

大数据下复杂网络支持的绿色包装满意度分析

孔霞¹, 张立², 李联辉³

(1.山西农业大学信息学院, 晋中 030800; 2.耐帆包装工程(无锡)有限公司, 无锡 214028;
3.北方民族大学, 银川 750021)

摘要: **目的** 在大数据时代背景下对绿色包装的满意度进行分析, 进而达到绿色包装设计方案的优选, 有利于包装领域推进“绿水青山就是金山银山”生态理念。**方法** 将利益相关方的评论作为数据源, 收集绿色包装满意度的多视角评论大数据, 采用词频统计、高频词共现矩阵生成、语义网络图绘制的方法进行大数据的处理, 建立绿色包装满意度指标体系; 集成专家对指标间关联关系的评判, 构建绿色包装满意度指标的复杂网络, 计算复杂网络中节点的度、介数和接近中心性, 进一步通过 PROMETHEE II 法确定指标权重; 使用梯形模糊数来表达专家对备选绿色包装方案指标值的评估意见, 并融合多位专家的评估结论, 最后得到备选绿色包装方案的满意度值。**结果** 结合唐三彩绿色包装方案的应用实例, 验证了所提出的绿色包装满意度分析方法的有效性。**结论** 通过对绿色包装满意度指标评论大数据的处理和指标权重的求解, 提供了一种绿色包装满意度的分析工具, 助推包装行业绿色环保目标的实现。

关键词: 大数据; 复杂网络; 绿色包装; 满意度; 模糊评价

中图分类号: TB482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)08-0218-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.08.029

Satisfaction Analysis of Green Packaging Supported by Complex Network under Big Data

KONG Xia¹, ZHANG Li², LI Lian-hui³

(1.Information College of Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030800, China; 2.Nefab Packaging Engineering (Wuxi) Co., Ltd., Wuxi 214028, China; 3.North Minzu University, Yinchuan 750021, China)

ABSTRACT: The paper aims to analyze the satisfaction of green packaging under the background of big data era, and then achieve the optimization of green packaging design scheme, which is of great significance to promote the implementation of the development conviction that lucid waters and lush mountains are invaluable assets in the packaging industry. Taking the comments of stakeholders as the data source, the big data of green packaging satisfaction from multiple perspectives is collected. Use word frequency statistics, high-frequency word co-occurrence matrix generation and semantic network mapping to process the big data and establish the index system of green packaging satisfaction. The experts' evaluation of the relationship between the indexes is integrated, and a complex network of green packaging satisfaction indexes is built. The degree, betweenness and closeness of nodes in complex networks are calculated, and the index weight is further determined by PROMETHEE II method. Trapezoid fuzzy number is used to express the evaluation opinions of experts on the index value of alternative green packaging scheme, and the evaluation conclusions of multiple experts are integrated to obtain the satisfaction value of alternative green packaging scheme. Combined with the application example of the green packaging scheme of tri-coloured glazed pottery, the effectiveness of the proposed green packaging satisfaction analysis method is verified. Through the process of big data and the solution of index weight, an analysis tool of green packaging satisfaction is provided, which can promote the realization of environmental protection goal in packaging industry.

收稿日期: 2021-01-20

基金项目: 宁夏自然科学基金(NZ17111); 宁夏青年科技人才托举工程项目(TJGC2018048)

作者简介: 孔霞(1983—), 女, 山西人, 硕士, 山西农业大学信息学院讲师, 主要研究方向为视觉传达设计。

通信作者: 李联辉(1986—), 男, 河南人, 博士, 北方民族大学讲师, 主要研究方向为绿色设计与智能制造。

KEY WORDS: big data; complex network; green packaging; satisfaction degree; fuzzy evaluation

随着生态文明建设的推进,人们开始关注生产与环境、生态、资源的协调一致性^[1]。包装行业一直被认为具有高能耗、高排放的产业特征。在推进“绿水青山就是金山银山”生态保护理念^[2]的社会背景下,尽可能地降低对生态环境的副作用、选用环保材料、提高资源使用效率将必然成为包装行业的发展趋势。绿色包装是绿色工业的关键组成部分,其要领是要实现资源和材料的利用率的增量化,同时实现环境污染副作用的减量化,有助于“可持续发展”在包装行业的落地应用^[3-4]。

在绿色包装的设计过程中,由于用户需求的模糊性以及设计者对用户需求的理解偏差等问题,所设计的绿色包装备选方案并不唯一。绿色包装方案的优劣直接关系到对用户需求的满足程度,为了更好地满足用户的需求,提高包装企业的市场占有率,对绿色包装设计方案进行满意度分析尤为重要^[4-6]。绿色包装满意度分析本质上是一个模糊环境下的多属性决策过程,主要包括指标体系构建、指标权重确定等步骤^[5-9]。包装的生命周期涉及到原材料、加工、印刷、销售、运输、使用、废弃、回收处理等多个环节。满意度的影响因素众多且关联关系复杂,因此,采用一般方法很难准确对绿色包装设计方案进行满意度分析,主要体现为:(1)绿色包装满意度指标体系难以建立,现有研究存在指标选取过于主观和不够全面的问题;(2)求解指标权重的方法从范式上分为主观赋权和客观赋权,前者较多地考虑了决策者的知识、经验和偏好,后者一定程度上能弥补主观赋权的不足,但大都仅考虑指标间的差异,忽略了指标间的关联关系,因此,这两类赋权手段各有利弊,仍不够完善;(3)指标体系的复杂性导致指标值的求解非常繁琐,且指标量纲不同,无法直接用于评价。另外,近年来新一代信息输送方式不断更新,涌现出 Blog、论坛、即时通讯、社交网络等多种信息工具及平台, Internet of Things、数字孪生等技术的兴起使得数据正以难以想象的速度在不断地增加,大数据时代已经来临^[10-12]。大数据技术对传统的产业运行模式带来了不可避免的冲击和推进,学者们也开始将大数据挖掘方法应用于质量控制、决策过程等领域。开源的数据分析软件工具(如网络爬虫、文本分析、语义网络图等)更为大数据的挖掘与重用提供了便捷的手段^[13-15]。

