

# 全国林业碳汇计量监测技术指南

(试行)

国家林业局调查规划设计院

2011年2月



## 前 言

为了适应我国林业应对气候变化工作新形势，符合政府间气候变化专门委员会（IPCC）林业碳计量指南要求，满足未来对林业碳汇可测量、可报告和可核查的“三可”要求，科学计量与监测全国林业碳储量及其动态变化，需要有统一的计量与监测技术与方法作指导，特编制本指南。

指南分为正文与附件两部分，其中正文包括七章内容，第一章，总则；第二章，碳汇计量与监测对象及范围；第三章，碳汇计量与监测的调查方法；第四章，碳汇计量与监测估算方法；第五章，计量与监测模型拟合与选择；第六章，技术与指标要求和不确定性分析；第七章，计量与监测成果。附件包括有关概念、术语、外业调查方法、碳库估算方法、相关模型和参数表等内容。

## 指南编制说明

一、为满足对我国林业碳汇现状计量与动态监测的需要，积极推进林业应对气候变化工作，国家林业局造林绿化管理司（气候办）委托国家林业局林业碳汇计量监测中心编制本指南。

二、指南主要是解决目前我国基于森林资源清查（一类）和森林资源规划调查（二类）数据，依据 IPCC 推荐的优良做法，进行森林碳汇源的计量和监测，同时结合其调查数据基础，建立全国分区域类型的碳源汇的计量与监测方法；根据湿地、荒漠化生态系统的国家林业局监测数据基础，提出针对此两类系统的碳源汇估算方法。

三、通过计量和监测成果需要解决的以下几方面问题，（1）是国家与省尺度的森林生态系统碳储量及其变化量；（2）国家、省等尺度土地利用变化与林业的碳动态；（3）对我国湿地、荒漠生态系统碳源汇进行首次计量。

四、指南使用过程中的不确定性分析，主要是针对原始数据获取、碳源汇计算方程式以及统计方法所带来对总体估计的不确定性分析，在使用过程中尽量减少各环节对总体碳估算的不确定性，提高估算精度与可靠性。

# 目 录

第一章 总 则 .....	1
第一节 指南编制的意义与必要性 .....	1
第二节 目标与原则 .....	1
第三节 指南所要完成的主要任务 .....	2
第四节 碳汇计量与监测的总体路线 .....	4
第五节 指南的适用对象 .....	5
第二章 碳汇计量与监测的对象及范围 .....	6
第一节 碳汇计量与监测对象 .....	6
第二节 碳源汇计量与监测范围 .....	8
第三节 碳源汇监测周期 .....	9
第三章 碳源汇计量与监测的调查方法 .....	10
第一节 总体的确定与面积调查方法 .....	10
第二节 样地抽样和调查 .....	10
第四章 碳源汇计量与监测估算方法 .....	13
第一节 国家尺度碳计量 .....	13
第二节 区域尺度碳计量 .....	22
第三节 碳汇监测 .....	23
第五章 计量与监测相关关系的拟合与选择 .....	27
第一节 单木异速生长方程 .....	27
第二节 生物量扩展因子模型 .....	28
第三节 遥感生物量估算模型 .....	30
第六章 技术与指标要求和不确定性分析 .....	33
第一节 技术要求 .....	33
第二节 调查指标及精度要求 .....	33
第三节 不确定性分析 .....	34
第七章 计量与监测成果 .....	36
第一节 森林碳储量现状 .....	36
第二节 林业碳动态变化 .....	36
第三节 森林碳储量及密度空间格局分布图 .....	37
第四节 其他专题成果 .....	38



# 第一章 总 则

## 第一节 指南编制的意义与必要性

如何科学合理计量与监测我国林业碳汇及其动态变化,已成为我国应对全球气候变化工作的迫切需要。《IPCC 土地利用、土地利用变化和林业(LULUCF) 优良做法指南》和《2006年 IPCC 国家温室气体清单指南》为计量林业相关活动导致的温室气体源/汇变化提供了技术指导。在充分利用国际现有的世界林业碳汇源计量与监测理论、技术和方法的基础上,为实现国际上对林业碳汇源可测量、可报告和可核查的“三可”要求,根据 IPCC 提出的估计、测量和监测林业碳储量变化和温室气体排放量的计算方法,结合我国林业资源监测和森林经营管理措施的特点,特编制国家层次的碳源汇计量与监测技术指南,以满足当前我国应对气候变化林业碳源/汇计量与监测的需求。

## 第二节 目标与原则

本指南遵循“国际接轨、节俭高效、及时可靠、系统全面”的原则。实现对我国森林生态系统、湿地生态系统、荒漠生态系统的碳储量计量及动态监测,以及针对土地利用、土地利用变化与林业(LULUCF),减少毁林与森林退化和增加森林增汇(REDD+)等方面碳源汇监测,同时实现为国家清单提交林业碳源/汇计量监测数据等多种目标。针对不同目标,确定不同监测周期,一般为2年或5年。计量监测空间区域范围包括国家尺度、区域尺度[包括:省(市、自治区)以下、流域、气候带、林区和林业工程等区域]。

### 第三节 指南所要完成的主要任务

#### 一、确定林业碳汇计量与监测的对象和内容

对象：根据 IPCC 对陆地生态系统碳库的定义，主要包括地上生物量、地下生物量、枯死木、枯落物和土壤有机质 5 个碳库，本指南所指的调查、计量与监测的主要对象是指这 5 个碳库以及与土地利用变化和林业活动有关的温室气体源/汇变化。

内容：现有林业调查数据的获取、抽样调查、生物量调查因子的测定、相关计量方程的选择与拟合、碳库储量及其变化的估算、不确定性分析、成果提交。

#### 二、提供调查、计量与监测的技术和方法

##### 1、数据获取与外业调查技术

获取现有的各种林业调查数据，主要包括：森林资源清查（一类调查）数据、森林资源规划设计调查（二类调查）数据、营造林数据、湿地资源调查数据、荒漠化和沙化土地监测数据、生态网络监测数据、遥感数据以及火灾、病虫害等灾害统计数据，以及其他有关调查规划、设计和研究数据等，按林业碳汇计量监测的数据结构要求进行整合与处理。现有数据能满足碳源/汇计量要求情况下，不再进行额外的外业调查和项目测定。

在现有各种林业调查数据不能满足全国碳源/汇计量与监测要求的情况下，需要进行森林碳汇专项调查，碳源/汇专项调查包括建立碳源/汇计量方程所需的数据调查和碳源/汇计量和监测的原始数据调查。两种调查的目的与要求不同，需要分别确定抽样和调查方法和内容。

对于湿地资源、荒漠化和沙化土地碳计量监测数据，一是充分利用现有的监测数据成果，二是开展针对湿地、荒漠土地的碳汇专项调查，获取遥感数据，满足对这两种陆地生态系统碳的计量监测数据要求。

遥感数据的获取与处理，根据遥感碳计量监测要求，进行遥感数据获取与标准化处理。

##### 2、内业估算方法

依据林业碳源/汇计量和监测的范围和对象，按已获取数据类型和碳汇专项

调查结果，选择合适的碳源/汇计量方法，进行碳源/汇的内业估算，包括现存量  
和碳储量动态监测内业估算。

### 3、计量与监测的主要调查因子

外业调查因子：生物量测定因子、立地条件因子、地被物调查因子、人类经营  
活动因子以及气象因子等。生物量测定因子：森林类型、林种、优势树种、胸  
径、树高、年龄（龄组）、生长等级等。

立地条件因子：地貌、土壤名称、土壤厚度、地形、枯落物厚度等。

地被物调查因子：植被类型、优势种名、盖度、高度、频度、分布状况等。

人类经营活动与气象因子：林分经营措施调查与记载，营造林与采伐方面记  
载，降水、气温、湿度、日照等气象因子。

### 三、明确林业碳汇计量和监测成果

主要有以下 4 个方面成果：

#### 1、森林碳储量现状成果

国家尺度和区域尺度的碳储量现状数据及分析报告。

#### 2、林业碳动态变化成果

按各种类型、区域、年龄等因子划分的碳储量现状分析报告、碳源/汇动态变  
化监测与分析报告、土地利用、土地利用变化与林业（LULUCF）以及 REDD+  
等方面的碳汇报告等。

