

团体标准

T/AOPA 0069—2024

电力架线多旋翼无人机系统技术与应用 要求

Technical and application requirements for electrical stringing rotary wing UAV
system

2024-09-30 发布

2024-09-30 实施

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 系统组成	2
4.1 多旋翼无人机系统	2
4.2 任务设备系统	2
4.3 地面控制系统	2
5 一般要求	2
5.1 作业环境	2
5.2 作业人员	2
6 技术要求	2
6.1 外观特性	2
6.2 环境适应性	3
6.3 多旋翼无人机系统	3
6.4 任务设备系统	4
6.5 地面控制系统	4
7 系统安全	5
8 作业流程	5
8.1 作业准备	5
8.2 作业实施	5
8.3 作业后检查	6
9 异常处置	6
9.1 设备故障处置	6
9.2 特殊工况处置	6
10 包装、运输和存储要求	6
10.1 包装要求	6
10.2 运输和存储要求	7

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专利的责任。

本文件由中国航空器所有者及驾驶员协会（中国AOPA）提出并归口。

本文件起草单位：吉利学院、西华大学、成都庆军科技有限公司、空军工程大学。

本文件主要起草人：陈金良、杨海燕、王靖、刘文、王建军、安星辰、周轩平、赵珊、赵健竹、王琳、杨丽薇、赵顾灏。

全国团体标准信息平台

引 言

电力架线多旋翼无人机系统的应用，是多旋翼无人机在智能电网建设中的应用突破，通过控制多旋翼无人机设备，使作业人员在地面站通过显示屏就可以看到导引线展放情况，完成架设线路的前序工作，解决了在高山上架线施工的技术难题。

随着市场需求不断增长，对民用无人机行业标准的完善和行业规范度的提高有急切需求，本文件依据国家有关法律、法规，借鉴国内外相关有益经验制定，为电力架线多旋翼无人机系统提供技术依据，促进无人机在电力行业的创新发展。

本文件是中国AOPA组织、实施和保障、促进电力架线多旋翼无人机系统技术运营的基本依据，是所有自愿接受行业自律的各方共同遵守的行为要求。

电力架线多旋翼无人机系统技术与应用要求

1 范围

本文件规定了电力架线多旋翼无人机系统的系统组成、一般要求、技术要求、系统安全、作业流程、异常处置及包装、运输和存储要求。

本文件适用于对电力线路进行架线作业的电力架线多旋翼无人机系统。

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 191 包装储运图示标志

GB/T 2423 电工电子产品环境试验

GB/T 38997-2020 轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统通用要求

DL/T 371-2010 架空输电线路放线滑车

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电力架线多旋翼无人机系统 electrical stringing multi rotor UAV system

利用多旋翼无人机搭载相机、导引绳、抛投装置等任务设备，操控地面控制设备，完成输电线塔架线作业的装置。

3.2

多旋翼无人机 multi rotor UAV

一种由动力驱动、飞行时凭借三个及以上旋翼依靠空气的反作用力获得支撑，能够垂直起降、自由悬停的无人机。

3.3

抛投装置 tossing device

搭载在电力架线多旋翼无人机上，携带初级导引绳跨越杆塔并将初级导引绳抛投至高空作业人员手中的设备。

3.4

地面控制系统 ground control system

由地面站、通信天线、控制软件及放线盘等组成，通过遥控方式对电力架线多旋翼无人机和任务设备控制的设备及工具的集合。

3.5

导引绳 guide rope

由一组绳索组成导引绳系，由飞行器最先展放的牵引绳的绳索。

3.6

重锤 weight

悬挂在多旋翼无人机导引绳下方的配重物，用于减少多旋翼无人机导引绳的偏角，使导引绳与机身保持规定的安全距离。

4 系统组成

4.1 多旋翼无人机系统

多旋翼无人机系统应包含无人机子系统、飞行控制与导航子系统、动力子系统、电源监控子系统、通讯子系统。通讯子系统应包括数据传输系统和图像传输系统，应实现多旋翼无人机与地面站间的信息传输，应包括机载数据终端和地面数据终端等。

4.2 任务设备系统

任务设备系统应包括抛投装置、导引绳、放线滑车、配重器、差分GPS、机载相机。

4.3 地面控制系统

地面控制系统应包含地面站、通信天线、控制软件及放线盘等，应具备对无人机系统地面控制和管理功能。

5 一般要求

5.1 作业环境

电力架线多旋翼无人机系统的气象及环境应满足以下要求：

- a) 架线作业区域内无强干扰源；
- b) 架线作业应在良好天气下进行，根据作业机型抗风能力和气象数据决定是否开展作业，风速不宜超过2级风；
- c) 在架线作业过程中遇到雷、雨、大雾、大风等恶劣天气应及时终止作业；
- d) 作业环境能见度不低于3 km，多旋翼无人机始终在作业人员视距内飞行。

