

T/ECOSC

团 体 标 准

T/ECOSC 0004-2026

林栖大中型哺乳动物栖息地监测与评估技
术规范

Technical regulations for monitoring and assessment of forest-dwelling large and
medium-sized mammal habitats

2026-08-10 发布

2026-08-10 实施

中国生态学学会 发布

目 录

目 录	I
前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	3
4.1 监测与评估的内容	3
4.2 监测与评估的时间和频次	3
4.3 监测与评估的范围	4
4.4 监测与评估的流程	4
4.5 监测人员	4
5 林栖大中型哺乳动物种群状况监测	4
5.1 监测方法	5
5.2 监测指标	5
6 林栖大中型哺乳动物栖息地状况监测	5
6.1 植被类型监测	5
6.2 三维结构监测	5
6.3 干扰状况监测	5
6.4 水源状况监测	6
7 林栖大中型哺乳动物栖息地适宜性评估	6
7.1 栖息地适宜性评估与划分	6
7.2 评栖息地适宜性动态评估	6
附录 A（规范性）林栖大中型哺乳动物种群状况监测记录表格式	7
A.1 范围	7
A.2 记录表种类	7
A.3 记录表内容与格式	7
附录 B（规范性）无人机高光谱地面验证数据采集记录表格式	10
附录 C（资料性）背负式激光雷达两种扫描方案示意图	12
附录 D（资料性）监测方法	14

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》的规定制定。

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。

本文件由中国科学院动物研究所提出。

本文件由中国生态学学会归口。

本文件起草单位：中国科学院动物研究所、中山大学、西华师范大学。

本文件主要起草人：聂永刚、李玉美、高泽轩、范朋飞、韦伟。

本标准自发布之日起实施。

林栖大中型哺乳动物栖息地监测与评估技术规范

1 范围

本规范规定了林栖大中型哺乳动物栖息地监测与评估的内容、范围、指标、方法等有关内容和要求。

本规范适用于森林生态系统中各类林栖大中型哺乳动物（包括食肉目、偶蹄目、奇蹄目、灵长目、长鼻目等类群中体型较大物种）栖息地监测与评估工作。

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 37364.3 陆生野生动物及其栖息地调查技术规程 第3部分：兽类

DB51/T 2287 野生动物红外相机监测技术规程

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范

DB32/T 4123 生态地质环境调查航空高光谱遥感技术规程

CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范

CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范

AC-91-FS-31R1 轻小型无人机运行规定

国务院令（第761号）《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

林栖大中型哺乳动物 forest-dwelling large and medium-sized mammal

以森林生态系统为主要栖息环境，生命周期的大部分时间或关键阶段依赖森林结构与资源（如食物、水源、隐蔽场所等），且成年个体体重超过2公斤（小型与中型兽类的分界阈值）的非穴居型哺乳动物类群。主要包括食肉目、偶蹄目、奇蹄目、灵长目、长鼻目等类群中体型较大的物种。

3.2

栖息地三维结构 three-dimensional habitat structure

由植被和地形要素在垂直与水平方向上共同构成的立体生境，反映了栖息地内部的垂直异质性、水平异质性及其为生物提供的多维生态位空间。区别于传统仅关注水平异质性的二维生境描述。

3.3

激光雷达 light detection and ranging (LiDAR)

是一种通过主动发射激光脉冲并接收回波获取目标物三维空间信息的系统。

3.4

无人机激光雷达扫描系统 **Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based LiDAR system**

