

赫山区林地生态系统碳券碳汇量计量方法学 (试行)

(版本号 V1.0)

(征求意见稿)

二〇二六年五月

目 录

1	引言	1
2	适用条件	1
3	规范性引用文件	2
4	术语与定义	2
5	碳汇量计量流程	3
6	计量边界和周期	4
6.1	计量边界	4
6.2	计量周期	4
7	碳汇量计量方法	4
7.1	植被净初级生产力 (NPP) 的计算	4
7.2	净生态系统生产力 (NEP) 的计算	7
7.3	碳汇量计算	8
8	数据来源与数据处理	8
8.1	气象数据	8
8.2	数字高程模型数据	8
8.3	植被指数	8
8.4	土地利用数据	9
9	数据质量管理与改进	9
9.1	精度验证	9
9.2	模型修正	9
9.3	制度管理	9
附录 A	样地法	11
A.1	计量边界和周期	11
A.2	样地法计量方法	11
A.3	温室气体排放量增加的计算	18
A.4	碳汇量计算	19

赫山区林地生态系统碳券碳汇量计量方法学 (试行)

1 引言

2020年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上向世界宣布了中国的碳达峰目标与碳中和目标,这一目标被纳入生态文明建设的总体布局。2021年9月22日,中共中央 国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》要求,依托和拓展自然资源调查监测体系,建立生态系统碳汇监测核算体系,开展森林、草地、土壤等碳汇本底调查和碳储量评估,实施生态保护修复碳汇成效监测评估。为充分发挥森林资源在碳中和中的重要作用,为赫山区林地生态系统碳汇开发利用、监测计量与评估等提供依据,搭建“绿水青山”与“金山银山”的桥梁,充分挖掘赫山区乔木林、竹林、灌木林等不同类型的森林在自然资源资产价值中的核心作用,释放赫山区森林资源市场潜力,特编制《赫山区林地生态系统碳券碳汇量计量方法学(试行)》。

本方法学参考和借鉴《生态产品总值核算规范(试行)》、《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇》、《森林生态系统碳储量计量指南》和《全国林业碳汇计量监测技术指南》等文件内容,在积极探索新技术、新方法的同时兼顾方法的科学性和可操作性,并根据我区森林资源的实际情况,制定了林地生态系统碳券碳汇量计量的适用条件、计量流程、计量方法和数据质量管理与改进等,以期推进全区林地生态系统碳券的制定、碳汇交易,推动生态产品价值实现。

2 适用条件

本方法学适用于赫山区行政区域内权属清晰的林地碳汇量计量。采用本方法的项目活动,应遵循以下适用条件:

- (1) 赫山区内国土变更调查确定的林地;
- (2) 项目地块所开展的林地经营活动,不违反国家和地方政府颁布的有关政策法规以及相关行业强制性技术标准;

(3) 项目土地权属清晰，无争议纠纷，具有经有批准权的人民政府或主管部门批准核发的不动产证；或其他具有法律效力的权属证明。对于村集体（村民小组）持有林木、林地权属登记证明，但林地实际已承包到户或以其他合法方式发生经营权流转的，应在与相关承包方、租赁方达成协议的情况下进行申报、确定收益分配方法，并具有土地承包或流转合同；

(4) 项目土地不属于湿地，不在耕地后备资源范围内；

(5) 项目未加入其他碳汇开发项目。

3 规范性引用文件

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

GB/T 17296—2009 中国土壤分类与代码

CCER—14—001—V01 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇

LY/T 2253—2014 造林项目碳汇计量监测指南

LY/T 2409—2015 林业碳汇项目审定和核证指南

LY/T 2743—2016 碳汇造林项目设计文件编制指南

LY/T 2744—2016 碳汇造林项目监测报告编制指南

LY/T 2988—2018 森林生态系统碳储量计量指南

TD/T 1055—2019 第三次全国国土调查技术规程

NY/T 2998—2016 草地资源调查技术规程

4 术语与定义

本方法学基于以下定义：

土地利用 *Land utilization*

人类通过一定的活动，利用土地的属性来满足自己需要的过程。

[来源：GB/T 21010-2017，2.3]

林地 *Forest land*

生长乔木、灌木、竹类及沿海红树林的土地；不包括居民点内的绿地以及铁路、公路、河流、沟渠的护路、护岸林。

[来源：GB/T 19231-2003, 4.2.2.3]

植被类型 *Vegetation type*

林地植物种群的类型。

[来源：GB/T 15783-1995, 2.10]

覆盖度 *Coverage*

一定面积上植被垂直投影面积与林地面积之比值。

[来源：GB/T 21010-2017, 2.1]

生态系统 *Ecosystem*

一定空间范围内生物与其环境能通过能流、物流、信息流形成的功能整体。

[来源：GB/T 42340-2023, 3.1]

