

T/CSEE (/Z) 002-2024

辽宁省生态学会团体标准

T/LNES 002-2024

衰退樟子松固沙林无人机多光谱监测技术规程

Technical regulation for Unmanned Aerial Vehicle (UAV-) based
Multispectral Monitoring of decline *Pinus sylvestris* var. *mongolica*
sand-fixation forests

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

辽宁省生态学会

发布

I

目 次

1	范围	2
2	规范性引用文件	2
3	术语和定义	3
4	基本要求	5
4.1	无人机平台	5
4.2	信息采集时间	5
4.3	起降场	5
4.4	空间基准	5
5	监测流程	6
6	无人机航空拍摄	6
6.1	技术设计	6
6.2	飞行作业	7
7	数据获取与处理	8
7.1	无人机多光谱影像数据	8
7.2	计算归一化植被指数	9
8	樟子松健康状况（衰退状况）实地调查	9
8.1	调查时间	9
8.2	调查样点布设	9
8.3	樟子松衰退程度鉴定	9
9	衰退樟子松识别与定位	10
9.1	樟子松固沙林区域确认	10
9.2	衰退樟子松识别	10
9.3	衰退樟子松定位	10
10	精度评价	10
10.1	模型预测质量	10
10.2	抽样验证质量	11
10.3	定位误差	11
10.4	成果综合评价指标与质量等级划分	12
11	报告编制	13
附 录 A	14
附 录 B	15
附 录 C	16

前 言

樟子松天然分布于大兴安岭西麓的呼伦贝尔沙地，具有耐旱、耐寒、耐瘠薄的优良特性，1955年首次引种到科尔沁沙地南缘用于防风固沙造林并取得巨大成功。迄今为止，沙地樟子松已经成为三北防护林工程中最重要常绿针叶造林树种。近年来，樟子松人工固沙林出现大面积衰退枯死现象，为我国三北防护林体系工程的建设造成巨大损失。开展樟子松固沙林衰退高效的监测，对巩固三北防护林体系建设成果，维持樟子松固沙林的防护效益具有重大的理论和实践意义。随着无人机技术的进步和高光谱、多光谱信息采集设备不断优化、以及遥感图像分析算法不断丰富，无人机遥感监测技术正在以其经济、高效的优点得到普遍应用。因此，建立针对衰退樟子松固沙林的及时诊断的一套系统的监测技术构建适应现代林草发展的防护林体系，为打赢科尔沁沙地歼灭战，科学恢复林草资源提供技术支撑。

本文件按照 GB/T1.1-2020《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沈阳应用生态研究所提出。

本文件由辽宁省生态学会归口。

本文件起草单位：中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院清原森林生态系统观测研究站。

本文件主要起草人：朱教君、宋立宁、郑晓、高添、张金鑫、孙一荣、韩晓义。

衰退樟子松固沙林无人机多光谱监测技术规程

1 范围

本标准规定了樟子松（*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv）固沙林无人机高光谱成像系统、监测注意事项以及内业整理等技术。

本标准适用于三北防护林体系建设工程沙区内樟子松固沙林。

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 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 30115 卫星遥感影像植被指数产品规范

GB/T 36301 航天高光谱成像数据预处理产品分级

GB/T 20257 国家基本比例尺地图图式

CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范

CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范

CH/T 3005 低空数字航空摄影规范

GB/T 15776 造林技术规程

LY/T 2786-2017 三北防护林退化林分修复技术规程

LY/T 3179-2020 退化防护林修复技术规程

DB21/T 2599-2016 樟子松人工林经营技术规程

LY/T 2496-2015 防护林经营技术规程

DB21/T 3280-2020 退化樟子松人工林修复技术规程

DB21/T 723-2010 防风固沙林建设技术规程

3 术语和定义

GB/T37804、GB/T36301、GB/T30115、GB/T14905 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 无人机 unmanned aerial vehicle (UAV)

