

民用飞机电子显示技术的发展

王有隆

(中国民航飞行学院, 四川 广汉 618307)

[摘要] 电子显示仪表是航空仪表发展的一次革命,使民用飞机仪表发生了根本性变化,大大提高了座舱仪表信息综合程度和自动化程度;改善了人机工效,提高了飞行安全性。本文阐述电子显示仪表的三个发展阶段、技术特点和未来的发展。

[关键词] 民用飞机;飞行仪表;电子显示技术

[中图分类号] TN24 [文献标识码] A [文章编号] 1006-141X(2002)02-0031-06

民用飞机从70年代初开始使用机电式平视仪,1980年开始在MD-80上使用电子平视仪,但后来发展缓慢。直到1981年,B757/767安装了阴极射线管下视显示仪表以后,民用飞机电子显示仪表进

入了高速发展时期。电子显示仪表到现在已经发展到了第三代。图1所示为B777仪表板布局图。这种仪表显示信息简洁、方便,已使驾驶员从单纯操纵者转变成座舱资源管理者。

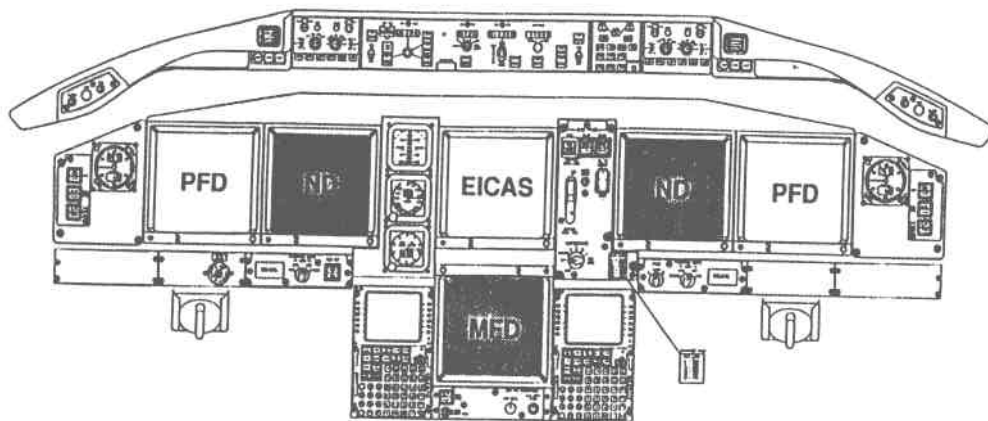


图1 B777座舱仪表板

1 第一代,开创了电子显示仪表新时代

随着运输飞机的大型化、远程化,飞机仪表越来越多。例如,B747-300安装了132个仪表,使驾驶员工作量很大,安全性较差。由于显示技术、计算机技术、人机工程学等科学技术的迅速发展,电子显示仪表的问世为实现航空仪表现代化提供了解决方法。

1981年,装有6个彩色阴极射线管(CRT)电子仪表系统的B767首飞成功,这标志着民航飞机显

示仪表从此进入了电子仪表的新时代。由于电子仪表具有显著的优点,B757/767、B737-300/400/500、A310干线飞机和“挑战者”、“湾流”、空中国王、“贝尔”通用飞机等许多飞机也很快安装了电子仪表系统。

波音系列飞机电子仪表由电子飞行仪表系统(EFIS)和发动机指示和机组告警系统(EICAS)组成。前者包括两个电子姿态指引仪(EADI)和两个电子水平状态指示器(EHSI);后者包括主、辅显示器各两个。空客系列飞机电子仪表由包括主飞行显

示器 (PFD) 和导航显示器 (ND) 的 EFIS 和包括发动机指示/警告显示器 (E/WD) 和系统显示器 (SD) 的电子中央飞机监视系统 (ECAM) 组成。

