基于 AHP-TOPSIS 的可持续包装设计最优方案的筛选

李娜[1]，李小东[1]，唐东芳[2]
（1.东莞职业技术学院，广东 东莞 523808；2.中华商务联合印刷有限公司，广东 深圳 518111）

摘要：目的 为定量评价包装设计方案的可持续性，提供一种基于 AHP 和 TOPSIS 的最优方案筛选方法。**方法** 充分考虑包装产品设计中的材料、生产、运输、销售、处理及回收等环节，构建可持续包装设计方案的三级评价体系。将 AHP 与 TOPSIS 有机结合，建立可持续包装设计方案的评价模型，采用 AHP 法构建判断矩阵，确定包装设计方案指标的权重，采用 TOPSIS 法计算评价指标最优集和最劣集，得到不同设计方案的优劣排序。**结果** 实例分析了同一茶叶产品的 3 种可持续包装设计方案，得出 3 种设计方案的优越度分别为 0.7182, 0.7503, 0.2673，牛皮纸和加厚卡纸设计的泡袋礼盒的设计方案为最优方案。**结论** 实验表明，AHP 和 TOPSIS 构建的评价模型，能够合理、高效地对可持续包装设计方案的优劣进行排序，为可持续包装设计方案的优化提供了有益参考。

关键词：层次分析法；逼近理想排序法；可持续包装；设计；评价模型
中图分类号：TB482 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2020)23-0242-07
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.23.034

Selection of the Best Sustainable Packaging Design Scheme Based on AHP-TOPSIS

LI Na[1], *LI Xiao-dong*[1], *TANG Dong-fang*[2]
(1.Dongguan Polytechnic, Dongguan 523808, China; 2.C&C Joint Printing Co., Ltd., Shenzhen 518111, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an optimal scheme selection method based on AHP and TOPSIS to quantitatively evaluate the sustainability of packaging design scheme. The material, production, transportation, sales, treatment and recycling in the design of packaging products were taken into full consideration to establish a three-level evaluation system of sustainable packaging design scheme. The evaluation model of sustainable packaging design scheme was established by combining AHP and TOPSIS. The judgment matrix was constructed by AHP method, and the weight of packaging design scheme index was determined. TOPSIS method was used to calculate the best set and the worst set of evaluation index to get the order of advantages and disadvantages of different design schemes. Three kinds of sustainable packaging design schemes of the same tea product were analyzed with examples. The superiority of the three design schemes was 0.7182, 0.7503 and 0.2673 respectively. The design scheme of the bag gift box designed by Kraft paper and thickened card paper was the best scheme. The experiment shows that the evaluation model constructed by AHP and TOPSIS can sort the advantages and disadvantages of sustainable packaging design scheme reasonably and efficiently. It provides a useful reference for the optimization of sustainable packaging design scheme.

KEY WORDS: AHP; TOPSIS; sustainable packaging; design; evaluation model

收稿日期：2020-02-08
基金项目：广东省科技厅青年创新人才类项目（2018GkQNCX044）
作者简介：李娜（1984—），女，硕士，东莞职业技术学院讲师，主要研究方向为绿色包装材料及产品设计。

随着国际标准化一系列环境保护制度的制定，环境意识、生态意识成为设计者关注的重点，减量化、可循环、可再利用的包装设计也必将成为新的时代需求。虽然国家已出台相关政策及标准来推进可持续包装，但是可持续包装产品的开发因涉及很多环节，如材料、生产、回收、处理、运输等，在实际操作中仍存在诸多问题。包装设计方案的可持续性的衡量与评价也一直缺乏统一的、具体的评价体系。近几年，有很多学者对可持续包装设计方案的可持续性评价进行了研究。主要采用了信息熵理论、模糊层次分析法构建隶属函数[1]，或者是通过建立简单的数学模型[2]，进行包装材料或者包装产品的可持续性的评测，但大部分的评价方法对样本的数量要求较高，不同指标的隶属函数的确定也有很大的主观性，因此，文中充分考虑包装设计方案的生命周期过程，确定包装设计方案的评价体系，利用 AHP 法确定权重，TOPSIS 法计算不同包设计方案与最优方案的接近度，评价同一产品不同可持续包装设计方案的优劣。

1　可持续包装设计的评价体系

根据可持续包装设计评价指标的复杂性和不确定性，提出可持续包装设计评价指标的建立原则：可持续包装设计评价指标应该包含包装产品的设计、印刷、运输及后期处理；评价指标通过数据采集或者计算的方式，获取客观的数据；考虑到可持续包装影响因素的复杂性，应对评价指标进行分层，便于分析评价指标对结果的影响。

