

ICS 01.020
CCS C 84

T/HBUAV

湖北省无人机行业协会团体标准

T/HBUAV 004—2025

森林防灭火场景无人驾驶航空器巡查与灭火技术标准

Technical Standard for Unmanned Aerial Vehicles for

Forest Fire Prevention and Fire Fighting

2025 - 11 - 12 发布

2025 - 11 - 12 实施

湖北省无人机行业协会 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	2
4. 技术要求	3
5. 附则	11

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020规则起草。

本文件由湖北省无人机行业协会提出并归口。

本文件起草单位：湖北省应急管理厅火灾防治救援管理处、湖北省林业局森林防火处、电鹰科技集团有限公司、武汉市计量标准质量研究院、武汉市工程科学技术研究院

本文件主要起草人：蔡晓东、李玲玲、蔡昊宇、李鹭扬、王芬、叶青、陈鸥

本文件主要评审人：陈进、张俊、刘一郎、刘洋辉、曾晓东

森林防灭火场景无人驾驶航空器巡查与灭火技术标准

1. 范围

本标准规定了森林防灭火场景中无人驾驶航空器巡查与灭火的技术要求，包括日常巡查任务要求、事件上报要求及证实方法、飞机性能与稳定性、灭火能力与设备、环境适应性、智能化与通信、地面站系统和等方面的性能指标。

本标准适用于湖北省内森林防灭火工作的无人机巡查与灭火技术要求规范。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

CCAR-92	《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》
CCAR-23 R4	《正常类飞机适航规定》
GB 42590-2023	《民用无人驾驶航空器系统安全要求》
GB/T 44717-2024	《民用无人机可靠性飞行试验要求与方法》
GB/T 38924	《民用轻小型无人机系统环境试验方法》
GB/T 38997	《轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统通用要求》
GB/T 4208	《外壳防护等级》
GB/T 35018	《民用无人驾驶航空器系统分类及分级》
GB/T 38152	《无人驾驶航空器系统术语》
GB/T 38930	《民用轻小型无人机系统抗风性要求及试验方法》
MH/T 1033	《森林航空消防技术规范》
MH/T 1069	《无人驾驶航空器系统作业飞行技术规范》
DB63/T 2069-2022	《森林草原防火无人机监测预警技术规程》

3. 术语和定义

3.1. 无人驾驶航空器 Unmanned Aerial Vehicle

无人驾驶航空器（简称“无人机”）是指无需机载驾驶员、依靠自备动力系统和遥控/程序控制装置操纵的航空器。

3.2. 森林防灭火场景 Forest Fire Prevention and Fire Fighting Incident

森林防灭火场景指以森林资源保护为核心，围绕森林火灾“预防 - 监测 - 扑救 - 灾后评估”全流程，运用无人驾驶航空器开展巡查、监测、预警、灭火及辅助救援等作业的特定应用环境与任务场景总和。该场景涵盖日常防火巡护、火情早期识别、应急处置、灾后评估等关键环节，需结合森林地形地貌、植被类型、气象条件及空域管理要求，整合无人机平台、任务载荷（可见光 / 红外传感器、灭火装备等）、地面管控系统等技术资源。

3.3. 森林巡查任务 Forest Surveillance Mission

通过无人机平台搭载任务载荷，按照预设航线或自主规划路径，对林区进行周期性或临时性巡查，以发现并及时上报火情迹象。

3.4. 误报 Misinformation

无人机视频图像中出现的烟、火特征判定为火情，但上传报警事件后实际未发生火情。

3.5. 误报率 False Alarm Rate

上传报警事件后，实际未发生火情与总报警事件次数的比率。

3.6. 灭火能力与设备 Fire Suppression Efficiency and Fire Suppression

Equipment

在森林防灭火场景中，灭火能力指无人驾驶航空器快速抵达火场、精准定位火源并有效扑灭火情的综合性能；灭火设备指适配森林防灭火场景无人驾驶航空器搭载使用，用于执行森林火灾扑救、火情控制及辅助灭火任务的专用装备总称，需满足森林复杂地形、恶劣气象条件（ $-20^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ 环境温度、7级及以上风力）及不同火情类型（有烟无火、有烟有火、阴坡火、阳坡火等）的作业需求，包括其搭载的压缩空气泡沫灭火装置、灭火弹、水袋等任务载荷。

