

团体标准

T/CES XXX-XXXX

10kV 架空配电线路无人机自主巡检作业
导则

Operational guidelines for UAV
automatic patrol inspection of
overhead distribution network
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	无人机自主巡检作业系统组成	3
4.1	无人机飞行系统	3
4.2	巡检作业载荷	3
4.3	巡检软件系统	4
5	巡检内容及作业要求	5
5.1	巡检模式及内容	5
5.2	作业人员要求	6
5.3	作业环境要求	7
6	基础数据获取及巡检路径规划	7
6.1	示教飞行打点	7
6.2	点云路径规划	8
6.3	地图标点飞行	9
6.4	规划路径验证	10
7	自主巡检作业	10
7.1	自主巡检前准备	10
7.2	自主巡检路径选择	11
7.3	自主巡检过程管理	11
8	巡检成果管理	11
8.1	影像数据管理	11
8.2	点云数据管理	12
9	异常情况处置	12
9.1	风险处置	12
9.2	事故处置	12
	附录 A（资料性）无人机自主巡检作业流程	13
	附录 B（资料性）配网架空线路杆塔自主巡视无人机姿态及拍照成果	14
	附录 C（资料性）配网架空线路柱上设备自主巡视无人机姿态及要求	15
	附录 D（资料性）巡检数据分级管理文件命名规范	16

前 言

为了推动无人机在10kV架空配电线路巡检中的推广应用，针对无人机开展10kV架空配电线路自主巡检作业的基本要求以及对路径规划效率、作业全环节成本、环境适应性、作业安全性、成果可用性等方面的特殊要求提出指导规范，制定本文件。

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。

本文件由国网信息通信产业集团有限公司提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本标准起草单位：国网信息通信产业集团有限公司、天津市普迅电力信息技术有限公司、国网河北省电力有限公司雄安新区供电公司、国网山西省电力公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、山西思极科技有限公司、北京数字绿土科技股份有限公司、天津云圣智能科技有限责任公司。

本标准主要起草人（按对标准的贡献大小排列）：李强、胡浩瀚、刘海峰、张晓亮、郭正雄、赵峰、魏伟、张澍、黄凯、熊道洋、赵露、胡诚、李炳森、白景坡、陈洪亮、张勇、韩润东、郑志宏、吕松波、程旭、马赞、张志飞、曹华卿、门国维、纪元、纪姗姗、李雪松、秦娜、宋森燊、樊世超、陈方平、朱胜利、高明、李蕴仪、马辉、韩润东。

本标准为首次发布。

10kV 架空配电线路无人机自主巡检作业导则

1 范围

本文件规定了采用无人机对10kV架空配电线路开展自主巡检作业的完整技术流程所需的作业系统组成、巡检内容及作业要求、基础数据获取及巡检路径规划、自主巡检作业、巡检成果管理、异常情况处置等建议的作业配置及各阶段标准。

本文件适用于采用多旋翼无人机对10kV架空配电线路进行的自主巡检作业。

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。

AC-91-FS-2015-31 轻小无人机运行规定

DL/T 1482-2015 架空输电线路无人机巡检作业技术导则

GB 26859-2011 电力安全工作规程 电力线路部分

GB/T19870-2018 工业检测型红外热像仪

GB/T38058-2019 民用多旋翼无人机系统试验方法

3 术语和定义

DL/T1482-2015、民航局AC-91-FS-2015-31规定界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 无人机系统 Unmanned Aircraft System; UAS

由无人机、相关控制站、所需的指令与控制数据链路以及批准的型号设计规定的任何其他部件组成的系统。

3.2 旋翼无人机 Rotor UAV

由一个或多个旋翼与空气进行相对运动的反作用而获得升力的无人机。

3.3 无人机系统驾驶员 UAV system driver

由运营人指派在飞行期间适时操纵无人机的人。

3.4 可见光巡检 Visible inspection

利用无人机搭载可见光相机对配电杆塔进行巡视检查。

3.5 局放巡检 Partial discharge inspection

利用无人机搭载超声、紫外灯设备对接头、连接处进行放电检测。

3.6 自主巡检 Automatic patrol inspection:

此处特指运用无人机系统搭载传感器，无需无人机系统驾驶员控制的情况下，基于计算机程序引导对目标开展数据获取的过程。

3.7 数据传输系统 Data transfer system

将无人机飞行状态从无人机天空端传到地面控制端所使用的通信链路以及配套协议。

3.8 图像传输系统 Video transfer system

将无人机载荷的视频数据从无人机端传到地面控制端所使用的通信链路及配套协议。

3.9 中国航空器拥有者及驾驶员协会 Aircraft Owners and Pilots Association Of China; AOPA-China

是国际航空器拥有者及驾驶员协会（IAOPA）的中国分支机构，简称中国AOPA，是IAOPA在中国（包括台湾、香港、澳门）的唯一合法代表，由中国民用航空局业务指导，代表中国私人航空器拥有者及驾驶员利益。