5.2 作业人员

电力架线多旋翼无人机系统的作业人员应符合下列规定：

- a) 作业起始点位置应配置无人机操作员、观察协助员至少两名。其中，无人机操作员应熟悉多旋翼无人机操作方法和作业方法，通过多旋翼无人机理论和实操培训及考核，具民用无人机驾驶航空器操控员执照；
- b) 作业过程中，每根杆塔应至少配备一名高空作业员。高空作业员应符合国家特种（设备）作业人员要求，经专门的安全作业培训，取得特种作业操作资格证书。

6 技术要求

6.1 外观特性

多旋翼无人机外观特性应符合下列要求：

- a) 连接线布局合理，固定牢靠；
- b) 连接件、紧固件有防松措施；
- c) 涂镀层无气泡、龟裂和脱落；

- d) 金属件无锈蚀和机械损伤;
- e) 机头机尾应有铭牌、尺寸、类型、型号、质量等明显标识;
- f) 旋翼上应有安装方向标识。

6.2 环境适应性

环境适应性应符合下列要求:

- a) 低温、高温和温度湿度振动综合环境适应性应按照GB/T 2423相关条款方法进行相应等级试验, 各项功能正常;
- b) 海拔适应性: 海拔高度不小于3 km、环境温度低于-20 ℃时, 悬停时间不应小于25 min;
- c) 抗雨飞行性能: 在小雨环境下(雨强不大于5 mm/h)可稳定飞行时间不小于5 min, 飞行后各电气接口不存在明显短路风险, 各项功能正常;
- d) 防护等级: 地面站、遥控手柄和机身的防护等级不应低于IP54。

6.3 多旋翼无人机系统

6.3.1 功能要求

6.3.1.1 多旋翼无人机系统功能应满足下列要求:

- a) 应具备一键返航功能, 启动该功能后, 多旋翼无人机应立即终止当前任务并返航。返航点、速度等参数可预先设置;
- b) 在自主飞行模式下执行任务时, 参数可灵活设置;
- c) 根据任务需求能对飞行姿态、飞行速度等作业模式灵活配置;
- d) 应具备定点悬停功能, 在瞬时风速不大于无人机规定的风速条件下可稳定飞行和悬停;
- e) 应具备多旋翼无人机的测控数据和影像数据的实时传输功能。

6.3.1.2 多旋翼无人机系统功能宜满足系列要求:

- a) 宜具备手动、返航和全自主飞行模式, 三种飞行模式可自由无缝切换, 切换过程中飞行状态和飞行姿态应保持平稳;
- b) 宜具备在线任务规划功能, 支持通过地面站人工更改预设航线和任务模式。

6.3.2 性能要求

多旋翼无人机系统性能应满足下列要求:

- a) 有效载荷重量: 不应小于10 kg;
- b) 最大抗风能力: 不应小于12 m/s;
- c) 最大起飞海拔高度: 不应小于3000 m;
- d) 悬停时间: 空载不应小于30 min, 满载不应小于15 min;
- e) 悬停精度: 水平方向不应大于1.5 m, 标准差不应大于0.75 m; 垂直方向不应大于2 m, 标准差不应大于1 m;
- f) 飞行控制偏差: 水平方向不应大于1 m, 标准差不应大于0.5 m; 垂直方向不应大于1 m, 标准差不应大于0.5 m;
- g) 最大上升速度: 不应小于5 m/s;
- h) 最大下降速度: 不应小于3 m/s;
- i) 飞行控制与导航系统性能应符合GB/T 38997的规定;
- j) 通信传输模块应符合下列规定:
 - 1) 通视条件下, 测控通信距离: 不应小于3 km;
 - 2) 通视条件下, 影像数据距离: 不应小于3 km;

- 3) 影像数据传输延时：不应大于300 ms；
- 4) 测控数据传输延时：不应大于20 ms；误码率不应大于 10^{-6} 。

6.4 任务设备系统

6.4.1 功能要求

6.4.1.1 任务设备系统功能应满足下列要求：

- a) 可以控制初级导引绳的固定和抛投；
- b) 配重器应提供一定张力，使无人机能保持平衡，并使导引绳与无人机保持一定的安全距离；
- c) 机载相机云台应拍摄清晰图像或影像传回地面站；
- d) 应搭载差分GPS，使无人机具备抗电磁干扰的能力。

