

# ZJSEE

浙江省电力学会标准

T/ZJSEE XXXX-YYYY

## 光伏电站无人机智能巡检方法

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省电力学会 发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和定义.....	3
4 光伏电站无人机智能巡检系统构成.....	4
4.1 无人机系统 .....	4
4.2 综合保障设备 .....	4
4.3 巡检管理系统 .....	4
5 巡检策略.....	5
5.1 精细巡检 .....	5
5.2 快速巡检 .....	5
5.3 故障巡检 .....	5
6 作业要求.....	5
6.1 人员要求 .....	6
6.2 安全要求 .....	6
6.3 准备要求 .....	6
7 作业要求.....	6
7.1 路径规划 .....	6
7.2 信息采集 .....	7
8 数据分析与总结.....	8
8.1 缺陷识别 .....	8
8.2 缺陷定位 .....	8
8.3 缺陷管理 .....	8
编制说明.....	错误!未定义书签。

## 前 言

为规范光伏电站现场无人机智能巡检的检测要求、测试方法、缺陷分析与管理要求，制定本标准。  
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》给出的规则起草。

本标准由浙江省电力学会标准工作委员会提出并解释。

本标准起草单位：

本标准主要起草人

本标准为首次发布。

# 光伏电站无人机智能巡检方法

## 1 范围

本标准规定了光伏电站无人机智能巡检的流程与要求。  
本标准适用于不同规模、不同类型光伏电站智能巡检方法的确定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分  
NB/T 32034 光伏电站现场组件检测规程  
DL/T 664 带电设备红外诊断应用规范  
CH/Z 3001 无人机航摄安全作业基本要求  
CH/Z 3002 无人机航摄系统技术要求  
AC-91-FS 轻小无人机运行规定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 无人机

由动力驱动、机上无人驾驶的航空飞行器的简称，以携带任务载荷，能够完成自主飞行作为特征。通常由机体、动力系统、航电设备、任务载荷设备等组成。

### 3.2

#### 无人机智能巡检系统

利用无人机搭载可见光、红外等检测设备，完成光伏电站巡检任务的作业系统。一般包括无人机、任务设备、地面控制模块、综合保障模块及图像识别、智能诊断、报告生成、数据存储发布、故障导航管理终端等系统

### 3.3

#### 无人机智能巡检

基于无人机智能巡检系统开展的无人机智能化巡检。光伏电站无人机智能巡检流程一般包括路径规划、信息采集、数据分析与总结等步骤。

### 3.4

#### 无人机机库

指存储无人机的硬件设施，包括环境硬件设施、机库信息管理系统给、存储设备，可实现无人机自动充换电等功能。

### 3.5

#### 可见光成像设备

用于光伏电站巡检的可见光相机或可见光摄像机。

### 3.6

#### 热红外成像设备

用于光伏电站巡检的热红外相机或热红外摄像机，主要用于组件热斑图像的拍摄。

### 3.7

#### 近红外成像设备

用于光伏电站巡检的近红外相机或近红外摄像机，主要用于组件EL图像的拍摄。

### 3.8

#### 旁向覆盖率

垂直无人机飞行方向上相邻两张拍摄照片在垂直航向上的重叠比率。

### 3.9

#### 航向覆盖率

无人机飞行方向上相邻两张拍摄照片在航向上的重叠比率。

## 4 光伏电站无人机智能巡检系统构成

### 4.1 无人机系统

4.1.1 无人机系统包括无人机、任务设备以及控制站。

4.1.2 无人机应包括飞行控制、动力、图像及数据传输、障碍物感知等子系统

4.1.3 任务设备主要采用可见光成像设备、热红外成像设备、激光雷达、近红外成像设备等数据采集设备

4.1.4 控制站应包括控制设备、显示设备、飞行控制软件等

### 4.2 综合保障设备

4.2.1 综合保障设备包括供电设备、备用电池、充电设备、地面气象仪等。

4.2.2 供电设备、备用电池、充电设备可集成于无人机机库。

### 4.3 巡检管理系统

4.3.1 巡检管理系统的形式包括PC端、云端、app终端等。

4.3.2 巡检管理系统一般需具备巡检规划、任务执行、数据存储、数据分析、设备管理等功能；

## 5 巡检策略

### 5.1 精细巡检

5.1.1 精细巡检适用于光伏电站组件的精确检查，即令无人机对巡检范围内的组串开展逐一悬停拍照，收集组件的高清图像。

5.1.2 精细巡检的检查项目包括组件外观、红外、EL 图像检测，各巡检项目的巡检设备及巡检内容如表 1 所示。

表 1 精细巡检各巡检项目可识别缺陷类型

巡检项目	巡检设备	巡检内容
外观检查	可见光成像设备	精确识别组件灰尘、遮挡、碎裂、污损等缺陷
红外检查	热红外成像设备	精确识别组件二极管故障、组件电池片缺陷、遮挡、其他异常等缺陷
EL 检测	近红外成像设备、直流电源	精确识别组件隐裂缺陷

