

基于模糊综合评价法的除雪机设计评价应用

彭鹏, 胡昌格, 柴敏

(天津工业大学, 天津 300387)

摘要: **目的** 为了合理评价除雪机中多个设计因素对除雪机的影响, 并选择出最优设计方案, 建立将定性和定量相结合进行分析的除雪机设计方案评价模型。**方法** 针对除雪机的使用方式和应用特点, 以及现有除雪机存在的问题, 采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 和亲和图 (JK) 法对相关影响因素进行多层次的归类和总结, 从外观、体验、人机和维护 4 个方面建立除雪机的多层级分析模型, 并通过 MATLAB 辅助计算得到各影响因素的权重; 然后运用模糊综合评价方法 (Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE) 对 3 个方案进行评分, 形成各自的评分集和矩阵集并进行合成计算得到模糊评判结果向量, 最终选择得到最优设计方案。**结论** 将该评价模型应用于 3 款除雪机造型设计方案评价中, 应用实例分析表明该评价模型可以完成各设计方案的优劣排序, 其评价过程客观准确, 为后期除雪机的设计和优化提供量化分析参考。

关键词: 产品设计; 除雪机; 层次分析法; 模糊评价法; 设计方案

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)14-0059-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.007

Application of Snow Thrower Design Evaluation Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

PENG Peng, HU Chang-ge, CHAI Min

(Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: The paper aims to evaluate the influence of multiple design factors on the snow throwers reasonably, select the optimal design scheme, and establish evaluation model of snow thrower design scheme combining qualitative and quantitative analysis. Analytic Hierarchy Process (AHP) and Affinity Diagram (JK) were used to classify and summarize the related influencing factors according to the usage mode and application characteristics of snow throwers and the existing problems of snow throwers. The multi-level analysis model of snow plow was established from the aspects of appearance, experience, man-machine and maintenance, and the weight of each influencing factor was obtained through MATLAB assisted calculation. Then Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) was used to score the three schemes, forming their own score set and matrix set, and then the Fuzzy Evaluation result vector was obtained through synthesis calculation. Finally, the optimal design scheme was selected. The evaluation model was applied to the evaluation of three snow thrower modeling design schemes. The analysis of application examples shows that the evaluation model can complete the ranking of pros and cons of each design scheme, and the evaluation process is objective and accurate, which provides a quantitative analysis reference for the design and optimization of snow throwers in the later stage.

KEY WORDS: product design; snow thrower; AHP; fuzzy evaluation method; design scheme

道路积雪是冬季威胁居民安全出行的主要因素之一^[1], 机械化快速除雪不仅有利于城市建设, 还能

改善居民安全出行环境和提高城市居住的幸福感。除雪机是一种快速清扫道路积雪的机械设备, 然而国内

收稿日期: 2021-02-18

作者简介: 彭鹏 (1993—), 女, 硕士生, 主攻研究方向为工业设计。

通信作者: 胡昌格 (1965—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为设计美学理论与运用。

除雪机研制起步较晚,在造型方面的研究还比较欠缺,产品功能使用形式相对单一^[2],外观造型的设计多来自国外已存在产品的改良,自主创新较差,也未形成标准产品能作为参考。致使当前国内除雪机的造型同质化较为严重,品牌形象特征不明显、色彩运用不恰当、人机操作不协调和作业舒适性较差,极大降低了用户满意度,且不能满足当前除雪机消费市场的造型需求。

