

空客机型互联网改装的关键技术与实施路径研究

孟毅

四川航空股份有限公司, 四川 成都 610202

摘要: 随着信息技术的迅猛发展, 机上互联网服务已成为航空领域的重要需求。本文系统分析了当前主流的机上互联技术路径, 包括空地宽带通信网络 (ATG)、Ku 频段卫星上网、Ka 频段卫星上网和低轨卫星方案, 探讨了其技术特点与优缺点及实际应用情况。同时, 结合不同机型的改装方案及国内外航司的实施经验, 提出了针对窄体机与宽体机的可行性技术选择建议, 为航空公司制定机上互联方案提供参考。

关键词: 空客机型; 机上互联网; 卫星通信; Ka 频段; 低轨卫星

DOI: 10.63887/fns.2025.1.3.18

引言

在航空领域为乘客提供机上通信服务已逐渐成为流行趋势, 不论在地面还是在空中, 大多数乘客都希望能保持互联网的连接。然而, 飞机的运行特点 (如高速移动与高空环境等) 为互联网接入带来了独特挑战, 目前, 机上互联技术主要依靠空地通信或者卫星通信实现, 不同技术路径各自存在着优缺点, 本文旨在分析现有技术方案的可行性, 为航空公司提供科学的选择依据。

1 机上互联技术分析

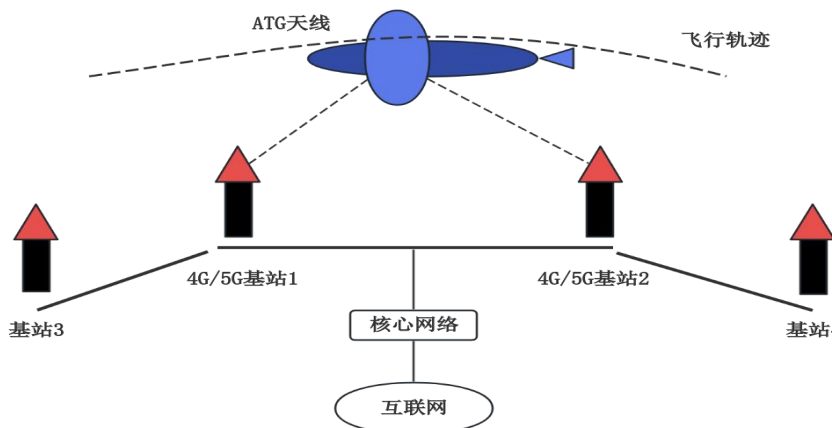
1.1 空地宽带通信网络 (ATG) 方案

ATG 方案依靠飞机与地面 4G 或 5G 基站建立通信链接, 实现空中上网功能, 该技术实现相对简单但存在显著局限性^[1]。其技术工作频率一般处在 800MHz 至

2.6GHz 的范围内, 飞机需要配备专用的 ATG 天线系统, 该系统能够自动跟踪并切换到最强信号的地面基站, 如图 1 所示的系统架构呈现出 ATG 技术的基本工作原理, 其覆盖范围受限于航路上基站的建设密度, 基站数量不足会导致信号中断, 而飞机高速移动的特性使得基站切换频繁, 严重影响上网体验的连续性。基站切换频率计算公式为:

$$f = \frac{v}{2 \times R \times \cos \theta} \quad (1)$$

其中 f 为切换频率, v 为飞机速度, R 为基站覆盖半径, θ 为飞行路径与基站连线的夹角。北美与欧洲部分区域已部署 ATG 方案, 如 Intelsat 为支线客机提供的专业服务, 国内电信与移动运营商曾积极推动 5G ATG 方案的产业化进程, 但因频率协调复杂性与技术标准统一性问题, 进展异常缓慢, 国内设备制造公司已停止相关研发活动。



