

融合社会网络和优序关系的绿色包装评价方法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.05.001

周欢^{1,2} 张培颖^{1,2}
刘嘉^{1,2}

1. 湖南工业大学
商学院
湖南 株洲 412007
2. 湖南工业大学
湖南省包装经济研究基地
湖南 株洲 412007

摘要: 在绿色包装方案选择时, 针对准则数量显然超过方案数量且在社会网络环境下群体决策中, 决策专家间信任关系及对准则的偏好关系复杂的特点, 提出融合社会网络和优序关系的绿色包装评价方法。先确定绿色包装方案评价指标, 并利用概率语言术语集表达决策专家的评价信息; 然后利用社会关系网络计算决策专家权重, 并利用偏好关系网络结合可能度公式计算准则权重; 最后用 QUALIFLEX 方法确定备选绿色包装方案的优序关系。通过与其他方法进行对比, 验证了所提方法的有效性和合理性。

关键词: 社会网络分析; 概率语言术语集; QUALIFLEX; 优序关系; 绿色包装
中图分类号: C934 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2022)05-0001-08

引文格式: 周欢, 张培颖, 刘嘉. 融合社会网络和优序关系的绿色包装评价方法 [J]. 包装学报, 2022, 14(5): 1-8.

1 研究背景

随着生态文明建设以及“双碳”战略的推进, 商品的包装是否具有环保性, 是否符合可持续发展战略的要求显得尤为重要。然而, 企业为了避免产品损坏或为吸引消费者购买, 往往会对产品的包装投入大量资源, 从而出现过度包装、包装材料难以降解、包装废弃物处理不当等问题^[1-2]。极大的资源浪费和环境污染既阻碍了可持续发展的进程, 又违背了“双碳”发展的理念。因此, 合理地选择绿色包装方案, 一方面能够降低企业成本, 提高组织竞争力; 另一方面能够减少资源消耗, 保护环境, 推动可持续发展战略的实施。

绿色包装方案的选择, 本质上属于多准则决策问题^[3], 包括决策专家、备选方案、准则和评价信息4个基本要素, 一般有构建指标体系、计算决策专家权

重和准则权重、方案评价、确定方案优序关系4个步骤。然而, 面对越来越复杂的决策问题, 决策专家往往会在评估指标、备选方案、变量选择等方面犹豫不决, 且难以用精确的数值对事物进行判断。为此, R. M. Rodríguez 等^[4]提出犹豫模糊语言术语集 (hesitant fuzzy linguistic term set, HFLTS) 的概念, 将自然语言转换为易于处理的 HFLTS。决策专家对事物进行评价时, 不仅在语言术语的选择方面有所犹豫, 在判断各语言术语的重要程度方面也存在差异。因此, Pang Q. 等^[5]基于 HFLTS 提出概率语言术语集 (probabilistic linguistic term set, PLTS) 的概念, 将多种可能的语言术语及各个语言术语的重要程度均考虑在内, 且允许决策专家在评估过程中提供不完整的概率分布信息^[6-8], 能够避免原始信息的丢失, 更加完整地表达决策专家的评价信息, 从而实现更有效的决策^[9]。在大数据时代, 决策结果不仅会受到评价信息表达

收稿日期: 2022-07-08

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (2021JJ30225); 湖南省教育厅科学研究基金资助优秀青年项目 (21B0553); 湖南工业大学包装经济与管理专项研究基金资助项目 (2021BZJG02); 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目 (CX2236)

作者简介: 周欢 (1982-), 女, 湖南益阳人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要从事决策理论与应用、绿色包装研究, E-mail: 27887182@qq.com

形式的影响，还会因为决策专家间的社会关系及其网络结构特征而发生改变^[10]。社会网络分析（social network analysis, SNA）作为研究网络节点间关系及网络结构对各节点影响的一种社会学研究方法，与传统研究方法相比，更加关注网络成员及结构的优势^[11-13]。因此，被越来越多的研究人员应用于决策领域，以实现更高效、更合理的决策效果^[14-15]。此外，研究者们提出了多种决策方法，如 PROMETHEE、ELECTRE、QUALIFLEX 等方法，以解决复杂多变的决策问题。其中由 J. H. P. Paelinck^[16-18] 提出的 QUALIFLEX 方法是一种非常有效的基于优序关系的决策方法，其适用于准则数量大于方案数量的情况，且与其他基于优序关系的多准则决策方法相比，具有简易性的优点^[19]。经典的 QUALIFLEX 方法，主要用于解决准则值为精确数的决策问题。然而现实环境中，决策者往往难以用精确的数值表达其对事物的评价偏好，因此许多研究者将 QUALIFLEX 方法拓展到解决犹豫模糊环境和概率语言环境中的决策问题^[20-22]，以得到更符合现实决策环境的决策结果。

