

民用飞机设计驾驶舱 操纵设备的评估

Evaluation on Flight Cockpit Control Equipments of Civil Aircraft Design

丰立东 赵京洲 田金强 / Feng Lidong Zhao Jingzhou Tian Jinqiang

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

人机工效影响着飞行员操纵飞机的感受,因此在民用飞机设计过程中,对人机工效进行及早考虑是非常重要的。在民用飞机设计的各个阶段,都需要适时邀请具有一定资质的飞行员对驾驶舱的人机工效进行评估。对民用飞机设计中飞控驾驶舱飞行员评估方法进行介绍,对评估的要点进行总结分析,供相关工程设计人员参考。

关键词: 人机工效; 飞行员评估; 驾驶舱; 飞行控制; HQR

[**Abstract**] Human factors affect the feeling of pilots operating airplanes. It is necessary to take human factors into account at the beginning of designing civil aircraft. During each phase of designing civil aircraft, it is necessary to invite qualified pilots to evaluate human factors in cockpit when needed. A method of pilot evaluation related with flight cockpit control system in designing civil airplane is introduced and some important issues are summarized and analyzed so as to refer to other relevant engineers and designers when necessary.

[**Key words**] Human Factors; Pilot Evaluation; Cockpit; Flight Control; Handling Qualities Rating

0 简介

飞机驾驶舱是飞行员飞行时的工作环境,驾驶舱内设备的合理布局及良好的操纵感受至关重要。驾驶舱的人机工效影响着飞行员操纵飞机的工作效率及操作舒适性。良好的人机工效可以在一定程度上避免飞机由于人为原因引发事故。

为实现飞机具有良好的人机工效,在飞机设计的不同阶段,都需要适时邀请飞机的最终使用者——飞行员来体验、感受、评估驾驶舱的设计,以便设计人员及时得到有效的反馈信息进而改进设计,从而达到最优化设计的目的。一次成功的飞行员评估可以使设计人员的设计思路更加清晰、改善驾驶舱的人机工效,加速飞机研制进程;如果评估时忽视一些重要因素,则极有可能发生误导设计人员产生较差的驾驶舱人机工效、引起飞行员的反感,延长飞机设计周期,增加研制成本等诸多危害。

1 驾驶舱操纵评估的主要内容

民用飞机的驾驶舱内通常涉及总体、结构、飞行控制、综合航空电子、电气、液压、起落架、环控、氧气、动力、燃油、内饰等诸多专业,在一次飞行员评估期间,对驾驶舱内涉及的所有专业同时进行评估往往由于各种主客观因素限制而具有较大的实施难度。这些因素包括但不限于:评估规模过大也会使得对评估意见的讨论不能非常深入或因评估意见分歧过大而影响设计人员的决策,使得评估效果大打折扣;各个专业同时组织飞行员评估,将花费很多时间,对组织工作是不现实的,并且随着参与评估专业的增多,评估时不易突出重点。

因此,在民用飞机设计过程中,往往按照不同的侧重点,首先由一个或少数几个专业就若干个驾驶舱的操纵器件邀请飞行员进行评估,以达到各自的评估目的;然后由一个专业牵头进行综合评估,

以获得驾驶舱的整体评价。重点就电传飞控系统的侧杆飞机驾驶舱飞行员操纵评估进行分析介绍,评估对象主要包括:侧杆、方向舵刹车脚踏、配平控制板、襟缝翼控制手柄及减速板控制手柄共五个设备。

2 评估的要求和主要方法

2.1 评估要求

为保证多轮评估具有可比性,在评估前需要对评估设备周围的环境及设备进行检查、核实及记录。表1列出了各操纵设备的可能影响因素及周围环境、设备的检查要点。

2.2 评估方法

飞行员评估采用 Cooper-Harper 操纵品质等级评定尺度(Handling Qualities Rating Scale,简称 HQR Scale),如图1所示。

Cooper-Harper 操纵品质等级评定尺度(Handling Qualities Rating Scale)是由 NASA TN D-5153^[1]的一位作者在1969年提出、创立的,这个评估尺度经过40余年的实践检验,已被证明对工程设计人员非常有帮助,并已经被公认为是飞行员评估时所采用的一种标准化方法和评判尺度^[2-3]。