#### 3、森林碳储量及密度空间分布图类成果

国家尺度和区域尺度的碳储量及其变化现状分布图、碳密度空间等级分布图  
等。

#### 4、其他专题成果

国家林业生态脆弱区和生态敏感区碳监测等方面的森林各专题碳源/汇计量  
与监测成果。

## 第四节 碳汇计量与监测的总体路线

### 一、确定总体，确定计量监测数据及其获取方法

国家尺度，充分利用我国现有森林资源调查数据；

区域尺度，确定采用典型抽样、系统抽样或分层抽样等抽样方法，开展碳源/汇专项调查，进行区域内的碳源/汇估算。

在利用我国现有湿地资源、荒漠化和沙化土地监测数据基础上，采用典型抽样、系统抽样等方法，开展碳源/汇专项调查，以建立碳计量方法体系，进行湿地、荒漠化和沙化土地碳储量及其动态监测。

### 二、抽样调查

根据总体边界和范围以及碳汇计量内容，按区域、森林类型等条件，选择典型抽样、系统抽样或分层抽样等抽样方法，进行调查，满足预期的目标和要求。针对现有全国森林资源清查数据和二类调查数据以及其他规划设计调查和研究数据，能够满足预期的计量监测总体，可以不进行抽样调查，利用现有数据成果实现目标要求。

### 三、碳库的调查与计量监测方法

有关林业关于陆地生态系统碳库的调查与计量监测方法其包括地上生物量、地下生物量、枯死木、枯落物和土壤有机质 5 个碳库。

### 四、碳源汇专项调查

#### 1、基于森林资源调查数据的碳汇专项调查

对于森林资源调查数据不能满足的生态系统整个碳库碳储量及其变化的计量，可开展针对乔木层以外的其他层碳库调查，主要包括灌木层、草本层、枯落物、地下生物量和土壤有机质等碳库专项调查。

#### 2、针对湿地、荒漠化和沙化土地以及碳源汇项目等开展的碳汇专项调查

现有湿地资源、荒漠化和沙化土地监测和碳汇项目数据不能满足计量和监测要求时，开展此类型的碳源/汇专项调查，包括调查区域的面积测定、碳源/汇计量因子调查测定等。

### **3、为建立区域和森林类型模型开展的碳汇专项调查**

目的是为建立按区域和森林类型的灌木层、草本层、枯落物及地下生物量等碳库的计量模型进行的专项调查。

## **五、计量模型的拟合、选择与模型建立**

### **1、计算公式与模型的类别确定**

针对不同森林资源调查数据源，需要选择相应碳储量估算模型，主要包括基于单株树的异速生长模型、基于树种和区域统计的蓄积生物量扩展因子方程，以及其他碳库估算的模型与公式。包括遥感生物量估算模型和湿地、荒漠化土地方面的遥感生物估算内容。

### **2、计算模型选择与检验**

通过对现有调查数据与模型进行拟合，根据模型应用的适应类型、森林年龄与分布区域等要素，选择适合的估算模型，并对所选择模型进行对比分析和精度校验，拟合出最佳模型或计算关系。

### **3、模型的应用**

选择能够满足数据支撑、符合精度要求，适合森林区域特征和树种龄组等条件的碳库计量与监测模型进行估算。

## **六、成果报告与分析评估**

详细内容见指南第七部分。

## **第五节 指南的适用对象**

本指南主要适用于国家林业碳汇计量监测队伍、各省林业碳汇计量监测队伍、社会有资质的林业碳汇计量监测队伍，也可以作为其他人员在碳计量时的参考资料。

## 第二章 碳汇计量与监测的对象及范围

### 第一节 碳汇计量与监测对象

#### 一、森林

本指南所指森林是指《森林资源连续清查技术规定》中规定的林分。采用《IPCC 土地利用、土地利用变化和林业优良做法指南》和《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》有关森林碳库分类方法，森林碳汇计量与监测是对其地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤有机质 5 个碳库进行测定与估算。

#### 1、地上生物量

地上生物量包括土壤层以上以干重表示的所有活生物量，可分为乔木（包括干、枝、叶、桩、皮、种子）、灌木（灌木、幼树）和草本。森林地上生物量按乔木层、灌木层和草本层 3 个部分的地上生物量进行调查和计量。

##### （1）乔木层

乔木层包括林分中起测胸径大于5cm的所有活立木。乔木层地上生物量可以细分为树干、树枝、树叶、树皮、树桩和果实等器官生物量。

##### （2）灌木层

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5cm的所有活幼树。

##### （3）草本层

草本层包括季末通常死掉的非木本植物。

#### 2、地下生物量

地下生物量包括活根的全部活生物量，具体细分为乔木层植被活根生物量和林下植被（灌木和草本）所有活根（包括根状茎、块根、板根）生物量。地下生物量可以不包括直径不足2mm的细根生物量。

### 3、枯落物

枯落物包括矿质土层或有机土壤以上、直径小于10cm、处于不同分解状态的所有死生物量，具体细分为凋落物、腐殖质，以及不能凭经验从枯落物中区分出来的直径小于2mm的活细根。

### 4、枯死木

枯死木包括除枯落物以外的所有死生物量，具体细分为枯立木、倒木、直径大于或等于10cm的地表木质残体、死根和树桩。

### 5、土壤有机质

土壤有机质包括一定深度内矿质土和有机土（包括泥炭土、沙砾层）中的有机质，还包括不能凭经验从土壤中区分出来的直径小于2mm的活细根。我国森林土壤有机质如无特殊情况按1m作为土壤厚度对土壤有机碳进行计量和监测。

## 二、森林外部分

森林外部分是指不符合我国森林有林地规定的林木。其碳汇计量与监测主要包括灌木林、四旁树、散生木、疏林地及其他类（城市森林、木质林产品）生物量。

### 1、灌木林

灌木林包括国家特别规定灌木林和附着有灌木树种或因生境恶劣矮化成灌木型的乔木树种以及胸径小于2cm的小杂竹丛，以经营灌木林为目的或起防护作用，连续面积大于0.067hm<sup>2</sup>、覆盖度在30%以上的林地。

### 2、四旁树和散生木

四旁树包括在宅旁、村旁、路旁、水旁等地栽植的面积不到0.067hm<sup>2</sup>的各种竹丛、林木。散生木等内容。

### 3、疏林

疏林地包括附着有乔木树种、郁闭度在0.10~0.19之间的林地。

### 4、其他类（城市森林、木质林产品）

本指南暂不包含此部分内容。

### 三、湿地

湿地是指天然的或人工的，永久的或间歇性的沼泽地、泥炭地、水域地带，带有静止或流动、淡水或半咸水及咸水水体，包括低潮时水深不超过6米的海域。本指南湿地包括《全国湿地资源调查技术规程》中所规定调查范围的湿地，即覆盖符合湿地定义的我国领土范围内的各类湿地资源，包括面积为8hm<sup>2</sup>（含8hm<sup>2</sup>）以上的近海与海岸湿地、湖泊湿地、沼泽湿地、人工湿地以及宽度10m以上，长度5km以上的河流湿地。

湿地碳汇计量与监测对象包括地上生物量、地下生物量和土壤有机质3个碳库。

### 四、荒漠化和沙化土地

荒漠化土地是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的退化土地。沙化土地指在各种气候条件下，由于各种因素形成的、地表呈现以沙（砾）物质为主要标志的退化土地。

本指南中的荒漠化和沙化土地包括《全国荒漠化和沙化监测技术规定》中规定的荒漠化和沙化土地监测范围，即全国沙化监测范围为所有分布有沙化土地和有明显沙化趋势的土地的地区；全国荒漠化监测范围为湿润指数在0.05-0.65之间的地区。

