

ICS  
CCS

# 团 体 标 准

T/ZSM XXXX—XXXX

## 竹林长势无人机监测技术规程

(Code of practice for uav monitoring technology of bamboo forest growth)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省计量与标准化学会 发布

## 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。

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这些专利的责任。

本文件由浙江省计量与标准化学会提出并归口。

本文件主要起草单位：浙江创基电子有限公司、永康市林业技术和种苗推广站、永康市质量技术监督研究院、永康市农业技术推广中心、莲都区植保站

本文件主要起草人：金攀、陈品、方建飞、应朝纲、孙海涛、孙彬、陈健锋、季俊、王寅

# 竹林长势无人机监测技术规程

## 1 范围

本文件确立了竹林长势无人机监测技术规程的作业准备要求、作业监测要求、遥感数据获取与处理、监测方法、作业后维护与保养、编写长势遥感监测报告。

本文件适用于无人机遥感监测技术监测竹林长势。

## 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--2009 摄影测量与遥感术语
- GB/T 32453--2015 卫星对地观测数据产品分类分级规则
- GB/T 30115--2013 卫星遥感影像植被指数产品规范
- GB/T 39612--2020 低空数字航摄与数据处理规范
- CH/Z 3001--2010 无人机航摄安全作业基本要求
- CH/T 3005--2021 低空数字航空摄影规范
- NY/T 4151-2022 农业遥感监测无人机影像预处理技术规范
- MH/T 0017--1998 农业航空技术术语

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 航向重叠 longitudinal overlap

同一航线内相邻像片上具有同一地区影像的部分，通常以百分比表示。

[来源：GB/T 14950--2009, 4. 53]

### 3.2 旁向重叠 lateral overlap

相邻航线的相邻像片上具有同一地区影像的部分，通常以百分比表示。

[来源：GB/T 14950--2009, 4. 54]

### 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。

[来源：GB/T 14950--2009, 3. 1]

### 3.4 影像预处理 image preprocessing

对主要运算前的原始数据所进行的某些加工。

[来源：GB/T 14950--2009, 5.169]

### 3.5 几何校正 *geometric correction*

为消除影像的几何畸变而进行投影变换、目标空间平面位置校正以及不同传感器影像间的几何匹配校正等工作。

[来源：GB/T 32453--2015, 3.19]

### 3.6 辐射定标 *radiometric calibration*

根据遥感器定标方程和定标系数，将其记录的量化数字灰度值转换成对应市场表观幅亮度的过程。

[来源：GB/T 30115--2013, 3.7]

### 3.7 植物冠层 *plant canopy*

植物地上部分在空间的自然形态。

[来源：MH/T 0017--1998, 3.9]

## 4 作业准备要求

### 4.1 监测区域要求

监测区域应满足以下基础条件：

- a) 监测区域应地势相对平坦，无明显陡坡、断崖或深沟，避免影响无人机起降或飞行安全；
- b) 监测区域内植被分布应具有一定代表性，避免单一树种或极端密度情况影响监测结果普适性；
- c) 监测场景应远离强电磁干扰源（如高压输电塔、雷达站、广播塔等）；
- d) 监测区域应具备基本交通与应急条件，便于设备运输与应急处理；
- e) 如监测区域位于自然保护区、森林公园等特殊区域，应遵守相关管理规定，并取得相应监测许可。

### 4.2 设备要求

#### 4.2.1 无人机性能要求

无人机应满足以下要求：

- a) 有效载荷不小于2kg，单次续航时间不低于16min；
- b) 能够在3级风力气象条件下稳定飞行，且具有自主躲避障碍功能；
- c) 建议选用集成北斗及RTK定位技术的无人机，水平与垂直悬停精度均应不超过0.2m；
- d) 具备飞行状态、飞行速度和飞行姿态的显示功能，可实现开机自检，并通过指示灯或遥控器对操作者发出状态提示和报警信息。

#### 4.2.2 传感器要求

##### 4.2.2.1 激光雷达传感器

激光雷达传感器主要性能指标要求如下：

- a) 扫描线数不少于16；
- b) 测距精度不小于3cm；

- c) 扫描频率不低于5Hz;
- d) 监测时采用电子全局快门, 确保航拍成像效果。

#### 4.2.2.2 多光谱成像传感器

多光谱成像传感器主要性能指标要求如下:

- a) 应使用对焦无限远的定焦镜头;
- b) 光谱波段数应大于等于3个, 且至少有1个非可见光的波段;
- c) 成像帧率应不低于1张每秒;
- d) 图像地面分辨率应不低于10cm/pixel (于作业高度)。

#### 4.2.2.3 高光谱成像传感器

高光谱成像传感器主要性能指标要求如下:

- a) 应使用对焦无限远的定焦镜头;
- b) 波段范围一般在可见光、近红外、短波红外的波段范围;
- c) 图像地面分辨率应不低于10cm/pixel (于作业高度)。

#### 4.2.3 辐射定标板

辐射定标板主要功能和性能指标要求如下:

- a) 将多光谱、高光谱机载传感器获取的原始像元亮度值定标为地物的光谱反射率;
- b) 表面遵循朗伯定律;
- c) 至少应使用1块辐射定标板, 确保与地物目标相互不造成遮挡或阴影;
- d) 反射性能稳定, 在波长范围内随波长变化不超过5%;
- e) 辐射定标板应水平放置, 与水平夹角不超过2°。

#### 4.3 人员要求

人员应满足以下要求:

- a) 操控人员应经过遥感技术监测专项培训, 获得相应资质证书, 掌握无人机操控技能、航空遥感原理及操作方法, 熟悉竹林生长特性和作业流程;
- b) 作业期间应配备至少一名观察员, 负责监视飞行状态与周围环境, 及时提醒操作人员相关注意事项;
- c) 作业过程中, 操控人员不得双手脱离遥控器或操控设备, 辅助作业人员要及时通过操作台了解作业状况; 所有人员应穿戴防护用具, 并与无人机保持15m以上的安全距离, 防止设备发生故障时受到伤害;
- d) 如遇突发天气(如风力超过4级、降雨、雷电等), 应立即终止作业并返航或降落。

#### 4.4 环境要求

作业环境应满足以下要求:

- a) 风力不超过3级, 能见度需大于500米, 应避免在降雨、降雪、雾霾、雷电等恶劣天气条件下作业;
- b) 最佳工作温度在18℃~26℃, 最适宜湿度为30%~90%RH。

#### 4.5 安全作业要求

无人机航拍安全作业要求按照CH/Z 3001—2010执行, 主要有:

a) 飞行前，详细了解飞行区域地形、地貌，确保监测区域的坡度不高于 $40^{\circ}$ ，做好防范，注意限飞区域；

b) 做好应急处理。因天气突变，不适宜作业时，及时操控飞机返航，降落飞机；飞机在自动模式作业时，若失控，在飞机离开干扰区后，及时采用人工模式操控飞机；若飞机掉落，根据飞机自带的定位系统及时找回飞机。

## 5 作业监测要求

### 5.1 设备安装调试

按照产品使用说明书将拍照相机、传感器等正确安装到无人机上，安装支架应保持水平，安装完成后选择开阔无障碍物的区域进行无人机试飞5min，在试飞过程中手动进行一次拍摄测试，确保无人机能够正常起飞、悬停、降落，定位、定高功能精准可靠，传感器与地面数据处理器能够正常通信。

### 5.2 监测要求

#### 5.2.1 监测指标

包括高度、郁闭度、植被覆盖度、胸径、种类等指标。

#### 5.2.2 监测周期及时间

监测周期覆盖竹笋期、幼竹期、成竹期。于竹笋期时，每周进行1次采集；于幼竹期时，每2周进行1次采集；于成竹期时，每月进行1次采集。

监测时段选择晴朗无云或少云、微风（风力 $\leq 3$ 级）的天气，每日10:00~14:00进行，避免逆光、强反光及降水天气影像数据精度。

#### 5.2.3 监测面积、监测点、控制点选择

单个监测地块面积应不大于 $200\text{m}^2$ ，每个地块选择呈“之”字形分布的5~10个点进行监测，控制点的选择应符合NY/T 4151--2022的规定。

#### 5.2.4 监测重叠度

航向重叠度及旁向重叠度按 CH/T 3005--2021 的规定执行。

## 6 遥感数据获取与处理

### 6.1 图像处理软件

应使用如ENVI、ERDAS、IMAGINE、PIE、ARCGIS、LiDAR360、TerraSolid等国内外具有提取图像各波段颜色值或波段运算的软件来进行图像处理。

### 6.2 影像预处理

影像预处理根据GB/T 39612-2020提取空间分布数据，具体包括：

- a) 数据导出：将影像数据通过监视设备从相机中传输出来；
- b) 镜头校准：用于校正飞行过程中产生的影像形变；
- c) 反射率校准：将数字灰度值转换成地表反射率；

- d) 大气校正：以减少大气、水汽等因素对影像的影响；
- e) 几何校正：避免图像出现几何变形，确保误差控制在1个单元以内；
- f) 辐射校正：尽量消除由传感器自身条件、薄雾等大气条件、太阳位置和角度以及不可避免的噪声导致的传感器测量值与目标光谱反射率或光谱辐亮度等物理量之间的差异；
- g) 影像拼接：将每一景校正后的影像拼接整合，形成覆盖整个研究区域的遥感影像。

## 7 监测方法

将无人机放置平坦、开阔，面积不小于3m×3m坚实地面，并清除掉碎石、杂草等可能影响起飞稳定性的杂物，而后垂直起飞至距竹林冠层15~20m处，通过云台稳定监测相机，确保监测相机镜头方向垂直向下，与竹林冠层呈90°后，沿预先规划好的航线进行自动飞行拍摄竹林冠层顶部的影像。

### 7.1 郁闭度

将无人机第一次航线飞行的拍摄数据进行处理后计算其郁闭度，其计算公式如下：

$$C = \frac{A_c}{A_t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C----郁闭度；

