|  |  |
| --- | --- |
| ICS  |       |
| CCS  |

|  |
| --- |
| D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png GDHS |

点击此处添加CCS号 |

     团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

高速公路边坡养护无人机巡检技术规范

Technical specifications for drone inspection in expressway slope maintenancee

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

       发布

目次

[前言 III](#_Toc202191622)

[引言 IV](#_Toc202191623)

[1 范围 1](#_Toc202191624)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc202191625)

[3 术语和定义 1](#_Toc202191626)

[4 巡检作业基本要求 1](#_Toc202191627)

[4.1 岗位配置要求 2](#_Toc202191628)

[4.2 巡检人员要求 2](#_Toc202191629)

[4.3 巡检作业安全要求 2](#_Toc202191630)

[4.4 气象环境条件 2](#_Toc202191631)

[4.5 设备资产管理要求 2](#_Toc202191632)

[4.6 维护保养要求 3](#_Toc202191633)

[4.7 巡检区域资料搜集 3](#_Toc202191634)

[4.8 植被覆盖工况应对要求 3](#_Toc202191635)

[5 巡检系统及设备性能要求 3](#_Toc202191636)

[5.1 高速公路边坡无人机巡检系统构成 3](#_Toc202191637)

[5.2 无人机平台 3](#_Toc202191638)

[5.3 任务载荷 4](#_Toc202191639)

[5.4 地面工作站 4](#_Toc202191640)

[5.5 无人机机巢系统 4](#_Toc202191641)

[6 无人机边坡巡检作业方式 4](#_Toc202191642)

[6.1 快速巡查 4](#_Toc202191643)

[6.2 精细巡检 4](#_Toc202191644)

[6.3 应急巡查 5](#_Toc202191645)

[7 边坡巡检 5](#_Toc202191646)

[7.1 一般规定 5](#_Toc202191647)

[7.2 日常巡查 5](#_Toc202191648)

[7.3 经常性检查 5](#_Toc202191649)

[7.4 定期检查 6](#_Toc202191650)

[7.5 数据采集要求 6](#_Toc202191651)

[8 巡检系统接口对接要求 7](#_Toc202191652)

[8.1 接口设计原则 7](#_Toc202191653)

[8.2 数据交换规范 7](#_Toc202191654)

[8.3 接口安全要求 7](#_Toc202191655)

[8.4 接口测试与维护 7](#_Toc202191656)

[8.5 用户操作界面要求 7](#_Toc202191657)

[9 巡检设备异常情况处置 8](#_Toc202191658)

[9.1 信号中断处置要求 8](#_Toc202191659)

[9.2 硬件故障处置要求 8](#_Toc202191660)

[9.3 电池与动力异常处置 8](#_Toc202191661)

[9.4 信号干扰异常处置 8](#_Toc202191662)

[9.5 天气异常处置 8](#_Toc202191663)

[9.6 拍摄异常处置 9](#_Toc202191664)

[9.7 坠机异常处置 9](#_Toc202191665)

[9.8 异常事件记录 9](#_Toc202191666)

[10 巡检资料处理分析与保存 9](#_Toc202191667)

[10.1 病害标注 9](#_Toc202191668)

[10.2 巡检数据命名 9](#_Toc202191669)

[10.3 建立专项数据库 9](#_Toc202191670)

[10.4 无人机巡检报告要求 9](#_Toc202191671)

[10.5 病害照片样本库建设要求 10](#_Toc202191672)

[10.6 数据格式要求 10](#_Toc202191673)

[10.7 数据储存周期要求 10](#_Toc202191674)

[10.8 存储介质要求 10](#_Toc202191675)

[10.9 数据移交要求 10](#_Toc202191676)

[10.10 数据移交保密要求 10](#_Toc202191677)

[11 巡检应急响应要求 10](#_Toc202191678)

[11.1 病害影响程度 10](#_Toc202191679)

[11.2 病害响应 10](#_Toc202191680)

[11.3 多部门协同应急处置流程 11](#_Toc202191681)

[11.4 信息化留痕与追溯 11](#_Toc202191682)

[附录A（规范性） 规范性 12](#_Toc202191683)

[附录B（规范性） 无人机专属资产档案表 13](#_Toc202191684)

[附录C（规范性） 维护保养记录表 14](#_Toc202191685)

[附录D（规范性） 边坡日常巡查记录表（日间巡查） 15](#_Toc202191686)

[附录E（规范性） 边坡经常检查记录表 16](#_Toc202191687)

[附录F（规范性） 边坡定期检查记录表（整体外观） 17](#_Toc202191688)

[附录G（规范性） 无人机异常事件记录表 18](#_Toc202191689)

[参考文献 19](#_Toc202191690)

1. 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这些专利的责任。

本文件由广东省南粤交通投资建设有限公司提出。

本文件由广东省公路学会归口。

本文件起草单位:广东省南粤交通投资建设有限公司、广东华路交通科技有限公司、广东交科技术研发有限公司、广州天勤数字科技有限公司、广东长大道路养护有限公司。

主编：王安怀

参加编写人员：

主审：

参加审查人员：

1. 引言

为规范旋翼无人机在广东省高速公路边坡养护巡检的应用，提升巡检效率与质量，保障高速公路安全运营，特制定本团体标准。旨在通过科学化、规范化的技术指导，推动无人机技术在高速公路边坡养护巡检领域的广泛应用。