荒漠化和沙化土地碳汇计量对象包括地上生物量、地下生物量和土壤有机质3个碳库。

## 第二节 碳源汇计量与监测范围

国家与区域尺度的碳汇计量与监测范围包括国家（或区域内）森林、森林外部分、湿地和荒漠化土地类型，主要计量和监测其现状；生长变化；土地利用、土地利用变化与林业（LULUCF）以及减少毁林和森林退化的碳排放与经营等增加碳储量；REDD+；森林灾害等方面的碳排放等内容。

### 第三节 碳源汇监测周期

根据国家清单要求，对于全国尺度的碳汇监测周期需要2年开展一次，对于现有全国5年一次的森林资源清查数据，需要分阶段进行内插按年等分处理。

## 第三章 碳源汇计量与监测的调查方法

### 第一节 总体的确定与面积调查方法

#### 一、国家尺度

国家尺度包括全国及省（市、自治区）以上区域，林业碳汇计量与监测直接采用各省（市、自治区）林业资源调查数据。其总体面积与林业资源监测数据一致。

#### 二、区域尺度

区域和项目尺度依据林业碳源/汇计量与监测的总体范围，利用二类调查数据和其他相关数据源、划分项目或区域总体边界、确定面积。区域和项目面积确定方法：

- （1）各行政区域利用现有森林二类调查数据确定面积；
- （2）林业工程和项目区域可用林业工程规划、设计、实施图来确定；
- （3）区域内林业资源调查数据或边界等数据模糊或者不完整，可采用遥感方法或地形图结合GPS方法调查区域总体及其面积。

### 第二节 样地抽样和调查

#### 一、国家尺度

国家尺度直接依据全国森林资源清查体系的监测成果，不进行重新抽样调查。利用乔木层资源调查成果，通过建立的相关关系参数和函数关系，推算其碳库量。

#### 二、区域尺度

区域和项目尺度，利用森林资源二类调查成果和其他相关数据源以及湿地资源、荒漠化和沙化土地监测成果，进行相应范围内的碳汇计量和监测。如所提供

数据不能满足相应区域内的碳汇计量和监测，则进行碳汇专项调查，开展以下几方面的工作：样地的抽样、设置与调查，具体操作详见附件二、附件三。

## 1、样地抽样

样地抽样包括总体边界确定、样本单元数确定、抽样方法选取、确定样本量的大小、样本量分配方法等内容。下面主要介绍总体确定、样本单元确定和抽样方法选取三个方面内容，样地抽样调查方法详细内容见附件二。

### （1）总体确定

一般采用地形图或二类调查成果来确定，根据碳汇计量与监测范围确定区域和项目尺度碳汇计量与监测总体。

### （2）样本单元确定

碳汇计量与监测样本单元在满足不重不漏和有序的原则基础上，依据精度要求和植被类型进行确定。如果利用现有林业资源调查体系的样本单元时，要先对其进行检查，避免有重复、遗漏的情况发生，以提高样本对总体的代表性。

### （3）抽样方法选取

目前林业常用的抽样方法包括典型抽样、系统抽样和分层抽样等。碳汇计量与监测抽样方法的选取主要依据总体大小、林业调查数据详细程度和抽样方法特点选择适合条件的抽样方法。3种抽样方法的特点和适用条件如下：

典型抽样：如果对调查对象总体有一个全面的了解或调查对象数据比较完整，并且监测总体面积不是太大，推荐采用此抽样方法。

系统抽样：如果对调查对象事先不了解和调查对象数据缺乏，需要采用一种简单易行、具有较好代表性的抽样方法，推荐采用。

分层抽样：如果调查对象总体可以按林分特征因子进行分层，总体划分后各分层单元不重叠、遗漏，并且分层单元权重可以确定，需要采用准确性高的抽样方法时，推荐采用。

## 2、样地设置

基于已经完成的抽样设计图，利用GPS和罗盘仪进行样地定位，然后按样地设置要求进行设置。样地设置具体方法见附件二。

### 3、样地调查

样地调查内容包括地上生物量、地下生物量、枯落物生物量、枯死木生物量、土壤有机碳。按碳库外业调查表和碳库调查方法对样地各碳库进行调查和记录，碳库外业调查表和碳库调查方法见附件三、附件四。

## 第四章 碳源汇计量与监测估算方法

林业碳源汇计量对象包括森林、森林外部分、湿地、荒漠化和沙化土地。针对国家和区域两尺度对其各碳库进行计量。监测是根据IPCC相关指南的要求，在一定时间周期内（2-5年），对相应系统的碳库变化进行监测，结合变化原因进行分析，获得有效的监测成果。

### 第一节 国家尺度碳计量

#### 一、森林

全国森林植被总碳储量的估算是按各省森林碳库总量统计，各省森林碳库按其森林类型、优势树种（组）进行计量。按起源、龄组、经营方式等因子统计的碳储量，作为按专项因子分析要求进行计量。

森林生态系统碳储量计量内容是对五大碳库的分别方法、数据、模型和参数进行计量。数据来源于全国森林资源清查数据，结合相应模型与系数对各碳库进行计量，计量方法分别介绍如下。

其中，竹林、经济林和灌木林碳储量单独计量和监测，具体方法见附件六。

#### 1、乔木层碳储量

利用5年一次的森林资源清查成果进行乔木层生物量估算有以下两种方法：一是基于单株样木数据的生物量估算；二是基于样地统计数据生物量估算。

##### （1）基于样木数据

基于森林资源清查样木数据估算乔木层碳储量，需要选用相应的树木异速生长方程来进行估算，估算步骤流程为：

单株树的胸径（和树高）→单株树地上生物量→单株树地上碳储量→样地乔木层地上碳储量→乔木层碳储量总量。

具体方法如下：

单株树地上生物量：利用实测样木的胸径（与树高）数据选择基于单株树木各部分的异速生长方程，计算单株树生物量。

单株树地上碳储量：单株生物量乘以相应树种的碳含率。

样地乔木层碳储量：样地内所有乔木树种碳储量之和。

乔木层碳储量总量：将样地乔木层碳储量按其森林类型、树种分级计算，估算平均生物量（单位面积生物量）和乔木层总体生物量。

碳库具体估算过程见附件五。

## （2）基于样地统计数据

### 连续生物量扩展因子方法：

基于森林资源清查样地统计数据进行乔木层碳储量估算。方法是选用生物量扩展因子（BEF）方程估算乔木层地上生物量，其流程是：

平均单位面积优势树种（组）蓄积→单位面积优势树种（组）生物量→平均单位面积优势树种（组）碳储量→乔木层碳储量总量，具体方法如下：

平均单位面积优势树种（组）蓄积（ $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ）：根据森林资源清查样地优势树种（组）乔木层蓄积量与森林面积相结合换算成单位面积优势树种（组）乔木层的蓄积量。

平均单位面积优势树种（组）生物量（ $\text{t}/\text{hm}^2$ ）：单位面积优势树种（组）生物量=单位面积优势树种（组）蓄积×BEF，（建议选择分龄组的BEF参数进行相应树种（组）生物量估算）。

平均单位面积优势树种（组）碳储量：平均单位面积优势树种（组）生物量乘以相应树种（组）的碳含率。

乔木层生物量：单位面积优势树种（组）碳储量乘以相应的面积得到各种优势树种（组）森林类型的乔木层碳储量，将样地乔木层碳储量按其森林类型、树种分级计算，统计汇总得到总体乔木层的总碳储量。

### 平均生物量扩展因子方法：

基于森林资源样地统计数据进行乔木层碳储量估算。可以选用材积生物量扩展系数（BEF，无量纲）或生物量转扩因子（BCEF）估算乔木层地上生物量。

其计算公式如下：

$$C=(V \cdot D \cdot BEF) \cdot (1+R) \cdot CF \text{ 或 } C=(V \cdot BCEF) \cdot (1+R) \cdot CF$$

