

团体标准
《无人驾驶航空器高速公路主线道路巡查作业
技术规范》（征求意见稿）

编制说明

标准起草组

2026 年 09 月

一、任务来源

在我国高速公路路网规模持续扩大，交通运输数字化、智能化转型加速推进的背景下，无人驾驶航空器（无人机）凭借机动灵活、作业场景适应性强的优势，已成为高速公路日常巡查、专项检查、应急检测、辅助监管的重要手段，在路面病害排查、桥隧结构检测、边坡隐患监测、交通运行监管、路产保护等领域得到广泛应用。当前无人机高速公路巡查应用快速推广，但行业存在设备选型不统一、作业流程不一致、数据采集质量参差不齐、多方协同机制缺失、执法取证与数据安全缺乏统一依据等问题，造成作业质量不可控、成果数据难以共享复用，制约无人机巡查技术规模化规范化落地应用。

为建立覆盖设备配置、作业实施、数据处理、安全管理、成果输出全链条的高速公路无人机巡查技术体系，规范无人驾驶航空器高速公路主线巡查作业行为，填补综合性作业标准空白，经相关单位联合提出，制定《无人驾驶航空器高速公路主线道路巡查作业技术规范》团体标准。

经研究论证，浙江省物联网产业协会下达《无人驾驶航空器高速公路主线道路巡查作业技术规范》团体标准编制（计划编号：2026-011-ZAII）。

二、标准制定背景

1. 政策背景

国家层面：《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（国务院令 第 761 号）、《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》（CCAR- 92）等法规相继发布实施，明确无人驾驶航空器飞行运行、实名登记、安全管理相关制度要求；交通运输行业大力推进智慧交通建设，鼓励智能化装备在公路养护、路政监管、交通应急处置场景落地应用，推动公路管养向精细化、数字化转型升级。

地方层面，浙江省作为数字交通建设先行省份，高速公路路网发达，多地已开展高速公路无人机巡查试点应用，在养护巡检、交通违法取证、路产保护、应急处置方面积累大量实践案例，为本标准编制提供扎实的产业实践与场景应用支撑。

2. 行业与市场背景

当前无人驾驶航空器用于高速公路主线巡查面临三大核心痛点：

（1）作业无统一标尺：无人机设备选型、飞行参数、数据采集指标、巡查频率缺少统一技术要求，不同单位作业成果质量差异较大，缺少评判依据；

（2）流程无统一规范：巡查方案编制、航线规划、现场作业、数据处理、报告编制流程各行其是，病害智能识别、执法取证、证据保全缺少标准化操作指引；

(3) 协同与风险不可控：高速交警、高速公路运营业主、地方路政多方职责边界不清晰，数据共享推送机制不健全；空域申报、飞行风险防控、数据分级安全管理、突发事件应急处置缺少统一规范，飞行安全与数据证据效力存在风险隐患。

市场层面，无人机已经成为高速公路管养数字化升级的重要装备，行业应用需求快速增长，亟需一套兼顾养护、交通监管、路政执法多场景的统一团体标准，用于设备选型、作业实施、项目验收、成果评价，指导行业规模化应用。

3. 填补标准空白

现有无人机相关标准多聚焦通用无人机产品性能，公路领域现有标准多侧重路政单一巡查场景，缺少面向高速公路主线，兼顾路面、桥隧、边坡养护巡检、交通运行监测、施工监管、路产保护、应急处置多场景，覆盖高速交警、运营业主、路政多方协同的全流程综合性作业规范。本标准结合高速公路复杂作业环境特点，系统规定设备设施、作业人员、空域管理、巡查作业、数据处理、安全应急、成果输出等要求，填补高速公路主线无人机综合巡查领域标准空白。

三、编制原则

1. 贴合法规及现有标准，做好衔接配套

严格对接国家、行业现行无人机管理法规、公路养护相关标准，与现有无人机系统标准、公路养护规范协调一致，

对已有规定不重复、不冲突，针对高速公路主线巡查特有场景做细化补充。

2. 聚焦业务场景、注重落地实用

以高速公路主线真实业务场景为核心，覆盖日常巡查、专项检查、应急检测、执法取证，兼顾养护、交通、路政多方业务需求，指标明确、流程清晰，可直接用于现场作业指导、项目验收和第三方评估。

3. 技术要求科学、客观可操作

对飞行参数、设备性能、影像质量、重叠率、作业环境阈值、模型性能等设置可量化指标，兼顾技术先进性与基层单位实操条件，减少主观判定，保障标准可落地执行。

4. 强化安全底线，兼顾证据合规

落实无人机空域管理、飞行安全要求，规范执法取证全流程，明确数据分级分类、加密存储、证据保全、数据留存时限要求，兼顾飞行作业安全和行政执法证据法律效力。

5. 产学研用协同

起草组涵盖高速公路运营单位、交通运输主管及执法单位、科研设计院所、高职院校、无人机技术企业，融合管理需求、现场作业经验、技术研发能力，确保标准兼顾管理、业务、技术多方诉求，具备实用性与普适性。

四、标准的编制过程

前期调研阶段（2026 年 7 月—2026 年 8 月）：调研省内及国内高速公路无人机巡查试点项目，梳理设备选型、作业流程、数据应用、多方协同、安全管理现存问题，调研行业单位实际业务诉求，完成调研报告。

标准草案编制阶段（2026 年 8 月—2026 年 9 月）：确定标准框架结构，梳理范围、术语、设备、作业、数据、安全、成果报告各章节技术内容，形成标准草案初稿，起草组内部多轮研讨修改完善，形成征求意见稿。

专家研讨阶段（2026 年 8 月—2026 年 9 月）：组织交通运输管理部门、高速运营单位、无人机技术专家、公路养护专家、执法业务专家开展专题研讨，优化设备性能阈值、飞行作业参数、病害识别指标、证据管理规则、应急处置流程。并形成了征求意见稿。

五、标准制定依据

本标准制定过程中引用和参考了以下法律法规、政策文件与技术规范：

《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（国务院令 761 号）

《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》（CCAR- 92）

《民用无人驾驶航空器驾驶员管理规定》（AC- 61- FS - 2023- 004R2）

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》

GB/T 35018- 2018 《民用无人驾驶航空器系统分类与分级》

GB/T 38152- 2019 《无人驾驶航空器系统术语》

GB 42582- 2023 《民用无人驾驶航空器系统安全要求》

GB 46750- 2025 《民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》

GB/T 38934- 2020 《无人机系统通用要求》

GB/T 38936- 2020 《无人机飞行安全规范》

MH/T 1069- 2017 《民用无人机系统作业飞行技术规范》

MH/T 2009- 2017 《无人机云系统接口数据规范》

MH/T 4053- 2018 《民用无人驾驶航空器空中交通管理信息服务系统数据接口规范》

JTG 5120- 2021 《公路桥涵养护规范》

JTG H10- 2009 《公路养护技术规范》

T/ZAH 075- 2025 《无人驾驶航空器内河水面上交通巡查技术规范》

六、主要制定内容的说明

1. 标准适用范围

本文件规定了无人驾驶航空器在高速公路主线开展巡查作业的技术要求、操作规范、安全管理措施及数据处理流程。适用于高速公路主线（含桥涵、隧道、边坡等构造物及附属设施）的日常巡查、专项检查、应急检测和辅助监管等作业，涵盖路面状况监测、桥隧结构检查、交通运行观测、交安设施核查、施工区域监管及路产保护巡查等内容。本文件不适用于无人机作为运输工具使用的场景；收费广场、服务区建筑物内部的无人机作业；无人机巡检与人工巡检存在冲突时的优先判定，相关要求由高速公路运营单位另行规定。

