
低空无人机应用公路应急 抢通技术指南

(试行)

中华人民共和国交通运输部发布

低空无人机应用公路应急 抢通技术指南

(试行)

中交公路规划设计院有限公司 主编

人民交通出版社

北 京

前 言

为进一步指导和规范低空无人机在公路应急抢通领域的应用，提升应急抢通工作的智能化和标准化水平，交通运输部组织技术支持单位编制《低空无人机应用公路应急抢通技术指南（试行）》（以下简称“指南”）。

在编制过程中，编制单位吸收了交通运输部组织实施的低空无人机公路应急抢通应用试点成果经验，并通过多种方式广泛征求有关单位和人员的意见，经多次修改完善，形成本指南。

本指南由9章和3个附录组成，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 场景侦测、5 辅助决策、6 应急指挥、7 应急保障、8 事后评估与数据归档、9 安全管理与突发响应，附录A 无人机应急抢通工作流程图、附录B 灾损智能识别方法、附录C 无人机应急抢通成果报告模板。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见函告本指南日常管理组，联系人：刘芳亮（地址：北京市东城区东四前炒面胡同33号；邮编：100010；电子邮箱：liufangliang@ccccltd.cn）。

主 编 单 位：中交公路规划设计院有限公司

参 编 单 位：江苏润扬大桥发展有限责任公司

主 编：李贞新

参 编 人 员：邬 都 王丹凤 刘芳亮 胡 斌 朱 彦 李 龙
何良盛 李 延 王 旭 吴 峥 常志军 张文轩
李书韬 司小东 徐文城 毛幸全 崔营营 王俊博

主要审查人员：刘晓东 樊健生 张慧昕 冯 祁 刘春华 石大为
茅 荃 刘 桐 卢 健

目 录

- 1 总则 1
- 2 术语 2
- 3 基本规定 4
 - 3.1 一般规定 4
 - 3.2 作业流程 4
 - 3.3 作业人员 5
 - 3.4 设备设施 5
 - 3.5 作业准备 8
 - 3.6 无人机指挥平台 8
- 4 场景侦测..... 10
 - 4.1 一般规定..... 10
 - 4.2 侦测内容..... 10
 - 4.3 灾损分析..... 11
- 5 辅助决策..... 13
 - 5.1 一般规定..... 13
 - 5.2 决策内容..... 13
 - 5.3 智能判定..... 14
- 6 应急指挥..... 15
 - 6.1 一般规定..... 15
 - 6.2 无人机移动应急载体..... 15
 - 6.3 指挥内容..... 16
- 7 应急保障..... 18
 - 7.1 一般规定..... 18
 - 7.2 供电保障..... 18
 - 7.3 数据传输与通信保障..... 18
- 8 事后评估与数据归档..... 20
 - 8.1 一般规定..... 20
 - 8.2 事后评估内容..... 20
 - 8.3 数据归档..... 21

9 安全管理与突发响应..... 22

 9.1 安全管理原则..... 22

 9.2 风险控制..... 22

 9.3 突发响应..... 23

附录 A 无人机应急抢通工作流程图 24

附录 B 灾损智能识别方法 25

附录 C 无人机应急抢通成果报告模板 27

1 总则

1.0.1 为指导和规范低空无人机在公路应急抢通中的应用，提升公路交通突发事件应急抢通能力和效率，推动应急抢通技术向智能化、数字化方向发展，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于在役公路交通突发事件的低空无人机应急抢通工作，涵盖场景侦测、辅助决策和应急保障等内容。

1.0.3 低空无人机应急抢通是公路交通突发事件应急抢通的有效辅助与重要补充手段，重点应用于无人机具备技术优势的应急抢通业务场景，与现行公路突发事件应急抢通体系有机衔接、协同融合。

1.0.4 低空无人机应急抢通遵循安全高效、全局观测、快速响应、协同处置、综合保障、事后评估的原则。

1.0.5 鼓励各地结合实际情况建设无人机指挥平台，平台宜具备与现有公路应急管理系统的对接与融合共享能力，并配置无人机移动应急载体，提升应急抢通处置和保障能力。

1.0.6 低空无人机公路应急抢通除应符合本指南的规定外，尚应符合国家法律法规以及国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 无人机 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。

2.0.2 民用无人驾驶航空器实名登记管理系统 civil unmanned aircraft registration management system

国务院民用航空主管部门依法履行民用无人驾驶航空器实名登记管理职责所用的信息系统。

2.0.3 运行识别发送模块 operational identification transmitting module

实现广播式运行识别发送功能与网络式运行识别发送功能的软硬件组件。

2.0.4 无人机集群 unmanned aircraft swarm

采用具备多台无人驾驶航空器操控能力的同一平台，为完成场景侦测、现场指挥、应急保障等任务，以各无人驾驶航空器操控数据互联协同处理为特征，在同一时间内并行操控多台无人驾驶航空器，以相对物理集中的方式开展飞行作业的无人驾驶航空器运行模式。

2.0.5 无人机移动应急载体 unmanned aircraft mobile emergency carrier

用于承载无人机集群及挂载设备，集成无人机升降系统、通信系统、供电系统及指挥平台的移动应急载体，为公路交通突发事件低空无人机应急抢通工作提供设备搭载、现场指挥和应急保障的专用载体。

2.0.6 公路交通突发事件 highway traffic emergency

由自然灾害、事故灾难及其他意外因素引发，突然发生并造成/可能造成公路设施损毁、交通运行中断或受阻，需采取应急处置、抢修保通及通行保障措施，影响公路正常通行秩序的紧急事件。

