

# 基于大型客机操作程序的 人机功能分配研究

## Man-Machine Function Allocation Research Based on Operation Procedures of Commercial Airliner

刘 晨 完颜笑如 庄达民 / Liu Chen Wanyan Xiaoru Zhuang Damin

(北京航空航天大学航空科学与工程学院,北京 100191)

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of

Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

### 摘 要:

依据“人机协作”理念,提出了一种民用飞机驾驶舱人机功能分配的优化方法,即通过人机系统的功能分类及自动化等级划分、飞行阶段任务分解,对操作程序进行重构并采用专家评价的方法对人机功能分配进行优化与评估。该方法对于大型客机驾驶舱人机界面的设计和飞行员操作程序的制定具有一定的参考价值。

**关键词:** 飞机驾驶舱; 人机功能分配; 人机协作; 飞行员操作程序; 自动化等级

[Abstract] An optimization man-machine function allocation method for commercial airliner is proposed based on the concept of “man-machine collaboration” in this paper, and applies the functional classification of man-machine system, rank division of automation levels and task decomposition of each flight phase to reconstructing the operation procedures, as well as the man-machine function allocation is optimized and evaluated by expert evaluation method. This man-machine function allocation method provides references for the design of the man-machine interface and formulation of pilot operation procedures of commercial airliner.

[Key words] Cockpit; Man-machine Function Allocation; Man-machine Collaboration; Pilot Operation Procedures; Automation Level

## 0 引言

大型客机系统复杂,系统控制接口繁多,随着航空器自动化与智能化水平的发展,人机操作界面的复杂程度日益提高,飞行员在航空系统中的工作性质也逐渐由低级、被动向高级、主动的方向发展。但当飞行员不能及时、正确地理解和掌握系统工作状态时,就将导致飞行员的工作负荷增加,人为差错率上升甚至诱发飞行事故。因此,为了使人机顺利协调地工作,就需要在对二者的特性进行权衡分析的基础上,将系统的功能按照一定的标准或规则科学合理分派给人和机器,力求使人和机器充分发挥各自优势,扬长避短,协调互补,在保证人与自动化系统稳定的同时,尽可能地发挥出人机系统的

最大效能,而这一过程就被称为人机功能分配<sup>[1-2]</sup>。

人机功能分配通常需要根据飞行员的能力、自动化水平、可能性、研究周期、支持费用等因素,把作业分配给最适合的人机系统构成要素,使系统设计在整体上力求高效、安全、可靠和经济。人机功能分配结果将对系统结构、软硬件技术、接口关系、操作程序等方面产生较大影响,并直接影响到系统的人机界面设计,以及在很大程度上决定了执行飞行任务中人和机器的相互作用。其中,飞行员操作程序是在飞行员-飞机-环境大系统中,从人机界面(即显示界面-飞行员-控制界面)的角度去描述说明系统功能、飞行员操作与飞机状态及环境关系的技术文件,其关系到飞行员如何操作才能使整个系统乃至全机高效、稳定、安全地运行,并达到飞行员

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2010CB734104)

所需的最佳状态,使飞行员快捷、简便、有效地完成任务<sup>[3]</sup>。可以说,飞行员操作程序能够直观地体现出人机功能分配结果的优劣。

目前,大部分的人机功能分配方法都是基于某一项标准,且大多是一些简单的原型和算法,与系统的实际应用结合得还不够紧密,针对这些问题,人机功能分配的研究正朝着多准则及实际应用的方向发展,而飞行员操作程序作为人机功能分配结果与系统实际应用相结合最直观的例子之一,目前针对这方面开展的研究还比较少。因此,本研究以飞行员操作程序为基础,将人机协作理念作为研究的核心指导思想,通过对飞行操作任务的分析、分解、重构及评价,充分考虑影响人机功能的各种因素,从系统总体出发并综合运用系统工程、运筹学、工效学以及计算机科学等多学科知识,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,从而实现最优的人机功能分配决策。

## 1 大型客机驾驶舱系统的人机协作理念

现代大型客机驾驶舱的本质是一个复杂的人在环智能系统,系统中的人与机各有能力优势项,飞行员对飞机的关系既不是完全的控制,也不是简单的监控,而是通过能量交换与信息交换,相互协作,共同完成飞行任务。这就需要工程设计人员寻求一种有效的人机结合模式,构建合理的人机关系<sup>[4]</sup>。

