

# 基于层次分析法和指标评分标准的民用飞机客舱舒适性评价方法研究

刘 剑, 任 和

(上海飞机客户服务有限公司, 上海 200241)

**摘要:** 在保证飞机安全性的基础上, 客舱乘坐舒适性是飞机主制造商和航空公司首要考虑的因素; 在探讨了客舱舒适性的定义、舒适性过程等相关理论的基础上, 深入剖析了影响乘客舒适性的环境、乘客活动和交际三大类因素及其重要度排序, 给出了客舱舒适性设计建议; 基于层次分析法原理, 提出了民用飞机客舱舒适性评价方法框架, 构建了完整的客舱舒适性评价指标体系, 包括座椅、IFE 设备、环境、乘客活动和主观感受五大方面 21 个具体指标; 为便于进行舒适性评价, 采用 5 级评分标准细化制定了主观类和客观类舒适性指标的具体评分标准; 最后在某型飞机模型客舱舱段上应用该方法进行了验证; 验证结果表明, 该方法科学合理、简便易行, 较好解决了飞机客舱舒适性评价问题。

**关键词:** 舒适性评价; 层次分析法; 客舱; 飞机

## Research on Comfort Evaluation Method of Civil Aircraft Cabin Based on AHP Theory and Index Evaluation Standard

Liu Jian, Ren He

(Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

**Abstract:** On the basis of ensuring the safety of the aircraft, the cabin comfort is the main consideration of the aircraft manufacturers and airlines. After discussing the definition of cabin comfort and the related theories of comfort process, three major external factors that affecting passenger comfort, such as: environment factors, passenger activities and social intercourse, are thoroughly analyzed and the priority of the factors are ranked. Based on the principle of Analytic Hierarchy Process, the evaluation method of a civil aircraft cabin comfort is proposed. The complete evaluation index system of cabin comfort is constructed, which contains 21 specific indicators in five subjects that is seats, IFE equipment, environment, passenger activities and subjective feelings. In order to facilitate comfort evaluation, the specific scoring criteria of subjective and objective comfort indicators are elaborated by using five-grade scoring criteria. Finally, the method is validated on the cabin mockup. The validation results show that the method is reasonable and simple, and can solve the problem of comfort evaluation of aircraft cabin.

**Keywords:** comfort evaluation; analytic hierarchy process; cabin; civil aircraft

### 0 引言

随着社会经济飞速发展, 乘坐飞机已经成为人们长距离出行的首选。航空公司通过提供不同层次的设计、服务和价格, 在吸引乘客上开展了激烈的竞争。在乘客舒适性方面的研究显示, 提升乘客在飞行过程中的舒适感, 能够提升乘客未来出行选择同一航空公司的比例。因此, 飞机的舒适性也越来越成为民机主制造商、航空公司和乘客关注的焦点。作为航空飞行器主制造商, 必须开展舒适性的设计和评价工作, 以满足市场日益增长的需求。

在舒适性评价方面, 王庆对照明的视觉舒适性进行了分析<sup>[1]</sup>, 开展了色温及照度的照明舒适性研究及模型建立、

基于色品坐标的照明舒适性研究及模型建立, 以及两类模型验证相关的研究工作。薛铁龙使用计算流体力学方法对乘员舱内环境进行了计算和分析<sup>[2]</sup>, 得到了乘员舱内流场详细数据, 对乘员热舒适性和舱内空气品质进行了评价, 分析了出风口温度和流速的不同对于舱内环境舒适性的影响。薛红军等人基于人体测量学的成果<sup>[3]</sup>, 结合人在乘坐座椅时受力合理分布, 提出了基于人体测量和座压分布的座椅纵向空间舒适性数学模型; 利用该模型定量评价客舱座椅布置的舒适性。王海涌对列车的舒适度评价指标体系的构建、权重标定方法进行了研究<sup>[4]</sup>, 建立了基于模糊粗糙集的高速列车多元舒适度评价模型和基于多维粗糙集的高速列车多元舒适度评价模型。陈祥运用因子分析与层次分析方法<sup>[5]</sup>, 构建了乘坐舒适度综合评价模型, 系统考察了车厢物理因素、设施功能因素、旅客乘坐需求、生理、心理和行为等方面的众多因素。刘敬等人针对民机客舱舒适性现有评价方法中缺乏数学定量评价的问题<sup>[6]</sup>, 提出了基于主客观综合赋权的民机客舱舒适性定量评价方法。许