3.7. 智能化与通信 Intelligent Communication

智能化指无人驾驶航空器具备自主决策、环境感知与动态调整能力，如自主避障、智能任务规划及火情识别；通信指无人机与地面站间实时数据传输，涵盖图像回传、遥控指

令及抗干扰链路，确保火场信息精准交互与远程操控。

3.8. 地面站系统 Ground Control Station

由数据处理、监测显示、遥控和通讯等系统组成，具有对无人驾驶航空器飞行平台和任务载荷监控和操纵能力的地面装备。

4. 技术要求

4.1. 日常巡查任务要求

4.1.1 航线规划

航线规划宜按照 MH/T 1033 中执行，应包括林缘、火灾隐患点和火灾易发区等关键区域。

应根据无人机的续航能力和通信距离，确保无人机能够安全返回起降场地。

应根据风速 ≥ 8 m/s（5级风）、风向突变、环境温度超出 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 工作范围、相对湿度 $\geq 95\%$ （有凝结）或能见度 ≤ 500 m等气象条件变化，及时调整航线；调整方式包括缩短单次巡查航程、提升飞行高度规避低空乱流、绕开逆风强风区域、变更起降点至背风侧、暂停作业等，确保飞行安全与任务有效性。相关调整应按照 GB/T 38930《民用轻小型无人机系统抗风性要求及试验方法》、MH/T 1033《森林航空消防技术规范》及 MH/T 1069《无人驾驶航空器系统作业飞行技术规范》的相关规定执行。

大面积、地形较为平坦的森林区域宜将巡查区域划分成若干个网格，无人机按照网格的顺序依次飞行。

4.2. 飞行性能与稳定性

4.2.1 飞机性能要求

尺寸与重量：应符合森林防灭火作业的实际需求，轴距、最大起飞重量、最大载重等参数应满足森林防灭火任务的要求。最大飞行高度需满足森林灭火需求（ ≥ 200 米），续航时间 ≥ 30 分钟，确保长时间作业能力。有效载荷 ≥ 10 公斤（应需匹配相应的电池能量密度和放电倍率），可携带灭火剂、水袋或救援物资。

续航时间：应满足森林防灭火作业的时间需求，确保在灭火过程中有足够的续航能力。

抗风等级：应具备一定的抗风能力，确保在复杂气象条件下仍能稳定飞行。在风速 ≤ 12 米/秒（6级风）条件下稳定飞行，适应复杂气象环境。

飞行速度：应具备合适的飞行速度，以满足快速响应森林防灭火任务的需求。

微型无人机：巡航速度宜小于或等于 30km/h，火情监测阶段速度宜小于或等于 20km/h。

轻型/小型无人机：巡航速度宜小于或等于 80km/h，火情监测阶段速度宜小于或等于 60km/h。

中型无人机：巡航速度宜小于或等于 120km/h，火情监测阶段速度宜小于或等于 90km/h。

灭火时悬停精度垂直方向 $\leq\pm 0.5$ 米，水平方向 $\leq\pm 1.5$ 米，保障精准灭火操作。

4.3. 灭火能力与设备

4.3.1 灭火剂类型与喷射

支持多种类型的灭火剂（包括水袋），喷射或投掷距离 ≥ 15 米，覆盖范围 ≥ 10 平方米。

配备流量调节功能，适应不同火势需求。

4.3.2 灭火装置设计

采用模块化设计，支持快速更换灭火剂，提升任务灵活性。

灭火弹发射精度 CEP ≤ 1 米，确保精准打击火源。

与无人驾驶航空器相连接的水袋装置应在连接处设置断开机构。

4.4. 环境适应性

4.4.1 温湿度范围

耐高温、低温性能应符合 GB/T 2423 的规定。工作温度 -20°C 至 50°C ，湿度 $\leq 95\%$ （无凝结），适应极端气候，怠速时长不小于 1.5 小时。

4.4.2 防护等级

防护性能要求应符合 GB/T 4208 的规定。整机防护等级 IP55，关键部件 IP67，防尘防水性能优异。抗风性能要求应满足无人驾驶航空器在风速不小于 12 m/s 的条件下能正常起飞降落。

4.4.3 抗冲击性能要求

抗冲击性能要求应能承受一定冲击测试（当无人机为中大型载荷无人机（最大起飞重量 > 25 kg），抗冲击性能需额外符合 GB/T 42590-2023《民用无人驾驶航空器系统安全要求》中“大型无人机结构抗冲击”的专项规定，冲击加速度指标可根据机身重量按公

式“冲击加速度限值 = $2000 / (\text{最大起飞重量})^{1/3}$ ”进行修正（修正后加速度限值不低于 80 m/s^2 ），确保与机身结构强度匹配），并在受到冲击时仍能正常工作。