由机体、飞行控制系统、无线电遥控系统、动力装置、起降设备构成的搭载多光谱相机等监测设备的无人驾驶飞机。

3.2 低空数字航空摄影 low-altitude digital aerial photography

相对航高为 2000 米以下，采用无人驾驶飞行器搭载数码相机进行的航空摄影。

3.3 遥感 remote sensing

不接触物体本身，用传感器收集目标物的电磁波信息，经处理、分析后，识别目标物，揭示其几何、物理特征和相互关系及其变化规律的现代科学技术。

3.4 像元 pixel

数字影像的基本单元。

3.5 无人机影像 UAV image

通过低空无人机飞行平台搭建的传感器获取的数字图像。

3.6 空间分辨率 spatial resolution

遥感影像上一个像元能代表地面单元的大小。

3.7 目视判读 visual interpretation

判读者通过直接观察或借助判读仪以研究地物在遥感影像或其他像片上反映的各种影像特征，并通过地物间的相互关系来推理分析，识别所需地物信息的过程。

3.8 多光谱相机 multi spectral camera

采用 CMOS 画面分割技术设计，对同一观测场景，在单片 CMOS 上实现多光谱同步成像的相机。

3.9 多光谱影像 multi spectral image

将物体发射或辐射的电磁波信息分成若干波段进行接收或记录的图像。

3.10 训练样本 training sample

可由实地调查或目视判读方法选取确定的已知地物属性或特征的图像像元集，作为样本用于

樟子松固沙林信息提取模型或函数的建立或训练。

3.11 验证样本 validation sample

可由实地调查或目视判读方法选取确定的已知地物属性或特征的图像像元集，作为样本用于樟子松固沙林信息提取结果。

3.12 樟子松 Mongolian pine

樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.) 为欧洲赤松的地理变种，根系发达，具耐寒、抗旱、速生、适应性强等特性。在中国天然分布于大兴安岭北部和呼伦贝尔草原东南部，是三北防护林体系建设工程（简称：三北工程）区的重要造林树种。。

3.13 防护林 protective forests

为了保持水土、防风固沙、涵养水源、调节气候，起到改善生态环境和人类生产、生活条件作用的有林地、疏林地和灌木林地。按其主要目的和主要功能分为水源涵养林、水土保持林、防风固沙林、农田防护林、牧草防护林、护路护岸林、海岸防护林等类型。

