ICS 35.240.01
CCS L79

DB44

广　东　省　地　方　标　准

DB44/T ××—××

低空智联网数字基础设施
通用技术要求

General technical requirements for digital infrastructure
of low-altitude intelligent network

（送审稿）

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

广东省市场监督管理局 发布

目　　次

1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 缩略语 2
5 总体要求 2
6 架构 2
7 通信网络 3
7.1 通信覆盖 3
7.2 通信传输能力 3
7.3 通信可靠性 4
7.4 服务保障 4
7.5 网络互联互通 4
8 导航定位系统 5
8.1 总则 5
8.2 多源融合定位服务 5
8.3 导航源技术指标 5
8.4 数据与服务接口 6
8.5 抗干扰与完好性 6
8.6 接口与数据协议 6
9 监视系统 7
9.1 系统功能 7
9.2 系统性能指标 7
9.3 探测技术 7
10 气象系统 7
10.1 气象监测能力 7
10.2 气象数据服务 8
10.3 气象信息服务 8
10.4 气象风险预警 9

10.5 性能指标 9
11 数据融合与处理 9
11.1 数据接入与预处理 9
11.2 计算性能 10
11.3 接口与互操作性 10
12 协同与融合 10
12.1 协同架构 10
12.2 协同融合 10
12.3 协同联动 11
13 安全与可靠性 11
13.1 通信网络安全 11
13.2 业务安全 12
13.3 数据安全 12
13.5 网络运营安全 13
14 运维管理 13
14.1 总体要求 13
14.2 跨主体协同运维技术接口 14
14.3 第三方运维接入 14
附录A （规范性） 通信数据传输速率 16
附录B （资料性） 场景化指标 17
参 考 文 献 19

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。

本文件由中国移动通信集团广东有限公司提出。

本文件由广东省低空经济标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国移动通信集团广东有限公司、…。

本文件主要起草人：

低空智联网数字基础设施通用技术要求

1 范围

本文件规定了低空智联网数字基础设施的通用技术要求，包括总体要求、架构、通信网络、导航定位系统、监视系统、气象系统、数据融合与处理、协同与融合、安全与可靠性、运维管理等。

本文件适用于各类组织开展低空智联网数字基础设施的规划、建设和运营。

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 17626（所有部分） 电磁兼容 试验和测量技术

GB 20263 导航电子地图安全处理技术基本要求

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GB/T 39473 北斗卫星导航系统公开服务性能规范

GB/T 39618 卫星导航定位基准站网运行维护技术规范

GB/T 43697 数据安全技术 数据分类分级规则

GM/T 0054 信息系统密码应用基本要求

YD/T 3936 基于移动通信网的高精度定位总体技术要求

RTCM 10403.3 差分全球导航卫星系统(GNSS)服务 V3.3(Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services V 3.3)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低空智联网 low-altitude intelligent network

在低空空域1000米以下，利用5G公网、低轨卫星等通信技术和雷达、无线电等监视手段，构建的具有通信、监控、服务功能的智能化数字网络。

3.2

数字基础设施 digital infrastructure

融合通信、感知、导航与气象等技术，将物理低空实时映射为数据，为低空经济活动提供必要支持和保障的一系列硬件设施与软件系统的集合。

3.3

多源融合定位 multiple source integrated positioning

卫星导航、惯性测量、视觉、雷达、无线基站等多传感器协同定位技术。

3.4

合作式目标 cooperative target

通过机载设备主动发送身份和位置等信息，配合监视系统进行识别的低空飞行器。

3.5

非合作式目标 non-cooperative target

未配合监视系统进行身份和位置信息报送，需通过主动探测手段进行感知的低空飞行器。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

5G 第5代移动通信系统（the fifth generation mobile communication）

A2A 低空直连通信（Aircraft-to-Aircraft）

A2X 空联网（Aircraft-to-Everything）

ADS-B 自动相关监视广播系统（Automatic Dependent Surveillance Broadcast）

CORS 连续运行卫星定位导航服务系统（Continuous Operational Reference System）

DDoS 分布式拒绝服务（Distributed Denial of Service）

GNSS 全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System）

Multi-RTT 多基站往返时间（Multiple Round Trip Time）

Ntrip 通过互联网进行RTCM网络传输的协议(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)

