

机载卫星宽带通信系统部署与民航互联网运营管控方案探析

刘 岩 韩 晓

星航互联（北京）科技有限公司 北京 100089

摘 要：为解决民航机载卫星通信部署适配不足、运营管控不规范等行业痛点，本文梳理该系统核心技术架构、行业现状及政策标准体系，剖析当前部署与管控的现存问题。结合民航干线、支线、国际航线差异化场景，设计分层部署方案，构建涵盖安全、服务、数据、合规的多维运营管控体系，提出风险优化与多元保障举措，可为民航空天地一体化互联网规模化落地提供实操参考。

关键词：机载卫星；宽带通信系统部署；民航互联网；运营管控方案

引言：随着数字民航建设持续推进，机载卫星宽带通信成为完善空天地一体化网络、升级民航客舱服务的核心支撑。当前民航互联网市场快速扩容，但仍存在设备适配性差、全域覆盖不均、服务层级单一、多主体管控权责模糊等问题，制约行业规范化发展。基于相关政策与技术标准，本文针对性设计系统部署方案与运营管控体系，破解技术、合规、运营难题，助力民航互联网安全、高效、规模化发展。

1 机载卫星宽带通信系统核心理论与行业发展现状

1.1 机载卫星宽带通信系统核心架构与技术原理

（1）系统整体架构由机载终端、卫星链路、地面信关站及运营中心四大模块构成，形成“空-天-地”一体化闭环，分别完成信号收发、中继传输、网络接入及全域管控。（2）关键核心技术包括高通量卫星多波束复用、相控阵天线波束捷变、星地协同无缝切换及空口动态加密，多技术耦合保障高动态环境下的连续稳健连接^[1]。

（3）技术优势显著：相对ACARS的kbps级速率跃升至Mbps级乃至百Mbps级，覆盖范围由陆路拓展至洋区及极地全域，星地冗余链路显著增强传输稳定性，为航空互联网规模化应用奠定物理基础。

1.2 民航互联网运营行业发展现状

（1）国内宽体机已基本实现全覆盖，窄体机覆盖率过半，空中办公与休闲娱乐需求驱动用户规模及付费意愿持续攀升，市场进入快速增长期。（2）运营模式上，航司自营强调品牌一体化但投入较大；第三方合作采用分润或租赁方式降低门槛，可快速铺开；政企协同依托政策资源在重点航线探索示范应用。（3）当前舱内Wi-Fi下行速率普遍达数十至百Mbps，可支撑网页浏览与即时通讯，服务覆盖集中于国内主干航路，跨洋及高纬区域

仍存覆盖盲区，整体体验尚处优化阶段。

2 机载卫星宽带通信系统民航场景部署方案设计

2.1 系统总体部署原则与适配要求

（1）核心部署原则：安全优先贯穿全生命周期；合规适配严守民航法规；高效稳定满足舱内多用户并发；经济可控通过统型选型与资源共享降本；可扩展迭代预留升级替换空间。（2）民航适配要求：机载设备须获CAAC/FAA/EASA适航批准；射频功率及杂散规避航空导航（118-137MHz、108-118MHz）与气象雷达（5.4-5.9GHz）频段；电磁兼容通过DO-160G全项测试；实现与飞控、导航系统的物理与逻辑隔离^[2]。（3）全域服务适配：针对国内干线（高频大客流）、支线（小机型短航程）、国际航线（长航时跨区域）三类场景，差异化配置带宽、覆盖策略及切换参数，满足速率、时延及可靠性分级需求。

2.2 分场景系统部署架构设计

系统部署架构遵循“空天地一体化”设计理念，按机载端、卫星链路、地面端三个层次进行分场景部署，整体逻辑关系及主要网元组成如图1所示。（1）机载端：天线按机型选型，宽体机用低剖面相控阵，窄体机用机械伺服平板天线；通信终端集成调制解调、路由与安全模块，舱内部署Wi-Fi 6/6E吸顶AP，安装符合共形或低阻气动布局，确保不改变气动特性且维修可达。（2）卫星链路：高轨（Ka/Ku）提供广域覆盖，低轨（Ku/Q/V）补充高纬度及跨洋区域；星地切换基于信号质量与仰角触发软切换及先通后断，盲区通过多星重叠覆盖、信关站接力及地面备份链路补网。（3）地面端：在华北、华东、华南及西南建设骨干信关站，境外对接国际关口站；运维中心部署综合网管、计费及安全态势感知平