2.0.7 场景侦测 unmanned aircraft scene detection

依托低空无人机及挂载设备，对突发事件区域进行快速数据采集和回传现场视频图

像，对公路交通突发事件现场的人员安全、路况、受损情况、周边环境等进行全方位、快速识别，为应急抢通决策、现场处置提供精准现场信息支撑的专项工作。

2.0.8 无人机指挥平台 unmanned aircraft command platform

基于人工智能和大数据等技术，用于统一管理和调度低空无人机及相关设备，可实现公路应急抢通工作中的场景侦测、辅助决策、资源调度、协同处置、过程监控与事后评估等功能，为公路交通突发事件低空无人机应急抢通工作提供数字化、智能化统筹指挥的专用平台。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 低空无人机公路应急抢通，应满足“空地协同、精准感知、保障全面、数据闭环”的要求，其成果应与既有公路应急管理系统等实现数据对接且集成。

3.1.2 低空无人机公路应急抢通工作流程，涵盖空域报备、场景侦测、辅助决策、应急指挥、应急保障、事后评估等环节，具体流程见本指南附录 A。

3.1.3 无人机移动应急载体，宜将无人机集群及挂载设备、应急保障设备与无人机指挥平台一体化设计，建立健全公路突发事件快速响应机制。

3.1.4 各级管养单位应根据突发事件类型及特点，结合当地地形地貌、气象条件、公路基本信息等，建立低空无人机应急预案数据库。

3.1.5 低空无人机公路应急抢通应留存全过程数据，统一纳入无人机指挥平台数据库管理，支持事后复盘与优化分析。

3.1.6 各级交通运输主管部门宜将低空无人机应急抢通培训纳入日常管理工作，并结合无人机移动应急载体定期开展应急培训。

3.1.7 应结合公路应急管理相关要求，将低空无人机应急抢通实景演练纳入整体应急演练和方案验证中，鼓励开展低空无人机应急抢通专项实景演练。

3.2 作业流程

3.2.1 低空无人机公路应急抢通作业宜遵循下列基本流程，可根据突发事件实际情况适度优化调整：

- 1 空域报备，严格按照法律法规及管控要求，向航空管制部门依规提交空域使用申请及飞行计划，完成飞行空域审批报备。
- 2 场景侦测，按本指南表 3.4.3 选型适配无人机及任务挂载设备，开展公路应急

现场快速侦测，实时回传现场高清影像数据，构建应急场景数字化实景模型。

3 辅助决策，结合突发事件类型、现场环境特征、历史应急案例数据及现场数字化模型，通过无人机指挥平台，为主管部门编制、完善应急处置预案提供技术决策支撑。

4 应急指挥，依据本指南表 3.4.4 选配多类型无人机及配套挂载设备，开展应急现场实时指挥，并结合应急抢通进度与作业效能，辅助优化作业工序和调配应急资源。

5 应急保障，宜依托无人机移动应急载体，保障现场通信、用电。

6 事后评估，抢通完成后，评估应急预案及抢通过程，优化应急预案数据库。

3.3 作业人员

3.3.1 作业人员应按中央空中交通管理委员会及中国民用航空局的相关管理规定，取得与作业风险、机型相匹配的操控执照或相应等级证书。

3.3.2 作业人员宜符合交通运输部职业资格中心公布的《公路养护无人机巡检人员职业标准》的要求。

3.3.3 作业团队宜配备具备熟悉应急抢通业务的技术人员，负责突发事件预案、应急处置进展及作业现场安全等判定。

3.3.4 作业团队宜配备掌握无人机移动应急载体与指挥平台使用的技术人员，负责低空无人机应急抢通全过程指挥工作，具备处理突发情况的能力。

3.3.5 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，并熟悉公路交通突发事件的类型、特征及处置流程。

3.4 设备设施

3.4.1 应急抢通无人机应根据公路应急抢通细化场景类型，分为场景侦测用无人机和应急指挥用无人机两类，分别适配不同应急环节的功能需求。

3.4.2 应急抢通无人机应具备高精度定位能力、实时影像回传功能、适应复杂环境的防护等级、6 级风环境下的作业能力及抗电磁干扰能力等。

3.4.3 场景侦测用无人机及挂载设备性能要求见表 3.4.3，应结合应急抢通实际需求和经济性等综合确定。

表 3.4.3 场景侦测用无人机及挂载设备性能要求

序号	无人机类型	挂载设备	性能要求
1	小型工业级多旋翼无人机	无	1. 具备垂直起降和稳定悬停能力； 2. 最大前飞速度不低于 20m/s； 3. 集成可见光多镜头系统、红外热成像仪等； 4. 可见光相机具备不低于 1 200 万有效像素； 5. 防护等级不低于 IP55
2	中大型工业级多旋翼无人机	激光雷达	1. 具备垂直起降和稳定悬停能力； 2. 最大载重不低于 5kg； 3. 最大前飞速度不低于 23m/s； 4. 具备多回波信号采集功能的激光雷达系统，地面站应具备实时点云功能，防护等级应不低于 IP64
3	复合翼无人机	可见光相机或激光雷达	1. 具备模块化、快速拆卸结构，展开及收撤不需要工具； 2. 具备垂直起降能力，续航不低于 3h； 3. 最大水平前飞速度不低于 25m/s； 4. 倾斜摄影相机至少 5 镜头； 5. 具备多回波信号采集功能的激光雷达系统，地面站应具备实时点云功能，防护等级应不低于 IP64