请各有关单位在执行本文件过程中将发现的问题和意见及时反馈至广东省南粤交通投资建设有限公司（地址：广东省广州市越秀区白云路27号，邮政编码：510199），以便修订时研用。

高速公路边坡养护无人机巡检技术规范

* 1. 范围

本标准规定了高速公路边坡养护旋翼无人机巡检作业的基本要求、巡检系统及设备性能要求、无人机边坡巡检作业方式、边坡巡检、巡检系统接口对接要求、巡检设备异常情况处置、巡检资料处理分析与保存、巡检应急响应要求等内容。

本标准仅适用于广东省高速公路边坡养护领域的旋翼无人机巡检工作。

* 1. 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。

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

旋翼无人机Rotary Unmanned Aerial Vehicle

通过旋翼产生升力和推进力，能够垂直起降、悬停和飞行的无人驾驶航空器。

边坡养护Slope Maintenance

通过系统化的检查、监测、维护和修复措施，对公路等工程中的边坡结构进行周期性或应急性的技术管理活动，确保相关基础设施的安全运营。

无人机巡检UAV Inspection

利用无人机系统及其搭载的任务载荷，通过自主或遥控飞行对高速公路边坡进行非接触式检查的技术活动。

地面站Ground Control Station

其包括遥控器、显示屏和数据处理终端，用于监控和控制无人机飞行的地面设备。

任务载荷Mission Payload

完成边坡养护巡检任务无人机所搭载的专用设备及系统的总称。

快速巡查Rapid Inspection

利用无人机巡检系统，在短时间内快速获取关键信息、发现显著病害，完成对目标区域（如高速公路边坡）的巡检活动。

精细化巡查Precision Inspection

利用无人机系统搭载高精度任务载荷，对高速公路边坡进行全方位、高精度的巡查。

无人机自动化巡查（UAV Automated Inspection）

利用无人机搭载多种传感器（如高清摄像头、激光雷达等），结合路径规划算法及物联网等技术，对高速公路边坡的自主化、智能化、高效化巡检过程。

* 1. 巡检作业基本要求
		1. 岗位配置要求

巡检单位应配置巡检专职人员。

进行无人机常规巡检作业时，每台无人机应配置至少1名飞行操作员、1名安全管理员。

进行边坡应急巡检时，应额外增加相关技术人员。

* + 1. 巡检人员要求

巡检人员应通过相关资格认证考试，持证上岗，并定期复训。

巡检人员应熟练掌握无人机相关功能与操作，以确保巡检工作顺利完成。

巡检人员应具有高速公路边坡养护巡检工作经验，应熟悉边坡养护巡检必要的专业知识以及相关养护标准。

巡检人员应掌握边坡结构类型与病害相关知识，可准确辨识边坡病害。

巡检人员应具备安全意识和应急处理能力。

巡检人员应配备个人防护装备，外业作业期间应穿戴反光背心、安全帽及防滑鞋等。

巡检人员应购买无人机第三者责任险及人身意外险。

巡检人员禁止酒后作业、疲劳操作或单人执行飞行任务，并在飞行中严禁擅自离开监控岗位或关闭通讯设备。

* + 1. 巡检作业安全要求

在复杂地形、地貌区域进行边坡无人机巡检时，飞行高度的控制应符合以下规定：

1. 距离地面/坡面≥5m；
2. 电线等突出障碍物≥10m；
3. 严格控制在120m限高范围内；
4. 特殊情况下飞行高度申请扩展至150米时，应通过UTMISS系统提前7天申报，并提供作业必要证明。

作业区域应远离高压输电线路、通讯基站等强电磁源。

巡检单位应依据民航管理部门公布的禁飞区划设文件，在飞行作业前明确识别并严格规避禁飞区域。

巡检作业前应对无人机机身、动力系统（电池/电机）、传感器及飞行控制系统进行全系统联调验证，确保关键部件功能正常、控制精度达标（状态参数达标率≥98%），并留存检测数据备查。

巡检飞行区域严禁与高速公路上的车辆发生冲突或干扰，飞行区域应不影响高速公路安全运营，巡检过程中严禁横跨高速公路，作业空域应严格限定于高速公路路侧安全区。

无人机在应急车道起降时应提前向有关部门、单位报备获批，严格按照有关规定设置警示标志及防护措施。

当需要在巡检路段部署无人机机巢时，机巢选址与部署应远离高压输电线路、通讯基站、雷达站等强电磁干扰源；避开机场净空区、军事管理区等禁飞区域；地势平坦、地基稳固，无积水隐患。周边无遮挡物（高大建筑、树木）。

