

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T XXX—XXXX

城市森林碳储量与碳汇评估技术规范

Technical specification for Urban forest of carbon storage and carbon
sequestration accounting

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 总体原则 2

6 工作流程 3

7 评估流程 3

附录 A（规范性） 调查方法 9

附录 B（资料性） 净初级生产力计算方法 13

附录 C（规范性） 森林生态系统碳储量计算公式 15

附录 D（资料性） 深圳部分树种单木生物量异速生长方程 19

附录 E（资料性） 深圳优势树种生物量扩展因子、基本木材密度与根茎比参考值 22

附录 F（资料性） 模型评价方法 24

附录 G（规范性） 校正精度评价指标等级 26

附录 H（规范性） 城市森林碳储量与碳汇量核算报告大纲 27

附录 I（资料性） 数据采集记录表 28

参考文献 30

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。

本文件由深圳市规划和自然资源局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市规划和自然资源局、深圳市自然资源和不动产评估发展研究中心。

本文件主要起草人：张宇文、张小林、张晖、谢欣利、唐琳、夏雷、何鸿、黄东贵、刘晓俊、齐爽、林婵娟、杨微石、张辰、项前、李鹏、熊一颖、樊哲翾、陈登。

城市森林碳储量与碳汇评估技术规范

1 范围

本文件规定了城市森林碳储量与碳汇评估的总体原则、工作流程和评估流程。

本文件适用于深圳市和各区（包括深汕特别合作区）城市建成区、平原区和浅山区以树木为主的森林生态系统，沿海滩涂和沿河口滩涂的红树林生态系统的碳储量、碳汇量评估核算工作。

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 33696 陆-气和海-气通量观测规范
- GB/T 36100—2018 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法
- HJ 1166 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查
- DB42/T 2073 机载激光雷达森林蓄积量建模技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市森林 urban forest

城区及其周边所有森林、树木及其相关植被的综合。

[来源：GB/T 37342—2019，3.3.2]

3.2

红树林 mangroves

生长在热带和亚热带低于海岸平均海面上与大潮平均高潮位之间、受海水周期性浸淹与周期性暴露、暴露时间较浸淹时间较长的木本植物群落。

[来源：DB44/T 565—2008，3.3.3]

3.3

碳汇 carbon sink

通过植树造林、植被恢复等措施，生态系统从大气中移除二氧化碳，减少温室气体在大气中浓度的过程、活动或机制。

3.4

森林碳汇遥感监测 remote sensing used in forest carbon sink

利用光学的、电子学的和电子光学的遥感仪器，从高空或远距离处，接收森林反射的电磁波信息加工处理为能识别的图像，用来观测研究森林生长吸收二氧化碳。

[来源：LY/T 2265—2014，3.1.7]

3.5

城市森林碳汇 urban forest carbon sink

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—2021，2.2.2]

3.6

碳储量 carbon stock

一个库中碳的数量。

注：单位为吨碳（tC）。

[来源：LY/T 3253—2021，3.2.33]

3.7

固定样地 permanent plot

在典型森林地段上，通过选定具有代表森林生态系统基本特征的地段作为森林生态系统长期定位观测样地。

注：森林生态系统基本特征包括森林类型、森林龄组、森林郁闭度以及数量特征等。

[来源：GB/T 33027—2016，3.1，有修改]

3.8

龄组 age group

林分或小班根据主伐年龄龄级的不同，划分的年龄组别。

注：通常分为幼龄林、中龄林、近龄林、成熟林和过熟林五个龄组。

[来源：DB32/T 2168—2012，3.18，有修改]

3.9

优势树种 dominant species

纯林的树种或混交林中树种组成系数最大的树种。

[来源：DB32/T 2168—2012，3.19，有修改]

3.10

每木调查 complete enumeration, tally, scaling

对全林分或标准地内的林木进行逐株调查测量，测定树木的胸径、树高，并记载树种、年龄和林层，并对每株树木按径阶进行记载和统计的工作。

注：也称每木检尺。

[来源：DB32/T 2168—2012，3.32，有修改]

3.11

激光雷达碳汇监测 lidar carbon monitoring

通过发射激光束并接收回波以获取目标三维信息，扫描获得森林点云，进一步结合森林生物量模型计算森林碳汇。

3.12

涡度相关法 eddy covariance

基于湍流交换的空气动力学原理，通过测定和计算一定高度上湍流运动所产生二氧化碳量的脉动和垂直风速脉动的协方差求算湍流通量的方法。

[来源：GB/T 33027—2016，3.2，有修改]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IPCC：联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change）

5 总体原则

5.1 客观性

城市森林碳储量与碳汇评估遵循以下客观性原则：

——评估所用数据来源于国家或行业主管部门公开发布的数据；

——按照行业规范的数据质量控制和标准处理方法处理数据；

——评估模型具有权威性，并经大量观测调查数据校准和验证，适用于中国区域森林碳汇评估。

5.2 连续性

受气候变化、土地利用变化、人为干扰等因素的影响，区域森林碳汇的年际间波动较大，宜进行动态评估。

5.3 一致性

- 城市森林碳储量与碳汇评估遵循以下一致性原则：
- 在不同时间对同一评估单元再次或多次评估时，宜采用相同评估方法、参数和数据标准；
 - 基于所有下一级行政单元（空间范围）的区域森林碳汇评估方法、参数和数据来源与处理方法与基于上一级行政单元（空间范围）的碳汇评估方法、参数和数据来源与处理方法应相同；
 - 不同区域相同植被功能型的参数取值应一致。

5.4 真实性

评估数据和评估技术方法公开透明，评估结果可验证、可核实、可报告。

6 工作流程

森林生态系统碳储量调查和评估工作过程分为以下前期准备、现场调查、样品分析、结果评估和报告编制五个阶段：

- a) 前期准备。收集调查森林相关文献资料，结合遥感影像识别结果和现场踏勘进行调查分区和样方布设，编制调查方案及准备外业调查设备等；
- b) 现场调查。根据调查方案中确定的调查样方、调查内容、调查方法和调查计划等，进行森林生态系统碳储量调查工作；
- c) 样品分析。对现场采集带回实验室的植被、土壤样品进行分析，包括样品前处理、仪器分析、分析结果整理等；
- d) 结果评估。根据遥感解译、现状调查和样品分析等工作，开展调查区森林生态系统碳储量估算；
- e) 报告编制。根据现状调查和结果评估内容，编制森林生态系统碳储量调查与评估报告、专题图件及数据集等。

7 评估流程

7.1 调查体系构建

7.1.1 整体架构

- 7.1.1.1 城市森林碳储量与碳汇评估采用“多尺度、多方法、多数据”碳汇调查体系，由地面调查和遥感调查两部分构成。
- 7.1.1.2 地面调查包括固定样地和碳通量塔，固定样地通过每木调查和激光雷达方法测量森林生物量情况。
- 7.1.1.3 “多尺度、多方法、多数据”碳汇调查体系示意图 1。

