

[经营·管理]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.02.019

基于灰色模糊层次法的机床设计质量综合评价

马丽莎¹, 茅健^{1*}, 万子平²

(1. 上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620; 2. 湖南云箭集团有限公司, 湖南 长沙 410100)

摘要:针对层次分析法评价机床设计质量时未考虑区间灰度以及判断矩阵调整困难等问题,提出了一种基于灰色理论和模糊层次分析法的机床设计质量评价方法。笔者分析了设计质量评价内涵,构建了具有通用性的机床设计质量评价体系,应用了灰色理论使区间灰数的白化处理与模糊层次分析法相结合,并将其用于质量综合评价。评价过程设有灰度等级,同时设有评价等级,将定性评价与定量评价相结合,使评价结果更合理;对每个层次都进行权重分配,并用关联系数对权值进行了修正,使评价过程更科学。最后,以五轴机床为例验证该方法对机床设计质量综合评价的可行性。灰色模糊层次分析法可以科学有效地评价机床的设计质量,准确地给出产品质量评估等级。

关键词:质量评价体系;模糊层次分析法;关联分析;白化处理

中图分类号:TG502.1;TB114.2 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)02-0097-07

Comprehensive Evaluation of Machine Tool Design Quality Based on Grey Fuzzy Hierarchy Method

MA Lisha¹, MAO Jian^{1*}, WAN Ziping²

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. Hunan Vanguard Group Co. Ltd., Changsha 410100, China)

Abstract: In order to solve the ignored interval gray level and the difficult judgment matrix adjustment in the evaluation of the design quality of machine tools by using analytic hierarchy process (AHP), a method based on gray theory and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) was proposed. The design quality evaluation was deeply analyzed, a universal evaluation system for design quality of machine tools was established and the grey theory was applied to evaluate the design quality by the combination of interval gray number and fuzzy hierarchy. The evaluation process was equipped with gray level and evaluation grade, combining qualitative evaluation and quantitative evaluation, which made the final results more reasonable. The weight was assigned to each level and was modified with correlation coefficient to make the evaluation process more scientific. Finally, the feasibility of the method in the comprehensive evaluation of design quality of machine tools was proved by the example of a five-axis machine tool. The results show that the design quality of machine tools can be evaluated by grey fuzzy analytic hierarchy process scientifically and effectively, and the grade of product quality evaluation can be provided accurately.

Keywords: quality evaluation system; fuzzy analytic hierarchy process; association analysis; whitening treatment

机床是现代制造业的关键设备,复杂工件的加工质量和加工效率在很大程度上取决于机床的质量,一旦机床出现停机故障将给企业带来巨大经济损失^[1]。机床生产效率的高低和加工质量的好坏直接影响到整个机械制造业的生产技术水平和经济效益。

因此,对机床评价显得尤为重要。

20世纪70年代中期,美国Satty教授^[2]首次提出了层次分析法,该方法具有系统性、简便性等特点,成为综合评价中常用的方法。20世纪90年代后,专家系统法、灰色系统评价方法、神经网络方法、物元

收稿日期:2017-08-07;修回日期:2017-09-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51175322)。

第一作者简介:马丽莎(1993),女,江苏东台人,硕士研究生,主要研究方向为质量控制。E-mail:2460169412@qq.com

分析等新的评价方法应用于各个领域。庞继红^[3]针对关键设计质量特性提取的复杂性和不确定性,综合运用模糊理论和FAHP方法建立关键设计质量特性的提取模型。黄洪钟等^[4]在分析数控机床关键故障部位、早期故障原因、性能要求的基础上,建立了可靠性评价体系的三维模型。张根保等^[5]采用基于Vague集的模糊评判获得装配序列指标权重,同时引入基于相对熵的多属性排序方法对各装配序列质量进行综合评价,从而选出最优装配序列。杜彦斌等^[6]提出了一种基于熵权与层次分析法的机床可制造方案综合评价方法,建立了包括经济性、技术性、资源性、环境性的机床再制造方案综合评价指标体系,并对各个指标的量化方法进行了分析。要小鹏等^[7]提出了基于IEGF-AHP算法的机床精度评价方法,通过建立机床各评价指标的可拓判断矩阵,求取相应的权重系数,并利用灰色模糊综合评价法进行逐次分析,最终获得综合评价值。Wang等^[8]基于偏好排序组织方法建立了定量评价指标模型,提出了一种可重构制造系统的指标评价新方法。刘杨等^[9]运用产品广义质量综合评价方法,结合熵值法确定指标权重值,针对不同的指标类型选用不同的从优模式进行数据标准化,对产品质量进行综合评价。

