



T/CECS G:XXXX: 202X

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路移动视频巡查技术规程

(征求意见稿)

Technical Specification for Highway Mobile Video Inspection

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路移动视频巡查技术规程

(征求意见稿)

Technical Specification for Highway Mobile Video Inspection

T/CECS G:XXXX: 202X

主编单位: 中路高科交通检测检验认证有限公司

清华大学

批准部门: 中国工程建设标准化协会

实施日期: 202X 年 X 月 X 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕40 号）的要求，由中路高科交通检测检验认证有限公司、清华大学会同有关单位共同编制《公路移动视频巡查技术规程》（以下简称“本规程”）。

编制组经广泛调查研究，认真总结我国近年来公路移动视频巡查工程实践与科研成果，参考国内外有关标准和文献，并在广泛征求意见的基础上，完成本规程编制工作。

本规程共分8章和1个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、移动视频巡查系统、巡查范围和识别要求、巡查作业流程、成果记录及表达、巡查管理信息系统，以及附录A自动化巡查记录表格式。

本规程由×××负责起草第1章、第3章，×××负责起草第2章、第5章，×××负责起草第4章，×××负责起草第6章，×××负责起草第7章、第8章及附录A。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由中路高科交通检测检验认证有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），以便修订时研用。

主编单位：中路高科交通检测检验认证有限公司

清华大学

参编单位：交通运输部公路科学研究院

北京市公路事业发展中心

山东路科公路信息咨询有限公司

南京智行信息科技有限公司

北京市政路桥管理养护集团有限公司

北京未新科技有限公司

主 编：樊健生

主要参编人员：

主 审：郜玉兰

参与审查人员：

目 次

1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	3
4 移动视频巡查系统.....	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 车载视频巡查系统.....	6
4.3 无人机视频巡查系统.....	8
5 巡查范围和识别要求.....	11
5.1 一般规定.....	11
5.2 路基巡查.....	11
5.3 路面巡查.....	12
5.4 桥涵巡查.....	13
5.5 隧道洞口巡查.....	15
5.6 交通安全设施巡查.....	16
5.7 识别要求.....	16
6 巡查作业流程.....	21
6.1 巡查前准备.....	21
6.2 巡查实施.....	22
6.3 巡查结束后工作.....	24
7 成果记录及表达.....	25
7.1 一般规定.....	25
7.2 数据存储格式.....	25
7.3 结构化数据字段.....	26
7.4 数据交换.....	27
8 巡查管理信息系统.....	27
8.1 一般规定.....	27
8.2 信息系统功能要求.....	28
附录 A 自动化巡查记录表格式.....	30
本规程用词用语说明.....	32

1 总则

1.0.1 为规范公路移动视频巡查工作，统一公路移动视频巡查的技术要求和数据标准，促进公路日常巡查的数字化、智能化转型，制定本规程。

条文说明

本条规定了本规程的编制目的。近年来，基于车载和无人机的移动视频巡查技术在公路日常巡查中已逐步推开应用，但在装备性能、识别能力、作业流程、数据格式等方面尚缺乏统一规范。本规程在系统总结国内试点经验、衔接公路养护现行标准的基础上，统一规定移动视频巡查的全过程技术要求。

1.0.2 本规程适用于高速公路、普通国省道基于移动视频巡查技术开展的日间日常巡查和经常检查。

条文说明

本规程所称"日常巡查""经常检查"的含义与现行《公路养护技术标准》(JTG 5110—2023)一致。受光照条件限制，本规程将适用范围限定为日间巡查；夜间巡查、定期检查、专项检查、应急检查及汛期专项巡查不在本规程规定范围内，应按相关国家、行业现行标准的规定执行。移动视频巡查可作为传统人工巡查的补充与延伸手段，其结果可用于支撑公路日常养护、应急处置和路网监管，但不替代规定的人工抵近检查、定期检查、专项检查和应急检查。

1.0.3 公路移动视频巡查的数据采集和病害识别应积极稳妥地采用成熟的新设备、新方法。

条文说明

公路移动视频巡查技术不断进步，为了提高公路巡查的技术水平，鼓励使用新设备、新算法，但应具备本规程所规定的相应条件，包括需要通过与成熟的设备和人工识别结果进行对比试验等，以保证技术方法的可靠性和准确性。

1.0.4 公路移动视频巡查除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 公路移动视频巡查 highway mobile video inspection

利用车载或无人机等移动平台搭载的视频采集设备和图像识别算法，对公路基础设施进行日常巡查和经常检查的活动。

2.0.2 车载视频巡查 vehicle-mounted video inspection

以机动车辆为载体，集成视频采集、定位、边缘计算和数据传输等模块，对路面、交通安全设施等进行的移动视频巡查。

2.0.3 无人机视频巡查 unmanned aerial vehicle video inspection

利用无人机搭载视频采集设备及其任务载荷，从空中对公路边坡、桥梁、涵洞、隧道洞口等人工或车载难以抵近的部位进行的移动视频巡查。

2.0.4 巡查事件 inspection incident

移动视频巡查中发现的病害、缺损、异物及其他可能危及通行安全的异常情况。

2.0.5 巡查事件自动识别 automatic recognition of inspection incident

基于图像处理算法，对移动视频巡查采集的影像数据进行自动检测、分类、定位和量测，识别巡查事件的过程。

2.0.6 边缘计算 edge computing

在巡查车或无人机等数据采集端就近完成图像识别与处理的计算方式。

2.0.7 准确率 precision

巡查事件自动识别结果中，被正确识别的巡查事件数量与算法识别出的巡查事件总数的比值。

2.0.8 检出率 recall

巡查事件自动识别结果中，被正确识别的巡查事件数量与实际发生的巡查事件总数的比值，亦称为"召回率"。

2.0.9 影像重叠率 image overlap ratio

无人机巡查中相邻两张影像在航向或旁向上重叠区域的面积与单张影像总面积的比值。

2.0.10 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，亦称"像素标定值"，用于表征单像素对应的实际物理尺寸。

3 基本规定

3.0.1 公路移动视频巡查应遵循安全、规范、准确、可靠的原则，与人工巡查、技术状况检测和结构监测等手段协同应用，提升公路日常巡查和经常检查的数字化、智能化水平。

3.0.2 公路移动视频巡查适用于日间作业。在低照度、强逆光等不利条件下，识别准确率、检出率难以稳定满足本规程第 5 章的指标要求时，应停止采集或将相应数据剔除。

条文说明

当前主流的车载和无人机视频采集设备及图像识别算法在低照度、强逆光、夜间等条件下的性能下降明显，难以稳定满足本规程的识别能力要求。本规程在制定频率、对象、识别能力等要求时均以日间巡查为基础。夜间巡查、定期检查、专项检查、应急检查及汛期专项巡查应按现行国家、行业相关标准的规定执行，不在本规程规定范围内。

3.0.3 公路移动视频巡查作业应根据公路技术等级、养护检查等级、巡查对象确定巡查频率，并应不低于国家和行业现行有关标准规定的对应日常巡查或经常检查频率。

条文说明

本规程所确立的巡查频率以相关行业现行标准为下限，不降低既有要求；条件具备时可结合公路等级和巡查自动化水平进一步加密。路基、路面和交通安全设施的巡查频率应符合现行《公路养护技术标准》（JTG 5110—2023）第 4.3.2 条、第 4.4.2 条的规定，沥青路面日常巡查频率同时应符合现行《公路沥青路面养护技术规范》（JTG 5142—2019）第 5.2.1 条的规定，路基一般巡查频率同时应符合现行《公路路基养护技术规范》（JTG 5150—2020）第 5.2.3 条的规定；桥梁和涵洞的巡查频率应符合现行《公路桥涵养护规范》（JTG 5120—2021）第 3.3.1 条、第 3.4.1 条、第 7.2.1 条的规定；隧道洞口的巡查频率应符合现行