4.4.4 抗振动性能要求

抗振动性要求应符合 GB/T 38924.6 的规定。

4.5. 智能化与通信

4.5.1 自主飞行与路径规划

支持三维建图与自主避障，可根据火场态势动态调整飞行路径。

4.5.2 多机协同

支持 5 架以上无人机编队作业，实现火场侦察、灭火、救援任务协同。

4.5.3 通信链路

采用 5G/无线电通讯，数据传输延迟 ≤ 200 毫秒，带宽 $\geq 10\text{Mbps}$ ，保障实时指挥。

4.5.4 导航功能

应具备惯性导航、视觉导航等多种导航方式，确保在 GNSS 信号丢失时仍能保持导航能力；支持航线规划、航点插入与编辑功能，满足复杂任务需求；应具备航向补偿功能，确保在侧风等条件下的准确导航。

4.6. 地面站系统

地面站系统应具备对无人机飞行状态、任务执行情况、系统健康状况等信息的实时监控能力。

4.6.1. 飞行监控与控制功能

地面站应能实时显示无人机的飞行轨迹、姿态、速度、高度等关键飞行参数。应支持对无人机的飞行路径规划、任务指令下发、飞行模式切换等远程控制功能；同时应对系留无人驾驶航空器飞行方向、速度、姿态等进行控制。

高度保持精度：在设定高度上，高度波动范围应小于 ± 1 米。

速度控制精度：巡航速度控制精度应小于设定速度的 $\pm 5\%$ 。

应急返航精度：在失联或低电量情况下，自动返航至起降点的精度应小于 ± 10 米。

在紧急情况下，地面站应能迅速接管无人机控制权，执行应急返航、迫降等操作。飞行控制与任务控制过程中出现无人驾驶航空器俯仰角过大、任务载荷工作出现障碍、系留地面电源温度过高等异常时，地面指挥控制系统/站应提示告警信息。

4.6.2. 任务管理与规划功能

地面站应提供任务规划工具，支持用户根据任务需求设定飞行航线、拍摄点、侦察区域等。基础功能包括管理多个任务，包括任务的创建、编辑、删除、优先级设置等。支持任务执行过程中的动态调整，如根据实时情况修改飞行计划。

4.6.3. 数据处理与分析功能

地面站应能接收、存储无人机传回的各类数据，包括飞行数据、任务数据、传感器数据等；且图像视频记录应以 1/2/4/8 倍速回放；在通信信号弱或中断的区域，视频数据应能同步回传至控制端并本地存储，任务结束后可手动或自动上传至指定终端。

提供数据分析工具，支持对飞行数据的统计分析、异常检测、性能评估等。

应能生成飞行报告、任务总结等文档，便于后续审查和决策。

4.6.4. 通信与接口功能

地面站与无人机之间的通信应稳定可靠，支持多种通信方式（如无线电、卫星通信等）的切换和冗余备份。

地面站应提供标准的接口，便于与其他系统（如气象系统、指挥控制系统等）进行数据交换和协同工作。

4.6.5. 性能要求

地面站系统的响应时间、数据处理能力、通信带宽等性能指标应满足 GBT-44169 的相关规定。在系留线缆出故障或断裂时，地面站应具备使用无线链路维持与空中作业平台通信的能力，且地面指挥控制系统/站与空中作业平台之间无线数据传输容量应大于 6 Mbps，链路延时应小于 100 ms；在复杂电磁环境下，地面站应能保持与无人机的稳定通信，确保飞行安全。

4.6.6. 安全性与可靠性

地面站系统应具备完善的安全机制，包括用户认证、权限管理、数据加密等，防止未经授权的访问和数据泄露。系统应具备高可靠性，采用冗余设计、故障检测与隔离等技术手段，确保在关键部件故障时仍能维持基本功能。

地面指挥控制站应具备不间断电源，可在外部电源断电时，为站内设备提供不小于 15 min 的供电。同时，地面指挥控制站应实时监测控制系留地面电源、系留揽收机构等设备。

4.6.7. 兼容性与扩展性

地面站系统应具有良好的兼容性，能够支持多种型号、多种配置的民用大中型无人机。同时应具备扩展性，便于未来升级和新增功能，如增加新的传感器类型、支持更复杂的任务规划等。

