

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—2026

公路路面无人机巡查技术要求

Technical requirements for unmanned aircraft of
highway pavement inspection

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2026-3-10)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 总体要求	5
5 无人机巡查系统组成和要求	5
6 巡查技术要求	9

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。

本文件由中国交通运输协会智慧物流专业委员会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：内蒙古九天数字科技有限公司、中国民航科学技术研究院、广西交通投资集团南宁高速公路运营有限公司、南京北部路桥建设有限公司、雄安交投工程养护科技有限公司、河北冀翔通电子科技有限公司、吉林大学交通学院、交控航空科技（深圳）有限公司、陕西交控飞行技术有限公司、武汉光谷卓越科技股份有限公司、成都交投信息科技有限公司、广州市交通运输研究院有限公司、福州通城乡发展（福建）集团有限公司、海南省交通规划勘察设计研究院有限公司、广西交通投资集团钦州高速公路运营有限公司、中国交通信息科技集团有限公司、宁夏交通科学研究所有限公司、铁塔智联技术有限公司、吉林省寰旗科技股份有限公司、招商新智科技有限公司、新昌天姥山航空研究院、西安市航空基地中汇航空科技有限公司、北京卓视智通科技有限责任公司、武汉东沃慧达电脑有限公司、广东智视云控科技有限公司、浙江建德通用航空研究院、深圳亿维锐创科技股份有限公司、辽宁陆吾科技有限公司、山西交通控股集团有限公司低空经济发展分公司、江苏正方交通科技有限公司、杭州交投数智工程检测有限公司、卡斯柯信号有限公司。

本文件主要起草人：程昊、邹晓、常赫、苏志勇、王志磊、朱丹明、秦宇、彭少龙、吴国荣、黄绚、王法波、邵招娣、殷荣华、李剑文、杨祥、张伟、张学龙、黄建辉、平刚、段立桥、贾慧超、徐娜、朱凯凯、别一鸣、王琳虹、李洪涛、周莉莉、倪应谦、谢金华、陈运金、梁天林、陆启进、刘超、陈磊、张国宏、李安琦、张艺莹、曹民、卢毅、操丽、彭园、杨清勇、赵茂珂、郑植、董文安、刘兆强、陈斌、苏晖阳、钟晓夏、琚晓冬、陈致远、张东昌、卢延基、覃周、王晶、李亚楠、杨军、陈晓炜、陈欣、刘桂灵、康文杰、杨宏斌、谭坤佑、许轶伦、刘田影、赵琪、吴大勇、程丽、李宁才、金晨、易虹、姜一川、吴柯维、何晓罡、蒲红东、陈红君、周国红、徐亮、徐欢、王齐、许航、孙强、黄荣华、杨晋磊、胡洋、钟学良、王宗发、陈俊杰、姜雪娇。

公路路面无人机巡查技术要求

1 范围

本文件规定了采用无人机及所搭载的任务载荷设备对公路路面开展智能巡查的总体要求、无人机巡查系统组成和要求、巡查技术要求等。

本文件适用于各级沥青混凝土公路的无人机巡查作业，其他道路可参照执行。

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。

无人驾驶航空器飞行管理暂行条例

CCAR-92 民用无人驾驶航空器运行安全管理规则

JTG 5110 公路养护技术标准

低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南（试行）

GB/T 42590 无人驾驶航空器系统安全要求

GB/T 43570 民用无人驾驶航空器系统身份识别 总体要求

GB 46750 民用无人驾驶航空器系统运行识别规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 公路路面无人机巡查

采用无人机搭载任务载荷采集路面病害信息，对公路路面开展日常巡查、应急巡查。

3.2 地面辅助作业设备

由主控模块、电气模块、通信模块、监控模块、起降平台、气象模块等组成，能够支持无人机起降、自动充电/换电、数据回传等功能的综合性设施，也称为无人机机巢。

3.3 无人机运行识别

无人机在运行中通过符合要求的通信链路，主动发送民用无人驾驶航空器系统身份信息、系统属性及运行相关数据等运行识别信息，由接收系统接收并发送至数据处理系统进行处理的过程，包括运行识别发送段，运行识别通信链路段和运行识别接收段三部分。

