

# 改进模糊层次分析法在绿色包装评价中的应用

付自由, 兰建义, 王放

(河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** **目的** 解决现有的包装产品不符合绿色理念, 缺乏统一的规定和评价方法问题。**方法** 建立绿色包装评价体系, 在 FAHP (模糊层次分析法) 的基础上, 根据每层指标的特点来确定权重, 其中 5 个一级指标采用层次分析法, 13 个二级指标考虑到主客观性, 采用了专家权重系数和熵权法相结合的方法, 最后结合包装产品绿色满意度调查问卷进行包装绿色度模糊综合评价, 得出一个包装绿色度评价值。**结果** 以义乌市某包装厂为实例进行验证, 发放了 500 份调查问卷, 回收 432 份。经过运算, 得出一个直观的绿色度评价值为 80.714, 评价等级达到优。**结论** 文中评价指标的建立科学合理, 所用方法数据易获取, 计算过程简便, 结果准确直观, 有一定的理论和现实意义。

**关键词:** 模糊层次分析法; 绿色包装; 评价指标; 专家权重系数; 熵权法

**中图分类号:** F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)01-0230-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.01.032

## Application of Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Green Packaging Evaluation

FU Zi-you, LAN Jian-yi, WANG Fang

(School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to solve the problems that existing packaging products do not comply with the green concept and lack uniform regulations and evaluation methods. A green packaging evaluation system was established. On the basis of FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process), the weights were determined according to the characteristics of each layer of indicators. 5 first-level indicators adopted the analytic hierarchy process, and 13 second-level indicators adopted the method of combining the expert weight coefficient with the entropy weight in consideration of subjectivity and objectivity. Finally, combined with green satisfaction questionnaire of packaging product, the fuzzy comprehensive evaluation was carried out to the packaging greenness to obtain an evaluation value of packaging greenness. A packaging factory situated in Yiwu City was used as an example for verification. 500 questionnaires were distributed and 432 were recovered. After calculation, an intuitive green evaluation value of 80.714 was obtained, and the evaluation level was excellent. The establishment of the evaluation indicator in this paper is scientific and reasonable, and the data adopted in the method are easy to obtain, with simple calculation process and accurate and intuitive results, which has certain theoretical and practical significance.

**KEY WORDS:** fuzzy AHP; green packaging; evaluation indicator; expert weight coefficient; entropy weight method

收稿日期: 2020-04-19

作者简介: 付自由 (1993—), 男, 河南理工大学硕士生, 主攻现代物流与供应链。

通信作者: 兰建义 (1972—), 男, 博士, 河南理工大学副教授, 主要研究方向为工业工程及物流工程。

随着全球经济的快速发展,人类贪婪地向大自然索取,以满足自己对物质生活的极大追求,各种资源的过度开采和浪费,已经导致了全球气候变暖,白色污染等问题<sup>[1]</sup>。据不完全统计,2015年欧盟各成员国的包装垃圾废弃量达到了8450万t<sup>[2]</sup>。在我国,随着电商业快速的发展,快递包装垃圾每天都以惊人的数量增加着,包装垃圾占据了我国各大城市生活垃圾的90%<sup>[3]</sup>。

包装垃圾对环境的影响之大引起了人类的重视,绿色包装概念的提出更是掀起了一股世界性的“绿色浪潮”。绿色包装涉及包装产品整个生命周期的方方面面<sup>[4]</sup>,绿色包装体系众多的指标很难用一般的评价方法来给出评价。目前,对于怎样才能称为绿色包装,绿色包装的绿色度如何界定,国内还没有一个统一、客观、简易的评价标准和方法<sup>[5-6]</sup>。

