

# 团 体 标 准

T/CAMC 0007-2025

## 低空智能网联系统 第 1 部分：总体架构

Low-Altitude Intelligent Networked System – Part one: General  
Architecture

征求意见稿

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国计算机自动测量与控制技术协会 发布



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体架构原则 .....	2
4.1 五个核心参与方 .....	2
4.2 三个核心层次 .....	2
5 系统构成 .....	3
5.1 新型飞行器及设备 .....	3
5.1.1 低空智能载具类型 .....	3
5.1.2 核心机载系统 .....	3
5.2 信息物理基础设施 .....	3
5.2.1 通信基础设施 .....	3
5.2.2 导航基础设施 .....	3
5.2.3 监视基础设施 .....	3
6 核心层次架构 .....	4
6.1 机载终端与基础设施层 .....	4
6.1.1 低空智能载具 .....	4
6.1.2 信息物理基础设施 .....	4
6.2 数据与服务支撑层 .....	4
6.2.1 数据接入网 .....	4
6.2.2 交换网 .....	4
6.2.3 信息服务网 .....	5
6.3 应用系统层 .....	5
6.3.1 运营管理系统 .....	5
6.3.2 低空交通管理与服务系统 .....	5
6.3.3 基础设施保障系统 .....	5
7 标准体系 .....	5
7.1 智能网联航电系统和设备标准 .....	5
7.2 基础设施标准 .....	5
7.3 数据与服务标准 .....	5
8 安全体系 .....	5
8.1 物理与运行安全 .....	5
8.1.1 设施物理安全 .....	5
8.1.2 电磁环境安全 .....	5
8.1.3 地理空间安全 .....	6

8.1.4 运行程序安全 .....	6
8.2 网络安全 .....	6
8.2.1 通信链路安全 .....	6
8.2.2 网络架构安全 .....	6
8.2.3 终端与节点安全 .....	6
8.3 数据与信息安全 .....	6
8.4 平台与应用安全 .....	6
8.5 韧性安全与弹性恢复 .....	6
8.6 安全管理体系与制度 .....	6
9 外围设备与数据 .....	7
9.1 外围设备支持 .....	7
9.2 数据来源与应用 .....	7
10 实施与发展建议 .....	7
10.1 实施建议 .....	7
10.2 发展建议 .....	7

## 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。

本文件由中国计算机自动测量与控制技术协会提出并归口。

本文件起草单位：中国民航科学技术研究院、航天时代低空科技有限公司、南方电网通用航空服务有限公司（北京数字绿土科技股份有限公司）、湖南中电星河电子有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、中移（成都）信息通信科技有限公司、齐鲁空天信息研究院、北京国科标研科技有限公司。

本文件主要起草人：王旭辉、许玉斌、刘坤、田先卉、潘超、龚晶、苏超、范兴凯、吴俊臣、贺智轶、陈平、于敏、杨亚楠、周剑、姚东、高宏进、尚尔钧、张林虎。



# 低空智能网联系统第 1 部分：总体架构

## 1 范围

本文件规定了低空智能网联系统总体架构的建设原则、系统构成、核心层次架构、标准体系、安全体系、外围设备与数据以及实施与发展建议等。

本文件适用于低空智能网联系统的架构设计与实施，涵盖等相关设备的通信、感知、导航、管控功能集成，支持城市物流、应急救援、安防巡检等典型场景。

## 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 39612 低空数字航摄与数据处理规范
- T/CITS 411 低空空域智能管控系统建设指南
- T/CIET 828 低空空域数字孪生系统技术规范
- T/CQRA 007 低空飞行综合管理服务系统技术规范
- T/TDIA 00013 面向低空空域的集群通信平台建设技术规范
- T/GXDSL 012 低空经济产业链数据共享与协同标准
- MH/T 2015 低空飞行服务系统技术要求
- MH/T 4055.1 低空飞行服务系统技术规范 第 1 部分：架构与配置
- MH/T 4055.2 低空飞行服务系统技术规范 第 2 部分：技术要求
- MH/T 4055.3 低空飞行服务系统技术规范 第 3 部分：测试方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**低空智能网联系统** low altitude intelligent networked system