OTA 远程升级（Over the air technology）

P2MP 点到多点连接（Point to Multi-Point）

RCS 雷达散射截面（Radar Cross-Section）

RSRP 参考信号接收功率（Reference Signal Receiving Power）

RPO 数据恢复点目标（Recovery Point Objective）

RTO 数据恢复时间（Recovery Time Objective）

SINR 信号与干扰加噪声比（Signal to Interference plus Noise Ratio）

SLA 服务等级协议（Service-Level Agreement）

TDOA 到达时间差（Time Difference of Arrival）

UL-TDOA 上行（链路）到达时间差（Uplink Time Difference of Arrival）

VR 虚拟现实（Virtual reality）

5 总体要求

低空智联网数字基础设施的建设与运行应符合以下要求：

— 高可靠与冗余设计：应具备高可靠性，核心网元、数据中心、通信链路等关键节点应实现冗余备份，确保在单点故障时不影响核心业务连续性；

— 互联互通与互操作：各子系统之间及其与外部系统之间应基于统一、开放的接口协议和数据结构标准进行对接，实现数据与业务的互联互通互操作；

— 架构可扩展性：系统架构应具备可扩展性，能够平滑兼容未来新增的感知设备、通信技术、计算节点和业务应用；

— 统一运维管理：应建设统一的运维管理平台，实现对全网设备、网络、平台和业务的集中监控、故障诊断、配置管理和性能分析；

— 资源集约共享：系统建设应充分利用现有铁塔站址等基础设施资源，推进共享集约建设。

6 架构

低空智联网数字基础设施由通信、导航、监视及气象设施等管理服务保障设施构成。

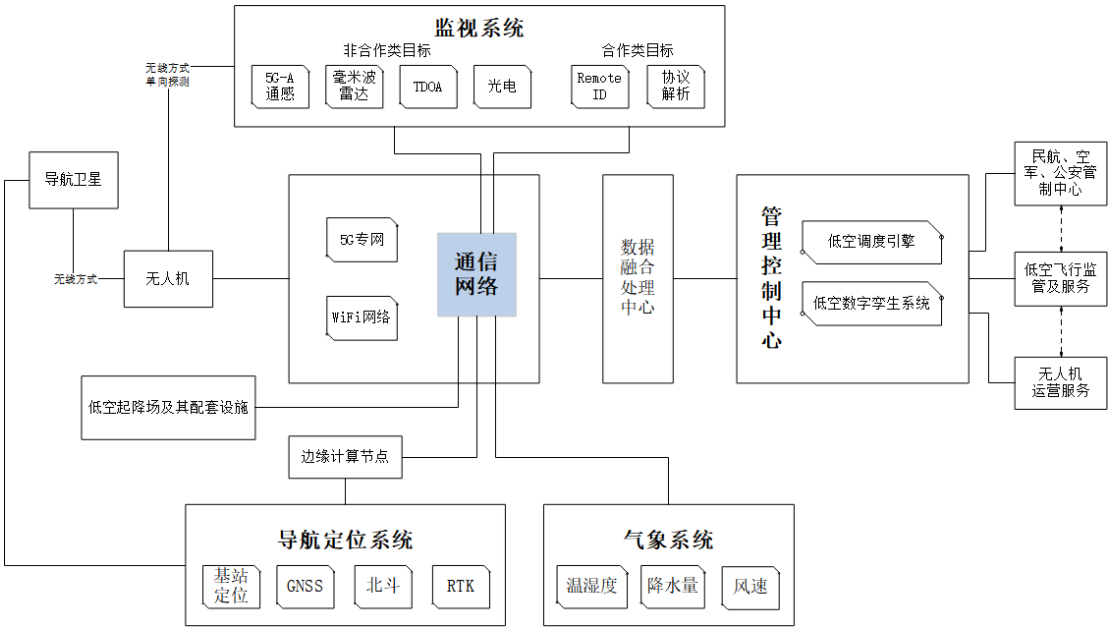

图1　低空智联网数字基础设施架构

7　通信网络

7.1　通信覆盖

7.1.1　无人机终端与地面移动通信网络通信，应通过组网模式满足广域连续覆盖要求，单站的通信范围满足：

— 垂直通信距离不应低于 300 m，不宜低于 600 m；

— 水平通信距离不应低于 1000 m。

7.1.2　在空中、地面基础覆盖区域及起降区、起降平台、航线交汇点等重点区域，地面基站应为无人机终端提供通信服务，且在不同应用场景下的区域覆盖率应满足 RSRP 不小于 -102 dBm 且 SINR 不小于 -6 dB 比例的区域覆盖率不低于 95%。

7.1.3　低空移动通信网络应支持基于 5QI 的低空用户识别与差异化通信保障，支持为低空用户和非低空用户配置不同参数，相关参数包括但不限于：移动性相关参数、调度保障相关参数、终端节能参数等。

7.1.4　低空移动通信基站支持 PUSCH 协同功控，服务小区通过 Xn 口将上行干扰信息通知低空小区，低空小区识别施扰终端，并通知终端降低发射功率。

7.1.5　低空移动通信基站支持低空小区和地面小区配置不同频点，以降低无人机飞行切换次数。

7.2　通信传输能力

7.2.1　通信系统应具备低时延、高可靠、广覆盖的传输能力，以满足无人机实时控制、数据传输的作业需求。

7.2.2　低空公共航路地面移动通信网络所需的数据传输速率应满足上行速率不低于 20 Mbps。在空中飞行阶段，数据传输速率应根据应用场景区分，具体指标见附录 A。

7.2.3 无线电接口带宽不应超过规定的最大带宽率。

7.2.4 无人机终端与地面基站的通信时延应满足：

—无人机高度为 0 m至300 m时，用户面时延不应大于 300 ms，控制面时延不应大于 30 ms；

—无人机高度为 300 m至600 m时，用户面时延不应大于 500 ms，控制面时延不应大于 50 ms。

7.2.5 针对空中飞行场景，地面蜂窝网络与无人机终端通信链路的时延抖动不应大于 20 ms。

7.3 通信可靠性

7.3.1 无人机在单个基站的覆盖范围内移动时，其业务在不同扇区或不同载波小区间切换的成功率根据运动速度应满足切换成功率不低于 95%。

7.3.2 通信网络应具备抵御多种类型干扰的能力，应能抵御以下包括但不限于类型的干扰：

— 宽带噪声干扰信号；
— 窄带干扰信号；
— 脉冲干扰信号；
— 同频或邻频干扰信号；
— 欺骗干扰信号；
— 阻塞干扰信号。

7.3.3 通信网络应具备抵御网络攻击与边界防护的能力。在抵御 DDoS 攻击对通信链路进行的攻击和干扰时，吞吐量不应低于 10 Gbps。

7.3.4 通信网络应通过链路质量评估、适配性的编码、重传策略等措施，维持关键控制指令与数据回传的稳定可靠。

7.3.5 在 5G 覆盖不足的区域，应布设补充控制链路与数据链路，增加飞行器与地面的补充通信链路。宜采用公有或专有无线电频段及相应信道协议，与 5G 网络形成冗余配置。

7.3.6 在存在持续干扰（符合容忍门限）的区域，单一主用链路的可用性不应低于 99.9%。核心网应冗余备份，主用设备失效时可热切换到备用链路，切换过程关键数据不应丢失，关键控制指令和核心安全数据的链路切换造成的终端时延不应大于 100 ms。

7.4 服务保障

网络设施、终端、整网发生故障时，业务保障应满足：

—RTO 应为数分钟至 2 天，RPO 应为 0 h～3 h。网络故障恢复时间应与使用场景相关，并结合实际业务类型和SLA确定；

—在发生各种业务突发事件发生时，业务中断时间不应大于 500 ms；

—关键控制指令和核心安全数据的误块率不应大于 0.1%。

7.5 网络互联互通

网络互联互通应满足：

—通信网络可支持蜂窝网络、地面无线专网等不同通信体制间的融合组网；

—5G无人机通信网络应支持接口标准化和协议兼容，实现多制式通信系统间的互联互通与资源协同调度；
—应建立统一的通信协同机制，以规范不同通信技术体系的协同运行，为运营主体提供通信资源优化与网络性能分析能力，并为管理与监管部门提供通信状态监测与决策支撑。