《公路隧道养护技术规范》(JTGH12—2015)第4.2.2条、第4.4.2条的规定。移动视频巡查作为日常巡查、经常检查的实施方式之一,相应频率均不应低于上述规定。

3.0.4 公路移动视频巡查应根据巡查对象和检查类型合理选择技术方式。路面、路基路肩及排水设施、桥面系、交通安全设施等车载视角可达部位,宜优先采用车载视频巡查;边坡、支挡结构、桥下空间、桥梁墩台支座、涵洞进出口、隧道洞口边仰坡等人工或车载难以抵近的部位,宜优先采用无人机视频巡查。

条文说明

本条规定了移动视频巡查技术方式选择的基本原则。车载视频巡查和无人机视频巡查各有适用场景和技术优势:

车载视频巡查适用于路面、路基路肩、桥面系、交通安全设施等沿行车方向连续布设、车载视角可直接观察的部位。车载巡查的主要优势是:作业效率高,可在正常行车速度下连续采集;视角稳定,图像质量高;对路面病害(如裂缝、坑槽)、标志标线等平面或近距离目标的识别能力强;作业成本低,可结合日常养护巡查车辆搭载使用。车载巡查的局限性在于:受行车视角限制,难以观察路基边坡、桥下空间、隧道洞口仰坡等偏离行车道或高差较大的部位;对高处或侧向遮挡目标的观察能力有限。

无人机视频巡查适用于边坡、支挡结构、桥下空间、桥梁墩台支座、涵洞进出口、隧道洞口边仰坡等人工或车载难以抵近、需要从空中或侧向视角观察的部位。无人机巡查的主要优势是:视角灵活,可从多角度、多高度抵近观察;可达性强,能够到达人工和车载无法安全接近的高陡边坡、桥下空间、高墩台等部位;对立面、悬空构件(如桥梁支座、缆索锚固区)的观察能力强。无人机巡查的局限性在于:作业效率相对较低,单位时间覆盖里程少;受气象条件(风速、降雨、雾霾)和空域管制影响较大;对平面病害(如路面裂缝)的识别能力不如车载垂直俯视;作业成本相对较高,需要专业飞手和辅助人员。

日常巡查侧重于对通行安全影响显著、车载视角可达部位的快速巡视,可优先采用车载方式;对边坡、桥下空间等人工和车载难以抵近的部位,可根据历史病害情况和技术状况等级,采用无人机进行抽查。经常检查侧重于对各部件的全面检查和病害跟踪,对人工和车载难以抵近的部位,应采用无人机进行立体式、全覆盖采集。

3.0.5 公路移动视频巡查不应替代行业标准规定的人工抵近检查、定期检查、专项检查和应急检查。

条文说明

当前的移动视频巡查技术存在能力边界,对结构内部病害、隐蔽部位病害以及量测精度要求高的项目,仍需由具备资质的人员采用人工方式抵近检查。本条所列人工抵近检查、定期检查、专项检查、应急检查的内涵,按现行《公路养护技术标准》(JTG 5110—2023)

第 2 章和第 4 章的规定执行。

3.0.6 公路移动视频巡查从业人员应经培训合格后上岗。

征求意见稿

4 移动视频巡查系统

4.1 一般规定

4.1.1 公路移动视频巡查系统应由运载平台、视频采集模块、定位模块、边缘计算模块、通讯模块和巡查管理信息系统等组成。

4.1.2 公路移动视频巡查系统各组成部分应符合下列规定：

- 1 各模块之间应采用标准化数据接口，实现采集、定位、识别和管理数据的互通。
- 2 应支持视频采集设备的更换和识别算法、功能模块的升级扩展。
- 3 关键模块应具备运行状态自检和数据本地缓存能力，在单点故障或通信中断时不丢失已采集数据。

4.1.3 公路移动视频巡查系统的数据采集符合下列规定：

- 1 车载视频巡查宜采用视频连续采集方式，发现疑似病害时应自动截取照片。
- 2 无人机视频巡查宜采用照片采集方式，重点部位可辅以视频记录。
- 3 采集的视频和照片应与时间、定位和相机参数同步记录。

4.1.4 公路移动视频巡查系统宜每 12 个月、系统发生硬件拆装或升级等较大调整后性能验证。

条文说明

设备硬件状态、传感器标定参数、识别算法参数等会随使用时间而漂移，硬件拆装或算法版本升级也会引起性能变化。本规程参考《公路路面技术状况自动化检测规程》（JTG E61-2004）中关于设备性能考校核验证的规定，规定每 12 个月或重大调整后应重新验证，以确保系统在整个使用周期内稳定满足性能指标要求。

4.2 车载视频巡查系统

4.2.1 车载视频巡查系统应由视频采集模块、定位模块、边缘计算模块、通讯模块和供配电及安装附件组成，并满足下列要求：

- 1 能在不低于 60 km/h 的巡查车速下（高速公路应不低于 80 km/h）连续采集，且采集图像无明显拖影、模糊或断帧。

-
- 2 可覆盖巡查路段全部行车道、硬路肩、路缘带和沿线交通安全设施。
 - 3 具有数据自动处理、自动记录及与巡查管理信息系统对接的能力。

4.2.2 视频采集模块应符合下列规定：

- 1 用于路面识别的相机分辨率不低于 2560×1920 像素，其他场景相机分辨率不低于 1920×1080 像素。
- 2 采集帧率高于20 fps。
- 3 具备宽动态范围功能，适应低照度场景。
- 4 环境保护等级不低于IP65。
- 5 在使用前及定期维护周期内应进行参数标定，标定应包括镜头畸变参数及相机内、外参矩阵，标定结果应记录并用于图像预处理与算法输入校正。

条文说明

路面病害特别是路面裂缝对图像分辨率要求较高，因此对路面识别用相机的分辨率不应低于 2560×1920 像素，单像素实际尺寸控制在3 mm 以内。沿线设施识别对单像素尺寸要求相对较低，1080P 即可满足。

4.2.3 定位模块应符合下列规定：

- 1 采用支持北斗、GPS等多系统融合的卫星定位装置。
- 2 卫星覆盖率不低于70%时，95%平面定位误差不大于2 m。
- 3 宜配置惯性导航单元；卫星定位与惯性导航宜组合使用，并宜采用差分校正等方法提高精度。
- 4 定位采样频率不应低于10 Hz，定位数据应与视频帧时间戳对应。
- 5 定位坐标应支持WGS-84和2000国家大地坐标系（CGCS2000），并应能与公路里程桩号关联。
- 6 经过桥梁、隧道、深路堑等卫星信号遮挡区段时，应采用惯导或地图匹配方式保持定位连续，且失锁后重新捕获时间不宜大于30 s。

4.2.4 边缘计算模块应符合下列规定：

- 1 应具备适配巡查事件自动识别算法的算力，推理性能不宜低于10 TFLOPS。
- 2 应具备不少于1路2K视频实时解码能力。
- 3 单帧图像识别延迟不应大于100 ms，识别结果输出延迟不应大于1 s。

4 应具备本地缓存能力，连续记录时间不应小于24 h。

5 应安装于具有减震功能的机箱内并放置于车内，工作温度范围不应窄于-20℃～70℃；不应影响车辆行驶安全。

6 宜支持识别算法的远程升级和参数配置。

条文说明

边缘计算模块的算力指标结合当前主流工业级 AI 推理芯片性能和视频并发处理需求确定。单帧图像识别延迟 100 ms、识别结果输出延迟 1 s 是保障实时巡查效率的基本要求。

4.2.5 通讯模块应符合下列规定：

- 1 应支持4G/5G蜂窝移动通信。
- 2 上行带宽不应低于20 Mbps，网络延迟不应大于500 ms，丢包率不应大于1%。
- 3 在通信中断时应进行本地缓存，并应在网络恢复后自动续传。