无人机巡检作业安全要求同时应满足《公路养护安全作业规程》（JTG H30）、《无人机航摄安全作业基本要求》（CH/Z 3001）的相关规定。

* + 1. 气象环境条件

4平原地区作业允许风速≤12m/s（6级），山区建议≤9m/s（5级）。因地形复杂应降低阈值（20%~30%）以抵消气流扰动影响，保障飞行稳定性。

禁止在降雨（雨量等级：中雨、大雨、暴雨、大暴雨、特大暴雨）、降雪、雾（能见度<1km）、沙尘暴、雷暴等极端天气下作业。

作业温度范围建议-20℃~45℃；高温（≥40℃）需缩短单次飞行时间至15分钟内，避免电池过热；低温（≤-10℃）需使用低温电池并预热设备。

遇风速骤增（增幅≥3m/s）或降雨（雨量等级≥中雨）概率≥30%时应立即终止作业。预留20%电量用于紧急返航。并及时完成附录A无人机巡检气象数据记录表的填写。

* + 1. 设备资产管理要求

无人机所属单位应在民航局（CAAC）的官方网站上对无人机进行实名登记。机身显著位置应粘贴唯一标识码，确保无人机飞行活动可追溯、可管理。

应建立无人机专属资产档案，记录设备编号、购置时间、规格型号、维护记录等，并定期更新状态。完成附录B无人机专属资产档案表的填写。

无人机所属单位应当依法为无人机投保相关保险，包括但不限于无人机机身损失险和无人机第三者责任险。

* + 1. 维护保养要求

无人机巡检设备应进行定期维护与深度保养。每周进行检查及清洁电机散热口、检查电池触点氧化情况（使用无水酒精擦拭）；每月进行检查及润滑电机轴承、紧固各连接件；每季度进行更新飞控固件至最新版本。

定期应对无人机的飞行控制系统、传感器、电池、电机等关键部件进行检查、清洁和校准。检查无人机的外壳、支架等结构部件是否完好，有无变形、裂纹等损伤。

应对无人机的电池进行定期充电和放电，以保持其性能。当电池循环次数≥300次或容量衰减至标称值70%强制退役。

设备若长期不用，应将其存放在干燥、通风、无腐蚀性气体的环境中。并应定期启动，检查设备状态，如有异常现象，应及时调整、维修。

建立故障保修流程，配备备用设备，确保作业连续性。并填写附录C维护保养记录表。

同时应符合《无人驾驶航空器系统作业飞行技术规范》（MH/T 1069）相关要求。

* + 1. 巡检区域资料搜集

边坡检查前应查阅相关技术档案资料，掌握边坡基本情况和历史信息。

* + 1. 植被覆盖工况应对要求

无植被覆盖影响时，宜采用可见光相机进行巡查。

有植被覆盖影响时，可清理植被区域条件允许时宜先进行边坡清除杂草后再进行无人机巡检，采用可见光相机巡查。当植被无法清除时可搭载激光雷达进行辅助巡查。

* 1. 巡检系统及设备性能要求
		1. 高速公路边坡无人机巡检系统构成

高速公路边坡无人机巡检系统应由以下四部分构成，同时应符合《无人机航摄系统技术要求》（CH/Z 3002）相关要求。

1. 无人机平台；
2. 任务荷载；
3. 地面工作站；
4. 无人机机巢系统。
	* 1. 无人机平台

应包含飞行控制系统、动力系统、导航定位系统、通信链路系统、机体结构五大核心模块，应满足以下性能指标：

1. 飞行控制系统应支持全自主航线规划与飞行模式、具备动态避障功能（视觉避障为必选，激光雷达避障可扩展）、仿地飞行精度≤2m（相对高程）、可选配RTK定位模块（水平定位精度≤3cm，垂直精度≤5cm）、支持失控自动返航及低电量保护；
2. 动力系统应在满载工作状态下可续航≥20分钟；
3. 导航定位系统可集成多频GNSS模块，同时应具备抗磁干扰能力；
4. 通信链路系统应支持2.4GHz/5.8GHz双频段传输，最大通讯距离应满足≥5km（开阔环境），具备4G网络备份通信功能；
5. 整机防护等级≥IP43（防雨防尘），抗风能力≥5级。
	* 1. 任务载荷

任务载荷指无人机搭载的用于边坡巡检的专用设备，需满足轻量化、模块化设计，且与无人机平台兼容，应满足以下性能指标：

1. 光学成像设备分辨率≥1200万像素，支持4K视频录制，光学变焦≥5倍，混合变焦≥20倍；
2. 激光雷达扫描频率≥100kHz，点云密度≥30点/m2，水平误差≤5cm，高程误差≤8cm；
3. 红外热像仪热灵敏度≤60mK，分辨率≥384×288，测温范围-20℃~+400℃，测温精度±2℃。
	* 1. 地面工作站

无人机地面工作站负责辅助巡检工作人员现场执行高速公路边坡巡检作业，模块应包含硬件部分、软件平台及通讯中断，功能要求应符合表1的规定：

1. 地面工作站模块组成及功能要求

|  |  |
| --- | --- |
| 模块类型 | 功能要求 |
| 硬件部分 | 控制终端：平板电脑/便携式工作站（屏幕≥10英寸，亮度≥500nit）。 |
| 遥控器：支持双摇杆操控与快捷指令。 |
| 数据存储：≥1TB固态硬盘。 |
| 软件平台 | 航线规划：支持三维地图导入与自动仿地航线生成。 |
| 实时监控：显示无人机状态、传感器数据及环境参数。 |
| 数据处理：可一键生成正射影像、点云及分析报告。 |
| 通讯中继 | 配备4G/5G模块及高增益天线。 |

