

机载 ADS-B OUT 设备适航验证方法研究

刘 阳^{1*} 杨 斌²

(1. 中国民用航空适航审定中心西安航空器审定中心, 西安 710065;

2. 中国民用航空西北地区空中交通管理局, 西安 710082)

摘 要: ADS-B 是广播式自动相关监视的缩写, 是一种新兴的民航运行监视技术。ADS-B OUT 是 ADS-B 的基本工作模式, 其工作原理是基于全球导航卫星定位系统(GNSS)获取航空器位置信息, 由飞机飞行管理系统自动地将飞机的位置、速度、姿态等关键信息使用 ADS-B 发射机, 通过地空数据链以广播形式发送给相关的地面站/地面数据中心等。ADS-B OUT 模式的功能由机载 ADS-B 设备和 ADS-B 地面设备共同实现, 机载 ADS-B 设备作为机载监视设备, 必须符合相关适航条款和规范的要求。本文概括地介绍了 ADS-B 技术, 对 ADS-B 的背景、工作原理和优点进行了阐述, 对与机载 ADS-B 设备相关的适航条款、规范进行了梳理和归纳, 研究并整理了适用的主要的符合性验证方法, 对试验中应重点关注的试验项目和重点关注的问题进行了总结, 并对机载 ADS-B 设备的发展和相关的适航验证方法提出了设想。

关键词: 适航规章; ADS-B; 机载设备; 符合性方法

中图分类号: V240.2

文献标识码: A

OSID:



0 引言

ADS-B(Automatic Dependent Surveillance Broadcast)即广播式自动相关监视, 是采用空-地、空-空进行通信和数据交互, 达到对飞机重要信息传递、空中交通状况监视目的的重要民航监视技术^[1]。

自动, 指定期自动发送状态信息, 无需机组的操作和地面的询问; 相关, 指需要依赖机载设备向空中交通管制中心(ATC)和其他用户提供监视信息。机载设备的运行和性能决定了数据的可用性; 广播, 指信息经广播方式传输至其他飞机或地面站。

ADS-B 使用以下数据链: S 模式超长电文(1090 MHz Extended Squitter, 简称 1090ES)、通用访问收发机(Universal Access Transceiver, 简称 UAT)和模式 4 甚高频数据链(VHF/UHF Digital Link—Model 4, 简称 VDL-M4)^[2]。

本文对 ADS-B 技术进行了介绍, 全方位阐述了 ADS-B 背景知识、优点、应用现状, 分析了机载 ADS-

B 设备的特点和功能, 从设计说明、安全性分析、试验验证等方面对机载 ADS-B 设备的适航符合性验证方法进行了分析和整理, 归纳总结了机载 ADS-B 设备适航验证应重点关注的试验项目和重点问题, 最后, 对机载 ADS-B 设备的发展方向和相关适航验证提出了设想, 对机载 ADS-B 设备的适航验证具有一定的参考价值。

1 ADS-B 技术

1.1 ADS-B 技术概述

ADS-B 是一种与空中和地面相关的下一代监视技术, 它为空中交通控制提供了更准确的飞机在航线、终端、进近和机场场面环境中的三维位置。飞机部分由机载 ADS-B 设备定期提供: 识别码、位置、高度、速度和其他信息, 接收地面站和其他飞机发送的信息并提示给飞行机组, 地面部分主要有 ADS-B 地面数据中心或数据站^[3]。

机载 ADS-B 功能可分为发送(ADS-B OUT)和

* 通信作者。E-mail: liuyang7635@163.com

引用格式: 刘阳, 杨斌. 机载 ADS-B OUT 设备适航验证方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2020(4):16-21. LIU Y, YANG B. Study of airworthiness verification method for airborne ADS-B OUT equipment[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2020(4):16-21(in Chinese).