其中，C为乔木层单位面积碳储量， $Mg \cdot hm^{-2}$ ；V为材积， $m^3 \cdot hm^{-2}$ ；D为基本木材密度， $Mg \cdot m^{-3}$ ；BEF为材积生物量扩展系数，即林木地上生物量与树干生物量的比，无量纲；BCEF为生物量转扩因子，即地上生物量与蓄积量之比， $Mg \cdot m^{-3}$ ；R为根茎比，无量纲；CF为干物质的碳含率，吨碳/吨干物质。

乔木层生物量：单位面积优势树种（组）碳储量乘以相应的面积得到各种优势树种（组）森林类型的乔木层碳储量，将样地乔木层碳储量按其森林类型、树种分级计算，统计汇总得到总体乔木层的总碳储量。

### **基于全国森林资源调查数据的综合估算模型：**

基于现有的森林资源调查中的样地数据、样木数据、土壤类型等数据，按实测数据对模型参数计算、分析和评价，利用合适的模型计算相关碳库，计量和监测整个森林的碳储量及其变化量。

## **2、灌木层、草本层碳储量**

灌木、草本层碳储量有以下两种估算：

一是基于与地上乔木层关系参数方程的估算；二是基于区域类型单位面积参数估算方法。

### **（1）与乔木层关系参数方程方法**

选用灌木、草本层生物量与乔木层生物量关系模型进行生物量估算方法，其估算流程为：根据森林类型面积→选择合适的乔木层与灌木、草本层关系参数模型→灌木层、草本层生物量总量→灌木层、草本层碳储量总量，具体方法如下：

选择分区域、分龄组和森林类型的单位面积灌木层、草本层生物量与单位面积乔木层生物量的关系模型与参数，根据相应乔木层生物量来估算对应的灌木层、草本层生物量，分别乘以灌木、草本层含碳率得其对应部分的碳储量。再分别按区域、森林类型总面积进行灌木、草本层碳储量总量的估算。

### **（2）区域类型换算方法**

选用区域类型换算方法估算灌木、草本层生物量，其计算流程是：

森林类型面积→选择相应的单位面积（每公顷）灌木、草本生物量参数→灌木层、草本层生物量总量→灌木层、草本层总碳储量，具体方法如下：

选择分区域、森林类型、龄组的灌木、草本生物量的单位面积（每公顷）参数，乘以各类型面积得到相应类型的灌木、草本生物量，再乘以灌木、草本层的碳含率得各部分碳储量，再将所有类型的灌木、草本碳储量按面积汇总得到灌木层、草本层总碳储量。

### 3、地下生物量

地下生物量的估算采用方法有两种：

一是基于地上地下相关关系；二是按区域和森林类型的单位面积换算参数。如果有地上地下关系模型，建议优先选择方法一。

#### （1）地上地下相关关系方法

选用地上与地下生物量关系方法来估算地下生物量，其估算流程为：

相应区域的地上生物量→地上地下关系模型→相应地下生物量→地下碳储量。具体方法如下：

针对相应区域的森林，选择分区域、森林类型和龄组的地上地下生物量关系模型，根据地上生物量，计算出对应部分的地下生物量，再乘以地下生物量含碳率得到相应部分的地下碳储量。再分区域、森林类型等因子按面积统计得到地下总碳储量。

#### （2）区域类型单位换算方法

采用区域类型单位换算方法估算地下生物量，其估算流程为：单位面积（每公顷）地下生物量→地下生物量总量→地下总碳储量，具体方法如下：

根据区域、森林类型和龄组的森林单位面积（每公顷）的地下生物量参数，乘以面积得到相应类型的地下生物量，再将所有类型的地下生物量统计汇总得到地下生物量总量，再乘以含碳率就得到总的地下碳储量。

### 4、枯死木生物量

枯死木生物量的估算方法主要有两种方法：

一是基于样木数据；二是基于区域类型参数换算方法。

#### （1）基于样木数据

利用森林资源清查枯死木和枯倒木调查成果，选用相应树种的异速生长方程，估算单株枯死木生物量，样地内单株枯死木生物量之和为样地枯死木生物量，

将样地枯死木生物量按其森林类型、树种分级计算，统计汇总得到总体枯死木总生物量。估算流程为：

单株枯死木生物量→样地枯死木生物量→枯死木生物量总量→枯死木总碳储量。

具体方法如下：

单株枯死木生物量：利用实测样木数据选择单株树木的异速生长方程，计算单株树木总生物量。

样地枯死木生物量：样地内所有枯死木树种生物量之和。

枯死木碳储量：枯死木生物量乘以碳含率

枯死木总碳储量：将样地枯死木碳储量按其森林类型、树种分级计算，统计汇总得到枯死木总碳储量。

## (2) 区域类型换算方法

采用区域类型参数估算枯死木碳储量方法，其流程为：单位面积（每公顷）枯死木生物量→枯死木碳储量→枯死木总碳储量，具体方法如下：

建立我国不同地区、不同森林类型的单位面积（每公顷）枯死木生物量，乘以各森林类型面积得到不同类型的枯死木生物量，再将所有类型的枯死木生物量统计汇总得到枯死木生物量总量。

## 5、枯落物生物量

枯落物生物量的估算方法与灌木层、草本层碳储量方法一致。

## 6、土壤有机碳

土壤有机碳的估算一般是通过调查获得的土壤类型、土壤厚度、土壤容重和土壤有机碳密度几个方面的参数。

土壤有机碳估算方法：首先是计算出土类的有机碳密度，其次根据土壤类型面积推算出整个土壤碳库量。

某一土类的有机碳密度（ $SOC_i$ ,  $kg \cdot m^{-2}$ ）计算公式为：

$$SOC_i = C_i \cdot D_i \cdot E_i / 100 \quad 4.1$$

式中， $i$ 为土类代号， $C_i$ 为 $i$ 层土壤有机碳含量（ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ），若测定值为土壤有机质含量，则采用0.58换算得到 $C_i$ ，0.58为Bemmelan系数， $D_i$ 为容重（ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ）， $E_i$ 为土层厚度（ $\text{cm}$ ）。

$$\text{土壤碳储量} = \text{土壤有机碳密度} (\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}) \times \text{土壤类型面积} (\text{m}^2) \quad 4.2$$

区域土壤有机碳储量估算。按地区土类的平均有机碳密度与其面积的乘积之和求得。计算公式为：

$$\text{TOC} = \sum \text{SOC}_i \cdot A_i \quad 4.3$$

式中：TOC为区域土壤有机碳储量， $\text{SOC}_i$ 为第 $i$ 类土壤的碳密度， $A_i$ 为第 $i$ 类土壤面积。

土壤碳实际估算过程中，是根据不同地区、不同森林类型的土壤有机碳密度乘以各土壤类型面积得到相应类型的森林土壤有机碳储量，再将所有类型的森林土壤碳量相加得森林土壤碳总量。

## 二、湿地

根据《全国湿地资源调查》确定的我国五大湿地（近海与海岸湿地、河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地、人工湿地）分别进行计量。我国湿地总碳储量为各湿地类型碳储量之和。各类型湿地碳库分三个部分计量：地上生物量、地下生物量、土壤有机碳。

### 1、地上生物量

充分利用全国湿地资源调查数据，配合湿地专项调查，抽取一定数量的样方进行生物量实测，按面积、区域、类型建立湿地地上生物量遥感模型，根据遥感模型和各类型的面积统计汇总得到地上生物量总量。

### 2、地下生物量

根据区域、湿地类型单位面积的地下生物量，乘以各类型面积得到相应类型的地下生物量，再将所有类型的地下生物量统计汇总得到地下生物量总量。

### 3、土壤有机碳

根据不同区域、不同湿地类型单位面积（每公顷）的土壤有机质含量乘以各湿地类型所占的面积得到不同类型的湿地土壤碳量，再将所有类型的湿地土壤碳储量统计汇总得到湿地土壤总碳储量。

