

ICS 49.090

CCS M 50

团体标准

T/ GFQX XXXXX—202X

低空机载通信设备设计要求

Design requirements for low-altitude airborne communication unit

(征求意见稿)

202X—XX—XX 发布

202X—XX—XX 实施

中国国防工业企业协会
国家国防标准创新基地

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. 缩略语	1
5. 设计依据	1
5.1. 功能要求	1
5.2. 可靠性要求	2
5.3. 环境适应性要求	2
5.4. 安全性要求	2
5.5. 接口与电源适配要求	2
5.6. 数据采集要求	2
5.7. 通信与定位要求	3
5.8. 其他相关要求	3
6. 设计准则	3
7. 设计流程	3
8. 设计内容	4
8.1. 总体设计	4
8.2. 功能单元设计	5
9. 设计验证	11
9.1. 环境适应性试验	错误!未定义书签。
9.2. 机体结构试验	错误!未定义书签。
9.3. 数据安全试验	11
9.4. 接口与电源适配试验	11
9.5. 电磁兼容性验证	错误!未定义书签。
9.6. 核心功能性能试验	12

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

本文件由沈阳美行科技股份有限公司提出。

本文件由中国国防工业企业协会、国家国防标准创新基地联合归口。

本文件起草单位：沈阳美行科技股份有限公司，成都美行瑞空科技有限公司，、湖南经纬航通信息技术有限公司。

本文件主要起草人：赖克、孙庆鹏、刘英华、刘秋平、谢巍。

先进技术与应用团体标技委

低空机载通信设备设计要求

1 范围

本文件规定了低空机载通信设备的设计依据、设计准则、设计内容、设计流程和设计验证。

本文件适用于微型民用无人驾驶航空器、轻型民用无人驾驶航空器、小型民用无人驾驶航空器、中大型民用无人驾驶航空器的机载通信设备的设计。

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 20988—2007 信息安全技术信息系统灾难恢复规范
GB/T 22239—2019 信息安全技术网络安全等级保护基本要求
GB/T 31168—2014 信息安全技术云计算服务安全能力要求
GB/T 35018—2018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
GB/T 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语
GB/T 38909—2020 民用轻小型无人机系统电磁兼容性要求与试验方法
GB 42590—2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求
GB 46750—2025 民用无人驾驶航空器系统运行识别规范
RTCA DO—160G—2020 机载设备环境试验条件和测试程序

3 术语和定义

GB/T 38152—2019 和 GB 42590—2023 界定的术语和定义适用于本文件。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AES——高级加密标准 (Advanced Encryption Standard)
CAN——控制器局域网总线 (Controller Area Network)
EIRP——等效全向辐射功率 (Equivalent Isotropic Radiated Power)
GEO——地球静止轨道 (Geostationary Orbit)
INS——惯性导航系统 (Inertial Navigation System)
IP——防护等级 (Ingress Protection)
LEO——低地球轨道 (Low Earth Orbit)
SBAS——星基增强 (Satellite-Based Augmentation System)
SHA——安全哈希算法 (Secure Hash Algorithm)
UART——通用异步收发器 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
VHF——甚高频 (Very High Frequency)
WDR——宽动态范围 (Wide Dynamic Range)

5 设计依据

5.1 功能要求

低空机载通信设备设计应满足以下功能要求：

- a) 全流程运行识别：通过广播式与网络式链路，全飞行过程持续发送无人机身份标识、位置及运行状态等信息，满足监管追溯需求；
- b) 多链路融合全域通信：支持蜂窝网络（4G/5G/5G-A）、卫星通信（北斗短报文、LEO/GEO 卫星）及航空专用频段通信，构建全域无盲区传输链路；
- c) 高精度融合定位：基于北斗双频定位与 INS 融合算法，在复杂低空环境（城市峡谷、山区等）下提供高可靠位置与姿态信息；
- d) 分级应急响应：支持一级（紧急事件）、二级（设备故障）、三级（预警提示）分级报警，保障应急场景下的可靠响应；
- e) 多类型数据实时采集与传输：实现北斗定位、环境传感器（温度、振动等）、高清视频（1920×1080 逐行扫描，30 fps）及通信状态等数据的实时采集、预处理与冗余传输，适配多场景作需求。

5.2 可靠性要求

可靠性应满足以下要求：

- a) 核心链路（通信/定位）主备切换不大于 50 ms，其他不大于 100 ms；单一模块失效性能降级不大于 30%；
- b) 传输误码率不大于 1×10^{-6} ，存储数据丢失率不大于 0.001 %；关键指令（SOS/报警）传输可靠性不小于 99.99%。

