

民用飞机情景识别系统试飞研究

Flight Test Research on Situation Recognition System for Civil Aircraft

武光 梁远东 李畅 / Wu Guang Liang Yuandong Li Chang
(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)
(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

由于平视显示器(HUD)、视景增强系统(EVS)以及合成视景系统(SVS)优秀的情景显示能力,HUD与EVS、SVS结合使用将显著提高飞行员情景识别以及态势感知能力。同时,HUD与自动着陆系统结合使用可降低着陆和起飞时的最低天气标准。随着机组情景识别能力的提高,必须提出高效的试飞方法来验证情景识别系统的适航符合性,在分析EVS、SVS与HUD结合使用的基础上,提出综合的优化的民用飞机机组情景识别系统试飞方法以及基于任务的符合性判据。

关键词:平视显示器;视景增强系统;合成视景系统;情景识别系统;试飞

中图分类号:V241.6

文献标识码:A

[Abstract] For the excellent situation display ability of head up display, enhanced vision display and synthetic vision display, the ability of pilot's situation recognition and perception will be obviously enhanced by using them together. Simultaneously, head up display (HUD) combined with automatic landing system can decrease the minimum weather standard of takeoff and landing. With enhanced ability of pilot's situation recognition, a high efficient method is required to certificate the airworthiness of situation recognition system. Based on employing combination of HUD and enhanced vision system (EVS), synthetic vision system (SVS), the paper proposes a combined optimum flight test method on crew situation recognition system for civil aircraft and acceptance criteria based on task.

[Key words] Head Up Display; Enhanced Vision System; Synthetic Vision System; Situation Recognition System; Flight Test

0 引言

为了应对可控飞行撞地(Collided Flight Into Terrain, CFIT)以及因空中交通繁忙、复杂气象情况对乘客和机组造成的威胁,适航传统解决办法是强制要求安装气象雷达、交通告警以及防撞系统等航电设备或系统,其结果显而易见,然而这也导致机组负荷增加、人机接口不流畅等负面效应。因此,将来自不同传感器的信息融合,为机组在所有飞行阶段提供最优化的情景意识,是未来民航驾驶舱情景识别和态势感知的必然选择。为应对越来越强化的情景意识和态势感知,必须提供一种高效的可接受的试飞方法来验证驾驶舱情景识别和态

势感知能力。然而,现阶段对EVS、SVS以及HUD的试飞验证是单独进行的,单独进行试飞导致融合技术与功能的分离,无法验证系统整体情景识别功能是否符合适航要求,本文提出一种结合的优化的试飞验证方法,综合验证EVS、SVS以及HUD等用以提高机组情景意识的机载设备是否符合适航要求。

1 情景识别与态势感知功能

1.1 视景增强系统(EVS)

EVS能够显示真实外部视景的视频图像,该图像由红外(IR)传感器(或同类图像传感器)产生,传感器安装在航空器的前部(可捕获前方外景的清晰

视野)。EVS 图像可单独使用,也可与 HUD 融合使用,通过组合仪向飞行员提供跑道特征(如跑道灯光)以及周围地形和障碍物特征的图像。

视频图像将提高驾驶员夜间和低能见度条件下的情景意识。然而,随着增强型飞行视景系统(EFVS)的安装,图像传感器和 HUD 的运行优势正在确立。FAA 已批准在使用 EFVS 运行时,只要飞行员可清晰辨识某些目视参考,直线进近时可以下降到决断高度(DA)或最低下降高度(MDA)以下、接地区标高(TDZE)100ft 以上,而不是通过使用 II 类或 III 类进近方式来实现。在接地区标高(TDZE)以上 100ft 处,目视参考必须以自然视线进行确认。此外 EASA 规定,当飞行员使用 EFVS 时,不允许降低决断高度(DA)或最低下降高度(MDA),只允许减少跑道视程(RVR)。

1.2 合成视景系统(SVS)

HUD 支持合成视景系统。SVS 视景在飞机航电设备内部产生,以飞机的位置和姿态为基准,并以存储的地形、跑道、障碍物数据库为基础。SVS 图像覆盖了飞行员通过 HUD 看到的真实世界,也会提高夜间和低能见度条件下情景意识。

1.3 平视显示系统(HUD)

HUD/HGS 利用高度完整的计算机架构,收集并评估重要的飞行数据,比如姿态、空速、高度和导航设备信息等,从而计算出指引着陆的信息。适当的时机,HUD/HGS 也显示特别的符号组,帮助驾驶员对各种紧急情况做出迅速、准确的反应。

