

# 基于层次分析和加权评价法的产品材料选择研究

王邦莉, 黄文权, 李开世

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

**摘 要:**在考虑材料传统的机械性能、物理化学性能、加工工艺性能基础上,将材料经济性能和环保性能作为材料选择的影响因素,采用模糊数学方法对指标进行量化处理,利用层次分析法确定材料性能指标权重,以材料性能数据库为基础,利用综合评价法实现材料的选择,为材料选择提供一种有效方法。

**关键词:**材料选择;层次分析;综合评价

**中图分类号:**TB115

**文献标志码:**A

现代工业产品设计是一项复杂的系统工程,随着科学的进步,制造业与计算机技术的发展,人们对工业产品设计的要求也越来越高。产品设计,不仅应满足使用要求,同时还需要外观、人机协调、成本、环境污染、节约资源和能源等多方面进行考虑<sup>[1]</sup>。由于材料的种类繁多,性能各异,在满足某种或某几种性能要求的前提下,可能会有一种或多种材料符合要求。在这些符合条件的材料中,可能会由于侧重点的不同而导致最佳选择的结果不同。因此,研究从多种备选材料中选出符合设计要求的最佳材料具有重要意义<sup>[2]</sup>。

在考虑材料传统的机械、物理、化学、加工性能基础上,同时考虑经济、环境性能,建立材料选择流程,通过对指标的处理和权重确定,利用材料数据库,实现材料的综合评价和最优选择,为材料选择提供了一种有效方法。

## 1 材料选择流程

综合评价材料选择流程如图 1 所示。



图 1 材料选择流程

## 2 材料选择关键技术

### 2.1 评价指标体系

由于材料种类和指标繁多,其指标体系按六大性能分类<sup>[3-4]</sup>,每类性能由多个性能指标构成见表 1。

表 1 材料指标

性 能	具体性能指标
机械性能	强度、硬度、刚度、弹性、韧性、塑性等
物理性能	密度、热导率、线膨胀系数、摩擦系数、弹性模量、泊松比等
化学性能	抗腐蚀性、抗老化性、易燃性等
加工工艺性能	铸造、锻造、焊接、切削加工等
经济性能	材料成本、加工成本、回收成本等
环境性能	重用性、处理性、能耗性、污染性等

### 2.2 材料数据库与备选材料

材料数据库用于储存所有备选材料。该材料数据库主要包含两张数据表:材料分类表和材料性能表。材料分类表用于存储材料分类和建立材料分类树,如优质碳素结构钢分类结构为:材料—金属—黑色金属—钢—优质钢—结构钢—优质碳素结构钢;材料性能表用于存储某种材料的具体性能,包括表 1 中的各项具体性能指标的数值,材料性能表设置一个 TypeID 字段(存储分类表中某种材料类型 ID)与材料分类表建立关系,实现备选材料的存储<sup>[5-6]</sup>。

收稿日期:2013-05-23

基金项目:过程装备与控制工程四川省高校重点实验室开放基金项目(GK201003)

作者简介:王邦莉(1982-),女,重庆铜梁人,讲师,硕士生,主要从事机械设计及理论方面的研究,(E-mail)93405058@qq.com

### 2.3 材料性能指标处理

#### 2.3.1 性能指标的量化处理

所谓量化处理<sup>[7]</sup>,是将性能指标参数中的形式上不是很精确的数据转化为比较精确且可供比较的具体数据,在此采用模糊数学方法进行量化处理。设某一定性指标在所有被评对象中的取值最小为  $h_{\min}$ , 最大为  $h_{\max}$ , 以  $[h_{\min}, h_{\max}]$  为论域, 将定性描述分为相等的五级, 对应 {很好, 较好, 一般, 较差, 差} 等定性指标, 如图 2 所示。

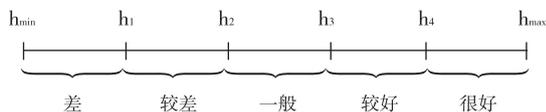


图 2 模糊性描述的五级分段图

通过分级确定定性指标量化表示时的数据范围, 以每一范围的中间值表示量化值。为简化计算, 采取十分制原则, 即:  $h_{\min} = 0, h_{\max} = 10$ , 论域范围在  $[0, 10]$  之间, 分级长度为 2, 则定性指标 {很好, 较好, 一般, 较差, 差} (表 2), 其它定性指标可作相似处理。

表 2 模糊性描述的数据区间及简化值

定性描述	数据区间	量化值
很好	[8, 10]	9
较好	[6, 8]	7
一般	[4, 6]	5
较差	[2, 4]	3
差	[0, 2]	1

#### 2.3.2 性能指标的同向化处理

经过量化后的性能指标并非是数值越大越好或数值越小越好<sup>[7]</sup>。有些指标数值越大越好(正向指标, 如强度), 有些指标数值越小越好(逆向指标, 如成本)。在各种性能指标中可能因为标准不一致而无法参与具体比较, 须对各类指标进行同向化处理, 才能进行综合评价。在材料选择中, 将各指标作正向化处理, 即正向指标不变, 逆向指标利用倒数的方法转化为正向指标。

#### 2.3.3 材料性能指标的无量纲化

同向化将性能指标转化为了同向的具体数值, 但由于不同性能指标具有不同的单位制, 不具备可比性, 需将指标数值作无量纲化处理, 消除不同的量纲对评价的影响。由于综合评价时, 数据本身对评价的排序结果并不产生实际影响, 在此忽略量纲影响, 通过权重计算出综合评价值。