3.4 自动巡查

无人机飞行控制系统具备自主规划航线的功能，支持一键自主巡查作业。

3.5 手动巡查

由无人机操控员人工控制无人机开展公路巡查作业。

3.6 精细巡查

对日常巡查中发现的潜在病害进行全面细致巡查，以确定公路路面的缺陷或病害级别。

3.7 病害识别

基于无人机任务载荷设备采集的图像或视频数据，识别公路路面表观病害的技术。

3.8 图像尺度因子

物体的真实尺寸与图像中对应物体的像素尺寸之间的比例关系。

3.9 影像重叠率

相邻影像在航向和旁向的重叠比例，包括航向重叠率与旁向重叠率，是保证影像拼接质量成功的关键参数。

4 总体要求

4.1 公路路面无人机巡查是指按照JTG 5110的要求开展日常巡查和应急巡查，采用无人机、搭载任务载荷、配套地面辅助作业设备对公路路面进行巡查，发现病害及外来物，并进行记录和分析。在分析的基础上，对比人工巡查、车辆巡查和历史巡查数据，形成巡查结果作为养护决策依据，优化选择养护方案，为公路科学养护提供智能化方案。

4.2 日常巡查是指按照一定周期采用无人机对公路路面所进行的巡查，及时掌握公路路面表观状态和使用情况，发现并及时处理可能危及通行安全的病害、损毁及其他异常情况而进行的日常性巡视检查，也包括公路防洪、防冰、防雪和防沙能力的定期巡查。

4.3 应急巡查是指对因突发事件造成公路基础设施损毁、交通中断或产生重大安全隐患时，用无人机搭载不同功能任务载荷所进行的线路巡查。

4.4 公路路面无人机巡查是对路面的表面破损或修补状况、路面横向裂缝现场调查作业，巡查内容聚焦沥青混凝土路面破损，包括龟裂、裂缝、松散、沉陷、车辙、坑槽等内容，也适用于路面的积沙、积水、积雪、结冰、遗撒等巡查，其他类型公路或巡查内容等可参照使用。

5 无人机巡查系统组成和要求

5.1 系统组成

5.1.1 公路路面巡查无人机应由无人驾驶航空器系统、任务载荷设备、巡查任务数据管理平台组成。当需要巡查任务自动化、高频次、全天候、高响应、多任务融合时，需配套部署地面辅助作业设备，提供电池快速降温、充电/换电、数据回传巡查任务数据管理平台。

5.1.2 无人驾驶航空器系统由无人机、通信链路、操控台（站）组成，技术参数并应满足公路路面巡查场景要求。

5.1.3 可搭载的任务载荷设备包括可见光相机、红外热成像仪、激光雷达、声学传感器、测距仪等，采集的数据应满足公路巡查场景要求。

5.1.4 巡查任务数据管理平台应至少具备巡检规划、任务执行、数据存储、数据分析、设备管理等功能。

5.1.5 如有以下需求，需在巡查作业中配置实时动态差分定位设备（RTK）提升定位精度、作业效率和安全管理水平：

a) 高精度巡查需求，需厘米级精度，且避免累计误差；

b) 当巡查区域超过无人机系统通信链路有效范围，可通过布设RTK实现广域覆盖；

c) 复杂地形或信号遮挡环境：山区、桥梁、隧道口等区域，通讯信号受限，布设RTK自主网可提供稳定差分信号。

5.2 安全要求

5.2.1 无人机应按照CCAR-92《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》的要求完成实名登记。

5.2.2 采用轻型、小型无人机开展巡查应满足GB/42590-2023的安全质量管理要求；采用中型、大型无人机开展巡查应根据CCAR-92《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》取得适航许可。轻型、小型、中型、大型无人机的定义应符合《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》。

5.2.3 无人机应满足 GB/T 43570-2023的要求，具备身份识别功能。

5.2.4 无人机应满足GB 46750—2025的要求，同时具备广播式运行识别发送功能和网络式运行识别发送功能。

5.3 选型要求

根据无人机的续航时间、最大航程、飞行速度、操纵模式和智能化识别等性能参数选择相应的无人机类型：

a) 巡检时间小于20分钟、巡查航程小于20公里、对路面进行详细的日常巡查，宜选用小型多旋翼无人机；

b) 巡检时间大于20分钟、巡查航程大于20公里，对路面进行粗略的日常巡查，宜选用垂直起降固定翼无人机或无人机直升机；

c) 巡检距离大于30公里的日常巡查，宜选用续航能力好的发动机或升力推力混动驱动的垂直起降固定翼无人机或直升机。

d) 开展应急检查和灾情普查，宜选用续航时间和航程大的无人机。

5.4 无人机配置要求

5.4.1 性能要求

a) 操稳性能：无人机应具备在指定巡查高度稳定飞行的能力，悬停和航线飞行最大偏差能力应至少满足：

1) 垂直精度：视觉定位正常工作时不低于 ± 0.1 m、GPS正常工作时不低于 ± 0.5 m，RTK定位正常工作时不低于 ± 0.1 m；

2) 水平精度：视觉定位正常工作时不低于 ± 0.3 m，GPS正常工作时不低于 ± 1.5 m，RTK定位正常工作时不低于 ± 0.1 m，以确保覆盖所有巡检点，避免对地面交通造成干扰；