* + 1. 无人机机巢系统

无人机机巢系统应由机巢本体、任务管理、数据处理组成。应实现高速公路边坡养护无人机巡检自动化。

* 1. 无人机边坡巡检作业方式
		1. 快速巡查

利用无人机机动性优势实施边坡快速巡检，采用多角度影像采集模式，飞行高度宜控制在40米。

快速巡查中，数据采集范围应为边坡全域覆盖，并扩展至缓冲区（以红线为基准外延200m），通过影像数据完成显性病害的识别。

人工操控模式下实施边坡影像数据采集时，无人机应保持稳定悬停状态（姿态角偏差≤3°）执行定点拍摄。

采用无人机机巢系统实施自动化快速巡查前，应基于激光雷达点云数据（密度≥50点/m2）构建高精度DEM模型（高程误差≤0.1m），并据此规划自主巡检航线。

自动化快速巡查飞行高度宜控制在40米，应根据不同对象分类设计航点动作，按坡面大小分网格采集（网格大小42米×31米），重叠率宜15%。

自动化快速巡查飞行针对坡面区域，无人机应垂直于坡面进行航摄；当各级坡面倾角一致时，相机镜头须保持恒定航摄倾角完成全坡面作业；针对平台及排水沟等附属设施区域，则采用相机镜头竖直向拍摄。

自动化快速巡查时为平衡巡查效率与影像清晰度，飞行速度建议设定为5~8m/s，避免动态模糊导致漏检。

无人机机巢系统部署应依据网络化覆盖原则，服务半径≤5km进行规划。

快速巡查发现异常后，对目标边坡应进行精细巡检与抵近检查，并结合人工巡查，对异常情况类型和位置进行记录并上报。

* + 1. 精细巡检

针对重点边坡及快速巡查识别的疑似病害区域，采用贴近式摄影及防地飞行，飞行高度宜控制在5米。

精细巡检数据采集范围应基于快速巡查疑似病害区域，构建多源数据融合采集区，完成在不受植被影响的条件下发现毫米级边坡病害。

人工操控模式下实施边坡数据采集时，无人机应保持稳定悬停状态执行定点拍摄。

采用无人机机巢系统实施自动化精细巡检前，应基于激光雷达点云数据（密度≥50点/m2）构建高精度DEM模型（高程误差≤0.1m），并据此规划自主巡检航线。

自动化精细巡检飞行高度宜控制在5米，建议重叠率宜30%，网格10米×8米，航速≤0.5m/s。

精细巡检发现异常后，对目标边坡应进行抵近检查，结合人工巡查，对异常情况类型和位置进行记录并上报。

* + 1. 应急巡查

应急巡查应采用快速巡查与精细巡检协同作业模式，通过无人机集成基础功能模块（探照灯、喊话器）并扩展热成像载荷单元，完成多模态应急响应能力。

* 1. 边坡巡检
		1. 一般规定

边坡巡检应包含日常巡查、经常性检查、定期检查。无人机巡检与人工巡查形成协同机制，用于以上巡查。

日常巡查宜由委托日常养护单位实施，经常性检查应由路段项目公司负责实施，定期检查应委托具有相应资质的专业单位承担。

相关要求同时应符合（JTG-5110）《公路养护技术标准》中的规定。

* + 1. 日常巡查

日常巡查利用无人机巡检时宜采用快速巡查方式，目的是及时发现边坡是否存在已经或即将影响交通行车安全的灾害或病害隐患。

日常巡查应包括日间巡查和夜间巡查。

日常巡查要及时做好巡查记录，完成附录D边坡日常巡查记录表（日间巡查）的填写。并及时反馈报备，发现边坡产生明显变形破坏时，在快速巡查方式的基础上可采用精细巡检方式，并进行抵近检查。

日常巡查内容：

1. 日间巡查：
	1. 路面是否有明显隆起、开裂、下错，是否有流泥流水、块石、塌方等侵占路面；
	2. 坡体有无异常（防护支挡结构物是否异常，泥、土、石、植被是否异常等）。
2. 夜间巡查：
	1. 标志、标线和轮标等的夜间视认性是否满足使用要求，照明设施是否齐全完好、工作正常。
	2. 边坡是否存在明显异常。
		* 1. 日常巡查频率：
3. 日间巡查：高速公路边坡日间巡查的频率不小于1次/日。
4. 夜间巡查：高速公路边坡夜间巡查的频率不小于1次/月。
5. 灾害天气应加大日常巡查频率。
	* 1. 经常性检查

经常性检查利用无人机巡检时宜采用精细巡检方式为主，快速巡查方式为辅，目的是及时发现边坡是否存在较明显的灾害或病害隐患。

经常性检查要及时做好检查记录，完成附录E边坡经常检查记录表的填写。并及时反馈报备，发现边坡产生明显变形破坏或其防护支挡结构物存在明显损坏变形时应人工进行抵近检查。应及时报告、复检，必要时组织专项检查、或采取应急措施。