5.3 环境适应性要求

环境适应性应满足以下要求：

- a) 温度：货舱工作 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、贮存 $-55\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；乘员舱工作 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、贮存 $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 抗振冲击：货舱随机振动不小于 7 Grms、冲击不小于 100 G；乘员舱正弦振动不大于 5 Grms、冲击不小于 50 G；
- c) 防护：货舱不小于 IP67，乘员舱不小于 IP54；沿海防盐雾不小于 96 h。

5.4 安全性要求

安全性应满足以下要求：

- a) 静态存储采用 AES-256/SM4 加密，动态传输端到端加密，密钥 24 h 自动更新；
- b) 数据完整性通过 SHA-256 校验，失败自动重传不大于 3 次。

5.5 接口与电源适配要求

接口与电源适配应满足以下要求：

- a) 电源接口兼容 18-32 VDC（适配航空 28 VDC），数据接口兼容 CAN/UART 协议；
- b) 供电模块峰值功率不小于 60 W，输出波动不大于 $\pm 2\%$ ；双电源切换不大于 20 ms（续航不小于 1 h）。

5.6 数据采集要求

数据采集与存储应满足以下要求：

- a) 定位采集不小于 100 Hz；
- b) 环境传感器不小于 1 kHz；
- c) 视频 1920×1080 逐行扫描；
- d) 30 帧/秒（低光照信噪比不小于 40 dB）；

- e) 预处理时延不大于 10 ms。

5.7 通信与定位要求

通信与定位应满足以下要求：

- a) 5G-A 下行不小于 10 Gbps，卫星（Ka 波段）下行不小于 100 Mbps；URLLC 时延不大于 1 ms、可靠性不小于 99.999%；
- b) 北斗定位不大于 2 m，星基增强不大于 1 m；INS 短时漂移不大于 1 n mile/h，独立定位不小于 2 min。

5.8 其他相关要求

其他相关要求如下：

- a) 运行识别：双模发送间隔不大于 1 s，广播式功率按机型分级（蓝牙/ Wi-Fi EIRP）；
- b) 语音通信：传输延迟不大于 500 ms，双链路切换不大于 1 s，应急续航不小于 30 min；
- c) 报警响应：一级触发不大于 1 s、传输时延不大于 200 ms，联动视频启动不大于 2 s。

6 设计准则

低空机载通信设备设计应遵循以下原则：

- a) 功能集成化原则：模块化整合运行识别、数据采集、全域通信、精准定位、应急响应等功能，适配巡检、物流等多低空作业场景；
- b) 链路冗余化原则：核心链路（通信、定位、供电）采用主备冗余设计，关键链路切换避免单点失效，保障核心功能连续；
- c) 安全可控化原则：数据加密（静态加密、动态端到端加密），硬件防篡改符合隐私合规要求；
- d) 适配通用化原则：轻量化，宽电压范围，适配多种协议，适配通用挂载，不影响无人机飞行性能。

