

ICS 83.140.30

CCS G 33

团 体 标 准

T/GSEE 0003—2022

高海拔地区电网多旋翼无人机智能巡检 工作规范

Specification of multi-rotor unmanned aircraft intelligent inspection for
electric network in high altitude area

2022 - 12 - 06 发布

2022 - 12 - 06 实施



广东省电机工程学会 发布

附录 A
(资料性)
高海拔地区多旋翼无人机自动巡检流程

图A.1给出了高海拔地区多旋翼无人机自动巡检作业总体流程。

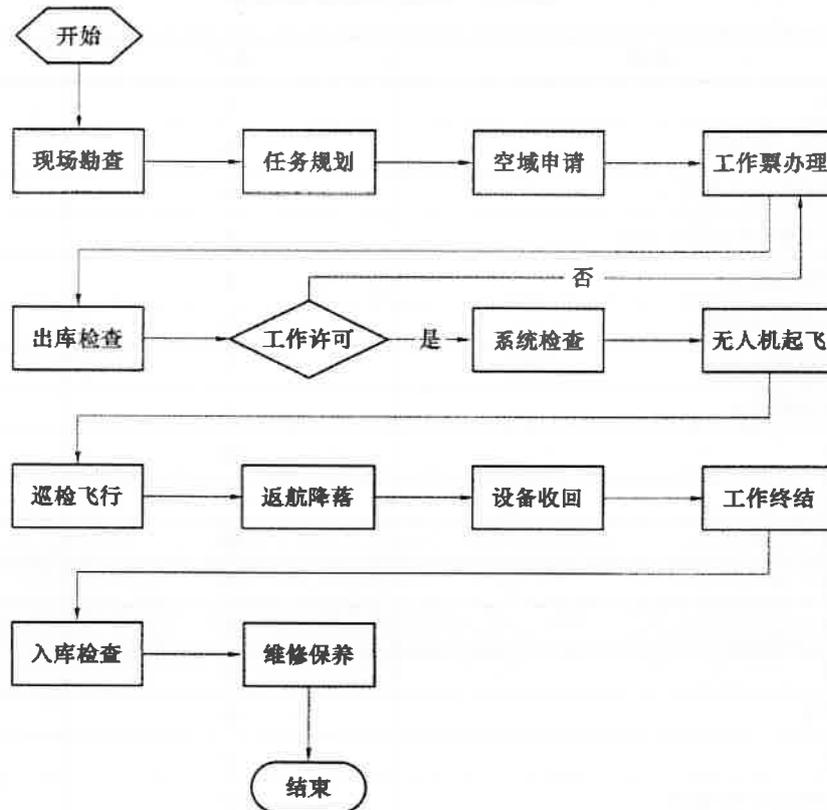


图 A.1 高海拔地区多旋翼无人机自动巡检作业流程

附 录 B
(资料性)
巡检作业所需工器具

巡检作业所需工器具见表B.1。

表 B.1 巡检作业工器具表

序号	名称	单位	数量
1	发电机	台	1
2	机载电池（备用）	块	2
3	任务载荷电池（备用）	块	2
4	电池充电器/恒温充电装置	套	1
5	电池电量检测器	套	按需配置
6	风速风向仪及脚架	台	1
7	激光测距仪	台	1
8	地理坐标测量仪	台	1
9	工作台	张	按需配置
10	笔记本电脑	台	1
11	太阳镜	副	1
12	安全帽	顶	按需配置
13	测频仪	台	1
14	望远镜	台	1
15	对讲系统	套	1
16	工具箱	套	1
17	无人机储运车辆/装置	台	按需配置

参 考 文 献

- [1] DL/T 1482—2015 架空输电线路无人机巡检作业技术导则
-

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 智能巡检系统	2
5 巡检作业要求	4
6 巡检前准备	8
7 巡检模式	9
8 巡检内容	9
9 巡检资料的整理及移交	11
10 异常情况处置	11
附录 A （资料性） 高海拔地区多旋翼无人机自动巡检流程	13
附录 B （资料性） 巡检作业所需工器具	14
参考文献	15
图 A.1 高海拔地区多旋翼无人机自动巡检作业流程	13
表 1 按重量划分的无人机等级	2
表 2 无人机巡检对象可见光数据质量要求	5
表 3 电网无人机巡检对象、巡检内容及任务设备	10
表 B.1 巡检作业工器具表	14

