

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.04.010

# 民机驾驶舱人机工效符合性认证方法及评价方法研究

## Research on Conformity Certification and Evaluation Methods of the Cockpit Ergonomics for Civil Aircraft

裴后举<sup>1</sup> 丁媛媛<sup>1</sup> 蒋彦龙<sup>1</sup> 高志刚<sup>2</sup> 施红<sup>2</sup>

PEI Houju<sup>1</sup> DING Yuanyuan<sup>1</sup> JIANG Yanlong<sup>1</sup> GAO Zhigang<sup>2</sup> SHI Hong<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016; 2. 江苏科技大学, 江苏 镇江 212003)

(1. Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

### 摘要:

对国内外运输类飞机适航标准中与驾驶舱人机工效相关的条款进行总结。从适航认证的角度对民机驾驶舱人机工效符合性认证方法进行分析,并对如何选择符合性方法进行了说明。阐述了目前广泛使用的虚拟仿真法、模型试验法两种人机工效符合性评价方法。为运输类飞机人机工效设计和型号认证提供指导。

**关键词:** 驾驶舱; 人机工效; 适航条款; 适航认证; 符合性方法

**中图分类号:** V223.1

**文献标识码:** A

**[Abstract]** Clauses related to human factors of flight deck in the airworthiness standards for transport category airplane are summarized. This paper studies the methods of compliance for flight deck airworthiness certification, and explains how to choose the methods of compliance. This paper also describes two kinds of methods of ergonomics assessment-virtual simulation and model test. The methods can provide guidance for ergonomics design and model certification of transport aircraft.

**[Keywords]** flight deck; ergonomics; airworthiness clause; airworthiness certification; method of compliance

## 0 引言

飞机驾驶舱人机工效(也称人为因素)适航认证过程伴随飞机从概念设计到交付使用及后期维护的全寿命周期。飞机驾驶舱是驾驶员工作的场所,具有空间狭窄、仪器众多、功能和安全性要求高等特点,其人机工效设计的优劣不仅影响飞行员的生理、心理和意识活动,而且直接影响着飞行员的工作效率和飞机的飞行安全<sup>[1]</sup>。美英等国根据近年来全球商用飞机重大飞行事故调查,发现70%~

80%的事故与人的失误有关<sup>[2-4]</sup>。随着民机系统集成化和自动化程度不断提高,人为因素逐渐成为导致飞行事故的主要原因,美国FAA、欧洲EASA将人为因素写入了其适航规章中,成为国家法规文件系统的一部分。因此,做好驾驶舱人机工效适航认证工作成为保障飞机飞行安全的重要组成部分。

与英美等发达国家相比,由于国内大型客机的研制起步较晚,驾驶舱人机工效的适航认证工作尚处于探索阶段,缺少相关经验。目前仅有少数学者对其进行了研究。例如:文献[5]分析了民用客机

**[基金项目]** 江苏高校优势学科建设工程基金资助

人机工效学适航认证的特点和挑战,对当前国产客机驾驶舱人机工效学型号适航认证的工作流程和方法提出建议;文献[6]开展了民机驾驶舱适航符合性验证的总体思路、符合性验证技术等研究。但目前并未见到对与人机工效适航认证相关的符合性方法以及符合性方法的选择进行详细讨论的相关文献。因此,本文结合国内研究现状以及国内外适航规章和相关适航文件,总结了与驾驶舱人机工效相关的条款,着重对驾驶舱人机工效符合性认证方法进行了研究,并简要阐述了目前广泛使用的两种人机工效符合性评价方法。

## 1 人机工效符合性认证的基础

适航符合性认证的基础就是审定基础,即民用飞机型号设计适用的适航条款,是民机设计中必须遵守的最低技术标准。目前,世界上主要的运输类飞机适航规章有 FAA 和 EASA 的 25 部<sup>[7-8]</sup>,国内民用航空规章 CCAR25-R4<sup>[9]</sup>参照了 FAA 和 EASA 的规章,其中与驾驶舱人机工效学相关的条款与 FAR25 和 CS25 基本保持一致(不包括 FAA 与

