0.921	0.5~7.0
混生竹	地上	0.3382	0.0369	1.9156	0.1145	0.989	1.0~5.5
	整株	1.0491	0.2492	1.2832	0.2495	0.898	1.0~5.5

附表 1-16 中国主要竹林类型单株生物量 (*M*, kg·stem⁻¹) 与胸径 (*DBH*, cm) 和竹高 (*H*, m) 的相关方程: $M=a \cdot DBH^b \cdot H^c$ (文献混合建模)

生长型	器官	<i>a</i>	S.E.	<i>b</i>	S.E.	<i>c</i>	S.E.	<i>R</i> ²	胸径范围	竹高范围
散生竹	地上	0.0019	0.0022	0.1239	0.3426	3.1870	0.6254	0.937	1.9~17.0	4.9~20.1
	整株	0.0390	0.0435	0.5112	0.5260	1.8956	0.8339	0.945	1.9~17.0	4.9~20.1
丛生竹	地上	0.9993	0.3352	2.0499	0.2432	-0.5615	0.2196	0.881	0.5~7.0	1.5~16.0
	整株	0.3259	0.1032	0.6172	0.1167	1.1898	0.1990	0.988	0.5~7.0	1.5~16.0

生长型	器官	<i>a</i>	S.E.	<i>b</i>	S.E.	<i>c</i>	S.E.	<i>R</i> ²	胸径范围	竹高范围
混生竹	地上	0.2756	0.0065	3.4175	0.0424	-1.0315	0.0364	0.519	1.0~5.5	1.5~13.8
	整株	1.8662	0.0172	5.9533	0.0175	-3.2990	0.1481	0.661	1.0~5.5	1.5~13.8

附表 1-17 中国主要灌木林成熟稳定时的生物量参数（文献整合分析）

	人工灌木林			天然灌木林		
	<i>n</i>	均值	S.E.	<i>n</i>	均值	S.E.
林分地上生物量 (t d.m.·hm ⁻²)	97	13.4704	1.4406	70	8.7383	0.6499
林分地下生物量 (t d.m.·hm ⁻²)	36	6.6772	1.3574	47	9.3568	1.1864
全林生物量 (t d.m.·hm ⁻²)	36	24.6358	4.3204	53	17.2700	1.7352
林分地下/地上生物量比值	36	0.6590	0.1283	47	1.3838	0.1651

数据来源: Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. Ecology 95: 2026..

附表 1-18 中国主要灌木林单株生物量模型（基于文献汇总）。单位： M ($\text{kg}\cdot\text{stem}^{-1}$), D (cm), H (m)

优势灌木物种	研究区域 或者地点	器官	自变量	模型形式	模型系数			统计信息	
					a	b	λ	n	R^2
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	D^2H	$M=a(D^2H)^b$	0.091643	0.6711		27	0.976
		地下	D	$M=aD^b$	0.037879	2.341		27	0.614
		整株	D^2H	$M=a(D^2H)^b$	0.013594	0.737		27	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	V_c	$M=aV_c^b$	0.035	0.694		130	0.693
		地下	V_c	$M=aV_c^b$	0.023	0.656		130	0.653
		整株	V_c	$M=aV_c^b$	0.069	0.672		130	0.718
四川红淡、格药松、椴 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	$M=aV_c^b\lambda$	0.165515	0.817	1.36	412	
大白杜鹃、白背杜鹃、 金顶杜鹃、小鞍叶羊蹄 甲	四川、云 南	叶	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.043	0.004			0.828
		茎	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	-0.211	0.064			0.885
		地下	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	-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^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.095	0.02			0.979
		茎	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.199	0.037			0.933
		地下	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.393	0.061			0.969
千果榄仁、香合欢、岗 桧、胡颓子、潺槁木姜 子、盐肤木	四川、云 南	叶	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.089	0.011			0.9
		茎	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.26	0.096			0.901
		地下	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	-0.226	0.07			0.966
小果蔷薇、绢毛蔷薇	贵州、四 川、云南	叶	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	-0.001	0.027			0.934
		茎	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.17	0.06			0.924
		地下	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	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^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.054	0.003			0.908
		茎	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.064	0.018			0.989
		地下	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.237	0.015			0.867
高山柏、香柏	四川、西 藏	叶	V_c	$M=a+b\times V_c$	0.283	1.466			0.909
		茎	V_c	$M=a+b\times V_c$	-0.466	3.86			0.905
		地下	V_c	$M=a+b\times V_c$	0.065	6.265			0.897
红棕杜鹃、单色杜鹃	西藏	叶	V_c	$M=a+b\times V_c$	0.012	0.181			0.858
		茎	V_c	$M=a+b\times V_c$	-0.027	3.15			0.932
		地下	V_c	$M=a+b\times V_c$	-0.05	1.97			0.976

数据来源：谢宗强, 王杨, 唐志尧, 徐文婷著. 《中国常见灌木林生物量模型手册》. 北京: 科学出版社.

注 1: 自变量和模型形式两列中, D : 基径, 地面高度 5cm 处的树干直径; H : 植株高度; D^2H 或者 D_{10}^2H : 基径平方与株高的乘积; V_c : 冠幅投影体积.

注 2: 模型系数列中, 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.

注 3: 统计信息列中, n 表示参与建模的样本数. R^2 表示调整后的决定系数(adj- R^2).

附表 1-19 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			统计信息	
					a	b	λ	n	R^2
温带针叶、落叶阔叶混交林区域	类型 a	地上	D^2H	$M=a(D^2H)^b\lambda$	0.0323	0.7954	1.2187	64	
		地下	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	-0.0026	0.0225		63	0.7751
		整株	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.0121	0.0397		57	0.8642
暖温带落叶阔叶林区域	类型 a	地下	M_0	$M=aM_0^b$	0.0119	0.6172		44	0.4026
		叶	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.0487	0.0028		510	0.3354
		茎枝	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.0669	0.0266		516	0.6205
亚热带常绿阔叶林区域	类型 a	地上	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.1169	0.0294		520	0.6156
		地下	M_0	$M=aM_0^b\lambda$	0.3753	0.8094	1.4315	515	
		整株	D^2H	$M=a+b\times D^2H$	0.2652	0.0367		522	0.6181
温带草原区域	类型 a	地下	M_0	$M=aM_0^b\lambda$	0.6523	0.8572	1.1068	25	
温带荒漠区域	类型 a	地下	M_0	$M=aM_0^b\lambda$	0.8547	0.6110	1.1320	10	
亚热带常绿阔叶林区域	类型 c	地下	M_0	$M=aM_0^b\lambda$	0.6561	0.7998	1.1974	24	
		叶	A_c	$M=aA_c^b\lambda$	0.0778	0.9059	1.2669	33	
		茎枝	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.0211	0.4208		33	0.5613
温带草原区域	类型 c	地上	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.0249	0.5094		34	0.6301
		地下	M_0	$M=aM_0^b\lambda$	0.7294	0.9674	1.3231	31	
		整株	A_c	$M=a+b\times A_c$	-0.0214	1.3520		34	0.5550
温带荒漠区域	类型 c	地上	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.1480	1.1480		32	0.5435
		地下	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.0855	0.4036		32	0.5621
		整株	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.2306	1.5633		32	0.6258
青藏高原高寒植被区域	类型 c	地上	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.1375	0.2029		30	0.3488
		地下	M_0	$M=a+b\times M_0$	-0.0353	1.0296		26	0.7104
		整株	A_c	$M=a+b\times A_c$	0.2213	0.4632		30	0.4515

注 1：根据个体的枝干形态，可将灌木划分为 3 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、枝干混杂蔓生的灌木；类型 c 为分枝不明确、枝干成簇成团的灌木。

注 2：自变量和模型形式两列中， D ：基径(cm)，地面高度 5cm 处的树干直径； H ：植株高度(m)； D^2H ：基径平方与株高的乘积； A_c ：冠幅投影面积； M ：对应器官的干质量(kg·stem⁻¹)； M_0 ：地上部分的干质量(kg·stem⁻¹)。

注 3：模型系数列中， 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。

注 4：统计信息列中， n 表示参与建模的样本数。 R^2 表示调整后的决定系数(adj- R^2)。

附件 2 森林死有机质碳储量变化的评估工具

附 2.1 森林死有机质碳储量变化的计算

本工具采用“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:

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

式中:

$\Delta C_{DOM,t}$: 第 t 年的森林死有机质碳储量的年变化量 ($t \text{ CO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$);

C_{DOM,t_1} : 第 t_1 年的森林死有机质碳储量 ($t \text{ C}$);

C_{DOM,t_2} : 第 t_2 年的森林死有机质碳储量 ($t \text{ C}$);

44/12 : 将 C 转化为 CO_2e 的系数, 无量纲;

T : 计算死有机质碳储量的时长 (a), 且 $T = t_2 - t_1$;

t_1, t_2 : 项目开始后的第 t_1 年和第 t_2 年 (a), 且 $t_1 \leq t \leq t_2$ 。

为了以示区分基准线和项目情景下项目在 T 年间死有机质碳储量年均变化量, 可以在基准线情景下加脚标 BSL ($\Delta C_{DOM_BSL,T}$), 在项目情景下加脚标 $PROJ$ ($\Delta C_{DOM_PROJ,T}$), 以下同。