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。

本文件由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司大理局提出。

本文件由广东省电机工程学会归口。

本文件主要起草单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司大理局、广州中科智云科技有限公司、中国南方电网有限责任公司广东电网公司、广东省标准化研究院。

本文件主要起草人：张建康、杨扬、韩玉康、龚天森、邱有强、罗远峰、王电处、王继明、王元军、郑武略、高晗、马义刚、张华晟、马创、李俊、符远征、李燕雄、刘维、刘正坤、张凡、洪怀玉、王丛、李国强、林子翔、白承宗。

高海拔地区电网多旋翼无人机智能巡检工作规范

1 范围

本文件规定了高海拔地区电网多旋翼无人机智能巡检系统组成、巡检作业要求、巡检前准备、巡检模式、巡检内容、巡检资料的整理及移交、异常情况处置等。

本文件适用于在1 500 m以上高海拔地区采用多旋翼无人机对交直流架空输电线路、架空配电线路、户外变电站、电缆终端场站及通道等电网场景进行的巡检作业。

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/T 26859 电业安全工作规程 电力线路部分
DL/T 741 架空输电线路运行规程
DL/T 1578 架空输电线路无人直升机巡检系统
HB 8566 多旋翼无人机系统通用要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多旋翼无人机智能巡检 multi-rotor unmanned aircraft intelligent inspection

利用多旋翼无人机搭载可见光、红外、紫外、激光雷达等传感器，在全球导航卫星系统（GNSS）、惯性导航系统（INS）等组合导航技术的支持下，按照预先规划或自主识别的航线以及选定的巡检模式自动对规定的架空线路、户外变电站、电缆终端场站及通道等电网场景开展巡视和检查。

3.2

无人机机载激光雷达 unmanned aircraft airborne LiDAR

安装在无人机上的，集成激光雷达、GNSS、惯性传感器（IMU）和控制系统等所构成的电子测量综合系统。

3.3

点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

3.4

点云密度 density of point cloud

单位投影面积（平方米）内激光点云的数量。

3.5

特征点 feature points

在点云、影像中易于识别选取的地物角点、线状地物交叉点等。

3.6

点云采集 **point cloud scanning**

无人机通过搭载可见光相机、激光雷达等设备，或采用地面测量设备在电网设备周围采集可见光、激光点云等数据，生成能够真实反映电网设备及环境的三维点云模型。

3.7

降噪 **denoise**

去除点云中由于外界因素（如震动、烟雾、气体等）、三维激光扫描仪本身的因素造成的噪声点的过程。

3.8

实时动态测量 **real time kinematic; RTK**

通过全球卫星导航定位技术与数据通信技术相结合的载波相位实时动态差分定位技术，能够实时地提供测站点在指定坐标系中的三维定位结果的测量方式。

3.9

精细化巡检 **fine inspection**

无人机通过搭载可见光、红外等传感器对电网设备本体及附属设施开展近距离巡视和检测。

3.10

通道巡检 **channel inspection**

无人机通过搭载可见光相机对线路及走廊通道进行快速概要的巡检，巡检对象包括导地线异物、杆塔异物、通道内植被、违章建筑、违章施工、通道环境等。

4 智能巡检系统

4.1 组成

智能巡检系统一般由多旋翼无人机平台、任务载荷、综合保障模块、三维航线规划系统、无人机地面控制系统等分系统组成：

- 多旋翼无人机平台：一般由多旋翼无人机（以下简称“无人机”）、通信系统、控制单元组成，根据航线开展飞行任务；
- 任务载荷：主要为任务设备，为搭载在无人机上的完成指定检测、采集、记录等任务的设备或装置，如可见光检测设备（包括可见光照相机和可见光摄像机）、红外检测设备、紫外检测设备、激光雷达等；
- 综合保障模块：一般包括供/充电设备、专用工具、备品备件和储运车辆等设备及工具，保障无人机智能巡检系统正常工作；
- 三维航线规划系统：负责对无人机智能巡检航线进行规划；
- 无人机地面控制系统：负责执行现场智能巡检作业。