### 三、荒漠化、沙化土地

根据我国荒漠化、沙化土地类型分别进行计量，荒漠化按湿润指数划分为五大气候类型区：极干旱区、干旱区、半干旱区、亚湿润干旱区、湿润区；我国沙化土地分为沙化土地、有明显沙化趋势的土地和非沙化土地三个类型。总碳储量为各类型各碳库的碳储量之和。对各类型分三个部分计量：地上生物量、地下生物量、土壤有机碳。

#### 1、地上生物量

充分利用全国荒漠化土地资源调查数据，配合荒漠化土地专项调查，按面积、区域、类型建立荒漠化土地地上生物量遥感模型，根据遥感模型和各类型的面积统计汇总得到地上生物量总量。

#### 2、地下生物量

根据不同地区、不同荒漠化土地类型单位面积（每公顷）的地下生物量，乘以各类型面积得到不同类型的地下生物量，再将所有类型的地下生物量统计汇总得到荒漠化地下生物量总量。

#### 3、土壤有机碳

根据不同地区、不同荒漠化土地类型单位面积（每公顷）的土壤有机质含量乘以各荒漠化类型所占的面积得到不同类型的荒漠化土壤碳量，再将所有类型土壤碳量统计汇总得到荒漠化土壤碳总量。

### 四、森林外部分

森林外部分包括：疏林、灌木林、四旁树、散生木。

#### 1、疏林

全国疏林碳汇总量的估算是按各省森林碳汇总量统计，各省疏林碳汇按其疏林类型、树种分别计算。各省疏林地生物量的构成：乔木层生物量、灌木和草本层生物量、地下生物量、枯落物、枯死木生物量、土壤有机碳。疏林乔木层生物量采用森林资源清查的统计数据估算，其它层次（灌、草、地下、枯死木、枯落物、土壤）与森林生物量的计算方法相同。以下为具体方法。

##### （1）乔木层生物量

利用森林资源清查疏林统计的蓄积、面积统计数据，采用生物量扩展因子（BEF）参数（无量纲）进行估算乔木层碳储量，估算流程为：疏林积蓄→疏林生物量→疏林碳储量，具体方法如下：

疏林生物量：选择相应疏林树种（组）的生物量扩展因子系数，乘以其对应的蓄积得其生物量。计算公式如下：

$$B_i = M_i \cdot BEF_i \quad 4.4$$

疏林碳储量：分别树种（组）生物量乘以其碳含率得其疏林树种碳储量。计算公式如下：

$$C_i = B_i \cdot CF_i \quad 4.5$$

疏林总碳储量：按其疏林类型、树种进行求和，得疏林乔木层总碳储量。计算公式如下：

$$C_{Sum} = \sum C_{ij} \quad 4.6$$

上式中： $B_i$ 为第*i*树种（组）疏林生物量， $M_i$ 为第*i*树种（组）疏林蓄积量， $BEF_i$ 为第*i*树种生物量扩展因子系数（无量纲）， $C_i$ 为第*i*树种（组）疏林碳储量， $CF_i$ 为第*i*树种（组）的含碳率， $C_{Sum}$ 为疏林按类型和树种（组）总碳含量， $C_{ij}$ 为第*i*树种（组）第*j*类型疏林碳储量。

## （2）其他碳库

其它碳库（灌、草、地下、枯死木、枯落物、土壤）与森林的计量方法相同。

## 2、灌木林

本指南所说灌木林是指无乔木层的灌木林类，包括国家特别规定的灌木林地和其它灌木林地。灌木林碳储量是由地上碳储量、地下碳储量和土壤有机碳三部分构成。灌木林地上碳含量的估算方法是获得区域、类型的灌木林面积，选用对应的单位面积灌木林地上生物量参数对其进行估算，具体方法如下（灌木林有关参数见附件六）：

### （1）地上碳储量

根据区域、类型的灌木林面积和单位面积生物量换算系数法估算其地上碳储量，估算流程为：灌木林类型、面积→选择灌木林地上生物量参数→灌木林生物量，具体方法如下：

根据资源清查分区域、类型的灌木林面积，乘以相应类型灌木林地上生物量系数，得其灌木林地生物量，再将所有类型的灌木林生物量相加得到灌木林生物量总量，再乘以灌木林含碳率即得灌木林地上碳储量。计算公式如下

$$C_{Shrub} = \sum A_{ij} \cdot Ma_{ij} \cdot CF_i \quad 4.7$$

式中， $C_{shrub}$ 为灌木层地上碳储量， $A_{ij}$ 为第i类型第j区域的灌木林面积， $Ma_{ij}$ 为第i类型第j区域的灌木林地上生物量换算系数， $CF_i$ 为第i类型灌木林含碳率。

### (2) 地下碳储量、土壤碳储量

估算方法与森林相同。

## 3、四旁树、散生木

全国四旁树/散生木总碳储量的估算是按各省四旁树/散生木总碳储量统计，各省四旁树/散生木碳汇按其树种类型计算。各省四旁树/散生木生物量的构成：地上碳储量、地下碳储量。四旁树/散生木地上碳储量采用基于样木调查数据，选择合适的异速生长方程方法和BEF估算两种方法，地下碳储量估算与森林的估算方法相同，具体方法如下：

### (1) 地上生物量

#### 基于样木数据

利用森林资源清查数据，采用异速生长方程，估算四旁树/散生木地上生物量，估算流程为：单木树种四旁树/散生木生物量→地上生物量总量，具体方法如下：

单木树种四旁树/散生木生物量：森林资源清查数据提供了四旁树/散生木的单木测量数据以及总株树，根据异速生长方程直接算出单木树种四旁树/散生木生物量。

地上碳储量：分别树种生物量乘以相应树种碳含率得其树种碳储量。

地上总碳储量：将四旁树/散生木各树种地上碳储量相加得到四旁树/散生木地上总碳储量。

#### 基于区域蓄积量换算法

利用树种的BEF值，将区域的四旁树/散生木蓄积量直接换算为四旁树/散生木生物量（无面积因素），然后再分别乘以相应树种的碳含率得其碳储量。

## (2) 地下碳储量

根据异速生长方程直接计算四旁树和散生木的地下生物量,然后再估算其碳储量。

## 第二节 区域尺度碳计量

区域采用森林资源规划设计调查数据进行计量和监测。区域尺度碳源汇计量和监测首先需要确定待估算区域的面积,然后分别计量与监测区域中各类型的生物量。

### 一、森林

区域森林生物量计量与监测内容,在空间尺度(即面积)和数据获取方面与国家尺度有差异,其他各碳库估算方法与国家尺度森林碳库估算方法大部分相同。对于乔木层碳库,由于数据源的差异,所以对其估算方法有所改变,对于乔木层碳储量的估算方法介绍如下:

#### 1、乔木层碳储量

利用森林资源规划设计(二类)调查数据估算乔木层碳储量,估算流程为:小班蓄积→小班生物量→小班碳储量,具体方法如下:

小班生物量:根据森林资源规划设计调查(小班)的林分类型、优势树种、立木蓄积量等数据,采用林分蓄积量与生物量的换算关系(换算因子连续函数法),将小班的林分蓄积量换算为生物量。

小班碳储量:小班生物量乘以相应树种碳含率得其碳储量。

林班碳储量:林班内各小班碳储量之和。

区域范围内碳总碳储量:各林班碳储量之和。

#### 2、其它碳库

灌木层、草本层、地下生物量、枯落物、枯死木、土壤有机碳等碳库估算方法与国家尺度森林对应碳库估算方法相同。

### 二、湿地、荒漠化和沙化土地

具体估算方法与国家尺度碳汇计量和监测相同。

### 第三节 碳汇监测

针对国家和区域尺度的碳汇监测主要是针对其变化原因进行，监测内容主要包括土地利用、土地利用变化与林业引起的碳储量变化监测（主要是LULUCF内容）、森林各种经营活动引起的碳储量变化监测（主要是针对REDD+内容）、林木自然生长引起的碳储量变化监测、森林灾害灾害引起的碳源/汇变化以及满足国家温室气体清单内容监测。一般周期定为1-5年。