碳汇 *Carbon sink*

从大气中清除温室气体、气溶胶或温室气体前体的任何过程、活动或机制。

[来源：LY/T 3253-2021, 2.2.2]

碳汇量 *Carbon sinks*

一定时间段内森林的碳储量变化量，减去森林转化温室气体排放量。

[来源：DB31/T 1234-2020, 3.7]

净初级生产力 *Net Primary Production*

净初级生产力（NPP）是指植物在单位时间单位面积上由光合作用产生的有机物质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分，是生产者能用于生长、发育和繁殖的能量值。

净生态系统生产力 *Net ecosystem productivity*

净生态系统生产力（NEP）指净初级生产力中减去异养生物呼吸消耗（土壤呼吸）光合产物之后的部分。

5 碳汇量计量流程

本计量方法基于 CASA 模型总体框架，利用光能利用率模型，以遥感数据为基础，同时将本地化的土地利用类型、归一化植被指数、太阳辐射、温度、降水等数据作为模型输入参数，综合植被吸收的光合有效辐射和光能转化率这 2 个主要因子，模拟林地植被的光合作用，对植被净初级生产力(NPP)进行估算，并根据 NEP-NPP 转换系数计算植被净生态系统生产力(NEP)，表征林地生态系统碳汇量，以此衡量计

量边界范围内林地年均吸收固定二氧化碳的能力。

具体计量流程包括：

- (1) 运用 CASA 模型计算植被净初级生产力（NPP）；
- (2) 根据《生态产品总值核算规范》的 NEP-NPP 转换系数或本地化 NEP-NPP 转换系数，计算植被净生态系统生产力（NEP）；
- (3) 汇总得到计量边界周期内不同类型林地碳汇量。

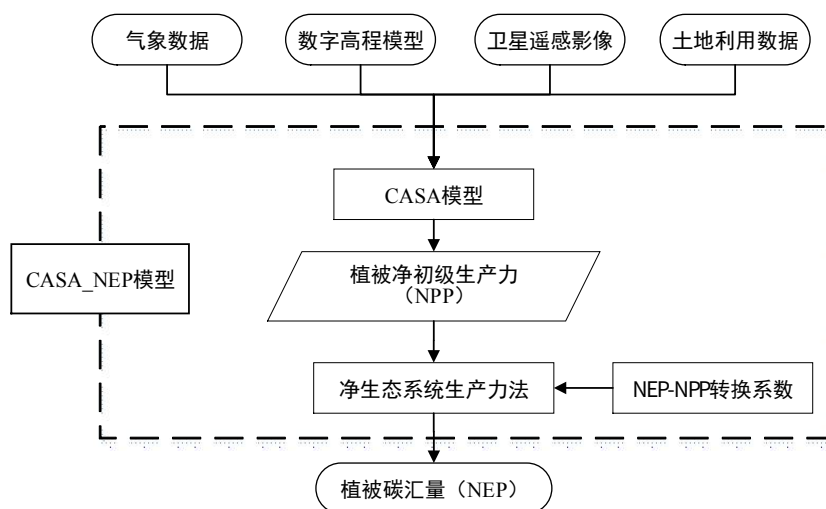


图 1 碳汇量计量流程

6 计量边界和周期

6.1 计量边界

项目计量的地理边界指林木、林地所有者或承包者、经营者实施林地经营活动的地理范围，以小班为基本单位。

申请者须提供由具有经有批准权的人民政府或主管部门批准核发的项目地块林木、林地所有权及使用权的权属登记证明，必要时提供承包合同、经营流转合同或其他有效的证明材料。

6.2 计量周期

计量周期以整年为单位，一个计量周期至少为两年。

7 碳汇量计量方法

7.1 植被净初级生产力（NPP）的计算

利用 CASA 模型计算 NPP 是由植被所吸收的光合有效辐射（APAR）与实际光

能利用率 (ϵ) 两个变量来确定。

$$NPP = APAR \times \epsilon \quad (1)$$

NPP 为植被初级净生产力 ($gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)，APAR 为吸收光合有效辐射 ($MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)， ϵ 为实际光能利用率 ($gC \cdot MJ^{-1}$)。

(1) APAR 的计算

用遥感数据估算光合有效辐射 (PAR) 中被植物叶子吸收的部分 (APAR) 取决于太阳总辐射和植物本身的特征。

$$APAR = RSG \times FPAR \times 0.5 \quad (2)$$

RSG 为年太阳辐射量 ($MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)，根据 DEM 数据计算并转换，FPAR 为植被对入射太阳有效辐射的吸收比例 (%)，取决于植被类型和植被覆盖状况，并且随着植被的生长阶段和季节的变化而改变 (太阳辐射单位转换: $1KW \cdot H/m^2 = 3.6MJ/m^2$)；常数 0.5 表示植被所能利用的太阳有效辐射 (波长为 $0.38 \sim 0.71\mu m$) 占太阳总辐射的比例。