4.2 无人机分类

无人机按重量分为轻型、小型、中型、大型无人机，如表1所示。

表 1 按重量划分的无人机等级

级别	空机重量/kg	最大起飞重量/kg
轻型	0.25<空机重量≤4	0.25<最大起飞重量≤7

小型	4<空机重量≤15	7<最大起飞重量≤25
中型	15<空机重量≤116	25<最大起飞重量≤150
大型	116<空机重量	150<最大起飞重量
注：空机重量为无人机机体、电池等固态装置重量总和，不含任务载荷的重量。		

4.3 功能要求

4.3.1 无人机平台

- 4.3.1.1 大型无人机巡检系统应能同时搭载多种传感器进行输电线路巡检，应具备长距离的可见光、红外设备巡检能力，可进行长距离的巡检工作。
- 4.3.1.2 中型无人机应能搭载可见光或红外设备巡检。
- 4.3.1.3 轻、小型无人机巡检系统应能搭载用于较短长度线路或者单个杆塔的可见光或红外设备巡检。
- 4.3.1.4 通信系统应具备可靠的数据传输系统和图像传输系统。
- 4.3.1.5 控制单元应能按照本文件第7章的规定设置无人机在不同巡检方式、方法及模式时的飞行轨迹和飞行控制。
- 4.3.1.6 无人机应能按照设定的巡检方式、方法及模式进行自动飞行。
- 4.3.1.7 多旋翼无人机宜装载飞行指示灯、机载追踪器和飞行记录仪。
- 4.3.1.8 无人机应具备多向避障功能。
- 4.3.1.9 无人机应具备飞行坐标、速度、高度、飞行姿态、任务荷载（包含相机参数、云台姿态角度等）、飞行控制系统（包含操控记录、飞行信息等）的状态信息记录存储、导出及分析工具。
- 4.3.1.10 无人机应具备异常情况报警和记录功能，包动力电池、传感器、任务设备、无人机姿态、RTK定位、飞行控制等故障和异常。
- 4.3.1.11 无人机应具备离线执行任务功能。

4.3.2 任务载荷

- 4.3.2.1 任务载荷可根据需求在地面配备显控设备。
- 4.3.2.2 可见光相机传感器尺寸应不小于1/2.3 inch，视频拍摄应不低于1 080 p，图像拍摄应不低于1 200万像素，应配备三轴无刷云台，宜具备光学变焦功能。
- 4.3.2.3 红外热成像仪像素应不低于640*480，高增益测温范围应满足-40℃~200℃的区间，测温精度误差应小于±2℃或±2%，配备三轴无刷云台。
- 4.3.2.4 激光雷达的单次回波点频不低于700 000点/s，有效射程不低于100 m(@ρ≤20%反射率)，测距精度不低于3 cm(@100 m航高)。视场角不小于60°，回波次数不小于二次。

4.3.3 综合保障模块

- 4.3.3.1 大、中型无人机巡检系统需配备专用储运车辆/装置，轻、小型无人机巡检系统可根据需要配备储运车辆/装置。
- 4.3.3.2 需在户外对无人机进行充电时，综合保障模块宜具备电池恒温充电装置。
- 4.3.3.3 户外低温作业时，宜配备无人机机身保温设备。
- 4.3.3.4 可根据实际作业需要选配无人机智能机巢进行作业。

4.3.4 三维航线规划系统

4.3.4.1 三维航线规划系统所涉及的各类矢量图层、高精度点云、目标航点应采用现行国家平面坐标系统和高程系统，平面坐标系统采用 CGCS2000 或 WGS84 坐标系，高程系统应采用大地高（椭球高），原始测量观测采用协调世界时（UTC），输出记录采用北京标准时间（BST），同一工程的平面坐标系统、高程坐标系统应保持一致。

4.3.4.2 应支持点云、电网设备坐标数据、电网设备资产台账数据、航线数据、电子围栏数据综合展示、导入导出等功能。

4.3.4.3 应支持自定义三维电子围栏。

4.3.4.4 应支持手动或自动设置航点、辅助点，应包含拍摄点三维坐标、拍摄距离、相机俯仰角、飞机航向角、相机焦距、安全校验距离等参数。

4.3.4.5 应支持航线三维预览及安全碰撞检测。

4.3.5 无人机地面控制系统

4.3.5.1 宜具备起降点、危险点采集存储功能，可通过地面站导航（驾车或步行）至起降点。

4.3.5.2 宜具备卫星地图、天气预报等功能。应具备中断巡航作业功能，应具备任务断点续飞、自动返航功能。应具备显示无人机各类导航与避障传感器的工作状态（GNSS、惯导、地磁传感器、视觉、超声波、红外等），以及动力电池、遥控器、地面站、相机存储容量等基本信息功能，存在异常时应能告警。