8 导航定位系统

8.1 总则

8.1.1 低空智联网导航定位基础设施体系的时空基准应符合 GB/T 39267、GB/T 39618 的规定。时空基准的维护应通过国家级授时系统和基准站网实现，并建立定期校准机制。

8.1.2 导航定位基础设施体系应满足：

—系统可用性不应低于 99.9%；
—服务连续性不应低于 99.99%；
—平均无故障时间不应小于 10000 h，在单个组件发生故障时，系统应具备自动切换和降级运行能力，确保基础定位服务不中断；
—完好性风险不应高于 1×10^{-7}/h，保护水平的告警门限应根据不同应用场景动态调整。

8.1.3 基础设施体系的扩展能力应满足：

—支持硬件扩展，具备新增 CORS 站、5G 基站等定位设施的快速接入能力；
—支持软件扩展，具备新定位算法和服务的动态加载功能；
—支持协议扩展，确保与低轨卫星导航、新型传感器等未来技术的兼容性。

8.1.4 体系架构宜采用模块化设计，关键接口应满足：

—系统容量应支持用户规模增长 10 倍以上的扩展需求；
—扩展过程应实现业务无感知，升级时延不应大于 1 h。

8.2 多源融合定位服务

8.2.1 应提供定位结果服务，通过平台端融合解算后输出统一的位置、速度、时间信息；宜支持差分数据服务和原始观测数据服务。

8.2.2 多源数据融合处理功能应满足：

—应实时汇聚全省 CORS 网的差分数据、5G 核心网的终端定位测量数据以及其他定位辅助数据；
—应部署紧组合或深组合滤波算法对多源数据的深度融合解算，生成优于单一信源的定位结果。

8.2.3 平台端融合定位服务的整体性能应满足：

—定位精度在开阔场景下水平方向优于 0.1 m，垂直方向优于 0.2 m；
—服务可用性不应低于 99.9%；
—首次定位时间不应超过 30 s；
—数据输出频率不应低于 10 Hz。

8.2.4 系统应具有完好性监测功能并应满足：

—当定位误差超过告警门限或服务不可用时，应在 200 ms内向用户发送告警信息；
—完好性风险不应高于1×10^{-7}/h；
—保护水平参数应随定位结果一同输出。

8.3 导航源技术指标

8.3.1 基础设施应依托星基与地基增强系统提供覆盖目标空域的精密定位服务，并符合下列要求：

—覆盖范围：GNSS与CORS应覆盖全省全域低空空域（海拔1000 m以下），地基增强站网应覆盖全省主要低空航线、起降场、物流枢纽、城市低空应用示范区等关键空域；

—服务可用性：全域低空空域内不应低于 99.9%；

—服务电子图：应提供服务覆盖范围的电子图，并标注不同精度等级服务的覆盖区域；

—定位精度：服务覆盖区内，使用北斗系统公开服务信号（B1I、B3I、B1C、B2a单频或双频）的定位精度应符合GB/T 39473的规定，经差分增强后，开阔场景中水平定位精度不应大于 1 m，垂直定位精度不应大于 2 m。

8.3.2 低空智联网通信网络的定位功能应符合下列要求：

—应具备原生定位能力；

—后续演进网络应支持并开启面向低空用户的定位功能，且至少支持UL-TDOA、Multi-RTT等3GPP标准规定的定位技术；

—应支持定位管理功能，响应用户的定位请求并返回定位结果；

—应采用融合定位架构，支持基于球域GNSS定位、广域定位、局域定位、补充定位等多种定位方法；

—定位精度应符合YD/T 3936的规定。

8.3.3 局域精准定位技术的集成和部署宜符合下列要求：

—宜在关键区域（如起降场、装卸区、复杂建筑周边）部署蓝牙信标网络，并提供信标网络的标识、位置与覆盖范围等电子化信息；

—宜预留融合信标的部署能力；融合信标应集成多种定位信号源（如UWB、Wi-Fi、蓝牙等），并具备通信与计算能力。

—融合信标宜支持与飞行器进行双向数据交互，播发局域增强信息、地理围栏数据或接收控制指令。

8.4 数据与服务接口

8.4.1 应提供高精度差分数据服务，差分数据播发应符合下列要求：

—数据格式：应符合RTCM 10403.3的规定，并宜兼容BDS特有的差分信息格式；

—时间同步精度：定位基站间相对时间同步精度应小于3 ns（四级同步精度）；

—数据发播频度：应符合RTCM 10403.3的规定；

—播发协议：应支持NTRIP协议进行网络数据传输。

8.4.2 系统应提供5G网络辅助数据服务，包括基站位置、定时等辅助信息。

8.4.3 数据提供服务应支持实时和事后两种模式。

8.5 抗干扰与完好性

8.5.1 系统应具备抗干扰能力，在复杂电磁环境下保持稳定运行。当定位源信号失锁时，系统应能自动切换到备用信源或进入降级运行模式。系统应具备 GNSS 欺骗信号检测与抑制机制，确保定位服务的可靠性。

8.5.2 系统应规定不同导航模式的完好性风险指标，完好性风险应低于 1×10^{-7}/h。系统应具备根据应用场景动态调整告警门限的能力；当定位误差超过告警门限时，系统应及时向用户发送分级告警信息。

