

民用飞机飞行记录系统研究

王伟, 费益

(中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院, 上海 200235)

摘要: 从民用飞机飞行记录系统应用出发,介绍了飞行记录系统的组成、架构、功能要求等,阐述了民用飞机飞行记录系统设计和安装过程中应遵循的基本准则。对民用飞机新一代飞行记录系统作了详细介绍,表明了未来民用飞机飞行记录系统集成化、综合化的发展趋势。

关键词: 飞行记录系统; 飞行数据记录器; 驾驶舱语音记录器; 民用飞机

中图分类号: V248.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)03-0073-04

Flight Recording System of Civil Aircraft

WANG Wei, FEI Yi

(Shanghai Aircraft Design & Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China LTD, Shanghai 200235, China)

Abstract: From the viewpoint of application of Flight Recording System (FRS) on civil aircraft, an introduction is given to constitution, configuration, requirements of function and so on of FRS, and the basic principle of FRS design and installation is presented as well. A detail description is made on the new generation of FRS for civil aircrafts, and it is indicated that the development trend of FRS on future civil aircraft is integrating and synthesizing.

Key words: Flight Recording System (FRS); Flight Data Recorder (FDR); Cockpit Voice Recorder (CVR); civil aircraft

0 引言

随着航空科学技术的发展,机载设备的综合程度越来越高。发生飞行事故的原因很多,事故调查涉及的问题也越来越多,为满足复杂情况下飞行事故调查的需要,现代飞机都装备了飞行记录系统(FRS),它主要包含飞行数据记录器(FDR)和驾驶舱语音记录器(CVR)。

飞行数据记录器用于存储飞行数据和系统参数。驾驶舱语音记录器用于存储驾驶舱语音数据和数据链信息。这些数据能够帮助调查人员确定飞机失事的原因,为准确处理飞行事故提供了客观可信的技术依据。

1 飞行记录系统组成

民用飞机上飞行记录系统一般由飞行数据记录器、驾驶舱语音记录器、区域话筒/前置放大器(AMP)、记录器独立电源(RIPS)、记录器控制板(RCP)、三轴加速度计、数字式飞行数据采集装置(DFDAU)、碰撞保护开关等组成。

飞行数据记录器、驾驶舱语音记录器是整个飞行记录系统的核心组成。20世纪70年代的飞行记录器多采用磁带作为记录介质^[1]。随着电子技术的迅速发展,现代民航飞机上多使用数字式飞行记录器,记录载体也由原来的磁带改为体积小、重量轻的固态防撞击存储装置^[2](CSMU),如图1所示。

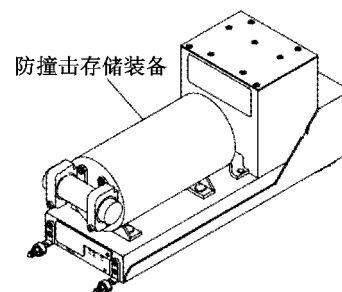


图1 记录器防撞击存储装置

Fig. 1 Recorder crash survivable memory unit

CSMU对记录器存储信息起到隔离和保护作用,工程上,需保证CSMU耐高温,耐剧烈撞击及耐数吨压力。因此,CSMU外层由3种不同的材料组成,对CSMU起到不同的保护作用。由里向外,提供保护作用的材料分别

为:1) 铝质外壳,在存储介质周围有一层薄薄的铝壳; 2) 高温隔离层,1 in(1 in≈25.4 mm)厚的干硅材料,保护存储介质的安全,提供高温热保护,避免存储介质事故后被大火烧毁;3) 不锈钢外壳,高温绝缘材料的外面是一层不锈钢外壳,像一层坚固的盔甲起到保护作用,这一层厚度大约为1/4 in。

2 飞行记录系统架构

根据不同飞机的安装要求和系统配置,飞行记录系统架构有所不同。一般民用飞机上的飞行记录系统有以下3种基本架构。

1) 分离式飞行记录器架构^[3]。

这种架构中,FDR和CVR作为两个独立的航线可更换设备(LRU)安装于飞机上。架构组成一般包含:FDR、CVR、一个DFDAU、一个三轴加速度计、两个碰撞保护开关、一个CVR控制板、一个AMP。架构见图2。

