|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 65.020.40 |
| CCS | P86 |

|  |
| --- |
| 54 |

西藏自治区地方标准

DB 54/T XXXX—XXXX

生态系统碳汇计量与监测体系建设技术规范 第1部分:森林碳汇计量与监测方法

（征求意见稿）

2025 - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

       发布

目次

[前言 II](#_Toc200050379)

[引言 III](#_Toc200050380)

[1　范围 1](#_Toc200050381)

[2　规范性引用文件 1](#_Toc200050382)

[3　术语和定义 1](#_Toc200050383)

[4　基本要求 2](#_Toc200050384)

[4.1　计量目标 2](#_Toc200050385)

[4.2　计量原则 2](#_Toc200050386)

[4.3　总体技术流程 3](#_Toc200050390)

[5　调查监测方法 3](#_Toc200050397)

[5.1　碳层划分 4](#_Toc200050401)

[5.2　抽样设计 4](#_Toc200050401)

[5.3　样地与样方设置 4](#_Toc200050401)

[5.4　样地基本因子调查与记载 5](#_Toc200050407)

[6　计量核算方法 6](#_Toc200050414)

[6.1　样地调查法 6](#_Toc200050415)

[6.2　遥感反演 13](#_Toc200050423)

[6.3　碳汇量 15](#_Toc200050424)

[7　档案管理 15](#_Toc200050426)

[8　数据质量控制 15](#_Toc200050427)

[附录A（规范性） 主要树种（组）二元生物量模型参数 17](#_Toc200050428)

[附录B（规范性） 主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数 19](#_Toc200050429)

[附录C（规范性） 主要树种（组）基本木材密度 21](#_Toc200050430)

[附录D（规范性） 主要树种（组）含碳系数 22](#_Toc200050431)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是DB54/T XXXX—2025《生态系统碳汇计量与监测体系建设技术规范》的第1部分。DB54/T XXXX—2025已经发布了以下部分：

——第1部分：森林碳汇计量与监测方法；

——第2部分：草地碳汇计量与监测方法；

——第3部分：湿地碳汇计量与监测方法；

——第4部分：荒漠碳汇计量与监测方法。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由西藏自治区林业和草原局、西藏自治区林业调查规划研究院提出。

本文件由西藏自治区林业和草原标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：西藏自治区林业调查规划研究院、国家林业和草原局中南调查规划院、国家林业和草原局西北调查规划院、国家林业和草原局西南调查规划院。

本文件主要起草人：李佳、梁曾飞、杨传金、曹华燕、彭泰来。

1. 引言

森林、草地、湿地和荒漠是西藏自治区生态系统的重要组成部分，在固碳增汇、调节区域气候等方面发挥着不可替代的作用。建立规范的生态系统碳汇计量与监测体系，科学量化生态系统碳汇功能，对支撑西藏自治区生态保护与高质量发展、服务国家“双碳”战略目标具有重要意义。DB54/T XXXX《生态系统碳汇计量与监测体系建设技术规范》旨在规范和指导西藏自治区森林、草地、湿地和荒漠生态系统碳汇计量与监测方法，拟由四个部分构成。

——第1部分：森林碳汇计量与监测方法。目的在于规范和指导森林生态系统碳汇计量与监测方法。

——第2部分：草地碳汇计量与监测方法。目的在于规范和指导草地生态系统碳汇计量与监测方法。

——第3部分：湿地碳汇计量与监测方法。目的在于规范和指导湿地生态系统碳汇计量与监测方法。

——第4部分：荒漠碳汇计量与监测方法。目的在于规范和指导荒漠生态系统碳汇计量与监测方法。

本文件为《生态系统碳汇计量与监测体系建设技术规范 第1部分：森林碳汇计量与监测方法》。

生态系统碳汇计量与监测体系建设技术规范

第1部分 森林碳汇计量与监测方法

1　范围

本文件规定了森林碳汇计量与监测的术语和定义、基本要求、调查监测方法、计量核算方法、档案管理、数据质量控制等内容。

本文件适用于西藏自治区范围的森林碳储量和森林碳汇监测与计量核算。

2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程

GB/T 43648 主要树种立木生物量模型与碳计量参数

LY/T 2988 森林生态系统碳储量计量指南

LY/T 3253 林业碳汇计量监测术语

LY/T 3330 森林土壤碳储量调查技术规程

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1　  
森林碳汇

森林植物群落通过光合作用吸收大气中的二氧化碳将其固定在森林植被和土壤中的所有过程、活

动或机制。

[来源：LY/T 3253—2021，3.2.2]

3.2

森林碳储量

森林生态系统各碳库中碳元素储存的数量之和。

3.3　  
森林碳库

森林生态系统中碳储存的形式或场所,通常包括地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤有机质五个碳库。

[来源：LY/T 3253—2021，3.2.14,有修改]

