

基于 ISM-ANP 的绿色包装灰色评价模型研究

施琦, 阮榕

(湖北工业大学, 武汉 430068)

摘要: **目的** 对绿色包装设计方案进行多维度综合评价, 提供具体的包装优化依据, 解决过度包装、废弃包装带来的环境问题。**方法** 首先建立涵盖环境、产品性能、创新性、经济性、用户体验感五大属性的评价指标体系, 以 ISM 分析指标之间的内在关联情况并利用 ANP 确定权重值; 其次通过灰色模糊评价对包装等级进行划分; 最后以综合评价方法求得包装的绿色度评分。**结果** 将指标权重值与传统 AHP 方法得出的结果进行比较, 发现本研究模型更科学合理。以一项小麦壳制保鲜包装设计为例, 运用该综合评价模型进行运算后得出该方案评价值为 5.043, 再根据指标的得分数据有针对性地提出包装优化方向。**结论** 研究模型适用于各类绿色包装设计方案的筛选与优化, 有助于包装设计 with 生产相关人员进行决策, 引导我国包装行业更好地向绿色模式转变。

关键词: 绿色包装; 解释结构模型 (ISM); 网络分析法 (ANP); 灰色模糊评价法; 评价模型

中图分类号: TB482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)08-0201-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.08.021

Research on grey evaluation model of green packaging based on ISM-ANP

SHI Qi, RUAN Rong

(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: Carry out multi-dimensional comprehensive evaluation of green packaging, provide specific and systematic packaging optimization basis, and solve environmental problems caused by excessive packaging and discarded packaging. First, establish an evaluation index system covering five attributes of environment, properties of products, innovativeness, economic cost, and user experience, and use ISM to analyze the internal relationship between the indicators and use ANP to determine the weight value, and then divide the packaging grades through gray fuzzy evaluation. Finally, a comprehensive evaluation method is used to obtain the greenness score of the packaging. Comparing the index weight value with the results obtained by the traditional AHP method, it is found that the model of this study is more scientific and reasonable. Taking a wheat husk fresh-keeping packaging design as an example, using the comprehensive evaluation model, the evaluation value of the scheme is obtained as 5.043, and then the packaging optimization direction is proposed according to the score data of the indicators. This research model is suitable for the screening and optimization of various green packaging design schemes, which is helpful for packaging design and production personnel to make scientific decisions, and guides the packaging industry in my country to better transform to a green model.

KEY WORDS: Green packaging; Interpretative Structural Modeling Method(ISM); Analytic Network Process(ANP); Grey Fuzzy Comprehensive Evaluation; Evaluation model

我国包装行业面临“两山理念”^[1]的发展需求, 以及国际边缘冲突^[2]导致原料成本提升的外部挑战,

为了顺应国内生态文明思想, 应对国际形势的不确定性, 需要健全一套更加合理的绿色包装设计模式。绿

收稿日期: 2022-11-14

基金项目: 湖北省教育厅哲学社会科学研究项目 (20Q045); 湖北文化创意产业化设计研究中心项目 (HBCY907); 湖北工业大学教学研究项目 (2020065)

作者简介: 施琦 (1982—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为可持续设计、设计管理、跨境电商设计。

色包装评价是推动包装行业向绿色模式转变的有效技术杠杆,建立科学合理、可操作的绿色包装评价体系是社会发展的迫切需求。^[3]

绿色包装设计一般遵从“5R+1D”的设计原则^[4],由于涉及的决策因素繁多,对绿色包装进行评价时通常需要多名决策者对多项评价指标进行打分排序,属于多属性群体决策问题^[5]。国外对包装绿色性的评价研究主要基于生命周期理论^[6-9],且大部分研究集中在包装材料的环保性方面^[8-9]。在国内研究中,层次分析法是有效的多属性群体决策方法之一,广泛应用于绿色包装评价中,学者们常引入模糊数学将定性评价转化为定量评价,如杨洁等^[10]在层次分析法中引入模糊矩阵和隶属函数,得到集合多个评价指标的综合评价价值,再应用于分析当前包装行业的绿色度;徐丽^[11]等也是利用模糊层次分析法对绿色快递包装的综合效益进行评价。在此基础上,更有学者集成多种数理方法构建评价模型,如付自由等^[12]根据每层指标特点确定权重,一级指标采用层次分析法,二级指标采用专家权重系数和熵权法相结合的方法,进一步提高了评价结果的科学性;李娜^[13]等对塑料包装进行绿色度评价,首先运用层次分析法确定各项指标的主观权重值,再通过信息熵确定客观权重值,最后利用和积法计算指标的综合权重。分析相关文献发现,在绿色包装评价这类无法避免主观影响的研究中,学者们尽量做到数据来源权威真实、数据分析过程科学客观,即通过数据分析方法深入挖掘主观评价的内涵与规律,以此减少评价过程中产生的误差。这类研究选取的指标多数从环境需求、社会需求、基本功能需求出发,较少地考虑与包装使用联系最紧密的用户对绿色包装的认知与接受度。另外,受数据缺失与部分指标难以量化问题的限制,绿色产品综合评价研究多以层次分析法为主要研究方法,经常忽略了各指标之间的影响关系。