3.10 超视距飞行 Beyond visual range flight

指无人机超出肉眼所见的区域飞行。

3.11 GPS 增稳模式 Position-stability mode

指无人机借助GPS或北斗卫星维持自身所在位置的模式。

3.12 无增稳模式 None-stability mode

指完全靠人工操作控制无人机的三个姿态和位置的模式。

3.13 人口稠密区 Densely populated area

指城镇、村庄、繁忙道路或大型露天集会场所等区域。

3.14 重点地区 Strategic point

指军事重地、核电站和行政中心等关乎国家安全的区域及周边，或地方政府临时划设的区域。

3.15 机场净空区 Airport clearance area

指为保护航空器起飞、飞行和降落安全，根据民用机场净空障碍物限制图要求划定的空间范围。

3.16 电子围栏 Electronic fence

指为阻挡即将侵入特定区域的航空器，在相应电子地理范围中画出特定区域，并配合飞行控制系统、保障区域安全的软硬件系统。

4 无人机自主巡检作业系统组成

4.1 无人机飞行系统

- 4.1.1 参考 AC-91-FS-2015-31 轻小无人机运行规定和 GB/T38058-2019 民用多旋翼无人机系统试验方法的参数标准，无人机飞行系统符合如下要求。
- 4.1.2 应采用 II 类及以下无人机开展自主巡检及路径点采集工作，其中人口稠密区应采用 I 类无人机开展自主巡检工作。
- 4.1.3 应采用具有差分定位功能的无人机开展路径点采集和自主巡检工作，定位精度应优于 0.3m。
- 4.1.4 在配电线路巡检中应选用电动多旋翼无人机开展工作，为减少次生灾害，不建议使用油动无人机开展自主巡检工作。

4.2 巡检作业载荷

4.2.1 可见光载荷设备

- 4.2.1.1 配电架空线路无人机飞行系统的任务设备至少应包括可见光载荷设备。
- 4.2.1.2 可见光载荷设备重量不大于 1000g。
- 4.2.1.3 可见光设备分辨率不应小于 2000 万像素，对于具有 10 倍及以上高倍变焦功能的相机可适当减少，但应能清晰辨识销钉级别部件。
- 4.2.1.4 可见光载荷云台俯仰角度至少应满足 -90° 至 0° 区间。
- 4.2.1.5 可见光载荷需为中心点对焦，若无法远程控制对焦的载荷设备需具备自动对焦功能。

4.2.2 机载激光雷达

- 4.2.2.1 机载激光雷达设备重量不应大于 1800g。
- 4.2.2.2 应支持 II 类及以下无人机挂载，应具备增稳挂载结构。
- 4.2.2.3 设备采集三维空间绝对精度不应低于 $\pm 10\text{cm}$ ，相对精度不低于 $\pm 5\text{cm}$ 。
- 4.2.2.4 设备作业方式应支持自主作业，数据采集过程中应能提供实时点云及实时树障成果，为现场快速发现与排除隐患提供数据支撑。
- 4.2.2.5 设备应同时具备高分辨率测绘相机像素不低于 2000 万，可生成高质量彩色点云和正射影像成果。

4.2.3 红外测温设备

- 4.2.3.1 参考 GB/T19870-2018《工业检测型红外热像仪》参数标准，红外测温设备符合如下要求。
- 4.2.3.2 红外测温设备质量不应大于 1000g。
- 4.2.3.3 红外测温设备主要采用红外热像仪，用于线路接头、柱上开关、变压器等设备热故障检测。
- 4.2.3.4 红外热像仪需提供模拟视频接口和网络控制接口。
- 4.2.3.5 红外热像仪分辨率不应低于 320×240 pixels。
- 4.2.3.6 帧频动态捕捉能力不低于 20Hz。
- 4.2.3.7 测温精度应达到±2℃或误差小于±2%读数范围。

4.3 巡检软件系统

4.3.1 点云处理软件

- 4.3.1.1 点云处理软件应支持 TB 级点云数据处理分析，支持不抽稀加载大于 1000 基杆塔原始点云数据。
- 4.3.1.2 点云处理软件应支持杆塔、导线、绝缘子、引流线、植被、建筑物等关键类别自动分类。
- 4.3.1.3 点云处理软件应支持对电力通道内的树木进行单木分割，用于计算树木隐患及砍伐量。

4.3.2 路径规划系统

- 4.3.2.1 路径规划系统应支持基于高精度点云数据规划精细化巡检航线及拍照位置，应具有航线安全性检测功能，保证无人机飞行安全。
- 4.3.2.2 路径规划系统应支持基于已规划好的精细化巡检航线进行飞行模拟，实现实际飞行的预演。
- 4.3.2.3 路径规划系统应具备对精细化巡检照片实现多塔批量的归档及精确到拍摄部件的照片名称定义功能。

4.3.3 飞行控制系统

- 4.3.3.1 用于配电线路无人机自主巡检作业的飞行控制系统应包含任务创建、飞行器状态检查、飞行路径确认（校验）、自主巡检控制、巡检成果记录几个必要的功能模块。

