

基于熵权—VIKOR 法的椅类家具舒适性设计评价

尚凯, 陈哲, 常能, 彭欣
(山东交通学院, 济南 250023)

摘要: **目的** 为了解决椅类家具舒适性设计评价过程中主观赋值的模糊性、不确定性及主观与客观结合时的权重比例的分配不合理所造成的评价结果的较大误差, 为椅类家具设计提供更为客观且简单易用的评价方法。**方法** 运用用户体验理论和 FFORDANCE 理论构建较为科学和全面的椅类家具舒适性设计评价指标体系; 利用熵权体系排除决策者在赋权中的主观因素并利用 VIKOR 法最大化群体效用使评估者接受其折衷解, 将熵权法和 VIKOR 法相结合解决椅类家具设计方案的优选问题。**结论** 通过椅类家具中办公座椅舒适性设计方案的评价过程及结果验证了熵权—VIKOR 法能够解决现有设计评价方法主观赋值存在的问题, 实现了评价过程的客观化和定量化。

关键词: 椅类家具; 熵权—VIKOR 方法; 舒适性; 设计评价

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)14-0206-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.14.025

Evaluation of Chair Furniture Comfort Design Based on Entropy Weight-VIKOR Method

SHANG Kai, CHEN Zhe, CHANG Neng, PENG Xin
(Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, China)

ABSTRACT: To solve the large evaluation result error caused by the fuzziness and uncertainty of subjective evaluation and the unreasonable weight proportion of subjective and objective factors in the evaluation process of chair furniture comfort design, a more objective and easy-to-use evaluation method is provided for chair furniture design. The user experience theory and Affordance theory are used to build a more scientific and comprehensive evaluation index system for chair furniture comfort design. The entropy weight system is used to eliminate the subjective factors of decision-makers in empowerment and the VIKOR method is used to maximize group utility to make the evaluator accept its compromise solution, and then the entropy weight method and the VIKOR method are combined to solve the optimization problem of chair furniture design scheme. Through the evaluation process and results of the office chair comfort design scheme, it is verified that entropy weight-VIKOR method can solve the problems of subjective evaluation of existing design evaluation methods, realizing objective and quantitative evaluation process.

KEY WORDS: chair furniture; entropy weight-VIKOR method; comfort; design evaluation

椅类家具是家具产品中重要的组成部分, 其设计需要兼顾舒适性与美观性, 就坐的舒适性是椅类家具设计的核心内容^[1]。座椅将人体上躯体的质量通过其功能部位(座面、靠背和扶手)传递到地面, 能够有

效减少下部躯体力量承载, 对下肢部位的血液循环进行减压并能够减轻有机体消耗造成的疲劳感, 从而起到身体支撑、辅助工作学习和保护身体健康的作用。椅类家具主要以办公座椅、交通工具座椅和学生座椅

收稿日期: 2021-03-09

基金项目: 山东交通学院博士科研基金“高性价比船用环氧复合防腐涂料制备研究”; 山东省艺术科学重点项目(ZD201906243); 山东交通学院博士科研基金(BS201902048); 椅类家具产品舒适性及设计评价研究

作者简介: 尚凯(1984—), 男, 山东人, 博士, 山东交通学院讲师, 主要研究方向为工业设计。

通信作者: 彭欣(1985—), 男, 河南人, 博士, 山东交通学院讲师, 主要研究方向为产品材料改性。

为载体进行舒适性研究,强调人体就坐过程中的生理反应,并结合用户主观心理反应进行综合评价,然而企业在产品开发过程中受成本、市场、技术、开发周期等方面的影响,主要对力学性能方面进行测试,而不便于利用科研设备进行舒适性的评价与研究。因此在椅类家具产品设计与开发过程中设计方案的评估常采用专家主观赋值方式,造成评估结果的主观性和片面性;在结合数理方法进行主观和客观结合的评估方式中,不同数理方法虽各有优点,由于主观赋值的模糊性、不确定性以及主观与客观结合时的权重比例分配的不合理造成评价结果存在较大误差^[2]。