2. 核心内容说明

术语和定义：界定无人机、多旋翼无人机、垂直起降无人机、无人机机库、主线巡查、自动巡查、仿地飞行、病害智能识别、RTK 等关键术语，统一行业认知与标准口径。

基本要求：明确无人机巡查定位为人工巡查有效补充；规定空域实名登记、空域申报报备、运行识别、监管平台接入等空域管理要求；明确作业人员资质、实操经验、培训复训要求；界定风速、能见度、温湿度、降水、电磁环境、起降场地等作业环境约束；建立高速交警、运营业主、路政多方协同和数据分类共享机制。

设备设施：规定无人机系统机型选型、定位、避障、双链路通信、环境适应性要求；明确可见光、红外热像仪、激

光雷达、喊话抛投等任务载荷性能指标；规范自动机库部署条件、防护与通信要求；对系统管理平台提出统一管控、角色权限、分类推送、联合调度、证据保全、业务系统互联互通功能要求；明确全周期设备维护保养要求。

巡查内容与技术要求：针对路面、桥梁、隧道、边坡、交通运行、交安设施、施工监管、路产保护、应急巡查九大业务场景，分别明确检查项目、飞行模式、数据采集形式、适用程度；给出日常、定期、专项、应急巡查的巡查频率和作业时机指导。

巡查作业：规范巡查方案编制要素，明确航线规划飞行高度、影像重叠率、地面采样距离等关键参数；细化飞行前空域、设备、安全策略、应急物资的巡查准备工作；区分自动、手动、混合飞行模式，明确各类场景飞行操作要点；对交通违法行为、路产侵权取证提出证据链完整、不可篡改的特殊要求；规定作业后数据核查、备份、补飞工作流程。

数据采集与处理：划分粗飞、精飞两种数据采集模式，明确影像、元数据质量要求；规定数据预处理、三维重建、文件命名规则；提出病害智能识别数据集构建、模型性能、时序对比分析技术路径；明确数据接口规范；建立数据加密、分级分类、存储时限、执法数据专项管理的数据安全体系。

巡查成果与报告：明确巡查报告、数据包、三维模型、元数据文件等成果类型；区分养护、交通监测、路政、综合

巡查四类报告编制要点；规范成果归档、备份、跨部门共享留存管理。

安全管理与应急响应：建立无人机一机一档全生命周期档案；明确起降作业人员防护、设备防护要求；开展作业前风险辨识，识别空域、环境、设备、操作风险；制定通信中断、设备故障、气象突变、无人机坠落等典型突发事件处置流程，明确多方协同应急处置机制。

规范性附录：提供巡查方案模板、巡查报告模板、巡查作业记录表、无人机维护保养检查单，为一线单位提供可直接套用的工具表单。

七、标准编制意义

1. 建立统一作业标尺

解决高速公路无人机巡查设备选型不一、作业流程混乱、成果质量缺少评判依据的行业痛点，为项目实施、作业验收、能力评估提供统一技术标尺。

2. 降低飞行与数据合规风险

通过前置作业条件核查、飞行风险管控、突发事件处置规范，降低无人机飞行安全事故风险；规范执法取证、数据分级存储与证据保全，保障巡查数据尤其是行政执法证据的合规性、完整性。

3. 提升多方协同与产业应用效率

明确高速交警、高速公路运营业主、地方路政职责分工、数据分类推送共享机制，降低跨部门协同成本；统一采集、处理、输出技术要求，推动巡查成果与现有公路养护、交通监管业务系统打通，加速无人机技术在高速公路行业规模化落地。

4. 完善智慧交通标准体系

填补高速公路主线多业务场景无人机综合巡查标准空白，与现有无人机、公路养护标准形成互补，支撑高速公路管养向数字化、精细化、智能化转型，助力智慧交通产业高质量发展。

八、标准属性

本标准为首次制定，属于浙江省物联网产业协会团体标准。

九、与现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与国家现行法律、法规、强制性国家标准协调一致，无冲突内容。标准不涉及知识产权纠纷，可顺利推广实施。

团 体 标 准

T/ZAII XXX—2026

无人驾驶航空器高速公路主线道路 巡查作业技术规范

Technical specification for expressway main- line inspection operations using
unmanned aerial vehicles

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

浙江省物联网产业协会 发布

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 基本要求 2

5 设备设施 4

6 巡查内容与技术要求 6

7 巡查作业流程 11

8 数据采集与处理 13

9 巡查成果与报告 15

10 安全管理与应急响应 16

附 录 A （资料性） 巡查方案模板 18

附 录 B （资料性） 巡查报告模板 19

附 录 C （资料性） 巡查作业记录表 20

附 录 D （资料性） 无人机维护保养检查单 21

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。

本文件由浙江省物联网产业协会归口。

本文件起草单位：浙江杭宁高速公路有限责任公司、湖州市交通运输局、湖州市交通运输行政执法队、浙江数智交院科技股份有限公司、湖州职业技术学院、湖州硕迪科技有限公司。

本文件主要起草人：

无人驾驶航空器高速公路主线道路巡查作业技术规范

1 范围

本文件规定了无人驾驶航空器在高速公路主线开展巡查作业的基本要求、设备设施、巡查内容与技术要求、巡查作业流程、数据采集与处理、巡查成果与报告、安全管理与应急响应。

本文件适用于高速公路主线（含桥涵、隧道、边坡等构造物及附属设施）的日常巡查、专项检查、应急检测和辅助监管等作业，涵盖路面状况监测、桥隧结构检查、交通运行观测、交安设施核查、施工区域监管及路产保护巡查等内容。

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 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语
GB 46750—2025 民用无人驾驶航空器系统运行识别规范
MH/T 1069—2017 民用无人机系统作业飞行技术规范
MH/T 2009—2017 无人机云系统接口数据规范
MH/T 4053—2018 民用无人驾驶航空器空中交通管理信息服务系统数据接口规范
T/ZAII 075—2025 无人驾驶航空器内河水面上交通巡查技术规范

3 术语和定义

GB/T 38152、GB 46750、MH/T 1069、MH/T 4053 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人驾驶航空器 unmanned aircraft

没有机载驾驶员、自备动力系统的航空器，并配有相关的遥控站、所需的指挥和控制链路以及设计规定的任何其他部件，能完成特定任务的一组设备。

3.2

多旋翼无人机 multi-rotor UAV

由动力驱动，飞行时凭借三个及以上旋翼提供升力和操纵的，能够垂直起降、自由悬停的重于空气的航空器。

3.3

无人机机库/自动机场 unmanned aerial vehicle hangar

为无人机提供安全存放环境，集成了自动充电、自检、一键起飞、精确着陆等多种自动化功能的场所，又称无人机机场或无人机机巢。

3.4

主线巡查 mainline inspection

针对高速公路主线道路及其沿线设施开展的巡查作业，包括路面、桥涵、隧道、边坡、交安设施、交通运行状态等的观测与记录。

3.5

自动巡查 autonomous cruise

当无人机执行预设任务时，在操控员的监视下实现预编程范围的巡查作业。

3.6

手动巡查 manual patrol

由操作人员人工控制无人机开展巡查作业。

3.7

真实高度（真高） true altitude

无人机与其正下方地球表面或地形之间的垂直距离。

3.8

图像尺度因子 image scale factor

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 image overlap ratio

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和三维模型重建成功的关键参数。

3.10

病害智能识别 intelligent damage identification

基于人工智能算法对采集的图像或视频数据自动识别结构表观病害的技术。

3.11

实时载波相位差分 real-time kinematic, RTK

一种基于全球卫星导航系统的高精度定位技术，通过基准站与流动站之间的载波相位差分观测实现厘米级实时定位。

3.12

仿地飞行 terrain following flight

无人机根据地形起伏数据自动调整飞行高度，保持与地面相对高度恒定的飞行模式。

4 基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 无人机巡查是高速公路人工巡查的有效补充手段，主要应用于人工巡查难以实施或更具优势的场景，并与现有公路养护管理体系协同融合。