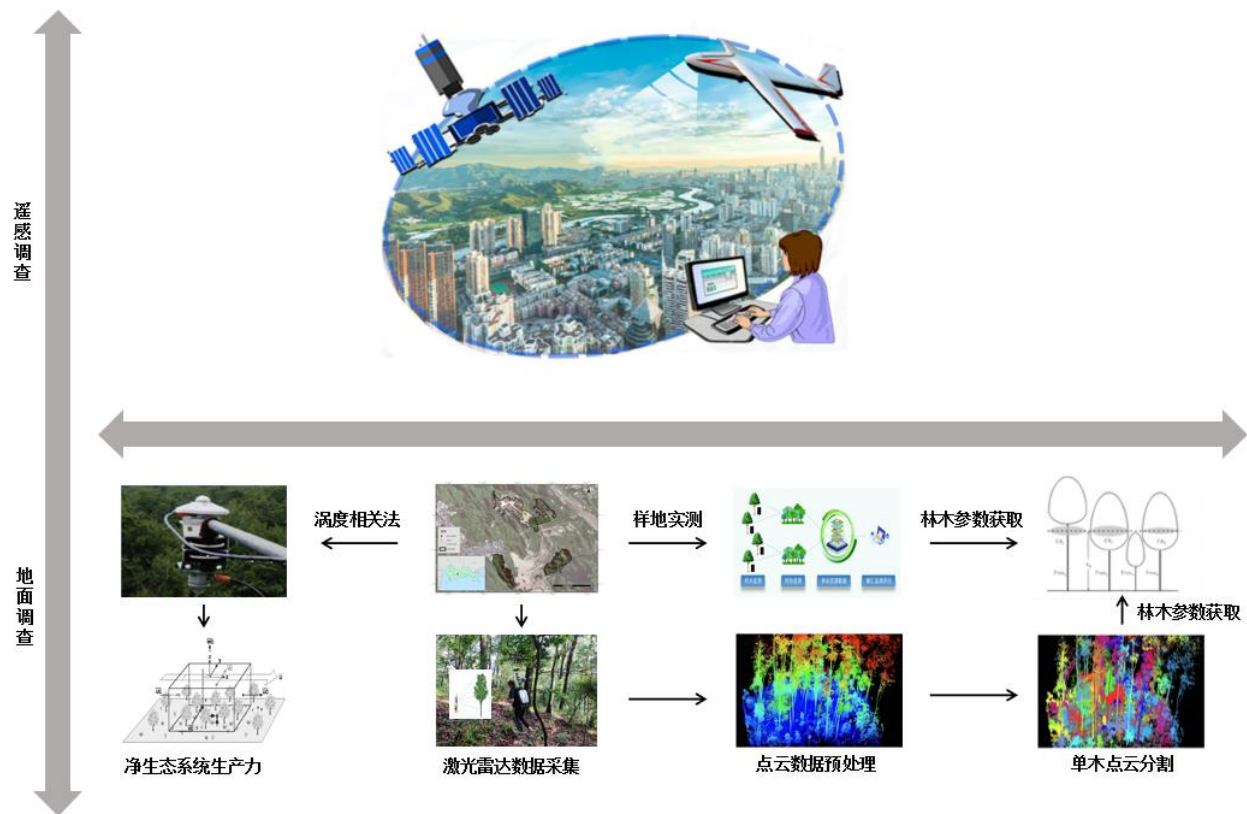


图1 “多尺度、多方法、多数据”碳汇监测体系示意图

7.1.2 资料收集

资料收集包括但不限于国土调查年度更新矢量数据、林草湿调查监测矢量数据、其他有关专项调查矢量数据，以及调查范围内的土地利用现状图、高清影像、森林分布图、地形图、水系图和道路交通图等图像数据。

7.1.3 森林碳汇地面调查

7.1.3.1 调查对象

城市森林碳汇调查对象包括城市行政区域范围内的森林、疏林、散生木和四旁树。其中，森林碳汇需调查地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤五大碳库；疏林、散生木和四旁树需调查地上和地下生物量这两个碳库。

7.1.3.2 抽样要求

采取随机取点，系统抽样的方法进行抽样，确定所需要的固定样地数量。基于森林资源连续清查的地类、优势树种、林龄等因素确定森林类型，在某种类型抽取三个样地以上。若现有森林资源连续清查样地不能完全满足条件，可根据需要增设代表性样地。

7.1.3.3 抽样原则

- 城市森林碳汇样地抽样遵循以下原则：
- 代表性。样地能反映调查区域的实际情况，涵盖森林生态系统的主要信息；
 - 稳定性。样地一经布设，原则上不得变更；
 - 安全性。在生态系统类型一致的平地或相对均匀的缓坡坡面进行布设，地形不宜过于陡峭，确保监测人员安全作业。

7.1.3.4 样地预选方法

- 按以下步骤进行样地预选工作：
- a) 根据最近一期森林资源小班图层，按照地类、优势树种、林龄组分布状况，依据代表性、稳定性、安全性原则，每种类型布设 3~5 个样地，得到预设样地分布图。样地最小间距大于 500 m，样地离小班边界不小于 20 m；
 - b) 输出预设样地分布点数据，可采用 shapefile 或 KML 文件格式。
- 注：shapefile 是一种矢量数据格式，专门用于存储地理数据的几何位置和属性信息。KML 是一种基于可扩展标记语言（Extensible Markup Language, XML）的文件格式，用于描述和保存地理信息。

7.1.3.5 样地定位

根据预设样点中心坐标，导航至样地中心。观察周围林分情况，若该中心半径 20 m 范围内林分均属同一类型，则该中心即为样地中心；否则，移动该中心至合适的位置。

7.1.3.6 样方（带、线）调查

样方（带、线）调查方法按附录 A 执行。

7.1.4 森林碳汇遥感调查

- 7.1.4.1 通过卫星遥感监测定期获取不同分辨率影像数据，对获取的影像数据进行辐射校正、几何精校正、图像融合等一系列处理，详细步骤按 HJ 1166 执行。森林碳汇遥感调查的基本原则、评估流程、评估方法、数据收集和处理可参考 T/CMSA 0027。
- 7.1.4.2 利用遥感影像获取全市森林碳汇信息，反演相关遥感特征参数。城市森林碳汇是评估区域内森林生态系统净生态系统生产力之和，评估指标涉及总初级生产力、净初级生产力、植物自养呼吸、土壤异养呼吸，净生态系统生产力计算见公式（1），相应的计算方法参考 T/CMSA 0027 中 6.2~6.5。若能够即时获取城市区域范围内、评估时段内符合 <30 m 分辨率的遥感数据，宜根据附录 B 使用光能利用率模型计算净初级生产力。

$$NEP=NPP-Rh \dots\dots\dots (1)$$

式中：

NEP——净生态系统生产力，单位为克碳每平方米每年（gCm⁻²yr⁻¹）；

NPP——净初级生产力，单位为克碳每平方米每年（gCm⁻²yr⁻¹）；

Rh ——土壤异养呼吸，单位为克碳每平方米每年（gCm⁻²yr⁻¹）。

7.1.4.3 净初级生产力计算见公式（2）。

$$NPP=GPP-Ra \dots\dots\dots (2)$$

NPP——净初级生产力，单位为克碳每平方米每年（gCm⁻²yr⁻¹）；

GPP——总初级生产力，单位为克碳每平方米每年（gCm⁻²yr⁻¹）；

Ra ——植物自养呼吸，单位为克碳每平方米每年（gCm⁻²yr⁻¹）。

7.2 确定核算的地理边界和时间

7.2.1 地理边界的确定

根据评估目的，确定区域森林碳汇评估的地理边界，评估区域为行政单元，如市、区、街道；也可作为功能相对完整的生态系统地域单元（如林场、森林公园等），以及由不同生态系统类型组合而成的特定地域单元（如自然保护区、风景名胜区等）。

7.2.2 时间边界的确定

根据评估目的，确定评估的时间边界（起止年份）。

7.3 确定评估方法

7.3.1 获取方式

- 城市森林碳汇量的获取方式为：
- 基于每木调查、激光雷达等手段开展样地调查计算林地蓄积量、林地生物量和林地碳储量获取城市森林的第一碳汇量；
 - 基于碳通量塔获取城市森林的第二碳汇量；
 - 基于卫星遥感图像，通过预处理后的遥感影像计算植被净初级生产力获取森林的第三碳汇量。

7.3.2 评估方法

第三碳汇量可通过第一碳汇量、第二碳汇量检验与校正，校正后的城市森林碳汇量为最终的碳汇量。根据评估区域内的生态系统类型、分布、气候、土壤特征和数据积累情况，按照数据、资料的可获取性，城市森林碳汇量评估的准确性和科学性顺序为第三碳汇量、第二碳汇量、第一碳汇量。

