

城市绿化碳汇计量与监测技术规程

Technical regulations for carbon sink project in urban greening

地方标准信息服务平台

2021-12-24 发布

2022-01-24 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 项目实施的基本条件	2
5 基准线与计量监测方法	3
5.1 项目边界确定	3
5.2 碳库和温室气体排放源的选择	3
5.3 基准线情景识别和额外性论证	4
5.4 项目区分层	4
5.5 基准线碳汇量	4
5.6 项目碳汇量	6
5.7 泄漏排放量	7
5.8 项目减排量	8
5.9 项目核证减排量计算	8
6 监测程序	8
6.1 资料核实	8
6.2 基准线碳汇量的监测	8
6.3 项目活动的监测	8
6.4 事后分层	9
6.5 抽样设计	9
6.6 样地设置	9
6.7 监测频率	9
6.8 项目乔木层林木生物质碳储量的监测	9
6.9 项目灌木生物量碳储量的监测	10
6.10 项目排放量的监测	10
6.11 精度控制与校正	10
6.12 相关数据和参数的确定和监测	10
附录 A （资料性） 浙江省主要乔木树种（组）生物量参数	13
附录 B （资料性） 浙江省主要乔木树种（组）生物量方程参考表	14
附录 C （资料性） 分层抽样的估计方法	19

前 言

本标准按照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。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由浙江省林业局提出。

本标准由浙江省林业标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：浙江省林业科学研究院、杭州市工程咨询中心有限公司。

本标准主要起草人：朱汤军、朱紫焯、叶华琳、金群英、彭华正、沈建军。

地方标准信息服务平台

城市绿化碳汇计量与监测技术规程

1 范围

本标准规定了城市绿化碳汇项目的设计、减排量的预估与监测方法等要求。
本标准适用于在城市的建成区、规划建设区，以增加碳汇为主要目标所实施的绿化项目。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB 50420 城市绿地设计规范
- GB/T 50563 城市园林绿化评价标准
- LY/T 1729 香樟绿化苗木培育技术规程和质量分级
- DB33/T 640 森林资源规划设计调查规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

城市绿化碳汇项目 urban greening carbon projects

在城市的建成区、规划建设区，以增加碳汇为主要目标，兼顾景观美化、发挥森林多重效益所实施的绿化项目。城市的建成区、规划建设区绿化主要分为公园绿地、生产绿地、防护绿地、附属绿地、其他绿地五大类。

3.2

计入期 crediting period

项目活动产生的减排量的时间期限。

3.3

项目区 projects site

由一个或多个具有明确地理边界的地块或小班组成的、用于实施城市绿化碳汇项目的区域。

3.4

基准线情景 baseline scenario

不实施城市绿化碳汇项目时，在计入期中项目区内最有可能的绿化状况及碳吸收情况。

3.5

额外性 additionality

城市绿化碳汇项目活动所带来的减排量相对于基准线情景是额外的。

3.6

基准线碳汇量 baseline net GHG removal by sinks

在没有城市绿化碳汇项目活动时，基准线情景下项目区内各碳库的碳储量变化量之和。

3.7

项目排放量 increase in non-co₂ GHG emissions within the project boundary

由项目活动本身引起且发生在项目活动边界之内的，因火灾引起的可测量、可报告、可核证的非二氧化碳温室气体（甲烷和氧化亚氮）排放的增加量。

3.8

项目碳汇量 net GHG removal by sinks

在城市绿化碳汇项目区内所选的各个碳库碳储量变化量之和，减去项目排放量后所得的差值。

3.9

泄漏排放量 leakage

由城市绿化碳汇项目本身引起的、发生在项目区外的，可测量、可报告、可核证的温室气体源排放的增加量。

3.10

项目减排量 ex ante net anthropogenic GHG removal by sinks

由项目活动所产生的、人为的净温室气体清除量，也称为项目净碳汇量，其数值等于项目实际碳汇量减去基准线碳汇量，再减去泄漏排放量。

3.11

森林碳库 forest carbon pools

森林生态系统中存储碳的场所，包括地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤有机质。

3.12

地上生物量 aboveground biomass

土壤层以上以干重表示的所有活生物量，包括干、桩、枝、皮、种子和叶。

3.13

地下生物量 belowground biomass

所有直径>2.0 mm的活根生物量。

3.14

枯落物 litter

矿质土层或有机土壤以上、直径<5.0 cm或其它规定直径的、处于不同分解状态的所有死生物量，包括枯落物、腐殖质以及直径范围在1.0 mm~2.0 mm的活细根。

3.15

枯死木 deadwood

枯落物以外的所有死的生物量，包括枯立木、直径≥5.0 cm或其它规定直径的枯枝、死根和树桩。

3.16

土壤有机质 soil organic matter

在一定深度（通常为1.0m）内矿质土和有机土（包括泥炭土）中的有机碳，以及直径<1.0mm的活细根。

4 项目实施的基本条件

项目实施应符合以下基本要求：

- a) 项目所开展的绿化活动，不违反国家和地方政府有关法律、法规、政策措施和有关强制性标准；

- b) 项目实施地块的土地权属（所有权、使用权）应清晰，无权属纠纷，并持有县级以上人民政府提供的相关证明；
- c) 实施地为非建设用地时，种植树木不应改变原来土地使用方式，不应造成项目实施前已有农业活动的转移；
- d) 实施项目区应适宜树木生长，或经过改造能适应树木生长，预期能发挥较大的碳汇功能；
- e) 项目实施中可使用来自苗圃的大苗移栽，但不应使用大树移栽；
- f) 项目活动不采伐原有的散生木。

5 基准线与计量监测方法

5.1 项目边界确定

5.1.1 地理边界

5.1.1.1 事前项目边界可通过规划图确定。

5.1.1.2 事后项目边界为实施地块或小班的地理边界。

5.1.1.3 地理边界应提交由地理信息系统制作的图形文件，以及各地块明显界址点的坐标文件，含地块号、明显界址点号的经纬度坐标或平面坐标。

5.1.2 时间边界

项目计入期一般为20年。监测和核证间隔时间为5年，根据实际情况可以调整至10年。

5.2 碳库和温室气体排放源的选择

5.2.1 碳库

碳库选择见表1。

表1 碳库的选择

碳库	是否选择	备注
地上生物量	选择	包括干、桩、枝、皮、种子和叶
地下生物量	选择	直径>2.0 mm 的活根生物量
枯死木、枯落物、土壤有机碳	不选择	这些碳库碳储量占比≤5%，并变化量不明显。

5.2.2 温室气体排放源

温室气体排放源选择见表2。

表2 温室气体排放源的选择

排放源	气体	是否选择	备注
木质生物 质燃烧	CO ₂	不选择	已在生物质碳储量变化体现
	CH ₄	选择	只计量森林火灾燃烧所引起的CH ₄ 排放
	N ₂ O	选择	只计量森林火灾燃烧所引起的N ₂ O排放

5.3 基准线情景识别和额外性论证

5.3.1 基准线情景识别方法

识别和确定没有实施城市绿化碳汇项目的情况下，在计入期内，项目区最有可能的绿化状况。默认基准线情景为项目活动实施前，项目区长期最主要的地被覆盖状况，并由此测算出基准线碳汇量。

5.3.2 额外性论证方法

额外性论证方法有障碍分析、投资分析和普遍性做法分析三类。大项目(年均减排量>16000 tCO₂-e)需采取“第一类+第三类”或“第二类+第三类”的额外性论证方法：

- 第一类方法：障碍分析。项目参与方只要证明项目存在以下障碍之一，之后转入“第三类方法”：
 - 投资障碍。需要证明实施项目，存在缺乏融资渠道或即使有融资渠道但由于各种障碍（如条件苛刻、还贷能力低等）而无法获得资金等障碍；
 - 技术障碍。需要证明项目存在影响技术应用的障碍，如缺乏专业人才，或缺乏应用技术的基础条件等。
- 第二类方法：投资分析。可采用简单成本分析法或收益率法进行投资分析，之后转入“第三类方法”：
 - 简单成本分析。证明项目实施成本高于基准线情景下的成本；
 - 收益率分析。证明项目在没有碳汇收益的情况下，项目财务内部收益率低于8%的行业基准收益率。

注：行业基准收益率数据来源《国家发展改革委、建设部关于印发建设项目经济评价方法与参数的通知》（发改投资[2006]1325号）。

——第三类方法：普遍性做法分析。定性论证项目的城市绿化并不具备广泛性，在项目所在地区很少被采用。

小项目（年均减排量≤16000 tCO₂-e）只需采用以上三类方法中的一种即可。

5.4 项目区分层

5.4.1 基准线情景碳层划分

实施地为建设用地时，基线碳储量及其变化值都为0；当实施地为非建设用地时，基线碳储量及其变化值不为0，应根据绿化植物配置（乔、灌），林龄、郁闭度等影响碳储量的关键因子进行基准线情景碳层的分层划分。