3.4.4 应急指挥用无人机及挂载设备性能要求见表 3.4.4，应结合应急抢通实际需求和经济性等综合确定。

表 3.4.4 应急指挥用无人机及挂载设备性能要求

序号	无人机类型	挂载设备	性能要求
1	小型工业级多旋翼无人机	无	1. 具备垂直起降和稳定悬停能力； 2. 最大前飞速度不低于 20m/s； 3. 集成可见光多镜头系统、红外热成像仪等； 4. 可见光相机具备不低于 1 200 万有效像素； 5. 防护等级不低于 IP55
2		喊话器	1. 输出功率不低于 110dB(1m 处)； 2. 支持实时语音播报、预录音频播放及文本转语音功能； 3. 挂载方式兼容机身接口，不影响原有侦测设备正常使用
3		探照灯	1. 照明距离可达 100m，具备云台联动自动跟踪功能； 2. 支持常亮、频闪两种模式； 3. 防护等级不低于 IP55
4	中大型工业级多旋翼无人机	无	1. 具备垂直起降和稳定悬停能力； 2. 最大载重不低于 5kg； 3. 最大前飞速度不低于 23m/s
5		灭火弹	1. 支持单枚或多枚小型灭火弹依次投掷； 2. 单枚重量 <3kg； 3. 有效灭火半径 ≥3m； 4. 采用遥控 + 落地双重触发方式； 5. 飞行高度 50m 时投掷误差 ≤1.5m，可抵御 ≤6 级风力

续表 3.4.4

序号	无人机类型	挂载设备	性能要求
6	系留无人机	可灵活挂载高清可见光相机、热成像相机、喊话器、探照灯、应急通信模块等设备	1. 具备垂直起降和稳定悬停能力； 2. 具备模块化快速拆卸结构，展开及收撤不需要工具； 3. 实现 24h 连续滞空作业，无须中途更换电池，应急情况下可快速切换至电池供电模式，续航不低于 30min； 4. 最大载重不低于 2kg； 5. 挂载接口采用标准化设计，具备 100W 以上供电能力； 6. 线缆集成供电线与信号线，支持同时实现持续供电与数据传输，线缆长度常规配置 30 ~ 50m； 7. 系留控制系统支持有线 + 无线双重控制模式

3.4.5 设备维护与校验应符合以下要求：

- 1 定期对无人机移动应急载体进行系统性检查，涵盖无人机系统(机身、电池、通信链路)、任务载荷(可见光相机、激光雷达等传感器功能)、应急保障设备(通信、供电等)、载体硬件及无人机指挥平台等，确保作业功能正常。
- 2 灾害环境作业后应立即进行设备清洁、干燥与功能测试，记录损耗情况。

3.4.6 无人机应符合现行《民用无人驾驶航空器实名登记和激活要求》(GB 46761)规定的实名登记与激活要求，主要包括以下内容：

- 1 无人机所有者在民用无人驾驶航空器实名登记管理系统中完成民用无人机的实名登记。
- 2 实名登记信息至少包括所有者的身份信息、产品名称、产品型号、唯一产品识别码/产品序列号(SN)、使用用途等关键字段。
- 3 应具备激活和取消激活控制功能，激活前和取消激活后民用无人机均不具备飞行能力。
- 4 应具备实名登记状态核验功能，对未满足实名登记要求的民用无人机进行持续实名登记提醒。

3.4.7 无人机应符合现行《民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》(GB 46750)的运行识别要求，主要包括以下内容：

- 1 应同时具备广播式(蓝牙 5.0 及以上/Wi-Fi 广播模式)和网络式(蜂窝/地面有线/卫星网络)运行识别发送模块。
- 2 应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。

3.5 作业准备

3.5.1 应依据《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》等法规，提前完成飞行空域申请与报备。

3.5.2 作业前应对无人机移动应急载体进行快速功能检查，确保满足作业任务需求。

3.5.3 作业前应核查无人机系统的实名登记情况、激活状态及运行识别功能是否正常，不符合要求的设备不得投入作业。

3.5.4 应在起飞前设置安全策略，如通信中断后的失控返航行为、合理的返航高度及迫降点。

3.5.5 应建立风险区域公路三维数字化模型，应具备道路、桥梁等关键构筑物的精准识别功能，支持对构筑物进行精准量测，模型所需高密度点云数据宜采用无人机搭载激光雷达进行采集。

3.5.6 无人机应急预案数据库应覆盖公路交通突发事件应急处置全流程，包含事件基础信息、应急飞行调度策略、作业航线规划、无人机机型及任务挂载配置等，宜依托公路基础设施数据库、气象水文监测数据、历史灾害案例及应急抢通处置方案等资料，按年度动态更新完善，并与无人机指挥调度平台、现有公路应急管理体系实现数据互通、业务衔接。

3.6 无人机指挥平台

3.6.1 无人机指挥平台应具备以下功能模块：

1 现场态势实时展示功能，宜集成无人机实景影像、三维数字化模型、侦测数据、应急资源信息等，实现多源数据融合展示（含灾损定位及标注等），支持图层管理、资源调配及部署、路线推荐、状态展示，实现作业全过程可视化指挥。

2 指令下发与反馈功能，可实现指挥指令实时推送至现场作业人员、无人机操作人员及各协同单位，支持指令执行情况实时反馈，形成“指令下达-执行-反馈”的闭环管理；各项任务支持状态跟踪、进度统计、风险告警与路径动态调整。

3 数据存储与分析功能，可实时存储无人机采集的各类数据、指挥台账、处置记录等，支持数据分类查询、统计分析，为应急指挥决策、复盘总结提供数据支撑；自动记录应急抢通全过程数据与生成应急抢通报告，支持作业数据归档，构建应急预案数据库；具备智能预警功能，可针对现场异常态势自动预警。

3.6.2 无人机指挥平台宜具备多端协同作业功能，涵盖指挥中心大屏、移动操作终端，宜适配多种抢通场景。

3.6.3 无人机指挥平台宜支持模块化部署，作为独立系统运行或接入现有无人机巡检平台或行业应急系统，具备良好的系统兼容性与扩展能力。

4 场景侦测

4.1 一般规定

4.1.1 在公路中风险及以上区域，宜定期开展场景侦测工作，宜采用自动航线飞行模式进行数据采集。

4.1.2 开展场景侦测时，影像航向重叠率 60% ~ 80%，旁向重叠率 30% ~ 60%，确保三维模型重建与图像拼接成功。

4.1.3 突发事件预警后，在环境条件允许且空域审批完成的前提下，应在 10min 内完成场景侦测准备工作；偏远地区可结合实际适当延长，作业准备时限最长不应超过 30min。