7.4 数据处理

7.4.1 数据处理流程

城市碳汇数据处理流程见图2。

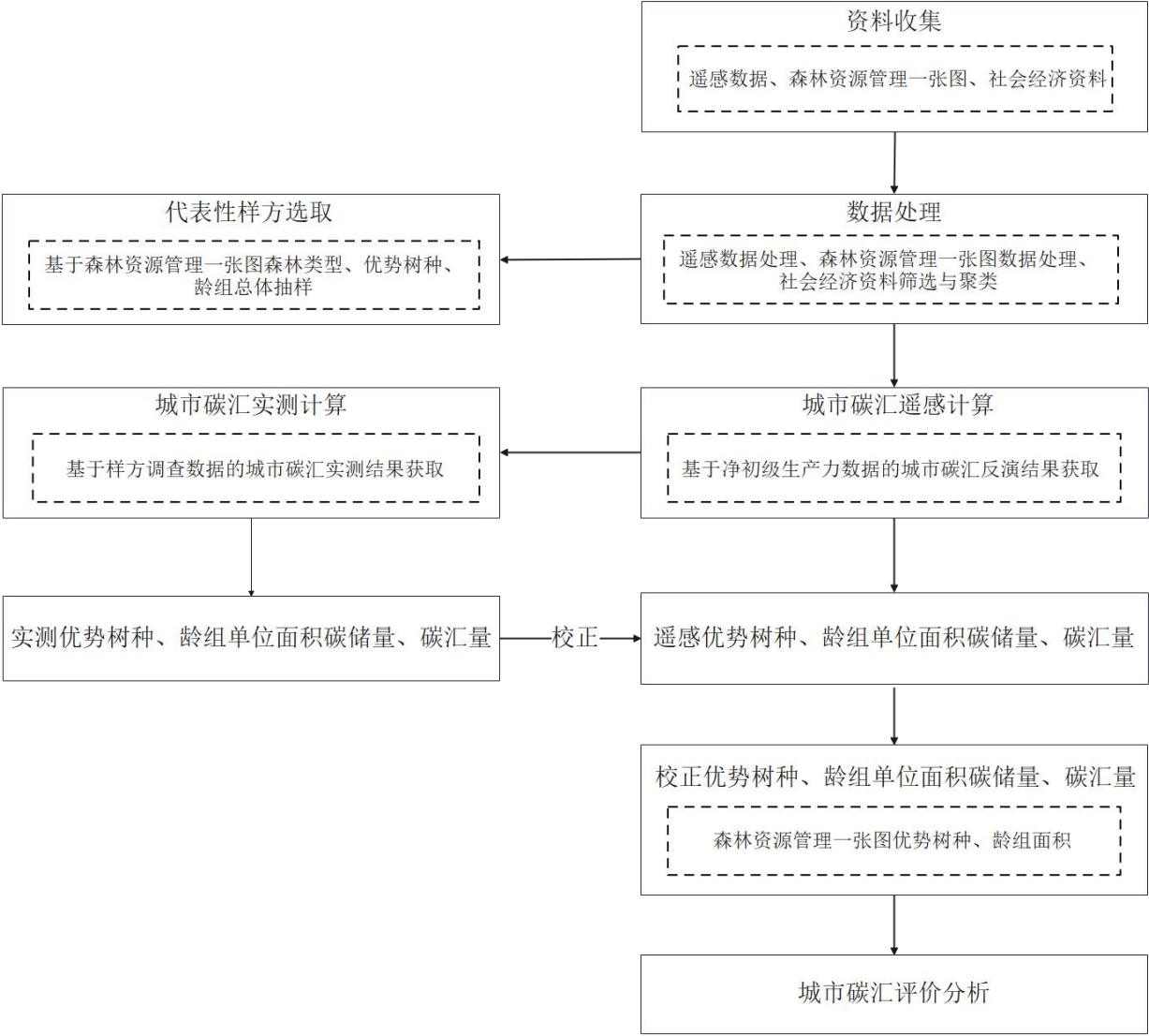


图 2 城市碳汇数据处理流程图

7.4.2 样地碳汇数据处理

7.4.1.1 将每个样地定位位置及测量数据进行整理及数字化归档，分析得出样地的森林生物量情况，生成样地位置矢量图。森林生态系统碳储量计算方法按附录 C 执行。深圳部分树种单木生物量异速生长方程详见附录 D。深圳优势树种生物量扩展因子、基本木材密度与根茎比参考值详见附录 E。

7.4.1.2 采用 IPCC 规定的库一差别方法估算城市森林实测碳汇量，在不同林地类型、优势树种、龄组的每一类代表性样地内，获取各样方的单位面积碳汇量数据，并结合森林资源一张图管理数据中的相应林地面积，获得城市森林的第一碳汇量。

7.4.3 碳通量塔碳汇数据处理

通过涡度相关法测二氧化碳通量，数据处理方式按 GB/T 33696 规定执行，获得城市森林的第二碳汇量。

7.4.4 遥感碳汇数据处理

通过预处理后的遥感影像计算植被净初级生产力，获取森林的第三碳汇量。将遥感反演的城市市域范围内碳汇结果与森林资源管理一张图矢量数据进行叠加，分析处理后获取不同林地类型、优势树种、龄组的每一类代表性样地对应的遥感碳汇值。

7.4.5 城市森林碳汇矫正计算

7.4.5.1 基于碳汇效率计算

通过计算城市森林样点实测碳汇与基于净初级生产力计算的遥感碳汇的比值得到代表性样地的碳汇效率，计算见公式（4）。区域内未发生剧烈自然条件改变或人类活动影响时，碳汇效率可认定为稳定值，取决于植被干物质的净积累量。

$$CSE = \frac{Y_{obs}}{Y_{remo}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- CSE ——碳汇效率；
- Y_{obs} ——实测样地碳汇，单位为吨碳（tC）；
- Y_{remo} ——遥感碳汇，单位为吨碳（tC）。

7.4.5.2 森林碳汇分布计算

由于碳汇效率在全国范围内随植被呈现较强的地带性分布，当研究区植被区划类型差异不大时，可认为其是平滑渐变的。使用反距离权重将样地碳汇效率数据插值为平滑的栅格分布，森林碳汇分布计算见公式（5）。

$$Y_{total} = CSE \times Y_{remo} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- Y_{total} ——森林碳汇分布，单位为吨碳（tC）；
- CSE ——碳汇效率；
- Y_{remo} ——遥感碳汇，单位为吨碳（tC）。

7.4.5.3 模型计算

将地面实测样地单位面积碳汇量作为因变量，处理后的基于净初级生产力计算的遥感单位面积碳汇量作为自变量，使用多元线性回归、支持向量机和随机森林等不同方法分别建立回归模型，模型可在分层样本数据或所有样本数据上进行建模。

7.4.6 矫正精度评价方法

7.4.6.1 验证方式

- 城市森林碳汇矫正结果的验证有两种方式：
- 基于生态系统通量塔观测碳汇成功的直接验证；
 - 基于样地调查成果的间接验证。

7.4.6.2 计算方法

城市森林碳汇矫正结果的准确性通过矫正值与观测值的比较来评价，宜利用统计参数来评价矫正效果，如预测均方根误差常被用来量化模型精度。预测均方根误差的计算见公式（6）。预测均方根误差数值越低，表明回归模型越精确；更多统计学参数可使用决定系数、平均绝对误差、均方根误差以及相对均方根误差等，相关参数的计算见附录 F。

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E(y_i) - y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

- 式中：
- RMSEP* ——预测均方根误差；
 - n* ——观测样本总数；
 - E(y_i)* ——第 *i* 个样地实测值；
 - y_i* ——城市森林碳汇矫正后的第 *i* 个矫正值。

7.4.7 矫正精度要求

按照模型评价方法中计算的五个指标精度要求及等级划分应符合附录 G。当有三个指标的等级达到中级以上，模型等级为中；当有四个指标等级达到中级以上，模型等级为优。最终选择的模型精度等级应达到中级以上。

7.5 撰写城市森林碳汇评估报告

出具城市森林碳汇评估报告，按照附录 H 进行编制。

附 录 A
(规范性)
调查方法

A. 1 激光雷达碳汇监测

激光雷达碳汇监测的总体技术要求、准备工作、样地数据获取、数据处理等按 GB/T 36100—2018 和 DB42/T 2073 执行。

A. 2 样地观测

A. 2.1 乔木样方（带、线）设置

在面状斑块中心点设置 1 个 20 m×20 m 乔木样方，或者在不同位置设置乔木样方 4 个，具体根据斑块的形状确定，见图 A. 1。

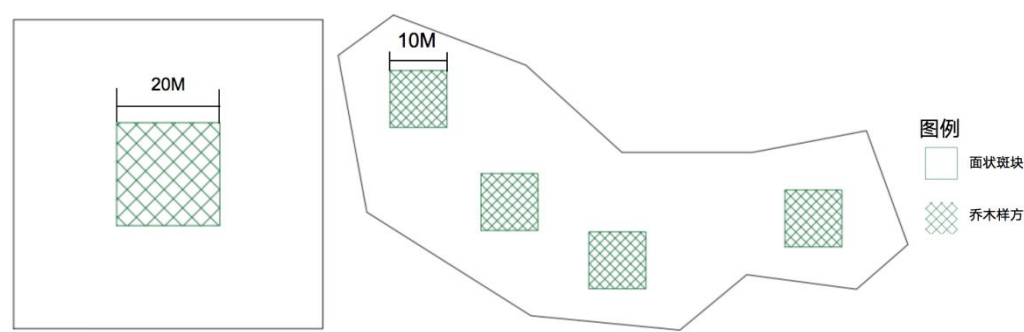


图 A. 1 乔木样方设置示意图

A. 2.2 灌木样方（带、线）设置

灌木面状斑块设置 2 个 5 m×5 m 样方；设置 1 个乔木样方的，在乔木样方的 2 个对角各设置 1 个灌木样方；设置 4 个乔木样方的，应在对角的 2 个乔木样方中的外角各设置 1 个灌木样方，见图 A. 2。

