

doi:10.3969/j.issn.1002-0802.2017.11.016

基于星基的 ADS-B 系统现状及发展建议^{*}

王洪全, 刘天华, 欧阳承曦, 姚待艳

(中电科航空电子有限公司, 四川 成都 610091)

摘 要: 飞行安全一直是航空业关心的首要话题。广播式自动相关监视 ADS-B 技术可实现民机实时动态检测, 报告飞机位置和状态; 陆基 ADS-B 受制于系统布置限制, 难以实现洋区、沙漠、高山峡谷等地区的覆盖; 基于星基的 ADS-B 系统可实现全球覆盖, 完成对飞机的全球飞行追踪和实时监控。这里对现有铱星二代和全球星二代 ADS-B 系统的系统概况、体系结构和系统性能进行分析, 并对 ADS-B 系统的发展提出建议, 提出构建“空-天-地”一体的多手段全球监视系统是未来的发展趋势。

关键词: 星基 ADS-B; 民航; 飞机; 空管; 铱星; 全球星

中图分类号: TN919.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-0802(2017)-11-2483-07

Situation and Development of Satellite-based ADS-B System

WANG Hong-quan, LIU Tian-hua, OUYANG Cheng-xi, YAO Dai-yan

(Avionics Co., Ltd., CETC, Chengdu Sichuan 610091, China)

Abstract: Flight safety is always a top concern for the airline industry. ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) can report the location and status, of the aircraft, realize real-time dynamic detection of civil aircraft. Ground-based ADS-B system is difficult to achieve the coverage of ocean, desert, alpine and gorge region, while the satellite-based ADS-B system can realize global coverage and complete the global flight-tracking and real-time surveillance. The system overview, architecture and performance of 2G Iridium and Global star ADS-B system are introduced, and suggestions for the development of ADS-B system also given. It is pointed out that the building-up of integrated “space-air-ground” surveillance system and implementation of multi-way global surveillance is the future development trend.

Key words: satellite-based ADS-B; civil aviation; aero craft; air traffic management; iridium; global star

0 引 言

飞行安全是涉及社会和民生的大事。随着航空工业的发展, 一方面飞机自身的安全性、可靠性和对恶劣环境的抵抗性等方面已经达到了较高水平, 且仍在持续改进设计; 另一方面, 在当前复杂的国际形势和反恐局势下, 人为因素和其他外在因素对飞行安全的影响不可小觑, 如马航 MH370 事件就发人深省。虽然通过技术手段飞机飞行安全系数得到了全面提升, 但是在安全体系设计方面仍存在不足。

自动相关监视技术 (ADS-B) 是一种基于卫星

定位、实现飞行器监视和追踪的空管新技术, 是新一代空管系统的基石。传统陆基 ADS-B 系统主要由空中机载发射机和地面接收基站组成, 受制于系统布置限制, 一般沿民航航路航线、机场终端区等陆地区域进行布置, 很难实现对洋区、沙漠、高山峡谷等特殊地区的覆盖。据统计, 全球 90% 的区域没有实现飞行监视覆盖。基于星基的 ADS-B 系统可有效克服陆基 ADS-B 系统的不足, 可用于陆基 ADS-B/ 雷达难以覆盖或无法覆盖的空域, 从而形成一个全球无缝的 ADS-B 覆盖网络^[1]。基于星基的

^{*} 收稿日期: 2017-07-10; 修回日期: 2017-10-18 Received date:2017-07-10; Revised date:2017-10-18

ADS-B 系统借助低轨道通信卫星的强大覆盖能力,将 ADS-B 收发信机安装到通信卫星上。通信卫星通过其 ADS-B 设备接收飞机发送的 ADS-B 报告,再通过卫星通信信道下传给卫星地面站,卫星地面站通过地面网络将 ADS-B 报告传递给地面相关实体(如 ATC 中心、航空公司等),实现 ADS-B 全球覆盖,完成对飞机的全球飞行追踪和实时监控^[2]。