基于数字化、网联化、智能化的新型基础设施，通过通信、感知、导航、管控技术融合，实现低空飞行器泛在互联与协同管理。

### 3.2

**通感一体化** sensory integration

通信基站兼具雷达感知功能，支持目标检测与数据传输协同。

### 3.3

**通信 A2X** communication

飞行器间直接通信技术，用于碰撞规避与协同调度。

## 4 总体架构原则

总体架构设计遵循“五方三层两体系”的原则，主要包括五个核心参与方、三个核心层次和两个关键体系。



图1 五方三层两体系

### 4.1 五个核心参与方

五个核心参与方是指低空飞行器制造方、低空运营参与方、低空交通管理和服务提供方、低空行业监管方以及低空基础设施保障和服务提供方。五个核心参与方涵盖了低空智能网联领域从设备制造、运营服务、交通管理、行业监管到基础设施保障的各个环节，共同推动低空智能网联体系的建设和运行。

### 4.2 三个核心层次

三个核心层次是指机载终端与基础设施层、数据与服务支撑层和应用系统层，详细内容如下所示：

- a) 机载终端与基础设施层：由低空载具和航电系统、信息物理基础设施组成，是整个体系的基础硬件支撑部分，为低空飞行提供必要的设备和基础设施。
- b) 数据与服务支撑层：由接入网、交换网和服务网组成。接入网通过统一的通信、导航、监视以及其他信息的数据接口标准和接入方式，实现低空智能网联的基础数据接入，该层负责数据的管理、交换等，为上层应用提供支持。
- c) 应用系统层：由运营管理系统、低空交通管理与服务系统以及基础设施保障系统等组成。随着低空应用场景的不断发展，该层将引入更多的应用系统，以提供更完善的服务和支撑能力，满足不同用户和场景的需求。

### 4.3 两个关键体系

两个关键体系是指标准体系和安全体系，详细内容如下所示：

- a) 标准体系：用于规范低空智能网联体系中各个环节的技术标准、接口标准、数据格式标准等，确保不同设备、系统之间的兼容性和互操作性，促进整个行业的标准化协同发展。

- b) 安全体系：旨在保障低空智能网联系统的安全性，包括飞行安全、数据安全、网络安全等方面，通过建立一系列的安全机制、安全技术和安全管理措施，确保低空领域的安全运行。

## 5 系统构成

### 5.1 新型飞行器及设备

#### 5.1.1 低空智能载具类型

主要包括电动垂直起降飞行器（eVTOL）、飞行汽车、无人驾驶载人航空器三类，如各种通航飞机，微、轻、小、中、大型无人驾驶航空器等。

#### 5.1.2 核心机载系统

核心机载系统是新型飞行器机载载具的核心系统，主要包括飞控系统、机载通信设备、多源导航设备、机载感知与识别设备、智能航行设备等，详细内容如下所示：

- a) 飞控系统：是新型飞行器的核心，负责调控飞行姿势与运动方向，确保飞行器能顺利起飞，空中飞行、执行任务以及返场回收等飞行流程；
- b) 机载通信设备：4G/5G/5G-A(6G 及未来新型通信) 公网终端、卫星通信设备、机载自组网设备、机载数/图传设备、北斗短报文通信设备、低空专网终端等设备；
- c) 多源导航设备：惯性导航设备、视觉导航设备、卫星导航设备、高度计等设备；
- d) 机载感知与识别设备：远程识别收发设备、类 ADS-B 设备、机载交通雷达、视觉感知等设备；
- e) 智能航行设备：智能飞管、自主避障、机载电子围栏、电子飞行包（EFB）等设备。

### 5.2 信息物理基础设施

信息物理基础设施主要包括通信基础设施、导航基础设施、监视基础设施和其他保障基础设施，详细内容如下所示：

#### 5.2.1 通信基础设施

低空通信基础设施主要包含低空飞行器与地面、飞行器之间进行语音和数据交换的通信网络，详细内容如下所示：

- a) 空地通信数据链/网络：主要包括 4G/5G/5G-A/6G 蜂窝通信基站、低轨卫星星座及通信信关站、专用数据链地面站、传输光纤网络等。
- b) 甚高频话音/数据通信设施：由 VHF 电台、天线、传输设备、遥控与监控系统等组成。
- c) 二次雷达 S 模式通信：由 S 模式二次监视雷达的询问机和天线组成，可向航空器发送气象、交通信息，并从航空器接收数据。

#### 5.2.2 导航基础设施

导航系统主要由卫星导航系统和其他导航设施组成，详细内容如下所示：

- a) 卫星导航系统：如北斗导航系统（BDS）和卫星导航地基增强系统，提供高精度定位和远程航路覆盖；
- b) 其他导航设施：主要包括 VOR/DME 地面台、ILS 地面台、NDB 地面台、SSR 地面二次雷达、UWB 定位基站、视觉/激光信标、5G 基站等。

