

面向适航审定的飞行场景研究

Research of Airworthiness Certification Oriented Scenario

徐敏敏 揭裕文 / Xu Minmin Jie Yuwen
(民航上海航空器适航审定中心, 上海 200335)

(Shanghai Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC, Shanghai 200335, China)

摘要:

飞行场景是分析、测量、确定和验证机组-飞机-环境各种复杂动态关系下机组工作量的必要前提。针对适航审定中的飞行场景,提出了开发飞行场景的原则及要求,确定了飞行场景的核心内容及组织结构,明确了飞行场景必须涵盖的功能及因素,给出了飞行场景的开发步骤,提出了面向适航审定的飞行场景开发方法,给出了飞行场景的应用环境和应用方法,为飞行场景开发及驾驶舱人为因素的适航审定提供有效手段和方法。

关键词: 飞行场景; 最小飞行机组; 飞行机组工作量; 适航审定

中图分类号: V216.7

文献标识码: A

[**Abstract**] Scenario is the essential premise of analysis, measurement, confirmation and validation of flight crew workload under various complicated dynamic relationship of flight crew - airplane - surrounding. Aiming at scenario of airworthiness certification, this paper proposes the principle and requirement of scenario development, confirms the core content, organization structure, necessary functions and factors of scenario, offer the developing steps of scenario, raises the developing methods of scenario of oriented airworthiness certification, provides the applied surrounding & application methods of scenario, and provides valid methods for scenario developing and airworthiness certification of cockpit human factors.

[**Key words**] Scenario; Minimum Flight Crew; Flight Crew Workload; Airworthiness Certification

0 引言

飞行场景(Scenario)描述了机组-飞机-环境的动态关系,是测量和确定机组-飞机-环境各种复杂动态关系下机组工作量的必要前提,是验证最小飞行机组的主要基础和手段。

最小飞行机组的确定是驾驶舱人为因素设计的重要评审要素,飞行机组的工作量是驾驶舱人为因素设计的重要评价指标。在飞机获得适航认证的审定过程中,必须制定飞行机组的工作量评估计划,以确定最小飞行机组的充分性以及最小飞行机组工作量的可接受程度。设计开发与各项具体设计目标一致、便于对各项审定要素进行考察的飞行场景,对于飞机型号适航审定的顺利进行十分必要。^[1]

1 飞行场景的设计原则及要求

1.1 最小飞行机组确定及机组工作量测量要求

飞行场景的设计必须能够反映并适用于飞行机组的工作量评估计划,即所定义和开发的飞行场景是充分的、可用的。飞行场景的变化或飞行场景之间的差异必须在测量飞行机组工作量时得到明确、一致的反映。这既是飞行场景关于飞行机组工作量测量和最小飞行机组确定的有效性原则及要求,也是飞行场景对飞行机组工作量测量及最小飞行机组确定的针对性的原则及要求。^[4]

1.2 飞行场景的适航要求

考虑到机组成员的工作量、控制设备的可达性和操控的难易程度,以及经授权的适于认证及所安装设备的操作类型,CCAR25.1523 条款指出,必须

确定能完成安全的飞机操纵所需的最小飞行机组。同时,CCAR25 附录 D 指出了确定最小飞行机组的准则和相应的飞行机组工作量基本功能及因素。因此,为了确定最小飞行机组和评估最小飞行机组工作量的可接受性,所定义和开发的飞行场景必须符合 CCAR25 附录 D 所指出的最小飞行机组准则。^[2]

1.3 飞行场景的涵盖范围及应用环境要求

飞行场景必须能够涵盖所有的飞行阶段,包括起飞阶段、爬升阶段、巡航阶段、下降阶段、进近阶段以及着陆阶段。飞行场景必须能够涵盖重要的飞行环境,包括飞行计划、机组任务、空中交通管理(ATC)、航空交通批准及航线许可(Clearance and Routing)。飞行场景必须能够涵盖典型的飞行天气,包括能见度、颠簸、积冰、雷暴、风切变、侧风等。飞行场景必须能够涵盖各种飞机因素,包括重量、平衡、最小设备清单、故障、异常事件等。飞行场景必须能够涵盖必需的与机组任务相关的飞行操作。飞行场景必须能够反映全部与飞行操作相关的基本功能及因素(CCAR 25.1523 附录 D)。飞行场景必须能够一定程度上反映影响飞行安全的航空人为因素。^[3]