7 设计流程

低空机载通信设备设计流程图见图 1。

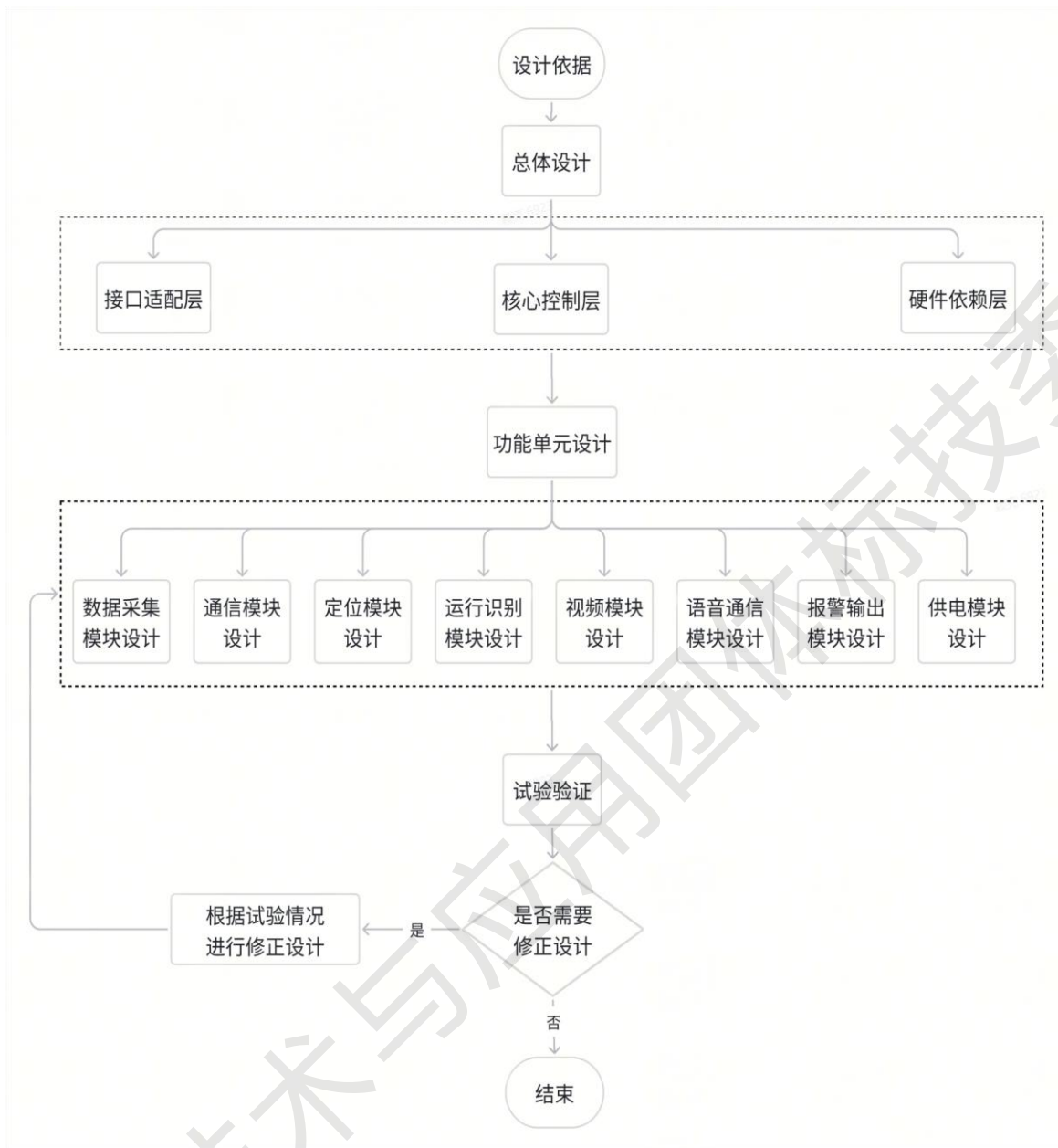


图 1 低空机载通信设备设计流程图

8 设计内容

8.1 总体设计

低空机载通信设备由硬件依赖层、核心控制层和接口适配层等三层协同架构构成，通过内部高速总线完成数据交互、实现功能闭环，其中，核心控制层统筹调度功能执行层的运行识别、数据采集、通信、定位、语音通信、报警输出、视频、供电等 8 个子模块，构成图见图。总体设计要求如下：

- a) 硬件依赖层：以主控制器为核心，结合外围硬件模组，搭载实时操作系统（RTOS），负责全系统任务调度、多源数据融合（定位、环境、通信状态等）及故障诊断等功能，任务响应时延不大于 10 ms。通过分布式处理架构实现子模块协同控制，单点故障时自动隔离，保障核心功能连续运行。

- b) 核心控制层：基于模块化设计，承载 8 个子模块的专业化功能。例如，通信模块动态切换蜂窝/卫星链路，定位子模块输出融合位置信息，报警模块触发时联动视频与语音模块，形成“感知—决策—执行”的功能链条。
- c) 接口适配层：提供硬件与软件双重适配能力。硬件接口包括宽电压电源接口（兼容 18-32VDC，适配航空 28VDC 标准）、通过多协议数据接口（CAN/UART/以太网）与无人机对接；软件接口提供标准化 API 与地面站对接，并且通过 MAVLink/DroneCAN 等标准化协议与主流飞控系统无缝对接。接口设计满足轻量化要求（消费级不大于 200 g，工业级不大于 500 g），尺寸兼容多种安装空间，实现“即插即用”。