4.1.2 无人机巡查作业应遵循安全第一、质量优先的原则，作业全过程应采取有效措施，保障人员、设备、道路设施及第三方安全。

4.1.3 无人机巡查工作流程主要包括巡查方案制定、巡查准备、现场数据采集、数据处理与成果生成等环节。

4.1.4 无人机巡查成果应能满足公路技术状况评定、养护决策等标准要求，数据的完整性、准确性和可追溯性应得到保障。

4.1.5 高速公路交通管理部门、高速公路经营管理单位、地方路政应建立无人机巡查协同工作机制，明确各方职责分工和信息共享流程，确保巡查数据的有效利用和联合行动的顺利开展。

4.1.6 巡查数据应按职责权限在各方之间共享：高速交警侧重获取交通违法数据，运营业主侧重获取养护病害数据，地方路政侧重获取路产路权数据。各方应建立数据分类推送机制，确保数据精准送达。

4.2 空域管理

4.2.1 执行任务的无人机应在飞行前登录无人驾驶航空器综合管理平台（UOM）完成实名登记，并确保实名登记信息与实际设备一致。

4.2.2 在管制空域内执行巡查任务，应于每次飞行前向空管机构进行空域申报及飞行计划批准，获得批准后方可实施飞行作业。

4.2.3 在适飞空域（非管制空域）内的常态化飞行活动作业，应每半年或一年向空管机构申报一次飞行计划。

4.2.4 飞行计划发生飞行时间、区域、高度、频率等重大变更时，应重新报备或申报。

4.2.5 应急飞行任务应视紧急程度及时向空管机构报备任务信息，提出飞行活动申请。

4.2.6 无人机应符合 GB 46750 规定的运行识别要求，在依靠自身动力移动的全过程中持续发送运行识别信息，更新间隔不大于 1s，且不应具备关闭发送的功能。

4.2.7 无人机应接入国家无人驾驶航空器一体化综合监管服务平台，实时报送飞行位置、速度、高度等状态数据，确保在批准空域内作业。

4.3 作业人员

4.3.1 无人机操控员应持有国家认可的无人机驾驶员合格证书（如民航局 AOPA 证书或同等级资质），并取得与作业风险、机型相匹配的操控执照。

4.3.2 无人机操控员应具有至少 6 个月以上无人机操作经验，累计飞行时长不少于 50 小时，熟练掌握无人机在高速公路复杂环境中的操控技能。

4.3.3 作业团队宜配备具备公路工程、桥梁、隧道或养护专业背景的专业人员，负责识别病害、判断结构状态，提供技术指导。

4.3.4 作业人员应熟悉无人机作业过程中的潜在风险及应急处置措施，并熟悉高速公路常见病害特征与结构特点。

4.3.5 作业人员应每年接受一次全面健康检查，确保无影响作业的疾病（如视力障碍、心血管疾病、精神类疾病等）。作业期间禁止人员处于疲劳状态或服用影响判断力的药物。

4.3.6 作业人员在饮用任何含酒精的液体之后的 8 小时之内或处于酒精作用之下，不得操控无人机。

4.3.7 所有作业人员需通过无人机操作与公路巡查专项培训，培训内容应包括设备操作、巡查重点、数据采集及安全管理，并经考核合格后上岗。

4.3.8 每年至少组织 1 次技能复训，内容包括新设备、新技术及新规范的应用，以及突发情况应对演练。

4.3.9 不同岗位人员对系统管理平台的操作权限应按职责划分，高速交警、运营业主、地方路政应在各自职责范围内使用系统功能，确保数据安全。

4.4 作业环境

4.4.1 风速

作业时风速应不超过无人机运行安全限制，原则上要求地表风速不大于 5 级（10.8 m/s），现场瞬时风速应不大于 7 m/s。如遇风速大于等于 6 级，应暂停飞行作业。

4.4.2 降水

巡查作业严禁在降雨、降雪或冰雹天气下进行，避免损坏无人机电路设备。作业前应通过气象服务确认无降水预警。

4.4.3 能见度

巡查区域水平能见度应不小于 2（3）km，浓雾、烟霾天气严禁作业。

4.4.4 温度

作业环境温度范围应为-10（20）℃至 40（50）℃，避免极端高温或低温对无人机电池、传感器及飞控系统的影响。

4.4.5 雷电

作业当天确认无雷电预警，作业时如遇雷电或天气突变，应立即返航并暂停任务。

4.4.6 光照

巡查作业建议安排在白天进行，优先选择日照充足、光线稳定的时间段。如安排夜间作业，需配备高性能夜视设备或红外摄像系统，同时确保无人机导航灯功能完好。

4.4.7 湿度

空气湿度应控制在 30%~85%范围内，避免过高湿度导致设备内部结露或电子元件失灵。

4.4.8 电磁环境

巡查区域应无强电磁干扰源，避免影响无人机遥控信号和图像传输信号。作业前应进行电磁环境评估。

4.4.9 起降场地

起降场地应开阔、平整，选取面积应不小于 2m×2m，周围应无杂物、积水或遮挡物。

4.4.10 禁飞区

作业前应核查巡查区域是否存在法律或政策限制的禁飞区域（如机场周边、军事区域），如需飞行许可，需提前向相关部门申请审批。

5 设备设施

5.1 无人机系统

5.1.1 高速公路主线巡查宜优先选用多旋翼无人机，根据实际需要可选用垂直起降固定翼无人机作为补充。

5.1.2 无人机系统性能宜满足下列要求：

- a) 具备垂直起降和稳定悬停能力；
- b) 具备高精度定位能力，如搭载 RTK 模块或具备等效精度的定位系统；
- c) 单次起落飞行时间宜不小于 30 分钟，满足多点位巡查需求；
- d) 具备有效的无线电发射设备型号核准证，符合相关电磁兼容要求；
- e) 防护等级应适应高速公路周边环境要求。

5.1.3 无人机应具备上、下、左、右、前、后六向全方位避障功能，避障距离应不低于 2 米。

5.1.4 无人机应具备抗风、防尘、防水等性能，适应强风（不低于6级）、低温、高湿度等恶劣环境作业。

5.1.5 无人机系统应具备独立的双链路通信能力：

- a) 遥控链路：用于地面操控人员直接、实时地向无人机发送飞行控制指令，确保对无人机的基本操控权，此链路应具有高优先级和低延迟特性；
- b) 数据链路：用于地面控制站与无人机之间进行双向数据传输，包括任务指令上传、飞行状态信息下传、任务载荷数据下传等。