目前，已有部分研究将 SNA 方法或将 QUALIFLEX 方法应用于概率语言决策环境，其中结合 SNA 和 PLTS 的研究，虽较大程度上利用了隐性信息，挖掘主体之间的潜在关系，但运算程序及迭代次数较多，过程较为复杂；而结合 QUALIFLEX 和 PLTS 的研究，虽避免了上述复杂迭代过程，但未能充分利用决策环境中存在的潜在信息，因而决策结果质量受到了一定影响。为解决上述问题，本文将 SNA 和 QUALIFLEX 两种方法应用于概率语言决策环境下的绿色包装评价问题。具体来说，先从环境、资源、经济、社会 4 个维度确定绿色包装方案评价指标；然后通过 PLTS 表达决策专家对各方案各准则的评价信息；再引入决策专家间社会关系网络表示决策专家之间的信任关系，以此确定决策专家权重，同时引入决策专家 - 准则偏好关系网络表达决策专家对准则的偏好关系，结合可能度公式计算准则权重；最后利用 QUALIFLEX 方法确定备选绿色包装方案的优序关系。

2 方法原理

2.1 问题描述

设决策专家集合为 $D=\{d_h|h=1, 2, \dots, m\}$ ，决策专家权重集合为 $W_c=\{w_{ch}|h=1, 2, \dots, m\}$ ，备选方案

集合为 $X=\{X_i|i=1, 2, \dots, p\}$ ，准则集合为 $C=\{C_j|j=1, 2, \dots, n\}$ ，准则权重为 $W=\{w_j|j=1, 2, \dots, n\}$ ，且 $\sum_{h=1}^m w_{ch}=1, \sum_{j=1}^n w_j=1$ 。决策专家个人评价决策矩阵为 $P^{d_h}=\left[p_{ij}^{d_h}\right]_{p \times n}$ ，

$$p_{ij}^{d_h}=\left\{p_{ij}^{d_h^{(k)}} \mid p_{ij}^{d_h^{(k)}} \in S, k=1, 2, \dots, \#p_{ij}^{d_h}\right\},$$

式中： $p_{ij}^{d_h}$ 为决策专家对方案 X_i 在准则 C_j 下的评估值，以 HFLTTS 表示为

$$L=\left\{L^{(k)} \mid L^{(k)} \in S, k=1, 2, \dots, \#L\right\},$$

其中 $L^{(k)}$ 表示决策专家用语言术语 $L^{(k)}$ 进行评价， $\#L$ 表示 L 中所有不同元素的个数；

S 为一个语言术语集。

决策专家对准则的偏好矩阵为 $A=\left[a_{hj}(p)\right]_{m \times n}$ ，

$$a_{hj}(p)=\left\{a_{hj}^{(k)}(p^{(k)}) \mid a_{hj}^{(k)} \in S, p^{(k)} \in [0, 1], k=1, 2, \dots, \#a_{hj}^{(k)}, \sum_{k=1}^{\#a_{hj}^{(k)}} p^{(k)} \leq 1\right\},$$

$a_{hj}(p)$ 表示决策专家 d_h 对准则 C_j 的偏好值，以 PLTS 表示。

2.2 方法框架

本文提出的 SNA-QUALIFLEX-PLTS 多准则决策方法分为 3 个阶段，如图 1 所示。第一阶段是群体综合评价矩阵生成过程。通过构建决策者社会关系网络以及决策者 - 准则偏好网络，确定决策专家和准则的权重，通过 HFLTTS 表达各决策专家的评价信息，并基于犹豫模糊语言加权（hesitant fuzzy linguistic weighted average, HFLWA）聚合算子生成群体综合评价矩阵。

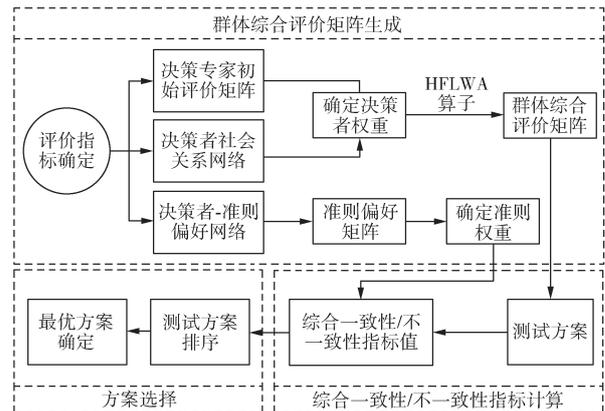


图 1 SNA-QUALIFLEX-PLTS 多准则决策方法框架
Fig. 1 SNA-QUALIFLEX-PLTS multi criteria decision making methodology framework

评价矩阵。第二阶段是综合一致性 / 不一致性指标计算。基于最终群体综合评价矩阵计算各测试方案对之间的综合一致性 / 不一致性指标。第三阶段是方案选择过程。基于综合一致性 / 不一致性指标对各测试方案进行排序, 确定最优方案。