附 2.2 森林死有机质碳储量的计算

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

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

式中:

$C_{DOM,t}$: 第 t 年时森林死有机质碳储量 ($t \text{ C}$);

$A_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的森林面积 (hm^2);

$LI_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积枯落物生物量 ($t \text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);

$DW_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积枯死木生物量 ($t \text{ d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);

$CF_{LI,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的平均枯落物生物量含碳率 ($t \text{ C}\cdot(t \text{ d.m.})^{-1}$), 缺省值 0.37;

$CF_{DW,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的平均枯死木生物量含碳率 ($t \text{ C}\cdot(t \text{ d.m.})^{-1}$), 缺省值 0.37。

附 2.3 枯落物生物量的计算

本工具采用缺省值的方法估计森林枯落物生物量。首先估计森林单位面积地上生物量 (AGB), 再利用枯落物生物量/地上生物量的比例 (DF_{LI}), 估计单位面积枯落物生物量 (LI):

$$LI_{i,j,t} = AGB_{i,j,t} \times DF_{LI,i,j} \quad (3)$$

式中：

- $LI_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积枯落物生物量 (t d.m.·hm⁻²) ;
 $AGB_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积地上生物量 (t d.m.·hm⁻²) ;
 $DF_{LI,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的枯落物生物量/地上生物量的比例, 无量纲。

附 2.4 枯死木生物量的计算

本工具采用缺省值的方法估计乔木林枯死木生物量, 竹林或者灌木林的枯死木生物量计为 0。首先估计乔木林单位面积地上生物量 (AGB), 再利用枯死木生物量/地上生物量的比例 (DF_{DW}), 估计单位面积枯死木生物量 (DW):

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

式中：

- $DW_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积枯死木生物量 (t d.m.·hm⁻²) ;
 $AGB_{i,j,t}$: 第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积地上生物量 (t d.m.·hm⁻²) ;
 $DF_{DW,i,j}$: 第 i 碳层树种 j 的枯死木生物量/地上生物量的比例, 无量纲。

附 2.5 死有机质生物量模型与参数

附表 2-1 中国主要乔木林树种的枯落物/地上生物量比例 (DF_{LI} , %) (基于文献整合分析)

森林类型	应用条件: $V \leq 100 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$			应用条件: $V > 100 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$		
	n	DF_{LI}	S.E.	n	DF_{LI}	S.E.
云冷杉林	21	9.5746	2.0329	12	8.5329	2.6630
落叶松林	22	26.9961	5.2466	13	12.8621	2.7847
温性针叶林	3	8.0324	5.3615	3	8.0324	5.3615
油松林	19	12.4613	2.1108	7	19.7806	6.1506
马尾松林	8	8.8931	2.1775	20	4.4448	0.6838
暖性针叶林	12	10.1745	1.5568	9	7.6319	0.9205
杉类	35	5.6295	0.7204	84	5.2404	0.4196
柏木林	5	7.1247	4.4639	16	3.8738	1.4369
栎类	20	8.8725	2.6054	9	4.3989	1.1914
桦木林	7	12.3041	4.0284	12	14.6175	4.3260
其它硬阔类	19	10.2444	1.4777	20	4.5724	1.0085
杨树林	5	4.5192	1.7074	5	4.5192	1.7074
桉树林	8	12.4506	4.6653	7	9.7544	1.9824
其它软阔类	11	17.9844	6.0062	5	10.0164	4.1125
针叶混	5	15.4696	4.0909	3	8.8659	0.6882
阔叶混	29	11.2130	2.6266	12	8.6313	2.2682
针阔混	10	11.8863	1.7414	27	6.5636	0.8312

附表 2-2 中国主要乔木林树种的枯死木/地上生物量比例 (DF_{DW} , %) (基于文献整合分析)

森林类型	应用条件: $V \leq 100 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$			应用条件: $V > 100 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$		
	n	DF_{DW}	S.E.	n	DF_{DW}	S.E.
针叶林	20	3.5673	1.0329	42	3.2448	0.8785
阔叶林	7	3.2498	1.8387	12	3.4789	1.3512

附表 2-3 竹林和灌木林的枯落物/地上生物量比例 (DF_L , %) (基于文献整合分析)

类型	n	DF_L	S.E.
毛竹林	12	6.6285	0.7793
杂竹林	10	17.7293	3.5979
人工灌木林	23	16.3013	4.3066
天然灌木林	30	40.0757	11.0510

附件3 森林火烧引起的温室气体排放量的评估工具

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量和死有机质的燃烧，人为伐除疫病死木并且燃烧，都可能会造成非 CO₂ 温室气体（CH₄ 和 N₂O）的排放。

$$GHG_t = GHG_{Fire,AGB,t} + GHG_{Fire,DOM,t} + GHG_{Burn,t} \quad (1)$$

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 (tCO₂e·a⁻¹) ;
- $GHG_{Fire,AGB,t}$: 第 t 年时项目边界内由火灾引起的地上生物量燃烧造成的非 CO₂ 温室气体排放量 (tCO₂e·a⁻¹) ;
- $GHG_{Fire,DOM,t}$: 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 (tCO₂e·a⁻¹) ;
- $GHG_{Burn,t}$: 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 (tCO₂e·a⁻¹) 。

附 3.1 火灾引起地上生物量燃烧造成的温室气体排放

火灾引起森林地上生物量燃烧造成的非 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：

$$GHG_{Fire,AGB,t} = 10^{-3} \times \sum_{i=1}^I [A_{BURN,i,t} \times AGB_{i,T_V} \times COMF_i \times (EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O})] \quad (2)$$

式中：

- $GHG_{Fire,AGB,t}$: 第 t 年时项目边界内由于森林火灾引起地上生物量燃烧造成的非 CO₂ 温室气体排放量 (tCO₂e·a⁻¹) ;
- $A_{BURN,i,t}$: 第 t 年时第 i 碳层发生燃烧的土地面积 (hm²) ;
- AGB_{i,T_V} : 火灾发生前，项目最近一次核查时 (第 T_V 年) 第 i 碳层的地上生物量。根据实际植被情况，考虑林木、竹子和灌木，使用附件 1 的方法计算 (t d.m.·hm⁻²) ;
- $COMF_i$: 第 i 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 (g CH₄·(kg d.m.)⁻¹) ;
- EF_{N_2O} : N₂O 排放因子 (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；
- GWP_{N_2O} : N₂O 的全球增温潜势，用于将 N₂O 转换成 CO₂e；
- i : 碳层， $i=1, 2, 3, \dots, I$ ， I 为碳层总数，根据第 T_V 年核查时的分层确定，无量纲；
- t : 项目开始以来的年数 (a) ;
- T_V : 自项目开始至项目最近一次核查的时间 (a) ;

10^{-3} : 将 kg 转换成 t 的常数。

第一次核查时, 如果核查期内有火灾发生, 但不清楚燃烧前的地上生物量, 可以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。

附 3.2 火灾引起死有机质燃烧造成的温室气体排放

森林火灾引起死有机质燃烧造成的非 CO_2 温室气体排放, 应当使用最近一次核查 (T_V) 的碳层死有机质碳储量来计算: 第一次核查时由于火灾导致死有机质燃烧引起的非 CO_2 温室气体排放量设定为 0, 之后核查时的非 CO_2 温室气体排放量计算如下:

$$GHG_{\text{Fire,DOM},t} = 0.07 \times \sum_{i=1} [A_{\text{BURN},i,t} \times (DW_{i,T_V} \times CF_{\text{DW}} + LI_{i,T_V} \times CF_{\text{LI}})] \quad (3)$$

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

$A_{\text{BURN},i,t}$: 第 t 年时第 i 碳层发生燃烧的土地面积 (hm^2);

DW_{i,T_V} : 火灾发生前, 项目最近一次核查时 (第 T_V 年) 第 i 层的枯死木单位面积生物量, 使用附件 2 的方法计算 ($\text{t d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$);

CF_{DW} : 枯死木的生物量含碳率 ($\text{t C} \cdot (\text{t d.m.})^{-1}$);

LI_{i,T_V} : 火灾发生前, 项目最近一次核查时 (第 T_V 年) 第 i 层的枯落物单位面积生物量, 使用附件 2 的方法计算 ($\text{t d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$);

CF_{LI} : 枯落物的生物量含碳率 ($\text{t C} \cdot (\text{t d.m.})^{-1}$);

i : 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, I$, I 为碳层总数, 根据第 T_V 年核查时的分层确定, 无量纲;

t : 项目开始以来的年数 (a);

T_V : 自项目开始至项目最近一次核查的时间 (a);

0.07 : 非 CO_2 排放量占碳储量的比例, 使用 IPCC 缺省值。

第一次核查时, 如果核查期内有火灾发生, 但不清楚燃烧前的死有机质生物量, 可以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死有机质生物量。