4.3.5.3 无人机姿态、RTK 定位、飞行控制、电池电压等信号模块或部件发生故障时，飞行控制系统应报警提示，出现影响飞行安全问题应停止继续作业。

4.3.5.4 应具备解析加密航线、坐标数据功能。

4.3.5.5 宜支持设置自定义 RTK 网络服务器地址、端口、服务类别、账户信息。

4.3.5.6 宜支持倾斜摄影、通道巡检、航空测绘等航线规划。

4.3.5.7 宜支持任务回放功能，可查看飞行影像数据、飞行轨迹等信息。

4.4 无人机性能要求

4.4.1 高海波环境适应性要求

4.4.1.1 在高海拔 1 500 m 以上、温度低于 0 °C 的高原地区，无人机搭载任务载荷的飞行续航能力应不低于 30 min。

4.4.1.2 在高海拔 1 500 m 以上、温度低于 0 °C 的高原地区，无人机机身宜具备自恒温功能，在雨雪环境下飞行时机身及机翼无覆冰。

4.4.1.3 无人机在瞬时风速不大于 12 m/s 环境条件下应能正常稳定工作，正常作业悬停时，无人机应与悬停点的水平偏移不大于 1.5 m、标准差不大于 0.75 m，垂直偏移不大于 3 m、标准差不大于 1.5 m。

4.4.1.4 在空旷无遮挡区、干扰域作业，无人机的有效控制及图像传输距离应大于 4 km。

4.4.1.5 非差分无人机飞行航迹偏差应小于 5 m，悬停控制水平偏差小于 2 m，垂直偏差小于 1 m。

4.4.1.6 用于精细化巡检的无人机应具备 RTK 定位功能，水平方向精度应优于 1.5 cm+1 ppm，垂直方向应优于 2 cm+1 ppm。

4.4.2 无人机其他性能要求

无人机其他性能应符合 DL/T 1578 和 HB 8566 的要求。

5 巡检作业要求

5.1 作业人员要求

- 5.1.1 作业人员均应具有高海拔电网设备运行维护工作经验，熟悉航空、气象、地理等必要知识，掌握 DL/T 741 有关专业知识，并熟悉 GB/T 26859 的相关规定。
- 5.1.2 操作人员应熟悉无人机巡检作业方法和技术手段，通过相应机型的操作培训，考试合格后持证上岗。
- 5.1.3 作业人员在身体不佳或服用影响安全作业的有药物、酒精等情况下禁止飞行作业。

5.2 点云数据采集要求

5.2.1 输配电线路设备

- 5.2.1.1 35 kV 及以上输电线路点云宜使用无人机或载人机搭载激光雷达采集，10 kV~20 kV 配电线路宜使用无人机搭载激光雷达或者倾斜摄影相机采集。
- 5.2.1.2 110 kV 以下等级有效点云密度应大于 50 点/m²，110 kV 及以上等级有效点云密度应大于 70 点/m²，应完整覆盖设备本体、交叉跨越、植被等地表信息，杆塔、绝缘子、导地线及挂点、杆塔轮廓应清晰。
- 5.2.1.3 点云平面和高程绝对精度中误差应小于 15 cm，平面和高程相对精度中误差应小于 10 cm。
- 5.2.1.4 110 kV 以下等级输配电线路点云覆盖地面带宽应大于 50 m，110 kV 及以上等级应大于 100 m。
- 5.2.1.5 500 kV 及以上线路点云数据宜每 3~5 年整体更新一次，500 kV 以下线路宜每 2~3 年整体更新一次。线路通道内新增建构筑物、交叉跨越及设备本体改扩建后，应进行局部更新。

5.2.2 场站设备

- 5.2.2.1 110 kV 以下等级场站设备宜采用无人机搭载激光雷达或倾斜摄影相机采集点云，110 kV 及以上等级场站设备宜采用地面架站式激光雷达加无人机搭载激光雷达组合方式采集点云。合理设计站位或航线，确保数据完整无遗漏。
- 5.2.2.2 点云密度应大于 300 点/m²，场站各种设备轮廓应清晰。
- 5.2.2.3 点云平面和高程绝对精度中误差应小于 10 cm，平面和高程相对精度中误差应小于 7 cm。
- 5.2.2.4 场站局部区域发生变化后应及时进行扫描更新。

