

可持续性包装

基于粗糙集理论和 TOPSIS 的绿色包装评价方法

周凯¹, 孙宏悦¹, 姜辉¹, 易建军²

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.华东理工大学, 上海 200237)

摘要: **目的** 为了减少包装造成的环境污染, 研究一种基于粗糙集理论的 TOPSIS 综合评价法, 对包装的绿色程度进行评价。**方法** 构建包括环境、资源、能源、功能、经济等 5 个方面的绿色包装评价体系, 利用粗糙集理论确定权重、TOPSIS 方法, 并对包装的绿色性进行打分排序, 通过包装案例研究验证该方法的可行性。**结果** 通过粗糙集理论与 TOPSIS 法相结合的评价方法得到了客观的排序结果, 并选择出最优的绿色包装方案。**结论** 基于粗糙集理论和 TOPSIS 的包装评价方法可对绿色包装进行评价, 并得到了客观有效的评价结果。

关键词: 绿色包装; 多指标评价; 粗糙集; TOPSIS

中图分类号: TB482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)17-0142-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.17.023

The Evaluation Method of Green Packaging Based on Rough Set Theory and TOPSIS

ZHOU Kai¹, SUN Hong-yue¹, JIANG Hui¹, YI Jian-jun²

(1.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2.East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT: The work aims to research a TOPSIS comprehensive evaluation method based on the rough set theory to evaluate the green level of the package, so as to reduce the environmental pollution caused by the package. The green packaging evaluation system was constructed with five aspects including environment, resource, energy, function and economy. The rough set theory was used to determine the weight and TOPSIS method, while the greenness of package was rated and ranked. The feasibility of this method was verified by a case study. Based on the evaluation method combining rough set theory with TOPSIS method, the objective ranking results were obtained and the optimal green packaging scheme was selected. Based on the rough set theory and TOPSIS packaging evaluation method, the green package can be evaluated and the objective and effective evaluation results are obtained.

KEY WORDS: green packaging; multi-index evaluation; rough set; TOPSIS

包装是人类生产生活中的重要组成部分, 在人类生产生活中占据着重要地位, 不仅如此, 包装的生产、使用及处理还与经济、资源、环境、生态有着密切联系。据统计最近一年仅物流业就消耗包装箱、塑料袋各超过 100 亿个^[1]。据统计我国城市生活垃圾里有超过 1/3 是包装性垃圾, 而废弃包装回收率仅约 20%, 因此, 在社会资源短缺的今天, 为了节约资源、保护生态平衡, 必须发展绿色包装。绿色包装的定义为: 整个包装过程对生态环境和人体健康不会造成污染与损害, 使用的包装材料必须是可再生利用的可持续

发展物质^[2]。绿色包装还要包括 2 种功能: 保护环境和资源再利用, 这 2 种主要功能通过 3R1D 原则实现。3R1D 即再利用 (Reuse)、再回收 (Reclaim)、再循环 (Recycle) 和可降解 (Degradable)^[3]。

由于目前对包装绿色性的评价体系不够成熟, 部分包装产品在其整个生命周期中或多或少会对生态环境造成了不可逆的破坏。为了减少包装造成的环境污染, 需要在选择包装前建立评定标准以选择出对环境污染最小的方案。现有的绿色包装评价方法主要包括模糊综合评价方法^[4]、生命周期评价方法^[5]等。虽

收稿日期: 2018-05-03

作者简介: 周凯 (1969—), 男, 上海理工大学教授, 主要研究方向为企业信息化。

然这些方法可以为绿色包装评价提供有效评价,但在评价过程中模糊综合评价缺少客观性、生命周期评价方法数据可采集性较差。

文中利用基于粗糙集理论的 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Solution) 综合评价方法对包装的绿色性进行评价。粗糙集理论及 TOPSIS 均应用在诸多领域中,粗糙集理论常应用于机械、电力等生产领域的故障诊断中, TOPSIS 也应用在医疗、经济和矿业等研究领域。文中将 2 种方法相结合,得到了一种较为客观直观的绿色包装评价方法。利用粗糙集理论确定绿色包装评价要素的权重,通过 TOPSIS 方法计算评价对象与最优值的接近度,不仅克服了权重计算的主观性和模糊性^[6],还可对评价结果进行直观排序。

