

ICS:

CCS:

团体标准

T/AOPA XXXX—2023

架空配电线路多旋翼无人机通道 巡检作业规范

Operational guidelines for multi-rotor UAV channel patrol
inspection on overhead distribution line

(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中国航空器拥有者及驾驶员协会 发布

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 作业系统组成.....	2
5 巡检方式和模式.....	3
6 一般要求.....	3
7 巡检作业.....	4
8 巡检数据管理.....	5
9 异常情况处置.....	6

前 言

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》的规定起草。

本标准由中国航空器所有者及驾驶员协会（Aircraft Owners and Pilots Association of China, 以下简称中国AOPA）提出、制定、发布、解释并组织实施。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

引 言

为推动架空配电线路无人机规模化应用,针对采用多旋翼无人机开展架空配电线路通道巡检作业的装备配置、巡检模式、巡检作业及巡检数据管理、异常情况处置等通用要求提出指导规范,制定本文件。

架空配电线路多旋翼无人机通道巡检作业规范

1 范围

本文件规范了架空配电线路多旋翼无人机通道巡检作业的作业系统组成、巡检方式和模式、一般要求、巡检作业、巡检数据管理、异常情况处置等要求。

本文件适用于采用电动多旋翼无人机开展的架空配电线路通道巡检作业。

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 26859 电力安全工作规程 电力线路部分

DL/T 1482 架空输电线路无人机巡检作业技术导则

DL/T 1346 架空输电线路直升机激光扫描作业技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多旋翼无人机 multi-rotor UAV

具有多个旋翼轴，且非旋翼带尾桨布局的无人驾驶航空器。通常有四旋翼、六旋翼和八旋翼等结构，按照性能指标分为微型多旋翼无人机、轻型多旋翼无人机、小型多旋翼无人机。

3.2

微型多旋翼无人机 micro multi-rotor UAV

空机重量小于 0.25 kg，最大飞行真高不超过 50 m，最大平飞速度不超过 40 km/h，无线电发射设备符合微功率短距离技术要求，全程可随时人工介入操控的多旋翼无人机。

3.3

轻型多旋翼无人机 light multi-rotor UAV

空机重量不超过 4 kg 且最大起飞重量不超过 7 kg，最大平飞速度不超过 100 km/h，具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力，全程可随时人工介入操控的多旋翼无人机。

3.4

小型多旋翼无人机 small multi-rotor UAV

空机重量不超过 15 kg 且最大起飞重量不超过 25 kg，具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型、轻型无人机。