台；星地协议采用DVB-S2X（前向）与DVB-RCS2（返向），保障信令与业务高效承载。

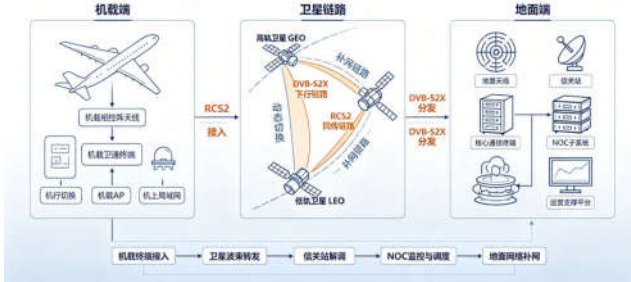


图1 分场景系统部署总体架构图

2.3 部署实施流程与关键环节管控

部署实施流程整体划分为前期筹备、落地实施和验收上线三个递进阶段，各阶段关键管控节点、决策门及质量反馈闭环如图2所示。以下按阶段阐述主要工作内容与管控要点。（1）前期筹备：完成设备比选与适航评估，提交补充型号合格证申请及试验计划；开展覆盖仿真、容量规划与资源配置，同步制定综合实施方案（技术、安全、进度）。（2）落地实施：按批准图纸进行天线基座安装、机体改造、舱内布线，部署通信机柜与AP设备并完成供电接地；依次实施单机加电、天线对星跟踪、星地链路时延与吞吐量测试，以及全网联调和冗余切换验证，全程质量控制并记录^[3]。（3）验收上线：测试吞吐量、时延、抖动、丢包率、切换成功率及安全加密性能；经适航与网络安全复核后，选取不少于三条典型航线开展三个月以上试运行，依据数据与用户反馈调优，评审通过后转入规模化推广。



图2 部署实施流程与关键环节管控流程图

2.4 部署风险识别与优化策略

（1）技术风险包括星地链路中断（雨衰、设备故障）、信号干扰（邻星及地面同频干扰）及高动态下网速波动，优化方案为部署地面冗余链路与地面应急回传通道，采用自适应编码调制（ACM）与自动功率控制应对雨衰，引入频谱感知和动态带宽分配及多链路聚合技术，确保切换中断时延控制在毫秒级。（2）合规风险涉及改装偏离STC设计、文件缺失或设备认证失效，管控措施为建立适航符合性矩阵并纳入第三方独立评审，实

施全流程制造、安装、测试与交付阶段的文件可追溯管理，定期核查证书状态并设置更新预警机制。（3）成本风险涵盖单机改装费用高昂、跨境流量资费持续支出及运维保障成本，优化策略为推进统型设备集中采购与规模化改装降低硬件单价，与卫星运营商签订长期容量批发或分润协议控制流量成本，部署预测性维护体系提升排故效率，并通过共享信关站资源及云端网管降低运营开支。

3 民航互联网运营管控体系构建与实施保障

3.1 民航互联网运营管控总体框架

民航互联网运营管控总体框架围绕“目标—主体—维度”三层逻辑构建，三者互为支撑、闭环联动，整体结构如图3所示。（1）管控核心目标聚焦飞行安全、服务规范、用户体验与网络风险防范。飞行安全为不可突破底线，所有运营不得干扰飞行操控与导航通信；服务运营须全流程合规；用户体验以可感知网络质量与稳定连接为标尺；网络风险防范贯穿设计、运维与应急全过程。（2）多层级管控主体中，民航监管部门承担规章制度制定与监督执法，航空公司作为安全第一责任主体统筹机载系统管理，通信服务商负责网络资源调度与业务承载，设备供应商提供符合适航与性能标准的硬件并承担质量追溯责任。四方权责清晰，形成监管督导、主体落实、专业支撑的管控链条。（3）全方位管控维度涵盖安全管控（飞行安全隔离与网络安全防护）、服务管控（速率、时延、可用性等指标管理）、数据管控（隐私保护与合规流转）及合规管控（适航、电信与安全法规遵从），四维交织，构成完整骨架。