1 星基 ADS-B 系统发展现状

目前,欧洲、美国、亚洲均开展了基于星基的广播自动相关监视 ADS-B 方面的研究工作,较为成熟的有“铱星二代”系统和“全球星二代”系统。

1.1 铱星二代 ADS-B 系统

1.1.1 系统概述

铱星系统是由美国摩托罗拉 1987 年提出设计,包括 66 颗低轨卫星,采用 L 频段,为移动通信用户提供服务,实现了包括南北极地区在内的全球范围覆盖。Iridium-Next 系统是第二代铱星系统,其建设目标包括提高数据传输速率、更高的话音质量、灵活频带分配、提供更强的业务和设备等^[3]。2017 年 1 月 14 日,第一批 10 颗 Iridium-Next 卫星成功发射,已经完成了一系列严格的测试和验证。目前,SV106 号卫星可为全球提供现场语音和数据通信,铱星二代卫星如图 1 所示。

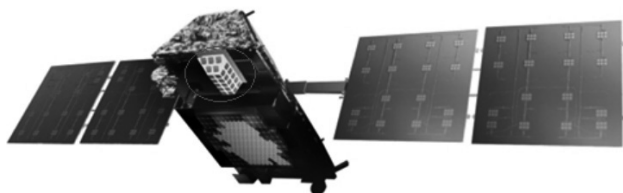


图 1 搭载 ADS-B 接收机的铱星二代卫星系统

如图 1 所示,Iridium-Next 卫星上携带 Harris 公司研制的 1090ES 型 ADS-B 载荷,载荷重量约 50 kg,尺寸约 30 cm × 40 cm × 70 cm,平均功耗 50 W 左右,可实现单星监视 3 000 个目标,处理 1 000 个以上目标,可用于飞机飞行监视和追踪飞机位置报告服务。它的主要目标用户是空管、搜救及军方用户。

1.1.2 体系结构

Aireon 的星基 ADS-B 系统是通过在铱星二代卫星上搭载 ADS-B 接收机实现的,从而实现在地球海洋上空、偏远地区上空以及其他无雷达覆盖区域上空提供飞机位置报告服务。目前,Aireon 的星基 ADS-B 系统只在卫星上安装 1090-ES ADS-B 接

收机,没有安装 ADS-B 发射机。因此,该系统主要用于飞行监视和追踪,没有 TIS/FIS 上传能力,其系统架构如图 2 所示。

如图 2 所示,搭载 ADS-B 载荷的铱星系统接收到飞机位置信息后,通过铱星地面关口站传输至 ADS-B 处理中心,而该处理中心同时处理 ADS-B 地面站接收到的飞机信息。整个系统信息运行流程如图 3 所示。

通过 Aireon 星基 ADS-B 系统,可提供飞机定位与紧急情况响应追踪服务。目前,该服务可免费提供给航空公司等团体。飞机信息通过卫星传输、汇集至地面关口站,并通过专有网络传输至处理中心,位于处理中心的 Aireon 告警服务 24 小时不间断运行,向得到授权的搜寻营救组织提供飞机(安装有 1090-ES ADS-B 应答机)飞行空域的位置信息和最后航迹。

1.1.3 系统性能

Aireon 的星基 ADS-B 系统,目前只考虑了在卫星上安装 1090-ES ADS-B 接收机,没有考虑安装 1090-ES ADS-B 发射机。因此,该系统主要用于飞行监视和追踪,没有 TIS/FIS 上传能力。它的主要性能如下:

(1) 适用性:兼容所有符合 DO-260 标准的 1090ES ADS-B 设备;

(2) 覆盖范围:可实现全球范围内不间断的覆盖;

(3) 可用性:大于 99.9%;

(4) 容量:每个点波束 1 000 架飞机;

(5) 时延:ATC 检测追踪小于 1.5 s;

(6) 更新速率:95% 的响应速度小于 8 s;

(7) 部署:已经部署完毕,2018 年 9 月将提供全球的星基 ADS-B 服务。

1.2 全球星二代 ADS-B 系统

1.2.1 系统概述

美国全球星公司和 ADS-B 技术公司联合推出了基于全球星二代卫星的 ADS-B 链路增强系统 ALAS (ADS-B Link Augmentation System)。该系统是一种简单、低成本的外围设备,可兼容现有 ADS-B 航空电子设备,不会干扰飞机正常的 ADS-B 发送^[4]。ALAS 采用全球星二代的卫星网络和卫星地面站,为空中交通管制提供 ADS-B 监视及通信服务。全球星二代卫星和 ALAS 载荷如图 4 所示。