3.5

无人机通道巡检 UAV inspection operation on line channel

无人机搭载可见光或激光雷达任务载荷对线路廊道内的导线异物、杆塔异物、通道下方树木、违章建筑、违章施工、通道环境等进行的巡检作业。

其中，无人机搭载可见光任务载荷作业的为可见光通道巡检，搭载激光雷达任务载荷作业的为激光雷达通道巡检。

4 作业系统组成

4.1 系统概述

架空配电线路多旋翼无人机通道巡检作业系统由多旋翼无人机飞行平台、巡检任务载荷、巡检作业软件组成。

4.2 多旋翼无人机飞行平台

4.2.1 多旋翼无人机飞行平台组成

多旋翼无人机飞行平台由多旋翼无人机飞行器和地面控制终端组成。

4.2.2 多旋翼无人机飞行器要求

4.2.2.1 应采用小型及以下多旋翼无人机开展通道巡检，其中人口稠密区应采用微型或轻型多旋翼无人机开展通道巡检工作。

4.2.2.2 宜采用具有高精度定位功能的多旋翼无人机飞行器开展通道巡检工作。

4.2.3 地面控制终端要求

4.2.3.1 应能显示、记录多旋翼无人机飞行器飞行速度、高度和电池电量等测控参数。

4.2.3.2 应能清晰显示多旋翼无人机飞行器的机头指向。

4.2.3.3 应具备异常报警功能，当动力电池电压、多旋翼无人机飞行器飞行速度或高度异常时，应有明显的声光报警。

4.2.3.4 应具备飞行日志数据存储、回放、导出和分析功能。

4.3 巡检任务载荷

4.3.1 巡检任务载荷配置

架空配电线路多旋翼无人机通道巡检作业可搭载可见光相机或激光雷达任务载荷，多旋翼无人机飞行器与任务载荷总重量应不超过无人机最大起飞重量。

4.3.2 可见光任务载荷要求

4.3.2.1 可见光任务载荷有效像素应不低于 2000 万，具备自动对焦功能。

4.3.2.2 可见光任务载荷应具备电子防抖或光学防抖功能。

4.3.2.3 云台俯仰转动范围至少为 $-90^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 。

4.3.2.4 云台应具备稳像功能，稳像精度宜不低于 4 mrad。

4.3.3 激光雷达任务载荷要求

4.3.3.1 应配置高分辨率相机，有效像素应不低于 2000 万。

4.3.3.2 应配置增稳挂载结构。

4.3.3.3 10%反射率下的测量距离不小于 120 m，平面和高程绝对精度均不低于 ± 10 cm。

4.3.3.4 激光安全等级应符合 IEC 60825-1 规定的 I 级，回波次数宜不小于两次，脉冲频率宜不小于 100 kHz。

4.4 巡检作业软件及要求

4.4.1 基本组成

多旋翼无人机通道巡检作业软件应包括作业飞行控制软件、作业数据处理软件。

4.4.2 作业飞行控制软件要求

- 4.4.2.1 应支持手动、自主巡检模式。
- 4.4.2.2 采用自主巡检模式时，应具备巡检作业航线规划、校验、存储、调用等功能。
- 4.4.2.3 应具备现场环境、多旋翼无人机飞行器飞行状态和飞行轨迹实时监控及风险提示功能。
- 4.4.2.4 宜支持巡检数据在线或离线传输方式。
- 4.4.2.5 宜具备断点续飞功能。

4.4.3 作业数据处理软件要求

- 4.4.3.1 应具备飞行轨迹、点云坐标解算查看功能。
- 4.4.3.2 应具备电力杆塔标注、走廊自动划分、噪点去除、安全距离测算等功能。
- 4.4.3.3 应具备点云分类、任意类别最小距离计算、交叉跨越检测、安全检测报告自动生成等功能。

5 巡检方式和模式

5.1 巡检方式

- 5.1.1 按照多旋翼无人机飞行器操控方式的不同，通道巡检方式分为通道手动巡检和通道自主巡检。
- 5.1.2 通道手动巡检指由无人机操控员通过遥控直接控制姿态执行模块，从而调整多旋翼无人机飞行器的飞行模式对架空配电线路廊道内的导线异物、杆塔异物、通道下方树木、违章建筑、违章施工、通道环境进行巡检作业。
- 5.1.3 通道自主巡检指多旋翼无人机飞行器按照预设航线飞行对架空配电线路廊道内的导线异物、杆塔异物、通道下方树木、违章建筑、违章施工、通道环境进行巡检作业。

5.2 巡检模式

- 5.2.1 视搭载的任务载荷不同，通道巡检模式分为可见光通道巡检和激光雷达通道巡检。
- 5.2.2 可见光通道巡检指多旋翼无人机搭载可见光任务载荷对架空配电线路通道进行快速巡查，适用于没有特殊运维需求线路的巡检。
- 5.2.3 激光雷达通道巡检指多旋翼无人机激光雷达对架空配电线路通道进行扫描检查，主要适用于对线路走廊环境三维建模。

6 一般要求

6.1 人员要求

- 6.1.1 作业人员应至少包含 1 名无人机操控员和 1 名安全监管员。其中，无人机操控员应熟悉多旋翼无人机驾驶方法和巡检方法，通过多旋翼无人机理论和实操培训及考核，具备多旋翼无人机操控资质。
- 6.1.2 作业人员应具有 2 年及以上架空配电线路运行维护工作经验，熟悉架空配电线路运维知识和电气、航空、气象、地理等必要知识，掌握配网运维管理规定中缺陷管理有关知识，并熟悉 GB 26859 的相关规定。
- 6.1.3 作业人员应身体健康，精神状态良好，作业前 8 h 及作业过程严禁饮用任何酒精类饮品。

6.2 环境要求

- 6.2.1 作业现场不应使用可能对作业系统通讯链路造成干扰的电子设备。

6.2.2 应在良好天气下开展巡检作业，如遇雾、雪、大雨、大风、冰雹等恶劣天气不满足多旋翼无人机安全作业要求时，不可开展无人机通道巡检作业，已开展的应及时终止。

6.2.3 作业现场应远离爆破、射击、烟雾、火焰、机场、人群密集、高大建筑、军事管辖、无线电干扰等可能影响多旋翼无人机飞行安全的区域。

6.2.4 使用微型多旋翼无人机作业时，应确保现场风速小于 3 级（3.4 m/s~5.4 m/s），使用轻型多旋翼无人机作业时，应确保现场风速小于 4 级（5.5 m/s~7.9 m/s），使用小型多旋翼无人机作业时，应确保现场风速小于 5 级（8.0 m/s~10.7 m/s）。