附 3.3 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且烧除的活动, 则须估计人为火烧活动引起的非 CO_2 温室气体排放。可以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 (如蓄积量比例或者株数比例), 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估计燃烧的生物量, 结合燃烧因子进行计算:

$$GHG_{\text{Burn},t} = 10^{-3} \times \sum_{i=1} [A_{i,t} \times AGB_{i,T_V} \times R_{\text{Burn},i,t} \times \text{COMF}_i \times (EF_{\text{CH}_4} \times GWP_{\text{CH}_4} + EF_{\text{N}_2\text{O}} \times GWP_{\text{N}_2\text{O}})] \quad (4)$$

式中:

$GHG_{Burn,t}$: 第 t 年时项目边界内由于人为火烧引起的非 CO_2 温室气体排放量 ($t CO_2e \cdot a^{-1}$) ;
$A_{i,t}$: 第 t 年时第 i 碳层的土地面积 (hm^2) ;
AGB_{i,T_V}	: 火灾发生前, 项目最近一次核查时 (第 T_V 年) 第 i 碳层的地上生物量, 使用附件 1 的方法计算 ($t d.m. \cdot hm^{-2}$) ;
$R_{Burn,i,t}$: 第 t 年时第 i 碳层内烧除病原疫木的数量占比 (如蓄积量比例或者株数比例) ;
$COMF_i$: 第 i 碳层的燃烧指数 (针对每个植被类型), 无量纲;
EF_{CH_4}	: CH_4 排放因子 ($g CH_4 \cdot (kg d.m.)^{-1}$) ;
EF_{N_2O}	: N_2O 排放因子 ($g N_2O \cdot (kg d.m.)^{-1}$) ;
GWP_{CH_4}	: CH_4 的全球增温潜势, 用于将 CH_4 转换成 CO_2e ;
GWP_{N_2O}	: N_2O 的全球增温潜势, 用于将 N_2O 转换成 CO_2e ;
i	: 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, I$, I 为碳层总数, 根据第 T_V 年核查时的分层确定, 无量纲;
t	: 项目开始以来的年数 (a) ;
T_V	: 自项目开始至项目最近一次核查的时间 (a) ;
10^{-3}	: 将 kg 转换成 t 的常数。

第一次核查时, 如果核查期内有人为火烧发生, 但不清楚燃烧前的地上生物量, 可以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。

附件 4 监测样地数量计算与样地布置工具

附 4.1 抽样设计

项目监测所需的样地数量，可以采用如下方法进行计算：

(1) 采用以下简化公式计算：

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

式中：

- n : 项目边界内估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，无量纲。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；
- w_i : 项目边界内第 i 碳层的面积权重，无量纲；
- s_i : 项目边界内第 i 碳层生物质碳储量标准差的估计值 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
- E : 项目生物质碳储量估计值允许的绝对误差限 ($E = \text{总体生物质碳储量平均数预估值} \times \text{允许相对误差限}$ ，其中允许相对误差限取 10%) ($tC \cdot hm^{-2}$)；
- i : 碳层， $i=1, 2, 3, \dots, I$ ， I 为碳层总数，无量纲。

(2) 分配到各层的监测样地数量，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：

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

式中：

- n_i : 项目边界内第 i 碳层估算生物质碳储量所需的监测样地数量，无量纲；
- n : 项目边界内估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 碳层的面积权重，无量纲；
- s_i : 项目边界内第 i 碳层生物质碳储量标准差的估计值 ($tC \cdot hm^{-2}$)；
- i : 碳层， $i=1, 2, 3, \dots, I$ ， I 为碳层总数，无量纲。

附 4.2 样地布置方案

样地的空间布设须采用随机起点、纵横两个方向等距的系统布点的布设方案，以消除人为因素的影响和系统布点的周期性影响。在图上具体布点时，可基于地理信息系统 (GIS) 等空间工具的帮助下进行再布点，在 GIS 等矢量图上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。

附 4.3 样地设置

根据确定的样地中心点坐标，使用实时动态差分技术 (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，并且记录新的样地中心点坐标。

首次监测时，须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。样地面积为 0.04 hm^2 - 0.06 hm^2 ，样地形状采用矩形（样地测量合差不高于 $1/200$ ）或者圆形。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当相同，样地内林木和管理方式应当与样地外完全一致。

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）、样地的形状和面积大小、树种和造林时间等信息。样地边界除用于测定时识别外，不宜建立永久性标志。固定样地复位率须达 100%，检尺样木复位率 $\geq 95\%$ 。

为了便于核查，项目开始前可对基准线下样地内的原有林木单独进行标记，但在项目计入期内可以不进行监测。但如果项目对原有基准线林木进行了伐除，则须在采伐前监测被伐木的树种、胸径、树高等，并且将移除的林木计入到项目生物质碳储量变化中。

附件 5 森林生物质碳储量变化的样地监测工具

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者大径竹的竹径（*DBH*），根据选择测量树高或者竹高（*H*），起测胸径为 2.0cm。对于灌木林可以只选择监测样方内的灌木盖度，或者监测样方内灌木株数、单株灌木的基径、分枝数、灌高和冠径等。

第二步：采用附件 1 的方法计算单株林木（或者竹子、灌木）的生物量，累加得到样地水平的生物量；对于灌木林可以基于盖度采用缺省值的方法估计单位面积生物量；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* 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：

$$c_{Biomass,i,t} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} c_{Biomass,i,p,t}}{n_i} \quad (1)$$

$$S_{c_{Biomass,i,t}}^2 = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} (c_{Biomass,i,p,t} - c_{Biomass,i,t})^2}{n_i \times (n_i - 1)} \quad (2)$$

式中：

- $c_{Biomass,i,t}$: 第 *t* 年时第 *i* 碳层平均单位面积生物质碳储量的估计值 ($t \cdot C \cdot hm^{-2}$)；
 $c_{Biomass,i,p,t}$: 第 *t* 年时第 *i* 碳层样地 *p* 的单位面积生物质碳储量 ($t \cdot C \cdot hm^{-2}$)；
 n_i : 项目第 *i* 碳层的样地数，无量纲；
 $S_{c_{Biomass,i,t}}^2$: 第 *t* 年时第 *i* 碳层平均单位面积生物质碳储量估计值的方差 ($(t \cdot C \cdot hm^{-2})^2$)；
p : 样地， $p=1, 2, 3, \dots, P$ ，*P* 为样地总数，无量纲；
i : 碳层， $i=1, 2, 3, \dots, I$ ，*I* 为碳层总数，无量纲；
t : 自项目开始以来的年数 (*a*)。

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

$$c_{Biomass,t} = \sum_{i=1}^I (w_i \times c_{Biomass,i,t}) \quad (3)$$

$$S_{c_{Biomass,t}}^2 = \sum_{i=1}^I (w_i^2 \times S_{c_{Biomass,i,t}}^2) \quad (4)$$

式中：

- $c_{Biomass,t}$: 第 *t* 年时项目边界内的平均单位面积生物质碳储量的估计值 ($t \cdot C \cdot hm^{-2}$)；
 w_i : 第 *i* 碳层面积占项目总面积的权重 ($w_i = A_i / A$)，无量纲；
 $c_{Biomass,i,t}$: 第 *t* 年时第 *i* 碳层的平均单位面积生物质碳储量的估计值 ($t \cdot C \cdot hm^{-2}$)；
 $S_{c_{Biomass,t}}^2$: 第 *t* 年时项目平均单位面积生物质碳储量估计值的方差 ($(t \cdot C \cdot hm^{-2})^2$)；
 $S_{c_{Biomass,i,t}}^2$: 第 *t* 年时第 *i* 碳层平均单位面积生物质碳储量估计值的方差 ($(t \cdot C \cdot hm^{-2})^2$)；

- i : 碳层, $i=1, 2, 3, \dots, I$, I 为碳层总数, 无量纲;
 t : 自项目开始以来的年数 (a)。

第五步: 计算项目边界内平均单位面积生物质碳储量的相对误差:

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

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 (相对误差限, %)。要求相对误差不大于 10%, 即抽样精度不低于 90%。
 t_{VAL} : 可靠性指标: 自由度等于 $n-M$ (其中 n 是项目边界内样地总数, M 是林木生物量估算的分层总数), 置信水平为 90%, 查 t 分布双侧分位数表获得。例如: 置信水平为 90%, 自由度为 45 时, 双侧 t 分布的 t 值在 Excel 电子表中输入“=TINV(0.10,45)”可以计算得到 t 值为 1.6794。
 $S_{C_{Biomass,t}}$: 第 t 年, 项目边界内平均单位面积生物质碳储量的估计值的方差的平方根 (即标准误差, $t \text{ C} \cdot \text{hm}^{-2}$);
 $C_{Biomass,t}$: 第 t 年项目边界内的平均单位面积生物质碳储量的估计值 ($t \text{ C} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

第六步: 计算第 t 年项目边界内的生物质总碳储量:

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

式中:

- $C_{Biomass,t}$: 第 t 年项目边界内生物质碳储量的估计值 ($t \text{ C}$);
 A : 项目边界内各碳层的面积总和 (hm^2);
 $c_{Biomass,t}$: 第 t 年项目边界内平均单位面积生物质碳储量估计值 ($t \text{ C} \cdot \text{hm}^{-2}$);
 t : 自项目开始以来的年数 (a)。