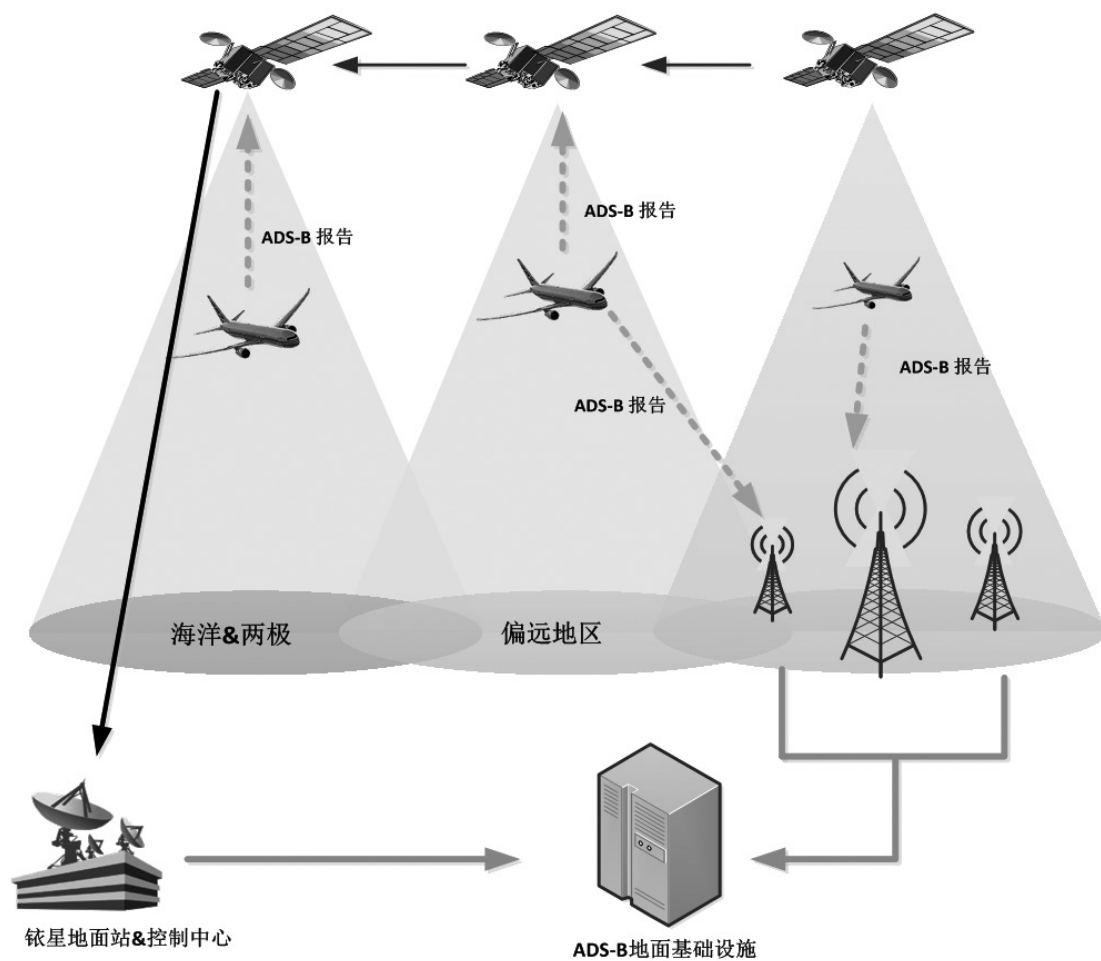


图 2 Aireon ADS-B 系统架构

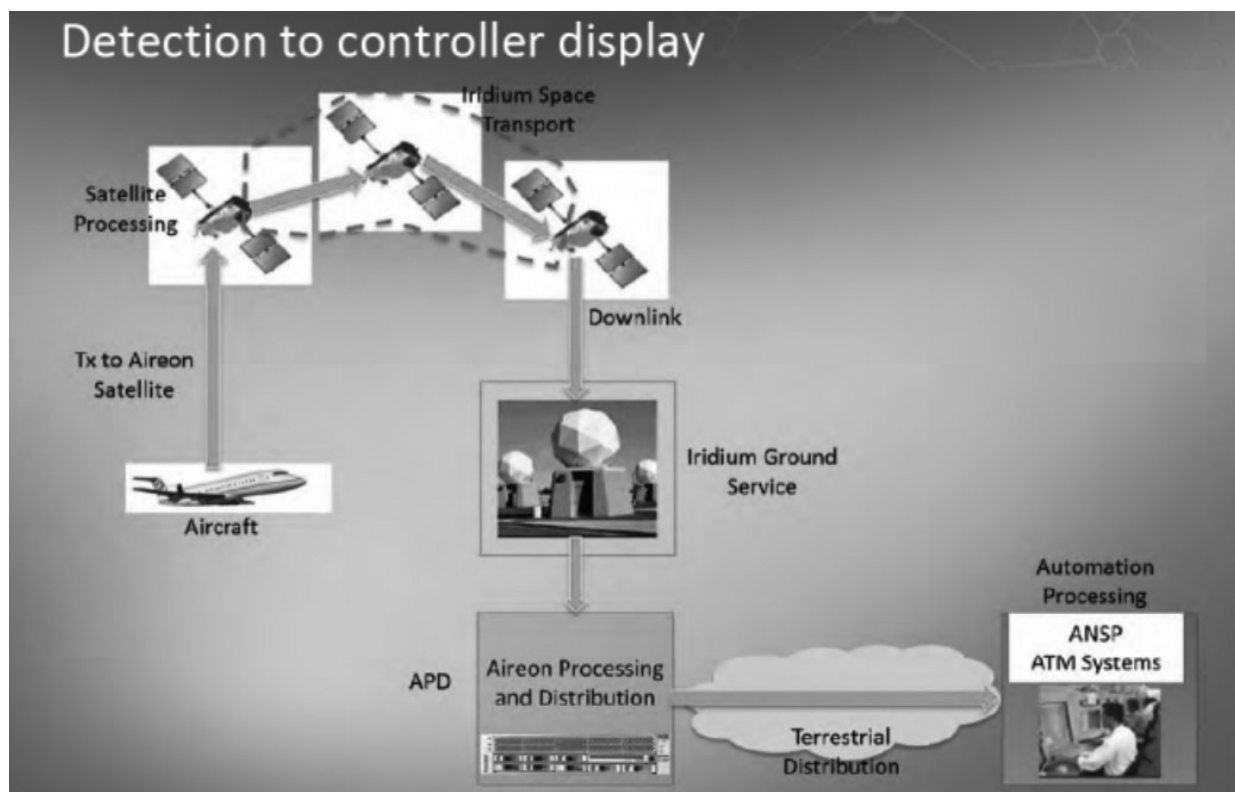