8.6 接口与数据协议

内部接口应符合下列要求：

—CORS站与数据处理中心、5G核心网与定位引擎等内部组件间的接口标准应统一。

—应支持高并发数据传输；

—接口协议应具备扩展性，支持新功能接入。

9 监视系统

9.1 系统功能

监视系统的功能应满足：

—应具备主动探测低空目标的能力，配备5G-A通感、低空监视雷达、无线电频谱侦测设备、光电设备等。

—监视系统应采用多模融合技术，通过设备联合部署与优势互补，并可基于AI算法进行目标识别与轨迹数据库构建，对数据进行智能分析。

—应具备接收并解析合作式目标主动报送报文的能力，配备5G-A基站、Remote ID设备等。

9.2 系统性能指标

监视系统的性能指标应满足：

—各节点应统一时空基准，与省、市级低空智能网联系统保持一致，时间同步误差不应大于 100 ns。

—应支持滤波算法及多模态融合算法，目标关联准确率不应低于 95%。

—多传感器数据融合端到端时延不应大于 500 ms，安全关键告警场景下时延不应大于 200 ms。

9.3 探测技术

9.3.1 目标探测性能应在规定测试场景下验证，且应符合下列要求：

—测试场景应至少包括开阔区、城市建筑密集区、重点保护区周边、起降点周边和典型航路。

—测试目标应覆盖微小型多旋翼无人机、小型固定翼无人机、eVTOL/直升机等类别。

9.3.2 针对非合作式目标的监视感知，应符合下列要求：

—探测高度应覆盖不低于 1000 m高度空域；

—漏检概率不应大于 5%；

—虚警概率不应大于 5%，虚警条数不应大于 10批/（24 h·100 km²）；

—探测目标更新频率不应小于 1 Hz；

—告警时延不应大于 5 s；

—对于RCS为 0.01 m2的目标，在距离 1000 m的范围内，水平位置误差（P95）均不应大于20 m，垂直位置误差（P95）应不大于20 m、速度误差（P95）不应大于2 m/s、航向误差（P95）不应大于2° 。

注：特殊区域可按风险等级提高要求。

9.3.3 针对合作式目标的监视感知，应符合下列要求：

—漏检概率不应大于 1%；

—虚警数量不大应于 5批/（24 h·100 km²）；

—探测目标更新频率不应小于 1 Hz。

10 气象系统

10.1 气象监测能力

10.1.1 气象监测空域应覆盖海拔 600 m 以下低空空域，并应重点覆盖低空起降场（点）、规划航路、城市低空应用示范区、物流枢纽、应急救援作业区等关键区域。

10.1.2 气象监测要素应符合下列要求：

—必选要素包括：风速（含低空风切变）、风向、小时降水量、能见度、环境温度、相对湿度；

—可选要素宜包括：大气压力、不大于 600 m的云底高、积冰风险、湍流强度，并可根据区域低空经济发展需求进行配置。

10.1.3 气象监测设备的配置应遵循地面固定监测、机动补盲、机载协同的原则，满足低空小范围、高分辨率、高实时性监测需求，设备类型应包括但不限于：

—地面固定监测设备：六要素微型气象监测仪、激光测风雷达、风廓线雷达；

—机动补盲设备：可移动气象监测站、无人机载气象传感器；

—增强感知设备：低空气象多要素探测激光雷达、微波辐射计、全天空成像仪；

—机载协同设备：入网低空航空器挂载的微型气象传感器。

10.2 气象数据服务

10.2.1 气象服务系统应支持多源气象数据的标准化接入，数据来源应包括但不限于：

—低空专属监测数据：0 m～600 m空域地面固定监测设备、机动补盲设备、机载传感器的实时监测数据；

—公共气象数据：区域气象雷达数据、数值天气预报数据、地面标准气象站数据、第三方气象服务机构的低空精细化气象数据。

10.2.2 气象数据处理流程应包括数据校验、数据清洗、数据融合、数据时空对齐，并应符合下列要求：

—机载传感器回传的气象数据应与航空器定位信息绑定，实现气象要素与地理位置匹配；

—应生成 0 m～600 m低空空域网格化气象数据产品；

—网格化气象数据产品的空间分辨率应符合下列规定：

1) 垂直方向：按 50 m分层；

2) 水平方向：核心区域不应大于 100 m×100 m、一般区域不应大于 500 m×500 m。

10.2.3 气象数据的时空基准应与省、市级低空智能网联系统保持一致。

10.2.4 气象服务系统应具备气象数据存储能力，并符合下列规定：

—存储数据范围包括 0 m～600 m低空空域融合处理后网格化气象数据、气象预警事件数据、核心区域短时原始监测数据及数据处理关键日志；

—原始监测数据宜兼容 GNSS 水汽反演、气象数据分析等专业应用的数据格式；

—数据存储周期应符合下列要求：

1) 网格化气象数据存储周期应不小于72 h；

2) 气象预警事件数据应单独归档，存储周期不应小于6个月；
3) 飞行异常及事故关联气象数据应按相关法规要求留存。

10.3 气象信息服务

10.3.1 气象服务系统应向低空航空器、飞行服务系统、空域管控平台提供精细化、场景化的 0 m～600 m 空域气象信息服务，服务内应包括但不限于：

—实时气象信息服务：网格化的 0 m～600 m 空域气象要素实时数据，含不利气象区域标注；
—气象预报服务：0 m～600 m 空域未来 2 h 短临预报、未来 12 h 精细化预报；
—航线气象服务：低空规划航路的“航路分段、高度分层”气象剖面数据；
—区域气象服务：起降场、密集园区、城市空中交通终端区等特定区域的定制化气象数据；
—机载定制服务：航空器飞行轨迹范围内的气象预警信息与实时数据。

10.3.2 气象服务数据应通过标准化接口向低空智联网各系统及应用平台推送。

10.4 气象风险预警

10.4.1 气象服务系统应建立 0 m～600 m 低空空域气象风险分级预警机制。预警类型应包括但不限于：低空风切变、强风、强降水、低能见度、积冰风险、湍流。各预警类型应按影响程度分为一般、较重、严重三级，各级预警判定阈值可结合区域气候特征细化。