2.3 权重确定

1) 决策专家权重确定

基于社会网络的网络拓扑结构衡量各决策专家的影响力, 从而确定各决策专家的权重。

$$w_{eh} = \frac{I_h}{\sum_{h=1}^m I_h}, \quad (1)$$

其中 I_h 表示决策专家 d_h 的受信任度, 在决策者关系网络中用流入量进行计算。

2) 准则权重确定

受文献 [11] 和 [21] 的启发, 本文提出了一种基于可能度公式的准则权重计算方法。

$$p_{jk}^h = p(C_j^h > C_k^h) = \begin{cases} 1, r_j > r_k, \\ 0, r_j < r_k, \\ \frac{1}{2} p_j p_k, r_j = r_k; \end{cases} \quad (2)$$

$$p_j = \sum_{k=1}^n \sum_{h=1}^m p_{jk}^h, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad k \neq j; \quad (3)$$

$$w_j = \frac{p_j}{\sum_{j=1}^n p_j}. \quad (4)$$

式中: p_{jk}^h 为对于决策专家 d_h , 准则 C_j 比 C_k 重要的可能度;

p_j 为 C_j 优于其他准则的可能度;

w_j 为准则 C_j 的权重;

r_i 为 $L_i(p)$ 的下标。

2.4 决策专家评价信息集结

犹豫模糊语言聚合算子能够有效地将犹豫模糊语言集结为以概率语言表示的决策专家评价信息, 本文基于 HFLWA 聚合算子对各个决策专家的评价信息进行聚合, HFLWA 算子的定义 [23] 如下。

$$\text{HFLWA}(H_s^1, H_s^2, \dots, H_s^m) = \left\{ L^{(k)} \left(\sum_{h=1}^m m_{kh} w_{eh} \right) \mid L^{(k)} \in H_s^h, L^{(k)} \in S, h \in N \right\}, \quad (5)$$

式中: $m_{kh} = \begin{cases} 0, L^{(k)} \notin H_s^h, \\ \frac{1}{\#H_s^h}, L^{(k)} \in H_s^h; \end{cases}$ $H_s^h (h=1, 2, \dots, m)$ 对应的

权重向量为 $W_e = (w_{e1}, w_{e2}, \dots, w_{em})^T$, 且 $\sum_{h=1}^m w_{eh} = 1$ 。

2.5 综合一致性 / 不一致性指标值计算

1) 测试方案排列

p 个备选方案 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_p\}$, 有 $p!$ 种测试排序方案, O_l 代表第 l 种测试方案:

$$O_l = \{\dots, X_{i_s}, \dots, X_{i_k}, \dots\}. \quad (6)$$

2) 基于距离的可能度公式

基于文献 [24] 提出的可能度公式, 对方案对之间的占优关系进行比较。

$$P(X_1 > X_2) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left(1 - \sum_{i \in r^{(L_1(p))}, j \in r^{(L_2(p))}} N(r_1^i, r_2^j) \right) + \sum_{i \in r^{(L_1(p))}, j \in r^{(L_2(p))}} \frac{1}{2} N(r_1^i, r_2^j), \quad (7)$$

$$\text{式中: } R_1 = \begin{cases} 0, A_1 = \emptyset, \\ \frac{1}{\#L_1(p)L_2(p)} \sum_{A_1} (r_1^i - r_2^j) p_1^i p_2^j, A_1 \neq \emptyset; \end{cases}$$

$$R_2 = \begin{cases} 0, A_2 = \emptyset, \\ \frac{1}{\#L_1(p)L_2(p)} \sum_{A_2} (r_2^j - r_1^i) p_1^i p_2^j, A_2 \neq \emptyset; \end{cases}$$

$$N(r_1^i, r_2^j) = \begin{cases} 0, r_1^i = r_2^j, \\ p_1^i p_2^j, r_1^i \neq r_2^j; \end{cases}$$

$L_i(p)$ 为方案 X_i 的评价信息;

r_i^k 为方案 X_i 评价信息中的第 k 个概率语言术语的下标;

A_1 为下标之差大于 0 的集合;

A_2 为下标之差小于 0 的集合。

3) 综合一致性 / 不一致性指标值计算

准则 C_j 下, 第 l 种测试方案下的方案对 X_i 和 X_k 的一致性 / 不一致性指标为

$$I_j^l(X_i, X_k) = P(X_i > X_k) - 0.5; \quad (8)$$

准则 C_j 下, 第 l 种测试方案下的加权一致性 / 不一致性指标为

$$I_j^l = \sum_{X_i, X_k \in X} I_j^l(X_i, X_k); \quad (9)$$

综合一致性 / 不一致性指标为

$$I^l = \sum_{j=1}^n w_j^l I_j^l. \quad (10)$$

2.6 最优方案选择

基于综合一致性 / 不一致性指标 I^l 对最终测试

方案进行排序，最大的 I^l 代表的测试方案排序作为最终方案排序，其中位于第一的方案即为最优方案 X_{opt} ：

$$X_{opt} = \max(I^l)[1]. \quad (11)$$

2.7 方法步骤

本文提出的社会网络环境下，融合概率语言和 QUALIFLEX 的多准则决策方法共 8 个步骤，其中 Step1~4 为第一阶段，Step5~6 为第二阶段，Step7~8 为第三阶段。

