

团体标准

T/CAMETA XXXXX-2025

低空飞行综合监管控服一体化平台

Integrated platform for comprehensive supervision and control of low-altitude
flight operations

（征求意见稿）

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国机电一体化技术应用协会 发布

目 次

前言	错误！未定义书签。
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 低空经济 low-altitude economy	1
3.2 低空空域 low-altitude airspace	1
3.3 低空飞行器 low-altitude aircraft	1
3.4 无人驾驶航空器 unmanned aircraft	1
3.5 空域管理 airspace management	2
3.6 航路规划 Route planning	2
3.7 智能管控 Intelligent Management and Control	2
4 体系架构	2
4.1 系统组成	2
4.2 功能模块	2
4.3 数据流程	2
5 技术要求	2
5.1 空域管理	2
5.2 飞行器监控	3
5.3 通信导航	3
5.4 应急处置	3
6 功能模块	3
6.1 空域管理模块	3
6.2 飞行器监控模块	4
6.3 通信导航模块	4
6.4 多维交通流预测	4
6.5 航路规划	4

6.6	风险防控模块	4
6.7	应急处置模块	4
6.8	数据分析与决策支持功能模块	4
7	测试方法	4
7.1	测试环境	5
7.2	测试指标	5
7.3	测试流程	5
7.4	验收标准	5
8	安全要求	5
8.1	数据安全要求	5
8.1.1	数据全生命周期保护:	5
8.1.2	访问控制与权限管理:	6
8.2	网络安全要求	6
8.3	系统安全要求	6

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准由中国机电一体化技术应用协会（CAMETA）提出并归口。

本标准起草单位：内蒙古科技大学、中经智创（内蒙古）科技有限公司、包头市公安局、内蒙古宇通博辉航空航天科技发展有限公司、杭州任联科技有限公司、成都森杪迹科技有限公司、电子工业出版社有限公司、山东农业工程学院机电学院、哈尔滨工程大学、广东省机械工程学会、中国软件评测中心（工业和信息化部软件与集成电路促进中心）、宁波赛宝信息产业技术研究院有限公司、中国民用航空飞行学院、赛飞特工程技术集团有限公司。

本标准主要起草人：杜永兴、张超、胡伟健、麻宏宇、赵文涛、杨颜博、李琦、李敏超、秦岭、周李涌、吕永刚、王可明、高迪、李晨璐、张万锴、陈金灵、徐静、苏冠群、李承轩、梁学修、肖屹峰、陈锒基、唐科、李迪。

低空飞行综合监管控制一体化平台

1 范围

本标准规定了低空飞行综合监管控制一体化平台的总体架构、技术要求、功能模块、测试方法及安全要求，规定了低空飞行综合监管控制一体化平台的应用场景和对象。

本标准适用于低空经济活动中的安全管理、飞行监控、通信导航、低空交通场景态势预测、航路规划及相关系统平台的设计、开发、建设和运营。

本标准适用于无人机、飞行汽车等低空飞行器的运行管控，以及低空经济相关领域的管理部门、运营企业和技术服务提供商。

本标准适用于低空经济安全管理、科研、生产、教育及其他相关领域，为行业提供统一和规范的低空飞行综合监管控制体系提供依据。

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面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/T 44717-2024	民用无人机可靠性飞行试验要求与方法；
GB/T 41450-2022	无人机低空遥感监测的多传感器一致性检测技术规范；
GB/T 45678-2025	民用系留无人机系统通用要求（待发布）；
GB/T 38931-2020	民用轻小型无人机系统安全性通用要求。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 低空经济 low-altitude economy

以民用有人驾驶和无人驾驶航空器在低空空域内的各类飞行活动为牵引，辐射带动相关领域融合发展的综合经济形态。

3.2 低空空域 low-altitude airspace

原则上是指全国范围内真高 1000 米(含)以下区域。山区和高原地区可根据实际需要经批准后可适当调整高度范围。

3.3 低空飞行器 low-altitude aircraft

用于在低空空域开展除军事、警务、海关缉私飞行和公共航空运输飞行以外航空活动的民用飞行器。特殊情况下经批准的军事、警务飞行，在应急协同等特定场景下的管理适用国家相关专项规则。

