

# 近地警告系统GPWS发展概述

赵钱 杨栋昊 强永星 (中航西飞民用飞机有限责任公司)

**摘要:** 近地警告系统 (GPWS) 目前是预防飞机可控飞行撞地事故发生、保障飞行安全的重要机载告警系统。本文以 GPWS 的发展历程为线, 介绍了该系统的工作原理, 分析 GPWS、EGPWS 的功能特点, 同时对 EGPWS 的国内外技术发展进行了探讨。

**关键词:** 可控飞行撞地; 近地警告系统; 飞行安全

## 1 引言

飞机撞地有失控撞地和可控飞行撞地两种情形。其中可控飞行撞地 (CFIT) 在可以正常控制的飞机上, 由于机组人员未能及时察觉飞机与障碍物的危险接近, 导致飞机撞到地面、水中或障碍物等引发的飞行事故<sup>[1]</sup>。

据统计, 不论是民航飞机还是战斗机, CFIT 都是造成飞机损坏和人员伤亡的主要原因。在 1991-1995 年全球造成死亡的商用喷气飞机空难事故中, CFIT 事故占比 28.8%, 其死亡人数占比 32.1%。在 1970-1984 年美国空军、海军的数据显示中, 有 400 多架飞机发生 CFIT 事故。

CFIT 事故并不是由于飞机本身故障, 而是由于其他原因, 如复杂的气象天气、导航设备故障、ATC 引导错误或者飞行员人为因素<sup>[2]</sup>。为了避免 CFIT 事故, 美国首先推出了适用于民航领域的近地警告系统 (GPWS), 该系统极大提高了飞机在起飞和进近着陆时的安全性<sup>[3]</sup>。

经过近 50 年的发展, 近地警告系统的发展已相对成熟。本文以 GPWS 的发展历程为线, 系统地介绍了该系统的工作原理, 分析 GPWS、EGPWS 的功能特点, 同时对 EGPWS 的国内外发展趋势进行了探讨。

## 2 近地警告系统 (GPWS)

近地警告系统的概念首先是瑞典的 SAS 航空公司在 1970 年提出。同年, 美国 SOUNDSTRAND 公司 (霍尼韦尔公

司近地警告系统部分的前身) 首先研制出近地警告设备, 并在部分大型喷气飞机上投入使用。

美国联邦航空局 (FAA) 从 1974 年开始要求在颁发飞行执照时安装近地警告系统, 强制要求在 1995 年底以前在美国空域飞行的所有大型喷气机和涡轮螺旋桨飞机必须安装 GPWS; 1978 年, FAA 要求 10 座及以上的客机必须安装 GPWS; 1979 年起, 国际民航组织 (ICAO) 推荐各国航空公司安装 GPWS<sup>[4]</sup>。CFIT 事故在强制安装近地警告系统前, 每年发生 7 ~ 8 起, 而在 1985 年后每年仅发生 1 ~ 2 起, 极大程度上减少了 CFIT 事故, 保障了飞机和机上人员安全。

### 2.1 近地警告系统 (GPWS) 工作原理

近地警告系统 (GPWS) 是一种机载警告系统, 当飞机异常接近地面时, 通过视觉和听觉的警告提醒机组人员, 当驾驶员操纵飞机使其脱离不安全状态后, 相应的警告才会停止。

GPWS 依据不同的飞行状态有不同的告警模式<sup>[5-6]</sup>, 模式 1 为过大的下降率。模式 2 为过大的地形接近率。模式 3 为起飞或复飞后掉高度。模式 4 为非着陆构型近地。模式 5 为进近时低于下滑道太多。模式 6 为高度报告 / 倾角过大。

GPWS 主要由近地警告计算机 (GPWC)、控制组件和显示组件组成, 其中 GPWC 内部存储了各种警告模式的极限数据, 是该系统的重要部件。GPWS 接收来自飞机各关联系统数据,

如无线电高度, 气压高度, 惯性垂直速度, 下滑道偏离信号, 选择的航向、跑道方位, 襟翼和起落架的位置等。

GPWS 通过接收飞机实时状态数据, 与 GPWC 存储的极限数据进行比较判断, 若超过某一告警方式的极限值, 表明飞机可能有撞地危险, 系统将发出相应的语音、灯光、文字警告信息。