#### 一、土地利用变化与林业的碳计量和监测

土地利用引起的生物量变化主要由单位面积的生物量变化和面积变化引起，计算采用如下方法：

土地利用变化引起的生物量变化量=单位面积生物量变化量×变化面积

##### 1、林地变为其它土地

面积监测：利用转化前和转化后的两期同源同分辨率的遥感影像，叠加分析得到土地利用变化的面积。

单位面积变化量计量和监测：变化前的生物量与变化后的生物量之差。

变化前的生物量组成：地上生物量、地下生物量、枯落物生物量、枯死木生物量、土壤有机碳。

变化后的生物量组成：根据变化后的土地类型，计量变化后土地上所有的生物量。

##### 2、其它土地变化林地

面积监测：利用转化前和转化后的两期同源同分辨率的遥感影像，叠加分析得到土地利用变化的面积。

单位面积变化量监测：变化前的生物量与变化后的生物量之差。

变化前的生物量组成：根据变化前的土地类型选择碳库类型，计量变化后土地上所有的生物量。

变化后的生物量组成：地上生物量，地下生物量，枯落物生物量，枯死木生物量，土壤有机碳。

## 二、仍为林地类型的碳监测

仍为林地的土地碳汇变化主要来自森林经营活动和林木自然生长两方面原因增加的碳汇量。主要采取两种方法，即：基于估算生物量的年度变化（来自对生物量增加和损失的估算）的增加-损失方法（公式4.8），和估算时间 $t_2$ 和时间 $t_1$ 时总生物量碳库差别的库-差别方法（公式4.9）。

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad 4.8$$

式中：

$\Delta C_B$  = 相应林地中生物量的年度度碳库变化，吨碳/年

$\Delta C_G$  = 相应林地中由于生物量增长引起的年度碳库的增加，吨碳/年

$\Delta C_L$  = 相应林地中由于生物量损失引起的年度碳库的减少，吨碳/年

$$\Delta C_B = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1) \quad 4.9$$

式中：

$\Delta C_B$  = 仍为林地类型的生物量年度碳库变化，吨碳/年

$C_{t_2}$  = 在时间 $t_2$ 时，相应林地类型中生物量的总碳量，吨碳

$C_{t_1}$  = 在时间 $t_1$ 时，相应林地类型中生物量的总碳量，吨碳

### 1、森林经营活动

经营活动引起的碳储量的变化分国家尺度、区域和项目尺度两个尺度来估算。

#### （1）国家尺度

在国家尺度上监测经营活动引起的碳储量的动态变化，根据不同的经营活动类型，采用前后期的森林资源清查数据来估算。碳储量变化量通过两种方式获得：后期的总碳储量减去前期的总碳储量；各个碳库年度内的碳储量变化。

#### （2）区域和项目尺度

在区域、项目尺度上监测经营活动引起的碳储量的动态变化，根据不同的经营活动类型，采用前后期的森林资源规划设计调查数据和碳汇专项调查数据来估算。碳储量变化量通过两种方式获得：后期的各碳库总碳汇量减去前期的碳汇量；各个碳库年度的碳储量变化。

## 2、森林自然生长

森林自然生长引起的碳储量变化包含了5个碳库（即地上生物量、地下生物量、枯死木、枯落物和土壤有机物）中碳储量的变化估值。

### （1）国家尺度

在国家尺度上监测森林自然生长引起的碳储量的动态变化，采用前后期的森林资源清查数据来估算。碳储量变化量通过两种方式获得：后期的各碳库总碳储量减去前期的碳储量；各个碳库年度的碳储量变化。

### （2）区域和项目尺度

在区域、项目尺度上监测林木自然生长引起的碳储量的动态变化，采用前后期的森林资源规划设计调查数据和碳汇专项调查数据来估算。碳储量变化量通过两种方式获得：后期的各碳库总碳储量减去前期的碳储量；各个碳库年度的碳储量变化。

## 三、森林自然灾害碳监测

森林自然灾害主要考虑：森林病虫害、森林火灾等。

### 1、森林病虫害

根据森林病虫害的类型，对受害树木按是否是相关检疫病虫害危害（树木必须经过火烧处理的）进行分层统计。森林病虫害引起的森林碳汇变化分两种情况：灾后没有生物量；灾后有部分生物量。

#### （1）灾后没有生物量

如果树木受到检疫性害虫的危害，树木必须经过火烧处理，经过火烧处理后生物量为零，变化量为受灾前的森林生物量。同时，需要考虑生物量燃烧中释放的温室气体排放量。

#### （2）灾后有部分生物量

灾后有部分生物量的情况下，根据灾前的生物量与灾后生物量之差乘以受灾的面积来计量。

## 2、森林火灾

森林火灾引起的碳储量变化量的计量需要统计森林火灾的面积、强度以及火灾引起的生物量变化。同时，需要考虑生物量燃烧中释放的温室气体排放量。森林火灾发生前后过火面积的监测主要运用遥感技术来监测。生物量变化的计量分灾后没有生物量和灾后有部分生物量两种情况。

### (1) 灾后没有生物量

火烧前生物量为各个碳库的生物量之和，火烧后生物量为零。变化量为受灾前的森林生物量。同时，需要考虑生物量燃烧中释放的温室气体排放量。

### (2) 灾后有部分生物量

灾后有部分生物量的情况下，根据灾前的生物量与灾后生物量之差乘以受灾的面积来计量，灾后碳储量的数据需要通过碳汇专项调查获得。同时需要考虑生物量燃烧中释放的温室气体量。

## 第五章 计量与监测相关关系的拟合与选择

### 第一节 单木异速生长方程

异速生长模型建立在植物相对生长关系的基础上，相对生长关系为植株结构和功能特征指标（如材积，生物量等）与易于测量的植株形态学变量（如胸径，树高等）间数量关系的统称，本指南特指生物量的相对生长关系。在森林生态系统的生物量估算中，相对生长关系是最常见的方法。

#### 一、模型的拟合与选择

##### 1、模型的拟合

异速生长关系的构建通常采用平均标准木法或径级标准木法，即先破坏性测量有限数量的标准木，然后建立全部或部分生物量易于获得的植株形态学变量（如胸径，树高等）间的数量关系。常见的形式为：

$$B=a_0+a_1x_1+a_2x_2+\dots+a_ix_i+\varepsilon \quad 5.1$$

$$B=a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2}\dots x_i^{a_i}+\varepsilon \quad 5.2$$

$$B= a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2}\dots x_i^{a_i}\varepsilon \quad 5.3$$

式中：B为生物量，单位一般为kg或g； $x_1, x_2, \dots, x_i$ 为植株形态学变量（如胸径，树高）； $a_0, a_1, \dots, a_i$ 为模型参数； $\varepsilon$ 为误差项。前两个公式最简化的形式分别为一元线性方程和一元幂函数，其中幂函数是最常用的函数形式。

模型可用于估算以下各项：

以胸径或胸径和高度为基础的地上生物量（千克/棵）；

以断面积（ $m^2$ /公顷）为基础的地上生物量（吨/公顷）；

以地上生物量为基础的地下生物量（吨/公顷）。

在相对生长模型中，自变量除了常见的胸径和树高之外还有其他测量因子，如林龄和材积等。虽然自变量数目的增多常使生物量的估算更准确，但也会加大野外调查时基本数据获取的难度，从而影响相对生长模型的实用性。

本指南中使用最广泛的是基于胸径和树高估算植株生物量的模型。主要形式如下：

$$W=aD^b \quad 5.4$$

$$W=a(D^2H)^b \quad 5.5$$

其中，W为植株构件部分的生物量，D为胸径，H为树高。

## 2、模型的选择

优先选择同区域、同树种、同林龄建立的异速生长方程；其次，选择与当地所在地区条件类似的其他地区的方程；不满足以上条件时，通过专项调查新建模型。

参考资料中，提供我国现有研究与调查的生物量异速生长方程，分区域、森林类型等因子建立的初步全国范围的异速生长模型，在计量监测中，可以借用和参考。

## 二、模型的应用条件

模型具有不同的应用条件，每个模型的应用都受地区、树种、年龄的影响而产生不同的结果，基于树高，胸径建立的模型都有一个树高胸径的适用范围，要根据适用范围选择合适的模型。