- 4.3.3.2 系统应能对无人机飞行位置、朝向，云台角度，相机俯仰，照片、视频拍摄，相机对焦等参数进行控制，并可对避障、遥控器操作习惯（操作手）、相机分辨率等参数进行配置。
- 4.3.3.3 系统应能接收到无人机位置、朝向，无人机俯仰等管控必须的数传信号，以及无人机图像、视频流等图传信号
- 4.3.3.4 飞行路径确认（校验）功能应支持航线成果和杆塔模型的导入及可视化。
- 4.3.3.5 自主巡检控制应能按照三维路径点规划控制无人机全自主飞行至指定位置，并按照动作点参数控制无人机云台进行调整并对准目标物进行拍照等操作。
- 4.3.3.6 巡检成果记录功能应能记录并将成果以杆塔为单元进行存储和管理，并支撑离线下载或在线回传至后端管理系统。

4.3.4 任务及成果管理系统

- 4.3.4.1 任务及成果管理系统主要用于路径管理、自主巡检关键参数下发，以及巡检成果存储和管理，应至少包含路径管理模块，任务创建和派发模块，巡检成果回传和管理模块等必要的功能模块。
- 4.3.4.2 路径管理模块应支持对示教飞行、三维点云路径、地图标定坐标位置等至少一种自主巡检路径规划方式进行适配。
- 4.3.4.3 对于现场作业小组不满足配备随行监管人员的情况下，任务及成果管理系统还应配备过程实景监管模块，用于实时反馈无人机状态及巡检视频，并可支撑远程安全提醒和紧急悬停（降落）按钮。
- 4.3.4.4 巡检成果回传和管理模块应支持巡检成果照片的人工缺陷标定或人工智能缺陷识别标定，并支持巡检人员对无人机拍摄的照片文件名称进行修改。

5 巡检内容及作业要求

5.1 巡检模式及内容

- 5.1.1 根据巡检目标和工作方式，可将 10kV 架空配电线路无人机自主巡检工作分为精细化巡检和通道巡检两大类，作业流程包括基础数据获取、路径规划、自主巡检、成果处理等环节，详细流程见附录 A。
- 5.1.2 精细化巡检主要通过环绕杆塔飞行，采集杆塔本体及附属设施的图像信息，主要用于发现避雷设施、导线、杆塔本体、金具、绝缘设备和柱上附属设备等部位的各类缺陷，还可配合红外热成像仪对设备关键部位进行测温，发现设备发热异常等隐患。

5.1.3 通道巡检主要用于采集线路通道内的图像信息，用于发现线路及保护区内的建筑、施工、异物和树障等环境变化。

5.1.4 精细化巡检作业内容要求

5.1.4.1 可见光精细化巡检照片拍摄角度及成果示例详见附录 A，照片拍摄数量详见下表：

部件 塔型	全杆	杆号	杆塔头	通道	基础
单回路杆	1张	1张	3张	1张	1张
双回路杆	1张	1张	5张	1张	1张

5.1.4.2 可见光精细化巡检杆塔如挂接有开关、台变、电缆台架等柱上附属设备，需要补充拍摄至少 1 张设备照片，拍摄角度及照片要求详见附录 C。

5.1.4.3 精细化巡检拍摄照片中目标占照片比例应该不小于 60%。

5.1.4.4 目标应对焦清晰，不应处于逆光方向进行照片拍摄。

5.1.5 通道巡检作业内容要求

5.1.5.1 通道巡检飞行配置速度宜控制在 5m/s~10m/s 之间。

5.1.5.2 通道巡检主要是利用无人机使用视频或拍照的方法对线路本体及附属设备、线路周围环境进行排查巡视。

5.1.5.3 通道巡检应尽量将无人机保持在导线正上方飞行。如有需要可在保证飞行安全的前提下，飞至线路两侧，尽量不要超出线路保护区范围。

5.1.5.4 通过无人机使用视频或拍照的方法对线路本体及附属设备、线路周围环境进行排查巡视。

5.1.5.5 可见光通道巡检照片拍摄位置应包括：杆塔顶部拍摄 1 张包含杆塔全貌的照片，确保塔头处于照片中心位置，线缆通道飞行中每 1~2 秒拍摄 1 张照片，并确保航向重叠率在 30%以上。

5.1.5.6 当柱上附属设备或绝缘子被遮挡时，应在杆塔斜上方-45°~45° 角度范围补拍可看清全部绝缘子部件的照片。

5.2 作业人员要求

5.2.1 无人机自主巡检作业组应至少包含 2 名作业人员，其中 1 名无人机系统驾驶员，1 名安全监管人员。现场路径点规划时需要两人同时到达现场开展工作；自主巡检环节无人机系统驾驶员需到达无人机作业现场进行安全监管。

