

机载增强型近地警告系统 发展概述

Development of Airborne Enhanced Ground Proximity Warning System

中国一航陕西宝成航空仪表有限责任公司 许卫东 呼 曦



许卫东

研究员级高级工程师，工程硕士，1982年毕业于南京航空学院自动控制系惯性导航专业。现为陕西宝成航空仪表有限责任公司副总工程师、首席专家，主要从事导航与控制产品的研究和工程应用。

在飞机飞行中发生的受控撞地、可控飞行撞地(Controlled flight into terrain, CFIT)是指飞机在可以操控的情况下,由于机组人员未能及时觉察与障碍物的危险接近,致使飞机撞山、撞地或飞入水中,而非飞机本身的故障或发动机失效等原因引发的飞行事故。根据国际民航组织的统计,CFIT目前已经成为导致商用喷气飞机机体损毁事故和人员死亡事故的元凶。自喷气机投入商

业运行开始,全世界死于CFIT事故的人数有数万人。为此,民航开始在飞机上安装近地警告系统(Ground Proximity Warning System, GPWS)以避免类似事故的发生,增加飞行安全性。1974年,美国联邦航空局针对在美国空域飞行的飞机,开始将GPWS列入强制安装要求。1979年,国际民航组织推荐在商用飞机上安装该设备,此后CFIT事故急剧减少,1985年后,CFIT事故每年仅发生1到2次,而强制要求安装前每年发生7到8次。目前,全球几乎所有的商用喷气飞机均装备GPWS。虽然GPWS有效地减少了事故,但是CFIT事故仍然是导致商用喷气飞机事故的主要原因,事故数据显示GPWS有需要进一步改进的方面。为此国际民航组织提出了安装地形提示和警告系统(Terrain Awareness Warning System, TAWS),又称为增强型近地警告系统(Enhanced Ground Proximity Warning System, EGPWS),以弥

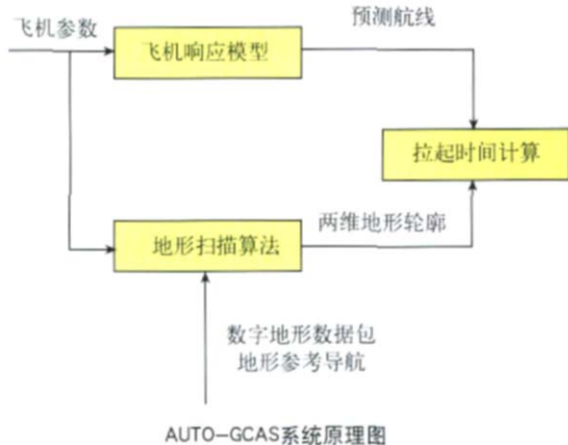
补GPWS的不足,避免类似的CFIT事故。TAWS系统在保持GPWS系统原有优点的同时,增加了前视地形警戒和地形显示等新功能,能使飞行机组更全面地了解飞机周边的地形态势,从而进一步降低CFIT事故的发生率。迄今为止,全世界已经安装EGPWS设备的飞机没有发生过一起可控飞行撞地事故。

世界各国空军的事故极其严重,包括美国和俄罗斯两国早期生产的军机,这些事故中的1/3都是由于飞行员丢失状态而引发的CFIT事故。

在美国空军中,CFIT事故比民航要严重得多。这是因为空军与民航相比,其基本任务有着很大的区别:在民航中飞机的任务就是把人或物品从A点运到B点;在空军中,有一部分任务和民航相同,但是还有另外一些任务如格斗、搜索、救援,空中对地攻击等任务,这些任务飞行难度大,航路不固定,机动性高,更容易发生事故,包括CFIT事故。在1987到1996年这10年里,美国空军因为

CFIT 事故就损失了大约 20 亿美元, 100 多架飞机坠毁, 人员伤亡达 200 人之多, 美国海军方面损失更为严重。从 90 年代早期开始, 美国平均每年要损失 4~5 架飞机, 而瑞典的 CFIT 事故率是美国的两倍。