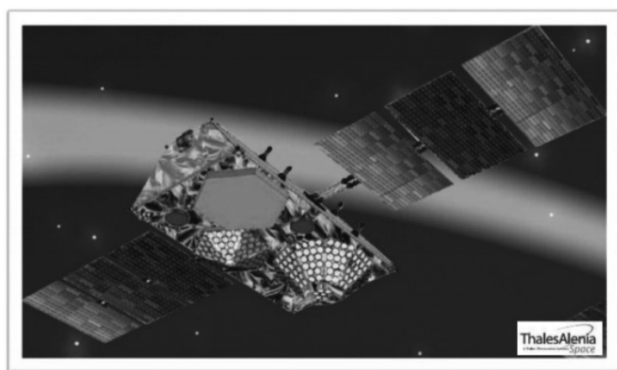
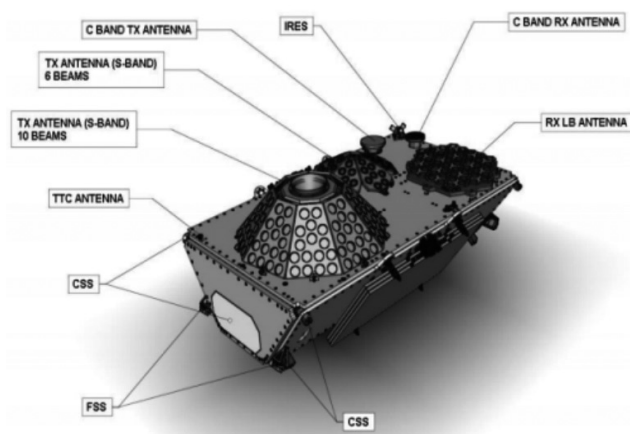