三层架构通过内部高速总线实现数据交互，核心控制层统筹调度 8 个子模块，见图 2。

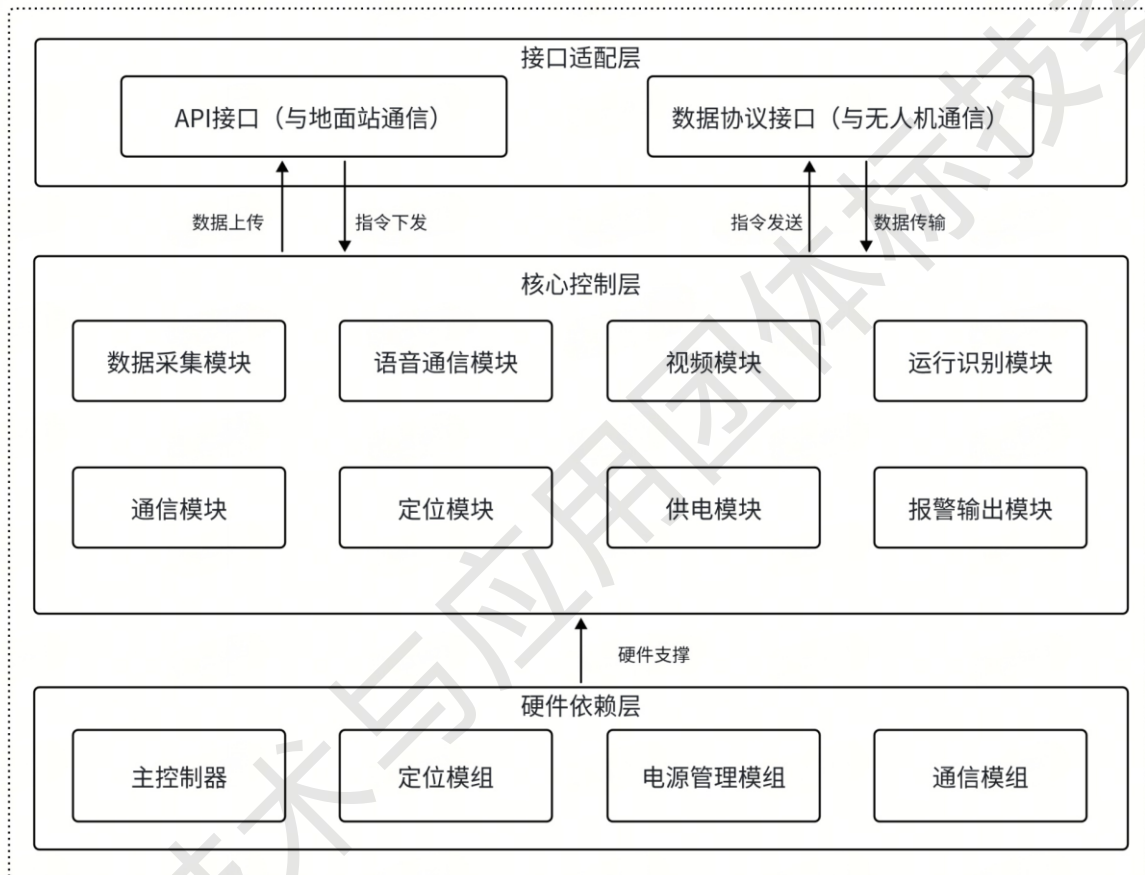


图 2 低空机载通信设备架构构成图

8.2 功能单元设计

8.2.1 数据采集模块

8.2.1.1 多源融合采集设计

多源融合采集设计应符合以下要求：

- a) 多源数据集成：集成北斗定位、惯性导航、环境传感器（温度、压力等）及高清视频采集单元，同步获取定位、姿态、环境状态及视频流数据；
- b) 采集与预处理：按场景需求设定采集速率，通过硬件加速模块进行数据滤波、压缩等预处理，减少时延以避免数据积压。

8.2.1.2 脱敏设计

对涉及隐私的视频数据实时进行去标识化处理，操作日志本地加密存储。

8.2.1.3 环境适应性与接口兼容设计

环境适应性与接口兼容设计应符合以下要求：

- a) 环境适应性：按部署场景设计参数（包括货舱、乘员舱的温度、抗振、防护等级等），沿海场景设备具备防盐雾腐蚀能力；
- b) 通用适配：轻量化设计，电源接口兼容宽电压范围，数据接口支持通用协议，与无人机飞控系统协同工作，不影响飞行性能。