1 评价指标的确定

就包装的整个生命周期来看,根据 3R1D 原则可知包装的绿色性主要涉及 5 个方面:环境、资源、能源、功能及经济^[7]。这 5 个方面包含了绿色包装的评价指标,评价体系见图 1。对某一包装进行评价时可选取其中几个指标作为依据进行评价。

1) 环境。包装材料生产、回收过程中对自然环境产生污染是判断包装绿色性的重要依据。经过调研可知,包装原料生产、回收过程中主要对大气^[8]、水源和土壤 3 个方面产生污染。

2) 能源。在包装生产过程中主要通过能源的使用率及清洁能源的比例来判断能源的使用情况。

3) 功能。主要包括使用功能、运输功能及美观性。

4) 资源。在资源方面主要考虑材料的利用率、回收率以及设备的利用率^[9]。

5) 经济。主要包括废料回收成本和环境处理成本。

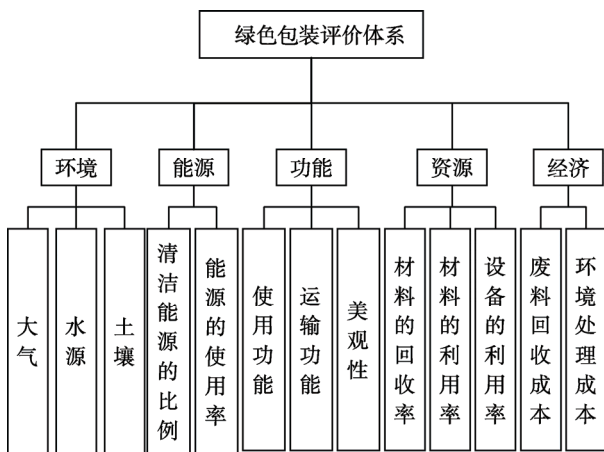


图 1 绿色包装评价体系
Fig.1 Green packaging evaluation system

2 基于粗糙集理论和 TOPSIS 的绿色包装评价

采用 TOPSIS 对包装的绿色性进行评价,需要计算各评价指标对于评价对象的重要度。文中采用粗糙集理论计算各评价指标的权重。经粗糙集理论确定重要程度后,应用 TOPSIS 计算对象与最优值的贴程度,通过排序结果得到最终的包装绿色性评价结果,具体评价流程如下所述。

1) 分析包装材料、结构,测量尺寸、质量等。

2) 通过粗糙集理论求出绿色包装各评价指标权重。

3) 通过 TOPSIS 对评价对象指标数值计算并排序,得到最佳绿色包装设计方

2.1 基于粗糙集理论的权重计算

应用粗糙集理论来确定绿色包装各评价指标的权重,计算时从绿色包装评价系统中去掉某一指标,没有该指标后分类的变化情况即为该评价指标的重要度。去掉该指标后相应分类的变化越大,则该指标的重要度越大,最后通过重要程度来确定各指标的权重^[10]。

设 U 为绿色包装评价系统中被评价对象组成的论域, $U=\{u_1...u_i...u_m\}$ ($1 \leq i \leq m$)。设 $A=\{a_1...a_j...a_n\}$ ($1 \leq j \leq n$) 为条件属性集即评价指标集, u_{ij} 表示评价对象 u_i 在评价指标 a_j 下的取值。计算属性权重的步骤如下所述^[11]。

