

# 机载数据链通信系统 综合调研、分析与设计考虑

## Comprehensive Investigation, Analysis and Design Consideration of the Onboard Datalink Communication System

丁汀 / Ding Ting

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘要:

旨在对机载数据链通信系统进行综合性调研,并且对各种主要的系统架构进行分析,通过这些过程,形成对系统设计的支持。对机载数据链通信系统的调研内容覆盖:系统的发展历史、设计实现和可应用的条款和规范。另外,还介绍了通信导航监视/空中交通管理(Communication Navigation Surveillance/ Air Traffic Management,简称 CNS/ATM)概念,并对其中与机载数据链相关的技术进行了分析。最后,阐述了针对民机机载数据链通信系统设计要点的考虑。

**关键词:**机载数据链通信系统;架构;机型调研;通信导航监视/空中交通管理

**中图分类号:**V243.1

**文献标识码:**A

[Abstract] The purpose of this article is to conduct a comprehensive investigation on the onboard datalink system, and makes analysis of the main system architectures. With these process, this article forms a support on the onboard datalink system design. The investigation of onboard datalink system covers the system development history, design implementations, applicable regulations and standards. In addition, this article introduces CNS/ATM conception in which the technologies associated to the onboard datalink are focused on. At last, the article demonstrates the consideration of the key points about civil aircraft onboard datalink system design.

[Key words] onboard datalink communication system; architecture; design implementation; CNS/ATM

## 0 引言

在传统的民用航空交通服务中,飞行员与管制员之间的通信主要借助于甚高频(Very High Frequency,简称 VHF)或者高频(High Frequency,简称 HF)语音通信。随着民航运输业的迅猛发展,民航通信业务量大大增加。目前用于管制通信的 VHF 和 HF 语音通信,由于通信频道拥挤、人为因素干扰等缺陷日益突出,直接影响到飞行安全和航班正点。因此,地空数据通信系统因其传输速率快、抗干扰能力强、误码率低、可靠性高等特点被应用到

民航通信领域。

地空数据链是一种采用无线网络通信技术和应用协议,实现航空飞行器和地面信息管理系统之间的数据信息交换的系统。其通过 VHF、HF、卫星通信(Satellite Communication,简称 SATCOM)模式作为数据链传输媒介,在飞机和地面系统间传输信息,将飞机与地面数据链服务供应商(Datalink Service Provider,简称 DSP)网络连接起来,从而在飞机数据链通信系统和地面终端(航空公司、机场派遣、空中交通管制台、气象部门等)之间实现数据通信。数据链通信的实施,能有效降低航班运行费用、提

高航班运行效率。<sup>[1]</sup>

## 1 机载数据链通信的发展历史

当前,民机航空电子系统已经形成了成熟的综合模块化航空电子(Integrated Module Avionics,简称 IMA)体系架构。而机载数据链通信系统随着民机航空电子系统结构的发展经历了联合式(例如波音 737,空客 320 等),混合式(例如空客 380)和综合式(例如波音 787)的架构。

对于联合式机载数据链通信系统,数据通信路由和数据链应用软件驻留在通信管理单元(Communication Management Unit,简称 CMU)中,CMU 作为机载数据通信系统的核心,通过数字总线将飞行管理计算机和客舱等数据链通信终端设备与各种机载数据链子网络连接,为数据链应用及其他应用终端提供空地数据通信。这是一种典型的联合式机载数据链通信系统架构形式。

联合式架构的数据通信系统需要大量的物理总线将 CMU 与各端系统和子网络连接。随着航空电子系统的发展,机载数据通信系统逐步采用混合式和综合式。

在混合式架构的数据链通信系统中,数据链路由 CMU 独立成设备或集成在通信设备中,而数据链应用及数据链状态控制软件驻留在综合模块化 IMA 中,驻留的数据链应用包括 ARINC 623 空中交通服务(Air Traffic Service,简称 ATS)、航空公司运营通信(Airline Operational Communications,简称 AOC)、新航行系统(Future Air Navigation System,简称 FANS)1/A+、Link 2000+。CMU 能与机载各端系统和子网络交联,数据链应用在 IMA 平台上与显示系统交联,以 ARINC 661 的格式进行显示。