经常性检查内容：

1. 路面（车道、路肩）：巡查是否存在滑移、开裂、下错、鼓胀隆起，流泥、流砂、流水、崩塌落石等堆积路面，不均匀沉降，路面翻浆、路肩破损、阻挡路面排水、路肩不洁、杂物堆积等。
2. 坡面、坡体：巡查是否存在坡面冲刷、碎落崩塌、局部坍塌、危石、滑坡、开裂、变形、鼓胀隆起、塌陷等病害。
3. 防排水工程：巡查边沟、平台排水沟、急流槽、截水沟是否存在破损、堵塞、开裂、杂物堆积变形、排水设施不完善；坡体防排水措施是否存在严重堵塞、破损与周边渗漏水。
4. 普通防护工程：巡查护面墙或框格等防护工程是否存在病害；坡面是否存在渗漏水；基础是否存在冲刷等。
5. 柔性防护工程：巡查主动防护网及被动防护网是否存在破损，且网内是否存在危石等病害。
6. 喷浆防护工程：巡查喷锚面是否存在开裂、碎落崩塌、局部坍塌、鼓胀隆起；喷锚面是否存在渗漏水。
7. 植被防护工程：巡查绿化、植草或防护工程覆盖是否存在破损，局部坍塌、植被脱落、掏空；坡面是否存在冲刷、渗漏水、植被不良。
8. 支挡工程：巡查挡墙、抗滑桩墙、桩板墙、墙体、基础等是否存在病害。
9. 巡查锚固工程是否存在病害。其他附属设施检修道及扶手是否存在破损、缺失。
10. 巡检内容应与巡检方式的精度等级相匹配。
	* + 1. 经常性检查频率：

高速公路边坡经常检查的频率不小于1次/月，灾害天气应加大日常巡查频率。

* + 1. 定期检查

定期检查利用无人机巡检时宜采用快速巡查方式与精细巡检方式协同巡检，其无人机巡检在定期检查中主要针对整体外观检查，并及时填写定期检查记录表，完成附录F边坡定期检查记录表（整体外观）的填写。各部位病害检查应由人工抵近检查。

定期检查内容（整体外观）：

1. 坡面形态是否异常，坡面、坡顶、路肩是否出现人为堆载或自然崩塌堆载，是否存在人为或自然破坏坡脚的现象。
2. 坡体是否出现明显开裂、整体下错、局部沉陷、溜塌、岩土体挤压剪出等异常现象。
3. 边坡周围路肩或路面是否出现隆起、开裂、滑移、沉陷等破坏征兆，路肩排水沟是否存在明显倾倒、开裂现象。
4. 地下水出露是否异常，如大面积渗水、坡面湿化、泥化等现象。

高速公路边坡定期检查的频率不小于1次/年。

* + 1. 数据采集要求

采集的边坡图像应具备良好的清晰度与对比度，确保后续分析能准确识别边坡特征与变化；图像色彩还原度需准确，真实反映边坡状态，避免因色彩失真导致分析误差。

快速巡查数据应具备识别分米级精度边坡表面显性病害特征。

利用快速巡查方式对边坡进行整体巡查时，无人机拍摄正面照、侧面照至少各1张，正面照要求可完整展示边坡周围地形地貌。路堑边坡应包含后缘陡/缓地形地貌、坡脚路面状况、坡体两侧沟谷；路堤边坡应包含坡脚外侧地形地貌、路面、对侧填平区、沟谷等地形地貌。

精细化巡查数据应具备识别毫米级精度边坡表面病害特征。

进行精细化巡查时，应对关键区域重点拍摄。确保病害数据的详细性和准确性。

手控采集作业完成后，应现场核查数据成果完整性（排查漏拍、错拍）与质量（避免光线干扰、风力影响等导致的异常），如发现不合格数据，须及时补拍或重飞相应航线。

无人机自动化巡检完成后，应及时执行数据质量核查；若发现不合格数据，须重新执行自动化巡检流程。

无人机巡检过程中获取的图像数据应具备实时回传至地面控制站或数据中心的功能，确保运维人员可远程掌握边坡状态并支持处置决策。

数据采集须同时满足现行国家标准《工程摄影测量规范》（GB 50167）的相关技术要求。

* 1. 巡检系统接口对接要求
		1. 接口设计原则

兼容性应符合下列原则：

1. 无人机巡检系统应与养护管理系统等外部系统实现标准化接口对接。
2. 支持主流数据格式与通信协议，适配不同系统的技术架构；
3. 预留扩展接口，满足未来新增系统的接入需求。

实时性应符合下列原则：

1. 隐患数据推送应实时推送；
2. 批量数据同步周期≤24小时（如历史巡检记录、模型更新）。

安全性应符合下列原则：

1. 采用加密传输，应符合《信息安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239）相关要求；
2. 接口访问需通过双向认证，权限分级管理（仅读、读写、全权）。
	* 1. 数据交换规范

数据格式应符合下列要求：

1. 隐患数据可采用通用地理信息交换格式传输，字段可包含隐患类型、坐标、风险等级、现场照片（可嵌入或关联链接）等；
2. 三维模型应为标准三维空间数据格式，附带完整元数据（坐标系、分辨率、生成时间）；
3. 巡检报告应为长期可归档的电子文档，通过数字签名技术确保内容完整性与不可篡改性。

接口类型应包括隐患推送接口、数据查询接口、模型同步接口、应急联动接口。

* + 1. 接口安全要求

接口访问日志需记录IP地址、操作时间、请求内容，保存期限≥3年。

传输失败时应可启用断点续传与数据重传机制（重试次数≤3次）。

异常访问（如高频请求、非法参数）自动触发IP封锁，封锁时间≥30分钟。

* + 1. 接口测试与维护

上线前应压力测试、兼容性测试（跨平台、跨浏览器）。

每季度进行接口健壮性测试，确保故障恢复时间≤10分钟。

无人机系统供应商负责接口协议更新与版本迭代。

养护管理单位负责接口权限分配与日志审计。

* + 1. 用户操作界面要求

功能模块集成应符合下列要求：

1. 在养护管理系统中应嵌入无人机巡检控制模块，支持航线规划、任务下发、实时监控等核心功能；
2. 功能应可从隐患列表直接跳转至无人机巡检系统的三维模型视图或原始数据页面。