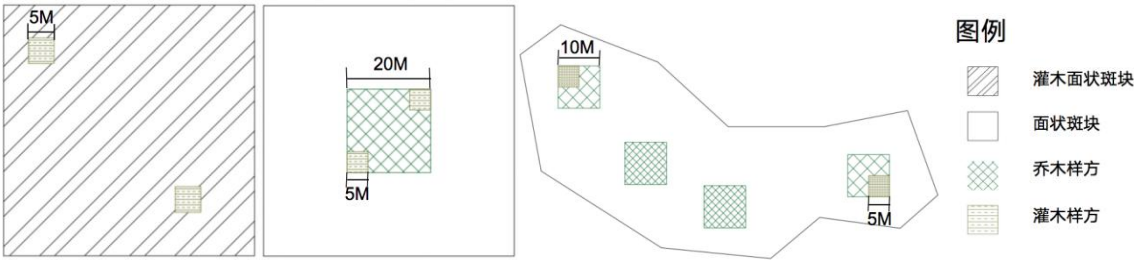


图 A. 2 灌木样方设置示意图

A. 2.3 草本样方（带、线）设置

乔木面状斑块设置 5 个 1 m×1 m 草本样方；在灌木样方中，设置草本样方 1 个。

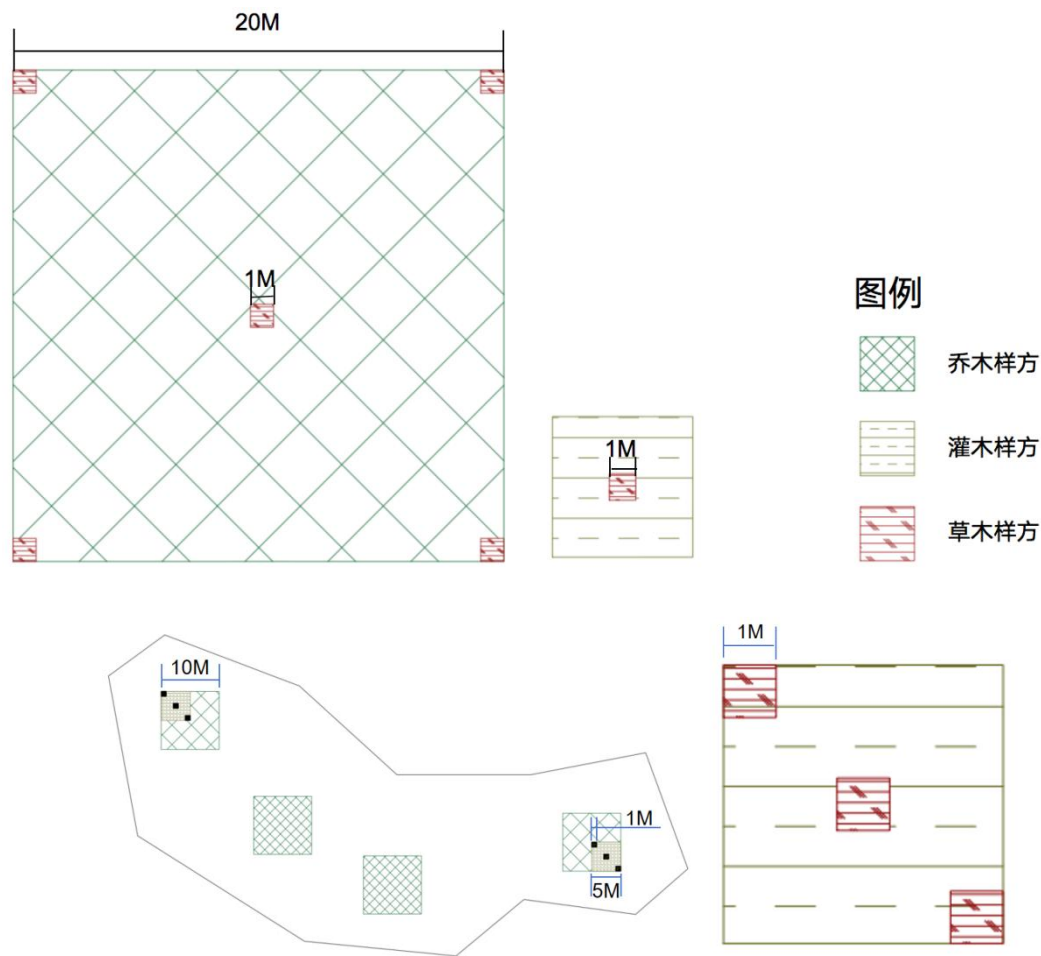


图 A.3 草本样方设置示意图

A.2.4 疏林、四旁树、散生木样方设置

按 DB 31/T 1232 的规定，疏林、四旁树和散生木主要树种为乔木，不设定固定样方。对深圳主要常见树种按径阶或龄级分别选择 3~5 株标准木，编号挂牌、标定具体位置。

A.2.5 林带设置

选取具有代表性的林木样带长度 200 m。

A.3 调查和数据采集

A.3.1 样地基本信息调查

详细记录样地的基本信息，包括样地编号、地理位置、样地面积及形状、地貌地形、植被特征、土壤类型、干扰情况及管理措施等信息，见附录 I 中表 I.1。

A.3.2 森林数据采集和取样

A.3.2.1 地上生物量

A.3.2.1.1 乔木层数据采集包括乔木树种生物量建模数据采集和乔木层样地数据采集，乔木树种生物量建模数据采集和乔木层样地数据采集应符合以下要求：

——乔木树种生物量建模数据采集。在样地外，选择一定比例的乔木层优势树种，进行全株各器官生物量收获实测，获取树干、树枝、树叶、树根生物量、树干材积及树干密度，建立优势树种

生物量异速生长方程，具体按 LY/T 2259 规定执行；

——乔木层样地数据采集。记录不同类型样地的乔木层调查因子。乔木林样地中，详细记录所有挂牌物种的编号、树种名称、每木胸径、每一物种至少测定 3 株树高，不足 3 株全部测定树高，见附录 I 中表 I.2。较密集或较均质的竹林样地中，可随机选择 4 个 2 m×2 m 的样方，分别测定每株竹子的胸径、竹高；对于较稀疏的竹林样地，详细记录每株胸径和平均竹高，见附录 I 中表 I.3。

A.3.2.1.2 灌木层调查步骤为：

- a) 调查灌木层盖度、树种名称（包括直径<5.0 cm 的幼树，株高<50 cm 不计入）、株数、平均冠幅和平均高度，见附录 I 中表 I.4；
- b) 选择样方中 3 株平均大小（根径与高度处于平均水平）的标准灌木，采用全株收获法分别测定 3 株标准木地上干、枝、叶和地下根系的鲜重。选取干、枝、叶和根样品（200 g—500 g）带回实验室测定其含水率。如不足 200 g，全部作为样品带回测定。如果灌木为丛生状，则在样方内选择 1~2 丛平均冠幅的灌丛，采用完全收获法测定鲜重和样品重，带样品回实验室测定其含水率，见附录 I 中表 I.5。

A.3.2.1.3 草本层调查步骤为：

- a) 调查样方内草本植物种类、丛数量、平均高度、盖度，全株收获草本样方中所有植物，称其鲜重；
- b) 混合采集 200g 左右样品，称其鲜重，带回室内测含水率，见附录 I 中表 I.6。

A.3.2.2 地下生物量

地下生物量可同乔木全株生物量收获法和灌木层全株生物量收获法中根的测定同时进行。在全株收获时测量挖掘面积，以便获得单位面积的地下生物量。

A.3.2.3 枯落物

枯落物调查步骤为：

- a) 调查样方内枯落物的厚度，收集样方内全部枯落物，包括各种枯枝、叶、果、枯草、半分解部分等枯死混合物，剔除其中石砾、土块等非有机物质，用塑料网袋收集称鲜重；
- b) 每个样方混合采集枯落物样品 200 g 左右，称鲜重，带回测含水率，见附录 I 中表 I.7。

A.3.2.4 枯死木

枯死木按枯立木和枯倒木进行调查，调查步骤为：

- a) 对于枯立木，测定胸径和高度，记录其枯立木分解状态，见附录 I 中表 I.8；
- b) 对于枯倒木，测定其两头直径和长度。如果形状不规则，可按 1 m 为区分段，测定每一区分段两端的直径，计算体积；且记录密度级，见附录 I 中表 I.9；不同密度级各收集至少 2 份枯倒木，带回实验室测定干重。

A.3.2.5 土壤碳库

土壤碳库采样包括土壤密度和土壤有机碳含量的测定，数据采集步骤如下：

- a) 每个样地挖掘 1 个土壤剖面，按照 LY/T 2250 规定执行；
- b) 每个剖面按 0 cm~10 cm、10 cm~30 cm、30 cm~100 cm 的土壤深度分层取样；如土层厚度<100 cm，按实际厚度分层取样；
- c) 土壤密度测定采用环刀法，每个土层环刀（100 cm³）取样 3 个，称重记录环刀土样的鲜重后带回实验室；
- d) 每个剖面按上述分层，每层取 3 个点混合土样，带回实验室测定。

A.3.2.6 疏林、散生木和四旁树数据采集

对所有挂牌树种测定其胸径、树高和生长状况。

附 录 B
(资料性)
净初级生产力计算方法

B.1 净初级生产力计算

基于过程模型计算植被的净初级生产力，计算见公式 (B.1)。

$$NPP=APAR\times\varepsilon \cdots\cdots\cdots (B.1)$$

式中：

- NPP ——净初级生产力，单位为克碳·每平方米·每月 (gC·m⁻²·月)；
- $APAR$ ——光合有效辐射，单位为兆焦耳·每平方米·每月 (MJ·m⁻²·月)；
- ε ——光能利用率，单位为克碳·每兆焦耳 (gC·MJ⁻¹)。

B.2 光合有效辐射计算

B.2.1 光合有效辐射的计算见公式 (B.2)。

$$APAR=SOL\times FPAR\times 0.5 \cdots\cdots\cdots (B.2)$$

式中：

- $APAR$ ——光合有效辐射，单位为兆焦耳·每平方米·每月 (MJ·m⁻²·月)；
- SOL ——太阳总辐射量，单位为兆焦耳·每平方米·每月 (MJ·m⁻²·月)；
- $FPAR$ ——植被层对入射光合有效辐射的吸收比例。