在这种情况下,很多国内的专家学者尝试用不同的方式探索评价绿色包装的方法。张备<sup>[7]</sup>、柯晶琳<sup>[8]</sup>等从欧盟,日本等绿色包装体系较为成熟的国家吸取有利经验,逐渐形成了较为合理的绿色包装评价指标集。薛磊等<sup>[9]</sup>提出了一套绿色包装评价体系,并且用模糊评价的隶属度对各指标的优良做了评价。梁丽<sup>[10]</sup>注意到模糊评价的隶属度难以确定,且容易改变,用Vague集的相似度对绿色包装设计的几个候选方案进行了优劣排序,结合实例,验证了实用性。杨洁等<sup>[11]</sup>运用了模糊层次分析法对包装绿色度评价体系进行了研究。大量的文献只做了指标重要度分析,并且评价结果偏向主观性,对指标重要度确定之后的后续工作做深入研究的文献很少。为了解决主观性问题,李娜<sup>[6]</sup>采用AHP-熵权法对包装指标重要度进行了分析,主客观性得到很好的平衡,但结合的方法仍有改进之处。谢明辉等<sup>[12]</sup>综合考虑了环境、经济和功能等方面因素的影响,建立起系统全面的评价指标体系,采用LCA的模糊综合评价法对包装合理性进行评价,得到客观公正的评价结果。

AHP被广泛用于评价方法中,但传统的AHP偏向主观性,且格式固定,计算烦琐,不利于企业和政府使用。文中在前人研究的基础上借鉴优点弥补缺点,提出一种改进模糊层次分析法,对不同级别指标采用不同的方法来确定权重系数,引入专家权重系数和熵权法结合的方法,以降低专家水平不同而带来的主观性影响。确定指标权重之后,运用模糊综合评价,得到一个直观的绿色度评价价值。相较于传统的模糊层次分析法,改进模糊层次分析法更加科学、客观,在适用性增加的同时大大减少了计算量,并且结果直观准确,能很好地判断包装企业绿色化的程度。以期对政府和企业评价包装产品的绿色度具有一定的指导意义。

## 1 绿色包装评价体系的构建

### 1.1 绿色包装的内涵

绿色包装(Green package)即是对生态环境友好,对人类没有危害的环保型包装。绿色包装应符合可持续性发展的要求,其从包装的设计理念,原料的选用,包装的制造过程,再到包装产品的使用和回收处理,整个包装产品的生命周期都应该以绿色包装的内涵为准则。我国对绿色包装没有明确的定义,仍然处在4R1D的阶段,即为包装减量化(Reduce)、可重复利用(Reuse)、可循环再生(Recycle)、可回收利用(Recover)、可降解腐化(Degradable)的阶段。日本以及澳洲的可持续包装联盟对包装的定义提出了新的概念,在引进全生命周期的同时对包装产品的资源,环保,经济,功能进行全面的综合评价<sup>[13]</sup>。文中考虑到包装产品为人类服务,应充分考虑人的因素,绿色包装的内涵宜人性应加入其中。

### 1.2 确定评价指标体系

建立科学合理又客观的评价体系至关重要。文中查阅大量文献<sup>[14-15]</sup>,依据绿色包装的内涵建立绿色包装的评价指标体系,在层次分析法的三层评价体系中,将绿色包装设为第1层(即目标层 $U$ ),资源性指标、环保性指标、经济性指标、功能性指标、宜人性指标作为第2层(即一级指标层 $U_i(U_1, U_2, U_3, U_4, U_5)$ ),又依据一级指标层5个指标的影响因素,设置了 $U_{ij}(U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij})$ 13个因素作为二级指标层,见图1。

## 2 评价体系中各级指标权重的确定

指标权重的重要性不言而喻,即使是相同指标的一点点权重差别也会给整体评价带来不同的结果,因此文中考虑到不同指标层确定权重的难易程度,以及尽量减少主观性带来的不科学性,决定对不同指标层采用不同的权重界定方法。

### 2.1 确定一级指标的权重系数

一级指标层的5个因素 $U_i(U_1, U_2, U_3, U_4, U_5)$ 隶属于目标层 $U$ ,由于这5个指标相对于目标层的影响程度能够直观地判断,两两比较也比较容易,所以用层次分析法的专家判断矩阵来确定此指标层的各指标权重。为了使指标量化,引入九级标度表<sup>[16]</sup>。