交互应保持一致性，界面布局、操作逻辑应与养护管理系统保持一致。

权限与角色应适配，根据用户角色（操作员、管理员、养护工程师）动态显示功能按钮，例如：

1. 操作员：可查看任务状态与实时画面；
2. 管理员：可配置接口参数、导出数据；
3. 养护工程师：可标注隐患优先级并生成工单。

数据展示界面应符合下列要求：

1. 多源数据融合显示：应可显示无人机巡检数据（正射影像、三维模型等），支持时空对比（历史/当前状态）；隐患点位点击后应可弹出详情浮窗，可包含：GPS坐标、尺寸、现场照片及修复记录。
2. 可视化分析工具：可提供病害趋势图，可按时间轴展示病害变化；可关联降雨量、养护记录等外部数据。
3. 实时监控看板：在指挥平台中应设置无人机巡检看板，动态应可展示如下：
	1. 当前飞行状态（高度、速度、电量）；
	2. 实时视频流与隐患识别结果（AI标注框）；
	3. 周边气象数据（风速、降雨量、温度）。

界面性能与兼容性应符合下列要求：

1. 响应速度：页面加载时间应≤3秒（1MB以内数据量）；地图缩放、图层切换等操作延迟应≤1秒。
2. 跨平台适配：应支持主流操作系统。
3. 移动端优化：应可提供轻量化移动端界面，核心功能（任务监控、简报查看）适配手机屏幕；支持离线缓存（≥100MB数据），网络恢复后自动同步。
	1. 巡检设备异常情况处置
		1. 信号中断处置要求

无人机失联后，应立即启动预设返航程序，优先降落于远离交通流的安全区域。

返航飞行高度应满足：

1. 平原区域不低于50米；
2. 山区区域不低于80米；
3. 超出周边最高障碍物20米以上；
4. 主动规避高压线等高空设施。

操作员需按以下流程处置：

1. 通过备用遥控器尝试恢复控制；
2. 若控制未恢复，启用地面站手动接管模式，经4G/5G链路实施强制接管。

应完整记录以下信息并分析信号丢失原因：

1. 失联时间与位置；
2. 返航飞行轨迹；
3. 接管操作结果。
	* 1. 硬件故障处置要求

当巡检过程中，电机、螺旋桨发生故障时，触发悬停指令（高度≥10米），尝试重启设备（间隔≥30秒）；若持续失效，启动迫降程序，避开边坡临空面，并拍摄故障部件照片并标注位置。

如遇RTK定位失效，应切换至GNSS+视觉融合定位模式（精度≤1m），降低飞行速度（≤3m/s），标记故障时段数据，后续剔除或修复，并记录失效时间及影响范围。

应备用无人机，主设备发生故障无法工作后，应及时更换设备。

* + 1. 电池与动力异常处置

剩余电量≤20%时强制返航，返航路径避开逆风区域，山区作业预留25%电量应对气流扰动。

电量不足迫降，优先选择硬质路面或空旷区域，避免降落在边坡植被区，同时避免影响高速公路运营。

当电池过热（≥60℃）或者鼓包时，应立即终止飞行，将电池置于防爆箱内冷却，并标记为“故障电池”禁止复用，同时记录电池编号、循环次数、异常现象。

* + 1. 信号干扰异常处置

遭遇通讯基站或高压线干扰时，应立即执行切换抗干扰频段，必要时启动信号中继器等关键操作，并标注干扰源位置及频率范围，同时持续监测无人机状态，根据实际情况决策是否继续巡检任务。

边坡巡检作业中若无人机通信链路丢失，应立即依据机载定位模块返回的最后坐标及机载追踪器发送的报文信息组织搜寻。

* + 1. 天气异常处置

当突遇强风或降雨（≥5mm/h）时，须立即操控无人机返航或迫降至安全区域，启用防水罩保护设备，确保人员与设备安全，并记录实时气象数据。

* + 1. 拍摄异常处置

巡检结束后若发现影像数据缺失或模糊，应立即组织补飞。

* + 1. 坠机异常处置

应即使上报坠机情况并联系保险公司进行后续处理。

* + 1. 异常事件记录

当遇到以上异常事件，巡检人员应及时填写高速公路边坡养护无人机异常事件记录表（见附录G）。应详细记录故障时间、类型、处置措施及影响范围，同时分析高频故障原因。

* 1. 巡检资料处理分析与保存
		1. 病害标注

根据接收的无人机边坡巡检资料，对发现的边坡病害进行标注。标注应包含病害的位置、类型、尺寸等详细信息。

1. 位置：桩号+坐标。
2. 类型：可按边坡经常检查记录表附录E中病害内容进行分类。
3. 尺寸：长度、宽度、深度（单位：毫米），面积（单位：平方米）。
	* 1. 巡检数据命名

边坡巡检作业完成后，针对采集的原始巡检数据（全景照片、病害照片等）需按“路段编号+桩号范围+采集日期”等信息统一命名进行分类，确保每处边坡的资料清晰、有序。

命名原则应满足下列要求：

1. 原始数据：路段编号-起始桩号-结束桩号-YYYMMDD\_数据类型（示例：G25-K100+200-K101+500-20250505-影像）。
2. 病害数据：路段编号-桩号-病害类型-YYYYMMDD（示例：G25-K100+250-裂缝-20250505）。
	* 1. 建立专项数据库