3.4　  
生物量模型

以森林植被测定因子（胸径、树高等）为自变量，以森林植被总生物量或各分项生物量为因变量，利用统计分析原理和方法而建立的回归模型。

3.5　  
生物量转换因子

将树干材积转换为地上生物量的换算因子，用BCF表示。

[来源：GB/T 43648—2024，3.3]

3.6　  
生物量扩展因子

森林生态系统林木地上生物量与树干生物量的比值，用BEF表示。

[来源：LY/T 2988—2018，3.9]

3.7　  
根茎比

林木地下生物量与地上生物量之比，用RSR表示。

[来源：GB/T 43648—2024，3.5]

3.8　  
木材密度

单位体积木材质量，用WD表示。通常分全干密度、气干密度和基本密度，此处指树干(含树皮)基本密度，即树干（干材+干皮）生物量与树干材积之比。

[来源：GB/T 43648—2024，3.7]

3.9　  
含碳系数

林木生物量中的有机碳占有机质总量的比值，也叫含碳因子或含碳率，用CF表示。

[来源：GB/T 43648—2024，3.8]

3.10　  
抽样精度

调查样本的统计量与其所代表的总体值的接近程度。

4　基本要求

4.1　计量目标

结合计量工作要求，准确计量核算监测区域的森林碳储量和森林碳汇，为制定和完善森林生态系统保护、管理、利用方针和政策等工作提供科学依据，为区域宏观决策和林业碳汇项目开发提供数据支持。

4.2　计量原则

4.2.1　系统性

森林碳汇计量工作须明确目标对象；基础资料应涵盖监测区域主要森林植被类型，采用统一、标准的核算方法，充分利用基础数据资料，客观、真实地反映监测区域森林碳储量、森林碳汇量，保证计量工作具有系统性、科学性和完整性。

4.2.2　经济性

既考虑计量和监测的精度和准确性，也考虑成本因素。优先使用现有的国家、行业以及相邻区域的地方生物量模型、碳计量参数。针对计量精度较差的模型，结合监测区域森林植被分布特征，布设监测样地，开展外业调查采样、实验室理化分析，建立森林碳计量本地模型及参数，提高计量结果的真实性与可靠性、实现森林碳汇精准计量。

4.2.3　确定性

计量工作必须做到基础数据可靠、计量方法科学、核算结果准确，降低不确定性。开展工作时应优先使用实地调查监测数据，若现有资料无法满足核算需求，应及时开展补充调查工作。

4.3　总体技术流程

4.3.1 明确计量对象

根据工作目标，明确计量的空间范围，典型森林类型、面积与分布情况，确定工作重点和计量基准时间。

4.3.2 基础数据收集

收集计量工作所需相关文献资料、森林资源调查监测数据、遥感数据、基础地理信息数据等，收集的基础数据要注重及时性、准确性、一致性和完整性。

4.3.3 确定计量单元

综合考虑目标区域的空间范围、森林类型、碳库选择等因素，确定计量方法，确定合理的基本计量单元。

4.3.4 模型参数检验

在项目区域内，针对已有的森林植被生物量及碳储量计量模型参数开展适用性检验，符合精度要求的模型参数方可用于计量核算；针对目标区域内某种森林植被类型占比较大，且缺少模型参数或计量结果误差过大的部分，需开展本地化计量模型参数研建；其余部分可采用国家、行业、地方相关标准规程推荐的模型参数开展计量工作。