5.2 任务载荷

5.2.1 可见光相机应满足以下要求：

- a) 定焦相机分辨率应不低于1200万有效像素；
- b) 变焦相机支持至少10倍光学变焦功能，满足远距离精准观测需求；
- c) 视频拍摄分辨率不低于1080P。

5.2.2 红外热像仪：分辨率不低于 640×512 像素，适用于夜间巡查和温度异常检测。

5.2.3 激光雷达（LiDAR）：用于高精度三维建模和地形测量，精度和量程应与巡检目标相匹配。

5.2.4 喊话器/扬声器：用于应急指挥和远程语音传达，功率和音质应满足远距离使用需求。

5.2.5 警示灯/警示屏应满足以下要求：

- a) 警示灯：应具备红、黄、蓝等多种警示颜色可选，支持常亮、频闪等多种模式，白天100米、夜间500米范围内清晰可见；
- b) 警示屏：显示分辨率不低于 320×240 像素，支持文字、图形动态显示，可远程实时更新警示内容。

5.2.6 用于夜间或低光环境作业，照明范围和亮度应满足拍摄需求。

5.2.7 云台设备应满足以下要求：

- c) 支持多角度安装方式，适应不同巡查场景需求；
- d) 具备三轴自动稳定功能，确保拍摄影像的平稳性；
- e) 角度控制精度应达到 $\pm 0.05^\circ$ 以内。

5.2.8 抛投器应满足以下要求：

- a) 抛投有效载荷应不小于2000g，满足应急物资、救援设备、警示标识等物品的远程投送需求；
- b) 抛投触发方式应支持远程遥控操作，响应时间不超过1秒；
- c) 抛投精度应在10米作业高度下达到 ± 1 米以内；
- d) 应具备安全锁止功能，防止误触发导致意外抛投。

5.3 无人机机库/自动机场

5.3.1 机库应具备远程操控、自主巡航、7×24小时无人值守等功能。

5.3.2 机库防护等级应不低于IP55，具备防水、防尘、防雷等能力。

5.3.3 机库部署选址应满足下列要求：

- a) 优先选择基层站所、服务区、养护工区等网络、市电良好的场所；
- b) 应避免安装在频闪灯、不受控人造光源照射位置，避免干扰飞行器视觉系统；
- c) 应远离强电磁波干扰场地，如雷达站、微波站等，保持200m以上距离。

5.3.4 机库网络通信应配备100 Mbps~1000 Mbps自适应以太网接口及4G或5G移动通信网络接口。

5.3.5 机库应具备自动充电功能，充电设施应具备过充保护、短路保护等安全功能。

5.3.6 机库应内置环境监测传感器，实时监测舱内温湿度等环境参数。

5.4 系统管理平台

- 5.4.1 无人机系统管理平台应实现对辖区内无人机、前端设备、用户身份与权限的统一集中管理。
- 5.4.2 系统管理平台应支持多部门、多角色的用户权限管理，按高速交警、运营业主、地方路政的职责设置数据访问和操作权限，确保各方在职责范围内使用系统。
- 5.4.3 平台应能按巡查内容自动分类，将交通违法线索推送至高速交警业务系统，养护病害数据推送至公路养护管理系统，路产侵权线索推送至路政业务系统，实现数据的精准送达。
- 5.4.4 平台应支持跨部门联合巡查任务的发起、审批和调度，确保多方协同作业的顺利开展。
- 5.4.5 对于涉及执法取证的巡查数据（交通违法、路产侵权等），系统应具备证据链管理功能，确保数据的完整性、真实性和法律效力。证据数据应设置保护标记，禁止修改和删除。
- 5.4.6 平台核心功能宜包括：
- a) 无人机自动起飞、自动巡查、自动返回降落控制；
 - b) 航线规划、航迹点生成及航线管理；
 - c) 远程任务规划、飞行计划管理和数据归档；
 - d) 无人机飞行性能及状态实时监控；
 - e) 电子围栏功能，防止无人机飞出作业范围；
 - f) 实时数据采集，包括飞行姿态、高度、速度、航迹信息等；
 - g) 数据处理与分析，包括影像预处理、病害智能识别等；
 - h) 支持与公路养护管理系统、交通监控系统等业务系统互联互通。
- 5.4.7 平台应具备非现场巡查功能，通过智能识别技术自动发现违法行为和安全隐患，并同步采集完整的视听证据材料。
- 5.4.8 平台数据接口应符合 MH/T 2009 规定的轻小型民用无人机系统与无人机云系统之间的传输数据要求。

5.5 设备维护保养

- 5.5.1 日常检查保养内容：
- a) 保持机身外观整洁，螺旋桨安装牢固且无损伤；
 - b) 检查相机镜头表面无刮花、裂纹或其他损伤，拍照功能正常；
 - c) 确认云台连接部分无松动、变形或破损现象，转动平滑无卡顿；
 - d) 检查数据存储空间是否充足；
 - e) 检查照明设备功能是否正常。
- 5.5.2 定期检查保养内容：
- a) 检查机身外观是否完整无损，框架结构是否完好无裂纹；
 - b) 检查橡胶件的弹性状态是否良好，紧固件和连接件是否稳定可靠；
 - c) 确保桨叶外观完好，无裂纹或变形现象；
 - d) 检查电池外观是否有鼓包、损坏等异常现象。
- 5.5.3 电池维护保养要求：
- a) 任务完成后应及时拔出无人机电池，置于阴凉、通风的环境中冷却；
 - b) 电池长期不使用时，应将电量放电至 40%~65%后存放；
 - c) 每隔 2~3 个月对长期存放的电池进行一次充放电操作以保持性能；
 - d) 充电时，电池及充电设备应放置在水泥地面或其他无易燃物的区域，充电过程中应有人值守。

6 巡查内容与技术要求

6.1 路面巡查

6.1.1 应巡查路面病害，评估路面技术状况，为养护决策提供依据。

6.1.2 无人机路面巡查场景及技术要求宜符合表 1 的规定。

表 1 人机路面巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	路面裂缝	纵向裂缝、横向裂缝、网裂、块裂等	A/M	照片（正射）+视频	●
2	坑槽	路面局部破损形成凹坑	A/M	照片（正射+倾斜）+视频	●
3	车辙	轮迹带纵向凹陷变形	A	照片（正射）	○
4	拥包/推移	路面局部隆起或水平位移	A/M	照片（倾斜）+视频	●
5	泛油	沥青上浮形成油亮面层	A	照片（正射）	○
6	剥落/松散	集料脱落、表面松散	A/M	照片（正射+倾斜）	○
7	修补损坏	原修补区域再次破损或脱落	A/M	照片（正射）+视频	●
8	沉陷	路面局部或大面积下沉	A/M	照片（正射）+视频	●
9	路面积水	降雨后路面排水不畅区域	A/M	照片（正射）+视频	●
10	路面标线	标线磨损、缺失、模糊	A	照片（正射）	●
11	抛洒物/散落物	车辆遗落的货物、碎片等	A/M	照片+视频	●
12	路面污染	油污、泥土、化学物泄漏等	A/M	照片+视频	●
13	桥面铺装	桥面沥青层破损、渗水	A/M	照片（正射+倾斜）+视频	●
14	收费站广场路面	收费区域路面破损、标线磨损	A	照片（正射）	●
15	互通立交路面	匝道路面病害、排水不畅	A/M	照片+视频	●
16	应急车道占用	应急车道被违停车辆占用	A/M	照片+视频	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.2 桥梁巡查