b) 载重能力：无人机应能够携带相关传感器和设备，载重能力应适应不同巡查工况多种传感器的重量配置；

c) 工作温度：开展公路路面巡查作业，应根据作业现场环境选择无人机，温度范围通常为 -10°C 至 40°C ，对于在低温、高温地区开展巡查的无人机，温度范围应为 -20°C 至 50° ，并完成低温、高温试飞测试；

d) 最大起飞高度：无人机的最大起飞高度应大于区域海拔高度，对于在高海拔地区巡查的无人机应并完成高海拔试飞测试；

e) 抗风能力：无人机的抗风能力应 ≥ 6 级；对于在季节性风速较大、区域性风速较大或山谷巡查的无人机，抗风能力 ≥ 8 级；

f) 工作环境：无人机整机IP等级不小于IP56，能够在小雨、中雨中执行任务。

5.4.2 飞控系统

a) 无人机飞行控制系统应实现稳定便捷的飞行控制，支持自动巡查模式和手动巡查模式，具备任务规划、地形避障、智能追踪、紧急悬停、自动返航、链路丢失重建、失联保护等功能；

b) 无人机飞行管理系统至少具备状态监视及报警、运行安全管理、自动应急管理、状态检测与故障处理功能、航路与系统参数管理功能、飞行控制、导航管理与载荷管理功能等；

c) 多旋翼无人机巡检系统在地面风力条件小于或等于3级风的工况下：悬停控制偏差不应大于1.5m，航迹控制偏差不应大于4m；垂直起降固定翼无人机巡检系统和无人直升机在地面风力条件小于或等于3级风的工况下：航迹控制偏差不应大于10m；

d) 无人机应具备数据存储和导出功能，数据应包含无人机飞行参数、任务设备状态、操控记录、飞行故障等信息；

e) 在巡查过程中，对巡查图像进行智能边缘计算，能准确识别公路路面常见病害，并可对病害进行定位和标识。

5.4.3 通信系统

- a) 通信系统连接延时不大于 1s, 具备链路保护功能、图像和视频的实时传输功能;
- b) 应具备抗电磁干扰飞行能力, 如高压输电线、高压输电站、移动通信基站和电视广播信号塔等, 在上述电磁干扰源附近巡查时地面站信号和画面稳定。
- c) 如配置高精度实时动态定位 RTK 模块, 水平定位精度应不大于 10cm, 垂直定位精度应不大于 20cm, 传输距离有效范围不小于 10KM;

5.4.4 导航系统

- a) 导航系统应结合多种导航技术和传感器来确保无人机的精确定位和稳定飞行, 支持北斗、GPS、惯性导航、多普勒导航和地形辅助等定位方式, 可实时采集路面信息并通过内置算法换算所识别对象的相对位置信息;
- b) 具有确定巡查路线、起点桩号、检测方向、存储路径等参数的功能;
- c) 能够根据地理位置信息智能定位巡查起点的路线编码及桩号位置;
- d) 高精度定位系统(定位精度小于1米)应集成于无人机中, 确保巡检路径的准确性, 支持轨迹回放和数据分析。

5.4.5 感知避障

- a) 具备6向避障功能, 包括前视、后视、侧视、上视、下视;
- b) 前视可探测范围: 0.5 米至 150 米;
- c) 其他测距范围: 0.5 米至 15米;
- d) 视角(FOV): 水平不小于90°, 垂直大于90°

5.4.6 地理围栏

- a) 具备飞行区域限制功能, 可在地图上加载现有国家监管机构划设的禁飞区域, 且具有防止飞入禁飞区的措施;
- b) 具备自行设置限制飞入或飞出区域的功能, 在航线规划时, 可对超出范围的飞行航线进行报警提示, 且飞控系统锁死;
- c) 在飞行过程中, 当巡查无人机接近区域范围时可在地面站或遥控手柄上报警提示, 且有防止飞越措施;
- d) 根据精细巡查和粗略巡查的要求, 可限制最大飞行高度; 根据巡查任务需求, 可限制最大飞行半径距离(以起飞点为圆心)。

5.4.7 应急保护

- a) 具备低电量保护机制, 在链路正常情况下, 电动无人机具备低电压报警功能, 在飞行过程中当电池电压低于预设告警电压时, 可在地面站或遥控手柄上报警提示; 油动无人机应具备油耗报警功能;
- b) 配置自检功能和安全保护功能, 具备飞行区域限制、一键返航、链路中断返航、异常报警、失联返航机制等功能;
- c) 无人机发生动力、传感器、数据传输、任务设备等故障时, 应具备异常情况报警和记录功能。