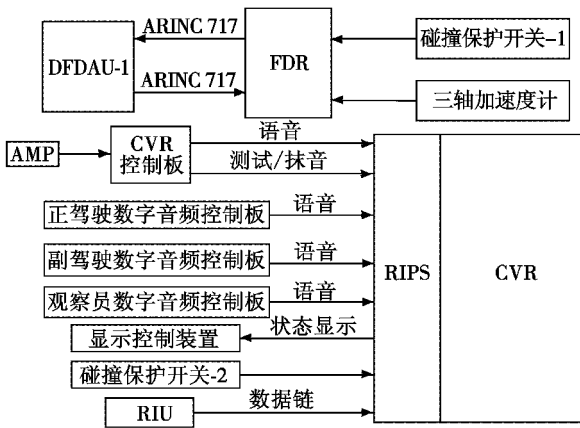


图2 分离式飞行记录器架构

Fig.2 Configuration of independent flight recorder

一些机型上,飞行记录系统架构组成不包含三轴加速度计,其功能可由惯导系统惯性基准装置(IRU)的三轴加速度传感器组件来实现。前提是:保证IRU的安装位置满足CCAR25部(运输类飞机适航标准)中对垂直加速度传感器的位置要求,或IRU安装位置与标准中要求稍有偏离,但通过数据补偿后可达到标准规定。

一些机型上,RIPS可与CVR集成于一体而不必作为独立设备安装。而DFDAU可由其他具有飞行数据采集功能的设备替代或由记录器本身数据采集功能替代。

现在,越来越多的机型选择取消安装碰撞保护开关,由软件来实现碰撞保护开关的设置和功能。

2) 组合式飞行记录器架构。

这种架构中,FDR和CVR功能集成于一个LRU,通常称为数字式语音、数据记录器(DVDR)。架构组

成一般包含:两个DVDR、两个DFDAU、一个DVDR控制板、一个AMP、一个三轴加速度计、两个碰撞保护开关。架构如图3所示。

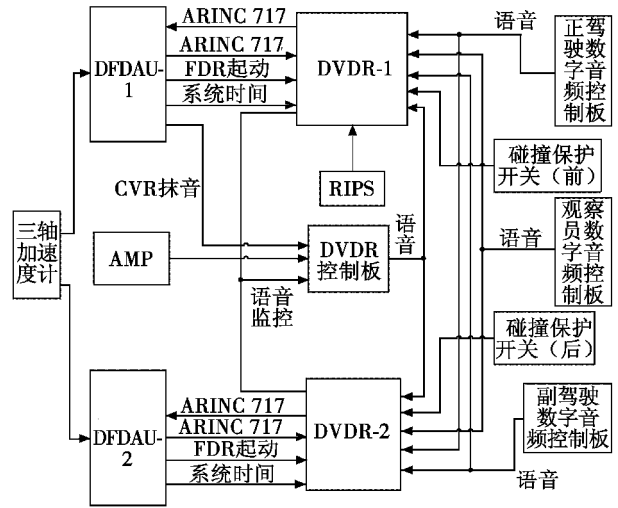


图3 组合式飞行记录器架构

Fig.3 Configuration of combined flight recorder

组合式飞行记录器架构选用了独立RIPS。架构组成中的三轴加速度计、DFDAU、碰撞保护开关可根据机型需要作相应取舍或替代。

3) 增强型机载飞行记录器架构^[4]。

这种架构中,飞机上安装两套增强型机载飞行记录器(EAFR),EAFR除把FDR和CVR功能集成于一个LRU外,接口有所改观,功能有所扩展。这种架构组成一般包含:两个EAFR、一个RCP、一个AMP、一个RIPS。架构如图4所示。

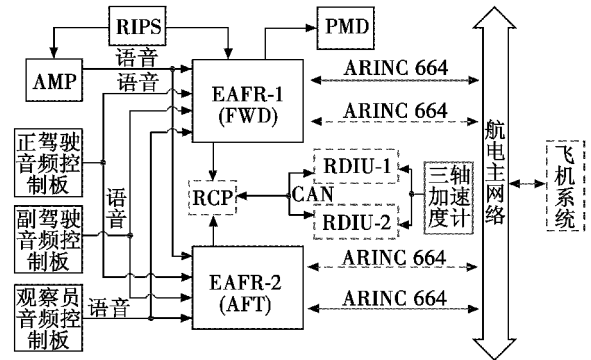


图4 增强型机载飞行记录器架构

Fig.4 Configuration of enhanced airborne flight recorder

增强型机载飞行记录器所构建的系统架构符合ARINC 767新一代飞行记录系统结构。这一新的系统架构更有效,更可靠,重量更轻。这一系统组合音频和数据记录能力,采用固态或更先进的存储技术,记录器自身包含数据采集功能,与其他飞机系统之间亦采用新的接口。最终,EAFR还将包括采用压缩技术记录图像的能力,图像记录采用每秒4帧,256种颜色。该系统具