3.14 固沙林 sand-fixation forest

以降低风速、防止风蚀沙化、固定流沙为主要目的的防护林。

3.15 衰退樟子松无人机监测 decline Mongolian pine monitoring with UAV

将无人机作为空中平台，搭载多光谱/可见光成像设备，通过飞行作业，采集、处理和分析遥感信息，监测衰退樟子松并了解樟子松人工林衰退状况。

3.16 衰退樟子松光谱特征 decline Mongolian pine spectrum characteristics

衰退樟子松光谱反射较健康樟子松具有明显区别，在不同波长的谱段活谱段组合可显著区分。

3.17 衰退樟子松自动识别 decline Mongolian pine automatic recognition

依据三北工程衰退樟子松的光谱反射特征值，利用计算机软件对采集图像进行特征分析，将符合特征值的区域定义为疑似衰退樟子松。

3.18 衰退樟子松自动定位 decline Mongolian pine automatic localization

对含有疑似衰退樟子松的图像进行地理空间坐标配准，通过特征识别确定每一株疑似衰退樟子松的空间位置。

3.19 衰退樟子松株数准确率 decline Mongolian pine recognition accuracy rate

目标区验证衰退樟子松株数于同区域识别衰退樟子松株数之比

3.20 衰退樟子松识别误差率 decline Mongolian pine recognition error rate

目标区识别出的衰退樟子松中，逐一验证为非衰退樟子松的株数占识别衰退株数的比例，即逐株验证发现识别错误株数与识别为衰退樟子松总株数之比。

3.21 衰退樟子松定位误差 decline Mongolian pine location error

目标区域衰退樟子松识别位置与验证位置之间的直线距离。

3.22 植被指数 vegetation index

一种利用遥感影像不同谱段的线性或非线性组合计算的能反映绿色植物的生长状况和分布的特征指数。

3.23 植被指数产品

由遥感影像数据产生的植被指数数据及其元数据文件、质量评价数据、像元可信度文件等一系列数据产品的统称。

4 基本要求

4.1 无人机平台

无人机平台应根据相机重量、尺寸及作业区域的地形地势等因素选择。无人机平台基本参数应符合附表 A 的规定

4.2 信息采集时间

根据三北工程区樟子松物候特点，航空摄影采集宜生长季旺季 7 月至 8 月进行。

4.3 起降场

起降场应根据无人机起降方式确定，起降场地应符合下列规定：

- (1) 距离军用、民用机场应在 10 km 以上
- (2) 起降场地应相对平坦、视野良好；
- (3) 远离人口密集区、半径 200 m 内不应由输电线、高大建筑、重要设施等；
- (4) 起降场附近应无正在使用雷达站、微波中继、无线通信等干扰源，在不能确定的情况下，应测试信号频率和强度、对体统设备由干扰时，应改变起降场地；
- (5) 无人机采用滑跑起飞、滑行降落的，滑跑路面条件应满足无人机性能要求。

4.4 空间基准

- (1) 平面基准采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000）；

- (2) 高程基准采用 1985 国家高程基准；
 (3) 投影方式采用高斯-克吕格投影方式。

5 监测流程

基于无人机多光谱影像的衰退樟子松固沙林监测流程主要包括：数据获取与处理、固沙林信息提取、监测结果准确率验证、固沙林衰退诊断、监测专题报告编制等。

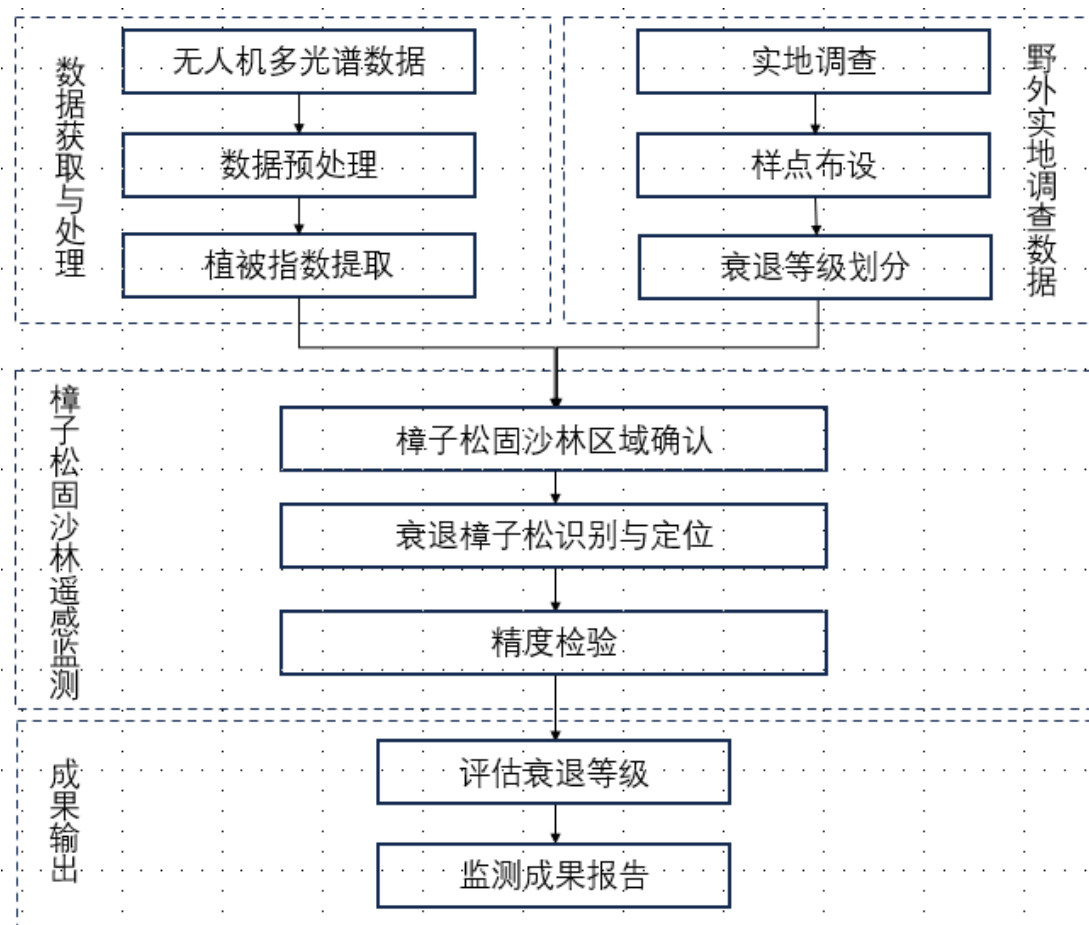


图 1 衰退樟子松固沙林无人机多光谱监测技术流程图

6 无人机航空拍摄

6.1 技术设计

6.1.1 实地信息采集

摄区及其周围应实地踏查，采集地形地貌、地表植被以及周边机场、重要设施等信息；实地踏查时，应携带 GPS 仪，记录起降场地和重要目标坐标位置，结合已有的地图或影像资料，