5.3 巡检数据采集要求

5.3.1 可见光数据要求

- 5.3.1.1 作业人员应保证所拍摄照片对象覆盖完整、清晰度良好、亮度均匀。拍摄过程中，尽量保证被拍摄主体处于相片中央位置，所占尺寸为相机取景框的 60% 以上，且处于清晰对焦状态。各部位质量要求如表 2 所示。
- 5.3.1.2 条件允许时，拍摄完应立即回看拍摄照片质量，如有对焦不准、曝光不足或过曝等质量问题，应立即重新拍摄。

表 2 无人机巡检对象可见光数据质量要求

序号	拍摄部位	拍摄内容	照片质量要求	备注
1	杆塔号牌	杆塔号牌全貌（双回线路应分别拍摄）	可清晰辨识文字内容	
2	杆塔基面及塔腿	各塔腿、基面及塔腿全貌	可清晰辨识接地引下线脱落或断裂，保护帽及基础破损、贯穿性裂纹	可在保证质量要求的前提下分多张拍

序号	拍摄部位	拍摄内容	照片质量要求	备注
			等异常	摄
3	塔头	塔头全貌	可清晰辨识塔头明显异物和塔材缺失	
4	塔身	塔身全貌	可清晰辨识塔身明显异物和塔材缺失	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
5	全塔	杆塔全貌	可清晰辨识全塔明显异物和塔材缺失	
6	各绝缘子串导线端连接点	连接点所有螺栓及金具、均压环	可清晰辨识销钉	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
7	各绝缘子串塔身挂点	挂点所在塔材；挂点所有螺栓及金具；与挂点连接的第一片瓷瓶整体	可清晰辨识销钉	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
8	各绝缘子整串	绝缘串导线端连接点至塔身挂点整体	可清晰辨识每一串、每一片瓷瓶及其钢帽的破损、脏污及裂纹	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
9	各地线或光纤金具串	地线或光纤金具串以及与塔身连接点所包含的所有金具、螺栓	可清晰辨识销钉	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
10	各防震锤(若有)	每一根导地线的防震锤及与导地线连接点的金具、螺栓	可清晰辨识表面裂纹、销钉	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
11	各引流线	每根引流线全貌	可清晰辨识引流线断股	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄,但其中一张必须是全貌
12	附属设施	每只与导地线连接的避雷器等附属设施(不含在线监测装置)及与塔身、导地线连接点	可清晰辨识附属设施本体及与塔身、导地线连接点的销钉级部件	可在保证质量要求的前提下分多张拍摄
13	线路通道	从本杆塔从最下层导线高度顺线路方向,分别拍摄大、小号侧线路通道全貌	能清楚辨识通道内植被、地形、建构物、交叉跨越等情况;照片中至少包含拍摄方向的下一基杆塔	
		层导线高度顺线路方向,分别拍摄大、小号侧线路通道全貌	被、地形、建构物交叉跨越等情况;照片中至少包含拍摄方向的下一基杆塔	

5.3.2 红外数据要求

5.3.2.1 作业人员应保证所拍摄照片对象覆盖完整、清晰度良好、亮度均匀。拍摄过程中,须尽量保证被拍摄主体处于相片中央位置,所占尺寸为相机取景框的60%以上,且处于清晰对焦状态。

5.3.2.2 拍摄背景应避免太阳，地面等复杂环境。

5.4 安全要求

5.4.1 作业执行单位应对无人机进行投保，应至少包含机身险和第三方责任险。

5.4.2 作业执行单位应熟悉巡检线路情况。

5.4.3 作业所用无人机巡检系统应通过试验检测。

5.4.4 执行作业任务前，应按照有关流程办理空域申请手续。

5.4.5 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、核电站、无线电干扰等可能影响无人机飞行及禁飞的区域。无人机不宜从变电站（所）、电厂、高速公路、通航河流、铁路上空穿越。