1.4 飞行场景的仿真环境要求

人机与环境复杂系统的综合仿真,主要包括人在环路半物理仿真以及虚拟飞行员在环路全数字仿真。这两种仿真都是不同程度上基于虚拟现实的。飞行场景的定义和开发必须能够适应这两种仿真应用环境。这要求所定义和开发的飞行场景能够与虚拟现实环境集成,这种集成主要体现在飞行场景与虚拟现实仿真系统的仿真飞行视景系统、仿真飞行动力学控制系统以及虚拟飞行员之间的交互。同时,所定义和开发的飞行场景也必须能够为真实的飞行测试提供参考,为飞行测试计划的制定提供依据。

1.5 飞行场景的适用性、可验证性及可扩展性要求

飞行场景必须能适用于在高仿真飞机驾驶舱环境下复现各种飞行任务,而飞行任务必须能够与最小机组准则中的功能及因素建立明确的关联。飞行场景的相应变化必须能够在机组工作量中得到明确、一致的体现。飞行场景中的相关要素必须能够在仿真飞行动力学控制系统及虚拟飞行员中得到一定的关联和响应,且能够在仿真飞行动力学控制系统及仿真飞行视景系统中得到一定的关联

和响应。飞行场景必须能够覆盖 CCAR 25.1523 附录 D 所列功能及因素,必须能够验证对飞行机组工作量测量的有效性和充分性。飞行场景可在开发的各个步骤中根据需要进行调整、补充或扩展,也可在已生成的飞行场景报告的基础上进一步修改并完善。多个飞行场景要求能够合并,以形成新的综合飞行场景。

2 飞行场景的开发方法

2.1 飞行场景的核心内容及组织结构

飞行场景的核心内容包括“天气条件”、“飞机因素”和“飞行环境”等三个方面。在定义和开发飞行场景时,要求:^[5-6]

(1) 飞行场景的配置应包含以上三个方面,包括极端情况。

(2) 各方面的配置情况分布均匀。

图 1 描述了飞行场景的三个核心内容之间的关系,将飞行场景视为一个多维空间,其维度包括三个,即“天气条件”、“飞机因素”和“飞行环境”。每个维度又可被视为飞行场景空间的子空间,这些子空间的维数不一,每个维数所代表的含义不同。通过对这些子空间各个维度的类型定义及其取值限定,即可明确地定义飞行场景。

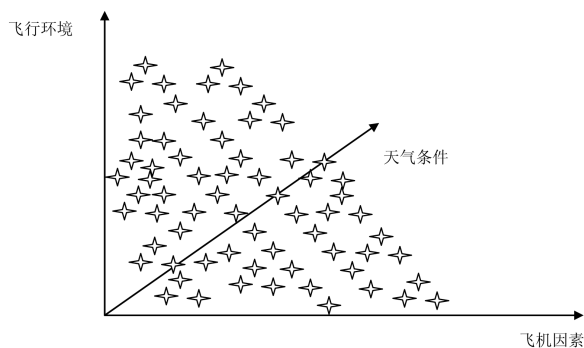


图 1 飞行场景三维图

飞行场景三个核心内容的客观程度不同,“天气条件”基本为客观环境,“飞机因素”也基本上为客观条件,但一些与飞机运行状态相关的特定事件具有一定的主观考察目的,而“飞行环境”则是为了重现特定的飞行状态并考察特定的主客观因素而人为设定的任务环境、机组行为及任务状态。显然,“飞行环境”是开发飞行场景的重点和难点,也是飞行任务确定、情景设定的核心内容。

飞行场景的组织结构设计如图 2 所示。图 2 给出了飞行场景的组织内容和构造过程,与 CCAR 25

附录 D 规定的最小飞行机组准则及飞行机组工作量基本功能和因素紧密联系,具体体现了飞行场景中影响飞行安全的航空人为因素,适于描述和表达机组、飞机、环境三者之间的动态关系。这三者之间的动态关系是飞行任务确定、情景设定的基础。^[5-6]