在这个时期,许多飞机还相继单独选装或改装了 EFIS 或 EHSI (如运七 - 100、空中国王 200、赛斯纳 441 等),从而提高了飞机工作性能。为了方便老机型改装,这些电子仪表还特别设计了模拟和数字两种接口。

B757/767 电子仪表系统由显示器、字符发生器、控制板及远距光敏传感器等组成。

EADI 是主飞行仪表。除具有指引地平仪的功能外,还增加了显示自动飞行系统工作状态、无线电高度、地速、指令选择等信息的功能。EHSI 是导航信息显示器。它把机电式航道罗盘和气象雷达等信息综合起来,具有伏尔、仪表着陆、地图、计划 4 种显示格式,在显示内容和形式上都比常规航道罗盘有了重大突破。EICAS 能显示全部发动机参数和大量警告、提示等信息,相当于一个“电子空中机械师”,完全取代了空中机械师的工作。ECAM 能显示飞机各系统信息和警告信息,相当于一本“电子飞行手册”。

B757/767EADI 高宽长为 140 mm × 152 mm × 356 mm, EHSI 为 178 mm × 152 mm × 356 mm。两种显示器都采用荫罩式阴极射线管,并且都采用典型的 ARINC725 标准结构设计,分辨率 0.3 mm, 8 种彩色,功耗 130W。驱动阴极射线管的电子组件基本上是模拟电路。视频插件板由模拟和数字电路组成。显示器的亮度可以人工或自动调节。

字符发生器采用中规模集成电路和双极位片式大规模集成电路的 CAPS - 8 型微处理机,刷新频率 80HZ,功耗 216W。字符发生器通过 ARINC429 总线与飞机各传感器相连。字符发生器使用 4 个微处理器来接收和处理数据,所有处理器的软件都采用模块化设计。字符发生器采用笔画法书写字母数字、特殊符号、矢量线段和圆锥曲线,采用光栅扫描法产生天地图象和气象图象。

第一代电子显示仪表具有下述主要特点:

(1) 信息量大,能够显示绝大部分飞机和发动机信息,大大减少了仪表数量。例如,三发客机

安装常规仪表需要 110 个,安装电子仪表后最少只要 17 个(含备用表),占 15.5%。

(2) 信息显示由常规仪表的空分制(按空间分配)改为时分制(按时间分配),显示方式、内容可以根据需要自由选择,很灵活。这就使信息重点突出,减少了飞行员各个时段的信息判读量,有利于飞行安全。例如,在 EADI 或 PFD 上,仪表着陆系统和无线电高度信息在巡航时不会出现,在终端进场时却会显示;同时,在终端着陆时航向信标偏差刻度还会自动放大。

(3) 许多信息采用图形化显示,使飞行员对飞行状态的感知由原来先判读参数,然后再想象感知,转变为从观察图形直接感知,这就缩短了反应时间,提高了可靠性,有利于飞行安全。

(4) 自动化程度高,减轻了驾驶员负担,机组成员减少到两人制。电子仪表系统具有完善的自检、自监视能力。例如,EICAS 能够自动监视发动机和飞机系统的 200 多个输入信号,从而取代了近百个常规仪表和指示灯,提高了飞行操纵效率;采用“静暗驾驶舱”原则设计,在正常情况下仅显示很少的主要发动机参数,但当某个参数超出极限值时,则立即用红色显示,并把与它相关的其它参数和告警信息也显示出来,同时进行记录、存贮,供维修使用。

第一代电子显示仪表在技术上具有下述不足:

(1) 元器件技术方面:元器件大多是分立器件,集成度不高,外场可更换组件(LRU)较多,采用模拟式和数字式混合器件,显示器尺寸比较小。

(2) 结构设计方面:EFIS 和 EICAS(或 ECAM)互相独立,相互没有交联、没有互换性,因此系统余度不够高。程序设计语言主要采用汇编语言。

(3) 信息综合程度不够高。例如,B757/767 的 EADI 不能显示速度、高度和升降速度。A310 的 ECAM 不能显示发动机参数。

(4) 人机工效不够好。例如,B757/767 EADI 没有大气数据和航向信息,不便于驾驶员观察、比较纵横向飞行状态的变化;主发动机指示器的发动机参数在右边,告警信息在左边,不便于机长观察发动机工作情况。A310 ECAM 的两个显示器分列