4.7. 任务载荷传感器

可见光传感器：分辨率不低于 1920×1080 ，帧率不低于 30 帧/s，确保高清视频传输。

红外传感器：分辨率不低于 640×512 ，帧率不低于 25 帧/s，满足烟雾、夜间及恶劣天气下的监测需求。

激光测距传感器测距范围 3 m 到 2000 m；测距精度： $\leq \pm 0.5$ m（3 到 500 m 范围）， $\leq \pm 2$ m（500 到 2000 m 范围），确保火点定位、火势蔓延距离测算的准确性；测距频率： ≥ 10 Hz（每秒测量 ≥ 10 次），支持动态跟踪移动目标（如火线蔓延、地面人员位置）。

多光谱/高光谱传感器：根据任务需求选配，用于特定目标识别与监测。

机载传感器：高度计、空速计、姿态传感器等应具备高精度和可靠性，确保飞行数据的准确采集。

传感器数据应实时传输至飞行控制系统和地面站，用于飞行监控与决策支持。

4.8. 照明设备性能要求

照明单元可由单个或多个光源组成，光源应符合下列规定：

额定功率：不小于 100 W，适配无人机供电系统，工作时外壳最高温度不超过 50°C （塑胶外壳， 25°C 环温条件下）。

光照性能：全开模式下，100 米处中心照度不低于 35 lux，远光模式下 100 米处中心照度不低于 30 lux，近光模式下 100 米处中心照度不低于 13 lux。

有效探照距离：全开模式下有效探照距离不小于 500 米，确保夜间火点识别及作业区域全覆盖。

4.9. 电池性能要求

4.9.1. 电池类型与选择

类型：应选用高能量密度、高安全性的锂离子电池或燃料电池，以满足长时间作业需求。

认证：电池应通过国家相关认证标准，如 CE、FCC 等，确保产品质量与安全。

4.9.2. 电池性能要求

能量密度：锂硫电池能量密度应不低于 350 Wh/kg；磷酸铁锂电池能量密度应不低于 180 Wh/kg；三元锂电池（镍钴锰体系）能量密度应不低于 260 Wh/kg。（注：根据电池化学体系差异化要求，确保在相同重量下，不同类型电池均能满足森林防灭火作业基础续航需求——轻型无人机（起飞重量 5 到 25 kg）单次续航 ≥ 45 分钟，中型无人机（25 到 150 kg）单次续航 ≥ 60 分钟），以提供足够的续航能力。

充放电性能：支持快速充电功能（ $\geq 1.5C$ 快充）。在环境温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下，从 20% 电量充至 90% 电量的时间应 ≤ 40 分钟，满电（100%）充电时间应 ≤ 1.5 小时，满足应急作业时快速补能需求。

循环寿命：电池应具备较高的循环充放电次数（如 ≥ 500 次），以降低使用成本。

4.9.3. 电池安全要求

过充保护：电池管理系统（BMS）应具备过充保护功能，防止电池在充电过程中因过充而损坏或引发安全事故。

过放保护：BMS 应具备过放保护功能，当电池电量降至安全阈值以下时，自动切断放电回路，防止电池过放。

短路保护：电池应具备短路保护功能，当电池正负极意外短路时，能迅速切断电路，防止电池损坏或起火。

温度控制：BMS 应具备温度监控与调节功能，当电池温度过高或过低时，自动调节充电或放电电流，防止电池热失控。

4.9.4. 电池环境适应性

工作温度范围：电池应在较宽的温度范围内正常工作（如 -40°C 至 60°C ），以适应不同环境下的作业需求。

湿度适应性：电池应能在高湿度环境下（如湿度 $\leq 95\%$ ，无凝结）正常工作，不因湿度变化而影响性能。

防护等级：电池外壳应具备较高的防护等级（如 IP55 或更高），以防止灰尘和水分侵入，确保电池内部干燥和清洁。

4.9.5. 电池安装与固定

安装位置：电池应安装在无人机内部干燥、通风的位置，远离热源和机械振动源。

固定方式：电池应采用可靠的固定方式（如螺栓紧固、卡扣固定等），确保在飞行过程中不会因振动或冲击而松动或脱落。

4.9.6. 电池维护与更换

维护周期：应制定电池的定期维护计划，包括检查电池外观、清洁电池表面、检查连接线路等。

更换流程：应制定详细的电池更换流程，确保在电池性能下降或出现故障时，能够迅速、安全地更换电池。

4.10. 作业流程技术要求

作业流程需遵循“巡查预警—火情确认—灭火处置—复盘评估”全闭环管理，覆盖森林防灭火“预防—扑救”核心环节，所有操作应符合 MH/T 1033《森林航空消防技术规范》、MH/T 1069《无人驾驶航空器系统作业飞行技术规范》及 CCAR-92《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》相关规定。