EASA 近年来更新的条款)<sup>[5]</sup>,这些条款从人机工效学的角度对驾驶舱的设计提出了最低的适航要求。另一方面,随着航空科学的发展,以及航空器使用要求的提升和人们航空安全意识的增强,适航规章也在不断的发展和更新,截止到目前,FAA 已发布了 141 项修正案,旨在对适航规章进行不断完善。

2013 年,FAA 发布了 25-137 号修正案—飞行机组使用的机上系统和设备。在该修正案中,FAA 发布了专门的人机工效条款 FAR25.1302 及相应的咨询通告 AC25.1302-1<sup>[10-11]</sup>。该条款主要针对驾驶舱机组与系统的交互提出了具体要求,系统地解决了与人机界面设计和人机工效有关的问题<sup>[12]</sup>。

中国民用航空规章 CCAR25-R4 是目前国内航空规章的有效版本,但其只相当于 FAR25 部及其 25-1~25-125 和 25-128 号修正案的同等要求水平<sup>[13]</sup>,与此同时,国内大型客机项目也在逐步展开,因此,有必要对国外最新的适航审定标准进行研究,使国内运输类飞机适航标准与国际接轨。表 1 列出了国内外运输类飞机适航规章中与驾驶舱人机工效相关的适航条款<sup>[7-9]</sup>,包括 FAA 与 EASA 近年来更新的条款。

表 1 与民机驾驶舱人机工效相关的适航条款

条款编号	条款名称	条款编号	条款名称
25.251	振动和抖振	25.1309	设备、系统及安装
25.671	操纵系统-总则	25.1322	飞行机组警告
25.672	增稳系统及自动和带动力的操纵系统	25.1323	空速指示系统
25.677	配平系统	25.1325	静压系统
25.679	操纵系统突风锁	25.1326	空速管加热指示系统
25.703	起飞警告系统	25.1327	磁航向指示器
25.729	收放机构	25.1329	飞行导引系统
25.771	驾驶舱	25.1357	电路保护装置
25.772	驾驶舱舱门	25.1360	预防伤害
25.773	驾驶舱视界	25.1381	仪表灯
25.775	风挡和玻璃	25.1383	着陆灯
25.777	驾驶舱操纵器件	25.1401	防撞灯系统
25.779	驾驶舱操纵器件的动作和效果	25.1403	机翼探冰灯
25.781	驾驶舱操纵手柄形状	25.1523	最小飞行机组
25.785	座椅、卧铺、安全带和肩带	25.1541	标记和标牌-总则
25.789	客舱和机组舱及厨房中物件的固定	25.1543	仪表标记-总则
25.793	地板表面	25.1545	空速限制信息
25.831	通风	25.1547	磁航向指示器
25.841	增压座舱	25.1549	动力装置和辅助动力装置仪表
25.1141	动力装置的操纵器件-总则	25.1551	滑油油量指示器
25.1143	发动机的操纵器件	25.1553	燃油油量表
25.1161	应急放油系统的操纵器件	25.1555	操纵器件标记
25.1301	功能和安装	25.1557	其它标记和标牌
25.1302	飞行机组使用的已安装系统与设备	25.1561	安全设备
25.1303	飞行和导航仪器	25.1563	空速标牌
25.1305	动力装置仪表		

## 2 人机工效符合性认证的方法

FAA 指南文件<sup>[14-15]</sup>列举了七类与驾驶舱人机工效学适航认证相关的符合性方法。这些符合性方法并不是相互排斥的,它们具有一定的互补性。例如,对一个认证项目,采用相似分析法和模拟器试验法的组合有可能比单一的试飞试验更经济和有效<sup>[5]</sup>。在驾驶舱人机工效适航认证过程中可选择下列方法。

### 1) 设计描述

可通过图纸、配置描述等来证明驾驶舱的设计符合特定规章的要求。

图纸是指显示硬件或显示图形的几何布置的布局图或工程图。在进行符合性说明时图纸可以很容易被简化为简单的几何形状、布置或技术制图上存在的给定特征。

配置描述是对布局、总体布置、移动方向等的描述。例如,配置描述可以用于显示飞行仪器的相对位置、控制功能的分组、显示器和警报颜色代码的分配等。在一些情况下,配置描述可以为特定要求下的符合性判断提供足够的信息。