接收(ADS-B IN)。

ADS-B OUT 是指机载发射机(主要是 S 模式应答机)定期向地面发送飞机的相关信息,OUT 功能是机载 ADS-B 设备的基本功能,只要相关的机载设备正确安装、正常运行,该功能无需机组操作即可自行工作,如图 1 所示。

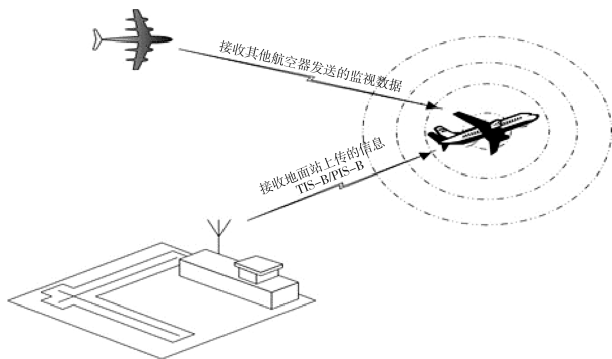


图 1 ADS-B OUT

ADS-B OUT 系统组件和数据源如图 2 所示,包括机载 ADS-B 设备、定位源、气压高度源、空地状态源、空中防撞系统(TCAS II)源、可选航向源、天线和显示器。适航审查中,申请人应在其主图纸列表中列出组成 ADS-B 系统的组件,可以演示指定功能的多个组件的交联性^[3]。

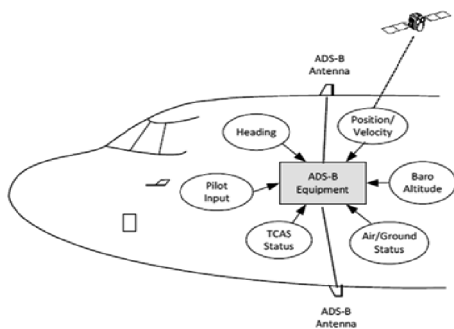


图 2 ADS-B 机载设备功能示意图

ADS-B IN 是指飞机接收其他飞机或地面站发送的 ADS-B OUT 报文,为机组的平稳运行提供数据支持。如通过驾驶舱交通信息显示设备(CDTI),飞行机组可及时了解到周边其他飞机的运行态势,进而提升飞行机组的感知环境变化,做出合理预测的能力,达到增强情景意识的目的^[1],如图 3 所示。

1.2 ADS-B 技术的特点和优势

ADS-B 和雷达的功能对比见表 1,与现阶段广泛使用的监视源——一/二次雷达相比,新兴的

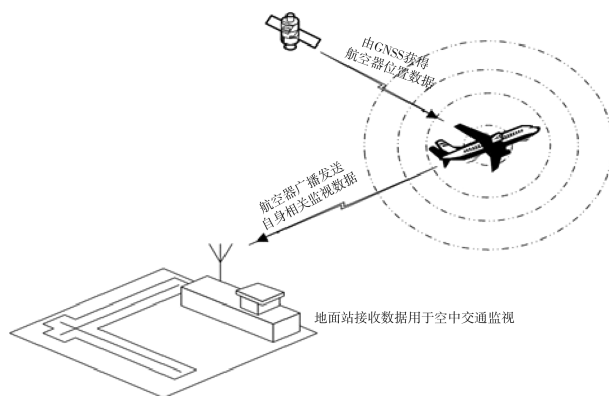


图 3 ADS-B IN

ADS-B 技术具有以下优势:(1)监视精度更高。位置信息来源于 GNSS,定位精度 10 m,信息精度更高。(2)实时性。ADS-B 位置信息更新频率为 0.5 s,空管二次雷达为 4 s~10 s。(3)建设投资费用低,维护所需要的人力和财力较少,具有更高的使用寿命,ADS-B 地面站建设成本约为 10 万美元~40 万美元,空管二次雷达约为 100 万美元~400 万美元。(4)ADS-B 技术的应用,增加了空域容量,缩小了管制间隔,提高了运行效率,使管制员和飞行机组实时共享空中交通态势,对提升工作效率、保障运行安全具有积极意义。