(2) FPAR 的计算

FPAR 与归一化植被指数 NDVI 关系:

$$FPAR_{NDVI} = \frac{(NDVI - NDVI_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} + FPAR_{min} \quad (3)$$

式中: $NDVI_{min}$ 和 $NDVI_{max}$ 分别对应某种植被类型 NDVI 的 5% 和 95% 处的百分位数; $FPAR_{min} = 0.001$, $FPAR_{max} = 0.95$, 两者的取值与植被类型无关。归一化植被指数: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ 。

FPAR 与比值植被指数 SRVI 关系:

$$FPAR_{SRVI} = \frac{(SRVI - SRVI_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(SRVI_{max} - SRVI_{min})} + FPAR_{min} \quad (4)$$

式中: $SRVI_{min}$ 和 $SRVI_{max}$ 分别对应某种植被类型 SRVI 的 5% 和 95% 处的百分位数; $FPAR_{min} = 0.001$, $FPAR_{max} = 0.95$, 两者的取值与植被类型无关。比值植被指数: $SRVI = (1 + NDVI) / (1 - NDVI)$ 。

将两个结果相结合, 取其平均值作为 FPAR 的估算值:

$$FPAR = (FPAR_{NDVI} + FPAR_{SRVI}) \times 0.5 \quad (5)$$

(3) 实际光能利用率 ε 的计算

实际光能利用率 ε 是指植被把所吸收的入射光合有效辐射（APAR）转化成有机碳的比率（ $\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ ）。实际光能利用率主要受温度、水分影响和植被类型的影响。

$$\varepsilon = T_1 \times T_2 \times W \times \varepsilon_{\max} \quad (6)$$

T_1 、 T_2 为最高气温与最低气温对光能利用率 ε 的胁迫系数（无单位）； W 为水分胁迫系数（无单位）， ε_{\max} 是不同植被类型理想状态下的最大光能利用率（ $\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ ）。

(4) 温度胁迫系数 T_1 、 T_2 的计算

T_1 表示在低温和高温时，植被内在的生化作用对光合的限制：

$$T_1 = 0.8 + 0.02T_{\text{opt}} - 0.0005(T_{\text{opt}})^2 \quad (7)$$

式中， T_{opt} 为某地区一年内 NDVI 值达到最高时月份的平均气温，认为此温度为植被生长的最适温度。当某一月平均温度小于等于 -10°C 时， T_1 取 0，认为光合生产力为零。

T_2 表示温度从最适宜温度 T_{opt} 向高温和低温变化时植物的光能转化率影响：

$$T_2 = \frac{1.184}{[1 + e^{0.2(T_{\text{opt}} - 10 - T_{\text{avg}})}][1 + e^{0.3((-T_{\text{opt}}) - 10 + T_{\text{avg}})}]} \quad (8)$$

式中，若某月平均温度 T_{avg} 比最适温度 T_{opt} 高 10°C 或低 13°C 时，该月 T_2 值为最适温度 T_{opt} 时 T_2 值的一半。

(5) 水分胁迫系数 W 的计算

水分胁迫系数 W 反映了植物所能利用的水分条件对光能利用率的影响。随着环境中有效水分的增加， W 逐渐增大，取值范围由极端干旱到极端湿润分别为 0.5 和 1。

$$W = 0.5 + 0.5 \times \frac{\text{EET}}{\text{EPT}} \quad (9)$$

式中 EET 为区域实际蒸散发量（mm）；EPT 为区域潜在蒸散量（mm）。当月均温小于或等于 0°C 时，认为 EET 和 EPT 为零。

其中，区域实际蒸散发量可根据张新时和周广胜建立的区域实际蒸散模型求取：

$$\text{EET} = \frac{P \times R_n \times (P^2 + R_n^2 + P \times R_n)}{(P + R_n) \times (P^2 + R_n^2)} \quad (10)$$

区域潜在蒸散发量表示在下垫面足够湿润条件下，水分保持充分供应的蒸散量，可根据 Boucher 提出的互补关系求取：

$$EPT = (EET + EP_0) / 2 \quad (11)$$

式中 P 为降水量 (mm)；R_n 为地表净辐射量，又称辐射差额，即指地表辐射能量收支的差额，是地表面水热通量传输与交换过程所需能量的主要来源，采用以下公式计算；EP₀ 为局部的潜在蒸散发量，计算方法可参考 Thornthwaite 气候植被模型。

$$R_n = (EP_0 \times P)^{0.5} \times [0.369 + 0.589 \times (EP_0/P)^{0.5}] \quad (12)$$

$$EP_0 = 16 \times \left(\frac{10T_i}{H}\right)^A \quad (13)$$

式中，T_i 为月平均气温，单位为℃；A 为常数，H 为年热量指数。

$$A = 6.75 \times 10^{-7}H^3 - 7.71 \times 10^{-5}H^2 + 1.792 \times 10^{-2}H + 0.49 \quad (14)$$

$$H = \sum_{i=1}^{12} H_i = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \quad (15)$$