本次研究提出了一种大数据下复杂网络支持的绿色包装满意度分析手段,具体为:从绿色包装满意度分析涉及到的利益相关方出发,基于多视角评论大数据,采用便捷的大数据分析工具,通过归纳和分析建立绿色包装满意度指标体系;在指标权重求解中,将绿色包装满意度指标映射为一个复杂无权指标网络图,网络中的节点代表指标,节点的边反映了指标

间存在关联关系,进一步通过 PROMETHEE II 法(偏好顺序结构评估)确定指标权重;利用专家的经验和智慧,并使用梯形模糊数来表达专家对备选绿色包装方案指标值的模糊评估意见,通过融合多位专家的评估结论得到指标值。最后求解出备选绿色包装方案的满意度数值,实现对绿色包装的满意度分析。

1 基于多视角评论大数据的绿色包装满意度指标体系建模

绿色包装满意度分析涉及到的利益相关方包括包装用户、包装企业、供应商、社会和环境等,本次研究以绿色包装满意度分析涉及的多类利益相关方为问题切入视角,通过在论坛发布话题、邀请多类利益相关方人员开展在线讨论、利用网络爬虫软件提取多视角评论大数据的方法来进行源数据的获取。其中,多类利益相关方人员由包装用户、包装企业的用户需求分析师、资深企业管理人员、社会与环境资深研究学者和包装方案设计工程师等组成,尽可能地涵盖绿色包装满意度分析的利益相关方。采用 ROST Content Mining 文本分析软件对提取到的多视角评论大数据进行概念化处理和分词处理,并进行词频统计,得到初始高频词目录;然后剔除掉其中的无实际意义或无明显指向的词语,得到 90 个高频词,其中排名前 20 位的高频词见表 1。

表 1 排名前 20 位的高频词
Tab.1 Top 20 high frequency words

高频词	频率/%
循环利用 (W_1)	3.08
化学反应 (W_2)	2.97
有害废物 (W_3)	2.77
简约型结构 (W_4)	2.49
易于加工 (W_5)	2.31
安全运输 (W_6)	1.89
品牌宣传 (W_7)	1.80
操作舒适性 (W_8)	1.63
形状替代 (W_9)	1.59
文字对比 (W_{10})	1.53
创意思维 (W_{11})	1.38
材料替代 (W_{12})	1.31
色彩对比 (W_{13})	1.19
美化商品 (W_{14})	1.16
过度包装 (W_{15})	1.14
制造费用 (W_{16})	0.95
传递信息 (W_{17})	0.91
资源节约 (W_{18})	0.88
原材料供应商 (W_{19})	0.86
包装线改造 (W_{20})	0.74

高频词共现矩阵用于表示高频词两两之间的相对关系，两个高频词相交的数值越大，那么它们的相关性就越强。根据高频词目录采用 BIBEXCEL 软件对 90 个高频词进行分析，高频词共现矩阵见表 2（限于篇幅，仅列出部分）。

语义网络图能直观地呈现高频词之间的关联逻辑关系。使用社会网络分析软件 UCINET 对 90 个高频词进行社会网络分析，通过该软件的 Visualize 功能，调用 NetDraw 绘制出语义网络图（见图 1），这里只显示共现频次超过 100 的高频词关系。

根据表 2 所示的高频词共现矩阵和图 1 所示的高

频词语义网络图，对文本数据进行分析 and 归纳。然后，按照逻辑关系与相关关系对同类属性的词语进行归纳，并持续性地对范畴化实验，从而将每个词语一次性纳入到各个范畴之中。经过以上分析得到，反映绿色包装满意度的 16 个指标 (I_1, I_2, \dots, I_{16})。例如，材料替代、形状替代、资源节约等高频词具有较强的共现性，因此，它们之间的相互关系较强，最终被归入同一个指标，即资源利用 (I_4)。

将 16 个指标再次进行抽象化归类，整理得到 4 个属性 (A_1, A_2, A_3, A_4)。从而基于多视角评论大数据，建立了绿色包装满意度指标体系，见表 3。

表 2 高频词共现矩阵（部分）
Tab.2 Co-occurrence matrix of high frequency words (partial)

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀
W ₁	0	812	486	895	138	391	928	918	714	619
W ₂	812	0	553	980	550	331	620	361	757	414
W ₃	486	553	0	282	231	712	625	591	661	148
W ₄	895	980	282	0	589	367	807	504	490	878
W ₅	138	550	231	589	0	621	812	120	184	975
W ₆	391	331	712	367	621	0	885	195	931	400
W ₇	928	620	625	807	812	885	0	196	721	722
W ₈	918	361	591	504	120	195	196	0	434	471
W ₉	714	757	661	490	184	931	721	434	0	781
W ₁₀	619	414	148	878	975	400	722	471	781	0