在中央仪表板两边,不利于两位驾驶员交叉观察。

2 第二代,实现了“玻璃驾驶舱”

1987年2月,装有第二代电子显示仪表系统的A320飞机首飞,这标志着民航飞机电子显示仪表进入了成熟期,实现了“玻璃驾驶舱”。第二代电子显示仪表的代表是安装在A320、A330、A340、B737-600/700/800、B747-400、MD-11等干线飞机和“比奇”、“利尔”、“多尼尔”等支线、行政飞机上的电子仪表系统。

第二代电子显示仪表在元器件、结构设计先进性、综合程度、人机工效等方面有了很大进步,具有以下主要特点:

(1) 采用尺寸更大、更先进的显示器。

A320采用显示尺寸为184mm×184mm的显示器,B747-400采用显示尺寸为203mm×203mm的显示器。

(2) 采用更先进的集成化电子器件。

广泛采用表面贴装器件(SMD)、大规模集成电路、门阵列、全数字电路、高密度包装技术等。一个黑盒子取代了过去6个以上同功能黑盒子,体积减少42%,重量减轻66%,功耗降低30%,这样,减少了元器件数量,提高了可靠性和维护性。

采用全集成结构,把字符发生器装进显示器内。用功能模块和插件板取代传统的黑盒子,各模块之间由内部总线连接。一些关键功能都有四余度,而且关键功能模块之间的内部通信都加以保护,如果一个模块发生故障,系统不中断就可完成自动重构。

(3) 提高了综合化程度,增大了信息量,取代了全部飞行仪表和发动机仪表。

PFD增加了速度、高度、垂直速度和航向,它的基本显示格式就完全和标准“T”形仪表板布局一样了。ECAM增加了发动机参数显示。这样,采用电子显示的四发B747-400仅有13个仪表,而原来安装机电仪表的B747-300却有132个仪表;二发的A320仪表总数也由A310的35个减少到12个。

多尼尔(Dornier)328飞机的PFD除了能够显示原来的主飞行信息外,还能显示航向、无线电导

航、气象雷达等ND的大部分信息。一个PFD几乎已经综合了EFIS的全部基本信息(参见图2),另一台显示器就改为多功能显示器(MFD)。这台MFD除了能显示ND的全部信息外,还能显示飞行垂直剖面图形(参见图3),从而为飞行员提供了更全面的导航信息。此外,MFD还能作为PFD和EICAS的备份,增加了余度。

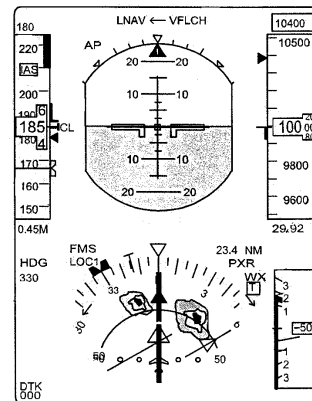


图2 Donier328 PFD显示图

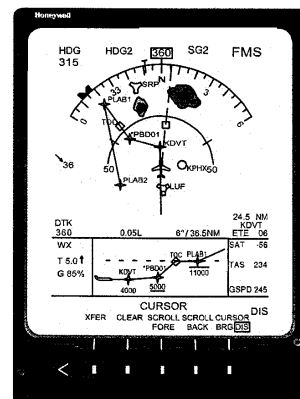


图3 Donier328 ND显示图

柯林斯公司的“EICAS Plus”在第一代EICAS基础上进一步综合,代替了更多的LRU,其中包括飞行数据采集装置(FDAU),还增加了听觉警告系统和辅助视觉警告信号灯,使飞行警告功能完全综合。它还可进一步扩充能力,例如,近地警告系统和ARINC通信寻址和报告系统接口,可以增加维护数据集中能力,以便将更多的数据提供给维护计算机和存贮装置。