专家组研究分析一级指标层各因素对目标层的影响,给出的权重意见经九级标度表转化后,形成专

家判断矩阵 $U_i = \begin{bmatrix} U_{i1} & \dots & U_{in} \\ \vdots & & \vdots \\ U_{mi} & \dots & U_{mm} \end{bmatrix}$ ,通过和积法计算该判断

矩阵的特征向量,过程如下所述。

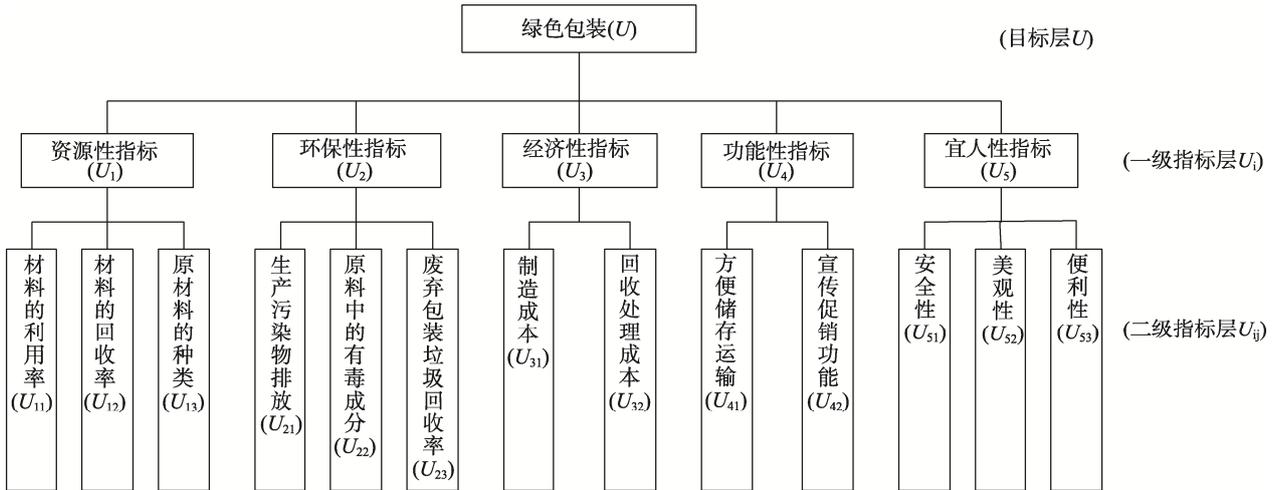


图1 绿色包装评价指标体系  
Fig.1 Evaluation indicator system of green packaging

对矩阵的每一列归一化:

$$\bar{U}_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{i=1}^n U_{ij}} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

对按列归一化的矩阵  $\bar{U}_{ij}$ , 再按行求和即得到向量

$$\bar{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T。$$

将向量归一化:

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

可得一级指标层判断矩阵  $U_i$  的特征向量  $W=(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ , 其中特征向量  $W$  中的分量  $w_i$  是相应一级指标层各指标的权重值。

为了检验该判断是否具有可靠的一致性, 下面进行一致性检验:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(U_i W)_i}{w_i} \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1} \quad (4)$$

由式(3)求得最大特征值  $\lambda_{\max}$ , 式(4)可以求得  $C_1$ , 当  $C_R = C_1 R_1 \leq 0.10$  时, 可以确定该判断矩阵具有完全一致性, 即由此得出的权重值是可信的, 如果不满足一致性, 则需要对判断矩阵进行调整, 其中  $R_1$  见表1。

## 2.2 确定二级指标的权重系数

二级指标层的指标数量明显增多, 在一级指标层的影响下相互关系更加复杂。如果继续使用一级指标层的方法, 则计算量会非常巨大, 耗时耗力且容易出错, 而且由于专家之间的差异会使得给出的专家判断