计算起降场地高程，确定相对起降场的航摄飞行高度。

6.1.2 航线规划

根据实地踏查获得的作业区地貌、采集的控制点信息，结合无人机平台参数，在地面站飞控软件上完成航线规划；衰退樟子松监测航线应以复式航线为主，面积大于 20 km² 的作业区可根据地形划分为多个作业区。

6.1.3 参数确定

作业技术参数应根据作业区地形地势和相机焦距，分辨率等参数调整。无人机作业高度与地面分辨率的关系如下：

$$\alpha = \frac{2\omega}{0.7N} \times \frac{H}{\cos^2 \alpha_m}$$

式中：

H—航高，单位为米（m）

ω —无人机作业设备视场角，单位为度（°）

N—相机分辨率，单位为（L）

α_m —被测点视线与地面垂线之间的夹角，单位为度（°）

6.1.4 作业方式

区域内地形相对高差 50 m 以下可采取单程飞行方式；相对高差 50 m 以上、地形复杂的山区宜采用复程或仿地飞行方式。

6.2 飞行作业

6.2.1 飞行计划

飞行前应做好起飞时间、飞行高度、作业时长、航程及降落时间等飞行计划，每架次飞行计划时间不应超过无人机续航能力的 80%。

6.2.2 任务规划

6.2.2.1 航线规划

- （1）基于作业区进行航线规划，对每次飞行任务设定飞行航线；
- （2）航线规划时应确保影像覆盖监测区范围，航线应按常规方法敷设分段飞行，平行于摄区边界线的首末航线宜敷设在摄区边界线上或边界线外。
- （3）航向覆盖应超出摄区边界线至少两条基线。规划航线在起飞前应上传至无人机。

6.2.2.2 航线设计参数

- (1) 影像空间分辨率应优于 8 cm;
- (2) 相对航高：固定翼宜 300 m ~ 500 m，多旋翼宜 200 m ~ 500 m;
- (3) 航线重叠度应不小于 80%，旁向重叠度应不小于 60%；

6.2.3 起飞

起飞应选择晴天、能见度和光照较好的时间段，应在确定导航系统及环境条件许可的状况下执行。

6.2.4 航摄作业

无人机应按预先设定的飞行航线进入任务区飞行，操作人员应通过地面站密切监视飞行高度、飞行速度、发动机转速、剩余电（油）量、飞行姿态等工作参数，发现异常时应及时返航；地面站应全程记录飞行数据与设备状态。

6.2.5 无人机降落

(1) 固定翼无人机完成作业后应停止拍摄，返回起降场上空，宜选择迎风降落，不能迎风降落时应避免大侧风降落。

(2) 多旋翼无人机完成作业后，应关闭相机，自主垂直降落，近地面后通过遥控微调位置，降落在平整地面。

6.2.6 数据回收

无人机降落后，应及时从相机中取出图像储存卡，检查数据质量无误后，交送图像处理，同时应保存地面站实时图像。

7 数据获取与处理

7.1 无人机多光谱影像数据

无人机多光谱影像的选择要求如下：

- (1) 应选择至少具有绿光波段（520 nm ~ 570 nm）、红光波段（620 nm ~ 760 nm）、近红外波段（760 nm ~ 1100 nm）范围的无人机多光谱影像数据；
- (2) 影像空间分辨率宜优于 0.1 m；
- (3) 影像获取时间应为 10:00 ~ 14:00；
- (4) 淡积云量，无卷云、浓积云，光照稳定；