当月平均气温 T_i ≤ 0℃ 时，月热量指数 H_i = 0。

(6) 最大光能利用率 ε_{max} 的确定

光能利用率是在一定时期单位面积上生产的干物质中所包含的化学潜能与同一时间投射到该面积上的光合有效辐射能之比。环境因子如气温、土壤水分状况以及大气水汽压差等会通过影响植物的光合能力而调节植被的 NPP，在遥感模型中这些因子对 NPP 的调控是通过最大光能利用率加以订正而实现的。不同植被类型的最大光能利用率 (ε_{max}) 的取值不同，最大光能利用率的取值对 NPP 的估算结果影响很大，根据本地实际情况，确定监测区域不同植被类型的最大光能利用率。

7.2 净生态系统生产力 (NEP) 的计算

净生态系统生产力 (NEP) 是指净初级生产力 (NPP) 减去异养呼吸所消耗的光合产物之后的剩余部分，NEP 的数值反映了陆地生态系统的净碳交换量，即碳源、汇的大小，是定量化分析生态系统碳汇的重要科学指标。

$$NEP = \alpha \times NPP \quad (16)$$

式中：NEP 为净生态系统生产力 (g·C/a)；α 为 NEP 和 NPP 的转换系数，初次计算时，可根据国家发展和改革委员会和国家统计局发布的《生态产品总值核算规

范》确定，后期可根据样地法计量结果对其取值进行本地化确定；NPP 为净初级生产力（g·C/a）。

7.3 碳汇量计算

将 CASA__NEP 模型运算的 NEP 栅格数据转为矢量数据后与年度国土变更调查林地斑数据进行叠加分析，利用 NEP 运算结果和面积计算单个地类图斑格网的碳汇量，统计汇总获取不同林地类型的碳汇量。

$$T_i = \sum_{j=1}^n N_{ij} \times S_{ij} \times 10^{-3} \quad (17)$$

式中： T_i 为第 i 种林地类型的碳汇量（kg）； N_{ij} 为第 i 种林地类型第 j 个地类图斑格网的碳汇量（g·m⁻²）； S_{ij} 为第 i 种林地类型第 j 个地类图斑格网的面积（m²）； i 为林地类型； j 为不同林地类型对应的地类图斑格网数。

8 数据来源与数据处理

8.1 气象数据

从气象部门收集监测区域及其周边气象站点的气温、降雨量等数据，利用 ArcGIS 转化为矢量数据，空间插值获取监测区域平均气温、降雨量空间分布数据。

8.2 数字高程模型数据

采用优于 10m 的数字高程模型（DEM）数据获取入射太阳辐射，也可利用月日照百分率、月总太阳辐射等数据构建日照类模型计算获得。

8.3 植被指数

计算植被指数前，需要对遥感影像数据进行处理，遥感影像的处理即为影像数据的校正与重建的过程。其中遥感影像采集的时间应与计量时点对应，包括红、绿、蓝和近红外四个波段，空间分辨率不低于 10m。

处理流程主要包括三部分：

第一步：辐射定标。将传感器记录的电压或数字量化值（DN）转换成绝对辐射亮度值（辐射率）的过程，或者转换与地表（表观）反射率、表面（表观）温度等物理量有关的相对值的处理过程。

第二步：大气校正。消除大气中的水分、二氧化碳、甲烷和气溶胶散射等对地物反射率的影响，从而得到地物的真实反射率。利用大气校正模型完成大气校正工

作，获得地物较为准确的反射率和辐射率、地表温度等真实物理模型参数。

第三步：几何校正及正射校正。几何校正主要利用已有准确地理坐标和投影信息的遥感影像，对原始遥感影像进行校正，使其具有准确的地理坐标和投影信息。正射校正为利用已有地理参考数据（影像、地形图和控制点等）和数字高程模型数据（DEM），对原始遥感影像进行校正，消除或减弱地形起伏带来的影像变形，使得遥感影像具有准确的地面坐标和投影信息。

基于预处理后的卫星遥感数据的红外波段（Red）和近红外波段（NIR），利用公式 $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ ，计算得到归一化植被指数(NDVI)。