(4) 采用新的系统结构,具有更大余度和可靠性。

第二代EFIS和ECAM(或EICAS)是一个有机

整体,显示器结构大多相同,每台显示管理计算机(DMC)都具有全部显示管理功能,彼此具有互换性,互为冗余。在出现故障时,它们可以按优先权高低自动转换或人工转换。例如,A340由3台DMC控制6台显示器,每台DMC都具有EFIS和ECAS管理功能,当出现故障时,驾驶员可以通过开关转换。如果显示器出现故障,它们可以按优先权高低自动转换,也可手动转换。霍尼韦尔公司的Primus2000综合航空电子系统(用于多尼尔、利尔喷气等飞机)采用综合电子计算机取代了全部字符发生器、飞行管理计算机、飞行控制计算机、故障警告计算机,综合了电子显示系统、飞行管理系统、自动飞行系统的全部功能。这样,显示系统和飞机其它电子系统形成了一个有机整体,显示仪表仅是综合航空电子系统的显示终端,飞机电子系统从此进入了综合电子系统时代。系统的可靠性、安全性大大提高。

系统软件采用高级语言(如美军用Ada语言)设计,为了避免产生软件误差,由两个独立的小组编写软件。

(5)更注重人机工程学原理,仪表显示更安全、有效,避免人为错误

随着航空设备技术的迅速提高,人为因素、人机工程学对飞行安全的影响就显得尤为重要。为此,各国航空界广泛、深入地进行了人为因素、人机工程学研究(如法国宇航的“座舱布局人机工程学研究计划”EPOPEE等)。在此基础上,第二代电子显示仪表的安装位置、符号形状、颜色编码、组合方式等都更科学和合理。例如,B747-400 PFD采用加大的矩形飞机标志,便于识别小坡度时的飞机姿态,地平仪下部的弧形航向刻度和导航显示器一致,有利于观察航向;速度、高度、航向采用移动刻度带和数字显示两种方式表示,既便于准确读数,又能反映参数变化趋势,发动机显示器的发动机参数改在左侧,告警信息改在右侧,和正、副驾驶员的分工协调一致;系统显示器采用示意图形式显示飞机各系统,可以清楚地显示出阀门位置、实时状态等信息。

3 第三代,采用彩色液晶显示器

1995年6月交付的B777用液晶显示器(LCD)取代阴极射线管,标志着电子显示仪表系统进入了一个崭新时代,它是当前最先进的电子显示仪表。继B777以后,B737-600/700/800、B767-400ER及一批支线客机、行政机等相继安装了LCD。

自80年代初以来,液晶显示技术在彩色、分辨率和显示面积三个方面不断取得突破,终于使彩色液晶显示器在90年代成为机载电子显示器件。80年代初,LCD为单色,对角线尺寸为76mm,分辨率为2~3点/mm。1984年,出现彩色LCD。1986年彩色LCD对角线达到178mm,分辨率达到4.7~5.9点/mm。1988年前后LCD能显示有灰度的图象,对角线达到254mm,分辨率达到6.3~7.9点/mm。这标志着在关键性技术指标上,彩色LCD已达到取代机载CRT的水平。

B777的LCD系统采用6个203mm×203mm的大型LCD,它是飞机综合模块化信息管理系统(AIMS)的一个组成部分。它的显示器采用非晶硅薄膜晶体管有源矩阵寻址行扫描工作方式、扭曲向列(TN)/宾主(GH)液晶、黑条加红绿兰对角配置微型彩色滤色层和背光照明技术,分辨率为6.7点/mm。B777电子仪表系统还首次采用了电子检查单,继EICAS的“电子空中机械师”和ECAM的“电子飞行手册”后,又向“无纸驾驶舱”前进了一步。

液晶显示器主要具有以下优点:

(1)体积小、重量轻。LCD和CRT相比,厚度减少80%,重量减少70%。

(2)节省功耗。B777的LCD总功耗为60~70W,而同等尺寸的CRT为150W,减少60%,因而不需强制通风,可以自然冷却。

(3)可靠性高。LCD所需电子器件少,平均无故障间隔时间长,系统可靠性比CRT高10~20倍,从而大大提高了系统维护性和经济性。

(4)安全性好。CRT有爆炸危险,高压电源和X射线也具有不安全因素,而LCD完全没有这些问题。

(5)在高环境光作用下,亮度、对比度和色度分辨力明显优于CRT,可观察性好。有源矩阵LCD是吸收而不是反射入射光,它的高环境光作用下的

对比度系数比 CRT 高 3~4 倍;同时,由于反光少,颜色不会被阳光冲淡,使色差更好。

(6)环境条件承受力强。LCD 不受外磁场干扰,有较好的耐振动、耐冲击性能。

4 平视仪发展缓慢

在飞机起飞、着陆阶段,驾驶员需要不断观察驾驶舱外景物,同时又必须注意舱内仪表,不得不在平视和下视之间频繁转换视线,驾驶员最繁忙也最容易出事故。研究表明,飞机高速飞行时要把注意力从目标转移到仪表上,眼睛观察方向和观察点的调整以及再次聚焦所需时间为 2~3 秒。在这段时间内飞机已飞行近千米。平视仪可以在驾驶员平视前方景物时,同时在透明玻璃显示器上看到各种飞行、导航和战术信息,很好地解决了平视和下视之间的矛盾,所以很快成为战斗机的标准仪表,得到广泛应用。

70 年代初,一种称为目视进场监视器的机电式平视仪首先在 B727、“三叉戟”等飞机上使用。1980 年,MD-80 率先安装了电子平视仪。以后,B727、B737、A320、航天飞机等也相继选装了平视仪。

现代民航机平视仪具有起飞/复飞、巡航、进场和仪表着陆等 4 种工作状态;能够显示各个飞行阶段所需要的主要飞行参数和指引信号;能够显示风切变等警告信号;既可以作为 I、II 类自动着陆系统的监视器,也可以实现 I 类气象条件下人工操纵进场着陆。

现代民航机平视仪采用激光全息显示屏,视场达到 30° (水平) \times 26° (垂直),外景透光率达到 90%,字符反光率也达到 90%,无论白天还是晚上都有足够的亮度和对比度。民航机平视仪采用可折叠结构,不用时可以收起,不妨碍驾驶员正常视线。

目前,安装平视仪的民航飞机不多,原因首先是价格较高(十几万美元以上),其次是除起飞着陆外不需要使用,因此需求不大。

5 未来的发展

民用飞机对机载设备的基本要求是安全、好用(符合人机工程学)、性能高(满足不断发展的需要)、成本低。根据这些要求,下述技术和设备将得到发展和应用。

(1)用 LCD 取代 CRT。LCD 比 CRT 具有许多不可比拟的优点,LCD 必将取代 CRT 成为主要显示器。但是 LCD 还需要进一步减少功耗、降低成本。

(2)平视仪将逐渐推广使用。平视仪已经在战斗机上使用了约 40 年,取得了良好效果。民航机平视仪也早已取得 FAA 在 I 类气象条件下进行人工操纵进场的适航证。为了解决航天飞机重返地面进场着陆时,宇航员舱内、舱外观察的困难,NASA 专门为每架航天飞机安装了两套平视仪。现在,制约民航飞机安装平视仪的唯一因素就是较高的价格。随着技术的愈益发展和价格愈益降低,平视仪一定在民航飞机上得到广泛应用。

(3)研制新型大面积平板显示器。目前,有源矩阵 LCD 的尺寸只有 $203\text{ mm} \times 203\text{ mm}$ 。为了综合更多信息还需要增大显示器尺寸,近期目标要达到 $254\text{ mm} \times 254\text{ mm}$ 。电致发光显示器、场致发光显示器、有机发光二极管显示器等都具有很大发展潜力,但目前还不同程度地存在一些技术问题。形状可变的挠性显示器也是人们的研究目标。