根据人机所承担角色的份量与主次作用,人机结合模式可分为以人为主、以机为主和人机协作三种策略。不同的人机结合模式将带来不同的设计理念,如波音公司采取以人为主的人机结合模式,突出飞行员的主观能动性,在设计中强调为飞行员提供信息,机器辅助飞行员进行决策;而空客公司采取以机为主的模式,强调飞行员错误的不可避免性,在设计中尽量以自动化功能代替飞行员的作用。尽管波音和空客均以“Crew Centered”为核心理念,但人机结合模式的不同带来了不同的设计结果<sup>[5]</sup>。

在波音、空客的新机型投入运营的10年中,其所采用的不同的人机结合模式理念并没有带来“人为差错”所导致的事故比例的明显下降<sup>[6]</sup>。究其原因,在双方的设计理念中,“人”和“机”始终被看作相对独立的实体。因此,本研究尝试在一定程度上规避此观念,强调人与机的相互融合和互相支持,以“人机协作”为基本指导思想开展大型客机驾

驶舱人机功能分配研究。

## 2 人机功能分配流程

对于人机功能分配,目前还没有一个系统的、可普遍采用的流程和方法。本研究综合现有的研究成果,首先通过对飞行员操作程序的分析,在“人机协作”核心理念下对人机系统的功能进行分类并完成自动化等级的划分;其次在充分考虑任务需求、系统需求、实际应用需求以及人机特性基础上,对飞行员操作程序进行分解和重构,从而实现对驾驶舱人机系统功能的重新分配;最后采用定性或定量的方法对人机功能分配的结果做出局部和整体评估,实现对飞行员操作程序的优化。本研究所提出的人机功能分配流程如图1所示。

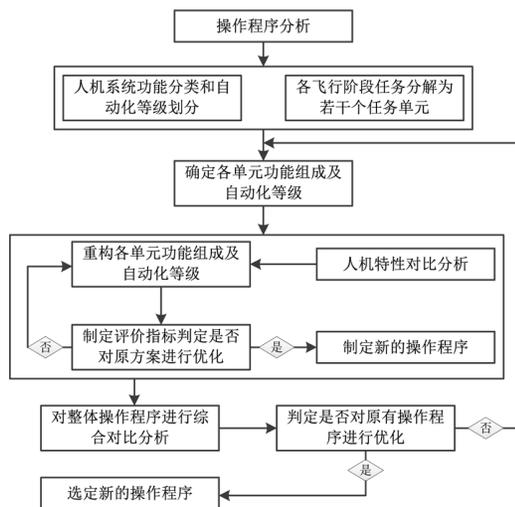


图1 人机功能分配流程示意图

### 2.1 人机系统功能分类与自动化等级划分

参考 Endsley 提出的态势感知理论模型<sup>[7]</sup>,结合大型客机这一复杂人机系统的实际应用,将大型客机驾驶舱人机系统的功能分为监视、管理、决策和执行四类,且这四类功能并非相互独立,而是环环相扣、互为支撑。监视和管理任务的最终目的都是为了支持决策的制定和任务的执行。四类功能的定义如下。

(1) 监视:飞行机组和自动系统利用自身能力(如人的感官和飞机的传感器)对飞行环境以及飞机所反馈的信息进行注意、辨别和确认;

(2) 管理:对人、机两种渠道收集到的信息进行综合分析、理解乃至预测,进而实现对飞机态势的实时掌控;

(3) 决策:在监视和管理所提供信息的基础上,

综合分析、判断多种行动方案的可能性,给出可行的行动方案;

(4)执行:采用相关的操作或程序实施选定的行动方案。

在“人机协作”理念下,人机之间形成同事般的合作关系,一种功能不一定由飞行员或自动化系统单独完成,而更多的是由两者合作完成,这种关系表现在人机功能不同的自动化等级上。根据飞行任务中飞行员和自动化系统参与的程度及协作关系,并参考相关人机交互系统自动化等级划分方法<sup>[4,8]</sup>,对监视、管理、决策和执行任务的自动化等级进行划分,划分结果如表1所示。