表1 随机一致性指标

Tab.1 Random consistency indicator

阶数	$R_1$ 值
1	0
2	0
3	0.58
4	0.9
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41

矩阵严重缺乏客观性, 进而会使得出的权重结果不科学。文中在此采用专家权重系数<sup>[17]</sup>和熵权法<sup>[18]</sup>相结合的方式, 将计算过程简化的同时, 力图给出一个科学、客观、实用的权重确定方法。

熵权法的基本思路是根据指标数值间的变异大小来确定客观权重, 某个指标的信息熵  $E_i$  越小, 表明指标的变异程度越大, 提供的有用信息就越多, 其权重也就越大。

1) 假设有  $m$  个要评价的指标, 由  $s$  位专家进行评价打分, 评价分值  $1 \sim 100$ , 分值越大, 说明该指标越重要。

构建原始判断矩阵  $F$ :

$$F = (f_{ij})_{m \times s} = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1s} \\ \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & \dots & f_{ms} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2) 对原始判断矩阵  $F$  进行标准化处理, 得到  $F' = (f'_{ij})_{m \times s}$ 。

$$f'_{ij} = \frac{\{f_{ij} - (f_{ij})_{\min}\}}{\{(f_{ij})_{\max} - (f_{ij})_{\min}\}} \quad (6)$$

式中： $(f_{ij})_{\min}$  和  $(f_{ij})_{\max}$  分别为矩阵  $F$  中  $i$  行的最小值和最大值。

3) 计算第  $i$  项指标的信息熵  $E_i$ ：

$$E_i = -\ln(s)^{-1} \sum_{j=1}^s p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

$$p_{ij} = \frac{f'_{ij}}{\sum_{j=1}^s f'_{ij}} \quad (8)$$

4) 计算二级指标层各指标的权重。

$$k_i = \frac{1-E_i}{m - \sum_{i=1}^m E_i} \quad (9)$$

式中： $0 \leq k_i \leq 1$ 。 $K=(k_i)_{1 \times m}$  中的各分量即为二级指标层各指标的权重。

专家权重系数的计算过程如下所述。

设有  $s$  位专家，第  $j$  位专家的专家权重表达式  $T_j$  为：

$$T_j = a_j + b_j + c_j + d_j + e_j + f_j \quad j=1,2,3,\dots,s \quad (10)$$

式中： $a_j, b_j, c_j, d_j, e_j, f_j$  分别为第  $j$  位专家的对问题熟悉程度、学历、职称、工作年限、判断依据、对问题评价自信程度，各指标的分值见表 2。

进行归一化处理得到专家权重系数  $\beta_j$ ：

$$\beta_j = \frac{T_j}{\sum_{j=1}^s T_j} \quad (11)$$

由矩阵式 (5) 可得  $s$  位专家的评价数据，将数据进行归一化处理：

$$k'_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i=1}^m f_{ij}} \quad j=1,2,3,\dots,s \quad (12)$$

二级指标层各指标的权重为：

$$k'_i = \sum_{j=1}^s k'_{ij} \beta_j \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (13)$$

式中： $0 \leq k'_i \leq 1$ 。 $K'=(k'_i)_{1 \times m}$  中的分量为二级指标层各指标的权重。

专家权重法和熵权法的主观客观性相互弥补，得到二级指标层的综合权重：

$$W' = (w'_i)_{1 \times m} = \frac{(k_i \times k'_i)}{\sum_{i=1}^m k_i k'_i} \quad (14)$$

### 3 绿色包装体系的整体评价

一个包装产品的“绿色度”<sup>[19]</sup>如何，是否很好地体现了绿色包装的内涵，需要接触包装产品全生命周期各时间段的人来进行评价。故文中采用调查问卷的方式对二级指标层各指标进行评价，调查问卷的评价等级分为 5 等，依次是特优、优、良、中、差，调查问卷发放的对象为包装设计、生产车间管理人员、生产操作工、包装产品使用者、包装产品回收处理者等。