5.5 任务载荷配置要求

5.5.1 基本要求

- a) 搭载任务载荷设备应覆盖路面的巡查要求, 并设定合理的数据采集参数, 实现对公路路面的全方位巡查, 准确发现路面病害;
- b) 任务载荷可根据任务类型选配可见光设备(包括可见光相机和可见光摄像机)、红外热成像仪、激光测距设备、合成孔径雷达、多光谱成像仪、声学传感器及辅助灯光设备等;
- c) 在巡检应用中, 通过搭载不同类型的任务负载, 也可以搭载集成上述功能的任务载荷设备, 满足多样化数据采集需求, 实现对目标区域更大范围、更快速且更精细化的巡查;
- d) 采样帧速率: 无人机悬停状态的静态目标检测不宜低于7.5Hz, 其他应用场景不宜低于25Hz;
- e) 应配置插拔式存储设备, 容量不小于128GB, 满足任务设备采集数据的存储。

5.5.2 结构和安装

- a) 具有减振、三轴增稳功能，能够稳定清晰拍摄路面病害的画面；
- b) 采用快拆式接口设计，替换操作应便捷，方便用户快速安装或拆卸任务设备；
- c) 俯仰轴 (Tilt) 旋转范围不低于 $-135^{\circ}\sim+45^{\circ}$ 、偏航轴 (Pan) 旋转范围为 $-360^{\circ}\sim+360^{\circ}$ 、横滚轴 (Roll) 的旋转范围不低于 $-60^{\circ}\sim+60^{\circ}$ 。

5.5.3 可见光设备

- a) 搭载可见光设备，采集路面表观病害高分辨率影像数据，用于病害的识别、分析、记录与存档；
- b) 选用变焦相机用于拍摄远景，清晰拍摄远处病害；选用广角相机在较短的拍摄距离范围内，拍摄到较大视野的路面病害信息；
- c) 路面巡查影像采集时应合理配置可见光设备的参数与距离，当需要准确识别裂缝宽度时，图像尺度因子不大于裂缝宽度的1/3；
- d) 进行公路路面巡查作业时的影像重叠率不小于10%，确保三维模型重建与图像拼接成功；
- e) 影像质量应根据采集到的可见光影像数据评估，应包括目标完整度和清晰度等。

5.5.4 红外设备

- a) 搭载红外设备用于巡查内部缺陷、渗漏，也可用于监控路面的温度分布，从而判断路面的状态，比如遗撒、结冰、漏油、积水/积雪等；
- b) 根据像素分辨率、存储容量、测温准确度等因素确定红外设备的参数，红外设备宜包括测温方式、环境温湿度、拍摄距离、辐射率、风速等；
- c) 影像质量应根据采集到的红外图谱数据评估，应包括目标完整度、清晰度及测温准确度等。

5.5.5 其他设备

- a) 搭载激光雷达，采集路面的激光点云数据，用于结构变形分析和高精度三维建模；
- a) 搭载声学传感器，用于检测内部缺陷、渗漏或异常声响。

5.5.6 辅助功能

- a) 在暗光环境下，配置补光设备进行环境补光，提升可见光设备的成像质量，以适应不同的巡查需求；
- b) 任务载荷具备加热去雾功能，影像更加通透，消除画面清晰度不足等现象；
- c) 支持基于GNSS或PTP的时钟同步功能，从外部时钟同步系统获得授权时，授时误差应在3ms以内，授时误差可持续维持一个授时周期。

5.6 地面辅助设备配置要求

5.6.1 环境适应性

- a) 工作温度范围为 -20°C 至 45°C ，并完成环境温度测试；如在高寒、高温环境下部署，应满足当地温度要求；
- b) 整机防水等级不低于IP56，并完成防尘防水测试；
- c) 抗风能力和运行海拔高度需满足部署场地要求，并完成相应的环境测试。

5.6.2 功能要求

- a) 至少支持充电功能；
- b) 支持4G/5G数据图传，最远图传距离 ≥ 20 公里；
- c) 支持实时视频、遥测数据、任务日志回传至巡查信息管理平台；
- d) 支持RTK定位。

5.6.3 兼容性要求

- a) 适配小型、中型无人机；
- b) 应根据巡查航线规划、巡查路面环境、巡查时间等要素规划地面辅助设备的型号、功能和布置数量。

5.6.4 机巢布设要求

5.6.4.1 选址考虑

a) 起降点的选址，可优先选择公路沿线交通基础设施或通信基础设施区域，优先考虑具备稳定电力和网络资源的通信塔房、通信照明一体化灯杆、公共物业楼顶等，充分利用现有的优质资源，实现高效的建设和稳定的运行；