6.2.1 应检查桥梁结构及附属设施的外观状态，发现病害及异常情况，保障桥梁安全运营。

6.2.2 桥梁日常巡查场景及技术要求宜符合表 2 的规定。

表 2 桥梁日常巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	桥路连接处	桥头与路基连接段沉降差、错台	A/M	照片	○
2	伸缩缝	钢件断裂、橡胶条脱落、异物卡填	A/M	照片	○
3	栏杆/护栏	栏杆断裂、缺失，护栏变形	A/M	视频/照片	○
4	标志标牌	桥梁限高、限载等标志缺失或损坏	A/M	照片	●
5	桥梁线形	桥面纵向线形下挠、横向偏移	A/M	照片	○
6	桥梁振动/摆动	车辆荷载下桥面异常振动	A/M	视频	○
7	桥梁安全保护区	安全保护区是否存在违建、堆物、采砂等	A/M	视频/照片	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.2.3 桥梁结构定期检查场景及技术要求宜符合表 3 的规定。

表 3 桥梁结构定期检查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	混凝土构件表面	蜂窝、麻面、剥落、露筋、锈蚀	A	照片	●
2	钢结构涂层	劣化、锈蚀、变形、局部损伤	A	照片	●
3	钢结构螺栓	高强螺栓松动或缺失	A	照片	●
4	支座	错位、脱空、老化、开裂	M	照片	●
5	墩台	倾斜、损伤、开裂	A/M	照片	●
6	基础	冲刷、损坏、悬空	A/M	照片	△
7	锥坡/护坡	缺损、开裂、塌陷	A/M	照片	●
8	排水设施	堵塞、破损	A/M	照片	△
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.3 隧道巡查

- 6.3.1 应检查隧道洞口、衬砌、内装及附属设施的状态，保障隧道结构安全和通行安全。
- 6.3.2 隧道巡查场景及技术要求宜符合表 4 的规定。

表 4 隧道巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	洞口边坡	仰坡及边坡稳定性、落石、滑坡迹象	A/M	照片/视频	●
2	洞门结构	端墙、翼墙裂缝、变形、脱落	A/M	照片	●
3	洞口标志标线	隧道口限速、限高、导向标志	A/M	照片	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.4 边坡巡查

- 6.4.1 应监测边坡稳定状态，及时发现塌方、滑坡、落石等安全隐患。
- 6.4.2 边坡巡查场景及技术要求宜符合表 5 的规定。

表 5 边坡巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	坡面裂缝/变形	边坡体张拉裂缝、鼓胀变形	A/M	照片/视频	●
2	滑坡/塌方	边坡整体滑移、局部塌方	A/M	照片/视频	●
3	截排水沟	坡顶截水沟、坡面排水沟堵塞或破损	A	照片	○
4	落石/崩塌	陡坡危岩体松动、悬空	A/M	照片/视频	●
5	防护结构	挡土墙、锚喷支护变形开裂	A	照片	●
6	植被异常	坡面植被反映深层含水变化	A	照片/视频	○
7	碎落台	堆积物影响排水与通行	A	照片	○
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.5 交通运行监测

- 6.5.1 应注重超速行驶辅助抓拍、占用应急车道违法行为取证、违法停车行为辅助取证、交通事故现场勘查记录等高速交警关注场景。

6.5.2 应保持稳定悬停或匀速跟拍，连续记录违法行为的完整过程，采集的图像应清晰显示车辆号牌、违法行为及时间、地理位置等信息。相关数据应按执法证据要求进行管理。

6.5.3 交通运行监测场景及技术要求宜符合表 6 的规定。

表 6 交通运行监测场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	交通拥堵	车流密度增大、车速下降	A/M	视频	●
2	异常停车	车辆在行车道或应急车道停放	A/M	视频	●
3	交通事故	碰撞、翻车、追尾等事故现场	M	视频/照片	●
4	行人上路	行人进入高速公路行走	A/M	视频	●
5	抛洒物	车辆遗落货物、碎片	A/M	视频/照片	●
6	车速异常	超速或低速行驶车辆	A	视频	○
7	逆向行驶	车辆逆行方向行驶	A/M	视频	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.6 交通安全设施巡查

6.6.1 应检查沿线交通安全设施的完好情况，保障设施功能正常。

6.6.2 交通安全设施巡查场景及技术要求宜符合表 7 的规定。

表 7 交通安全设施巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	标志牌	版面褪色、破损、缺失	A/M	照片	●
2	标线	路面标线磨损、脱落	A	照片/视频	○
3	护栏	护栏变形、立柱倾斜、缺失	A	照片/视频	●
4	声屏障	板面破损、立柱变形	A	照片	●
5	防眩板	中央分隔带防眩板断裂、缺失	A	照片	●
6	轮廓标	反光膜脱落、缺失	A	照片	○
7	隔离栅	网片破损、立柱倒伏	A/M	照片/视频	●
8	防落网	桥梁上方防落物网破损	A	照片	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.7 施工区域监管

6.7.1 应核查养护施工标志布设、施工区域管理及作业人员安全防护情况，并注重涉路施工许可合规性核查，核查施工作业是否在批准范围内进行；施工区域交通安全设施合规性检查；施工完毕后路产恢复情况核查等地方路政关注的内容。

6.7.2 施工区域监管场景及技术要求宜符合表 8 的规定。

表 8 施工区域监管场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	施工标志	预告、限速标志摆放规范性	A/M	照片/视频	●
2	作业区布设	警告区、过渡区、作业区合规性	A/M	照片/视频	●
3	材料堆放	施工材料堆放位置及秩序	A	照片	○

4	人员防护	施工人员安全着装、站位	A/M	视频	●
5	机械停放	机械停放是否侵入行车空间	A	照片	○
6	渠化设施	锥标摆放连续性、反光性	A	照片/视频	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.8 路产保护

6.8.1 应对超限运输车辆辅助监控，采集车辆外观及载货情况；涉路施工侵权取证，记录侵权事实和侵权范围；公路用地范围内非公路标志核查，采集未经许可设置的标志位置及现状等进行巡查。

6.8.2 应完整记录侵权行为全过程，包括侵权主体、侵权时间、侵权范围等信息，多角度拍摄固定证据。采集的数据应包含连续视频、定位信息和时间戳等要素，满足行政执法证据要求。

6.8.3 路产保护巡查场景及技术要求宜符合表 9 的规定。

表 9 路产保护巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	违法建设	控制区内新建建筑物、构筑物	A	照片/视频	●
2	桥下空间占用	桥下空间堆物、搭建、停车	A/M	照片/视频	●
3	隔离栅开口	隔离栅被人为剪开、拆除	A	照片	●
4	边坡挖掘	路基边坡被取土、开挖	A/M	照片/视频	●
5	绿化带破坏	绿化带被践踏、砍伐、占用	A	照片	○
6	用地占用	公路用地范围内经营、堆物	A	照片/视频	●
7	非法道口	未经审批在公路开设道口	A/M	照片/视频	●
注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。					

6.9 应急巡查

6.9.1 应注重高速交警关注场景：

- 交通事故现场先期勘查，为交警到达前提供现场态势感知；
- 危险品运输事故监测，辅助判断事故类型及危害范围；
- 交通管制辅助，利用无人机喊话功能引导车辆有序通行；
- 大流量时段交通态势监测，支撑交通疏导决策等