是一种以无人机为飞行平台，集成激光雷达传感器，用于从空中获取目标物三维空间信息的设备。

3.5

背负式激光雷达扫描系统 **backpack-mounted LiDAR system**

是一种将激光雷达传感器集成于背包载体中，由操作人员背负在地面行走，实时采集周围环境三维点云数据的移动测量设备。

3.6

激光雷达点云数据 **LiDAR point cloud data**

是通过激光雷达扫描获取的点集，以点的形式记录空间信息。每个点都包含精确的三维坐标信息，并根据传感器配置，附加颜色（RGB）值或反射强度等属性。

3.7

无人机高光谱成像系统 **UAV-based hyperspectral imaging system**

是集成于无人机平台，用于采集地物高光谱遥感数据的成像探测系统。

3.8

数字高程模型 **digital elevation model (DEM)**

是一种用有序数值阵列形式表示地面高程，用以实现地形表面形态数字化表达的实体地面模型。

3.9

数字表面模型 **digital surface model (DSM)**

是包含地表物体（植被、建筑物等）高程信息的数字高程模型，反映地表的真实表面形态。

3.10

冠层高度模型 **canopy height model (CHM)**

是用于表示植被冠层相对于地面高度的数字模型。它通过将数字表面模型（DSM）与数字高程模型（DEM）相减得到，即： $CHM = DSM - DEM$ 。

3.11

植被叶面积体密度 **plant area density (PAD)**

单位体积内植物表面积的密度，通常以平方米每立方米（ m^2/m^3 ）为单位。将点云根据扫描精度划分为立体网格，然后计算有点的网格数量占总网格数量的比值得到。立体网格的分辨率由点云平均点间距决定，一般为平均点间距的 1.5 倍。

3.12

垂直结构多样性指数 **vertical diversity index (VID)**

衡量植被群落在垂直方向上的结构复杂性和多样性的指标。通过将点云进行垂直分层，计算每层 PAD，使用香农-维纳指数计算垂直多样性指数。

3.13

冠层形状 **canopy shape**

PAD 达到最大值对应的高度与冠层高度 99%分位数的比值。

3.14

水平结构多样性指数 **horizontal diversity index (HID)**

用于评估植被群落在水平空间上的结构多样性的指标，通过计算冠层高度模型（CHM）的标准差得到。

3.15

地形粗糙度 **terrain roughness**

是衡量地表起伏变化和侵蚀程度的指标，通常定义为地表单元的曲面面积与其在水平面上的投影面积之比，基于数字高程模型（DEM）计算获得。该比值越大，表示地形起伏越剧烈，粗糙度也越高。

3.16

植被光谱特征 **vegetation spectral signature**

是指绿色植物在可见光至短波红外波段内，因叶片色素含量、水分状态、生化组分及冠层结构等内在属性的综合作用，而形成的特有反射率随波长变化的分布模式，通常以连续光谱曲线的形式表达。不同植物物种因上述内在属性的差异，在相同环境条件下通常表现出可区分的光谱特征，是为光谱物种识别提供理论依据的核心依据。

3.17

干扰状况 **disturbance**

指由自然过程或人为活动引起的、导致森林栖息地植被结构、物种组成或资源供给发生显著改变的事件或过程。干扰类型主要包括人为干扰和自然干扰两类。其中，人为干扰包括工程建设（如道路、水电站等）、资源开发（如采石、采矿等）及旅游活动等；自然干扰包括自然灾害（如地震、滑坡等）、森林火灾及病虫害爆发等。

3.18

水源状况 **water resource**

动物活动范围内永久性或季节性水体（河流、溪流、湖泊等）的空间分布。

4 一般要求

4.1 监测与评估的内容

- （1）林栖大中型哺乳动物种群状况监测
 - 目标物种
 - 与目标物种同域分布大中型哺乳动物
- （2）林栖大中型哺乳动物栖息地状况监测
 - 植被类型
 - 三维结构
 - 干扰状况
 - 水源状况
- （3）林栖大中型哺乳动物栖息地适宜性评估

4.2 监测与评估的时间和频次

监测评估时间可以根据不同地区的气候条件以及目标物种的生活史来确定，一般可在植被生长季和非生长季各开展一次监测评估，以反映其栖息利用的季节性特征。对于森林采伐、火灾、地质灾害以及病虫害等对植被造成明显影响的干扰，应在事件发生后及时开展监测。

4.3 监测与评估的范围

监测与评估范围根据研究目标与管理需求针对性确定。对于面积较大的自然保护区或国家公园，可基于时效性与可操作性原则，选择重点区域或典型分布区开展监测评估，原则上监测评估面积不超过300 km²。