5.4.2 项目情景碳层划分

基于项目造林绿化设计，根据项目区绿化植物配置（乔、灌），进行事前分层，分为乔木和灌木；根据项目实施情况，对项目区进行事后分层。

5.5 基准线碳汇量

5.5.1 当实施地为建设用地时，基准线碳汇量可假定为0。

5.5.2 当实施地为非建设用地，且分布有绿化树种，则基准线碳汇量的计算方法见公式（1）：

注：保留原有灌木。根据经济有效性原则和参照核证碳标准（Verified Carbon Standard, VCS）有关规程做法，在基准线情景和项目情景下，本标准对灌木生物量碳储量变化量均予以忽略，不予计量与监测。

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\Delta C_{BSL,t}$ ——第t年的基准线碳汇量, tCO₂-e/年;
 t ——1, 2, 3...t' 项目活动开始后的年数, 其中t' 为项目计入期最后一年的年数;
 $\Delta C_{TREE_BSL,t}$ ——第t年, 基准线林木生物质碳储量的年变化量, tCO₂-e/年。

根据基准线分层, 计算每一层的林木生物质碳储量的年变化量之和, 即为基准线林木生物质碳储量的年变化量 ($\Delta C_{TREE_BSL,t}$)。计算方法见公式 (2) :

$$\Delta C_{TREE_BSL,t} = \sum_{i=1}^L \Delta C_{TREE_BSL,i,t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\Delta C_{TREE_BSL,t}$ ——第t年, 基准线林木生物质碳储量的年变化量, tCO₂-e/年;
 L ——碳层数量;
 i ——基准线林木第i碳层;
 $\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$ ——第t年, 基准线第i碳层林木生物质碳储量的年变化量, tCO₂-e/年。

基准线林木生物质碳储量的年变化量 ($\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$), 用定期平均数表示, 计算方法见公式 (3):

$$\Delta C_{TREE_BSL,i,t} = \frac{C_{TREE_BSL,i,t_2} - C_{TREE_BSL,i,t_1}}{t_2 - t_1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$ ——第t年, 基准线第i层林木生物质碳储量的年变化量, tCO₂-e/年;
 $C_{TREE_BSL,i,t}$ ——第t年, 基准线第i层林木生物质碳储量 (累计值), tCO₂-e;
 t_1, t_2 ——项目开始以后的第t₁年和第t₂年, 且t₁ ≤ t ≤ t₂。

林木生物质碳储量计算方法见公式 (4) :

$$C_{TREE_BSL,i,t} = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^J (B_{TREE_BSL,i,j,t} \times CF_j) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $C_{TREE_BSL,i,t}$ ——第t年, 基准线第i层林木生物质的碳储量, tCO₂-e;
 44/12 ——CO₂与C的分子量之比;
 J ——总树种数;
 j ——第i层中的第j树种;
 $B_{TREE_BSL,i,j,t}$ ——第t年, 基准线第i层树种j的林木生物量, t d. m. ;
 CF_j ——树种j的生物量含碳率, tC/(t d. m.), 缺省值为0.50。

林木生物量 ($B_{TREE,i,j,t}$) 可采用生物量扩展因子法或生物量方程法进行测算:

——生物量扩展因子法。利用适合当地的一元材积表或二元材积表(材积方程), 通过林木胸径(DBH)、树高(H)查算树干材积; 利用基本木材密度(D)和生物量扩展因子(BEF)将林木树干材积转化为林木地上生物量; 利用地下与地上生物量比(R)将地上生物量转化为林木生物量, 计算方法见公式 (5) :

$$B_{TREE,i,j,t} = V_{i,j,t} \times D_j \times BEF_j \times (1 + R_j) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $B_{TREE,i,j,t}$ ——第t年, 第i层林木树种j的生物量, t d. m. ;
 $V_{i,j,t}$ ——第t年, 第i层树种j的林木树干材积, 用胸径 (DBH) 和 (或) 树高(H) 数据查材积表或用材积方程计算得来, m³;

- D_j ——树种j的基本木材密度（带皮）， $\text{td. m.}/\text{m}^3$ ；
 - BEF_j ——树种j的生物量扩展因子，用于将树干材积转化为林木地上生物量，无量纲；
 - R_j ——树种j的地下与地上生物量比，无量纲。
- 生物量方程法。按公式（6）进行计算：

$$B_{\text{TREE},i,j,t} = f_j(\text{DBH}, H) \times (1 + R_j) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $B_{\text{TREE},i,j,t}$ ——第t年，第i层林木树种j的生物量， td. m. ；
- $f_j(\text{DBH}, H)$ ——将第t年第i层树种j的测树因子（DBH, H）转化为地上生物量的回归方程。分为一元生物量方程（DBH）和二元生物量方程（DBH、H）；
- R_j ——树种j的地下与地上生物量比，无量纲。

在项目实施和监测阶段，在项目区选择有代表性的地段设置基准线控制样区并在其内设置基准线控制固定标准地用于监测基准线碳储量变化量。

5.6 项目碳汇量

5.6.1 项目碳汇量计算

项目碳汇量等于在城市绿化碳汇项目区内所选的各个碳库碳储量变化量之和，减去项目排放量后所得的差值。计算方法见公式（7）：

$$\Delta C_{\text{ACURRAL},t} = \Delta C_{p,t} - \text{GHG}_{E,t} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $\Delta C_{\text{ACURRAL},t}$ ——第t年项目的净碳汇量， $\text{tCO}_2\text{-e}/\text{年}$ ；
- $\Delta C_{p,t}$ ——第t年项目区内所选碳库的碳储量变化量， $\text{tCO}_2\text{-e}/\text{年}$ ；
- $\text{GHG}_{E,t}$ ——第t年由于木质生物质燃烧所引起的项目区内非 CO_2 温室气体排放的增加量（ CH_4 和 N_2O ）， $\text{tCO}_2\text{-e}/\text{年}$ 。

第t年时，项目区内所选碳库碳储量变化量的计算方法如公式（8）所示：

$$\Delta C_{p,t} = \Delta C_{\text{TREE}_P,t} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $\Delta C_{\text{TREE}_P,t}$ ——第t年，项目区内林木碳储量的年变化量， $\text{tCO}_2\text{-e}/\text{年}$ 。

5.6.2 项目区内林木生物质碳储量变化量

项目区内林木生物质碳储量的年变化量（ $\Delta C_{\text{TREE}_P,t}$ ）的计算方法见公式（9）、公式（10）和公式（11）：

$$\Delta C_{\text{TREE}_P,t} = \sum_{i=1}^L \Delta C_{\text{TREE}_P,i,t} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta C_{\text{TREE}_P,i,t} = \frac{C_{\text{TREE}_P,i,t_2} - C_{\text{TREE}_P,i,t_1}}{t_2 - t_1} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$C_{\text{TREE}_P,i,t} = \frac{44}{12} \times (B_{\text{TREE}_P,i,t} \times CF_i) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $\Delta C_{\text{TREE}_P,i,t}$ ——第t年，项目第i层林木生物质碳储量的年变化量， $\text{tCO}_2\text{-e}/\text{年}$ ；

- $C_{\text{TREE},i,t}$ ——第t年，项目第i层林木生物质的碳储量， $t\text{CO}_2\text{-e}$ ；
 $B_{\text{TREE},i,t}$ ——第t年，项目第i层的林木生物量， td. m. ；
 CF_i ——项目第i层的林木的生物量含碳率， $t\text{C}/(\text{td. m.})$ ，缺省值0.50。

在估计项目区内林木生物量 ($B_{\text{TREE},i,t}$) 时，可采用生物量扩展因子法公式 (5) 或生物量方程法公式 (6) 进行计算。

在项目设计阶段，根据项目绿化情况，可选用树木生长曲线、“林分密度控制图法”、林分收获表法、科学实验结果、生产实践成果，估计项目情景下林木的蓄积 (生物量) 生长动态变化，以此计量项目区内林木生物质碳储量的变化量。

