

民用飞机卫星互联网产业链及未来趋势研究

李高生

中电科航空电子有限公司航电事业部, 四川 成都

收稿日期: 2025年11月3日; 录用日期: 2025年11月26日; 发布日期: 2025年12月2日

摘 要

民用飞机卫星互联网属于卫星通信与互联网结合交叉领域, 由卫星资源方、基础电信运营商、互联网服务提供商、系统集成商、设备供应商、Portal及内容提供商六个角色组成, 每个角色有不同的角色定义、职责和主管部门。国外卫星互联网产业趋于成熟, 目前已形成了以松下航电、Honeywell、Thinkom等单位为代表的, 以机械式天线解决方案和VICTS天线解决方案为主流的态势, 且国外典型厂家面向未来低轨卫星发展趋势, 纷纷提出了下一代宽带卫星通信解决方案, 以适应航空公司高服务等级协议(SLA)和全生命周期成本的要求。文章结合卫星互联网产业链和国外发展分析, 从产品发展路线、产品质量和可靠性、全生命周期成本等三个方面提出了民用飞机宽带卫星通信系统国内外供应商发展建议。

关键词

卫星互联网, 服务等级协议, 全生命周期成本

Research on the Industrial Chain and Future Trends of Civil Aircraft Satellite Internet

Gaosheng Li

Department of Avionics, China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu Sichuan

Received: November 3, 2025; accepted: November 26, 2025; published: December 2, 2025

Abstract

Civil aircraft satellite internet is a product of the integration of satellite communications and the internet, consisting of six roles: Satellite Resource Providers, Basic Telecommunications Operators, Internet Service Providers, System Integrator, Equipment Suppliers, and Portal & Content Providers. Each role has a distinct definition and corresponding competent authority. The foreign satellite internet industry tends to be mature. At present, a situation has been formed where companies

such as Panasonic Avionics, Honeywell, and Thinkom are representative, with mechanical antenna solutions and VICTS antenna solutions as the mainstream. In response to the future development trend of low-orbit satellites, typical foreign manufacturers have successively proposed next-generation broadband satellite communication solutions to meet airlines' requirements for high Service Level Agreements (SLA) and full-life-cycle costs. Based on the analysis of the satellite internet industry chain and foreign development, this article puts forward suggestions for the development of domestic and foreign suppliers of civil aircraft broadband satellite communication systems from three aspects: product development roadmap, product quality and reliability, and full-life-cycle costs.

Keywords

Satellite Internet, Service Level Agreements, Full-Life-Cycle Cost

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

民用飞机卫星互联网[1]是指利用卫星作为中继站,为飞机上的乘客和机组人员提供高速互联网接入和数据传输服务的技术。它本质上是卫星通信与互联网相结合的产物,通过无线链路(用户终端→舱内无线局域网→卫星→地面关口站→互联网/专网)来传输数据,实现飞机与地球站或用户终端的高速数据连接。2021年《中国民航新一代航空宽带通信技术路线图》发布,路线图指出,到2035年底,主要目标是构建空天地一体化的新一代航空宽带通信体系,实现民航行业应用“全覆盖”,全面实现民航生态圈各要素终端泛在互联、信息互操作共享,为实现民航“出行一张脸、物流一张单、通关一次检、运行一张网、监管一平台”的现代化民航基础设施体系奠定坚实基础,宽带卫星互联网将在构建空天地一体化体系中发挥重要作用。

2024年8月20日,东方航空MU5101航班使用亚太6D卫星,实现了系统速度最高超过220 Mbps的空中高速上网体验,这标志着中国在民用飞机卫星互联网宽带技术应用上取得了重要突破。目前东航下属公司空地互联机队规模已达118架,已开通全球194个国家地区的247个城市1200+条航线,已完成商业运营模式的初步探索,为民用飞机卫星互联网的商业化推广积累了宝贵经验。