4.4 监测与评估的流程

采用样线法和红外相机矩阵相结合方式，开展目标物种及其同域物种的种群状况监测。采用野外调查、背负式激光雷达扫描系统、无人机激光雷达扫描系统、无人机高光谱成像系统及卫星遥感相结合方式，开展动物栖息地状况监测（包括植被类型、三维结构、干扰状况、水源状况），其中背负式激光雷达扫描系统作为无人机激光雷达扫描系统的重要补充，主要应用于森林郁闭度极高、无人机无法获取有效林下数据的区域。基于监测的栖息地植被类型、三维结构、干扰状况、水源状况、目标物种分布状况、同域物种分布状况（考虑种间关系）等数据，采用最大熵（MaxEnt）模型、随机森林模型等开展栖息地适宜性评估。

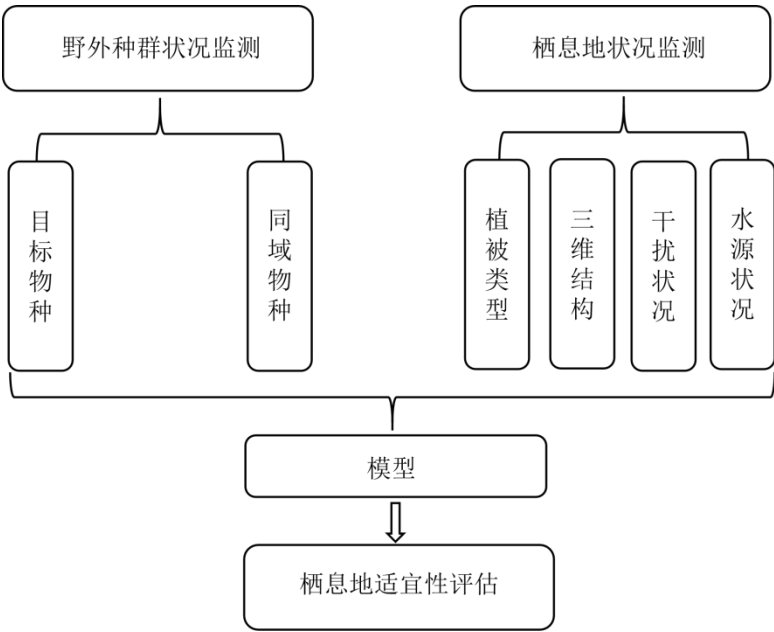


图 1 监测与评估的流程图

4.5 监测人员

野外监测人员应具有野外工作经验，熟悉监测区域自然环境和野生动物习性，可规范使用野外监测仪器设备，准确识别野生动物粪便和活动痕迹。无人机操作人员，按照《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》相关规定，需获得相应类别无人驾驶航空器操作员执照，持证上岗。同时按照AC-91-FS-31R1规定，进行无人机监测空域申请与手续审批。

5 林栖大中型哺乳动物种群状况监测

5.1 监测方法

采用样线法和红外相机监测矩阵相结合方式，开展目标物种及其同域物种的种群状况监测。其中，样线设置方案按照GB/T 37364.3要求执行，红外相机的布设方案按照GB/T 37364.3和DB51/T 2287要求执行。

5.2 监测指标

空间样线法：物种名称、分布位点（包含活体、尸体、粪便及其它痕迹点）、活体及痕迹点数量、发现时间等。

红外相机监测：物种名称、拍摄时间、个体数量、相机位点坐标等。

监测表格见附录A

6 林栖大中型哺乳动物栖息地状况监测

6.1 植被类型监测

（1）监测方法

采用无人机高光谱成像系统开展栖息地植被类型监测。航线规划与相控点布设按照CH/T 3004要求执行。高光谱载荷光谱范围400-1000nm，光谱通道数 ≥ 100 ，飞行方案（高度、速度、航线旁向和航向重叠度等）根据栖息地自身特性确定，保证地面空间分辨率优于10cm。数据预处理参照CH/T 3003和DB32/T 4123标准，开展辐射校正、几何校正及噪音去除。基于地面验证数据采集构建训练样本数据集，经模型训练，实现对主要优势树种的精准识别与植被类型的精细分类，最终生成高精度植被类型分布图（具体方法流程见附录D.1），地面验证数据采集表格见附录B。

