

基于 QFD 和 AHP 的飞机客舱内环境人机系统评价

Evaluation of Interior Environment Aircraft Passenger Cabin Based on QFD and AHP

西北工业大学工业设计研究所 汪 洋 余隋怀 杨延璞

[摘要] 将 QFD 方法运用于飞机客舱内环境人机系统的设计评价中,根据人机工程设计中的顾客心理、生理和功能布局因素的详细分析构建质量屋,进行质量功能展开;引入 AHP 方法计算人机需求重要度,与专家评分结合,得到顾客人机需求竞争性评估,实现了对飞机客舱内环境人机系统的科学评价。以国产飞机客舱内环境设计为例,与国外同类型竞争机型进行比较,分析了国内飞机客舱内环境设计存在的问题并提出了改进方向。

关键词: QFD AHP 人机工程设计 客舱内环境

[ABSTRACT] The QFD method is applied on the design evaluation of the interior environment aircraft passenger cabin of the man-machine system. According to the relevant theory of Ergonomic Design, and basing on the analyzing of the customer's psychology and physiology and the factor of the function layout, the House of Quality is built and the quality function deployment is developed. The AHP method is introduced to calculate the importance degree of the man-machine demand, and to obtain the competitive assessment of the customer's man-machine demand, and to realize the scientific evaluation of the interior environment aircraft passenger cabin of the man-machine system. In this paper, the interior environment aircraft passenger cabin made in China is used as an example to compare with that made in foreign to analyze the design difference between that made in China and foreign and to propose an improvement direction.

Keywords: QFD AHP Ergonomic design Interior environment of aircraft passenger cabin

随着经济全球一体化的发展和人民生活水平的提高,航空运输已经成为目前最为安全快捷的运输方式之一。在民用航空高速发展的背景下,提升飞机客舱内环境人机系统设计水平对增强民用航空竞争力具有重要意义。

飞机客舱是旅客在旅途中的主要活动空间,在确保飞机自身飞行性能的同时,客舱的安全性和舒适性

是旅客衡量飞机客舱设计水平的重要标准。因此通过新的技术、方法为营造舒适、宜人的旅行环境成为飞机客舱内环境设计中的首要任务。飞机客舱内环境设计包括工业设计、人机工程学、光学、材料学等多个学科专业,其中人机系统设计是整个飞机客舱内环境设计中的重要组成部分,在客舱内环境设计过程中发挥重要作用,可以协调人与客舱环境系统之间的关系,尽可能地满足旅客的生理和心理需求。

在以往的飞机设计分析与评价过程中,解建喜^[1]提出使用“蛛网图”法和灰色关联分析法确定飞机各项指标偏爱系数(指标重要性系数);黄俊等^[2]提出了多目标决策法对飞机总体设计进行评估;在飞机内环境设计方面,王伟伟^[3]在确定飞机客舱内环境设计评价指标的基础上,运用 Fuzzy-AHP 法,进行了飞机客舱内环境的综合评价;此外李雄伟^[4]提出了基于 Fuzzy-AHP 通讯网安全评价方法方面的探索。目前许多评价方法已广泛应用于各个领域,但在一些评价方法中仍存在一些问题,如评价指标分解主观性强、评价过程复杂、效率低等,导致评价结果误差较大。为了解决这些问题,本文将 QFD 方法引入到飞机客舱内环境人机系统设计评价中,在对用户的生理、心理和布局需求分析的基础上,通过建立人机系统质量屋对飞机客舱内环境设计中的相关因素进行质量功能展开,使评价内容更加详细。通过 AHP 法进行顾客需求重要度判别,确保对飞机客舱内环境人机系统评价的客观、科学、合理。

1 质量功能展开(QFD)原理

QFD 理论是由日本学者赤尾洋二院士提出,旨在时刻确保产品设计,满足顾客需求和价值^[5]。质量功能展开是把顾客或市场的要求转化为设计要求、零部件特性、工艺要求、生产要求的多层次演绎分析方法,它体现了以市场为导向,以顾客要求为产品开发唯一依据的指导思想。质量功能展开是采用一定的规范化方法将顾客需求转化为工程特性,其核心工具是“质量屋”(HOQ)。