(5) 垂直能见度应大于 500 m

(6) 影像获取时间内风力应小于 3 级；

(7) 影像应画面清晰，定位准确，无明显条纹、点状和块状噪声，无数据丢失，无严重畸变。

表 1 空间分辨率展示表

比例尺	空间分辨率/m
1: 1000	≤ 0.1
1: 2000	≤ 0.2
1: 5000	≤ 0.5
1: 10000	≤ 1.0

7.2 计算归一化植被指数

确定遥感影像近红外波段和红光波段，在遥感处理软件中计算归一化植被指数（NDVI），NDVI 区间为[-1, 1]，得到 NDVI 空间分布图，见公式（1）。

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_{nir} ——近红外波段地表反射率， R_{red} ——红光波段地表反射率。

8 樟子松健康状况（衰退状况）实地调查

8.1 调查时间

调查时间应与无人机影像拍摄时间基本一致，前后日期不应大于 10 d。

8.2 调查样点布设

(1) 应综合反应三北工程区樟子松健康状况与衰退等级，样点布设应覆盖 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级的衰退序列；

(2) 应远离村庄、建筑物 100 m 以上，选择平整且规则的地块，记录 GPD 坐标信息；

(3) 调查点数应具有代表性及统计学意义，应不少于 30 个调查点；各调查点地块面积按照 20 m×30 m 标准布设。

8.3 樟子松衰退程度鉴定

在所选调查点内进行每木检尺，测量胸径、树高等基本信息，记录单株 GPS 坐标；采用目测估测方法调查樟子松健康等级状况。

衰退等级划分：

1 级：枝叶枯死率 0%

2 级：枝叶枯死率 1%~25%

3 级：枝叶枯死率 26%~50%

4 级：枝叶枯死率 51%~75%

5 级：枝叶枯死率 76%~100%

9 衰退樟子松识别与定位

9.1 樟子松固沙林区域确认

(1) 对多光谱影像数据，应通过植被指数分析、特征提取和分类算法，提取樟子松固沙林区域；

(2) 应将提取区域与近期森林实地调查结果进行比较，对提取区域予以确认。

9.2 衰退樟子松识别

通过分割、分类、AI 模拟等算法，根据三北工程区土壤背景特点，依据衰退樟子松色彩、纹理等因素，从可见光真彩色正射影像/多光谱正射影像中识别和标记衰退樟子松，得到衰退樟子松株数、分布区域等特征。

9.3 衰退樟子松定位

识别出的衰退樟子松赋予地理坐标。地理坐标系应为国家地理坐标系 CGCS2000，坐标值采用小数度，精确度应至少保留小数点后 7 位。地理坐标值为衰退樟子松树冠中心点位置坐标。

10 精度评价

成果评价时，通过模型预测质量和抽样验证质量对识别结果准确性与合理性定量分析判断。

10.1 模型预测质量

衡量模型预测质量应通过正负样本的混淆矩阵确定，包括识别准确率和召回率。

10.1.1 识别准确率 (accuracy)

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN}$$

式中：

TP 为正确识别的衰退樟子松

TN 为正确识别的健康樟子松

FP 为健康樟子松被识别为衰退樟子松

FN 为衰退樟子松被识别为健康樟子松

10.1.2 识别召回率（Recall）

识别召回率为识别结果中被验证为衰退樟子松的株树与识别结果中衰退樟子松总株树之比：

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

式中：

TP 为正确识别的衰退樟子松

FN 为衰退樟子松被识别为健康樟子松

10.2 抽样验证质量

基于地面调查目视判别，对样本区域识别结果进行验证，计算株数准确率和识别误差率等基础评价指标。

10.2.1 株数准确率

$$P_t = 1 - \left| \frac{\sum_{i=1}^k m_i - \sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k m_i} \right|$$