（2）监测指标

主要优势树种：树种种类、面积比例。

植被类型（植被型）：类型组成、面积比例。

6.2 三维结构监测

（1）监测方法

以无人机激光雷达扫描系统为主、背负式激光雷达扫描系统为辅，开展栖息地三维结构监测，以确保点云数据的完整性。其中，背负式系统作为无人机系统的重要补充，重点应用于森林郁闭度极高、无人机无法有效获取林下数据的区域，以填补林下点云空白。其中，无人机激光雷达扫描系统航线规划按CH/T 8024和CH/T 3004要求执行，载荷相关参数、飞行方案（高度、速度、航线旁向和航向重叠度等）根据栖息地自身特性确定，平均点云密度应保证100点/平方米以上。数据解算与预处理参照CH/T 8023标准执行。背负式激光雷达扫描系统的行走方案有两种参见附录C，可根据栖息地实际情况选择扫描方案，行走速度、路线间距离根据栖息地自身特性确定，数据解算与预处理参照CH/T 8023标准执行。获取点云数据后，应依次进行噪点去除、数据融合、地面点滤波、点云归一化、单木分割等数据处理，利用相应算法完成参数提取。具体方法和流程详见附录D.2。

（2）监测指标

地形参数：海拔、坡度、坡向、坡位、地形粗糙度等。

垂直结构参数：树高、冠层形状、垂直结构多样性等。

水平结构参数：单木位置、冠幅、覆盖度、水平结构多样性等。

6.3 干扰状况监测

（1）监测方法

采用卫星遥感、无人机遥感、地面调查和访谈法有机结合，开展栖息地干扰状况监测。对于监测区域内大、中型工程建设（如道路、水电站等）造成的干扰以及造成土地利用类型明显变化的干扰（如地震、大面积滑坡、采石、采矿、火灾等造成植被覆盖变化），采用卫星遥感解译实时监测并结合无人机监测进行地面核实，获取干扰类型、地点和规模。对于小规模干扰（如旅游、病虫害、小规模植被类型破坏）可采用无人机遥感（包括激光雷达和高光谱）和地面调查相结合进行监测，获取监测区域内各类干扰的时空动态。同时通过访谈方式收集监测区域内各种干扰的相关信息，作为干扰监测的补充材料。

（2）监测指标

干扰类型、地理坐标、海拔高度、发生时间、干扰强度、干扰范围、干扰频率等。

6.4 水源状况监测

（1）监测方法

采用卫星遥感技术对河流、溪流、湖泊永久性或季节性水源的空间分布开展监测。

（2）监测指标

距水源距离、水源分布密度等。

7 林栖大中型哺乳动物栖息地适宜性评估

7.1 栖息地适宜性评估与划分

综合监测获取的植被类型、三维结构、干扰状况、水源状况、目标物种分布以及同域物种（主要指与目标物种存在种间关系的类群）分布等多源数据，构建栖息地适宜性评估模型，预测潜在适宜栖息地的空间分布，最终生成高精度栖息地适宜性分布图。

模型选择依据数据条件而定：当样本量有限或仅有分布点数据时，优先采用最大熵（MaxEnt）模型；当具备系统调查数据时，则采用随机森林等监督学习模型。基于适宜性评估结果，采用自然间断点分级法或专家咨询法，将栖息地划分为不同适宜性等级，并据此绘制高精度适宜栖息地分布图。

针对单一目标物种，按前述流程生成其适宜栖息地分布图；针对多个目标物种，则需分别建模以获取各物种的适宜栖息地分布图，再通过叠加分析识别多物种共同适宜栖息地，从而实现多物种栖息地适宜性的综合评估。