b) 选址过程中应充分结合周边飞行器起降点的点位分布，便于形成组网覆盖、连片作业区域，提升后续规模化服务的能力。

c) 起降场选址应结合服务对象区域分布，考虑飞行器航程、返航冗余，合理选择建设位置；同时应具备良好的地面交通衔接条件，满足运营、运维需求。

5.6.4.2 供电要求

a) 起降点应配备不间断电源或备用发电机，以确保在故障时仍能提供至少300分钟的持续供电；

b) 起降点的供电设施可配备智能监测系统，能够实时监测电力设备的运行状态、电流电压参数、充电过程及电池状态，并具备报警功能，当出现故障时应能发出声音和视觉报警信号；

c) 具备应急供电能力，当外部电源供电中断时，能保证工作不间断地切换至应急电源供电。

5.6.4.3 防雷要求

a) 起降点应设置完善的防雷系统，防雷面积需覆盖整个起降区域，包括起降平台、停机坪以及周边一定范围内的配套设施；

b) 确定防雷范围时，应考虑飞行器在起降过程中的飞行轨迹和可能出现的偏离情况，确保飞行器在整个活动空间内都处于防雷保护之下。

5.6.4.4 通信要求

起降点的通信导航设施的规划应与工业和信息化部及民用航空局的相关规定保持一致，包括无线电频率、地址等代码资源的管理。相关要求如下：

a) 起降点通信设备应具备抗干扰能力；

b) 通信系统应具备低时延高清视频实时传输能力；

c) 通信网络支持双向数据传输且上下行带宽应满足相应设备网络要求，并具备与控制中心的衔接条件；

d) 通信系统应具备双重或多重冗余备份链路；

e) 起降场无线移动通信网时，可采用专网覆盖，场址宜设在通信塔房附近。

6 巡查技术要求

6.1 巡查内容

6.1.1 公路沥青路面采用无人机巡查内容主要是路面表面损坏的数据采集，以及诱发路面病害或影响通行的积水、积雪、积冰、积沙和抛洒物等。

6.1.2 路面表面损坏采集的数据包括龟裂、块状裂缝、纵向裂缝、横向裂缝、坑槽、松散、泛油、修补损坏、唧浆。

6.1.3 路面表面破损状况应按照路面破损类型和内容进行现场调查。路面表面破损检测数据应以实际检测情况为标准，注明各类病害相应的破损级别，数据准确至0.01。路面横向裂缝检测数据以实际检测情况为标准，记录横向裂缝发生的桩号位置、长度、破损级别和裂缝数量，单位为m，数据准确至0.1m。

对于横跨两（多）个车道的横向裂缝，将其分别计入相应车道内，且在备注中加以说明。巡查内容及要求图表6-1所示。

表 6-1 沥青混凝土路面巡查内容及要求

内容	任务载荷	方法	病害检测信息	精度要求
龟裂	可见光设备	粗飞+精飞	数量、位置、长度、宽度、面积	长度数据准确不低于0.1m 宽度数据准确不低于1mm
块状裂缝	可见光设备	粗飞+精飞	数量、位置、长度、宽度、面积	长度数据准确不低于0.1m 宽度数据准确不低于1mm
纵向裂缝	可见光设备	粗飞+精飞	数量、位置、长度、宽度、面积、与行车方向夹角	长度数据准确不低于0.1m 宽度数据准确不低于1mm
横向裂缝	可见光设备	粗飞+精飞	数量、位置、长度、宽度、面积	长度数据准确不低于0.1m 宽度数据准确不低于1mm
坑槽	可见光设备、激光雷达、声学传感器	精飞	数量、位置、面积、深度	面积数据准确不低于0.1m ²
松散	可见光设备	精飞	数量、位置、面积	面积数据准确不低于0.1m ²
修补损坏	可见光设备	粗飞	数量、位置、面积	面积数据准确不低于0.1m ²
唧浆	激光雷达	精飞	数量、位置、面积	面积数据准确不低于0.1m ²
积雪积水	红外设备+可见光设备	粗飞	数量、位置、面积	面积数据准确不低于0.1m ²
遗撒物	红外设备+可见光设备	粗飞	数量、位置、面积	面积数据准确不低于0.1m ²