基于以上分析,加入对用户感官体验与情感体验的考量,集合解释结构模型(ISM)、网络分析法(ANP)、灰色模糊评价法三种方法对绿色包装设计进行综合评价。理由如下:首先考虑到解释结构模型(ISM)的特点是将复杂无序的思想转化为直观且具有良好结构关系的模型^[14],有助于弥补在直接的人为判断中无法识别指标之间间接影响关系的不足,因此利用ISM模型厘清指标间的深层次关系,并将分析结果作为网络层次分析模型的结构输入。而网络层次分析法可以弥补层次分析法中忽略指标间关联关系的问题,由ISM-ANP模型可以求得量化误差更小的指标权重值。其次,考虑到影响绿色度分析的指标因素具有模糊性、主观评价难以量化的特点,符合灰色模糊评价对象的特点,因此利用灰色模糊评价法对绿色包装进行分类评级。最后,由于灰色评价法难以科学地量化各个评价指标的重要性程度^[15],以ISM-ANP模型得出的权重值对指标进行赋权,综合

得到的评价结果更合理、误差更小。

1 绿色包装综合评价模型构建

1.1 建立评价指标体系

依照指标选取的目的性、客观性、全面性、可行性等原则,参考文献^[16-18]选取环境友好性、产品基本性能、创新性、经济性这4个方面的指标,同时加入对用户体验感方面的考量,再由GB/T 37422—2019《绿色包装评价方法与准则》中对资源属性、能源属性、环境属性、产品属性等指标的具体要求确定赋权类型,搭建绿色包装评价指标体系,见表1。指标体系包含三个层级,目标层为绿色包装评价R,准则层包括环境友好性指标R₁、基本性能指标R₂、创新性指标R₃、用户体验感指标R₄、经济性指标R₅,因素层共有14个指标。

表 1 评价指标体系

Tab.1 Evaluation Index System

目标层	准则层	因素层	估算方法
绿色包装评价R	环境友好性指标R ₁	材料利用率R ₁₁	客观赋权-效益型指标
		生产污染排放R ₁₂	客观赋权-成本型指标
		清洁能源比例R ₁₃	客观赋权-效益型指标
		回收再生利用率R ₁₄	客观赋权-效益型指标
	基本性能指标R ₂	便于储存运输R ₂₁	主观赋权
		安全性R ₂₂	主观赋权
	创新性指标R ₃	功能创新性R ₃₁	主观赋权
		技术创新性R ₃₂	主观赋权
		材料创新性R ₃₃	主观赋权
		结构创新性R ₃₄	主观赋权
	用户体验感指标R ₄	感官体验R ₄₁	主观赋权
		情感体验R ₄₂	主观赋权
	经济性指标R ₅	生产成本R ₅₁	客观赋权-成本型指标
		回收处理成本R ₅₂	客观赋权-成本型指标

其中主观赋权指标依靠主观评价,客观赋权指标分为成本型与效益型两类,参考行业基本标准进行客观估算。

1.2 基于ISM-ANP的指标因素权重计算

1.2.1 利用ISM分析指标关系

第一步,运用ISM对确立的绿色包装设计评价指标体系进行分析,探究不同指标之间存在的深层次结构。构建n阶关系矩阵,基于表1内容在矩阵的行、列分别列出14个指标因素,若某一“行元素”对某一“列元素”有直接影响,对应矩阵元素的值为“1”;若不存在直接影响,对应的矩阵元素值为“0”。基于指标间的直接关系A₀,运用MATLAB计算可以得到

表示评价体系中各指标相互关系的可达矩阵 A , 表示如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

第二步, 划分层级, 得到指标间的层次关系示意图。根据可达矩阵确定可达集 $A(S_i)$ 、先行集 $Q(S_i)$ 、共同集 $T(S_i)$, 对结果进行层级划分, 最终获得层次关系示意图, 见图 1。

