

包装机械设计方案的多层次灰色综合评价

王春雨

(河北理工大学, 唐山 063020)

摘要: 包装机械设计方案是一个集技术、经济、社会等多方面为一体的复杂的、多层次且信息不够完全的综合系统, 将层次分析法与灰色系统理论有机结合起来, 给出了一种简便易行的综合评价新方法。并通过实例加以说明。

关键词: 包装机械; 设计方案; 层次分析法; 灰色系统理论; 综合评价

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2006)06-0166-03

Multi-grade Grey Comprehensive Evaluation on Design Schemes of Packaging Machine

WANG Chun-yu

(Hebei Polytechnic University, Tangshan 063020, China)

Abstract The design schemes of packaging machine are a complicated comprehensive system with multi-grade and less information, which includes technology, economy, and society and so on. Combining analytic hierarchy process and grey system theory, a new simple comprehensive evaluation method was put forward and explained by example.

Key words packaging machine; design scheme; analytic hierarchy process; grey system theory; comprehensive evaluation

我国是包装工业大国, 包装机械是包装工业的基础。包装机械的设计是确保包装机械质量的关键, 也是确保产品包装质量的根本。包装机械的设计过程同样表现为“设计—评价—再设计”直至满意的周期性循环过程。通过对众多预选方案的正确评价与筛选, 确定最优的设计方案, 是确保设计质量的重要环节。包装机械设计方案综合评价涉及的因素很多, 既有技术方面的诸多问题, 也涉及到社会、经济等多方面的影响因素, 是一个集技术、经济、社会等多方面为一体的复杂的、多层次且信息不够完全的综合系统。本文将层次分析法与灰色系统理论有机结合起来, 给出一种关于包装机械设计方案综合评价的新方法。

层次分析法(AHP)是上个世纪70年代首先由美国运筹学专家提出来的, 它是一种实用的多方案或多目标的决策方法。AHP法合理地将定性与定量的决策结合起来, 首先将评价对象或问题层次化, 根据问题的性质和要达到的总目标, 将问题分解成不同的组成要素, 并按照因素间的相互及隶属关系, 将因素按不同层次聚集组合, 从而形成一个多层次的分解结构模型, 最终归结为最低层(方案、措施、指标等)相对最高层(总目标)相对重要程度的权值排序问题。

灰色系统理论是我国学者邓聚龙于1982年创立的, 它的基本内容是灰色关联分析。灰色关联分析的基本任务是分析和确定因子间的影响程度或因子对主行为的贡献测度, 其中关联度系数计算是因素间关联程度大小的一种定量分析, 以此完成关联度排序^[1-2]。

1 包装机械设计方案的综合评价指标体系

评价指标是对设计方案的具体体现, 不同产品的评价指标体系不尽相同, 指标体系制定得是否合理是确保评价科学性的关键。根据市场调研和专家意见, 包装机械设计方案的综合评价指标体系, 见图1, 由技术性指标、经济性指标和社会性指标3个方面(也称准则层)构成, 其中每项准则层指标下还包含若干项子指标。

2 运用层次分析法计算各评价指标的权重

由于各评价指标对包装机械设计方案的重要程度不同, 必须首先计算它们的权重。具体方法如下:

收稿日期: 2006-10-25

基金项目: 河北理工大学科研基金资助项目(200515)

作者简介: 王春雨(1960-), 女, 河北唐山人, 河北理工大学副教授, 主要从事机械设计与理论的教学与研究。

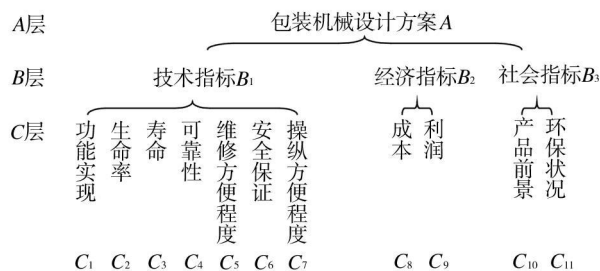


图 1 包装机械设计方案的综合评价指标体系

Fig 1 The comprehensive evaluation index system on the design schemes of packaging machine