条文说明

单路 2K 视频流的码率一般为 15 Mbps～25 Mbps，正常巡查工况下 20 Mbps 可同时承载 1 路 2k 视频流。丢包率 1%是结合工程实际和视频流传输质量要求确定的阈值。

4.2.6 车载视频巡查系统的供电应采用车辆直流电源，电压范围宜为 DC 9V～36V，并应具备过压、欠压、过流保护。

4.2.7 车载视频巡查系统的设备安装不应影响驾驶员视线和车辆主、被动安全系统的正常运行。

4.2.8 车载视频巡查系统外部摄像头安装应保证车辆外廓符合道路通行安全要求。

4.3 无人机视频巡查系统

4.3.1 无人机视频巡查系统应由无人机平台、视频采集模块、定位模块、通讯模块、地面控制单元和综合保障系统组成，并应满足下列要求：

1 应具有垂直起降和稳定悬停能力。

2 应满足国家关于民用无人驾驶航空器的实名登记、运行识别、无线电发射设备型号核准等合规要求。

3 应能在不低于8 m/s的巡航速度下连续采集；采集范围应覆盖巡查对象的关键部位和周边一定区域。

4.3.2 无人机平台应符合下列规定：

- 1 巡航速度不低于8 m/s，悬停定位精度不应大于0.3 m。
- 2 单架次续航时间不小于30 min，支持电池热插拔或快速更换，并应配备不少于2组备用电池。
- 3 抗风能力不宜低于6级（10.8 m/s～13.8 m/s）。
- 4 姿态控制精度不应大于 $\pm 0.1^\circ$ 。
- 5 任务载荷能力不应小于2 kg，机身振动幅度不应大于0.1 mm。
- 6 应支持失控返航、低电量返航和迫降点设置；起飞前应完成航线、返航高度和迫降点的预设。

条文说明

单架次续航不小于30 min并配备不少于2组备用电池，是为保障一次出动可完成1座中、小桥梁的全构件采集或一段约500 m高陡边坡的航线巡查。抗风能力6级是结合公路桥梁周边、河谷区段常见短时阵风条件的取值；高桥、高边坡作业可能出现短时超过6级的紊乱气流，必要时应配备抗风等级更高的备用机型。任务载荷不小于2 kg是为兼容可见光相机+激光雷达或可见光相机+红外热像仪的双载荷配置。

4.3.3 无人机视频采集模块应符合下列规定：

- 1 相机有效像素不应低于1200万像素，视频分辨率不应低于 1920×1080 ，帧率不应低于25 fps。
- 2 水平视场角不应小于 60° ；用于桥梁、隧道洞口结构表观识别时，应配备变焦镜头。
- 3 应支持电子防抖与机械防抖组合，并应配备稳定云台，云台俯仰、横滚轴控制精度不应大于 0.02° 。
- 4 应支持照片、视频同步采集；影像元数据应包含拍摄时间、经纬度、海拔高程、焦距、光圈、飞行高度和云台角度等信息。
- 5 用于裂缝识别时，图像尺度因子不应大于待识别裂缝宽度的1/3。

条文说明

参照交通运输部《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南（试行）》，图像尺度因子是指单像素对应的实际物理尺寸，相应需控制拍摄距离和镜头焦距。

4.3.4 无人机定位模块应符合下列规定：

- 1 应采用RTK或等效精度的卫星定位方式；RTK固定解平面精度不应大于0.1 m，单点定位平面精度不应大于1 m。
- 2 应集成惯性导航单元，位置数据更新频率不应低于10 Hz。
- 3 应支持WGS-84、CGCS2000坐标系输出。

条文说明

RTK 固定解平面精度不大于 0.1 m 参照《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南（试行）》对高精度定位能力的要求。位置数据更新频率不低于 10 Hz 是为与本规程第 4.3.3 条第 4 款规定的影像元数据时间戳同步精度相匹配，避免因定位数据稀疏导致影像与位置错位。

4.3.5 无人机通讯模块应符合下列规定：

- 1 应支持4G/5G或专用图传链路；上行带宽不应低于20 Mbps，图像传输延迟不应大于200 ms。
- 2 在无遮挡环境下，地面控制单元与无人机之间的通信距离不应小于5 km；信号丢包率不应大于1%。
- 3 应同时具备广播式（蓝牙5.0及以上或Wi-Fi广播）和网络式（蜂窝或卫星）运行识别能力，识别信号发送间隔不应大于1 s，且在动力移动期间不应关闭。
- 4 滚动存储的运行识别记录不应少于120飞行小时，且不应被手动删除。

4.3.6 无人机视频巡查系统的综合保障系统宜包括储运车辆、电池管理装置、应急通信设备和现场维护工具。

4.3.7 无人机视频巡查作业应严格遵守国家有关空域管理和飞行安全的规定。无人机与待检结构、构件的安全距离不应小于 3 m；抵近作业的提升和平移速度不应大于 0.5 m/s。

4.3.8 无人机巡查操控人员应具备国家规定的相应执照或资质。

条文说明

无人机操控人员应取得与作业风险、机型相匹配的操控执照或相应等级证书，具体要求按国家民航主管部门相关规定执行。

5 巡查范围和识别要求

5.1 一般规定

5.1.1 公路移动视频巡查的范围应覆盖路基、路面、桥涵、隧道洞口及交通安全设施等公路基础设施的可视部位，并应根据公路等级、巡查对象和检查类型确定。

5.1.2 公路移动视频巡查的事件识别应包括识别对象的分类、定位、几何量测和严重程度判定，识别结果应与原始影像和定位数据关联，可追溯，并应支持标准化输出。

5.1.3 巡查中发现下列情况之一时，应触发人工复查或专项检查：

- 1 桥梁主要受力构件、高陡边坡、路基等可能影响公路安全运营的异常情况。
- 2 经移动视频巡查难以判定的疑似病害或新增异常。

5.2 路基巡查

5.2.1 路基巡查的对象应包括路肩、路堤与路床、边坡、防护及支挡结构物、路基排水设施。

条文说明

路基养护对象的划分参照《公路路基养护技术规范》（JTG 5150—2020）第 3.1.2 条。本规程的路基巡查对象与之一致，不包含路基冻胀、盐胀、岩溶等需通过专项检测手段判定的特殊路基病害。

5.2.2 路基日常巡查的场景及技术要求应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 路基日常巡查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	路肩	路肩或路缘石缺损；路肩不洁；土路肩植草缺损；杂物堆积；阻挡路面排水	●	◎
2	路堤与路床	开裂；不均匀沉降；翻浆	●	○
3	边坡	坡面冲刷；水毁冲沟；碎落崩塌；坍塌；裂缝；渗水；落石；植被缺损；杂物堆积	○	●
4	防护及支挡结构	表面破损；勾缝脱落；圬工缺损；倾斜；滑移；鼓肚	○	●

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
5	路基排水设施	淤塞；堵塞；积水	●	○
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

5.2.3 路基经常检查的场景及技术要求应符合表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 路基经常检查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	路肩	路肩或路缘石缺损；硬路肩损坏；土路肩压顶损坏；阻挡路面排水	●	◎
2	路堤与路床	不均匀沉降；路基沉降；纵向开裂；侧向滑移；冻胀翻浆	●	○
3	边坡	坡面冲刷；水毁冲沟；碎落崩塌；坍塌；滑坡；裂缝；渗水；落石	○	●
4	临水临崖路段	挡墙冲蚀；护岸冲蚀；倾倒变形		●
5	防护及支挡结构	表面破损；勾缝脱落；圬工缺损；钢筋外露锈蚀；泄水孔淤塞；基础淘空；墙体脱空；鼓肚；裂缝；沉降；倾斜；滑移；倒塌	○	●
6	锚固设施、抗滑桩	断裂；滑移；错台		●
7	路基排水设施	淤塞；损坏；缺失；排水不畅	◎	●
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