除雪机作为提升城市形象的重要工具,已经有了明显的发展方向,体积小方便操作、多功能且高效率、智能和安全等是必然的发展趋势,再考虑其造型设计是必要的组成部分,故对除雪机设计方案的合理决策尤为重要。在设计决策过程中,通常易受到众多人为因素的干扰,如购买者和使用者的偏好、心理、年龄等差异等,而评价指标的程度通常是根据自己的经验和直觉判定,粗略对众多指标作定性分析和评价达不到全面分析评价对象的目标^[3]。因此,如何较客观有效地完成对除雪机造型设计中人为情感带来的不确定性因素的评价^[4],寻求得到一种科学的评价方法是当前除雪机行业的重要问题。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是一种多指标统计方法,是由美国运筹学家 Satty 等于 20 世纪 70 年代提出的,在处理复杂问题时非常有效便捷,操作简单且实用性强。模糊综合评价法则基于模糊数学来完成评价对象的综合评价,以此将不确定性的因素定量化。为了降低人为因素的影响,田园等^[5]通过将模糊层次分析法和主成分分析相结合,提出了一种高速自动机组合灰评估的方法,有效避免了传统灰评估主观因素的影响;袁树植等^[6]将灰色关联分析引入群层次分析法,解决了传统层次分析法主观性过强的缺点,同时结合感性工学,建立了一种直觉模糊集理论和 TOPSIS 法相结合的综合评价模型,完成了数控机床人机界面设计方案的评价;胡珊等^[7]在模糊综合评价法中引入熵

权法,修正了在确定评价指标权重时的主观性,完成了设计方案的评估和优选;王超等^[8]采用遗传算法得到了除雪机结构参数的最优解,完成了除雪机结构优化;田广东等^[9]基于模糊层次分析法和灰色关联 TOPSIS 法构建了一种新的贴适度指标,完成了拆解方案等级的判定和优劣的排序,提高了有限资源的利用率。上述文献表明产品的设计与决策,虽然很大程度会受到人为因素的影响,但通过专家和行业内人士群体判断的方法可降低影响。

除雪机设计方案的评价与决策是一个典型的多目标、复杂性问题,需要对除雪机进行科学分析,并构建系统的产品评价模型。文中建立的除雪机设计评价模型采用层次分析法和亲和图法,对影响因素进行多层次的归类和总结,从外观、体验、人机和维护 4 个方面建立除雪机的多层次分析模型,计算得到各影响因素的权重;然后运用模糊综合评价方法对各方案进行评分,形成各自的评分集和矩阵集并对其进行量化处理,最终选择得到最优设计方案,为除雪机的设计开发和优化提供量化分析参考,增加产品设计研究的可靠性和合理性。

1 除雪机设计评价流程

除雪机的设计受到很多因素影响,合理的设计评价能更准确地反映产品设计的质量,可有效完成设计方案之间的比较,提高市场竞争力。通过对层次分析法和模糊综合评价法相关文献的研究,提出如图 1 所示的评价流程。首先运用层次分析法和亲和图法对影响因素进行多层次的归类和总结,建立除雪机的指标体系阶层结构模型,并构建判断矩阵计算各影响因素的权重;然后再通过模糊综合评价方法对各方案进行评分,形成各自的评分集和矩阵集并选择合成算子,计算得到模糊评判结果向量,最后选择得到最优设计方案。

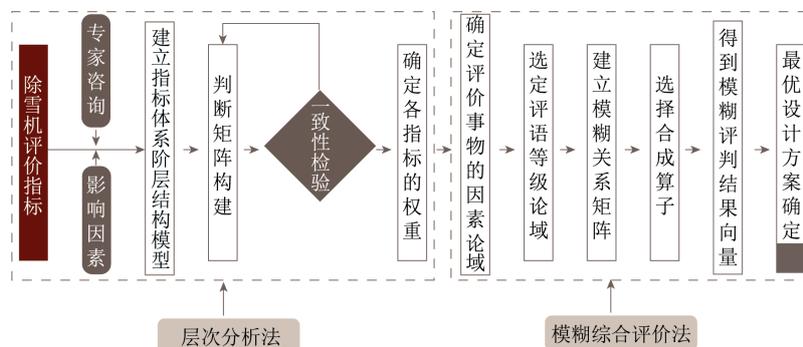


图 1 除雪机设计方案评价流程

Fig.1 Evaluation process of snow thrower design scheme

2 基于 AHP 和模糊评价法的评价模型构建

2.1 AHP 确定指标权重的计算

AHP 是一种定性分析和定量研究相结合的多目

标多层次决策方法,将目标看作系统,按照分解目标问题、比较评价指标、判断相对重要度、综合分析的方式来完成决策,对于目标问题的本质和其内在关系分析得较为清晰,具体步骤如下。