6.9.2 应做好三方协同机制：高速交警负责现场交通管控和秩序维护；高速公路经营管理单位负责现场协调和设施损坏评估；地方路政负责路产损失评估和保险理赔支持。各方应通过统一指挥平台保持信息共享。

6.9.3 应急巡查场景及技术要求宜符合表 10 的规定。

表 10 应急巡查场景及技术要求

序号	检查项目	项目说明	飞行方式	数据采集	适用程度
1	事故勘查	事故现场全景记录、证据固定	M	视频/照片	●
2	灾害排查	台风、暴雨、地震后灾情排查	M	视频/照片	●
3	火灾监测	火势范围、烟雾扩散监测	M	视频/红外	●
4	交通疏导	拥堵路段空中视角疏导指挥	M	视频/喊话	●
5	物资投送	小型急需物资空中投递	M	—	△
6	搜救定位	走失或被困人员搜索定位	M	视频/红外	●

注：A：自动航线飞行；M：手动飞行；●：应采用无人机；○：宜采用无人机；△：可采用无人机。

6.10 巡查频率与时机

6.10.1 日常巡查频率宜根据道路等级、交通流量、技术状况等级等因素综合确定，可参照表 11 执行。

表 11 巡查频率表

巡查类型	巡查频率	适用场景	备注
日常巡查	1~2 次/周	主线全覆盖或重点路段	可结合自动机场实施
定期巡查	1 次/月~1 次/季度	桥涵、隧道、边坡等专项检查	宜采用精细化航线
专项巡查	按需开展	特定设施或病害跟踪	针对性强
应急巡查	突发事件时	事故、灾害等应急响应	快速响应

6.10.2 巡查时机选择宜遵循以下原则：

- a) 日常巡查宜选择天气晴好、光照充足的时段进行；
- b) 定期精细化巡查宜选择日出后 2 小时至日落前 2 小时，光照条件最佳时段；
- c) 桥隧专项巡查宜在交通流量相对较小的时段进行，必要时配合临时交通管制；
- d) 雨后宜增加边坡、排水设施巡查频次；
- e) 恶劣天气过后应立即开展专项巡查，检查设施损坏情况。

7 巡查作业流程

7.1 巡查方案制定

7.1.1 在进行定期检查和专项巡查前，应制定详细的巡查方案。日常巡查可制定简化的作业计划。

7.1.2 巡查方案内容宜包括：

- a) 巡查目的与依据；
- b) 巡查对象基本信息（路线名称、起讫点、桩号范围等）；
- c) 巡查内容与重点；
- d) 作业方式与方法（飞行模式、航线规划等）；
- e) 数据采集内容与标准；
- f) 作业计划与资源配置（时间、人员、设备）；
- g) 安全预案与应急措施；
- h) 质量控制措施。

7.1.3 航线规划应满足下列要求：

- a) 涉及多方职责的巡查任务，巡查方案应由相关方共同审定。联合巡查方案应明确各方任务分工、指挥调度关系和信息报送流程；
- b) 涉及执法取证的巡查，方案应符合证据保全要求，明确取证目标、取证方式、数据保存要求等内容；
- c) 航线应覆盖所有巡查目标，并设定合理的数据采集参数：
 - 1) 飞行高度（真高）一般应在 30m~120m 范围内；
 - 2) 在进行精细化巡查时， $GSD \leq 15cm$ ；
 - 3) 影像航向重叠率不小于 15%，旁向重叠率不小于 10%；
 - 4) 航线编辑完成后应核查是否存在障碍物遮挡。

7.2 巡查准备

7.2.1 空域与资质确认：

- a) 提前完成空域申请和飞行计划报备；
- b) 核查无人机实名登记状态、激活状态及运行识别功能；
- c) 确认作业人员资质证书有效。

7.2.2 无人机系统检查：

- a) 电量充足：无人机及遥控器电量均应高于 80%；
- b) 卫星信号稳定：确保卫星连接数不少于 10 颗；
- c) 图传与拍摄测试：检查图传清晰流畅，拍摄功能正常；
- d) 指南针校准：进行现场校准；
- e) 存储空间：确认存储空间剩余容量不小于 32GB。

7.2.3 安全策略设置：

- a) 设置通信中断后的失控返航行为；
- b) 设定合理的返航高度；
- c) 预设迫降点位置。

7.2.4 应急物资检查：

- a) 备用电池、螺旋桨、更换工具；
- b) 紧急电源设备；
- c) 急救箱等应急物资。

7.3 巡查实施

7.3.1 无人机与巡查目标之间宜保持不小于 3m 的安全距离，确保飞行安全与图像质量。

7.3.2 无人机抵近巡查目标时，其提升及平移速度应控制在 0.5m/s 以内，避免因运动速度过快导致设备失稳或数据失真。

7.3.3 巡查作业可采用以下模式：

- a) 自动航线飞行：基于预设航线和飞行任务，由无人机自主执行的巡查作业，适用于常态化巡查和覆盖范围大的场景；
- b) 手动飞行：由操作人员通过遥控器或地面站软件直接控制无人机执行的巡查作业，适用于航线无法覆盖或需临时重点确认的场景；
- c) 混合模式：自动航线飞行与手动飞行相结合，先自动完成大面积巡查，再手动对重点区域进行精细化采集。

7.3.4 路面巡查飞行要点：

- a) 沿行车方向或逆向飞行，覆盖整幅路面；
- b) 对桥头跳车、路面病害等需精细判读的区域，宜采用悬停拍摄方式采集多角度影像；
- c) 飞行高度宜控制在 30m~50m，获取路面全景图像。

7.3.5 桥梁巡查飞行要点：

- a) 优先完成桥面系巡查，再进行下部结构检查；
- b) 对于跨河桥梁，无人机应保持不小于 10m 的水面飞行高度；
- c) 无人机不得进入梁底净空高度小于 5m 的区域。

7.3.6 隧道巡查飞行要点：

- a) 重点巡查隧道洞口区域，检查边坡稳定性和落石风险；
- b) 进入隧道内部时需开启辅助照明或使用红外热像仪；
- c) 隧道内飞行应降低速度，保持稳定悬停。

7.3.7 作业过程中应密切监控无人机飞行状态、卫星定位质量与数据实时回传画面。

7.3.8 执法取证场景的特殊要求如下：

- a) 交通违法取证：应连续录像，画面应完整包含违法行为全过程、违法车辆特征信息（号牌等）、时间水印、定位信息等要素；
- b) 路产侵权取证：应完整记录侵权行为、侵权主体、侵权范围等信息，多角度拍摄固定证据，确保证据链完整。
- c) 证据数据应设置保护标记，禁止修改和删除，确保数据的完整性和法律效力。

7.4 作业后核查

7.4.1 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：

- a) 完整性：核对是否按规划航线完成全部数据采集，有无遗漏；
- b) 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；
- c) 覆盖度：确认关键构件和重点部位无拍摄盲区。

7.4.2 核查合格后，数据应立即备份至两个独立存储介质。若不合格，应评估并执行补飞。

7.4.3 飞行活动结束后，应按照有关规定报送飞行活动相关信息。

8 数据采集与处理

8.1 数据采集

8.1.1 数据采集模式：

- a) 粗飞数据采集：适用于整体结构检测、三维模型构建及大面积病害发现。航向重叠率不小于 50%，旁向重叠率不小于 50%，像素分辨率不小于 0.3 m/pixel；
- b) 精飞数据采集：适用于病害细节检测，如裂缝宽度、剥落范围等。像素分辨率不小于 0.1m/pixel，多角度采集确保诊断精度。