4.3.5 碳储量核算

以样地或小班为基础计量单元，基于森林资源调查监测资料，分别计算乔木层、灌木层、草本层、枯落物层、枯死木层和土壤层碳储量并进行汇总，核算监测区域森林碳储量。

4.3.6 碳汇量核算

核算监测区域内碳储量在一段时期内的变化量。

5　调查监测方法

5.1　碳层划分

在抽样前应对森林进行碳层划分，主要根据地类、优势树种、海拔、龄组、土壤类型等关键特征因子进行分层。

5.2　抽样设计

5.2.1 抽样方法

自治区层面调查应采用系统抽样方法进行，或使用符合监测时限要求的全自治区综合监测样地调查数据。自治区层面以下调查可采用系统抽样、分层抽样和随机抽样等方法。

5.2.2 样地数量

监测所需的样地数量，可采用以下公式计算：

…………………………………………（1）

式中：

——计算监测区域内森林碳储量所需的样地数量，无量纲；

——可靠性指标，在一定可靠性水平下，自由度为无穷（）时查分布双侧分位数表获得，取值为1.645，无量纲；

——监测区域内森林第碳层的面积权重，无量纲。，其中为第碳层的面积（hm2），为草地总面积；

——监测区域内森林第碳层单位面积碳储量的标准差，单位为吨碳每公顷（tC/hm2）。取值为评估基准年第碳层单位面积碳储量的10%；

——监测区域内森林单位面积碳储量的标准差，单位为吨碳每公顷（tC/hm2）。取值为评估基准年森林单位面积碳储量的10%；

——碳层，=1,2,3……，无量纲。

5.2.3 样地数量分配

依据样地数量计算结果，采用最优分配法对各碳层的样地数量进行分配，对于分配样地数量不足3个的碳层，最少设置3个样地，采用以下公式计算：

………………………………………………（2）

……………………………………………………（3）

——监测区域内森林第碳层计算碳储量所需的样地数量，无量纲；

——监测区域内森林计算碳储量所需的样地数量，无量纲；

——监测区域内森林第碳层的面积权重，无量纲。，其中为第碳层的面积（hm2），为森林总面积；

——监测范围内森林第碳层单位面积碳储量的标准差，单位为吨碳每公顷（tC/hm2）。取值为评估基准年第碳层单位面积碳储量的10%；

N ——监测范围内森林碳储量和碳汇量计量与监测所需的样地数量，无量纲；

——碳层，=1,2,3……，无量纲。

5.3　样地与样方设置

5.3.1　乔木、枯死木样地

乔木、枯死木样地形状为圆形，垂直投影面积为666.67 m2，样圆半径为14.57 m。

5.3.2　灌木样方

在位于样地正东、正北、正西2 m处位置，共设置3个2 m×2 m的正方形小样方。如不能代表乔木样地内的灌木水平，可位移。

5.3.3　草本、枯落物样方

在每个灌木样方内，设置大小为1 m×1 m 的正方形样方。如不能代表乔木样地内草本与枯落物的水平，可位移。

5.3.3　土壤样方

在位于样地正南2 m处位置，设置1个土壤样方。如不能代表乔木样地内的土壤，可位移。

5.3.5　样地、样方相对位置

乔木、枯死木样地和灌木样方、草本及枯落物样方、土壤样方相对位置，详见图 1。

**N**

**S**

**E**

**W**

**14.57m**

：草本、枯落物样方

：灌木样方

：土壤样方

**16.57m**

**2m**

**2m**

图1 样地样方相对位置图

5.4　样地基本因子调查与记载

5.4.1　乔木层调查与取样

乔木层调查的方法为每木检尺，乔木层检尺起测胸径为2.0 cm，根据每木检尺调查结果，每个径阶选择3-5株标准木测定树高。

5.4.2　灌木层调查与取样

灌木层包括林分中下木层所有活的木本植物，具体细分为灌木和胸径小于2.0 cm的所有活幼树。调查记录样方内所有植物名称、株数、高度、基径、植被盖度。将样方内所有灌木分地上和地下器官全部收获并称鲜重，分地上、地下两部分，将3个样方的样品混合均匀，取1个200 g的混合样，带回实验室测定其含水率及含碳率指标。

5.4.3　草本层调查与取样

草本层植物包括草本植物和蕨类植物，调查记录样方内主要植物名称、平均高、盖度。按样方将所有草本分地上和地下器官全部收获并称鲜重，分地上、地下两部分，将3个样方的样品混合均匀，取1个200 g的混合样，带回实验室测定其含水率及含碳率指标。

5.4.4　枯落物调查与取样

收集每个样方内的所有枯落物并称重。将3个样方的样品混合均匀，取1个200 g的混合样，带回实验室测定其含水率及含碳率指标。

5.4.5　枯死木调查与取样

5.4.5.1　枯死木种类

枯死木包括枯立木和枯倒木两种。

5.4.5.2　枯立木调查方法

调查样地内所有胸径大于5 cm枯立木，若树干树冠几乎完整，采用与活立木相同的方法进行调查。若为干折木、冠折木等，测量基径和胸径，并测量树干的高度，估测树干中央直径和顶部的直径，并测定枯立木的密度级。

枯立木的密度等级划分为腐木、半腐木、未腐木三级，可通过用弯刀敲击枯立木进行判断。如果刀刃反弹回来，即为未腐木；如果刀刃进入少许，则为半腐木；如果枯立木裂开则为腐木。

5.4.5.3　枯倒木调查方法

调查样地内所有木材直径≥5.0 cm、长度≥1.0 m的枯死倒木，所有枯倒木测量中央直径和长度，并测定枯倒木的密度级。

5.4.6　土壤层调查与取样

土壤样品采用分层采样的方式，土壤分层采取0⁓10 cm、10 cm⁓30 cm、30 cm⁓50 cm、50 cm⁓70 cm、70cm以上的土层分层，当土层厚度不足70 cm时采用0⁓10 cm，10 cm⁓20 cm，20 cm⁓40 cm，40 cm以上的土层分层。在挖掘好的土壤剖面上，在各土层中部位置，将环刀（规格70 mm×52 mm，200 cm3）的刃口向下垂直于剖面压入土中，直至环刀筒中充满样品为止。如果土壤较硬，可借助橡皮锤取样。用削土刀切开环刀周围的土壤，取出已装满土的环刀，细心削去环刀两端多余的土，并擦净环刀外面的土。每个土层取环刀样品1个，将环刀内土样全部取出，放在密封袋中临时保存，记录样品鲜重，土层厚度、带回室内测定容重、砾石含量和有机碳含量。