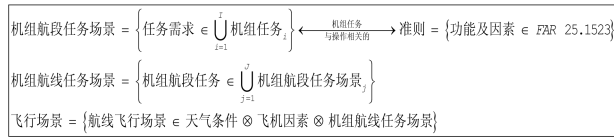


图2 飞行场景的组织结构

2.2 飞行场景的开发方法

飞行场景的开发需要具有明确的开发思想作为指导。开发飞行场景的目的、原则及要求、飞行场景的核心内容和组织结构,是飞行场景的开发依据。

飞行场景开发可总结为:分阶段、分方面、选项组合,同时结合考察目标、评估要求及准则。即飞行场景开发方法可简要表述为:结合考察目标、评估要求及准则,以选项组合的形式,分别选取、配置并组合机组、飞机及环境在各个飞行阶段各个方面的动态关系。

(1)分阶段,即将飞行场景根据飞行航段分成多个阶段,包括:起飞机场(包括起飞前地面运行、发动机启动、滑行、起飞前检查);起飞;爬升;巡航;下降;进近;着陆;着陆机场(包括着陆后滑行、发动机关闭、着陆后检查)。

(2)分方面,即将飞行场景根据核心内容及工作负荷测量要求分为如下几个方面:天气情况;飞机因素;飞行环境;功能及因素;数据窗口。

(3)选项组合,即选取、配置并组合飞行场景各个方面的内容。先将飞行场景的各个方面分成若干主题专项,每一主题专项包含若干选项,再可根据需要选取主题专项并配置其选项。

(4)结合考察目标、评估要求及最小飞行机组准则

其中,确定各飞行阶段的考察目标的目的是为飞行场景的开发过程提供指导,减少在选取、配置并组合飞行场景各个方面内容时的盲目性,提高所定义和开发的飞行场景的针对性和适用性。

2.3 最小飞行机组准则、飞行机组工作量基本功能及因素

为了确定最小飞行机组和评估最小飞行机组

工作量,所定义和开发的飞行场景必须符合 CCAR 25 附录 D 所要求的最小飞行机组准则,其必须涵盖的功能及因素如表 1 和表 2 所示。^[2]

表 1 最小飞行机组准则必须涵盖的功能

序号	最小飞行机组准则涵盖的功能	
1	航迹控制	机组感知飞机的运动
		机组操纵飞机上下或左右运动
2	防碰撞	领航,机组察看驾驶舱窗外
		ATC 指引
3	导航	高度或航向信息
		若指定了功能 3,则必须指定因素 8b,但不能再指定因素 5
4	通讯	文字或话语
		若指定了功能 4,则必须指定因素 8a,但不能再指定因素 5
5	发动机及系统监控	视觉信息确认
		对飞机非航迹方面的操纵
6	命令决策	飞行员做出决策并完成动作以操纵飞机

表 2 最小飞行机组准则必须涵盖的因素

序号	最小飞行机组准则涵盖的因素	
1	控制	对飞机控制设备的操纵
		若指定了因素 1,则不能再指定因素 5
2	显示	对飞机状态指示器的视觉确认或视觉参考
3	程序	对飞机的正常或异常操作
5	监视	正常操作飞机所需的监视
		若指定了因素 5,则不能再指定因素 1、8a、8b 及功能 3、4
6	机组成员离开岗位	
7	飞机系统必须由自动控制转为手动控制的异常情况	
8a	通讯	指定了功能 4,则必须指定因素 8a
		指定了因素 8a,则不能再指定因素 5
8b	导航	指定了功能 3,则必须指定因素 8b
		指定了因素 8b,则不能再指定因素 5
9	异常	分为 9-1、9-2、9-3、9-5、9-8a、9-8b
10	机组成员因故不能工作	