调查问卷回收后，对数据进行处理，形成二级指标层各指标模糊判断矩阵  $G_i$ 。

$$G_i = (g_{ij})_{m \times 5} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & g_{15} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & g_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{m1} & g_{m2} & g_{m3} & g_{m4} & g_{m5} \end{bmatrix} \quad (15)$$

式中： $g_{ij}$  为第  $i$  个指标在评价等级  $j$  中占有的比例。评价集见表 3。

综上所述，确定了各层指标的权重集，结合模糊评判矩阵可以进行综合评价。

1) 进行一级指标层评判。由式 (14) 可得二级指标层各指标的权重  $W'$ ，与模糊评判矩阵  $G_i$  相乘后可得到一级指标层模糊评判矩阵  $U'_i$ ：

$$U'_i = W' \times G_i \quad (16)$$

2) 进行目标层评判，即进行绿色包装体系的整体评价：

$$U = W^T \times U'_i \quad (17)$$

式中： $W$  为一级指标层各指标的权重； $U'_i$  为一级指标层模糊评判矩阵； $U$  即为目标层评判矩阵。

3) 为了更加直观地表现包装产品的绿色度，对  $U$  进行数值化处理：

$$K = \sum_{i=1}^n u_i \times q_i \quad (18)$$

式中： $u_i$  为目标判断矩阵  $U$  的分量； $q_i$  为表 3 中的评价价值。

表 2 专家权重系数评分  
Tab.2 Expert weight coefficient score

编号	专家指标	专家类别	分值
1	对问题熟悉程度	非常专业、一般专业、不专业	3, 2, 1
2	学历	博士、硕士、本科	3, 2, 1
3	职称	正高、副高、中级	3, 2, 1
4	工作年限	15 年以上、5 至 15 年、5 年以下	3, 2, 1
5	判断依据	深入研究、参考文献、直觉	3, 2, 1
6	对问题评价自信程度	自信、比较自信、一般	3, 2, 1

表3 评分分值  
Tab.3 Evaluation score

评语集(j)	评价等级(j)	评价值(q <sub>i</sub> )
1	特优	100
2	优	80
3	良	60
4	中	40
5	差	20

### 4 实例分析

为了进一步验证文中提出的改进模糊层次分析法在绿色包装评价体系应用中的科学和实用性,文中以浙江义乌市某包装产品生产供应商生产的一款纸箱为例进行实例验证。

#### 4.1 一级指标权重的确立

结合文中给出的绿色包装评价体系,经50位专家深入的分析探讨给出了如下一级指标层的判断矩阵:

$$U_i = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 4 & 5 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 & 4 & 4 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & 2 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

根据3.1节相关公式计算,可得特征向量  $W=(0.387,0.314,0.122,0.094,0.083)^T$ ,  $U_i$  的最大特征值  $\lambda_{max}=5.302$ , 进行一致性检验  $C_R=C_I/R_I=0.076/1.12=0.068 \leq 0.10$  满足一致性检验,所以一级指标层各指标的权重系数为  $U_1(0.387)$ ,  $U_2(0.314)$ ,  $U_3(0.122)$ ,  $U_4(0.094)$ ,  $U_5(0.083)$ 。

#### 4.2 二级指标权重的确立

由图1可知,评价体系由5个一级指标,13个二级指标,若继续使用传统的层次分析法,将构造5个判断矩阵,计算过程烦琐且易出错,并且缺乏客观性,适用性得不到保障。文中的改进模糊层次分析法可以有效解决这一问题。

有8位专家参与二级指标权重的评价,由式(10)和式(11)可得专家权重系数为  $\beta_j=(0.142, 0.138, 0.138, 0.112, 0.138, 0.102, 0.102, 0.128)$ , 其中  $j=1, 2, 3, \dots, 8$ 。