Cooper-Harper 操纵品质等级评定尺度,结合评估对象的待评估内容制定评估表单。评估科目涉及侧杆两个轴向的启动力、操纵舒适性、方向舵刹车

表1 驾驶舱内可能对飞控操纵设备产生影响的因素及构型检查内容

| 飞控设备名称 | 可能会影响评估结果的因素 | 检查评估环境及构型的内容 |
|---------|------------------------|---|
| 侧杆 | 飞行员座椅及其扶手调节便利程度、侧操纵台布局 | 检查飞行员座椅是否能够方便地进行前后、左右及上下调节;扶手是否能顺畅的进行高低调节;侧操纵台的布局是否对飞行员操纵侧杆构成不便或干涉。确保通过座椅的调节可以使飞行员在正确眼位处,较舒服地进行相关操纵,否则都将会影响飞行员对侧杆的操纵评价,降低评估价值。同时,还需记录未经评估的侧杆手柄的构型及力感特性。 |
| 方向舵刹车脚踏 | 飞行员座椅调节便利程度,主显示器底部的高度 | 检查飞行员座椅是否能方便地进行前后、左右及上下调节,以及在操纵方向舵刹车脚踏时飞行员腿部是否会与主显示器台架干涉。记录方向舵刹车脚踏的力感操纵特性及调节手轮的形式、位置,脚部休息区的位置、倾斜角度等。 |
| 配平控制板 | 中央操纵台上周边设备及其布局 | 检查、记录中央操纵台上待评估设备周边环境的设备;检查当前安装位置状态是否会对正常操纵设备构成遮挡、干涉、阻滞及其他不便。记录待评估设备的操纵方式、构型及力感特性。 |
| 襟缝翼控制手柄 | | |
| 减速板控制手柄 | | |

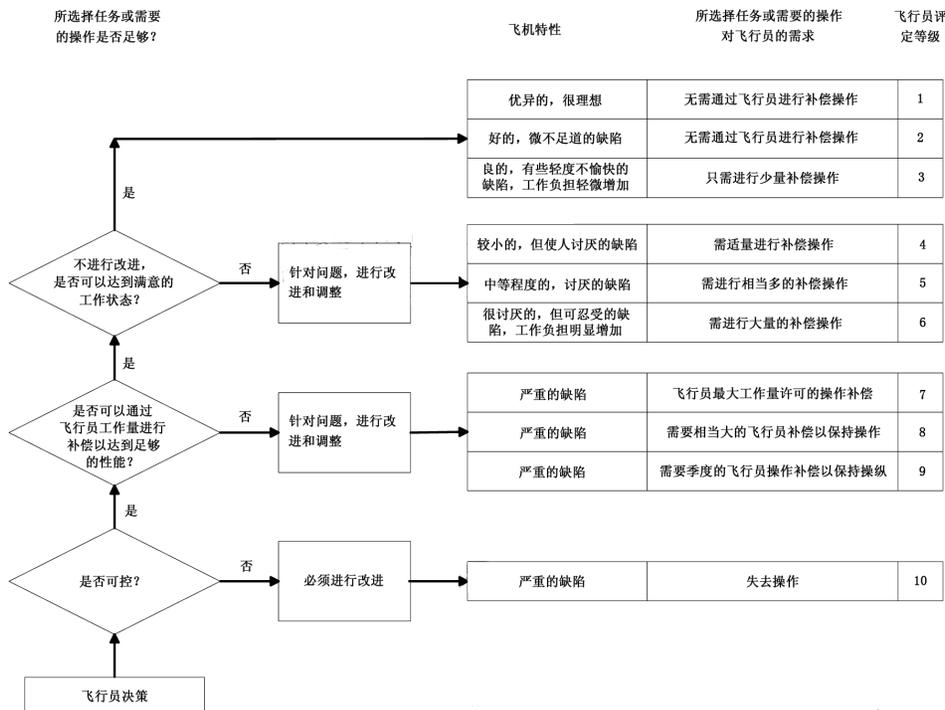


图1 操纵品质等级衡量尺度

脚蹬的最大行程、阻尼特性、减速板控制手柄及襟缝翼控制手柄的最大行程、摩擦力、操纵逻辑等内容。表2~表4分别为侧杆俯仰轴操纵特性、滚转轴操纵特性及舒适度的评估表,其他设备的操纵特性评估方案可参照其制定,此处不再逐一列出。