在各个飞行阶段,HUD/HGS 可以用作全天候

的飞行显示器,其优势是增强情景意识和提高飞行品质。根据最新研究结论,在所有民航起飞和着陆事故中,68% 的事故可以通过使用 HGS 避免或降低事故危害程度。

HUD/HGS 通常由下列主要的航线可更换组件(LRU)组成:合成显示器、头顶部件、计算机、系统信号牌、控制面板。

2 情景识别系统功能特性审定试飞验证

中国民用航空规章第 25 部《运输类飞机适航标准》F 部分对机载设备有功能性的要求,即第 25.1301 条 功能与安装规定所安装的每项设备必须符合在安装后功能正常的要求。

针对适航规章的要求,结合 HUD、SVS、EVS 共通的预设功能——增强飞行情景意识,减少飞行技术误差,提出结合试飞的方法。

2.1 试验点

试验点作为飞行试验的一个构型状态,对试飞结果、试飞效率、试飞准确度有很大影响。在 HUD、SVS、EVS 传统的试飞验证方法中,由于其共通的情景识别功能,因此存在共通的试验点。表 1 结合三者试验点,形成情景识别系统验证试验点。表中,试验点 1、7 主要针对在低能见度时,验证跑道特征以及周围地形和障碍物特征,试验点 2、3、4 主要针对在光照条件下,HUD 单独使用,以及 HUD 与 SVS、EVS 结合使用时的特性,试验点 5 主要针对在夜间低能见度条件下飞行的情景意识。

表 1 情景识别系统试飞试验点

序号	高度/ft	速度/kn/Ma	重量/mg	重心/% MAC	襟缝翼	起落架	推力	备注
1	起飞	V2	按需	按需	0	收起	TOGA	正常气象条件、低能见度、多模式
2	20 000	按需	按需	按需	0	收起	按需	阳光通过驾驶舱侧面窗户直射组合仪上
3	20 000	按需	按需	按需	0	收起	按需	阳光直射在飞行员白色衬衫上反射在平显组合仪上
4	20 000	按需	按需	按需	0	收起	按需	前方云层上阳光直射在飞行员眼睛
5	20 000	按需	按需	按需	0	收起	按需	夜晚或者黑暗环境
6	20 000	按需	按需	按需	按需	收起	按需	倾斜角±60°度,俯仰 + 20° ~ - 10°
7	着陆	Vref	按需	按需	4	放下	按需	正常气象条件、低能见度、多模式度

2.2 功能特性试验方法

飞机分别按试验点 1、7 构型进行飞行试验,在正常起飞、着陆过程中使用 EVS 和 SVS,观察和记录振动情况下平视显示器结合 EVS、SVS 的显示特性(是否清晰可辨,不会引起误解,图 1 为加装了 EVS 的跑道显示图)。



图 1 跑道情景识别图

在飞行中所有工作和环境照明条件下,包括以下四种临界条件:

(1) 晴天试飞行员驾驶飞机调整姿态和航向,使阳光通过驾驶舱侧面窗户直射在平显上;

(2) 晴天试飞行员驾驶飞机调整姿态和航向,使阳光通过正前方窗户照射到白色衬衫上且被反射到平显上;

(3) 气象条件为多云,试飞行员驾驶飞机调整姿态和航向,使前方水平线和云层上方的阳光映入驾驶员视野内;

(4) 夜间和/或黑暗环境。

打开 EVS,正副驾驶、试飞工程师、人为因素专家目视检查以下内容:

(1) 平视显示器上显示符号与外界场景对准;

(2) 平视显示器上显示信息的布局、颜色、区分度等;

(3) 每一驾驶员从其工作位置均能看清大气静温显示以及空速、高度、升降速度、横滚、俯仰、航向、侧滑显示。

打开 SVS,重复上述流程,检查 EVS 显示是否准确。

在起飞、巡航及着陆过程中,以及在以倾斜角为 $\pm 60^\circ$,俯仰角 $+20^\circ \sim -10^\circ$ 机动飞行过程中,检查平显上所显示的参数与下显、集成式备用仪表的一致性以及正副驾驶平显之间的一致

性。同时观察在 EVS 和 SVS 打开时,两侧显示是否一致。

完成上述过程并填写情景识别显示特性评述表,详见表 2。

表 2 情景识别显示特性评述表

序号	评述内容	满意	可接受	不满意	备注
1	显示可见性				
2	显示可读性				
3	正副驾驶参数一致性				
4	屏幕亮度	强光直射下显示			
5	屏幕亮度	暗夜下显示			
6	显示器尺寸				
7	显示区分度(与外界对比)				
8	画面更新率				
9	显示动态响应				
10	显示器在座舱玻璃的反射				
11	EVS 情景识别				
12	SVS 情景识别				
13	起飞和着陆过程中仪表板振动情况下观察显示显示器稳定性				
其他评述					