### 2) 相似性说明

相似性说明是对将要批准的系统和已经得到批准的系统的描述,它详细说明了两个系统在物理、逻辑和操作等方面对规章符合性的相似性。但是,这种符合性方法必须谨慎使用,因为在对驾驶舱进行评估时,之前已经在两个不同程序中得到批准的两个功能组合到一个驾驶舱上时可能不兼容。

### 3) 评估

驾驶舱评估包括工程评价或分析、模型评估、部分任务评估、模拟舱评估以及飞行评估。驾驶舱评估并不要求一定在达到最终状态才开始评估。为了保证能够顺利通过适航取证,可以在不同的设计节点与局方沟通进行驾驶舱评估,完成相关的设计、评估及试验数据的记录,为适航评审提供数据支持<sup>[2]</sup>。例如,可以通过在软件中建立人体模型对驾驶舱的可达性进行分析<sup>[1]</sup>,如图 1 所示。

需要注意的是,在所有评估中,虽然飞行评估通常能够提供最真实、最全面的环境,但其可能受限于所产生的临界飞行条件,在一些情况下并不能获得所有预期的场景。因此,为了获得一个完整的评价,需要将飞行评估与其它符合性方法结合。



图 1 人体可达性包膜

### 4) 演示

演示与评估类似,但是它们由申请人进行,此时适航认证小组或其指定人员参与其中。申请人需要提供报告并请求适航认证小组同意结果。适航认证小组应该仔细考虑让哪方面的专家参加,将收集什么数据,以及如何收集数据。这是为了确保演示能够说明符合性问题。

### 5) 检查

这是适航认证小组或其指定人员对受管制项目的检查。这种符合性方法通常仅限于那些通过观察(或听)所涉及的特征能够简单地找到其符合性的项目。例如,标牌的存在或不存在、控制器移动的方向等。

### 6) 试验

试验是适航认证最关键的部分,由适航认证小组或其指定人员进行。试验结果的好坏通常决定着适航认证能否通过。试验类型主要包括试验台试验、地面试验、模拟舱试验、飞行试验。

试验台试验是在实验室环境中对组件的试验。这种类型的试验通常仅用于表明组件是否按照设计要求工作。典型的试验台试验包括测量物理特性或从用户或其他系统输入的逻辑或动态响应。

地面试验是在真实的飞机上进行的试验。当某些故障在飞机飞行过程中进行评估比较危险时,可以使用地面试验来评估。地面试验的一个典型例子是评估显示器中的反射。在对显示器中的反射进行评估时,通常要将驾驶舱的窗户覆盖来模拟黑暗环境,也要将驾驶舱亮度设置至所需的水平。由于光源、显示器硬件或窗口结构的差异,这种特定的测试在模拟器中无法完成。

飞行试验是飞行过程中使用真实的飞机进行的试验。在某些情况下,申请人和适航认证小组可以只使用飞行试验进行符合性说明。但是飞行试验也有它的局限性。首先,如上面飞行评估的部分所述,它可能无法测试所有重要的场景或条件。另外,飞行试验是非常昂贵的。对于这样的问题,通常最好使用飞行试验作为使用其它符合性方法收集来的数据的最终确认。适航认证小组和申请人应该详细讨论如何和何时使用飞行试验来验证符合性。

### 3 人机工效符合性认证方法的选择

一般来说,人机工效学符合性认证方法的选择要综合考虑许多因素,包括条款要求、申请人的理解、符合性方法的特点、认证项目的复杂性、设计特点、飞行安全性、申请人的经验、费用和时间限制,以及适航认证小组和申请人的协调等<sup>[5]</sup>。本文主要从设计特征的角度和条款特征的角度来说明符合性方法的选择。