2.1 构造判断矩阵

在综合评价指标体系的基础上,采用 AHP法中 1~ 9比例标度(标度的含义见表 1),构造两两比较判断矩阵 A。

表 1 标度的含义

Tab 1 The meanings of proportion grade

| 标度 | 含义 |
|------------|----------------------|
| 1 | 表示 2 个元素相比,具有相同重要性 |
| 3 | 表示 2 个元素相比,前者比后者稍重要 |
| 5 | 表示 2 个元素相比,前者比后者明显重要 |
| 7 | 表示 2 个元素相比,前者比后者强烈重要 |
| 9 | 表示 2 个元素相比,前者比后者极端重要 |
| 2, 4, 6, 8 | 表示上述相邻判断的中间值 |

$$A = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

2.2 计算单一元素的相对权重

AHP法中计算权重的方法通常有幂法、和积法和方根法,其中幂法计算精确度高,方根法是一种常用的简化计算方法。这里采用方根法计算权重,首先将 c 的元素按行相乘:

$$u_{ij} = \prod_{j=1}^n c_{ij}$$

所得的乘积分别开 n 次方:

$$u_i = \sqrt[n]{u_{ij}}$$

将方根向量正规化,即得特征向量 W 的第 i 个分量(即子指标权重):

$$W_i = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n u_i}$$

2.3 一致性检验

为了检验判断矩阵的一致性,需要计算它的一致性指标 CI:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

式中: n 为判断矩阵的阶数; λ_{max} 为判断矩阵最大特征根。

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

式中, $(AW)_i$ 为向量 AW 的第 i 个分量。

显然,当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$; $\lambda_{max} - n$ 越大, CI 越大,一致性越差。

为了检验判断矩阵是否具有满意的一致性,需要将 CI 与平均随机一致性指标 RI 进行比较:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

平均随机一致性指标 RI 是对随机判断矩阵特征值进行多次(500~ 1000次)重复计算后,取算术平均值得到的,可查表。

当 $CR = CI/RI < 0.01$ 时,判断矩阵具有满意的一致性,否则就需对判断矩阵进行调整,直至满意为止。

3 计算综合评价的关联度

前面运用层次分析法,只解决了一种方案中若干子指标,相对设计方案重要程度的权值排序问题,而多种设计方案的优化排序是通过灰色关联分析来完成的。

3.1 构造比较数列和参考数列

对于包装机械设计方案的灰色评价问题,每个方案的所有子指标值均构成一个比较数列:

$$A_i(j) = \{A_i(1) A_i(2) \dots A_i(m)\}$$

i 为表示方案的个数; j 为每个方案中的指标数。

在对各个方案进行评价时,必须制定评价标准(也称参考数列)。标准的制定遵循可比性和先进性原则,即当指标属于“效益型”指标时,则取各方案中的最大值;当指标属于“成本型”指标时,则取各方案中的最小值。

参考数列记为: $A_0(j) = \{A_0(1) A_0(2) \dots A_0(m)\}$

3.2 无量纲化处理

由于各评价指标的含义不同、量纲不同,无法直接进行比较,因此必须对其进行无量纲化处理,方法如下:

$$X_i(j) = C_i(j) / C_j$$

其中 $C_j = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n C_i(j) \quad j = 1, 2, \dots, m$

3.3 计算加权关联度

根据灰色系统理论,比较数列 A_i 对参考数列 A_0 在指标 $A_i(j)$ 上的关联系数为:

$$\xi_i(j) = \frac{\min_j |x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_j |x_0(j) - x_i(j)|}{|x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_j |x_0(j) - x_i(j)|}$$

$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$

式中: ρ 为分辨系数; ρ 越小,分辨能力越大。 ρ 值一般在 0~ 1 之间选取,通常取 $\rho = 0.5$

为了从整体上比较各个方案的优劣,有必要将设计方案各个指标的关联系数集中为一个值,即加权平均值,也叫加权灰色关联度。

$$\text{加权灰色关联度 } \gamma_i = \sum_{j=1}^m W_j \cdot \xi_{ij}(j)$$

在 n 个方案 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 中, 关联度 γ 值最大者为最优。

4 应用实例

包装机械具有功能范围广、品种多、设备动作复杂等特点, 下面以比较有代表性的 DXDS180 型水平式自动包装机的设计为例, 简要介绍运用层次分析法与灰色系统理论对其设计方案进行综合评价的方法。

要求 DXDS180 水平式包装机能完成对多种物料的小袋包装, 能自动完成计量、制袋、充填、封合、打印批号、切断及计数等全部工作, 通过更换不同的计量装置可实现对多种物料的包装。根据前期工作, 建立其综合评价指标体系, 见图 1, 初步选定了 3 种设计方案, 从其中确定最优方案。

初选的 3 种设计方案可表达为:

$$A = \{A_1, A_2, A_3\}$$

每一种设计方案的评估准则层为三层, 表达为:

$$B = \{B_1, B_2, B_3\}$$

准则层下面共有 11 项子评估指标, 表达为:

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_{11}\}$$

表 2 判断矩阵及相应指标的权重

Tab 2 The judging matrix and the weight of every index

| A | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | C ₈ | C ₉ | C ₁₀ | C ₁₁ | W _i |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| C ₁ | 1 | 4 | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 | 6 | 0.22433 |
| C ₂ | 1/4 | 1 | 2 | 1/3 | 1/2 | 1/3 | 1/2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 0.05979 |
| C ₃ | 1/5 | 1/2 | 1 | 1/4 | 1/3 | 1/4 | 1/3 | 1 | 1/2 | 2 | 2 | 0.05554 |
| C ₄ | 1/2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 5 | 5 | 0.15207 |
| C ₅ | 1/3 | 2 | 3 | 1/2 | 1 | 1/2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 0.09643 |
| C ₆ | 1/2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 5 | 5 | 0.15207 |
| C ₇ | 1/3 | 2 | 3 | 1/2 | 1 | 1/2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 0.09643 |
| C ₈ | 1/5 | 1/2 | 1 | 1/4 | 1/3 | 1/4 | 1/3 | 1 | 1/2 | 2 | 2 | 0.05554 |
| C ₉ | 1/4 | 1 | 2 | 1/3 | 1/2 | 1/3 | 1/2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 0.05979 |
| C ₁₀ | 1/6 | 1/3 | 1/2 | 1/5 | 1/4 | 1/5 | 1/4 | 1/2 | 1/3 | 1 | 1 | 0.02413 |
| C ₁₁ | 1/6 | 1/3 | 1/2 | 1/5 | 1/4 | 1/5 | 1/4 | 1/2 | 1/3 | 1 | 1 | 0.02413 |

注: C_i 即为专家组给出的平均标度值; W_i 为用方根法计算, 并经过一致性检验得出的相应指标的权重。

3 种设计方案的评价指标值 (由专家组给出的平均值) 构成如下比较数列:

$$A_1 = \{1.0, 0.8, 0.75, 0.7, 0.2, 0.9, 0.8, 1.0, 1.0, 0.8, 0.6\}$$

$$A_2 = \{0.9, 0.7, 0.8, 0.8, 0.8, 0.95, 0.65, 0.9, 0.9, 0.75, 0.65\}$$

$$A_3 = \{0.8, 0.9, 0.85, 0.65, 0.6, 0.9, 0.7, 1.2, 0.8, 0.9, 0.75\}$$

75}

遵循可比性和先进性原则, 构造参考数列为:

$$A_0 = \{1.0, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.95, 0.8, 0.9, 1.0, 0.9, 0.75\}$$

75}

对各指标值进行无量纲化处理:

$$A_1 = \{1.081, 0.970, 0.862, 0.949, 0.333, 0.973, 1.085, 1.0, 1.081, 0.956, 0.873\}$$

$$A_2 = \{0.973, 0.849, 0.985, 1.085, 1.333, 1.027, 0.881, 0.9, 0.973, 0.896, 0.945\}$$

$$A_3 = \{0.865, 1.091, 1.046, 0.881, 1.000, 0.973, 0.949, 1.2, 0.865, 1.075, 1.091\}$$

$$A_0 = \{1.081, 1.091, 1.046, 1.085, 1.333, 1.027, 1.085, 0.9, 1.081, 1.075, 1.091\}$$

计算比较数列 A_i 对参考数列 A_0 在指标 $A_i(j)$ 上的关联系数为:

$$\xi_{1j} = \{1.0, 0.805, 0.731, 0.786, 0.333, 0.903, 1.0, 0.833, 1.0, 0.808, 0.696\}$$

$$\xi_{2j} = \{0.822, 0.674, 0.891, 1.0, 1.0, 1.0, 0.710, 1.0, 0.822, 0.736, 0.774\}$$

$$\xi_{3j} = \{0.698, 1.0, 1.0, 0.710, 0.6, 0.903, 0.786, 0.625, 0.698, 1.0, 1.0\}$$

计算每个方案的总体加权关联度:

$$\gamma_1 = 0.84079 \quad \gamma_2 = 0.88362 \quad \gamma_3 = 0.77556$$

显然, 3 种方案中, 方案二关联度 γ_2 值最大, 故方案二最优。目前, DXDS180 型水平式自动包装机已按方案二投产。

5 结语

将层次分析法与灰色系统理论有机结合起来, 对具体要求下包装机械设计可能产生的方案进行综合评价, 即可将复杂的问题条理化、层次化, 又可利用有限的信息完成对方案的优化排序, 以达到科学决策的目的。

参考文献:

[1] 罗佑新, 张龙庭, 李敏. 灰色系统理论及其在机械工程中的应用 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001
 [2] 罗均, 吕恬生, 王琦. 产品设计质量灰色系统综合评价方法的研究 [J]. 机械科学与技术, 2000, 19(5): 747-749.