在项目监测阶段，采用分层抽样调查方法，实测林木蓄积量或生物量及其变化量，计算项目区内林木生物质碳储量变化量。

5.6.3 项目排放量

项目排放量只考虑由森林火灾所造成的项目区内 CH_4 和 N_2O 排放的增加量，计算方法见公式 (12)。在项目设计阶段将项目区内上述温室气体排放量的增加量设为0。在项目实施和监测阶段，项目排放量只考虑发生森林火灾燃烧地上生物量所引起的排放。如果不发生森林火灾， $\text{GHG}_{\text{E},t}$ 为0。

$$\begin{aligned} \text{GHG}_{\text{E},t} &= \text{GHG}_{\text{FF},t} \\ &= 0.001 \times \sum_{i=1}^L A_{\text{BURN},i,t} \times b_{\text{TREE},i,t_L} \times \text{COMF}_i \times (\text{EF}_{\text{CH}_4,i} \times \text{GWP}_{\text{CH}_4} + \text{EF}_{\text{N}_2\text{O},i} \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}) \quad \cdots(12) \end{aligned}$$

式中：

- $\text{GHG}_{\text{E},t}$ ——第t年项目排放量， $t\text{CO}_2\text{-e}/\text{年}$ ；
 $\text{GHG}_{\text{FF},t}$ ——第t年，项目区内由于森林火灾所导致的非 CO_2 温室气体 (甲烷和氧化亚氮) 排放的增加量， $t\text{CO}_2\text{-e}/\text{年}$ ；
0.001 ——将千克 (kg) 转化成吨 (t) 的系数；
 $A_{\text{BURN},i,t}$ ——第t年，第i层过火面积， $\text{hm}^2/\text{年}$ ；
 b_{TREE,i,t_L} ——火灾发生前，在最近一次核证的第 T_L 年时第i层林木每公顷地上生物量的平均值， $\text{td. m.}/\text{hm}^2$ ；
 COMF_i ——第i层的燃烧因子，无量纲；
 $\text{EF}_{\text{CH}_4,i}$ ——第i层的 CH_4 排放指数， $\text{gCH}_4/(\text{kg}$ 燃烧的干物质)；
 GWP_{CH_4} —— CH_4 的全球增温潜势，无量纲，缺省值为21；
 $\text{EF}_{\text{N}_2\text{O},i}$ ——第i层的 N_2O 排放指数， $\text{gN}_2\text{O}/(\text{kg}$ 燃烧的干物质)；
 $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$ —— N_2O 的全球增温潜势，无量纲，缺省值为310。

火灾引起林木地上生物量损失所排放的非 CO_2 温室气体 (甲烷和氧化亚氮)，应采用最近一次核证时分层的林木地上生物量数据和燃烧因子进行计算。第一次核证时，无论是自然或人为原因引起森林火灾造成林木燃烧，其非 CO_2 温室气体排放量都假定为0。

5.7 泄漏排放量

在项目计入期，泄漏主要考虑使用运输工具运输树苗等使用燃料引起的，发生在项目边界之外的 CO_2 排放。如苗木来自城市内部，则泄漏 LK_t 为0，不需要进行计量与监测；如来自外部，则应当计量。

5.8 项目减排量

项目减排量等于项目碳汇量，减去基准线碳汇量，再减去泄漏排放量。计算方法见公式 (13)：

$$\Delta C_{AR,t} = \Delta C_{p,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t = \Delta C_{p,t} - \Delta C_{BSL,t} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $\Delta C_{AR,t}$ ——第t年项目减排量，tCO₂-e/年；
- $\Delta C_{p,t}$ ——第t年项目碳汇量，tCO₂-e/年；
- $\Delta C_{BSL,t}$ ——第t年基准线碳汇量，tCO₂-e/年；
- LK_t ——第t年城市绿化碳汇项目活动所引起的泄漏排放量，tCO₂-e/年，LK_t取0。

5.9 项目核证减排量计算

核证减排量的有效期与计入期相同。项目核证减排量，计算方法见公式（14）：

$$CCER_T = \sum_{t=t_1}^{t_2} \Delta C_{AR,t} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- $CCER_T$ ——核查期T（T= t₂ - t₁）的项目核证减排量，tCO₂-e；
- t₁, t₂——分别为核查期的开始年份序数和结束年份序数；
- $\Delta C_{AR,t}$ ——第t年时城市绿化碳汇项目的项目减排量，tCO₂-e/年。

6 监测程序

6.1 资料核实

项目参与方（项目业主）在编制项目设计文件（简称PDD）时，需要制定监测计划，获取编制监测报告和为核证机构开展核证工作所必需的相关数据和材料，包括：

- a) 证明项目符合本标准适用条件的证明材料，如项目规划书、规划图、施工验收书、竣工图和权属证书等；
- b) 计算所选碳库碳储量变化量的数据和证明材料；
- c) 计算项目区内排放量的数据和证明材料。

上述数据应按照GB 50420、GB/T 50563、LY/T 1729、DB33/T 640中的要求进行监测和采集。监测过程中获取的所有数据、材料都应以纸质和电子版方式保存，并至少保存到项目计入期结束后两年。

6.2 基准线碳汇量的监测

按PDD确定的项目基准线控制固定标准地的方法进行监测，监测评估林木地上生物量和地下生物量两个碳库碳储量。按森林调查的要求，测定每个基准线控制标准地达到检尺胸径（BDH≥3.0 cm）的所有林木的胸径。选用二元材积表或二元生物量方程时，在每个基准线控制标准地内测定25株~30株样木的树高与胸径的成对数据，绘制树高曲线或拟合树高一胸径方程，确定林分平均树高及径阶平均树高，按公式计算基准线碳汇量。

6.3 项目活动的监测

项目参与方应对项目计入期内的绿化、养护活动（造林、施肥、修枝等）和项目区内森林灾害（毁林、林火、病虫害等）发生情况以及项目边界与面积进行监测并详细记录。项目边界、面积监测，利用规划图、竣工图现场勾绘，或利用无人机实测，面积监测误差≤5%，误差较大时需人工测量调整。

6.4 事后分层

一般与项目事前分层一致，如变化较大，按事前分层监测困难太大时，可根据项目实际开展绿化情况和养护情况等关键分层因素，适当调整事前项目分层。

6.5 抽样设计

按照95%的可靠性(概率保证)和95%的抽样精度要求和采用分层抽样调查的样本单元计算方法(具体可采用比例分配法或最优分配法)，计算所需要的固定样地数量。项目区内蓄积量或生物量分布比较均匀，可采用简单随机抽样或等距抽样的样本单元数计算方法，计算所需固定样地数量。计算公式见附录C。

6.6 样地设置

城市绿化造林林带在2行以上且行距 $\leq 4\text{m}$ 或林冠冠幅水平投影宽度在10m以上，或两平行林带的带距 $\leq 8\text{m}$ 时可以按片林调查；未达林地标准的单行且冠幅 $< 10\text{m}$ 的树带，按四旁树计。片林的样地设置方法如下：

- 在各层中随机确定起点后，等距布点设置固定样地；或在各层中随机布设固定样地；
- 固定样地大小为 $0.04\text{hm}^2 \sim 0.06\text{hm}^2$ ，样地形状为方形(正方形、长方形)或圆形；
- 固定样地采用罗盘仪或全站仪测设，做好引线记录，并在样地四个角设立明显的固定标志；在圆形样地中心设立明显的固定标志；
- 固定样地记录：设计并填写固定样地调查记录表，详细记录样地的行政位置、小地名和西南角点的全球定位系统(Global Positioning System, GPS)坐标、地位级或立地指数、树种、起源、龄级等信息。

6.7 监测频率

按监测计划规定的周期和时间，监测固定样地，提交监测报告。

6.8 项目乔木层林木生物质碳储量的监测

项目乔木层林木生物质碳储量的监测，采用基于固定样地的连续分层抽样调查方法。项目林木生物质碳储量监测的步骤如下：

- 在固定样地内，实测达到起测胸径($\text{DBH} \geq 3.0\text{cm}$)的每株林木的胸径。选用二元材积表或二元生物量方程时，还应随机选择25株~30株林木测定胸径和树高，绘制树高曲线，用以确定各样木树高，径阶平均树高或林分平均树高；
- 采用生物量扩展因子法，计算方法见公式(6)，或采用生物量方程法，计算方法见公式(7)，求算每个固定样地林木生物量；
- 累加得到固定样地内生物量或单位面积生物量；
- 按分层抽样的统计分析方法，计算各层样本平均数(各层平均单位面积林木生物量估计值)及其方差；然后计算分层抽样总体平均数估计值(总体平均单位面积林木生物量估计值)及其方差，总体林木生物量估计值，相对误差以及抽样精度，计算公式见附录C；
- 计算第t年项目区内林木生物质的碳储量估计值。计算方法见公式(15)：

$$C_{\text{TREE},t} = \frac{44}{12} \times B_{\text{TREE},t} \times CF \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$C_{\text{TREE},t}$ ——第t年项目区内的林木生物质碳储量估计值， $\text{tCO}_2\text{-e}$ ；