4.1.4 宜优先调配距离最近的无人机移动应急载体执行场景侦测任务。

4.1.5 场景侦测采集数据应包括视频和照片等，采集的高清影像、地形地貌数据及热感数据等宜实时回传或在侦测结束后及时完成数据回传。

4.2 侦测内容

4.2.1 应采集突发事件所属公路基础设施的基础信息，包括路段编号、起止桩号与运行方向、技术指标、影响范围、受阻车道数、人员状况、交通态势及周边环境等。

4.2.2 灾害类突发事件，场景侦测应获取路基、桥涵、隧道洞口等构筑物具体灾损形态、程度，以及通行能力评估等，侦测内容见表 4.2.2。

表 4.2.2 灾害类场景侦测内容

构筑物类型	侦测内容
路基	1. 路基路面：受损位置、损伤程度（沉陷、坍塌，掩埋，滑坡、滑移等）、交通阻断情况； 2. 路基防护：受损位置、损伤程度（开裂、碎落，剥离坡面，防护功能失效等）； 3. 路基支挡：受损位置、损伤程度（变形开裂，断裂，滑移，垮塌等）

续表 4.2.2

构筑物类型	侦测内容
桥涵	1. 垮塌、落梁情况及位置； 2. 下部结构及基础：受损位置、损伤程度(墩台倾斜下沉，基础沉陷、液化，基础滑移、倾斜、变位、掏空等)； 3. 上部结构：受损位置、损伤程度(缆索及吊杆严重异常振动，吊杆断索等)； 4. 桥面：受损位置、损伤程度(桥面隆起、沉陷、坍塌，伸缩装置损坏等)
隧道洞口	1. 洞口边仰坡：堵塞洞口，山体及岩体开裂、滑动，挡土墙及护坡开裂、断裂、外倾失稳； 2. 洞门：洞门结构开裂、断裂、剥落，墙身倾斜、沉陷或大面积挂冰等

4.2.3 事故类突发事件，场景侦测应获取事故类型、灾损形态与程度，以及通行能力评估等，侦测内容见表 4.2.3。

表 4.2.3 事故类场景侦测内容

事故类型	侦测内容
道路交通事故	事故位置、事故规模、车辆损毁程度、桥面/路面损毁程度、人员伤亡及被困情况、交通阻断情况
火灾	起火位置、燃烧物质类型、火势蔓延范围、烟雾扩散方向、周边易燃易爆隐患分布、人员伤亡及被困情况、交通阻断情况
危险化学品泄漏	危险化学品泄漏点位及影响范围、扩散速度及周边敏感区域(如水源、居民区、农田等)受影响情况、周边火源及电源等危险隐患排查、人员伤亡及被困情况、交通阻断情况

4.3 灾损分析

4.3.1 灾损识别鼓励采用“智能识别为主、人工干预为辅”的技术路线，提升效率与一致性。

4.3.2 灾损智能识别与分析，宜遵循“数据-模型-应用”的技术路径，按下列流程进行：

- 1 数据集构建：基于现场采集的真实灾损影像构建数据集，并与任务编号、航线信息及侦测对象建立关联。通过数据清洗、标注及增强(如旋转、缩放、色彩调整)等手段扩充数据量，并宜按约 7:2:1 的比例划分为训练集、验证集和测试集。
- 2 模型训练与评估：宜根据灾损目标特点选择合适的算法模型进行训练。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 0.75，且具备良好的泛化能力，避免过拟合。

3 智能分析与量测：利用训练好的模型对侦测影像进行自动化灾损识别与定位。对识别出的灾损，进行几何参数的自动或半自动量测（如剥落面积、坍塌面积等），量测方法可参照本指南附录 B。智能识别结果宜进行必要的人工复核与确认，以确保分析的准确性。