1.3 运行现状

我国现阶段主要应用基于 1090MHz 扩展电文的 ADS-B。中国民用航空局于 2017 年 12 月 26 日下发《关于 ADS-B 机载设备加改装相关工作要求的通知》,为大型飞机公共运输合格证持有人如何加改装 ADS-B 机载设备、加改装的时限等提出了明确的要求。

现阶段要求机载 ADS-B 设备具备 ADS-B OUT 和 IN 功能,具体来说,要求具有 ADS-B IN 的扩展能力、FLIGHT ID 输出以及 ADS-B 广播功能;系统具备 ADS-B 数据链传输发送功能。

本文重点关注 ADS-B OUT 工作模式,主要探讨 ADS-B 发射设备的适航验证。

1.4 1090MHz ADS-B 发射系统

ADS-B 发射子系统由报文生成功能和报文发送、交换功能组成。系统接收来自飞机上其他系统的位置、速度、实时时间、状态和意图输入信息,并将 1090MHz 频率的信息转化为 S 模式扩展电文报文,通过无线电设备(调制器/发射机)发射天线传输出去。

在基于 S 模式应答机的子系统中, ADS-B 报文生成功能、调制器和 1090MHz 发射机等相关功能由 S 模式应答器完成, ADS-B 发射系统如图 4。

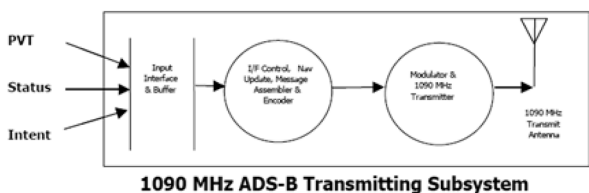


图 4 1090MHz ADS-B 发送系统

2 相关的适航规章要求

运输类飞机与 ADS-B OUT 相关的机载设备包括提供定位数据的 GPS 接收机、提供气压高度信息的静压管或大气计算机、提供航班号等信息的飞行管理系统(FMS), 以上 ADS-B 信息由功能复用的 S 模式应答机通过 1090ES 数据链从飞机传送至 ADS-B 地面数据处理中心或数据站。

2.1 25 部规章要求

S 模式应答机及前述相关机载设备, 其功能、性能、装机后的适航符合性由以下适航条款约束:

25.1301 功能和安装, 要求机载 ADS-B 设备的种类和设计满足飞机在规定条件下应具有的性能; 具有标牌以方便飞行机组判别; 安装部位和方式符合要求和限制; 安装后 ADS-B 设备、与 ADS-B 设备相交联的设备和系统功能均正常。

25.1309 设备、系统级安装, 对机载 ADS-B 设备的功能、失效概率提出了要求。

25.1431 电子设备和 25.1353 电气设备及安装, 规定 ADS-B 设备对其他设备的运行不产生不利影响^[4]。

2.2 其他规范要求

根据 AC-91-FS-AA 的要求, ADS-B 传输的数据应符合 RTCA DO-303; 完好性水平应达到 10^{-5} /飞行小时, 连续性水平应达到 2×10^{-4} /飞行小时; ADS-B 系统导致的水平位置数据延时, 95% 的情况不超过 1.5 s, 99% 的情况不超过 3 s; ADS-B 系统发送的数据格式和内容满足 DO-181C、DO-260B 的要求^[1]。

根据 RTCA DO-260B 的要求, ADS-B OUT 设备的设计、制造和安装, 应能达到预期的功能, 其正常使用不得对其他用户造成危害; 与其他飞机设备的

接口应设计、安装成机载 ADS-B OUT 设备的运行不对其他设备的运行产生不利影响, 反之其他设备的运行也不得影响机载 ADS-B OUT 设备的正常运行^[5]。

根据 CCAR21-R4 第 21.251 条的规定, 符合 CTSO-C166B 并获得 CTSOA 的机载 ADS-B OUT 设备必须经过充分的适航符合性验证才能得到局方的装机批准^[6]。