有高数据记录容量,能够记录至少 25 h 的飞行数据信息、2 h 的语音和数据链通讯信息。另外,数字化的语音记录可确保回放声音的高品质性能,增加的记录容量和视频压缩技术的发展能够提供连续的视频记录能力。该飞行记录系统架构已成功应用于 B787 上,其中连续视频记录功能为记录器的一项可扩展功能。

3 飞行记录系统功能要求

飞行记录系统应提供如下功能。

1) 飞行数据记录功能。

飞行数据记录器记录来自飞机传感器或飞机其他系统的飞行数据和系统参数。数据记录时间必须符合规章要求(一般为 25 h),记录参数必须满足 CCAR121(大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则)和 ED112(欧洲民用航空设备关于飞行数据记录器的最低性能规范)的最低参数要求(91 组参数)。记录数据存储在 CSMU 中,可在机上通过一个工业标准数字接口进行快速下载。

2) 驾驶舱语音记录功能。

驾驶舱语音记录器记录驾驶舱机组成员之间的语音通信和驾驶舱环境噪音。CVR 从 3 个机组通道和 1 个区域话筒接收语音信息,处理并存储在 CSMU 中。CVR 应可持续记录 2 h 或多于 2 h 的语音数据,除非一些小型飞机,允许记录 30 ~ 60 min 的语音数据,且允许只记录两个机组通道的数据。CVR 可使用模数转换方式和语音编码技术。飞机在地面时,可通过一个工业标准数字接口对 CSMU 中的语音数据进行快速下载,通过抹音按钮对记录的语音数据进行抹音操作。

3) 数据链记录功能。

驾驶舱语音记录器记录机组成员之间或飞机与航站之间的数字式数据链通讯信息。CVR 从空/地通信系统接收数字式数据链信息,并存储在 CSMU 中。ED112 规定,数据链信息记录持续时间和驾驶舱语音记录持续时间相同。

4) 图像记录功能。

随着记录器功能的扩展,图像记录功能将在民用飞机上广泛应用。图像记录主要包括记录驾驶舱仪表、驾驶舱、飞机结构(机翼、尾部、起落架等)和一些必要的发动机视频图像等。ARINC 767 标准试图定义一个高速接口(以太网 1 Gb/s 光纤),在固有带宽和电源制约的条件下,能够容纳更多的数据、语音、数据链和图像等信息。在飞机内部,飞行记录系统架构可采用航空电子局域网(LAN)技术,例如采用 ARINC 646 定义的以太网技术^[5]。这一技术可提供重要的增长空间,其所利用的带宽将比当前采用的数据总线效率更

高,期望的数据速率可超过 100 kb/s。

5) 健康管理功能。

飞行记录系统应包含健康管理功能,应与机载维护系统接口传输飞行记录系统状态。作为飞行记录系统内在的健康和状态管理,飞行记录系统应包含自测试功能。

6) 备用电源。

飞行记录系统应为 CVR 配置一记录器独立电源,如果发生了 CVR 所有其他电源由于正常关闭或任何其他电气汇流条的电源丢失引起的中断,RIPS 能够提供 10 ± 1 min 的电源,支持 CVR 和区域话筒工作。

7) 水下定位功能。

飞行记录系统应为记录器提供一水下定位信标(ULB),ULB 是带电池的水下声波发生器,与记录器集成于一体,安装于记录器前部。ULB 工作寿命为 30 d,带有一感水开关,一旦记录器掉入水中,开关遇水接通,声波发生器被激活,立即工作,发出频率为 37.5 kHz 的超声波,这种波人耳不能听到,但很容易被声纳和声波定位装置探测到。因此,水下定位信标用于飞机坠毁在水下时对记录器的定位,便于飞机发生事故后对记录器的搜寻。

4 飞行记录系统接口要求

随着航空科学技术的发展,现代 FDR 多采用数字式接口,通过 DFDAU(或具有数据采集功能的类似设备)从飞机各系统收集数字信号或收集、处理飞机各系统传感器信号,将其数字化和格式化后传输给 FDR。DFDAU 和 FDR 的传输总线多采用 ARINC 717 总线。现代 CVR 可接收数字式音频信号和模拟音频信号,多采用数字式接口(ARINC 664 或 ARINC 429)接收、处理数据链信息。EAFR 多采用 ARINC 664 总线从航电网络平台获取需要的飞行数据和数据链信息^[6]。依据 ARINC 767 规定,EAFR 通过数字接口接收来自正、副驾驶和观察员的音频信息,与 AMP 之间采用模拟音频接口,图像记录则采用先进的以太网技术和图像压缩技术。