- 5.2.2 巡检作业组长应具有三年及以上的配电线路运行维护工作经验，掌握配电线路常见缺陷类型和危险点，熟悉航空、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 26859-2011《电力安全工作规程 电力线路部分》的相关规定。
- 5.2.3 无人机系统驾驶员应熟悉无人机驾驶方法和巡检方法，通过无人机操作培训及考核，并持 AOPA 组织认证的无人机驾驶资格证上岗，在无人机自主巡检作业过程中进行作业保障和紧急情况下的无人机控制权接管。

5.3 作业环境要求

- 5.3.1 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。
- 5.3.2 使用 I 类无人机进行巡检时应确保现场风速小于 3 级风（3.4-5.4m/s），使用 II 类应确保现场风速小于 4 级风（5.5-7.9m/s）。
- 5.3.3 遇雷、雨天气不得进行现场飞行作业。
- 5.3.4 作业环境下能见度不小于 3km。
- 5.3.5 作业前应落实被巡线路沿线有无爆破、射击、打靶、飞行物、烟雾、火焰、无线电干扰等影响飞行安全的因素，并采取停飞或避让等应对措施。
- 5.3.6 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，作业人员应根据无人机性能和气象情况判断是否开展作业。
- 5.3.7 军事禁区、政府机构等重点地区线路分支不应采用无人机进行巡检拍照。

6 基础数据获取及巡检路径规划

为确保路径数据的通用性和不同自主巡检系统的作业安全，基础数据和路径数据应采用统一的坐标系统，其中平面坐标系应采用 CGCS2000 坐标系统，高程基准采用 1985 国家高程基准，平面坐标以度为单位保留 6 位小数，高程以米为单位保留 2 位小数。

6.1 示教飞行打点

- 6.1.1 起飞点、降落点应选取人员可达处且面积不小于 2m*2m 地势较为平坦、无影响降落的植被覆盖的地面。
- 6.1.2 应确保起飞点、降落点的相对稳定性，不要放置于非固定的高台处。
- 6.1.3 无人机起飞点、降落点应与线路和其他设施、设备保持足够的安全距离，且风向有利，具备起飞降落条件。
- 6.1.4 为了兼顾飞行安全和巡检效果，需要确定无人机的最佳飞行高度（ H ）。无人机的最佳飞行高度由机塔距离（ h ）、杆塔高度（ $H_{塔}$ ）组成（ $H = h + H_{塔}$ ）；机塔距离由无人机相机焦距（ f ）确定（ $h = 400 \cdot f$ ）。

- 6.1.5 在配电杆塔处应采集塔头照片和塔头全貌，塔头照片拍照位置为杆塔地理坐标左（右）偏1m，无人机高度为最佳飞行高度（ H ），云台角度为 -90° 。塔头全貌拍照位置为距离杆塔地理坐标左（右）偏1m，后方偏为一个最佳飞行高度（ H ）的位置，无人机高度为最佳飞行高度（ H ），云台角度为 -45° 。
- 6.1.6 在变台处应采集变台的正面和反面，采集位置为垂直无人机飞行方向，往变台的左右方向各飞出一个飞行高度的距离，云台角度为 -45° 。确保能拍清楚变台上方的断路器和变压器。
- 6.1.7 转角塔处应采集拉线，采集位置为在塔头位置，无人机高度为最佳飞行高度 H ，机头朝向为拉线方向，云台角度为 -45° 。
- 6.1.8 为提高路径复用性，可设计前、后序连接点用于多组路径组合，前、后续连接点应设置于路径起始和终止杆塔附近，高于杆塔1.5m的空旷区域。
- 6.1.9 示教飞行路径分段尽量不超过1km，以800m为宜，单段线路过长无人机电量可能会不足，导致采集任务中断，进而影响后续采集任务。
- 6.1.10 异地起降路径由于无需返回出发点可设置相对较长，每段长度设定可根据实际无人机续航时间及操作人员熟练度做对应调整。

6.2 点云路径规划

6.2.1 点云采集和杆塔建模

- 6.2.1.1 根据线路公里数和作业环境的不同，选择合适的无人机及传感器设备进行配电网架空线路点云数据的采集。
- 6.2.1.2 采用小型无人机（具备 rtk 功能）飞到线路各杆塔上方10-15米高度打点，完成通道飞行所需航线规划。
- 6.2.1.3 将规划好的航线导入挂载激光雷达载荷的无人机飞控屏中。
- 6.2.1.4 手动将无人机升到线路上方，开始执行航线，无人机根据规划航线进行配网通道点云采集，获取的配网线路通道幅宽建议不低于20米，获取的激光点云密度应不小于100点/ m^2 。
- 6.2.1.5 飞行采集完成手动操作降落到安全降落点，完成数据的拷贝，关闭设备。
- 6.2.1.6 运用数据解算软件，采用后差分处理的方式对原始数据进行解算，得到绝对精度不低于 $\pm 10\text{cm}$ 的杆塔模型点云数据。
- 6.2.1.7 也可采用智能化自主飞行设备进行配网通道巡检，无需提前规划通道点云采集航线，自动锁定导线始终保持与锁定导线（一般为最上方地线）10-15米距离沿线路飞行进行点云数据采集，遇到分叉线路自动识别，无人机悬停，飞控端给出提