8.1.2 元数据要求：

- a) 采集的原始数据应包含完整的元数据信息，包括：
- b) 拍摄时间；
- c) 经纬度与高程坐标；
- d) 无人机型号、传感器参数（焦距、光圈等）；
- e) 飞行高度、云台角度等。

8.1.3 影像数据质量要求：

- a) 影像应清晰、对焦准确、色彩反差适中，无明显噪点、条纹或虚影；
- b) 单张影像分辨率不低于 1200 万像素；
- c) 可采用定点定视角拍摄，以便不同期次数据的对比分析。

8.2 数据处理

8.2.1 数据预处理：

- a) 格式转换：将图像格式统一为 JPEG 或 PNG，视频压缩为 MP4 格式；
- b) 质量筛选：删除模糊、重复和曝光过度的图像，标记异常区域；
- c) 图像增强：调整亮度、对比度和饱和度，增强病害特征可见性；
- d) 镜头畸变校正：消除设备因素造成的图像质量偏差。

8.2.2 三维模型重建

基于预处理后的影像数据，应进行实景三维模型重建。模型应完整覆盖巡查目标，主要结构构件无大面积缺失、变形，模型纹理应清晰、色彩真实。

8.2.3 数据分类命名

图像文件命名格式：路线名称-桩号-部位-拍摄角度-日期时间。视频文件命名格式：路线名称-巡查类别-日期时间。

8.3 智能分析

8.3.1 病害智能识别宜遵循“数据—模型—应用”的技术路径，采用“智能识别为主、人工干预为辅”的技术路线。

8.3.2 数据集构建：

- a) 应基于现场采集的真实病害影像构建数据集；
- b) 通过数据清洗、标注及增强等手段扩充数据量；
- c) 数据集划分比例宜为训练集:验证集:测试集=7:2:1。

8.3.3 模型性能要求

训练完成的模型须使用测试集进行性能评估，其全类平均正确率（mAP）宜不低于 0.5，且应具备良好的泛化能力。

8.3.4 时序对比分析：

对比当前巡检数据与历史数据，分析病害扩展趋势，为养护决策提供依据。

8.4 数据接口

8.4.1 任务载荷接口传输的载荷数据一般包含以下一种或多种类型：

- a) 图像数据：包括未压缩/压缩的视频、图像；
- b) 音频数据：包括喊话器采集或播放的音频；
- c) 地理空间位置：飞机位置、方向与时间的对应关系数据；
- d) 时间同步数据：任务载荷与无人机系统之间的时间相关数据。

8.4.2 数据接口应符合 MH/T 2009 规定的无人机系统与无人机云系统之间的传输数据要求，并支持与公路养护管理系统等业务系统的数据共享。

8.5 数据安全

8.5.1 巡查采集的原始及处理数据，应按相关规定加密存储，并进行备份。

8.5.2 影像数据和航拍记录在存储和传输过程中，应使用 AES-256 级别的加密算法进行加密。

8.5.3 数据存储时限要求：

- a) 未发现违法的数据存储时限不低于 6 个月；
- b) 发现违法的数据存储时限不低于 9 个月；
- c) 重要事件数据应永久存档。

8.5.4 应建立数据访问权限管理机制，分级设置访问权限，所有操作应记录并保存。

8.5.5 执法数据管理。涉及执法取证的巡查数据，应按照行政执法证据管理要求进行存储和管理，确保数据链完整、不可篡改。数据移交应按照程序移交至对应的执法部门，移交过程应有记录。

8.5.6 数据分级管理。应将巡查数据按敏感程度分级：

- a) 公开级：可对外公开的巡查成果数据；

- b) 内部级：仅限内部使用的养护管理数据；
- c) 执法级：涉及执法取证的数据，应按证据管理要求进行保护；
- d) 涉密级：涉及国家安全、军事设施等敏感区域的数据，应按保密管理规定进行管理。
- e) 不同级别的数据对应不同的存储、传输和访问要求。

9 巡查成果与报告

9.1 成果类型

9.1.1 巡查成果应体系化，具备完整性、可追溯性及标准化特征。巡查成果主要包括：

- a) 巡查报告；
- b) 规范化数据包（含原始数据包和处理后数据包）；
- c) 三维模型（按需提供）；
- d) 元数据说明文件。

9.1.2 定期检查和专项巡查应提供完整的标准化成果，日常巡查和经常检查可提供简化版成果。

9.2 报告编制

9.2.1 巡查报告核心内容宜包括：

- a) 巡查概况：任务背景、巡查时间、地点、路线基本信息、作业人员、无人机型号与任务载荷、现场气象与环境条件；
- b) 数据采集与处理方法：数据采集方案（飞行方式、主要技术参数）、数据处理流程、智能分析方法；
- c) 巡查结果分析：病害统计与分析、主要病害描述、病害位置分布图、趋势分析（适用于定期检查）；
- d) 结论与建议：总结巡查对象当前技术状况，提出养护维修建议和后续巡查重点。

9.2.2 影像资料应包括：

- a) 作业人员现场工作照片；
- b) 采集的有效原始病害图片、视频；
- c) 病害智能识别结果图等。

9.2.3 按职责分类的报告类型包括：

- a) 养护巡查报告：由运营业主使用，重点反映道路技术状况、病害分布及养护建议；
- b) 交通监测报告：由高速交警和运营业主共同使用，重点反映交通运行状态、违法行为线索及事故情况；
- c) 路政巡查报告：由地方路政使用，重点反映路产路权状况、侵权行为及许可合规性；
- d) 综合巡查报告：联合巡查时使用，全面反映各方关注内容，可分章节由各方分别编写。

9.3 数据归档

9.3.1 巡查成果数据应按规定进行存储与归档，并建立备份机制。

9.3.2 所有巡检成果数据的归档保存期限应与公路养护档案管理规定保持一致。

9.3.3 交付的成果数据应采用主流、开放或标准化的格式，确保与既有公路养护管理系统、资产管理系统等的兼容。

9.3.4 跨部门数据共享归档。各方之间的数据共享应形成记录，包括数据内容、共享对象、共享时间、用途说明等，便于数据溯源和责任追究。

10 安全管理与应急响应

10.1 安全管理

10.1.1 作业单位应按照“一机一档”要求，完善无人机购置、登记、存储、检修、维护、报废等全生命周期档案信息。

10.1.2 作业单位应健全内部管理制度，明确专人负责，全面记录无人机应用场景、地点及飞行时长等飞行数据。

10.1.3 人员安全管理：

- a) 起飞和降落时，所有现场人员应与无人机保持安全距离，安全距离不小于 5m；
- b) 现场作业人员须正确佩戴安全帽，并穿戴反光背心等个人防护用品；
- c) 操作人员在作业过程中不得使用手机；
- d) 现场必须设立安全警戒线，并安排安全员监督作业过程。

10.1.4 设备安全管理：

- a) 无人机起飞前应应对作业区域进行环境检查，确保无障碍物及干扰源；
- b) 在跨越高压线路等设施作业时，无人机应提前升高至高于杆塔顶部至少 3m 的安全高度；
- c) 无人机不得在变电站、发电厂上空飞行。