美国及欧洲的一些国家于 20 世纪 90 年代中期, 投入大量资源开展地形提示和警告系统研究工作, 取得了一定的成果, 并在国际民用航空领域得到了广泛应用。但是, 在军机的应用研究方面, 进展相当缓慢, 主要原因是军机的飞行航路不固定、飞行姿态多变、军机航电设备接口技术涉密、军用航空数字地图没有民用航空数字地图完备且涉密等。



国外研究现状

自从人类发明了飞行器以来, 飞行事故就伴随着飞行过程, 资料统计表明, 有 1/3 的事故为 CFIT 事故。尽管人们采取了一系列的措施, 如改进和提高飞机的航电系统和机电系统性能, 但 CFIT 事故占同期总事故的比例却没有下降。地形提示和警告系统 (TAWS) 和近地警告系统 (GPWS)、增强型近地警告系统 (EGPWS)、地形冲突回避系统 (Ground Collision Avoidance Systems, GCAS) 一样, 成为预防 CFIT 事故的重要安全设备。

1 近地警告系统 GPWS、增强型近地警告系统 EGPWS

美国 HONEYWELL 公司研制的增强型近地警告系统在全球民用飞机上已得到广泛使用。早在 20 世纪 70 年代, HONEYWELL 公司就从事近地警告系统的研究工作并开发出系列产品装备在民用飞机上, 这对民用飞机飞行安全起到了一定作用。但经过十几年的使用, 发现 GPWS 有许多不足之处: 它只有“下视”功能, 不能了解前方的情况, 虚警情况时有发生, 装备了 GPWS 的飞机虽然有效地减少了事故, 但是 CFIT 事故仍然是导致商用喷气飞机事故的主要原因。在国际民航组织的倡导下, HONEYWELL 公司于 20 世纪 90 年代着手研制具有

前视地形规避功能的增强型近地警告系统 EGPWS, EGPWS 使用其内部自带的嵌入式全球地形数据库、机场位置数据库和人工障碍物数据库, 并且利用飞机当前位置、无线电高度、气压高度和飞行航姿等信息来确定潜在的撞地危险, 以增加飞行安全性。机场位置数据库装有全球所有长度超过 1067m (3500ft) 的 2 万多条机场跑道的资料, 地形数据库包括了飞行区域内所有地形情况。当飞机在飞行过程中, 根据飞机预计的飞行轨迹和飞行高度实时与机上数字地图的数据进行对比, 当预计发生事故的时间小于或等于预警时间时, 系统就会提前 30s~60s 向机组发出语音、灯光、前视地形显示等警告, 避免在雨雾等恶劣天气中飞行员仍然有效控制飞机的情况下或者飞行员丧失空间方向感的情况下发生飞机撞地、撞山或飞入水中的事故。

2000 前后, 美国的 CUBIC 公司、L3 公司、德国的 Euro Telematik AG 公司都进行了类似

系统的研制工作, 其功能性能技术指标都与 HONEYWELL 公司的 EGPWS 相当, 主要用于商业运输。

2 自动地形冲突回避系统 AUTO-GCAS

为了制止由于 CFIT 事故引起的飞行员和飞机的巨大损失, 美国空军研制了自动地形冲突回避系统 (AUTO-GCAS)。战斗机自动地形冲突回避系统的概念于 20 世纪 70 年代提出, 20 世纪 80 年代美国通用动力公司为 F-16 战机研制出了 GCAS 系统, 并在爱德华兹空军基地通过了试飞。GCAS 是一个自动装置, 不需要飞行员涉入, 它利用一套高精度的飞行模型和一个数字地形数据包。它不需要雷达, 从而使它在工作的时候不向外界发送雷达信号。依靠地形数据包里描绘的地形, 它在任何地形、所有的天气条件下都是有效的。它利用一套数字地形系统和参考地形导航算法来确定飞机的空间位置。飞机周围的地形数据包经过扫描生成一个地形轮廓。连续预测飞机未来的飞行轨迹, 当预测的轨迹高度低于预先设定好的净空高度时, 防撞机动自动执行。这套系统能够在特殊的飞行高度情况 (如超低空等), 以及飞行员空间方向迷失、丧失知觉的情况下保护飞行员。1998 年, NASA (美国航空航天局) 和 AFTI (先进飞行技术集成) 两大组织在美国空军的 F-16D 战斗机上对 AUTO-GCAS 系统进行了飞行测试, 在 29 次飞行中做了 350 项测试, 其中包括向地面俯冲等高难度动作, 结果是令人满意的。目前, 瑞典的“鹰狮”战斗机已经配备了该系统。