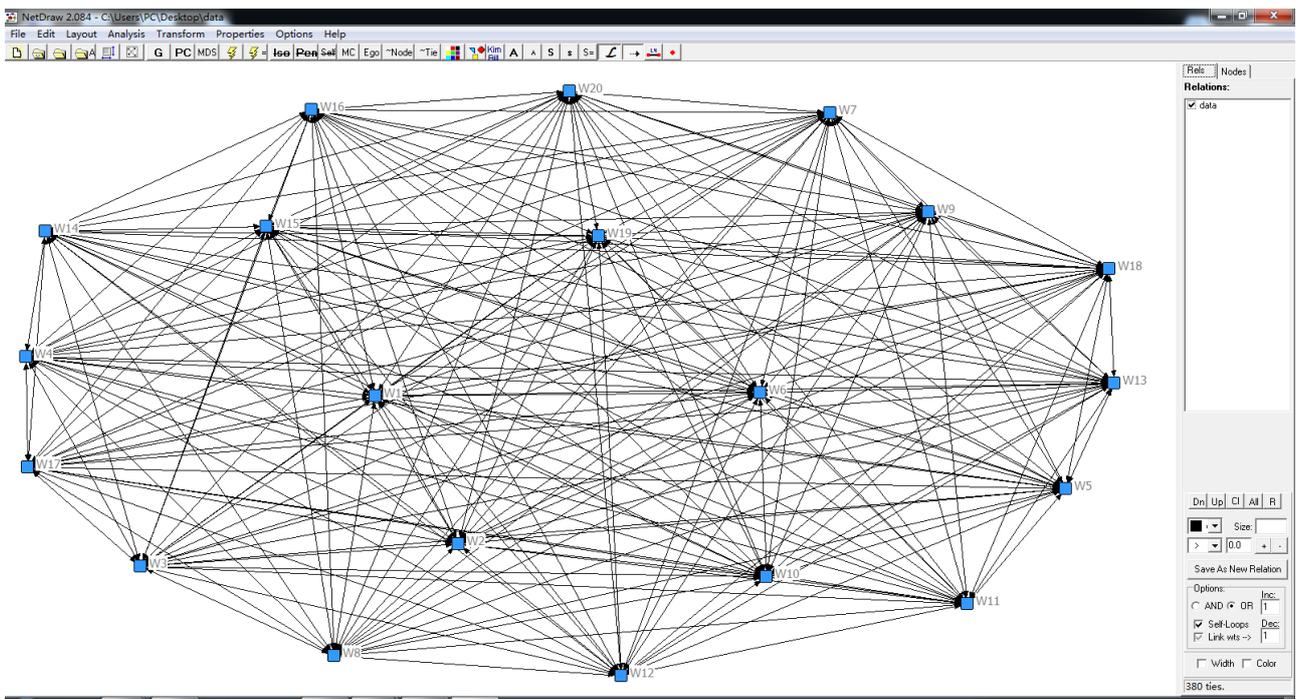


图 1 高频词语义网络图
Fig.1 Semantic network of high frequency words

表 3 绿色包装满意度指标体系（部分）
Tab.3 Green packaging satisfaction index system (partial)

高频词	指标	属性
降解, 公害, 化学反应, ……	环境污染 (I_1)	环保性 (A_1)
循环利用, 回收工艺, 再生回收, ……	材料回收 (I_2)	环保性 (A_1)
有害废物, 过度包装, ……	废弃物减量化 (I_3)	环保性 (A_1)
材料替代, 形状替代, 资源节约, ……	资源利用 (I_4)	环保性 (A_1)
结构原理, 简约型结构, 功能载体, ……	包装造型结构 (I_5)	经济性 (A_2)
易于加工, 包装线改造, ……	加工技术难度 (I_6)	经济性 (A_2)
制造费用, 制造设备, ……	制造成本节约 (I_7)	经济性 (A_2)
常见的原材料, 原材料供应商, ……	材料费用节约 (I_8)	经济性 (A_2)
无毒材料, 安全运输, 安全存储, ……	安全性 (I_9)	宜人性 (A_3)
美化商品, 色彩心理, 色彩表现, ……	视觉感受 (I_{10})	宜人性 (A_3)
品牌宣传, 传递信息, ……	可识别性 (I_{11})	宜人性 (A_3)
操作舒适性, 特殊人机需求, ……	人机协调性 (I_{12})	宜人性 (A_3)
汉字, 拉丁字母, 文字对比, ……	文字设计 (I_{13})	艺术性 (A_4)
构图均衡, 意象图案, ……	设计构图 (I_{14})	艺术性 (A_4)
设计理念, 创意构思, ……	设计创意 (I_{15})	艺术性 (A_4)
色彩对比, 色系对比, ……	色彩设计 (I_{16})	艺术性 (A_4)

2 基于复杂网络的绿色包装满意度指标权重求解

2.1 指标复杂网络及相关定义

为了全面地对绿色包装满意度进行分析, 本文以上文中的绿色包装满意度指标体系为基础, 通过多类利益相关方对指标间关联逻辑的评判, 构建绿色包装满意度指标的复杂网络。由于无向网络属于对称性结构, 可以适度简化计算, 应用较为广泛。本文只考虑指标间是否存在关联关系, 不考虑关联关系的方向性, 因此使用无向网络来描述指标节点间的关联关系。例如, 资源利用 (I_4) 和制造成本节约 (I_7) 存在关联关系, 则在 I_4 和 I_7 之间绘制一条无向边。

在复杂网络理论^[16-19]中, 节点的度、介数和接近中心性分别从网络的局部属性、传播属性和全局属性刻画了节点在网络中的重要性。其中, 节点的度用于表示节点与相邻节点的连边数, 一定程度上体现了节点在网络中的直接影响力。介数则用于描述节点在网络中操纵信息流通的重要程度, 与通过节点的最短路径息息相关。接近中心性对信息的传递和获取具有十分重要的作用, 用以测度网络中节点与其他节点的接近程度; 与其他节点距离越短, 接近中心性越高。相比于其他网络属性, 以上 3 种网络属性可以较为直接地从网络结构中获取, 能够反映出复杂网络中节点的基本特性。因此, 本次研究基于复杂网络理论, 将每个指标作为网络中的一个节点, 将节点的度、介数和接近中心性作为指标权重求解的依据, 通过这 3 种网络属性来获得绿色包装满意度指标的权重。