条文说明

路基病害的分类、阈值参照《公路路基养护技术规范》（JTG 5150—2020）第 4.2.3～第 4.2.6 条。其中路堤路床差异沉降、局部沉陷阈值、坡面冲刷沟槽深度、路肩或路缘石缺损尺寸等取自该规范的病害判定标准。高陡边坡及难以抵近的支挡结构的经常检查，按现行《公路养护技术标准》（JTG 5110—2023）第 4.4.3 条要求“应抵近检查”，本规程通过无人机视频巡查满足“立体式、全覆盖”采集要求。技术状况评定为 3 类及以上的高边坡，宜辅助采用无人机定点定视角拍摄方式建立同期影像档案，以便后续对比分析。

5.3 路面巡查

5.3.1 路面日常巡查的场景及技术要求应符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 路面日常巡查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	沥青路面	龟裂；纵向裂缝；横向裂缝；坑槽	●	
2	水泥混凝土路面	破碎板；裂缝；坑洞	●	
3	路面异物	抛洒物；散落物；积水	●	◎
4	路面附属设施	井盖破损；井盖缺失	●	
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

5.3.2 路面经常检查的场景及技术要求应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 路面经常检查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	沥青路面	龟裂；块状裂缝；纵向裂缝；横向裂缝；坑槽；松散；沉陷；车辙；翻浆；波浪拥包；泛油；污染；外力损伤；修补不良	●	◎
2	水泥混凝土路面	破碎板；裂缝；板角断裂；错台；唧泥；边角剥落；接缝料损坏；坑洞；拱起；露骨；修补不良	●	◎
3	路面附属设施	井盖破损；井盖缺失	●	
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

条文说明

路面病害的分类参照《公路技术状况评定标准》（JTG 5210-2018）和《公路沥青路面养护技术规范》（JTG 5142—2019）。日常巡查侧重于发现影响通行安全的明显病害和异物；经常检查侧重于跟踪既有病害的发展和排查较隐蔽的轻微病害。

5.4 桥涵巡查

5.4.1 桥涵日常巡查的场景及技术要求应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 桥涵日常巡查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	桥面系	桥头跳车；铺装破损；铺装裂缝；伸缩缝破损；伸缩缝失效；排水不畅；栏杆、护栏破损；栏杆、护栏缺失；标志缺失	●	◎
2	桥梁整体	线形异常；安全保护区侵害	◎	●
3	涵洞	进出水口淤积；进出水口堵塞；漂流物堵塞；周边路基沉陷；周边路面开裂；洞口结构破损	●	●
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

5.4.2 桥梁经常检查的场景及技术要求应符合表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 桥梁经常检查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	桥面系	铺装裂缝；铺装破损；铺装变形；泛油；伸缩缝凹凸不平；伸缩缝锚固区缺陷；伸缩缝破损；伸缩缝失效；排水不畅；泄水管、引水槽缺陷；人行道破损；人行道缺失；栏杆、护栏破损；栏杆、护栏撞坏、缺失	●	○
2	上部结构	混凝土裂缝；蜂窝、麻面；剥落、掉角；空洞、孔洞；露筋；钢筋锈蚀；涂层劣化；构件锈蚀；构件变形；铆钉、螺栓损失		●
3	下部结构	墩台倾斜；蜂窝、麻面；剥落、露筋；空洞、孔洞；钢筋锈蚀；混凝土腐蚀；圯工砌体缺陷；裂缝；翼墙、耳墙破损；鼓肚、砌体松动；锥坡、护坡缺陷		●
4	桥下空间及安全保护区	河床堵塞；河床变迁；调治构造物损坏；安全保护区侵占		●
5	支座	老化变质；开裂；外鼓；位置串动；脱空；剪切变形；螺栓松动；座板锈蚀		●
6	缆索系统	主缆防护损坏；主缆腐蚀；涂膜劣化；护套破坏；护套裂缝；索夹错位、滑移；索夹面漆起皮；锚头损坏；锚具锈蚀；锚固区渗水；锚碇裂缝；锚碇空洞		●
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

5.4.3 涵洞经常检查的场景及技术要求应符合表 5.4.3 的规定。

表 5.4.3 涵洞经常检查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	涵洞进出水口及洞口结构	八字墙翼墙冲刷；淤积；铺砌损坏；开裂；倾斜；洞身裂缝；渗水；剥落；变形；钢筋锈蚀；混凝土网裂；麻面；露筋		●
2	涵洞周边路基	不均匀沉降	◎	●
3	附属排水设施	沉沙井淤积；跌水损坏；急流槽损坏		●
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

条文说明

桥涵巡查内容参照《公路桥涵养护规范》（JTG 5120—2021）第 3.3、3.4、7.2 节，以及《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南（试行）》第 4.2 节。其中日常巡查的范围按规范第 3.3.3 条限定为“桥面及其以上部分的桥梁构件、结构异常变位和桥梁安全保护区”，桥下空间、墩台、支座、缆索等部位应安排在经常检查中通过无人机抵近采集。对于桥塔、

缆索锚固区、桥下高陡边坡、调治构造物等人工难以抵近的部位，应作为无人机视频巡查的核心对象。

考虑到涵洞通行空间狭窄，无人机难以安全进入涵洞内部飞行，本规程规定的涵洞移动视频巡查场景均限定为洞口及洞口外可见范围内的部位，包括进出水口、八字墙、翼墙、洞口段可视的洞身与涵顶等；日常巡查侧重涵洞进出水口淤堵、涵顶路基路面沉陷等影响通行安全和排水功能的情况。对于涵洞洞身深处、涵底等洞口外无法观察的部位，不设置需无人机在涵洞内穿梭飞行的巡查场景，相应病害应按《公路桥涵养护规范》（JTG 5120—2021）的规定通过人工抵近检查或专用检测设备完成。

5.5 隧道洞口巡查

5.5.1 隧道洞口日常巡查的场景及技术要求应符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 隧道洞口日常巡查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	洞口边坡与仰坡	开裂；滑动；落石；危石；洞口挂冰	◎	●
2	洞门结构	大范围开裂；砌体断裂；脱落	○	●
3	洞口排水设施	缺损；堵塞；积水；结冰	●	◎
4	洞口周边环境	植物影响视距；落石；标志遮挡	●	◎
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

5.5.2 隧道洞口经常检查的场景及技术要求应符合表 5.5.2 的规定。

表 5.5.2 隧道洞口经常检查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	洞口边坡与仰坡	危石；积水；积雪；落石；洞口挂冰	◎	●
2	洞门结构	开裂；倾斜；沉陷；错台；起层；剥落；渗漏水；翼墙端墙开裂；翼墙端墙倾斜	○	●
3	洞口排水设施	结构破损；边沟盖板缺损；沟管开裂；沟管漏水；边沟淤塞；排水沟管淤积；堵塞；沉沙；滞水；结冰	◎	●
4	洞口周边环境	植物影响视距；落石；标志遮挡	●	◎
注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。				

条文说明

隧道洞口巡查的内容参照《公路隧道养护技术规范》（JTG H12—2015）第 4.2 节、第 4.4 节。本规程的隧道巡查对象限定为隧道洞口，主要基于以下考虑：一是隧道洞内属于封闭、弱光或无自然光环境，洞壁照明形成的强光斑、明暗交替以及行车灯光眩光会显著劣化视频采集与图像识别质量，当前车载、无人机移动视频巡查装备和图像识别算法在隧道内部的应用尚不成熟，难以稳定满足本规程第 5.7 节的识别能力要求；二是洞内衬砌裂缝、渗漏水、错台等病害的检查，目前工程上主要依靠隧道检测车、衬砌质量雷达等专用装备，

其精度和可靠性远高于移动视频巡查；三是无人机在隧道内飞行存在卫星定位信号缺失、通风气流扰动、避障困难等安全风险，不具备安全作业条件。因此，隧道洞内结构的检查应按现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12—2015）的规定，由人工检查或专用检测设备完成，不在本规程规定范围内；隧道机电设施检查同样不在本规程范围内。对于人工和车载难以抵近的洞口边坡、仰坡及洞门结构上部，宜通过无人机视频巡查实现立体式采集。