质量屋的核心内容是需求转换,由美国学者于 1988 年提出。它提供了一种将顾客需求转换为产品

或零部件特征并配置到制造过程的结构,是一种直观的矩阵框架表达形式,是一个从“输入”到“输出”的过程^[6-7]。质量屋的结构如图1所示。

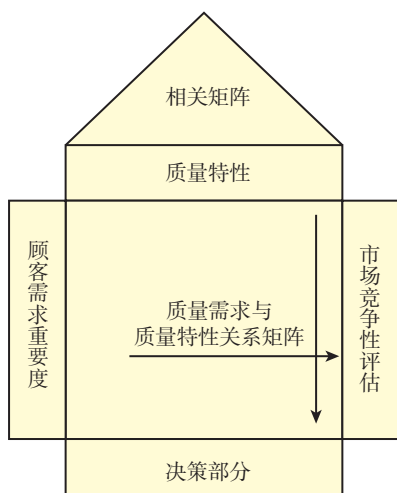


图1 质量屋结构

Fig.1 Structure of house of quality

从图1可知顾客需求及需求重要度分析是质量屋中关键的输入部分,其中顾客需求是QFD规划过程中进行分配和决策的重要依据^[8]。针对飞机内环境设计质量屋的建立,可以分为建立质量屋和质量屋决策2个过程。质量屋的建立首先从顾客角度出发,通过用户调研和分析确定顾客需求。以飞机为例,其客舱内环境中按照用户需求可划分为生理、心理和功能布局3个因素。在顾客需求基础之上,以满足顾客需求为目的,总结出技术特征,即质量屋中的质量特性,从而确定每个质量屋的具体内容。据此,建立顾客需求与技术特征间的相关矩阵,并用符号“●”、“○”和“△”分别表示强相关、相关和弱相关。技术特征之间的自相关矩阵反映了某项技术特征与其他技术特征之间的关系,用符号“+”、“-”分别表示正相关和负相关。由于顾客需求重要度的确定关系到质量屋建立的成败,且对飞机客舱内环境设计的评价分析具有

至关重要的作用,因此通过AHP法获取客观的顾客需求重要度,专家可根据质量需求与质量特性关系矩阵,对某型号飞机内环境设计方案与波音、空客两家公司的同类型飞机进行人机需求竞争性评分,从而达到对飞机客舱人机系统科学评价的目的。飞机客舱内环境设计质量屋建立流程如图2所示。

2 AHP 重要度评判

层次分析法(Analytic Hierarchy Process,简称AHP)由运筹学家T.L.Saaty教授提出,其基本思想是将复杂问题分解为由若干要素组成的若干层次,然后以上一层次为准则对同一层次的各要素进行两两比较、判断和计算,从而得到各要素的权重,通过权重层面上推得到各要素对总体的相对重要性,最终得到最底层需求的绝对权重排序^[9]。

利用AHP构建评价体系,建立重要度判断的矩

$$\text{阵 } c \text{ 为: } c = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}。$$