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

$$\Delta C_{Biomass,T} = \frac{C_{Biomass,t_2} - C_{Biomass,t_1}}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

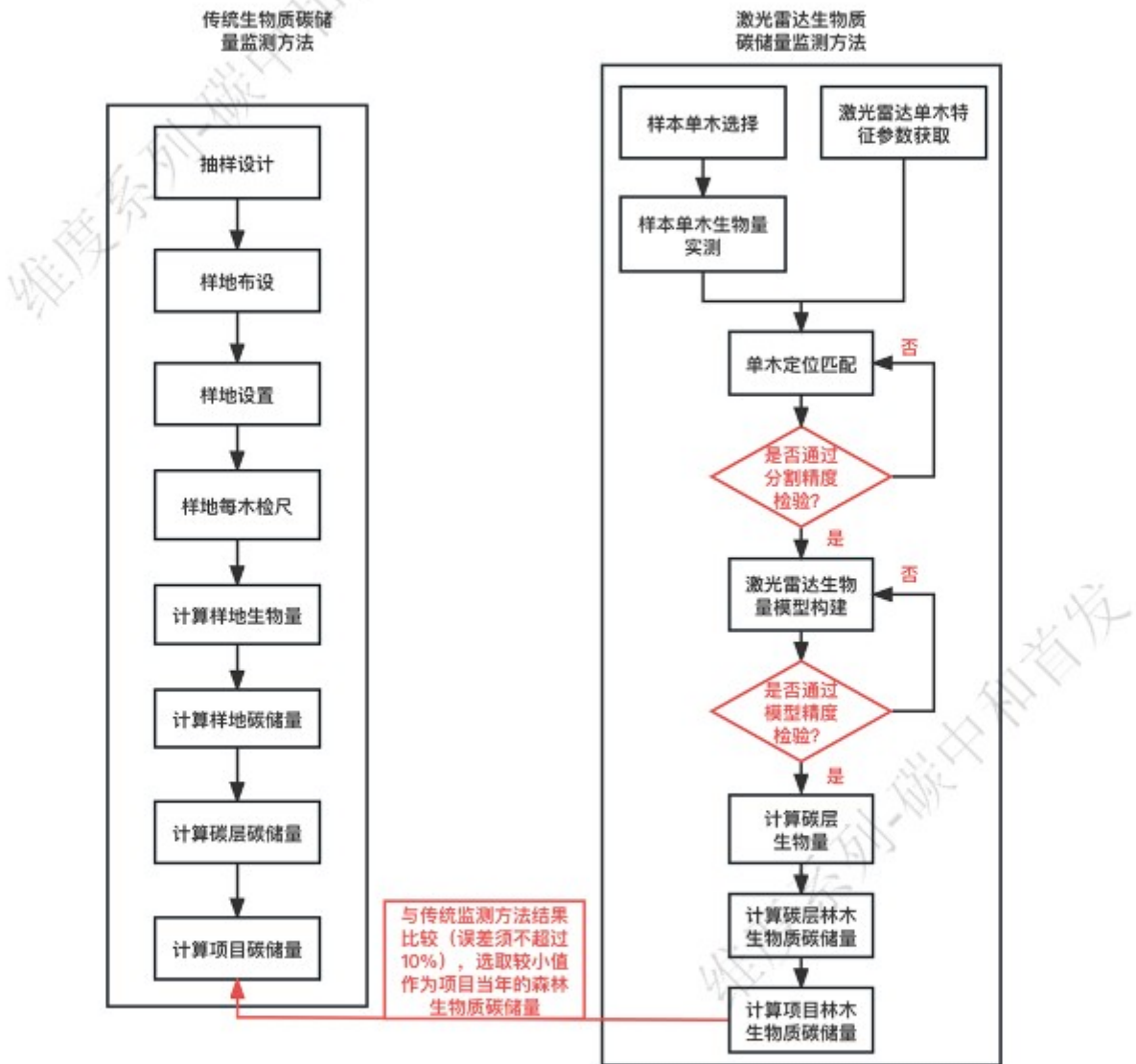
式中:

- $\Delta C_{Biomass,T}$: 核查期 T 时间内项目边界内生物质碳储量的年变化量 ($t \text{ C} \cdot \text{a}^{-1}$);
 $C_{Biomass,t_1}$: 第 t_1 年时项目边界内生物质碳储量估计值 ($t \text{ C}$);
 $C_{Biomass,t_2}$: 第 t_2 年时项目边界内生物质碳储量估计值 ($t \text{ C}$);
 t_1, t_2 : 核查期的间隔时间, 开始于第 t_1 年, 结束于第 t_2 年, 且 $t_1 \leq t \leq t_2$;
 T : 核查期内的时间 (a), $T = t_2 - t_1$ 。

如果乔木造林使用的苗木平均胸径 $< 2\text{cm}$, 可以假定造林时的林木生物质碳储量 ($C_{Biomass,t_0}$) 为 0。如果乔木造林活动采用了平均胸径 $\geq 2\text{cm}$ 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, 采用附件 1 的方法估算造林时的林木生物质碳储量。

附件 6 森林生物质碳储量的机载激光雷达监测工具

本方法目前主要适用于乔木（或者竹子）造林。在项目所在地首次采用本方法进行生物量监测时，须使用实测数据充分检验技术在当前场景的适用性。在确保能够满足最低精度要求后，采用本方法计算的项目范围内林木生物质碳储量作为校核依据，与基于样地监测方法的结果进行比较。结果比较的误差须不超过 10%。选取结果中**较小值**作为项目当年的林木生物质碳储量。具体操作流程如下图所示：



附图 6-1 机载激光雷达生物质碳储量监测操作流程

第一步：样本单木选择

根据项目碳层的划分（如立地条件、树种、林龄、密度等）在项目所在地针对每种类型随机选择不少于 60 株单木作为建模样本。样本单木胸径（DBH）不小于 2cm，按照 2-3cm 的径阶间隔进行划分，每个径阶不少于 2-3 株样本，尽可能覆盖所有径阶。所有被选择

的样本单木应当较容易从激光雷达中分割。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）并且标记编号（ $k=1,2,3\cdots K$ ）。

第二步：样本单木生物量实测

实测所有样本单木的胸径（ DBH ）和/或者树高（ H ），并且利用材积模型和生物量模型（或者参数，参照附件 1）计算单木 k 的生物量，以此作为单木 k 的实测生物量（ b_k^m ）。也可以采用解析木测量方法，对样本单木进行砍伐后，实测每株单木的生物量。

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本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。

(1) 单木位置和树高

利用基于栅格的方法或者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，并且从单木机载激光点云中计算获取单木的位置和树高。单木位置和树高可以由最高点的空间坐标来确定：

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

式中：

$$\begin{aligned} (X_{Tree}, Y_{Tree}, H_{Tree}) & : \text{最终确定的单木三维坐标 (m);} \\ (X_{Highest}, Y_{Highest}, Z_{Highest}) & : \text{单木最高点的三维坐标 (m)。} \end{aligned}$$

(2) 单木冠幅

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

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

式中：

$$\begin{aligned} C & : \text{单木的冠幅 (m);} \\ X_{\max} & : \text{单木点云在 } X \text{ 方向垂直投影的最大值 (m);} \\ X_{\min} & : \text{单木点云在 } X \text{ 方向垂直投影的最小值 (m);} \\ Y_{\max} & : \text{单木点云在 } Y \text{ 方向垂直投影的最大值 (m);} \\ Y_{\min} & : \text{单木点云在 } Y \text{ 方向垂直投影的最小值 (m)。} \end{aligned}$$

第四步：单木定位匹配

选取统一的参考坐标系（WGS84 或者 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（ $k=1,2,3\cdots K$ ）对应的激光雷达特征参数（ x_k^l ）和实测单木生物量（ b_k^m ），形成单木特征参数与样地实测生物量（ b_k^m ）的数据集。

在进行该步骤时须同时检验单木分割精度（分割单木数量与样地实测单木数量的比值），

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。

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：

$$b_k^m = f(x_k^l) \xrightarrow{\text{minimizing } SSE} b_k^l = \hat{f}(x_k^l) \quad (3)$$

式中：

- b_k^m : 第 k 株单木的样地实测生物量 (kg d.m.);
- b_k^l : 第 k 株单木的激光雷达计算的生物量 (kg d.m.);
- x_k^l : 第 k 株单木的激光雷达特征参数 (m 或者无量纲);
- SSE : 残差平方和, $SSE = \sum_{k=1}^K (b_k^m - b_k^l)^2, k = 1, 2, 3 \dots K$;
- $f(x_k^l)$: 样地实测生物量与激光雷达特征参数之间的假设函数形式, 排除扰动项; 通过最小化调查样地数据内的 SSE , 可对 $f(x_k^l)$ 求解参数, 并且将其记为 $\hat{f}(x_k^l)$ (kg d.m.·stem⁻¹);
- $\hat{f}(x_k^l)$: 拟合所得的激光雷达生物量计算函数; 也即对 $f(x_k^l)$ 求解参数的结果 (kg d.m.·stem⁻¹);
- l : 通过激光雷达直接获取或者计算的值;
- m : 样地实测直接获取或者计算的值;
- k : 样本单木, $k=1, 2, 3 \dots K$, K 为样本单木总量, 无量纲。