课题组在分析产品设计质量评价内涵的基础上,建立了判定可靠且具有通用性的机床质量评价体系。针对层次分析法评价机床设计质量时忽视了对信息认知的灰色性以及判断矩阵一致性检验困难等不足,提出了灰色模糊层次分析法,使得机床设计质量综合评价过程和结果更具科学性。

1 质量评价体系

1.1 设计质量内涵

产品的设计质量是产品功能和性能的综合体现,通常包括产品的功能和产品的综合性能。产品的设计质量由各个组成元素积累而成,可以表示为^[10-12]:

$$Q(\theta) = \sum_{i=1}^{\theta} y_i q_i = y_1 q_1 + y_2 q_2 + \cdots + y_{\theta} q_{\theta} \quad (1)$$

式中: $Q(\theta)$ 表示包含 θ 个组成元素的产品设计总质量, y_i 表示第 i 个组成元素, q_i 为元素 i 对产品质量的贡献量。

组成元素 i 对产品质量的贡献率表示为:

$$Q_i(\theta) = \frac{y_i q_i}{Q(\theta)} = \frac{y_i q_i}{\sum_{i=1}^{\theta} y_i q_i} \quad (2)$$

通过公式(2)可以分析各个元素对产品质量的贡

献率,依据贡献率大小可以对其进行定性划分,贡献率大为重要元素,贡献率小为次要元素。在设计机床时,若对机床质量的组成元素进行划分能使设计过程更有针对性。

1.2 设计质量评价

机床设计质量评价过程可以总结为:将机床功能和性能作为评价主体,以经济指标、技术指标和社会指标作为划分准则,定量分析机床的质量水平,从而为决策者提供依据^[13-14],评价模型如图1所示。

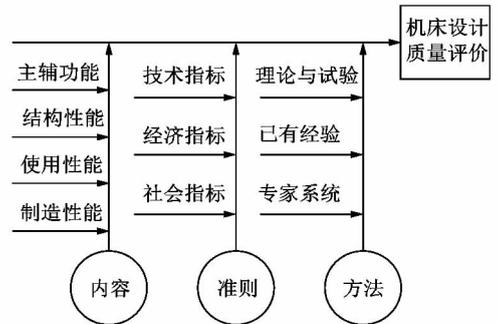


图1 机床设计质量评价

Figure 1 Evaluation of machine tool design quality

1.3 质量评价体系构成

1.3.1 体系建立原则

在全面分析各个质量影响因素的基础上,对机床质量进行科学评价,保证质量评价结果的可靠性。在制定质量评价体系时,应确保其具有一定的灵活性、实用性和完整性^[15]:

1) 灵活性体现在评价者可以根据质量评价要求在体系中增减指标;

2) 实用性体现在评价体系能准确反映机床设计阶段的各个质量特征;

3) 完整性体现在体系包含机床各方面的评价指标,可以科学地反映机床在设计阶段的质量等级。

1.3.2 体系结构

为综合考虑各个指标的影响,根据产品的总目标建立层次分析模型,使各个质量指标更加条理化、系统化。最高层的指标是对整体性能的抽象描述,最低层的指标是对系统基础性能各方面的描述^[16]。质量评价层次分析结构如图2所示。

层次分析结构将复杂问题简化为几个易处理的局部问题,每个评价指标对产品设计质量的影响都可以定量表示出来。根据用户需求和设计目标,评价体系指标层可以细分出一级指标,二级指标和三级指标等,具有一定的通用性。

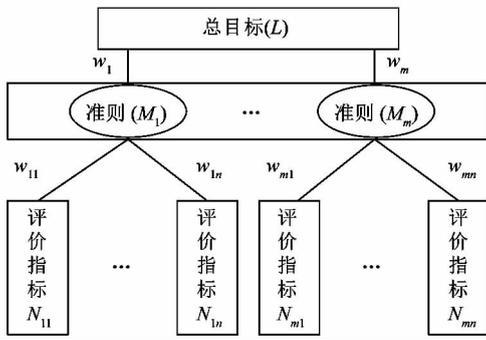


图2 设计质量评价指标层次结构
Figure 2 Hierarchy structure of design quality evaluation index

1.3.3 评价指标

评价指标可以分为极大型、极小型、定目标型和区间型4种,由于各个指标的量纲不同,使得指标之间存在不可比较性。为保证评价的公正性,应将评价指标作规范化处理。

对极大型指标的规范化处理,得到的评价指标为:

$$c_{\eta\mu} = \frac{d_{\eta\mu} - d_{\mu}^{\min}}{d_{\mu}^{\max} - d_{\mu}^{\min}} \quad (3)$$