通过两两元素之间的重要性判别,得到矩阵c的每一列的特征向量,将特征向量归一化后,记为

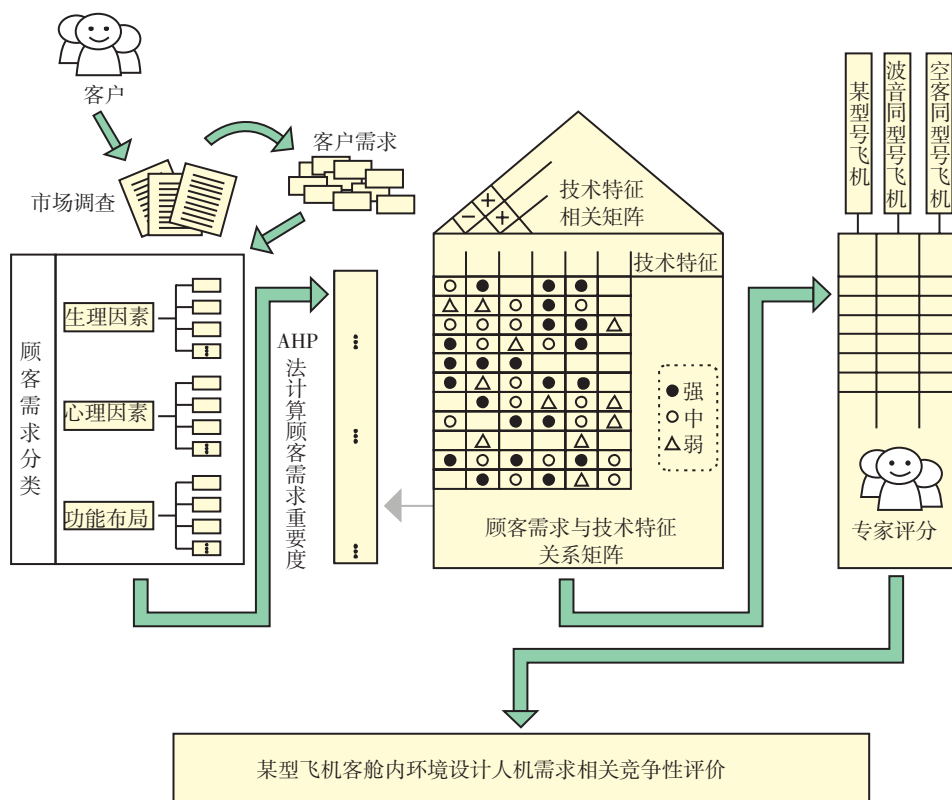


图2 飞机客舱内环境设计质量屋建立流程

Fig.2 Flow chart of interior environment aircraft passenger cabin

$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 并且满足 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。

$$c \times \omega = \lambda_{\max} \times \omega \quad (1)$$

利用几何平均法,将 c 中的元素进行处理,得出重要度向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$:

$$\bar{\omega}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n c_{ij}} \quad (2)$$

$$\omega_i = \frac{\bar{\omega}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i} \quad (3)$$

通过矩阵一致性检验,判断矩阵的一致性是否可以接受。则 ω_i 即为顾客需求重要度。

3 飞机客舱内环境的人机系统质量功能展开

从顾客角度出发,通过市场调查分析飞机客舱内环境设计中的相关顾客需求,将其按照生理、心理和功能布局 3 个方面的因素分别进行质量屋构建。在各质量屋中,以顾客需求为基础,分析归纳能够满足以上需求的技术特征,并将这些技术特征要素进行分类,建立顾客需求与技术特征间的相关矩阵^[10]。

3.1 人机工程设计的生理因素质量屋

飞机客舱内环境生理因素质量屋的建立,首先需要通过市场调查、目标客户需求访问等方法获得原始顾客需求,进而对此内容进行分析,归纳出顾客需求的因素为通道宽度适中、座椅可调节、小桌板尺寸及位置合理、空调位置合理、行李舱高度适中、显示器位