收稿日期: 2019-05-21; 修回日期: 2019-06-10。

**作者简介:** 刘 剑(1980-), 男, 江苏靖江人, 高级工程师, 主要从事民机工业设计、客舱舒适性、客舱人机工程分析方向的研究。

任 和(1967-), 男, 陕西商洛人, 教授, 主要从事民用飞机可靠性设计、客户服务设计、民机工业设计、客舱舒适性研究等方向的研究。

松林等人从民用支线客机的设计参数及典型的全经济客舱布局出发, 分析了影响客舱空间舒适性的主要因素并提出了一种基于价值分析法的空间舒适性综合评价模型<sup>[7]</sup>。

在上述工作中, 针对舒适性的单个因素及其总体舒适性的评价方法、评价指标体系等方面开展了部分研究工作。但还存在一些不足: 一是在指标评价体系构建方面, 还没有完整的、合理的, 适用于飞机客舱舒适性评价的指标体系; 二是在指标评估方面, 还缺乏合理的评分标准, 打分随意, 且不方便开展评价工作。

针对上述问题, 本文开展客舱舒适性评价指标体系、指标评分标准研究, 构建基于层次分析法的客舱舒适性评价方法。

## 1 舒适性理论

### 1.1 舒适定义

在汉语大辞典中, 舒适是指给人以安乐舒服的感觉。在牛津词典(2010版)中定义舒适是一种身体安逸的状态, 免受痛苦和约束。然而在许多科技文献中提供了不同的定义, 如比诺在他的舒适定义中, 包括了生活中一切对于人的幸福感和物质方便性有贡献的元素<sup>[8]</sup>。斯莱特建议舒适是一种人与周围环境之间生理的、心理的和身体上的愉悦状态<sup>[9]</sup>。杜马等人的定义指出舒适超越了生命的身体层面, 还包括心理层面<sup>[10]</sup>。综合而言, 这些定义突出了舒适应被视为与周围环境相互作用, 受心理、生理和身体因素影响的主观和个人状态结果。

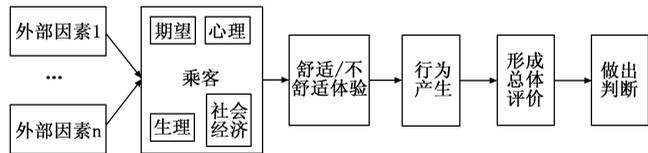


图 1 乘客舒适性体验过程

### 1.2 乘客舒适

乘客舒适受很多飞行过程中的感性刺激物和客舱特征影响。在采用整体分析方法对乘客舒适开展的研究中, 通常列出所有能够影响舒适的飞机客舱特征信息; 但是对于这些输入信息如何转化为乘客体验(包括舒适体验)的机制知之甚少。

针对上述问题, 理查德和同事在乘客舒适概念化工作中做出了最重要的尝试<sup>[11-12]</sup>。他们对于 1619 名乘客的飞行经历进行了调查, 归纳总结后提出了乘客舒适概念理论。

该理论指出乘客体验受物质环境的、交际的和客舱内饰有关情景的输入信息影响。

### 1.3 舒适性体验过程

乘客舒适性体验过程如图 1 所示。作为输入激励的一系列飞机客舱内环境因素, 会与乘客本体发生交互作用。乘客本身是具有心理、生理、社会经济地位和期望等特征的, 在特定的时间段会产生特定的行为动作。这些输入实

质性影响乘客, 同时也被乘客主观感知和察觉。因此, 乘客会体验到一定程度的舒适/不舒适感觉, 产生一定的行为动作, 进而形成总体评价, 最终依据这些总体评价进行判断和选择。

### 1.4 乘客舒适性模型

乘客舒适性模型如图 2 所示<sup>[13]</sup>。模型输入包括人性特征和环境因素, 人性特征包括社会经济地位、在飞行前形成的期望、乘客身体状态和心理状态。乘客受飞行过程中的环境因素影响, 并发生互动, 产生一定的行为, 进而乘客身体会受到影响(如不同的客舱压力、体感温度), 最终会产生感知(由前述 8 个感性因素描述), 使得乘客体验到某种程度的舒适度。