在当代主流远程宽体客机上广泛采用的通信管理功能(Communication Management Function,简称 CMF)体现了综合式机载数据链通信系统的架构。CMF 完全驻留 IMA 上,不需要专门的硬件设备,CMF 通过远程数据集中单元(Remote Data Concentrators,简称 RDC)及通用数据网络(Common Data Network,简称 CDN)之间的数据传输控制 HF 通信系统子网、VHF 通信系统子网、卫星通信系统子网、各数据链应用端系统、显示系统、数据记录器、打印机等机上系统和设备之间的通信。

## 2 机载数据链通信系统的典型方案概述

在业界主流机型上机载数据链通信系统功能通过通信管理功能(Communication Management Function,简称 CMF)来实现,其中路由功能主要提供符合 ARINC 758 的 CMU 功能,包含航空通信寻址与报告系统(Aircraft Communication Addressing and Reporting System,简称 ACARS)和航空电信网(Aeronautical Telecommunication Network,简称 ATN)双协议,通常驻留在 IMA 平台上。在未来,还可能发展基于 IP 的 ACARS 技术。

CMF 应与以下数据链通信子网对接:

- 1) 基于 VHF, SATCOM, 和 高频数据链(HF Datalink,简称 HF DL)的 POA(Plain Old ACARS);
- 2) 基于 VDL Mode 2 的 AOA(ACARS over AVLC);
- 3) 基于 VDL Mode 2 & SATCOM Data 3 的 ATN,其中基于 SATCOM Data 3 的 ATN 属于未来可发展技术;
- 4) Ka/Ku 波段卫星通信、机场 Wifi 等,此类子网属于未来可发展技术,基于 ACARS/IP 路由协议。

CMF 提供和支持飞机寻址数据链服务,数据链服务包括:

- 1) 可客户化 AOC;
- 2) ARINC 702 飞管 AOC;
- 3) FANS-1/A+,包括管制员-飞行员数据链通信(Controller-Pilot Datalink Communication,简称 CP-DLC),合同式自动相关监视(Automatic Dependent Surveillance-Contract Mode,简称 ADS-C),空中交通服务设备通告(ATS Facilities Notification,简称 AFN);
- 4) LINK 2000+,包括 CPDLC,内容管理(Context Management,简称 CM);
- 5) 采用 ARINC 623 标准的 ATS。

CMF 可以为机上的下列应用提供数据链路由:

- 1) 飞行管理功能 FMF(Flight Management Function,简称 FMF);
- 2) 飞机健康管理 ACMS(Aircraft Condition Management System,简称 ACMS);
- 3) 电子飞行包 EFB(Electronic Flight Bag,简称 EFB);
- 4) 客舱系统;
- 5) 未来可发展的端系统,包括广播式自动相关

监视 (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast, 简称 ADS-B)、气象雷达。

CMF 可为以下消息提供数据链记录:

- 1) 飞机收发的数据链消息;
- 2) 端系统消息(例如,FMF 系统消息)。

通常而言,多功能显示器(Multiple Function display,简称 MFD)为飞行员提供数据链通信的人机接口(Human-Machine Interface,简称 HMI),飞行员通过操作键盘和鼠标,以及安装在遮光罩上的转换开关,可对消息进行接收、拒绝、删除等操作。针对 CPDLC 消息,中央操纵台上应有单独的快捷 HMI 供飞行员进行浏览和操作。

CMF 通常是驻留在 IMA 上的应用软件,可以根据构型需要,配置两套 CMF,互为备份,分别驻留在两套平台上,可通过平台相互通话。

综合而言,CMF 产生交互的单元或组件包括:(1)路由驻留应用;(2)控制和监视驻留应用;(3) ARINC 623 ATS 驻留应用;(4)客户化 AOC 驻留应用;(5)FANS 1/A+驻留应用;(6)LINK 2000+ 驻留应用;(7)甚高频通信系统;(8)高频通信系统;(9)卫星通信系统;(10)飞行记录系统(Flight Recording System,简称 FRS);(11)显示系统;(12)机组告警系统(Crew Alerting System,简称 CAS);(13)打印机;(14)其余机载端系统;(15)安装在中央操纵台上的 CPDLC 快捷显示控制装置。