8位专家对二级指标的重要度评价结果见表4。

结合表4,由3.2节的相关公式可得二级指标层各指标的权重,见表5。

#### 4.3 绿色包装评价体系的整体评价

对义乌某包装产品生产供应商的包装产品进行绿色度调查,考虑到包装产品全生命周期,调查问卷发放人员包括设计师、生产车间管理人员、生产操作工、包装产品使用者、包装产品回收处理者等500人。调查问卷共回收432份,对数据进行归一化处理,既指标的各评价等级所占有的比例,见表6。

由表6得二级指标层各指标模糊判断矩阵  $G_i$ :

$$G_i=(g_{ij})_{m \times 5} = \begin{bmatrix} 0.54 & 0.28 & 0.14 & 0.04 & 0 \\ 0.38 & 0.44 & 0.18 & 0 & 0 \\ 0.28 & 0.24 & 0.42 & 0.04 & 0.02 \\ 0.14 & 0.22 & 0.46 & 0.18 & 0 \\ 0.30 & 0.22 & 0.40 & 0.08 & 0 \\ 0.58 & 0.24 & 0.18 & 0 & 0 \\ 0.46 & 0.18 & 0.24 & 0.12 & 0 \\ 0.08 & 0.16 & 0.54 & 0.14 & 0.08 \\ 0.46 & 0.30 & 0.12 & 0.12 & 0 \\ 0.38 & 0.38 & 0.24 & 0 & 0 \\ 0.42 & 0.40 & 0.14 & 0.04 & 0 \\ 0.58 & 0.32 & 0.02 & 0.08 & 0 \\ 0.48 & 0.34 & 0.14 & 0.04 & 0 \end{bmatrix}$$

表4 专家评价结果  
Tab.4 Expert evaluation result

专家	$U_{11}$	$U_{12}$	$U_{13}$	$U_{21}$	$U_{22}$	$U_{23}$	$U_{31}$	$U_{32}$	$U_{41}$	$U_{42}$	$U_{51}$	$U_{52}$	$U_{53}$
1	90	90	60	80	75	95	90	65	80	45	70	55	85
2	80	90	65	90	70	85	90	65	85	55	75	55	85
3	90	80	70	85	70	95	80	55	80	45	65	65	80
4	90	80	60	80	80	85	85	60	80	50	75	50	85
5	90	80	75	80	80	90	90	60	80	50	65	55	85
6	80	90	75	85	80	85	80	55	85	55	70	65	80
7	90	85	70	85	75	90	80	60	80	55	70	70	80
8	80	90	70	80	80	90	85	50	80	60	65	60	80

表 5 二级指标层各指标的权重  
Tab.5 Weight of each indicator in the second indicator layer

权重	$U_{11}$	$U_{12}$	$U_{13}$	$U_{21}$	$U_{22}$	$U_{23}$	$U_{31}$	$U_{32}$	$U_{41}$	$U_{42}$	$U_{51}$	$U_{52}$	$U_{53}$
熵权法权重 $k_i$	0.359	0.380	0.261	0.326	0.213	0.461	0.730	0.270	0.821	0.179	0.361	0.175	0.464
专家系数权重 $k_i$	0.360	0.357	0.283	0.339	0.302	0.359	0.592	0.408	0.612	0.388	0.327	0.282	0.391
综合权重 $W'$	0.382	0.400	0.218	0.325	0.189	0.486	0.797	0.203	0.879	0.121	0.338	0.142	0.520

表 6 调查问卷处理结果  
Tab.6 Questionnaire processing

指标 ( $U_{ij}$ )	评价				
	特优	优	良	中	差
材料的利用率	0.540	0.280	0.140	0.040	0
材料的回收率	0.380	0.440	0.180	0	0
原材料的种类	0.280	0.240	0.420	0.040	0.020
生产污染物排放	0.140	0.220	0.460	0.180	0
原料中的有毒成分	0.300	0.220	0.400	0.080	0
废包装垃圾回收率	0.580	0.240	0.180	0	0
制造成本	0.460	0.180	0.240	0.120	0
回收成本	0.080	0.160	0.540	0.140	0.080
方便储存运输	0.460	0.300	0.120	0.120	0
宣传促销功能	0.380	0.380	0.240	0	0
安全性	0.420	0.400	0.140	0.040	0
美观性	0.580	0.320	0.020	0.080	0
便利性	0.480	0.340	0.140	0.040	0