5.6 交通安全设施巡查

5.6.1 交通安全设施日常巡查的场景及技术要求应符合表 5.6.1 的规定。

表 5.6.1 交通安全设施日常巡查场景及技术要求

序号	巡查部位	巡查事件	车载巡查	无人机巡查
1	交通标志	缺失；歪斜；板面破损；遮挡	●	◎
2	交通标线	磨损；模糊；残缺；污染	●	
3	防撞护栏	立柱损坏；断裂；缺失	●	◎
4	隔离与防护设施	隔离栅缺损；防眩板缺损；防眩板倾斜；防落网破损；防抛网破损；立柱缺损	●	◎
5	视线诱导设施	轮廓标缺损；道钉缺损；导流筒缺损	●	◎
6	声屏障	屏体破损；立柱破损	●	◎

注：●—应采用；○—宜采用；◎—可采用；空白—不适用或不推荐。

条文说明

交通安全设施巡查的内容参照《公路养护技术标准》（JTG 5110—2023）和地方养护规范。本规程聚焦日间日常巡查与经常检查；标志、标线、轮廓标、反光道钉的夜间视认性以及照明设施的工作状况，按现行国家、行业相关标准的规定由人工巡查或专用夜间巡查装备完成，不在本规程规定范围内。

5.7 识别要求

5.7.1 巡查事件自动识别算法宜具备下列功能：

- 1 事件识别，输出巡查事件名称。
- 2 位置定位，输出关联的桩号、经纬度和车道编号。
- 3 几何量测，输出事件的长度、宽度、面积或深度等关键尺寸。
- 4 严重程度分级，输出事件的等级和处置优先级。
- 5 输出算法识别置信度。

5.7.2 巡查事件自动识别算法可按下列规定选型：

- 1 仅用于巡查事件分类、定位和分级时，宜采用目标检测算法。

2 需要定量测量表观病害尺寸时，尤其是混凝土结构表观裂缝、剥落等病害的几何量测，宜采用语义分割算法。

3 多类事件叠加或复杂背景的场景，可采用目标检测与语义分割融合的算法。

条文说明

目标检测算法（如 YOLO、Faster R-CNN 等系列）输出目标的边界框和类别，计算量小、推理速度快，能够满足车载边缘计算实时识别的要求，适用于巡查事件的分类、定位与计数，是绝大多数巡查场景的首选算法。语义分割算法（如 U-Net、DeepLab 等系列）输出像素级标注，虽能精细刻画病害的边界轮廓，但计算量大、对样本标注质量要求高、推理速度较慢。

考虑到移动视频巡查的核心任务是快速发现和定位病害，本规程建议一般情形下采用目标检测算法即可满足要求；仅在需要对表观病害进行定量尺寸测量时，才使用语义分割算法。这是因为裂缝宽度、长度和剥落面积等几何量的精确测量依赖像素级的边界识别，边界框无法给出准确的形状轮廓，而语义分割配合像素标定可实现基于像素统计的尺寸量测。混凝土结构的表观裂缝、剥落等病害对尺寸量测精度要求较高，是采用语义分割算法的典型场景。本规程不限定具体算法，仅根据识别任务和量测需求给出选型建议。

5.7.3 巡查事件自动识别算法的训练数据集应符合下列规定：

- 1 单个识别模型每类病害训练样本不少于300张。
- 2 训练集、验证集与测试集的划分比例宜为7:2:1。
- 3 正样本数量不应少于负样本。

条文说明

每类病害训练样本不少于 300 张是工程实践与文献调研的下限取值；正样本不少于负样本可避免类别不平衡导致的检出率下降。

5.7.4 车载视频事件识别算法符合下列规定：

- 1 应部署在车载边缘计算设备上，实现采集端实时识别。
- 2 单帧图像识别延迟不应大于100 ms，输出事件信息总延迟不应大于1 s。
- 3 应能适应30 km/h~80 km/h的车速变化和不同光照、天气条件，并具备误报过滤功能。
- 4 路面识别算法的横向覆盖宽度宜不小于3个车道宽度。

条文说明

车速适应范围应满足公路日常巡查各种工况下的一般要求。识别算法既要适应城市出入口、长大纵坡、拥堵路段等低速工况，也要适应正常巡查作业的常规车速，在此区间内保持稳定的识别准确率和检出率。

5.7.5 无人机视频事件识别算法符合下列规定：

- 1 可部署在机载边缘计算设备或地面端，并应支持航后离线分析。
- 2 用于桥梁、隧道洞口结构表观病害定量分析时，应支持基于像素标定的尺寸量测。

条文说明

飞行高度区间 5 m~50 m 为桥梁、边坡、隧道洞口巡查的常用作业高度。基于像素标定的尺寸量测方法可参考《低空数字航空摄影规范》（GB/T 27920）和《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南（试行）》等相关标准。

5.7.6 事件识别算法的识别准确率不应低于 85%，检出率不应低于 80%。

条文说明

准确率（Precision）是指识别结果中真正病害占全部识别结果的比例，反映算法误报控制能力；检出率（Recall，亦称查全率或召回率）是指实际病害中被识别出的比例，反映算法漏检控制能力。准确率要求高于检出率，是因为移动视频巡查采用“算法识别+人工复核”的工作模式：算法误报会增加人工复核工作量，而适度漏检可通过定期人工巡查或下一轮巡查补充发现；过高的误报率会导致复核人员疲劳和对系统的信任度下降，影响巡查效率。

准确率和检出率的实现难度与算法类型相关。目标检测算法（如 YOLO、Faster R-CNN）通过调节置信度阈值，可在准确率和检出率之间权衡：提高阈值能提升准确率但降低检出率，降低阈值则相反。语义分割算法（如 U-Net、DeepLab）面临类似的像素分类阈值调节问题。实际应用中，建议优先保证准确率达标，再通过扩充训练样本、优化网络结构等方式提升检出率。本规程取准确率 $\geq 85\%$ 、检出率 $\geq 80\%$ ，是综合考虑算法工程实现难度、人工复核承受能力和病害发现及时性的折中取值。

5.7.7 事件识别算法的准确率和检出率可按下列方法进行验证：

- 1 选取不少于3个具有代表性的路段进行现场采集，采集路段应覆盖不同的公路等级、路面类型、光照条件和病害类型。
- 2 测试数据集包含不少于500张影像，其中应包含待识别事件的正样本影像不少于300张。
- 3 测试数据集中的巡查事件由不少于2名具备相应专业经验的人员进行人工标注，作为验证基准。当两名标注人员的标注结果出现差异时，应由第三方专家判定。

4 算法识别结果与人工标注基准应逐一比对，统计真阳性（TP）、假阳性（FP）和假阴性（FN）的数量。

5 准确率（Precision）和检出率（Recall）应按下列公式计算：

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (5.7.7-1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (5.7.7-2)$$

式中：TP——真阳性数量，即正确识别的巡查事件数量；

FP——假阳性数量，即误报的巡查事件数量；

FN——假阴性数量，即漏检的巡查事件数量。

6 验证应在与实际巡查作业相同或相近的工况下进行，包括相同的车速范围、飞行高度范围和气象条件。

7 验证结果应形成验证报告，报告应包括测试数据集描述、验证过程、准确率和检出率计算结果、典型误检和漏检案例分析。

条文说明

本条规定了识别算法准确率和检出率的实用验证方法，主要参考了机器学习模型评估的通用方法和公路路面技术状况自动化检测中关于设备性能验证的有关规定。验证的核心是构建可靠的人工标注基准（ground truth）。人工标注应由熟悉公路养护巡查业务、具备病害识别能力的专业人员完成，至少 2 名标注人员独立标注可提高基准的可靠性。当标注结果出现分歧时，应引入第三方专家判定，避免因标注误差导致验证结果失真。