数据链通信系统传输的数据可用于地面各种终端用户,包括空管、航空公司、气象部门等。

### 3 机载数据链通信系统的适航条款与业界规范分析

本章节将对与机载数据通信系统相关的适航规定和业界规范进行归纳和分析。

咨询公告 CAAC AC-121-FS-2008-16R1 为机载数据链通信系统提供了指导性方针,并提出概述性方法,用于表明飞机数据链通信系统对于适航需求的符合性,同时公告定义了飞机配置的数据链通信系统应该满足的互操作性、安全性和性能规范。

根据 AC 的要求,机载地空数据链通信系统应遵循的要素包括:地空数据通信格式、系统组成、系统配置与使用以及报文相关要求。

#### 3.1 地空数据通信格式

指飞机与地面应用系统进行数据通信时所使

用的编码格式。只有满足通信格式标准的数据才能在通信网络中正确传输,并被飞机设备和地面应用系统所使用。

在 CAAC AC-121-FS-2008-16R1 中明确规定的格式包括:

- 1) ARINC 429<sup>[3]</sup>

指机载设备所使用的航空数字信号传输标准。

- 2) ARINC 618<sup>[4]</sup>

指面向字符的地空通信协议。该协议规定了飞机系统与通信服务商网络系统间以面向字符方式进行数据传输的数据编码格式。

- 3) ARINC 620<sup>[5]</sup>

指数据链地面系统标准和接口协议。该协议规定了数据链服务提供商与数据链用户之间数据交互需满足的接口特性,同时为地面数据链用户研发应用系统提供相关信息。该规范同时包含了数据链服务提供商与飞机、地面用户之间接口的一般性和特殊指导原则。

- 4) ARINC 622<sup>[6]</sup>

指基于 ACARS 地空网络的空中交通服务数据链应用标准。该标准对 ACARS 系统在 ATS 中应用进行了说明,向开发人员提供 ATS 应用系统互操作性的设计指导。

- 5) ARINC 623<sup>[7]</sup>

指面向字符的空中交通服务应用标准。该标准对基于 ACARS 系统传输的 ATS 报文文本格式进行定义。

除 CAAC AC-121-FS-2008-16R1 明确规定的上述规范之外,在机载数据链通信系统的设计过程中需要遵循的规范主要还包括以下几项:

- 1) ARINC 619<sup>[8]</sup>

该标准描述了机载数据链端系统到 ACARS 路由之间的通信协议。

- 2) ARINC 750<sup>[9]</sup>

该标准描述了甚高频数据无线电子网的实现。

- 3) ARINC635<sup>[10]</sup>

该标准描述了高频数据链协议。

- 4) ARINC 758<sup>[11]</sup>

该标准描述了 CMU 的实现方式。

- 5) ARINC 660<sup>[12]</sup>

该标准描述了 CNS/ATM 功能和推荐架构。

- 6) ARINC656<sup>[13]</sup>



该标准描述了数据链通信系统和飞管系统之间的数据交联规范。

#### 7) ARINC637<sup>[14]</sup>

该标准描述了 ATN 的实现。

在 CCAR-121-R4《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》<sup>[15]</sup> 的第 121.346 条《空地双向数据通信系统》中,对数据通信有如下要求:

#### 第 121.346 条 空地双向数据通信系统

1) 除本条(b)款的情况外,合格证持有人按照本规则实施运行的旅客座位数大于 99 座的飞机应当安装满足本规则第 121.97 条要求的空地双向数据通信系统;

2) 除局方特别批准外,2004 年 4 月 20 日以前投入运行的旅客座位数大于 99 座的飞机应当在 2005 年 12 月 31 日前安装满足本规则第 121.97 条要求的空地双向数据通信系统。

根据上述条款要求,在一些未覆盖 VHF 数据链地面收发站点的区域,例如中国西北部区域,越洋区域,飞机仅具备 VHF 数据通信能力将无法满足条款。因此,在考虑机载数据通信组成时,应保证系统同时配备 VHF、HF、SATCOM 机载数据通信子网络。