3.4 无人驾驶航空器 unmanned aircraft

由遥控设备或自备程序控制装置操纵，机上无人驾驶的航空器。

3.5 空域管理 airspace management

指对特定空域（如无人机飞行区域、民航航线等）进行规划、监控和调度的系统性管理，确保飞行安全与效率。

3.6 航路规划 Route planning

在一定的约束条件下（最短距离、安全性最高、最低油耗等）对飞机从起始地点到目标地点的飞行路径的进的最优设计。

3.7 智能管控 Intelligent Management and Control

通过人工智能、大数据、物联网等技术实现自动化、自适应的对飞行器进行管理与控制。

4 体系架构

4.1 系统组成

系统包括：飞行器监控模块、风险防控模块、数据分析与决策支持模块、应急处置模块、空域管理模块、通信导航模块等核心功能模块。

4.2 功能模块

飞行器监控模块：管控区域内可标记出“不明飞行器”，提取其飞行高度、速度等轨迹数据。

风险防控模块：比对空域规则库，触发“入侵告警”。

数据分析与决策支持模块：调用历史案例库，提出反制策略。

应急处置模块：向通信导航模块下发反制指令，同步通知安保部门无人机落点坐标。

空域管理模块：临时收紧周边空域审批阈值，防止连锁风险。

通信导航模块：通过通感一体化基站，将通信与感知功能融合，结合边缘计算技术，实现数据本地化处理，降低传输时延。

4.3 数据流程

无人机管控系统宜分为感知层、通信导航层、监控层、管理层、防控层、决策层与执行层七大核心模块。数据流程宜遵循感知、传输、分析、决策、调度、执行的闭环逻辑，通过多层级模块协同实现全链条管控，通过标准化接口与智能决策引擎实现高效协同。数据流程见图 1。

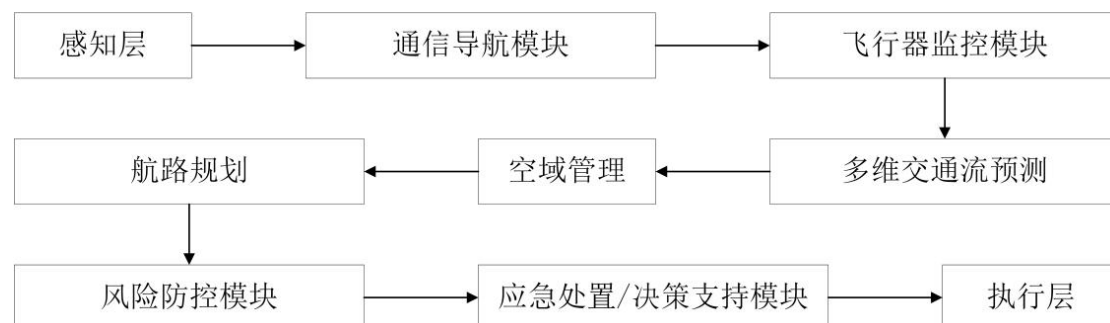


图 1 数据流程示意图

5 技术要求

5.1 空域管理

空域管理需实现空域划分、动态调度及冲突预警功能。

a) 空域划分：建立如农业植保区、物流走廊等开放空域；在城市核心区、景区设置电子围栏与动态高度层的限制空域；在场净空区、军事要地设置禁飞空域。

b) 动态调度：应急无人机（如医疗救援、消防）享有最高优先级，可临时占用其他空域并触发路径重规划。空闲时段自动释放资源，供科研或应急演练使用。监管中飞行计划报备、飞行申请、飞行回放及空域动态批复等功能模块响应时间均低于 5 秒。

c) 冲突预警：设置分级预警制度，按飞行器类型差异化划分阈值：

一级（低风险）：小型无人机潜在冲突（50 米 < 距离 ≤ 100 米），飞行汽车潜在冲突（80 米 < 距离 ≤ 150 米），通过通信链路发送避让建议至飞手 APP；

二级（中风险）：小型无人机紧急冲突（30 米 < 距离 ≤ 50 米），飞行汽车紧急冲突（50 米 < 距离 ≤ 80 米），自动触发避障算法（如动态窗口法）；

三级（高风险）：小型无人机即将碰撞（距离 ≤ 30 米），飞行汽车即将碰撞（距离 ≤ 50 米），强制接管控制权并执行紧急着陆或偏航。

异常报警功能正常率达到 90% 以上；关键区域内低空监视设备识别准确率达到 90% 以上，设备故障率低于 1%。

5.2 飞行器监控

a) 实时定位：基于北斗三号和 5G RedCap 实现高精度融合定位（误差 ≤ 0.1 米），结合 GIS 地图动态标注边界。在城市高楼遮挡、山区峡谷等复杂环境下，应采用多源感知融合算法（如激光雷达 + 视觉 SLAM）补偿定位偏差，确保定位精度不低于 1 米。

b) 状态监测：单台设备覆盖半径不少于 5 千米，支持多频段信号监测，按照设备数量、安装位置、覆盖范围、监控指标等需求规划部署；通过现场核查与远程监控相结合，确保实际部署且运行正常的设备数量占计划部署数量比例不低于 95%。

c) 飞行轨迹追踪：通过多源感知技术、高精度定位算法和实时数据处理，确保对飞行器的全流程动态监控。计算飞行器间的最小安全距离，其中水平 30 米误差，垂直 10 米误差。