但是, AUTO-GCAS 系统在响应时夺取了飞行员对飞机的控制权, 这是美国飞行员不情愿的事情, 特别是系统误操作时。因此, 美国飞行员经常关掉 AUTO-GCAS。这是该系统的缺点。关于美国空军在 AUTO-GCAS 方面更详细的研究

情况是保密的。

国内研究现状

中国民航所有在役客机/货机的加改装业务所用设备均为美国 HONEYWELL 公司研制生产的增强型近地警告系统(EGPWS),民航新购飞机均配备了 EGPWS。军机因飞机本身的涉密及军用航空数字地图的机密性,不可能从国外引进技术或合作开发。国内有些单位及大专院校对国外民用产品进行了初步的分析,完成了原理样机研制,并为民航维修工程研制了自动测试设备。另一方面国内用于增强型近地警告系统的数字地图数据库的应用开发工作也处于起步阶段。这些研究主要表现在:

(1) 近地警告计算机系统研究:近地警告计算机内部组成、与系统的交联以及工作模式。

(2) 近地警告计算机测试系统的硬件研究: ARIN429 总线及其收发卡在工业 PC 上的设计,近地警告计算机测试系统硬件的功能与组成。

(3) 近地警告计算机测试系统的软件设计:测试系统软件的总体设计,飞机建模及仿真程序的设计。

(4) 专家系统在近地警告计算机故障诊断中的应用。

(5) DTE 数字高程模型应用研究:大区域范围内数字高程模型 DTE 在军事上的应用。

系统原理、组成与功能

1 系统原理

EGPWS 的用途是为了预防 CFIT 事故的发生。系统通过这样的方法来达到此目标:采集多项飞行状态参数作为输入,应用警告运算法则,并当出现任何的穿透警告包络边界的情况时,提供给机组听觉警告消息、视觉信号和显示。

EGPWS 的计算机内有一个全球机场位置数据库和一个全球地形

数据库,地形数据库内包含有全球 95% 的陆地情况。全球定位系统或惯性导航系统向 EGPWS 的计算机输送飞机的当前经纬度数据、航向姿态数据,大气数据系统向 EGPWS 计算机输送飞机的气压高度。EGPWS 计算机将这些数据和从地形数据库中提取出来的航线前方地形资料进行对比,算出飞机和前方某些最高地形点的接近速度和高度,然后和既定告警判据相比较,一旦超过,则判定为存在地形威胁而触发报警。

2 系统组成

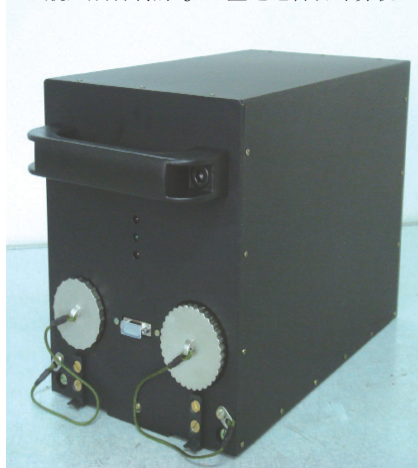
系统由近地告警计算机、信号与控制单元、显示器、可移动存储卡四个部件组成。

近地告警计算机:该部件是系统的核心,包含飞机系统/传感器信号处理、算法、数字地图数据库、音视频告警输出及地形显示数据输出等。硬件设备由模拟信号处理板、数字/串行信号处理板、语音声光控制板、嵌入式计算机模块等组成。