### 3.2 系统组成

根据 AC 的要求,机载地空数据链通信系统应包含的组成有:(1)通信管理组件;(2)显示组件;(3)多功能控制与显示组件或相关设备;(4)甚高频/高频电台,卫星数据单元;(5)打印机等及适用的软件。除 AC 提出的上述要求外,机载数据链通信系统还应包含数据链应用软件,通常实现 ATS、AOC、CPDLC、ADS 的功能。

## 4 机载数据链通信系统相关的 CNS/ATM 新技术

通信、导航、监视/空中交通管理 CNS/ATM 系统是国际民用航空组织(International Civil Aviation Organization,简称 ICAO)为适应国际民航业的飞速发展而提出的、面向未来的、使用各种高科技手段为空中交通管制提供服务的一种综合系统。该系统通常装备基于 ACARS 的 FANS 1/A+或基于 ATN 的 LINK2000+的飞机,可实现通过 ACARS 数据链或 ATN 网络的飞机与地面空中交通管制系统实时的双向数据通信,即 AFN/CM,CPDLC,或者对飞机进行实时动态监控,即 ADS-C。

FANS 系统已逐渐成为长距离飞行或在繁忙空域飞行时取代传统话音管制的安全、准确、有效的空中交通管制(Air Traffic Control,简称 ATC)手段。大型民用客机安装 FANS 设备,并具备 CNS/ATM 能力,是国际民航发展的必然要求,也是航空公司用户增加飞机飞行区域、减少使用限制的要求,有助于客机在更大的区域运行,满足航空公司等航空运营人对运输飞机的设计和使用需求。

Link 2000+概念中的 CM/CPDLC 完全基于 ATN 网络实现 FANS 功能,而当前的 AFN/CPDLC 是在 ACARS 系统的基础上实现的 FANS 功能,除空地间传输的信息格式不同外,CM/CPDLC 和 AFN/CPDLC 的工作流程基本一致。

### 4.1 SESAR 路线图

在全球范围内,欧洲空域繁忙和紧张程度相对较高,在欧洲空一体化组织(Single European Sky,简称 SES)的推动下,形成了 European ATM Master Plan, Edition 2<sup>[16]</sup>文件。该文件作为欧洲 CNS/ATM 概念的指导性文件,提出了 CNS/ATM 发展路线图,旨在推进 ATM 的现代化进程,并将 SESAR 的研究成果推向业界。当前,European ATM Master Plan 的最新版本为 Edition 2,该版本的内容有以下特点:(1)针对性能改善以及概念实现提出了一系列技术革新;(2)形成了技术发展路线图,为截至 2030 年的 ATM 技术革新提供了总揽,为技术革新的实施提供了基础依据;(3)在全球范围内实现互通,尤其与 ICAO 的有关内容实现通用性。

图 1 表明了 European ATM Master Plan 截至 2028 年的技术发展路线。根据该路线图,并结合 COMAC 各机型的发展规划,当前的研究重点应放在步骤 1(Step 1)规划的技术领域内。

通过对 European ATM Master Plan, Edition 2 进行总结,SESAR 倡导的截至 2023 年机载通信系统应具备的技术如表 1 所示。

### 4.2 ICAO 路线图

为保证 ATM/CNS 概念在全球范围内具有通用性,ICAO 制定了 2013-2028 Global Air Navigation Plan<sup>[17]</sup>。这份计划中的 BLOCK 与图 7 中的 STEP 在时间区间上基本对应,采用技术也具备对照关系,如图 2 所示。

综合分析图 1、图 2 和表 1,截至 2023 年,民航机载数据通信应具备以下能力:

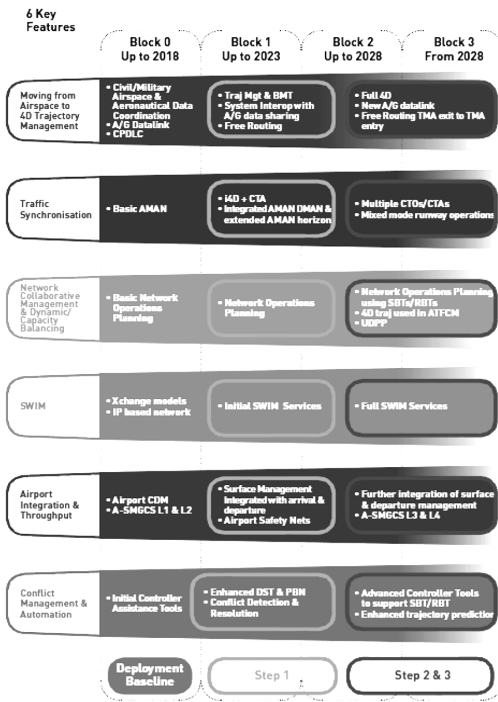


图 1 European ATM Master Plan 路线规划<sup>[16]</sup>

表 1 截至 2023 年机载通信系统应具备的技术

COMMUNICATION	A/G Datalink	CPDLC capability	4DTRAD
			FIM-S
			D-TAXI
	Voice	ADS-C	4DTRAD
			AOC
			Radio
			SATCOM

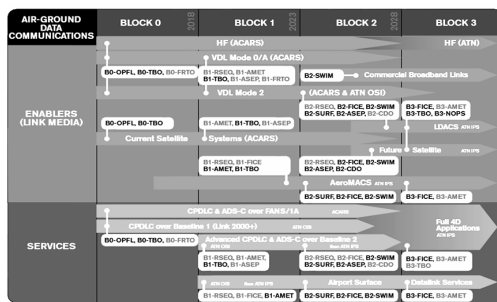


图 2 2013-2028 Global Air Navigation Plan 路线规划图

- 1) 子网络应包括 VDL、HDL、SATCOM, 其中 VDL 支持 ACARS 和 VDL-2 两种模式;
- 2) 路由功能应支持多协议栈, 包括 ACARS、ATN Baseline 1、ATN Baseline 2;
- 3) 数据链应用应包括 ATS、AAC、AOC、FANS 1/A+、FANS 2、FANS 3。

FANS 1/A+ 基于 ACARS 技术, 子应用包括 AFN、CPDLC、ADS-C; FANS 2 等同于 Link 2000+ 概念, 基于 ATN Baseline 1 技术, 子应用包括 CM、CP-DLC; FANS 3 基于 ATN Baseline 2 技术, 子应用包括 AFN、CPDLC、ADS-C。

FANS 1/A+ 和 Link 2000+ 在波音 787 和空客 380 上均已实现; FANS 3 是 SESAR 和 ICAO 在各自路线图均明确提出的概念。此外, 由于 FANS 3 为飞机 Initial 4D 能力提供地空通信保障, 可以预计在不久的将来, 业界将逐步引入并明确对这一机载数据链通信能力的需求。

## 5 民机机载数据链通信系统设计考虑

以下注意事项适用于进行民机机载数据链通信系统设计<sup>[18]</sup>:

- 1) 未被检测到的上行 CPDLC 报文错误造成的危害等级为 major;
- 2) 通常应保证机载数据链系统 CPDLC 应用软件的设计保障等级为 C 级;
- 3) 在软件设计上, 应保证低优先级的数据链功能, 不会影响 ATS 数据链功能; 同样, 应保证 ATS 数据链功能不影响更高级别的功能, 如 FMS;
- 4) 对于飞机接收到的上行的 CPDLC 报文, 飞机应为正副飞行机组成员提供操作手段, 支持机组成员对 CPDLC 报文进行接收、拒绝、暂存等操作, 该操作结果应能被反馈给地面发送方; 并提供操作手段, 支持正副机组成员将报文中的可加载参数加载到机载 FMS (Flight Management System) 系统;
- 5) 如果数据链系统包含多个数据链应用和子网, 系统应为飞行机组提供操作手段, 支持机组成员选择不同的应用和子网配置进行空地数据链通信;
- 6) 应提供操作手段, 支持飞行机组成员从显示器上清除 CPDLC 报文;
- 7) 应提供操作手段, 支持飞行机组成员创建、存储、调用、编辑、删除和发送数据链报文;
- 8) 如果机载数据链通信系统的应用包括 FANS 1/A+ 和 FANS 2/B, 应确保这两种报文内容无差别显示;
- 9) 在飞行员选择其他报文之前, 当前操作报文应持续性显示;
- 10) 当机载数据链通信系统和其他功能在同一显示页面上显示时, 应权衡各信息显示的优先等级;

11) CPDLC 报文的显示应确保飞行机组成员能在不离开位置的前提下进行浏览,显示区域应优先布置在飞行员的正常前视场范围内;