示选择，手动选择继续飞行线路，然后继续自动飞行采集，极大提升配网通道点云采集效率。

6.2.2 精细化航线规划

6.2.2.1 加载点云并配置，加载点云后，需根据点云解算选择对应的坐标系，并设置其他参数。

6.2.2.2 编辑杆塔文件，编辑杆塔文件给每基塔定义名称和塔型。

6.2.2.3 添加部件点，点选需要拍摄的杆塔部位，设置部件名称、照片数目、相序、拍照位置。

6.2.2.4 生成航线，自动生成航线，自主巡检航迹规划软件内置航线生成算法，有最短路径原则、按照部件点编辑顺序原则、自动生成航线三种方式。

6.2.2.5 调整航点，调整航点主要是调整每个航点的俯仰角、航偏角、拍摄距离、拍照数量。

6.2.2.6 利用三维点云模型规划的精细化巡检航线应进行充分的内业安全性检测，保证与电网设备的安全距离留有冗余空间保证飞行安全，同时需进行外业验证保证航线可安全执行之后方可提交航线。

6.2.2.7 航线文件应以 kml 或 json 格式进行存储和管理。

6.3 地图标点飞行

6.3.1 地图标点的巡检路径规划方法主要用于城镇以外，人口和社会生产活动较少区域的配电架空线路通道巡视，不适用于精细化巡检作业。

6.3.2 地图标点的路径规划方法不适用于高低压并架的配网段和交叉跨越复杂的密集线路通道。

6.3.3 基础数据准备

6.3.3.1 基础数据主要用于判断是否适合于地图标点的路径规划方式，并标识复核点及风险点。包括线路基本信息、线路所处环境、杆塔基本信息、线路交跨信息。

6.3.3.2 线路基本信息包括配电线路名称，线路类型，线路长度及分支情况，变电站出线点及龙门架或电缆接头杆塔坐标位置。

6.3.3.3 杆塔基本信息包括杆塔名称、编号、杆塔高，以及每基杆塔准确的坐标位置和塔底高程，并明确参考的地心坐标系统。

6.3.3.4 用于地图标点飞行的杆塔位置信息精度不应低于 0.5m，杆塔高度误差不大于 0.3m。

6.3.3.5 线路交跨信息主要指线路上方交叉跨越的高架桥、高电压等级线路、通信线路、连廊等障碍物，并明确交跨区域投影到线路所涉及的杆塔段。

6.3.4 通道航点标定

6.3.4.1 标点飞行的航点应规划在杆塔上方，无特殊情况下线路通道上方不设置航点。

6.3.4.2 航点高度不应低于杆塔顶部 2m，一般选择 3-5m 为宜。

6.3.4.3 线路有交跨时应采用分段巡检方式，避开交跨区域分段设置起降点。

6.3.4.4 相机角度在杆塔上方时设置为 -90° ，通道处设置为 -45° 。

6.4 规划路径验证

6.4.1 完成航线规划后需进行路径验证，主要对安全性进行检查，在外业检测前需基于软件对航线进行安全性自动检测。

6.4.2 自主巡检飞行过程中，如果触发无人机避障系统，则会导致航线中断，因此在安全性检测时，航线的安全距离最少不能少于无人机避障触发距离 2m。

6.4.3 路径验证还需在室内进行航点间隔检测，可通过自主精细化巡检航线规划软件可对航点间距进行自动检测，航点间隔不得小于 0.5m。

6.4.4 完成室内模拟路径验证后，还需由经验丰富的无人机系统驾驶员全程手持控制器进行现场路径验证。

7 自主巡检作业

7.1 自主巡检前准备

7.1.1 根据巡检任务配置不同型号的无人机，根据任务时长配置配套电池，作业前应准备好所使用的工器具及备件等物资，完成无人机巡检系统检查，确保各部件工作正常。

7.1.2 检查无人机表面无划痕，喷漆和涂覆应均匀；产品无针孔、凹陷、擦伤、畸变等损坏情况；金属件无损伤、裂痕和锈蚀；部件、插件连接紧固，标识清晰。

7.1.3 检查无人机的外观、桨叶是否有破损，检查无人机电池容量是否在合理的消耗内（不大于 80%），检查无人机电池是否有发鼓现象。

7.1.4 检查遥控器电量是否充裕，各摇杆位置应正确，避免启动后无人机执行错误指令。

7.1.5 检查无人机云台储存装置剩余容量和储存性能，剩余空间应大于 4GB，储存卡写性能不得低于 15MB/s。

7.1.6 起飞前，操作人员应查看自检指示灯是否正常，观察自检声音是否正常。

- 7.1.7 起飞前，检查无人机的云台机动性能是否良好，检查拍照功能是否良好，检查无人机飞行模式是否处于“GPS 增稳模式”，确定无人机 GPS 搜星效果大于 15 颗，检查无人机电子陀螺仪是否正常工作。
- 7.1.8 将飞机解锁，此时旋翼以相对低速旋转，观察是否存在电机异常、机身振动异常。如有异常，应立即关闭无人机，并将无人机送回管理班组进行进一步检查。
- 7.1.9 若发生环境恶化或其他威胁无人机飞行安全的情况时，应停止本次作业；若无人机已经起飞，应立即采取措施，控制无人机返航、就近降落，或采取其他安全策略确保无人机安全。
- 7.1.10 无人机在精细化巡检及红外测温作业时需要近距离拍摄，因此需要关闭无人机的避障功能。