$B_{\text{TREE},t}$ ——第t年项目区内林木生物量的估计值(第t年总体林木生物量估计值)， td.m. ；

CF ——林木生物量的含碳率；tC/(td. m.)，缺省值为0.50。

f) 计算项目区内林木生物质碳储量的年变化量，采用定期平均数计算。计算方法见公式(16)：

$$dC_{TREE(t_1,t_2)} = \frac{C_{TREE,t_2} - C_{TREE,t_1}}{T} = \frac{C_{TREE,t_2} - C_{TREE,t_1}}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$dC_{TREE(t_1,t_2)}$ ——第 t_1 年和第 t_2 年之间项目区内林木生物质碳储量年均变化量，tCO₂-e/年；

$C_{TREE,t}$ ——第 t 年项目区内林木生物质中的碳储量估计值，tCO₂-e；

T ——连续两次固定样地调查的时间间隔，年；

t_1, t_2 ——自城市绿化碳汇项目活动开始以后的第 t_1 年数和第 t_2 年数。

首次核证时，将项目活动开始时林木生物质的碳储量赋值给公式(13)中的变量 C_{TREE,t_1} ，即首次核证时 $C_{TREE,t_1} = C_{TREE_BSL}$ ，此时， t_1 为0， t_2 为自项目活动开始起直至首次核证的计入期最后一年的年份数。

g) 计算核查期内第 t 年($t_1 \leq t \leq t_2$)时项目区内林木生物质碳储量的变化量。计算方法见公式(17)：

$$\Delta C_{TREE,t} = dC_{TREE(t_1,t_2)} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\Delta C_{TREE,t}$ ——第 t 年项目区内林木生物质碳储量的年变化量，tCO₂-e/年；

$dC_{TREE(t_1,t_2)}$ ——第 t_1 年和第 t_2 年间项目区内林木生物质碳储量年均变化量，tCO₂-e/年。

6.9 项目灌木生物量碳储量的监测

6.9.1 样方调查：设置4 m²的正方形样方；测量并记录样方内灌木的名称、平均高度、盖度及其他性状。

6.9.2 生物量计算：根据生物量模型法或系数法计算样方灌木层生物量，按面积比例推算样地内单位面积生物量、碳储量。

6.9.3 计量时优先选用经检验合格的当地数学模型和参数；在当地缺乏模型和参数时，使用经检验合格的相似地区的数学模型和参数；否则应开发适用于当地的数学模型和参数。

6.10 项目排放量的监测

根据记录的项目区内的每一次森林火灾发生的时间、面积、地理边界等数据，按照公式(12)计算项目区内因森林火灾燃烧地上林木生物质所引起的项目排放量。

6.11 精度控制与校正

6.11.1 不确定性分析主要针对项目情景下固定样地的抽样调查的相对误差。项目林木碳储量及变化量监测按照分层抽样的统计分析方法，进行数据分析和抽样精度计算。

6.11.2 监测精度：在95%的可靠性水平下，项目林木蓄积量或生物量估计值的抽样精度≥95%。

6.11.3 抽样精度达不到要求时，项目参与方可通过增加固定样地数量，使抽样精度符合要求。

6.12 相关数据和参数的确定和监测

6.12.1 不需要监测的参数

树种 j 的生物量含碳率 CF_j 为0.5tC/(td. m.)，毛竹等大型竹种平均单位面积生物量为60.647 t/hm²，雷竹等小型竹种平均单位面积生物量为31.356 t/hm²。树种 j 的基本木材密度 D_j 、生物量扩展因子 BEF_j 和地下与地上生物量比 R_j 见附录A。其他不需要监测或只需监测一次的数据和参数见表3。

表3 不需要监测或只需监测一次的数据和参数

数据/参数	COMF _i	EF _{CH₄,i}	EF _{N₂O,i}
单位	无量纲	g CH ₄ /kg 燃烧的干物质	g N ₂ O/kg 燃烧的干物质
应用的公式编号	公式 (12)	公式 (12)	公式 (12)
描述	第 i 层的燃烧氧化因子 (针对每个植被类型)	第 i 层的 CH ₄ 排放因子	第 i 层的 N ₂ O 排放因子
数据来源	数据来源选择的优先顺序如下: (a) 项目所在地区的调查数据; (b) 相邻地区相似条件下的调查数据; (c) 国家水平的适用于项目区的数据; (d) 国际上默认的缺省值。	参数选择的优先顺序如下: (a) 项目所在地区的调查数据; (b) 相邻地区相似条件下的调查数据; (c) 国家水平的适用于项目区的数据; (d) 下列的默认值: 其它森林 4.7。	参数选择的优先顺序如下: (a) 项目所在地区的调查数据; (b) 相邻地区相似条件下的调查数据; (c) 国家水平的适用于项目区的数据; (d) 下列的默认值: 其它森林 0.26。
测定步骤	无	无	无
监测频率	无	无	无
质量保证和质量控制 (QA/QC)	无	无	无
备注	无	无	无

6.12.2 需要监测的数据和参数

需要监测的数据和参数见表4。

表4 需要监测的数据和参数

数据/参数	A	A _i	DBH, H	V _{i,j,t}	A _{BURN,i,t}
单位	hm ²	hm ²	DBH 的单位为 cm, H 的单位为 m	m ³	hm ²
应用的公式编号	在抽样设计和蓄积量及生物量估计值统计分析时应用	在抽样设计和蓄积量及生物量估计值统计分析时应用	公式 (5) 和 (6)	公式 (5)	公式 (12)
描述	项目总面积, 各层面积的合计	第 i 层的面积	胸径 (DBH)、树高 (H), 用于利用材积表 (材积公式) 或生物量方程计算林木生物量	使用立木材积表或材积方程所得出的第 t 年第 i 层树种 j 的树干材积	第 t 年第 i 层发生火灾的面积
数据来源	野外测定、核实	野外测定	野外固定样地实测	用野外测定的胸径 (DBH)、树高 (H) 查立木材积表 (材积方程) 获得	野外测量或者遥感监测

表4 需要监测的数据和参数（续）

数据/参数	A	A _i	DBH, H	V _{i,j,t}	A _{BURN,i,t}
测定步骤	按照 DB33/T 640 执行	按照 DB33/T 640 行 执	按照 DB33/T 640 执行	按照 DB33/T 640 行 执	利用规划图、竣工图现场勾绘，或利用无人机实测，面积监测误差≤5%，误差较大时需人工测量调整
监测频率	按确定的监测周期和时间进行监测	按确定的监测周期和时间进行监测	按确定的监测周期和时间进行监测	按确定的监测周期和时间进行监测	每次森林火灾发生时均应测量
质量保证和质量控制 (QA/QC)	采用国家森林资源调查使用的 QA/QC 程序，面积测定误差≤5 %	采用国家森林资源调查使用的 QA/QC 程序，面积测定误差≤5%	采用国家森林资源调查使用的 QA/QC 程序	采用国家森林资源调查使用的 QA/QC 程序	采用国家森林资源调查使用的 QA/QC 程序，面积误差≤5 %
备注	无	无	无	无	无

地方标准信息服务平台

附 录 A
(资料性)
浙江省主要乔木树种(组)生物量参数

表A.1给出了浙江主要乔木树种(组)生物量参数。

表 A.1 浙江主要乔木树种(组)生物量参数

序号	优势 DBH (组)	生物量扩展因子BEF _j	地下与地上生物量比R _j	基本木材密度D _j (d.m.m ⁻³)
1	桉树	1.263	0.221	0.578
2	柏木	1.732	0.220	0.478
3	檫木	1.483	0.270	0.477
4	池杉	1.218	0.435	0.359
5	枫香	1.765	0.398	0.598
6	国外松	1.631	0.206	0.424
7	黑松	1.551	0.280	0.493
8	榉木	1.424	0.248	0.541
9	火炬松	1.631	0.206	0.424
10	阔叶混	1.514	0.262	0.482
11	栎类	1.355	0.292	0.676
12	楝树	1.586	0.289	0.443
13	柳杉	2.593	0.267	0.294
14	柳树	1.821	0.288	0.443
15	金钱松	1.416	0.212	0.490
16	马尾松	1.472	0.187	0.380
17	木荷	1.894	0.258	0.598
18	木麻黄	1.505	0.213	0.443
19	楠木	1.639	0.264	0.477
20	泡桐	1.833	0.247	0.443
21	其它杉类	1.667	0.277	0.359
22	其它松类	1.631	0.206	0.424
23	软阔类	1.586	0.289	0.443
24	杉木	1.634	0.246	0.307
25	湿地松	1.614	0.264	0.424
26	水杉	1.506	0.319	0.278
27	桐类	1.926	0.269	0.239
28	相思	1.479	0.207	0.443
29	杨树	1.446	0.227	0.378
30	硬阔类	1.674	0.261	0.598
31	油杉	1.667	0.277	0.448
32	榆树	1.671	0.621	0.598
33	杂木	1.586	0.289	0.515
34	樟树	1.412	0.275	0.460
35	针阔混	1.656	0.248	0.486
36	针叶混	1.587	0.267	0.405
37	红豆杉	1.667	0.277	0.359
38	桂花	1.586	0.289	0.515
39	木兰科	1.586	0.289	0.443
40	悬铃木	1.765	0.398	0.598
41	枫杨	1.821	0.288	0.443