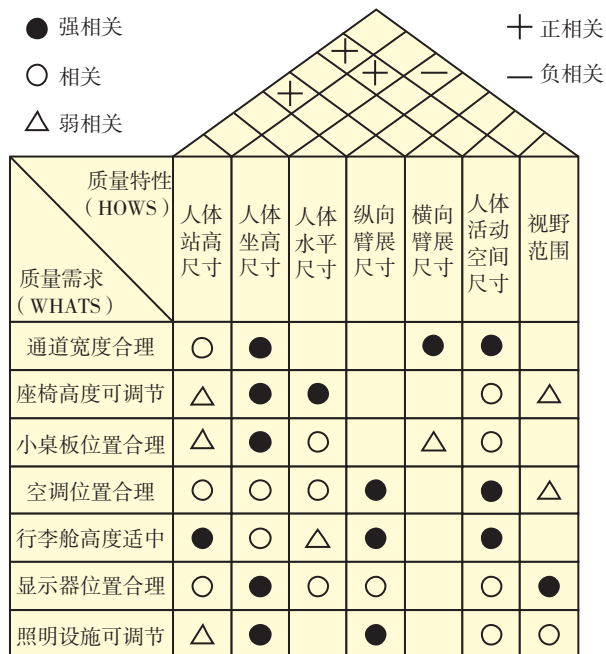


图3 生理因素质量屋

Fig.3 House of quality of psychology factors

置舒适和照明设施可调节等因素。在此基础之上,根据人体构造尺寸和功能尺寸的测量数据进行整理和分类,分析出人机质量需求特性,构建能够满足顾客需求的技术特征内容。最终根据顾客需求和技术特征的内容构建生理因素质量屋,如图 3 所示。

3.2 人机工程设计的心理因素质量屋

飞机客舱是旅客在旅行途中重要的活动空间,飞机在飞行过程中,每一位旅客受自身条件、旅行动机等因素的影响,造成对飞机客舱内环境的期望值差异,形成旅客个性心理需求。同时,客舱内的所有旅客和工作人员在飞行过程中都成为一个临时的群体,这个临时群体会受周围环境、设施、人员等因素的影响,形成旅客群体心理需求,并影响到每位旅客的个性心理需求,因此在问卷调查过程中,着重对旅客群体心理需求进行调研。通过对调研结果的分析,总结出顾客对便捷性、舒适性、安全性、经济性、亲和性的期望是群体心理需求。其中便捷性和舒适性 2 个因素是与客舱内环境设计中关系最为紧密的心理需求。但“便捷”和“舒适”都是相对模糊的概念,除了受个人因素、服务水平、其他旅客影响外,主要受飞机客舱内环境的影响。因此,构建心理因素质量屋的过程中,设施质量、提示信息明确、色视觉稳定、照明色温宜人等一些技术特性因素,成为能否满足便捷性、舒适性、安全性等顾客需求的重要保证,如图 4 所示。

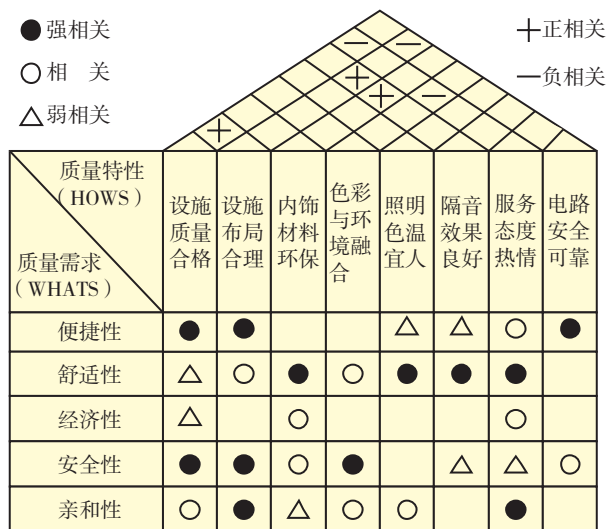


图4 心理因素质量屋

Fig.4 House of quality of psychology factors

3.3 人机工程设计的功能布局设计质量屋

功能布局设计在飞机客舱内环境设计中占有非常重要的作用,随着民用航空的高速发展,飞机不仅仅为旅客提供一种快捷的运输方式,还需为旅客提供

更加轻松、舒适的旅行环境,这就需要对飞机客舱内的座椅设施、箱壁设施、卫生设施、餐饮设施、信息传递设施及环境控制等相关设施进行合理布置,即功能布局设计,从而提高飞机客舱内环境设计的人性化程度,使人与人、人与设施、设施与设施之间的关系更加协调合理。通过市场调查,除坐姿舒适、通行顺畅、操作方便为顾客基本布局需求以外,便于交流、隐私保护和便于清洁也成为顾客需求的重要内容。通过对顾客需求的研究,总结出人体静态尺寸、人体动态尺寸和相关设施的尺寸与布局等因素为功能布局质量屋中的技术特性内容,构建功能布局设计因素质量屋,如图5所示。