6.2.5 作业环境能见度不低于 3 km。

6.2.6 巡检区域处于狭长地带或大档距、大落差、微气象等特殊区域时，作业人员应根据多旋翼无人机性能和作业环境判断是否开展作业。

6.3 作业要求

6.3.1 可见光通道巡检作业要求

6.3.1.1 起飞前，应严格按照步骤对多旋翼无人机及任务载荷进行检查，确保工作正常。

6.3.1.2 巡检飞行速度宜控制在 5 m/s~10 m/s。

6.3.1.3 多旋翼无人机宜在导线侧上方飞行，且应处于线路保护区范围内。

6.3.1.4 应使用视频或拍照的方法进行巡检作业。拍摄内容应能真实还原通道环境，确保无遗漏、无盲区。

6.3.1.5 飞行过程中，应能实时监控多旋翼无人机各项指标参数，确保飞行安全及数据质量。

6.3.2 激光雷达通道巡检作业要求

6.3.2.1 起飞前，应严格按照步骤对多旋翼无人机及任务载荷进行检查，确保工作正常。

6.3.2.2 应核实存储设备容量、地面控制终端中各项参数，完成激光雷达系统初始化。

6.3.2.3 应根据线路点云完整性和点云密度要求，结合地形高差、线路电压等级合理设置激光雷达参数。

6.3.2.4 巡检飞行速度宜控制在 5 m/s~10 m/s。

6.3.2.5 宜采用网络 RTK，信号不佳时应采取布设地面 GNSS 参考站等技术手段，确保巡检数据精度。

6.3.2.6 激光扫描通道巡检拍摄位置应包括：杆塔、线路本体、附属设备及线路通道环境，确保拍摄目标不受树木、建筑物等遮挡物影响。

6.3.2.7 飞行过程中，应能实时监控多旋翼无人机各项指标参数，确保飞行安全及数据质量。

7 巡检作业

7.1 作业内容

7.1.1 架空配电线路多旋翼无人机通道巡检不同巡检模式下巡检对象和巡检内容如表 1 所示。

表1 架空配电线路多旋翼无人机通道巡检作业内容

巡检模式	巡检对象	巡检内容
可见光通道巡检	导线	弧垂过大或过小，导线异物缠绕，导线对地及交叉跨越距离不足
		悬挂漂浮物、舞动、风偏过大
		散股、断股、损伤、断线

表1 架空配电线路多旋翼无人机通道巡检作业内容(续)

巡检模式	巡检对象	巡检内容
可见光通道巡检	山火及火灾隐患	线路周边出现烟火
		线路附近有易燃、易爆物堆积
	违章施工	线路下方或保护区有危及线路安全的施工作业
	防洪、排水、基础保护设施	大面积坍塌、淤堵、破损等
	自然灾害	地震、台风、山洪、泥石流等引起通道环境变化
	采动影响区	新的采动影响区，或采动区出现裂缝或塌陷等影响线路安全运行
激光雷达通道巡检	其他	线路附近有人放风筝、有危及线路安全的漂浮物等其他影响线路安全稳定运行的事项
	建（构）筑物	有违章建筑，导线与之安全距离不足
	树木（竹林）	有超高树木（竹），导线与之安全距离不足
	交叉跨越变化	新建或改建电力、通信线路、道路、铁路、索道、管道等

7.2 作业前准备

- 7.2.1 作业前应根据作业任务选择多旋翼无人机和任务载荷，完成多旋翼无人机巡检系统检查，确保各部件工作正常。
- 7.2.2 起飞前，操控员应查看多旋翼无人机自检指示灯及提示音正常。
- 7.2.3 起飞前，操控员应检查多旋翼无人机的云台、任务载荷动作正常，存储空间满足作业要求。
- 7.2.4 起飞前，操控员应确保无人机电子陀螺仪正常、无人机导航定位正常。

