

地形提示和警告系统研究

Research of Terrain Awareness and Warning System

吴琛/Wu Chen

(上海飞机设计研究院, 上海 200232)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200232, China)

摘要:

地形提示和警告系统 (TAWS) 能够有效地避免可控撞地事故 (CFIT) 的发生, 极大地提高了民用飞机飞行的安全性。目前, 国外对TAWS的研究和应用比较成熟, 而国内仍处于起步阶段。结合作者在设计中积累的经验, 首先介绍了近地警告系统 (GPWS) 的功能特点, 通过分析GPWS的应用局限性, 给出了TAWS系统的发展历程。对TAWS的主要功能和应用进行了深入研究, 重点分析了TAWS的前视功能。并在此基础上, 给出了TAWS系统在实际应用过程中的优点和尚待解决的问题。最后, 提出了适应民航系统未来发展的新一代TAWS系统的发展趋势。

关键词: 可控飞行撞地; 前视地形告警; 地形显示; 过早下降告警; 近地警告系统

[Abstract] Terrain Awareness and Warning System (TAWS) is effectively for preventing a Controlled Flight Into Terrain (CFIT) accident, and this makes the civil air much more safe. Years ago, the TAWS technology became mature in the world, but is just started in China recently. With the experience of aircraft system design, this paper here covers the functions and disadvantages of Ground Proximity Warning System (GPWS), and focus on the new functions of TAWS. Special for the forward looking functions of TAWS, this paper research and analysis on TAWS and tell the advantages and some disadvantages that exist with TAWS now. In the end, this paper predicts the development of TAWS for future civil air.

[Keywords] Controlled Flight Into Terrain; Forward Looking Terrain Avoidance; Terrain Display; Premature Descent Alert; Ground Proximity Warning System

0 引言

民用航空规章中的每一项要求都凝聚着人类用生命和鲜血换来的经验和教训, 而地形提示和警告系统 (TAWS) 正是人类付出了生命和血的巨大代价换来的经验和教训的结晶。

在现代商用航空的很多飞行事故中, 并不是由于发动机失效等飞机本身原因造成的, 而是在可控的情况下, 由于缺少对地形的感知而发生撞地或坠海事故。对于此类事故, 业内通常称为可控飞行撞地 (CFIT) 事故。据国际民航组织 (ICAO) 统计, CFIT已经成为导致商用喷气飞机发生机毁人亡事故的主要原因之一。

1974年, 美国联邦航空局 (FAA) 开始对在美国空域飞行的航班发布强制安装近地警告系统 (GPWS) 的要求, 1979年, 国际民航组织推荐运营人安装该设备, 此后CFIT事故明显减少。1985年后, CFIT事故每年仅发生1到2次, 而强制安装前每年发生7到8次。目前, 全球几乎所有的商用喷气飞机均装备GPWS。

但即便如此, 可控飞行撞地事故依然是导致商用喷气机人员死伤的主要原因之一。据统计, 1988-1995年全球发生的空难事故中因CFIT事故死亡的人数, 几乎占

空难事故死亡总人数的一半。数据显示GPWS系统仍然存在需要改进的地方。

为了解决这一问题, 克服GPWS的局限性, 1998年工业界推出了TAWS, 即增强型近地警告系统 (EGPWS)。TAWS是在GPWS的基础上, 增加了前视地形功能。此功能大大提前了系统的预警时间, 给飞行员以更多的反应时间裕度, 从而在更大程度上避免CFIT事故的发生。有资料显示, 自1998年推出TAWS之后, 到2004年, 安装TAWS的飞机无一发生CFIT事故, 证明了TAWS确实能有效地预防CFIT事故的发生。因此, FAA要求在2005年1月1日以后终止使用GPWS, 而安装TAWS。

目前, 国外对TAWS的研究已经比较成熟, 而国内对于TAWS研究还处于起步阶段, 本文主要结合在日常设计工作中积累的经验对TAWS的功能和系统设计进行研究和分析, 阐述了TAWS的发展历程和现状, 并对TAWS在这一领域可能的发展趋势进行了展望。在介绍TAWS原有功能的基础上, 重点探讨了对比GPWS的新增功能, 研究分析了TAWS的各种功能的设计和实际应用中的局限性。