#### 2.3.4 层次分析法确定指标权重

权重是衡量每个具体指标在总体指标中的相对重要程度, 由设计目标, 指标价值, 决策者的个人知识等多种因素决定。利用层次分析法, 构建各项性能指标的递

阶层次结构, 并在同一层次指标重要性中进行两两比较, 将“同等重要”、“稍微重要”、“明显重要”、“特别重要”、“极端重要”等用数字 1~9 及其倒数的标度方法表示<sup>[7-8]</sup>, 如图 3 所示。

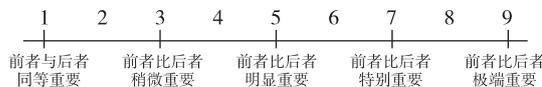


图 3 指标比较判断标度

递阶层次结构分为三层: 最高层, 准则层, 指标层<sup>[7]</sup>。最高层为备选材料, 准则层包括材料的六大性能, 即机械、物理、化学、加工、经济、环境性能, 指标层包括每类性能下的各项具体指标。准则层比较结果见表 3。

表 3 准则层性能比较

	机械性能	物理性能	化学性能	加工工艺性能	经济性能	环境性能
机械性能	1	5	6	3	2	4
物理性能	1/5	1	2	2	2	3
化学性能	1/6	1/2	1	2	2	1
加工工艺性能	1/3	1/2	1/2	1	1	2
经济性能	1/2	1/2	1/2	1	1	1
环境性能	1/4	1/3	1	1/2	1	1

根据表 3 建立判断矩阵:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 6 & 3 & 2 & 4 \\ 1/5 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 \\ 1/6 & 1/2 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

每行乘积的  $n(n = 6)$  次方根:

$$Q_1 = \sqrt[6]{720} = 2.99, Q_2 = \sqrt[6]{4.8} = 1.30, \\ Q_3 = \sqrt[6]{1/3} = 0.83, Q_4 = \sqrt[6]{1/6} = 0.74, \\ Q_5 = \sqrt[6]{1/8} = 0.71, Q_6 = \sqrt[6]{1/24} = 0.59$$

机械性能的相对权重:

$$s_1 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6} = 0.418$$

同理可得各性能指标的相对权重集合为:

$$\xi_1 = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\} = \{0.418, 0.182, 0.116, 0.103, 0.099, 0.082\}$$

对于构成准则层性能的每项具体指标, 采用相同方法确定权重。设每项性能下有  $n$  个具体指标, 则可得 6 项性能下的每个具体指标相对权重为:  $w_i = \{Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{in}\} (i = 1, 2, \dots, 6)$ 。

由此可得各具体指标相对于整体的权重集合:

$$\xi_2 = \{s_1 \times w_1, s_2 \times w_2, s_3 \times w_3, s_4 \times w_4, s_5 \times w_5, s_6 \times w_6\}$$

### 3 材料选择综合评价

#### 3.1 材料综合评价排序

以加权平均法对所选材料进行综合评价。设  $M$  种材料 6 个性能指标下共有  $N$  个小指标,各具体指标的权重分别为  $q_1, q_2, \dots, q_N$ , 则有:  $\xi_3 = \{q_1, q_2, \dots, q_N\} = \{s_1 \times w_1, s_2 \times w_2, s_3 \times w_3, s_4 \times w_4, s_5 \times w_5, s_6 \times w_6\}$ , 设第  $j$  种材料的第  $i$  个指标数值为  $X_{ji}$ , 设第  $j$  种材料的综合评价值为  $Y_j$ , 则

$$Y_j = \sum_{i=1}^N q_i X_{ji} (j = 1, 2, \dots, M)$$

根据  $Y_j$  值,对备选材料进行由大到小排序。

#### 3.2 最优材料选择

在材料综合评价的排序结果中,由于采用正向化处理,  $Y_j$  最高的材料即为最优的材料。在实际应用中,由于不同的设计人员在量化处理和权重确定中存在差异,因而可以在排序靠前的几种备选材料中结合经验或作其他处理,从而选出最佳材料。

### 4 结束语

从材料数据库的建立、材料性能指标的处理和权重确定以及综合评价方面对材料选择进行了探讨,为材料选择提供了一种方法。由于材料选择涉及面广,方法和

途径都较多,是一项系统工程,所以在材料选择的准确性和效率上还应进行深入研究,才能确保准确高效地选出所需材料。

#### 参考文献:

- [1] 姚旭,洪子捷.材料在工业设计中的艺术表现[J].艺术与设计:理论版,2010(7):185-187.
- [2] 张健.分析绿色设计的意义[J].南昌教育学院学报,2012,27(3):193-194.
- [3] 刘鸣放,刘胜新.金属材料力学性能手册[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [4] 王超然,胡传炘.新编国际常用金属材料手册[M].北京:北京工业大学出版社,1995.
- [5] 安晓宁.绿色设计的机械产品材料选择相关问题探讨[J].机械研究与应用,2011(4):129-130.
- [6] 刘光复.绿色设计与绿色制造[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [7] 张天云,陈奎,段红燕.工程选材综合评价[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [8] 张丹丹.绿色设计中材料选择关键技术研究[D].青岛:山东科技大学,2011.

## Research of Product Material Selection Based on the Analytic Hierarchy Process and the Weighted Evaluation Method

WANG Bang-li, HUANG Wen-quan, LI Kai-shi

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract:** Considering the mechanical performance, physical and chemical properties and the process performance of the traditional materials, this article takes the economic performance and environmental performance as the influence factors of material selection, uses fuzzy mathematics method to quantify indicators, and uses the analytic hierarchy process (ahp) to determine index weight of material property. Based on the data base of material properties, this paper using comprehensive evaluation method for the choice of materials, it provides an effective method for material selection.

**Key words:** material selection; analytic hierarchy process; comprehensive evaluation