Step1 搜集事件相关主体的行为数据并进行处理，构建决策者社会关系网络和决策者 - 准则偏好网络；

Step2 基于决策者社会关系网络结构，通过公式 (1) 计算决策专家权重；

Step3 将决策专家 - 准则偏好关系网络转换为决策专家 - 准则偏好矩阵，并通过公式 (2) ~ (4) 计算各个准则的权重；

Step4 基于各个决策者对各方案的初始评价矩阵 P^{dh} ，利用公式 (5) 生成群体综合评价矩阵 P^{d_i} ；

Step5 对群体综合评价矩阵 P^{d_i} ，根据公式 (6) 罗列出所有的测试方案 O_i ；

Step6 对所有的测试方案，根据公式 (7) 计算准则 C_j 下各方案对的可能度矩阵 P ；

Step7 利用公式 (8) ~ (10) 计算各测试方案的综合一致性 / 不一致性指标 I^l ；

Step8 基于综合一致性 / 不一致性指标值 I^l ，利用公式 (11) 对最终测试方案进行排序，确定出最优方案。

3 算例分析

对于绿色包装评价问题，主要涉及产品包装的生态设计程度 (C_1)、资源可循环利用性 (C_2)、经济效益 (C_3) 和社会效益 (C_4) 4 个方面。决策专家基于以上 4 种准则对 X_1, X_2, X_3 3 种方案进行评估与优选。设计与绿色包装相关领域的 8 位决策专家组成的决策群体 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_8\}$ ，决策专家间的社会关系网络结构如图 2 所示。

决策专家对方案 X_i 在准则 C_j 下的评价信息由概率语言术语集表示，描述各个准则的语言术语集为

$$S = \{s_1 = \text{极差}, s_2 = \text{非常差}, s_3 = \text{差}, s_4 = \text{一般}, s_5 = \text{好}, s_6 = \text{非常好}, s_7 = \text{极好}\}。$$

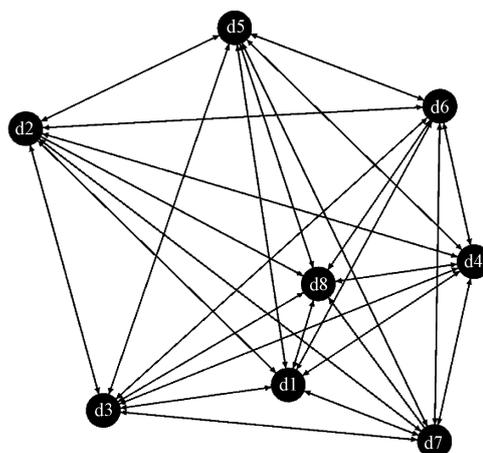


图 2 决策专家间社会关系网络
Fig. 2 Social relationship network among decision-making experts

由于篇幅原因，只给出专家 d_1 对各方案各准则的评价信息如表 1 所示。

表 1 专家 d_1 的评价矩阵

Table 1 Evaluation matrix of expert d_1

| | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| X_1 | $\{s_1, s_3, s_4, s_7\}$ | $\{s_1, s_3, s_6\}$ | $\{s_1, s_2, s_5, s_4\}$ | $\{s_3, s_6, s_7\}$ |
| X_2 | $\{s_3, s_5\}$ | $\{s_1, s_2, s_4, s_6\}$ | $\{s_5, s_7\}$ | $\{s_2, s_6\}$ |
| X_3 | $\{s_4, s_6, s_7\}$ | $\{s_4, s_6, s_6\}$ | $\{s_1, s_2, s_6\}$ | $\{s_3, s_4, s_5, s_6\}$ |