10.4.2 气象风险预警信息应包含：预警类型、风险等级、影响空域（精准至 0 m～600 m 分层网格）、预计持续时间、处置建议等内容。

10.4.3 气象风险预警信息的推送与协同应符合下列要求：

—应通过多渠道精准推送，推送目标应至少包括空域管控平台、飞行服务系统、受影响空域内的低空航空器机载终端；机载终端应具备声光告警功能；
—应与通信系统协同，确保 600 m以下低空通信覆盖范围内无盲区；在应急救灾场景下，宜通过卫星通信链路进行预警信息补推；
—当发布较重及以上气象风险预警时，气象系统应自动向监视、管控系统推送预警信息，并触发通信、导航、监视、气象协同联动机制。

10.5 性能指标

气象服务系统的性能指标应满足 600 m 以下低空空域飞行需求，并符合下列规定：

—垂直分辨率：0 m～600 m 空域分层的气象监测垂直分辨率不应大于 20 m；
—数据更新频率：核心区域不应小于 1次/min，起降场、城市空中交通终端区不应小于 60次 / min；
—预报提前量：短临预报不应小于 2 h，精细化预报不应小于 12 h；
—告警响应时间：城市强风、低空风切变等突发气象风险告警响应时间不应大于10 s；
—数据准确率：风速、风向准确率不应小于 90%，能见度、降水量准确率不应小于85%；
—服务连续性：全年可用性不应小于 99.9%，单设备故障不应影响核心区域的气象监测与服务；

—传输时延：气象监测数据从采集到融合处理完成的时延不应大于 1 s，预警信息推送端到端时延不应大于 5 s。

11 数据融合与处理

11.1 数据接入与预处理

11.1.1 融合处理中心应支持接入下列数据：

—感知数据：Remote ID数据、低空雷达探测数据、5G-A通感基站感知数据、光电或红外目标检测数据、无线电监测与定位数据、气象传感器数据；

—业务数据：飞行计划与空域管理系统数据、三维地图与禁飞区地理信息数据。

11.1.2 系统应支持 TCP/IP、MQTT 等主流协议，应提供标准化 RESTful API 和 Websocket 数据推送接口，并发连接数不应少于 1000 路。

11.1.3 系统应对接入的异构数据进行格式归一化处理，统一转换为系统内部标准数据模型。数据格式规范应符合 CNSI 数据标准的要求。

11.2 计算性能

系统的计算性能应满足：

—应具备对不少于500路并发数据流的实时融合处理能力，大数据分析任务平均响应时间不应大于 5 s；

—在业务高峰期（目标数量或数据流量超过平均值2倍时），核心处理性能不应下降，扩容响应时间不应大于 5 min；

—边缘节点本地数据融合计算时延不应大于 200 ms。

11.3 接口与互操作性

系统的接口与互操作性应满足：

—应提供标准化北向接口，支持与空城管理平台、公安、民航、气象等部门的数据共享，所有接口访问应留存审计日志，数据应按照相关接口标准及时汇总接入至省、市级低空智能网联系统；

—应提供标准化南向接口，屏蔽底层传感器差异，并应支持断线重连与数据补传机制；

—系统数据模型应支持与其他厂商产品的互联互通，应提供中间件层，实现不同格式和协议的自动转换与适配。

12 协同与融合

12.1 协同架构

协同架构应满足：

—应支持模块化部署、横向扩展及跨系统无缝对接，适配0 m～1000 m低空空域运行需求；

—各子系统之间应通过标准化接口互联，接口协议应符合本文件及相关标准规范；新增系统或设备应能快速接入，扩展过程不应影响现有系统正常运行；

—应实现同一数据的全域同步更新，确保各系统数据的一致性与时效性；

—应建立通信、导航、监视一体化目标管理体系，整合通信终端标识、导航定位标识、监视目标特征，并为每个入网目标分配唯一的通信、导航、监视一体化标识。

12.2 协同融合

12.2.1 通信、导航、监视、气象协同与融合系统的实时性、可靠性应符合下列要求：

—飞行目标信息跨系统更新周期不应大于 1 s；
—通信、导航、监视、气象多源数据融合处理时延不应大于 1 s；
—低空运行态势信息更新周期：一般区域不应大于 2 s，核心区域不应大于 1 s；
—异常事件识别时延不应大于 5 s；
—跨系统指令、告警信息端到端推送时延：常规场景不应大于 5 s，应急场景不应大于 2 s；
—协同融合系统全年可用性不应低于 99.99%；
—多源数据融合准确率不应低于 95%；
—跨系统接口通信可靠性不应低于 99.99%；
—异常事件联动处置成功率不应低于 98%；
—单系统故障时，应具备降级运行能力，基础协同功能不应中断；
—系统在高并发数据环境（不小于100000 条/s飞行数据）下稳定运行，不应出现卡或数据丢失。

12.2.2 气象、导航、监视等系统采集的各类数据，应通过统一接口实时汇聚至融合处理中心，实现跨系统共享。

12.2.3 气象数据应与同期同域的通信、导航、监视数据实现时空精准绑定，按 0 m～600 m 垂直分层和网格化水平划分进行关联。

12.3 协同联动

12.3.1 空域管理系统应基于通信、导航、监视、气象融合态势信息，实现低空空域动态管控。系统应能根据目标密度、通信链路状态、气象条件等因素实时调整空域使用权限，并将调整信息应自动推送至各相关系统。

12.3.2 通信、导航、监视系统之间应实现功能联动，具体要求如下：

—监视系统应向通信系统推送空域内目标分布信息，为通信资源动态调配提供依据；
—导航定位系统应向监视系统提供飞行目标高精度定位数据，作为多源监视数据融合的核心基准；
—通信网络应支撑导航增强信息的全域分发，并为导航系统完好性监测提供数据传输支撑；
—针对 600 m 以下城市峡谷、建筑遮挡等导航弱信号区域，监视系统应提高目标监测频次，为导航系统提供辅助定位信息；
—通信链路中断时，监视系统应持续跟踪目标，并向管控系统推送通信中断告警，触发应急通信链路切换。

12.3.3 跨系统事件联动处置应符合下列规定：

—监视系统识别到飞行冲突风险时，应将冲突目标信息推送至通信、导航及管控系统；通信系统应优先保障涉及冲突的航空器与管控平台间的通信链路；
—气象系统发布较重及以上等级气象预警时，应将预警信息推送至监视、导航及管控系统；通信系统应确保预警信息定向推送至受影响航空器；