根据分析结果得出, 第一层影响因素包含回收再利用率 R_{14} 、是否便于储存运输 R_{21} 、安全性 R_{22} 等 6 个指标, 是影响绿色包装评价的直接因素; 第二、三层的因素为中间层间接影响因素, 既可以通过影响表层指标间接影响评价对象, 也受深层因素的影响; 第四层的结构创新性 R_{34} 属于深层影响因素, 对中间层与表层因素都具有一定影响。

1.2.2 通过 ANP 模型确立指标权重

以 ISM 模型确立的层次关系示意图作为 ANP 模型的结构输入, 将环境友好性指标、基本性能指标、创新性指标、用户体验感指标及经济性指标作为“簇”, 各个指标的下一级因素作为簇内的“节点”, 得到 ISM-ANP 网络结构。再使用 1-9 标度比较法(见表 2), 以两两比较的问卷形式要求包装的设计人员、相关生产部门工作人员及使用者对评价指标进行打

分, 以确定指标间的优势度。

根据调查结果形成判断矩阵, 通过一致性检验后, 即可将该判断矩阵认定为未加权超矩阵 W_{ij} , 表示如下:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & \cdots & w_{i1}^{(jn_j)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & \cdots & w_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{in_i}^{(j1)} & w_{in_i}^{(j2)} & \cdots & w_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, W_{ij} 的列向量就是评价指标体系中因素层的影响因子 $R_{i1}, \dots, R_{in_i}$ 对 R_j 中影响因子 $R_{j1}, \dots, R_{jn_j}$ 的影响程度排序向量。再利用指标体系中准则层指标 R_i 对 $R_j (i, j = 1, 2, 3, 4, 5)$ 进行重要性比较, 两两比较后可以得到准则层指标的加权矩阵 A , 表示如下:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

利用加权矩阵 A 对未加权超矩阵 W_{ij} 进行加权, 得到加权超矩阵 $\overline{W}_{ij}$, 表示如下:

$$\overline{W}_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11}w_{11} & a_{12}w_{12} & \cdots & a_{1n}w_{1n} \\ a_{21}w_{21} & a_{22}w_{22} & \cdots & a_{2n}w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}w_{n1} & a_{n2}w_{n2} & \cdots & a_{nn}w_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, $\overline{W}_{ij} = a_{ij}w_{ij} (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; n \leq 6)$

进一步对加权超矩阵做稳定性处理, 归一化的结果就是极限超矩阵 W_∞ , 其列向量就是绿色包装设计评价因素指标 R_{in_i} 的权重向量 W' , 表示如下:

$$W' = (W_{11}, W_{12}, \dots, W_{in_i}, \dots, W_{nn})^T \quad (4)$$

各指标 R_{ij} 在其所属的准则层指标 R_i 中的规范化权重向量为 W'_i , 表示如下:

$$W'_i = (W'_{i1}, W'_{i2}, \dots, W'_{ini})^T \quad (5)$$

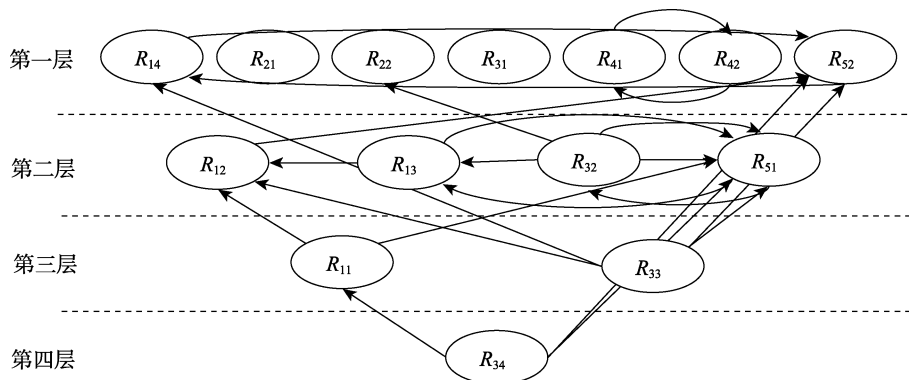


图 1 层次关系示意图

Fig.1 Diagram of Jagged Relation

表 2 1-9 标度比较法
Tab.2 1-9 Scale Comparison

标度	含义
1	两因素相比一样重要
3	某因素比另一因素稍微重要
5	某因素比另一因素重要
7	某因素比另一因素重要很多
9	某因素比另一因素绝对重要
2, 4, 6, 8	两因素相比重要性介于相邻尺度中间