中星系列、亚太系列国内卫星的覆盖区域的逐步完善,为飞机卫星互联网提供了更广泛、更稳定的网络支持;国内机载系统设备供应商在研发、制造、试验、验证方面能力的逐步提升,能够提供更先进、可靠的机载设备,保障飞机与卫星之间的数据传输稳定高效;以空地互联为代表的互联网服务提供商商业模式的逐步探索,为市场注入活力,推动民用飞机卫星互联网产业形成完整的生态链条,从卫星运营、设备制造到服务提供,各环节协同发展,国内卫星互联网进入了快速发展期。

基于民用飞机卫星互联网蓬勃发展但国内未规模化应用的现状,本文结合行业发展趋势及工程实践,阐述卫星互联网产业现状、未来展望及机载系统发展考虑。第一章分析国内外民用飞机卫星互联网产业链相关方及主要职责,第二章站在当前的时间节点归纳总结全球民用飞机卫星互联网发展现状,第三章基于卫星网络的发展对2030年民用飞机卫星互联网进行展望,梳理不同卫星解决方案优劣,归纳整理航空公司关注点,第四章结合第三章梳理内容,对国内机载系统供应商卫星互联网系列化和产业化发展提出建议。

2. 民用飞机卫星互联网产业链分析

民用飞机卫星互联网产业链包含多个关键角色，每个角色都承担着独特的职责，且受不同部门管理，各角色协同合作，共同推动产业的发展。

2.1. 卫星资源方

卫星资源方在产业链中处于基础核心地位，其主要职责是提供卫星资源。这些卫星如同太空中的“神经节点”，为飞机与地面之间的数据传输搭建起关键的空中桥梁。

2.2. 基础电信运营商

基础电信运营商具备基础电信运营执照，在产业链中扮演着至关重要的角色，主要负责以下工作：

1) 卫星网络构建：承担建设和维护卫星转发器、地面站、关口站等卫星通信技术设施的责任，这些设施是卫星通信网络的重要组成部分，如同地面通信的基站，保障着信号的接收、发送和中转。

2) 频率管理：负责申请和管理卫星通信频率，确保与其他通信系统的兼容性。频率是卫星通信的“通行证”，合理的频率管理能避免信号干扰，保证通信的顺畅进行。

3) 网络安全[2]保障：在复杂的网络环境中，保障卫星通信网络的安全，防止数据泄露、网络攻击等风险，是基础电信运营商的重要职责，为用户数据和通信安全保驾护航。

4) 提供基础通信服务：如话音、数据传输、宽带接入等，满足用户在飞机上的基本通信需求，是整个卫星互联网服务的基础支撑。

基础电信运营商开展卫星通信业务须遵循工信部令 7 号文《建立卫星互联网和设置使用地球站管理规定》，受工信部管理，这确保了其业务开展的规范性和合法性。

2.3. 互联网服务提供商

互联网服务提供商通过租赁基础电信运营商的卫星宽带资源，向航空旅客提供互联网接入和定制化内容服务，为旅客带来丰富的空中上网体验。同时，其还负责用户管理和安全防控，落实实名制和数据本地化要求，遵循《数据安全法》，受网信办管理，保障用户合法权益的同时，也维护了数据安全和网络秩序。

2.4. 系统集成商

系统集成商统筹负责卫星资源、基础电信运营、互联网服务、设备供应、门户 Portal 及内容提供等环节中的部分或全部工作，对服务等级协议(SLA)负责。其按照适航流程[3]开展系统设备研制，受民航局管理，确保系统设备符合航空安全标准，能够可靠地在民用飞机上运行，是产业链中各环节协同工作的重要保障。

2.5. 设备供应商

设备供应商提供民用航空机载设备，按照适航流程开展系统设备研制，受民航局管理。

2.6. Portal 及内容提供商

Portal 及内容提供商提供航空公司 portal、第三方软件和运营内容，由航空公司管理。这些内容丰富了旅客的空中娱乐和信息获取渠道，提升了旅客的出行体验，是民用飞机卫星互联网服务中不可或缺的一环，推动着服务内容的不断创新和优化。