7.3 作业过程管控

- 7.3.1 多旋翼无人机应在提前规划的起降场地起飞和降落。
- 7.3.2 作业过程中操控员应密切监视无人机飞行状况，包括飞行巡检过程中无人机电机转速、电池电压、航向、飞行姿态等遥测参数。参数异常应及时响应，可采取返航、迫降等中止飞行措施。
- 7.3.3 作业过程中操控员应监视任务设备工作情况，数据异常应及时查明原因，调整操控方式或飞行参数，确保采集数据的有效性。
- 7.3.4 作业过程中安全监管人员应对现场作业情况进行实时监控，制止影响安全作业的各类行为。
- 7.3.5 降落后，操控员应立即切断无人机动力电源。

8 巡检数据管理

8.1 巡检数据分析

8.1.1 可见光数据分析

可见光数据分析应根据本单位配电设备缺陷分类标准确定。

8.1.2 激光雷达数据分析

8.1.2.1 交叉跨越分析

交叉跨越分析应满足以下要求：

- a) 对导线、地线与走廊内地物进行空间分析；
- b) 分析报告应包括线路信息、图例总表、隐患点明细表、交叉跨越详情等。

8.1.2.2 安全距离检测分析

安全距离检测分析应满足以下要求：

- a) 对配电线路与通道内树木、建筑和交叉跨越电力等地物应进行安全距离检测分析；
- b) 分析报告应包括线路信息、图例总表、隐患点明细表、隐患点详情等。

8.1.2.3 模拟工况安全距离检测分析

模拟工况安全距离检测分析应满足以下要求：

- a) 导线最大弧垂和最大风偏状态应根据激光点云和工况参数，导线允许最高温度、最大风速、最大覆冰及通道运行环境等条件计算；
- b) 分析报告应包括高温工况安全距离检测报告、大风工况安全距离检测报告和覆冰工况安全距离检测报告；
- c) 在实时工况下，树线距离满足安全距离的条件时，配电线路通道内存在高大树木、边坡等特殊情况下应进行倒伏安全距离检测分析。

8.1.2.4 配电线路三维可视化

配电线路三维可视化应满足以下要求：

- a) 通道内杆塔、导地线、地面、植被、建/构筑物、公路、铁路、河流、其他电力线等重构，应根据配电线路通道的激光点云、高精度地形和高清影像确定，应形成配电线路真实的三维运行场景，可精确直观表达线路本体、通道情况；
- b) 应具备输电线路台账管理、通道交叉跨越信息、通道隐患查询等功能。

8.2 巡检数据存储

8.2.1 巡检数据可采用线上或者线下管理方式，若采用线下管理方式的，可将采集的影像统一保存在专用电脑或移动硬盘中，采用文件夹分层管理存储。

8.2.2 巡检数据应按照线路名称、杆塔号（区分分支线路）进行命名管理。

8.2.3 缺陷标记时应在缺陷图片上标注缺陷部位，并注明缺陷内容，进行闭环管理。

8.2.4 巡检数据和缺陷数据存储时间应按本单位数据管理要求执行。

9 异常情况处置

9.1 设备异常处理

9.1.1 无人机巡检系统飞行时，发生故障或遇紧急意外情况等，应尽可能控制无人机巡检系统在安全区域降落。

9.1.2 无人机巡检系统飞行时，若通讯链路长时间中断，且在预计时间内未返航，应根据掌握的无人机巡检系统最后地理坐标位置或机载追踪器发送的报文等信息及时找回。

9.2 特殊工况应急处理

9.2.1 巡检作业区域出现雷雨、大风等可能影响作业的突变天气时，应及时评估巡检作业安全性，在确

保安全后方可继续执行巡检作业，否则应采取措施控制无人机巡检系统避让、返航或就近降落。

9.2.2 巡检作业区域出现其他飞行器或飘浮物时，应立即评估巡检作业安全性，在确保安全后方可继续执行巡检作业，否则应采取避让措施。

9.2.3 无人机巡检系统飞行过程中，若班组成员身体出现不适或受其它干扰影响作业，应迅速采取措施保证无人机巡检系统安全，情况紧急时，应立即控制无人机巡检系统返航或就近降落。

9.3 其他情况应急处理

9.3.1 应采取有效措施防止无人机巡检系统故障或事故后引发火灾等次生灾害。

9.3.2 无人机巡检系统发生坠机等故障或事故时，应妥善处理次生灾害并立即上报。