由于大多数多准则决策(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)方法只考虑决策者的主观权重,Wang 等人^[3]提出了将主客观权重相结合的模糊 TOPSIS 方法,将最终用户纳入整个决策过程,用于设计方案评价。为了减少顾客评价过程中的不精确内容,提高产品设计的有效性和客观性,Tiwari 等人^[4]提出了新的设计概念评估方法 MR-VIKOR 法,该方法不考虑成本和设计准则的效益特征,确定了满足设计团队在设计准则上所施加的约束以及满足最大客户偏好的最佳概念。Tiwari 等人^[5]利用熵权理论和 TOPSIS 方法对产品设计概念阶段方案进行评价,将概念评估过程视为一个多准则决策问题,首先利用软集理论和熵权理论以定性的形式获取设计规范和顾客需求,然后利用熵权法对其进行求解,将这些信息纳入 TOPSIS 的框架中,以确定评估过程中的最佳概念。为了能够帮助设计人员系统地考虑相关设计信息,有效地确定关键设计目标和最优方案,LIN 等人^[6]提出将 AHP 和 TOPSIS 相结合的方法,首先应用层次分析法对顾客需求和设计特性的相对整体重要性进行评价,然后使用 TOPSIS 方法进行竞争性基准测试,以帮助设计人员识别顾客需求和设计特征,实现对最终设计方案的有效评价。

通过将熵权法和 VIKOR 法相结合,在评估决策

过程当中,利用熵权体系排除决策者在赋权中的主观因素并利用 VIKOR 法最大化群体效用使评估者接受其折衷解,以期为椅类家具设计提供更为客观且简单易用的评价方法。

1 椅类家具舒适性设计评价指标体系的建立

椅类家具舒适性设计评价是涉及多因素、多指标和多层次的综合评价,评价指标的选择具有完整性、非重叠性等特点。本文基于用户体验理论^[7]和 AFFORDANCE 理论^[8-9],将椅类家具舒适性设计评价分为 3 个层面:舒适性的视觉感知、舒适性的使用感知及舒适性的情感体验,这 3 个层面具有独立性、非重叠性、完整性,同时在体验层次上具有递进性。

椅类家具是通过材料与形态、色彩和结构的规律结合形成质感(包括视觉质感、触觉质感和情感质感等),能够更好地满足坐的功能和对使用者的行为规划。而其舒适性设计是通过座椅的形态、色彩、材质和结构形态等外在特征传递给使用者视觉感知体验,通过材料的物理属性,靠背与座面形成的界面夹角和座椅的人机尺寸传递给使用者使用感知体验。由于人的类型和角色受地域、文化、经验、工作等方面的影响,因此对座椅舒适性设计具有不同的情感需求。

通过邀请 60 位椅类家具专家,包括用户体验师、产品设计师、工程师和设计管理者各 15 位,对于 3 个评价层面的指标设计利用 9 级量表对评价指标赋值,将每个指标的得分情况在 SPSS18.0 中进行信度和效度分析,其中 Cronbach's α 系数和 KMO 系数均大于 0.8,说明该评价指标具有较高的信度和效度,最终确定椅类家具舒适性设计评价指标体系(A1—A5 代表舒适性的视觉感知;B1—B7 代表舒适性的使用感知;C1—C5 代表舒适性的情感体验),椅类家具舒适性设计评价指标体系见表 1。

表 1 椅类家具舒适性设计评价指标体系
Tab.1 Evaluation index system for comfort design of chair furniture

评价层面	对应评价指标	指标形式	量化形式
A 舒适性的视觉感知	A1 功能形态	效益型	专家打分
	A2 材质运用	效益型	专家打分
	A3 色彩搭配	效益型	专家打分
	A4 结构形态	效益型	专家打分
	A5 工艺水平	效益型	专家打分
B 舒适性的使用感知	B1 靠背倾斜角度	效益型	数据测量
	B2 座面倾斜角度	效益型	数据测量
	B3 材料舒适度	效益型	专家打分
	B4 扶手调节范围	效益型	专家打分
	B5 座高调节范围	效益型	专家打分
	B6 便于移动	效益型	专家打分
	B7 便于维修	效益型	专家打分