3 机载 ADS-B OUT 设备适航符合性验证方法

申请人应向局方提交一份 CCAR21 要求的合格审定计划和符合性声明, 以及相关符合性证据^[1]。

3.1 设计说明

申请人应提交设计说明文档、设计图纸、原理图和布线图等(MOC1), 表明机载 ADS-B OUT 设备能够完成与设计相一致的功能, 将名称、功能、使用限制标识于设备标牌上, 并按照规定的限制进行了安装, 安装后对其他无线电、电子设备和系统的同时运行不会有不利影响, 在失效时向机组提供警告信息供机组处理。

3.2 安全性分析

对机载 ADS-B OUT 设备可能出现的独立的、组合的故障失效进行设备系统的安全性分析。

比如, 在对失效状态分类时, 对于 1090MHz 的机载 ADS-B OUT 设备, 将发送了错误 ADS-B 信息且没有通告的状况定为重大失效, 其它航空器或空中交通管制会使用这些数据来提供间隔服务^[7]。在机载 ADS-B 设备研制时也应采用相同类别的设计保证等级。

3.3 鉴定试验

要证明设备满足最低使用性能要求 and 环境认证要求, 应通过合格鉴定试验表明能够满足预定功能。欲取得 CTSOA 的机载 ADS-B OUT 设备应满足 CTSO-C166B 规定的性能标准, 环境鉴定应符合 RTCA/DO-260B 第 2.3 节和 RTCA/DO-160 (CTSO-C166B 规定为 D 版, 现行为 G 版) 的要求; 功能鉴定应在 RTCA/DO-260B 第 2.4 节的测试条件下证明符合性; 包含软件和复杂电子硬件的机载 ADS-B 设备, 软件鉴定和电子硬件鉴定分别依据 RTCA/DO-178B (CTSO-166B 规定为 B 版, 现行为 C 版) 和 RTCA/DO-254 的要求。

3.4 试验验证

地面试验、飞行试验是验证机载 ADS-B OUT 设备装机后的重要的符合性方法。

3.4.1 地面试验 (MOC5)

系统接口试验,目的是验证安装的机载 ADS-B 设备是否满足预期功能,并从位置源、气压高度源、航向源、TCAS II、飞行机组操作界面等传输适当的信息进行验证。

电磁接口 (EMI) 和电磁兼容性试验 (EMC),证明符合 23.1353(a)(b)、25.1431(a)(c),确保机载 ADS-B OUT 设备和机上其他安装的设备运行时不会产生互相干扰。

人机界面试验,用于评估 ADS-B 系统的人机界面,ADS-B 系统必须与整个驾驶舱的设计兼容(如信息显示、标记标牌、告警提示、日光照射下的可视性、夜间照明)。

3.4.2 飞行试验 (MOC6)

飞行试验是台架和地面试验的确认和补充,地面试验无法全面模拟真实航班运行的状况,对于新研设备、影响飞行安全的设备,进行适航符合性验证时应包括飞行试验。

电磁兼容 (EMC) 试验,应在飞行中所有系统都工作、在飞行的全阶段的情况下评估,可参考 AC25-7A 飞行试验指南,制定相应电磁兼容性试验要求,常用且直观的方法是通过观察检查机载 ADS-B 设备在验证飞行试验中是否与其他电子设备出现互相干扰^[8]。

验证其他系统性能,主要是证明加改装机载 ADS-B OUT 设备后,不对其他先前安装的飞机系统的功能产生影响。

用户界面试验,目的是验证所有可能的输入和操作,评估所有可能的控制设置和操作模式的合理组合。

4 机载 ADS-B OUT 设备适航符合性验证中的重点问题

4.1 重点验证项目

本文提及的机载 ADS-B OUT 设备主要是指 S 模式应答机,根据其主要的性能和功能要求,对在试验验证中应重点关注的项目总结如下:

(1) 通过试验设备测试,验证发送 ADS-B 报文使用的 S 模式应答机的频率满足 $(1\,090 \pm 1)$ MHz;