1.3 构建灰色模糊评价模型

1.3.1 建立灰色评价矩阵

有 N 位权威专家对绿色包装设计方案进行评价,第 k 位专家对评价指标的评估值为 d_{ijk} , 综合所有专家的评价编制评估样本矩阵。设定评语集如表 3 所示,将绿色包装设计方案划分为 5 个等级,分别是优秀、良好、中等、合格、不合格,用 0~10 的数表示设计方案的优良程度。

表 3 评价等级
Tab.3 Evaluation Level

评价级别	方案评分
优秀	[9,10]
良好	[7,9)
中等	[5,7)
合格	[3,5)
不合格	[1,3)

1.3.2 构造白化权函数

将指标 R_{ij} 分为 5 个灰子类 ($v=1,2,3,4,5$), 确立的白化权函数, 表示如下:

$$f_1 d_{ijk} = \begin{cases} 0, d_{ijk} \notin [0,10] \\ \frac{d_{ijk}}{9}, d_{ijk} \in [0,9) \\ 1, d_{ijk} \in [9,10] \end{cases} \quad (6)$$

$$f_2 d_{ijk} = \begin{cases} 0, d_{ijk} \notin [0,10] \\ \frac{d_{ijk}}{7}, d_{ijk} \in [0,7) \\ \frac{10-d_{ijk}}{3}, d_{ijk} \in [7,10] \end{cases} \quad (7)$$

$$f_3 d_{ijk} = \begin{cases} 0, d_{ijk} \notin [0,10] \\ \frac{d_{ijk}}{5}, d_{ijk} \in [0,5) \\ \frac{10-d_{ijk}}{5}, d_{ijk} \in [5,10] \end{cases} \quad (8)$$

$$f_4 d_{ijk} = \begin{cases} 0, d_{ijk} \notin [0,10] \\ \frac{d_{ijk}}{3}, d_{ijk} \in [0,3) \\ \frac{10-d_{ijk}}{7}, d_{ijk} \in [3,10] \end{cases} \quad (9)$$

$$f_5 d_{ijk} = \begin{cases} 0, d_{ijk} \notin [0,10] \\ 1, d_{ijk} \in [0,1) \\ \frac{10-d_{ijk}}{9}, d_{ijk} \in [1,10] \end{cases} \quad (10)$$

1.3.3 构建灰色模糊评价矩阵

将每个专家的评分代入上述白化权函数进行求解, 定义每项评分 d_{ijk} 属于第 v 类评价等级的权为 $f_v(d_{ijk})$, 再计算第 v 子类灰色评估系数 x_{ijv} 和总灰色评估系数 X_{ij} , 公式如下:

$$x_{ijv} = \sum_{k=1}^i f_v(d_{ijk}) \quad (11)$$

$$X_{ij} = \sum_{v=1}^5 x_{ijv} \quad (12)$$

进一步得到归一化灰色评价权值 r_{ij} , 公式如下:

$$r_{ij} = \frac{x_{ijv}}{X_{ij}} \quad (13)$$

将所有灰色权重值按矩阵排列, 得到灰色模糊评价矩阵 R , 表示如下:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中每列表示灰类等级, 每行表示评价指标。

1.4 包装绿色度综合评价

由网络层次分析中极限超矩阵得出的各指标权重与灰色模糊评价矩阵 R 复合运算得到绿色包装设计方案评估等级向量 B , 表示如下:

$$B = W'gR = (W_{11}, W_{12}, \cdots, W_{Nn_N}) \begin{bmatrix} r_{111} & r_{112} & \cdots & r_{115} \\ r_{121} & r_{122} & \cdots & r_{125} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{Nn_{N1}} & r_{Nn_{N2}} & \cdots & r_{Nn_{N5}} \end{bmatrix} \quad (15)$$

结合灰色评价等级向量 $C = (9,7,5,3,1)$, 得到综合评分 Y , 公式如下:

$$Y = B \cdot C^T \quad (16)$$

综合评价结果 Y 可以判定绿色包装设计方案在基本性能需求、生态环境需求、经济需求、用户体验需求等方面的综合优劣程度, 以供包装设计师与生产

相关人员进行决策。经过该模型的评价,设计师将对设计方案所能达到的效果、用户的接受程度及生产过程中会产生的污染情况具有一定把握,由此可以帮助设计师完成更人性化的绿色包装设计方案。

2 实例分析

2.1 设计方案介绍

基于“两山理论”,结合低碳设计理念,团队自主设计一项小麦壳制保鲜包装设计方案,见图 2。这是兼具环保与储存保鲜功能的包装设计,在开发过程中着重对包装的材料创新、结构创新、功能创新及用户的感知与接受度进行了设计。