### 2.2 近地警告系统的局限性

但是经过长期的使用发现, GPWS 在预防 CFIT 事故方面虽有明显效果但并不十分完善, 1975-1992 年期间, 发生在装有 GPWS 飞机上的 CFIT 事故仍占比约 35%。综合分析, 造成这种情况的原因有<sup>[4]</sup>:

(1) GPWS 仅在起飞和进近阶段、且无线电高度低于 2500ft 时发挥作用, 该系统并不是全时段的报警系统。

(2) GPWS 属于现状型或反应式系统, 由于 GPWS 主要依赖无线电高度工作, 只有“下视”功能, 无“前视”功能, 如飞机前方突然出现垂直的地形或障碍物, 无法立即反映飞机前方地形情况。当飞机进入到威胁飞行的环境中, GPWS 才发出警告, 提前告警的时间太短以至于飞行员没有充分时间作出正确反应。

(3) GPWS 某种情况下存在“无警告”的因素限制。如飞机以正常速率下降且起落架和襟翼均在着陆形态时, GPWS 解析飞机将降落在机场, 为避免干扰系统功能被抑制, 无法提供地形警告。



### 3 增强型近地警告系统 (EGPWS)

为进一步完善近地警告系统,同时随着数字地图、导航、地形回避、定位等技术的发展,国际民航组织提出安装地形提示和警告系统(TAWS),即增强型近地警告系统(EGPWS)。它是在近地警告系统的基础上,增加“前视地形警戒”和“地形显示”功能。EGPWS获取飞机位置、预计的飞行轨迹等信息,同时结合使用系统内部的全球机场位置数据库和地形数据库,判断飞机是否存在潜在的撞地危险。

1998年,FAA要求在美国注册的所有6座以上的飞机都必须配备EGPWS,在2005年1月1日后终止使用GPWS;2002年9月20日,中国民航总局要求国内航空公司中30座以上的客机上于2004年底全部安装EGPWS;2005年1月1日起,民航总局要求我国所有最大审定起飞重量超过15吨或30座以上的涡轮发动机飞机,强制安装EGPWS,9座以上的飞机推荐安装EGPW<sup>[4]</sup>。截至2004年,安装EGPWS的飞机无一发生CFIT事故。

#### 3.1 同近地警告系统比较的功能改进

增强型近地警告系统相对于近地警告系统,增加了前视地形警戒功能和地形显示功能。

(1) 前视地形警戒功能是EGPWS利用导航定位系统提供的飞机位置,其他关联系统提供飞机飞行状态,计算出未来的飞行轨迹,并将其与自身地形数据库中的数据进行连续性比较,判断是否会有危险发生,若有则给出相应的提示或警报。在某些相同地形威胁出现时,GPWS只能提前5~20秒告警,而EGPWS可提前35~50秒发出警戒告警、提前20~30秒发出警告告警。该系统相比于GPWS极大地提高了预警时间,给飞行员反应、处理时间更长,更大范围上避免了CFIT事故发生的可能性。

(2) 地形显示功能是EGPWS利用

飞机当前的位置、飞行状态等信息,参照EGPWC内部地形数据库中的信息,对飞机的航迹及安全高度进行连续性比较,在飞机显示系统上显示地形,且地形信息随着飞机高度变化而实时改变。

#### 3.2 增强型近地警告系统的局限性

增强型近地警告系统较之近地警告系统有明显的改进,但在某些方面仍然可以继续完善,如:

(1) EGPWS在飞机起飞和进近阶段的高度数据仍源于无线电高度表。机场附近的建筑物或地形变化都会影响EGPWS告警的准确性,但若使用气压高度或GPS高度作为系统高度来源,精度又达不到系统要求。

(2) EGPWS过分依赖地形数据库。对于某些地区存在地形数据库不准确或者缺少的情况,此时EGPWS安全性会受到极大的限制,无法发挥正常的作用;此时若飞机偏离航道,飞机和机上人员可能会处于一种极度危险的情况中,安全受到极大威胁。