较为明确的评估意见。设计人员结合项目进度,分析评估意见的合理性及采纳的必要性,将评估意见归纳整理为3类:立即整改;需要考虑,但现阶段不改;不接受。如表5所示。

设计人员将评估意见中需要立即整改的项目作为其与供应商后续工作的行动项目,并对这些项目进行逐一落实。待设计更改完成后,择机再次进行飞行员评估。

3 对评估结果的分析

评估结束后,经过与飞行员的讨论和确认,形成

表2 侧杆俯仰轴操纵特性评估表

| 特性 / 科目 | 飞行员 A | 飞行员 B | 飞行员 C | 飞行员 D | 飞行员 E |
|----------|----------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------|
| 启动力 | 6分:启动力偏大,建议降低25% | 6分:启动力偏大,建议降低30% | 5分:启动力略大,可以降低15% | 6分:启动力偏大,应降低20%~30% | 4分:启动力大小适中 |
| 空行程和回中特性 | 5分:回中速度中等偏快 | 4分:均适中 | 5分:空行程适中,但回中略快 | 6分:回中速度偏快 | 4分:均适中 |
| 最大位移 | 5分:向前的操纵位移较小 | 3分:操纵行程适中 | 2分:比较好 | 4分:大体可以接受 | 3分:操纵行程适中 |
| 最大力 | 6分:向后操纵的最大力较小,需增加15% | 3分:最大力基本可以 | 4分:最大力尚可 | 5分:最大力略大,应降低10% | 3分:最大力较好 |
| 静态杆力/杆位移 | 5分:杆力/杆位移梯度偏大 | 3分:调整启动力才能给出意见 | 5分:杆力/杆位移梯度略大 | 4分:调整启动力才能给出意见 | 3分:杆力/杆位移梯度尚可 |
| 阻尼特性 | 2分:较好 | 3分:尚可 | 3分:尚可 | 2分:较好 | 2分:较好 |

表3 侧杆滚转轴操纵特性评估表

| 特性 / 科目 | 飞行员 A | 飞行员 B | 飞行员 C | 飞行员 D | 飞行员 E |
|----------|-----------------|---------------|--------------|--------------|----------|
| 启动力 | 4分:在可接受范围内 | 2分:较好 | 3分:适中 | 4分:大体上可以 | 3分:适中 |
| 空行程和回中特性 | 2分:较好 | 2分:较好 | 3分:基本满意 | 2分:较好 | 4分:适中 |
| 最大位移 | 5分:外推的最大位移较大 | 5分:外推的最大位移较大 | 4分:适中 | 3分:大体舒服 | 3分:尚可 |
| 最大力 | 7分:最大力过大,应降低40% | 5分:略大,可以降低10% | 6分:偏大,应降低20% | 6分:偏大,应降低25% | 3分:最大力适中 |
| 静态杆力/杆位移 | 未评价 | 未评价 | 未评价 | 未评价 | 未评价 |
| 阻尼特性 | 3分:尚可 | 2分:较好 | 3分:尚可 | 2分:较好 | 3分:尚可 |

表4 侧杆舒适度评估表

| 特性 / 科目 | 飞行员 A | 飞行员 B | 飞行员 C | 飞行员 D | 飞行员 E |
|--------------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 侧杆操作舒适度,包括方向,构型,位置 | 5分:不太容易习惯 | 2分:比较舒服 | 4分:略有不适 | 5分:不是非常舒服 | 3分:基本舒服 |
| 侧杆开关操作舒适度 | 未提及 | 未提及 | 未提及 | 未提及 | 未提及 |