注:按照 25-11,本评述需要 3 人(飞行员、工程师、人为因素专家)以上(含 3 人)进行。

在飞行中操作 SVS、EVS、HUD 功能组件,观察功能组件操作是否正常。其他设备正常工作,检查 HUD、EVS、SVS 与其它设备有无电磁干扰。

结合其他科目试飞,记录情景显示画面,通过与机载测试系统数据对比,在飞机稳态和机动飞行时,打开和关闭 SVS、EVS,检查 SVS 和 EVS 的画面覆盖性能,并检查情景显示正确性。填写 HUD 显示信息与情景正确性评述表,详见表 3。

(1) 结合 ADS 试飞,在不同高度、空速和爬升率速度的情况下检查正/副驾驶平显上的空速、高度、超速提示等显示;

(2) 结合 AP 试飞,在 HUD 上检查 AP 工作状态显示;

(3) 结合导航系统试飞,检查 HUD 上导航源等的显示;

(4)结合 IRS 试飞,在姿态航向稳定和变化时,检查正/副驾驶的 HUD 上姿态、航向显示,并检查俯仰超限显示;

(5)结合 ILS 试飞,检查正副/驾驶 HUD 的 ILS 信息显示;

(6)结合 VOR/DME 试飞,检查 VOR/DME 方位距离显示;

(7)结合 RA 试飞,检查无线电高度显示;

(8)结合 GPS 试飞,检查 GPS 位置、地速显示;

(9)结合 TCAS 试飞,检查空中目标及 TA、RA 信息显示;

(10)结合 TAWS 试飞,检查近地告警显示;

(11)结合飞管系统试飞,检查导航信息和通告显示;

(12)结合失速试飞,检查失速警告显示;

(13)将飞机配平在水平飞行,飞机分别左右侧滑,检查侧滑指示移动。

2.3 功能特性符合性判据

情景显示正确性的符合性判据较为主观,与传统单一系统的符合性判据基本一致,其显示数据正确性主要通过和机载测试系统和机载摄像头对比测试数据和拍摄画面。

然而对于情景意识特性的符合性,HUD、EVS、SVS 在民机中应用是典型的人机功效问题,涉及飞机使用和飞行员之间的适应性。飞行员与 HUD 及驾驶舱系统的关系可以抽象为人的信息加工模型。工程心理学的研究表明,人类的注意限制是人在信息加工过程中最难克服的瓶颈。不同类型的注意对个体操作特定工作所需要的心理努力(即注意资源)是不同的,同时心理努力程度将与心理工作负荷密切相关,过高的负荷将导致人为差错。实验研究证明,信息可能无法同时加工,HUD 并不能确保飞行员一定能够实现飞机内外信息的同时加工。在实验中还发现,飞行员会以不同的注意通道来处理两个信息源,并会逐渐完全注意 HUD 中所显示的信息而忽略飞机外部的关键信息,如远前方正穿越跑道的飞机。

由于情景识别过程中存在的人为因素,本文认为情景识别系统主观评述中评述需要至少三人(飞行员、试飞工程师以及人为因素专家)做出判断。并应该以此为标准对评述表中的显示性能和控件操作性能进行评述。本文认为评述表中无不满意存在,即认为功能正常。

表 3 平视显示器显示信息与情景正确性评述表

序号	评述内容	正常	不正常	备注
1	飞行航迹矢量			
2	俯仰和横滚姿态			
3	航向显示			
4	空速/马赫数			
5	高度(气压高度、无线电高度)			
6	气压设置显示			
7	垂直速度显示			
8	飞行航迹加速度显示			
9	无线电高度显示			
10	基准(空速、高度、航向等)显示			
11	航向信标显示			
12	下滑道显示			
13	测距器显示			
14	风速和风向			
15	地速			
16	自动飞行模式和指令杆显示			
17	TCAS 解决提示信息显示			
18	风切变信息显示			
19	低能见度起飞指引显示			
20	滑行引导显示			
21	增强视景显示			
22	地面移动显示(扩展功能)			
23	EVS 情景显示			
其他评述				

注:按照 25-11,本评述需要 3 人(飞行员、工程师、人为因素专家)以上(含 3 人)进行。

3 情景识别系统运行能力试飞验证

3.1 运行试飞验证

HUD 结合 EVS、SVS,其安全优势显而易见,包括:

- (1)保持平视起飞;
- (2)实行低能见度起飞(LVTO);
- (3)使用惯性延伸下滑道;

(下转第 66 页)

参考文献:

- [1]牛春匀.实用飞机结构应力分析及尺寸设计[M].北京:航空工业出版社,2004.
[2]《飞机设计手册》总编委会.飞机设计手册第10册:结构

设计[M].北京:航空工业出版社,2000.