建立飞行场景与最小飞行机组准则之间的映

射,是保证飞行场景对机组工作量测量及最小飞行机组确定的有效性、并增加其针对性的必然要求和主要环节,也是面向机组工作量测量的飞行场景开发方法的主要特点。将飞行机组的任务分解为与操作相关的任务需求后,若在与操作相关的任务需求和最小飞行机组准则的功能及因素之间建立关联,就能得到飞行场景与最小飞行机组准则之间的映射。飞行场景的主要开发步骤如下。

第1步:列出主要的考察目标,形成非正式的飞行场景描述,命名飞行场景;

第2步:选择起飞机场及跑道、着陆机场及跑道、备用机场及跑道;

第3步:选择起飞时刻;

第4步:确定飞机重量、平衡、最小设备清单;

第5步:制定各个飞行阶段的飞行计划类型、飞行计划、空中交通;

第6步:选择各个飞行阶段的天气;

第7步:设定各个飞行阶段的故障以及与高工作量有关的事件;

第8步:明确实现各飞行阶段飞行计划所需完成的机组任务及子任务;

第9步:指定机组任务或子任务与CCAR 25.1523附录D所列功能及因素之间的映射关系;

第10步:指定各个飞行阶段的数据采集窗口事件及数据采集项目;

第11步:重复第一步至第九步,调整、扩展并完善飞行场景,然后生成正式的飞行场景;

第12步:定义与飞行控制程序的接口、与视景程序的接口。

以上步骤中,第1步、第5步、第8步、第9步、第10步是最重要的,是设计飞行场景的核心,其他的步骤为飞行场景设计的各种补充。

3 飞行场景的应用环境及应用方法

3.1 飞行场景的应用环境

人在环路半物理人机与环境复杂系统综合仿真、以及虚拟飞行员在环路全数字人机与环境复杂系统综合仿真这两种应用环境,对飞行场景的要求有不同的侧重。人在环路半物理人机与环境复杂系统综合仿真对飞行场景的要求主要包括:飞行场景中的相关要素必须能够在仿真飞行动力学控制系统及仿真飞行视景系统中得到一定的关联,其调整必须能够在仿真飞行动力学控制系统及仿真飞

行视景系统中得到一定的响应。虚拟飞行员在环路全数字人机与环境复杂系统综合仿真对飞行场景的要求主要包括:飞行场景中的相关要素必须能够在仿真飞行动力学控制系统及虚拟飞行员中得到一定的关联,其调整必须能够在仿真飞行动力学控制系统及虚拟飞行员中得到一定的响应。

对于适航审定过程,飞行场景的虚拟现实应用环境与人在环路半物理人机与环境复杂系统综合仿真环境对应,而对于以人为中心的飞机设计初期及飞机设计各阶段的飞行任务与人为因素适应性验证,飞行场景的虚拟现实应用环境与虚拟飞行员在环路全数字人机与环境复杂系统综合仿真对应。

虽然这两种应用环境对飞行场景的要求各有侧重,但二者对飞行场景的要求的绝大部分是重叠的,这给两种应用环境所需的飞行场景的定义和开发,以及飞行场景在这两种应用环境之间的兼容性带来便利。所定义和开发的飞行场景能较好的满足以上两种应用环境的需要,则能为实际的飞行测试和审定提供平台。

3.2 飞行场景的类型及应用层次

飞行场景的类型可分为用于典型的可靠性试飞的一般飞行场景和专场飞行场景。

一般飞行场景主要涉及CCAR 25附录D规定的最小飞行机组准则及飞行机组工作量基本功能和因素,即能够与飞行机组工作量基本功能和因素建立映射关联的各种与操作相关的机组任务,以及完成机组任务时的天气条件和飞行环境,是典型的可靠性试飞所需包含的项目。

专场飞行场景主要涉及典型的可靠性试飞所不能包含的特殊考虑,如航线密度、航线长短、机组成员疲劳程度。这些特殊的考虑极为重要,但又不便于在一般飞行场景中包括进来而往往被遗漏,因此需要单独的专场飞行场景。

根据飞行场景的类型,飞行场景的应用层次可分为一般应用层次和专场应用层次。通常情况下,飞行场景的一般应用层次对应于典型的可靠性试飞,而飞行场景的专场应用层次则作为其补充。