B.2.2 植被层对入射光合有效辐射的吸收比例计算见公式 (B.3)。

$$FPAR = \frac{(NDVI-NDVI_{min}) \times (FPAR_{max}-FPAR_{min})}{NDVI_{max}-NDVI_{min}} + FPAR_{min} \cdots\cdots\cdots (B.3)$$

式中：

- $FPAR$ ——植被层对入射光合有效辐射的吸收比例；
- $NDVI$ ——通过遥感数据获得的归一化植被指数；
- $NDVI_{min}$ ——月平均归一化植被指数最小阈值；
- $FPAR_{max}$ ——月平均归一化植被指数最大阈值对应的常量值；
- $FPAR_{min}$ ——月平均归一化植被指数最小值对应的常量值；
- $NDVI_{max}$ ——月平均归一化植被指数最大阈值。

B.3 光能利用率计算

光能利用率的计算见公式 (B.4)。

$$\varepsilon=T_{\varepsilon1}\times T_{\varepsilon2}\times W_{\varepsilon}\times\varepsilon_{max} \cdots\cdots\cdots (B.4)$$

式中：

- ε ——光能利用率，单位为克碳·每兆焦耳 (gC·MJ⁻¹)；
- $T_{\varepsilon1}$ ——低温对光能利用率的胁迫系数；
- $T_{\varepsilon2}$ ——高温对光能利用率的胁迫系数；
- W_{ε} ——水分胁迫影响系数；
- ε_{max} ——理想条件下的最大光能利用率，单位为吨碳·每兆焦耳 (gC·MJ⁻¹)。

B.4 温度胁迫因子计算

B.4.1 植物生长最适温度下的温度胁迫因子计算见公式 (B.5)。

$$T_{\varepsilon1}=0.8+0.02\times T_{opt}-0.0005\times [T_{opt}]^2 \cdots\cdots\cdots (B.5)$$

式中：

- $T_{\varepsilon1}$ ——植物生长最适温度下的温度胁迫因子；
- T_{opt} ——植物生长的最适温度，为某一区域一年内归一化植被指数值达到最高时的当月平均气温，单位为摄氏度 (℃)。当某一月平均温度小于或等于-10℃时，其值取 0。

B. 4. 2 植物生长环境温度从最适温度向高温或低温变化时的温度胁迫因子计算见公式（B. 6）。

$$T_{\varepsilon 2} = \frac{1.1841}{1 + \exp[0.2 \times (T_{opt} - 10 - T)]} + \frac{1}{1 + \exp[0.3 \times (-1 \times T_{opt} - 10 - T)]} \dots\dots\dots (B. 6)$$

式中：

- $T_{\varepsilon 2}$ ——植物生长环境温度从最适温度向高温或低温变化时的温度胁迫因子；
- T_{opt} ——植物生长的最适温度，单位为摄氏度（℃）；
- T ——某一月平均温度，单位为摄氏度（℃）。

B. 5 水分胁迫影响系数计算

水分胁迫影响系数计算见公式（B. 7）。

$$W_{\varepsilon} = 0.5 + 0.5 \times E / E_p \dots\dots\dots (B. 7)$$

式中：

- W_{ε} ——水分胁迫影响系数；
- E ——月蒸散量，单位为毫米（mm）；
- E_p ——月潜在蒸散量，单位为毫米（mm）。

附 录 C
(规范性)
森林生态系统碳储量计算公式

C.1 总碳储量

城市森林的总碳储量是监测区域内各碳库的碳储量之和。计算见公式 (C.1)。

$$C_{总} = C_{乔} + C_{灌} + C_{草} + C_{枯死木} + C_{枯落物} + C_{土壤} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $C_{总}$ ——城市森林总的碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{乔}$ ——乔木层碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{灌}$ ——林下灌木层碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{草}$ ——草本层碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{枯死木}$ ——枯死木碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{枯落物}$ ——枯落物碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{土壤}$ ——土壤碳储量, 单位为吨碳 (tC)。

C.2 乔木层碳储量

C.2.1 乔木层总碳储量

乔木层总碳储量为乔木层各树种地上与地下碳储量之和, 计算见公式 (C.2)。

$$C_{乔} = C_{地上} + C_{地下} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- $C_{乔}$ ——乔木层碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{地上}$ ——乔木层地上碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $C_{地下}$ ——乔木层地下碳储量, 单位为吨碳 (tC)。

C.2.2 乔木层地上碳储量

C.2.2.1 乔木层地上碳储量计算

乔木层地上碳储量为监测区域内所有森林类型乔木层地上碳储量之和, 乔木层地上碳储量为乔木层地上生物量与含碳率的乘积, 计算见公式 (C.3)。

$$C_{乔地上} = \sum_{i=1}^m [\sum_{j=1}^n (B_{地上ij} \times CF_j) \times A_i] \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

- $C_{乔地上}$ ——乔木层地上碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- m ——森林类型数;
- n ——乔木种数;
- $B_{地上ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积地上生物量, 单位为吨每公顷 (t/hm²);
- CF_j ——j 树种的含碳率, 不同树种的含碳率可通过实际测定获得;
- A_i ——第 i 森林类型面积, 单位为每公顷 (hm²);

C.2.2.2 地上生物量计算

C.2.2.2.1 通过乔木层样地调查获得不同树种的胸径、树高等测树因子数据后, 可采用附录 E 中所列乔木树种的生物量异速生长方程。各样地单位面积地上生物量的测算优先采用生物量异速生长方程法。如果没有可用的生物量方程, 可用生物量扩展因子法。

C.2.2.2.2 采用生物量异速生长方程法计算地上生物量。第 i 森林类型第 j 树种单位面积地上生物量计算见公式 (C.4)。第 i 森林类型第 j 树种样地单株树木地上生物量计算方法见 DB31/T 1234—2020 中 6.2.2.2。

$$B_{地上ij} = K_j / A_{样地} \times M_{地上ij} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

- $B_{地上ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积地上生物量, 单位为吨 (t);
 $A_{样地}$ ——第 i 森林类型样地面积, 单位为每公顷 (hm²);
 K_j ——样地内 j 种乔木的株数;
 $M_{地上ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种样地单株树木地上生物量, 单位为吨 (t)。

C.2.2.2.3 采用生物量扩展因子法计算地上生物量。第 i 森林类型第 j 树种单位面积地上生物量计算见公式 (C.5)。在选择生物量扩展因子和基本木材密度时, 应首先考虑实测参数, 其次可考虑最新国家水平的参考值, 见附录 E。

$$B_{地上ij} = V_{ij} \times BEF_{ij} \times SVD_{ij} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

- $B_{地上ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积地上生物量, 单位为吨 (t);
 V_{ij} ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积蓄积量, 单位为立方米每公顷 (m³/hm²);
 BEF_{ij} ——第 i 森林类型第 j 树种的生物量扩展因子;
 SVD_{ij} ——第 i 森林类型第 j 树种的基本木材密度, 单位为吨每公顷 (t/hm²)。

C.2.3 乔木层地下碳储量

C.2.3.1 乔木层地下碳储量是监测区域内所有森林类型乔木层地下碳储量之和。乔木层地下碳储量为乔木层地下碳储量与含碳率的乘积。乔木层地下碳储量计算见公式 (C.6)。

$$C_{乔地下} = \sum_{i=1}^m [\sum_{j=1}^n (B_{地下ij} \times CF_j) \times A_i] \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

- $C_{乔地下}$ ——乔木层地下碳储量, 单位为吨 (t);
 m ——森林类型数;
 n ——乔木种数;
 $B_{地下ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积地下生物量, 单位为吨 (t);
 CF_j ——j 树种的含碳率, 用%表示。

C.2.3.2 第 i 森林类型第 j 树种单位面积地下生物量计算见公式 (C.7)。在选择树木根茎比时, 应首先考虑实测参数。若没有, 可参考最新国家水平的参考值, 见附录 F。

$$B_{地下ij} = B_{地上ij} \times R_{ij} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

- $B_{地下ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积地下生物量, 单位为吨 (t);
 $B_{地上ij}$ ——第 i 森林类型第 j 树种单位面积地上生物量, 单位为吨 (t);
 R_{ij} ——第 i 森林类型第 j 树种的树木根茎比。

C.3 灌木层碳储量

灌木层生物量采用样本收获法, 推算获取单位面积灌木层生物量数据。区域灌木层生物量是监测区域内所有灌木层生物量之和 (含地下部分生物量), 灌木层的碳储量为灌木层生物量与含碳率的乘积。计算见公式 (C.8)。

$$C_{灌} = \sum_{i=1}^n A_i \times B_{灌i} \times CF_{灌} \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

- $C_{灌}$ ——灌木层的碳储量, 单位为吨 (t);
 $B_{灌i}$ ——第 i 森林类型灌木层单位面积生物量的平均值, 单位为吨 (t);
 $CF_{灌}$ ——灌木层含碳率, 用%表示。