#### 3.1 从设计特征的角度来选择符合性认证方法

在选择符合性方法时,主要考虑将要进行认证的产品的特点和即将进行评估的人机工效因素的类型。关于哪些因素构成了最低的可接受的符合性方法,下面描述的特征可以用于帮助满足任何要求。当一个产品需要满足多个要求时,一些要求需要更复杂的试验,但其它的要求能够使用简单的描述性方法来满足。需要注意的是下面的特征只是一般原则,它们旨在形成对特定产品关于特定要求的可接受的符合性方法讨论的基础。

##### 1) 系统整合程度或独立性

如果将要进行符合性评估的产品是不与机组人员界面的其它方面相互作用的独立设备,那么简单的符合性方法是可以接受的。但是,如果产品是一个完整的飞机驾驶舱或与驾驶舱中其它系统紧密相连地单个系统,则必须使用能够允许测试这些交互的符合性方法。

##### 2) 新颖程度或过去的经验

如果技术成熟且易于理解,那么较不严格的方法可能是适当的。但是如果技术具有以下特点,则可能需要更严格的方法:

- (1) 新的;
- (2) 在一些新应用中使用;

(3) 对于特定申请者来说是新的;

(4) 认证人员不熟悉这种技术。

##### 3) 复杂性或自动化程度

更复杂的或自动化程度更高的系统通常需要在正常的或备用的恢复操作模式中能够揭示这种复杂性将如何体现在飞行员身上的测试方法。

##### 4) 危险程度

对于那些需要飞行员保持高水平操作来保证安全的系统来说,在最真实的环境中进行测试是必要的,因为任何问题都可能产生更严重的后果。

##### 5) 动态性

如果产品的控制和显示特征是高度动态的,那么符合性方法应该能够复制这些动态条件。

##### 6) 符合性标准的主观程度

如果一个要求具有具体的、客观的衡量标准,申请人通常可以使用更简单的方法来证明符合性。当可接受的标准变得更加主观的时候,申请人将需要使用更加综合的试验方法,以便评估时能够考虑到驾驶舱中可能对这些评估造成影响的各个方面。

#### 3.2 从条款特征的角度来选择符合性认证方法

以下八个步骤概述了确定与每个规章相关的人机工效因素的策略。

##### 1) 确定与规章相关的主要的人机工效问题

虽然规章可能侧重于单一概念,但为了评估该问题,可能需要考虑几个基本组件。例如,第25.777节规定,驾驶舱必须容纳高度为5英尺2英寸至6英尺3英寸的飞行员,这意味着在这个范围内的飞行员应该能够达到所有的控制器,查看所有的显示器,并与结构、面板等有足够的间隙等。高度不是唯一的变量,因为相同高度的人可能具有不同长度的手臂、腿等。因此,必须考虑规章中规定的高度范围内各种人的身体比例。

##### 2) 确定可能受规章影响的系统、组件和特征

应该对在预期可到达的边界附近以及可能被插入对象阻塞的组件的可达性进行评估。对膝盖与主仪表板的下边缘的潜在接触可能需要评估其间隙,尤其是对长腿的高个飞行员来说。

3) 查找需要进行评估来证明其对规章的符合性的系统、组件或特征。这些方面可能会因系统、组件和特征以及规章而有所不同

例如,对座椅和方向舵面板调节范围进行评估时要考虑其可达性和间隙,对显示器的可读性进行

评估时应考虑到光源亮度水平、显示表面的发射率等。

4) 对现有驾驶舱的修改或基于现有驾驶舱设计或从现有驾驶舱设计中衍生出来的新类型的设计,寻找新类型的设计中可能会影响先前认证过的设计的符合性的方面

例如,在驾驶舱中放置新的显示装置可能在窗户中产生新的反射。在另一种情况下,新的电子显示器(例如,液晶显示器(LCD))可能比它所取代的机电显示器更易受反射的影响。

#### 5) 审查过去的先例

关于这一点,应审查过去的先例以评估设计的新颖性,因为设计的新颖性往往会影响到适当的符合性方法的选择。与之前得到认证的设计相似不一定意味着新产品将会得到认证,重要的是要评估是否存在以前的认证中不存在的新问题或交互。