5.3 通信导航

a) 低空通信协议：通过通感一体化 5G-A 基站，将通信与感知功能融合；采用 5G-A 为主、卫星通信为辅的“星地一体”方案，通过北斗三号导航构建空天地立体协同覆盖网络，确保低空通信无盲区。偏远地区卫星通信时延应 ≤ 500ms，带宽 ≥ 2Mbps；虚拟专网与边缘计算结合，实现数据本地化处理，降低传输时延。低空监视设备每台设备的数据实时传输率达到 90% 以上，响应时间低于 8 秒。

b) 抗干扰能力：宜使用跳频通信协议并且装备抗 GPS/GNSS 欺骗芯片。

5.4 应急处置

a) 风险预警：基于低空飞行器特点构建的交通流预测模型的准确率达到 95% 以上；实时调度成功率不低于 99%，无人机冲突识别成功率不低于 99%，误警率低于 1%。

b) 事故响应：动态空域管理的系统响应时间宜低于 3 秒。

c) 协同救援：试点区域内飞行安全事故率分阶段控制：初期（标准实施后 1-2 年）≤ 3 / 百万小时，成熟期（标准实施 2 年后）≤ 1 / 百万小时。

6 功能模块

6.1 空域管理模块

负责设置 RFID 电子围栏、地理围栏、空域二维码标签，在空管区域内实现空域动态划设、飞行计划审批、电子飞行执照管理；其中，空域二维码标签是指存储空域属性（如空域

类型、使用时段、限制条件)的可视化编码,支持飞手通过移动设备扫码获取空域授权信息,扫码后需跳转至监管平台验证页面,确保授权真实性。

6.2 飞行器监控模块

实现全域覆盖的数据采集与状态感知,支持多类型飞行器(无人机、飞行汽车等)的实时状态监测、轨迹追踪与异常行为识别。

6.3 通信导航模块

使用 5G/5G-A 专网,支持无人机超视距控制与高清视频实时回传;通信基站集成感知功能,采用“通信-感知-计算一体化基站”方案(替代特定企业产品名称);偏远地区通过卫星链路保障通信连续性,卫星链路需满足本标准 5.3a 条款中规定的时延、带宽要求

6.4 多维交通流预测

通过融合多源异构数据(如飞行计划、实时轨迹、气象数据)、创新深度学习架构(如时空图神经网络)、优化边缘云端协同机制,构建具备高精度、强适应性和实时响应能力的多维交通流预测模型;实现对低空交通流 10 分钟级的精准预判,预测结果需同步至空域管理模块与航路规划模块,支撑动态空域调度。

6.5 航路规划

根据实时环境(如气象、空域占用情况)和历史数据(如最优航程案例、冲突规避记录),动态调整航路规划策略,选择最优飞行路径,缩短航程;规划结果需满足对应飞行器的冲突预警阈值要求(见 5.1c 条款)。

6.6 风险防控模块

预装电磁压制、激光拦截、网捕无人机等反制手段;反制手段的使用需遵循“分级审批、精准管控”原则:一级反制(如网捕无人机)由属地监管平台值班人员审批,二级反制(如电磁压制)需经市级监管部门书面审批,三级反制(如激光拦截)需报省级监管部门审批并同步报备当地公安部门;反制操作需全程记录日志,包括操作人、审批人、反制时间、目标信息、处置结果,日志保存期限 ≥ 1 年。

6.7 应急处置模块

强制接管失控无人机,执行迫降、返航或避让指令;自动推送飞手定位、无人机落点坐标等警情至公安、消防部门,实现跨部门联动;联动信息需包含:事件类型、目标位置(经纬度误差 ≤ 10 米)、处置建议、联系人及电话。