图 3 Aireon 天基 ADS-B 信息流程



(a) 全球星二代卫星



(b) 卫星各功能模块

图4 搭载 ADS-B 系统的全球星二代卫星

目前,全球星公司共发射了 24 颗二代卫星,完成了 7 000 英里以上的飞行试验,并对 ALAS 系统进行了全面评估,试验验证了星基 ADS-B 的可靠性。以 ALAS 系统的性能计算和评估为例,一颗“全球星”卫星可以在 1 600 km 的覆盖半径内跟踪 3 000 架飞机。

1.2.2 体系结构

ALAS 系统的设计目标是强化现有 ADS-B 网络,以便在传统陆基 ADS-B 网络覆盖范围之外建立良好的越洋及偏远区域位置跟踪服务。ALAS 系统支持实时回传飞行数据记录器信息、无人飞机系统(UAS)传感器数据、双向气象和话音等数据。ALAS 系统可兼容 978 MHz UAT ADS-B 和 1090-ES ADS-B 两种制式的航空电子设备源,其星基的 ADS-B 设备具备发射和接收功能,可支持 TIS/FIS 信息的传递。ALAS 系统架构如图 5 所示。

如图 5 所示,ALAS 采用“弯管”式体系结构,使用 L-波段接收 ADS-B 信号,使用 C 波段与地面站传输。它的 ADS-B 组件都在地面,且系统模块化程度高,易于修改,非常有利于系统模块的升级。ALAS 同时支持 TIS/FIS 回传,可使用全球星通信 S 频段进行数据和话音等传输,同时具备增强型加密,使得飞机的 ADS-B 位置报告极难被截获、干扰、哄骗,因而 ALAS 系统的 ADS-B 信息安全性更高。