1) 除雪机多层次评价模型构建。由于除雪机使用场景的特殊性与影响指标的复杂性, 市场上各产品的功能和外观也具有多样性、独特性, 给除雪机的评价和决策带来了压力, 通过对影响产品的各种指标进行深入分析, 可以更好地建立评价指标体系^[10]。为了更加明确各因素间的关系, 通过搜集行业专家和经验丰富的产品设计师意见, 查阅相关研究文献, 并用 KJ 法把除雪机相关指标归类划分, 将除雪机设计问题转化为目标层、准则层和方案层 3 个层次的结构模型^[11-12]。从外观、体验、人机和维护 4 个方面将除雪机的准则层划分为交互方式 U_1 、外部特征 U_2 、人机 U_3 、维护成本 U_4 共 4 个准则指标, 再依据 4 个准则指标划分得到语音识别 U_{11} 、设备协同 U_{12} 、灯光感应 U_{13} 、强度模式 U_{14} 、色彩 U_{21} 、造型 U_{22} 、质感 U_{23} 、尺寸高度 U_{31} 、界面分布 U_{32} 、设备承受力 U_{33} 、环境

适用性 U_{34} 、零件维修 U_{41} 、材料特性 U_{42} 和软件迭代更新 U_{43} 共 14 个次准则指标。最终构建除雪机评价指标体系, 见图 2。

为了方便理解各个评价指标的含义, 对各指标含义进行了说明, 见表 1。根据表 1 中的评价指标进一步分析可知, 除雪机评价指标体之间存在着一定的关联性, 其指标体系有着复杂的层次结构。

2) 判断矩阵的构建和指标权重的计算。

确定准则层和次准则层指标后, 采用 1—9 级标度法, 先将 4 个准则层指标进行相互比较, 再将 14 个次准则层指标进行相互比较, 构建判断矩阵, 以此将决策判断量化, 用其数值的大小来表示评价指标的不同重要程度^[13], 见表 2。通过 Matlab 计算各判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和各自对应的权重向量 w 。