1) 求依赖度。根据定义,令 P 为条件属性集 A 中的一个子集, Q 为决策属性的子集, Q 对 P 的依赖度为:

$$r_p(Q) = \frac{|POS_p(Q)|}{|U|} \tag{1}$$

式中: $| \cdot |$ 为集合所包含的元素个数; $POS_p(Q)$ 为 Q 的 P 正域。

2) 确定各属性的重要性。由式 (1) 可知属性 $a_j \in A$, 在评价体系中的重要性为:

$$Sig_{A-\{a_j\}}(a_j) = r_A(A) - r_{A-\{a_j\}}(A) \tag{2}$$

3) 通过重要性计算指标 $a_j \in A$ 的权重,见式 (3)。

$$w_j = \frac{Sig_{A-\{a_j\}}(a_j)}{\sum_{j=1}^n Sig_{A-\{a_j\}}(a_j)} \tag{3}$$

2.2 绿色包装评价的 TOPSIS 方法

TOPSIS 方法是一种对有限方案多目标决策分析的有效方法,其基本思想为建立原始数据集合,将原始数据规范化,建立规范化矩阵,然后找出待评价方案中正理想解和负理想解构成一个空间,其中正理想

解即为最优方案、负理想解为最劣方案，待评价的对象可视为该空间上的一个点。文中用欧式距离法计算该点与正理想解和负理想解间的距离，得出某评价对象与正理想解的相对接近度，以此评价包装的绿色性，与正理想解距离越近的包装绿色性越好^[12]。

对于绿色包装评价系统 U 而言，可假设 u_{ij} 为第 i 个评价对象的第 j 评价指标的值。具体评价步骤如下所述。

1) 根据评价对象建立原始数据集合:

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1j} & \cdots & u_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ u_{i1} & \cdots & u_{ij} & \cdots & u_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ u_{m1} & \cdots & u_{mj} & \cdots & u_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_i \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$= [a_1 \quad \cdots \quad a_j \quad \cdots \quad a_n]$$

2) 对原始数据规范化:

$$x_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m u_{ij}^2}} \quad (5)$$

式中: X_{ij} 为规范化数值。

3) 构造权重规范化矩阵:

$$v_{ij} = w_j x_{ij} \quad (6)$$

式中: W_j 为第 j 个指标的权重，根据式 (3) 求得。

4) 求正理想解和负理想解:

$$v_j^+ = \max \left\{ v_{ij} \right\}_{1 \leq i \leq 6}, \quad v_j^- = \min \left\{ v_{ij} \right\}_{1 \leq i \leq 6} \quad (7)$$

5) 计算距离尺度。计算每个目标到正理想解和负理想解的距离，可通过 n 维欧几里得距离计算:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

式中: D_i 为各评价目标与最优目标的接近程度, D_i 越小, 距理想目标越近, 方案越优。

6) 计算理想解的贴近度:

$$C_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)} \quad (0 \leq C_i \leq 1) \quad (9)$$

其中, 根据 C_i 的值按数值大小排序, 越大越好。

3 案例分析

选取 14 家电器厂的同款产品所使用的包装进行调研。该产品的包装材质为箱纸板, 包装规格为 75 cm×75 cm×120 cm, 各包装的质量相同。该案例中的包装材料为常见的纸板, 其整个生命周期的绿色性主要通过对环境、资源及能源 3 个方面的影响进行判断。其中, 对环境的影响主要表现在对大气和水源的污染上; 对资源的影响主要包括材料的利用率和回收率; 对能源的影响包括能源使用率及清洁能源比例。故选择以上 6 个评价指标来对所选包装的绿色性进行评价, 各指标的具体计算方法见表 1。

表 1 评价指标及其计算方法
Tab.1 Evaluation index and the calculation method

评价指标	计算方法	说明
大气污染 a_1	最大单因子指数法: p_1	p_1 表示大气污染指标参与评价的数值
水源污染 a_2	最大单因子指数法: p_2	p_2 表示水源污染指标参与评价的数值
材料利用率 a_3	$p_3 = (1 - m_r/m_t) \times 100\%$ (10)	p_3 表示材料利用率, 用剩余材料及材料总量求得
材料回收率 a_4	$p_4 = m_{rc}/m_w \times 100\%$ (11)	p_4 表示材料回收率, 用回收材料及废弃材料总量求得
能源使用率 a_5	$p_5 = e_l/e_a \times 100\%$ (12)	p_5 表示能源利用率, 为理论能源使用量占实际能源使用总量的百分比
清洁能源比例 p_6	$p_6 = e_c/e_a \times 100\%$ (13)	p_6 表示清洁能源使用率, 为清洁能源占实际使用能源总量的百分比