7.2 自主巡检路径选择

- 7.2.1 对于主线上的杆塔采用单线飞行的方式，即从 A 号杆塔起飞，在 B 杆塔处降落，形成 A-B 的路径。
- 7.2.2 对于支线上的杆塔采用往复飞行的方式，即从主干分支点处起飞，巡检完成后飞回主干分支点降落，形成 A-A 的路径。
- 7.2.3 飞行路径必须完成现场规划路径验证后方可进行精细化自主巡检应用。
- 7.2.4 在进行多组路径组合时需要对路径连接点的飞行路径进行确认，前后连接点均需至少高于设备顶部 5m。

7.3 自主巡检过程管理

- 7.3.1 自主巡检过程应记录无人机飞行轨迹数据和无人机第一视角视频数据，以备作业过程中发生故障的后评估。
- 7.3.2 无人机轨迹数据记录评率不低于 2 秒/次，留存无人机巡检过程的视频数据，视频分辨率不低于 720。
- 7.3.3 精细化巡检过程中现场应配备至少 1 名无人机系统驾驶员，在起飞和返航过程中手持无人机控制器进行视距内辅助安全保障，应急情况下及时接管无人机。
- 7.3.4 飞行作业过程中应配备作业监管人员现场或远程实时视频及飞机姿态监控数据对现场作业情况进行监管和安全提醒。

8 巡检成果管理

8.1 影像数据管理

影像数据包括可见光影像数据、红外影像数据和巡检视频数据，具体成果管理要求如下：

- 8.1.1 可见光巡检为主要巡检作业方式，影像及照片数据相对较大，可采用线上或者线下管理方式，但建议采用线上管理方式随巡检任务或线路设备进行归类管理。
- 8.1.2 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，采用文件夹分五个层级管理。
- 8.1.3 为避免数据混乱，巡检作业人员应及时对拍摄的巡检影像及照片数据进行整理和归档，尽量当天拍摄当天完成整理。
- 8.1.4 可见光巡检数据应按照线路名称、杆塔号（区分分支线路）进行整理编号。
- 8.1.5 对于缺陷照片数据需单独列出并进行区分，同步形成巡检作业清单。
- 8.1.6 对于缺陷照片需保持原图片不动，并创建副本文件对缺陷进行标记。
- 8.1.7 缺陷标记时在缺陷图片上应使用醒目颜色绘制方形或圆形圈出缺陷部位，但不在图上对缺陷进行描述。
- 8.1.8 巡检成果影像文件命名及数据分级管理存储规范详见附录 D。

8.2 点云数据管理

- 8.2.1 配电架空线路通道激光点云应保证绝对精度不低于±10cm，通道幅宽宜不低于 20 米。
- 8.2.2 杆塔部分点云密度应不低于 100 点/m²，塔线结构完整，杆塔、绝缘子、导地线及挂点、塔基等部件轮廓完整、清晰，设备部件应不能丢失并完全可见。
- 8.2.3 线路导、地线部件不应连续 1 米以上缺少点云，
- 8.2.4 点云数据应以 las 或 lidata 格式进行存储管理。

9 异常情况处置

9.1 风险处置

- 9.1.1 飞行路径规划或自主巡检作业时，若作业区域天气突变，应及时接管无人机返航或就近降落。
- 9.1.2 自主巡检作业时，若出现航线附近出现其他飞行器时，应及时接管无人机返航或就近降落。
- 9.1.3 自主巡检作业时，若发现无人机姿态异常需及时接管并轻打杆向远离杆塔及人员位置缓慢降落。

9.2 事故处置

- 9.2.1 飞行路径规划或自主巡检作业时，若出现坠机事故，应立即上报并妥善处理无人机残骸以防次生灾害。

附录 A

(资料性)