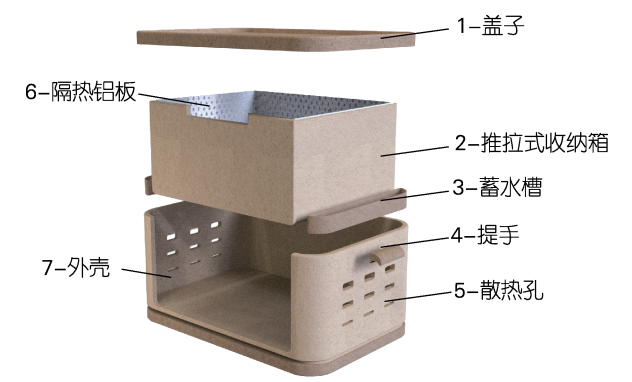


图 2 包装设计方案
Fig.2 Packaging Design

该包装采用导热性较好的铝板和废弃物麦子壳制成外壳,借助蒸发冷却的原理,不靠电力就可使包装具备与普通外包装相比更强的储存保鲜功能,由此可以延长蔬果类食物的售卖期。同时,对购买食物的顾客来说,也可以有效地延长食物的食用期限。

2.2 小麦壳制保鲜包装设计评价

以上述包装设计方案为例,利用 ISM-ANP-灰色模糊综合评价模型对其进行全方位的评估,获得该项设计的综合评价分与问题分析情况,对客观评价与改进该项包装不足具有针对性的研究价值。

2.2.1 确定指标权重

将 ISM 模型分析得到的层次关系(见图 1)作为结构关系输入,构建 ANP 单网络模型。再根据表 1 设置的绿色包装设计评价指标体系,客观赋权指标通过包装生产工厂走访与调查所获数据进行客观估算;主观赋权指标使用 1-9 标度比较法,以两两比较的问卷形式,要求所调研的深圳某工厂中的包装设计人员、相关生产部门工作人员及使用者对评价对象的各项指标进行打分,整理为判断矩阵,通过一致性检验后运算得到极限超矩阵 W_{∞} ,极限超矩阵的列向量即为绿色包装设计评价因素指标权重向量 W' ,表示如下:

$$W' = (w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}, w_{21}, w_{22}, w_{31}, w_{32}, w_{33}, w_{34}, w_{41}, w_{42}, w_{51}, w_{52})$$
$$= (0.1256\ 84, 0.1951\ 79, 0.0533\ 70, 0.1005\ 33, 0.0180\ 92, 0.0679\ 43, 0.0097\ 35, 0.0295\ 49, 0.0222\ 31, 0.0744\ 61, 0.0501\ 79, 0.0251\ 30, 0.1142\ 61, 0.1136\ 55)$$

将 ISM-ANP 模型求得的权重值与传统层次分析法(AHP)模型求出的权重值进行比较(见图 3),分析得出两个方面的结论。

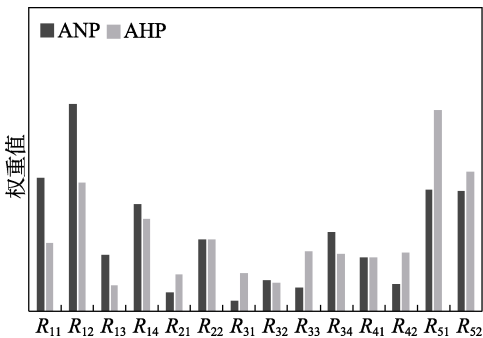


图 3 ANP 与 AHP 模型结果比较
Fig.3 Comparison of ANP and AHP Model Results

一方面两种方法求出的权重数值在一定范围内趋同,说明所求指标权重数值具有一定合理性;另一方面是发现环境友好性指标(R_1)与经济性指标(R_5)的权重值明显有差异,表现为与 ISM-ANP 模型求得的权重值相比,传统 AHP 方法求得的环境友好性指标(R_1)所占权重较高,经济性指标(R_5)所占权重较低。分析其主要原因为,AHP 模型仅考虑了指标对评价对象的直接影响关系,因此经济性指标(R_5)表现出的影响更明显;而 ISM-ANP 模型进一步考虑了环境友好性指标(R_1)与经济性指标(R_5)的内在关联关系,得出的结果反映出环境友好性指标(R_1)作为中间层因素可以通过影响经济性指标(R_5)这类表层因素,进而影响绿色包装设计的评价结果。