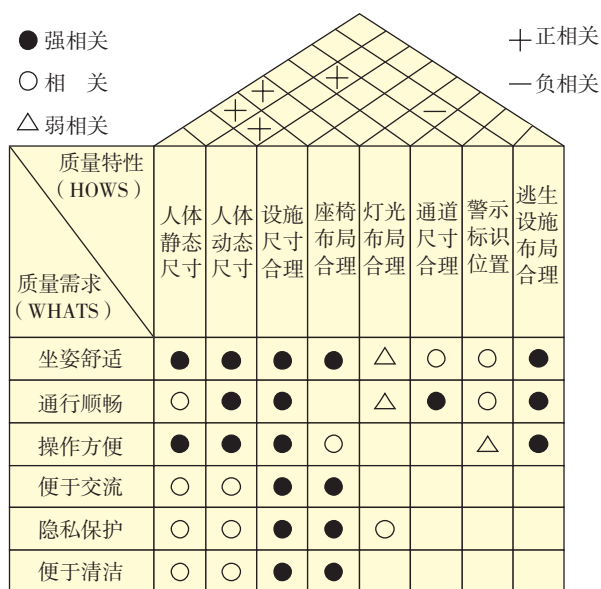


图5 功能布局设计因素质量屋
Fig.5 House of quality of factors of function layout

4 基于 QFD 的飞机客舱内环境人机系统设计评价方法

4.1 飞机客舱内环境人机系统设计件

以某型民用飞机客舱内环境设计为例。在设计前期,首先,对波音、空客 2 家航空品牌的同类型飞机客舱设计进行了详尽的优劣性分析。其次,通过制作详细的调研问卷和对相关人群的走访,从生理因素、心理因素和功能布局 3 个方面对调研结果进行归纳总结,制定了针对于以上 3 个方面的某型飞机客舱内环境人机系统设计方案,确定了为旅客营造舒适、宜人的旅行环境是设计的首要任务。最终根据分析结果和客户需求进行方案设计,表 1 为飞机内环境参照图与设计图。该设计方案主要从用户角度出发,根据人机工程学相关理论对飞机客舱中的通道宽度、行李舱高度与容量、座椅尺寸、小桌板位置、显示器位置和

照明设施的位置与开启方式等设施进行了人机工程设计,使相应的功能设施最大程度上符合人体尺寸要求,以提升旅客在旅行中的身体舒适程度;在色彩设计方面,为最大程度上提升客舱内的体积感和避免客舱中的压抑感,客舱内壁、天花板、储物仓等设施均采用色彩明度较高且色温柔和的奶白色作为客舱内的主要色调。为了给旅客营造平和、温馨的旅行感受和便于清洁,座椅采用浅咖啡色布衣椅套;为了便于旅客通行顺畅、防止旅客与座椅发生磕碰,通道两侧有黄色警示带,起到警示作用;在灯光设计上,顶灯和读书灯等主要照明设施采用亮度较强、色偏较小的冷光灯,其中为了保证每一位乘客都能得到正常的光照,读书灯的角度和亮度可以任意调节。地灯和壁灯等辅助照明设施采用色温较高的暖光灯。该款设计方案着重考虑到旅客的心理感受,并通过功能布局设计对旅客的交流条件和隐私保护程度做了做了最大程度的改善,如座椅之间留有一定空隙,便于旅客之间交流;座椅靠背略低于正常人体水平视线高度,后排旅客不会轻易观察到前排旅客的行为举止等。这样,更好地反映出座椅设施的品质感,座椅蒙皮采用与客舱内环境相协调的材质和色彩。

表1 飞机内环境参照图与设计图



4.2 飞机客舱内环境设计评价的 QFD 展开

根据与飞机客舱内环境设计相关的生理、心理和功能布局的用户需求分析,确定人体生理尺寸、视野范围、设施布局、色彩、光照和安全性等相应的技术特征,并由 AHP 法得到每项人机质量需求的重要度。同时,将飞机客舱内环境设计方案与国外同类型飞机进行对比,请 20 位专家根据人机顾客需求与技术特征关系矩阵对每一项顾客人机需求的对比结果按照