决策专家对准则的偏好关系如图 3 所示，其中图中连边强度表示决策专家对准则的偏好程度，即连边越粗专家对准则的偏好程度越高。

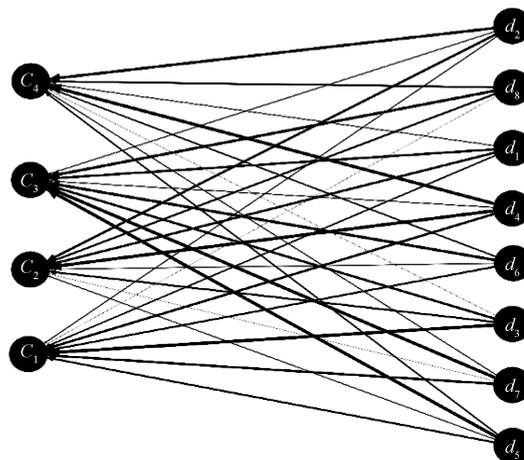


图 3 决策专家 - 准则偏好关系网络
Fig. 3 Decision expert criterion preference relation network

方法的具体步骤如下。

Step1 本文基于算例给出的决策专家间社会关系网络有向图 (见图 2) 展开研究，其中箭头方向由

决策专家 i 指向受其信任的决策专家 j 。

Step2 基于决策专家间社会关系网络有向图, 根据公式 (1) 计算决策专家权重

$$W_e = \{0.1296, 0.1112, 0.1296, 0.1296, 0.1296, 0.1296, 0.1112, 0.1296\}。$$

Step3 将决策专家 - 准则偏好关系网络转化为决策专家对准则 C_j 的偏好矩阵, 如表 2 所示, 其中矩阵中的偏好信息用 PLST 表示。

表 2 专家对准则 C_j 的偏好矩阵

Table 2 The preference matrix of experts for criteria C_j

| | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| d_1 | $\{s_3(1)\}$ | $\{s_3(1)\}$ | $\{s_5(1)\}$ | $\{s_2(1)\}$ |
| d_2 | $\{s_2(1)\}$ | $\{s_3(1)\}$ | $\{s_2(1)\}$ | $\{s_6(1)\}$ |
| d_3 | $\{s_7(1)\}$ | $\{s_4(1)\}$ | $\{s_5(1)\}$ | $\{s_1(1)\}$ |
| d_4 | $\{s_5(1)\}$ | $\{s_7(1)\}$ | $\{s_2(1)\}$ | $\{s_7(1)\}$ |
| d_5 | $\{s_4(1)\}$ | $\{s_2(1)\}$ | $\{s_7(1)\}$ | $\{s_3(1)\}$ |
| d_6 | $\{s_4(1)\}$ | $\{s_2(1)\}$ | $\{s_6(1)\}$ | $\{s_3(1)\}$ |
| d_7 | $\{s_5(1)\}$ | $\{s_1(1)\}$ | $\{s_7(1)\}$ | $\{s_2(1)\}$ |
| d_8 | $\{s_1(1)\}$ | $\{s_4(1)\}$ | $\{s_6(1)\}$ | $\{s_4(1)\}$ |

表 3 群体综合评价矩阵 P^{d_i}

Table 3 Group comprehensive evaluation matrix P^{d_i}

| | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|-------|---|---|---|---|
| X_1 | $\{s_1(0.2238), s_2(0.2485), s_3(0.1466), s_4(0.0926), s_5(0.0926), s_6(0.0756), s_7(0.1203)\}$ | $\{s_1(0.2052), s_2(0.1636), s_3(0.1127), s_4(0.0972), s_5(0.1775), s_6(0.1883), s_7(0.0555)\}$ | $\{s_1(0.0648), s_2(0.0864), s_3(0.2392), s_4(0.2840), s_5(0.0880), s_6(0.0972), s_7(0.1404)\}$ | $\{s_1(0.1127), s_2(0.1188), s_3(0.1235), s_4(0.1743), s_5(0.1296), s_6(0.1667), s_7(0.1744)\}$ |
| X_2 | $\{s_1(0.0324), s_2(0.1188), s_3(0.2948), s_4(0.0880), s_5(0.2824), s_6(0.0324), s_7(0.1512)\}$ | $\{s_1(0.1204), s_2(0.1852), s_3(0.0880), s_4(0.1528), s_5(0.1080), s_6(0.2052), s_7(0.1404)\}$ | $\{s_1(0.1296), s_2(0.2716), s_3(0.0802), s_5(0.2222), s_6(0.1451), s_7(0.1512)\}$ | $\{s_1(0.1296), s_2(0.2655), s_3(0.0370), s_5(0.0432), s_6(0.1235), s_7(0.2006), s_7(0.2006)\}$ |
| X_3 | $\{s_1(0.1080), s_2(0.1312), s_3(0.1528), s_4(0.2284), s_5(0.1528), s_6(0.1404), s_7(0.0864)\}$ | $\{s_1(0.2269), s_2(0.2269), s_3(0.0278), s_4(0.1682), s_5(0.0370), s_6(0.2052), s_7(0.1080)\}$ | $\{s_1(0.1682), s_2(0.1404), s_3(0.1574), s_4(0.1898), s_5(0.1482), s_6(0.1080), s_7(0.0880)\}$ | $\{s_1(0.0972), s_2(0.1296), s_3(0.1296), s_4(0.1451), s_5(0.1451), s_6(0.2006), s_7(0.1528)\}$ |