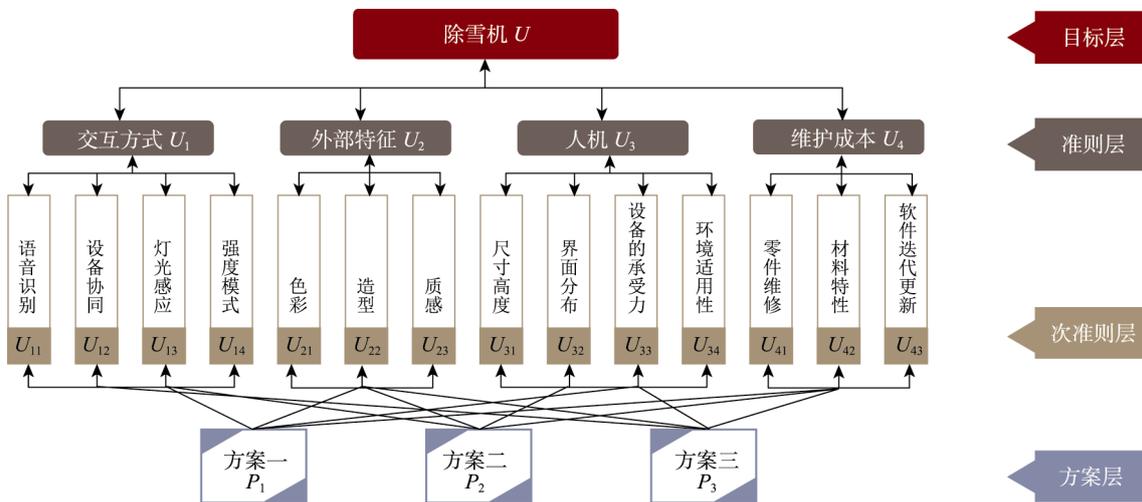


图 2 除雪机评价指标体系
Fig.2 Evaluation index system of snow thrower

表 1 除雪机设计评价指标说明
Tab.1 Description of evaluation indexes for snow thrower design

次准则层	指标说明
语音识别 U_{11}	语音提示能否合理引导人完成操作
设备协同 U_{12}	人和设备的信息交换是否同步及时
灯光感应 U_{13}	灯光变换能否提示人完成相应的操作
强度模式 U_{14}	除雪机清扫方式的工作强度是否合理
色彩 U_{21}	设计色彩是否符合当前审美趋势和色彩搭配规律
造型 U_{22}	除雪机形态设计的比例及风格整体和谐统一, 视觉上较均衡
质感 U_{23}	除雪机的表面处理工艺合理, 附着力好, 不易刮花褪色
尺寸高度 U_{31}	设备尺寸合理, 大小要适合人的体型特征
界面分布 U_{32}	各功能机构、操作按键和屏幕位置布局是否合理
设备承受力 U_{33}	设备单位面积的承受力是否符合结构力学要求
环境适用性 U_{34}	机体正常工作的环境限制条件能否达标
零件维修 U_{41}	零件维修时拆卸与安装是否方便省时
材料特性 U_{42}	各部件材料的选择要防水耐腐蚀, 符合环境的要求
软件迭代更新 U_{43}	相关主机程序具备自动更新能力

表2 标度及含义
Tab.2 Scale and meaning

标度	含义
1	表示2个因素相比较, 具有相同重要性
3	表示2个因素相比较, a比b稍微重要
5	表示2个因素相比较, a比b明显重要
7	表示2个因素相比较, a比b十分重要
9	表示2个因素相比较, a比b极其重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
倒数	表示相同程度下, b与a比较

3) 一致性检验。

随机一致性比率 CR:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

式中, CI 为判断矩阵的一致性指标; RI 为随机一致性指标^[11]; 具体数值见表3。一般 CR<0.1 时, 则认为 A 是满意一致性矩阵; 否则, 要重新修正判断矩阵。判断矩阵通过一致性检验后, 计算得到各子指标的综合权重 W 和其层次总排序^[14]。

表3 随机一致性指标
Tab.3 Random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

2.2 模糊综合评价结果的计算

1) 模糊关系矩阵的建立。

模糊综合评价法是一种有效分析多个指标的综合评价方法, 将多个指标值进行综合评判来估量模糊的因素。假设除雪机设计方案评价系统各评价指标集合 $U=\{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}$, 建立评语集 $V=\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$, 可建立由 U 和 V 合成的模糊关系矩阵 R:

$$R = U \times V = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, r_{nm} 表示对应评价指标 $U_i (i=1,2,\dots,n)$ 的

第 m 个评语等级。

2) 隶属度的确定。

单指标因素评判 U_i 对 V_i 的隶属度可以表示如下:

$$r_i = \frac{d_i}{d} \quad (3)$$

式中, r_i 为模糊矩阵中的因素, d 为参加评价的人数, d_i 指对评价指标 U_i 做出 V_i 评价的人数。

3) 评价结果的确定。

根据模型和算子定义的不同, 可分为主因素决定性、主因素突出型、加权平均型、均衡平均型等, 由于除雪机的评价要对各因素的权重均衡兼顾, 故选择加权平均算子模型 $M(\cdot, +)$ 模型计算 B_i 。将 AHP 计算得到的权重 W 与模糊关系矩阵 R 合成, 可建立模糊综合评价的数学模型^[15]:

$$B = W \times R = (w_1, w_2, \dots, w_n) \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, B 为模糊向量; W 为权重集合; R 为评价指标集 U 和评语集 V 合成的模糊关系矩阵。

将各方案数个指标转换为对应等级的分数, 可得评价结果并实现各方案的优先排序, 即将评语集中的非常满意、满意、一般和不满意分别赋值 10 分、8 分、6 分和 4 分, 令 $Y=(10,8,6,4)^T$, 则有综合决策值表达式如下:

$$Z = B \circ Y \quad (5)$$

式中采用加权平均算子模型 $M(\cdot, +)$ 计算 Z。

3 实例分析

3.1 实例概况

现有 3 个备选的除雪机设计方案 P_1, P_2, P_3 , 各方案在整体上以沉稳作为最主要的设计要点, 保证用户心理安全上的需要, 且各方案都配有便于用户进行控制操作的触控屏幕, 以提高操作效率。通过 Rhino 三维建模软件辅助完成各方案的设计, 然后使用 Keyshot 软件完成效果图的渲染, 最终得到除雪机造型设计方案, 见图 3。