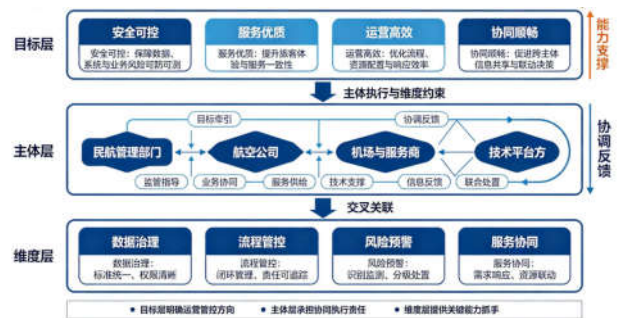


图3 民航互联网运营管控总体框架图

3.2 核心运营管控机制设计

（1）网络安全管控机制：航空专用网络与客舱互联网物理隔离，关键指令独立承载；星地链路全程国密算法与TLS加密；实施基于角色的最小权限访问管理；部署入侵检测与态势感知平台，实现风险预警与自动化处置闭环。（2）服务质量管控机制：建立全网节点常态化监测体系，对下行速率、端到端时延、抖动及丢包率

实施分钟级采集与阈值告警；统一服务等级标准，按航司、航线、舱位分级考核，定期发布服务质量报告，倒逼持续改进。（3）内容与数据管控机制：实施上网行为合规审计，依法过滤违法违规内容；用户数据去标识化存储与传输，严格限定使用范围，明确数据跨境流动规则；建立用户授权、数据脱敏及第三方共享审核全流程管理制度。（4）运营运维管控机制：建立设备生命周期管理台账，实施预防性巡检与预测性维护；制定分级故障应急预案并定期演练；全网资源由运维中心统一调度，实现链路拥塞与故障场景下的智能流量重分配与快速恢复。

3.3 差异化运营与市场化管控策略

（1）差异化服务运营中公务舱与经济舱旅客均享受同等高带宽，均可顺畅进行视频会议、大文件传输及手机视频软件（如小红书、抖音、优酷等）浏览，无速度差异；不设按流量包计费套餐，均为不限流量服务，满足多元使用需求。（2）市场化定价管控国内航线实行政府指导价上限，保障基本服务可负担，国际包机航线赋予航司定价弹性；收费须报备并明码公示，严禁隐性收费与价格欺诈，可结合世界杯、阅兵仪式等主题航班丰富服务。（3）行业竞争管控建立服务商准入资质审查与年度复评制度，明确退出触发条件与过渡保障机制，定期开展服务质量第三方评测并向社会公开排名，遏制低价低质竞争，维护公平有序市场生态。

3.4 方案实施保障措施

（1）制度保障制定《民航机载互联网运营管理办法》，细化服务标准、安全规范与考核细则，建立覆盖事前审批、事中监测、事后评价的常态化督查机制，定期修订更新以适应技术发展业务形态变化。（2）技

术保障搭建行业级运营管控平台，汇聚各航司与服务商运行数据，支持全景可视化监控与智能决策分析；升级零信任安全架构与抗量子加密防护能力；优化星地链路智能路由调度算法，提升全网资源利用效率。（3）人才与协同保障联合高校与科研院所定向培养航空通信复合型技术人才，建立跨部门联合工作组与定期联席会议制度，完善信息共享通报机制，构建监管、航司、服务商、设备商多方高效协同联动的工作格局。（4）资金保障设立机载通信专项发展基金，加大对高通量卫星适配芯片、相控阵天线国产化及智能运维平台等关键领域研发投入，对设备改装给予税收减免或财政补贴，引导社会资本参与基础设施建设与运营。

结束语

本文结合民航运行场景与行业发展需求，完成机载卫星宽带通信系统全场景部署方案设计，搭建多维度、多层级的民航互联网运营管控体系，同步梳理各类实施风险并制定优化策略。方案兼顾飞行安全、合规运营与用户体验，有效适配不同航线运营需求。后续可依托技术迭代持续优化智能调度与安全防护能力，完善市场化管控机制，推动民航机载互联网产业高质量、可持续发展。

参考文献

- [1]刘向南,赵亮,张海林.面向民用航空的非地面网络架构与机载宽带部署技术[J].电子与信息学报,2024,46(07):2412-2420.
- [2]王浩宇,李建勋.民航机载卫星互联网组网部署与安全管控机制[J].航空学报,2025,46(3):289-301.
- [3]刘畅,张鑫.民航客舱卫星宽带互联网运营模式与监管体系研究[J].民航学报,2023,9(4):78-83.