5.4.6 无人机起、降点应与输电线路和其他设施、设备保持足够的安全距离，且风向有利，具备起降条件。

5.4.7 工作地点、起降点及起降航线上应避免无关人员干扰，必要时可设置安全警示区。

5.4.8 作业现场应做好灭火等安全防护措施，严禁吸烟和出现明火。带至现场的油料应单独存放。

5.4.9 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。

5.4.10 加油和放油操作应在非雷雨天气、无人机巡检系统断电、发动机熄火以后进行，操作人员应使用防静电手套。

5.4.11 作业前，无人机应预先设置紧急情况下的安全策略。

5.4.12 作业时，作业人员之间应保持联络畅通。

5.4.13 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，不应站在无人机巡检航线的正下方。

5.4.14 无人机姿态、RTK 定位、飞行控制、电池电压等信号模块或部件发生故障时，飞行控制系统应报警提示，出现影响飞行安全问题应停止继续作业。

5.5 气象要求

5.5.1 作业宜在良好天气下进行。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作业。

5.5.2 起飞前，应确认现场风速符合该机型作业要求的范围。

5.5.3 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的性能及气象情况判断是否开展作业。

5.6 维护保养要求

5.6.1 作业后，作业人员应如实记录无人机状态和作业情况。

5.6.2 无人机巡检系统应妥善保管，设备电池应定期进行充、放电工作，确保电池性能良好。

5.6.3 应严格按照无人机正常周期进行零件维修更换和大修保养，定期对无人机进行检查、清洁、润滑紧固，确保设备状态正常。

5.6.4 无人机如长期不用，应定期启动，检查设备状态。如有异常现象，应及时调整、维修。

5.7 检测设备校准

5.7.1 无人机指南针校准

5.7.1.1 更换新地区飞行，巡检前应对无人机指南针进行校准。

5.7.1.2 无人机出现飞行异常，应对无人机相应异常部位的传感器等元件进行校准。

- 5.7.1.3 在无人机发生故障或缺陷并修复后，应对无人机指南针进行校准。
- 5.7.1.4 无人机在长时间不使用或长期在电磁干扰环境飞行后，应对无人机指南针进行校准。
- 5.7.1.5 应定期对无人机指南针进行校准，每年应不少于一次。
- 5.7.1.6 根据规定其他需要进行校准的情况。
- 5.7.1.7 对无人机指南针的校准应符合相关的校准规范。

5.7.2 检测设备校准

- 5.7.2.1 更换有明显气候环境差异的地区飞行，巡检前应对检测设备进行校准。
- 5.7.2.2 检测设备出现数据异常，应对其进行校准。
- 5.7.2.3 检测设备发生故障或缺陷并修复后，应对其进行校准。
- 5.7.2.4 检测设备在长时间不使用后，应对其进行校准。
- 5.7.2.5 其他规定需要进行校准的情况。
- 5.7.2.6 对检测设备的校准应符合相关设备的校准规范。

6 巡检前准备

6.1 人员准备

- 6.1.1 应根据巡检任务和所用机型合理配置人员，轻型、小型机需操作人员 1~2 名，中型机需操作人员 2~3 名，大型机需操作人员 3~4 名。
- 6.1.2 作业人员应确保身体健康，精神状态良好，作业前 8 h 及作业过程中严禁饮用任何酒精类饮品。
- 6.1.3 作业前应对全体人员进行安全、技术交底，交代工作内容、方法、流程及安全要求，并确认每一名人员都已知晓。

6.2 作业准备

- 6.2.1 巡检前，作业人员应明确无人机巡检作业流程（见附录 A），进行现场勘查，确定作业内容和无人机起、降点位置，了解巡检线路情况、海拔高度、地形地貌、气象环境、植被分布、所需空域等，并根据巡检内容合理制定巡检计划。
- 6.2.2 若开展无人机智能巡检，应根据巡检内容，进行不少于一次的预演。
- 6.2.3 计划外的作业，必要时应进行现场勘查。
- 6.2.4 作业前，作业执行单位应向空管部门报批巡检计划，履行空域申请手续，并严格遵守相关规定。开展紧急巡检时，应办理临时作业申请。
- 6.2.5 作业人员应提前了解作业现场当天的天气情况，决定能否进行作业。起飞前，应申请放飞许可。
- 6.2.6 作业人员应在作业前准备好工器具及备品备件等物资（见附录 B），完成无人机巡检系统检查，确保各部件工作正常。
- 6.2.7 作业人员应仔细核对无人机所需电池电量充足，各零部件、工器具及保障设备携带齐全，办理出库流程后方可前往作业现场。
- 6.2.8 作业前，应核实巡检线路名称和杆塔号无误，并再次确认现场天气、地形和无人机状态适宜作业。
- 6.2.9 起飞前，操作人员应逐项开展设备检查、系统自检、航线核查，确保无人机处于适航状态。
- 6.2.10 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保证安全。