测试数据集规模参考机器学习领域的工程实践，单类病害不少于 300 张正样本可基本满足统计显著性要求。测试集应覆盖不同场景，避免过拟合导致的验证结果虚高。

准确率（Precision）和检出率（Recall）的计算基于混淆矩阵。真阳性（True Positive, TP）指算法正确识别的病害；假阳性（False Positive, FP）指算法误报的正常区域；假阴性（False Negative, FN）指算法漏检的病害。真阴性（True Negative, TN）在本验证方法中不参与计算，因为正常区域的数量通常远大于病害数量，纳入 TN 会导致指标虚高。

验证应在实际作业工况下进行，以反映算法在真实应用场景中的性能。实验室环境或静态图片库的验证结果往往高于实际应用表现，因此应模拟车速、飞行高度、光照等实际条件。

5.7.8 需要对表观病害进行尺寸量测的场景，几何量测应符合表 5.7.8 的规定。

表 5.7.8 几何量测误差要求

病害类型	量测指标	相对误差	可识别最小值
路面条状病害	长度	$\leq 15\%$	0.1 m
路面面状病害	面积	$\leq 15\%$	0.01 m ²
混凝土结构裂缝	长度	$\leq 20\%$	0.1 m
混凝土结构裂缝	宽度	$\leq 30\%$	0.2mm
混凝土结构面状病害	面积	$\leq 25\%$	0.01 m ²

注：路面条状病害包括裂缝、条状修补等；路面面状病害包括坑槽、网裂、修补等；混凝土结构面状病害包括剥落、空洞等。

条文说明

并非所有巡查事件都需要进行几何量测。本条规定适用于需要对病害尺寸进行定量评估以支撑严重程度分级和处置决策的场景，主要包括路面条状病害（裂缝、条状修补）的长度、路面面状病害（坑槽、网裂、修补）的面积、混凝土结构表面裂缝的长度和宽度、混凝土剥落和空洞的面积等。对于仅需定位和分类的巡查事件（如标志缺失、栏杆破损、杂物堆积等），无需进行尺寸量测。

几何量测依赖语义分割算法输出的像素级标注，配合像素标定方法将像素尺寸转换为实际物理尺寸。量测误差来源包括图像分辨率、像素标定精度、病害边界识别误差和算法后处理误差等。

混凝土结构表面病害的量测误差要求相对宽松，是因为混凝土表面纹理复杂、病害边界不规则，且无人机采集距离和角度变化较大，量测难度高于路面俯视采集。裂缝宽度量测尤其困难：混凝土裂缝宽度多在亚毫米至数毫米量级，受光照条件、拍摄角度和图像分辨率影响显著，边界模糊且易与表面纹理混淆，因此本规程将混凝土裂缝宽度量测相对误差放宽至 30%，在保证病害严重程度判断有效性的前提下兼顾算法工程实现的可行性。裂缝长度、剥落与空洞面积的量测相对容易，误差要求分别取 20%和 25%。

6 巡查作业流程

6.1 巡查前准备

6.1.1 巡查计划应根据公路等级、养护检查等级、历史病害分布和季节特点制定，并应包括下列内容：

- 1 巡查路段、起止桩号、方向、车道。
- 2 巡查类型（日常巡查、经常检查），及对应巡查频率。
- 3 巡查方式（车载、无人机、组合）。
- 4 巡查时段及预计起止时间。
- 5 巡查车辆、无人机、设备及配置清单。
- 6 巡查人员及岗位分工。
- 7 重点关注路段和部位。
- 8 安全保障措施和应急处置预案。

6.1.2 巡查岗位分工应符合下列规定：

- 1 车载视频巡查应至少配备驾驶员和设备操作人员，宜配备数据复核人员。
- 2 无人机视频巡查应配备飞手和巡查辅助人员；飞手应具备国家规定的相应执照或资质。
- 3 各岗位应明确职责，驾驶员应专注行车安全，设备操作人员应负责采集质量和设备状态监控，数据复核人员应同步核对定位与现场情况。

6.1.3 巡查前的设备检查应符合下列规定：

- 1 车载视频巡查应检查摄像头、定位模块、边缘计算设备和通讯终端的工作状态，校准定位精度。
- 2 无人机视频巡查应检查机身、电池、云台、相机、图传链路和地面控制单元，应完成航线规划、返航高度和迫降点设置。
- 3 应确保设备电量充足、存储空间满足任务需求，并应配备备用电池和必要的维修工具。
- 4 关键设备应进行不少于3 min的开机试运行，确认工作正常后方可上路。

6.1.4 巡查前的作业气象和光照条件应符合下列规定：

- 1 视频巡查均不应在暴雨、暴雪、大雾、强沙尘等严重影响图像采集质量或作业安全的气象条件下进行。
- 2 无人机视频巡查的环境风力不应大于6级，不应在能见度低于500 m或强电磁干扰条件下飞行。
- 3 移动视频巡查不应在夜间或低照度条件下开展。

条文说明

暴雨、暴雪、雷电、大雾、强沙尘等恶劣气象条件同时影响车载和无人机视频巡查的图像采集质量和作业安全，故本条第1款对两类巡查方式统一提出要求。同时本规程涉及的移动视频巡查采用可见光成像，识别性能高度依赖光照条件。夜间或低照度环境下，图像信噪比下降、边界模糊，主流车载和无人机采集设备与图像识别算法难以稳定满足本规程第5.7节的识别能力要求；同时夜间作业还存在行车安全风险和无人机避障困难。因此本规程适用范围限定于日间巡查，夜间巡查应按现行国家、行业相关标准的规定由人工巡查或专用夜间巡查装备完成，不在本规程规定范围内（见本规程第1.0.2条、第3.0.2条）。

6.1.5 无人机视频巡查前的作业空域条件应符合下列规定：

- 1 应根据国家空域管制相关规定向有关部门完成空域报备或申请，并取得相应许可。
- 2 应排查作业区域的高压线、通信塔、树木、机场净空保护区等障碍和禁限飞区，预留不小于10 m的安全距离。

6.2 巡查实施

6.2.1 车载视频巡查的实施应符合下列规定：

- 1 巡查车辆应粘贴警示标志或开启车辆闪光灯及闪光箭头，提示后方车辆。
- 2 巡查车速不应低于30 km/h，同时不应高于车载设备允许的作业车速上限，也不应低于道路现行限速规定的下限。
- 3 巡查车辆应与前车保持不小于20 m的安全距离。
- 4 摄像视角应覆盖路面、硬路肩及沿线交通安全设施。
- 5 边缘计算设备应开启实时识别功能，发现严重病害或突发事件时实时上报。

条文说明

巡查车速的下限 30 km/h 考虑了城市出入口、长大纵坡、拥堵路段等低速工况，与本规程第5.7.4条规定的车载视频事件识别算法车速适应范围下限一致。实际作业中，巡查车

速还应同时满足两个约束：一是本规程第 4.2 节规定的车载设备作业车速上限，不同设备的技术指标可能不同，应按具体设备的实测能力确定；二是道路现行限速规定的下限，例如高速公路最低限速通常为 60 km/h，普通公路一般无统一下限规定。巡查车辆应在满足上述约束的前提下选择合适车速，既保证识别算法稳定工作，又避免因车速过低影响正常交通秩序。关于行驶车道，本规程不做强制规定。巡查车辆应根据道路条件、交通流量和作业安全需要灵活选择车道，优先保障行车安全和交通秩序。

6.2.2 无人机视频巡查的实施应符合下列规定：

1 无人机宜按预设航线自动飞行，操控人员应全程监控飞行姿态、电池电量、卫星定位状态和图像传输质量。

2 飞行位置应与巡查对象和环境匹配：路基边坡巡查宜为地面上 15 m ~ 30 m，桥下空间及墩台巡查宜为桥面以下 3 m ~ 桥底净空范围内，隧道洞口巡查宜在洞口外安全空域定点悬停。