8.4 土地利用数据

基于最新年度国土变更调查成果数据，提取不同类型林地图斑，赋值最大光合利用率、NDVI 最大值和最小值、SRVI 最大值和最小值等静态参数。

9 数据质量管理与改进

9.1 精度验证

为了保证计量数据的可靠性，本文件要求按照样地法（附录 A）在项目周期内首末两次测定林地生物质碳储量，碳储量相减得到碳汇量，用以充分检验本计量方法的适用性。若基于样地法的计量结果与本计量方法的计量结果相比误差小于 10%，可基于保守性原则，在首次计量时选用较小值作为监测区域当年碳汇量。另外，在可能的情况下选择多种精度校验方式，不断提升数据质量，并形成相关文件记录数据质量的改进。

9.2 模型修正

在满足上述精度和误差要求的基础上，后续用本计量方法进行计量。若首次计量时，本方法的计量结果与验证计量结果相比较，则需采用首次计量时本计量方法与验证方法计量结果的比值，向下修正本计量方法的结果。

9.3 制度管理

- (1) 开展内部审核，公正客观地评审所报告的林地碳汇信息；
- (2) 建立数据采集和报告的规章制度，建立林地信息一览表，申报矢量数据属性表信息完整，有专人管理，选用适合的计算方法和排放因子、系数，形成文本并归档；

(3) 建立健全经营管护措施，对项目边界内小班变更、采伐、森林火灾等重要事项进行监测和记录，并在林地信息一览表中定期进行更新；

(4) 建立申报文档管理规范，加强林地生态系统碳券文件及有关资料的存放和维护，避免重复申报。

样 地 法

A.1 计量边界和周期

与正文第 6 章“计量边界和周期”保持一致。

A.2 样地法计量方法

A.2.1 碳库和温室气体排放源的选择

本方法对于计量边界内碳库的选择如表 1。只考虑林地生物量，包括地上生物量、地下生物量。

表 1 碳库的选择

碳库	是否选择	理由或解释
地上生物量	是	这是项目活动产生的主要碳库
地下生物量	是	这是项目活动产生的主要碳库

本方法对项目边界内温室气体排放源的选择如表 2。仅考虑计量边界内由森林火灾引起木本生物质燃烧造成的非 CO₂温室气体排放，包括 CH₄ 和 N₂O。

表 2 温室气体排放源的选择

温室气体排放源	温室气体种类	是否选择	理由或解释
生物质燃烧	CO ₂	否	生物质燃烧导致的 CO ₂ 排放已在碳储量变化中考虑
	CH ₄	是	有森林火灾发生，会导致生物质燃烧产生 CH ₄ 排放
		否	没有森林火灾发生
	N ₂ O	是	有森林火灾发生，会导致生物质燃烧产生 N ₂ O 排放
		否	没有森林火灾发生

A.2.2 碳层划分

如果项目边界区内包含不同的森林类型或者不同龄组等，则需要对碳汇进行分层计算以提高碳储量变化量计量的精度和准确性。根据森林资源二类调查数据、森林资源管理“一张图”数据，以及三类调查森林资源等项目参与方在法定范围内均认

可的数据源，按优势树种（组）、龄组等因子来划分碳层。

将项目边界内植被分为乔木林、灌木林、竹林和其他林等林地类型，分别选择样地进行碳储量变化量的计算，测定样地的位置、树种、树高和胸径等内容，进一步计算样地的地上生物量、碳储量，最终获得样地的碳储量变化量。本方法通过实测法监测获取不同植被的样地真值，如条件允许，也可以结合激光雷达（包括星载、机载和地基）对样地植被参数进行测量。

A.2.3 生物量的计算

A.2.3.1 乔木林

使用生物量方程法或生物量转换因子法计算乔木林的生物量，每次计算均须使用同一类方法，以保证结果的可比性。

(1) 生物量方程法

使用单株林木的全株（地上或地下）生物量与林木胸径和（或）树高的相关方程，再根据单位面积林木数量，计算乔木林全林生物量。

$$B_{Total,AF,i,t} = \sum_j [f(DBH_{AF,i,j,t}, H_{AF,i,j,t}) \times N_{i,j,t}] \times 10^{-3} \quad (A.1)$$

$$B_{Total,AF,t} = \sum_i B_{Total,AF,i,t} \quad (A.2)$$

式中：

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

$B_{Total,AF,i,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷（t d.m.·hm⁻²）；

$f(DBH_{AF}, H)$ —— 乔木全株（或地上）生物量与胸径（单位为厘米，cm）和（或）树高（单位为米，m）的相关方程（单位为千克每株，kg d.m.·stem⁻¹），具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇（CCER-14-001-V01）》表 A.1-A.4；

$DBH_{AF,i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林第 j 树种的平均胸径，单位为厘米（cm）；