百分制进行评分,将每一项评分结果取平均值,得到人机需求竞争性评价矩阵,建立飞机客舱内环境人机系统评价质量屋,如图6所示。

功能布局设计顾客人机需求重要度优先顺序为: 坐姿舒适>通道顺畅>操作方便>便于清洁>便于交流>隐私保护。

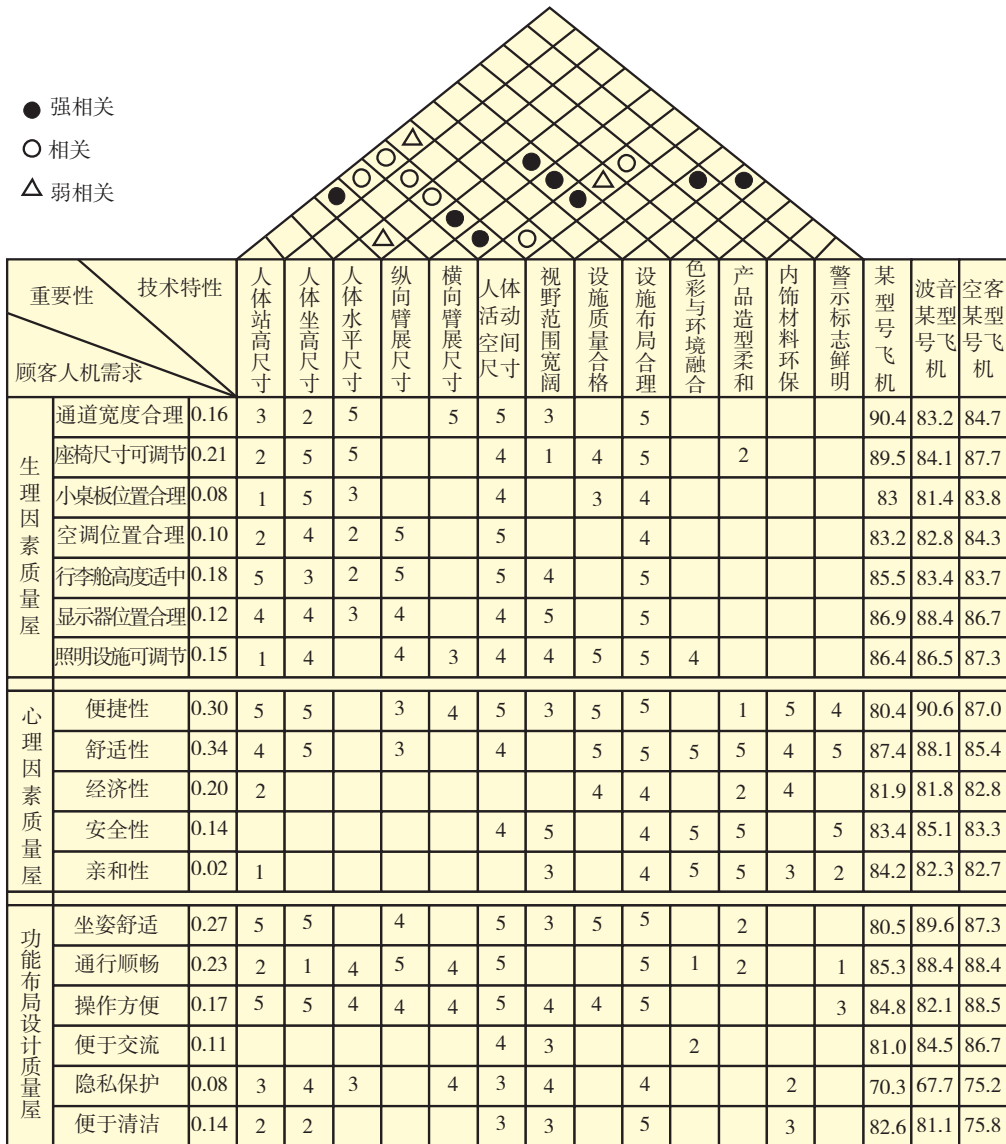


图6 飞机客舱内环境人机系统质量屋

Fig.6 House of quality of interior environment of aircraft passenger cabin

图6中,5为关联度最强,4为关联度较强,3为关联度一般,2为关联度较差,1为关联度最差。根据顾客需求重要度对生理因素质量屋、心理因素质量屋、功能布局质量屋中的人机需求重要度进行排序。