C.4 草本层碳储量

草本层生物量采用样本收获法测定, 推算获取草本层单位面积生物量数据。区域草本层生物量是监测区域内所有森林类型草本层生物量之和 (含地下部分生物量), 草本层的碳储量为草本层生物量与含碳率的乘积。计算见公式 (C.9)。

$$C_{草} = \sum_{i=1}^n A_i \times B_{草i} \times CF_{草} \dots\dots\dots (C.9)$$

式中：
 $C_{草}$ ——草本层的碳储量，单位为吨（t）；
 $B_{草i}$ ——第 i 森林类型草本层单位面积生物量的平均值，单位为吨（t）；
 $CF_{草}$ ——草本层含碳率，用%表示。

C.5 枯落物碳储量

采用样本收获法测定枯落物样品的生物量，推算获得单位面积枯落物层的生物量数据。区域枯落物层生物量是监测区域内所有类型森林枯落物层生物量之和，枯落物的碳储量是其生物量与含碳率的乘积。计算见公式（C.10）。

$$C_{枯落物} = \sum_{i=1}^n A_i \times B_{枯落物i} \times CF_{枯落物} \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：
 $C_{枯落物}$ ——枯落物的碳储量，单位为吨（t）；
 $B_{枯落物i}$ ——第 i 森林类型枯落物层单位面积生物量，单位为吨（t）；
 $CF_{枯落物}$ ——枯落物层含碳率，用%表示。

C.6 枯死木碳储量

根据枯死木的性质，以及残留的枯死木部分（全树、枝叶等）计算单株枯死木生物量，具体估算方法同乔木层单株生物量估算方法，并通过累加推算获得枯死木的单位面积生物量数据。区域枯死木生物量是监测区域内所有类型森林枯死木生物量之和，枯死木的碳储量是其生物量与含碳率的乘积。计算见公式（C.11）。

$$C_{枯死木} = \sum_{i=1}^n A_i \times B_{枯死木i} \times CF_{枯死木} \dots\dots\dots (C.11)$$

式中：
 $C_{枯死物}$ ——枯死木的碳储量，单位为吨（t）；
 $B_{枯死木i}$ ——第 i 森林类型单位面积枯死木生物量，单位为吨（t）；
 $CF_{枯死木}$ ——枯死木含碳率，用%表示。

注：城市森林作为人工林，人为经营管理强度大，枯死木碳库在监测间隔期内通常就被人为移除林地并分解，根据“成本有效性”原则，在实际工作中，可选择忽略对这一碳库的计量监测。

C.7 土壤有机碳储量

C.7.1 监测区域内城市森林的土壤有机碳储量，计算见公式（C.12）。

$$TOC = \sum_{i=1}^n A_i \times SOC_i \dots\dots\dots (C.12)$$

式中：
 TOC ——区域土壤有机碳储量，单位为吨（t）；
 SOC_i ——第 i 种森林类型的土壤有机碳密度，单位为吨每公顷（t/hm²）。

C.7.2 土壤有机碳密度计算见公式（C.13）。

$$SOC = C \times D \times E \times \frac{(1-G)}{100} \dots\dots\dots (C.13)$$

式中：
 SOC ——土壤有机碳密度，单位为千克每平方米（kg/m²）；
 C ——土壤有机碳含量，单位为克每千克（g/kg）；
 D ——土壤密度，单位为毫克每立方米（g/m³）；
 E ——土壤厚度，单位为厘米（cm）；
 G ——直径≥2 mm 的石砾所占体积的百分比，用%表示。

C.8 碳汇/源测算

C.8.1 监测间隔期（n 时间段）的城市森林净碳汇/源量，计算见公式（C.14）。

$$C_{汇/源} = \Delta C - C_{排} \dots\dots\dots (C.14)$$

式中：

$C_{\text{汇/源}}$ ——在 n 时间段内的净碳汇/源量，单位为吨（t）；

$C_{\text{排}}$ ——在 n 时间段内，由于森林转化，地上部剩余物分解造成的碳排放量，单位为吨（t）；

ΔC ——在 n 时间段内林地碳储量的变化量，单位为吨（t）。

C.8.2 在 n 时间段内林地碳储量的变化量，计算见公式（C.15）。

$$\Delta C = \Delta C_{\text{地上}} + \Delta C_{\text{地下}} + \Delta C_{\text{枯死木}} + \Delta C_{\text{枯落物}} + \Delta C_{\text{土壤}} \dots\dots\dots \text{(C.15)}$$

式中：

ΔC ——在 n 时间段内林地碳储量的变化量，单位为吨（t）；

$\Delta C_{\text{地上}}$ ——在 n 时间段内地上碳储量的变化量，单位为吨（t）；

$\Delta C_{\text{地下}}$ ——在 n 时间段内地下碳储量的变化量，单位为吨（t）；

$\Delta C_{\text{枯死木}}$ ——在 n 时间段内枯死木碳储量的变化量，单位为吨（t）；

$\Delta C_{\text{枯落物}}$ ——在 n 时间段内枯落物碳储量的变化量，单位为吨（t）；

$\Delta C_{\text{土壤}}$ ——在 n 时间段内土壤碳储量的变化量，单位为吨（t）。

C.8.3 当 n 时间段内的净碳汇/源量为正值时，为碳汇。当 n 时间段内的净碳汇/源量为负值时，为碳源。当 n 时间段内的净碳汇/源量为零时，为无碳汇/源。

附 录 D
(资料性)
深圳部分树种单木生物量异速生长方程

深圳部分树种单木生物量异速生长方程见表 D. 1。

表 D. 1 深圳部分树种单木生物量异速生长方程表

类别	拉丁文	计算公式	核算依据
木荷	<i>Schima superba</i>	地上： $(W_t=W_s+W_b+W_L)$ $W_s=0.04188(D^2H)^{0.9426}$ $W_b=0.01208(D^2H)^{0.8687}$ $W_L=0.00313(D^2H)^{0.9418}$ 地下： $W_R=0.01645(D^2H)^{0.9002}$	《基于 GIS 的城市森林碳储量估算研究》
乌桕	<i>Triadica sebifera</i>	—	《城阳街道绿化树种地上生物量及不同绿地类型的碳储量》
秋枫	<i>Bischofia javanica</i>	地上： $W_s=0.0319*(D^2H)^{0.9357}$ $W_b=0.0111*(D^2H)^{0.8852}$ $W_L=0.004*(D^2H)^{0.9589}$ 地下： $W_R=0.0025*(D^2H)^{1.0584}$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》
交让木	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	$W=0.1726D^{2.3686}$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
榕树	<i>Ficus microcarpa</i>	$W_{\text{全株}}=10.4+0.189(D^2H)+0.00231(D^2H)^2-0.00000804(D^2H)^3$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
银柴	<i>Aporosa dioica</i>	地上： $W_s=0.0319*(D^2H)^{0.9357}$ $W_b=0.0111*(D^2H)^{0.8852}$ $W_L=0.004*(D^2H)^{0.9589}$ 地下： $W_R=0.0025*(D^2H)^{1.0584}$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》 按照阔叶林计算
假鹰爪	<i>Desmos chinensis</i>	$W=0.4098D^{1.0615}H^{0.5438}$	《基于 GIS 的城市森林碳储量估算研究》
皂荚	<i>Gleditsia sinensis</i>	地上： $W_s=0.2030D^{1.9500}$ $W_b=0.0042D^{3.2400}$ $W_L=0.00085D^{3.2300}$ 地下： $W_R=0.00085D^{3.2300}$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》

表 D.1 深圳部分树种单木生物量异速生长方程表（续）

类别	拉丁文	计算公式	核算依据
台湾相思	<i>Acacia confusa</i>	$W_T=1.4256(D^2H)^{0.568}$	《基于 GIS 的城市森林碳储量估算研究》
荔枝	<i>Litchi chinensis</i>	地上: $W_S=0.184D^{2.170}H^{0.078}$ $W_B=0.473D^{2.672}H^{1.764}$ $W_L=0.270D^{3.831}H^{3.450}$ 地下: $W_R=0.201D^{3.227}H^{1.989}$	《海南地区菠萝蜜和荔枝单木相容性生物量模型的构建》
马尾松	<i>Pinus massoniana</i>	地上: $W_A=0.092349D^{2.02817}H^{0.49763}$ (D≥5cm) $W_A=0.181666D^{1.60778}H^{0.49763}$ (D<5cm) 地下: $W_B=0.008828D^{0.73828}H^{0.080255}$ (D≥5cm) $W_B=0.043674D^{0.74485}H^{0.080255}$ (D<5cm)	《立木生物量模型及碳计量参数—马尾松》
润楠	<i>Machilus nanmu</i>	$W=2.6211(D^2H)^{0.8565}$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
鹅掌楸	<i>Liriodendron chinense</i>	$W=0.06393D^{2.61147}$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
山乌柏	<i>Triadica cochinchinensis</i>	$W=0.9(D^2H)^{0.9614}$	《粤东地区森林灌木层优势植物生物量估算模型》
山胡椒	<i>Lindera glauca</i>	$W=0.061*(D^2H)^{0.915}$	《中国常见灌木生物量模型手册》
余甘子	<i>Phyllanthus emblica</i>	$W=0.098*(D^2H)^{0.727}$	《中国常见灌木生物量模型手册》
锥	<i>Castanopsis chinensis</i>	地上: $W_S=0.0541*(D^2H)^{1.0124}$ $W_B=0.0339*(D^2H)^{0.8357}$ $W_L=0.0125*(D^2H)^{0.8258}$ 地下: $W_R=0.0047*(D^2H)^{1.0419}$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》
杉木	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	地上: $W_S=0.0085(D^2H)^{1.1072}$ $W_B=0.0017(D^2H)^{1.0919}$ $W_L=0.0007D^{3.8866}$ 地下: $W_R=0.08(D^2H)^{0.6462}$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
银柴	<i>Aporosa dioica</i>	$W_T=1.4256(D^2H)^{0.568}$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》