方案 P_1 以弧线为设计元素, 塑造了一种富有张力的设计风格。该产品具有智能语音操控系统和自动



图3 3种不同的设计方案
Fig.3 Three different designs

调节清扫强度的功能,操作台面按钮布局合理,让操作更简单便捷。在材质方面,采用双色注塑使其形态极富层次感,同时具有出色的耐磨性和抗摔性,又不失细腻的质感。配色上,将沉稳的深灰、明度较高的浅灰和点缀作用的棕黄色进行有机的分配,使产品在美感和实用中取得平衡,也更具时尚感和科技感。

方案 P_2 在整体造型上采用简洁的线条表现设计的理性,表面材料使用涂烤工艺处理过的不锈钢外壳,不仅具有较强光泽感,而且具有较高的耐摩擦性能,不易掉漆,较好地使造型质感和使用性能融合统一。产品主体边缘的重叠式设计可降低整机震动时的壳体磨损和来自自身的冲击力,车轮轮毂采用喷砂工艺以提高工件的抗疲劳性。产品的关键部位零件可替换性强,便于拆卸维修。

方案 P_3 整体造型简洁有力,色彩以深灰色为主体色、浅灰色为辅助色,棕黄色为点缀色。在材料方面,考虑到低温环境下的力学要求,主机材料采用强度高、不易变形的喷砂不锈钢外壳,降低壳体表面反光度有利于减少作业过程中发生意外交通事故的概率;顶部为 2 种材质的拼接,其中经过特殊处理的有机玻璃具有很好的抗老化性能,且无毒无害,便于清洁,同时与不同区域分布的颜色形成一定的呼应。推手部位安装有触控屏幕,符合人的身体特征和操作习惯,有利于提高工作效率,且产品具有智能灯光和语音提示的功能,给使用者提供多样的交互体验。

除雪机的设计方案完成构建后,通过上述所建立的基于 AHP 和模糊评价法的评价模型对除雪机的 3 个设计方案完成分析,从外观、体验、人机和维护 4 个方面的 14 项评价指标对除雪机的方案做出合理的评价,确定 3 个设计方案的优先排序,最终得到符合市场发展需求、企业策略要求的最优设计方案。

3.2 AHP 确定指标权重的计算

根据 5 位行业内专家和经验丰富的产品设计师意见,采用 1—9 级标度法先将 4 个准则层指标进行相互比较,再将 14 个次准则层指标进行相互比较,建立判断矩阵。通过 Matlab 计算出各个指标的权重 w 、矩阵的最大特征值 λ_{\max} 、一致性指标 CI 和一致性比率 CR ,完成矩阵的一致性检验,计算结果见表 4—8。一致性检验通过后,可得各指标综合权重 W 及层次总排序,见表 9。

表 4 准则层指标判断矩阵
Tab.4 Criterion layer index judgment matrix

U	U_1	U_2	U_3	U_4	归一化权重	一致性检验
U_1	1	7	3	5	0.565	$\lambda_{\max}=4.117$
U_2	1/7	1	1/5	1/3	0.055	$CI=0.039$
U_3	1/3	5	1	3	0.262	$CR=0.043$
U_4	1/5	3	1/3	1	0.118	

表 5 交互方式下的次准则判断矩阵
Tab.5 Sub-criterion judgment matrix under interaction mode

U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	归一化权重	一致性检验
U_{11}	1	1/3	1/2	1/5	0.08	$\lambda_{\max}=4.17$
U_{12}	3	1	5	1/2	0.304	$CI=0.057$
U_{13}	2	1/5	1	1/7	0.093	$CR=0.063$
U_{14}	5	2	7	1	0.523	

表 6 外部特征下的次准则判断矩阵
Tab.6 Sub-criterion judgment matrix under appearance feature

U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}	归一化权重	一致性检验
U_{21}	1	1/5	1/3	0.109	$\lambda_{\max}=3.003$
U_{22}	5	1	2	0.582	$CI=0.002$
U_{23}	3	1/2	1	0.309	$CR=0.003$