附录 B

(资料性)

浙江省主要乔木树种(组)生物量方程参考表

表B.1给出了浙江省主要乔木树种(组)生物量方程。

表B.1 浙江省主要乔木树种(组)生物量方程参考表

DBH (组)	地上生物量公式	地下生物量公式	全树生物量公式	建模 地区	文献来源
柏木	$W_i=0.02479DBH^{2.0333}$	$W_R=0.0261DBH^{2.1377}$		江苏	闫家锋, 2008
	$W_S=0.2682DBH^{1.9161}$			福建	魏影景, 2001
	$W_B=0.0103DBH^{2.4304}$	$W_R=0.0261DBH^{2.1377}$			
	$W_L=0.0414e^{0.3376DBH}$				
	$W_i=W_S+W_B+W_L$				
黑松	$W_i=0.0462(DBH^2H)^{0.9446}$	$W_R=0.0064(DBH^2H)^{1.0427}$		安徽	张旭东 等, 1994
	$W_S=-25.244+4.7759DBH$			山东	许景伟, 2005
	$W_B=1.0395+0.0140DBH^2H$	$W_R=0.0180DBH^{2.7546}$	$W=0.1425(DBH^2H)^{0.9181}$		
	$W_L=0.4234+0.0122DBH^2H$				
	$W_i=W_S+W_B+W_L$				
马尾松	$W_i=0.02634(DBH^2H)^{2.7751}$	$W_R=0.0417DBH^{2.2618}H^{-0.078}$		浙江	江波, 1992
	$W_2=0.06H^{0.7934}D^{1.8005}$	$W_4=0.0417D^{2.2618}H^{-0.0780}$	$W_i=W_2+W_3+W_4$	浙江	袁位高等, 2009
	$W_3=0.137708D^{1.487266}L^{0.405207}$				
火炬松	$W_S=0.02765(DBH^2H)^{0.9236}$			江苏	林良琪, 2008
	$W_B=0.00751DBH^{2.6463}$	$W_R=0.0343DBH^{2.2313}$	$W=0.06227(DBH^2H)^{2.5244}$		
	$W_L=0.03432DBH^{2.0606}$				
	$W_i=W_S+W_B+W_L$				
	$W_i=0.06548(DBH^2H)^{0.8506}$			浙江	江波, 1992
杉木	$W_S=0.0513(DBH^2H)^{0.8796}$			福建	尉海东, 2005
	$W_B=0.0243(DBH^2H)^{0.7821}$				
	$W_L=0.261(DBH^2H)^{0.4811}$	$W_R=1.2314(DBH^2H)^{0.2915}$			
	$W_P=0.2238(DBH^2H)^{0.5146}$				
	$W_i=W_S+W_B+W_L+W_P$				
	$W_2=0.0647H^{0.8959}D^{1.488}$	$W_4=0.061D^{2.115252}H^{-0.10374}$	$W_i=W_2+W_3+W_4$	浙江	袁位高等, 2009
	$W_3=0.097D^{1.7814}L^{0.0346}$				

表B.1 浙江省主要乔木树种(组)生物量方程参考表(续)

DBH (组)	地上生物量公式	地下生物量公式	全树生物量公式	建模 地区	文献来源
柳杉	$W_S=0.2716(DBH^2H)^{0.7379}$ $W_B=0.0326(DBH^2H)^{0.8472}$ $W_L=0.0250(DBH^2H)^{1.1778}$ $W_P=0.0379(DBH^2H)^{0.7328}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=10.329+0.009DBH^2H$		江苏	卢义山, 2000
水杉	$W_S=-0.656+0.028DBH^2H$ $W_B=-1.258+0.007DBH^2H$ $W_L=0.004+0.001DBH^2H$ $W_P=0.135+0.003DBH^2H$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.522+0.006DBH^2H$	$W=-5.826+0.047DBH^2H$	江苏	卢义山, 2000
	$W_T=0.08004(DBH^2H)^{0.8026}$	$W_R=0.03585DBH^{2.0887}$	$W=0.1525DBH^{2.1549}$	浙江	高智慧, 1992
	$W_S=0.03576(DBH^2H)^{0.8895}$ $W_B=0.01743(DBH^2H)^{0.7449}$ $W_L=0.0004283(DBH^2H)^{0.8782}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$			福建	何榕彬, 1997
樟树	$W_S=0.05560(DBH^2H)^{0.850193}$ $W_B=0.00665(DBH^2H)^{1.051841}$ $W_L=0.05987(DBH^2H)^{0.574327}$ $W_P=0.01476(DBH^2H)^{0.808395}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.1754(DBH^2H)^{0.819874}$	$W=0.05560(DBH^2H)^{0.850193}$	湖南	姚迎九, 2003
	$W_S=0.812+0.012DBH^2H$ $W_B=-0.246+0.012(DBH^2H)$ $W_L=0.153+0.006(DBH^2H)$ $W_T=W_S+W_B+W_L$	$W_R=0.218+0.007(DBH^2H)$	$W=0.937+0.037(DBH^2H)$	贵州	贺红早, 2007
楠木	$W_S=0.0642(DBH^2H)^{0.8596}$ $W_B=0.0514(DBH^2H)^{0.6781}$ $W_L=0.3124(DBH^2H)^{0.4511}$ $W_P=0.2632(DBH^2H)^{0.5317}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=2.1468(DBH^2H)^{0.221}$		福建	尉海东, 2005
	$W_S=0.04709(DBH^2H)^{0.9429}$			江西	钟全林, 2001

表 B.1 浙江省主要乔木树种(组)生物量方程参考表(续)

DBH (组)	地上生物量公式	地下生物量公式	全树生物量公式	建模 地区	文献来源
栎类	$W_S=0.0369(DBH^2H)^{0.9165}$ $W_B=0.00051(DBH^2H)^{1.3377}$ $W_L=0.00021(DBH^2H)^{1.171}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$	$W_R=0.0778(DBH^2H)^{0.7301}$		北京	方精云, 2007
	$W_S=0.3108(DBH^2H)^{0.67428}$ $W_B=0.0293(DBH^2H)^{0.75662}$ $W_L=0.0922(DBH^2H)^{0.39445}$ $W_P=0.93685(DBH^2H)^{0.614021}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.1672284(DBH^2H)^{0.64106}$		河南	刘玉萃, 2001
	$W_T=0.38796(DBH^2H)^{1.27153}$	$W_R=0.11989(DBH^2H)^{0.97919}$		四川	吴万奎, 1996
	$W_T=0.16625(DBH^2H)^{0.7821}$	$W_R=0.01977(DBH^2H)^{0.88233}$	$W=0.10141(DBH^2H)^{0.8771}$	贵州	安和平, 1991
桦木	$W_S=0.0319(DBH^2H)^{0.9356}$ $W_B=0.00063(DBH^2H)^{1.2781}$ $W_L=0.00016(DBH^2H)^{1.1688}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$	$W_R=0.0093(DBH^2H)^{0.9396}$		北京	方精云, 2006
马褂木	$W_S=0.02426(DBH^2H)^{0.9423}$ $W_B=0.000349(DBH^2H)^{1.268207}$ $W_L=0.000419(DBH^2H)^{1.048786}$ $W_P=0.004283(DBH^2H)^{0.88245}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.023475(DBH^2H)^{0.770223}$	$W=0.039934(DBH^2H)^{0.938578}$	江西	黄韬, 1999
木荷	$W_S=0.013369(DBH^2H)^{1.0569}$ $W_B=1.086042(DBH^2H)^{0.58954}$ $W_L=0.000411(DBH^2H)^{1.308806}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$		$W=0.031103 \times (DBH^2H)^{1.019796}$	江西	杨桦, 2004
硬阔类	$W_T=0.03451(DBH^2H)^{1.0037}$	$W_R=0.0549H^{0.1068}DBH^{2.0953}$		浙江	钱逸凡, 2012
	$W_T=0.07112(DBH^2H)^{0.910358078}$			安徽	丁增发, 2009
	$W_S=-80.049+50.0544\ln DBH$ $W_B=-30.5257+18.6683\ln DBH$ $W_L=-11.905+7.247\ln DBH$ $W_P=-8.2984+5.366\ln DBH$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=-22.963+14.698\ln DBH$		福建	管大跃, 2000
	$W_2=0.056H^{0.8099}D^{1.814}$ $W_3=0.098D^{1.648}L^{0.461}$	$W_4=0.0547D^{2.0953}H^{0.1068}$	$W_1=W_2+W_3+W_4$	浙江	袁位高等, 2009
$W_S=0.0311DBH^{2.714}$ $W_B=0.212DBH^{1.644}$ $W_L=0.0181DBH^{1.9945}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$	$W=0.0319DBH^{2.2582}$		广东	曾小平, 2008	