式中：

n_i —第 i 样本衰退樟子松识别株树；

m_i —第 i 样本衰退樟子松验证株树；

k —选中样本数。

10.2.2 识别误差率

$$e_r = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

式中：

n_i —第 i 样本衰退樟子松识别株树；

n_{ij} —第 i 样本第 j 株衰退樟子松验证结果；

k —选中样本数。

10.3 定位误差

(1) 定位误差为识别结果中每株衰退樟子松地理位置与其在抽样结果中验证的地理位置之间的差异程度，用两个点间直线距离表示：

$$\Delta = \sqrt{(x - x_t)^2 + (y - y_t)^2}$$

式中， x ， y 分别为 x 坐标和 y 坐标的识别值， x_t 和 y_t 分别为 x 坐标和 y 坐标的验证值。

(2) 总体定位误差计算公式：

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

式中， Δ_i 为第 i 株识别位置误差， $\bar{\Delta}$ 为全部衰退樟子松识别位置误差（均值）， n 为衰退樟子松株数。

允许误差限 E 不宜超过 10 m，否者结果为不合格。

10.4 成果综合评价指标与质量等级划分

10.4.1 识别结果评价

识别结果质量应采用识别准确率（accuracy）和召回率（recall）评价，并符合下列规定：

- (1) accuracy 不应小于 0.8；
- (2) recall 不应小于 0.8；
- (3) 以上二者作为基本要求应同时成立。

10.4.2 成果综合评价

成果质量综合评价应按株树准确率、识别误差率和定位误差加权值确定。

$$\alpha = c_1 w_1 + (1 - c_2) w_2 + (1 - c_3) w_3$$

$$c_3 = \bar{\Delta} / E, 0 \leq \alpha \leq 1$$

式中：

α —综合得分值；

c_1 —株数准确率；

c_2 —识别误差率；

c_3 —平均定位误差率

三者的权重分别为 w_1 ， w_2 和 w_3

10.4.3 质量等级划分

等级	综合得分（百分制）
----	-----------

	$A=100*a)$
优秀	$A \geq 90$
良好	$80 \leq A < 90$
合格	$60 \leq A < 80$
不合格	$A < 60$

11 报告编制

衰退樟子松固沙林无人机多光谱监测成果报告应包括以下内容：项目概况、研究区介绍、已有资料分析、航空与地面数据采集及质量控制、数据预处理和数据解译方法、专题信息提取、综合研究与成果、结论和建议等。

表 2 无人机影像参数

影像类型	参数名称	参数值	参数名称	参数值
可见光影像(真彩色)	空间分辨率	优于 0.08m	影像色彩模式	24bit
	输出格式	TIF/TFW		
多光谱影像 (RGB)	空间分辨率	优于 0.3 m	影像色彩模式	24bit
	输出格式	TIF/TFW		

附录 A

(资料性附录)

无人机系统与影像基本要求

A.1 无人机系统平台主要参数

平台类型	参数名称	参数值	参数名称	参数值
固定翼无人机	控制距离	≥ 15 km	最高起飞海拔	≥ 4500 m
	控制方式	手控+程控	续航时间	≥ 1 h
	巡航速度	≥ 60 km/h	起降方式	垂直起降, 滑跑或 弹射起飞, 伞降回收
	实用升限	≥ 3000 m	动力装置	电动或油动
	作业高度	≥ 500 m	贮存温度	-40°C~65°C
	有效载荷	≥ 2 kg	工作温度	-20°C~55°C
	最大起飞重量	≥ 6 kg		
	正常起落风速	≤ 9 m/s (风力 5 级)		
多旋翼无人机	控制距离	≥ 5 km	最高起飞海拔	≥ 5000 m
	控制方式	手控+程控	续航时间	≥ 25 min
	巡航速度	≥ 30 km/h	起降方式	垂直起降
	实用升限	≥ 3000 m	动力装置	电动
	作业高度	≥ 450 m	工作温度	-2°C~40°C
	有效载荷	≥ 200 g		
	最大起飞重量	≥ 1 kg		
	最大可承受风速	≤ 9 m/s (风力 5 级)		

附录 B

(资料性附录)

无人机飞行记录表

飞机型号 编号 日期： 年 月 日

序号	架次 编号	摄区 名称	飞行 地点	起飞 时间	绝对 航高	地面 分辨 率	垂直 能见 度	降落 时间	飞行 时间	累计 时间	操 控 员 (签 字)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
备注：											

附 录 C

(资料性附录)

C1. 衰退樟子松识别定位记录表

乡镇:

第 页

共 页

序号	地名	GPS 坐标		

C2. 衰退樟子松普查成果质量验收表

分类等级	1 级/株数	2 级/株数	3 级/株数	4 级/株数	5 级/株数	合计/株数	分类精度 /%
1 级/株数							
2 级/株数							
3 级/株数							
4 级/株数							
5 级/株数							
预测合计/ 株数							