表 7 人机下的次准则判断矩阵
Tab.7 Man-machine sub-criterion judgment matrix

U_3	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}	归一化权重	一致性检验
U_{31}	1	3	1/2	1/5	0.136	$\lambda_{\max}=4.05$
U_{32}	1/3	1	1/5	1/7	0.058	$CI=0.017$
U_{33}	2	5	1	1/2	0.272	$CR=0.018$
U_{34}	5	7	2	1	0.534	

表 8 维护成本下的次准则判断矩阵
Tab.8 Sub-criterion judgment matrix under maintenance cost

U_4	U_{41}	U_{42}	U_{43}	归一化权重	一致性检验
U_{41}	1	2	3	0.54	$\lambda_{\max}=3.009$
U_{42}	1/2	1	2	0.297	$CI=0.005$
U_{43}	1/3	1/2	1	0.163	$CR=0.008$

表 9 各评价指标综合权重和排序
Tab.9 Comprehensive weight and ranking of each evaluation index

准则层	权重值	排序	次准则层	权重值	综合权重	排序
交互方式 U_1	0.565	1	语音识别 U_{11}	0.080	0.045	7
			设备协同 U_{12}	0.304	0.172	2
			灯光感应 U_{13}	0.093	0.053	6
			强度模式 U_{14}	0.523	0.295	1
外部特征 U_2	0.055	4	色彩 U_{21}	0.109	0.006	14
			造型 U_{22}	0.582	0.032	10
			质感 U_{23}	0.309	0.017	12
人机 U_3	0.262	2	尺寸高度 U_{31}	0.136	0.036	8
			界面分布 U_{32}	0.058	0.015	13
			设备承受力 U_{33}	0.272	0.071	4
			环境适用性 U_{34}	0.534	0.140	3
维护成本 U_4	0.118	3	零件维修 U_{41}	0.540	0.063	5
			材料特性 U_{42}	0.297	0.035	9
			软件迭代更新 U_{43}	0.163	0.020	11

综上所述 $W=(0.045, 0.172, 0.053, 0.295, 0.006, 0.032, 0.017, 0.036, 0.015, 0.071, 0.14, 0.063, 0.035, 0.02)^T$ 。

3.3 模糊综合评价结果的计算

根据专家建议,建立评语集 $V=\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$,其中 V_1 表示非常满意, V_2 表示满意, V_3 表示一般, V_4 表示不满意。邀请行业内专家、相关产品设计师等组成 35 人的小组对 3 个方案的各项指标进行打分评论,90 分以上为非常满意,75~90 分为满意,60~75 分为一般,50~60 分为不满意^[16],最终的票数统计见表 10。

表 10 除雪机各评价指标的票数统计表
Tab.10 Vote table for each evaluation index of snow thrower

评价项	权重	P_1				P_2				P_3			
		V_1	V_2	V_3	V_4	V_1	V_2	V_3	V_4	V_1	V_2	V_3	V_4
U_{11}	0.045	21	11	2	1	21	11	3	0	20	14	1	0
U_{12}	0.172	19	13	3	0	19	12	4	0	18	13	4	0
U_{13}	0.053	18	15	2	0	20	12	3	0	23	10	2	0
U_{14}	0.295	14	16	4	1	20	9	6	0	21	12	2	0
U_{21}	0.006	17	10	8	0	17	10	6	2	20	12	2	1
U_{22}	0.032	20	12	3	0	20	8	6	1	17	13	3	2
U_{23}	0.017	18	14	3	0	22	9	3	1	18	12	2	3
U_{31}	0.036	16	14	5	0	18	13	4	0	23	8	4	0
U_{32}	0.015	17	11	7	0	20	12	3	0	18	14	1	2
U_{33}	0.071	15	15	5	0	21	11	3	0	17	18	0	0
U_{34}	0.140	18	15	2	0	21	9	5	0	22	10	2	1
U_{41}	0.063	15	15	5	0	19	13	3	0	20	13	2	0
U_{42}	0.035	16	16	3	0	20	13	1	1	23	10	1	1
U_{43}	0.020	17	14	4	0	23	9	2	1	20	12	3	0