对极小型指标的规范化处理,得到的评价指标为:

$$c'_{\eta\mu} = 1 - \frac{d_{\eta\mu} - d_{\mu}^{\min}}{d_{\mu}^{\max} - d_{\mu}^{\min}} \quad (4)$$

式中: $d_{\eta\mu}$ 表示原评价指标值, $c_{\eta\mu}$, $c'_{\eta\mu}$ 表示规范化处理后的评价指标值, d_{μ}^{\max} 和 d_{μ}^{\min} 表示评价指标的最大值和最小值。

1.3.4 灰色评估

组织 e 位专家对产品质量进行评估,第 k 位专家对第 i 个准则的指标评估矩阵为 $V^{(i)} = [v_{kj}^{(i)}]_{e \times n}$ 。机床设计质量评价指标所属灰类集合记为 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 。文中采用4级评估, $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\} = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 。记第1类下限为 U ,第2类中限为 V ,第3类中限为 X ,第4类上限为 Y ,且规定 $U = 9, V = 7, X = 5, Y = 2$ 。根据灰色统计法,利用白化权函数可以求出 $v_{kj}^{(i)}$ 属于第 s 灰类的权 $f_s(v_{kj}^{(i)})$,其中, $s = 1, 2, 3, 4$ 。根据图3所示的4种白化权函数图,可得各类白化权函数表达式^[17-18]。

1) 灰数 $v \in [U, 10)$,其计算公式为:

$$f_1(v_{kj}^{(i)}) = \begin{cases} 0 & v_{kj}^{(i)} \leq V \\ \frac{v_{kj}^{(i)} - V}{U - V} & V < v_{kj}^{(i)} < U \\ 1 & v_{kj}^{(i)} \geq U \end{cases} \quad (5)$$

2) 灰数 $v \in [X, V)$,其计算公式为:

$$f_2(v_{kj}^{(i)}) = \begin{cases} 0 & v_{kj}^{(i)} \leq X \\ \frac{v_{kj}^{(i)} - X}{V - X} & X < v_{kj}^{(i)} < V \\ 1 & v_{kj}^{(i)} = V \\ \frac{U - v_{kj}^{(i)}}{U - V} & V < v_{kj}^{(i)} < U \\ 1 & v_{kj}^{(i)} \geq U \end{cases} \quad (6)$$

3) 灰数 $v \in [Y, V)$,其计算公式为:

$$f_3(v_{kj}^{(i)}) = \begin{cases} 0 & v_{kj}^{(i)} \leq Y \\ \frac{v_{kj}^{(i)} - Y}{X - Y} & Y < v_{kj}^{(i)} < X \\ 1 & v_{kj}^{(i)} = X \\ \frac{V - v_{kj}^{(i)}}{V - X} & X < v_{kj}^{(i)} < V \\ 1 & v_{kj}^{(i)} \geq V \end{cases} \quad (7)$$

4) 灰数 $v \in [1, X)$,其计算公式为:

$$f_4(v_{kj}^{(i)}) = \begin{cases} 0 & v_{kj}^{(i)} \leq Y \\ \frac{X - v_{kj}^{(i)}}{X - Y} & Y < v_{kj}^{(i)} < X \\ 1 & v_{kj}^{(i)} \geq X \end{cases} \quad (8)$$