5 飞行记录系统安装要求

为在飞机受到撞损和冲击时尽可能保证记录器的存活性,分离式飞行记录器 FDR 和 CVR 应尽可能安装在飞机后部,但不得安装在飞机受冲击时尾吊发动机可能撞坏记录器的部位(不必安装在增压舱之后)。对于组合式飞行记录器或增强型机载飞行记录器,必须有两套,分别安装于飞机前部和后部,如图 5 所示。AMP 通常安装于驾驶舱,靠近正副驾驶的上方,如顶

部控制板。若系统架构包含 RIPS、三轴加速度计、碰撞保护开关,则 RIPS 尽可能安装在靠近 CVR 或前部 DVDR 或前部 EAFR。三轴加速度计的安装尽可能在飞机重心范围内或靠近飞机重心范围。碰撞保护开关则尽可能靠近相应记录器安装。记录器和 RIPS 安装方式可选择带抽拉式托架安装,也可采用紧固件直接固定于结构支架。

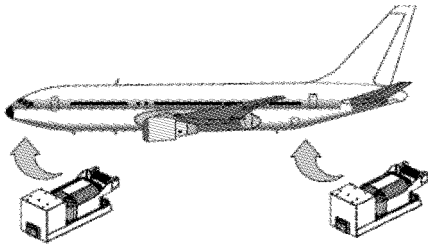


图 5 记录器双冗余安装

Fig. 5 Redundant installation of dual recorders

6 飞行记录系统设备环境条件

飞行记录系统各部件安装到飞机上,经过世界范围的地面和空中,暴露于自然和感应环境条件的工作后,不应出现指定性能、寿命、可靠性或安全性的降级。应按 RTCA DO-160(机载设备的环境条件和测试程序)等同的军用标准进行测试以证明符合要求。除上述测试外,需把数据加载到飞行记录器核心组件 CSMU 存储器中,对 CSMU 做如下测试。

1) 撞击试验。

在空中使用加农炮将 CSMU 射下以产生 3400g 的力,这样的 CSMU 以超过其自身重量 3400 倍的力撞向一个铝质、蜂窝状的目标,这一冲击力等于或超过在实际空难过程中记录器可能承受的力。

2) 穿透力试验。

测试设备的穿透抵抗力,从 3 m 的高度向后部带有 0.25 in 钢钉的 CSMU 抛下 500 lb(1b \approx 0.45 kg)重的物体,撞击 CSMU 圆柱体轴。

3) 静态挤压。

用每平方英寸 5000 lb 的挤压力对 CSMU 的圆柱体轴进行挤压,持续时间为 5 min。

4) 耐火测试。

将设备放进由丙烷燃烧的火炉中进行烧烤。设备要在 2000 $^{\circ}$ C 的大火中经历 1h 的时间。FAA 要求所有

的固态记录器能够在这一温度下至少生存 1 h。

5) 深海淹没。

将 CSMU 放进一个装有盐水的压力罐中 24 h。

6) 盐水浸泡。

CSMU 必须能够经受得住住在盐水罐中浸泡 30 d。

7) 液体浸泡。

CSMU 部件放进不同的航空液体中,如发动机燃油、润滑油和灭火器的化学物质中进行浸泡。

经过上述一系列测试后,用译码器把 CSMU 存储的数据读出并进行分析、评审。合格的 CSMU 应保证经历上述撞击、大火、压力等测试后从中导出的数据完好无损。所以可看到,在很多飞机事故中,记录器中唯一幸存的部件是 CSMU,而其余部分(如机壳和一些电路板)均被外力或大火摧毁。

7 结束语

民用飞机飞行记录系统经过几十年的发展,其组成愈发趋于集成化和综合化,其提供的信息越来越多,作用越来越大,不仅可为飞机事故的调查提供最直接可靠的依据,还将为飞机维护及对飞行品质的评定做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 李伟华,曹云飞. 固态飞行参数记录器设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2008(6):58-60,63.
- [2] ED112, Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder systems [S]. March 2003.
- [3] ARINC characteristic 717-12, Flight data acquisition and recording system[S]. Airlines Electronic Engineering Committee, June 16, 2006.
- [4] ARINC characteristic 767, Enhanced airborne flight recorder [S]. Airlines Electronic Engineering Committee, November 22, 2006.
- [5] ARINC specification 646, Ethernet Local Area Network (ELAN) [S]. Airlines Electronic Engineering Committee, December 8, 1995.
- [6] ARINC664P7-1, Aircraft data network part 7 avionics full-duplex switched ethernet network [S]. Airlines Electronic Engineering Committee, September 23, 2009.

本刊国内邮发代号为 36-693 欢迎订阅