6　计量核算方法

6.1　样地调查法

6.1.1　乔木层

6.1.1.1　单木生物量

对于已发布《立木生物量模型及碳计量参数》行业标准的树种，根据调查监测所获得的各树种测树因子的数据，优先采用生物量模型计算单木生物量；对于未发布《立木生物量模型及碳计量参数》行业标准的树种，根据调查监测结果，采用生物量扩展因子及根茎比进行计算。

（1）按生物量异速方程法计算

基于样地调查中的每木检尺数据，采用二元生物量模型进行计算，样木各部分总生物量按式(4)计算，地上生物量按式(5)计算，地下生物量按式(6)计算：

(4)

(5)

(6)

式中：

——样木总生物量，单位：kg；

——样木地上生物量，单位：kg；

——样木地下生物量，单位：kg；

——胸径，单位：cm；

——树高，单位：m；

,,,,,——模型参数。

（2）按生物量转换因子法计算

基于样木材积、生物量转换因子及根茎比函数计算，样木各部分总生物量按式(4)计算，地上生物量按式(7)计算，地下生物量按式(8)计算：

(7)

(8)

式中：

——样木地上生物量，单位：kg；

——样木地下生物量，单位：kg；

——样木材积，单位：m3；

——生物量转换因子，单位：t/m3；

——根茎比，无量纲；

——胸径，单位：cm；

——树高，单位：m；

,,,,,——模型参数。

（3）按生物量扩展因子法计算

样木地上生物量采用样木材积、基本木材密度及生物量扩展因子，按式(9)进行计算。样木地下生物量按式(8)计算，样木总生物量按式(4)计算。

(9)

式中：

——样木地上生物量，单位：kg；

——样木材积，单位：m3；

——样木树种的基本木材密度，单位：t.d.m/m3；

——样木树种对应的生物量扩展因子，无量纲。

6.1.1.2　样地碳储量

该公式适用于样地乔木层碳储量计算，依据各树种含碳率计算，公式如下：

10-3 (10)

式中：

——样地中乔木层碳储量，单位：tC；

——第i个树种，第j株样木生物量，单位：kg；

——第i个树种对应的含碳率，无量纲。

6.1.1.3　区域碳储量

依据各样地乔木层碳储量，按式(11)计算各样地乔木层的平均值，按式(12）计算监测区域乔木层碳储量：

(11)

104 (12)

式中：

——第个样地乔木层碳储量，单位：tC；

——各样地乔木层碳储量的平均值，单位：tC；

——样地数量，单位：个；

——监测区域乔木层碳储量，单位：tC；

——监测区域总面积，单位：hm2。

——样地面积，单位：m2。

6.1.2　灌木层

6.1.2.1　样地生物量

样地灌木层生物量采用调查监测获得的样方数据进行计算，公式如下：

(13)

式中：

——样地灌木层生物量，单位：kg；

——第i个样方内灌木生物量，单位：kg；

——样方面积；单位：m2；

——样方个数；

——样地面积，单位：m2。

6.1.2.2　样地碳储量

样地灌木层碳储量计算公式如下：

10-3 (14)

式中：

——样地灌木层碳储量，单位：tC；

——样地灌木层生物量，单位：kg；

——灌木平均含碳率，无量纲。

6.1.2.3　监测区域碳储量

依据各样地灌木层碳储量，按式(15)计算各样地灌木层的平均值，按式(16）计算监测区域灌木层层碳储量：

(15)

104 (16)

式中：

——第个样地灌木层碳储量，单位：tC；

——各样地灌木层碳储量的平均值，单位：tC；

——样地数量，单位：个；

——监测区域灌木层碳储量，单位：tC；

——监测区域总面积，单位：hm2。

——样地面积，单位：m2。

6.1.3　草本层

6.1.3.1　样地生物量

样地草本层生物量采用调查监测获得的样方数据进行计算，公式如下：

(7)

式中：

——样地草本层生物量，单位：kg；

——第i个样方内草本层生物量，单位：kg；

——样方面积；单位：m2；

——样方个数；

——样地面积，单位：m2。

6.1.3.2　样地碳储量

样地草本层碳储量计算公式如下：

10-3 (8)

式中：

——样地草本层碳储量，单位：tC；

——样地草本层生物量，单位：kg；

——草本平均含碳率，无量纲。

6.1.3.3　监测区域碳储量

依据各样地草本层碳储量，按式(19)计算各样地草本层的平均值，按式(20）计算监测区域草本层碳储量：

(19)

104 (20)