其中, 大气污染和水源污染的结果通过最大单因子法进行计算。最大单因子法是求出某一指标中单种污染物的污染指数:

$$p = c/s \quad (14)$$

式中: c 表示大气、水源的污染物含量; s 表示大气、水源中污染物的标准值。经过比较选择指数最大的作为该要素的评价结果^[13]。式 (10—11) 中: m_r 为包装材料加工后的剩余量; m_t 为加工所用材料总量; m_w 为包装使用后废弃材料总量; m_{rc} 为包装使用后可回收的总量, 单位均为 kg。式 (12—13) 中: e_a 为能源实际消耗量; e_l 为理论能源消耗量; e_c 为清

洁能源实际使用量, 单位均为 kJ。

根据《工业“三废”排放试行标准》^[14] (实验排放高度均为 60 m)、《制浆造纸工业水污染物排放标准》GB 3544—2008 规定的排放标准见表 2。

通过控制变量法, 对 14 款包装材料进行实验, 实验结果根据表 1 中各要素的评价方式进行计算, 通过式 (10—14) 得到的计算结果见表 3。具体计算过程如下所述。

1) 原始数据规范化。根据式 (5) 将原始数据规范化, 结果见表 4。由于规范化结果为连续值, 故对结果进行离散化^[15], 离散化标准见表 5, 离散结果见表 6。

表 2 大气、水源污染物排放标准
Tab.2 The emission standard for the air and water source pollutant

大气污染物标准/(kg·h ⁻¹)				水源污染物排放标准/(mg·L ⁻¹)			
SO ₂	CO	NO ₂	粉尘	悬浮物	氨氮	总氮	总磷
110	620	86	200	50	10	15	1.0

2) 计算重要度。根据式 (2) 计算各属性的重要度。

$$Sig_{A-\{a_1\}}(a_1) = r_A(A) - r_{A-\{a_1\}}(A) = 0.286$$

$$Sig_{A-\{a_2\}}(a_2) = 0.143$$

$$Sig_{A-\{a_3\}}(a_3) = 0$$

$$Sig_{A-\{a_4\}}(a_4) = 0.143$$

$$Sig_{A-\{a_5\}}(a_5) = 0$$

表 3 计算结果
Tab.3 The calculation result

工厂序号	a ₁ (×10 ⁻³)	a ₂	a ₃ /%	a ₄ /%	a ₅ /%	a ₆ /%
u ₁	4.48	0.50	72	41	47	20
u ₂	6.62	0.96	74	28	84	11
u ₃	4.61	0.52	86	26	46	15
u ₄	4.43	0.49	71	43	52	6
u ₅	6.83	0.72	51	28	41	10
u ₆	2.84	0.53	70	25	50	16
u ₇	6.68	0.49	69	42	65	5
u ₈	2.95	0.73	52	26	43	16
u ₉	6.73	0.51	49	44	48	15
u ₁₀	4.91	0.49	70	25	45	21
u ₁₁	4.86	0.75	84	38	49	17
u ₁₂	6.79	0.51	88	77	40	5
u ₁₃	6.70	0.71	73	40	70	8
u ₁₄	8.69	0.73	60	42	67	7

3) 计算权重。根据式 (3) 计算权重。

$$w(a_1) = \frac{Sig_{A-\{a_1\}}}{\sum_{j=1}^6 Sig_{A-\{a_j\}}} = 0.4$$

$$w(a_2) = 0.2$$

$$w(a_3) = 0$$

$$w(a_4) = 0.2$$

$$w(a_5) = 0$$

$$w(a_6) = 0.2$$

4) 将权重带入式 (6) 中将权重规范化。

5) 根据式 (7) 确定正理想解和负理想解：

$$V_j^+ = \max \{ V_j \}_{1 \leq j \leq 6} = (0.1600, 0.0810, 0.0.1036, 0, 0.0838)$$

$$V_j^- = \min \{ V_j \}_{1 \leq j \leq 6} = (0.0520, 0.0414, 0, 0.0336, 0, 0.0200)$$