8.2.2 通信模块

8.2.2.1 多链路融合设计

多链路融合设计应符合以下要求：

- a) 多制式集成：集成蜂窝网络（4G/5G/5G-A）、卫星通信（北斗短报文、LEO/GEO 卫星）及航空专用频段通信模块，按需切换适配不同场景（城市用蜂窝、偏远地区用卫星）；
- b) 覆盖增强：针对低空复杂环境（城市峡谷、山区），优化天线增益与波束方向，确保蜂窝网络覆盖半径适配飞行高度，卫星通信实现全球高可用性。

8.2.2.2 冗余与快速切换设计

冗余与快速切换设计应符合以下要求：

- a) 链路冗余：核心通信链路（例如 4G/5G/5G-A 与卫星通信）采用主备双链路并行运行，实时监测链路质量（误码率、信号强度）；
- b) 快速切换：主链失效时自动切换至备链，关键链路（例如应急通信）切换时间不大于 50 ms，非关键链路不大于 100 ms，确保传输不中断。

8.2.2.3 低时延高可靠设计

低时延高可靠设计应符合以下要求：

- a) 低时延传输：针对应急指令、控制信号等关键数据，采用 URLLC 技术，实现端到端时延不大于 1 ms，可靠性不小于 99.999%；
- b) 速率适配：根据数据类型动态调整传输速率，5G/5G-A 链路保障大带宽需求（例如下行峰值速率适配高清视频传输），卫星链路优先保障关键小数据（例如定位、报警信息）传输。

8.2.2.4 安全加密与抗干扰设计

安全加密与抗干扰设计应符合以下要求：

- a) 安全加密：动态传输采用端到端加密，静态配置信息用国密算法加密，密钥定期自动更新；通信身份采用双向认证，防止伪装接入；
- b) 抗干扰强化：支持自适应跳频、波束成形等抗干扰技术，抗压制干扰能力不小于 60 dB；卫星通信链路适配抗雨衰、抗多普勒频移技术，确保复杂电磁环境下通信稳定。

8.2.3 定位模块

8.2.3.1 多源融合定位设计

多源融合定位设计应符合以下要求：

- a) 多源数据集成：融合北斗双频定位、INS、SBAS 等多源数据，北斗提供基础位置信息，INS 补充姿态与短时定位，SBAS 优化精度；
- b) 融合算法优化：采用卡尔曼滤波等融合算法，整合多源数据优势，在城市峡谷、山区等复杂环境下，快速收敛定位误差，确保定位精度满足场景需求。

8.2.3.2 冗余与失效维持设计

冗余与失效维持设计应符合以下要求：

- a) 冗余定位源：以北斗定位为主，INS 为备，卫星信号正常时二者协同输出；卫星信号丢失时，INS 独立维持定位，确保短时与长时定位漂移在可控范围；
- b) 失效监测与切换：实时监测卫星信号质量（例如信噪比、可见星数量），信号弱或丢失时，0.5 s 内自动切换至 INS 主导定位，同时触发告警提示，待信号恢复后快速融合回正常定位模式。

8.2.3.3 抗干扰与误差修正设计

抗干扰与误差修正设计应符合以下要求：

- a) 抗干扰硬件：北斗接收模块采用抗多径天线与窄带滤波技术，减少电磁干扰与多径效应影响；INS 采用高精度陀螺仪与加速度计，降低振动等环境干扰；
- b) 误差修正机制：通过历史轨迹比对、地图匹配（城市场景）等算法，修正 INS 累积误差；结合星基增强信号，实时修正北斗定位误差，提升定位稳定性。

8.2.3.4 场景参数配置与通用接口设计

场景参数配置与通用接口设计应符合以下要求：

- a) 场景化参数配置：针对城市、山区、沿海等不同场景，预设定位参数（例如 INS 漂移修正频率、北斗信号搜索策略），确保在各场景下定位性能稳定；
- b) 通用接口适配：定位模块通过标准化接口（例如 CAN/UART）与飞控、通信系统交联，输出定位数据（经纬度、高度、速度等）格式统一，适配不同机型挂载需求，不影响无人机整体性能。