表1 监视、管理、决策和执行的自动化等级划分

	自动化等级	描述
监视	5 高	系统自行获取信息,不需要告知飞行员
	4 较高	系统自行获取信息,并在必要时提供给飞行员查看
	3 中	系统提示飞行员查看重要显示信息
	2 较低	系统提供重要显示信息供飞行员查看
	1 低	飞行员自行查看与飞行有关的信息
管理	5 高	系统完全掌控飞机态势,飞行员不参与
	4 较高	系统自行掌控飞机态势,必要时向飞行员提供相关信息
	3 中	飞行员起一定的辅助作用,进而由系统掌控飞机态势
	2 较低	系统为飞行员掌控飞机态势提供重要的参考信息
	1 低	系统提供一般信息,由飞行员对飞机态势进行综合掌控
决策	5 高	系统自行决策,人工不可干预
	4 较高	提供所有决策结果,仅需要时向飞行员提供原因、过程
	3 中	飞行员参与决策过程,共同制定决策选项
	2 较低	飞行员自行决策,系统在需要时提供建议
	1 低	完全由飞行员自己制定决策结果,系统不干预
执行	5 高	系统自动执行操作过程,不需要人工干预
	4 较高	系统仅在需要时向飞行员提供执行过程和结果
	3 中	系统提供操作步骤供飞行员选择,且系统可干预
	2 较低	飞行员和系统各自执行操作,但由飞行员触发操作过程
	1 低	飞行员完全手动执行操作过程,系统不参与

## 2.2 飞行各阶段任务分解

参照波音或空客飞机的标准飞行员操作程序对飞行阶段的划分情况,并综合考虑实际飞行中的各项需求,将每个阶段的飞行任务进行分解。以波音737-800飞机起飞阶段为例,将其分解为10个相对独立的任务单元,其中每个任务单元都包含飞行员标准操作程序明确描述的飞行机组和自动化系统所应完成的任务,具体分解流程如图2所示。

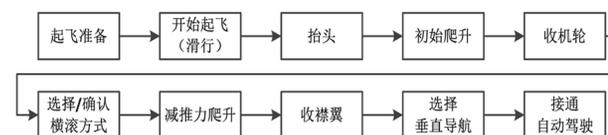


图2 起飞阶段各任务单元

## 2.3 确定并重构各任务单元的功能组成和自动化等级

结合人机系统功能分类及自动化等级的划分,对每个任务单元下的操作程序进行详细分析,可以看出每个任务单元都是一个相对完整的信息输入、处理和输出的过程,即均包含监视、管理、决策和执行四种功能类型,只是不同的任务单元中四种功能类型所占的权重不同,且分别表现出不同的自动化等级。因此,可将分解得到的每一个任务单元作为具体的研究对象。

### 2.3.1 组成评估委员会

由包括飞行员、人机工效专家、系统工程师等在内的不同领域内的专家组成评估委员会,设评委会由r位专家组成,r=10,为了避免专家对自身参与的分配结果进行评价,减弱主观偏好的影响,将这10位专家根据所在领域区别平均分配为两组,采用组别间交叉评价机制,分别记为:

$$A_1 = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5);$$

$$A_2 = (\alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, \alpha_9, \alpha_{10}) \quad (1)$$

两组专家的信度系数分别记为:

$$O_{A_1} = (O_1, O_2, O_3, O_4, O_5);$$

$$O_{A_2} = (O_6, O_7, O_8, O_9, O_{10}),$$

其中,

$$\sum_{i=1}^5 O_i = 1, \sum_{i=6}^{10} O_i = 1 \quad (2)$$

### 2.3.2 确定任务单元的功能组成和自动化等级

每位专家根据自身对任务单元所包含的操作程序的理解,分别给出监视、管理、决策和执行四类功能在任务单元中所占权重及其自动化等级系数,其中自动化等级系数取(1,2,3,4,5)中的某一值。将监视、管理、决策和执行依次按1,2,3,4的序号进

行排列,则每位专家给出的权重及自动化等级系数可分别记为:

$$W_i = (W_{i1}, W_{i2}, W_{i3}, W_{i4}); l_i = (l_{i1}, l_{i2}, l_{i3}, l_{i4}),$$