3 航线规划不宜设置在路面行车区域正上方，应尽量避免无人机在车流上方飞行。

4 抵近作业的提升和平移速度不应大于 0.5 m/s；无人机与待检结构、构件的安全距离不应小于 3 m。

5 影像采集应保证航向重叠率和旁向重叠率不小于 60%；用于三维建模时，重叠率不宜小于 80%。

6 重点部位（如桥墩、支座、隧道洞口边仰坡、边坡顶部）应采用定点悬停方式拍摄；疑似病害应切换近距离补拍。

7 当电池电量低于 15% 时，应立即启动返航；图像传输中断时，无人机应按预设指令自动返航或悬停等待。

8 桥梁支座、缆索锚固区等需要超视距手动飞行的部位宜安排两位飞手操作，主飞手操控无人机姿态，副飞手操控无人机相机。

条文说明

桥梁巡查区分桥面及上部结构（桥面以上）与桥下空间及墩台（桥面以下）两类场景。桥下巡查时，无人机需在桥底净空范围内飞行，飞行高度受桥下净空和水面（或地面）高度限制，应根据具体桥梁的结构形式和净空条件确定合理的飞行高度，一般宜控制在桥面以下 3 m 至桥底净空范围内，确保既能有效采集墩台、支座等部位影像，又保持足够的安全裕度。

航线规划应避开行车区域，降低无人机意外坠落或失控时对行车安全的影响。路基边坡、桥梁上部结构等巡查对象通常位于路面行车区域侧方或上方，应优先规划侧向接近或斜向拍摄的航线，尽量避免无人机在车流正上方飞行。对于必须从上方采集影像的场景（如桥面铺装、伸缩缝检查），宜选择交通管制时段或低流量时段作业。

电池电量低于 15%启动返航的规定参考无人机行业通行做法，既保证安全返航所需的电量储备（通常为 15%~20%），又避免过早返航影响作业效率。实际操作中应根据无人机与返航点的距离、当前风力、电池健康状态等因素综合判断，必要时可提前返航。

影像重叠率参考《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南（试行）》第 5.3.2 条第 3 款规定（原文为“不小于 10%”）和摄影测量行业一般实践。考虑到本规程主要面向养护巡查应用，常规巡查重叠率取不小于 60%，三维建模工况取不小于 80%。

6.2.3 数据记录应符合下列规定：

- 1 应实时同步记录巡查时间、定位（经纬度和桩号）、天气状况、设备运行状态和识别结果。
- 2 定位数据应与视频帧时间戳一一对应。
- 3 设备运行日志应包含开机时间、参数调整、故障情况、传输状态等信息。
- 4 数据记录应电子化存储于终端。

6.3 巡查结束后工作

6.3.1 巡查任务结束后，应在 24 小时内将采集的视频、图像、定位数据、识别结果和设备运行日志完整上传至巡查管理信息系统。

6.3.2 自动识别的疑似病害和异常事件应由具备相应专业经验的人员进行复核，确认巡查事件类型和严重程度等级。

6.3.3 巡查数据处理完成后，应生成巡查报告和巡查病害池。巡查报告用于汇总本次巡查的总体情况，巡查病害池用于汇集本次巡查发现的病害和异常事件，供后续养护处置和长期追踪使用。

6.3.4 巡查报告宜包括下列内容：

- 1 巡查基本信息：路段、时段、方式、人员、设备型号和编号。
- 2 巡查范围和完成情况。
- 3 发现的病害和事件总体情况统计。
- 4 处置建议和处置优先级。
- 5 巡查轨迹图和病害分布图。

6.3.5 巡查事件池应逐条汇集本次巡查发现的病害和异常事件，每条事件应符合本规程第

7.2.3 条的记录格式。

6.3.6 影响行车安全的病害应立即上报养护、路政管理部门和监测调度中心，并按所在公路管理单位的应急流程执行；其他病害应纳入养护处置计划，并跟踪闭环情况。

条文说明

关于影响行车安全病害的现场应急处置和信息报送时限，按《管养道路养护巡查管理规定》第六条第（二）款及交通运输部《汛期公路巡查工作制度（试行）》中的相关要求执行。各地公路管理单位的应急预案对险情等级、报送对象和时限可能有更严格的规定，本规程要求按其执行。

7 成果记录及表达

7.1 一般规定

7.1.1 公路移动视频巡查产生的视频、图像、定位、识别结果和设备日志等成果数据，应按统一规范进行结构化存储。

7.1.2 成果数据应满足结构清晰、格式统一、来源可追溯、可交换和长期可读的要求，并应能够接入公路养护管理信息系统。

7.1.3 成果数据中涉及敏感信息的，应按国家和行业有关法律法规进行脱敏处理。

7.1.4 成果数据应长期存储，存储周期不宜少于 3 年。

条文说明

存储周期参照《公路养护技术标准》（JTG 5110—2023）第 9.2 节关于技术档案归档的有关规定，并结合行业养护信息系统数据保留实际取值。常规巡查数据存储不宜少于 3 年，可覆盖一个完整的定期检查周期，满足养护管理对历史数据的回溯和对比需求。

7.2 数据存储格式

7.2.1 视频和图像数据应符合下列格式要求：

- 1 视频数据宜采用 H.264 或 H.265 编码的 MP4 格式。
- 2 图像数据宜采用 JPEG 格式存储。

3 图像元数据宜嵌入采集时间、定位坐标、设备编号等信息。

7.2.2 巡查记录应以结构化表格形式进行记录，记录表式可参考本规程附录 A 的规定。

7.3 结构化数据字段

7.3.1 巡查任务基本信息应包括下列字段：

- 1 巡查日期、巡查人员、天气。
- 2 路线编码、路线名称、管理单位、实施单位。
- 3 巡查里程，按上行、下行方向分别记录起止桩号和主线、匝道里程。
- 4 巡查设备类型和编号。
- 5 表格编号。

7.3.2 巡查事件应逐条记录，每条记录应包括下列字段：

- 1 序号、行驶方向（上行/下行）、所在车道。
- 2 桩号、定位（经纬度）。
- 3 巡查部位、巡查事件名称、严重程度等级。
- 4 量化指标和单位。
- 5 病害编码（系统自动生成的唯一标识）、算法识别置信度。
- 6 关联的原始影像编号或访问路径。
- 7 建议处置措施、处置优先级、备注。
- 8 采集时间、采集设备编号、巡查任务编号。

条文说明

本条规定的巡查记录字段即为巡查事件自动识别结果的输出字段，算法识别置信度、关联影像编号可用于支撑人工复核与结果追溯。

7.3.3 定位数据应记录下列字段：时间戳（精确到毫秒）、经度、纬度、海拔、定位状态（如 RTK 固定解、单点解）、水平精度因子（HDOP）、卫星数。

7.3.4 车载视频巡查记录宜补充平均车速、采集帧率、定位状态。

7.3.5 无人机视频巡查记录宜补充航线编号、飞行高度、定位状态、云台角度。

7.4 数据交换

7.4.1 公路移动视频巡查成果应通过标准化数据交换接口，实现与公路养护管理平台、路网运行监测系统等业务应用系统的对接。

7.4.2 数据交换符合下列规定：

- 1 结构化数据交换宜采用RESTful API。
- 2 视频流交换宜符合《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》（GB/T 28181）或ONVIF协议，
- 3 数据接口应支持数据格式转换、数据校验和异常反馈功能。

7.4.3 数据交换的频率应符合下列规定：

- 1 影响行车安全的重大病害应实时上报。
- 2 数据批量上传时延不应超过24 h。
- 3 数据上传完整率不应低于95%。

条文说明

数据上传完整率指实际成功上传的数据记录数占应上传数据总数的比例，用于衡量数据传输的可靠性。影响完整率的因素包括网络中断、设备故障、存储空间不足等。本规程要求数据上传完整率不低于 95%，参照《路面及其设施智能化巡查技术规范》（广东）第 4.5.2 条对智能巡查设备运行状态考核的规定。批量上传时延 24 h 与本规程第 6.3.1 条关于巡查数据上传时限的要求一致，保证了数据能够及时进入养护管理流程。