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

(1) LBI 的计算

根据单木分割结果, 结合单木位置、树高 H 和冠幅 C 等参数, 将所有分割单木与野外实测单木进行精确匹配。对任一样本单木对应的分割单木 l 的机载激光点云数据从高度最低点 (H_c) 到最高点 (H_T) 以一定的高度间隔 ΔH 进行分层, 然后根据每层的点云计算对应层的体积 (V_i) 和底部高度值 (H_c), 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 (LiDAR Biomass Index, LBI):

$$LBI = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \sum_{H=H_c}^{H_T} U_L(H) \times \pi \times [r(H)]^2 \times \Delta H \times H \quad (4)$$

式中：

- LBI : 单木的激光雷达生物量指数;
- $U_L(H)$: 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 (m²·m⁻³);
- $r(H)$: 高度为 H 处的树冠的半径 (m);
- ΔH : 树冠纵向分层的间隔 (m);
- H_c : 树冠最低点的高度 (m);
- H_T : 单木的树冠高度 (m)。

(2) 生物量模型的构建

结合从机载激光雷达中提取的所有样本单木的 LBI 和树高, 及野外实测获取的单木生物

量，采用非线性回归方法构建单木生物量模型。也可以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（或者林地）特征参数，建立其与生物量之间的关系模型。对于单一树种林地，模型 R^2 值应当不小于 0.8；对于多树种混交林林地，模型 R^2 值应当不小于 0.6。

$$\ln AGB = \ln k + \beta \ln H_T + \frac{2\beta}{\alpha} \ln LBI \quad (5)$$

式中：

- AGB : 单木地上生物量 ($\text{kg} \cdot \text{stem}^{-1}$)；
 H_T : 单木的树冠高度 (m)；
 LBI : 单木的激光雷达生物量指数；
 k : 模型参数；
 α : 模型参数；
 β : 模型参数。

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，训练集决定系数应当不低于 0.9，验证集决定系数应当不低于 0.8；对于多树种混交林，训练集与验证集决定系数均应当不低于 0.7。若不能满足精度要求，需要重新检验激光雷达模拟预测方法在当前场景中应用的适用性。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^K (b_k^m - b_k^l)^2}{\sum_{k=1}^K (b_k^m - \bar{b}_k^m)^2} \quad (6)$$

式中：

- R^2 : 模型决定系数；
 \bar{b}_k^m : 样地实测生物量的平均值 (kg d.m.)。

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碳层 i 内每株单木的生物量，形成碳层 i 内激光雷达单木生物量数据集 $b_{i,1}^l, b_{i,2}^l, \dots, b_{i,n}^l$ ，再利用各类型树种的地下/地上生物量比例 (RSR) 和生物量含碳率 (CF) 将单木生物量转换为单木物质碳储量 ($c_{i,n}^l$)，再计算各碳层的生物质碳储量：

$$c_i^l = \sum_{n=1}^N c_{i,n}^l \quad (7)$$

式中：

- c_i^l : 第 i 碳层的激光雷达生物质碳储量 (tC)；
 $c_{i,n}^l$: 第 i 碳层第 n 棵单木的激光雷达生物质碳储量 (tC)；

- N : 碳层 i 内单木的总数量, 无量纲;
 n : 碳层 i 内的单木, $n=1,2,3\cdots N$, 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:

$$c^l = \sum_{i=1}^l c_i^l \quad (8)$$

式中:

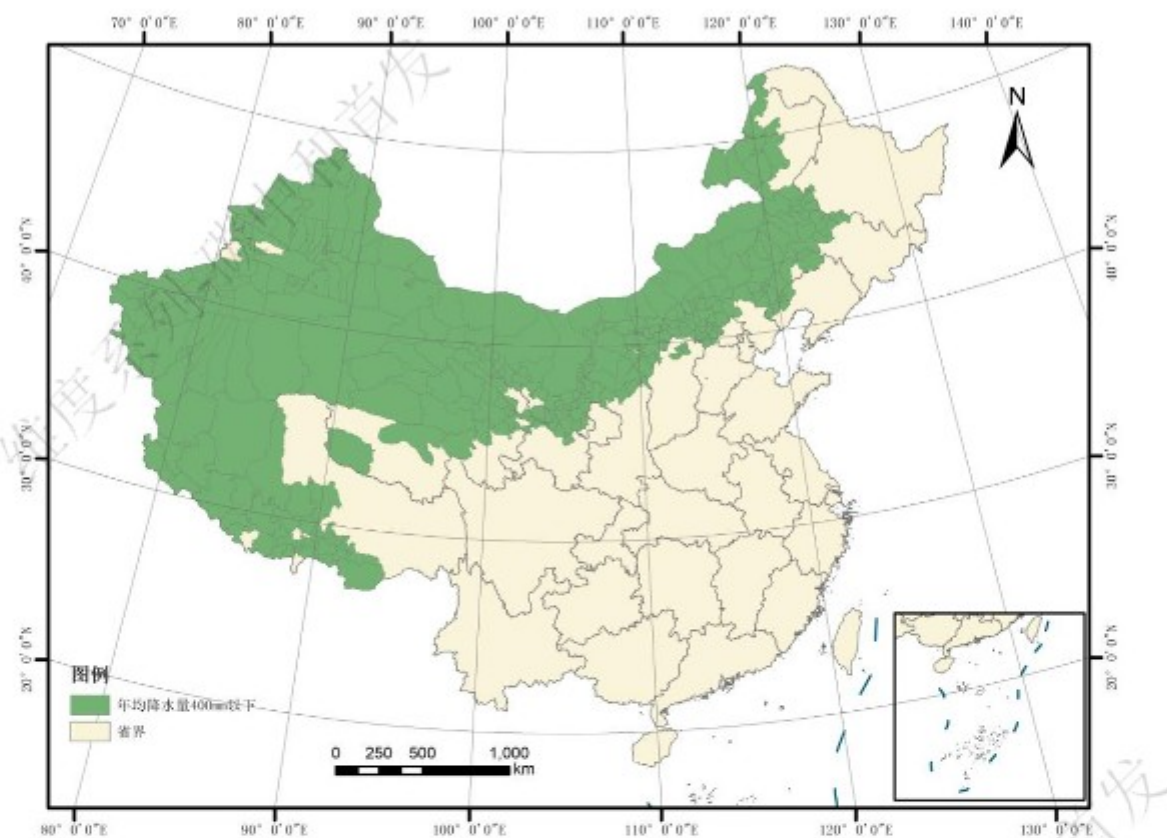
- c^l : 项目边界内激光雷达生物质碳储量 (tC);