综合分析可持续包装的内涵，文中将包装产业的可持续包装设计的评价进行指标化，并根据评价指标间的相互关系，分成 3 个层次：目标层即待解决的问题；准则层为实现目标采取的方案；方案层是具体的措施。运用层次法对包装产品的可持续性影响因素逐一分析，并给予唯一的评价值，确保评价结果直观、有效。

从可持续包装设计的整个生命周期来看[3—4]，可持续包装设计应该满足用料少、成本低、浪费少、易实现、可循环、可回收等要求。针对影响可持续包装的主要环节，确定可持续包装的准则层即一级评价指标为包装材料、包装设计和包装成本；根据一级评价指标，进一步分解其影响因素，得出关键指标，设置二级评价指标，构建了相应的三级评价体系[5]，见图 1。其中一级评价指标用 U_1，U_2 和 U_3 表示，二级评价指标用(U_{i1}，U_{i2}…U_{im})表示，其中 i=1，2…m。二级指标具体的指标含义见表 1。

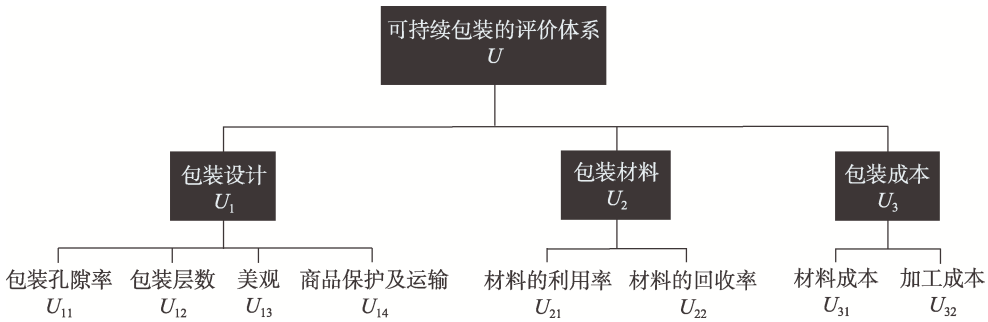

图 1　可持续包装的评价体系

Fig.1 Evaluation system of sustainable packaging

表 1　二级指标的含义

Fig.1 Meaning of secondary indexes

二级指标	说明
包装空隙率 U_{11}	商品销售包装内，除去商品本身体积外的体积与商品销售包装总体积的比率
包装层数 U_{12}	完全包裹产品的包装层数
美观 U_{13}	产品的装潢设计及结构设计的美观性。将商品美观设定为 5 个等级，并赋值为 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9，有行业专家打分的平均值确定最终结果
商品保护及运输 U_{14}	商品存储和运输过程中包装的方便性，稳定性和快捷性等。将商品保护和运输分为 5 个等级，并赋值为 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9，邀请行业专家打分的平均值确定最终结果
材料的利用率 U_{21}	使用材料与材料总量的比值
材料的回收率 U_{22}	纸类材料回收利用率根据 2018 年中国造纸工业年度报告的国内平均回收率所得；马口铁回收率根据中国包装技术协会的数据所得
材料成本 U_{31}	原材料价格与商品售价的比值
加工成本 U_{32}	产品加工价格与商品售价的比值

2 可持续包装设计评价模型

2.1 层次分析法（AHP）模型

层次分析法（AHP）[6]由美国的 T. L. Satty 提出，针对复杂的决策性问题构建多层次分析结构模型，适用于难以量化而又必须确定各项指标权重的疑难问题。AHP 法的实现主要分成以下 3 个部分[7—8]。

2.1.1 构造判断矩阵

采用 1—9 级的标定法[9—10]，见表 2。对同一级别的包装设计方案的评价指标之间，两两比较其相对重要度，构成判断矩阵 $\boldsymbol{X}$。

$$\boldsymbol{X}=\begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nn} \end{pmatrix} \tag{1}$$

式中：$x_{ij}=1/x_{ij}$。

表 2 判断矩阵标度定义

Tab.2 Definition of judgment matrix scale

标度	含义
1	2 个指标相比，同等重要
3	2 个指标相比，前者稍重要
5	2 个指标相比，前者比较重要
7	2 个指标相比，前者很重要
9	2 个指标相比，前者非常重要
2, 4, 6, 8	表上述相邻标度的中间值
倒数	代表同一层次结构的 2 个指标重要性相反