2.2.2 构建绿色包装灰色模糊评价矩阵

邀请 5 位绿色设计、包装设计领域的专家参与本包装设计方案的评价,根据评分标准对各项指标打分,统计他们的评价结果,编制成评估样本矩阵,见表 4。

表 4 设计方案评估样本矩阵
Tab.4 Design Proposal Evaluation Sample Matrix

专家序号	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{21}	R_{23}	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}	R_{41}	R_{43}	R_{51}	R_{52}
1	7	8	4	5	7	6	9	3	8	7	5	2	4	5
2	5	5	4	3	5	5	7	4	7	8	5	3	5	5
3	4	5	3	3	5	5	7	5	5	9	4	3	5	4
4	4	7	3	2	6	2	8	4	9	7	6	2	4	3
5	6	6	4	4	7	3	6	4	5	8	5	3	3	4

根据表 4 与白化函数式 (6) — (10) 求出灰色评估系数 x_{ijv} 和总灰色评估系数 x_{ijv} , 再由式 (11) —

(13) 求出归一化灰色评价权值 r_{ij} , 由式 (14) 得到灰色模糊评价矩阵 R , 表示如下:

$$R = \begin{bmatrix} 0.1730 & 0.0400 & 0 & 0.2224 & 0.3346 & 0 & 0.2395 & 0.4372 & 0.6 & 0.2395 & 0.4372 & 0.6 & 0.1596 & 0.9581 & 0.7 \\ 0.2149 & 0.7919 & 0.6 & 0.2466 & 0.8119 & 0.7 & 0.2371 & 0.7059 & 0.6 & 0.2371 & 0.7059 & 0.6 & 0.1317 & 0.6144 & 0.2 \\ 0.1227 & 0.1133 & 0.6 & 0.1577 & 0.7171 & 0.8 & 0.2208 & 0.8040 & 0.5 & 0.2208 & 0.8040 & 0.5 & 0.2181 & 0.5348 & 0.7 \\ 0.1209 & 0.1038 & 0.4 & 0.1554 & 0.5620 & 0.8 & 0.2176 & 0.3869 & 0.1 & 0.2176 & 0.3869 & 0.1 & 0.2347 & 0.0839 & 0.3 \\ 0.1996 & 0.1977 & 0.2 & 0.2566 & 0.5399 & 0.2 & 0.2395 & 0.4372 & 0.6 & 0.2395 & 0.4372 & 0.6 & 0.1330 & 0.7984 & 0.8 \\ 0.1456 & 0.3106 & 0.8 & 0.1872 & 0.3994 & 0.5 & 0.2371 & 0.7059 & 0.6 & 0.2371 & 0.7059 & 0.6 & 0.2011 & 0.0957 & 0 \\ 0.2964 & 0.0650 & 0 & 0.2780 & 0.9567 & 0.4 & 0.1874 & 0.5708 & 0.4 & 0.1874 & 0.5708 & 0.4 & 0.1041 & 0.4282 & 0.4 \\ 0.1330 & 0.7984 & 0.8 & 0.1711 & 0.0266 & 0.2 & 0.2395 & 0.4372 & 0.6 & 0.2395 & 0.4372 & 0.6 & 0.1996 & 0.1977 & 0.2 \\ 0.2610 & 0.7942 & 0.1 & 0.2369 & 0.4602 & 0.9 & 0.2211 & 0.4962 & 0.7 & 0.2211 & 0.4962 & 0.7 & 0.1228 & 0.6090 & 0.4 \\ 0.3334 & 0.9621 & 0.3 & 0.2821 & 0.8910 & 0.3 & 0.1693 & 0.1346 & 0.2 & 0.1693 & 0.1346 & 0.2 & 0.0940 & 0.6303 & 0.4 \\ 0.1605 & 0.7992 & 0.3 & 0.2064 & 0.5990 & 0.1 & 0.2659 & 0.2035 & 0.2 & 0.2659 & 0.2035 & 0.2 & 0.1605 & 0.7992 & 0.3 \\ 0.1006 & 0.8599 & 0.2 & 0.1294 & 0.5341 & 0.9 & 0.1812 & 0.3478 & 0.6 & 0.1812 & 0.3478 & 0.6 & 0.2865 & 0.6782 & 0.5 \\ 0.1380 & 0.8003 & 0 & 0.1775 & 0.3146 & 0.7 & 0.2485 & 0.4405 & 0.4 & 0.2485 & 0.4405 & 0.4 & 0.1906 & 0.8194 & 0.6 \\ 0.1380 & 0.8003 & 0 & 0.1775 & 0.3146 & 0.7 & 0.2485 & 0.4405 & 0.4 & 0.2485 & 0.4405 & 0.4 & 0.1906 & 0.8194 & 0.6 \end{bmatrix}$$