1 近地警告系统

1.1 GPWS功能介绍

传统的GPWS包括6个功能模式，图1为典型的GPWS告警示意图。这6个功能模式主要是通过无线电高度和空速信息来给出近地的告警，主要的告警功能模式为：

(1) 过大下降速率

过大下降速率是根据飞机的无线电高度（或大气高度）和垂直速度来判断飞机是否出现非预期的近地。

(2) 过大接近速率

过大接近速率首先分析飞机的起落架和襟翼构型，判断飞机是否处于着陆状态，然后通过无线电高度表和计算空速来判断飞机是否处于非预期的近地。

(3) 起飞后掉高度

起飞后掉高度是飞机在起飞和复飞过程中，出现高度损失，并且高度损失达到飞机设置的门限值时，GPWS将产生一个戒备级的告警。

(4) 非着陆构型近地

非着陆构型着陆是通过分析飞机的高度和计算空速来判断飞机是否处于进近着陆阶段，提醒飞行员进行襟翼和起落架的设置。

(5) 下滑道偏离过大

当飞机进近着陆时，下滑道偏离过大首先需要分析飞机LOC偏移量，如果偏移量超过飞机设置的门限值，GPWS将触发一个告警来提醒飞行员调整飞机的高度，从而使飞机按照安全的下滑道来进行进近着陆的一种告警方式。

(6) 高度报告/倾角过大

高度报告是飞机在固定的高度向驾驶员报告高度，来提醒飞行员当前高度的一种功能；倾角过大是当飞机倾角超过飞机设置的最大倾角时，提醒飞行员进行操作，避免出现危险情况的告警功能。



图1 GPWS告警示意图

1.2 GPWS局限性

传统的GPWS作为一种反应型的告警系统，局限性主要表现在以下几个方面：

(1) GPWS只能感知平滑的地形变化。因为GPWS依

赖于无线电高度，而无线电高度无法及时反映突兀的地形情况。如果前方出现突然上升的地形，比如垂直的峭壁或陡峭的悬崖，GPWS则无法及时发出告警信号。

(2) GPWS不是一个全时的报警系统。它只在飞机起飞和进近着陆阶段且无线电高度低于2 500ft时发挥告警作用。

(3) GPWS属于反应型系统，没有前视功能。只有当飞机已经进入了对飞行构成威胁的环境中时才发出警告，因此GPWS提供警告的时间较晚，使飞行员没有足够时间作出正确反应。据统计1988年至1995年期间，这个原因引发的CFIT事故几乎占空难总数的一半。

由于GPWS存在着以上不足，CFIT事故较之前虽有明显减少，但仍有发生。CFIT事故依然严重威胁着飞机的飞行安全，所以工业界在1998年推出了TAWS。

2 地形提示和警告系统

2.1 TAWS的功能及其关键作用

针对传统GPWS在实际应用过程中存在的问题，工程人员在保留传统GPWS安全特性的基础上研发了TAWS。相对于GPWS，TAWS增加了前视地形功能，使飞行机组能够了解飞机周边的地形，进一步降低CFIT发生的概率。

要实现这个新增功能，需要得到三类数据：

(1) 飞机相对地球表面的当前位置信息，即飞机经纬度。此数据由机载飞行管理系统采用多传感器融合技术，对惯导系统、无线电导航系统和全球定位系统所提供的位置信息滤波融合后产生。

(2) 飞机所处位置附近的地形数据。此数据需要从地形数据库中得到。TAWS内存有全球地形数据库。这个地形数据库中包括地形数据、机场数据和障碍物数据等信息。

(3) 气压高度、飞行航路计划等其他飞行路径属性数据。TAWS对飞机所处位置定位后，将当前位置的飞行路径属性数据与地形数据库中提取的航线前方地形数据进行比较、处理后，计算出飞机飞行路径与前方一系列最高地形点的接近速率以及接近时飞机和地形的高度。从而确定潜在的撞地危险，实现新增的前视地形告警和过早下降告警两大功能。图2给出了TAWS的功能框图。

2.2 前视地形功能

TAWS前视地形功能是将当前的航线信息和前方地形数据库的信息进行分析对比，根据告警时间提前量，判断是否存在潜在的撞地危险。如果前视地形功能识别到前方存在潜在的撞地危险时，将产生一个告警，用来提醒飞行员做出合适的响应，来避免危险的发生。同样根据告警时间提前量的不同，告警分为戒备级告警和警告级告警。

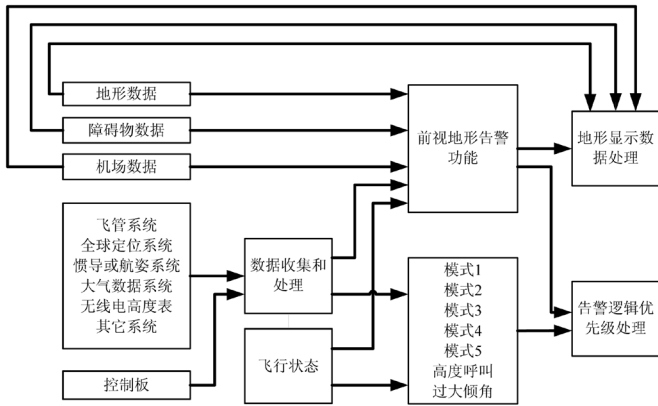


图2 TAWS的功能框图

TAWS的前视地形功能，通过显示系统，用不同颜色显示飞机周围不同高度的地形。这样，机组可以直观地根据显示的内容，对周围的地形有一个大致的了解，特别对周围存在的潜在危险地形的分布可以有一个初步的判断。