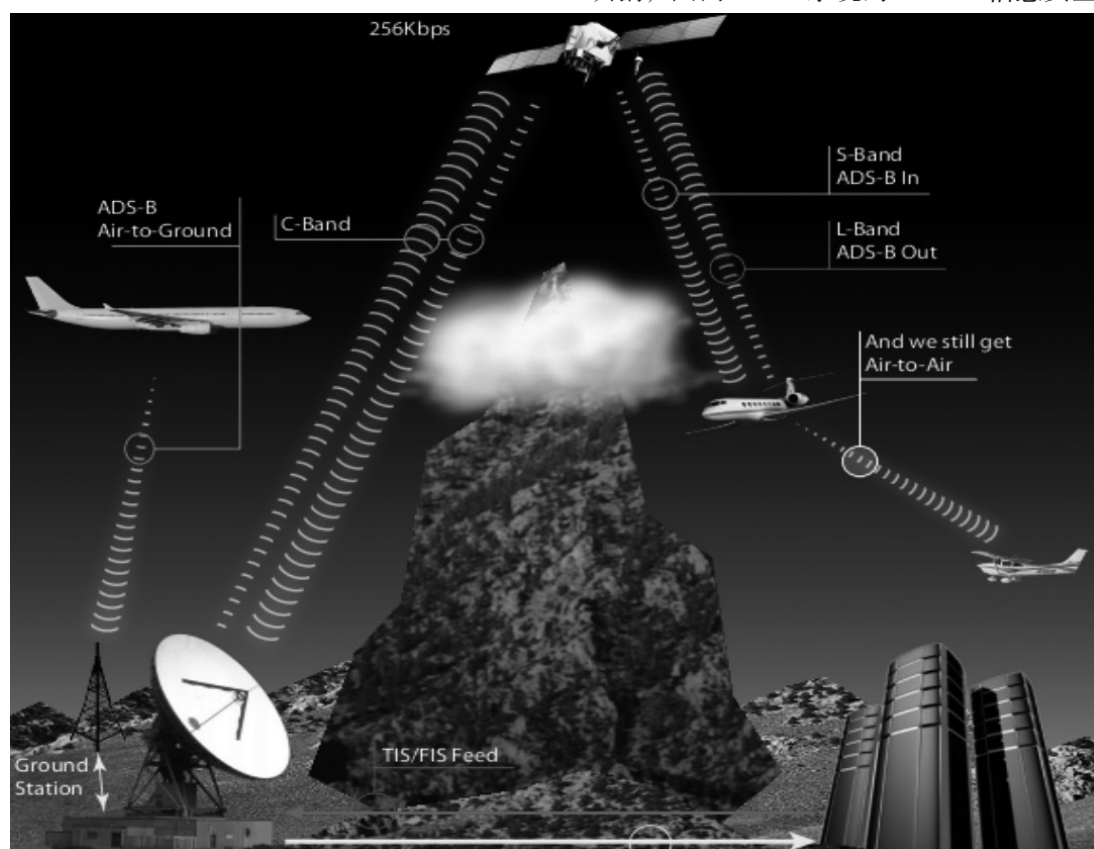


图5 ALAS 系统的体系结构

1.2.3 系统性能

ALAS 系统同时考虑了 1090-ES ADS-B 和 978 MHz UAT ADS-B 两种制式 ADS-B 系统兼容。卫星上的 ADS-B 设备具有发射和接收功能, 除了用于飞行监视和追踪以外, 还能通过卫星上传 TIS/FIS 消息给飞机。它的主要系统性能如下:

(1) 适用性: 简单、轻重量、低成本外围设备, 兼容现有 1090-ES、UAT 航空电子设备;

(2) 覆盖范围: 到 2015 年, 实现美国大陆 (CONUS)、GOMEX、加勒比海、北大西洋、北太平洋全覆盖; 到 2018 年, 剩余区域全覆盖;

(3) 可用性: 到 2014 年实现 99.99%, 到 2018 年实现 99.999%;

(4) 容量: 每个点波束 3 000 架飞机;

(5) 时延: 飞机到地面时延小于 200 ms, 端到端时延小于 300 ms;

(6) 更新速率: 1 s;

(7) 完整性: $10E-6$;

(8) 精度: 在 98% 的时间内, 位置差小于 50 英尺;

(9) 可扩展性: 可扩展性高, ALAS 系统体系结构简单且成本相对较低, 因而通过增加较多的卫星和 (或者) 地面站, 有可能拓宽覆盖范围, 改善可用性, 提高容量;

(10) 部署: 即刻就绪, 已经发射了 24 颗具有 ALAS 功能的二代卫星, 2015 年一季度开始提供基本服务, 2017 年开始提供关键服务。

2 星基 ADS-B 系统发展建议

目前, 我国航空业正处在跨越式发展的重要阶段, 军用飞机、民航运输类飞行及通用飞机一直持续快速增长。根据中国商飞预测, 预计到 2029 年, 我国将有约 1 031 架宽体机和约 5 514 架窄体机的市场容量。在此背景下, 国家和公众对空域日益增长的需求和可供使用的空域资源不足的矛盾将日益突出。通过各种技术手段提升管制运行效率, 增加空域容量, 成为各级空管部门的主要选择^[5]。ADS-B 具有精度误差小、数据更新快、监视能力强、系统功能全面等明显优势, 为我国当前和未来空管监视系统建设提供了全新的、更好的选择。它可提升飞行和空管运行安全品质, 提高空域资源的使用效率, 是实现空管保障能力跨越式发展的重要途径。另外, 随着我国低空空域的逐步放开, 通用航空活

动将呈现爆发式增长。预计未来 10 年, 我国通用航空年均增长将达到 15% 以上。然而, 通用航空活动频繁的绝大部分低空空域还存在雷达盲区。如何更好地管理通用航空活动, 为其提供必要和经济的监视手段, 同时发挥航空器自身的监视和告警能力, ADS-B 技术同样可以提供一种可行和高效的解决方案^[6]。

由于传统陆基 ADS-B 需要建设相关的地面站设施, 因此很难实现全球覆盖能力, 如在地理障碍地区如海洋、山脉和深峡谷等地区存在覆盖盲点。研究报告表明, 目前全球陆基 ADS-B 系统只覆盖了全球地表面积的 10%, 无法实现对飞行器的全球实时跟踪。星基 ADS-B 可有效解决陆基 ADS-B 覆盖问题, 但随着飞机数量的增加, 星基 ADS-B 可能在局部热点覆盖地区存在处理容量不足等问题。因此, 构建“空-天-地”一体的多手段全球监视系统是未来的发展趋势。该系统可提供稳定连续的全球实时监控, 可更加完整和精准地报告航空事故, 能够更好地管理安全风险。“空-天-地”一体的多手段全球监视系统组成及构思如图 6 所示。