$A_c$ ----竹林树冠垂直投影面积；

$A_t$ ----竹林地总面积。

### 7.2 植被覆盖度

将无人机第一次航线飞行的拍摄数据进行处理后计算其植被覆盖度，其计算公式按照公式（2）和公式（3）计算：

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_R}{P_{NIR} + P_R} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

NDVI----归一化植被指数；

$P_{NIR}$ ----近红外波段光谱反射率值；

$P_R$ ----红光波段光谱反射率值。

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

FVC----植被覆盖度；

NDVI----归一化植被指数；

$NDVI_{soil}$ ----完全是裸土或无植被覆盖区域的NDVI值；

$NDVI_{veg}$ ----完全是植被所覆盖的像元的NDVI值，即纯植被像元的NDVI值。

### 7.3 高度

完成冠层拍摄后，下降至距地面2~5m处进行第二...0次航线飞行，拍摄竹竿0000基部与地面交界处，将两次拍摄数据进行处理后计算其高度，其计算公式如下：

$$CHM(x, y) = DSM(x, y) - DTM(x, y) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

CHM——林木冠层高度；

DSM——对所有首次回波点或植被点进行插值，生成数字表面模型，其值代表树冠顶部高程；

DTM——对分类后的地面点进行插值，生成栅格化的数字地形模型，其值代表地面高程。

#### 7.4 胸径

按7.1相同起飞要求进行起飞，飞至以监测竹株为参照物，离地面1.3m且距监测竹株表面0.3~0.5m处拍摄，拍摄时应确保光照条件适宜，镜头与竹竿保持平行，经数据处理后计算其胸径，其计算公式如下：

$$DBH=2 \times r \dots\dots\dots (5)$$

式中：

DBH——竹子胸径（一般情况下不低于2cm）；

r——通过对1.3m高处树干横截面的点云或模型数据，利用最小二乘圆拟合得到的树干半径。

#### 7.5 种类

选取3~5根代表性竹子，在确保安全的前提下，将无人机悬停在侧方1~3m处，手动变焦或谨慎靠近，对竹叶、竹枝等进行高清拍摄。后续根据拍摄回来的照片与特征库进行比对，确定其种类。

### 8 作业后维护与保养

作业完成后应填写航拍作业记录表，如附录A所示，请按以下要求整理附件：

- a) 将遥控器、充电器等物品整理归位；
- b) 将已使用的电池与未使用的电池分开放置；
- c) 在存放处应清晰注明电池的使用状态。

### 9 编写长势遥感监测报告

#### 9.1 竹林长势监测报告要求

9.1.1 编写的竹林长势监测报告包括以下要素：

- a) 标题；
- b) 正文；
- c) 竹林长势监测统计信息表；
- d) 报告编写人和编写时间。

9.1.2 竹林长势遥感监测报告的模板应符合附录c的规定。

附录A  
(规范性附录)  
航拍作业记录表

作业序号	作业时间	作业情况

附录B  
(资料性)  
遥感数据预处理方法说明

### B.1 大气校正

计算公式如下：

$$\begin{aligned} p_{surf}(x, y) &= a \cdot p_{app}(x, y) + b \\ L_{surf}(x, y) &= k \cdot L_{app}(x, y) + c \end{aligned}$$

式中：

- $p_{surf}(x, y)$  ---- 地表真实反射率，无量纲；
- $p_{app}(x, y)$  ---- 影像表现反射率（畸变值），无量纲；
- $L_{surf}(x, y)$  ---- 地表真实辐射亮度；
- $L_{app}(x, y)$  ---- 传感器接收的表现辐射亮度（畸变值）；
- a、k ---- 大气校正增益系数，无量纲；
- b、c ---- 大气校正偏移系数，无量纲；
- x, y ---- 校正后输出图像的像元坐标，单位为像素。

### B.2 几何校正

一般使用多项式模型校正，计算公式如下所示：

$$\begin{aligned} u &= \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} a_{jk} x^j y^k \\ v &= \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} b_{jk} x^j y^k \end{aligned}$$

式中：

- u、v ---- 畸变图像上的像元坐标，通常以像素为单位；
- x、y ---- 输出图像上的像元坐标，通常以像素为单位；
- m ---- 多项式次数，无量纲；
- $a_{jk}$ 、 $b_{jk}$  ---- 待定系数，无量纲。

### B.3 辐射校正

计算公式如下所示：

$$[R_{(i,k)}] = a_k \times [DN_{(i,k)}] + b_k$$

式中：

- $R_{(i,k)}$  ---- 定标板 i 在波段 k 中的反射率值，无量纲；
- $a_k$ 、 $b_k$  ---- 拟合的斜率和截距，无量纲；
- $DN_{(i,k)}$  ---- 定标板 i 在波段 k 中的 DN 值，无量纲。

附录C  
(规范性附录)  
竹林长势遥感监测报告模板

## C.1 竹林长势遥感监测报告

## 竹林长势遥感监测报告

(报告正文)：

表 X 竹林长势监测统计信息表

区域名	郁闭度	植被覆盖度	高度	胸径	种类
区域 1					
区域 2					

XXX 编写 XXXX 年 XXX 月 XXX 日