生理因素顾客人机需求重要度优先顺序为: 座椅高度可调节>行李舱高度适中>通道宽度合理>照明设施可调节>显示器位置合理>空调位置合理>小桌板位置合理。

心理因素顾客人机需求重要度优先顺序为: 舒适性>便捷性>经济性>安全性>亲和性。

功能布局。

由表2中数据可知,在生理因素竞争性评价中,某型号飞机生理因素方面的设计考虑优于其他2种机型;在心理竞争性评价中,波音公司同类型飞机

4.3 竞争性评估

根据AHP法^[11]计算得到图6中顾客人机需求重要度,由专家评价系统得出某型号飞机与波音、空客同类机型的人机需求竞争性评估矩阵。

根据公式(1)、(2)和(3)计算可知,生理因素顾客人机需求重要度为: $\omega_i = (0.16 \ 0.21 \ 0.08 \ 0.10 \ 0.18 \ 0.12 \ 0.15)$ 。

从图6中,得生理因素人机需求竞争性评估矩阵:

$$x_1 = \begin{pmatrix} 90.4 & 83.2 & 84.7 \\ 89.5 & 84.1 & 87.7 \\ 83.2 & 81.4 & 83.8 \\ 83.2 & 82.8 & 84.3 \\ 85.5 & 83.4 & 83.7 \\ 86.9 & 88.4 & 86.7 \\ 86.4 & 86.5 & 87.3 \end{pmatrix}$$

综上得出某型号飞机与波音、空客同类机型的顾客人机需求系统中,生理因素竞争性评价:

$$E_i = \omega_i \times x_i, \quad (4)$$

其中, E_i 为人机需求竞争性评价; ω_i 为顾客人机需求重要度; x_i 为人机需求竞争性评估矩阵; i 分别取1、2和3,分别代表生理因素、心理因素和

表2 人机需求竞争性评价表

竞争评价价值 E_i	国内某型号飞机	波音某型号飞机	空客某型号飞机
生理因素评价价值 E_1	86.05	83.42	84.71
心理因素评价价值 E_2	83.56	87.08	85.02
功能布局评价价值 E_3	84.42	85.11	87.09

优于其他 2 种机型的心理因素人机需求;在功能布局评价中,空客公司同型号飞机优于其他 2 种机型的功能布局因素人机需求。

通过对以上 3 种型号飞机人机需求竞争性的分析,某型号飞机在客舱内环境设计中,将国内人体测量数据作为人机工程设计的主要对象进行分析研究,所以其生理因素更加适合于国内人群,即某型号飞机的生理因素竞争性优于波音、空客同类型飞机。同时,由于国内航空技术仍处于发展阶段以及在大型客机设计方面存在经验不足等因素,波音和空客同类型飞机在心理因素和功能布局方面的人机需求竞争性明显高于某型号飞机。

5 结论

人机工程设计是提升民用飞机内环境舒适性、宜人性和市场竞争力的重要工具,与 QFD 方法有效结合,能够全面、细致地对顾客需求展开分析,并形成质量特性矩阵,使内环境设计过程充分反映顾客需求。引入 AHP 方法确定人机需求重要度,与专家评分相结合针对某型民用飞机与国外同类机型的客舱内环境设计进行了评价分析,得到对人机需求的竞争性评估,为国内民用客机内环境设计水平的提高起到一定的指导作用。