巡检单位应建立专项数据库（文件夹或数据库系统）管理巡检资料，可通过对历史数据与新成果的叠加分析研判病害发展趋势，完成巡检报告。

数据库架构应符合下列要求：

1. 基础库：存在原始数据（影像、点云、视频）。
2. 病害库：结构化存储病害信息（位置、类型、尺寸）。
3. 样本库：建立病害照片样本库。

分类存储应符合下列要求：

1. 一级目录：按路段划分（如G25、G60）。
2. 二级目录：按桩号区间（每5km为一个单元）。
3. 三级目录：按数据类型（影像、点云）。
	* 1. 无人机巡检报告要求

无人机巡检报告应包含以下内容：

1. 任务概况：
	1. 巡检任务编号、执行单位、起止时间、天气条件；
	2. 巡检范围（桩号区间）、边坡类型（土质/岩质）、巡检方式（快速/精细/应急）。
2. 设备与系统配置：
	1. 无人机型号、传感器配置（光学相机、激光雷达、红外热像仪等）；
	2. 地面工作站软件版本、机巢系统型号（如适用）。
3. 数据采集与分析：
	1. 影像分辨率、点云密度、热成像温度精度；
	2. 病害算法及识别准确率；
	3. 历史数据对比结果（病害发展趋势）。
4. 病害详情:
	1. 病害类型、位置、尺寸、病害程度；
	2. 典型病害照片。
		1. 病害照片样本库建设要求
			1. 样本库结构
5. 分类层级：按病害类型→路段→桩号→时间；
6. 样本要求：
	1. 每类病害提供≥2000张典型样本；
	2. 标注病害尺寸、位置。
		* 1. 质量控制

快速巡查应可发现≥10cm显性病害；精细巡检应可发现≥2mm显性病害。

* + - 1. 智能应用

基于样本库训练AI模型，应实现病害自动识别（准确率≥85%）。

* + 1. 数据格式要求

影像数据可采用TIFF（无损压缩）、JPEG2000（有损压缩）；点云数据可采用LAS1.4格式，视频文件可采用MP4封装。

* + 1. 数据储存周期要求

原始数据本地存储周期应≥2年，云端备份周期应≥5年，报告（PDF/A格式）应永久存档；其中原始数据中病害数据应永久储存。

* + 1. 存储介质要求

存储介质需符合《电子文件归档与电子档案管理规范》（GB/T 18894），每季度检查存储完整性并生成校验日志。日志需包含操作人、时间、IP地址、文件路径。

* + 1. 数据移交要求

在与相关单位进行数据移交时，应确保所有资料的完整性，详细列出移交的资料内容和数量，同步签署《数据移交确认单》，明确双方责任边界。

* + 1. 数据移交保密要求

在整理和移交过程中，应严格遵守数据保密规定，通过加密传输或物理存储介质当面交接，防止资料泄露。

1. 内部移交应列明文件清单、存储路径；
2. 外部单位调用数据时，须签订保密协议并限定使用范围用途，禁止二次分发。
	1. 巡检应急响应要求
		1. 病害影响程度

无人机巡查发现病害后，现场需通过图像与人工复查确认病害对高速公路安全运营影响程度，将病害按影响公路安全运营程度划分为紧急、严重、一般三级。

* + 1. 病害响应

紧急级需立即启动封闭道路等应急措施；严重级需及时进行养护处置；一般级需纳入常规养护计划。

对于高危边坡，可部署无人机机巢定期自动巡检，进行病害趋势分析，动态调整应急响应等级。

* + 1. 多部门协同应急处置流程

应建立“无人机-监控平台-养护部门-交通管理”联动机制。

无人机巡检应实时回传数据至相关养护管理平台，并可推送至养护、路政及交警部门。

* + 1. 信息化留痕与追溯

所有操作指令、影像数据通过应急养护管理平台留痕，记录操作人、时间节点及具体内容，确保责任追溯与效率优化。

1.
2. （规范性）
规范性

表A.1给出了无人机巡检气象数据记录表的格式。

* 1. 无人机巡检气象数据记录表格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 日期 | 时间 | 风速（m/s） | 能见度（km） | 温度（℃） | 天气现象 | 操作人员 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |

1. （规范性）
无人机专属资产档案表

表B.1给出了无人机专属资产档案表的格式。

* 1. 无人机专属资产档案表格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备编号 | 购置时间 | 规格型号 | 当前状态 |
| 1 | ~ | ~ | ~ | ~ |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |
| 表格说明：1、设备编号：每台无人机的唯一标识；2、购置时间：记录无人机的购置日期；3、规格型号：填写无人机的具体型号；4、当前状态：包括“正常使用”“维修中”“退役”等状态。 |

1. （规范性）
维护保养记录表

表C.1给出了维护保养记录表的格式。

* 1. 维护保养记录表格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 日期 | 设备编号 | 维护类型 | 检查项目 | 维护内容 | 更换部件 | 操作人员 | 技术负责人签字 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. （规范性）
边坡日常巡查记录表（日间巡查）