8.2.4 运行识别模块

8.2.4.1 双模协同发送设计

双模协同发送设计应符合以下要求：

- a) 功能配置：同时具备广播式、网络式运行识别发送功能，二者并行工作、互为备份，覆盖近距离广播与远距离网络传输场景；
- b) 发送周期：自民用无人驾驶航空器依靠自身动力移动起，至动力停止，全程自动持续发送，发送与更新间隔不大于 1 s，且不具备关闭发送的功能；
- c) 广播式链路：至少采用蓝牙 5.0（及以上）或无线宽带接入（Wi-Fi）广播模式之一，EIRP 功率按机型分级（微型无人机蓝牙不低于 1 dBm、Wi-Fi 2.4 GHz 不低于 1 dBm；轻型及以上无人机蓝牙不低于 4dBm、Wi-Fi 2.4 GHz 不低于 11 dBm），满足 GB 46750—2025 第 6.1 节的功率要求；
- d) 网络式链路：依托蜂窝网络、地面有线网络或卫星通信网络之一构建传输链路，具备网络中断后的缓存功能，恢复连接后自动重发未成功发送的信息；

- e) 禁用要求：不使用 ADS-B 作为运行识别方式。

8.2.4.2 数据格式与内容设计

数据格式与内容设计应符合以下要求：

- a) 数据包结构：严格遵循 GB 46750—2025 图 3 数据包格式，包含数据类型、版本号、数据长度、数据标识及数据内容项（可变长度）；
- b) 数据项要求：必选数据项（唯一产品识别码、实名登记标志、无人机分类等）完整发送，编码规则符合 GB 46750—2025 表 3 要求；
- c) 标识规则：数据标识第 1~7 位为内容标志位，第 8 位为扩展标志位，对应表 2 数据类型与标识要求。

8.2.4.3 防篡改与安全防护设计

防篡改与安全防护设计应符合以下要求：

- a) 信息安全：关键字段（身份标识、位置）加密传输，报文添加校验值，接收端校验失败触发重传，防止信息篡改；
- b) 硬件防护：采用硬件防拆设计（如微动开关）与固件签名校验，拆卸或硬件标识不匹配时禁用发送功能，防止模块被破坏；
- c) 飞控交联：通过加密接口与飞行控制模块绑定，模块状态实时同步至飞控，脱离飞控时停止发送。

8.2.4.4 自检与失效处置设计

自检与失效处置设计应符合以下要求：

- a) 实时自检：工作中持续自检发送模块状态，通过声音、灯光或可视化界面向操控员反馈结果，正常时无异常提示；
- b) 分级处置：起飞前自检失败则通过飞控接口禁止起飞；飞行中失效时，10 s 内触发告警并推送处置选项（悬停/返航/降落），同时本地存储信息（不小于 4 h 数据），待链路恢复后补传。

8.2.4.5 数据存储设计

数据存储设计应符合以下要求：

- a) 滚动存储运行识别信息，更新间隔不大于 10 s；
- b) 存储容量支持不小于 120 飞行小时信息存储
- c) 数据不可手动删除，满足追溯需求。

8.2.5 语音通信模块

8.2.5.1 双链路并行传输设计

双链路并行传输设计应符合以下要求：

- a) 语音采集与处理：集成降噪麦克风阵列与高清音频编解码器，通过回声消除、噪声抑制算法处理环境杂音，编码采用低时延格式，确保语音清晰可辨；
- b) 双链路并行发送：语音数据同时通过主链路（例如 4G/5G/5G-A）与备链路（例如航空专用频段）传输，接收端择优解码，减少单链路延迟影响，保障端到端传输延迟在合理范围。

8.2.5.2 冗余与快速切换设计

冗余与快速切换设计应符合以下要求：

- a) 链路状态监测：实时检测各链路语音传输质量（丢包率、延迟），设定阈值（例如丢包率不小于 0.5% 时判定异常），触发切换机制；
- b) 快速切换响应：主链路异常时，500 ms 内自动切换至备链路，切换过程中通过缓存数据平滑过渡，避免语音卡顿或断连，确保关键指令（例如应急指挥）不中断。

8.2.5.3 加密与权限管理设计

加密与权限管理设计应符合以下要求：

- a) 加密传输：语音数据动态传输采用端到端加密，密钥基于会话动态生成，防止窃听；静态配置信息采用国密算法加密存储；
- b) 权限控制：支持语音通信权限分级（例如管理员、操作员），接入时需身份认证（例如密码+设备标识），操作日志加密存储，满足合规追溯需求。