续表 1

评价层面	对应评价指标	指标形式	量化形式
C 舒适性的情感体验	C1 互动体验感	效益型	专家打分
	C2 满足个性需求	效益型	专家打分
	C3 展现审美特征	效益型	专家打分
	C4 情感共鸣性	效益型	专家打分
	C5 品牌价值	效益型	专家打分

2 熵权—VIKOR 方法

VIKOR 法与 TOPSIS 法都是根据与理想解接近程度进行决策的方法, VIKOR 法可以最大化群体效用, 其折衷解可被决策者接受^[10]。VIKOR 法在排序过程当中依据群体效用值、遗憾值以及综合效用值的比较, 来完成对待评价方案的优劣程度排列, 通过该方法得到的优选方案最接近理想方案。

在决策过程当中, 指标权重的取得相当重要, 传统的 AHP 与 ANP 方法中的主观赋权虽然能够反映出不同决策属性之间相互影响的关系, 但其赋权形式主观性强, 熵权体系排除了决策者在赋权中的主观因素, 引入信息论中熵的概念来体现系统的无序程度^[11]。在 MCDM 问题中则可以通过衡量每个信息中有效信息量的多少来辨别该指标重要程度, 实际应用中反映在运用熵权衡量每个评价指标有效度高低来对其进行赋权, 是一种理想的客观赋权形式。

2.1 确定评价体系

首先依据该理论方法, 评价体系中有 m 个备选方案, 并建立包含 n 个指标的评价集。可建立 $m \times n$ 的原始矩阵 A , 如式(1):

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 规范化矩阵

按照 MCDM 选择理论, 对该矩阵进行规范化处理。常见的规范化方式有向量规范化、最大最小线性规范化、最大值线性规范化以及加和线性规范化 4 种形式。这里采用向量规范化方法, 分别对成本型和效益型进行规范化处理, 得到规范化后的矩阵 x , 如式(2)和式(3):

$$x_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (A_{ij})^2}}, j \in \text{效益型} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \frac{1/A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (1/A_{ij})^2}}, j \in \text{成本型} \quad (3)$$

2.3 建立熵权模型

在本过程中, 采用熵权法确定指标权重。运用熵权理论, 为各个指标进行赋权。熵权理论作为一种客观赋权方法, 来自热力学领域的信息论, 能够有效地衡量指标的不确定性。按照熵权法, 在定义 $m \times n$ 评价矩阵后, 需要计算第 i 个方案的第 j 个决策属性值比重, 如式(4):

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (4)$$

然后计算第 j 个决策属性的熵值, 如式(5):

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln P_{ij} \quad (5)$$

其中: k 为常量, 计算公式为: $k = 1/\ln m$ 然后再计算各指标的权重值, 如式(6):

$$W_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^n G_j} \quad (6)$$

其中: W_j 的范围为 $(0, 1)$, 而且 $\sum_{j=1}^n W_j = 1$, G_j

为每一个指标的等级, $G_j = 1 - E_j$ 。

2.4 确定备选方案 S 值和 R 值

基于 VIKOR 方法, 确定备选方案群体效用值 S_i 和个体遗憾值 R_i , 如式(7)和式(8):

$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{W_j ((\tilde{x}_j)^+ - x_{ij})}{(\tilde{x}_j)^+ - (\tilde{x}_j)^-} \quad (7)$$

$$R_i = \max_j \left\{ \frac{w_j ((\tilde{x}_j)^+ - x_{ij})}{(\tilde{x}_j)^+ - (\tilde{x}_j)^-} \right\} \quad (8)$$