7.2 评栖息地适宜性动态评估

评估内容包括：

（1）栖息地适宜性的季节动态评估

按照季节区分物种分布状况数据和栖息地状况数据，分别构建栖息地适宜性模型，生成季节性适宜栖息地分布图。通过对比不同季节栖息地适宜区的空间分布，识别全年核心适宜栖息地及季节性适宜栖息地分布区，并统计季节性高适宜栖息地分布区的面积变化。

（2）栖息地适宜性的年际动态评估

依据研究区的时间跨度与数据可及性，将研究时段划分为不同年份/时期。在此基础上，分别整理各年份/时期的物种分布数据与栖息地环境数据，独立构建栖息地适宜性模型，生成对应年份/时期的适宜栖息地分布图。通过空间叠加对比不同年份/时期栖息地适宜区的空间分布，识别稳定核心栖息地、丧失区、扩张区及波动区，并识别各时期高适宜栖息地分布区面积的变化趋势。

附 录 A
(规范性)
林栖大中型哺乳动物种群状况监测记录表格式

A.1 范围

本附录确定了林栖大中型哺乳动物种群状况监测记录表的名称、内容与格式。

A.2 记录表种类

共包括监测记录表 2 个：

- 红外相机物种鉴定记录表（表 A.1）
- 样线法调查记录表（表 A.2）

A.3 记录表内容与格式

表A.1 红外相机物种鉴定记录表

[illegible]

表A.2 样线法调查记录表

[illegible]

附 录 B
(规范性)
无人机高光谱地面验证数据采集记录表格式

B.1 范围

本附录确定了无人机高光谱地面验证数据采集记录表的名称、内容与格式。

B.2 记录表种类

- 评共包括记录表 3 个：
- 森林样方地面验证数据采集表（表 B.1）
 - 灌木样方地面验证数据采集表（表 B.2）
 - 草本样方地面验证数据采集表（表 B.3）

B.3 记录表内容与格式

表 B.1 森林样方地面验证数据采集表

样方编号：_____ 调查人：_____ 调查日期：_____ 调查时间：_____ 天气状况：_____

海拔：_____ 坡度：_____ 坡向：_____ 优势种：_____

顶点 1：经度_____ 纬度_____ 顶点 2：经度_____ 纬度_____ 顶点 2：经度_____ 纬度_____

顶点 4：经度_____ 纬度 _____ 中心点：经度_____ 纬度_____

物种	坐标定位		胸径（cm）	树高（m）	冠幅（m）	生长状况	备注
	经度（°）	纬度（°）					

表 B.2 灌木样方地面验证数据采集表

样方编号：_____ 调查人：_____ 调查日期：_____ 调查时间：_____ 天气状况：_____

海拔：_____ 坡度：_____ 坡向：_____ 优势种：_____

顶点 1：经度_____ 纬度_____ 顶点 2：经度_____ 纬度_____ 顶点 3：经度_____ 纬度_____

顶点 4：经度_____ 纬度_____ 中心点：经度_____ 纬度_____

物种组成	坐标定位		盖度	平均高度	多度	备注
	经度 (°)	纬度 (°)				

表 B.3 草本样方地面验证数据采集表

样方编号：_____ 调查人：_____ 调查日期：_____ 调查时间：_____ 天气状况：_____

海拔：_____ 坡度：_____ 坡向：_____ 优势种：_____ 中心点：经度_____ 纬度_____

物种组成	坐标定位		盖度	平均高度	多度	备注
	经度 (°)	纬度 (°)				

附 录 C
(资料性)
背负式激光雷达两种扫描方案示意图

C.1 范围

本附录确定了背负式激光雷达两种扫描方案示意图。

C.2 背负式激光雷达扫描方案示意图

见图 C.1 和图 C.2:

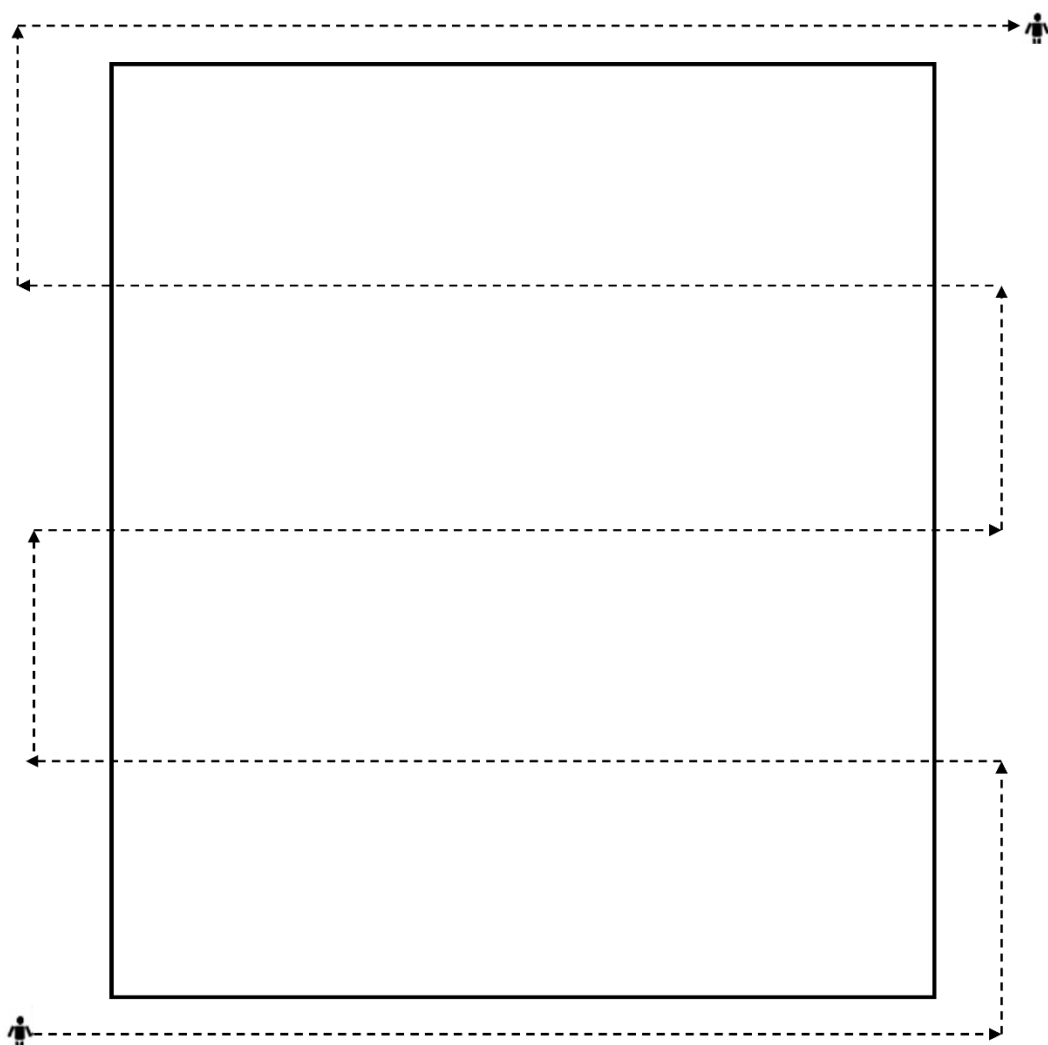


图 C. 1 扫描方案 1

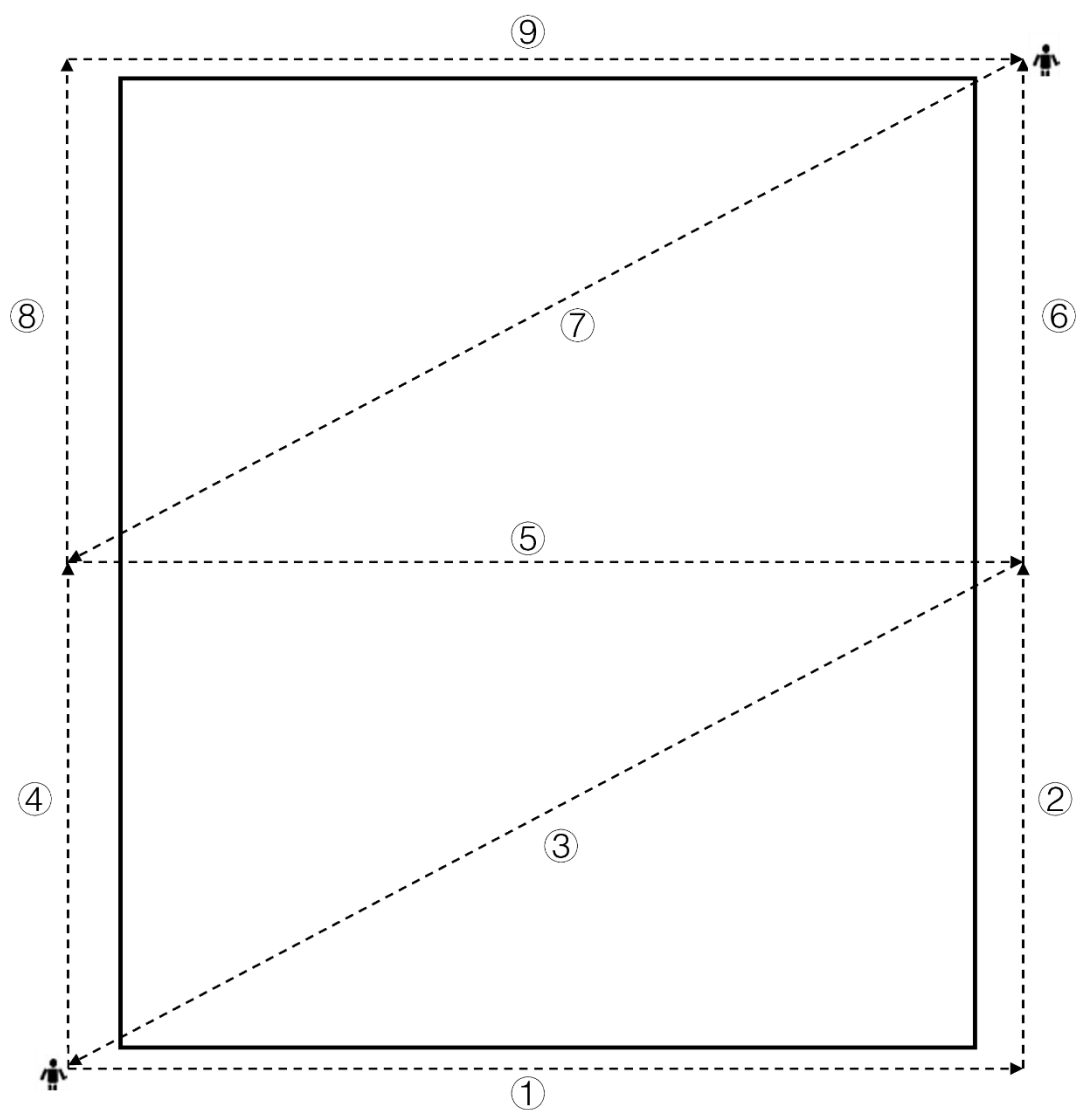


图 C. 2 扫描方案 2

附 录 D

（资料性）

监测方法

D.1 植被类型精细分类方法流程

在每个目标植被类型内，选取若干个纯正且面积足够大的样方（森林区：10m×10m，灌木区：1m×1m，草地区：30cm×30cm），在每个采样点的样方框内记录物种组成、盖度和优势种等信息同时拍摄现场照片以备后续参考，当某物种在样方框内的盖度达到80%以上时，则将该采样点标记为该物种的样本，同时使用RTK-GNSS接收机获取每个样方四个角点及中心点的精确坐标（平面精度优于1cm）。同时对森林样方中胸径大于5cm的树木记录其位点和树种信息。然后利用相关软件对高光谱影像数据进行标签制作，结合地面验证样本点和目视解译信息，以创建准确的分类数据集。以7:3的比例划分为训练集和测试集。然后对光谱数据进行光谱特征提取（从高光谱数据中提取各物种的特征波段和光谱曲线，识别其独特的光谱特征）和纹理特征提取（分析影像的纹理信息，如灰度共生矩阵等，辅助物种识别）。最终，根据数据特征和研究需求，选择适当的分类算法，如支持向量机（SVM）、随机森林（RF）或深度学习模型等，对分类模型进行训练，建立主要优势树种、植被类型与其光谱特征间的关系，实现主要优势树种识别和植被类型进行划分。优势树种识别和植被类型总体分类精度应高于85%。

D.2 点云处理与参数提取方法流程

见具体流程如下：