$H_{AF,i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层乔木林第 j 树种的平均树高，单位为米（m）；

i —— 碳层， $i=1,2,3,\dots$ ，无量纲；

- j —— 树种, $j=1,2,3,\dots$, 无量纲;
- $N_{i,j,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 项目碳层乔木林树种 j 的单位面积株数, 单位为株每公顷 ($\text{stem}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- t —— 自项目开始以来的年数, $t=1, 2, 3,\dots$, 无量纲;
- 10^{-3} —— 将千克转换为吨的常数。

(2) 生物量转换因子法

利用生物量转换与扩展因子, 将乔木蓄积量 (或单株材积) 转换为乔木林 (或单木) 的全林 (或地上) 生物量。

若计算的是全林生物量, 则直接利用全林生物量方程计算:

$$B_{\text{Total}} = \alpha + b \cdot V \quad (\text{A.3})$$

式中:

- B_{Total} —— 单位面积全林生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- H —— 单位面积蓄积量, 单位为立方米每公顷 ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$);
- α 、 b —— 模型参数, 具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.5。

若计算的是地上生物量, 则利用乔木林地下生物量与地上生物量的比值转化为乔木林全林生物量, 具体公式如下:

$$B_{\text{Total,AF},t} = V_{\text{AF},t} \times \text{BCEF} \times (1 + \text{RSR}_{\text{AF}}) \quad (\text{A.4})$$

$$B_{\text{Total,AF},t} = \sum_j \sum_s [V_{j,s,t} \times \text{BCEF}_j \times (1 + \text{RSR}_{\text{AF},j})] / A_{\text{AF},t} \quad (\text{A.5})$$

$$V_{j,s,t} = f_v(\text{DBH}_{j,s,t}, H_{j,s,t}) \quad (\text{A.6})$$

式中:

- $B_{\text{Total,AF},t}$ —— 第 t 年时, 乔木林单位面积全林生物量, 单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$);
- $V_{\text{AF},t}$ —— 第 t 年时, 乔木林的单位面积蓄积量, 单位为立方米每公顷 ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$);
- $V_{j,s,t}$ —— 第 t 年时, 乔木林内树种 j 第 s 株树的立木材积, 单位为立方米 ($\text{m}^3\cdot\text{stem}^{-1}$);

BCEF	——	基于林分的乔木林地上生物量转换与扩展因子,单位为吨每立方米 (t d.m.·m ³), 具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.5;
BCEF _j	——	基于单木的乔木林树种 j 的地上生物量转换与扩展因子,单位为吨每立方米 (t d.m.·m ³), 具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.6;
RSR _{AF}	——	基于林分的乔木林地下生物量与地上生物量的比值,无量纲,具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.9;
RSR _{AFj}	——	基于单木的乔木林树种 j 的地下生物量与地上生物量的比值,无量纲,具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.8;
A _{AF,t}	——	第 t 年时,乔木林面积,单位为公顷 (hm ²);
f _v (DBH _{j,s,t} , H _{j,s})	——	乔木林内树种 j 的单株立木材积方程,单位为立方米 (m ³),具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》;
j	——	树种, j=1, 2, 3……, 无量纲;
s	——	乔木林内树种 j 的单木, s=1, 2, 3……, 单位为株 (stem);
t	——	自项目开始以来的年数, t=1, 2, 3……, 无量纲。

A.2.3.2 灌木林

使用生物量方程法或缺省值法计算灌木林单位面积生物量,每次计算均须使用同一类方法,以保证结果的可比性。

(1) 生物量方程法

通过构建灌木林单株全株生物量、地上(或地上部各器官)或地下生物量与灌木测树因子(如基径、灌高、冠幅等)的相关方程,再结合单位面积灌木株数进行计算。

$$B_{\text{Total,SF}} = \sum_j \sum_p f_{\text{SF},j,p}(x_1, x_2, x_3, \dots) \times N_j \times 10^{-3} \quad (\text{A.7})$$

式中:

$B_{\text{Total,SF}}$	——	灌木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)；
$f_{\text{SF},j,p}(x_1, x_2, x_3, \dots)$	——	灌木林中第 j 类灌木器官 p 的生物量与测树因子 (x_1, x_2, x_3, \dots ，如基径、灌高、冠幅等) 的相关方程，单位为千克每株 ($\text{kg}\cdot\text{stem}^{-1}$)；具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.16-A.17；
N_j	——	灌木林中第 j 类灌木的单位面积株数，单位为株每公顷 ($\text{stem}\cdot\text{hm}^{-2}$)；
j	——	灌木种类， $j=1, 2, 3, \dots$ ，无量纲；
p	——	灌木的器官，可分为叶、枝、茎、根等；也可分为地上与地下部分；也可是全株，无量纲；
10^{-3}	——	将千克转换为吨的常数。

(2) 缺省值法

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

$$B_{\text{Total,SF},t} = AGB_{\text{SF}} \times CC_{\text{SF},t} \times (1 + RSR_{\text{SF}}) \quad (\text{A.8})$$