10.2 风险控制

10.2.1 作业前应进行专项风险评估，评估应涵盖空域、环境、设备及作业流程等方面，识别潜在危险源，并制定针对性地控制措施。

10.2.2 风险控制重点关注：

- a) 空域与交通风险：严格遵守空域管理规定，规避敏感区域。在跨越高速公路等区域作业时，应提前协调并设置必要的观察岗；
- b) 环境风险：评估并规避强电磁干扰、紊乱气流（如桥塔涡流、峡谷风）等环境因素；
- c) 设备风险：严格按照规范进行设备检查与维护，确保无人机系统状态良好；
- d) 操作风险：作业人员应严格按照操作规程执行，保持与巡查目标的安全距离。

10.2.3 10.2.3 无人机飞行高度（真高）一般应控制在 30m~120m 范围内，不应超出批准的空域范围。

10.3 应急处置

10.3.1 作业单位应编制无人机突发事件应急预案，定期组织演练。

10.3.2 典型场景应急响应：

- a) 应急巡查时，应遵守以下要求：开展应急巡查前，应提前通知高速交警部门，获取交通管控支持；发生无人机坠落等事故影响道路交通时，应立即通知高速交警部门进行交通管控，并设置警示标志；重大交通事故应急巡查中，无人机应服从高速交警现场指挥，避免干扰救援作业。
- b) 通信中断：应立即触发并确认无人机的自动返航程序。若未按预设逻辑响应，应在保证安全的前提下尝试恢复通信链接。持续失联时，应迅速启动设备搜寻程序；
- c) 设备重大故障：在尚存控制权限时，应将无人机安全飞离巡查目标区域，选择无人员、无重要设施的开放区域实施紧急迫降；
- d) 气象突变：一旦监测或预报作业区域气象条件超出安全作业阈值，应立即中止任务，操控无人机返航或执行紧急迫降；
- e) 空中交通管制：接到空管指令后，应无条件立即停止作业，降落无人机，待获得新的许可后方可继续；

- f) 无人机撞击或坠落：应立即上报，首要任务是划定并封锁可能的影响区域，确保现场安全，同时保护事故现场，配合进行事后调查与取证工作。

10.3.3 发生无人机故障和事故时，要及时采取有效措施，妥善应对处置，并按照国家有关规定向相关部门报告。所有应急事件处置完毕后，应在规定时间内形成书面报告，分析事件原因，评估应急响应效果，并据此完善应急预案

附 录 A
(资料性)
巡查方案模板

A.1 适用范围

本模板适用于高速公路主线无人机巡查作业方案编制。

A.2 方案内容

A.2.1 任务概况

任务概况内容包括：

- a) 巡查目的与依据；
- b) 巡查对象基本信息（路线名称、桩号范围、结构类型等）；
- c) 巡查范围与重点。

A.2.2 作业计划与资源配置

作业计划与资源配置内容包括：

- a) 作业时间与周期；
- b) 人员组织与职责；
- c) 设备配置清单；
- d) 交通组织与协调计划。

A.2.3 技术方案

技术方案包括：

- a) 飞行方式（自动航线/手动飞行）；
- b) 航线规划（航高、速度、重叠率等参数）；
- c) 数据采集内容与标准；
- d) 数据处理与分析方法。

A.2.4 安全、质量与应急保障

A.2.5 涉及执法取证的特别说明（按需填写）

☐是 ☐否

若涉及，请说明：

- a) 取证目标；
- b) 取证方式；
- c) 数据保存要求；
- d) 协同部门及职责：
 - 1) 危险源辨识与风险控制措施；
 - 2) 质量控制措施；
 - 3) 应急预案与处置流程。

附 录 B
（资料性）
巡查报告模板

B.1 报告核心内容

B.1.1 巡查概况

巡查概况内容包括：

- a) 任务来源与目的；
- b) 巡查对象基本信息（名称、桩号范围、结构类型等）；
- c) 作业信息（时间、地点、参与单位及人员）；
- d) 设备信息（无人机型号、任务载荷类型及规格）；
- e) 作业环境（天气、光照、风速等）。

B.1.2 数据采集与处理方法

数据采集方案简述（飞行方式、主要技术参数），数据处理流程（包括数据预处理、三维模型重建、智能识别所采用的方法）。

B.1.3 巡查结果分析

巡查结果分析内容：

- a) 病害总体统计（以表格形式汇总各构件各类病害的数量、规模）；
- b) 主要病害与分析（按构件分节，详细描述典型病害的位置、形态、尺寸，并附照片）；
- c) 病害位置分布图（提供标注有病害编号的位置总图）；
- d) 趋势分析（适用于定期检查）。

B.1.4 结论与建议

主要结论（总结巡查对象当前的表观技术状况，指出存在的主要问题），养护维修建议（根据病害的严重程度和发展趋势，提出具体、可操作的处置措施及后续巡查重点）。

附 录 C
(资料性)
巡查作业记录表

巡查作业记录表可按照表 C.1。

表 C.1 巡查作业记录表

项目	内容	备注
记录编号		
巡查日期		
巡查路线/区段		
起止桩号		
巡查类型		
天气情况		
风速等级		
作业人员		
无人机型号		
任务载荷		
飞行架次		
飞行时长		
巡查里程		
空域申请情况		
主要发现		
异常情况		
数据完整性	☐ 合格 ☐ 不合格	
数据量	照片： 视频：	
记录人		

附录 D
(资料性)
无人机维护保养检查单

D.1 日常检查项目

无人机日常检查项目可参照表 D.1。

表 D.1 日常检查项目表

序号	检查项目	检查结果	处理情况
1	机身外观是否整洁、无损伤	☐ 正常 ☐ 异常	
2	螺旋桨是否安装牢固、无损伤	☐ 正常 ☐ 异常	
3	云台是否灵活、无卡顿	☐ 正常 ☐ 异常	
4	相机镜头是否清洁、无损伤	☐ 正常 ☐ 异常	
5	电池电量是否充足 (≥80%)	☐ 正常 ☐ 异常	
6	存储空间是否充足 (≥32GB)	☐ 正常 ☐ 异常	
7	图传信号是否正常	☐ 正常 ☐ 异常	
8	卫星信号是否稳定 (≥10 颗)	☐ 正常 ☐ 异常	
9	指南针是否已校准	☐ 已校准 ☐ 未校准	
10	照明设备是否正常	☐ 正常 ☐ 异常	

检查人：_____ 日期：_____ 设备编号：_____

D.2 定期检查项目

无人机定期检查项目可参照表 D.2。

表 D.2 定期检查项目表

序号	检查项目	检查结果	处理情况
1	机身外观是否整洁、无损伤	☐ 正常 ☐ 异常	
2	螺旋桨是否安装牢固、无损伤	☐ 正常 ☐ 异常	
3	云台是否灵活、无卡顿	☐ 正常 ☐ 异常	
4	相机镜头是否清洁、无损伤	☐ 正常 ☐ 异常	
5	电池电量是否充足 (≥80%)	☐ 正常 ☐ 异常	
6	存储空间是否充足 (≥32GB)	☐ 正常 ☐ 异常	
7	图传信号是否正常	☐ 正常 ☐ 异常	
8	卫星信号是否稳定 (≥10 颗)	☐ 正常 ☐ 异常	
9	指南针是否已校准	☐ 已校准 ☐ 未校准	
10	照明设备是否正常	☐ 正常 ☐ 异常	

检查人：_____ 日期：_____ 设备编号：_____ 累计飞行时长：_____