通过对乘客感知外部环境因素的概念化解析工作, 乘客舒适性模型突出了舒适性的主观本质。在模型中, 与乘客感知有关的 8 个主题放置在受外部环境因素显著影响和关联的位置。此外, 模型还描述了“空间”因素(如座椅和腿部空间)对多个主题(如近体空间、审美、心态平静)起决定性作用。从模型中可以看出, 动态和空间影响了乘客感知的绝大多数主题(8 个中的 7 个)。

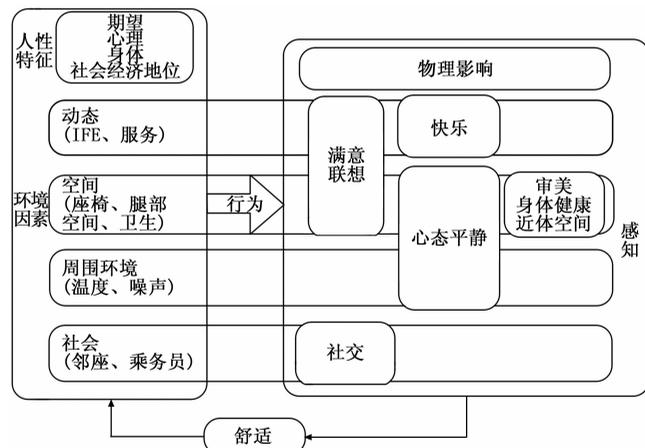


图 2 乘客舒适性模型

在乘客舒适性体验模型中将舒适与模型的输入用箭头相连。原因有两点: 首先由于乘机体验的动态变化特性, 当外部环境因素变化时, 会随时改变乘客的舒适体验。其次, 在飞行过程中体验到的舒适会影响乘客的未来飞行期望。

## 2 舒适性影响因素

影响乘客舒适性的外部因素有很多。不同的研究的区分的因素不尽相同。综合而言, 共有 22 个因素影响乘客的舒适性。所有因素划分如图 3 所示。这些因素可分为环境因素、乘客活动、交际因素三大类。其中环境因素又分为周围环境、动态因素和空间因素三类。

根据纳西姆等人对 857 份飞行经历调查问卷样本的统计结果<sup>[13]</sup>, 22 个外部因素的排序图如图 4 所示。其中座椅

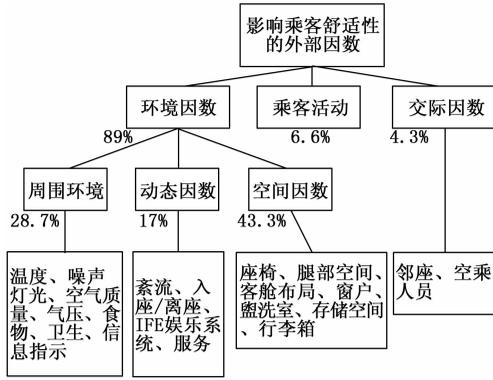


图 3 影响乘客舒适性的外部因素结构

投票人数最多，余下超过 20%的依次是腿部空间、IFE、温度、活动、噪声和服务。

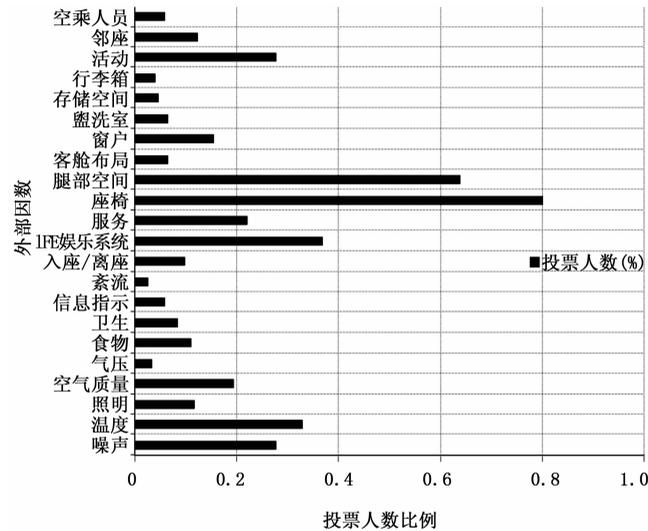


图 4 外部因素排序图

根据图中的数据可以分析出，在影响乘客舒适性的外部因素中最重要的是环境因素（占 89%），乘客活动和交际因素相对较少，不超过 10%。在环境因素中，空间因素居首（占 43.3%），周围环境次之（占 28.7%），动态因素最少（占 17%）。