#### 5.2.3 监视基础设施

监视基础设施主要包括对合作目标监视、非合作目标监视、低空感知补盲等设施，实现对所有空域用户的全时、全域、全要素感知。详细内容如下所示：

- a) 合作目标监视设施：主要为无人机云监管系统，包含国家/地区级监管平台、企业级运行平台（UOM）、数据中台、身份识别与认证模块等，通过强制接入，接收所有联网无人机实时上报的身份、位置、高度、速度等状态信息，实现强制性电子监视。
- b) 非合作目标监视设施：主要为广域无线电侦测与识别网络，包含无线电频谱监测站、ADS-B/ModeS接收站、无人机遥控信号侦测设备等，被动接收空中各类无线电信号，通过指纹识别、协议解析、多点定位（MLAT）等技术，发现、识别、定位未接入监管系统的非合作目标或非法控制信号。
- c) 低空感知补盲与主动探测系统：如探测雷达、光电监视系统、声学阵列等，作为对合作目标监视和非合作目标监视的补充，对特定区域进行主动、精细化探测、跟踪与识别。

#### 5.2.4 其他保障基础设施

其他保障基础设施可包括情报、气象、起降、无人驾驶航空器反制等基础设施的建设。

## 6 核心层次架构

核心层次架构主要包括机载终端与基础设施层、数据与服务支撑层和应用系统层，详细内容如下所示：

### 6.1 机载终端与基础设施层

#### 6.1.1 低空智能载具

低空智能载具是低空飞行活动的主体、低空智能网联体系的智能空中终端，按照控制模式可分为人在回路控制模式（以控制为主要目标）和人在回路外控制模式（以监视、应急接管为主要目标）。低空智能载具依托智能航电系统和部件，实现飞行器的智能化，其核心能力包括被感知、被管理和智能导航能力。

#### 6.1.2 信息物理基础设施

信息物理基础设施是依托现有的空、天、地、信等各类基础设施，向智能载具和各应用系统提供通信、导航、监视、信息保障和物理基础设施等多功能的综合体系，是低空智能网联体系的关键支撑，可确保低空飞行活动的安全、高效和有序开展。

### 6.2 数据与服务支撑层

数据与服务支撑层是将机载终端与基础设施层生成的数据提供至应用系统层，可实现低空飞行器制造方、低空基础设施保障服务方与低空运营方、交通管理和服务方、行业监管方之间的扁平化交联。数据与服务支撑层由数据接入网、数据交换网、信息服务网构成，详细内容如下所示：

#### 6.2.1 数据接入网

数据接入网负责将通信、导航、监视等终端设备接入到网，可通过标准化的数据格式和信息交换模型，确保不同设备间数据的无缝对接与统一管理。

#### 6.2.2 交换网

数据交换网是对系统中的通信、导航、监视等资源进行统一调度和优化分配，确保低空飞行环境中的资源得到充分利用，通过智能化资源调度机制和数据处理技术，确保系统在高负载和多任务情况下依然能够稳定运行。