宽带通信系统架构示意图

1.2 Ku 频段卫星上网方案

Ku 频段卫星方案通过飞机与地球同步轨道的 Ku 频段卫星建立通信链接,采用 12-18GHz 频率范围内的卫星通信技术,该技术方案已达到较高的成熟度水平,全球组网的体系完善,特别适合宽体机的长距离国际航线应用,但受限于频谱资源的有限性,其带宽相对较窄,从而导致上网速度表现较低^[2]。全球主要的 Ku 频段卫星运营商有 Intelsat、SES、Eutelsat 等,已经形成了覆盖全球的完整卫星网络体系,在机载设备方面松下航电的 eXConnect 系统占据着市场主导地位。Ku 频段卫星系统在全球范围内拥有最大的装机数量,国内国航、东航和南航的宽体机队普遍采用此技术方案,国航在其波音 777、空客 A330 等机型上安装松下 Ku 频段系统,东航 A330 机队 Ku 覆盖率超过 95%,Ku 频段卫星的全球覆盖特性使其成为国际航线的首选技术方案,但技术局限性主要体现在共享带宽模式导致的用户体验下降,高峰时段仅提供 1-2Mbps 的实际下载速度。

1.3 Ka 频段卫星上网方案

Ka 频段卫星方案利用更高频段的卫星通信技术实现数据传输,工作在 18-40GHz 频率范围内,相比 Ku 频段具有更宽的可用频谱资源与显著更高的频谱利用效率,其带宽更宽、上网速度较快、信号强度更高的技术特点十分突出,但目前国内可用的 Ka 频道卫星网络仅覆盖中国及周边地区,尚未实现全球范围的组网覆盖。该频段采用点波束技术与高通量卫星架构,单颗卫星可提供 100-1000Gbps 的总容量,是传统 Ku 频段的 10-20 倍,通过多点波束复用技术显著提升频谱效率。美国卫讯(Viasat)公司在欧美市场表现极为突出,其 ViaSat-2 卫星提供覆盖北美与大西洋航线的高速互联网服务,单机带宽可达 100Mbps 以上,机载终端设备采用低剖面天线设计,相比传统 Ku 频段设备在重量与安装复杂度方面均有所改善。中国卫通的 Ka 卫星网络已实现对中国及周边区域的有效覆盖,中星 16 号高通量卫星作为中国首颗 Ka 频段商用卫星,总容量达 20Gbps,支持单机 150Mbps 的峰值速率,Ka 频段

因其显著的技术优势,未来 5 年有望扩展覆盖至“一带一路”沿线地区。

1.4 低轨卫星方案

低轨卫星方案通过低轨道卫星群实现通信连接,卫星部署在约 350km 高度的轨道上,相比地球同步轨道卫星具有延时极低与下载速度极快的显著优势,其延时中值仅为 44ms,如 SpaceX 星链系统可达 300Mbps 的峰值下载速率,但该技术尚未达到完全成熟状态,国内尚无实际运营的低轨卫星网络系统。SpaceX 的 Starlink 星座计划部署 42000 颗卫星,目前已发射超过 7000 颗,工作轨道高度约 550km,采用 Ku/Ka 双频段工作模式,第二代卫星增加 E 频段,星座总容量预计达到 100Tbps 级别,该系统的机载终端采用平板相控阵天线,相比传统卫星天线在集成度和安装便利性方面具有明显优势。SpaceX 的星链系统已展示出巨大的技术潜力与商业价值,但整体技术仍处于快速发展阶段,距离大规模商业化应用仍需技术积累周期。

当前,卫星网络能够支撑全舱旅客丰富的航空互联网信息服务应用,满足飞机大量的实时数据传输,将飞机打造成“智慧飞机”,赋能航空业数字化转型,已成为航空互联网的主流选择^[3]。

2 技术方案比较与选择建议

2.1 技术方案对比

Ka 频段卫星上网方案与 Ku 频段卫星上网方案在技术性能与应用范围方面呈现出显著差异化特征。Ka 频段卫星上网方案的核心优点在于上网速度较快,能够提供显著优于传统方案的用户体验,单机带宽可达 100Mbps 以上,单用户下载速度可稳定在 30-50Mbps,上传速度达到 10-20Mbps,但其主要缺点表现为国内可用的 Ka 网络覆盖范围仅限于中国及周边地区,尚未实现全球范围的组网部署,不过根据技术发展规划,未来 5 年内 Ka 频段网络有望扩展覆盖至“一带一路”沿线国家和地区^[4]。与其他方案相比,Ku 频段卫星上网方案的突出优点体现在全球覆盖能力的完整性,能为国际长途航线提供连续稳定的网络连接服务,如 Intelsat、SES、Eutelsat 等全球主要卫星运营商已形