根据表 10 的数据,再依据式(2) — (3),可得方案 P_1 的模糊关系矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 21/35 & 11/35 & 2/35 & 1/35 \\ 19/35 & 13/35 & 3/35 & 0/35 \\ 18/35 & 15/35 & 2/35 & 0/35 \\ 14/35 & 16/35 & 4/35 & 1/35 \\ 17/35 & 10/35 & 8/35 & 0/35 \\ 20/35 & 12/35 & 3/35 & 0/35 \\ 18/35 & 14/35 & 3/35 & 0/35 \\ 16/35 & 14/35 & 5/35 & 0/35 \\ 17/35 & 11/35 & 7/35 & 0/35 \\ 15/35 & 15/35 & 5/35 & 0/35 \\ 18/35 & 15/35 & 2/35 & 0/35 \\ 15/35 & 15/35 & 5/35 & 0/35 \\ 16/35 & 16/35 & 3/35 & 0/35 \\ 17/35 & 14/35 & 4/35 & 0/35 \end{bmatrix}$$

根据式(4),将各指标的权重 W 和方案 P_1 的模糊关系矩阵 R_1 做乘法运算,得出方案 P_1 的模糊综合评价 B_1 :

$$B_1 = W \times R_1 = (0.475, 0.416, 0.1, 0.01)$$

根据式(5),得出方案 P_1 综合决策值 Z_1 :

$$Z_1 = 0.475 \times 10 + 0.416 \times 8 + 0.1 \times 6 + 0.01 \times 4 = 8.718$$

同理,可得方案 P_2 和方案 P_3 的综合值分别为 8.879、8.991,即 $Z_3 > Z_2 > Z_1$,各方案的优劣排序为方案 $P_3 >$ 方案 $P_2 >$ 方案 P_1 ,因此选择 P_3 为最优设计方案。

4 结语

基于 AHP 与模糊综合评价法的评价模型将除雪机设计方案的决策问题视为一个系统,运用 AHP 和 KJ 法先把相关指标归类划分,从外观、体验、人机和维护 4 个方面划分出 14 个次准则评价指标,构建了除雪机设计评价指标体系,计算出各个指标的综合权重和总排序;通过模糊评价法求解了各指标对于 3 个除雪机设计方案的隶属度,借用加权平均模型确定了各方案的优劣排序,各综合决策值分别为 8.718、8.879、8.991,即方案 P_3 为最优设计方案。以上设计实践表明了该评价模型可以实现除雪机设计的最优化决策,解决了除雪机中定性影响因素定量分析的问题,也可为相关类别其他产品的设计和 optimization 提供量化分析参考。在研究过程中,存在样本数据数量和人的主观性问题等不足,后续需要进一步对模型进行优化、扩大样本数量,探究出更好地指导产品设计方案决策。

参考文献:

- [1] 何龙,潘江如,张成,等.一种全自动除雪机器人设计[J].计算机测量与控制,2021,29(1):206-209.
HE Long, PAN Jiang-ru, ZHANG Cheng, et al. A Model Design of a New Automatic Snow Sweeping Robot[J]. Computer Measurement & Control, 2021, 29(1): 206-209.
- [2] 阿依提拉·伊力哈木.扫雪机结构优化设计与动力稳定性分析[D].乌鲁木齐:新疆大学,2014.
A Yitila-yilihamu. Structural Optimization Design and Dynamic Stability Analysis of Snowplow[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2014.
- [3] 王华杰,程建新.基于模糊评价的城市客车造型设计[J].机械设计与研究,2020,36(2):124-127.
WANG Hua-jie, CHENG Jian-xin. Research on Model Design of City Bus Based on Fuzzy Evaluation[J]. Machine Design & Research, 2020, 36(2): 124-127.
- [4] 杜鹤民.感性工学和模糊层次分析法产品设计造型评价[J].西安工业大学学报,2014,34(3):244-249.
DU He-min. Evaluation of Product Design Based on Kansei Engineering and FAHP[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2014, 34(3): 244-249.