如图 6 所示, 该系统中星基 ADS-B 是体系构建的核心, 主要用于监视大多数空域、海洋、山脉等地区的飞机飞行状态及航迹信息。同时, 融合地面陆基 ADS-B 系统, 可有效拟补星基 ADS-B 在部分区域的覆盖盲点。陆基 ADS-B 系统可拓展“空-天-地”一体全球监视系统的系统监视容量, 在通航飞机飞行监视中发挥重要作用。除 ADS-B 系统外, 监视系统仍可接入北斗短报文返回的位置信息、地面雷达实时监控信息, 有效兼顾突发事件的应急核查监视, 保障监视手段的多样性。归纳总结该系统具备的优良性能如下所述。

(1) 安全方面

①可提供全球稳定连续、近实时的飞机监视能力;

②可提高态势意识能力、冲突检测以及反应和处理能力, 飞机在紧急情况下将有更高的灵活性;

③可提供更加完整和精准的航空事故报告, 能够更好地管理安全风险, 更好地支持安全管理系统。

(2) 环境/效率方面

①具备全球的位置服务能力, 航空公司成本规划可预测性更高;

②ADS-B 可提供 FIS-B/TIS-B 服务, 飞机可根据地面提供信息爬升/下降改变飞行速度, 追求风推, 避免顶风, 提高燃油效率;

③可改善飞机优选航路和飞行高度,在限航区周围和限航气象下的转向更加高效,提高飞行精度,降低燃油消耗,减少二氧化碳排放。

(3) 可预测性 / 可靠性方面

①通过对 ADS-B 数据的分析,能够支持主要城市的空中交通流量管理排序、航路合并与平衡;

②采用星基 ADS-B 的监视能够满足系统范围

信息管理 (SWIM) 要求的飞行计划、签派、航空公司舱门到舱门 (gate-to-gate) 等更加复杂、高效的管理要求;