(2) 验证两帧脉冲之间的时间间隔符合 $(20.3$

$\pm 0.10)$ μ s 要求;

(3) 验证 S 模式 24 位地址码,飞机安装了 S 模式应答机,就具备了全球唯一的身份识别信息——24 位地址码,地面 ADS-B 接收设施/地面站通过对接收到的报文进行解读,确认 24 位地址码与分配给该飞机的地址码一致;

(4) 飞行试验时,应在地面空中交通管制设施的配合下进行,主要验证地面设施与应答机的通信性能和应答情况。试验应完整验证 360° 转弯、爬升、下降、直线飞行和水平飞行,不同飞行高度等飞行姿态和飞行阶段^[9];

(5) 地面试验和飞行试验时,应通过便携式接收设施或 ADS-B 地面数据站接收 ADS-B 报文,对报文进行分析解读,并验证来自机载设备发射的信息是否被地面站可靠地接收。

4.2 重点关注问题

1) 非雷达管制区和雷达管制区的飞行验证重点。对地广人稀的不便设置二次雷达站的地区来说,ADS-B 是重要的监视替代手段,在非雷达管制区成了管制员唯一的“眼睛”,因此应特别关注其在非雷达管制区的飞行验证。

雷达管制区内,飞行验证应关注地面站收到的 ADS-B OUT 数据和雷达数据、雷达和 ADS-B 融合数据的对比和分析。

2) 关注设备功能复用和信道复用产生的问题。S 模式应答机在应答地面二次雷达询问、其他飞机 TCAS 询问的空闲时间段对外广播状态信息即 ADS-B 报文,使用相同的 1090ES 数据链。因此,真实运行时 ADS-B 报文可能受到二次雷达、TCAS 的干扰,也可能因信息拥塞导致丢报和时延。飞行试验时应考虑到这一情况,试验应包含二次雷达和 TCAS 对 ADS-B 干扰的工况。在报文分析时应关注信号干扰、丢报和时延,强化对相邻广播报文的分析、对比。

3) 飞行试验的工作重点。在使用其他验证方法无法完全验证符合性时,需要采用飞行试验,应主要验证受真实运行条件影响较大的试验科目。如与 ADS-B 报文的传输相关的射频功能,在各种飞行姿态和飞行阶段下驾驶舱设备的显示信息是否正确、在各种光线条件下是否可读等。评估编码、通信和解码报文、组装报告或生成显示数据等基础功能不是飞行试验的重点关注项目^[5]。

5 ADS-B 的发展和适航验证

ADS-B 技术在节约成本和提升精度方面具有较大的优势,但其使用 GPS 信号、广播传输的方式,导致其可能存在如下的薄弱环节:

1) 对 GPS 信号的依赖性。GPS 信号是 ADS-B 进行目标定位的数据源, GPS 系统由美国开发,我国针对 GPS 的应用还只是在用户端,对 GPS 的使用和控制较为受限。

2) ADS-B 信号采用广播方式传播,任何人都可以截获,如果出现发生在 GPS 信息获取阶段和 ADS-B 信息发送阶段的 ADS-B 的信息窃取、消息恶意增删改等攻击,轻者干扰空中和地面交通秩序,重者可能引发事故^[10]。

针对以上缺点,对机载 ADS-B OUT 设备的发展方向 and 适航验证方法提出以下设想:

1) 逐步提高北斗导航系统与机载 ADS-B 设备的兼容性,随着北斗导航系统的覆盖范围不断增加、数据报文不断完善增长,能够获取并使用北斗导航信息作为目标位置信息的机载 ADS-B 设备将是机载 ADS-B 设备在我国的发展趋势,基于北斗导航的机载 ADS-B 设备的适航验证将是适航审定发展的新课题;

2) 推进 ADS-B 信息防欺骗技术在机载 ADS-B 设备的应用。防欺骗功能的实现,是通过新增硬件还是通过软件实现并集成在 S 模式应答机,是否会引起共模失效,这些都为机载 ADS-B 设备的适航符合性验证提出了新的问题。