6.4.1.2 任务设备系统宜搭载避障雷达，使无人机在紧急情况下可自动逼停。

6.4.2 性能要求

任务设备系统性能应满足下列要求：

- a) 配重器重量与张力应匹配；
- b) 多旋翼无人机搭载导引绳实施架线作业时，牵引距离不应小于1km；
- c) 多旋翼无人机应与导引绳大小匹配，并应符合下列规定：
 - 1) 携带导引绳直径不大于4.0 mm时，应选用有效载荷重量不小于10 kg的多旋翼无人机；
 - 2) 携带导引绳直径不大于6.0 mm时，应选用有效载荷重量为10-15 kg的多旋翼无人机；
 - 3) 携带导引绳直径不大于10.0 mm时，应选用有效载荷重量不小于30 kg的多旋翼无人机；
 - 4) 携带导引绳直径不大于16 mm时，应选用有效载荷重量不小于50 kg的多旋翼无人机；
 - 5) 携带导引绳直径大于16 mm时，应选用有效载荷重量大于50kg的多旋翼无人机；
- d) 无人机飞行速度不大于7 m/s 时，避障雷达的探测距离不应小于30 m；
- e) 放线滑车应符合DL/T 371-2010的相关规定；
- f) 机载云台相机应至少具备水平和俯仰两个方向的转动性能，俯仰转动范围不小于 $-120^{\circ} \sim +30^{\circ}$ ，平移转动范围不小于 $\pm 90^{\circ}$ ；
- g) 机载相机应符合下列规定：
 - 1) 有效像素：不应小于1280 (H) × 720 (V)；
 - 2) 稳像精度：不应小于2.0 mrad。

6.5 地面控制系统

6.5.1 功能要求

6.5.1.1 地面控制系统功能应满足下列要求：

- a) 应实时显示回传的多旋翼无人机工作状态，工作状态信息应包括无人机当前位置坐标、飞行高度、飞行速度、飞行航向和航迹、剩余电量、导航定位信号强度等参数；
- b) 应具备电池实时监控管理功能，可对电池电压、充放电次数等实时查询和管理；
- c) 显示设备应实现作业画面和地图的实时切换。

6.5.1.2 地面控制系统功能宜满足下列要求：

- a) 显示设备宜采用高亮屏或采取遮光罩，在强光下清晰显示；
- b) 人机交互界面宜使用中文。

6.5.2 性能要求

地面控制系统性能应满足下列要求：

- a) 地面站屏幕应方便用户使用，可同时显示遥控遥测数据和回传影像；
- b) 地面站显示屏幕亮度应不低于1500 cd（坎德拉/平方米），对比度不低于1000:1；
- c) 地面站显示器上下视角不应小于40°，左右视角不应小于60°；
- d) 地面站应至少配备一个单独型式的遥控手柄。飞行控制、拍照、抛投等功能应通过遥控手柄或地面站上的专用按钮实现；
- e) 地面站遥控手柄续航时间不应小于6小时。

7 系统安全

系统安全性应符合下列规定：

- a) 应具备自检功能，自检项目应包括飞行控制模块、电池电压量、电机工况、遥控遥测信号等。发现故障时，无人机进行声或光报警，且飞控系统锁死无法起飞。
- b) 应具备飞行状态、通讯状态、电机状态等参数超限告警功能，报警方式应为声或光报警；
- c) 应具备返航和应急降落等安全控制策略。返航策略应包括原航线返航和直线返航，可对返航触发条件、飞行速度、高度、航线等设置。应急降落策略也可设置触发条件；
- d) 应具备位置追踪功能。应以定时自动或受控应答方式向操作人员发送无人机位置信息，且定位偏差水平方向不应大于5 m，垂直方向不应大于10 m。

8 作业流程

8.1 作业准备

作业前准备应按下列步骤执行：

- a) 作业人员应对输电线路架设现场勘查，采集线路走向、杆塔GPS信息、运行参数、地形地貌、海拔高度、气象环境、空域条件、交叉跨越以及线路周边的环境情况等信息；
- b) 应根据输电线路的情况，明确架线作业流程，制定作业方案；
- c) 应根据作业实际需要，按架设线路区域的空管要求开展空域计划申报，履行空域申请手续，并遵守相关规定；
- d) 应在铁塔上悬挂放线滑车，在高空架设跨越施工的安全防护网；
- e) 应检查动力电池电量、遥控手柄电量、抛投装置工作状态等无人机状态。