式中：

——第个样地草本层碳储量，单位：tC；

——各样地草本层碳储量的平均值，单位：tC；

——样地数量，单位：个；

——监测区域草本层碳储量，单位：tC；

——监测区域总面积，单位：hm2。

——样地面积，单位：m2。

6.1.4　枯落物层

6.1.4.1　样地生物量

样地枯落物层生物量采用调查监测获得的样方数据进行计算，公式如下：

(21)

式中：

——样地枯落物层生物量，单位：kg；

——第i个样方内枯落物层生物量，单位：kg；

——样方面积；单位：m2；

——样方个数；

——样地面积，单位：m2。

6.1.4.2　样地碳储量

样地枯落物碳储量计算公式如下：

10-3 (22)

式中：

——样地枯落物碳储量，单位：tC；

——样地枯落物生物量，单位：kg；

——枯落物平均含碳率，无量纲。

6.1.4.3　监测区域碳储量

依据各样地枯落物碳储量，按式(23)计算各样地枯落物层的平均值，按式(24）计算监测区域枯落物层碳储量：

(23)

104 (24)

式中：

——第个样地枯落物层碳储量，单位：tC；

——各样地枯落物层碳储量的平均值，单位：tC；

——样地数量，单位：个；

——监测区域枯落物层碳储量，单位：tC；

——监测区域总面积，单位：hm2。

——样地面积，单位：m2。

6.1.5　枯死木层

6.1.5.1　样地生物量

样地枯死木层生物量采用调查监测获得的枯死木数据进行计算，公式如下：

····························· ···························(25)

(26)

式中：

——第i棵枯死木生物量，单位：kg；

——第i棵枯死木材积，单位：m3；

——枯死木树种的基本木材密度，单位：t.d.m/m3；

——枯死木树种对应的生物量扩展因子，无量纲。

——枯死木树种对应的根茎比，无量纲；

——第i棵枯死木密度级对应的系数，未腐木取值为1.00，半腐木取值0.80，腐木取值魏0.45，无量纲；

——样地枯落物层生物量，单位：kg

——枯死木数量；

6.1.5.2　样地碳储量

样地枯死木碳储量计算公式如下：

10-3 (27)

式中：

——样地枯死木碳储量，单位：tC；

——样地枯死木生物量，单位：kg；

——枯死木平均含碳率，无量纲。

6.1.5.3　监测区域碳储量

依据各样地枯死木碳储量，按式(28)计算各样地枯死木层的平均值，按式(29）计算监测区域枯死木层碳储量：

(28)

104 (29)

式中：

——第个样地枯死木层碳储量，单位：tC；

——各样地枯死木层碳储量的平均值，单位：tC；

——样地数量，单位：个；

——监测区域枯死木层碳储量，单位：tC；

——监测区域总面积，单位：hm2。

——样地面积，单位：m2。

6.1.6　土壤碳储量

6.1.6.1　样地碳储量

样地土壤碳储量按如下公式进行计算：

/100········································(30)

10-3······························ ···························(31)

式中：

——样地土壤碳储量，单位：tC；

——为第i层土壤的有机碳密度，单位：kg/m2；

——为第i层土壤的平均有机碳含量，单位：g/kg；

——为第i层土壤的容重，单位：g/cm3;

——为第i层土壤的深度，单位：cm；

——为第i层土壤的直径大于2 mm的砾石、根茎和其他枯木残余物所占的百分比，单位：%；

——为土壤分层，单位：cm；

——样地面积，单位：m2。

6.1.6.2　监测区域碳储量

依据各样地土壤层碳储量，按式(28)计算各样地土壤层的平均值，按式(29）计算监测区域土壤层碳储量：

(32)

104 (33)

式中：

——第个样地土壤层碳储量，单位：tC；

——各样地土壤层碳储量的平均值，单位：tC；

——样地数量，单位：个；

——监测区域土壤层碳储量，单位：tC；

——监测区域总面积，单位：hm2。

——样地面积，单位：m2。

6.1.7　森林碳储量

森林碳储量按如下公式进行计算：

(34)

式中：

——森林碳储量，单位：tC；

——乔木层碳储量，单位：tC；

——灌木层碳储量，单位：tC；

——草本层碳储量，单位：tC。

——枯落物层碳储量，单位：tC；

——土壤层碳储量，单位：tC。

6.2　遥感反演

6.2.1　光学遥感

(1) 模型构建

基于光学遥感数据开展区域尺度森林植被碳储量核算，可采用多元线性回归模型等参数模型或机器学习算法等非参数模型，建立森林植被碳密度反演模型，其基本形式如下：

(35)

式中：

——像元碳密度，即森林植被单位面积碳储量，单位：tC/hm2；

——自变量，即基于遥感数据的格网尺度的森林特征变量

(2) 模型评价

采用决定系数（R2 ），相对均方根误差（rRMSE），相对偏差（RBias），作为模型基本评价指标，用于验证模型精度，计算公式如下：

(36)