由式 (16) 可得一级指标层模糊判断矩阵  $U'_i$ 。

$$U'_i = \begin{bmatrix} 0.419 & 0.335 & 0.217 & 0.024 & 0.004 \\ 0.384 & 0.230 & 0.313 & 0.074 & 0.000 \\ 0.383 & 0.176 & 0.301 & 0.124 & 0.016 \\ 0.450 & 0.310 & 0.135 & 0.105 & 0.000 \\ 0.474 & 0.357 & 0.123 & 0.046 & 0.000 \end{bmatrix}$$

由式 (17) 和式 (18) 可求得该包装生产商所生产的包装产品绿色度直观评价价值  $K$ ,  $K=80.714$ , 对应表 3 可得该包装生产商所生产的包装产品绿色度评价等级达到了优。

## 5 结语

文中在传统模糊层次分析法的基础上进行了改进, 主要结论如下所述。

1) 依据绿色包装的新内涵, 将人性化加入其中, 建立了更加合理的三层评价指标体系更加符合现代人的绿色理念。

2) 在模糊层次分析法的基础上, 解决了隶属度难以确定和主客观偏向问题, 分层采用不同的权重确

定方法, 相较于传统的层次分析法, 计算量大大减少, 专家权重系数和熵权法的结合也使主客观性相得益彰, 得到的结果更加合理和科学。

3) 得到各级指标权重后, 运用模糊综合评价得到一个直观的绿色度评价价值, 证明该评价方法使用简便, 政府和企业使用过程中能够很好地反映包装企业绿色化的发展程度。

## 参考文献:

[1] 祝凌燕. 探究环境污染过程, 精准评估生态风险[J]. 科学通报, 2019, 64(33): 3399—3400.  
ZHU Ling-yan. Explore the Environmental Processes of Pollutants for Accurate Ecological Risk [J]. Science Bulletin, 2019, 64(33): 3399—3400.

[2] EUROSTAT. Packaging Waste[EB/OL]. (2018-12-06) [2019-02-20]. [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Packaging\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Packaging_waste_statistics).

[3] 人民网. 科技创新让包装行业更有“内涵”[EB/OL]. (2018-07-18) [2019-02-20]. <http://ip.people.com.cn/n1/2018/0718/c179663-30154305.html>.