2.1.2 判断矩阵的有效性

$$C_{\mathrm{r}}=(\lambda_{\max}-n)/((n-1)R) \tag{2}$$

矩阵根据专家的评判指标结果构建，需要通过一致性比值 C_{r} 来判断矩阵的有效性。当 C_{r} 小于 0.1 时，判断矩阵一致性符合要求，其中平均一致性指标 R 与矩阵阶数之间关系[11]见表 3。

2.1.3 计算一级和二级指标的权重

将最大特征根对应的特征向量进行归一化处理，得到指标权重：$P=\{p_1,p_2\cdots p_n\}$。

2.2 TOPSIS 模型

TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)也称为逼近理想值排序法[12]，是针对一题多案进行决策分析的方法，通过已经实现的设计方案，得到各项指标的最优集和最劣集，判断其他方案与最优集接近的程度来进行排序[13]。具体过程如下所述。

表 3 平均随机一致性指标的取值

Tab.3 Value of average random consistency index

n	R
1	0
2	0
3	0.58
4	0.9
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45

2.2.1 数据的归一化处理

若包装设计方案 m 种，二级评价指标 n 个，则原始数据矩阵 $\boldsymbol{B}=(B_{ij})_{m\times n}$。归一化数据处理后，得到标准化矩阵为 $\boldsymbol{C}=(C_{ij})_{m\times n}$，其中：

$$C_{ij}=B_{ij}/\sqrt{\sum_{i=1}^{m}B_{ij}^2}\quad i=1,2\cdots m,j=1,2\cdots n \tag{3}$$

2.2.2 建立加权标准化矩阵

设指标权重向量为 $\boldsymbol{P}=[p_1,\ p_2\ldots p_n]^{\mathrm{T}}$，则加权标准化矩阵 $\boldsymbol{D}$：

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{B}=\begin{pmatrix} p_1c_{11} & p_2c_{12} & \cdots & p_nc_{1n} \\ p_1c_{21} & p_2c_{22} & \cdots & p_nc_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_1c_{m1} & p_2c_{m2} & \cdots & p_nc_{mn} \end{pmatrix} \tag{4}$$

2.2.3 确定设计方案评价指标的最优解和最劣解

假设最优解为 D^+，最劣解为 D^-，则：

$$\begin{cases} D_j^+=(d_1^+,d_2^+\cdots d_m^+)= \\ \left\{\max\limits_i d_{ij}\,\middle|\,j\in J_1;\min\limits_i d_{ij}\,\middle|\,j\in J_2\right\} \\ D_j^-=(d_1^+,d_2^+\cdots d_m^+)= \\ \left\{\min\limits_i d_{ij}\,\middle|\,j\in J_1;\max\limits_i d_{ij}\,\middle|\,j\in J_2\right\} \end{cases}\quad i=1,2\cdots m,j=1,2\cdots n \tag{5}$$

式中：J_1 为收益型指标集；J_2 为损耗型指标集[14]。

2.2.4 第 i 种可持续包装设计方案与最优、最劣解的差异

分别计算不同评价方案与最优和最劣解的差异，第 i 种评价方案与最优解的差异 E^+ 与最劣解的差异 E^-，见式（6）和式（7）。

$$E_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(d_{ij}-d_j^+)^2}\quad j=1,2\cdots m \tag{6}$$

$$E_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(d_j^--d_{ij})^2}\quad j=1,2\cdots m \tag{7}$$

2.2.5　计算不同设计方案与最优解的相似度

根据 H_i 值的排序，数值越大，设计方案对应的评价指标越优[15]。

$$H_i = E_i^- / (E_i^+ + E_i^-) \quad i = 1, 2 \cdots m \tag{8}$$

2.2.6　可持续包装设计方案综合评定

设计方案的一级评价指标和与最优解相似度的加权，可以得到设计方案的可持续性评价值 F，见式（9）。F 越大，方案的可持续性越高，F 越小，方案的可持续性越低。

$$F = W \times \boldsymbol{H} \tag{9}$$

式中：F 为设计方案的综合评定结果；$\boldsymbol{H}$ 为各种设计方案与最优解相对近似度构成的矩阵；W 为层次分析法得到的一级指标权重。

3　实例分析

选取某一种茶叶包装的 3 种包装设计方案进行评测。该茶叶的包装采用纸袋、纸罐和马口铁等 3 种情况，是现在市场上非常典型的、常见的茶包装。3 种包装设计方案的原始数据均按照容纳 150 g 产品所产生的包装费用为准，3 种设计方案的产品信息如下所述。