(37)

(38)

式中：

——样本实测值；

——模型估测值；

——样本均值；

——样本单元数；

(3) 结果反演

将自变量输入经验证评价后的反演模型，逐像元计算森林植被碳密度。并将反演结果与监测区域森林植被分布数据叠加，按式(39)逐小班计算其森林植被碳储量，并按式(40)统计核算监测区域内森林植被碳储量：

(39)

(40)

式中：

——单个小班内森林植被碳储量，单位：tC；

——单个小班内第i个像元的森林植被碳密度，单位：tC/hm2

——单个小班内有效像元数量，单位：个；

——小班面积，单位：hm2；

——监测区域内森林植被碳储量，单位：tC；

——监测区域内第j个小班的森林植被碳储量，单位：tC；

——监测区域内小班数量，单位：个。

6.2.2　机载激光雷达

本方法主要适用于林下灌木、草本极少的单层乔木林碳储量核算，主要核算过程如下：

（1）分割精度验证

需按式(41)验证点云单木分割精度，当单木分割精度≥90%时，方可执行后续步骤。否则应重新检验本方法在当前场景下的适用性。

(41)

式中：

——单木分割精度，单位：%；

——点云单木分割株数，单位：株；

——样地实测单木株数，单位：株。

（2）生物量模型构建

对激光雷达分割单木与检尺样木进行匹配，获取每株样木对应的激光雷达特征参数和实测全株生物量，形成样木点云特征参数与实测全株生物量的数据集。

将上述数据集按一定比例（例如：2:1、3:1、4:1）划分为训练集、测试集。以样木实测生物量为因变量，以样木点云特征参数为自变量，采用多元线性回归模型等参数模型或机器学习算法等非参数模型，建立激光雷达生物量模型，模型基本形式如下：

(42)

式中：

——单木生物量，单位：kg；

——单木点云特征参数。

（3）模型验证评价

按式(36)计算训练集、验证集的决定系数。其中，训练集决定系数应大于等于0.8、验证集决定系数应大于0.7。当模型精度满足要求，则可继续后续步骤；若不满足，则应查找原因，重新建模，直至达到精度要求。

（4）碳储量计算

采用通过精度验证的激光雷达生物量模型，遍历计算单木分割对象，获得每株单木的生物量，再结合各树种的含碳率，将单木生物量转化为碳储量，并将改区域内单木的碳储量进行求和，即可获得监测区域内的碳储量，计算公式如下：

(43)

式中：

——监测区域内森林植被碳储量，单位：tC；

——监测区域内第j颗样木的生物量，单位：kg；

——监测区域内第j颗样木树种对应的含碳系数。

6.3　碳汇量

碳汇量的计算方法采用碳储量变化法，核算监测区域内碳储量在一段时期内的变化量，计算公式如下：

······························ ···························(44)

式中：

——监测区域内*t*年间碳汇量，单位：t CO2e(吨二氧化碳当量)；

——监测区域内第年碳储量，单位：tC；

——监测区域内第年碳储量，单位：tC；

, ——对应的年份，单位：年；

1. 档案管理

项目业主应妥善保管收集的资料、野外调查记录表、参数测定结果、监测数据库、成果图件、计量与监测报告，建立台账（明确数据来源、数据获取时间、项目经办人、项目负责人）。所有档案应进行电子存档，至少保存10 a。

8　数据质量控制

首次监测应采用样地调查法，后续监测可采用遥感反演。一般植被层碳汇量的监测间隔期为5 a，土壤有机碳监测间隔期为5 a～10 a。

当采用基于样地开展监测时，其中样地的复位率应达到98%，样木的复位率应≥95%。样地固定标志的设置和复位方法参照《国家森林资源连续清查西藏自治区第三次复查操作细则》中的规定。

当采用光学遥感反演进行区域森林植被碳储量核算时，宜采用交叉验证法进行模型精度评价，建议当验证集R2大于0.7、rRMSE小于20%、RBias绝对值小于1%时，方可采用模型开展区域尺度森林植被碳储量反演，若不能满足精度要求，则应重新建模，直至达到精度要求。