第九步: 项目边界内生物质碳储量年变化量的计算

利用与附件 5 中的公式 (7) 相同的方法, 计算项目边界内生物质碳储量的年变化量。

附件 7 全国年均降水量低于 400mm 的地区

参照国家林业局《“国家特别规定的灌木林地”的规定（试行）》（2004），全国年均降雨量低于 400mm 的地区如附图 7-1 和附表 7-1。



附图 7-1 全国年均降水量低于 400mm 的地区分布图

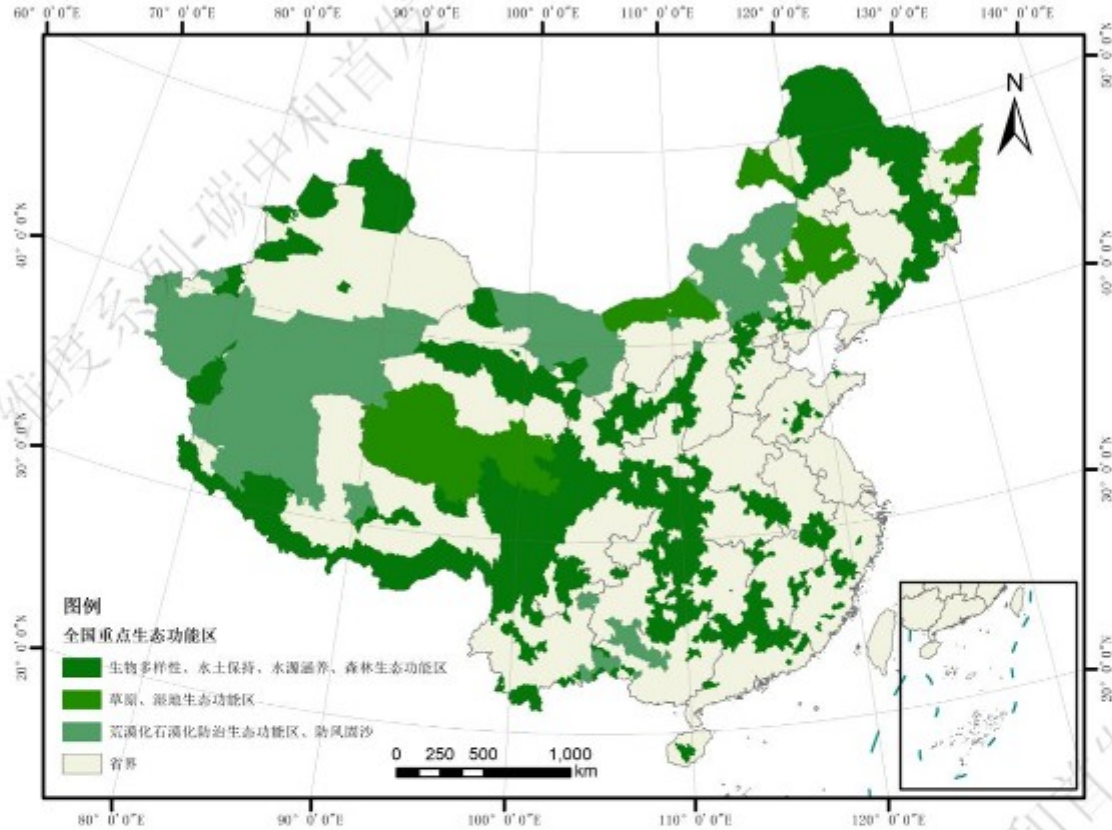
附表 7-1 全国年均降水量低于 400mm 的地区名录

省（市、区）	市（区、县、旗）
山西省	大同区，河曲县，怀仁市，山阴县，朔城区，天镇县，新荣区，阳高县，应县
陕西省	横山区，靖边县，佳县，定边县，榆阳区，神木市，府谷县
青海省	循化撒拉族自治县，兴海县，城北区，城东区，城西区，城中区，大通回族土族自治县，湟源县，湟中区，乌兰县，天峻县，曲麻莱县，祁连县，平安区，民和回族土族自治县，茫崖市，玛多县，乐都区，尖扎县，海晏县，贵南县，贵德县，共和县，格尔木市，刚察县，都兰县，德令哈市，海西蒙古族藏族自治州
甘肃省	甘州区，玉门市，榆中县，永靖县，永登县，永昌县，西固区，通渭县，肃南裕固族自治县，肃北蒙古族自治县，山丹县，七里河区，平川区，民勤县，民乐县，临泽县，凉州区，肃州区，靖远县，景泰县，金塔县，瓜州县，金川区，嘉峪关市，会宁县，红古区，古浪县，高台县，皋兰县，敦煌市，安定区，城关区，白银区，瓜州县，安宁区，阿克塞哈萨克族自治县
河北省	赤城县，崇礼区，丰宁满族自治县，沽源县，怀安县，怀来县，康保县，桥东区，桥西区，尚义县，万全区，围场满族蒙古族自治县，蔚县，下花园区，宣化区，阳原县，张北县，涿鹿县
吉林省	镇赉县，长岭县，通榆县，洮南市，洮北区，乾安县，前郭尔罗斯蒙古族自治县，宁江区，扶余市，大安市
辽宁省	北票市，朝阳县，建平县，喀喇沁左翼蒙古族自治县，凌源市，龙城区，双塔区
黑龙江省	泰来县
内蒙古自治	阿巴嘎旗，阿尔山市，阿拉善右旗，阿拉善左旗，阿鲁科尔沁旗，敖汉旗，巴林右旗，巴

省(市、区)	市(区、县、旗)
区	林左旗, 白云鄂博矿区, 察哈尔右翼后旗, 察哈尔右翼前旗, 察哈尔右翼中旗, 陈巴尔虎旗, 达拉特旗, 达尔罕茂明安联合旗, 磴口县, 东河区, 东胜区, 东乌珠穆沁旗, 多伦县, 额尔古纳市, 额济纳旗, 鄂托克旗, 鄂托克前旗, 鄂温克族自治旗, 二连浩特市, 丰镇市, 固阳县, 海勃湾区, 海拉尔区, 海南区, 杭锦后旗, 杭锦旗, 和林格尔县, 红山区, 化德县, 回民区, 霍林郭勒市, 集宁区, 九原区, 喀喇沁旗, 开鲁县, 科尔沁区, 科尔沁右翼中旗, 科尔沁右翼前旗, 科尔沁左翼后旗, 科尔沁左翼中旗, 克什克腾旗, 昆都仑区, 凉城县, 林西县, 临河区, 满洲里市, 奈曼旗, 宁城县, 青山区, 清水河县, 赛罕区, 商都县, 石拐区, 四子王旗, 松山区, 苏尼特右旗, 苏尼特左旗, 太仆寺旗, 突泉县, 土默特右旗, 土默特左旗, 托克托县, 翁牛特旗, 乌达区, 乌拉特后旗, 乌拉特前旗, 乌拉特中旗, 乌兰浩特市, 乌审旗, 五原县, 武川县, 西乌珠穆沁旗, 锡林浩特市, 镶黄旗, 新巴尔虎右旗, 新巴尔虎左旗, 新城区, 兴和县, 牙克石市, 伊金霍洛旗, 玉泉区, 元宝山区, 扎赉特旗, 扎鲁特旗, 正蓝旗, 正镶白旗, 准格尔旗, 卓资县
西藏自治区	仲巴县, 札达县, 扎囊县, 谢通门县, 申扎县, 萨迦县, 萨嘎县, 日土县, 仁布县, 曲松县, 曲水县, 琼结县, 普兰县, 尼木县, 尼玛县, 南木林县, 乃东区, 洛扎县, 隆子县, 浪卡子县, 拉孜县, 康马县, 江孜县, 吉隆县, 贡嘎县, 革吉县, 岗巴县, 改则县, 噶尔县, 堆龙德庆区, 定日县, 定结县, 错那县, 措勤县, 措美县, 班戈县, 白朗县, 昂仁县
宁夏回族自治区	兴庆区, 金凤区, 西夏区, 灵武市, 永宁县, 贺兰县, 大武口区, 惠农区, 平罗县, 利通区, 红寺堡区, 青铜峡市, 同心县, 盐池县, 原州区, 西吉县, 沙坡头区, 中宁县, 海原县
新疆维吾尔自治区	阿合奇县, 阿克苏市, 阿克陶县, 阿拉尔市, 阿拉山口市, 阿勒泰市, 阿图什市, 阿瓦提县, 巴楚县, 巴里坤哈萨克自治县, 白碱滩区, 拜城县, 北屯市, 博湖县, 博乐市, 布尔津县, 策勒县, 察布查尔锡伯自治县, 昌吉市, 达坂城区, 独山子区, 额敏县, 福海县, 阜康市, 富蕴县, 伽师县, 高昌区, 巩留县, 哈巴河县, 和布克赛尔蒙古自治县, 和静县, 和硕县, 和田市, 和田县, 呼图壁县, 胡杨河市, 霍城县, 霍尔果斯市, 吉木乃县, 吉木萨尔县, 精河县, 喀什市, 柯坪县, 可克达拉市, 克拉玛依区, 库车市, 库尔勒市, 奎屯市, 昆玉市, 轮台县, 洛浦县, 玛纳斯县, 麦盖提县, 米东区, 民丰县, 墨玉县, 木垒哈萨克自治县, 尼勒克县, 皮山县, 奇台县, 且末县, 青河县, 若羌县, 沙湾市, 沙雅县, 沙依巴克区, 莎车县, 鄯善县, 石河子市, 疏附县, 疏勒县, 双河市, 水磨沟区, 塔城市, 塔什库尔干塔吉克自治县, 特克斯县, 天山区, 铁门关市, 头屯河区, 图木舒克市, 托克逊县, 托里县, 尉犁县, 温泉县, 温宿县, 乌尔禾区, 乌鲁木齐县, 乌恰县, 乌什县, 乌苏市, 五家渠市, 新和县, 新市区, 新垦市, 焉耆回族自治县, 叶城县, 伊宁市, 伊宁县, 伊吾县, 伊州区, 英吉沙县, 于田县, 裕民县, 岳普湖县, 泽普县

附件 8 全国重点生态功能区

根据国务院《全国主体功能区规划》(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),截至目前全国重点生态功能区县市分布如附图 8-1, 县市名录如附表 8-1。



附图 8-1 全国重点生态功能区空间分布图(截至 2016 年 9 月, 继续更新有效)

附表 8-1 全国重点生态功能区县市名录(截至 2016 年 9 月, 继续更新有效)