（1）噪点去除

将悬于空中或地表以下明显区别于监测区域地表目标的离散点云（即噪点），选用高斯滤波算法对噪点进行去除。

（2）数据融合

通过单木分割，获取不同平台（无人机和背负式）激光雷达点云数据的单木位置信息。以单木位置点为基础，通过距离搜索的方式构建德洛内三角网，然后利用构建三角网中三角形具有的几何相似性实现点云粗融合，最后利用邻近点迭代算法对融合效果进行优化，实现无人机和背负式激光雷达点云融合。

（3）地面点滤波

选用相应的滤波算法或滤波软件，实现融合后点云的地面点和非地面点的识别。

（4）点云数据归一化

去除地形起伏对点云数据高程值的影响。对点云高程进行归一化处理，将Z值转换为相对地面的高度。

（5）单木分割

选用相应的单木分割算法或单木分割软件，将归一化的点云分割成单木。

（6）地形因子提取

以地面滤波获取的地面点为基础，本规范利用反距离加权插值（Inverse Distance Weighted, IDW）法对滤波后的地面点进行反距离插值，以获取DEM。然后以DEM数据为基础，利用Arcgis软件实现坡度、坡向、坡位、海拔、地形粗糙度等地形因子的提取。

（7）垂直结构参数提取

以单木分割为基础，树高通过计算分割出的每个单木点云的最高点和最低点的差值计算得到：

$$H = Z_{\max} - Z_{\min}$$

式中H代表树高， $Z_{\max}$ 和 $Z_{\min}$ 分别代表每木点云的最高点和最低点。

冠层垂直分布则通过对点云垂直分层并构建点云立体网格,统计有点的网格数量占总的网格数量的比例 (PAD) 计算得到;冠层形状通过计算 PAD 最大值对应高度与冠层高度 99%分位数的比值得到:

$$S_{canopy} = H_{PADmax} / H_{99\%}$$

式中 S_{canopy} 为冠层形状, H_{PADmax} 为叶面积体密度 (PAD) 最大值所在的垂直高度, $H_{99\%}$ 为冠层高度的 99%分位数 (即排除极端最高点后的冠层顶部高度)。

垂直结构多样性指数则通过计算冠层垂直分布等垂直结构参数的垂直变异程度获得:

$$VDI = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

式中 VDI 为垂直结构多样性指数, P_i 为第 i 层的叶面积体密度 (PAD) 占有所有层总 PAD 的比例, n 为垂直分层数。

(8) 水平结构参数提取

单木位置可以通过单木分割过程中生成的种子点获得的;冠幅可以通过对单木点云进行垂直投影,而后通过对投影数据构建外接凸包的方式进行精细获取;郁闭度将通过将去除点面的点云网格化,统计研究区范围内有点的网格数量占总的网格数量的比例计算得到;水平结构多样性指数将通过计算冠层高度模型 (CHM) 的标准差得到:

$$HDI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (CHM_i - \overline{CHM})^2}{N}}$$

式中 HDI 为水平结构多样性指数, CHM_i 为第 i 个像元的冠层高度值, $\overline{CHM}$ 为所有像元 CHM 的均值, N 为 CHM 像元总数。