附录A  
（规范性）  
主要树种（组）二元生物量模型参数

**A.1　主要树种（组）二元生物量模型参数**

表A.1 给出了西藏自治区主要树种（组）二元生物量模型参数值（适用于胸径<5 cm）。

* 1. 主要树种（组）二元生物量模型参数（适用于胸径<5 cm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **树种（组）** | **地上生物量模型参数** | | | **地下生物量模型参数** | | | **来源** |
| ao | a1 | a2 | bo | b1 | b2 |
| 1 | 冷杉 | 0.0916 | 1.8153 | 0.5084 | 0.012627 | 3.19747 | -0.33803 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 2 | 云杉 | 0.1269 | 2.1697 | 0.2566 | 0.032776 | 2.57872 | -0.34753 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 3 | 落叶松 | 0.1568 | 1.3733 | 0.5915 | 0.031445 | 2.19867 | -0.049798 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 4 | 马尾松 | 0.1173 | 1.7418 | 0.4976 | 0.043674 | 1.74485 | -0.080255 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 5 | 云南松 | 0.0702 | 2.1039 | 0.4112 | 0.014363 | 2.22637 | 0.19283 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 6 | 高山松 | 0.2231 | 1.6237 | 0.2747 | 0.039583 | 1.6237 | 0.32572 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 7 | 柏木 | 0.1609 | 1.5831 | 0.6152 | 0.04184 | 1.43574 | 0.64281 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 8 | 栎类 | 0.2300 | 1.3918 | 0.5739 | 0.15621 | 1.68493 | -0.18971 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 9 | 桦木 | 0.0891 | 1.8988 | 0.5202 | 0.017225 | 2.48504 | 0.28028 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 10 | 天然杨树 | 0.0653 | 1.9828 | 0.5916 | 0.02208 | 2.31139 | 0.08516 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 11 | 人工杨树 | 0.0984 | 1.5244 | 0.5916 | 0.059655 | 1.4382 | 0.08516 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| \*地上生物量模型：MA = a0DBHa1Ha2；地下生物量模型：MB = b0DBHb1Hb2 | | | | | | | | |

**A.2　主要树种（组）二元生物量模型参数**

表A.2 给出了西藏自治区主要树种（组）二元生物量模型参数值（适用于胸径≥5cm）。

* 1. 主要树种（组）二元生物量模型参数（适用于胸径≥5cm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **树种（组）** | **地上生物量模型参数** | | | **地下生物量模型参数** | | | **来源** |
| ao | a1 | a2 | bo | b1 | b2 |
| 1 | 冷杉 | 0.0620 | 2.0575 | 0.5084 | 0.0363 | 2.5414 | -0.3380 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 2 | 云杉 | 0.1573 | 2.0362 | 0.2566 | 0.0381 | 2.4847 | -0.3475 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 3 | 落叶松 | 0.0558 | 2.0155 | 0.5915 | 0.0226 | 2.4026 | -0.0498 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 4 | 马尾松 | 0.0666 | 2.0932 | 0.4976 | 0.0088 | 2.7383 | -0.0803 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 5 | 云南松 | 0.0702 | 2.1039 | 0.4112 | 0.0144 | 2.2264 | 0.1928 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 6 | 高山松 | 0.0894 | 2.1918 | 0.2747 | 0.0159 | 2.1918 | 0.3257 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 7 | 柏木 | 0.0943 | 1.9149 | 0.6152 | 0.0245 | 1.7675 | 0.6428 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 8 | 栎类 | 0.0781 | 2.0632 | 0.5739 | 0.0556 | 2.3266 | -0.1897 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 9 | 桦木 | 0.0636 | 2.1085 | 0.5202 | 0.0333 | 2.0759 | 0.2803 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 10 | 天然杨树 | 0.0584 | 2.0519 | 0.5916 | 0.0249 | 2.2378 | 0.0852 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 11 | 人工杨树 | 0.0293 | 2.2763 | 0.5916 | 0.0115 | 2.4623 | 0.0852 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| \*地上生物量模型：MA = a0DBHa1Ha2；地下生物量模型：MB = b0DBHb1Hb2 | | | | | | | | |

附录B  
（规范性）  
主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数

**B.1　主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数（适用于胸径<5 cm）**

表B.1 给出了西藏自治区主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数值（适用于胸径<5 cm）。

表B.1 主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数（适用于胸径<5 cm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **树种（组）** | **地上生物量转换因子模型参数** | | | **根茎比模型参数** | | | **来源** |
| co | c1 | c2 | do | d1 | d2 |
| 1 | 冷杉 | 0.6739 | 0.4524 | -0.5332 | 0.1379 | 1.3822 | -0.8464 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 2 | 云杉 | 0.7769 | 0.9488 | -0.7899 | 0.2583 | 0.4090 | -0.6042 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 3 | 落叶松 | 0.6577 | 0.2903 | -0.4010 | 0.2006 | 0.8254 | -0.6413 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 4 | 马尾松 | 0.8322 | 0.2929 | -0.4072 | 0.3724 | 0.0031 | -0.5779 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 5 | 云南松 | 0.7275 | 0.2151 | -0.3812 | 0.2045 | 0.1225 | -0.2184 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 6 | 高山松 | 1.0495 | 0.3407 | -0.5876 | 0.1775 | 0.0000 | 0.0511 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 7 | 柏木 | 1.7813 | 0.0906 | -0.5207 | 0.2601 | -0.1474 | 0.0277 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 8 | 栎类 | 1.7775 | -0.0970 | -0.3500 | 0.6792 | 0.2931 | -0.7636 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 9 | 桦木 | 1.0669 | 0.0807 | -0.3709 | 0.1934 | 0.5863 | -0.2399 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 10 | 天然杨树 | 0.8580 | 0.2175 | -0.3560 | 0.3381 | 0.3286 | -0.5065 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 11 | 人工杨树 | 0.9468 | 0.0289 | -0.3560 | 0.6064 | -0.0862 | -0.5065 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| \*生物量转换因子模型：BCF =C0DBHc1Hc2；根茎比模型：RSR = d0DBHd1Hd2 | | | | | | | | |