7 巡检模式

7.1 精细巡检

7.1.1 精细巡检适用于首次开展无人机巡检的电网场景、存在缺陷或异常的电网场景，以及需要开展精细化巡检的电网场景。

7.1.2 精细巡检主要对象为设备本体及附属设施，具体巡检内容见表 3。其他电网场景可根据需要开展精细巡检。

7.1.3 精细巡检要求利用可见光、红外、紫外等传感器对线路设备、设施进行详细的档中巡检和杆塔巡检。

7.1.4 应通过点云或者三维模型进行航线规划设计。

7.1.5 架空输电线路拍照点应按照 7.1.2 规定的内容标记关键拍摄部位。

7.1.6 杆塔间飞行时，宜设置相应航点进行通道拍摄或导地线拍摄，影像重叠度不低于 30% 或采用视频巡检。

7.2 通道巡检

7.2.1 视搭载的传感器不同，通道巡检分为扫描巡检和快速巡检：

——扫描巡检：要求利用三维激光扫描仪对线路设备及通道环境进行扫描检查，获取三维点云数据，主要巡检对象包括通道下方树木、违章建筑、违章施工、通道环境等，适用于对线路通道安全测距以及线路走廊整体三维建模；

——快速巡检：要求利用可见光相、红外、紫外等传感器对线路设备及线路走廊进行快速检查，主要巡检对象包括导地线异物、杆塔异物、通道下方树木、违章建筑、违章施工、通道环境等，适用于没有特殊运维需要线路的巡检。

7.2.2 通道巡检宜采用点云数据、三维模型或杆塔坐标信息进行航线规划。

7.2.3 通道巡检的可见光影像旁向重叠度不低于 30%、航向重叠度不低于 50%，无人机距离塔顶高度宜在 20 m~60 m 之间。

7.3 故障巡检

7.3.1 线路故障后，根据故障信息，确定重点巡检区段、部位和巡检内容，采用无人机进行巡检作业和精细检查。

7.3.2 故障巡检主要是查找或确认故障点，检查设备受损和其他异常情况。

7.4 特殊巡检

7.4.1 在特殊情况中(如发生地震、泥石流、山火、严重覆冰等自然灾害后)或根据特殊需要，采用无人机进行灾情检查和其他专项巡检

7.4.2 灾情检查主要是对受灾区域内的输电线路设备状态和通道环境进行检查和评估。

7.4.3 其他专项巡检主要是针对专项任务，搭载相应设备对架空输电线路进行巡检。

8 巡检内容

8.1.1 无人机巡检时根据线路运行情况、巡检要求，选择搭载可见光、红外、紫外、激光雷达等传感器对电网场景进行巡检。

8.1.2 无人机巡检对象主要包括设备本体、附属设施、通道及电力保护区三大部分，具体巡检对象、巡检内容以及巡检任务设备如表3所示。表3所列巡检内容和巡检手段可单独选用，也可以根据需要组合选用。