5 辅助决策

5.1 一般规定

5.1.1 应遵循属地管理、分类分级的原则，开展辅助决策。辅助决策应与总体指挥调度程序相衔接，做好应急联动工作。

5.1.2 无人机辅助决策宜涵盖公路基础设施损伤等级和抢通建议，应符合现行《公路交通应急抢通技术规程》(JTG/T 6410)相关规定。

5.1.3 灾害类突发事件辅助决策内容，应包括线路灾损、路基灾损、桥涵灾损、隧道洞口灾损等。

5.1.4 事故类突发事件辅助决策内容，应包括公路灾损、人员伤亡、车辆损毁、危险隐患等。

5.1.5 无人机指挥平台应结合事件环境参数、灾害特征参数等，按照本指南第4.2节的内容从应急预案数据库智能匹配并推荐应急抢通方案。

5.2 决策内容

5.2.1 线路灾损宜确定灾损位置、灾损长度、阻断程度及抢通建议等。

5.2.2 路基灾损宜确定灾损位置、路基路面灾损状况、路基防护灾损状况、路基支挡灾损状况及抢通建议。

5.2.3 桥涵灾损宜确定灾损位置、垮塌落梁情况、下部结构及基础灾损状况、上部结构灾损状况、桥面灾损状况及抢通建议。

5.2.4 隧道洞口灾损宜确定灾损位置、洞口边仰坡灾损状况、洞门灾损状况及抢通建议。

5.2.5 公路灾损宜确定灾损位置、路面/桥面灾损状况及抢通建议。

5.2.6 人员伤亡宜确定位置、伤亡人数、伤亡程度、受伤部位，以及向受困人员精准投送急救包、饮用水、救生器材等应急物资的投送方案。

5.2.7 车辆损毁宜确定位置及占用道路情况，评估车辆清理优先级及清理方案。

5.2.8 危险隐患宜确定位置、火灾状况、危险化学品泄漏状况、周边易燃易爆隐患分布，以及定点灭火方案或危险化学品泄漏处置方案等。

5.3 智能判定

5.3.1 宜结合突发事件前后三维数字化模型快速计算滑坡体方量、坍塌体积、崩塌体积等，给线路灾损提出抢通建议。

5.3.2 按照表 4.2.2 进行灾损智能分析，应给出路基、桥涵和隧道洞口的灾损状况，并提出抢通建议。

5.3.3 按照表 4.2.3 进行灾损智能分析，应给出道路交通事故、火灾、危险化学品泄漏的灾损状况，并提出处置方案。

5.3.4 应依据无人机采集的现场侦测数据、三维建模数据及实景影像数据开展综合评估，确定损伤等级，提出应急抢通建议，并应符合下列规定：

1 提出受损公路线路应急抢通方案建议，包括受损公路线路的路基、桥涵与隧道洞口的抢通范围、抢通量及抢通优先级，无人机及挂载设备配置清单、应急保障清单等，明确抢通流程、关键节点及安全管控要求。

2 提出无人机现场指挥方案，包括规范无人机飞行航线、作业区域、起降点位及飞行安全管控标准，协调无人机作业与现场应急救援、抢通施工的协同衔接，确保指挥高效、作业有序。

3 提出应急物资无人机投送方案，包括结合受困人员精准位置、数量及受困状态，明确急救包、饮用水、救生器材等应急物资的投送数量、投送点位、投送方式，明确投送过程中的飞行安全要求及应急处置预案，保障物资精准、安全送达。

4 提出无人机定点灭火方案，包括结合火灾点位、火势规模及周边敏感区域分布，明确无人机灭火挂载设备选型、灭火介质规格及用量，确定定点灭火投送位置、飞行路径及安全防护要求，制定火势动态监测及二次灭火补充方案，提升灭火针对性和安全性。

6 应急指挥

6.1 一般规定

6.1.1 无人机应急指挥包含任务部署与现场指挥两部分内容，贯穿应急处置全流程。

6.1.2 无人机作业任务分配包括救人、灭火、障碍识别、抢通作业监测、二次灾害监测与后评估取证等任务，宜设定任务频次与飞行参数。

6.1.3 无人机现场指挥，应实现现场喊话、救人、灭火、压尾警戒、作业进度监控、二次灾害监测、应急照明、应急通信等。

6.1.4 无人机指挥平台应整合现场监测数据与无人机感知数据，实现可视化预警、趋势分析和阈值触发的联动机制，用于指挥和动态调整抢通方案。

6.1.5 无人机作业全流程记录应纳入无人机指挥平台，支持任务过程留痕、操作可回溯、数据可归档，满足应急抢通复盘、责任追溯及事后评估需求。

6.2 无人机移动应急载体

6.2.1 无人机移动应急载体是提升应急抢通信息化、智能化水平的重要支撑，应具备无人机集群综合管控能力，实现多无人机协同作业。

6.2.2 无人机移动应急载体宜具备无人机集群自动升降、通信、供电等功能，可实现无人机集群快速到达突发事件现场，及时开展场景侦测、辅助决策、现场指挥与应急保障等。

6.2.3 无人机移动应急载体应实现定位、通信、无人机应急数据的无缝衔接与实时交互，实现作业全流程数据互通。

6.2.4 无人机移动应急载体，宜进行集约化、模块化与一体化设计，实现无人机存储、电池充电、发供电、升降平台统一布局，提升载体利用效率与应急响应速度。

6.2.5 无人机移动应急载体宜承担现场协同调度，统一协调救援、抢险、交通管控等各处置单元协同作业，确保应急处置工作有序、高效推进。

6.3 指挥内容

6.3.1 现场喊话：无人机应搭载喊话器，由无人机指挥平台远程操控，精准传递应急指令、疏散通知、安抚话术及安全提示，覆盖现场人员密集区域及视线盲区，确保指令传递无死角；喊话内容根据现场态势动态调整，辅助现场人员有序撤离、配合处置。

6.3.2 救人：无人机应结合应急救援方案，搭载急救包、饮用水、救生器材等，由无人机指挥平台远程操控，精准投递与辅助救援，并配合地面救援队伍，实时传回被困人员状态、周边环境等影像数据，为救援方案的制定提供支撑，提升救援效率，降低救援人员安全风险。

6.3.3 灭火：无人机应搭载灭火弹，由无人机指挥平台远程操控，开展精准灭火作业，并实时监测火灾蔓延趋势，传回火场影像数据，辅助指挥人员调整灭火策略，协同地面灭火队伍形成立体灭火体系。

6.3.4 压尾警戒：无人机应在应急处置现场实施压尾警戒，由无人机指挥平台远程操控，通过悬停巡查、灯光警示、语音提醒等方式，禁止无关人员、车辆进入危险区域，实时监测警戒区域动态，及时反馈违规闯入、区域内异常情况，保障现场处置安全有序。

6.3.5 作业进度监控：由无人机指挥平台远程操控，无人机应实时巡查应急抢通、救援处置等作业现场，精准捕捉作业点位、人员设备投入、作业推进情况等信息，通过影像数据同步传输至指挥平台，实现作业进度可视化监控；对作业滞后、流程不规范等问题及时预警，辅助指挥人员调整作业部署、优化资源配置。

6.3.6 二次灾害监测：无人机指挥平台远程操控，无人机应持续对突发事件现场及周边区域开展巡查监测，重点排查余震、滑坡、泥石流、二次坍塌、火灾复燃等二次灾害隐患；实时采集隐患点影像、位移变化等数据，通过无人机指挥平台进行趋势分析，提前发出预警信号，为应急处置人员撤离、处置方案调整提供依据，防范二次灾害。