表 5 评估意见整理表单

| 评估意见类型 | 设备 | 评估意见内容 |
|-------------|--|---|
| 立即整改 | 侧杆;方向舵刹车脚踏; 襟缝翼控制手柄;减速板 控制手柄;配平控制板 | 侧杆俯仰轴:回中速度过快,启动力应减小 20%;侧杆滚转轴:最大操纵力应减小 15%;侧杆操纵舒适性:侧杆上的按压通话开关位置过远,位置需调整;方向舵刹车脚踏:脚踏的行程过小,并且调节方式不方便;襟缝翼控制手柄:手柄外形不舒服;减速板控制手柄:手柄位置布局需要向前调整约 5cm;配平控制板:旋钮启动力过小,应增加 20% |
| 需要考虑,但现阶段不改 | 侧杆;方向舵刹车脚踏; 减速板控制手柄;配平控制 板 | 侧杆俯仰轴:向后的最大操纵力较小;侧杆滚转轴:外推的最大位移较大;方向舵刹车脚踏:脚踏板的旋转轴距地板过低;减速板控制手柄:手柄外形;配平控制板:功能按钮/旋钮布局待优化 |
| 不接受 | 侧杆;方向舵刹车脚踏; 襟缝翼控制手柄; | 侧杆俯仰轴:向前的操纵位移较小;方向舵刹车脚踏:脚踏踏板摩擦力不足;襟缝翼控制手柄:手柄卡位设置不合理 |

4 驾驶舱评估需要关注的几个问题

一次成功的飞行员评估是一场综合性的技术活动,涉及统筹规划、组织协调、讨论决策等多方面工作。即便是一个或少数几个专业组织的较小规模的飞行员评估,除去前面介绍的明确评估要求,制定评估方案,按照评估方法进行评估,分析评估结果外,还有很多不可缺失的要点需要考虑到。将以下几个要点问题考虑充分,对一次飞行员评估达到评估目的、获得成功是至关重要的。

4.1 评估人员的确定

一次飞行员评估往往涉及到飞机研制单位多个专业的众多人员参与,现役飞行员往往被密集的航班任务所占据,为保证所有参与评估的人员在评估期间都能各司其职、各就其位,需要组织者进行良好地安排与沟通协调。

在飞行员的选取上,应根据评估规模与评估目的来邀请相应资质与数量的飞行员。对于完整的飞行员在驾驶舱环境的评估而言,通常会涉及总体、结构、飞行控制、综合航空电子、电气、液压、起落架、环控、氧气、动力、燃油、内饰等多个专业。这种大规模的评估涉及的评估对象众多,往往是为了得到飞行员对驾驶舱环境的整体感受,因此在选择飞行员时需要严格控制飞行员的资质与背景,尽量多地选择具有丰富的民用飞机飞行经验的飞行员,并应具有飞行过多种主流型号民用飞机的经验。由于综合性评估时,待评估对象较多,故参与评估的飞行员数量不宜过多。

而对于专业级的飞行员评估,其评估往往是为了确定某一功能设置的合理性及必要性、操纵器件

的舒适性等,因此在选择飞行员时,应尽量使飞行员的飞行时间、飞机型号、年龄、身高等方面形成梯度化,并具有较大的跨度。

4.2 评估前的准备工作

(1) 技术交流

为保证评估时,飞行员能够快速、高效地进行评估工作,通常需要在评估前,组织一次由设计人员与飞行员共同参加的技术交流会。通过交流会,设计人员向参与评估的飞行员介绍评估的目的、内容(对象)、流程、方式等,飞行员可以增加对即将进行的评估的了解,并就感兴趣与疑问之处与设计人员交流,从而更好地了解飞机的设计理念,便于评估客观、高效地进行。

(2) 确认评估状态

对于飞行员静态评估,需确保评估对象可以操作使用;对于飞行员在环、动态评估,需确保评估对象的各种控制功能和控制逻辑正常。

飞机研制周期通常较长,一个项目周期内可能会进行多轮飞行员评估,为保证一次评估的成果可以被后续评估乃至其他型号所使用,建议评估前完整、准确地掌握待评估设备及其周边设备环境。

4.3 评估后的决策

由于飞行员在年龄、飞行时间以及所飞机型等方面的差异,对同一个样机的驾驶舱进行评估后得出的意见可能差异很大,甚至可能是完全相反的。设计人员如何在有限的几个飞行员意见中进行取舍,经常是一件难以抉择的事情。

评估后,飞机研制单位需尽快根据书面记录整理飞行员的评估意见(以便飞行员对评估场景记忆清晰),然后组织由飞机研制单位的相关专业与评

估专家参与的飞行员评估总结会。飞机设计人员就飞行员评估时的意见进行讨论和再次确认。与飞行员就关心的重点问题进行坦诚交流后设计人员可根据飞行员的资质和背景情况以及适航规章对评估意见筛选并酌情采纳,对于会产生重大设计更改的意见,设计人员需根据适航风险、项目进度、成本等因素对飞行员意见进行深入地权衡分析,以便最终形成较为统一、明确的整改意见。