1）设计方案 1。由纸袋和纸罐组成，单罐的内装物质量约为 150 g，两罐装，纸罐外尺寸为 83 mm×83 mm×160 mm、手提袋尺寸为 200 mm×93 mm×200 mm。

2）设计方案 2。采用牛皮纸和加厚卡纸设计的泡袋礼盒，整体内装物质量约为 150 g，礼盒外包装尺寸为 170 mm×70 mm×238 mm，手提袋尺寸为 178 mm×80 mm×243 mm。

3）设计方案 3。采用马口铁、卡纸、特种纸设计而成，单罐的内装物质量约为 50 g，三罐装，马口铁外尺寸为 80 mm×80 mm×85 mm，礼盒外尺寸为 345 mm×135 mm×95 mm，手提袋尺寸为 360 mm×105 mm×165 mm。

由于设计方案 1 的茶叶总的内装物质量为 300 g，在获取该设计方案的各项数据时，是通过将数据除以 2 的方式，获得设计方案 1 的原始数据。

3.1　3 种设计方案的原始数据

根据表 1 的描述，不同的评价指标采用不同的方式获得原始数据，结果见表 4。其中包装空隙率和包装层数是根据包装产品的实物计算所得；美观、商品保护及运输这 2 个指标则是邀请 3 名不同企业的包装设计专家打分求平均值所得；材料利用率、材料成本、加工成本是由生产包装的企业提供数据；材料的回收率采用的是中国造纸工业年度报告和中国包装技术协会提供的年度材料平均利用率。

3.2　数据的归一化处理

根据式（3），对原始数据进行归一化处理，具体结果见表 5。

3.3　确定可持续包装设计方案的各项指标权重

有专家根据 1—9 级评分表，对不同指标进行打分，得到同级指标间判断矩阵为：

$$\boldsymbol{U} - \boldsymbol{U}_i = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, \boldsymbol{U}_1 - \boldsymbol{U}_{1j} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 1/6 \\ 1/2 & 5 & 1 & 1/2 \\ 1 & 6 & 2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{U}_2 - \boldsymbol{U}_{2i} = \begin{bmatrix} 1 & 0.33 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}, \boldsymbol{U}_3 - \boldsymbol{U}_{3j} = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

各判断矩阵的一致性情况见表 6，一致性均符合要求。

根据判断矩阵和 $\lambda_{\max}$，得到各项指标的权重见表 7。

表 4　3 种包装设计方案的相关指标数据

Tab.4 Relevant index data of three packaging design schemes

一级指标	二级指标	设计方案 1	设计方案 2	设计方案 3
包装设计 U_1	包装空隙率 U_{11}	0.455	0.397	0.586
	包装层数 U_{12}	3	2	3
	美观 U_{13}	0.767	0.633	0.833
	商品保护及运输 U_{14}	0.633	0.767	0.833
包装材料 U_2	材料的利用率 U_{21}	0.835	0.787	0.798
	材料的回收率 U_{22}	0.476	0.476	0.3
包装成本 U_3	材料成本 U_{31}	0.01	0.006	0.31
	加工成本 U_{32}	0.039	0.028	0.71

表 5 标准化的数据
Tab.5 Standardized data

一级指标	二级指标	设计方案 1	设计方案 2	设计方案 3
包装设计 U_1	包装空隙率 U_{11}	0.5407	0.4718	0.6964
	包装层数 U_{12}	0.6396	0.4264	0.6396
	美观 U_{13}	0.5912	0.4879	0.6421
	商品保护及运输 U_{14}	0.4879	0.5913	0.6421
包装材料 U_2	材料的利用率 U_{21}	0.5974	0.5631	0.5709
	材料的回收率 U_{22}	0.6458	0.6458	0.4071
包装成本 U_3	材料成本 U_{31}	0.0322	0.0193	0.9992
	加工成本 U_{32}	0.0548	0.0393	0.9977