6.3.7 应急照明：无人机或者系留无人机搭载探照灯，由无人机指挥平台远程操控，对光线不足场景提供稳定、明亮的照明支撑，可根据现场需求调整照明亮度、角度，保障应急抢通、救援处置、隐患排查等作业安全开展，辅助指挥人员清晰掌握现场态势。

7 应急保障

7.1 一般规定

7.1.1 无人机应急保障包括供电保障、数据传输与通信保障两部分，应保障低空无人机在“断路、断网、断电”等极端状态下的作业能力。

7.2 供电保障

7.2.1 应建立涵盖发电机、市电接入与磷酸铁锂电池的多源互补供电体系，实现各供电单元的自适应自动切换，无须人工干预即可完成 1s 内备用回路切换。

7.2.2 应具备无人机电池集中管理、循环充电与快速更换功能，实现无人机长时间作业，满足应急处置全流程作业需求。

7.2.3 无人机移动应急载体宜配置静音发电机、充逆变一体机、不间断电源(UPS)和市电接入，能够实现四重保障。

7.2.4 宜使用系留无人机，实现“边飞行边充电”，同步传输电力与数据，支持无人机长时间悬停作业。

7.2.5 宜为每台低空无人机配备不少于 4 块电池及配套快充设备，确保无人机快速恢复作业能力，避免因电池耗尽影响应急处置进度。

7.3 数据传输与通信保障

7.3.1 宜采用公网 + 卫星 + 自组网多链路融合通信方式，当某一通信链路故障时，系统自动切换至备用链路，确保通信连续、无中断。

7.3.2 应实现无人机采集的高清视频、高清照片及点云数据实时回传，支持不少于 3 个无人机作业画面同步传输、实时监控，满足多机协同作业的数据传输与调度需求，

保障无人机指挥平台精准掌握现场态势。

7.3.3 通信链路应具备抗干扰能力，能抵御复杂应急场景(如强电磁、恶劣天气)的干扰，确保应急作业数据传输稳定、准确。

8 事后评估与数据归档

8.1 一般规定

8.1.1 抢通作业完成后，宜对低空无人机应急抢通全过程进行评估。

8.1.2 无人机公路应急抢通全过程采集数据应进行归档，确保数据完整、可追溯，满足事后评估、查询及分析需求。

8.1.3 低空无人机公路应急抢通的最终成果应包含应急抢通成果报告与规范化数据包，应急抢通成果报告模板可参照本指南附录 C。

8.2 事后评估内容

8.2.1 场景侦测重点评估突发事件应急响应时效、灾后三维数字化模型建模耗时、灾害类突发事件构筑物灾损识别精度、事故类突发事件各类型灾损识别精度等，核查任务完成质量。

8.2.2 辅助决策重点评估线路灾损、路基灾损、桥涵灾损、隧道洞口灾损、人员伤亡、车辆损毁、危险隐患等的判定时效与识别精准度。

8.2.3 应急指挥重点评估现场喊话、救人、灭火、压尾警戒、作业进度监控、二次灾害监测、应急照明等任务的执行质量与落地成效。

8.2.4 应急保障重点评估应急处置全过程中供电保障、数据传输与通信保障的可靠性与场景适配能力。

8.2.5 评估无人机应急抢通、指挥调度、协同作业的规范性与实战效能，持续优化流程，提升应急处置效率。

8.3 数据归档

8.3.1 归档范围：采集的原始数据，包含完整的元数据信息，包括拍摄时间、经纬度与高程坐标、无人机型号、传感器参数(如焦距、传感器尺寸、分辨率和畸变参数等)、机体姿态与云台姿态数据(航向、俯仰、横滚角度以及云台转角信息)、航线规划等；无人机采集的高清视频、高清照片、点云数据、灾损数据、隐患监测数据等感知数据；应急任务(任务编号、执行时间、巡查对象名称、任务类型、无人机型号、载荷型号和飞行批次等)、指挥调度指令等作业数据；应急保障相关记录、评估报告、协同处置记录等辅助数据。应详细记录飞行日志，内容包括时间节点、航线坐标、气象参数及作业过程遇到的异常情况。

8.3.2 归档要求：归档数据应进行分类整理、规范命名，确保数据真实、完整、准确，无缺失、无篡改，每条航线需绑定事件细化类别与任务编号；敏感地理信息、灾情影像等应急数据，在传输和存储时应采用国家密码管理部门核准的加密算法进行加密处理，严格防范数据泄露、篡改，保障公路应急抢通数据安全合规。

8.3.3 归档管理：电子数据应存储在专用存储设备中，建立备份机制，定期进行数据校验与维护。

8.3.4 归档应用：归档数据应支持后续应急处置复盘、技术优化、培训教学、应急演练等场景应用，建立数据查阅、调用的规范流程，确保数据资源高效利用。

9 安全管理与突发响应

9.1 安全管理原则

9.1.1 作业单位应按照“一机一档”，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。

9.1.2 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，确保无人机全链条应用纳入管理。

9.1.3 作业单位应健全合规管理制度，应定期检查无人机系统实名登记状态和运行识别功能，确保设备始终处于合规状态。

9.1.4 作业单位应健全安全管理制度，按规定配置安全设施设备、个体防护装备和应急救援设备，加强无人机、无人机移动应急载体、存储场地、起降设施等的日常维护，确保设施设备齐全、状态良好。

9.2 风险控制

9.2.1 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，并制定针对性的控制措施。

9.2.2 风险控制措施应重点关注下列方面：

1 空域与交通风险：严格遵守空域管理规定，规避敏感区域。在跨越通航河流、高速公路等区域作业时，应提前协调并设置必要的观察岗，确保不影响既有交通运行。

2 环境风险：应评估并规避强电磁干扰、紊乱气流（如桥塔涡流、峡谷风）等环境因素的影响。作业环境条件（如风速、湿度、光照）应满足设备安全操作要求。

3 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、无人机移动应急载体状态良好。应预设安全策略，如失控返航、紧急迫降等。