省(市、区)	市(区、县、旗)	功能区类型
重庆市	巫溪县, 城口县	生物多样性
	云阳县, 巫山县, 奉节县	水土保持
	酉阳土家族苗族自治县, 秀山土家族苗族自治县, 武隆区, 石柱土家族自治县, 彭水苗族土家族自治县	生物多样性 水土保持
浙江省	云和县, 文成县, 泰顺县, 遂昌县, 庆元县, 磐安县, 龙泉市, 开化县, 景宁畲族自治县, 淳安县, 常山县	水源涵养
云南省	玉龙纳西族自治县, 香格里拉市, 维西傈僳族自治县, 屏边苗族自治县, 勐腊县, 勐海县, 泸水市, 兰坪白族普米族自治县, 金平苗族瑶族傣族自治县, 剑川县, 贡山独龙族怒族自治县, 福贡县, 德钦县, 沅彝族哈尼族拉祜族自治县, 永平县, 漾濞彝族自治县, 西盟佤族自治县, 巍山彝族回族自治县, 双柏县, 宁蒗彝族自治县, 南涧彝族自治县, 孟连傣族拉祜族佤族自治县, 景洪市, 景东彝族自治县	生物多样性
	西畴县, 文山市, 马关县, 广南县, 富宁县	石漠化防治
	永胜县, 永善县, 永仁县, 盐津县, 绥江县, 巧家县, 麻栗坡县, 东川区, 大姚县, 大关县	水土保持
	新疆生产建设兵团所属团场, 若羌县, 且末县, 泽普县, 岳普湖县, 于田县, 英吉沙县, 叶城县, 乌恰县, 图木舒克市, 塔什库尔干塔吉克自治	荒漠化防治

省(市、区)	市(区、县、旗)	功能区类型
	县, 莎车县, 皮山县, 墨玉县, 民丰县, 麦盖提县, 洛浦县, 伽师县, 策勒县, 巴楚县, 阿瓦提县, 阿克陶县, 阿合奇县, 新疆生产建设兵团所属团场	
	新疆生产建设兵团所属团场, 青河县, 吉木乃县, 哈巴河县, 富蕴县, 福海县, 布尔津县, 阿勒泰市	森林草原生态
	疏勒县, 疏附县, 昆玉市	防风固沙
	昭苏县, 裕民县, 新源县, 乌什县, 温泉县, 托里县, 特克斯县, 塔城市, 尼勒克县, 柯坪县, 和田县, 巩留县, 额敏县, 博乐市, 博湖县	生物多样性
	北屯市	水源涵养
西藏自治区	墨脱县, 错那县, 察隅县	森林生态
	日土县, 尼玛县, 革吉县, 改则县, 班戈县	荒漠化防治
	仲巴县, 札达县, 亚东县, 萨嘎县, 普兰县, 聂拉木县, 洛扎县, 隆子县, 类乌齐县, 浪卡子县, 康马县, 江达县, 嘉黎县, 吉隆县, 贡觉县, 岗巴县, 定日县, 定结县, 丁青县, 当雄县, 措勤县, 措美县	生物多样性
四川省	盐源县, 雅江县, 新龙县, 小金县, 乡城县, 汶川县, 天全县, 松潘县, 石渠县, 色达县, 壤塘县, 平武县, 木里藏族自治县, 茂县, 马尔康市, 泸定县, 炉霍县, 理县, 理塘县, 康定市, 九寨沟县, 九龙县, 金川县, 黑水县, 甘孜县, 德格县, 得荣县, 稻城县, 道孚县, 丹巴县, 北川羌族自治县, 宝兴县, 白玉县, 巴塘县, 旺苍县, 万源市, 通江县, 青川县, 南江县, 若尔盖县, 红原县, 越西县, 喜德县, 石棉县, 沐川县, 美姑县, 马边彝族自治县, 甘洛县, 峨边彝族自治县	生物多样性
	阿坝县	草原湿地生态
	昭觉县, 普格县, 宁南县, 雷波县, 金阳县, 布拖县	水土保持
陕西省	子洲县, 子长市, 志丹县, 吴起县, 吴堡县, 绥德县, 清涧县, 米脂县, 佳县, 安塞区, 宜川县, 黄龙县	水土保持
	紫阳县, 周至县, 镇坪县, 镇巴县, 镇安县, 柞水县, 洋县, 旬阳市, 西乡县, 太白县, 石泉县, 平利县, 宁陕县, 宁强县, 南郑区, 勉县, 略阳县, 留坝县, 岚皋县, 汉阴县, 佛坪县, 凤县, 白河县	生物多样性
	洛南县	水源涵养
山西省	中阳县, 永和县, 兴县, 乡宁县, 隰县, 五寨县, 石楼县, 神池县, 蒲县, 偏关县, 柳林县, 临县, 岢岚县, 吉县, 河曲县, 汾西县, 大宁县, 保德县	水土保持
山东省	沂源县, 沂水县, 五莲县, 泰山区, 台儿庄区, 山亭区, 曲阜市, 平邑县, 蓬莱区, 蒙阴县, 临朐县, 费县, 博山区	水源涵养
青海省	天峻县, 祁连县, 门源回族自治县, 刚察县	水源涵养
	治多县, 泽库县, 杂多县, 玉树市, 兴海县, 同德县, 曲麻莱县, 囊谦县, 玛沁县, 玛多县, 久治县, 河南蒙古族自治县, 格尔木市, 甘德县, 达日县, 称多县, 班玛县	草原湿地生态
宁夏自治区	盐池县, 西吉县, 同心县, 彭阳县, 隆德县, 泾源县, 红寺堡区, 海原县	水土保持
内蒙古自治区	扎兰屯市, 牙克石市, 莫力达瓦达斡尔族自治旗, 根河市, 鄂伦春自治旗, 额尔古纳市, 阿荣旗, 阿尔山市	森林生态
	西乌珠穆沁旗, 清水河县, 化德县, 固阳县, 额济纳旗, 东乌珠穆沁旗, 阿拉善左旗, 阿拉善右旗	防风固沙
	新巴尔虎左旗, 新巴尔虎右旗, 扎鲁特旗, 翁牛特旗, 奈曼旗, 库伦旗, 科尔沁左翼中旗, 科尔沁左翼后旗, 科尔沁右翼中旗, 开鲁县, 巴林右旗, 阿鲁科尔沁旗, 乌拉特中旗, 乌拉特后旗, 四子王旗, 达尔罕茂明安联合旗, 察哈尔右翼中旗, 察哈尔右翼后旗	草原生态
	正镶白旗, 正蓝旗, 镶黄旗, 太仆寺旗, 苏尼特左旗, 苏尼特右旗, 克什克腾旗, 多伦县, 阿巴嘎旗	荒漠化防治
辽宁省	新宾满族自治县, 宽甸满族自治县, 桓仁满族自治县, 本溪满族自治县	水源涵养
江西省	寻乌县, 上犹县, 全南县, 龙南市, 井冈山市, 定南县, 大余县, 崇义县, 安远县	生物多样性
	资溪县, 永新县, 宜黄县, 修水县, 婺源县, 万安县, 铜鼓县, 遂川县, 石城县, 南丰县, 芦溪县, 莲花县, 黎川县, 靖安县, 广昌县, 浮梁县, 安福县	水源涵养
吉林省	通榆县	草原生态