2.5 确定备选方案的折衷值

确定备选方案的折衷值, 如式(9):

$$Q_i = \varepsilon \frac{S_i - S^-}{S^+ - S^-} + (1 - \varepsilon) \frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-} \quad (9)$$

公式中 $S^+ = \max[S_i, i = 1, 2, 3, \dots, m]$, $S^- = \min[S_i, i = 1, 2, 3, \dots, m]$, $R^+ = \max[R_i, i = 1, 2, 3, \dots, m]$, $R^- = \min[R_i, i = 1, 2, 3, \dots, m]$, 且折衷系数 $\varepsilon = [0, 1]$; 折衷系数大于 0.5 时, 一般表示根据群体效益最大化进行决策, 而

小于 0.5 时，表示根据个体遗憾最小化决策。一般而言，在决策时，该系数取 0.5。

2.6 确定优选方案

运用 S_i 、 R_i 和 Q_i 对方案进行排序，取值最小的为优选方案。令 Q_i 值最小排序方案为 $A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}, \dots, A^{(m)}$ 。将按照以下两个条件进行评价：条件 1， $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq \frac{1}{m-1}$ 。条件 2， $A^{(1)}$ 在 S_i 、 R_i 排序中，至少有一项为最优方案，即值最小的方案。

若上述条件均满足，则 $A^{(1)}$ 为最优方案；若只满足条件 1，则折衷解集为 $\{A^{(1)}, A^{(2)}\}$ ；若只满足条件 2，则折衷解集为 $\{A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}, \dots, A^{(m)}\}$ ，其中 m 应当满足 $Q(A^{(m)}) - Q(A^{(1)}) \geq \frac{1}{m-1}$ ，因此可以通过该不等式确定折衷解集。

3 熵权—VIKOR 方法在椅类家具设计评价中的应用

本文以 3 款办公座椅的舒适性设计方案为例，进行设计评价研究，办公座椅样本见图 1。应用熵权—VOKOR 法对 3 款座椅进行舒适性设计评价的对比分析。

根据舒适性从视觉感知、使用感知到情感体验总结形成 17 个评价指标（如表 1），其中 B1 靠背倾斜角度及 B2 座面倾斜角度为测量数据，座椅靠背角度由公式 $\theta = 90 - |\alpha - 100|$ 得出，其中 α 为座椅靠背实际角度，根据座椅实际角度与最舒适角度（ 100° ）^[12] 之间偏差，座椅靠背可选择范围应当是在最舒适值前后 90° 的角度区间内；桌面倾斜角度与最舒适角度（ 4° ）^[13] 之间偏差，同理可通过公式 $\gamma = 90 - |\beta - 4|$ 得



图 1 办公座椅样本
Fig.1 Office chair samples

出。利用 9 级量表（1—9）对舒适性的视觉感知和情感体验各 5 个评价指标以调查问卷的形式由专家对评价指标赋值，舒适性使用感知的另 5 个评价指标由专家使用样椅后进行赋值，计算其平均数 \bar{x}_i ，其评价价值具有较高信度和效度。建立初始评价矩阵，见表 2。

表 2 初始评价矩阵
Tab.2 Initial evaluation matrix

评价层面	对应评价指标	座椅 1	座椅 2	座椅 3	指标类型
A 舒适性的视觉感知	A1 功能形态	7.2	8.3	6.9	效益型
	A2 材质运用	8.1	7.8	7.4	效益型
	A3 色彩搭配	8.5	7.9	7.7	效益型
	A4 结构形态	8.2	8	7.6	效益型
	A5 工艺水平	7.7	7.9	7.9	效益型
B 舒适性的使用感知	B1 靠背倾斜角度	87	88	87	效益型
	B2 座面倾斜角度	89	88	85	效益型
	B3 材料舒适度	7.5	7.7	6.8	效益型
	B4 扶手调节范围	6.5	8.2	6.5	效益型
	B5 座高调节范围	6.5	8.3	6.4	效益型
	B6 便于移动	7.2	7.9	7	效益型
	B7 便于维修	6.7	7.1	7.3	效益型