表 6 判断矩阵一致性检查
Tab.6 Consistency check results of judgment matrix

判断矩阵	λ_{max}	RI	CR	一致性（CR 值）
$\boldsymbol{U}-\boldsymbol{U}_i$	3.0102	0.58	0.0088	<0.1
$\boldsymbol{U}_1-\boldsymbol{U}_{1i}$	4.0494	0.90	0.0183	<0.1
$\boldsymbol{U}_2-\boldsymbol{U}_{2i}$	2	0	0	<0.1
$\boldsymbol{U}_3-\boldsymbol{U}_{3i}$	2	0	0	<0.1

表 7 各项指标的权重
Tab.7 Weight of each index

评价指标	包装设计 U_1（0.5396）	包装材料 U_2（0.297）	包装成本 U_3（0.1634）	综合权重
包装空隙率 U_{11}（0.3569）	0.3569×0.5396			0.1926
包装层数 U_{12}（0.0578）	0.0578×0.5396			0.0312
商品保护及运输 U_{13}（0.2141）	0.2141×0.5396			0.1155
美观 U_{14}（0.3712）	0.3712×0.5396			0.2003
材料的利用率 U_{21}（0.75）		0.75×0.297		0.2227
材料的回收率 U_{22}（0.25）		0.25×0.297		0.0742
材料成本 U_{31}（0.3333）			0.3333×0.1634	0.0545
加工成本 U_{32}（0.6667）			0.6667×0.1634	0.1089

从一级指标的重要度来看，包装设计>包装材料>包装成本，包装设计仍然是最重要的环节。从二级指标重要度来看，最高的重要度是材料的利用率，重要度为 0.2227，也说明在环境越来越被重视的今天，包装设计方案的环境友好性将是评价绿色性的重要指标。

3.4 计算包装设计方案中的最优向量和最劣向量

加权标准化矩阵为：

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{B}=\begin{pmatrix} 0.1041 & 0.0199 & 0.0683 & 0.0977 & 0.1330 & 0.0479 & 0.0017 & 0.0059 \\ 0.0909 & 0.0133 & 0.0564 & 0.1184 & 0.1254 & 0.0479 & 0.0011 & 0.0043 \\ 0.1341 & 0.0199 & 0.0742 & 0.1286 & 0.1271 & 0.0302 & 0.0544 & 0.1086 \end{pmatrix}$$

最优解集为：

$D_j^+=[0.0909,0.0133,0.0742,0.1286,0.1330,0.0479,0.0011,0.0043]$

最劣解集为：

$D_j^-=[0.1341,0.0199,0.0564,0.0977,0.1254,0.0302,0.0544,0.1086]$

3.5　综合评价指标

3 种可持续包装设计方案对应的最优解、最劣解、与最优解的相似度，见表 8。

表 8　可持续包装设方案的数据指标
Tab.8 Data indicators of sustainable packaging design scheme

指标	方案	D^+	D^-	H_i
包装设计	1	0.0347	0.0323	0.4821
	2	0.0205	0.0484	0.7025
	3	0.0437	0.0357	0.4496
包装材料	1	0	0.0193	1
	2	0.0076	0.0177	0.6996
	3	0.0187	0.0017	0.0833
包装成本	1	0.0017	0.1154	0.9855
	2	0	0.1171	1
	3	0.1172	0	0

3.6　最优方案的确定

层次分析法确定一级评价指标的权重：

$$W=[0.5396,0.297,0.1634]$$

3 种设计方案与最优解相似度构造的评判矩阵：

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix}0.4821 & 0.7025 & 0.4496\\ 1 & 0.6996 & 0.0833\\ 0.9855 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

最优方案的综合评判矩阵：

$$\boldsymbol{F}=[0.7182,0.7503,0.2673]$$

综上可得，3 种可持续包装设计方案的优越度为：方案 2（0.7503）>方案 1（0.7182）>方案 3（0.2673）。从可持续包装设计的角度看，采用牛皮纸和加厚卡纸设计的泡袋礼盒为最优方案。

4　结语

运用 AHP 法，根据各专家对 1—9 度评分表的评分数据，建立了较为完整的可持续包装设计方案的评价体系，从包装设计、包装材料和包装成本等 3 个方面确定了 8 个二级指标。

AHP 与 TOPSIS 相结合，既考虑到了 AHP 的主观性，也注意到 TOPSIS 法对指标权重的忽视，丰富和发展了可持续包装设计方案的评价方法，该方法能够做出更为科学、全面、准确、有理论依据的判断，为可持续包装设计方案的绿色性的评价提供了有效参考。

将从可持续包装角度出发，借助于定量化的数据模型，对不同的包装设计方案进行可持续性的优劣排序，有助于推动绿色化、可持续化包装产品设计方案的开发和实现。文中采用实际案例证明构建的包装设计方案评价体系具有可行性，为可持续包装设计方案的筛选提供了定量评价的方法。包装产品种类多，涉及范围广，可持续包装设计评价体系可以根基企业和客户的不同而发生变化。

参考文献：

[1] 杨洁. 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. Study on the Evaluation System of Packaging Greenness Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Eco-economy, 2018, 34(1): 78—82.