—监视系统识别到非法飞行目标时，应将目标信息推送至通信与导航系统，启动处置联动。

12.3.4 发生航空器失联、通信中断、气象突发风险等应急事件时，各系统应依据预案同步进入应急模式，并符合下列要求：

—通信系统应优先保障事件区域的应急通信链路；
—导航系统应启动多源融合定位，确保定位服务的连续性与可靠性；
—监视系统应组织多源传感器对事件目标实施全时段跟踪；
—气象系统应加密发布事件区域的精细化气象监测与预报数据。

13 安全与可靠性

13.1 通信网络安全

13.1.1 通信链路的安全应符合下列要求：

—5G/5G-A通信链路应利用网络内置的安全能力（如接入认证、空口加密等），保障蜂窝网络通信安全；
—卫星通信链路应依据《中华人民共和国密码法》《商用密码管理条例》，采用国家密码管理部门核准的商用密码算法对遥控、遥测及业务数据进行加密保护，保障数据的机密性、完整性及抗重放能力，密码应用应符合 GM/T 0054 的规定。

13.1.2 网络传输和应用层应支持安全通信协议的兼容与自适应选择，应支持 TLS 1.2 及以上版本、IPsec VPN 等，确保跨异构网络融合时的通信安全。

13.1.3 在网络接入和服务访问时，应支持双向身份认证，采用基于数字证书、生物特征与密码技术融合的多因子认证方式。

13.1.4 网络应具备识别并阻断入侵行为的能力，入侵行为包括网络攻击、恶意代码（如木马、病毒）、拒绝服务攻击（DDoS）、漏洞利用等。

13.2 业务安全

13.2.1 感知安全

13.2.1.1 感知系统应具备抗干扰能力，在压制式干扰环境下保持对目标的稳定探测与跟踪。当干扰信号强度超过感知设备动态范围下限时，系统应能通过功率自适应调整、波形捷变等方式维持感知性能不劣化。

13.2.1.2 感知系统应具备抗欺骗能力，能够检测并抑制针对感知信号的欺骗攻击。攻击类型包括但不限于虚假目标注入、目标回波模拟重放、距离、速度、角度欺骗等。检测到欺骗攻击时，应标记受影响的目标航迹。

13.2.2 导航安全

13.2.2.1 数据中心和导航终端之间应建立传输安全通道，提供机密性和完整性保护的安全连接，具体应符合下列要求：

—采用TLS或IPSec协议等进行构建安全通道；
—采用密码技术对通信实体进行身份鉴别；
—采用密码技术保障通信过程中受控服务信息和终端信息的完整性、机密性以及网络边界访问控制信息的完整性。

13.2.2.2 低空导航系统具备信号认证、数据可信验证及多传感器融合等功能，并应符合下列要求：

—当某一定位系统失效后时，系统应支持无人机保持正常飞行；

—应支持通过识别单一信号源方向异常，进行防欺骗监测预警；
—应利用4G/5G系统提供的位置信息校验无人机端侧上报的位置信息，防止GNSS欺骗攻击。

13.2.2.3 低空三维航图的构建按 GB 20263 规定执行。

13.3 数据安全

13.3.1 低空智联网数字基础设施处理的数据应依据国家及行业相关法规（《中华人民共和国数据安全法》、《中华人民共和国气象法》）以及 GB/T 43697 规定进行识别、分类与分级。数据应至少区分为一般数据、重要数据和核心数据。

13.3.2 系统应使用国家密码管理局核准的商用密码算法（SM2、SM3、SM4、SM9 等）对传输数据进行加密，并应符合下列要求：

—控制指令、身份认证信息、飞行轨迹等关键信令和数据应进行端到端加密；
—业务数据应支持链路加密或端到端加密；采用端到端加密时，应评估并控制其对带宽和时延的影响。

13.3.3 重要数据及核心数据在非易失性存储介质中静态存储时，应采用密码技术进行加密保护，并应符合下列要求：

—加密密钥应与数据分开存储；
—服务端密钥应由硬件安全模块（HSM）或可信执行环境（TEE）进行保护；
—客户端密钥应存储于硬件安全芯片（SE）上，SE芯片应将密钥存储与密码服务功能解耦，确保密码服务功能更新时不影响密钥使用。

13.3.4 应建立完整的密钥管理体系，支持密钥的全生命周期管理（生成、存储、分发、更新、撤销、归档和销毁）。密钥管理系统的安全性应符合 GM/T 0054 的要求。

13.3.5 数据对外开放和共享时，应符合下列要求：

—应对数据流通共享环节的各主体进行身份鉴别，保障身份合法性；
—应支持数据隐私安全保护，防止敏感数据泄露；
—应支持数据流通过程操作的审计追踪与溯源。

13.4 物理安全

通信基站、雷达站、CORS 站、数据中心等关键物理设施应符合下列要求：

—应采取防盗、防破坏、防火、防水、防雷击等防护措施；
—基础设施的部署与运行应符合GB/T 17626系列标准规定的电磁兼容性要求，自身产生的电磁辐射不应超出限值。

13.5 网络运营安全

13.5.1 应建立统一的安全运营中心，提供态势感知、风险监测、应急响应、漏洞管理、威胁情报管理、资产管理等功能，实现对全网（终端、网络、平台、数据）安全状况的集中监控、关联分析、威胁可视化、风险预警及应急处置。

13.5.2 应制定覆盖通信中断、导航欺骗、网络攻击、数据泄露、航空器失联等多种场景的应急预案，并定期开展应急演练。应根据演练结果优化预案和处置流程。

13.5.3 基础设施的规划、建设、运营全流程应遵守国家网络安全、数据安全、个人信息保护及民用航空安全相关法律法规。运营主体应建立明确的安全管理组织架构、安全管理制度和常态化的人员安全培训机制。

13.5.4 系统应记录与安全相关的用户操作、系统事件、异常访问及攻击行为。日志内容应包括但不限于事件时间、主体身份、客体标识、操作类型、操作结果等。审计记录应防篡改，保存期限不应少于 180 天。