表 B.1 浙江省主要乔木树种(组)生物量方程参考表(续)

DBH (组)	地上生物量公式	地下生物量公式	全树生物量公式	建模 地区	文献来源
桉树	$W_s=0.0761DBH^{2.4275}$ $W_b=0.0088DBH^{2.7829}$ $W_l=0.0117DBH^{2.5951}$ $W_t=W_s+W_b+W_l$			福建	张琼, 2005
	$W_t=0.0180(DBH^2H)^{1.0283}$	$W_r=0.0273(DBH^2H)^{0.7318}$		四川	硕士学位论文 文. 谢贤 健, 2005
木麻黄	$W_s=1.6128455(DBH^2H)^{0.515}$ $W_b=1.794991(DBH^2H)^{0.248}$ $W_l=4.0755267(DBH^2H)^{0.141}$ $W_p=0.0655462(DBH^2H)^{0.685}$ $W_t=W_s+W_b+W_l+W_p$	$W_r=2.225541(DBH^2H)^{0.251}$		福建	叶功富, 1996
	$W_s=0.047(DBH^2H)^{0.9383}$ $W_b=0.00021(DBH^2H)^{1.4847}$ $W_l=0.0226(DBH^2H)^{0.740}$ $W_p=0.0011(DBH^2H)^{1.1297}$ $W_t=W_s+W_b+W_l+W_p$	$W_r=6.166+4.944 \times 10^{-6}$ $\times (DBH^2H)^2$		广西	谢伟东, 2008
杨树	$W_s=0.0231(DBH^2H)^{0.9258}$ $W_b=0.00121(DBH^2H)^{1.1337}$ $W_l=0.00063DBH^{1.1706}$ $W_t=W_s+W_b+W_l$			北京	陈军, 2007
	$W_s=0.0074046(DBH^2H)^{1.069}$ $W_b=0.0041773(DBH^2H)^{0.9911}$ $W_l=0.071532(DBH^2H)^{0.4489}$ $W_t=W_s+W_b+W_l$	$W_r=0.055106(DBH^2H)^{0.7061}$		江苏	唐罗忠, 2004
	$W_s=0.02582(DBH^2H)^{0.9084}$ $W_b=0.0873(DBH^2H)^{0.6279}$ $W_l=0.03258(DBH^2H)$ $^{0.5855}W_p=0.0643(DBH^2H)^{0.6160}$ $W_t=W_s+W_b+W_l+W_p$	$W_r=0.04176(DBH^2H)^{0.69713}$	$W=0.13513(DBH^2H)^{0.802003}$	安徽	吴泽民, 2001
胡杨	$W_s=0.0611(DBH^2H)^{0.7858}$ $W_b=0.0679(DBH^2H)^{0.6698}$ $W_l=2.40 \times 10^{-4}(DBH^2H)^{3.34}$ $W_t=W_s+W_b+W_l$	$W_r=0.0548(DBH^2H)^{0.6767}$		新疆	陈炳浩, 1984

表B.1 浙江省主要乔木树种(组)生物量方程参考表(续)

DBH (组)	地上生物量公式	地下生物量公式	全树生物量公式	建模 地区	文献来源
桐类	$W_S=0.01693(DBH^2H)^{0.9234}$ $W_B=0.00247(DBH^2H)^{1.0977}$ $W_L=0.145(DBH^2H)^{0.7156}$ $W_P=0.004105(DBH^2H)^{0.9296}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.06457(DBH^2H)^{0.6966}$	$W=0.0574(DBH^2H)^{0.8925}$	安徽	陈绍信, 1990
刺槐	$W_S=0.0681(DBH^2H)^{0.9865}$ $W_B=12.020+0.009(DBH^2H)$ $W_L=-0.549+0.007(DBH^2H)$ $W_P=4.217+0.008DBH^2H$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.0087(DBH^2H)^{1.0513}$		江苏	卢义山, 2000
	$W_S=0.312+0.016(DBH^2H)$ $W_B=0.161+0.003(DBH^2H)$ $W_L=0.091+0.003(DBH^2H)$ $W_T=W_S+W_B+W_L$	$W_R=0.150+0.008(DBH^2H)$	$W=0.714+0.029(DBH^2H)$	贵州	贺红早, 2007
榆树	$W_S=0.0709DBH^{2.42}$ $W_B=4.924DBH^{0.976}$ $W_L=1.163DBH^{0.64}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$			辽宁	姜萍, 2005
软阔类	$W_S=0.012541(DBH^2H)^{1.144}$ $W_B=0.004786(DBH^2H)^{1.006}$ $W_L=0.047180(DBH^2H)^{0.769}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$	$W_R=0.004808(DBH^2H)^{1.119}$		福建	张尚炬, 2008
	$W_2=0.044H^{0.7197}D^{1.7095}$ $W_3=0.0856D^{1.22657}L^{0.3970}$	$W_4=0.0417D^{2.0247}H^{-0.1067}$	$W_T=W_2+W_3+W_4$	浙江	袁位高等, 2009
厚朴	$W_T=0.02820(DBH^2H)^{0.9682}$	$W_R=0.00831(DBH^2H)^{0.9700}$	$W=0.03872(DBH^2H)^{0.9589}$	浙江	斯金平, 1993
杜仲	$W_S=0.118194DBH^{2.047788}$ $W_B=0.013137DBH^{2.919738}$ $W_L=0.033970DBH^{0.001548}$ $W_T=W_S+W_B+W_L$			河南	宋留高, 1996
	$W_S=0.20071(DBH^2H)^{0.5013}$ $W_B=0.0663(DBH^2H)^{0.6023}$ $W_L=0.04876(DBH^2H)^{0.6019}$ $W_P=0.07754(DBH^2H)^{0.5013}$ $W_T=W_S+W_B+W_L+W_P$	$W_R=0.0650(DBH^2H)^{0.8760}$		陕西	罗伟祥, 1994
阔叶混	$W_T=0.042086(DBH^2H)^{0.9703}$			海南	李意德, 1993
	$W_T=0.17322DBH^{2.3458}$			贵州	杨汉奎, 1991
灌木层			$W=0.409H^{0.5427}D^{1.0615}$	浙江	袁位高等, 2009

附 录 C
(资料性)
分层抽样的估计方法

C.1 各层特征数的估计

C.1.1 层样本平均数

$$\bar{y}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} y_{hi} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

\bar{y}_h ——第h层平均数估计值;

n_h ——第h层的样本单元数;

y_{hi} ——第h层第i个单元。

C.1.2 层估计值的方差

$$S^2(\bar{y}_h) = \frac{1}{n_h(n_h - 1)} \sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{y}_h)^2 \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

$S^2(\bar{y}_h)$ ——层估计值的方差。

C.1.3 层总量的估计值

$$\hat{y}_h = N_h \bar{y}_h \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

\hat{y}_h ——层总量的估计值;

N_h ——第h层总体单元。

C.2 分层抽样总体特征数的计算

C.2.1 分层抽样总体平均数的估计值

$$\bar{y}_{st} = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L \hat{y}_h = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h = \sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

\bar{y}_{st} ——分层抽样总体平均数估计值;

N ——总体单元数;

L ——总体划分的层数;

h ——具体层数;

W_h ——第h层总体单元 N_h 占总体 N 的比重(层权重)。

当总体各层是按比例抽取样本时, 即 $\frac{n_h}{n} = \frac{N_h}{N}$, 分层抽样样本平均数为:

$$\bar{y}_{st} = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L n_h \bar{y}_h = \sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

可见公式 (C.4) 与公式 (C.5) 是等价的。

可以证明, \bar{y}_{st} 是总体 \bar{Y} 的无偏估计值:

证明:

$$E(\bar{y}_{st}) = E\left(\sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h\right) = \sum_{h=1}^L W_h E(\bar{y}_h) = \sum_{h=1}^L W_h \bar{Y}_h = \bar{Y}$$

式中:

E ——无偏估计值;

\bar{Y} ——总体样本的平均数。

C.2.2 总体平均数估计值的方差

设第 h 层的总体方差为, 据公式 (C.4) 有

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 \sigma^2(\bar{y}_h) \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

$$\text{标准误} \sigma(\bar{y}_h) = \sqrt{\sum_{h=1}^L W_h^2 \sigma^2(\bar{y}_h)} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

$\sigma^2(\bar{y}_{st})$ ——第 h 层的总体方差。

公式 (C.6) 的证明, 是按方差定理, 是已知的常量, 各层样本是独立抽取的性质推出的。下面作几点说明:

第一, 各层抽样方差 $\sigma^2(\bar{y}_h)$, 由于各层内抽样是随机地, 且抽样方式又可分重复和不重复两种情况: 在重复抽样下:

$$\sigma^2(\bar{y}_h) = \frac{\sigma_h^2}{n_h} \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

在不重复抽样下:

$$\sigma^2(\bar{y}_h) = \frac{\sigma_h^2}{n_h} \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

第二, 将公式 (C.8) 和公式 (C.9) 分别代入公式 (C.6), 便得到分层抽样方差。

在重复抽样下:

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{\sigma_h^2}{n_h} \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

在不重复抽样下:

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{\sigma_h^2}{n_h} \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

$$= \sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{\sigma_h^2}{n_h} - \sum_{h=1}^L W_h \frac{\sigma_h^2}{N_h} \quad \dots\dots\dots (C.12)$$

$$= \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^L N_h (N_h - n_h) \frac{\sigma_h^2}{n_h} \quad \dots\dots\dots (C.13)$$

第三，当总体各层按比例抽样时，即 $\frac{n_h}{n} = \frac{N_h}{N}$

则公式 (C.10) 可改写为：

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_h^2}{n_h} = \sum_{h=1}^L \left(\frac{n_h}{n}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_h^2}{n_h}$$

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L w_h \sigma_h^2 = \frac{1}{n} \bar{\sigma}^2 \quad \dots\dots\dots (C.14)$$

其中， $\bar{\sigma}^2$ 为各层方差 σ^2 的加权平均值，称平均层内方差。公式 (C.14) 是按比例分层抽样方差公式，它与简单随机抽样方差计算只有一个差别，就是以平均层内方差 $\bar{\sigma}^2$ 代替总体方差 σ^2 。并且在实际应用中常用样本平均方差 \bar{S}^2 代替总体 $\bar{\sigma}^2$ 值，用 S_h^2 、 $S^2(\bar{y}_h)$ 分别代替 σ_h^2 、 $\sigma^2(\bar{y}_h)$ 。

C.3 分层抽样小样本估计方法

当用 $\Delta(\bar{y}_{st}) = tS(\bar{y}_{st})$ 估计分层抽样误差限时，是假定总体平均数估计值 y 的分布为正态或近似正态分布，并且 $S^2(\bar{y}_{st}) \approx \sigma^2(\bar{y}_{st})$ 条件下才能成立。其中 t 为遵从标准正态分布的可靠性指标。如果要使 \bar{y}_{st} 服从正态分布，就应有各层内 y_{hi} 都服从正态分布，或者各层的 n_h 充分大，使各层服从或近似 \bar{y}_h 正态分布才行。此外，要使 $S^2(\bar{y}_{st}) \approx \sigma^2(\bar{y}_{st})$ 也必须要求各层 n_h 大。

如上述条件不能满足，则 $\Delta(\bar{y}_{st})$ 计算比较复杂。实践中常有下列情况，即各层的 y_{hi} 分布近似正态，而各层的 n_h 却较小，因此不能认为 $S^2(\bar{y}_{st})$ 近似服从正态分布，即 $S^2(\bar{y}_{st}) \neq \sigma^2(\bar{y}_{st})$ 。这时，如果各层采用的是按比例分层抽样，即 $n_k = n w_h$ ，并且各层总体的方差 σ_h^2 相等，用各层样本方差的加权平均数作为总体方差 σ^2 的估计值，即以

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L n_h S_h^2 \quad \dots\dots\dots (C.15)$$

作为 σ^2 的估计值，其误差限用公式 (C.16) 计算

$$\Delta(\bar{y}_{st}) = t \cdot \frac{\bar{S}}{\sqrt{n-L}} \quad \dots\dots\dots (C.16)$$

$$\text{即} \Delta(\bar{y}_{st}) = t \sqrt{\frac{1}{n(n-L)} \sum_{h=1}^L n_h S_h^2} \quad \dots\dots\dots (C.17)$$

式中： t 值根据自由度 $df=n-L$ 查“小样本 t 分布”表。

$$S_h^2 = \frac{1}{n_h-1} \sum (y_{hi} - \bar{y}_h)^2$$

下面给出一个例子，说明分层抽样的估计方法。

示例1：某林区有林地面积 $A=40\text{hm}^2$ ，根据不同年龄将总体分为三层，I 层面积 $A_1=13.2\text{hm}^2$ ，II 层 $A_2=14.5\text{hm}^2$ ，III 层 $A_3=12.3\text{hm}^2$ ，用 0.1hm^2 的样地，按比例分层抽样共抽取样地 $n=22$ ，各样地林木蓄积量测定结果列于表 C.1，试以 95% 的可靠性估计总体蓄积量并指出其估计精度。

表 C.1 分层抽样样地蓄积调查表 (单位： $\text{m}^3/0.1\text{hm}^2$)

层代号	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
I	3.5	8.8	3.0	9.4	4.1	10.5	7.1		46.4
II	18.8	15.9	17.7	15.3	11.2	8.2	14.1	11.8	113.0
III	18.3	27.1	17.7	30.0	22.4	20.0	21.8		157.3

解：

——各层特征数估计。

在重复抽样条件下，以第 I 层为例。

$$\text{第 I 层平均数估计值 } \bar{y}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} y_{1i} = \frac{1}{7} \times 46.4 = 6.629 \text{ m}^3 / 0.1 \text{ hm}^2$$

第 I 层平均数估计值的方差

$$S^2(\bar{y}_1) = \frac{1}{n_1(n_1-1)} \sum_{i=1}^{n_1} (y_{1i} - \bar{y}_1)^2 = \frac{1}{n_1(n_1-1)} (\sum_{i=1}^{n_1} y_{1i}^2 - n_1 \bar{y}_1^2) = \frac{1}{7 \times 6} (364.52 - 7 \times 6.629^2) = 1.356$$

$$\text{第 I 层总蓄积量估计值 } \hat{y}_1 = N_1 \bar{y}_1 = 132 \times 6.629 = 875.028 \text{ m}^3$$

类似地计算其他层的特征值，结果见表 C. 2。

表 C. 2 分层抽样总体特征数计算

层代号	A_h	N_h	n_h	\bar{y}_h	$S^2(\bar{y}_h)$	$N_h \bar{y}_h$	$N_h^2 S^2(\bar{y}_h)$	A_h
I	13.2	132	7	6.629	1.356	875.028	23 626.944	13.2
II	14.5	145	8	14.125	1.575	2 048.125	33 114.375	14.5
III	12.3	123	7	22.471	2.972	2 763.333	44 963.388	12.3
Σ	40.0	400	22	/	/	5 687.086	101 704.707	40.0

——分层抽样总体特征数估计。

- 总体平均数估计值 $\bar{y}_{st} = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h = \frac{1}{400} \times 5687.086 = 14.22 \text{ m}^3 / 0.1 \text{ hm}^2$ 。
- 总体平均数估计值的方差 $S^2(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^L N_h^2 S^2(\bar{y}_h) = \frac{1}{400^2} \times 101704.707 = 0.6356$ 。
- 标准误 $S(\bar{y}_{st}) = \sqrt{0.6356} = 0.797 \text{ m}^3 / 0.1 \text{ hm}^2$ 。
- 抽样误差限，t 值用自由度 $d/n-L$ 查表。
绝对误差限 $\Delta(\bar{y}_{st}) = tS(\bar{y}_{st}) = 2.093 \times 0.797 = 1.669 \text{ m}^3 / 0.1 \text{ hm}^2$ ；
相对误差限 $E = \frac{\Delta(\bar{y}_{st})}{\bar{y}_{st}} = \frac{1.669}{14.22} = 0.117 = 11.7\%$ 。
- 估计精度 $P_c = 1 - E = 1 - 0.117 = 88.3\%$ 。
- 总体蓄积量估计值 $\hat{y} = \sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h = 5687.1 \text{ m}^3$ 。