8.2.5.4 环境适应与通用设计

环境适应与通用设计应符合以下要求：

- a) 环境适应性强化：硬件采用抗振麦克风与防电磁干扰电路，软件优化降噪算法以适应低空飞行噪声（例如螺旋桨噪音），确保嘈杂环境下语音识别率不小于 95%；
- b) 通用接口适配：语音模块通过标准化接口（例如 UART/以太网）与飞控、通信系统交联，支持与运行识别、应急响应系统联动（例如报警时自动开启语音通道），适配多机型挂载需求。

8.2.6 报警输出模块

8.2.6.1 分级触发与输出设计

分级触发与输出设计应符合以下要求：

- a) 分级触发机制：按紧急程度分为一级（紧急事件，例如碰撞预警）、二级（设备故障，例如通信中断）、三级（预警提示，例如电量低），预设各级触发条件（例如一级由传感器实时监测触发，二级由系统自检触发）；
- b) 分级输出方式：一级报警采用声光联动（高频声光+屏幕闪烁）+ 多链路强推（卫星/5G-A 优先）；二级报警采用声光提示（中频声光）+ 主链路传输；三级报警采用屏幕提示 + 常规链路传输，确保各级报警被有效感知。

8.2.6.2 冗余传输与确认机制设计

冗余传输与确认机制设计应符合以下要求：

- a) 冗余传输链路：报警信息同时通过主链路（例如 5G-A/卫星通信）和备链路（例如 VHF/蓝牙广播）传输，主链失效时自动切换至备链，确保信息触达接收端；
- b) 确认与重传机制：发送端等待接收端确认回执（超时不大于 1 s），未收到则自动重传（不大于 3 次）；对一级报警采用“发送—确认—再确认”双回执机制，确保关键报警 100% 被接收。

8.2.6.3 跨模块联动设计

跨模块联动设计应符合以下要求：

- a) 系统联动触发：报警触发时，自动联动相关模块（例如一级报警启动高清视频采集单元录制现场画面，关联定位模块实时位置信息，同步推送至指挥端）；

- b) 处置指令闭环：接收端反馈处置指令后，报警系统记录指令内容与执行状态，形成“报警—联动—处置—记录”闭环，支持后续追溯。

8.2.6.4 环境适配与通用接口设计

环境适配与通用接口设计应符合以下要求：

- a) 环境适配输出：硬件采用抗振、防水（不小于 IP67）设计，确保在货舱、户外等环境下声光报警装置正常工作；低温环境（-40℃）下启用加热模块，防止屏幕或声光元件失效；
- b) 通用接口兼容：报警模块通过标准化接口（例如 CAN/UART）与飞控、通信系统交联，支持与不同品牌无人机飞控系统对接，输出报警信号格式兼容行业通用标准。

8.2.7 视频模块

8.2.7.1 高规格采集与预处理设计

高规格采集与预处理设计应符合以下要求：

- a) 采集单元配置：采用 1080P@30fps 高清摄像头，集成大光圈镜头（低光照不大于 1lux 时，信噪比不小于 40dB），支持自动对焦与曝光调节，适配昼夜及复杂光线场景；
- b) 实时预处理：通过硬件加速模块实现视频降噪、防抖、压缩（例如 H.265 编码），预处理时延不大于 10ms，确保视频流清晰且传输带宽可控。

8.2.7.2 冗余传输

冗余传输与双存储设计应符合下列要求：

冗余传输链路：视频数据同时通过主链路（5G-A/卫星通信）和备链路（航空专用频段）传输，主链失效时自动切换至备链，切换时间不大于 100ms，确保关键场景（例如报警时刻）视频不中断。

8.2.7.3 场景化优化设计

场景化优化设计应符合以下要求：

- a) 抗干扰硬件：摄像头外壳采用 IP67 防护等级，镜头带防雾涂层，适应雨雪、沙尘等环境；传输模块集成跳频与加密技术，抵御电磁干扰；
- b) 场景化调节：针对城市峡谷、山区等场景，自动开启 WDR 模式；针对高速移动场景，启用运动补偿算法，减少画面拖影。

8.2.7.4 跨模块协同设计

跨模块协同设计应符合以下要求：

- a) 联动触发机制：接收到一级/二级报警信号时，自动启动高清录制并标记关键时间点，同步关联定位信息（经纬度、高度）嵌入视频元数据；
- b) 接口适配联动：通过 CAN/UART 接口与飞控、报警系统通信，支持远程控制（例如手动触发录制、调整摄像头角度），适配巡检、应急救援等多场景需求。