因此，在开展飞机客舱舒适性设计时，应重点考虑以下几点：1) 提高座椅舒适性程度；2) 尽可能增加腿部空间；3) 提供娱乐性好的 IFE 设备。

### 3 客舱舒适性评价方法

#### 3.1 层次分析法

层次分析法 (AHP) 于 20 世纪 70 年代由美国匹兹堡大学的运筹学家 T. L. Saaty 教授提出。该方法是将决策问题的有关元素分解成目标、准则和方案等层次，在此基础上进行定量分析和定性分析的一种系统分析方法。该方法在对事物本质和相关影响因素开展深入分析后，构建出详细的层次结构图；进一步对每个因素建立判断矩阵，在此

基础上结合各个层次求出的权重评价进行层次总排序，最后根据评价结果选出最佳方案。层次分析法的步骤如下图 5 所示。

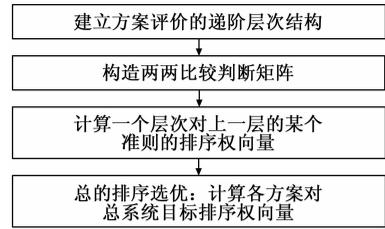


图 5 层次分析法流程图

层次分析法首先把决策问题层次化。即根据问题的性质以及需要达到的总目标，把问题分解成不同的组成因素，并按各因素之间的隶属关系和关联程度分组，形成一个不相交的层次。典型的系统层次结构如图 6 所示。

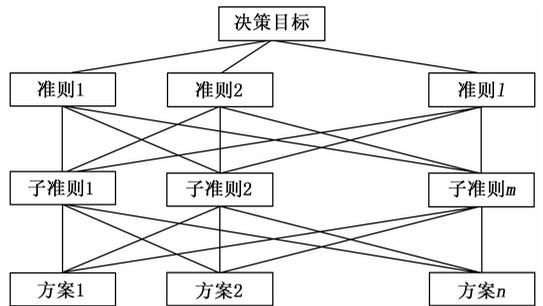


图 6 典型层次结构图

最上层因素是目标层，就是问题要达到的目标或理想的结果。中间是准则层，层中列出的因素为实现目标所采用的措施、政策、准则等。最下层是方案层，包括了实现目标可供选择的方案。同层次的因素受到上层因素的支配，同时也对下层因素起支配作用。

在递阶层次结构建立后，上下层元素之间的隶属关系就被确定了。下一步就是要给出下一层各因素对于上一层次的重要性，即权重关系。层次分析法是通过两两比较方法给出的。通过两个因素的比较确定其相互之间的重要性，在此基础上构建判断矩阵  $A = (a_{ij})$ 。两两因素间的比较通常使用表 1 进行标度。

表 1 1~9 标度表

$a_{ij}$ 取值	定义	说明
1	同等重要	两因素相比较,同等重要。
3	稍微重要	两因素相比较,一因素比另一因素稍微重要。
5	明显重要	两因素相比较,一因素比另一因素明显重要。
7	重要得多	两因素相比较,一因素比另一因素重要得多。
9	极端重要	两因素相比较,一因素比另一因素极端重要。
2,4,6,8	相邻值	表示上述相邻判断的中间值

#### 3.2 客舱舒适评价方法框架

根据上一节层次分析法原理，建立飞机客舱舒适性评

价方法的总体框架如下图 7 所示。



图 7 客舱舒适性评价方法总体框架

首先需要确定飞机客舱舒适性评价的指标, 并构建完整的指标体系。进一步, 需要逐个确定舒适性评价指标的评分标准。然后运用层次分析法, 建立民航客机评价的递阶层次结构, 构造两两比较判断矩阵, 逐层计算排序权重向量, 计算总目标排序向量。最后结合总目标排序向量, 得出整个客舱舒适性评价分值。