表D.1边坡日常巡查记录表（日间巡查）的格式。

* 1. 边坡日常巡查记录表（日间巡查）

|  |  |
| --- | --- |
| 边坡简介 |  |
| 巡查人 |  | 巡查单位 |  | 巡查日期 |  |
| 路线编码 |  | 路线名称 |  | 路段名称 |  |
| 车行方向 | 左□右□ | 天气情况 | 晴/多云□ 小雨□ 中雨□ 暴雨□ 特暴大雨□ |
| 工程类型 | 巡检病害内容 | 病害描述与病害照片 |
| 路面工程 | 是否有明显隆起、开裂、下错 |  |
| 是否有流泥流水、块石、塌方等侵占路面 |  |
| 坡体 | 坡体有无异常（结构物异常，排水、泥、土、石、植被异常等） |  |
| 表格说明：表中病害描述应包含边坡类型、桩号、车道/坡级、大小、行车影响及相关病害照片。 |

1. （规范性）
边坡经常检查记录表

表E.1边坡经常检查记录表的格式。

* 1. 边坡经常检查记录表

| 巡查人 |  | 巡查单位 |  | 巡查日期 |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 路线编码 |  | 路线名称 |  | 路段名称 |  |
| 边坡编码 |  | 边坡名称 |  | 边坡桩号 |  |
| 边坡位置 | 左□右□ | 边坡类型 | 路堤边坡□ 路堑边坡 隧道仰坡□ 桥台锥坡□ |
|  | 天气情况 | 晴/多云□ 小雨□ 中雨□ 暴雨□ 特暴大雨□ |
| 工程类型 | 病害内容 | 病害位置、规模、影响及照片编号 |
| 平台 | 推移、堆积物、危石、开裂、下错、塌陷 |  |
| 防排水工程 | 边沟、平台排水沟、急流槽、截水沟：**破损、堵塞、开裂、**杂物堆积、变形、排水设施不完善 |  |
| 坡面泄水孔、深层泄水孔：堵塞、周边渗漏水 |  |
| 集水井或排水隧洞：破损、堵塞、周边渗漏水 |  |
| 普通防护工程 | 护面墙或框格等防护工程：**破损、开裂、倾斜、****下沉、滑移**、空鼓、变形，压顶破损、勾缝脱落、脱落 |  |
| 坡面：渗漏水 |  |
| 基础：冲刷、下沉 |  |
| 柔性防护工程 | 主动防护网及被动防护网：**破损** |  |
| 网内：**危石** |  |
| 锚头或锚固点：松动、锈蚀 |  |
| 喷浆防护工程 | 喷锚面：**开裂** |  |
| 喷锚面：碎落崩塌、局部坍塌、鼓胀隆起 |  |
| 喷锚面：渗漏水 |  |
| 植被防护工程 | 绿化、植草或防护工程覆盖：**破损**，**局部坍塌、**植被脱落、掏空 |  |
| 坡面冲刷、渗漏水、植被不良 |  |
| 支挡工程 | 挡墙、抗滑桩墙、桩板墙等：**开裂、下错、****倾斜、滑移、倒塌** |  |
| 空鼓、下沉，压顶破损、勾缝脱落、变形、墙体脱空、轻度裂缝 |  |
| 墙体：渗漏水 |  |
| 基础：掏空、冲刷、下沉 |  |
| 锚固工程 | 混凝土外锚墩：变形、开裂、钢筋（丝）外露 |  |
| 框架：**开裂、滑移、倾斜、下错** |  |
| 锚垫：滑移；锚具：脱落、松动 |  |
| 锚头：渗漏水、锈蚀 |  |
| 锚垫板：锈蚀 |  |
| 坡体病害 | 坡面及坡顶：**坡面冲刷、碎落崩塌、局部坍塌、危石、滑坡、**开裂、变形、鼓胀隆起、塌陷 |  |
| 其他 | 检修道及扶手：破损、缺失 |  |

1. （规范性）
边坡定期检查记录表（整体外观）

表F.1边坡定期检查记录表（整体外观）的格式。

* 1. 边坡定期检查记录表（整体外观）

|  |  |
| --- | --- |
| 记录表单号 |  |
| 检查人员 |  | 检查单位 |  | 检查日期 |  |
| 路线编码 |  | 路线名称 |  | 路段名称 |  |
| 边坡编码 |  | 边坡名称 |  | 边坡桩号 |  |
| 边坡位置 | 左□右□ | 边坡类型 | 路堤边坡□ 路堑边坡 隧道仰坡□ 桥台锥坡□ |
| 天气情况 | 晴/多云□ 小雨□ 中雨□ 暴雨□ 特暴大雨□ |
| 检查内容 | 状况描述(性质、范围、程度等） | 影响或图片（编号/时间） |
| 整体外观 |  |  |

1. （规范性）
无人机异常事件记录表

表G.1给出了无人机异常事件记录表的格式。

* 1. 无人机异常事件记录表格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 日期 | 设备编号 | 故障类型 | 处置措施 | 影响范围 | 责任人 | 改进建议 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |

参考文献

[1] CCAR-92部 民用无人驾驶航空器运行安全管理规则

[2] AP-45-AA 民用无人驾驶航空器实名制登记管理规定

[3] 国令第761号 无人驾驶航空器飞行管理暂行条例

[4] 无人驾驶航空器飞行管理暂行条例

[5] JTG 5150 公路路基养护技术规范