## 三、模型精度和不确定性分析

在应用模型时，优先采用胸径、树高因子的模型计算，提高精度；选择有代表性的模型，降低在应用过程中地区、树种、年龄、径级等因素的影响。

每一个异速生长模型都有精度和不确定性区间，应对异方差和可加性等加以控制和说明，提高可信度降低不确定性。要及时修订或验证已有的异速生长模型，尽量克服样本量不足，方程形式等争议性的问题，从而提高模型的可行度。

## 第二节 生物量扩展因子模型

生物量扩展因子模型基于材积源—生物量方法进行区域生物量估算，生物量与蓄积量的关系包括生物量与蓄积量之比为常数、生物量与蓄积量的连续变化两种类型。推算区域尺度的森林生物量方法有3类：平均生物量法、平均换算因子法和换算因子连续函数法。

平均生物量法利用野外实测数据获得的平均生物量乘以该类型森林的面积；平均换算因子法利用生物量换算因子的平均值乘以该森林类型的总蓄积，得到该类型森林的总生物量；换算因子连续函数法将单一不变的平均换算因子改为分龄级的换算因子，以更准确的估算国家或地区尺度的森林生物量。

## 一、模型的拟合与选择

采用林分蓄积量与生物量的换算关系（换算因子连续函数法）来计算生物量值。蓄积量与生物量的换算关系如下：

$$BEF=B/M \quad 5.6$$

$$B=M \cdot BEF \quad 5.7$$

BEF 的三种形式：

$$BEF=a+b/M \quad (BEF=aM^{-b}, BEF=a+be^{ct}) \quad 5.8$$

$$B=aM+b \quad 5.9$$

（式中，B为单位面积生物量，M为单位面积蓄积量，t为年龄，a、b和c为参数，BEF为各树种的生物量扩展因子）

注意：BEF因树种、区域、年龄而异，常随材积的增加而呈指数下降，并逐渐稳定下来，尽可能选择可变的值或平均值。

附件九提供我国主要优势树种（组）生物量扩展因子。在选择时，优先选择同区域、同树种（组）、同龄组建立的方程；其次，选择与当地所在地区条件类似的其他地区的方程；不满足以上条件时，可采用国家平均值，或通过专项调查新建模型。

## 二、模型的应用条件

区域模型应用于区域范围内生物量估算，每一个模型都有精度和不确定性区间，模型可以应用于单位面积统计的蓄积量估算生物量中，要求有蓄积统计数据和数据区域的扩展因子方法。

### 三、模型精度和不确定性分析

在应用模型时，为了提高精度和降低不确定性，需要注意以下事项：尽量选择在一定数量基础上建立的方程；尽量选择同树种组的方程；尽量选择同龄组的BEF。

## 第三节 遥感生物量估算模型

利用遥感数据对生物量进行估算通过利用遥感数据计算植被指数，建立植被指数与生物量的关系估算区域的生物量。遥感碳储量估算模型主要有：基于遥感信息参数的生物量估算的统计模型、遥感数据与过程模型相结合的机理模型。附件八提供几种常用的遥感生物量模型。

### 一、统计模型

研究森林生物量与遥感数据各波段及NDVI、RVI、TVI等指数的相关性，筛选出估算森林生物量的最优光谱模型，进而估算整个地区的森林生物量。

遥感图像上的植被信息，主要通过绿色植物叶子和植被冠层的光谱特性及其差异、变化进行反映，不同光谱通道所获得的植被信息可与植被的不同要素或某种特征状态有各种不同的相关性，这种相关性可定性和定量地评价植被覆盖、生长活力及生物量等。

由于植被光谱受到植被本身、土壤背景、环境条件、大气状况等内外因素的影响，植被指数往往具有明显的地域性和时效性。所以往往选用植被指数来估算生物量，常用的植被指数模型大致可分为以下几类：

#### (1) 比值植被指数 (RVI)

由于可见光红波段 (R) 与近红外波段 (NIR) 对绿色植物的光谱响应十分不同，且具倒转关系。两者简单的数值比能充分表达两反射率之间的差异。比值植被指数可表达为：

$$RVI = DN_{NIR} / DN_R \text{ 或 } RVI = \rho_{NIR} / \rho_R \quad 5.10$$

式中，DN为近红外、红外段的计数值（灰度值）， $\rho$ 为地表反照率。

对于绿色植物叶绿素引起的红光吸收和叶肉组织引起的近红外强反射,使其R与NIR值有较大的差异,使RVI值高。而对于无植被的地面包括裸土、人工特征物、水体以及枯死或受胁迫植被,因不显示这种特殊的光谱响应,则RVI值低。因此,比值植被指数能增强植被与土壤背景之间的辐射差异。

RVI是绿色植物的一个灵敏的指示参数。它与叶面积指数(LAI)、叶干生物量(DM)、叶绿素含量相关性高,被广泛用于估算和监测绿色植物生物量。在植被高密度覆盖情况下,它对植被十分敏感,与生物量的相关性最好。但当植被覆盖度小于50%时,它的分辨能力显著下降。此外,RVI对大气状况很敏感,大气效应大大地降低了它对植被检测的灵敏度,尤其是当RVI值高时。因此,最好运用经大气纠正的数据,或将两波段的灰度值(DN)转换成反射率( $\rho$ )后再计算RVI,以消除大气对两波段不同非线性衰减的影响。

### (2) 归一化植被指数(NDVI)

归一化指数(NDVI)被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值。即:

$$NDVI = (DN_{NIR} - DN_R) / (DN_{NIR} + DN_R) \quad 5.11$$

实际上,NDVI是简单比值RVI经非线性的归一化处理所得。在植被遥感中,NDVI的应用最为广泛。它是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关。因此又被认为是反映生物量和植被监测的指标。

### (3) 差值植被指数(DVI)

差值植被指数(DVI)又称环境植被指数(EVI),被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差。

$$DVI = DN_{NIR} - A \cdot DN_R \quad 5.12$$

差值植被指数的应用远不如RVI、NDVI。它对土壤背景的变化极为敏感,有利于对植被生态环境的监测。另外,当植被覆盖浓密( $\geq 80\%$ )时,它对植被的灵敏度下降,适用于植被发育早—中期,或低—中覆盖度的植被检测。

此外,还有转换型植被指数(TVI)、绿度植被指数(GVI)、垂直植被指数(PVI)、多时相植被指数(MTVI)、全球环境监测指数(GEMI)等。

### 1、模型的拟合与选择

建立遥感生物量模型：区域内选择一定数量的遥感样地，实测这些样地的地上生物量，运用地上生物量与遥感植被指数，建立各种关系模型，选择最佳的植被指数关系模型。运用模型对区域的生物量进行估算。

### 2、模型的应用条件

模型的应用需要满足以下条件：能够利用遥感数据对区域内的植被类型进行分类；遥感数据的时相、类型与生物量估算模型相对应。

### 3、模型的精度和不确定性分析

模型的精度取决于：遥感图像处理和解译精度，模型估算的精度；

模型的不确定性在于：遥感数据与实测数据不同步；模型的建立与应用的不同步。

## 二、机理模型

机理模型（或过程模型）是用以描述不同时空尺度下植被生长过程，如光合作用、呼吸作用、植物的分解与氧分循环等，它是根据植物生理、生态学原理，通过对太阳能转化为化学能的过程和植物冠层蒸散与光合作用相伴随的植物体及土壤水分散失的过程进行模拟，从而实现对陆地植被生产力的估算。

机理模型的模拟对象一般为NPP(净初级生产力)、NEP(生态系统净初级生产力)，NPP、NEP的变化也在一定程度上反映了植被生物量的改变。

### 1、模型的拟合与选择

将遥感影像与生态站数据、气象数据、地形数据、光和等数据相结合，模拟NPP、NEP等，通过NPP、NEP等的变化反应生物量的变化。第一年生物量与变化生物量之和即为第二年的生物量。