**B.2　主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数（适用于胸径**≥**5 cm）**

表B.2 给出了西藏自治区主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数值（适用于胸径≥5 cm）。

表B.2 主要树种（组）二元生物量转换因子及根茎比模型参数（适用于胸径≥5 cm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **树种（组）** | **生物量转换因子模型参数** | | | **根茎比模型参数** | | | **来源** |
| co | c1 | c2 | do | d1 | d2 |
| 1 | 冷杉 | 0.9423 | 0.2441 | -0.5332 | 0.5853 | 0.4839 | -0.8464 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 2 | 云杉 | 2.3898 | 0.2506 | -0.7899 | 0.2424 | 0.4484 | -0.6042 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 3 | 落叶松 | 0.7423 | 0.2151 | -0.4010 | 0.4061 | 0.3871 | -0.6413 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 4 | 马尾松 | 0.9952 | 0.1818 | -0.4072 | 0.1325 | 0.6451 | -0.5779 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 5 | 云南松 | 0.7275 | 0.2151 | -0.3812 | 0.2045 | 0.1225 | -0.2184 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 6 | 高山松 | 1.1190 | 0.3009 | -0.5876 | 0.1775 | 0.0000 | 0.0511 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 7 | 柏木 | 1.4326 | 0.2260 | -0.5207 | 0.2601 | -0.1474 | 0.0277 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 8 | 栎类 | 1.1716 | 0.1620 | -0.3500 | 0.7124 | 0.2634 | -0.7636 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 9 | 桦木 | 0.7869 | 0.2699 | -0.3709 | 0.5236 | -0.0326 | -0.2399 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 10 | 天然杨树 | 0.9463 | 0.1567 | -0.3560 | 0.4254 | 0.1860 | -0.5065 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 11 | 人工杨树 | 0.5371 | 0.3811 | -0.3560 | 0.3914 | 0.1860 | -0.5065 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| \*生物量转换因子模型：BCF = C0DBHc1Hc2；根茎比模型：RSR = d0DBHd1Hd2 | | | | | | | | |

附录C  
（规范性）  
主要树种（组）基本木材密度

**C.1　主要树种（组）基本木材密度**

表C.1 给出了西藏自治区主要树种（组）基本木材密度值。

表C.1 主要树种（组）基本木材密度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **树种（组）** | **基本木材密度**  **（g/cm3）** | **标准差** | **来源** |
| **1** | 冷杉 | 0.3464 | 0.0555 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **2** | 云杉 | 0.3730 | 0.0656 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **3** | 落叶松 | 0.4059 | 0.0725 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **4** | 马尾松 | 0.4476 | 0.0996 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **5** | 云南松 | 0.3499 | 0.0686 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **6** | 高山松 | 0.4159 | 0.0959 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **7** | 柏木 | 0.5010 | 0.1345 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **8** | 栎类 | 0.5762 | 0.122 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **9** | 桦木 | 0.4848 | 0.1232 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| **10** | 杨树 | 0.4177 | 0.0695 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |

附录D  
（规范性）  
主要树种（组）含碳系数

**D.1　主要树种（组）基本木材密度**

表D.1 给出了西藏自治区主要树种（组）基本木材密度值。

表D.1 主要树种（组）含碳系数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **分层** | **分类** | **含碳系数**  **（CF）** | **标准差** | **来源** |
| 1 | 乔木层  （全树含碳率） | 冷杉 | 0.4962 | 0.0267 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 2 | 云杉 | 0.4900 | 0.0656 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 3 | 落叶松 | 0.4893 | 0.0264 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 4 | 马尾松 | 0.5252 | 0.0094 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 5 | 云南松 | 0.5084 | 0.0137 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 6 | 高山松 | 0.5004 | 0.046 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 7 | 柏木 | 0.4847 | 0.0247 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 8 | 栎类 | 0.4802 | 0.0430 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 9 | 桦木 | 0.4872 | 0.0273 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 10 | 杨树 | 0.4705 | 0.0304 | 主要树种立木生物量模型与碳计量参数 GB/T 43648-2024 |
| 11 | 灌木层 | — | 0.4672 | — | 全国林业碳汇计量与监测技术指南试行（2011） |
| 12 | 草本层 | — | 0.3270 | — |
| 13 | 枯落物层 | — | 0.4700 | — |