[2] 丁伟妃, 陈璧辉, 唐莉芳. 包装产品绿色度定量评价模型研究[J]. 浙江科技学院学报, 2010, 22(4): 258—261.
DING Wei-fei, CHEN Bi-hui, TANG Li-fang. Quantitative Evaluation Model of Green Packaging Products[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2010, 22(4): 258—261.

[3] 张友根. 塑料包装生命周期绿色化的浅论(三)[J]. 塑料包装, 2015, 25(1): 12—13.
ZHANG You-gen. Brief Comment on Green Life Cycle of Plastic Packaging(3)[J]. Plastic Packaging, 2015, 25(1): 12—13.

[4] 崔庆斌. 可持续包装发展综述[J]. 上海包装, 2019(8): 51—55.
CUI Qing-bin. Review of Sustainable Packaging Development[J]. Shanghai Packaging, 2019(8): 51—55.

[5] 周雯, 刘昱. 战储包装综合评价及优化设计方法研究[J]. 包装工程, 2019, 40(3): 143—148.
ZHOU Wen, LIU Yu. Study on Comprehensive Evaluation and Optimization Design Method of War Storage Packaging[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(3): 143—148.

[6] CAGUAR U. Brainstorming the Cryoplane Layout by Using the Iterative AHP-QFD-AHP Approach[J]. Aviation, 2018, 21(2): 1648—1655.

[7] LI Wang-hong, ZHU Qi. Network Selection Algorithm based on AHP and Similarity[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2018(2): 77—88.

[8] PENJANI H N, TURAN E. Integration of GIS, AHP and TOPSIS for Earthquake Hazard Analysis[J]. Natural Hazards, 2018, 92(3): 1523—1546.

[9] 殷洁. 基于 AHP 和 TOPSIS 的农产品冷链物流服务商的选择研究[J]. 浙江东方职业技术学院, 2018, 11(2): 77—81.
YIN Jie. Selection of Agricultural Products Cold Chain Logistics Service Providers Based on AHP and TOPSIS[J]. Zhejiang Oriental Vocational and Technical

College, 2018, 11(2): 77—81.

[10] 杨雪康. FAHP 方法关键技术研究及应用[M]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2017: 30—35.
YANG Xue-kang. Key Technology Research and Application of FAHP Method[M]. Guilin: Guilin University of Electronic Science and Technology, 2017: 30—35.

[11] LUO J. Research on the Application of AHP and Fuzzy Evaluation in Quota Design[J]. Proceedings of the Advances in Materials Machinery Electrical Engineering, 2017, 114: 477—481.

[12] 王鹏. 基于 AHP 和 Topsis 的高铁运营综合评价研究[J]. 铁道经济研究, 2018(4): 26—30.
WANG Peng. Comprehensive Evaluation of High-speed Railway Operation Based on AHP and Topsis[J]. Railway Economic Research, 2018(4): 26—30.

[13] 黄河, 李群, 唐国春. 基于 AHP-TOPSIS 综合模型的术后肺血栓栓塞症的危险评估[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2019, 36(6): 79—86.
HUANG He, LI Qun, TANG Guo-chun. Research on Risk Sharing of PPP Project Based on AHP and Topsis[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2019, 36(6): 79—86.

[14] 刘森, 张迎迎, 张焰, 等. 整合 AHP 和 TOPSIS 评价模型的绿色供应商选择研究[J]. 物流工程与管理, 2017, 3(5): 1—4.
LIU Sen, ZHANG Ying-ying, ZHANG Yan, et al. Study on Green Supplier Selection Integrating AHP and TOPSIS Evaluation Model[J]. Logistics Engineering and Management, 2017, 3(5): 1—4.

[15] 朱文浩, 邹坦. 基于 AHM 和改进 TOPSIS 的绿色铁路施工阶段方案比选[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(3): 187—191.
ZHU Wen-hao, ZOU Tan. Comparison and Selection of Green Railway Construction Phase Schemes Based on AHM and Improving TOPSIS[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2018, 35(3): 187—191.