各角色小结如表 1 所示：

Table 1. Analysis of the satellite internet industry chain for civil aviation aircraft
表 1. 民用飞机卫星互联网产业链分析

序号	角色	职责	备注	角色细化
1	卫星资源方	提供卫星资源		
2	基础电信运营商	1、卫星网络构建 2、频率管理 3、网络安全保障 4、提供基础通信服务	受工信部管理	2.1 地面网管 2.2 地面站 2.3 卫星转发器
3	互联网服务提供商	1、提供互联网接入和定制化内容服务 2、用户管理和安全防护	受网信办管理	3.1 实名认证 3.2 带宽管理
4	系统集成商	统筹负责序号 1~6 或者部分, 对 SLA 负责		
5	设备供应商	提供民用航空机载设备	受民航局管理	5.1 调制解调器 MODMAN 5.2 天线 5.3 天线供电单元 KPSU 5.4 WIFI 系统
6	Portal 及内容提供商	提供航空公司 portal、第三方软件和运营内容	航空公司管理	6.1 门户 Portal 6.2 第三方内容

3. 民用飞机卫星互联网 2025 年发展现状

3.1. 国内外典型单位

2025 年卫星互联网尚处于高轨时代, 各角色代表厂家有:

- 1) 卫星资源方[4]: Ka 频段主要是 Viasat 和中国卫通; Ku 频段主要是 Intelsat 和亚太 6D;
- 2) 基础典型运营商: 中国电信、中国卫通、中国移动;
- 3) 互联网服务提供商: 空地互联、星航互联等;
- 4) 系统集成商: 松下航电 PAX、Viasat、Intelsat 等;
- 5) 设备供应商: Ku 频段机械式天线解决方案代表, 松下航电 PAX; Ka 频段机械式天线解决方案代表 Honeywell 和 Viasat; Ka Vics 天线解决方案代表, Intelsat; Ku Vics 天线[5]解决方案代表, Thinkom;
- 6) Portal 及内容提供商: 以 ANUVU 为代表, 负责内容聚合与门户服务, 连接用户与内容资源。

3.2. 系统集成商

系统集成商是产业链的核心整合者, 需对系统 SLA(服务等级协议)负责, 但不同系统集成商结合自身能力, 管控范围有所差别, 比如:

- 1) 松下航电: 对系统 SLA 负责, 集成了表 1 中的 2.1~6.1 共 10 个角色;
- 2) Intelsat: 对系统 SLA 负责, 集成了表 1 中的 2.1~6.2 共 11 个角色。

3.3. 全球装机情况

各解决方案全球装机情况如表 2 所示。

3.4. 小节

整体来看, 机械式天线解决方案仍占据主导地位(合计 59.7%), 但 VICTS 等新型天线技术(25.8%)正逐步渗透, 反映出市场对更高性能、更灵活通信方案的需求升级。同时, Ka 频段方案(合计 46.3%)的整体占比已超过 Ku 频段[6] (合计 39.2%), 预示着高带宽应用场景的加速拓展。

Table 2. Global installation status of different satellite internet solutions for civil aviation aircraft
表 2. 民用飞机卫星互联网不同解决方案全球装机情况

序号	卫星互联网解决方案	装机情况	代表厂家
1	Ka 频段机械式天线解决方案	约 4200 架, 占比 37.4%	Honeywell/Viasat
2	Ku 频段机械式天线解决方案	约 2500 架, 占比 22.3%	松下航电 PAX
3	Ku 频段 VICTS 天线解决方案	约 1900 架, 占比 16.9%	Intelsat
4	Ka 频段 VICTS 天线解决方案	约 1000 架, 占比 8.9%	Thinkom
5	其他(ATG、低轨等)	约 1600 架, 占比 14.5%	