8.2 作业实施

作业实施应按下列步骤执行：

- a) 选取无人机飞行航向对杆塔的后方平坦开阔处作为无人机架线实施起点，并校准无人机作业区域磁场；
- b) 安装放线盘。放线盘应安装在无人机的左/右后方1.5~2 m的开阔平坦处；
- c) 控制出线方式。无人机携带直径不大于2.5 mm的初级导引绳时，应控制牵引绳垂直出线，将导引绳穿过O型手持工具或放入U型手持工具，完成后将手持工具置于放线盘上方；无人机携带直径大于2.5 mm的初级导引绳时，应控制牵引绳横平出线，将导引绳穿过O型手持工具或放入U型手持工具，完成后将手持工具置于放线盘上方；
- d) 安装导引绳。将导引绳一端系直径为3~5 cm的绳圈，放置在无人机机体下方的抛投装置中，并在绳圈后端1m处悬挂配重器，重量约0.5 kg的重锤；
- e) 准备就绪后，控制无人机缓慢上升至高于杆塔4米的高度，操作无人机携带导引绳悬停至高空技术员附近，由高空技术员握持并放入放线滑车中间轮槽后，无人机继续飞向下一杆塔；

- f) 无人机完成最后一次架线作业时，由地面无人机操作员控制抛投装置将绳投下，高空技术员握持初级导引绳，初级导引绳牵引次级导引绳，逐级增加完成架线；
- g) 无人机完成抛绳后，立即控制无人机自动返航或手动返航。

8.3 作业后检查

作业后检查应按下列步骤执行：

- a) 降落后，应对外观及零部件检查，恢复储运状态，作业人员应如实记录无人机的作业状态和作业情况；
- b) 架线作业结束后，检查架线设备应正常，收取设备；
- c) 当日任务结束后，应清理现场，核对设备与工器具清单，保存设备电池，并及时对电池充放电。

9 异常处置

9.1 设备故障处置

设备出现故障时应按下列方法执行：

- a) 架线作业时，无人机遇到数据链中断或丢失、电量不足等突发情况时，应控制无人机在安全区域降落；
- b) 架线作业时，无人机遇到导航失效情况时，应通过操控软件或产品手册中说明的其他方式向作业人员提供通知或警告；
- c) 架线作业时，无人机发生坠机事故，导致发生飞行安全问题的，应在无人机坠机24小时内向空中交通管理部门报告有关情况，如作业单位投保相关保险的，还应通知相关保险公司。

9.2 特殊工况处置

架线中出现特殊情况时应按下列方法执行：

- a) 架线作业时，作业区域出现雷雨、大风等可能影响作业的突变天气时，应及时评估架线作业安全性，控制无人机返航或就近降落；
- b) 架线作业时，无人机遭遇鸟类、无人机等空中障碍物的攻击或干扰，应及时评估架线作业的安全性，在确保安全后方可继续执行架线任务，否则应立即启动无人机避让或返航程序；
- c) 架线作业时，作业人员出现身体不适等，应及时控制无人机安全降落并使用替补作业人员；无替补作业人员，应终止本次作业；
- d) 架线作业时，牵引线出现卡绳、打结状况时，应快速抛投牵引绳，并控制无人机返航；
- e) 架线作业时，当抛投装置出现故障，控制无人机继续飞行至杆塔作业区域，由杆塔工作人员及时斩断牵引绳，并控制无人机返航。

10 包装、运输和存储要求

10.1 包装要求

产品包装应符合下列要求：

- a) 包装应符合牢固、美观和经济的要求，结构合理、紧凑，防护可靠，设备在正常储运、装卸条件下，保证产品不致损坏、性能降低、散失、锈蚀和长霉等；
- b) 设备包装环境及包装箱内应清洁、干燥、无有害气体、无异物；
- c) 设备装箱后，其包装件重心宜尽量靠下且居中，产品在箱内必须予以支撑、垫平、卡紧，并加以固定；

- d) 包装箱应有良好的生产工艺性，形成包装件后应能满足运输部门对尺寸、重量、重心以及堆码等方面的限制；
- e) 包装箱应可重复利用，便于装卸、存储和运输；
- f) 在包装箱的适当位置，应标有显著、牢固的包装标志，至少注明生产企业名称及地址、产品名称、型号、净重、体积等信息；
- g) 包装储运图示的使用应符合GB/T191的有关规定。

10.2 运输和存储要求

产品的运输和存储应符合下列要求：

- a) 应采取有效措施防止设备在运输过程和储存环境中受损坏；
- b) 设备在运输过程中不可倒放，轻拿轻放，避免碰撞，避免雨、雪等的直接淋袭；
- c) 设备应储存在干燥、通风、避免阳光直晒和无腐蚀、无有害物质的场所。