4 操作风险：作业人员应严格按照操作规程执行飞行任务，保持安全距离，避免不当操作导致的碰撞风险。

9.3 突发响应

9.3.1 作业单位应编制无人机突发事件应急预案，定期组织演练。

9.3.2 发生无人机故障和事故时，应及时采取有效措施，妥善应对处置，并按照国家有关规定向相关部门报告。

9.3.3 典型场景的应急响应应遵循下列核心处置程序：

1 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。

2 设备重大故障：在尚存控制权限时，应将无人机安全飞离桥梁结构，选择无人人员、无重要设施的开放区域实施紧急迫降或坠毁。

3 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。

4 空中交通管制：接到空中交通管制指令后，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。

5 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，防止发生次生灾害。同时保护事故现场，配合进行事后调查与取证工作。

9.3.4 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，并据此完善无人机突发事件预案。

附录 A 无人机应急抢通工作流程图

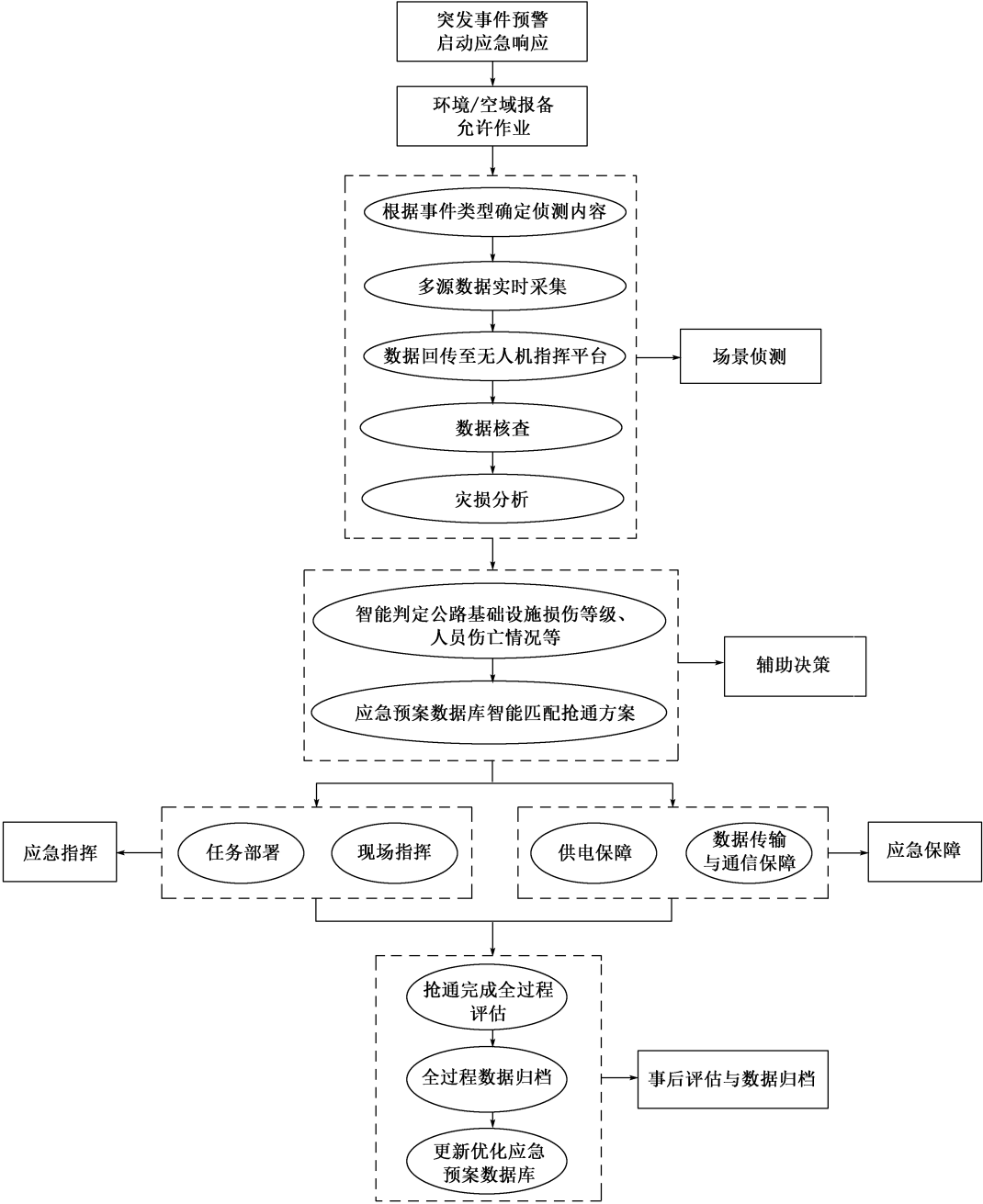


图 A.0.1 无人机应急抢通工程流程图

附录 B 灾损智能识别方法

B.1 灾损类型智能识别

B.1.1 灾损类型智能识别应包括人工智能算法模型选择、灾损数据集收集、数据集制作、模型训练、模型测试和模型应用。

B.1.2 模型训练完成后，应采用独立测试集进行性能评估。模型测试 mAP 宜不低于 0.75，且各主要灾损类别识别结果应满足现场应用和人工复核要求；对于样本数量不足、灾损形态差异较大的类别，可结合现场验证结果确定应用范围。未达到要求的，应重新优化数据集或模型，得到灾损类型智能识别模型，输入无人机采集待识别灾损图像，输出灾损检测结果图像及灾损检测位置信息等，灾损智能识别流程可参见图 B.1.2。