飞机系统/传感器信号:是指取自飞机上各个相关系统的信号,这些系统包括大气数据系统、无线电高度表系统、飞行管理系统、电子飞行仪表系统、惯导系统、导航接收机、着陆襟翼选择或襟翼的位置、起落架、ILS 仪表着陆系统、全球卫星定位系统等。

信号与控制单元:用于对近地

一航宝成研制的XJD-2型近地警告计算机



告警计算机的工作状态进行控制并对地形危险进行灯光告警指示。它有与近地告警系统功能要求相符的专用接口。视觉输出提供了一个间断性的告警和状态显示,与音频告警和提醒同步,共同实现地形告警功能。

机舱耳机或扬声器系统:将近地告警计算机的音频告警、警戒、提醒信号转化为音响输出。提供的声音输出为专门的告警短语和高度呼叫。音响由扬声器或耳机发出。

数据存储卡:数字地图存储介质为 FLASH 存储卡,用于存储数字地图的数据,当对数字地图进行更新时,使用专用的手持地图装载设备,并通过串行总线互连和通讯。

地形告警显示器:用于显示地形告警信息。

3 系统功能

系统的功能主要包括 7 种:

- 提前下降告警;
- 下降速率过快告警;
- 地形接近速率过大告警;
- 起(复)飞后高度损失告警;
- 地形净空不足告警;
- 风切变告警;
- 前视地形回避。

发展趋势

1 产品与技术不断发展

目前,EGPWS 技术发展迅猛。以美国 HONEYWELL 公司为代表,该公司开发了 8 大系列 30 多个品种规格的产品。其产品分为 GPS 内置/外置,按地形数据库(DB)范围分为全球/局部,按电源种类分为直流/交流,按信号接口分为模数混合/数字,按发动机种类分为涡喷/涡扇/涡桨等。EGPWS 的功能通过软件升级,可实现跑道识别及咨询系统(RAAS)功能、稳定进近监测(SRM)功能。近 3 年来,HONEYWELL 公司为 EGPWS 增加了自动拉起(AUTO-PULL UP)

功能,当出现高级别的近地警告威胁时,EGPWS系统向自动驾驶仪输出信号,自动执行危险地形规避程序,飞机自动改出。目前,该功能仍在试飞验证之中。

同时,随着综合模块化航电系统(IMA)技术的迅速发展,出现了增强型近地警告系统和交通防撞回避系统的集成产品 T^2 CAS、 T^3 CAS(比 T^2 CAS增加S模式应答机)及飞机环境监测系统AESS(AESS: Aircraft Environment Surveillance System)。AESS系统在空客A380及欧洲大型军用运输机A400M上已成功应用。AESS由机载气象雷达(Weather/windshear Radar),交通防撞回避系统和S模式应答机(Traffic Collision Avoidance System and Mode-S Transponder)及增强型近地警告系统集成组成,系统具有风切变检测、空中交通冲突回避、可控飞行撞地预防等功能。AESS不是雷达、TCAS、EGPWS几个系统的简单叠加,而是功能模块的集成组合,其重量、体积、成本大为减小,而可靠性、维修性却极大提高。AESS在A380上采用双系统冗余架构,确保系统的可靠性和安全性。AESS与机上其它机载系统通过AFDX总线互联,进行信息交换,实现资源共享。

2 适用机型不断扩展

根据国际民航组织及中国民航总局规定,从2005年1月1日起,所有最大审定起飞重量超过15000kg或客座数超过30的涡轮发动机飞机,都要强制安装EGPWS系统,9座以上的飞机推荐安装了EGPWS系统。EGPWS已成为波音、空客等公司生产的运输机的标准配置,国外许多武装直升机、空中预警机等也安装了此类设备,如美国军用运输机、直升机、空中预警机、空中加油机、电子对抗机、海上搜救机等均安装了EGPWS系统。HONEYWELL公司