TAWS的前视地形功能需要解决的问题包括：前视水平监测、前视垂直监测以及近进着陆时对近地告警的抑制。以下是一种前视功能的解决方案。

2.2.1 前视水平监测

在飞机的水平面上，沿直线飞行时，前视地形包络监测的范围是一个相对狭小的区域，如图3所示。这样的设计是为了防止航路两侧无关的高地或者建筑导致前视地形功能发出骚扰告警。当飞机进行拐弯的时候，水平面上监视范围将会大幅度增加，如图4所示，通过这样的设计来保证飞机飞行安全并且减少虚警的发生。

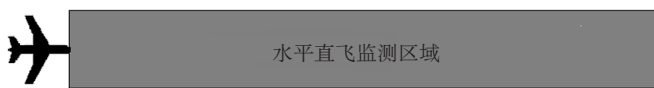


图3 水平直飞监测的水平区域示意图



图4 拐弯飞行监测的水平区域示意图

2.2.2 前视垂直监测

在飞机的垂直面上，飞机会根据当前的飞行状态和相应的传感器信息拟合出下一时刻的最优飞行轨迹，这

个飞行轨迹会随着飞机飞行状态的改变而不断更新。前视地形功能根据这个轨迹和地形数据库进行分析，在设定提前量的时间内，如果存在潜在的危险地形，前视地形功能会给出一个告警，如图5所示。

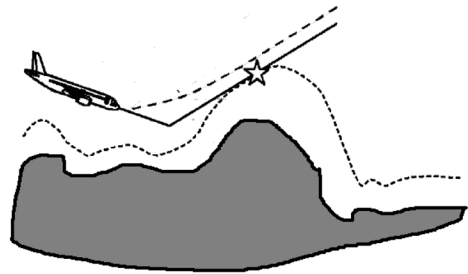


图5 垂直面上前视告警拟合飞行轨迹示意图

2.2.3 近进着陆时对近地告警的抑制

当飞机进入进近的阶段时，TAWS会通过一个着陆包络来监测飞机的进近，这个着陆包络是基于地形数据库中跑道参数来建立的，它是飞机安全着陆的一个假设包络空间，如图6所示。在这个包络中，前视地形告警功能进行一种分析计算：如果通过分析飞机飞行轨迹可以安全地在跑道上着陆，则抑制相关的TAWS近地告警；否则，TAWS会恢复正常的告警。这样的设计也可以同时防止飞机在近进过程中过早下降。

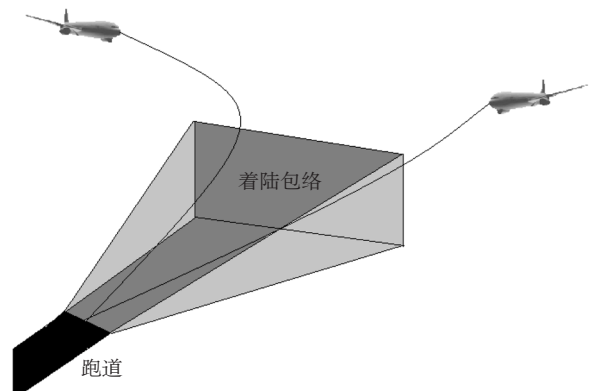


图6 着陆包络示意图

2.3 TAWS前视功能的特点和弊端

TAWS系统的前视功能，消除了GPWS作为反应型告警系统的弊端，为飞行员提供了足够的反应时间，大大降低了CFIT事故发生的可能性，同时大幅度减少了系统虚警的产生。

但是TAWS依然存在着不足的地方：

(1) 由于某些原因机组将下滑道偏离过大的警告抑制后忘了将其恢复。这种情况如果是发生在恶劣天气条件下，飞行员很容易发生错误判断而发生CFIT事故。

(下转第39页)

(上接第34页)

(2) TAWS在飞机起飞和进近阶段依然依赖无线电高度表提供的高度数据。这样,机场附近的建筑物,或者地形的起伏都会影响TAWS告警的准确性;而如果使用气压高度或者GPS高度作为TAWS的高度源,精度又达不到TAWS的要求。