表 4 准则 C_1 下可能度矩阵

Table 4 Possibility matrix of criteria C_1

| $P(X_i > X_j)$ | X_1 | X_2 | X_3 |
|----------------|--------|--------|--------|
| X_1 | 0.5000 | 0.4778 | 0.4824 |
| X_2 | 0.5222 | 0.5000 | 0.5133 |
| X_3 | 0.5176 | 0.4867 | 0.5000 |

表 6 准则 C_3 下可能度矩阵

Table 6 Possibility matrix of criteria C_3

| $P(X_i > X_j)$ | X_1 | X_2 | X_3 |
|----------------|--------|--------|--------|
| X_1 | 0.5000 | 0.5236 | 0.5150 |
| X_2 | 0.4764 | 0.5000 | 0.4906 |
| X_3 | 0.4850 | 0.5094 | 0.5000 |

表 5 准则 C_2 下可能度矩阵

Table 5 Possibility matrix of criteria C_2

| $P(X_i > X_j)$ | X_1 | X_2 | X_3 |
|----------------|--------|--------|--------|
| X_1 | 0.5000 | 0.4857 | 0.5093 |
| X_2 | 0.5143 | 0.5000 | 0.5205 |
| X_3 | 0.4907 | 0.4795 | 0.5000 |

表 7 准则 C_4 下可能度矩阵

Table 7 Possibility matrix of criteria C_4

| $P(X_i > X_j)$ | X_1 | X_2 | X_3 |
|----------------|--------|--------|--------|
| X_1 | 0.5000 | 0.5098 | 0.5079 |
| X_2 | 0.4902 | 0.5000 | 0.4969 |
| X_3 | 0.4921 | 0.5031 | 0.5000 |

根据 8 个决策专家构成的决策群体对 4 个评价准则进行评分, 通过公式 (2) ~ (4) 确定各个准则权重

$$W = \{0.2422, 0.2109, 0.3281, 0.2188\}。$$

Step4 由 8 个专家构成的决策群体, 基于 4 个评价准则评估 3 个备选方案。基于各个决策者对各方案的初始评价矩阵 P^{d_h} (见表 1), 通过公式 (5) 将个人评价矩阵聚合成一个群体综合评价矩阵 P^{d_i} , 如表 3 所示。

Step5 根据公式 (6) 列出绿色包装的 6 种可能测试方案 $O_i (i=1, 2, \dots, 6)$: (1, 2, 3)、(1, 3, 2)、(2, 1, 3)、(2, 3, 1)、(3, 1, 2)、(3, 2, 1)。

Step6 基于群体综合评价矩阵 P^{d_i} , 利用公式 (7) 计算准则 C_j 下, 方案对 (X_i, X_j) 的可能度矩阵 P , 结果如表 4 ~ 7 所示。

Step7 根据公式 (8) ~ (9), 获得准则 C_j 下, 测试方案 O_i 下的加权一致性 / 不一致性指标 I_j^i 如表 8 所示。

表 8 加权一致性/不一致性指标 I'_j

Table 8 Weighted consistency/inconsistency index I'_j

| | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| O_1 | -0.0265 | 0.0155 | 0.0292 | 0.0146 |
| O_2 | -0.0531 | -0.0255 | 0.0480 | 0.0208 |
| O_3 | 0.0179 | 0.0441 | -0.0180 | -0.0050 |
| O_4 | 0.0531 | 0.0255 | -0.0480 | -0.0208 |
| O_5 | -0.0179 | -0.0441 | 0.0180 | 0.0050 |
| O_6 | 0.0265 | -0.0155 | -0.0292 | -0.0146 |

根据公式 (10) 获得各测试方案的综合一致性/不一致性指标 I' :

$$I^1=0.0096, I^2=0.0021, I^3=0.0066, \\ I^4=-0.0021, I^5=-0.0066, I^6=-0.0096。$$

Step8 基于综合一致性/不一致性指标 I' , 利用公式 (11) 对最终测试方案进行排序, 排序结果为

$O_1 > O_3 > O_2 > O_4 > O_5 > O_6$, 即 $X_1 > X_2 > X_3$ 。基于方案排序, 确定最优方案 $X_{pot}=X_1$ 。

4 评价方法对比分析

在评价信息不确定的情况下, 将 QUALIFLEX 方法应用于概率语言环境的研究较少。文献 [22] 在概率语言环境下, 结合前景理论对 QUALIFLEX 方法进行拓展。文献 [24] 将 HFLTS 转换为 PLTS, 提出了一种新的可能度公式及概率语言 QUALIFLEX 方法。故将本文所用方法中涉及到的社会网络、评价内容、专家权重确定、准则权重确定、比较方法 5 个方面, 与文献 [22]、[24] 中的方法进行对比, 以考察本文方法的特点和优劣, 结果如表 9 所示。