设在一个无向网络结构中, $Node = \{Node_1, Node_2, \dots, Node_N\}$ 表示网络中所有节点的集合, 对于节点 $Node_i$, 它的度、介数和接近中心性的定义如下。

1) 度。设与节点 $Node_i$ 直接相连的节点数为 Num_i , 则称 Num_i 为 $Node_i$ 的度, 这里 $1 \leq i \leq N$, $Num_i \leq N-1$ 。归一化处理后, 可得节点 $Node_i$ 的度为:

$$D'_i = Num_i / (N-1) \tag{1}$$

从网络局部属性来看, 度值越大, 则与在网络中该节点直接通过边相连的节点越多, 表明该节点越重要。在绿色包装满意度分析的指标网络图中, 节点的度能够较好地反映该指标与其他指标的相关关系。节点的度值越大, 表明该指标与其他指标关系越密切, 该指标越重要, 从局部角度体现了该指标的重要性。

2) 介数。节点 $Node_i$ 的介数定义为:

$$B_i = \sum_{k \neq i \neq m} \frac{\chi_{i,k,m}}{\varphi_{k,m}} \tag{2}$$

式中, $\chi_{i,k,m}$ 表示节点 $Node_k$ 和 $Node_m$ 之间最短路径经过节点 $Node_i$ 的条数, $\varphi_{k,m}$ 表示节点 $Node_k$ 和 $Node_m$ 之间的最短路径条数, $1 \leq k, m \leq N$ 且 $k \neq i \neq m$ 。归一化处理后, 可得节点 $Node_i$ 的介数为:

$$B'_i = \frac{B_i}{(N-1)(N-2)/2} \tag{3}$$

如果某节点是其他节点之间相互通信的必经之路, 在网络的传播特性中类似于“桥”的作用, 则该节点在网络中的作用将非常重要。因此, 节点的介数用来度量节点在网络中对信息流动的影响力大小。在绿色包装满意度分析的指标网络图中, 某指标的介数值越大, 则其对其他指标的影响力越大, 该指标就越重要, 从网络传播角度体现了该指标的重要性。

3) 接近中心性。设节点 $Node_i$ 到节点 $Node_k$ 的最短距离为 $\Theta_{i,k}$ ，先求出节点到网络中其他所有节点的最短距离，再将所有最短距离相加并求倒数，即得到该节点的接近中心性。归一化处理后，节点 $Node_i$ 的接近中心性为：

$$C'_i = (N-1) / \sum_{k=1}^N \Theta_{i,k} \quad (4)$$

在一个复杂网络中，某节点借助于网络传播对其他节点进行影响的功能是通过接近中心性来衡量的，如果某节点的接近中心性的值越大，则该节点越接近于网络的中心，节点重要性越高。在绿色包装满意度分析的指标网络图中，节点的位置反映了其对应的指标在所有指标中的地位，从全局角度体现了该指标的重要性。

2.2 用 PROMETHEE II 法确定指标权重

设指标集合为 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_N\}$ ，这里 $N = 16$ ，指标 I_i 对应无向网络结构中的节点 $Node_i$ ，设指标 I_i 的网络特性集为 $Net = \{Net_1, Net_2, Net_3\}$ ，其中 Net_1, Net_2, Net_3 依次代表节点的度、介数和接近中心性。指标 I_i 在网络特性 Net_h ($h=1,2,3$) 上的特性值用 $Net_{h,i}$ 来表示，可得到网络特性值矩阵 $Net = [Net_{h,i}]_{3 \times N}$ 。

在 PROMETHEE II 法^[19-21]中，高斯型偏好函数与其他偏好函数相比具有非线性变化的特点，与实际决策场景更为切合。设在网络特性 Net_h 上指标 I_i 相对于指标 I_k 的高斯型偏好函数为 $G_{i,k}^h$ ，则有：

$$G_{i,k}^h = \begin{cases} 0 & , v_{i,k}^h \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{(v_{i,k}^h)^2}{2\lambda^2}} & , v_{i,k}^h > 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中， $v_{i,k}^h = Net_{h,i} - Net_{h,k}$ ，参数 λ 一般取 0.2。

考虑所有特性时，指标 I_i 优于指标 I_k 的程度用两个指标的多特性偏好优序指数 $\theta_{i,k}$ 来表示，有：

$$\theta_{i,k} = G_{i,k}^1 + G_{i,k}^2 + G_{i,k}^3 \quad (6)$$

指标 I_i 的离去流量 δ_i^+ 表示该指标优于其他指标的程度，有 $\delta_i^+ = \sum_{k=1}^N \theta_{i,k}$ ；指标 I_i 的注入流量 δ_i^- 表示其

他指标优于该指标的程度，有 $\delta_i^- = \sum_{k=1}^N \theta_{k,i}$ 。因此，指标 I_i 的净流量 $\delta_i = \delta_i^+ - \delta_i^-$ 能从整体上反映该指标的优先程度， δ_i 值越大则指标 I_i 的优先程度越高。这里会出现某些指标净流量为负值的情况，因此需要对所有指标的净流量进行规范化处理，同时为了避免出现净流量最小的指标权重为零的情况，将所有指标的净流量值按大小映射到区间[0.1,0.9]之中，设指标 I_i 的规范化净流量为 δ'_i ，有：

$$\delta'_i = \begin{cases} 0.9, \delta_i = \delta_{\max} \\ \frac{0.8(\delta_i - \delta_{\min})}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} + 0.1, \delta_{\min} < \delta_i < \delta_{\max} \\ 0.1, \delta_i = \delta_{\min} \end{cases} \quad (7)$$