4.10.1 巡查作业流程

作业准备：术前应完成空域申请，明确巡查范围、飞行高度（避开管制空域），同步获取实时气象数据（风速、能见度等）及林区地形分布图、防火设施位置等基础信息。

设备检查需符合 4.2（飞行性能）、4.4（环境适应性）、4.7（任务载荷）要求，重点校验可见光 / 红外传感器分辨率、电池剩余电量（ $\geq 80\%$ ）、通信链路稳定性及航线规划系统准确性。

人员配置应包含 1 名机长、1 名地面站操作员及 1 名数据分析师，均需具备相应无人机驾驶资质及森林防灭火作业培训证明。

航线执行：按 4.1.1 条规划航线飞行，大面积平坦林区采用网格状巡查模式，山地、丘陵林区采用等高线平行飞行模式，巡航速度符合 4.2.1 规定（微型 $\leq 30\text{km/h}$ ，轻型 / 小型 $\leq 80\text{km/h}$ ，中型 $\leq 120\text{km/h}$ ）。

火情监测阶段速度需降低 30% (微型 $\leq 20\text{km/h}$, 轻型 / 小型 $\leq 60\text{km/h}$, 中型 $\leq 90\text{km/h}$), 任务载荷应开启自动抓拍功能, 可见光传感器帧率 ≥ 30 帧 /s, 红外传感器帧率 ≥ 25 帧 /s, 每 500 米拍摄 1 张高清图像存档。

飞行中实时监测气象条件, 遇风速 $\geq 8\text{m/s}$ 、能见度 $\leq 500\text{m}$ 等异常情况, 按 4.1.1 条要求调整航线或暂停作业。

火情识别与上报: 系统自动识别烟、火特征, 结合人工复核确认火情, 误报率应 $\leq 5\%$ (按 3.5 条定义)。

确认火情后, 需在 5 分钟内完成上报, 上报信息应包含火点经纬度 (定位误差 $\leq \pm 10$ 米)、火情类型 (有烟无火 / 有烟有火等)、火势范围、周边植被类型及防火设施分布情况, 同步上传可见光 / 红外图像证据。

4.10.2 灭火作业流程

火情复核与方案制定: 接到巡查上报信息后, 应在 15 分钟内派遣无人机抵达火点上空复核, 通过激光测距传感器 (测距范围 3 到 2000 米) 测算火点面积、蔓延速度及周边安全距离, 结合火情类型选择适配灭火设备 (灭火弹、泡沫装置等) 及灭火剂类型。

制定灭火方案, 明确无人机编队数量 (多机协同不超过 8 架)、飞行高度 (距火点上方 50 到 100 米)、灭火顺序 (先控制火头、后清理余火) 及应急撤离路线。

灭火实施: 单机作业时, 灭火设备喷射 / 投掷距离 ≥ 15 米, 覆盖范围 ≥ 10 平方米, 灭火弹发射精度 CEP ≤ 1 米; 多机协同作业需开启编队协同模式, 间距保持 ≥ 50 米, 避免气流干扰及碰撞风险。

作业中实时监测火势变化, 通过地面站调整飞行姿态及灭火设备参数, 悬停精度需满足垂直方向 $\leq \pm 0.5$ 米、水平方向 $\leq \pm 1.5$ 米, 确保灭火剂精准覆盖火点。

水袋类灭火装置作业时, 需确认连接处断开机构功能正常, 避免投放后挂连无人机影响飞行安全。

作业收尾: 火势扑灭后, 需低空巡查火点周边 500 米范围, 通过红外传感器检测余温 (温度 $\leq 50^\circ\text{C}$), 确认无复燃风险后标记 “灭火完成”。

回收无人机, 检查设备结构损伤、电池剩余电量及灭火设备残留情况, 同步导出飞行数据、灭火作业视频等资料归档。

4.10.3 作业记录与复盘

作业全过程需记录设备运行参数、气象数据、火情处置细节等信息，记录保存期限不低于 2 年。结束后 3 个工作日内完成复盘，分析作业流程合理性、设备性能表现及火情处置效率，形成复盘报告，作为优化作业方案及设备改进的依据。

5. 附则

本标准自发布之日起实施。

本标准解释权归湖北省无人机行业协会所有。

协会每 3 年评估一次标准适用性，必要时启动修订程序。