(4)多媒体、交互式技术将逐渐广泛应用。

(5)高清晰大屏幕全景显示/控制系统是发展方向。为了大范围、全方位了解飞机周围情况,提高安全性和营运效率,需要大面积显示器。美国全景驾驶舱控制显示系统(PCCADS)计划等研究机构设想整个仪表板是一个高分辨率大屏幕,采用触敏与语音控制,采用标准菜单式结构和交互式界面。大屏幕不仅可以显示平面视图,也可以显示三维视图;不仅可以显示全屏图像,也可以分屏或镶嵌插图。它运用数据融合、透视,重构、分屏、插入、立体声等先进技术,显示整个飞行过程所需的数字地图、全景图像或系统状态,这将是座舱显示和控制的又一次革命。

参考文献

- [1] 孙滨生. 世界飞机电子显示器手册. 北京: 航空工业出版社, 1995.6.
[2] D.H.米德尔顿. 航空电子系统. 北京: 航空工业出版社, 1992.10.
[3] 波音公司, 空客工业公司, 多尼尔公司, 等. B757/767、B747-400、B777、A320、A340、Donier328-300 飞机手册.

Development of Electronic Display Technology for Civil Aircraft

WANG You-long

(China Civil Aviation Flying College, Sichuan, Guanghan 618307)

Abstract: Electronic display instrument (EDI) marked a revolution of aeronautical instrument evolution, which made radical change for civil aircraft instrument; not only it greatly increased information integration level and automation display level in cabin instrument but also improved human-machine effectiveness and flight safety. In this paper three development phases of EDI for civil airplane are introduced; their technology property is discussed and future development of electronic display technique is analyzed.

Key words: civil aircraft; flight instrument; electronic display technology

(收稿日期: 2002-02-20)

中国航空学会第六届航空通讯导航技术学术交流会在海口举行

由中国航空学会电子分会通讯导航专业委员会、上海市航空学会和中国航空无线电电子研究所主办的“中国航空学会第六届航空通讯导航技术学术研讨会”于2002年4月21日至26日在海南省海口市举行。来自航空航天工业、信息产业部、民航、部队科研单位、高等院校等系统的论文作者和通讯导航专业委员会委员、上海市航空学会领导等出席了会议。

本届交流会共录用论文44篇。会议期间,与会代表对交流论文涉及的技术问题进行了比较深入的讨论,特别就航空电子系统开放式体系结构、数据融合、新航行系统、通讯导航领域的最新发展和研究情况进行了广泛交流研讨,会议学术气氛浓厚,达到了沟通信息、相互交流启迪的目的。会议认为,这样的交流在相关学科之间互相渗透融合加强的今天,很有必要,对各自的科研工作有较大的促进作用,有益于我国航空通讯导航技术的发展和我国军民航的发展。

经过商讨,会议就下一届研讨会的主题、内容等达成了共识,主题确定为:“新世纪初期的航空通讯导航”;内容为:1. 新航行系统条件下的航空通讯与导航;2. 航空电子系统综合与体系结构;3. 软件无线电技术应用;4. 航空数据链与航空通讯抗干扰;5. 卫星导航与航空导航技术;6. 导航战;7. 多平台多信源数据融合技术;8. 航空通讯导航中的信号处理技术;9. 天线技术及应用;10. 其他。

下一届会议的时间定于2003年四季度在四川省或华东地区举行。据悉,征文工作已经开始。稿件要求文前150字的中英文摘要,网上发送。有关征文事宜与中国航空学会电子分会通讯导航专业委员会联系。地址:上海市桂平路555号45栋307-309室(200233),电话:021-64850014,电子邮箱: ssaxcd@online.sh.cn, ssaxcd@163.com。(徐春栋)