省(市、区)	市(区、县、旗)	功能区类型
	集安市, 东昌区	水源涵养
	长白朝鲜族自治县, 汪清县, 临江市, 靖宇县, 江源区, 浑江区, 和龙市, 抚松县, 敦化市, 安图县	森林生态
湖南省	宜章县, 炎陵县, 新田县, 双牌县, 汝城县, 宁远县, 临武县, 蓝山县, 嘉禾县, 桂东县, 芷江侗族自治县, 沅陵县, 新晃侗族自治县, 吉首市	生物多样性
	资兴市, 新宁县, 新化县, 通道侗族自治县, 绥宁县, 南岳区, 靖州苗族侗族自治县, 江永县, 江华瑶族自治县, 会同县, 洪江市, 东安县, 城步苗族自治县, 茶陵县, 安化县	水源涵养
	永顺县, 永定区, 武陵源区, 石门县, 桑植县, 麻阳苗族自治县, 泸溪县, 龙山县, 花垣县, 古丈县, 凤凰县, 慈利县, 辰溪县, 保靖县	生物多样性 水土保持
湖北省	英山县, 孝昌县, 浠水县, 麻城市, 罗田县, 红安县, 大悟县, 秭归县, 长阳土家族自治县, 夷陵区, 兴山县, 五峰土家族自治县, 巴东县	水土保持
	竹溪县, 竹山县, 郧阳区, 郧西县, 神农架林区, 南漳县, 房县, 丹江口市, 保康县	生物多样性
	通山县, 通城县	水源涵养
	宣恩县, 咸丰县, 利川市, 来凤县, 建始县, 鹤峰县	生物多样性 水土保持
黑龙江省	友好区, 伊美区, 逊克县, 五大连池市, 乌翠区, 通河县, 铁力市, 汤旺县, 塔河县, 孙吴县, 绥棱县, 庆安县, 嫩江市, 南岔县, 木兰县, 漠河市, 金林区, 嘉荫县, 加格达奇区, 呼玛县, 甘南县, 丰林县, 大箐山县, 北安市, 爱辉区, 延寿县, 五常市, 尚志市, 宁安市, 穆棱市, 林口县, 海林市, 方正县, 东宁市	森林生态
	同江市, 绥滨县, 饶河县, 密山市, 虎林市, 富锦市, 抚远市	草原生态
河南省	新县, 商城县	水土保持
	淅川县, 西峡县, 桐柏县, 泌河区, 内乡县, 罗山县, 卢氏县, 光山县	水源涵养
河北省	张北县, 围场满族蒙古族自治县, 尚义县, 康保县, 沽源县, 丰宁满族自治县	荒漠化防治
	涿鹿县, 赞皇县, 易县, 阳原县, 宣化区, 兴隆县, 信都区, 襄都区, 蔚县, 万全区, 顺平县, 曲阳县, 青龙满族自治县, 滦平县, 灵寿县, 涞源县, 宽城满族自治县, 怀来县, 怀安县, 阜平县, 崇礼区, 赤城县, 承德县	水源涵养
海南省	五指山市, 琼中黎族苗族自治县, 保亭黎族苗族自治县, 白沙黎族自治县	热带雨林
贵州省	紫云苗族布依族自治县, 镇宁布依族苗族自治县, 威宁彝族回族苗族自治县, 望谟县, 平塘县, 罗甸县, 赫章县, 关岭布依族苗族自治县, 册亨县	石漠化防治
	印江土家族苗族自治县, 沿河土家族自治县, 习水县, 石阡县, 荔波县, 江口县, 赤水市	水土保持
	台江县, 施秉县, 三都水族自治县, 榕江县, 雷山县, 锦屏县, 剑河县, 黄平县, 从江县	水源涵养
广西自治区	忻城县, 天峨县, 天等县, 上林县, 马山县, 凌云县, 乐业县, 凤山县, 都安瑶族自治县, 东兰县, 大化瑶族自治县, 巴马瑶族自治县	石漠化防治
	资源县, 三江侗族自治县, 融水苗族自治县, 龙胜各族自治县	生物多样性
	西林县, 那坡县, 蒙山县, 罗城仫佬族自治县, 金秀瑶族自治县, 环江毛南族自治县, 德保县	水土保持
	阳朔县, 灌阳县, 恭城瑶族自治县, 富川瑶族自治县	水源涵养
广东省	兴宁市, 始兴县, 乳源瑶族自治县, 仁化县, 平远县, 南雄市, 龙川县, 连平县, 乐昌市, 蕉岭县, 和平县	生物多样性
	阳山县, 信宜市, 新丰县, 翁源县, 陆河县, 连州市, 连山壮族瑶族自治县, 连南瑶族自治县, 丰顺县, 大埔县	水源涵养
	卓尼县, 夏河县, 玛曲县, 碌曲县, 临夏县, 临潭县, 康乐县, 积石山保安族东乡族撒拉族自治县, 和政县, 合作市	水源补给
	庄浪县, 镇原县, 张家川回族自治县, 通渭县, 庆城县, 静宁县, 会宁县, 环县, 华池县	水土保持
	中牧山丹马场, 永登县, 永昌县, 天祝藏族自治县, 肃南裕固族自治县, 肃北蒙古族自治县, 山丹县, 民勤县, 民乐县, 古浪县, 阿克塞哈萨克族自治县	水源涵养
	舟曲县, 武都区, 文县, 两当县, 康县, 迭部县, 宕昌县	生物多样性

省(市、区)	市(区、县、旗)	功能区类型
福建省	周宁县, 柘荣县, 永泰县, 永春县, 武夷山市, 泰宁县, 寿宁县, 屏南县, 华安县	水源涵养
安徽省	岳西县, 太湖县, 石台县, 潜山市, 金寨县, 霍山县	水源涵养
	黟县, 休宁县, 歙县, 青阳县, 祁门县, 旌德县, 泾县, 绩溪县, 黄山区	水土保持

参考文献

- [1] Cai W X, He N P, Li M X, et al. Carbon sequestration of Chinese forests from 2010 to 2060: spatiotemporal dynamics and its regulatory strategies. *Science Bulletin*, 2022, 67(8): 836–843.
- [2] Fang J Y, Yu G R, Liu L L, et al. Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China. *PNAS*, 2018, 115(16): 4015–4020.
- [3] Fankhauser S, Smith S M, Allen M, et al. The meaning of net zero and how to get it right. *Nature Climate Change*, 2022, 12(1): 15–21.
- [4] Grassi G, Stehfest E, Rogelj J, et al. Critical adjustment of land mitigation pathways for assessing countries' climate progress. *Nature Climate Change*, 2021, 11(5): 425–434.
- [5] He N P, Wen D, Zhu J X, et al. 2018. Vegetation carbon sequestration in Chinese forests from 2010 to 2050. *Global Change Biology*, 23(4): 1575–1584.
- [6] Hong S, Yin G, Piao S, et al. Divergent responses of soil organic carbon to afforestation. *Nature Sustainability*, 2020, 3(9): 694–700.
- [7] IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme. IGES, 2006.
- [8] Lu N, Tian H Q, Fu B J, et al. 2022. Biophysical and economic constraints on China's natural climate solutions. *Nature Climate Change*. Doi: 10.1038/s41558-022-01432-3
- [9] Luo et al., 2014. Biomass and its allocation in Chinese forest ecosystems. *Ecology* 95: 2026.
- [10] Luo et al., 2020. A review of biomass equations for China's tree species. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 21–40.
- [11] Nie, S., Wang, C., Zeng, H., Xi, X., & Li, G. 2017. Above-ground biomass estimation using airborne discrete-return and full-waveform LiDAR data in a coniferous forest. *Ecological Indicators*, 78, 221–228.
- [12] Piao S L, He Y, Wang X H, et al. 2022. Estimation of China's terrestrial ecosystem carbon sink: Methods, progress and prospects. *Science China: Earth Sciences*, 65(4): 641–651.
- [13] Qin, S., Nie, S., Guan, Y., Zhang, D., Wang, C., & Zhang, X. 2022. Forest emissions reduction assessment using airborne LiDAR for biomass estimation. *Resources, Conservation and Recycling*, 181, 106224.
- [14] Tian H L, Zhu J H, Jian Z J, et al. 2022. The carbon neutral potential of forests in the Yangtze River Economic Belt of China. *Forests*, 13: 721.
- [15] UNFCCC. Clean Development Mechanism. A/R Large-scale Consolidated Methodology: Afforestation and reforestation of lands except wetlands. AR-ACM0003 Version 02.0.
- [16] Yao Y T, Piao S L, Wang T. Future biomass carbon sequestration capacity of Chinese forests. *Science Bulletin*, 2018, 63(17): 1108–1117.
- [17] 冯源, 肖文发, 朱建华, 等. 2020. 造林对区域森林生态系统碳储量和固碳速率的影响. *生态与农村环境学报*, 36(3): 281–290.
- [18] 付晓, 张煜星, 王雪军. 2060年前我国森林生物量碳库及碳汇潜力预测. *林业科学*, 2022, 58(02): 32–41.
- [19] 国家发展改革委, 自然资源部. 《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021–2035年)》. 2020.
- [20] 国家发展和改革委员会, 2013. 《碳汇造林项目方法学》(AR-CM-001-V01)
- [21] 国家发展和改革委员会, 2013. 《竹子造林碳汇项目方法学》(AR-CM-002-V01)
- [22] 国家林业和草原局. 中国森林资源报告(2014–2018). 北京: 中国林业出版社, 2019.
- [23] 李奇, 朱建华, 冯源, 等. 2018. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测. *气候变化研究*

- 进展, 14(3): 287–294.
- [24] 清洁发展机制 (CDM) 造林再造林项目 (AR) “基准线情景识别与额外性论证工具 (V1.0)”
- [25] 清洁发展机制 (CDM) 造林再造林项目 (AR) “枯死木和枯落物碳储量及其变化的评估工具 (V3.1)”
- [26] 清洁发展机制 (CDM) 造林再造林项目 (AR) “林木和灌木碳储量及其变化的评估工具 (V4.2)”
- [27] 清洁发展机制 (CDM) 造林再造林项目 (AR) “生物量燃烧引起的非 CO₂ 温室气体排放评估工具 (V4.0.0)”
- [28] 于贵瑞, 朱剑兴, 徐丽, 等. 中国生态系统碳汇功能提升的技术途径: 基于自然解决方案. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 490–501.
- [29] 张小全, 谢茜, 曾楠. 2020. 基于自然的气候变化解决方案. 气候变化研究进展, 16(3): 336–344.
- [30] 张煜星, 王雪军, 蒲莹, 等. 2021. 1949 – 2018 年中国森林资源碳储量变化研究. 北京林业大学学报, 43(5): 1–14.
- [31] 政府间气候变化专门委员会 (IPCC), 2003 年土地利用、土地利用变化与林业 (LULUCF) 优良做法指南
- [32] 政府间气候变化专门委员会 (IPCC), 2006 年国家温室气体清单指南, 第四卷: 农业、林业和其他土地利用 (AFOLU)
- [33] 政府间气候变化专门委员会 (IPCC), 2006 年国家温室气体清单指南 2019 年完善版, 第四卷: 农业、林业和其他土地利用 (AFOLU)
- [34] 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报. 2019. <https://unfccc.int/documents/197666>.
- [35] 朱建华, 田宇, 李奇, 等. 2022. 中国森林生态系统碳汇现状与潜力. 生态学报, 43(9): 3442–3457.