6.2 巡查作业流程

公路路面无人机巡查工作可包括飞行前准备、飞行实施、数据处理、质量评价，具体的作业流程可参见图6-2。

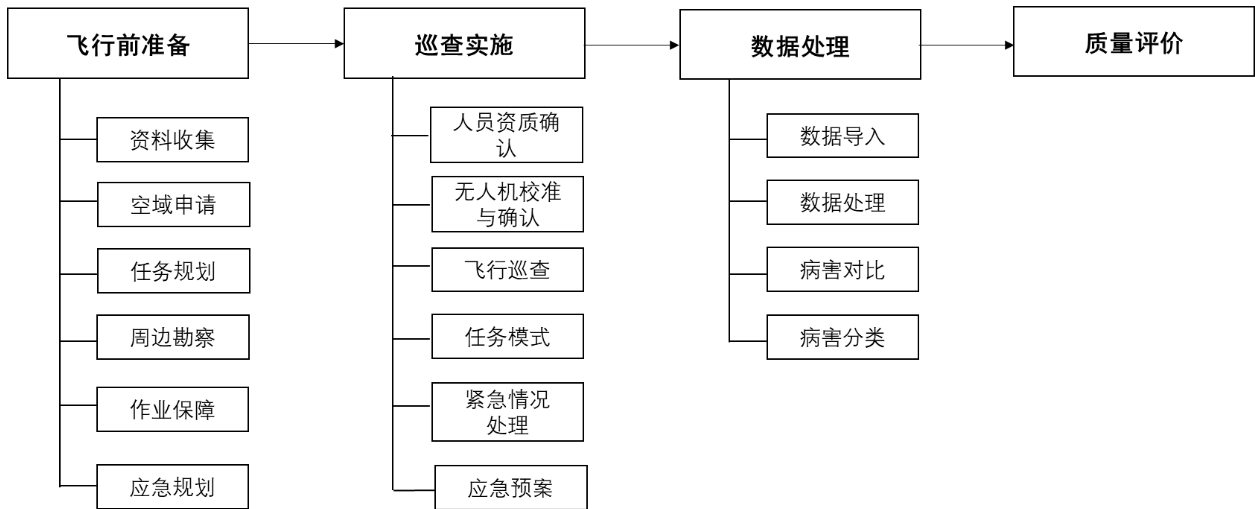


图6-2 无人机公路路面病害巡检作业工作流程

6.3 飞行前准备

6.3.1 资料收集

制定巡查任务前应收集下列资料：

- a) 巡查公路的基本资料、海拔高度、地形图、交通图、行政区划图等；
- b) 巡查范围内的禁止飞行区域、重要设施、高层建筑、高压线塔、电磁干扰源等情况；
- c) 巡查范围气象环境，是否有雷雨或大雪天气、风速信息、能见度信息、温度信息等；

6.3.2 空域申请

应按照国家相关政策法规和相关部门要求规范化使用空域，密切跟踪当地空域变化情况。

6.3.3 任务规划

6.3.3.1 考虑要素

- a) 规划航线起降点及航线周边应务必注意整条航线的空域情况、天气情况和无人机电量；
- b) 航线全程不应途径人员密集区域或较高建筑分布区域；
- c) 航线全程不应途径恶劣天气区域，如雷电、雨雪、冰雹、龙卷风等；
- d) 确保无人机电量能够满足航线任务要求，若电量不足，将自动中断航线任务并触发返航。

6.3.3.2 航线内容

- a) 考虑空中航线、进离场航线、起降点和备降点，空中航线和进离场航线均由标称航迹和航线保护区组成；
- b) 航线应在起降点上方空域设置进离场点和等待点；
- c) 航线应设置备降点，备降点可与起降点重合；
- d) 在作业时，无人机应避免在机场、高压铁塔等重要设施以及 GNSS 信号较弱处作业。尽量远离强电磁干扰场地，如雷达站、微波站、移动通信基站等，需保持至少200米以上的距离。
- e) 外场作业应根据无人机厂家提供的操作手册，确保天气状态、风力满足作业要求；

6.3.3.3 航线类型

- a) 航点航线：基于模型，高效编辑复杂航点航线，提供“所见即所得”的沉浸式体验支持配置智能识别动作，对目标进行逐点拍摄和录像；

b) 面状航线：适用于区域巡查任务，支持航线高级设置，开启自定义限飞区绕行功能后，无人机可在测区内智能避开特定区域；

c) 贴近目标对象航线：基于粗飞数据，可沿被测物表面生成精细化贴近建模航线，简化复杂场景的测绘及建模任务。

6.3.4 周边勘察

6.3.4.1 首次开展无人机巡查的公路线路，应进行现场周边勘察。

6.3.4.2 起降点踏勘

- a) 根据航线设计方案，对起降点、备降点和航线途径区域进行实地勘查；
- b) 踏勘应包括以下方面内容：标定起降点和应急备降点的位置、海拔，备降点可与起降点共用；
- c) 确定起降点周围障碍物高度情况，明确最低超障余度；
- d) 采用专用设备对通信、导航信号质量进行测试；
- e) 勘查起降点和应急备降点周围电源情况和周围环境情况。

6.3.4.3 航线途径区域踏勘

- a) 勘测航线障碍物高度情况，明确最低超障余度；
- b) 采用专用设备对通信、导航信号质量进行测试；
- c) 根据现场踏勘结果调整和优化航线，得出修正航线。