6.8 数据分析与决策支持功能模块

部署具备大规模并行计算能力的计算集群、时空大数据平台,支撑 AI 算法训练与实时推理;构建三维动态空域模型,模拟飞行器飞行冲突预测与路径规划;基于深度学习识别“黑飞”无人机行为模式(如 S 形突进、夜间悬停);利用强化学习优化空域资源分配;采用“AI 辅助决策+人工审核”模式,平衡效率与安全性;核心算法模型需具备可解释性,决策结果需附带关键影响因子(如空域占用率、气象条件)。

7 测试方法

7.1 测试环境

除非在技术文件中另有规定，所有测试宜在满足如下环境条件下进行：

- a) 温度：(-35~+35)℃；
- b) 相对湿度：≤80%。

7.2 测试指标

测试用仪器设备均宜经过计量部门检定合格，并在有效期内。测试设备和被测导航信号模拟器均需按各自技术文件要求进行预热。

- a) 轨迹更新频率：≥10Hz
- b) 系统响应时延：感知→决策→执行全链路≤3 秒（常规环境）；极端低温（-35℃）下≤5 秒
- c) 空域调度容量：支持每小时 10 万架次飞行计划处理
- d) 通信可靠性：5G 网络可用性≥99.99%
- e) 抗干扰能力：通信欺骗防御成功率≥99%
- f) 交通流预测精确性：预判低空交通态势准确率≥95%

7.3 测试流程

- a) 验证动态空域划设精度
- b) 测试高峰时段空域竞价分配逻辑
- c) 多目标追踪测试
- d) 身份识别准确率测试白帽黑客尝试突破防火墙、篡改空域地图数据，记录防御有效性。
- e) 模拟无人机入侵禁飞区，验证“感知→预警→反制”全链路响应。
- f) 测试空域动态调度与路径规划的冲突避免能力。

7.4 验收标准

- a) 空域动态调度成功率≥99%，违规事件处置准确率≥90%。
- b) 飞行轨迹追踪精度满足设计要求（水平≤30m，垂直≤10m）。
- c) 提供系统架构图、接口协议、测试报告、运维手册等全套文档。

8 安全要求

8.1 数据安全要求

8.1.1 数据全生命周期保护：

a) 采集阶段：无人机位置、速度、身份标识数据需经加密后传输，防止信号截获与破解。确保传感器原始数据在边缘计算节点处理时不被篡改。

b) 存储阶段：飞手个人信息、空域审批记录等敏感数据采用分级存储策略，核心数据存入隔离的私有云或本地加密数据库。利用区块链技术对关键操作日志进行存证，确保数据不可篡改与可追溯。

c) 跨部门数据交互通过隐私计算，退役设备数据存储介质需物理销毁或多次覆写（核心数据≥7 次，一般数据≥3 次），避免残留信息泄露。

8.1.2 访问控制与权限管理：

- a) 划分管理员、运维人员、飞手、公众查询等多级角色，权限粒度细化至“飞行计划修改”“告警日志查看”等操作。
- b) 关键操作（如空域划设、反制启动）需双人双因子认证（生物识别+动态令牌）。
- c) 持续验证设备与用户身份，动态调整访问权限（如异常 IP 地址立即触发访问限制）。

8.2 网络安全要求

- a) 通信安全：采用跳频扩频，抵御无线电干扰与导航信号伪造；部署量子密钥分发网络，保障管控中心与基站间的通信绝对安全；无人机与地面站间通信协议需通过认证，确保符合国际密码模块标准。
- b) 网络架构安全：将感知层、控制层、应用层划分为独立 VLAN，禁止跨层直接访问；在虚拟化环境中实施微隔离策略，限制单个虚拟机被攻破后的横向移动。
- c) 入侵检测与防御：部署 AI 驱动的网络流量分析系统，实时识别 DDoS 攻击、APT 渗透等异常行为。

8.3 系统安全要求

- a) 硬件与固件安全关键设备（如雷达、通信基站）采用国产化硬件模块，预装安全启动固件，防止供应链攻击；定期更新设备固件签名证书，禁用未授权外设接入；部署于野外的感知设备需具备防拆机报警、北斗定位追踪功能，防止物理破坏或盗窃。
- b) 软件与系统架构安全：操作系统采用精简内核，关闭非必要服务端口。应用程序遵循安全编码规范，避免 SQL 注入、缓冲区溢出等漏洞。将核心模块（如风险防控引擎）运行于 Docker 容器，限制资源访问权限。高危操作（如反制指令生成）在沙箱环境中执行，防止漏洞扩散。