### 6.2.3 信息服务网

通过标准化接口和服务架构，提供订阅分发数据处理机制、资源调度与保障、智能分析与决策支持。

## 6.3 应用系统层

### 6.3.1 运营管理系统

低空运营管理系统可以向低空运营方提供先进智能的运营驾驶和完备的运营管理，服务主要包括飞行计划管理、飞行跟踪、资源调度等。

### 6.3.2 低空交通管理与服务系统

低空交通管理和服务系统可面向低空管理机构 and 交通服务机构，可提供高效全面的空中管理与服务，可提供空域管理、交通流量控制、身份认证等服务。

### 6.3.3 基础设施保障系统

基础设施保障系统主要包括低空通信、低空导航、低空监视及其他保障基础设施等设备设施。

## 7 标准体系

### 7.1 智能网联航电系统和设备标准

应规定机载通信、多源导航、感知与识别以及智能航行等系统和设备的相关标准，包括性能指标、接口规范等。

### 7.2 基础设施标准

需制定低空通信、导航、监视及其他保障基础设施的系统和设备标准，如设备的可靠性、环境适应性等。

### 7.3 数据与服务标准

应规定数据接入、信息交换以及服务支撑的标准，如数据结构、信息模型、服务接口等。

## 8 安全体系

### 8.1 物理与运行安全

确保系统硬件设施和空域运行的实体安全。

#### 8.1.1 设施物理安全

低空载具装备、信息物理基础设施装备需具备防破坏、防盗、防自然灾害的能力，并设置访问控制。

#### 8.1.2 电磁环境安全

电磁频谱安全是维护电磁空间秩序的核心，涉及频谱资源的合法使用、防护与管控，需保障工作频段免受有意或无意的干扰，对关键频段进行监测与保护。

### 8.1.3 地理空间安全

需确保数字地图、障碍物数据库、空域模型的准确性、完整性和及时更新，防止因数据错误导致碰撞。

### 8.1.4 运行程序安全

建立标准化的运行程序，包括飞行计划审批、动态监视、应急响应等，确保操作可预测、可追溯。

## 8.2 网络安全

保护系统网络和通信链路免受攻击、入侵和滥用。

### 8.2.1 通信链路安全

- a) 身份认证与加密：对所有控制指令、遥测、管理信息进行强身份认证和端到端加密，防止窃听、篡改和欺骗。
- b) 抗干扰与抗劫持：采用跳频、扩频等技术增强无线链路的抗干扰能力；设计协议防止控制链路被非法劫持。

### 8.2.2 网络架构安全

- a) 网络隔离与分段：根据业务重要性（如飞行控制、监视、公众服务）进行网络逻辑或物理隔离。
- b) 边界防护：在 OT（运营技术）网络与 IT 网络、互联网接口处部署防火墙、入侵检测/防御系统（IDS/IPS）。

### 8.2.3 终端与节点安全

- a) 低空载具装备安全：确保核心机载系统安全，防止物理或远程破解。
- b) 信息物理基础设施装备安全：保障信息物理基础设施装备不被非法访问或控制。

## 8.3 数据与信息安全

保障系统中数据的全生命周期安全,包含数据机密性、完整性、可用性与真实性、隐私保护等

## 8.4 平台与应用安全

保障核心业务平台和应用程序的安全，涉及平台身份权限与访问管理、核心软件安全开发、系统应用接口安全、系统关键组件供应链安全等。

## 8.5 韧性安全与弹性恢复

确保系统在遭受攻击、发生故障或遇到极端情况时，仍能维持核心功能或快速恢复，涉及系统冗余与容错设计、降级运行能力、应急响应与恢复策略。

## 8.6 安全管理体系与制度

为保障低空智能网联系统持续、可靠、高效运行，应建立健全覆盖系统全生命周期的安全管理体系与制度规范，明确责任主体、操作规程与应急预案，通过常态化风险评估、监测预警与动态优化，确保系统安全、稳定、可信。

## 9 外围设备与数据

### 9.1 外围设备支持

外围设备涉及多方面，如通信导航系统、气象监测站等，低空智能网联体系的外围设备由多个数据来源、数据接口和数据处理中心组成。

### 9.2 数据来源与应用

数据来源多方面，如传感器、监测设备等，数据可包括地理信息数据、城市静态空域数据、航空飞行情报数据、气象数据等。外围设备数据可通过数据交换网，向有关方提供低空运行相关数据，以确保各有关部门能协调对公共安全性有效管控。

## 10 实施与发展建议

### 10.1 实施建议

- a) 计划阶段，在标准制定计划发布之后、标准实施之前，应根据实际情况拟定“标准实施工作计划”。计划应包括标准实施的方式、内容、步骤、负责人员、时间进度和预期目标等内容，制定计划时，要组建多层次团队，听取各方意见，并对标准实施项目进行工作分解，分配给各相关单位和个人，明确职责和起止时间。
- b) 准备阶段，标准实施的准备工作是计划制定和贯彻落实的纽带，包括建立专门的组织机构或明确专人负责，召开动员大会宣传讲解标准，认真做好技术准备和物资准备。技术准备包括标准宣讲所需的硬件设施及相关资料、编写新旧标准对照表、计划实施中注意事项等。物资准备则涉及必要的仪器设备和组织安排。
- c) 实施阶段，在准备工作完成后，按照计划逐步实施标准。实施过程中需定期检查和评估标准的执行情况，及时调整计划以适应变化。

### 10.2 发展建议

- a) 跨行业合作：鼓励不同行业之间的合作，促进技术创新和产业协同发展。
- b) 标准统一与协调：推动国内外标准统一和协调，增强系统的兼容性和扩展性。
- c) 试点示范：建议选择典型场景和区域开展试点工作，积累经验，完善标准。
- d) 发挥行业组织作用：发挥行业组织的桥梁和纽带作用，加强行业自律和协同创新，搭建政企沟通平台。