成覆盖全球的完整卫星网络体系，但其显著缺点在于上网速度相对较低，受限于频谱资源有限性与共享带宽模式，高峰时段实际下载速度仅能达到 1-2Mbps，因

此特别适合对带宽要求不高却需要全球覆盖的国际航线应用场景。

表 1 Ku 与 Ka 频段卫星上网方案技术对比

方案	优点	缺点	备注
Ka 频段卫星上网方案	上网速度较快	覆盖中国及周边	未来 5 年扩展至“一带一路”
Ku 频段卫星上网方案	全球覆盖	上网速度较低	适合国际航线

2.2 机型适配建议

按照飞机类型与航线需求的不同特点情况，技术方案的选择需采取差异化的适配策略，窄体机因主要执行国内及周边地区中短途航线任务，当前阶段和未来五年内都建议优先选 Ka 频段卫星上网方案，此方案能够充分发挥其高速度高带宽的技术优势，可为乘客提供优质的上网体验感受，在十年后的长期规划里可考虑升级到技术更先进的低轨卫星方案。宽体机的技术选择要依据具体航线类型做精细化配置，执行国际航线任务的宽体机，当前阶段仍建议选技术成熟且全球覆盖完整的 Ku 频段卫星方案，以此确保跨洋飞行过程中能提供连续稳定的网络连接服务，但在未来技术发展趋势下应逐步过渡到 Ka 频段或低轨卫星方案以获得更优的性能表现，而对于主要执行国内航线任务的宽体机，则可直接选择 Ka 频段卫星方案。

3 机上互联改装方案分析

3.1 改装方案类型

机上互联系统的改装方案涵盖三种不同类型技术实施路径，每种方案在成本控制与技术支持及实施周期方面特征差异显著^[5]。厂家 STC 改装方案由第三方机构提供认证服务，此方案具备改装速度快、成本相对较低的突出优势，可为航空公司提供灵活高效的改装选择，但存在技术资料更新需要航空公司自行管理的潜在风险。空客 SB 改装方案由空客原厂直接提供完整技术服务，该方案核心优势在于技术资料更新完全由空客公司负责管理，确保了技术支持的连续性和可靠性，但相应要承担更高的费用成本且改装周期相对较长。空客线装方案是指飞机在出厂阶段直接配置机上互联系统，该方案无需后期专门进行改装作业，能够

最大限度地减少改装工作对航空公司正常运营的干扰。

3.2 机型适配与改装周期

不同空客机型在结构设计与材料应用方面的差异性导致其改装适配能力和周期安排呈现出显著的差别化特征。A320 飞机作为空客窄体机的代表机型，具有良好的改装适配性且支持 STC 与 SB 两种改装方案的实施，其中 STC 方案改装周期相对较短，通常 5-8 个月可完成全部改装作业，而 SB 方案改装周期则需 12 个月的时间安排。A330 飞机宽体机的改装特性与 A320 飞机基本相似，同样支持 STC 与 SB 两种改装方案，但 STC 方案需进行原型机取证的额外程序。A350 飞机作为空客最新一代宽体机，因采用了先进的复合材料机身结构，其材料特性对于机身结构上加装卫星天线的要求极高，因此在改装方案选择上受到显著限制，仅支持空客原厂提供的 SB 改装方案且相应改装周期最为漫长，需要至少 24 个月的时间才能获取改装方案。