式中：

$B_{\text{Total,SF},t}$	——	第 t 年时，灌木林单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 ($\text{td.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)；
AGB_{SF}	——	灌木林成熟稳定时的平均单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)，具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.15；
$CC_{\text{SF},t}$	——	第 t 年时，灌木林盖度，用小数表示（例如盖度 10%记为 0.10），无量纲；
RSR_{SF}	——	基于林分的灌木林地下生物量与地上生物量的比值，无量纲，具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.15。

A.2.3.3 竹林

竹林生物量为地上生物量和地下生物量的总和。地上生物量通过生物量方程法

进行计算，地下生物量通过地下生物量与地上生物量的比值进行计算。

(1) 地上生物量的计算

在发育阶段，竹林的生物量、株数、平均胸径、平均竹高等都会发生明显的变化。而达到成林稳定阶段后，由于择伐或自然枯损以及新竹的生长，竹林地上生物量基本上处于动态平衡状态。假定竹林达到成熟稳定的竹龄为 T_b ，在竹龄 (t_b) 达到成熟稳定年龄之前 ($t_b \leq T_b$)，可采用下列方法计算竹林地上生物量。竹林达到成林稳定后 ($t_b > T_b$)，则等于第 T_b 年时的竹林地上生物量。

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

(A.9)

式中：

- | | | |
|----------------------------------|----|--|
| AGB_{t_b} | —— | 第 t_b 年时，竹林单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 (t d.m.·hm ⁻²)； |
| $f_{AGB,BF}(DBH_{t_b}, H_{t_b})$ | —— | 竹子单株地上生物量与胸径和(或)竹高的相关方程，单位为千克每株 (kg d.m.·stem ⁻¹)，具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.13-A.14； |
| DBH_{t_b} | —— | 第 t_b 年时，竹林平均单株胸径，单位为厘米 (cm)； |
| H_{t_b} | —— | 第 t_b 年时，竹林平均单株高度，单位为米 (m)； |
| N_{t_b} | —— | 第 t_b 年时，竹林单位面积株数，单位为株每公顷 (stem·hm ⁻²)； |
| t_b | —— | 项目竹龄，无量纲； |
| 10^{-3} | —— | 将千克转换为吨的常数。 |

(2) 地下生物量的计算

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

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

$$BGB_{BF,t_b} = \begin{cases} AGB_{BF,t_b} \times RSR_{BF} & t_b \leq T_b \\ AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF} + AGB_{BF,t_b} \times RSR_{BF} \times SC_{BF,t_b} & T_b < t_b \leq 2T_b \\ AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF} + AGB_{BF,T_b} \times RSR_{BF} \times SC_{BF,2T_b} & t_b > 2T_b \end{cases}$$

(A.10)

式中：

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

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

RSR_{BF} —— 基于林分的竹林地下生物量与地上生物量的比值，无量纲，具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 A.12；

AGB_{BF,T_b} —— 竹林达到稳定成熟年龄时的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 ($t \cdot d.m. \cdot hm^{-2}$)；

SC_{BF,t_b} —— 第 t_b 年时，竹林累计择伐地上生物量占 AGB_{BF,t_b} 的比例（如株数比例），无量纲。

A.2.3.4 其他林

对于项目边界内兼有生态经济效益的树种如核桃、皂荚等林分及其他散生木，仅存在少量修枝等经营行为时，计算方法可参考乔木林执行。

A.2.4 碳储量的计算

分别计算各碳层内各树种的全林生物质碳储量。当无法直接计算全林生物质碳储量时，可选择分别计算各碳层内各树种的地上和地下生物质碳储量，然后加总得到全林生物质碳储量，再利用 CO_2 与碳的分子量比 (44/12) 将碳含量 (tC) 转换为二氧化碳当量 (tCO_2e)：

$$C_{Biomass,t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times B_{Total,i,j,t} \times CF_{Total,i,j}) \quad (A.11)$$

$$C_{AGB,t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times AGB_{i,j,t} \times CF_{AGB,i,j}) \quad (A.12)$$

$$C_{BGB,t} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times BGB_{i,j,t} \times CF_{BGB,i,j}) \quad (A.13)$$

$$C_{\text{Biomass},t} = C_{\text{AGB},t} + C_{\text{BGB},t} \quad (\text{A.14})$$