- [5] 田园, 潘宏侠, 张媛, 等. 基于 PCA 与改进 F-AHP 的高速自动机组灰评估[J]. 机械设计与研究, 2016, 32(3): 174-177.
TIAN Yuan, PAN Hong-xia, ZHANG Yuan, et al. A New Algorithm for Grey Evaluation of High-Speed Automaton Based on PCA and Improved F-AHP[J]. Machine Design & Research, 2016, 32(3): 174-177.
- [6] 袁树植, 高虹霓, 王崑, 等. 基于感性工学的人机界面多意象评价[J]. 工程设计学报, 2017, 24(5): 523-529.
YUAN Shu-zhi, GAO Hong-ni, WANG Wei, et al. Multi-Image Evaluation for Human-Machine Interface Based on Kansei Engineering[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2017, 24(5): 523-529.
- [7] 胡珊, 刘晶. 模糊综合评价法在产品设计方案决策中的应用[J]. 机械设计, 2020, 37(1): 135-139.
HU Shan, LIU Jing. Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Product Design Scheme Decision[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(1): 135-139.
- [8] 王超, 李大胜, 范恒亮. 基于遗传算法的除雪机螺旋集雪器结构优化研究[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2020, 33(4): 36-40.
WANG Chao, LI Da-sheng, FAN Heng-liang. Research on Structure Optimization of Spiral Snow Collector for Snow Remover Based on Genetic Algorithm[J]. Journal of Yancheng Institute of Technology (Natural Science Edition), 2020, 33(4): 36-40.
- [9] 田广东, 张洪浩, 王丹琦. 基于模糊 AHP-灰色关联 TOPSIS 的拆解方案评估研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(5): 34-40.
TIAN Guang-dong, ZHANG Hong-hao, WANG Dan-qi. Disassembly Program Evaluation Research Based on Fuzzy AHP, Grey Correlation and TOPSIS Combined Approach[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(5): 34-40.
- [10] 徐晓琪, 程永胜, 陈国强. 基于 AHP 法的房车造型评价方法及应用研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 140-144.
XU Xiao-qi, CHENG Yong-sheng, CHEN Guo-qiang. Evaluation Method and Application of RV Modeling Based on AHP Method[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(6): 140-144.
- [11] SAATY T L. What is the Analytic Hierarchy Process? [C]// Mathematical Models for Decision Support. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1988: 109-1210.
- [12] SAATY T L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process[J]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83.
- [13] 杨柳, 汪天雄, 张润梅, 等. 基于模糊层次分析法的智能电饭煲设计评价与应用[J]. 机械设计, 2019, 36(4): 129-133.
YANG Liu, WANG Tian-xiong, ZHANG Run-mei, et al. Evaluation and Application of Intelligent Rice Cooker Design Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(4): 129-133.
- [14] 汪权方, 晏群, 徐慧, 等. 基于灰色关联度的 AHP 权重矩阵构建方法改进及在农地评价中的应用[J]. 地理科学进展, 2016, 35(10): 1249-1257.
WANG Quan-fang, YAN Qun, XU Hui, et al. A Modified Analytic Hierarchy Process Method Based on Grey Relation Analysis and Its Application in Evaluating Sustainability of Agricultural Land Use in Zaoyang City, Hubei Province[J]. Progress in Geography, 2016, 35(10): 1249-1257.
- [15] 王年文, 王剑. 基于模糊综合评价的动态踝足矫形器设计评价研究[J]. 机械设计, 2019, 36(5): 139-144.
WANG Nian-wen, WANG Jian. Design and Evaluation of Dynamic Ankle-Foot Orthosis Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(5): 139-144.
- [16] 钱皓, 高洋, 马东明, 等. 基于意象仿生的儿童遥控车造型设计及评价研究[J]. 包装工程, 2019, 40(14): 144-149.
QIAN Hao, GAO Yang, MA Dong-ming, et al. Appearance Design and Evaluation of Children's Remote Control Cars Based on Bionic Image[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 144-149.
- [17] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
ZHANG Bing-jiang. Analytic hierarchy process and its application cases[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.

责任编辑: 陈作