则

$$\sum_{j=1}^4 W_{ij} = 1, i=1, \dots, 10; j=1, \dots, 4 \quad (3)$$

对所有专家的意见进行综合,并将综合后的权重分别记为  $W_1, W_2, W_3, W_4$ ; 其自动化等级系数记为  $L_1, L_2, L_3, L_4$ ; 则

$$W_j = (\sum_{i=1}^{10} O_i \cdot W_{ij}) / 2L_j = (\sum_{i=1}^{10} O_i \cdot l_{ij}) / 2 \quad (4)$$

其中,  $i=1, \dots, 10; j=1, \dots, 4$

### 2.3.3 重构任务单元的功能组成和自动化等级

每位专家通过分析任务单元中人机各自承担的角色,对比人机能力的优势项<sup>[10]</sup>,并结合自己的知识经验做出判断,给出一个最佳的权重和自动化等级系数,分别记为:

$$\bar{W}_i = (\bar{W}_{i1}, \bar{W}_{i2}, \bar{W}_{i3}, \bar{W}_{i4}); \bar{l}_i = (\bar{l}_{i1}, \bar{l}_{i2}, \bar{l}_{i3}, \bar{l}_{i4}) \quad (5)$$

则  $\sum_{j=1}^4 \bar{W}_{ij} = 1, i=1, \dots, 10; j=1, \dots, 4$

将  $A_1$  组和  $A_2$  组专家的意见分别进行综合,综合后四类功能在任务单元中所占权重分别记为  $\bar{W}_{11}, \bar{W}_{12}, \bar{W}_{13}, \bar{W}_{14}$  和  $\bar{W}_{21}, \bar{W}_{22}, \bar{W}_{23}, \bar{W}_{24}$ ; 两组的自动化等级系数记为  $\bar{L}_{11}, \bar{L}_{12}, \bar{L}_{13}, \bar{L}_{14}$  和  $\bar{L}_{21}, \bar{L}_{22}, \bar{L}_{23}, \bar{L}_{24}$ ; 则

$$\bar{W}_{aj} = \sum_{i=1}^5 O_i \cdot \bar{W}_{ij}, \bar{L}_{aj} = \sum_{i=1}^5 O_i \cdot \bar{l}_{ij}; a=1, 2; i=1, \dots, 5; j=1, \dots, 4 \quad (6)$$

### 2.3.4 任务单元综合评价

对原有任务单元和重构后所得到的两组任务单元中四类功能所占权重及其自动化等级系数进行对比,如果有明显的不同,则需要选取评价指标进行对比评价。指标的选取应从人机系统的角度出发,结合具体飞行任务选取能够体现人机系统效率、安全性等的指标进行综合评价。本研究采用层次分析法的改进方法( $G_1$ 法)来确定各指标的权重系数,它不仅克服了层次分析法的缺点,可操作性也较强<sup>[10-11]</sup>。

(1)按指标重要性程度确定序关系。记评价指标集为  $\{u_1, u_2, \dots, u_p\}$ , 当指标  $u_m$  对于某评价准则的重要性程度大于(或不小于)  $u_n$  时,记为  $u_m > u_n$ 。若评价指标  $u_1, u_2, \dots, u_p$  相对于某评价准则具有关系式:

$$u_1 > u_2 > \dots > u_p \quad (7)$$

此时,称评价指标  $u_1, u_2, \dots, u_p$  之间按“>”确立了序关系。受专家主观因素的影响,不同专家确定出的序关系往往有所区别,为书写方便仍记(7)式为  $u_1 > u_2 > \dots > u_p$ 。

(2)给出指标  $u_k$  与  $u_{k-1}$  之间相对重要程度的比较判断。设专家关于评价指标  $u_{k-1}$  与  $u_k$  的重要性程度之比  $\omega_{k-1}/\omega_k$  的理性判断分别为:

$$\omega_{k-1}/\omega_k = r_k, k=p, p-1, p-2, \dots, 3, 2 \quad (8)$$

$r_k$  的赋值可参考表 2<sup>[11]</sup>。根据确定出的  $r_k$  可计算出指标  $u_m$  权重值  $\omega_m (m=1, 2, \dots, p)$ :