2.2.3 绿色包装设计方案综合评价结果

将指标权重 W' 与灰色模糊评价矩阵 R 代入式 (15) 得到绿色包装设计方案评估等级向量 B , 再由式 (16) 得出综合评价得分:

$$Y = B \cdot C^T = 5.04264$$

根据表 3 划分的评价等级, 得出该设计方案综合评价等级处于中等水平。经过进一步分析, 发现在情感体验、技术创新性、回收处理成本这几个方面得分较低, 但在材料创新性、功能创新性、生产污染排放等方面得分偏高, 符合该项绿色包装的设计理念, 说明专家根据设计方案所给出的评分值较为合理。基于此, 对该设计方案提出以下优化方向。

1) 简化结构设计, 提升结构创新性。该包装主要利用蒸发冷却的原理达到保鲜储藏的效果, 为了满足这一设计要点的可行性, 包装结构设计较复杂, 对生产技术具有一定要求, 提升了生产成本与回收处理成本, 导致相关指标因素得分较低。研究人员在保证实现基本功能的前提下, 应对绿色包装结构进行简化设计, 如精简包装部件数量、运用巧妙的组合方式、轻量化材料, 以便生产与回收。

2) 提升包装的文化性与教育性。由于设计方案在“情感体验”指标上得分较低, 说明使用者没有明显感受到该包装的文化性与教育性, 为了让使用者能一眼识别包装的绿色性、刺激他们思考并进行绿色消费, 研究人员可以对包装的色彩、外观风格进行优化, 如在包装表面上增加相关环保标识、产地属性、宣传标语等, 来说明包装的材料来源与使用原理。

3) 增强包装中与高权重值指标相关的设计优势。对铝板与外壳做分离设计, 以便回收利用。分析二级指标的权重发现, “生产再回收率”是包装绿色度评价体系中权重排名靠前的指标, 而对该设计方案在生

产再回收过程中存在障碍。可以通过增强材料的可拆卸性与环保性 (如对铝板与外壳做分离设计、铝板上不做印刷), 来便利包装的回收再利用环节, 提高回收率。

3 结语

国内“两山理念”的发展与国际能源价格的浮动是包装行业面临成本上升挑战的两方面深层原因, 我国包装行业向绿色模式转变的目标任重而道远, 为了使传统包装向绿色包装转变, 改善当前过度包装、废弃包装造成的环境污染问题, 促进绿色包装的设计与推广, 本文以绿色包装为研究对象, 利用 ISM-ANP-灰色模糊综合评价法构建综合评价模型, 得出以下研究结论。

1) 提炼了包装绿色度评价的 5 类指标: 环境友好性、基本性能、创新性、用户体验、经济性, 列出了 14 种影响因素, 并借助 ISM 模型分析得出用户体验感指标是包装绿色度评价的直接影响因素, 提示设计人员进行包装设计时, 应该注意提升用户对产品的认知与接受度。

2) 结合三种方法的优缺点构建评价模型: ISM 模型可以简化指标因素间的复杂结构关系, 厘清其中的直接影响因素与深层次影响因素; 网络层次分析法具有考虑因素间相关关系的分析优势; 灰色模糊评价法可以量化指标体系中难以量化的因素, 实现模糊化的语言转换。将研究模型与实证分析相结合, 研究结果说明这种集成评价方法是可行的, 与传统 AHP 模型的运算结果进行比较, 发现本研究方法可以有效减少包装设计绿色度评价过程中的误差。

3) 研究方法与模型适用于各类绿色包装设计评价, 可以为设计与生产决策相关人员提供理论依据, 有

助于针对各类指标进行分析,进而优化包装涉及方案中存在的问题,并作为绿色包装设计方案选择的依据。

参考文献:

- [1] 罗琼.“绿水青山”转化为“金山银山”的实践探索、制约瓶颈与突破路径研究[J]. 理论学刊, 2021(2): 90-98.
LUO Qiong. Practical Exploration, Restriction Bottleneck and Breakthrough Path Research on the Transformation from "Green Water and Green Mountains" to "Jinshan Yinshan" [J]. Theory Journal, 2021(2): 90-98.
- [2] 李嘉宝. 美国借俄乌冲突大肆劫掠世界[N]. 人民日报海外版, 2022-04-04(005).
LI Jia-bao. The United States Plundered the World in the Conflict between Russia and Ukraine[N]. People's Daily Overseas Edition, 2022-04-04(005).
- [3] GB/T 37422-2019, 绿色包装评价方法与准则[S].
GB/T 37422-2019, Green Packaging Evaluation Methods and Criteria[S].
- [4] 严晨. 以绿色包装设计为例谈绿色设计之社会责任[J]. 设计艺术研究, 2021, 11(2): 5-8.
YAN Chen. On the Social Responsibility of Green Design Based on Green Packaging Design[J]. Design Research, 2021, 11(2): 5-8.
- [5] 吕欣, 刘玉云. 基于 AHP-TOPSIS 方法的儿童安全座椅设计方案评价研究[J]. 包装工程, 2019, 40(14): 150-155.
LYU Xin, LIU Yu-yun. Evaluation of Design Alternatives for Child Safety Seat Based on AHP-TOPSIS[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 150-155.
- [6] FRIEDERICY H J, VAN EGMOND C W, VOGTLÄNDER J G, et al. Reducing the Environmental Impact of Sterilization Packaging for Surgical Instruments in the Operating Room: A Comparative Life Cycle Assessment of Disposable Versus Reusable Systems[J]. Sustainability, 2021, 14(1): 430.
- [7] BASSANI F, RODRIGUES C, MARQUES P, et al. Ecodesign Approach for Pharmaceutical Packaging Based on Life Cycle Assessment[J]. The Science of the Total Environment, 2022, 816: 151565.
- [8] PONNUSAMY P G, MANI S. Life Cycle Assessment of Manufacturing Cellulose Nanofibril-Reinforced Chitosan Composite Films for Packaging Applications[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2022, 27(3): 380-394.
- [9] BISHOP G, STYLES D, LENS P N L. Environmental Performance of Bioplastic Packaging on Fresh Food Produce: A Consequential Life Cycle Assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 317: 128377.
- [10] 杨洁, 李慧琳. 基于模糊层次分析的包装绿色度评价体系研究[J]. 生态经济, 2018, 34(1): 78-82.
YANG Jie, LI Hui-lin. Evaluation of Green Degree for Packaging Industry in China Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Ecological Economy, 2018, 34(1): 78-82.
- [11] 徐丽, 王昕怡, 管雪松, 等. 模糊综合评价法在绿色快递包装中的应用[J]. 包装工程, 2019, 40(23): 180-188.
XU Li, WANG Xin-yi, GUAN Xue-song, et al. Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation in Green Express Packaging[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(23): 180-188.
- [12] 付自由, 兰建义, 王放. 改进模糊层次分析法在绿色包装评价中的应用[J]. 包装工程, 2021, 42(1): 230-236.
FU Zi-you, LAN Jian-yi, WANG Fang. Application of Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Green Packaging Evaluation[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(1): 230-236.
- [13] 李娜, 李小东. 基于层次分析和信息熵的塑料包装产品绿色度评价方法[J]. 塑料科技, 2019, 47(10): 51-55.
LI Na, LI Xiao-dong. Evaluation Method of Green Degree of Plastic Packaging Products Based on AHP and Information Entropy[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(10): 51-55.
- [14] 兰芳. 基于 FISM-ANP-灰色聚类的软件项目开发风险评价研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
LAN Fang. Risk evaluation of software project development based on FISM-ANP-grey clustering[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018.
- [15] 李叶, 张晓妮, 张云, 等. 基于多层次灰色评价法的县级卷烟市场评价体系研究——以铜川市卷烟市场为例[J]. 中国烟草学报, 2022, 28(3): 119-126.
LI Ye, ZHANG Xiao-ni, ZHANG Yun, et al. Research on County-Level Cigarette Market Evaluation System Based on Multi-Level Grey Evaluation Method: A Case Study of Tongchuan Cigarette Market[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2022, 28(3): 119-126.
- [16] 王瑞昌, 陈志华, 明新国. 船舶动力系统全生命周期绿色设计的评价方法[J]. 上海交通大学学报, 2020, 54(3): 256-264.
WANG Rui-chang, CHEN Zhi-hua, MING Xin-guo. Life Cycle Assessment of Marine Power System's Green Design[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2020, 54(3): 256-264.
- [17] 刘学珍. 基于用户体验的绿色产品设计评价体系研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
LIU Xue-zhen. Research of design evaluation system of the green product based on user experience[D]. Jinan: Shandong University, 2012.
- [18] 潘彦. 绿色产品设计方案评价指标体系的建立[J]. 企业导报, 2010(10): 241-242.
PAN Yan. Establishment of Evaluation Index System for Green Product Design Scheme[J]. Guide to Business, 2010(10): 241-242.

责任编辑: 陈作