- [3]《飞机结构耐久性与损伤容限设计手册》编委会.先进民机结构耐久性设计手册[M].西安:第一飞机设计研究院,2004.

(上接第47页)

- (4)精确地目视进近下滑角指示;
- (5)显示起飞跑道剩余长度;
- (6)AIII 模式进近;
- (7)直观的飞行状态管理;
- (8)有效应对风切变;
- (9)快速识别非正常情景并改出;
- (10)三维视景显示。

对于机组情景识别系统运行试飞,国内没有可供参考的试飞资料,具体试飞方法还有待与局方商榷。然而由于现代机型新增加的 HUD 机载设备,以及 EVS、SVS 等提高情景识别能力的系统,将提高飞机的运行能力。新的机载系统加上现代可靠地仪表着陆系统(ILS),与低能见度运行程序相结合,经中国民航局的特殊批准,可在原先支持 I 类(CAT-I)基本运行的跑道上实施 II 类(CAT-II)运行,实现降低标准的可能。

因此在试飞中,需要选择合适的 I 类(CAT-I)基本运行的跑道,利用情景识别系统来实施 II 类(CAT-II)运行,可参考 AC20-167 中 EFVS 在 TDZE 以上 100ft 到 DA/DH 或 MDA/MDH 之间运行要求能力进行验证试飞,验证情景识别系统的运行能力。

资料显示,美国阿拉斯加航空公司自 1984 年使用了平视引导系统(HGS)以来,人工着陆最低决断高度已下降到 50ft,跑道视程(RVR)下降到 210m,起飞最低标准也从 210m 降到 90m。因此 HUD 与 EVS、SVS 融合后对飞机运行能力的提高,可根据其预设性能指标进行运行试飞验证。

3.2 运行符合性判据

基于任务的运输类飞机 HUD 设计,在不同的飞行任务(如起飞,着陆任务、监视任务等)阶段必然有不同的情景意识和态势感知,因此可针对任务设计来建立判据。

根据飞行任务不同,HUD 在民用运输类飞机上通常分为以下三种应用方案^[5]:

(1)补充使用,即 HUD 不作为主显示信息的信息源,只是为减少飞行员在平显和下显之间的转换

负担。此时其符合性判据即为试飞人员(试飞员、试飞工程师、人为因素专家)的主观判据——是否明显减少了视觉转换负担。

(2)替代使用,即在起飞和进近引导中,或巡航时,HUD 可作为主显示信息的信息源使用,同时附加有 EVS、SVS 的显示画面。此时符合性判据可参考显示正确性判据——在飞行员抬头飞行时是否有正确的、清晰地指引显示。

(3)附加信任使用,即 HUD、EVS、SVS 在融合使用时,可降低某些运行标准,如可附加在更低飞行高度上飞行的使用信任,或附加可在低能见度基础上实现 CAT III 着陆和低能见度下起飞指引的使用信任。此时符合性判据可参考预设的降低的运行标准——是否达到降低的运行标准。

4 结论

本文分析了 HUD、EVS、SVS 等技术融合以提高驾驶舱情景识别和态势感知能力,在此基础上提出一种新的结合试飞方法——情景识别系统试飞。同时针对功能符合性试飞给出基于人为因素的判据,针对运行符合性试飞给出基于飞行任务的判据。预估情景识别系统验证试飞相比于单独试飞,将节省至少一个架次的试飞。本文为民用飞机情景识别系统试飞提供参考,并建议在今后 HUD 与 GBAS 着陆系统(GLS)技术融合,亦可进行结合试飞。

参考文献:

- [1]潘少永.平视指引系统及其在民用飞机中的应用[J].民用飞机设计与研究,2007,2:20-22.
[2]SAE Transport Category Airplane Head Up Display (HUD) Systems, 2001.
[3]程金陵,徐世宁,严林芳.民用飞机驾驶舱综合显示系统的发展趋势[J].民用飞机设计与研究,2009,4:1-3.
[4]中国民航平视显示器(HUD)应用路线图,V1.3.
[5]周珺.现代运输类飞机 HUD 应用人为因素研究[J].微计算机信息,2011,27(5):134-136.