$$\omega_p = (1 + \sum_{k=2m=k}^p r_m)^{-1} \quad (9)$$

$$\omega_{k-1} = r_k \omega_k, k=p, p-1, p-2, \dots, 3, 2 \quad (10)$$

为了减少专家人为因素的干扰,综合所有专家的判断得出一个较理想的值,由于每位专家确定的序关系不同,因此下面两式所得出的权重值是分别综合每位专家对相同指标的权重值得出:

$$\bar{\omega}_p = \{ \sum_{i=1}^{10} O_i \cdot (1 + \sum_{k=2m=k}^p r_m)^{-1} \} / 2 \quad (11)$$

$$\bar{\omega}_{k-1} = r_k \bar{\omega}_k, k=p, p-1, p-2, \dots, 3, 2; i=1, 2, \dots, 10 \quad (12)$$

表 2  $r_k$  赋值参考表

$r_k$	说明
1.0	指标 $u_{k-1}$ 与指标 $u_k$ 具有同样重要性
1.2	指标 $u_{k-1}$ 比指标 $u_k$ 稍微重要
1.4	指标 $u_{k-1}$ 比指标 $u_k$ 明显重要
1.6	指标 $u_{k-1}$ 比指标 $u_k$ 强烈重要
1.8	指标 $u_{k-1}$ 比指标 $u_k$ 极端重要

(3)将各评价指标的特征值统一变换到  $[0, 1]$  范围内,即对评价指标特征值进行归一量化,逐一得出各指标的隶属度。

(4)采用基于线性评价模型的模糊综合评价数学模型进行评价:

$$Y = \sum_{m=1}^p \omega_m \cdot v_m, m=1, 2, \dots, p \quad (13)$$

式中  $\omega_m (m=1, 2, \dots, p)$  为第  $m$  个指标  $u_m$  的权重系数;  $v_m$  为第  $m$  个指标  $u_m$  的隶属度,由各位专家根据各自的判断给出;“ $\circ$ ”为模糊算子,在具体“合成”计算时,采用模糊加权平均算子  $M(\cdot, \cdot)$ 。则两组专家对原有任务单元的综合评价结果可记为:

$$Y = \{ \sum_{i=1}^{10} (O_i \cdot \sum_{m=1}^p \omega_m \circ v_{im}) \} / 2, m=1, 2, \dots, p \quad (14)$$

(5)为了减弱专家主观倾向的影响,由两组专家对两组重构后的任务单元进行交叉评价,将  $A_2$  组

专家对 A<sub>1</sub> 组的综合评价结果及 A<sub>1</sub> 组专家对 A<sub>2</sub> 组的综合评价结果分别记为:

$$Y_{A_1} = \sum_{i=6}^{10} (O_i \cdot \sum_{m=1}^p \omega_m \circ v_{1im}), m=1, 2, \dots, p \quad (15)$$

$$Y_{A_2} = \sum_{i=1}^5 (O_i \cdot \sum_{m=1}^p \omega_m \circ v_{2im}), m=1, 2, \dots, p \quad (16)$$

比较  $Y$ 、 $\bar{Y}_{A_1}$ 、 $\bar{Y}_{A_2}$  的值,最大者所对应的任务单元即为最优的人机功能分配结果,并以此为参考制定新的操作程序。

需要注意的是,在制定飞行员操作程序时,还要考虑机组之间的相互配合,结合飞行的实际需要合理分配机组之间的任务。

### 2.3.5 实例分析

飞机起飞爬升的 3 分钟和进近着陆的最后 8 分钟被称为“黑色的 11 分钟”,且据相关资料统计表明,在世界民航 1991-2000 的运输飞行事故中,起飞阶段发生飞行事故就占到 17%<sup>[6,12]</sup>。考虑到一套完整的飞行员操作程序内容极其繁多,且会根据机型的不同而有所区别,因此,本研究参考波音 737-800 飞机标准飞行员操作程序,选取该机型接通自动驾驶前的起飞阶段进行如图 2 所示的任务分解,并将抬头任务作为研究对象对所提出的人机功能分配方法进行说明。