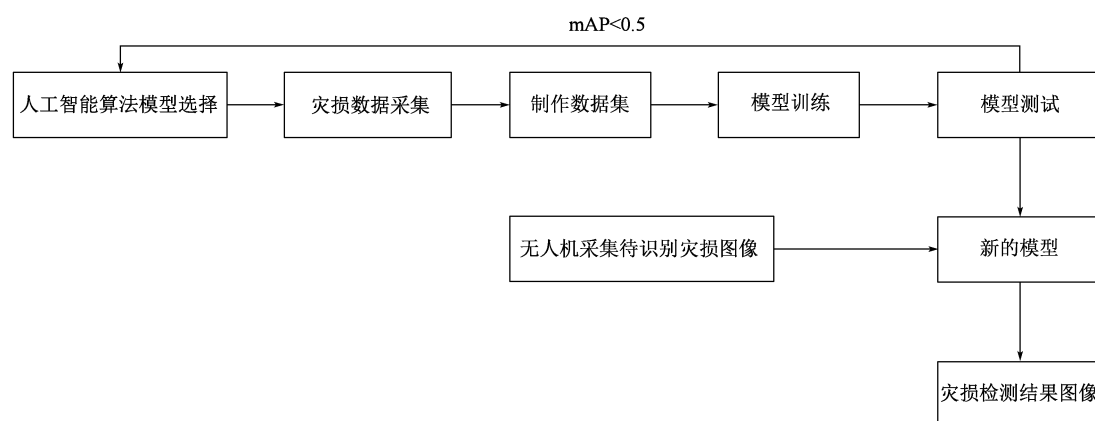


图 B.1.2 灾损智能识别流程

B.1.3 灾损数据集应为基于无人机采集的真实数据。

B.1.4 数据集中每种类型灾损照片数量宜不少于 1 000 张，正负样本照片数量应单独统计。

B.1.5 宜通过收集漏检、误检样本制作新数据集的方式，对模型进行迭代优化，提高病害检测准确率。

B.2 灾损参数智能识别

B.2.1 灾损定量参数智能分析宜包括灾损检测结果图像输入、灾损检测结果灰度化、灾损检测结果二值化、灾损定量参数计算。

B.2.2 灾损定量参数智能分析可参考下列流程：将灾损检测结果图像作为输入，然后进行灰度转换为灰度图，将灾损检测结果灰度图转换为多幅只包含一种灾损的二值化图像，对每幅二值化图像进行灾损定量参数计算得到灾损参数识别结果，流程可参见图 B.2.2。



图 B.2.2 灾损定量参数智能分析流程

B.2.3 灾损面积可按式(B.2.3)计算：

$$S = N_0 \times a \quad (\text{B.2.3})$$

式中： S ——病害面积(mm^2)；

N_0 ——病害像素个数；

a ——单个像素实际面积(mm^2)。

B.2.4 灾损定量参数计算中，灾损数量宜根据灾损连通区域个数进行计算。若 $S < s_l$ ，该连通区域面积过小，可认为该连通区域不是灾损，应予以过滤。其中， S 为连通区域面积，单位为 mm^2 ； s_l 为最小灾损面积阈值，单位为 mm^2 。 s_l 宜按式(B.2.4)确定：

$$s_l = N_l \times \delta^2 \quad (\text{B.2.4})$$

式中： N_l ——最小连通区域像素数阈值，宜取 20 ~ 200；

δ ——像素标定值($\text{mm}/\text{像素}$)。

对于细小裂缝、局部微小剥落等小尺度灾损， N_l 宜取 20 ~ 50；对于剥落、掉角、破损等一般区域性灾损， N_l 宜取 50 ~ 100；对于大面积破损、冲刷、坍塌等大尺度灾损， N_l 宜取 100 ~ 200。具体取值宜结合图像分辨率、检测目标尺寸、灾损类型及现场应用需求综合确定，并在模型训练和应用过程中通过验证数据进行校准。

B.2.5 单个像素实际面积可按式(B.2.5)计算：

$$a = \delta^2 \quad (\text{B.2.5})$$

式中： a ——单个像素实际面积(mm^2)；

δ ——像素标定值(mm)。

附录 C 无人机应急抢通成果报告模板

C.0.1 成果报告核心章节宜包括下列内容：

- 1 公路交通突发事件基本情况
 - 1.1 事件类别及基本情况介绍
 - 1.2 事件环境条件介绍
 - 1.3 事件所在公路基本情况介绍
- 2 场景侦测
 - 2.1 侦测方案介绍(含设备情况)
 - 2.2 灾损三维数字化模型构建总结(重点论述模型构建、灾损定位及展示等)
 - 2.3 侦测内容智能分析总结(结合本指南表 4.2.2 或表 4.2.3)
- 3 辅助决策
 - 3.1 论述辅助决策内容及智能判定情况
 - 3.2 总结本指南 5.3.4 中 4 个方案的有效性和合理性
- 4 应急指挥
 - 4.1 应急指挥方案介绍(含设备情况)
 - 4.2 无人机移动应急载体发挥效果介绍
 - 4.3 总结指挥内容的实效性
- 5 应急保障及事后评估
 - 5.1 总结应急保障情况
 - 5.2 给出事后评估总结
- 6 结论与建议
 - 6.1 主要结论

突发事件的损伤等级评定是否合理，抢通建议是否得当，无人机发挥作用总结。
 - 6.2 建议

一是提出应急抢通处置效率提升的具体建议；二是根据灾损的严重程度提出具体、可操作的处理措施(如日常风险观测、局部维修、专项维修等)。
- 7 附件

附件一：原始数据清单

附件二：突发事件及处置详细记录表

附件三：典型灾损影像集

附件四：三维数字化模型

附件五：无人机指挥平台（含本次事件相关数据，可展示灾损位置及情况标注等）