6 结论

ADS-B 技术作为补充和部分替代空管一/二次雷达的新型监视技术,受到了越来越多的重视和关注,中国民用航空局对相关机载和地面设备的安装提出了时间规划和性能要求,本文简略介绍了 ADS-B 技术,对机载 ADS-B OUT 设备的适航审查进行了研究,重点关注了机载 ADS-B 设备适航符合性验证的方法,总结了试验中应重点设计的项目和重点关注的问题,并对机载 ADS-B 设备的发展和适航审查进行了展望。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局飞行标准司/中国民用航空局航空器适航审定司. 在无雷达区使用 1090 兆赫扩展电文广播式自动相关监视的适航和运行批准指南: AC-91-FS/AA-2010-14[S]. 北京: 中国民用航空局, 2010.
- [2] 王尔申, 翟秋刚, 李玉峰, 等. 应用 Qt 的 ADS-B 报文解析研究与实现[J]. 电光与控制, 2018, 25(4): 69-73.
- [3] U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Airworthiness Approval of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast OUT Systems; AC 20-165B[S]. Washington, DC; U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2015.
- [4] 中国民用航空局. 中国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [5] RTCA, Inc. Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services - Broadcast (TIS-B); RTCA DO-260B[S]. Washington, DC; RTCA, Inc., 2009.
- [6] 中国民用航空局. 民用航空产品和零部件合格审定规定: CCAR-21-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2017.
- [7] 中国民用航空局. 基于 1090 兆赫扩展电文的广播式自动相关监视(ADS-B)和广播式交通情报服务(TIS-B)设备: CTSO-C166B[S]. 北京: 中国民用航空局, 2010.
- [8] 徐明. 运输类飞机适航性技术参考手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2019.
- [9] RTCA, Inc. Minimum Operational Performance Standards for Air Traffic Control Radar Beacon System / Mode Select (ATCRBS / Mode S) Airborne Equipment; RTCA DO-181E [S]. Washington, DC; RTCA, Inc., 2011.
- [10] 王波. ADS-B 系统防欺骗技术的分析与比较[J]. 电子世界, 2019(12): 5-7.

作者简介

刘 阳 女, 硕士研究生, 工程师。主要研究方向: 航空电子电气系统和设备适航审定。E-mail: liuyang7635@163.com

杨 斌 男, 工程硕士, 工程师。主要研究方向: 空管监视技术应用及设备运行管理。E-mail: 674359088@qq.com

Study of airworthiness verification method for airborne ADS-B OUT equipment

LIU Yang^{1*} YANG Bin²

- (1. Xi'an Aircraft Certification Center of CAAC, Xi'an 710065, China;
2. Northwest Air Traffic Management Bureau of CAAC, Xi'an 710082, China)

Abstract: ADS-B is the abbreviation of broadcast automatic dependent surveillance, which is an emerging civil aviation operation monitoring technology. ADS-B OUT is the basic working mode of ADS-B. Its working principle is obtaining aircraft position information based on the Global Navigation Satellite Positioning System (GNSS), the aircraft flight management system automatically uses the ADS-B transmitter to send critical information such as the aircraft's position, speed, and flight-attitude to the relevant ground station or ground data center through the ground-air data link by broadcasting. The function of ADS-B OUT mode is realized by airborne ADS-B equipment and ADS-B ground equipment, the airborne ADS-B equipment is set as an airborne monitoring equipment, which must meet the requirements of relevant airworthiness clauses and specifications. This paper introduces the technology of ADS-B, and describes the background, working principle and advantages of ADS-B. The airworthiness clauses and specifications related to airborne ADS-B equipment are sorted out and summarized. The main means of compliance demonstration were researched and collated. The test items and issues that should be focused on in the test were summarized. The development of airborne ADS-B equipment and related airworthiness verification methods were proposed.

Keywords: airworthiness regulation; ADS-B; airborne equipment; means of compliance

* Corresponding author. E-mail: liuyang7635@163.com