4. 民用飞机卫星互联网 2030 年未来展望

4.1. 低轨卫星网络的发展

在全球科技快速发展的浪潮中,低轨卫星网络[7][8]正迎来蓬勃发展的黄金时期,国内外众多企业和机构纷纷布局,推动着整个行业的不断演进。目前国内外都呈现出快速发展的态势,涌现出了多个具有代表性的低轨星座。

主要低轨星座代表有:

- 1) Amazon Kuiper: Ka 频段, 计划部署 3226 颗卫星, 支持星间链路;
- 2) Telesat Lightspeed: Ka 频段, 计划部署 198 颗卫星, 支持星间链路;
- 3) SpaceX starlink: Ku 频段, 计划部署 42,000 颗卫星, 规模优势显著, 部分支持星间链路;
- 4) OneWeb: Ku 频段, 计划部署 648 颗卫星, 无星间链路;
- 5) Spacesail 千帆: Ku 频段, 计划部署 15,000 颗卫星, 支持星间链路;

4.2. 国内外典型单位

低轨卫星时代卫星互联网产业链各角色代表厂家有:

- 1) 卫星资源方: Ka 频段主要是 Amazon、Telesat 等; Ku 频段主要是 Starlink、OneWeb、千帆;
- 2) 基础典型运营商: 中国卫通等;
- 3) 互联网服务提供商: 空地互联等;
- 4) 系统集成商: 松下航电 PAX、Viasat、Intelsat 等;
- 5) 设备供应商: 在 3.3 节介绍;
- 6) Portal 及内容提供商: 以 ANUVU 为代表, 负责内容聚合与门户服务, 连接用户与内容资源。

4.3. 国际宽带卫星通信系统供应商产品演进路线

国际宽带卫星通信系统供应商产品演进路线如表 3 所示:

Table 3. Civil aircraft satellite internet next-generation solutions

表 3. 民用飞机卫星互联网下一代解决方案

序号	代表厂家	目前产品	下一代产品趋势
1	PAX 松下航电	eXConnect200 eXConnect500	Ku 频段相控阵体制天线解决方案, 可实现高低轨兼容
2	Viasat	Viasat Exede	多轨道兼容

续表

3	Thinkom	ThinAir GT1717 ThinAir GT2517	Ka 频段 Victs+相控阵双体制天线解决方案，可实现高低轨兼容
4	Honeywell	Jetwave300 Jetwave500	相控阵体制天线解决方案，可实现高低轨兼容

4.4. 不同卫星通信解决方案对比

结合工程实际，从重量、尺寸、俯仰范围(影响卫星通信高纬度通信能力)、可靠性、成本、技术成熟度、低轨兼容性、供应链风险等 9 个维度进行分析，具体如表 4 所示。

Table 4. Comparison of different satellite communication solutions

表 4. 不同卫星通信解决方案对比

序号	维度	机械式天线卫星通信解决方案	相控阵天线卫星通信解决方案	VICTS 天线卫星通信解决方案
1	重量	约 150 Kg	约 80 Kg	约 100 Kg
2	尺寸 LWH	约 2 m × 1 m × 0.4 m	约 1.5 m × 1 m × 0.1 m	与相控阵天线卫星通信解决方案相当
3	俯仰范围	稍优于 VICT 天线 S 卫星通信解决方案	20°~90°	100°~90°
4	可靠性	弱于相控阵天线卫星通信解决方案	15,000 飞行小时	与相控阵天线卫星通信解决方案相当
5	成本	与相控阵天线卫星通信解决方案相当	/	与相控阵天线卫星通信解决方案相当
6	技术成熟度	较高	一般	较高
7	低轨兼容性	不能与低轨兼容	兼容性好	兼容性弱于相控阵卫星解决方案
8	供应链风险	风险较大	风险较小	风险较小