### 4 国内外近地警告系统的发展研究现状

#### 4.1 国外发展、研究现状

国外关于近地警告系统的研究从20世纪70年代开始,技术已经相对成熟,相应的技术标准也逐渐完善。1976年,美国航空无线电技术委员批准发布了DO-161A,规范了GPWS的设计与认证要求。1990年,美国联邦航空局(FAA)制定了TSO-C92,在DO-161A基础上进一步规范系统认证的技术要求;1998年,FAA发布的TSO-C151规定了TAWS的最低性能标准和安装在飞机上进行飞行试验的条件;2008年,FAA发布的TSO-C194规定了直升机TAWS的最低性能标准和飞行试验条件<sup>[4]</sup>。

美国的Honeywell公司最早提出并开始近地警告系统的研究工作,1998年又推出了增强型近地警告系统。该公司作为国际上最大的EGPWS产品供应商,类型多样,有MKV-MKV VIII,可用于

涡轮喷气机;MKXXI、MKXXII,可用于直升机;KGP560、KGP860,可用于轻型B类飞机。ACSS公司的TW-950产品装备在我国ARJ21飞机上。另外Universal Avionics公司、Sandel Avionics公司等也开展GPWS产品研究,产品可用于A类、B类飞机、固定翼飞机、旋翼飞行器等<sup>[4]</sup>。

美国空军从21世纪初开始研究自动地面防撞技术(Auto-GCAS)技术,该技术由美国空军研究实验室、洛克希德马丁公司、NASA共同开发,可以由人为因素(如丧失空间方位感)引起的撞地事故降低90%。Auto-GCAS可以在飞机即将撞地时采用的一种恢复机动挽救飞行员性命。2014年,Auto-GCAS开始在F-16 Block 40/50战斗机上服役,配装该系统后,使10架F-16战斗机免于坠毁,挽救了11名飞行员的生命。

#### 4.2 国内发展、研究现状

国内在近地警告系统方面现行有效的技术标准是HB 8399-2014(2017)《民用飞机近地警告系统通用规范》,该规范对民用飞机近地警告系统的设计、制造、检验和交付进行要求。

在产品研制方面,上海航空电器有限公司是国内首家研制生产EGPWS产品并成功装机使用的单位。该公司研制的设备已为上百余架不同型号的飞机配装近地警告系统,打破了国外在该项技术的长期垄断,改写了国内没有近地警告系统自主研发能力的历史。陕西宝成航空仪表有限公司较早开展对EGPWS的预先研究工作,目前已完成XJD-2产品工程样机的研制。

在试验研究方面,西北工业大学、上海交通大学、中国民航大学等院校的部分学者在近地告警系统算法、仿真分析、故障诊断等方面开展研究。宋东等人以飞行仿真软件FLSM为工具,构建了EGPWS仿真的总体结构框架,阐述了报警模式算法、地形显示模块以及地形数据库间的通信机制,

通过仿真试验验证了前视预警算法的快速性和可靠性<sup>[7]</sup>。陈广永研究报警阈值的设定对报警性能影响,给出了一种基于性能指标报警阈值的设计方法<sup>[8]</sup>。王海斌通过将关系数据库技术与传统的专家系统产生式推理规则相结合,利用VB技术开发了推理的GPWS故障诊断专家系统,实现了故障源的快速准确定位<sup>[9]</sup>。

目前国内飞机上使用的近地警告系统产品大多来自国外生产商,这些产品虽各有技术特点,但价格昂贵。我国近地警告系统方面的专家、学者开展了各项试验研究,某种程度上缩短与国外EGPWS系统方面的差距,但是在核心技术方面需要继续加强、深入研究。

### 5 增强型近地警告系统的发展思路

增强型近地警告系统提高了飞机的安全,有效的抑制可控飞行撞地事故的发生,对世界航空的发展具有巨大意义。根据空客公司在2021年度《商用航空事故统计分析报告》中的统计,随着第三代和第四代飞机上可用的导航以及地形感知及警告系统技术的不断发展,CFIT事故数量正在减少,近20年CFIT事故降为致命事故的第二大事故类别,占比21%,死亡率事故率下降了89%。