#### 6) 评估设计新颖性

除了需要充分确定其是否符合现有条例之外,新颖的设计可能需要更严格的评估以确保其新颖特征不会导致任何新的安全问题。例如,新的照明技术可能有与当前飞机上使用的照明技术不同的光学特性,在照明和显示技术之间可能存在加剧反射或眩光的相互作用。这种潜在的相互作用可能需要在能够准确地代表照明环境的环境中进行评估。

7) 审查对每个人机工效规章所提议的符合性方法,同时要确定他们是否充分解决了相关系统已经确定的符合性问题

这取决于适航认证小组的判断。重要的是要注意,这一步不是为了确定是否所有潜在的人机工效问题都得到充分解决;相反,它只涉及确定所提议的符合性方法是否解决了规章符合性问题,包括与特殊条件相关的问题。

8) 如果所提议的符合性方法不能完全解决与符合性相关的人机工效问题,则需要确定适航认证小组首选的符合性方法所需的工作程度是否与安全风险和符合性不确定性的等级一致。

适航认证小组应该仔细考虑特定规章问题和特定设计问题来确保对于简单的、低风险的设计不需要昂贵的、耗时的符合性方法。符合性方法应该关注符合性和安全性问题,而不是设计优化。但是,如果符合性方法适当且足够表明对要求的符合

性,应该允许申请人选择高效的、低成本的符合性方法。申请人和适航认证小组应努力就符合性方法达成共识。

## 4 人机工效符合性评价方法

不同的符合性方法对应着不同的评价方法。本节参考上述适航条款的符合性认证方法,从人机工效学的基本研究方法出发,对人机工效符合性评价方法进行研究。驾驶舱人机工效符合性评价方法有层次分析法、虚拟仿真法、模型试验法、试验评价法等<sup>[16]</sup>。本文主要针对目前广泛使用的虚拟仿真法、模型试验法进行阐述。

### 1) 虚拟仿真法

虚拟仿真法基于计算机辅助技术,可利用虚拟样机、人体测量数据和三维人体模型,实现驾驶舱可达性、可视性和舒适性等指标的分析。例如,文献[17]提出了一种基于 JACK 软件虚拟设计的驾驶舱人机工效布局评价方法,为驾驶舱人机工效布局虚拟评价提供参考;文献[18]开发了驾驶舱照明综合仿真和验证系统,研究了基于视觉工效学的民航驾驶舱光环境评价方法。

相比于传统的真人现场评价样机,虚拟样机具有许多优势,因而得到广泛的应用。在早期的设计阶段可利用虚拟样机和计算机人体模型进行初步的人机工效评价,发现设计的不足,有效缩短设计周期和降低设计费用,灵活性强,安全性高。但由于现有技术的限制,其无法评估所有的人机工效指标。

### 2) 模型试验法

模型试验法通过利用各种技术和装置对复杂的人机界面系统进行模拟和试验,得到符合实际情况的数据。可以通过建立驾驶舱仿真试验台、人体模型等对驾驶舱人机工效指标进行分析和评价。例如,文献[19]利用 RadTherm 平台接口,建立人体热舒适性模型,结合 Fluent 的数值模拟结果,以人体热舒适性为基准对驾驶舱环境进行系统评估;文献[20]开发了一台驾驶工效综合评定座舱试验台,定性/定量的研究飞机驾驶员工作时的复杂、实时操作感觉。

模型试验法能够逼真地模拟复杂的人机界面系统,真实地对操作顺序、任务协调、人机干扰等进行研究<sup>[21]</sup>,因而得到广泛应用;通常模拟装置只能

针对特定目标进行研究,灵活性较差,难以得出一般性的结论。

## 5 结论

1)适航条款是适航认证的基础,因此有必要对国外最新的与人机工效相关的条款进行研究,使国内运输类飞机人机工效适航认证标准与国际接轨。

2)人机工效符合性认证可采用设计描述、相似性说明、评估、演示、检查、试验等方法。在选择符合性方法时,应从设计特征和规章特征的角度,将方法和产品以及潜在的人机工效因素进行仔细地匹配,以选择最经济、有效的符合性方法。