6) 计算加权欧式距离和相对接近度。根据式 (8) 计算加权欧式距离 D_i^+, D_i^- ，根据式 (9) 计算相对接近度 C_i ，结果见表 7。 C_i 值越大，包装绿色化程度越高。由评价结果可知， C_{14} 的值最大，所以 14 号工厂选择的包装材料最环保。

表 4 规范化结果
Tab.4 Normalized result

工厂序号	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
u ₁	0.206	0.211	0.274	0.276	0.229	0.400
u ₂	0.305	0.405	0.282	0.188	0.410	0.219
u ₃	0.212	0.219	0.327	0.175	0.224	0.299
u ₄	0.204	0.207	0.270	0.289	0.253	0.120
u ₅	0.314	0.304	0.194	0.188	0.199	0.200
u ₆	0.130	0.224	0.266	0.168	0.244	0.319
u ₇	0.307	0.207	0.263	0.282	0.317	0.100
u ₈	0.136	0.308	0.198	0.175	0.210	0.319
u ₉	0.310	0.215	0.186	0.296	0.234	0.299
u ₁₀	0.226	0.207	0.266	0.168	0.219	0.419
u ₁₁	0.224	0.317	0.320	0.255	0.239	0.339
u ₁₂	0.312	0.215	0.335	0.518	0.195	0.100
u ₁₃	0.308	0.300	0.278	0.269	0.341	0.160
u ₁₄	0.400	0.308	0.228	0.282	0.327	0.140

表 5 数值离散化标准
Tab.5 Standard for numerical discretization

评价指标	规范化结果	评价指标	规范化结果	离散值
a ₁ , a ₂	$X_{ij} \geq j$	a ₃ , a ₄ , a ₅ , a ₆	$X_{ij} < 0.2$	1
	$0.3 \leq X_{ij} < 0.4$		$0.2 \leq X_{ij} < 0.3$	2
	$0.2 \leq X_{ij} < 0.3$		$0.3 \leq X_{ij} < 0.4$	3
	$X_{ij} < 0.2$		$X_{ij} \geq 0.4$	4

表 6 计算结果离散化
Tab.6 Discretized calculation result

工厂序号	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
u ₁	3	3	2	2	2	4
u ₂	2	1	2	1	4	2
u ₃	3	3	3	1	2	2
u ₄	3	3	2	2	2	1
u ₅	2	2	1	1	1	2
u ₆	4	3	2	1	2	3
u ₇	2	3	2	2	3	1
u ₈	4	2	1	1	2	3
u ₉	2	3	1	2	2	2
u ₁₀	3	3	2	1	2	4
u ₁₁	3	2	3	2	2	3
u ₁₂	2	3	3	4	1	1
u ₁₃	2	2	2	2	3	1
u ₁₄	1	2	2	2	3	1

表7 评价结果
Tab.7 Evaluation result

工厂序号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序结果
u_1	0.09942	0.07065	0.41542	9
u_2	0.08602	0.08397	0.49397	4
u_3	0.11100	0.05165	0.31755	11
u_4	0.11571	0.03844	0.24937	13
u_5	0.08869	0.07880	0.47048	6
u_6	0.13518	0.04393	0.24527	14
u_7	0.09618	0.07438	0.43609	7
u_8	0.12897	0.04831	0.27251	12
u_9	0.07271	0.08617	0.54236	3
u_{10}	0.10636	0.07446	0.41179	10
u_{11}	0.09104	0.06697	0.42383	8
u_{12}	0.08218	0.10101	0.55139	2
u_{13}	0.08342	0.07725	0.48080	5
u_{14}	0.07562	0.11250	0.59802	1