无人机自主巡检作业流程

配网架空线路无人机自主巡检作业流程见图 A。

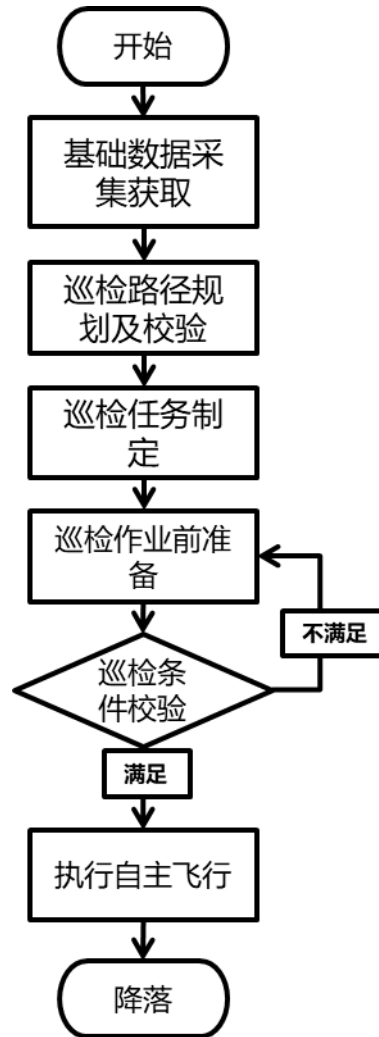


图 A 配网架空线路无人机自主巡检作业流程

附录 B

(资料性)

配网架空线路杆塔自主巡视无人机姿态及拍照成果

配网架空线路自主巡视无人机姿态及拍照成果示意图 B.1 及 B.2。

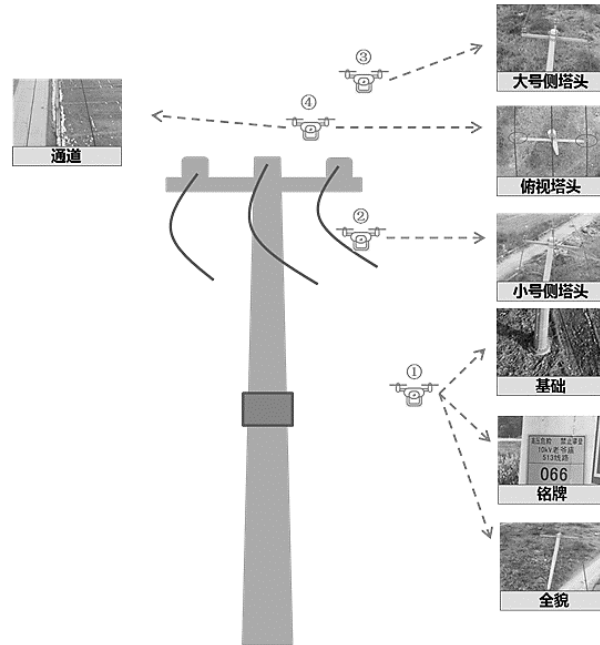


图 B.1 配网架空线路自主巡视无人机姿态及拍照成果（单回）

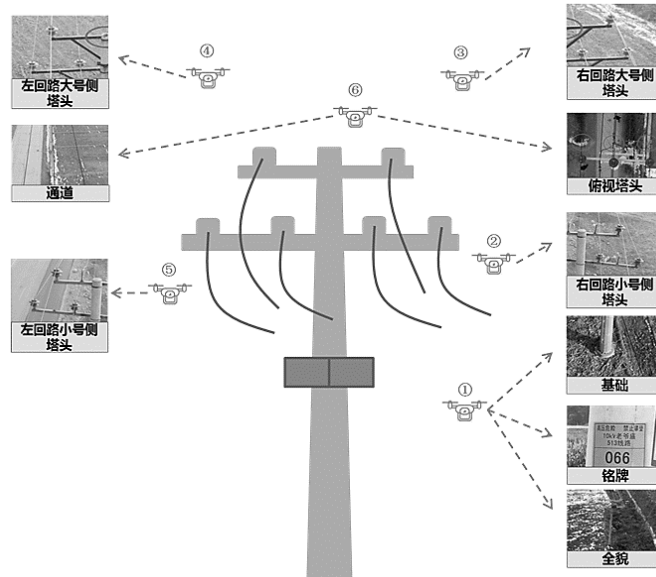


图 B.2 配网架空线路自主巡视无人机姿态及拍照成果（多回）

附录 C

(资料性)