4.5. 航空公司关注点

在国内民用航空的空地互联系统部署中，SLA (服务等级协议)与成本是航空公司决策的两大核心维度，二者共同塑造着行业技术选择与服务能力的边界。

1) SLA：用户体验与运营稳定的双重底线

SLA 作为航空公司与服务提供商之间的核心契约，其本质是对空地互联系统“可靠性”的量化承诺，直接关联乘客体验与航司运营效率。

SLA 典型计算公式如下：

$$SLA = [(总服务时间 - 计划维护时间 - 豁免情况)/总服务时间] \times 100\%$$

(1) 总服务时间：国内飞行场景，假设 100 架飞机，每架每天的服务时长为 10 小时，则 30 天的总服务时间为 30000 万小时。

(2) 计划维护时间：系统集成商提前通知的计划性维护时长，如每月共 300 小时，计划维护需要提前 3 个工作日通知，单次单架维护时间 ≤ 3 小时。

(3) 不计算豁免情况的前提下，上述假设场景 SLA 为 99.99%。

(4) 核心指标：每个乘客获得的宽带上行 ≥ 2 Mbps，下行 ≥ 5 Mbps，达标时长 $>95\%$ 。

(5) 豁免情况：超高纬度飞行，允许时间范围内的卫星切换等。

从核心指标看，SLA 涵盖空地网络的可用性、吞吐量、时延、中断恢复时间等关键性能。其中，可用性是最受关注的指标——航空公司普遍提出不低于 95% 的要求。这一数字背后是严苛的时间约束：按全年 365 天计算，意味着系统全年有效服务时间占比需超 95%，年均不可用时间需控制在约 18 天以内。这 18 天的“容错空间”，既是对乘客体验的保障，也是对航司运营的兜底：如今乘客对机上网络的依赖已从“可选”变为“必需”，办公、娱乐、社交等需求需要稳定支撑。

95% 的 SLA 要求，实则是航司对“用户满意度”与“运营风险”的平衡选择。低于这一指标可能导致乘客投诉率上升、品牌口碑受损，甚至影响商务客群的选择；而过高的指标(如 99%)则可能大幅推高成本，超出行业普遍承受能力。

2) 成本：全生命周期视角下的多维考量

航空公司对卫星互联网解决方案的成本[9]考量，需置于全生命周期框架下审视，涵盖五个相互关联的维度：

(1) 目前方案装机成本：作为初始投入的核心，包括机械式/VICTS/相控阵设备的采购费用与安装费用。这部分成本直接影响航司的短期现金流，也是中小型航司决策时的重要门槛。

(2) 方案升级/替换成本：技术迭代带来的“未来成本”。随着相控阵等下一代技术的成熟，航司需考虑从现有机械式解决方案升级的费用——这不仅涉及设备更换，还可能包括机身适配、系统调试等隐性支出。

(3) 流量成本：持续的“运营消耗”。航司需向互联网服务提供商或基础电信运营商支付流量费用，其高低与乘客使用强度、航司提供的流量套餐策略直接相关，是长期运营中占比稳定的成本项。

(4) 持续适航[10][11]成本：保障系统合规运行的“维护成本”，包括维修、备件储备、日常检查等费用。

(5) 政治风险成本：地缘政治变化带来的“不确定性成本”。例如，部分依赖特定国家卫星资源的方案，可能因国际局势变动导致服务中断或设备替换，由此产生的额外支出虽难以预判，却需纳入长期风险评估。

4.6. 小节

综合低轨卫星星座建设未来发展以及国际主流厂商产品演进路线来看，未来民用航空卫星互联网解决方案以相控阵天线解决方案为主，Ku 频段和 Ka 频段解决方案共存，可实现高低轨兼容。这一趋势不仅体现了技术的不断进步，也反映了市场对于更高效、更灵活的卫星通信服务的迫切需求，同时航空公司 SLA 和成本的平衡，也为整个民用飞机卫星互联网带来新和挑战。