12) 最新收发的报文应最先显示,应提供操作手段,支持飞行机组成员对最新收发的 CPDLC 报文进行排列和调用;

13) 机载数据链通信系统应有能力提供以下提示:

(1) 机载数据链通信系统应向飞行机组提示接收到的 CPDLC 报文,每条上行的 CPDLC 报文均应向飞行员产生音响和目视提示。即使飞行员因为未阅读旧的上行 CPDLC 报文而不能及时浏览到新的报文,新接收到的 CPDLC 报文也应该产生提示;

(2) 上行 CPDLC 报文的音响和目视通告应符合驾驶舱提示总体规范;

(3) 如果数据链系统失效,包括交联失效,应在飞行机组正常视界范围内产生提示;

(4) 当机载数据链通信系统达到其内存限度时,例如,当系统负荷超过内存导致存储和打印都不能实现时,或是系统不能执行被要求的路由能力时,系统应有告警提示;

(5) 在关键飞行阶段(如起飞和着陆阶段),接收到数据链报文的音响提示应被抑制,直到关键飞行阶段过去后再解除抑制;

(6) 当飞机具有 CPDLC 连接时,应有提示表明当前连接到的工作地面中心;

(7) 应有提示表明当前工作的机载数据链子网;

(8) 应有提示表明当前与飞机建立联系的 ADS 地面中心;

(9) 如果当前页面显示的消息并不完整,还有下一页面继续显示当前消息,应有相应提示提供给飞行员。

## 6 结论

随着时代的变迁,将有越来越多的人选择以飞行作为出行的方式。繁忙的机场和航路管制区都在对更加有效、更加便捷的地空通信方式提出需求。在这种形势下,地空数据通信,已被时代证明是一种必要的、有效的对语音通信的补充手段,而随着时代的变迁,数据通信还有可能成为地空通信的主要手段。这一切,为机载数据链通信系统的存在带来了必要

性,也为其发展同时带来了动力和压力。

本文从机载数据链通信系统的发展历史着手,综合讨论了部分典型机型机载数据链通信系统的组成和功能,明确了适航条款和业界规范对机载数据链通信系统的要求,分析了欧美 CNS/ATM 的概念和发展路线,展望了下一个十年内与机载数据链通信系统紧密相关的新技术,并阐述了针对民机机载数据链通信系统设计要点的考虑。这些工作,囊括了对现有型号上机载数据链通信系统设计的总结,结合了对设计输入、设计背景和设计要点的归纳、分析和思考,能够对新一轮的设计工作产生有益的参考和辅助作用。

### 参考文献:

- [1] 董亚伟,王杰. 地空数据链在民航的应用与发展[J]. 大众科技,2012,149(1).
- [2] CAAC AC-121-FS-2008-16R1 航空运营人使用地空数据通信系统的标准与指南[S]. 2008.
- [3] ARINC 429 Digital Information Transfer System (DITS)[S].
- [4] ARINC 618 Air-ground Character-oriented Protocol Specification[S].
- [5] ARINC 620 Datalink Ground System and Interface Specification[S].
- [6] ARINC 622 ATS Datalink Applications over ACARS Air-ground Network[S].
- [7] ARINC 623 Character-oriented Air Traffic Service (ATS) Applications[S].
- [8] ARINC 619 ACARS Protocols for Avionics End Systems[S].
- [9] ARINC750 VHF Data Radio[S].
- [10] ARINC635 HF Datalink Protocol[S].
- [11] ARINC758 Communications Management Unit (CMU)[S].
- [12] ARINC 660 CNS/ATM Avionics, Functional Allocation and Recommended Architectures[S].
- [13] ARINC656 Avionics Interface Definition[S].
- [14] ARINC637 ATN Complementation.
- [15] 中国民用航空局. CCAR-121-R4 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则[S].
- [16] European ATM Master Plan, Edition[S]. SESAR, October 2012.
- [17] ICAO 9750/2013 - 2028 Global Air Navigation Plan, Edition 4[S]. ICAO, 2013.
- [18] AC\_20-140B Guidelines for Design Approval of Aircraft Data Link Communication Systems Supporting Air Traffic Services (ATS), 9/27/12.