表 9 3 种方法的特点与优劣对比

Table 9 Characteristics and advantages and disadvantages of three methods

| 方法 | 社会网络 | 评价内容 | 专家权重确定 | 准则权重确定 | 比较方法 |
|---------|--------|--------|-----------|-----------------|------------|
| 文献 [22] | 未考虑 | 无 | 基于距离公式的赋权 | 基于可能度公式的赋权 | 基于距离公式 |
| 文献 [24] | 未考虑 | 初创企业选择 | 均值 | 线性权重法 | 基于距离的可能度公式 |
| 本文 | 社会关系网络 | 绿色包装评价 | 基于信任关系的赋权 | 基于偏好关系和可能度公式的赋权 | 基于距离的可能度公式 |

由表 9 可知, 文献 [22] 和 [24] 在计算决策专家权重时, 均未考虑各个决策专家在社会网络中的实际影响力和重要性。其中文献 [24] 认为每个决策专家都是同等重要的, 并通过求均值的方法赋予每个决策专家一样的权重。然而在实际问题中, 决策专家之间的社会关系会对决策结果造成重大影响, 故通过社会网络分析计算各个决策专家的受信任程度以评估其实际影响力和重要性, 进而确定各个决策专家的权重, 是更加合理的赋权方法。文献 [22] 和 [24] 在确定准则权重时, 忽略了决策专家对各准则具有不同的偏好, 其偏好关系会对决策结果产生直接影响。因此, 结合决策专家对准则的偏好关系与决策专家对各准则各方案的评价信息, 得到的准则权重更加符合实际。通过与现有文献 [22] 和 [24] 的研究方法对比可知, 本文所提出的方法能够获得更加贴合实际情况、满足决策需求的决策结果, 提供了更加科学合理的决策。可见, 本文方法具有一定的优越性。

5 结语

决策专家在实际决策中具有社群化、模糊性的特点, 本文基于决策专家间信任关系网络和决策专

家对准则的偏好关系网络, 提出了一种新的 SNA-QUALIFLEX-PLTS 多准则决策方法。该方法具有以下优点:

- 1) 在决策专家对绿色包装评价过程中, 以 PLTS 的形式对不同方案不同准则做出评价, 可以较好地体现决策专家在评价时的模糊性特点。
- 2) 通过决策专家之间的信任关系构建决策者信任关系网络, 并将其引入决策专家权重计算过程, 使计算结果更为合理。
- 3) 基于决策专家对准则的偏好关系网络, 提出准则之间的可能度公式, 并将其应用于准则权重的计算, 比现有方法在确定准则权重时考虑得更加全面。
- 4) 使用 QUALIFLEX 方法, 一方面更加符合准则数量大于方案数量的决策情况, 另一方面可以降低决策过程的复杂程度, 较好地平衡隐性信息利用与决策效率之间的一致性。

在以后的研究中, 将从以下两个方面进行优化:

- 1) 通过获取真实数据以及不同类型的数据, 构建决策专家间的社会关系网络及决策专家对准则的偏好关系网络。

2) 进一步将决策专家之间的相似关系引入网络构建中。

参考文献:

- [1] 张云杰. 包装设计中的低碳理念实现: 评《绿色低碳理念下的创新包装设计与应用》[J]. 环境工程, 2019, 37(8): 201.
ZHANG Yunjie. Realization of Low-Carbon Concept in Packaging Design: Comment on Innovative Packaging Design and Application under Green Low-Carbon Concept[J]. Environmental Engineering, 2019, 37(8): 201.
- [2] 孙伟. 浅谈绿色物流包装[J]. 产业创新研究, 2022(8): 69-71.
SUN Wei. Discussion on Green Logistics Packaging[J]. Industrial Innovation, 2022(8): 69-71.
- [3] 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 Xiaodong. 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.
- [4] RODRÍGUEZ R M, MARTÍNEZ L, HERRERA F. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets[C]//Advances in Intelligent and Soft Computing. Berlin: Springer, 2011: 287-295.
- [5] PANG Q, WANG H, XU Z S. Probabilistic Linguistic Term Sets in Multi-Attribute Group Decision Making[J]. Information Sciences, 2016, 369: 128-143.
- [6] MA Z Z, ZHU J J, CHEN Y. A Probabilistic Linguistic Group Decision-Making Method from a Reliability Perspective Based on Evidential Reasoning[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2020, 50(7): 2421-2435.
- [7] LIU P D, TENG F. Probabilistic Linguistic TODIM Method for Selecting Products through Online Product Reviews[J]. Information Sciences, 2019, 485: 441-455.
- [8] YU W W, ZHANG H, LI B Q. Operators and Comparisons of Probabilistic Linguistic Term Sets[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2019, 34(7): 1476-1504.
- [9] HUANG J, LIU H C, DUAN C Y, et al. An Improved Reliability Model for FMEA Using Probabilistic Linguistic Term Sets and TODIM Method[J]. Annals of Operations Research, 2022, 312(1): 235-258.
- [10] 姚升保, 古森. 移情关系影响下的群体共识决策模型研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(11): 203-214.
YAO Shengbao, GU Miao. A Consensus Model for Group Decision Making Under the Influence of Empathy[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(11): 203-214.
- [11] 陈绍晴, 池韵雯, 陈彬. 城市资源可持续管理的联合网络分析: 综述与展望[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 20-33.
CHEN Shaoqing, CHI Yunwen, CHEN Bin. Integrated Network Analysis of Sustainable Urban Resources Management: Review and Prospect[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(11): 20-33.
- [12] 罗晓君. 社会网络分析研究综述[J]. 营销界, 2019(51): 100-101.
LUO Xiaojun. A Summary of Social Analysis Research[J]. Marketing Industry, 2019(51): 100-01.
- [13] LI N, HUANG Q, GE X Y, et al. A Review of the Research Progress of Social Network Structure[J]. Complexity, 2021, 2021: 6692210.
- [14] 徐选华, 余紫昕. 社会网络环境下基于公众行为大数据属性挖掘的大群体应急决策方法及应用[J]. 控制与决策, 2022, 37(1): 175-184.
XU Xuanhua, YU Zixin. A Large Group Emergency Decision Making Method and Application Based on Attribute Mining of Public Behaviour Big Data in Social Network Environment[J]. Control and Decision, 2022, 37(1): 175-184.
- [15] 赵萌, 潘睿莹, 肖启锐. 基于三维信任网络的联合风险投资多属性群决策模型[J]. 管理评论, 2021, 33(6): 98-110.
ZHAO Meng, PAN Ruiying, XIAO Qirui. Multi-Attribute Group Decision Making Model of the Venture Capital Syndication Based on Three-Dimensional Trust Network[J]. Management Review, 2021, 33(6): 98-110.
- [16] PAELINCK J H P. Qualitative Multiple Criteria Analysis, Environmental Protection and Multiregional Development[J]. Papers of the Regional Science Association, 1976, 36(1): 59-74.
- [17] PAELINCK J. Qualitative Multicriteria Analysis: An Application to Airport Location[J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 1977, 9(8): 883-895.
- [18] PAELINCK J H P. Qualiflex: A Flexible Multiple-Criteria Method[J]. Economics Letters, 1978, 1(3): 193-197.
- [19] CHEN T Y, CHANG C H, RACHEL LU J F. The

- Extended QUALIFLEX Method for Multiple Criteria Decision Analysis Based on Interval Type-2 Fuzzy Sets and Applications to Medical Decision Making[J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 226(3): 615–625.
- [20] HE T T, WEI G W, WU J, et al. QUALIFLEX Method for Evaluating Human Factors in Construction Project Management with Pythagorean 2-Tuple Linguistic Information[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2021, 40(3): 4039–4050.
- [21] DONG J Y, CHEN Y, WAN S P. A Cosine Similarity Based QUALIFLEX Approach with Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Financial Performance Evaluation[J]. *Applied Soft Computing*, 2018, 69: 316–329.
- [22] TIAN X L, XU Z S, WANG X X, et al. Decision Models to Find a Promising Start-up Firm with Qualiflex Under Probabilistic Linguistic Circumstance[J]. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 2019, 18(4): 1379–1402.
- [23] 刘琦. 概率语言多属性决策方法及其应用研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
- LIU Qi. Probability Linguistic Multiple Attribute Decision Making Method and Its Application[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2018.
- [24] FENG X Q, LIU Q, WEI C P. Probabilistic Linguistic QUALIFLEX Approach with Possibility Degree Comparison[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2019, 36(1): 719–730.

(责任编辑: 邓光辉)

Evaluation Method of Green Packaging Based on Social Network and Priority Relation

ZHOU Huan^{1,2}, ZHANG Peiying^{1,2}, LIU Jia^{1,2}

(1. College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Province Packaging Economy Research Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In the selection of green packaging schemes, in view of the fact of the number of criteria obviously exceeding the number of schemes, and the complexity in the trust relationship among decision-making experts and the preference relationship for criteria in group decision-making under the social network environment, a green packaging scheme evaluation method integrating social network and priority relationship is proposed. Firstly, the evaluation index of green packaging schemes is determined, and the evaluation information of decision-making experts is expressed by using the probabilistic linguistic term set. Then, the weight of decision-making experts is calculated by using social relationship network analysis, and the weight of criteria is calculated by using preference relationship network analysis and probability formula. QUALIFLEX method is used to determine the priority relationship of alternative green packaging schemes. The validity and rationality of the proposed method are verified by comparing with other methods.

Keywords: social network analysis; probabilistic linguistic term set; QUALIFLEX; priority relation; green packaging