续表 2

评价层面	对应评价指标	座椅 1	座椅 2	座椅 3	指标类型
C 舒适性的情感体验	C1 互动体验感	7.2	7.5	6.4	效益型
	C2 满足个性需求	7.4	7	7.3	效益型
	C3 展现审美特征	7.7	7.4	7.5	效益型
	C4 情感共鸣性	7.6	7.5	7.3	效益型
	C5 品牌价值	6.9	7	6.6	效益型

表 3 规范化评价矩阵
Tab.3 Normalized evaluation matrix

评价指标	座椅 1	座椅 2	座椅 3
A1	0.555	0.640	0.532
A2	0.602	0.579	0.550
A3	0.610	0.567	0.553
A4	0.596	0.582	0.553
A5	0.567	0.582	0.582
B1	0.575	0.582	0.575
B2	0.588	0.582	0.562
B3	0.590	0.605	0.535
B4	0.528	0.666	0.528
B5	0.527	0.673	0.519
B6	0.564	0.618	0.548
B7	0.550	0.582	0.599
C1	0.590	0.614	0.524
C2	0.590	0.559	0.583
C3	0.590	0.567	0.575
C4	0.588	0.580	0.564
C5	0.583	0.591	0.557

表 4 权重系数
Tab.4 Weight coefficient

指标	W_j	指标	W_j
A1	0.1245	B5	0.2892
A2	0.0266	B6	0.0528
A3	0.0346	B7	0.0246
A4	0.0193	C1	0.0857
A5	0.0028	C2	0.0108
B1	0.0006	C3	0.0053
B2	0.0074	C4	0.0054
B3	0.0544	C5	0.0121
B4	0.2440		

表 5 方案评价结果值
Tab.5 Result values of scheme evaluation

	群体效用值 S_i	个体遗憾值 R_i	折衷值 Q_i
座椅 1	0.723	0.274	0.837
座椅 2	0.072	0.026	0.000
座椅 3	0.963	0.289	1.000

根据 VIKOR 决策方法, 本评价体系中所有指标均为效益型, 因此按照公式(2)进行规范化处理, 得到规范化评价矩阵, 见表 3。

接下来运用熵权理论, 根据公式(4)、公式(5)和公式(6)计算得出各指标权重 W_j , 权重系数见表 4。

最后根据公式(7), 公式(8)和公式(9)求得 3 种方案的群体效用值 S_i 、个体遗憾值 R_i 及折衷值 Q_i , 方案评价结果值见表 5。因此, 根据折衷值 Q_i 由小到大排序, 为: 座椅 2、座椅 1、座椅 3。

根据条件 1: $Q_1 - Q_2 = 0.837$, 满足条件; 根据条件 2: 群体效用值 S_i 、个体遗憾值 R_i 均与折衷值 Q_i 排序相同。方案评价结果同时满足条件 1 和条件 2。因此, 座椅 2 为最优解。

4 结语

椅类家具的舒适性主要是通过人就坐时产生的生理与心理反应, 形成综合的情绪体验。人不仅要关注坐具舒适的生理、心理体验, 也要关注坐具所处环境与其设计元素产生的视觉体验, 并能够满足不同用户群体的情感需求。在椅类家具舒适性设计过程中, 坐具通过其造型特征、色彩搭配、材料质感、结构形态及工艺水平等方面(表面特性)向用户传递其就坐的舒适性, 而用户通过视觉感知获得其舒适程度; 通过靠背与座面倾斜角度和材料舒适性等方面(物理特性)传递其就坐舒适性, 用户则是通过其使用过程中的生理感知获得其舒适程度; 坐具的表面特性和物理特性的综合体验则是满足用户的更高层次的需求即情感体验需求, 这 3 个层面即相互独立又相互联系。将椅类家具舒适性设计评价指标划分为舒适性的视觉感知、使用感知和情感体验 3 个层面, 建立了较为科学全面的舒适性设计评价指标体系, 利用熵权—VIKOR 法解决现有设计评价方法主观赋值存在的问题, 实现评价过程的客观化和定量化。