波音 737-800 飞机的标准飞行员操作程序对于抬头任务所做的描述为“监控主飞行显示上的速度值,在  $V_R$  时柔和的以  $2.5^\circ/s \sim 3^\circ/s$  的速率抬头”,对此可以结合 2.1 中的内容从人机系统的角度进一步阐述为“飞行机组监视主飞行显示上由自动化系统所提供的速度值,掌握飞机的速度状况,在达到抬轮速度  $V_R$  时做出决策,进而以  $2.5^\circ/s \sim 3^\circ/s$  的速率拉起驾驶盘”,在拉起的同时还要时刻监视并掌握自动化系统所反馈的飞机姿态情况。需要说明的是,在一些诸如恶劣天气等非正常条件下起飞时,还要关注跑道上的积水、积冰等影响飞行的相关因素,起飞操作程序也要适当做出调整,不过这里暂以正常起飞条件下的标准操作程序为研究背景。

组织专家对抬头任务进行分析评价,评价指标集如表 3 所示。通过式(4)得出的原有抬头任务中各功能类型所占权重及其自动化等级分别为:

$$(W_1, W_2, W_3, W_4) = (0.310, 0.280, 0.195, 0.215)$$

$$(L_1, L_2, L_3, L_4) = (2.15, 2.4, 1.45, 1.45)$$

通过式(6)得出 A<sub>1</sub> 组和 A<sub>2</sub> 组重构后的抬头任

务中各功能类型所占权重及自动化等级分别为:

$$(\bar{W}_{11}, \bar{W}_{12}, \bar{W}_{13}, \bar{W}_{14}) = (0.420, 0.350, 0.110, 0.120)$$

$$(\bar{L}_{11}, \bar{L}_{12}, \bar{L}_{13}, \bar{L}_{14}) = (3.1, 2.3, 3.3, 2.2)$$

$$(\bar{W}_{21}, \bar{W}_{22}, \bar{W}_{23}, \bar{W}_{24}) = (0.410, 0.330, 0.140, 0.120)$$

$$(\bar{L}_{21}, \bar{L}_{22}, \bar{L}_{23}, \bar{L}_{24}) = (2.9, 2.3, 2.9, 2.3)$$

分别通过式(14)~式(16)得出对原有抬头任务、A<sub>1</sub> 组专家所重构抬头任务、A<sub>2</sub> 组专家所重构抬头任务的综合评价结果:

$$Y=0.36; \bar{Y}_{A_1}=0.46; \bar{Y}_{A_2}=0.50$$

由于  $\bar{Y}_{A_2} > \bar{Y}_{A_1} > Y$ ,所以 A<sub>2</sub> 组所重构的任务单元即为最优的人机功能分配结果,则抬头任务中监视、管理、决策和执行所占最优权重依次为(0.41, 0.33, 0.14, 0.12),对应的自动化等级根据实际情况依次取为(3, 2, 3, 2)。对比原有的权重及自动化等级系数, A<sub>2</sub> 组所重构的抬头任务中人机系统所担负的监视和管理功能的比重进一步增加,决策和执行的比重减小,同时监视、决策和执行的自动化等级上升,而管理的自动化等级基本保持不变。

通过对抬头任务中脑力负荷水平、态势感知水平以及时效性等指标的综合评价结果可以发现, A<sub>2</sub> 组所重构的任务在整体上比原有任务有显著的提高,尤其是在减小脑力负荷水平、提高完成任务的质量和时效性等方面。因此,建议抬头任务的标准操作程序参考 A<sub>2</sub> 组所重构的结果进行调整:首先由自动化系统提示飞行员查看主飞行显示上的速度值,且飞行员通过自动化系统所提供的速度、飞行姿态等信息综合掌控飞行态势,然后在达到抬轮速度  $V_R$  时由自动化系统提示飞行员抬轮,此时飞行员做出抬轮的决策并触发操作程序,最后系统自动执行抬轮任务。

表 3 抬头任务评价指标集

指标集	描述	隶属度
$u_1$	飞行员脑力负荷减小趋势	[0,1]
$u_2$	态势感知水平	[0,1]
$u_3$	自动化系统可靠性	[0,1]
$u_4$	时效性	[0,1]
$u_5$	完成任务质量	[0,1]

### 2.4 操作程序综合对比评价

在完成对起飞阶段所有任务单元的重构后,还  
(下转第 79 页)

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.