8.2.8 供电模块

8.2.8.1 主备双电源协同设计

主备双电源协同设计应符合以下要求：

- a) 主电源配置：主电源接入无人机机载供电系统（适配 18–32VDC 宽电压），备用电源采用大容量锂电池（支持快充），二者通过智能切换模块并联，常态下主电源供电并为备用电源浮充；
- b) 无缝切换机制：实时监测主电源电压（例如波动不小于 $\pm 5\%$ 时判定异常），异常时 50 ms 内自动切换至备用电源，切换过程无电压尖峰，保障负载设备正常运行。

8.2.8.2 稳压与保护设计

稳压与保护设计应符合以下要求：

- a) 稳压与滤波：主电源输出端均配置多级稳压电路与低纹波滤波器，确保输出电压波动不大于 $\pm 2\%$ ，纹波系数不大于 1%，适配敏感设备（例如通信、定位模块）需求；
- b) 保护报警：集成过流、过压、过热保护电路，检测到异常时立即切断输出并触发报警（声光提示 + 飞控信号），同时记录故障信息，便于后续排查。

8.2.8.3 通用接口与功率适配设计

通用接口与功率适配设计应符合以下要求：

- a) 通用接口配置：提供多路标准化输出接口（例如 DC 5V/12V/24V），兼容 CAN/UART 协议通信，支持不同设备（包括通信模块、传感器、视频单元等）同时供电，接口带防反插设计；
- b) 功率动态分配：根据负载设备实时功率需求（例如视频传输时功率增加），通过智能功率管理模块动态分配供电，峰值功率不小于 60 W，避免过载。

8.2.8.4 应急供电保障设计

应急供电保障设计应符合以下要求：

- a) 应急续航保障：备用电源单独为应急设备（例如报警系统、卫星通信模块）供电，续航不小于 1h，满足一级报警等紧急场景需求；
- b) 低电量管理：备用电源电量不大于 20% 时，自动触发低电量告警并优先保障关键设备供电（切断非必要负载），延长应急供电时间。

9 设计验证

9.1 数据安全试验

测试目的：验证数据安全是否符合国家标准。

测试方法：数据安全试验应按以下国家信息安全标准及设计要求，进行：

- a) 数据加密与完整性验证：按 GB/T 22239—2019 中 8.1.4.7、8.1.4.8 规定执行；
- b) 访问控制试验：按 GB/T 22239—2019 中 8.1.4.2 的规定执行；
- c) 数据备份与恢复：按 GB/T 20988—2007 中 3.7 到 3.12 规定执行。

9.2 接口与电源适配试验

测试目的：验证接口与电源技术指标是否符合国家标准。

测试方法：接口与电源适配试验应按通用航空设备接口标准及相关规范进行，包括：

- a) 通信接口验证：验证串行接口波特率（100kbps/1Mbps）、32 位字长数据格式及不大于 10^{-6} 误码率；验证以太网接口不小于 100 Mbps 吞吐量、不大于 5 μ s 延迟抖动及协议一致性；
- b) 电源适配试验：按 RTCA DO-160G Section16 要求进行。

9.3 核心功能性能试验

测试目的：验证核心功能性能，符合第5章相应的指标要求。

测试方法：按相关标准及设计要求执行，包括：

- a) 定位精度与融合性能试验：按 GB/T 38152—2019、RTCA DO—160G Section25 执行，模拟城市峡谷/山区场景，通过 GNSS 参考站校验静态/动态定位误差，测试 INS 切换响应及漂移量；
- b) 多链路通信性能试验：按 GB/T 38909—2020、RTCA DO—160G Section20 执行，开展各链路速率与时延测试，模拟链路失效验证切换性能，施加电磁干扰测试抗干扰能力；
- c) 数据采集与传输完整性试验：按 GB/T 22239—2019 8.1.4.7、RTCA DO—160G Section10 执行，确认采集速率、测试预处理时延，通过哈希校验验证数据完整性及高负载适应性；
- d) 分级应急响应试验：按 GB 42590—2023、RTCA DO—160G Section13 执行，模拟各级报警场景测试触发时间，监测传输时延，验证报警与视频、定位模块联动效果；
- e) 运行识别有效性试验：按 GB 46750—2025、GB 42590—2023 执行，测试双模发送间隔、核查报文信息完整性，通过篡改测试验证防篡改机制；
- f) 语音通信性能试验：按 RTCA DO—160G Section21、GB/T 38909—2020 执行，开展端到端延迟测试，模拟链路切换验证切换性能，在噪声环境下测试语音识别率及抗干扰能力。