随着智能着陆和三维地形显示等功能的发展,EGPWS性能不断增强,系统间的融合不断加深。关于EGPWS的研究提出几点发展设想:

(1) EGPWS系统中高度数据以及其他关联数据目前依然采用传统的传感器或数据线进行获取、传输,在后续研究中可以开发新产品、新设备以增强飞机的感知能力,保证关键数据信息可靠、各系统间数据传递完整。

(2) EGPWS是一个独立的报警系统,当出现警戒提示时,需要飞行员立即采取行动。加强EGPWS与飞行控制的联系,在自动采取有效的规避措施方

面进行深入研究,使得飞机更快速有效的采取行动,保证飞机和人员的安全。

(3) 基于系统功能上的相似性、安全等级及其他特点,同时考虑飞机减重、降低制造成本,未来考虑将地形提示和警告系统、交通防撞警告系统等联系在一起,设计一种综合的告警系统。

### 参考文献

[1] 许卫东,呼曦. 机载增强型近地警告系统发展概述[J]. 航空制造技术,2008(16):40-43.

[2] 汪磊,孙瑞山. CFIT事故中的人为因素[J]. 中国民航大学学报,2007(S1):80-82.

[3] 刘连生,陈戴维. 增强型近地警告系统的特性及实现[J]. 中国民航大学学报,2007(S1):120-121+126.

[4] 何创新,钟建坡,侯学晖. 近地告警系统国内外现状与发展概述[C]. 中国航空学会. 探索 创新 交流——第五届中国航空学会青年科技论坛文集(第5集),2012:5.

[5] 吴琛. 增强型近地警告系统研究[J]. 科技创新导报,2011(32):16-17.

[6] 吴琛. 地形提示和警告系统研究[J]. 民用飞机设计与研究,2012(1):32-34+39.

[7] 宋东,李文娟,裴林,周宇晗. 增强型近地警告系统前视预警算法设计与仿真[J]. 系统仿真学报,2009,21(20):6666-6669+6674.

[8] 陈广永. 近地告警系统报警曲线算法模型与控制仿真研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2009.

[9] 王海斌. GPWS故障诊断专家系统的研究与设计[D]. 德阳:中国民用航空飞行学院,2011.

### 相关链接

地面逼近警告系统(Ground Proximity Warning System, GPWS)是飞机上的一种警告系统,又称近地

警告系统。地面逼近警告系统是民航飞机广泛使用的增强型近地警告系统(EGPWS)的前身。

地面逼近警告系统的主要功用是避免飞机与地面相撞,当飞机与地面危险接近时给机组提供相应的警告提示,增加飞机安全性。为此,大部分民航客机上都安装有地面逼近警告系统,该系统主要由地面逼近警告计算机、警告灯和控制板组成。

它的核心是近地警告计算机,计算机中存储了各种警告方式的极限数据,这些数据与其它系统输送来的飞机实际状态数据进行比较,如来自无线电高度表的高度信号,来自大气数据计算机的气压高度和变化率,来自惯性导航的惯性垂直速度等。如果这些数据超出了某一种警告方式的极限值,地面逼近警告计算机就输出相应的语音和灯光警告信号,警告飞行员飞机存在危险状态,直到采取了适当的措施而脱离了不安全状态后灯光和语音警告信号才被终止。

地面逼近警告系统之所以产生,是因为可控飞行撞地(CFIT)。可控飞行撞地是指在飞行中并不是由于飞机本身的故障,或发动机失效等原因发生的事故,而是由于机组在毫无觉察危险的情况下,操纵飞机撞山、撞地或飞入水中,而造成飞机坠毁或严重损坏和人员伤亡的事故。

地面逼近警告系统开始普及的1970年前,可控飞行撞地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主要原因之一。

地面逼近警告系统自起飞开始到降落地面为止,将持续监视飞机的离地高度,它利用无线电高度表获得离地高度,并以电脑计算出飞机的飞行趋势,当发现存在危险时将以视觉与语音警告飞行员采取避险措施。