### 5.2 快速巡检

5.2.1 快速巡检适用于光伏电站场区的快速覆盖式巡检，即令无人机在巡检范围内开展“Z”字往复飞行，采用等间距、等时长拍照或摄像模式。

5.2.2 快速巡检的检查项目包括组件外观、红外检测、场区布置及其他异常情况检测等，各巡检项目的巡检设备及巡检内容如表 2 所示。

表 2 快速巡检各巡检项目可识别缺陷类型

巡检项目	巡检设备	巡检内容
外观检查	可见光检测设备	识别灰尘、遮挡、碎裂、污损等缺陷
红外检查	热红外检测设备	识别组件二极管故障、组件电池片缺陷、遮挡、其他异常等缺陷
场区布置及其他异常情况检测	可见光检测设备	场区主要设备布置情况、人员闯入等异常

### 5.3 故障巡检

5.3.1 故障巡检即根据精细巡检或快速巡检所得的故障信息，确定重点巡检目标，包括巡检区域、巡检项目等。

5.3.2 根据缺陷的类型、位置进一步规划故障巡检的巡检路径。

5.3.3 令无人机针对选定的巡检目标开展有针对性地跟踪式巡检作业即精细检查，确认故障点，跟踪设备受损和其他异常情况。

## 6 作业要求

## 6.1 人员要求

- 6.1.1 每次巡检作业需配置 1-2 名无人机操作员。
- 6.1.2 无人机操作员应具有民航系统认可的无人机执照，并且执照在有效期内。
- 6.1.3 无人机操作员通过遥控器或控制站操控无人机飞行，负责巡检作业过程中无人机的飞行安全。
- 6.1.4 无人机操作员操控无人机的任务设备完成巡检数据采集、缺陷检查等巡检工作，并及时确认巡检数据的质量。
- 6.1.5 光伏电站无人机巡检作业人员应了解和掌握工作范围内的危险因素和防范措施。

## 6.2 安全要求

- 6.2.1 执行作业任务前，应按照有关流程办理空域申请手续，并向当地派出所备案。
- 6.2.2 无人机作业宜在良好天气下进行，能见度不小于 3km。现场风速等气象条件符合该机型作业范围。雾、雪、大雨、大风、冰雹等恶劣天气不利于巡检作业的情况时，不应开展无人机巡检。
- 6.2.3 作业过程中作业人员需时刻注意观察现场天气变化（包括风向、风速、雷雨天气等），一旦发现异常立即返航或应急降落。
- 6.2.4 作业现场不应使用可能对无人机巡检系统通信链路造成干扰的电子设备。
- 6.2.5 无人机起、降点与输电线路和其他设施、设备保持足够的安全距离，具备起降条件。
- 6.2.6 无人机起飞和降落时，作业人员应与其始终保持足够的安全距离，不应站在其起飞和降落的方向前以及无人机巡检航线的正下方。
- 6.2.7 飞行路径应避开升压站等其他高风险区域。

## 6.3 准备要求

- 6.3.1 作业人员在作业前应充分收集巡检作业相关信息，必要时增加现场查勘环节。巡检作业相关信息包括：巡检地海拔；地形地貌条件；植被分布；电磁环境情况；空域情况；巡检设备信息；巡检对象坐标；无人机起飞降落点；气象信息等。
- 6.3.2 作业前需编制作业方案，确定巡检对象、巡检内容、作业人员、巡检时间、巡检设备、操作方法及流程、安全措施、紧急情况处理措施等。

## 7 作业要求

### 7.1 路径规划

- 7.1.1 覆盖式路径规划要求：
  - a) 在快速巡检模式下，采用覆盖式路径规划；
  - b) 在故障巡检模式下，根据实际需求可采用覆盖式路径规划；

- c) 开展外观、热斑检测项目时，无人机飞行路径旁向覆盖率不低于 50%，航向覆盖率不低于 50%；在开展场区布置及其他异常情况检测时，无人机飞行路径旁向覆盖率不低于 70%，航向覆盖率不低于 80%；

#### 7.1.2 路径点优化规划要求：

- a) 在精细巡检，采用路径点优化规划；
- b) 在故障巡检模式下，根据实际需求可采用路径点优化规划；
- c) 根据无人机机库的数量、选址及拟巡检路径点地理坐标开展路径点优化规划。路径点优化规划以巡检时间最短或巡检路径最短为目标开展。