表 D.1 深圳部分树种单木生物量异速生长方程表（续）

类别	拉丁文	计算公式	核算依据
岗松	<i>Baeckea frutescens</i>	$W=0.077*(D^2H)^{0.469}$	《中国常见灌木生物量模型手册》
算盘子	<i>Glochidion puberum</i>	$W=0.063*(D^2H)^{0.715}$	《中国常见灌木生物量模型手册》
盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>	$W=0.08+0.028*D^2H$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》
木麻黄	<i>Casuarina equisetifolia</i>	地上： $W_s=0.0359(D^2H)^{0.9509}$ $W_b=0.0407(D^2H)^{0.7246}$ $W_L=0.194(D^2H)^{0.433}$ 地下： $W_R=0.0089(D^2H)^{0.9363}$	《中国森林生态系统碳储量——生物量方程》
梔子花	<i>Gardenia jasminoides</i>	$W_T=1.4256(D^2H)^{0.568}$	《中国常见灌木生物量模型手册》
石斑木	<i>Rhaphiolepis indica</i>	$W=0.087(D^2H)^{0.574}$	—
杜英	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	$W=1.422+0.028(D^2H)$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	地上： $W_s=0.3230+0.015(D^2H)$ $W_b=0.098+0.002(D^2H)$ $W_L=0.178+0.007(D^2H)$ 地下： $W_R=0.685+0.32(D^2H)$	《亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集》
樟树	<i>Camphora officinarum</i>	地上： $W_A=0.00525D^{2.92904}H^{0.45375}$ 地下： $W_B=0.03982D^{2.48635}H^{0.04338}$	《樟树等三个乡土阔叶树种立木碳计量模型及参数》
注：表中 W_s 、 W_b 、 W_L 、 W_R 分别为计算树种的干、枝、叶和地下部分。 W 为生物量， W_s 为树种的干部分生物量， W_b 为树种的枝部分生物量， W_L 为树种的叶部分生物量， W_R 为树种的地下部分生物量。D 为胸径，H 为树高。			

附 录 E

(资料性)

深圳优势树种生物量扩展因子、基本木材密度与根茎比参考值

E.1 深圳优势树种生物量扩展因子参考值

深圳优势树种生物量扩展因子参考值见表 E.1。

表 E.1 深圳优势树种生物量扩展因子参考值

优势树种（组）	BEF	优势树种（组）	BEF	优势树种（组）	BEF
木荷	1.894	软阔类	1.586	国外松	1.631
木麻黄	1.505	硬阔类	1.674	火炬松	1.631
杉木	1.634	阔叶混	1.514	落叶松	1.416
相思	1.479	针叶混	1.587	马尾松	1.472
枫香	1.765	针阔混	1.656	湿地松	1.614
藜蒴	1.586	杂木	1.586	其它松类	1.631
其他杉类	1.667	南洋楹	1.586		
注：数据来源于《广东省林业碳汇碳普惠方法学（2022 年修订版）》。					

E.2 深圳优势树种基本木材密度参考值

深圳优势树种基本木材密度参考值见表 E.2。

表 E.2 深圳优势树种基本木材密度参考值

优势树种（组）	D	优势树种（组）	D	优势树种（组）	D
木荷	0.598	软阔类	0.443	国外松	0.424
木麻黄	0.443	硬阔类	0.598	火炬松	0.424
杉木	0.307	阔叶混	0.482	落叶松	0.49
相思	0.443	针叶混	0.405	马尾松	0.38
枫香	0.598	针阔混	0.486	湿地松	0.424
藜蒴	0.443	杂木	0.515	其它松类	0.424
其他杉类	0.359	南洋楹	0.443		
注：数据来源于《广东省林业碳汇碳普惠方法学（2022 年修订版）》。					

E.3 深圳优势树种根茎比参考值

深圳优势树种基本木材密度参考值见表 E.3。

表 E.3 深圳优势树种根茎比参考值

优势树种（组）	R	优势树种（组）	R	优势树种（组）	R
木荷	0.258	软阔类	0.289	国外松	0.206
木麻黄	0.213	硬阔类	0.261	火炬松	0.206
杉木	0.246	阔叶混	0.262	落叶松	0.212
相思	0.207	针叶混	0.267	马尾松	0.187
枫香	0.398	针阔混	0.248	湿地松	0.264
藜蒴	0.289	杂木	0.289	其它松类	0.206
其他杉类	0.277	南洋楹	0.289		
注：数据来源于《广东省林业碳汇碳普惠方法学（2022 年修订版）》。					

E.4 亚热带不同森林类型地下生物量、灌、草及枯落物生物量换算参数

亚热带不同森林类型地下生物量、灌、草及枯落物生物量换算参数见表 E.4。

表 E.4 亚热带不同森林类型地下生物量、灌、草及枯落物生物量换算参数

森林类型	龄组	地上/地下 生物量化	地下生物量/ (t/hm ²)	灌木层生物量/ (t/hm ²)	草木层生物 量/(t/hm ²)	枯落物生物量 /(t/hm ²)
针叶林	幼、中	5.18	19.04	2.888	1.681	6.97
	近、成、过	6.02	36.79	1.920	0.457	7.68
阔叶林	幼、中	3.97	29.86	3.008	1.054	5.10
	近、成、过	4.68	37.12	3.482	1.071	3.33
针阔混	幼、中	4.40	36.21	5.108	2.886	7.82
	近、成、过	4.49	55.30	3.035	2.525	7.50
针叶混	幼、中	4.32	12.78	8.416	0.369	3.28
	近、成、过	5.67	48.46	3.050	0.123	7.25
阔叶混	幼、中	3.18	22.77	8.980	2.080	6.68
	近、成、过	5.23	19.02	7.391	0.374	6.68
注：数据来源于 DB31/T 1234—2020。						

附录 F
(资料性)
模型评价方法

F.1 决定系数

决定系数的计算见公式 (F.1) :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中：
 R^2 ——决定系数；
 n ——样本数量；
 O_i ——样本的观测值；
 P_i ——样本的模拟值；
 \bar{O} ——观测值的平均值。

F.2 平均绝对误差

平均绝对误差的计算见公式 (F.2) :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \dots\dots\dots (F.2)$$

式中：
 MAE ——平均绝对误差；
 n ——样本数量；
 O_i ——样本的观测值；
 P_i ——样本的模拟值。

F.3 均方根误差

均方根误差的计算见公式 (F.3) 。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \dots\dots\dots (F.3)$$

式中：
 $RMSE$ ——均方根误差；
 n ——样本数量；
 O_i ——样本的观测值；
 P_i ——样本的模拟值。

F.4 相对均方根误差

均方根误差的计算见公式 (F.4) 。

$$rRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} * 100\% \dots\dots\dots (F.4)$$

式中：
 $rRMSE$ ——均方根误差值；
 $RMSE$ ——均方根误差；
 \bar{O} ——观测值的平均值。

附 录 G
(规范性)
校正精度评价指标等级

表 G.1 列出了均方根误差等级划分,表 G.2 列出了决定系数的等级划分标准,表 G.3 列出了平均绝对误差的等级划分标准,表 G.4 列出了均方根误差的等级划分标准,表 G.4 列出了相对均方根误差的等级划分标准。