——用小样本估计法估计（表 C. 3）。

表 C. 3 分层抽样小样本误差估计

层代号	n_h	S_h^2	$n_h S_h^2$
I	7	9.492 3	66.446 1
II	8	12.605 0	100.840 0
III	7	20.805 7	145.639 9
Σ	22	—	312.926

由于本例是小样本，各层 n_h 均小于 10，故应用前面介绍的小样本分层抽样估计法。

总体方差 σ^2 估计由公式 (C. 15) 得。

- 各层样本方差的加权平均数 $\bar{S}^2 = \frac{1}{n} \sum n_h S_h^2 = \frac{1}{22} \times 312.926 = 14.224$ 。
- 估计误差限：

$$\text{绝对误差限} \Delta(\bar{y}_{st}) = t \sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n-L}} = 2.093 \times \sqrt{\frac{14.224}{22-3}} = 1.811 \text{ m}^3 / 0.1 \text{ hm}^2。$$

$$\text{相对误差限 } E = \frac{\Delta(\bar{y}_{st})}{\bar{y}_{st}} = \frac{1.811}{14.22} = 12.7\%。$$

- 估计精度 $P_c = 1 - E = 1 - 0.127 = 87.3\%$ 。

比较两种估计方法结果，小样本方法精度稍低，但用小样本估计较合理。

C.4 比例分配法

比例分配是按各层总体单元数（或 w_h ）大小成比例的分配样本单元， w_h 大的层应多取样，反之就少取样，即保持下面关系：

$$\frac{n_1}{N_1} = \frac{n_2}{N_2} = \dots = \frac{n_3}{N_3} = \frac{n}{N}$$

所以各层样本单元数应为：

$$n_h = n \cdot \frac{N_h}{N} = n w_h (h = 1, 2, \dots, L) \quad \dots\dots\dots (C.18)$$

按比例分层抽样是经常采用的抽样方法，它简单易行；尤其是利用地形图进行分层抽样时，只要将网点板盖在图纸上，基本可以达到面积大的层落点多，面积小的层落点少，近似成比例抽样。

总体样本单元数，可用式公式（C.19）确定

$$n = \frac{t^2 \sum w_h \sigma_h^2}{E^2 (\sum w_h \bar{y}_h)^2} \quad \dots\dots\dots (C.19)$$

证明：由公式（C.14）得

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{n} \sum w_h \sigma_h^2$$

$$\Delta^2(\bar{y}_{st}) = t^2 \frac{1}{n} \sum w_h \sigma_h^2$$

$$\text{所以 } n = \frac{t^2 \sum w_h \sigma_h^2}{\Delta^2(\bar{y}_{st})} \quad \dots\dots\dots (C.20)$$

$$\text{或 } n = \frac{t^2 \sum w_h \sigma_h^2}{E^2 (\sum w_h \bar{y}_h)^2} \quad \dots\dots\dots (C.21)$$

式中： t 与 E 值是根据要求给定的， w_h 是已知的，而 σ_h 和 \bar{y}_h 是未知的，它们可通过以往调查资料或预先抽样来估计。

示例2：例 5-2 某总体面积 $A=200 \text{ hm}^2$ ，分三层，各层特征数估计结果列于表 C.4 中，现要求抽样精度 85%， $t=2$ ，采用 0.1 hm^2 样地，按比例分层法抽样，所需样地数和各层分配的样地数见表 C.4。

表 C.4 比例分层抽样样本计算与分配

层代号	A_h	w_h	\bar{y}_h	S_h^2	$w_h S_h^2$	$\sum w_h \bar{y}_h$	$n_h = n w_h$
I	40	0.2	10.0	25	5.0	2.0	6
II	80	0.4	12.0	9	3.6	4.8	12
III	80	0.4	7.0	16	6.4	2.8	12
Σ	200	1.0	—	—	15.0	9.6	30

解：分层抽样总体样本单元数 $n = \frac{t^2 \sum w_h \sigma_h^2}{E^2 (\sum w_h \bar{y}_h)^2} = \frac{2^2 \times 15.0}{(0.15)^2 \times 9.6^2} = 29$

各层分配结果 $n_1 = 6, n_2 = 12, n_3 = 12$ 。本例中抽样比 $F = \frac{n}{N} = \frac{30}{2000} < 0.05$ ，故不重复抽样样本单元数可不必计算。

C.5 最优分配法

比例分配法只考虑到层的权重，未考虑各层变动大小。最优分配则兼顾了这两方面，它的基本要求是在给定n的条件下，合理分配各层样本单元数 n_h ，并使误差达到最小，即在约束条件为 $\sum n_h = n$ 下，使

$$\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_h^2}{n_h} = \min$$

这是条件极值问题，引入拉格朗日乘数 λ ，设立函数方程：

$$Q = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_h^2}{n_h} + \lambda (\sum_{h=1}^L n_h - n)$$

对Q求关于 n_h 的偏导数和极值，得到 $\frac{\partial Q}{\partial n_h} = - \left(\frac{N_h}{N}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_h^2}{n_h^2} + \lambda = 0$

所以 $n_h = \frac{N_h \sigma_h}{N \sqrt{\lambda}}$

由于 $\sum n_h = \sum \frac{N_h \sigma_h}{N \sqrt{\lambda}} = n$

则 $\sqrt{\lambda} = \frac{\sum N_h \sigma_h}{n N}$

$$\text{故 } n_h = \frac{N_h \sigma_h}{N \frac{\sum N_h \sigma_h}{n N}} = n \cdot \frac{N_h \sigma_h}{\sum N_h \sigma_h} \dots\dots\dots (C.22)$$

这就得到最优分配法样本单元数分配的计算公式。

最优分配法总体样本单元数计算公式用

$$n = \frac{t^2 (\sum w_h \sigma_h)^2}{E^2 (\sum w_h \bar{y}_h)^2} \dots\dots\dots (C.23)$$

现推导如下：

在重复抽样下，由公式 (C.10) 式 $\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \sum w_h^2 \frac{\sigma_h^2}{n_h}$

将公式 (C.22) 中，代入上式，并化简得到 $\sigma^2(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{n} (\sum w_h \sigma_h)^2$

$$\text{又因为 } E^2 = \frac{t^2 \sigma^2 (\bar{y}_{st})}{\bar{y}_{st}^2} = \frac{t^2 \cdot \frac{1}{n} (\sum w_h \sigma_h)^2}{(\sum w_h \bar{y}_h)^2}$$

$$\text{所以 } n = \frac{t^2 (\sum w_h \sigma_h)^2}{E^2 (\sum w_h \bar{y}_h)^2}$$

当用不重复抽样且抽样 $\frac{n}{N} > 0.05$ 时，最优分配法总体样本单元数为

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \dots\dots\dots (C.24)$$

式中：n为重复抽样的样本，由公式 (C.23) 计算。

仍以示例2为例，说明其计算分配方法。

表 C.5 最优分配法样本单元数的计算

层代号	N_h	w_h	\bar{y}_h	S_h	$w_h S_h$	$w_h \bar{y}_h$	$N_h S_h$	$\frac{N_h S_h}{\sum N_h S_h}$	n_h
I	400	0.2	10	5	1.0	2.0	2 000	0.25	7
II	800	0.4	12	2	1.2	4.8	2 400	0.32	9
III	800	0.4	7	4	1.6	2.8	3 200	0.43	12
Σ	2 000	1.0	—	—	3.8	9.6	7 600	1.00	28

最优分配总体样本单元数计算，代入公式 (C.23)

$$n = \frac{t^2 (\sum w_h \sigma_h)^2}{E^2 (\sum w_h \bar{y}_h)^2} = \frac{2^2 \times 3.8^2}{(0.15)^2 \times 9.6^2} = 28$$

各层样本单元数分配

$$n_1 = n \times 0.25 = 28 \times 0.25 = 7$$

$$n_2 = n \times 0.32 = 28 \times 0.32 = 9$$

$$n_3 = n \times 0.43 = 28 \times 0.43 = 12$$

最优分配结果与比例分配不同，第II、III层虽然权重相同，由于第III层的 $S_3^2 = 16$ ，大于II层的方差 $S_2^2 = 9$ ，所以分配样本单元多3个，体现了变动大的层应多抽取样本单元，变动小的层应少抽取，使总体抽样误差达到最小。

不论用哪种分配方法，当层内分配 $n_h < 5$ 时，应将该层合并到相近似的层中去，有利于提高总体的估计精度。