3.3 国内航司实施经验

国内主要航空公司在机上互联系统改装方面积累起了丰富的实施经验，形成了不同的技术选择与实施策略。国航在机上互联改装方面采取多元化技术路径，其 A350 机队采用线装方式配置 Ku 频段设备，确保了系统原厂集成质量与技术可靠性，同时在部分窄体机上通过后期改装方式加装 Ka 频段设备，充分利用 Ka 频段在国内航线上的技术优势。南航的改装策略主要聚焦于 Ku 频段技术的规模化应用，其 A350 机队同样采用线装 Ku 频段设备的方案，以此保证国际航线具备全球覆盖能力，A330 机队则通过后期加装方式配置 Ku 频段设备，川航作为国内航空公司里的创新先锋，在技术选择方面展现出前瞻性战略眼光，窄体机队则采

用成本效益更优的 STC 方案加装 Ka 频段设备,成为国内首家大规模部署 Ka 频段技术的航空公司。

4 可行性方案建议

4.1 窄体机实施方案

窄体机互联网改装方案需要在技术先进性与成本控制及实施效率间寻求最佳平衡点,依据当前技术发展水平与市场应用情况推荐采用分层次的实施策略。目前,可用的 Ka 设备的 STC 改装方案有中电科航电公司改装方案和飞天联合改装方案。中电科航电公司是中国电子科技集团子公司,承担和参与了中国民用飞机航电系统的研制工作,其相控阵平板天线集合了功耗和性能的优势,搭配 STC 改装方案,这一组合方案能够充分兼顾成本控制与技术优势两方面要求。飞天联合公司 Ka 设备搭配 STC 改装方案,这一组合方案同样兼顾成本控制与技术优势两方面要求,飞天联合公司作为国内 Ka 频段技术的领先企业,其设备在技术性能与本土化适配方面优势显著,可提供 30-50Mbps 的稳定下载速度,同时 STC 改装方案的 5-8 个月周期和相对较低成本投入,让航空公司能够快速实现窄体机队的互联网服务升级。

4.2 宽体机实施方案

宽体机互联网改装方案需要依据具体航线类型与运营需求,制定出差异化的技术策略,以此确保在不

同应用场景下都能提供最适配的技术解决方案。对于主要执行国际航线任务的宽体机而言,Ku 频段方案目前仍是现阶段的主流选择,可用的 Ku 设备改装方案有空客 SB 改装方案和松下航电的 STC 方案。空客 SB 方案结合松下 Ku 设备的组合配置,该方案借助松下航电在全球航空互联网市场的技术领先地位和成熟产品体系,能够保证在全球范围内提供连续稳定的网络连接服务,同时空客原厂 SB 方案保证了技术支持的可靠性与系统集成的完整性;松下航电的 STC 改装方案,宽体机因为承担着更多国际长途航线任务,所以对系统可靠性与全球覆盖能力要求更高。

结语

机上互联技术的选择需综合考量技术成熟度、覆盖范围、机型适配以及改装成本等诸多因素。当前阶段,Ku 和 Ka 频段卫星方案成为国内航司的主要选用方向,而低轨卫星方案在未来拥有巨大潜力。航空公司需要依据自身机队特点与航线布局情况,分阶段地推进机上互联改装计划,同时密切关注低轨卫星技术的发展动态,为未来的技术升级预留足够的空间。随着卫星互联网技术的持续不断进步以及国内新基建的深入推进实施,机上互联服务会进一步提升服务质量,为乘客带来更加优质的空中上网体验,推动航空业数字化转型的全面深入发展。

参考文献

- [1]何文婷,段启云,时紫剑,等. 卫星通信在航空互联网中的应用[J]. 卫星应用,2023,(03):18-22.
- [2]李志明,任明翔,阳锦,等. 民航飞机智慧维修+工业互联网关键生态要素研究[J]. 航空维修与工程,2022,(08):26-31.
- [3]陈智超. 基于 5G+工业互联网的大飞机智能制造研究[J]. 应用激光,2021,41(01):136-140.
- [4]刘天华,林静,王丽,等. 面向“互联网+”的民机数据链系统发展趋势[J]. 电讯技术,2022,62(08):1195-1200.
- [5]李钢. 民航飞机运行阶段接入互联网技术方案研究[D]. 厦门大学,2019.