3)虚拟仿真法和模型试验法是人机工效符合性评估的重要方法,可以通过虚拟样机、驾驶舱仿真试验台、人体模型等对驾驶舱人机工效各种指标进行有效评估。

### 参考文献:

- [1] 张燕军. 民机驾驶舱工效设计若干关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.
- [2] 罗青. 运输类飞机人为因素适航评审过程概述[J]. 科技信息,2013,(21):83-84.
- [3] Boeing Commercial Airplanes Group. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations 1959 - 2013 [Z]. Seattle, WA 98124 - 2207: Boeing, 2014.
- [4] Civil Aviation Authority. Global Fatal Accident Review 2002 - 2011 (CAP 1036) [S]. London: Civil Aviation Authority, 2013.
- [5] 许为,陈勇. 民用客机人机工效学适航认证及对策[J]. 民用飞机设计与研究,2013,(2):24-30.
- [6] 董大勇,俞金海,李宝峰. 民机驾驶舱人为因素适航符合性验证技术[J]. 航空学报,2016,37(1):310-316.
- [7] Federal Aviation Regulations (FAR). Part 25-Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes [S]. US: FAR-25, 2003.
- [8] European Aviation Safety Agency. CS 25-Certification Specifications for Large Aeroplanes [S]. EU: CS - 25, 2010.
- [9] 中国民用航空局. 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 中国:中国民用航空总局,2011.
- [10] Federal Aviation Administration. Advisory Circular AC25. 1302-1: Installed Systems and Equipment for Use by the Flight crew [S]. Washington, DC: Department of Transportation, 2013.
- [11] Federal Aviation Administration. 14CFR Part 25, Section 25.1302, Installed Systems and Equipment for Use by the Flightcrew (Amendment 25 - 137) [S]. Federal Register, 2013, Vol. 78, No. 86: 25840 - 25846.
- [12] 许为,陈勇. 从驾驶舱设计和适航来减少由设计引发的飞行员人为差错的挑战和途径[J]. 民用飞机设计与研究, 2014,(3):5-11.
- [13] 田斌,胡涛,张超. FAR25 部最新修正案分析[J]. 航空标准化与质量,2014,(5):41-45.
- [14] Federal Aviation Administration. Guidance for Reviewing Certification Planes to Address Human Factors for Certification of Transport Airplane Flight Decks, ANM - 99 - 2 [S]. US: FAA, 2002.
- [15] Federal Aviation Administration. Factors to Consider when Reviewing an Applicant's Proposed Human Factors Methods of Compliance for Flight Deck Certification [S]. US: FAA, FAA Memorandum, ANM - 01 - 03A, 2003.
- [16] 罗仕鉴,朱上上,孙守迁. 人机界面设计[M]. 北京:机械工业出版社,2001,9:245.
- [17] 苏润娥,薛红军,宋笔锋. 基于虚拟设计的驾驶舱工效布局评价[J]. 航空计算技术,2008,38(2):69-73.
- [18] 杨彪. 民机驾驶舱光环境设计及视觉工效学研究[D]. 上海:上海复旦大学,2011.
- [19] 薛红军,马占元,张晓燕,等. 驾驶舱人体热舒适性建模及环境评估[J]. 计算机工程与应用,2014,50(8):265-270.
- [20] 刘伟,袁修干,庄达民,等. 驾驶工效综合评定座舱试验台的研制[J]. 中国安全科学学报,2003,13(11):9-12.
- [21] 刘启越. 民机驾驶舱人机工效评价方法研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2013.

### 作者简介

裴后举 男,硕士。主要研究方向:人机与环境工程;E-mail:1107460848@qq.com

丁媛媛 女,硕士。主要研究方向:人机与环境工程;E-mail:445008032@qq.com

蒋彦龙 男,博士,教授。主要研究方向:低温与制冷工程、人机与环境工程;E-mail:jiang-yanlong@nuaa.edu.cn

高志刚 男,硕士。主要研究方向:船舶节能减排与人机环境;E-mail:773686890@qq.com

施红 女,博士,讲师。主要研究方向:建筑设备与环境工程;E-mail:1176815804@qq.com