13.5.5 系统应具备完整的溯源能力。当发生安全事件或飞行异常时，应能通过融合飞行日志、通信日志、操作日志、感知数据等，快速回溯事件链，定位异常源头（航空器、飞手、地面站或网络节点）。

14 运维管理

14.1 总体要求

低空智联网的运维管理应满足：

—应满足国家和地方关于通信、导航、监视、气象及配套系统设施运维保障的安全标准和相关规定；

—设备应具备远程升级与设备健康状态监测功能，并应支持故障断，以保障智联网系统的正常运行；

—应建立故障分级机制，依据对飞行安全与业务连续性的影响划分等级，明确响应时限与处置流程，关键系统恢复时间目标应满足业务连续性要求，所有故障从发现到关闭应形成闭环，处理记录应完整且可追溯；

—系统更新应根据影响程度划分为日常、一般、重大三类，实行差异化管理与审批；重大更新实施前，应评估目的、风险、回退方案及资源计划，并形成评估记录；

—关键系统应定期备份，备份介质应分离存放并定期验证可恢复性，系统更新后应及时备份；

—运维操作应遵循最小权限原则，按需分配、变更审批、定期复核；操作日志至少保存180天，并采取技术措施防篡改；

—应建立并维护系统架构图、设备清单、配置参数、应急预案等运维文档，文档记录保存时间不应少于1年；委托第三方运维时，应签订安全保密协议，并纳入统一操作审计；

—运营主体应建立权责的分明运维管理制度，明确各参与单位在低空智能网联运维中的职责边界与协作流程，确保权责清晰、协同高效。

14.2 跨主体协同运维技术接口

14.2.1 跨主体协同运维应通过统一运维接口网关或运维平台实现，接口应满足以下要求：

a) 应支持RESTful API、MQTT、WebSocket等主流协议，数据格式宜采用JSON，字符编码应为UTF-8；

b) 应支持设备、系统、工单、告警等资源的统一标识和寻址；

c) 应支持接口版本管理，版本升级应兼容旧版本至少6个月；

d) 应支持断线重连、数据补传、消息去重和顺序保证；

e) 接口可用性不应低于99.9%，关键告警接口可用性不应低于99.99%；

f) 应支持基于SRv6、网络切片等差异化路径选路技术，结合管控层完成路径可视溯源。

14.2.2 跨单位运维数据接口应至少支持以下字段：设备/系统唯一标识、设备类型、地理位置、运行状态、软件版本、采集时间、数据来源。

14.2.3 故障告警接口应满足：

a) 告警信息应包含：告警ID、设备标识、告警级别、告警类型、故障代码、发生时间、恢复时间、影响范围、处置建议；

b) 紧急告警推送时延不应大于1 s，重要告警不应大于5 s；

c) 应支持告警确认、派单、处置、恢复、关闭的状态同步；

d) 应支持告警抑制、去重和关联分析，避免告警风暴。

14.2.4 设备状态接口应支持：

a) 实时状态上报周期：核心设备不应大于10 s，一般设备不应大于60 s；

b) 状态变化时应主动推送；

c) 应支持远程查询、批量订阅和阈值配置；

d) 应支持设备远程升级状态、升级结果和版本回退信息同步。

14.3 第三方运维接入

14.3.1 在接入前，应进行：

a) 第三方运维单位通过安全评估和资质审查；

b) 签订安全保密协议和SLA协议；

c) 明确接入范围、运维对象、权限等级和退出机制。

14.3.2 接入认证与授权应满足：

a) 采用双向证书认证或多因子认证；

b) 通过统一运维网关接入，不应直接连接核心网元；

c) 使用VPN或专线接入，不应通过公网直接访问核心系统；

d) 权限应按角色最小化分配，并定期复核。

14.3.3 退出与移交应满足：

a) 第三方退出时，应注销账号、销毁密钥、清除本地数据；

b) 应完成运维数据、配置文档和未闭环工单的移交；

c) 应进行退出审计，确认无安全遗留问题。

附录 A
（规范性）
通信数据传输速率

A.1 不同应用场景对应的无人机终端与地面蜂窝网络通信数据传输速率：

表 A.1 不同低空无人机应用场景蜂窝网络通信速率及实时性要求

应用场景	实时性要求	上行速率（无人机-地面）
远程软件/固件升级 (OTA)	非实时 / 准实时	约1-2 Mbps (协同指令)
高精度地图/任务数据注入	实时 (关键任务)	约1-2 Mbps (协同指令)
AI模型实时更新/协同推理	实时 (飞行中)	约1-2 Mbps (协同指令)
超高清视频实时分发	实时 (全双工)	>25 Mbps (4K) / >100 Mbps (8K)
沉浸式/远程VR操控	实时 (端到端<10 ms)	<100 ms 时延 & >75 Mbps (VR视频上行)
高保真云游戏/VR内容流	实时 (沉浸式体验)	>25 Mbps (控制与遥测)
农林植保	近实时	不低于 25 Mbps（高清视频回传）
物流	实时（时速 100 km/h 以上切换不掉线）	3~5 Mbps（720p~1080p 视频回传）；100~500 Kbps（仅控制类信息）
工业巡检	实时	1080P 高清视频回传要求≥5 Mbps，4K 视频则要求上行速率≥ 25Mbps，部分精细巡检（如 8K 直播）需求可达 100 Mbps。对于控制类业务，速率需求通常在百 Kbps 量级
低空出行	实时	飞控数据要求 100 kbps，图传数据要求 10 Mbps

附录 B
（资料性）
场景化指标

B.1 概述

低空智联网数字基础设施应具备支撑多样化低空应用场景的能力。针对不同场景的技术特性和安全要求，导航、通信、监视等系统需满足以下综合性能指标。

B.2 城市物流航线

本场景主要面向城市环境下的包裹配送、医疗急救物流等，特点是空域复杂、人口密集、对安全和效率要求极高。

a)导航定位

定位精度：水平定位精度开阔环境应优于1米（95%置信度），城区环境应优于5米（95%置信度），垂直定位精度应优于2米（95%置信度）。在起降场、货物装卸点等关键节点，应提供精度优于0.3米（95%置信度）的增强定位服务。