5 结论

驾驶舱飞行员评估是民用飞机研制过程中不可缺少的一个环节。本文就民用飞机设计过程中进行的一次驾驶舱内针对飞控操纵设备的飞行员评估进行了介绍,阐明了飞行员评估时需要注意的

(上接第 35 页)

需要按照同样的方法依次对爬升、巡航、下降、进近与着陆等飞行阶段的任务进行重构,完成对一整套飞行操作程序的重构,然后在整体上建立评价指标对重构后制定的新操作程序和原有操作程序进行综合的评价对比,最终判断新的操作程序是否从整体上优于原有操作程序,这里采用的综合评价方法可参照 2.3.4 节中所使用的方法。

3 结论

本研究以飞行员操作程序为基础,并在人机协作理念的指导下,充分考虑影响人机功能的各种因素,从系统总体出发提出一种与实际应用相结合的大型客机驾驶舱人机功能分配方法。但需要注意的是,本研究主要依据主观评价的方法实施人机功能优化分配,后续还应考虑进一步补充客观实验数据,在实验数据的基础上对操作程序做进一步的优化。本研究所提出的人机功能分配方法可对大型客机驾驶舱的系统设计尤其是人机界面的设计和操作程序的制定提供一定参考。

参考文献:

- [1] 毕红哲, 庄达民. 航空人机工程计算机仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [2] 许健, 赵晶慧. 大型客机驾驶舱设计理念的对比与实例分析[C]. 探索 创新 交流(第 4 集)——第四届中国航空学会青年科技论坛文集, 2010: 172-179.

要点。介绍的评估方式及评估流程对组织、实施其他驾驶舱飞行员评估过程具有参考价值,可供相关工程设计人员在今后组织飞行员评估时参考实践。

参考文献:

- [1] Cooper, G. E. and Harper. R. P., The Use of Pilot Rating in the Evaluation of Aircraft Handling Qualities[R]. NASA TN D-5153. April 1969.
- [2] Robert P., Harper Jr., and George E. Cooper, Handling Qualities and Pilot Evaluation[C]. 1984 Wright Brothers Lectureship in Aeronautics.
- [3] Jann Mayer and Timothy H. Cox, Evaluation of Two Unique Side Stick Controllers in a Fixed-Base Flight Simulator[R]. NASA/TM-2003-212042, Dec 2003.

[3] 王黎静, 郭奋飞, 何雪丽, 向维. 大型客机飞行员操作程序综合评价[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(11): 1266-1270.

[4] 汤志荔, 张安, 曹璐. 智能火力与指挥控制系统的人机功能分配[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(3): 39-43.

[5] 张安. 基于认知特性的人机界面仿真模型与仿真方法研究[R]. 973 课题研究报告, 2012.

[6] Shappell Scott, Detwiler Cristy, Holcomb Kali, Hackworth Carla, Boquet Albert, Wiegmann Douglas A. Human error and commercial aviation accidents: an analysis using the human factors analysis and classification system [J]. Human factors, 2007, 49(2): 227-242.

[7] Endsley, M. Handbook of human factors and ergonomics [M]. 3rd ed., New York: Wiley, 2006: 528-542.

[8] 汤志荔, 张安, 曹璐, 刘跃峰. 复杂人机智能系统功能分配方法综述[J]. 人类工效学, 2010, 16(1): 68-71.

[9] Zhang An, Tang Zhili, Zhang Chao. Man-machine Function Allocation Based on Uncertain Linguistic Multiple Attribute Decision Making [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011, 24(6): 816-822.

[10] 李银霞, 袁修干, 杨春信, 王黎静, 杜俊敏. 歼击机座舱工效学评价指标权重系数的确定[J]. 航空学报, 2006, 27(3): 370-373.

[11] 李银霞, 杨锋, 王黎静, 袁修干. 飞机座舱工效学综合评价研究及其应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(6): 652-656.

[12] 赵鹏, 倪文, 韩峰. 如何预防飞行过程中的不安全因素[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(4): 57-61.