- People's Network. Technology Innovation Makes the Packaging Industry More "Connotation"[EB/OL]. (2018-07-18) [2019-02-20]. <http://ip.people.com.cn/n1/2018/0718/c179663-30154305.html>.
- [4] 孟强, 李方义, 李静, 等. 基于绿色特征的方案设计快速生命周期评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(3): 626—633.  
MENG Qiang, LI Fang-yi, LI Jing, et al. Green Features-based Rapid Life Cycle Assessment Method for Conceptual Design[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2015, 21(3): 626—633.
- [5] 肖金亭. 基于综合评价理念的绿色包装设计评价体系的研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2013: 3—6.  
XIAO Jin-ting. Green Packaging Design Evaluation System Based on Comprehensive Evaluation[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2013: 3—6.
- [6] 李娜, 李小东. 基于 AHP-熵权的绿色包装评价指标重要度分析[J]. 包装工程, 2019, 40(15): 144—149.  
LI Na, LI Xiao-dong. Importance of Green Packaging Evaluation Index Based on AHP-entropy Weigh[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(15): 144—149.
- [7] 张备. 再生塑料包装设计及其评价模型构建[J]. 合成树脂及塑料, 2019, 36(6): 86—90.  
ZHANG Bei. Design and Evaluation Model of Recycled Plastic Packaging[J]. Synthetic Resin and Plastics, 2019, 36(6): 86—90.
- [8] 柯晶琳, 姜维军, 杨兴锐. 中日绿色物流发展差距比较及经验借鉴[J]. 对外经贸实务, 2018(12): 87—91.  
KE Jing-lin, JIANG Wei-jun, YANG Xing-rui. Comparison of Green Logistics Development Gap Between China and Japan and Lessons Learned from Experience[J]. Foreign Economic and Trade Affairs, 2018(12): 87—91.
- [9] 薛磊, 窦德强. 基于模糊综合评价法的绿色包装评价体系研究[J]. 中国包装工业, 2015(22): 189—190.  
XUE Lei, DOU De-qiang. Research on Green Packaging Evaluation System Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. China Packaging Industry, 2015(22): 189—190.
- [10] 张均富, 梁丽. 基于 Vague 集的绿色包装设计评价方法[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 110—112.  
ZHANG Jun-fu, LIANG Li. Green Packaging Design Evaluation Method Based on Vague Set[J]. Packaging Engineering, 2007(2): 110—112.
- [11] 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]. Eco-economy, 2018, 34(1): 78—82.
- [12] 谢明辉, 李丽, 黄泽春, 等. 基于 LCA 的商品包装合理性模糊评价方法研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(6): 155—159.  
XIE Ming-hui, LI Li, HUANG Ze-chun, et al. Research on Fuzzy Evaluation Method of Commodity Packaging Rationality Based on LCA[J]. Environmental Science and Technology, 2009, 32(6): 155—159.
- [13] 张一博, 王伟璵. 包装生命周期分析绿色包装“催化剂”[J]. 印刷技术, 2012(10): 22—23.  
ZHANG Yi-bo, WANG Wei-cong. Packaging Life Cycle Analysis Green Packaging "Catalyst"[J]. Printing Technology, 2012(10): 22—23.
- [14] 李正军, 张震. 供给侧结构性改革视角下企业包装废弃物回收模式选择评价研究[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 68—72.  
LI Zheng-jun, ZHANG Zhen. Evaluation and Research on the Selection of Recycling Modes of Packaging Waste in Enterprises from the Perspective of Supply-Side Structural Reform[J]. Ecological Economy, 2019, 35(3): 68—72.
- [15] 张琛, 把宁, 武金朋, 等. 基于全生命周期法的快递封装用品绿色评价实例研究[J]. 绿色科技, 2019(20): 252—254.  
ZHANG Chen, BA Ning, WU Jin-peng, et al. Case Study of Green Evaluation of Express Packaging Supplies Based on the Whole Life Cycle Method[J]. Green Technology, 2019(20): 252—254.
- [16] 骆正清, 杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 2004(9): 51—60.  
LUO Zheng-qing, YANG Shan-lin. Comparison of Several Scales in AHP[J]. System Engineering Theory and Practice, 2004(9): 51—60.
- [17] 周同新, 刘丹, 王保兴, 等. 改进模糊层次分析法在车间布局评价中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(6): 145—148.  
ZHOU Tong-xin, LIU Dan, WANG Bao-xing, et al. Application of Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Shop Layout Evaluation[J]. Combined Machine Tool and Automatic Processing Technology, 2019(6): 145—148.
- [18] 赵新好, 姚安林, 史爽, 等. 基于熵权属性识别理论的管道第三方破坏可能性研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(4): 71—77.  
ZHAO Xin-hao, YAO An-lin, SHI Shuang, et al. Study on Possibility of Pipeline Third-party Damage Based on Entropy Coefficient of Attribute Recognition Theory[J]. Chinese Journal of Safety Science, 2011, 21(4): 71—77.
- [19] 王桂萍, 贾亚洲, 周广文. 基于模糊可拓层次分析法的数控机床绿色度评价方法及应用[J]. 机械工程学报, 2010, 46(3): 141—147.  
WANG Gui-ping, JIA Ya-zhou, ZHOU Guang-wen. Evaluation Method and Application of CNC Machine Tool's Green Degree Based on Fuzzy-EAHP[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(3): 141—147.