4 结语

为了减少包装造成的环境污染,对包装的绿色程度进行评价,决策出对环境污染较小的包装方案,文中提出了采用粗糙集理论与TOPSIS法相结合的评价方法评价绿色包装。根据绿色包装涉及的环境、资源、能源、功能及经济5个方面来构建绿色包装评价体系。在此基础上,基于粗糙集理论提出评价包装绿色程度的权重模型,并提出了评价包装绿色程度的TOPSIS方法。通过对相关案例的分析,所提出的方法可对包装绿色程度进行评价。其优点在于对评价对象的优劣做出明确的排序,结果客观、直观。

参考文献:

- [1] 刘梦旗. 快递绿色包装的现状分析和解决对策[J]. 物流工程与管理, 2017, 39(4): 41—42.
LIU Meng-qi. The Present Situation Analysis and Solution of Green Package of Express Delivery[J]. Logistic Engineering and Management, 2017, 39(4): 41—42.
- [2] ZHANG G R, ZHAO Z J. Green Packaging Management of Logistics Enterprises[J]. Physics Procedia, 2012, 24: 900—905.
- [3] 王澜, 杨梅. 从3R原则分析包装设计[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 162—165.
WANG Lan, YANG Mei. Green Packaging Design on the Principle of 3R[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 162—165.
- [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] 王幽又, 杨随先. 基于生命周期设计的绿色包装材料的选择[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 79—80.
WANG You-you, YANG Sui-xian. Selection of Green Packaging Materials Based on Life Cycle Design[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 79—80.
- [6] PAWLAK Z. Rough Sets, Decision Algorithm and Bayes' Theorem[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 136(1): 18—189.
- [7] LU S B, BAO H J, PAN H L. Urban Water Security Evaluation Based on Similarity Measure Model of Vague Sets[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2016, 41(35): 15944—15950.
- [8] LORGA G, RAICU C B, STEFAN S. Annual Air Pollution Level of Major Primary Pollutants in Greater Area of Bucharest[J]. Atmospheric Pollution Research, 2015, 6(5): 824—834.
- [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[J]. China Packaging Industry, 2015(22): 189.
- [10] 张帆. 关于粗糙集的综合评价方法[D]. 成都: 西南石油大学, 2015.
ZHANG Fan. A Comprehensive Evaluation Method for Rough Sets[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2015.
- [11] 张文修, 吴伟志, 梁吉业. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
ZHANG Wen-xiu, WU Wei-zhi, LIANG Ji-ye. Rough Set Theory and Method[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [12] SEYEDMOHAMMADIA J, SARMADIANB F, JAFARZADEHA A A. Application of SAW, TOPSIS and Fuzzy TOPSIS Models in Cultivation Priority Planning for Maize, Rapeseed and Soybean Crops[J]. Geoderma, 2018, 310(1): 178—190.
- [13] 王玉军, 刘存, 周东美. 一种农田土壤重金属影响评价的新方法: 土壤和农产品综合质量指数法[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(7): 1225—1232.
WANG Yu-jun, LIU Cun, ZHOU Dong-mei. A New Approach for Evaluating Soil Heavy Metal Impact: A Comprehensive Index Combined Soil Environmental Quality and Agricultural Products Quality[J]. Journal of Agro-environment Science, 2016, 35(7): 1225—1232.
- [14] 秦萌, 陈英, 李敬之. 上海市奉贤区主要大气污染物对人群呼吸系统急性健康效应的影响[J]. 东南大学学报(医学版), 2017, 36(2): 197—202.
QIN Meng, CHEN Ying, LI Jing-zhi. The Acute Respiratory Effects of Main Air Pollutants in Fengxian District of Shanghai[J]. Journal of Southeast University(Medicine Science Edition), 2017, 36(2): 197—202.
- [15] YAO Y Y, ZHANG X Y. Class-specific Attribute Reducts in Rough Set Theory[J]. Information Sciences, 2017, 418: 601—618.