式中：

- $C_{\text{Biomass},t}$ —— 第 t 年时，森林生物质碳储量，单位为吨碳 (t C)；
- $C_{\text{AGB},t}$ —— 第 t 年时，森林地上生物质碳储量，单位为吨碳 (t C)；
- $C_{\text{BGB},t}$ —— 第 t 年时，森林地下生物质碳储量，单位为吨碳 (t C)；
- $A_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的森林面积，单位为公顷 (hm^2)；
- $\text{AGB}_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积地上生物量，单位为吨每公顷 (t d.m. hm^{-2})；
- $\text{BGB}_{i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积地下生物量，单位为吨每公顷 (t d.m. hm^{-2})；
- $B_{\text{Total},i,j,t}$ —— 第 t 年时，第 i 项目碳层树种 j 的单位面积全林生物量，单位为吨每公顷 (t d.m. hm^{-2})；
- $\text{CF}_{\text{AGB},i,j}$ —— 第 i 碳层树种 j 的地上生物量含碳率，单位吨碳每吨 (t C (t d.m.)^{-1})；
- $\text{CF}_{\text{BGB},i,j}$ —— 第 i 碳层树种 j 的地下生物量含碳率，单位吨碳每吨 (t C (t d.m.)^{-1})；
- $\text{CF}_{\text{Total},i,j}$ —— 第 i 碳层树种 j 的全林生物量含碳率，单位吨碳每吨 (t C (t d.m.)^{-1})；
- i —— 碳层， $i=1,2,3,\dots$ ，无量纲；
- j —— 树种， $j=1,2,3,\dots$ ，无量纲；
- t —— 自项目开始以来的年数， $t=1, 2, 3,\dots$ ，无量纲。

A.3 温室气体排放量增加的计算

项目活动不涉及全面清林、计划烧除等控制性火烧，主要考虑项目边界内森林火灾引起森林地上生物质燃烧造成的非 CO_2 温室气体排放，不考虑死有机质的燃烧。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：

$$\text{GHG}_{\text{FIRE,AGB},t} = \sum_i [A_{\text{BURN},i,t} \times \text{AGB}_{i,T_v} \times \text{COMF}_i \times (\text{EF}_{\text{CH}_4} \times \text{GWP}_{\text{CH}_4} + \text{EF}_{\text{N}_2\text{O}} \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}})] \times 10^{-3} \quad (\text{A.15})$$

式中：

$\text{GHG}_{\text{FIRE,AGB},t}$	——	第 t 年时，项目边界内由于森林火灾引起地上生物质燃烧造成的非 CO_2 温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($\text{tCO}_2\text{e}\cdot\text{a}^{-1}$)；
$A_{\text{BURN},i,t}$	——	第 t 年时，第 i 项目碳层发生燃烧的土地面积，单位为公顷 (hm^2)；
AGB_{i,T_v}	——	火灾发生前，项目最近一次核查时第 i 项目碳层的地上生物量，单位为吨每公顷 ($\text{t d.m.}\cdot\text{hm}^{-2}$)；
COMF_i	——	第 i 项目碳层的燃烧指数，针对植被类型取值，无量纲，具体参照《温室气体自愿减排项目方法学-造林碳汇 (CCER-14-001-V01)》表 D.1；
EF_{CH_4}	——	CH_4 排放因子，单位为克甲烷每千克 ($\text{g CH}_4\cdot(\text{kg d.m.})^{-1}$)；
$\text{EF}_{\text{N}_2\text{O}}$	——	N_2O 排放因子，单位为克氧化亚氮每千克 ($\text{g N}_2\text{O}\cdot(\text{kgd.m.})^{-1}$)；
GWP_{CH_4}	——	CH_4 的全球增温潜势，用于将 CH_4 转换成 CO_2e ，无量纲；
$\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$	——	N_2O 的全球增温潜势，用于将 N_2O 转换成 CO_2e ，无量纲；
i	——	项目碳层， $i=1,2,3,\dots$ ；根据第 T_v 年核查时的分层确定，无量纲；
t	——	自项目开始以来的年数， $t=1,2,3,\dots$ ，无量纲；
T_v	——	自项目开始至项目最近一次核查的时间，无量纲；
10^{-3}	——	将千克转换成吨的常数。

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

A.4 碳汇量计算

碳汇量等于碳库的碳储量变化量减去项目边界内温室气体排放量的增加量。基于保守性原则，不考虑枯落物、枯死木、木产品以及土壤有机碳库中碳储量的变化量。根据森林经营碳汇项目方法学适用条件，项目活动无潜在泄漏，也不考虑。

碳汇量的计算方法为：

$$\text{BJCER} = \Delta C_{p,t} - \text{GHG}_{E,t} \quad (\text{A.16})$$

式中：

BJCER	——	为计入期 t 年内林地生态系统碳券减排量，单位为吨 CO_2 当量；
$\Delta C_{p,t}$	——	为计入期 t 年内项目边界内所选碳库碳储量的变化量，单位为吨 CO_2 当量；

$\text{GHG}_{E,t}$ —— 为计入期 t 年内项目边界内排放的非 CO_2 温室气体增加量, 单位为吨 CO_2 当量。