表 G.1 均方根误差等级划分

均方根误差 (RMSEP)	等级
0.7~1	差
0.4~0.7	中
<0.4	优

表 G.2 决定系数等级划分

决定系数 (R^2)	等级
<0.4	差
0.4~0.7	中
0.7~1	优

表 G.3 平均绝对误差等级划分

平均绝对误差 (MAE)	等级
>20	差
10~20	中
<10	优

表 G.4 均方根误差等级划分

均方根误差 (RMSE)	等级
>35	差
20~35	中
<20	优

表 G.5 相对均方根误差等级划分

相对均方根误差 (rRMSE)	等级
>25%	差
15%~25%	中
<15%	优

附 录 H
(规范性)
城市森林碳储量与碳汇量评估报告大纲

城市森林碳储量与碳汇量评估报告大纲见图 H. 1。

<p>城市森林碳储量与碳汇量评估报告大纲</p> <p>一、前言：介绍核算背景、目的意义、任务来源等；</p> <p>1.1 核算背景</p> <p>1.2 目的意义</p> <p>1.3 任务来源</p> <p>二、核算城市森林概况：介绍核算城市森林地理范围、气候、土壤、植被等基本情况；</p> <p>2.1 地理位置</p> <p>2.2 地形地貌</p> <p>2.3 气候与水文</p> <p>2.4 植被类型</p> <p>2.5 土壤类型</p> <p>2.6 土地覆盖</p> <p>三、核算方法：说明核算方法选择的标准、依据及适用范围，详细介绍碳储量与碳汇量核算的方法；</p> <p>3.1 核算方法选择依据</p> <p>3.2 核算方法</p> <p>四、数据来源：说明核算数据、参数的来源、采集方式及采集过程，数据处理原则、方法及其过程；</p> <p>4.1 观测数据获取方法</p> <p>4.2 模型输入数据来源与数据处理</p> <p>五、准确性评价：基于城市森林地面观测数据对不同生态系统进行核算结果准确性评价，如</p> <p>5.1 森林生态系统模型模拟准确性评价</p> <p>5.2 红树林生态系统模型模拟准确性评价</p> <p>5.3 ...</p> <p>六、城市森林碳储量与碳汇量核算及空间格局：对城市森林碳储量与碳汇量的空间格局和各统计结果进行详细分析；</p> <p>6.1 城市森林碳储量与碳汇量</p> <p>6.2 城市森林碳储量与碳汇量空间格局</p> <p>七、结论：介绍城市森林碳储量与碳汇量核算结论</p> <p>7.1 核算城市森林情况</p> <p>7.2 核算准确性说明</p> <p>八、附录：包括校准后的模型参数表。</p>

图 H. 1 城市森林碳储量与碳汇量评估报告大纲

附 录 I
(资料性)
数据采集记录表

数据采集记录表见表 I.1～表 I.9。

表 I.1 林地因子调查记录表

调查员：调查记录： 年 月 日

项目		记录内容
样地号		
地理位置		深圳市____区____镇____村（农场）____路 经度：E ____°（格式：XX.XX° 用度分格式，小数点后五位） 纬度：N ____°
森林类型		森林类型：____
样地面积及形状		面积：____
环境因子	地貌地形	地貌：____
		地形：坡度____° 坡向____坡位____
	群落特征	群落类型：____
		优势树种：____
		郁闭度：____
		平均树高：____
		龄组：____ 树龄：____
		树种组成：____
经营措施		
备注		

表 I.2 乔木（层）每木调查记录表

样地号：面积：调查员：调查记录： 年 月 日

编号（i）	树种	胸径 ^a /cm	树高 ^b /m	生长状态

^a 测量胸径时，如果树干在 1.3 m 处以下分歧，测定所有分歧胸径，并记录相应株数；如果在 1.3 m 以上分歧，在胸高处测定，只记录一株。在坡地时，检尺位置为树干离上坡根茎 1.3 m 高度处。
^b 如果树木已经倒伏但仍然存活，则将测杆放在倒伏树的根部测量树高，且依据树木的自然倾斜角度测定。在主林层优势以优势树种选择 3～5 株平均样木测定树高，采用算术平均法计算平均树高作为林分平均高。

表 I.3 竹林样地调查表

样地号：样方面积：调查员：调查记录： 年 月 日

样方号	竹种名称	株数（丛数）	胸径/cm	竹高/m	生长状态

表 1.4 灌木层调查表

样地号：样方面积：调查员：调查记录：年 月 日

样方号	优势种	灌木型 (单株/丛生)	盖度	株数 (丛数)	冠幅/ (m×m)	平均高/m

注 1：可计数的灌木填写灌木株数；而丛状灌木填写灌木丛数。高度在 50cm 以下的灌木可不计入灌木株数。灌木林调查表与灌木层调查表相同。
注 2：冠幅是测定其东西方向，南北两方向的宽度值。

表 1.5 灌木标准木取样记录表

样方面积：调查员：调查记录：年 月 日

样方号	灌木号	灌木种	灌木型	冠幅/ (m×m)	高 /m	样品鲜重/g				样品干重/g			
						干	枝	叶	根	干	枝	叶	根

表 1.6 草本层调查表

样地号：样方面积：调查员：调查记录：年 月 日

样方号		1	2	3	4	5
盖度/%						
平均高/cm						
样方内所有植物 鲜重/g	地上					
	地下					
样品鲜重/g	地上					
	地下					
样品干重/g	地上					
	地下					

表 1.7 枯落物调查表

样地号：样方面积：调查员：调查记录：年 月 日

样方号	厚度/cm	样方内枯落物鲜重/g	样品鲜重/g	样品干重/g

表 1.8 枯立木调查表

样地号：样方面积：调查员：调查记录：年 月 日

样方号	序号	胸径/cm	高/m	分解状态

注：分解状态分为四类：（1）大、中、小枝完整（与活立木相比，只是没有叶）；（2）无小枝，但有中、大枝；（3）只有大枝；（4）完全没有枝，只剩主干。

表 1.9 枯倒木调查表

样地号：样方面积：调查员：调查记录：年 月 日

样方号	序号	直径 ^a /cm	长度/m	密度级 ^b

^a 直径为枯倒木按长度 1 m 为区分段时、区分段中部处的直径，枯倒木密度级分为：腐木、半腐木、未腐木三级。
^b 密度级划分为腐木、半腐木、未腐木三级，可通过用弯刀敲击枯倒木进行判断。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；如果枯倒木裂开则为腐木。不同密度级各收集至少两份枯倒木段，带回实验室测定干重。

参 考 文 献

- [1] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
- [2] GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程
- [3] GB/T 33027—2016 森林生态系统长期定位观测方法
- [4] GB/T 34815 植被生态质量气象评价指数
- [5] GB/T 37342—2019 国家森林城市评价指标
- [6] GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程
- [7] GB/T 51346 城市绿地规划标准
- [8] HJ 1176 全国生态状况调查评估技术规范——数据质量控制与集成
- [9] LY/T 1237 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算
- [10] LY/T 1812 林地分类
- [11] LY/T 2250 森林土壤调查技术规程
- [12] LY/T 2259 立木生物量建模样本采集技术规程
- [13] LY/T 2265—2014 林业信息术语
- [14] LY/T 3253—2021 林业碳汇计量监测术语
- [15] CJJ/T 85 城市绿地分类标准
- [16] DB44/T 565—2008 城市森林生态效益监测技术规范
- [17] DB31/T 1234—2020 城市森林碳汇计量监测技术规程
- [18] DB32/T 2168—2012 森林资源规划设计调查技术规程
- [19] DB31/T 1232 城市森林碳汇调查及数据采集技术规范
- [20] DB33/T 2416 城市绿化碳汇计量与监测技术规程
- [21] T/CMSA 0027 区域陆地碳汇评估技术指南
- [22] 国家林业局. 全国林业碳汇计量和监测技术指南（试行）. 2010
- [23] 国家林业局. 造林项目碳汇计量与监测指南：办造字（2011）18号，2008
- [24] 国家林业局. 国家森林资源连续清查技术规定：办资字（2014）42号，2014
- [25] 国家林业局. 森林下层植和土壤碳库调查技术规范. 2012
- [26] 国家林业局. 土地利用、土地利用变化与林业碳汇计量监测技术指南：2015
- [27] 国家林业局. 全国乔木优势树种（组）基本木材密度测定. 2020
- [28] 国家林业局. 森林生态系统碳储量计量指南. 2018
- [29] 广东省林业厅. 林碳汇造林技术规程. 2018
- [30] 广东省林业厅. 林业碳汇计量与监测技术规程. 2016
- [31] 广东省生态环境厅. 广东省林业碳汇碳普惠方法学（2022年修订版）：粤环函（2022）458号，2022
- [32] 杨道运, 姜刘志, 赖梅东. 基于GIS的城市森林碳储量估算研究——以深圳市塘朗山为例[J]. 中国环境科学学会, 2016年学术年会. 2016.
- [33] 陈淑玉, 姜丽霞, 姜在渊等. 城阳街道绿化树种地上生物量及不同绿地类型的碳储量[J]. 地理科学研究, 2018, 7(2):7. DOI:10.12677/GSER.2018.72019.
- [34] 周国逸, 尹光彩, 唐旭利等. 中国森林生态系统碳储量——生物量方程[M]. 北京: 科学出版社(龙门书局), ISBN:9787508853925, 2018.
- [35] 吴举扬, 朱江, 艾训儒等. 亚热带常绿落叶阔叶混交林木本植物生物量模型数据集[J]. 《中国科学数据(中英文网络版)》. 2022年第4期: 336-347.
- [36] 陈毅青, 陈宗铸, 陈小花等. 海南地区菠萝蜜和荔枝单木相容性生物量模型的构建[J]. 经济林研究, 2020(004):038.
- [37] 陈富强, 罗勇, 李清湖. 粤东地区森林灌木层优势植物生物量估算模型[J]. 中南林业科技大学学报, 2013(2):6. DOI:CNKI:SUN:ZNLB.0.2013-02-003.
- [38] 谢宗强等. 中国常见灌木生物量模型手册[M]. 北京: 科学出版社. ISBN:9787508854380, 2018.
- [39] 李海奎, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010:21-25.
- [40] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 陈安平. 1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学: D

辑：地球科学，2007，37（6）：804-812.