### 2、模型的应用条件

满足模型应用的参数：树木（树种，年龄等）；地形；气象；土壤等参数。

适用范围：站点，区域，全国；需要进行长时间站点观测和遥感数据验证，修改模型。

### 3、模型的精度和不确定性分析

模型的精度取决于：参数的调查精度，模型本身的精度；

模型的不确定性主要表现在：尺度推绎的不确定性。

## 第六章 技术与指标要求和不确定性分析

### 第一节 技术要求

#### 一、仪器和设备要求

外业调查仪器，主要包括一些样地调查仪器和外业生物量调查仪器等。外业仪器应能满足各项生物量调查因子的测定要求，并符合仪器的测定精度。

内业所用仪器，主要包括室内生物量调查与分析仪器、内业生物量测定与烘干仪器和碳素测定仪器等。内业仪器应能满足各项生物量调查因子的测和分析要求，并符合仪器的测定精度。

#### 二、专业技术人员要求

外业人员熟悉外业调查样地设置方法，掌握基本的样地调查、树木测定方法，能够熟练应用外业调查仪器，对当地调查的森林植被种能有很好的识别能力。

内业分析测定与处理人员懂得测定方法和数据记录及分析能力。

### 第二节 调查指标及精度要求

#### 一、调查指标

外业调查生物量测定因子：森林类型、林种、优势树种、胸径、树高、年龄（龄组）、生长等级等。

外业调查的立地条件因子：地貌、土壤名称（记载到土类）、土壤厚度、地形（坡度、坡位、海拔、坡向）、枯落物厚度等。

地被物调查：植被类型、主要植物种名、盖度、高度、频度、分布状况等。

人为活动方面因子调查：林分经营措施调查与记载，营造林与采伐方面记载。

气象因子：降水（年、月、日平均降水与总降水）、气温（年、月平均温度、最低与最高温度、积温）、全年光照时间、湿度（月平均、年平均）。

#### 二、精度要求

表 6-1 常用碳汇调查因子精度要求表

调查项目	精度要求	误差范围	备注
直径	0.1cm	<3-5%	
树高	0.1m	<5%	
郁闭度	0.1	<10%	
生物量（单株）	0.1Kg	<5%	
生物量（样地）	1Kg	<5%	
碳储量（样地）	0.1Mg/hm <sup>2</sup>	<5%	
材积	0.001m <sup>3</sup>	<10%	
蓄积量	0.1m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	<10%	

注：其他各项调查指标精度要求，参考国际和国内现有的精度要求。

### 第三节 不确定性分析

#### 一、数据来源的不确定性分析

计量监测的原始数据来源于全国森林资源清查、二类调查以及湿地、荒漠化土地监测数据，而这些数据如何能满足对相应总体和类型各碳库的计量监测，有相应的数据对总体代表性的不确定性分析，监测周期中相应类型中数据保持前后属性的一致性，如前期是森林资源清查数据，后期也需要用相同类型的调查数据。

#### 二、类型面积方面的不确定性分析

面积要素是计量监测中的重要因素之一，在计量中要分类型进行面积计量，总体面积误差不确定性要控制在3%以下。监测过程中，需要对土地利用变化面积的不确定性进行分析。

#### 三、各类型分碳库计量方法的不确定性分析

根据数据类型，所选择的碳库计量，应分别针对计量的模型、参数以及森林类型的划分、起源与龄组等因子影响方面的不确定性分析，尽量提高各碳库计量精度。

#### 四、碳库动态变化监测的不确定性分析

碳库动态监测的不确定性，一是来自资源清查数据调查周期不同期处理的不确定性，二是监测周期中土地类型变化及面积的不确定性，三是前后期数据获取的一致性与方法的不确定性。

#### 五、计算模型选择与应用的不确定性分析

现有资源清查数据类数据，主要是乔木层的胸径、树高调查值，所统计的结果数据则是面积与蓄积值，因而所选择的模型的计算结果存在模型应用中不确定性，不同数据结构所选择的模型存在一定的不确定性，需要根据实际数据情况，尽量选择高精度模型和计算方法，降低不确定性。

## 第七章 计量与监测成果

全国林业碳汇计量和监测成果主要包括国家尺度和区域两个尺度。项目尺度计量与监测成果需根据项目要求而定，本指南不做说明。

### 第一节 森林碳储量现状

#### 一、森林碳储量状况

- 1、森林碳储量总量现状；
- 2、不同森林类型碳储量现状；
- 3、不同起源、森林类型碳储量现状；
- 4、不同龄组碳储量现状；
- 5、主要优势树种碳储量现状。

#### 二、森林碳储量现状分析报告

- 1、森林碳储量分布特征分析报告；
- 2、碳库量大小、分布规律分析报告；
- 3、林业碳储量现状分析报告；
- 4、不同起源（人工林、天然林）林分碳储量及碳密度分析报告。

### 第二节 林业碳动态变化

#### 一、林业碳动态监测报告

- 1、林业碳汇总体动态监测报告；
- 2、监测区域内碳汇空间动态变化报告；
- 3、监测期内各种类型碳库变化报告。

#### 二、森林碳储量变化分析报告

- 1、森林生长碳储量增量报告；

- 2、森林保护与经营管理碳汇增量报告；
- 3、因减少毁林和森林退化的森林减排量报告；

### 三、林地与其他土地转变的碳动态监测报告

- 1、造林再造林增加的碳汇量；
- 2、其他土地转变为林地的碳动态监测报告；
- 3、林地征占用（即林地转化为其他土地）的碳排放量。

### 四、湿地碳储量监测报告

- 1、现有各种湿地碳汇总量情况报告；
- 2、湿地变化引起的碳循环与碳汇变化情况报告；
- 3、影响湿地碳汇变化的分析报告。

### 五、荒漠化和沙化土地碳动态变化监测报告

- 1、荒漠化和沙化土地碳含量现状情况报告；
- 2、荒漠化和沙化土地碳储量变化情况报告；
- 3、影响碳汇变化因子分析报告。

### 六、自然灾害所引起碳动态变化报告

- 1、各种偶然或者定期的自然灾害引起的碳汇变化情况；
- 2、各种灾害和人类活动影响碳汇变化规律与特点分析报告。

### 七、其他林业活动所产生碳汇报告

- 1、其他林业活动是指各种专项林业生产活动、生态工程建设及其他碳汇专项林业活动等，其他林业活动所产生的碳汇报告包括：
  - 2、林业专项活动引起的森林碳变化与驱动因素分析报告；
  - 3、林业活动对碳汇变化的影响分析报告。

## 第三节 森林碳储量及密度空间格局分布图

### 一、森林碳储量分布图

- 1、全国森林碳储量分布图；

- 2、各省（市、自治区）碳储量分布图；
- 3、各流域森林碳储量分布图；
- 4、各气候带碳储量分布图；
- 5、各林业工程区碳储量分布图；
- 6、各林区碳储量分布图。

## 二、森林碳密度空间等级分布图

- 1、全国森林碳储量碳密度空间等级分布图；
- 2、各省（市、自治区）碳密度空间等级分布图；
- 3、各流域森林碳密度空间等级分布图；
- 4、各气候带森林碳密度空间等级分布图；
- 5、各林业工程区森林碳密度空间等级分布图；
- 6、各林区森林碳密度空间等级分布图。

## 第四节 其他专题成果

- 1、全国各种森林类型碳动态及变化规律；
- 2、全国各林种、优势树种碳结构状况；
- 3、全国森林各龄组的森林碳分布情况；
- 4、国家林业生态脆弱区和生态敏感区碳监测成果；
- 5、我国林业碳潜力预测报告与应对气候变化的林业适应情况分析成果；
- 6、其他各种专项目标的碳汇报告。
- 7、全国森林火灾的温室气体排放量情况（提供不同森林类型、不同区域、不同强度森林火灾的温室气体排放量，为今后统计提供准确、权威的计算标准）