(3) TAWS过分依赖地形数据库。对于地形数据库不准确或者缺少的区域以及地形发生了变化的区域,TAWS的安全性受到极大的限制。特别是在数据库中没的机场进行起降的情况下,TAWS无法发挥正常的作用。如果在这样的区域飞机偏离航道,将会使飞机处于一种十分危险的情况中。

在系统设计上,需要充分考虑TAWS的这些弊端,不仅要系统本身的设计上来解决,更重要的是将这些情况进行充分的考虑,在相关的手册中需要针对这些情况给出合理适用的解决方案。充分发挥飞行员的作用同样是飞机设计的一个不可缺少的思想。

3 TAWS的发展趋势

GPWS的出现和发展,大大减少了可控飞行撞地事故的发生,为世界航空界的发展做出了巨大贡献,并将随着科学技术的发展以及航空经验的积累,不断推陈出新。

近年来,随着智能跑道(Smart Runway)、智能着陆(Smart Landing)、合成视景、地形剖面和三维地形显示等新型近地警告功能的发展,TAWS的功能不断增强,系统间的融合不断加深。

考虑到系统功能上的相似性,安全等级以及输入输出的通用性等特点,为了减重及降低成本,工业界趋于将地形提示和警告系统(TAWS)、交通防撞告警系统(TCAS)、S模式应答机(XPDR)以及气象雷达(WXR)综合在一起,设计一种综合的告警系统。

未来TAWS必将朝着模块化的方向发展,集成更多的功能。在功能方面,TAWS将寻求一种更可靠,精度更高的高度源来弥补使用无线电高度表、GPS高度和气压高度带来的弊端。在地形数据方面,需要找到一种解决方案来解决TAWS地形数据库不全、不准确的问题。TAWS进一步发展,以及更强大的适用功能的开发都依赖于更先进的飞机感知能力。

考虑到现代航空的发展历史,经验教训的积累来之不易。在很长的一段时间内,大部分传统的设计还将主导着民用航空,科学的发展一直并且会不断推动技术的革新,但从技术的革新到主导民用航空还需要经过时间的考验。

参考文献:

- [1] Donald L. Riggin. AC25-23 Airworthiness Criteria for the Installation Approval of a Terrain Awareness and Warning System (TAWS) for Part 25 Airplanes. U.S.Department of Transportation Federal Aviation Administration 5/22/00
- [2] TSO-C151a - TERRAIN AWARENESS AND WARNING SYSTEM U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Aircraft Certification Service Washington, DC 11/29/99.

(上接第26页)

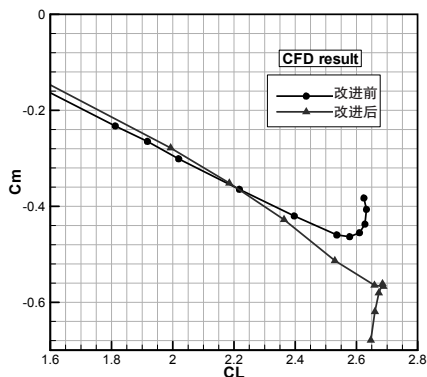


图28 改进前后着陆构型静安定性对比

3 结论

本文通过对民用飞机平尾修形、外侧缝翼缝道参数、内侧缝翼分离面等几个方面的深入研究,为一般民用

运输机就低速气动设计时如何避免力矩上仰指明了方向。

参考文献:

- [1] Ray Whitford, Evolution of the Airliner. 唐长红译. 民用客机发展演变[M]., 2010.07.
- [2] W. E. Milholen, G.S. Jones, C.M. Cagle. NASA High-Reynolds Number Circulation Control Research - Overview of CFD and Planned Experiments[R]. AIAA 2010-344.
- [3] Claudio Marongiu, Renato Tognaccini. Simulation of the Dynamic Stall at Low Reynolds Number[R]. AIAA 2010-513.
- [4] Miguel R. Visbal. Numerical Investigation of Deep Dynamic Stall of a Plunging Airfoil[R]. AIAA 2010-4458.
- [5] Romain Merat. Study of a Direct Lift Control System Based on the A380 Aircraft[R]. AIAA 2008-1432.
- [6] Ryo Nakayama Kisa Matsushima, Kazuhiro Nakahashi. CFD Validation about High Lift Configuration of Civil Transport Aircraft[R]. AIAA 2008-410.
- [7] Mitsuhiro Murayama, Yuzuru Yokokawa, Kazuomi Yamamoto. CFD Validation Study for a High-Lift Configuration of a Civil Aircraft Model[R]. AIAA 2007-3924.