配网架空线路柱上设备自主巡视无人机姿态及要求

柱上设备自主巡视无人机姿态及要求示意图C.1、C.2、C.3。

a). 柱上开关：除拍摄杆塔照片之外，还需斜45°、平视近距离拍摄避雷器和联网开关照片4张。

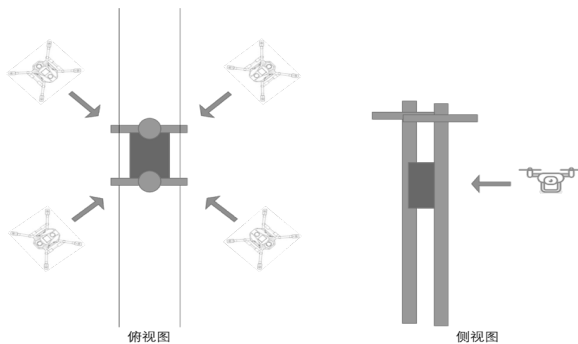


图 C.1 配网柱上开关自主巡视无人机拍照姿态

b). 架空变台：除拍摄杆塔照片外，还需在杆号牌侧斜45°，俯视60°拍摄变压器及杆塔号照片2张。

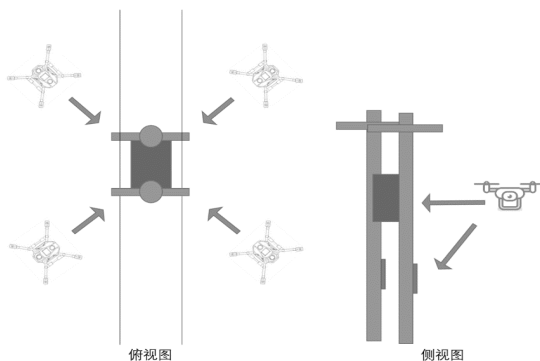


图 C.2 配网架空变台自主巡视无人机拍照姿态

c). 电缆台架：除拍摄杆塔照片外，还需斜45°、平视拍摄塔中部的断路器、刀闸等设备照片4张。

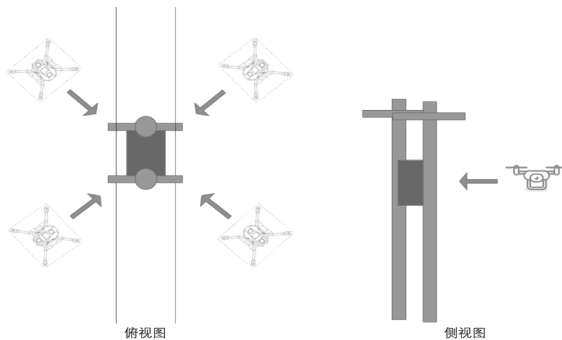


图 C.3 配网电缆台架自主巡视无人机拍照姿态

附录 D

(资料性)

巡检数据分级管理文件命名规范

架空配网线路无人机自主巡检数据分级管理文件示意图 D。

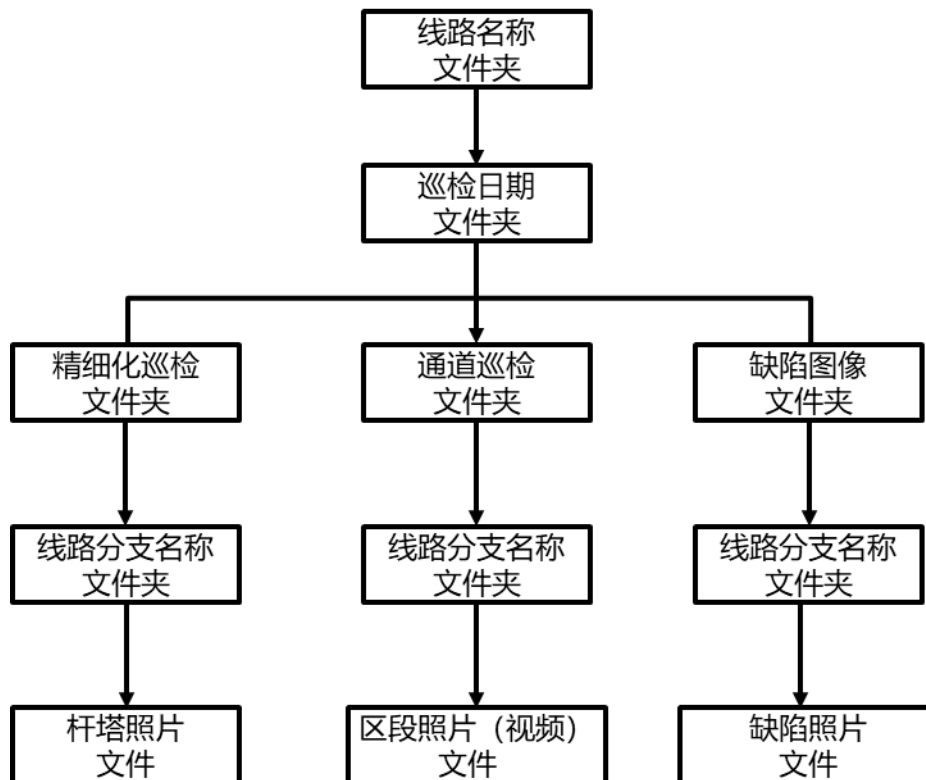


图 D 架空配网线路无人机自主巡检数据分级管理文件夹示意图

第一级文件夹：以“线路名称”命名，例如：10kV某某线。

第二级文件夹：以“日期”命名，例如：2022年4月20日。

第三级文件夹：以“巡检类型”分为两类命名，同时将“缺陷照片”作为第三个文件夹，例如：“精细化巡检，通道巡检，缺陷图像”。

第四级文件夹：每个文件夹下以线路分支名称命名，例如：10kV某某线某支线。

第五级文件：精细化巡检以杆塔号命名，通道巡检以区段号命名，例如：10kV某某线某支线10号，10kV某某线某支线10-20号。