7.4.4 巡查终端应支持数据补发；接收平台应支持数据补发的接收和去重。

8 巡查管理信息系统

8.1 一般规定

8.1.1 公路移动视频巡查应依托专用的巡查管理信息系统（以下简称"信息系统"）开展，实现巡查计划、实施、成果处理、归档和应用的全流程数字化管理。

8.1.2 信息系统应具有稳定、可扩展、易维护的架构，支持网页端和移动端，并宜与公路养护管理平台、路网运行监测系统实现数据互通。

8.1.3 信息系统应支持对车载、无人机视频巡查设备采集的多源异构数据的接入、存储、处理、展示和分析。

8.1.4 信息系统应建立用户权限分级管理体系，全面记录用户操作日志，并应具备数据定期备份和应急恢复能力。

8.1.5 巡查管理信息系统应符合《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239）规定的网络安全等级保护第二级要求。

8.2 信息系统功能要求

8.2.1 信息系统应包括车载巡查路线管理、无人机巡查航线管理、巡查任务管理、巡查成果管理、巡查成果地图、设备管理、统计分析与报表等功能模块。

8.2.2 巡查路线和航线管理模块应符合下列规定：

1 支持按行政区域、管养范围、路线编码等维度建立和维护巡查路线库；无人机航线应单独建库。

2 每条巡查路线应记录起止桩号、车道数、历史病害分布等属性信息；每条无人机航线应记录飞行高度、航线长度、空域许可编号等属性信息。

3 应支持在地图上对路线和航线进行图形化编辑，并应能与养护单元、责任单位等管理信息关联。

8.2.3 巡查任务管理模块应符合下列规定：

1 应支持任务的创建、分配、调度和跟踪；任务内容应包括执行车辆或无人机、计划时间、巡查路段、任务类型（日常巡查、经常检查）。

2 任务状态应包括"待执行""进行中""已完成""异常终止"。

3 应支持任务执行过程中的动态调整和异常告警推送。

8.2.4 巡查成果管理模块应符合下列规定：

1 应能自动接收车载巡查设备、无人机上传的识别结果和原始影像。

2 应支持对成果数据进行人工复核、修正、合并，并应完整记录操作日志。

-
- 3 应能按路段、时间、病害类别、严重程度等维度进行统计查询和导出。
 - 4 应能在成果与原始影像、定位轨迹之间实现一键调阅。

8.2.5 巡查成果地图模块应符合下列规定：

- 1 集成地理信息系统引擎，将巡查成果以图层方式叠加显示在二维或三维电子地图上。
- 2 支持按病害类别、严重程度等级设置不同的图标或颜色，并应能生成热力图、密度图。
- 3 病害点位与详情窗口应能关联，详情窗口应能显示病害量化指标、影像、建议处置措施等信息。
- 4 支持与历史巡查数据对比，展示病害的发展变化趋势。

8.2.6 设备管理模块应记录车载视频巡查系统、无人机视频巡查系统等设备的基础信息、性能验证记录、维护记录和故障处理记录。

8.2.7 信息系统应支持向移动端推送任务、告警、复核结果，并应支持移动端的现场记录和影像补传。

附录 A 自动化巡查记录表格式

A.0.1 公路移动视频巡查的成果宜采用本附录规定的自动化巡查记录表格式进行记录，可采用 CSV 或 JSON 格式存储。

A.0.2 自动化巡查记录包括任务基本信息表、巡查事件记录表和定位记录表。

A.0.3 任务基本信息表的格式宜符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 任务基本信息表

字段	字段名称	数据类型	填写说明
巡查任务编号	record_id	字符串	唯一标识，建议格式：路线编码-巡查方式-日期-序号
巡查日期	survey_date	日期	公历日期，格式：YYYY-MM-DD
巡查人员	survey_staff	字符串	主操作/副操作/复核人员姓名
天气	weather	字符串	晴/阴/多云/小雨等
路线编码	route_code	字符串	国家公路网编码
路线名称	route_name	字符串	路线名称
管理单位	manager_unit	字符串	道路管理单位
实施单位	executor_unit	字符串	执行巡查任务的单位
巡查里程_起点	mileage_start	浮点数	起始桩号，格式：0.000，表示 K0+000
巡查里程_终点	mileage_end	浮点数	结束桩号，格式：10.582，表示 K10+582
巡查里程	mileage	数值	主线巡查里程，单位：km
巡查设备类型	device_type	字符串	车载/无人机
巡查设备编号	device_id	字符串	设备唯一编号

A.0.4 巡查事件记录表的格式宜符合表 A.0.4 的规定。

表 A.0.4 巡查事件记录表

字段	字段名称	数据类型	填写说明
事件编码	defect_code	字符串	系统自动生成的唯一标识
行驶方向	direction	字符串	上行/下行
桩号	stake	字符串	格式：K0+000
经度	lon	数值	十进制度，精确到小数点后 6 位
纬度	lat	数值	十进制度，精确到小数点后 6 位
巡查部位	component	字符串	路面/桥梁/隧道/边坡/标志等
巡查事件名称	event_name	字符串	裂缝/坑槽/剥落/缺失等
严重程度等级	severity	字符串	轻微/中等/严重
量化指标	measurement	数值	长度/宽度/面积等量测值
单位	unit	字符串	m/mm/m ² 等
算法识别置信度	confidence	数值	0~1 之间的数值

字段	字段名称	数据类型	填写说明
关联影像编号	image_id	字符串	原始影像文件名或访问路径
建议处置措施	suggestion	字符串	立即处置/限期处置/列入养护计划/观察记录
处置优先级	priority	字符串	高/中/低
备注	remark	字符串	其他补充说明
采集时间	capture_time	时间戳	格式：YYYY-MM-DD HH:MM:SS.mmm
采集设备编号	device_id	字符串	设备唯一编号
巡查任务编号	task_id	字符串	关联的任务编号

注：车载视频巡查宜补充所在车道、定位状态；无人机视频巡查宜补充航线编号、飞行高度、云台角度、定位状态。

A.0.5 定位记录表的格式应符合表 A.0.5 的规定。

表 A.0.5 定位记录表

字段	字段名称	数据类型	填写说明
时间戳	timestamp	时间戳	精确到毫秒，格式：YYYY-MM-DD HH:MM:SS.mmm
经度	lon	数值	十进制度，精确到小数点后 8 位
纬度	lat	数值	十进制度，精确到小数点后 8 位
海拔	height	数值	单位：m
定位状态	status	字符串	RTK 固定解/RTK 浮点解/单点解/无效
水平精度因子	hdop	数值	HDOP 值
卫星数	sat_num	整数	可见卫星数量

本规程用词用语说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用"必须"，反面词采用"严禁"；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用"应"，反面词采用"不应"或"不得"；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用"宜"，反面词采用"不宜"；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用"可"。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为"应符合《×××××》(×××)的有关规定"。
- 2) 当引用本规程中的其他规定时，应表述为"应符合本规程第×章的有关规定"、"应符合本规程第×.×节的有关规定"、"应按本规程第×.×.×条的有关规定执行"。

3 连词的使用应符合下列规定：

- 1) 表示并列关系、联合关系的两个或两个以上同类词或词组应采用"和"、"与"、"及"连接。
- 2) 表示选择关系、等同关系的两个或两个以上同类词或词组应采用"或"连接。

4 在叙述性文字中，描述绝对值相等的偏差范围时，应采用"允许偏差为 $\pm x$ "的典型用语，不应采用"允许偏差不大于或不小于"、"允许偏差不超过"等用语。