式中， $\delta_{\max} = \max\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N\}$ ， $\delta_{\min} = \min\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N\}$ 。

对各指标的规范化净流量进行归一化处理，得到指标 I_i 的权重为：

$$\omega_i = \frac{\delta'_i}{\sum_{i=1}^N \delta'_i} \quad (8)$$

3 绿色包装方案满意度分析

在绿色包装设计的初期阶段，往往形成多个备选的绿色包装方案。如何对多个备选的绿色包装方案进行满意度分析、得到最优绿色包装方案，是产品推向市场前的必经步骤。依据多类利益相关方专家的评估来求解备选绿色包装方案的指标值，能考虑多类利益相关方的综合评估、充分利用专家的经验 and 智慧，同时能简化求解流程、降低求解难度。然而，专家的评估带有模糊性，使用模糊数来表示评估值相比准确数值更为合理。由于模糊数在形式上有两种，即梯形模糊数和三角模糊数。模糊数一般通过隶属函数来表示，对于梯形模糊数来讲，其隶属函数形式相比三角模糊数更为复杂，更能模拟出专家评估的模糊性，因此本次研究使用梯形模糊数来表示专家对备选绿色包装方案指标值的评估。将常用的九级比较标度的评语和数值进行梯形模糊化，得到对应的梯形模糊数，见表 4。

设某包装企业的备选绿色包装方案有 p 个，有 q 位评估专家。评估专家 r ($1 \leq r \leq q$) 对备选绿色包装方案 s ($1 \leq s \leq p$) 在指标 I_i 上的梯形模糊数评估值为 $\tilde{T}_{s,i}^r = (a_{s,i}^r, b_{s,i}^r, c_{s,i}^r, d_{s,i}^r)$ ，采用算术平均的方法，计算出

表 4 九级比较标度的梯形模糊化
Tab.4 Trapezoid fuzzy number of nine level comparison scale

评语	准确数	梯形模糊数
极端优秀	9	(4,17/3,9,9)
强烈优秀	7	(7/3,3,17/3,9)
明显优秀	5	(3/2,13/7,3,4)
稍微优秀	3	(1,11/9,13/7,7/3)
中等	1	(1,1,1,1)
稍微低劣	1/3	(3/7,7/13,9/11,1)
明显低劣	1/5	(1/4,1/3,7/13,3/2)
强烈低劣	1/7	(1/8,1/5,5/13,1/2)
极端低劣	1/9	(1/9,1/9,3/17,1/4)

所有专家的群决策评估值为：

$$\tilde{T}_{s,i} = (a_{s,i}, b_{s,i}, c_{s,i}, d_{s,i}) \quad (9)$$

式中， $a_{s,i} = \sum_{r=1}^q a_{s,i}^r / q$ ， $b_{s,i} = \sum_{r=1}^q b_{s,i}^r / q$ ， $c_{s,i} = \sum_{r=1}^q c_{s,i}^r / q$ ， $d_{s,i} = \sum_{r=1}^q d_{s,i}^r / q$ 。

然后，通过梯形模糊数的重心形式，将 $\tilde{T}_{s,i}$ 转化为实数形式的指标值，即：

$$T_{s,i} = \frac{(c_{s,i}^2 + c_{s,i}d_{s,i} + d_{s,i}^2) - (a_{s,i}^2 + a_{s,i}b_{s,i} + b_{s,i}^2)}{3(c_{s,i} + d_{s,i} - a_{s,i} - b_{s,i})} \quad (10)$$

计算出所有备选绿色包装方案在各指标上的指标值，从而得到指标值矩阵 $T = [T_{s,i}]_{p \times N}$ 。根据上文得到的指标权重向量 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N]^T$ ，可算得各备选绿色包装方案的满意度依次为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_p$ ，其中 $\Delta_s = T_s \cdot \omega$ ， T_s 为指标值矩阵 T 的第 s 行。将各备选绿色包装方案按满意度从高到低排序，则得到绿色包装方案满意度分析结果，满意度最高的绿色包装方案为最优方案。

4 应用实例

唐三彩是一类贵重的传统工艺品，其包装设计要综合考虑保护产品、便于运输、便于仓储、利于展示产品等特征，在推行“绿水青山就是金山银山”发展理念的社会背景下，包装的绿色性在包装设计中的重要程度也越来越高。某包装企业在对唐三彩进行包装设计时，初步形成了 5 种绿色包装方案，见表 5。

首先构建由多类利益相关方（主要包括包装用户、包装企业的需求分析师、资深企业管理人员、社会与环境资深研究学者和包装方案设计工程师）组成的决策专家组，决策专家组的规模为 50 人。针对通过多视角评论大数据建立的绿色包装满意度指标体系中的 16 个指标，由决策专家组根据自身的经验和智慧来评判 2 个指标间的关联关系，基于最大隶属度

表 5 唐三彩的 5 种绿色包装方案
Tab.5 Five green packaging schemes of tri-colored glazed pottery

序号	绿色包装方案
1	聚氨酯发泡包装方案
2	聚乙烯泡沫包装方案
3	内衬纸浆模塑包装方案
4	气柱袋包装方案
5	聚苯乙烯模塑包装方案

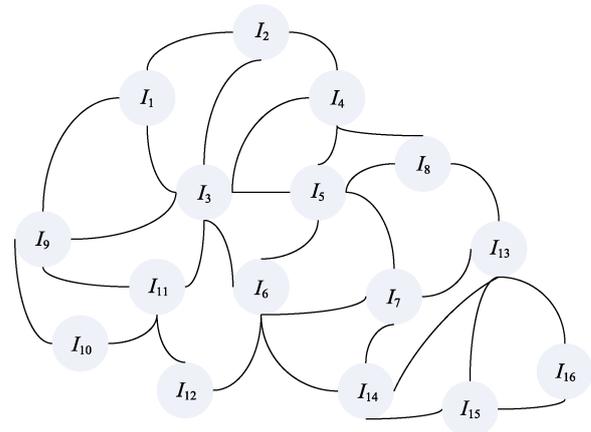


图 2 绿色包装满意度指标形成的复杂网络
Fig.2 Complex network formed by green packaging satisfaction index