6.3.5 作业保障

应准备无人机、任务载荷设备、地面辅助作业设备的备用电池、充电器、专门维护工具等设备和车辆。

6.3.6 应急准备

a) 应根据无人机的性能功能特征规划应急备降、减速飞行、自动返航、紧急悬停、应急迫降、应急停桨、地面导控切换和遥控飞行的计划。

b) 当出现无人机姿态不可控、位置不可控、电量小于最低安全要求时，无人机应能够自动进入迫降程序。迫降程序应具备优化迫降位置或警醒迫降位置人员的能力，确保迫降位置人员安全，减小对周围环境造成的风险。

c) 当出现突发异常天气，无人机无法持续安全运行，无人机应能够自动进入备降程序，在不依赖于外部指令的状态下完成应急备降程序。

6.4 巡查实施

6.4.1 人员资质确认

无人机巡查的作业人员要求如下：

a) 无人机操控员应按照《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》CCAR-92 B章操控员 取得相应等级操控员证书；

b) 任务载荷操作人员应经过专业培训，熟悉公路巡查常识和任务载荷操作流程，掌握公路巡检技术标准；

c) 操控员在飞行前，需务必理解并遵守厂家提供的飞行操作规范或飞行使用手册；

d) 操控员和任务载荷操作员宜选拔具备公路工程背景的专业人员，负责识别病害、判断结构状态。

6.4.2 无人机确认和校准

6.4.2.1 开机后将无人机、操控台（站）、跟踪天线（如配置）进行对频和连接，提高无人机的飞行定位精度和抗磁干扰能力。如在开机过程中发现设备异常，请先按照厂家操作手册提示的内容，对无人机、指南针、IMU、空速计、任务载荷、操控台站进行校准，然后再对频和连接，直到异常消失；

- 6.4.2.2 应按照厂家提供的维护手册检查无人机结构、电量、任务载荷及遥控信号；
- 6.4.2.3 起飞巡检前，无人机操控员应查看无人机、遥控器等设备电量，是否满足航线巡检要求；
- 6.4.2.4 起飞巡检前，任务载荷操作人员应拍照或录像，测试动作结果；
- 6.4.2.5 无人机在起降点做好航前准备工作，操控员将规划航线、起飞指令由操控台（站）导入无人机，无人机按照指令采用手动模式或自动模式起飞。

6.4.3 飞行巡查

公路路面无人机巡查宜采用自动航线飞行模式进行数据采集，对于航线无法覆盖或需临时重点确认的部位，宜采用手动飞行模式作为补充。

6.4.3.1 自动巡查模式

- a) 无人机在巡检过程中无需人工操作，可自动识别巡检对象，实时进行任务规划，自主飞行，自动完成巡检数据采集。
- b) 无人机出现偏离作业路径或者其他危险状况时，无人机应自动与风机保持安全距离，由巡检人员切换至手动飞行模式中中止作业并返航。
- c) 无人机按照规划航线进行飞行，飞行过程中对巡检公路锁定拍摄，并采集视频数据，视频数据在边缘端对无人机采集的图像和传感数据进行预处理。

6.4.3.2 手动巡查模式

- a) 巡检作业中，无人机的飞行控制和巡检数据采集均由巡检人员手动控制完成。
- b) 操控员操纵遥控台站推动摇杆，控制无人机的升降与航向，操纵无人机飞往任务区域。
- c) 用户可手动调整任务载荷俯仰角度，实现对当前航向的观察、拍照、录像。