熵权—VIKOR 法作为改进型 VIKOR 法同时具有一定的局限性, 该方法采用客观的熵权系数法确定方案的权重值, 完全排除了传统的 VIKOR 法中决策者的主观偏好, 而依赖于专家评分数据并运用熵权确定其客观权重, 这种方法在一定程度上忽略了决策者的经验与偏好。然而, 在实际的设计评价工作中, 决策

者的经验与偏好能够对设计方案起到一定的参考辅助及矫正作用。

参考文献:

- [1] 尚凯, 罗婧, 王震亚. 基于瞳孔检测的座椅舒适度评价[J]. 林业工程学报, 2019, 4(2): 152-157.
SHANG Kai, LUO Jing, WANG Zhen-ya. Evaluation of Chair Comfort Based on Pupil Detection Method[J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 4(2): 152-157.
- [2] SOUZANGARZADEH H, REZVANI M J, JAHAN A. Selection of Optimum Design for Conical Segmented Aluminum Tubes as Energy Absorbers: Application of MULTIMOORA Method[J]. Applied Mathematical Modelling, 2017(51): 546-560.
- [3] WANG T C, LEE H D. Developing a Fuzzy TOPSIS Approach Based on Subjective Weights and Objective Weights[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(5): 8980-8985.
- [4] TIWARI V, JAIN P K, TANDON P. Product Design Concept Evaluation Using Rough Sets and VIKOR Method[J]. Advanced Engineering Informatics, 2016, 30(1): 16-25.
- [5] TIWARI V, JAIN P K, TANDON P. An Integrated Shannon Entropy and TOPSIS for Product Design Concept Evaluation Based on Bijective Soft Set[M]. Netherlands: Journal of Intelligent Manufacturing, 2017.
- [6] LIN M C, WANG C C, CHEN M S, et al. Using AHP and TOPSIS Approaches in Customer-driven Product Design Process[J]. Computers in Industry, 2007, 59(1): 10.
- [7] 万千, 游茜, 宋莎莎. 基于用户体验的新中式家具设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(14): 106-109.
WAN Qian, YOU Qian, SONG Sha-sha. New Chinese Style Furniture Design Based on User Experience[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(14): 106-109.
- [8] 尚凯, 高建民, 邢海涛, 等. 家具产品舒适可供性理论[J]. 家具与室内装饰, 2017(5): 80-81.
SHANG K, GAO J M, XING H T, et al. A Theoretical Study of Comfort Availability of Furniture Products[J]. Furniture & Interior Design, 2017(5): 80-81.
- [9] 尚凯, 罗婧, 常能, 等. 高校学习座椅视觉舒适可供性的感知过程[J]. 林产工业, 2018, 45(12): 61-65.
SHANG Kai, LUO Jing, CHANG Neng, et al. The Perceptual Process of the Visual Comfort-affordance in Colleges' Studying-chairs[J]. China Forest Products Industry, 2018, 45(12): 61-65.
- [10] LIAO H, XU Z. A VIKOR-based Method for Hesitant Fuzzy Multi-criteria Decision Making[J]. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2013, 12(4): 373-392.
- [11] Renato Coppi, Pierpaolo Durso. Fuzzy Unsupervised Classification of Multivariate Time Trajectories with the Shannon Entropy Regularization[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 50(6): 1452-1477.
- [12] Suzanne Hiemstra-van Mastrigt, Liesbeth Groenesteijn, Peter Vink, et al. Predicting Passenger Seat Comfort and Discomfort on the Basis of Human, Context and Seat Characteristics: a Literature Review[J]. Ergonomics, 2016, 60(7): 1-44.
- [13] Miguel Ángel Campano, Armando Pinto, Ignacio Acosta, et al. Validation of a Dynamic Simulation of a Classroom HVAC System by Comparison with a Real Model[M]. Switzerland AG: Springer International Publishing, 2017.