③能够以相对较低的边际成本扩大监视网络,同时多种监视手段相互备份,提高飞行器监视系统的冗余度和可靠性。

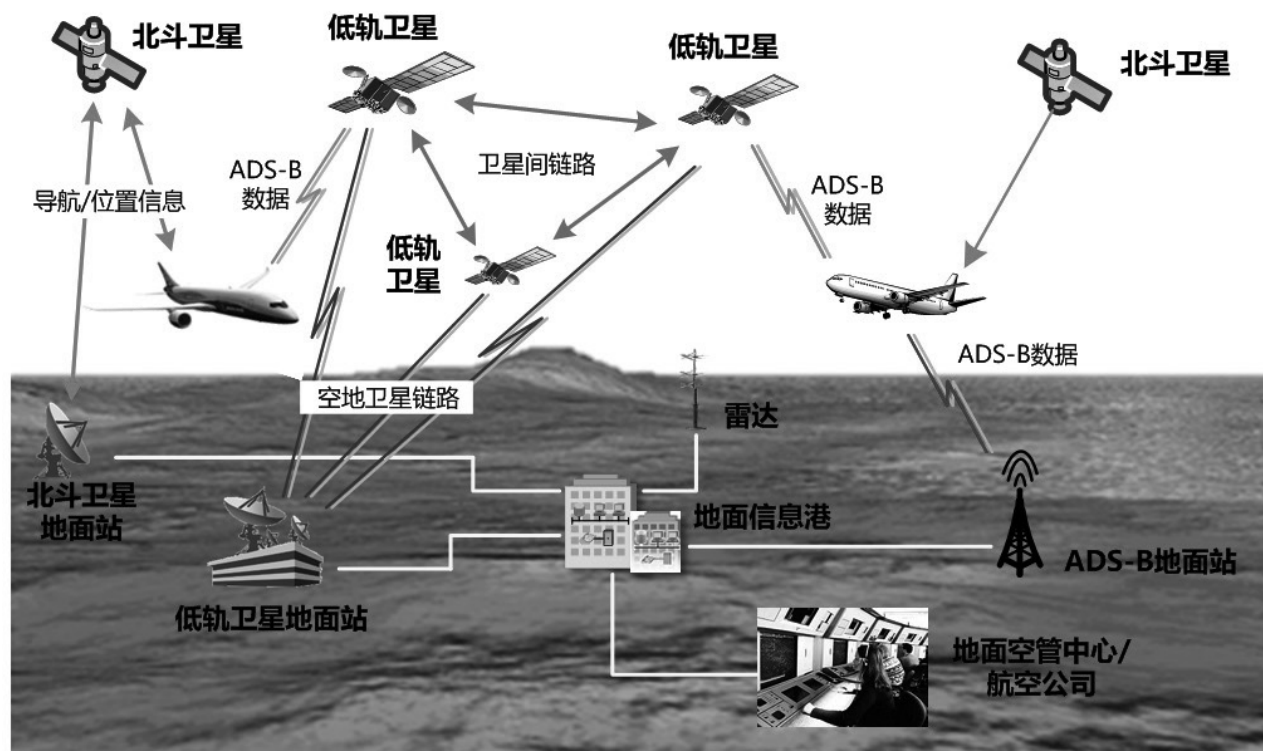


图6 “空-天-地”一体监视系统

3 结 语

综上所述,ADS-B 技术拥有成本低、精度误差小、监视能力强的特点,适用于高密度飞行区域的空中交通服务,有效解决和避免了传统监视方式的种种弊端,优越性不言而喻,必将成为未来空管监视的主要手段。然而,当前该技术在中国还处于应用初期阶段,仅仅在西部几个航路上实施了该项监视技术。成长期的中国航空运输业面临空域范围的限制,机队规模扩大,要求空管设施进一步改造和完善,是加速 ADS-B 技术发展的重要时期。同时,我国应开展相应的卫星网络建设,加强基于卫星的 ADS-B 系统和基于陆基的 ADS-B 系统同步发展,同时兼顾其他监视手段,构建“空-天-地”一体的全球监视系统。此外,ADS-B 技术的推广应用,可能涉及航空公司的软件更新、改装机载设备、调整地面设施结构、标准制定和运行认证等,因而需要各方有力配合,整体推进,才能早日实现 ADS-B

的全面应用,为实现建设民航强国奠定基础。

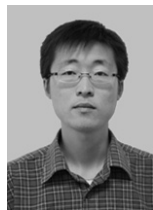
参考文献:

- [1] 康南,刘永刚. ADS-B 技术在我国的应用和发展 [J]. 中国民用航空, 2011, 11(131): 36-38.
KANG Nan, LIU Yong-gang. Application and Development of ADS-B Technology in China [J]. China Civil Aviation, 2011, 11(131): 36-38.
- [2] Busyairah S A. System Specifications for Developing an Automatic Dependent Surveillance Broadcast Monitoring System [J]. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2016(15): 40-46.
- [3] 汪宏武, 张更新, 余金培. 低轨卫星星座通信系统的分析与发展建议 [J]. 卫星应用, 2015(07): 38-44.
WANG Hong-wu, ZHANG Geng-xin, YU Jin-pei. Analysis and Development Suggestion of LEO Satellite Communication System [J]. Satellite Application, 2015(07): 38-44.

- [4] 张更新, 李罡, 于永. 全球星系统概况 [J]. 数字通信世界, 2007(12):82-85.
ZHANG Geng-xin, LI Gang, YU Yong. Overview of Global System[J]. Digital Communication World, 2007(12):82-85.
- [5] 杜万营, 陈惠萍. ADS-B 监视技术在空中交通服务中的应用研究 [J]. 中国民航大学学报, 2008, 26(06):23-28.
DU Wan-ying, CHEN Hui-ping. Research of ADS-B Technology in Air Traffic Management[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2008, 26(06):23-28.
- [6] 李自俊. 两种 ADS-B 广播式自动相关监视系统的兼容 [J]. 中国民航飞行学院学报, 2010, 21(02):3-10.
LI Zi-jun. Compatibility of Two ADS-B Broadcast Automatic Correlation surveillance systems[J].

Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2010, 21(02):3-10.

作者简介:



王洪全 (1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机载通信、导航和监视系统;

刘天华 (1974—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为机载通信、导航和监视系统;

欧阳承曦 (1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机载卫星通信;

姚待艳 (1985—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机载通信、导航和监视系统。