5. 民用飞机宽带卫星通信系统国内供应商发展建议

综合技术发展趋势、国内外发展现状和航空公司运营要求，民用飞机宽带卫星通信系统国内供应商建议考虑以下几个方面：

1) 结合自身发展优势，明确自身发展路线

从表 2 民用飞机卫星互联网不同解决方案[12]全球装机情况来看，没有一种解决方案可以占领 100% 市场，从表 3 民用飞机卫星互联网下一代解决方案来看，未来产品趋势亦是多种产品形态存在。国内供应商应结合自身技术优势，结合未来低轨发展趋势，明确发展路线，定义当前产品和下一代产品形态以及两者的兼容性和延续性(比如机械式天线/VICTS 天线卫星通信解决方案是当前产品，应提前开展面向

高低轨卫星网络的相控阵式天线卫星系统解决方案布局)。

2) 保证产品质量和可靠性

民用飞机宽带卫星通信系统研发周期长(5~10年),投入经费高,商业运营表现与卫星网络(覆盖情况、波束切换时间、不同区域分配带宽)、装机产品(可靠性、初始产品质量)等因素息息相关,结合航空公司SLA和全生命周期成本管控的要求,要求供应商从设计阶段需充分捕获需求(运营需求及设计需求),加强不同场景验证,避免出现运营盲点(比如西至喀什、东至佳木斯、南至南沙群岛、北至漠河机场边界验证,比如不同卫星波束切换边界的验证,充分验证卫星网络、机载系统与地面保障系统的协调性)。

3) 以客户为中心,降低全生命周期成本

航空公司在选择民用飞机宽带卫星通信系统时,不仅关注产品的性能和质量,还非常重视供应商的全生命周期服务能力。国内供应商应建立完善的服务体系,包括安装调试、售后维修等环节。在产品的设计阶段,要充分考虑维修的便利性,例如采用模块化设计,便于故障排查和部件更换;在运营阶段,要建立实时监控系统,及时发现和解决通信故障,确保系统的稳定运行。此外,还可以为航空公司提供增值服务,如数据分析服务,通过对乘客的网络使用数据进行分析,为航空公司优化航线布局、提升服务质量提供参考依据。

6. 结语

在国外民用飞机卫星互联网产业趋于成熟的前提下,目前国内航空公司正面临技术迭代与需求增长的双重压力;国内卫星互联网产业正在如火如荼地开展,正在经历国产空地互联系统由1到N的阶段,民用飞机卫星互联网各关键角色协同发展,为中国卫星互联网产业做出贡献。

参考文献

- [1] 李若楠, 欧佳瑜. 浅析卫星互联网发展现状[J]. 中国无线电, 2025(2): 45-47.
- [2] 张晓菲, 曹禹, 等. 关于卫星互联网网络安全风险的研究[J]. 中国信息安全, 2025(1): 72-76.
- [3] Society of Automotive Engineers (2010) Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems: SAE ARP4754A. Society of Automotive Engineers.
- [4] 许音. 卫星通信在航空公司机上互联业务的商业应用及分析[J]. 通信世界, 2023(7): 54-58.
- [5] 韩旭晨. 宽带低剖面 VICTS 天线技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国电子科技集团公司电子科学研究院, 2025.
- [6] 史宏伟, 宋玉梅. 基于 Ku 频段静止轨道卫星的机载宽带通信网络技术的研究[J]. 航空维修与工程, 2016(7): 35-38.
- [7] 张静, 张珣. 对 OneWeb 卫星星座系统发展的思考[J]. 中国无线电, 2025(1): 40-43.
- [8] 李毅, 侯睿, 张更新. 发展我国低轨卫星通信星座系统的思考[J]. 国际太空, 2018(4): 62-65.
- [9] 孙雨辰. 基于系统工程理论的民用飞机成本问题研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2020(1): 61-69.
- [10] 吴光辉, 马小骏, 吉凤贤, 等. 民用飞机运营支持概论[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [11] Federal Aviation Administration (2013) Airworthiness Standards: Transport Category airplanes, No.137: FAR-25. Federal Aviation Administration.
- [12] 张鑫, 李高生, 庞珂, 等. 具备卖方提供设备与买方提供设备要素的民用飞机混合选型模式研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2022(3): 118-122.