的产品按适用机型,从早期的干线大飞机、支线小飞机系列产品,发展到当前的直升机,通用航空系列配套产品等。

一航宝成公司产品研制情况及对大飞机建议

一航宝成公司较早地开展了对EGPWS的预先研究工作,成立了项目组,建立了系统仿真与测试实验室,开展了项目立项、关键技术攻关、方案论证、工程研制等工作。项目组研究与跟踪国际先进技术,在关键技术研究及产品实现等方面都取得了成果。立足于多年的研究设计,一航宝成已经完成了产品工程样机研制,将逐步形成XJD-2、2A、2B系列增强型近地警告系统产品。

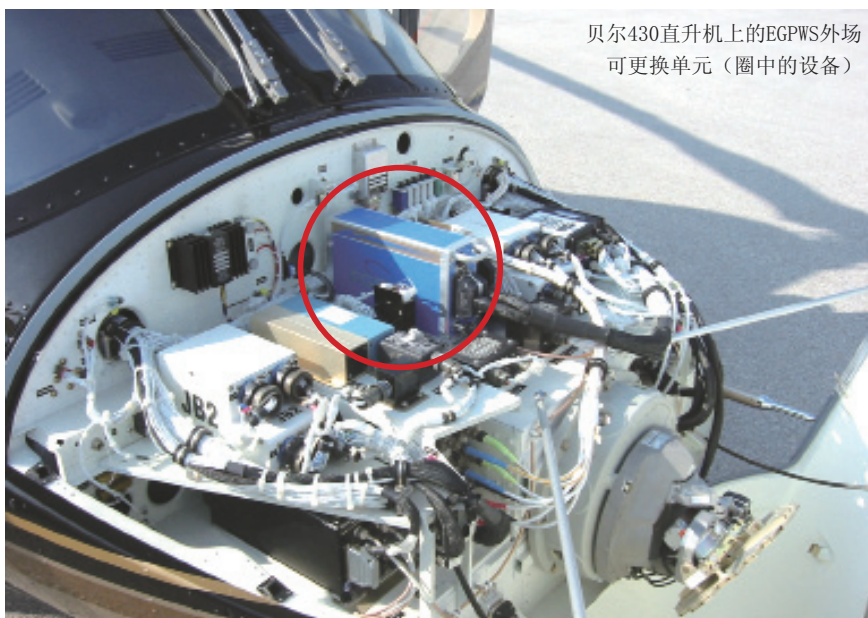
一航宝成公司研制的增强型

强型近地警告系统产品可适用于大飞机、小飞机、直升机、通用航空等机型。

我国大型飞机研制重大科技专项已经正式立项,大飞机公司已挂牌成立,这些对我国机载设备的发展是一次难得的机遇,同时对机载设备行业也提出了重大挑战。增强型近地警告系统作为飞行安全的机载技防设备,在大飞机上属于重要机载设备系统。在开展工程化研制时,应把握好以下几点:

(1) 坚持自主研发,技术创新,攻克关键技术。建立起一套科研、生产、仿真、试验、试飞、适航取证、技术支持等的软硬件体系。

(2) 建立健全我国的地形数据库、机场跑道数据库、人工障碍物数据库,并完善保密管理、更新、发布、



贝尔430直升机上的EGPWS外场可更换单元(圈中的设备)

近地警告系统,产品功能性能符合TSO-C151a标准,满足适航要求,与国外产品相比,除具备提前下降告警、过快的下降速率告警、过大的地形接近速率告警、起飞或复飞后的高度损失告警、不足的地形净空告警、风切变告警、前视地形回避等常规功能外,系统应用软件中还专门开发了飞行轨迹预估功能模块,使告警功能更加有效。XJD-2、2A、2B系列增

使用等规章制度。

(3) 主机院所与机载厂所紧密合作,系统地分析和研究产品需求,慎重提出大飞机EGPWS的研制总要求。

(4) 在产品寿命、可靠性、适航方面要狠下功夫。

(5) 加大资金投入,确保科研、生产、服务工作持续高效开展。

(责编 侧卫)