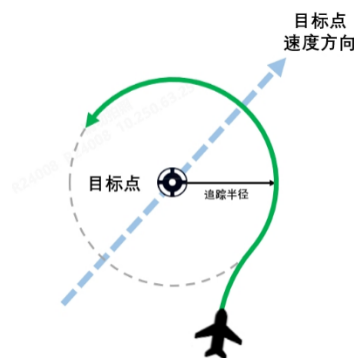
6.4.4 任务模式

6.4.4.1 快速巡查

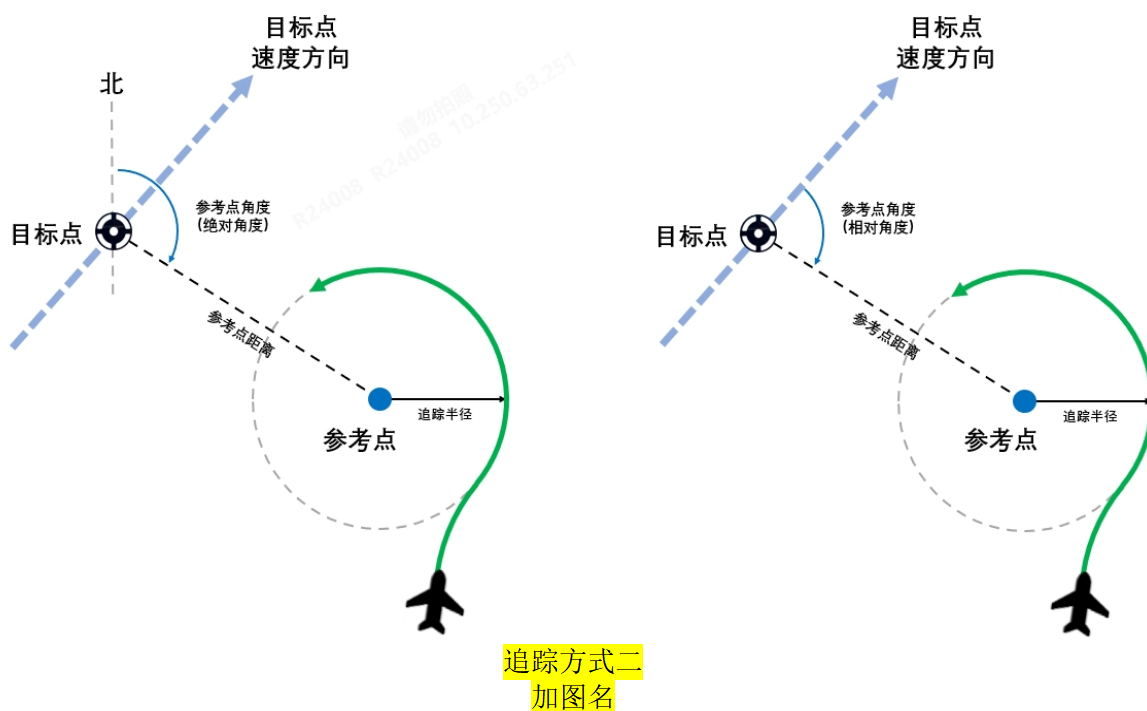
- a) 快速任务仅需要设置飞行高度和飞行半径。
- b) 对于单向多于3车道的公路，巡查路线沿公路路肩进行飞行，按照公路的延伸方向，规划简单任务进行巡查，快速任务为循环的椭圆形航线，即最后回到任务点。
- c) 对于单向小于等于2车道的公路，巡查路线沿中间隔离带进行飞行，按照公路的延伸方向，规划简单任务进行巡查，快速任务为直线，即从A点回到A点。

6.4.4.2 智能巡查

- a) 根据快速巡查发现的病害信息，对于未确定病害信息进行精确巡查；
- b) 在地图上框选潜在的目标病害目标点，设置智能追踪方式和追踪参数，无人机按照设定进行盘旋和追踪，进一步确认病害信息。



追踪方式一图名



6.4.5 紧急情况处理

- 遇无人机报警故障且无法恢复时，应立即停止巡检作业，操作无人机返航。
- 遇无人机定位信号丢失时，应采用姿态模式控制无人机降落。
- 遇无人机坠落时，应立即上报并妥善处理，应避免发生次生事故。
- 遇天气突变，不满足飞行条件时，应立即停止作业，操作无人机返航。
- 遇操作人员身体不适，应由其他人员协助操作无人机返航。
- 遇空管部门空域管制要求时，应立即停止作业，返航，待管制结束，重新申请作业航线。

6.4.6 飞行巡查后检查

操控人员或维护人员应按照厂家提供维护手册或等效文件，在巡检工作结束后完成无人机平台的保养和维护。

飞行结束后，应立即在现场对采集的数据进行快速核查，主要包括：

- 完整性：核对是否按规划航线完成全部数据采集，有无遗漏。
- 清晰度：抽查影像是否对焦清晰、无运动模糊，能满足病害识别要求。
- 覆盖度：确认关键构件和重点部位无拍摄盲区。

6.5 数据处理

6.5.1 无人机返回任务起始地，将任务载荷存储数据导入数据分析平台。

6.5.2 数据处理包括病害智能识别和人工识别，智能识别中的漏检、误检应采用人工识别改进。

6.5.3 病害识别包括病害类型识别、病害参数识别结果、病害识别精度、病害历史数据对比。

6.5.4 病害内容应包括病害类型、位置、数量、尺寸、深度等参数。

6.6 质量评价

- 数据起算原点应保持一致；
- 巡查范围内病害的数据包含的要素种类和数量；
- 巡查原始数据结构、内容的完整性和正确性，与人工巡查、车辆巡查质量结果进行对比分析；

d) 应能对大于或等于32 像素的轻微裂缝（宽度小于3毫米、长度小于10厘米）、坑槽类路面破损（深度小于10毫米、面积小于0.1平方米）进行检测；检出率应大于或等于80%；误检率应小于或等于20%；应能同时检测多个目标。