原则来集成所有专家的评判结论，若 2 个指标间存在关联关系，即在复杂网络中对应的 2 个节点之间绘制一条无向边，最终得到 16 个绿色包装满意度指标的复杂网络，见图 2。

根据上文中复杂网络中节点网络特性的定义，通过 Matlab 中的 ComplexNetworkPackage 工具可计算出绿色包装满意度指标形成的复杂网络中各节点的网络特性：度 (Net_1)、介数 (Net_2) 和接近中心性 (Net_3)，从而得到网络特性值矩阵 $Net = [Net_{h,i}]_{3 \times 16}$ ，即：

$$Net = \begin{bmatrix} 0.4058 & 0.1270 & 0.4134 & 0.1324 & 0.0975 & 0.2785 & 0.0469 & 0.4575 & 0.4649 & 0.1576 & 0.4706 & 0.4572 & 0.4854 & 0.3003 & 0.1419 & 0.4218 \\ 0.4157 & 0.2922 & 0.4595 & 0.1557 & 0.0357 & 0.3491 & 0.4340 & 0.1787 & 0.2577 & 0.2431 & 0.3922 & 0.1555 & 0.1712 & 0.2060 & 0.0318 & 0.2769 \\ 0.0462 & 0.0971 & 0.3235 & 0.1948 & 0.3171 & 0.4502 & 0.0344 & 0.4387 & 0.3816 & 0.2655 & 0.2952 & 0.1869 & 0.4898 & 0.4456 & 0.1463 & 0.2094 \end{bmatrix}$$

下面使用 PROMETHEE II 法中的高斯型偏好函数来确定指标权重。以指标 I_1 （环境污染）为例，根据网络特性值矩阵 Net 和式(5)， $v_{1,2}^1 = Net_{1,1} - Net_{1,2} = 0.2788 > 0$ ，则在网络特性 Net_1 （度）上 I_1 相对于指标 I_2 的高斯型偏好函数 $G_{1,2}^1 = 0.6215$ ；同理，在网络特性 Net_2 （介数）和 Net_3 （接近中心性）上， I_1 相对于指标 I_2 的高斯型偏好函数分别为 $G_{1,2}^2 = 0.1736$ 和 $G_{1,2}^3 = 0$ 。因此，考虑所有特性，用考虑所有特性时两个指标的多特性偏好优序指数 $\theta_{1,2}$ 来表示指标 I_1 优

于指标 I_2 的程度，即 $\theta_{1,2} = G_{1,2}^1 + G_{1,2}^2 + G_{1,2}^3 = 0.7951$ 。进一步求得 $\theta_{1,3} = 0$ ， $\theta_{1,4} = 1.1776$ ， $\theta_{1,5} = 1.5307$ ， $\theta_{1,6} = 0.2373$ ， $\theta_{1,7} = 0.8019$ ， $\theta_{1,8} = 0.5045$ ， $\theta_{1,9} = 0.2681$ ， $\theta_{1,10} = 0.8479$ ， $\theta_{1,11} = 0.0069$ ， $\theta_{1,12} = 0.5710$ ， $\theta_{1,13} = 0.5263$ ， $\theta_{1,14} = 0.5527$ ， $\theta_{1,15} = 1.4228$ ， $\theta_{1,16} = 0.2140$ 。从而，指标 I_1 （环境污染）的离去流量为 $\delta_1^+ = \sum_{k=1}^{16} \theta_{1,k} = 9.4568$ ，注入流量为 $\delta_1^- = \sum_{k=1}^N \theta_{k,1} = 7.6270$ ，则其净流量为 $\delta_1 = \delta_1^+ - \delta_1^- = 1.8299$ 。所有指标的离去

流量、注入流量和净流量,见表6。

按式(7)对各指标的净流量进行规范化处理,再对规范化净流量进行归一化处理,得到各指标的权重值,见表6。

由上文中构建的50人决策专家组对唐三彩的5种绿色包装方案进行模糊评估,使用梯形模糊数来表达专家对唐三彩绿色包装方案指标值的评估意见。例如,决策专家组对方案1(聚氨酯发泡包装)在指标 I_1 (环境污染)上表现优劣的评语结论为:5人认为“明显优秀”,8人认为“稍微优秀”,15人认为“中等”,8人认为“明显低劣”,14人认为“强烈低劣”。

认为“极端优秀”、“强烈优秀”、“稍微低劣”和“极端低劣”的人数均为0,见表7。

根据式(9),得到方案1在指标 I_1 上的梯形模糊数群决策评估值为 $\tilde{T}_{1,1}=(0.685\ 0,0.790\ 6,1.091\ 0,1.453\ 3)$,再根据式(10),得到方案1在指标 I_1 上的群决策指标值为 $T_{1,1}=1.158\ 5$ 。同理,计算出所有备选绿色包装方案在各指标上的指标值(见表8),从而得到指标值矩阵 $T=[T_{s,i}]_{5 \times 16}$ 。

根据指标权重向量 $\omega=[\omega_1,\omega_2,\dots,\omega_{16}]^T$ 和指标值矩阵 $T=[T_{s,i}]_{5 \times 16}$,算得各备选绿色包装方案的满意度