#### 7.1.3 路径规划需使得巡检目标覆盖率达到百分之百。

### 7.2 信息采集

7.2.1 无人机搭载不同波段的镜头进行光伏电站图像或视频信息的采集。不同波段的镜头包括热红外镜头、可见光镜头、EL 检测镜头等。

#### 7.2.2 可见光成像设备信息采集要求：

- a) 可见光成像设备的有效像素应不低于 1200 万，拍摄的图像清晰没有雪花点、闪烁、拖尾等；
- b) 当开展场区布置及其他异常检测时，所采集到图像的最小分辨力应不大于 2cm，拍摄的图像能够清楚识别光伏组件；
- c) 当开展外观检测时，所采集到图像的最小分辨力应不大于 2mm，拍摄的图像应能清晰识别组件电池片及主栅线。

#### 7.2.3 热红外成像设备信息采集要求：

- a) 热红外成像设备的有效像素不低于  $640 \times 480$ ，在  $30^{\circ}\text{C}$  时，热灵敏度不低于 0.1K；绝对测量误差不高于  $\pm 2\text{K}$ ；
- b) 热红外成像设备支持全屏测温；
- c) 所采集到热红外图像的最小分辨力应不大于 4cm，拍摄的图像能够清楚识别光伏组件；
- d) 采用热红外成像设备开展巡检作业时，巡检地辐照度应不低于  $600\text{W}/\text{m}^2$ 。

#### 7.2.4 近红外成像设备信息采集要求：

- a) 近红外成像设备的空间分辨率不低于  $0.251\text{p}/\text{mm}$ ；
- b) 该设备的波段响应范围需与拍摄组件相匹配；当组件为晶硅组件时，响应范围需为  $950\text{nm} \sim 1100\text{nm}$ ；
- c) 利用近红外成像设备开展 EL 图像检测时，需在弱光或黑暗环境中进行，并需在拟拍摄 EL 图像的组串或组件两端利用直流电源施加正向电流，电流大小一般可设定为  $0.2 \sim 1.2I_{\text{sc}}$ ， $I_{\text{sc}}$  为测量组串或电流的短路电流。

#### 7.2.5 信息采集技术要求：

- a) 选择合适的无人机飞行高度以达到不同检测项目所要求的分辨力；
- b) 巡检系统返航降落后，应及时确认巡检数据的完整性和有效性，巡检数据无效或有缺失应立即补拍；巡检数据包括无人机飞行路径、任务设备姿态、任务设备采集数据等无人机飞行记录信息。

## 8 数据分析与总结

### 8.1 缺陷识别

8.1.1 结合无人机采集到的可见光图像、热红外图像、EL 检测图像，应用图像识别技术，开展电站缺陷识别。

8.1.2 识别的缺陷类型、识别依据及缺陷识别参考准确率见表 3。识别准确率由人工复验抽样检测确定。

表 3 可识别缺陷故障类型

故障类型	识别依据	识别准确率%
二极管故障	热红外图像	>=98%
整串故障	热红外图像	>=100%
组件碎裂、草木遮挡、污损、其他阴影遮挡	热红外图像与可见光图像	>=90%
电池片内部故障	EL检测图像与热红外图像	>=90%
组件安装不规范	可见光图像	>=90%
其他异常（人员闯入等）	可见光图像	>=90%

### 8.2 缺陷定位

8.2.1 结合无人机拍摄图像的经纬度信息，开展各缺陷中心点的定位，定位的水平误差一般不大于 1m，高程误差不大于 5m。

8.2.2 结合光伏电站图纸或模型，将各缺陷定位至组串或组件，一般组串级定位的精确度不低于 98%，组件级定位的精确度不低于 90%。

### 8.3 缺陷管理

8.3.1 系统记录基于无人机巡检数据的缺陷识别及定位分析结果，内容包括：巡检数据的分析结果应包括下列内容：

- a) 巡检对象缺陷位置、形状、大小；
- b) 缺陷的分类和分级；
- c) 巡检对象的运行状态和缺陷劣化趋势，以及缺陷处理建议。

8.3.2 按照缺陷的严重程度对缺陷进行判定与分类，等级分类标准如下：

- a) 轻微缺陷：无人机图像存在缺陷，但缺陷暂不影响或基本不影响组串的发电，如电池片内部轻微故障等
- b) 一般缺陷：影响组串发电性能，但没有严重安全隐患的缺陷，如遮挡、污损等；
- c) 重要缺陷：影响电站安全生产或造成组串发电性能严重下降的缺陷，如二极管故障、组件碎裂、整串故障等。

8.3.3 对于不同等级缺陷的处置措施如下：

- a) 轻微缺陷：开展故障定期监测，周期一般为一季度一次，若缺陷有明显劣化趋势，则及时安排消缺整改；
- b) 一般缺陷：根据运维计划，适时消缺；并开展故障定期监测，周期一般为一个月一次，若缺陷由明显劣化趋势，则及时安排消缺整改；

- c) 重要缺陷：及时令运维人员消缺整改，并在缺陷修复后安排无人机复检。