参考文献

- [1] 解建喜. 飞机总体设计评价准则和评估方法研究. 机械科学与技术, 2003(11):16-19.
- [2] 黄俊, 武哲. 作战飞机总体设计评价准则和评估方法研究. 航空学报, 2000(1):70-73.
- [3] 王伟伟. 基于 Fuzzy-AHP 的飞机客舱内环境设计评价. 航空制造技术, 2010(10):80-84.
- [4] 李雄伟. 基于 Fuzzy-AHP 的通信网安全评价方法研究. 军事通信技术, 2005, 26(2):6-9.
- [5] 熊伟. 质量功能展开——从理论到实践. 北京: 科学出版社, 2009.
- [6] Hauser J R, Clausing D. The house of quality. Harvard Business Review, 1988, 5(6):63-73.
- [7] Cristiano J J, Liker J K. Key factors in the successful application of quality function deployment QFD. IEEE Transactions on EM, 2001(48):81-95.
- [8] 王二强. QFD 和信息熵在油罐车改良设计中的应用研究. 机械设计与制造, 2011(8):60-62.
- [9] Ayag Z, Özdemir R G. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. J Intell Manuf, 2006(17):179-190.
- [10] 陈以增, 唐加福. 基于质量屋的产品设计过程. 计算机集成制造系统-CIMS, 2002, 8(10):757-761.
- [11] 冉承新, 凌云翔. AHP-Fuzzy 在仿真系统可信度综合评价中的应用. 计算机仿真, 2005, 22(8):59-61.

(责编 良辰)

(上接第 85 页)

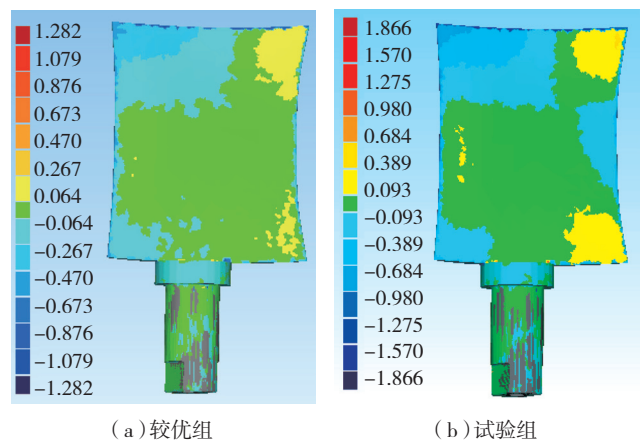


图4 较优组和试验组3D偏差对比

Fig.4 3D deviation contrast between optimum group and experimental group

使得翘曲问题得到了改善,叶片的变形区域与变形量均减小,采用正交试验法优化工艺参数的方法是可行的,通过分析试验结果,得到了较好的一组工艺参数值。

4 结论

本文针对低转速研究用压气机试验台所用树脂叶片注塑成型翘曲问题,提出基于正交试验的树脂叶片注塑参数优化方法。通过对树脂叶片注塑过程进行数值模拟,调整注塑参数,并通过仿真试验验证,与优化参数前的叶片相比,优化后的注塑参数设计能够显著减小叶片注塑成型翘曲度。

参考文献

- [1] 陈光. GE公司的低转速研究用压气机与涡轮试验器. 燃气涡轮实验与研究, 1995(4):1-3.
- [2] Wister D C, Halstead D E, Beacher B F. Improving compressor and turbine performance through cost-effective low-speed testing. Florence, Italy: 14th International symposium on air breathing engines, sept. 1999: 99-7073.
- [3] 马浩军, 胡广洪, 阮雪榆. 利用 MofdRow 软件分析解决注塑件翘曲问题. 模具技术, 2002(5):57-59.
- [4] Babur O T, Tuncay E. Determination of effecting dimensional parameters on warpage of thin shell plastic parts using integrated response surface method and genetic algorithm. International communications in heat and mass transfer, 2005(32): 1085-1094.
- [5] Hghoneim, Cahieber. Incorporation of density relaxation in the analysis of residual stresses in molded parts. Polymer Engineering and Science, 1997, 37(1):219-227.
- [6] Tuncay E, Babur O. Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method. Materials and Design, 2006(27): 853-861.

(责编 亦非)