表6 指标的离去流量、注入流量、净流量、规范化净流量和权重

Tab.6 Outflow amount, inflow amount, net flow amount, normalized net flow amount and weight of each index

指标	离去流量	注入流量	净流量	规范化净流量	权重
I_1	9.456 8	7.627 0	1.829 9	0.610 1	0.068 0
I_2	2.168 0	12.996 2	-10.828 2	0.270 5	0.030 1
I_3	13.661 2	1.022 3	12.638 9	0.9	0.100 3
I_4	1.100 6	12.751 4	-11.650 8	0.248 5	0.027 7
I_5	2.558 5	15.090 4	-12.531 9	0.224 8	0.025 0
I_6	10.971 5	2.738 3	8.233 2	0.781 8	0.087 1
I_7	5.871 7	16.099 1	-10.227 4	0.286 6	0.031 9
I_8	11.293 5	2.871 2	8.422 2	0.786 9	0.087 7
I_9	10.793 7	1.598 6	9.195 1	0.807 6	0.090 0
I_{10}	2.938 6	8.796 9	-5.858 3	0.403 8	0.045 0
I_{11}	12.178 5	1.301 0	10.877 5	0.852 8	0.095 0
I_{12}	6.133 8	6.769 1	-0.635 3	0.543 9	0.060 6
I_{13}	13.357 0	2.999 6	10.357 4	0.838 8	0.093 5
I_{14}	8.567 8	4.170 8	4.397 0	0.678 9	0.075 6
I_{15}	0.427 3	17.612 6	-17.185 2	0.1	0.011 1
I_{16}	6.984 9	4.018 9	2.966 0	0.640 5	0.071 4

表7 决策专家组对5个方案在指标 I_1 上表现优劣的评语结论

Tab.7 The evaluation conclusion of the decision expert group on the performance of five schemes in index I_1

方案	极端优秀	强烈优秀	明显优秀	稍微优秀	中等	稍微低劣	明显低劣	强烈低劣	极端低劣
1	0	0	5	8	15	0	8	14	0
2	1	3	0	2	17	20	0	6	1
3	0	1	3	20	5	1	12	6	2
4	2	6	0	2	0	17	8	0	15
5	3	4	0	6	1	9	1	21	5

表8 5个方案在各指标上的指标值

Tab.8 Values of five schemes in each index

方案	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}
1	1.158 5	1.005 2	3.292 8	2.868 0	3.656 5	1.986 1	3.453 3	1.445 2	2.849 0	2.378 0	3.937 2	1.141 7	1.935 5	1.341 0	2.331 9	1.859 4
2	1.726 8	1.684 2	7.404 9	6.574 6	0.707 7	6.918 4	4.152 2	7.282 9	8.094 7	1.335 3	4.887 8	1.448 3	1.740 8	1.869 9	7.798 5	4.582 3
3	3.273 5	1.330 8	2.387 5	9.911 2	7.715 4	4.179 0	8.227 4	2.916 2	6.619 0	5.389 4	1.022 1	7.932 5	2.488 7	3.618 4	6.472 3	3.450 4
4	6.025 8	2.478 2	1.806 5	8.942 2	0.816 0	5.719 5	8.726 9	3.023 1	2.303 2	6.601 0	4.564 5	5.152 1	0.238 7	0.814 5	2.794 8	5.7819
5	4.850 0	2.377 5	0.006 9	8.503 7	3.998 4	1.173 5	0.669 9	3.186 7	0.637 1	8.813 4	9.116 2	0.591 2	3.830 5	4.035 9	4.595 8	0.659 0

依次为: $\Delta_1 = 2.2677$, $\Delta_2 = 4.5430$, $\Delta_3 = 4.0922$, $\Delta_4 = 3.7532$, $\Delta_5 = 3.2578$ 。按满意度从高到低排序为: 方案 2>方案 3>方案 4>方案 5>方案 1, 最优方案为方案 2 (聚乙烯泡沫包装方案)。

5 结语

绿色包装设计方案满意度分析是保证后续正常推向市场的关键环节, 优选出合适的绿色包装设计方案对企业进一步发展和践行“绿水青山就是金山银山”发展理念有着重要意义。本次研究针对绿色包装满意度分析问题, 提出了一种大数据下复杂网络支持的绿色包装满意度分析方法, 主要贡献为: (1) 通过论坛话题、在线讨论等方式得到真实的多利益相关方评论, 基于利益相关方的视角来构建多视角指标体系, 能客观反映绿色包装在多个利益相关方视角中的真实形象, 明确利益相关方对绿色包装的关注信息, 从而使得建立的满意度指标体系具有较强的普适性, 能更好地与市场环境相吻合; (2) 在确定指标权重时, 充分考虑权重的客观性和决策者的偏好, 基于评价指标间的关联关系, 构建了绿色包装满意度指标体系的复杂网络, 计算绿色包装满意度指标的网络特性, 结合 PROMETHEE II 法, 通过计算指标净流量求解指标权重。本次研究所提出的方法有望为包装行业提供一种有效的绿色包装满意度分析工具, 从而助推包装行业绿色环保目标的实现。

参考文献:

- [1] 付海燕, 刘益, 宋成龙. 印刷包装企业绿色化评价指标体系构建研究[J]. 北京印刷学院学报, 2013, 8(21): 56-58.
FU Hai-yan, LIU Yi, SONG Cheng-long. Study on the Construction of Green Evaluation Index System for Printing and Packaging Enterprises[J]. Journal of Beijing Printing College, 2013, 8(21): 56-58.
- [2] 王金南, 苏洁琼, 万军. “绿水青山就是金山银山”的理论内涵及其实现机制创新[J]. 环境保护, 2017, 45(11): 12-17.
WANG Jin-nan, SU Jie-qiong, WAN Jun. An Analysis of the Theory of “Lucid Waters and Lush Mountains are Invaluable Assets” and Its Innovative Development Mechanism[J]. Environmental Protection, 2017, 45(11): 12-17.
- [3] 徐锋, 纪杨建, 顾新建, 等. 基于主成分分析的产品低碳包装概念设计方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(11): 2009-2016.
XU Feng, JI Yang-jian, GU Xin-jian, et al. Conceptual Design Method for Low-carbon Packaging of Products Based on Principal Component Analysis[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2014, 48(11): 2009-2016.
- [4] 李鸿明, 周义. 一种绿色包装设计评价方法[J]. 包装工程, 2017, 38(13): 208-212.
LI Hong-ming, ZHOU Yi. An Evaluation Method for Green Package Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(13): 208-212.
- [5] 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.
- [6] 郭安福, 李剑峰, 李方义, 等. 基于模糊层次分析法的可降解包装材料绿色度评价[J]. 功能材料, 2010, 41(3): 401-405.
GUO An-fu, LI Jian-feng, LI Fang-yi, et al. Assessment on Green Degree of Biodegradable Packaging Materials based on FAHP Methodology[J]. Journal of Functional Materials, 2010, 41(3): 401-405.
- [7] 李联辉, 莫蓉, 常智勇, 等. 基于平衡权重和改进 TOPSIS 的航空发动机装配任务优先度评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(5): 1193-1201.
LI Lian-hui, MO Rong, CHANG Zhi-yong, et al. Priority Evaluation Method for Aero-engine Assembly Task based on Balanced Weight and Improved TOPSIS[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(5): 1193-1201.
- [8] WANG Z G, MATHIYAZHAGAN K, XU L A, et al. A Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Approach to Analyze the Barriers to Green Supply Chain Management Adoption in a Food Packaging Company [J]. Journal of Cleaner Production, 2016(117): 19-28.
- [9] 李联辉, 许冠英, 高阳, 等. 面向绿色制造的产品加工工艺规划方案评估[J]. 中国机械工程, 2019, 30(17): 2100-2107.
LI Lian-hui, XU Guan-ying, GAO Yang, et al. Evaluation of Product Process Planning Schemes for Green Manufacturing[J]. China Mechanical Engineering, 2019, 30(17): 2100-2107.
- [10] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1): 146-169.
MENG Xiao-feng, CI Xiang. Big Data Management: Concepts, Techniques and Challenges[J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(1): 146-169.
- [11] MEHMOOD I, ULLAH A, MUHAMMAD K, et al. Efficient Image Recognition and Retrieval on IoT-Assisted Energy-Constrained Platforms from Big Data Repositories[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(6):

- 9246-9255.
- [12] GANDIMI A H, DANESHMAND M, JHA R, et al. Nature-Inspired Approaches for IoT and Big Data[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(6): 9213-9216.
- [13] 杜鹏辉, 仇继扬, 彭书涛, 等. 基于 Scrapy 的网络爬虫的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2019, 27(22): 120-123.
- DU Peng-hui, QIU Ji-yang, PENG Shu-tao, et al. Design and Implementation of Web Crawler Based on Scrapy[J]. Electronic Design Engineering, 2019, 27(22): 120-123.
- [14] 杨连报, 李平, 刘艺飞. 文本大数据分析技术在铁路行车安全领域的应用研究[J]. 中国铁路, 2019(8): 57-62.
- YANG Lian-bao, LI Ping, LIU Yi-fei. Application of Text Big Data Analysis Technique in the Field of Railway Train Operation Safety[J]. Chinese Railways, 2019(8): 57-62.
- [15] 吴纯青, 任沛阁, 王小峰. 基于语义的网络大数据组织与搜索[J]. 计算机学报, 2015, 38(1): 1-17.
- WU Chun-qing, REN Pei-ge, WANG Xiao-feng. Survey on Semantic-Based Organization and Search Technologies for Network Big Data[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(1): 1-17.
- [16] 向颖, 莫蓉, 常智勇, 等. 复杂网络脆性理论支持的产品模块演化分析[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(6): 1415-1423.
- XIANG Ying, MO Rong, CHANG Zhi-yong, et al. Evolution of Product Module Based on Complex Network Brittleness Theory[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(6): 1415-1423.
- [17] 谭跃进, 吴俊, 邓宏钟. 复杂网络中节点重要度评估的节点收缩方法[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(11): 79-83.
- TAN Yue-jin, WU Jun, DENG Hong-zhong. Evaluation Method for Node Importance Based on Node Contraction in Complex Networks[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2006, 26(11): 79-83.
- [18] 吴佳益, 徐开俊, 杨泳. 基于复杂网络理论的空中交通网络脆弱性分析[J]. 沈阳工业大学学报, 2019, 41(6): 659-663.
- WU Jia-yi, XU Kai-jun, YANG Yong. Vulnerability Analysis of Air Traffic Network Based on Complex Network Theory[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2019, 41(6): 659-663.
- [19] 耿秀丽, 王婕. 基于复杂网络和偏好顺序结构评估法的产品服务系统设计方案评价[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(9): 2324-2333.
- GENG Xiu-li, WANG Jie. Evaluation of Product Service System Design Based on Complex Network and PROMETHEE II[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(9): 2324-2333.
- [20] DOAN N A V, DESMET Y. An Alternative Weight Sensitivity Analysis for PROMETHEE II Rankings[J]. Omega-International Journal of Management Science, 2018(80): 166-174.
- [21] ZHANG H J, ZHOU Y, GAN Q H. An Extended PROMETHEE-II-Based Risk Prioritization Method for Equipment Failures in the Geothermal Power Plant[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2019, 21(8): 2490-2509.