中国机电一体化技术应用协会
2025 年 XX 月 XX 日

《低空飞行综合监管控服一体化平台》团体标准

编制说明

2025 年 9 月

目 录

1. 任务来源
2. 起草单位
3. 编制背景
4. 主要工作过程
5. 编写规则
6. 标准的主要内容
7. 标准制定的目的
8. 有关专利的说明
9. 关于标准性质

1. 任务来源

本标准由中国机电一体化技术应用协会（CAMETA）提出并归口，旨在规范低空飞行综合监管控服一体化平台的设计、开发、建设和运营，满足低空经济领域安全管理、飞行监控等实际需求，为行业发展提供统一的技术依据。

2. 起草单位

本标准起草单位包括：内蒙古科技大学、中经智创（内蒙古）科技有限公司、包头市公安局、内蒙古宇通博辉航空航天科技发展有限公司、杭州任联科技有限公司。上述单位涵盖了科研机构、技术企业、管理部门等，具备多领域协同优势，确保标准的科学性与实用性。

3. 编制背景

随着低空经济的快速发展，民用有人驾驶和无人驾驶航空器在低空空域的飞行活动日益频繁，带动了相关产业的融合发展。但同时，低空飞行活动的安全管理、空域利用效率、应急处置等问题逐渐凸显，亟需通过标准化手段规范低空飞行综合监管控服体系。目前，行业内缺乏统一的平台技术要求和功能规范，导致各系统兼容性差、管理效率低，存在安全隐患。为此，制定本标准以填补行业空白，支撑低空经济健康有序发展。

4. 主要工作过程

1. 调研阶段：起草单位组建专项工作组，调研低空经济相关企业、管理部门及科研机构，收集低空飞行监管的实际需求、技术痛点及现有实践案例，明确标准编制的核心方向。2. 草案编制阶段：基于调研结果，结合 GB/T 38152-2019、GB/T 44717-2024 等规范性引用文件，初步构建标准框架，完成术语定义、体系架构、技术要求等核心内容的起草。3. 研讨修改阶段：组织行业专家、起草单位代表召开研讨会，对草案进行逐条审议，针对技术指标、功能模块等内容提出修改意见，形成征求意见稿。4. 完善定稿阶段：根据反馈意见进一步优化标准内容，确保其科学性、可操作性和前瞻性，最终形成送审稿。

5. 编写规则

本标准按照 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》的要求起草，确保标准的结构合理、逻辑清晰、表述严谨。同时，结合低空飞行监管的技术特点，注重与现有国家标准（如无人机系统术语、安全性要求等）的协调一致，保持行业标准体系的连贯性。

6. 标准的主要内容

本标准共8章，核心内容包括：1. 范围：明确标准适用的场景、对象及领域，涵盖低空经济安全管理、飞行监控、系统设计等。2. 规范性引用文件：列出无人机系统术语、可靠性试验、安全性要求等相关国家标准，作为标准制定的依据。3. 术语和定义：界定低空经济、低空空域、低空飞行器等关键术语，统一行业认知。4. 体系架构：规定系统的组成（如飞行器监控、风险防控等模块）、功能模块及数据流程，明确各模块的协同逻辑。5. 技术要求：对空域管理、飞行器监控、通信导航、应急处置等提出具体技术指标（如定位误差、响应时间、预警等级等）。6. 功能模块：详细描述空域管理、航路规划、风险防控等模块的功能，如电子围栏设置、动态路径调整、反制手段等。7. 测试方法：规定测试环境、指标（如轨迹更新频率、系统响应时延）、流程及验收标准，确保平台性能达标。8. 安全要求：从数据安全、网络安全、系统安全三个维度提出要求，如数据加密、访问控制、抗干扰能力等。

7. 标准制定的目的

本标准制定的核心目的是：1. 统一低空飞行综合监管控服一体化平台的技术规范，提升系统设计、开发和运营的标准化水平；2. 规范低空飞行器的运行管控，保障低空飞行安全，降低事故风险；3. 提高空域利用效率，促进低空经济相关产业（如物流、应急救援）

的融合发展； 4. 为管理部门、运营企业及技术服务商提供明确的技术依据，推动行业协同发展。

8. 有关专利的说明

本标准在编制过程中，未涉及任何专利技术和知识产权纠纷。起草单位承诺，标准内容不侵犯任何第三方的知识产权。若后续实施过程中出现专利问题，将由相关方按照国家有关法律法规协商处理。

9. 关于标准性质

本标准为团体标准，由中国机电一体化技术应用协会发布，供低空经济相关领域的管理部门、运营企业、技术服务提供商等自愿采用。标准的实施将有助于规范行业行为、提升技术水平，但不具备强制性法律效力。