数据更新率：导航定位数据输出频率应不低于10 Hz，以支持低空飞行器进行高频率的避障和航迹控制。

完好性与告警延迟：系统应具备完好性监测能力。在检测到定位信号不可用时，从发现异常到向低空飞行器或监控系统发出告警信息的延迟应不大于200毫秒。

b)感知与避障

数字基础设施应能通过地面雷达、光电等设备，为低空飞行器提供周边障碍物（如高楼、高压线）的融合感知信息，数据更新率不低于10 Hz。

B.3 城际高速飞行

本场景主要面向城市间的客运、货运等高速连续飞行，特点是航程长、飞行速度高，对导航服务的连续性和覆盖范围要求极高。

a)导航定位

定位精度：水平定位精度应优于10米（95%置信度），以满足航路飞行监视需求。

服务可用性与连续性：导航服务（含增强信号）在整个计划航路上的可用性应不低于99.9%。

覆盖范围：应实现省域范围内主要城际走廊的连续无缝覆盖。

b)通信网络

应实现航路沿线的通信信号连续覆盖，无信号盲区。

数据传输可靠性不低于99.99%。

B.4 应急救灾

本场景主要面向自然灾害等突发事件后的应急救援、物资投送，核心特征是社会公共通信网络可能完全中断，要求系统具备极强的鲁棒性和自主运行能力。

a)自主导航与通信回传

系统应确保在公共地面网络中断时，低空飞行器仍能通过卫星通信（如北斗短报文、天通卫星等）或自组网技术，实现最低限度的位置报告和指令接收。

应支持基于卫星通信的位置报告功能，报告更新间隔不大于3分钟。

低空飞行器应具备在无卫星、无网络信号环境下的自主循迹飞行与返航能力。

B.5 密集园区巡检

本场景主要面向工业园、港口、大型设施等的自动巡检，特点是空域狭小、障碍物多、对精细化操作要求高。

a)导航定位

定位精度：水平与垂直定位精度均应优于0.5米（95%置信度），在特定巡检点位要求达到0.2米（95%置信度）的相对定位精度。

数据更新率：应不低于10 Hz，以支持低空飞行器进行精准的悬停和绕障飞行。

b)融合定位

基础设施应支持并融合UWB（超宽带）、蓝牙信标等局域高精度定位技术，在卫星信号受遮挡的厂房、管道区域提供连续定位服务。

B.6 城市空中交通

本场景主要面向未来的客运级电动垂直起降低空飞行器，对安全、可靠性和公众可接受度提出了最高要求。

a) 导航定位

定位精度：在起降场终端区，水平定位精度应优于0.1米，垂直定位精度应优于0.2米。

完好性风险：导航系统的完好性风险应低于1×10^{-7}/小时。

告警时间：从故障发生到发出告警的时间应不大于0.5秒。

b) 高精度气象服务

数字基础设施应能提供航路及起降场的实时精细化风、温、湍流等气象信息，数据更新率不低于1 Hz。

参 考 文 献

[1] GB 42590-2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求
[2] GB/T 35221-2017 地面气象观测规范
[3] GB/T 38997-2020 轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统通用要求
[4] GB/T 39399-2020 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范
[5] BD 410003-2015 北斗/全球卫星导航系统(GNSS)接收机 差分数据格式
[6] HB 8760-2023 民用轻小型多旋翼无人机系统视觉惯性里程计通用要求
[7] JT/T 1254-2019 港口高精度卫星导航定位系统
[8] MH/T 4016.2-2007 民用航空气象 第 2 部分：预报
[9] MH/T 4055.1-2007 低空飞行服务系统 第1部分：架构与配置
[10] MH/T 4055.1-2022 低空飞行服务系统技术规范
[11] MH/T 4055.2-2022 低空飞行服务系统 第2部分：技术要求
[12] YD/T 4734-2024 5G移动通信网定位系统》总体技术要求
[13] DB3205/T 1145-2DB3205/T 1148-2024 无人驾驶航空器飞行数据报送规范024 低空航空器通信接入要求
[14] T/CAMC 0008-2025 低空智能网联系统 第2部分：智联网通用要求
[15] T/CATAGS 14-2020 通用机场空域监视系统建设指南
[16] T/FJIOT 0001-2024 低空经济5G空中传输专网（低空智联）典型应用场景及技术规范
[17] T/GITIF 020—2024 低空智联网导航定位系统通用要求
[18] T/SHV2X 5—2025 支持低空智联网服务的5G网络规划建设技术规范
[19] 2024年1月1日交通运输部令2024年第1号《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》
[20] 低空产业联盟《低空智能网联体系架构（2024版）》
[21] 深圳市发展和改革委员会、深圳市市场监督管理局《深圳市低空经济标准体系建设标准指南（2.0）》
[22] 《中华人民共和国数据安全法》
[23] 《中华人民共和国气象法》
[24] 《中华人民共和国密码法》
[25] 《商用密码管理条例》
[26] GB/T 28827.1-2022 信息技术服务 运行维护 第1部分：通用要求 运维服务能力模型、人员/过程/技术/资源要素
[27] GB/T 28827.6-2019 信息技术服务 运行维护 第6部分：应用系统服务要求 应用系统运行维护服务模型
[28] GB/T 39837-2021 信息技术 远程运维 技术参考模型 远程运维技术参考模型、设备管理/故障处理/平台支撑
[29] GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求 第三方外包运维安全要求、远程运维管控
[30] ITU-T M.tom-uav-ir 电信运维系统与无人机服务管理系统接口 跨主体协同接口（协议中立要求）
[31] T/GITIF 026-2025 低空飞行无人驾驶航空器安全运维工作规范 运维工作流程及相关程序
[32] T/CAMC 0002.2—2026 低空智能网联系统 第2部分：通用技术要求 实施与运维规范— 跨域网络代理架构 跨自治域协同运维的代理角色与统一接口