表3 电网无人机巡检对象、巡检内容及任务设备

巡检对象		巡检内容	巡检任务设备
设备本体	地基与基面	回填土下沉或缺土、水淹、冻胀、堆积杂物等	可见光相机/摄像机
	杆塔基础	明显破损、酥松、裂纹、露筋等； 基础移位、边被保护不够等	
	杆塔	杆塔倾斜、塔材变形、严重锈蚀； 塔材、螺栓、脚钉缺失，土埋塔脚； 混凝土杆未封杆顶、破损、裂纹、爬梯变形等	
	接地装置	接地体断裂、严重锈蚀、螺栓松脱； 接地体外露、缺失，连接部位有雷电烧痕等	
	绝缘子	伞裙破损、锁紧销缺损，绝缘子串严重倾斜； 铁幅裂纹、断裂，钢脚严重锈蚀或蚀损、有放电痕迹等	可见光相机/摄像机、紫外成像仪
		严重污秽	
		绝缘子温度异常	红外热像仪
	导线、地线、 引流线、OPGW	散股、断股、损伤、断线	可见光相机/摄像机、红外热像仪、紫外成像仪
		放电烧伤、严重锈蚀，悬挂漂浮物、覆冰； 舞动、风偏过大等	可见光相机/摄像机
		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	可见光相机/摄像机、激光扫描仪
	线路金具	线夹断裂、裂纹、磨损、销钉脱落、严重锈蚀；均压环、屏蔽环烧伤； 防振颌跑位、脱落、严重锈蚀、阻尼线变形、烧伤； 间隔棒松脱、变形或离位、悬挂异物； 联板、连接环、调整板损伤、裂纹等	可见光相机/摄像机
		线夹、接续管、耐张管、引流板等异常发热	红外热像仪
线夹、均压环、屏蔽环异常放电		紫外成像仪	
附属设施	防雷装置	线路避雷器异常，计数器受损、引线松脱； 放电间隙变化、烧伤等	可见光相机/摄像机
	防鸟装置	固定式：破损、变形、螺栓松脱等； 活动式：动作失灵、褪色、破损等； 电子、光波、声响式：损坏	
	监测装置	缺失、损坏、断线、移位	
	航空警示器材	高塔警示灯、跨江线彩球等缺失、损坏、失灵	
	防舞防冰装置	缺失、损坏等	
	全介质自承式光缆	损坏、断裂、弛度变化	

巡检对象		巡检内容	巡检任务设备
	(ADSS)		
	杆号、警告、防护、指示、相位等标志	缺失、损坏、字迹或颜色不清、严重锈蚀等	
通道及电力保护区	建(构)筑物	有违章建筑, 导线与之安全距离不足等	可见光相机/摄像机、激光扫描仪
	树木(竹林)	有超高树木(竹), 导线与之安全距离不足等	
	交叉跨越变化	出现新建或改建电力及通信线路、道路、铁路、索道、管道等	
	山火及火灾隐患	线路附近有烟火现象	可见光相机/摄像机、红外热像仪、紫外成像仪
	山火及火灾隐患	有易燃、易爆物堆积等	可见光相机/摄像机
	违章施工	线路下方或保护区有危及线路安全的施工作业等大	
	防洪、排水、基础保护设施	面积坍塌、淤堵、破损等	
	自然灾害	地震、山洪、泥石流、山体滑坡等引起通道环境变化	
	道路、桥梁	巡线道、桥梁损坏等	
	污染源	出现新的污染源或污染加重等	
	采动影响区	出现新的采动影响区、采动区出现裂缝、塌陷对线路影响等	
	其他	线路附近有人放风筝、有危及线路安全的飘浮物、采石(开矿)、射击打靶、藤蔓类植物攀附杆塔	

9 巡检资料的整理及移交

- 9.1 巡检人员应将新发现的建筑等地面设施、鸟群聚集区、空中限制区、人员活动密集区、无线电干扰区、通信阻隔区、不利气象多发区等信息进行记录更新。
- 9.2 巡检作业完成后, 巡检数据应至少经 1 名人员核对。数据处理主要包括备份、汇总、分析等。
- 9.3 巡检作业完成后, 作业人员应填写无人机巡检系统使用记录单, 交由工作负责人确认。
- 9.4 如有疑似但无法判定的缺陷, 运行维护单位应及时核实。
- 9.5 巡检数据应妥善处理并至少保存 2 年。

10 异常情况处置

10.1 设备故障处置

- 10.1.1 巡检作业时, 若无人机通信链路长时间中断, 且在预计时间内仍未返航, 应根据无人机失去联系前最后的地理坐标和机载追踪器发送的报文等信息及时寻找。
- 10.1.2 巡检作业时, 任务设备出现故障无法恢复, 且影响巡检任务作业时, 应立即中止本次作业, 操作无人机返航。
- 10.1.3 巡检作业时, 若无人机出现失去动力等机械故障, 应控制无人机在安全区域紧急降落。
- 10.1.4 巡检作业时, 若无人机发生坠机事故, 应立即上报并由保险公司负责进行处理。

10.2 特殊工况处置

10.2.1 巡检作业时，若作业区域天气突变，应及时控制无人机返航或就近降落，以确保安全。

10.2.2 巡检作业时，若作业区域出现其他飞行器，应及时评估巡检作业的安全性，在确保安全后方可继续执行巡检任务，否则应采取避让措施。

10.2.3 巡检作业时，若作业人员出现身体不适等情况，应及时控制无人机安全降落并使用替补作业人员；若无替补作业人员，则终止本次作业。