#### 4 客舱舒适性评价指标体系

在第 2 节中, 已经对舒适性的影响因素进行了结构划分和重要性排序。因此, 根据前述论述结果, 综合考虑舒适性评价的适用性、便利性、准确性和实用性。确定舒适性评级指标体系如表 2 所示。

表 2 信号调理电路输出电压试验数据

序号	分项	细分指标	序号	分项	细分指标
1	座椅舒适性	腿部空间	12	环境舒适性	气压
2		座椅间距	13		噪音
3		椅背倾角	14	乘客活动	行李箱扶手高度
4		座椅宽度	15		入座高度
5		坐垫设计	16		过道宽度
6		扶手高度	17		桌板高度与面积
7	IFE 设备	显示区位置	18	主观感受	便利性
8		操作方式	19		空间感
9		基础功能	20		美感
10	环境舒适性	温度	21		互动性
11		湿度			

从评价标准的角度, 该指标体系对指标进行了主客观划分。涉及到较易通过客观数据进行评分的客观性指标与和基于使用者复杂认知反映的主观性指标, 能够较为完善地反映客舱呈现在乘客面前的舒适性综合感受和评价。

依据 3.1 节层次分析法原理, 可建立客舱舒适性评价的层次结构图如图 9 所示。目标层 A 是客舱舒适性评价的总体目标。B 层准则层包括 5 个因素: 座椅、IFE 设备、环境、乘客活动和主观感受。C 层子准则层, 共细分为 21 个因素。

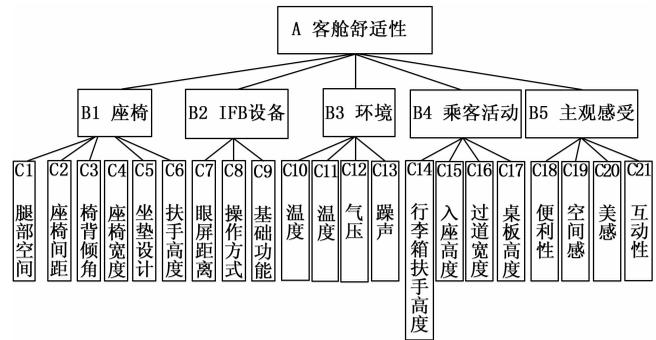


图 8 客舱舒适性评价层次结构图

### 5 客舱舒适性指标评分标准

#### 5.1 舒适性指标评分标准的确定原则

舒适性指标的评分根据是否能够进行参数量化, 可分为主观和客观两类。主观评分通常是无法进行参数量化, 只能通过受访者的主观感受进行分值估计, 或根据状态描述进行主观判断等; 对于这类指标, 在综合研究相应的研究文献基础上, 结合实际乘客调研数据, 给出对应评分值的判断描述, 给参评人员一个参考。客观类评价则根据量化的参数如肌电水平、人椅界面压力分布等, 参照确定国家或行业标准, 确定评分标准。

为便于进行舒适性评价, 对于舒适性指标的评分结果采用 0~9 分的 5 级评分标准, 分别对应于 1、3、5、7、9 分的分值。

#### 5.2 舒适性指标评分标准

在文献 14 中列出了所有指标评分的标准。限于篇幅, 本文仅列出部分 5 个主客观指标的评分标准。

1) 座椅排距 (腿部空间): 座椅排距参照目前多个航空公司现在设置的情况, 根据文献 8 提供数据确定如表 3 所示。

表 3 座椅排距评分表

评分分值	评价标准/m
1	0.64~0.66
3	0.66~0.68
5	0.68~0.72
7	0.72~0.77
9	0.77 以上

2) 椅背倾角: 座椅椅背倾角考虑经济舱、商务舱和头等舱座椅椅背的角度调整情况, 设置评价标准如表 4 所示。

表 4 椅背倾角评分标准

评分分值	评价标准/(°)
1	最大倾角范围 90~105
3	最大倾角范围 105~115
5	最大倾角范围 115~125
7	最大倾角范围 125~135
9	最大倾角范围 135~180