3.3 飞行场景的独立应用与组合应用

可以定义并开发相对完整、独立的飞行场景,然后单独应用。对于某些特定问题,这种应用可能是实际且有效的。然而,对于大部分比较复杂的问题,可能需要组合运用多个飞行场景才能得出比较

(下转第83页)

因此通过限制俯仰角能直接限制速度变化率,速度保护也将更为有效。典型的俯仰角保护控制律在俯仰姿态低于 -13° 时,逐渐降低飞行员的低头操纵权限,而将最大低头俯仰角限制在 -15° 。在结合俯仰角保护后,即便在某些特殊条件下(如小重量后重心)飞行员推满杆也不容易超出 V_D/M_D ,从而保证高速保护在多种大气条件或机动下实现保护意图。

(3)高速保护与法向过载保护的关系:典型的高速保护控制律会自动生成改出的法向过载指令,在与驾驶杆生成的法向过载指令叠加后指令飞机运动。因此需根据保护控制律自动生成的指令修正驾驶杆指令权限以确保叠加后的指令不超出法向过载保护限制值,同时又不产生驾驶杆后段的空行程。

4 结论

本文以空客飞机设计实例为基础,较为详尽地探讨了高速保护功能的必要性、设计考虑和与其它包线保护功能的关系。应当指出,民机高速保护的

(上接第 69 页)

全面的结论。一般飞行场景和专场飞行场景的组合应用理论上可涵盖绝大部分实际的飞行场景,同时也使飞行场景的应用更具有可实行性。另外,可以根据飞机设计阶段的若干有针对性的飞行场景经过组合形成适于适航审定所需的飞行场景,这对人为因素在整个研制阶段的贯彻实施,对飞机设计及审定等都能带来指导和便利。

4 结论

飞行场景是分析、测量、确定和验证机组-飞机-环境各种复杂动态关系下机组工作量的必要前提。针对适航审定中的飞行场景,提出了开发飞行场景的原则及要求,确定了飞行场景的核心内容及组织结构,明确了飞行场景必须涵盖的功能及因素,给出了飞行场景的开发步骤,提出了面向适航审定的飞行场景开发方法,给出了飞行场景的应用环境和应用方法,为飞行场景开发及驾驶舱人为因素的适航审定提供了有效手段和方法。

设计难点在于对民机设计需求的准确理解,特别是对适航规章要求的理解上。在此理解基础上的高速保护控制律设计通常是可实现且多样的。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局, 2011.
- [2] Federal Register/Vol. 71, No. 69/Tuesday, April 11, 2006/Rules and Regulations, 18 169-18 183.
- [3] Airbus Customer Service. A380-800 Flight Deck and Systems Briefing for Pilots [Issue 02]. 2003. 03.
- [4] 鲁道夫·布罗克豪斯著,金长江译. 飞行控制[M]. 北京:国防工业出版社,1999:547.
- [5] C. Favre. Fly-by-Wire for Commercial Aircraft: the Airbus experience[J]. Int. J. Control, 1994, 59(1):139-157.
- [6] AC25-7B. Flight Test Guide for Certification of Transport Category Airplanes[S]. 2011. 03.
- [7] Final Report on the Accident on Airbus A330-203 operated by Air France flight AF A447, BEA, 2012. 07.

参考文献:

- [1] Federal Aviation Administration Minimum Flight Crew[R]. AC23. 1523, 2005.
- [2] 中国民用航空局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局, 2011.
- [3] Federal Aviation Administration Minimum Flight Crew[R]. AC25. 1523-1, 1993.
- [4] Sae Aerospace Recommended Practice. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems (SAE ARP 4754A) [R]. 2010.
- [5] William H Corwin, Diane L Sandry - Garza, Michael H Biferno, and et al. Evaluation of crew workload measurement methods [J]. Techniques and Procedures, ADA217-699, 1989, (1).
- [6] William H Corwin, Diane L Sandry - Garza, Michael H Biferno, and et al. Evaluation of crew workload measurement methods [J]. Techniques and Procedures, ADA217-699, 1989, (2).