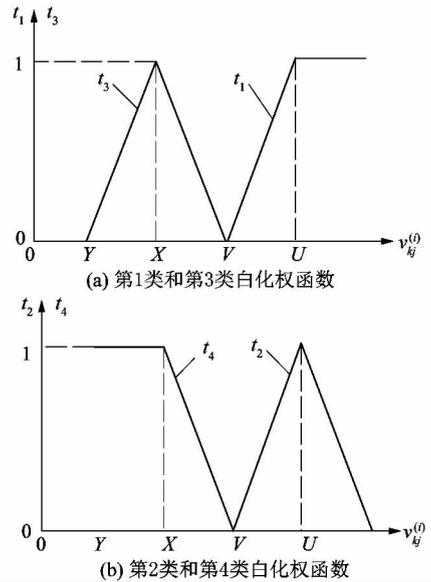


图3 白化权函数

Figure 3 Whitening weight function

2 综合评价

2.1 评价系数

根据模糊层次法原理,建立第 i 个准则的评价指标优先判断矩阵 $A^{(i)} = [a_{\eta\mu}^{(i)}]_{n \times n}$ ^[19],其中:

$$a_{\eta\mu}^{(i)} = \begin{cases} 0.5 & p(\eta) = p(\mu) \\ 1.0 & p(\eta) > p(\mu) \\ 0.0 & p(\eta) < p(\mu) \end{cases} \quad (9)$$

式中： $\mu, \eta = 1, 2, \dots, n$ ； $p(\eta)$ 和 $p(\mu)$ 分别表示指标 $d(\eta)$ 和 $d(\mu)$ 的相对重要程度； A 表示模糊互补矩阵。

对矩阵 A 按行求和得 $b(\mu) = \sum_{\mu=1}^n a_{\eta\mu}^{(i)}$ ，经数学变换得：

$$b_{\eta\mu} = \frac{b_{\eta} - b_{\mu}}{2n} + 0.5。 \quad (10)$$

因此可得模糊一致性矩阵 $B_{\eta\mu} = [b_{\eta\mu}]_{n \times n}$ ，利用和行归一法求得权重向量如下：

$$w_{\mu}^{(i)} = (w_1^{(i)}, w_2^{(i)}, \dots, w_n^{(i)})^T = \left[\frac{\sum_{\mu=1}^n b_{1\mu}}{\sum_{\eta=1}^n \sum_{\mu=1}^n b_{\eta\mu}}, \frac{\sum_{\mu=1}^n b_{2\mu}}{\sum_{\eta=1}^n \sum_{\mu=1}^n b_{\eta\mu}}, \dots, \frac{\sum_{\mu=1}^n b_{n\mu}}{\sum_{\eta=1}^n \sum_{\mu=1}^n b_{\eta\mu}} \right]^T。 \quad (11)$$

2.2 灰数评估矩阵

根据灰类白化权可得指标评估矩阵的灰色统计数 n_{js} 和总灰色统计数 n_j ：

$$n_{js} = \sum_{k=1}^e f_s(v_{kj}^{(i)}), n_j = \sum_{s=1}^4 n_{js}。 \quad (12)$$

综合 e 位专家对各个准则层指标的评估值，对于第 i 个准则，指标 j 属于第 s 灰类的灰色评估权值为：

$$r_{js}^{(i)} = \frac{n_{js}^{(i)}}{n_j^{(i)}}。 \quad (12)$$

进而可以求出第 i 个准则的灰色评估矩阵为：

$$R^{(i)}(\otimes) = \begin{bmatrix} r_{11}^{(i)}(\otimes) & r_{12}^{(i)}(\otimes) & \dots & r_{1h}^{(i)}(\otimes) \\ r_{21}^{(i)}(\otimes) & r_{22}^{(i)}(\otimes) & \dots & r_{2h}^{(i)}(\otimes) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1}^{(i)}(\otimes) & r_{n2}^{(i)}(\otimes) & \dots & r_{nh}^{(i)}(\otimes) \end{bmatrix}。 \quad (13)$$

2.3 灰关联分析

为减小专家评审的主观性，采用灰关联分析修正各个指标的权值，得到评价指标的综合权重。分析每个准则指标之间的不确定关联，关联度大的评价指标对产品质量影响作用大，其权重也大。

第 i 个准则的指标评估序列为：

$$V_{\eta}^{(i)} = \{v_{\eta 1}^{(i)}, v_{\eta 2}^{(i)}, \dots, v_{\eta e}^{(i)}\}, v_{\eta k}^{(i)} = \max\{v_{k1}^{(i)}, v_{k2}^{(i)}, \dots, v_{kn}^{(i)}\}。$$

式中， $k = 1, 2, \dots, e$ 。

以专家对各个准则层评价指标的评分值作为该准则的行为序列：

$$V_j^{(i)} = \{v_{1j}^{(i)}, v_{2j}^{(i)}, \dots, v_{ej}^{(i)}\}, j = 1, 2, \dots, n。$$

第 k 位专家得出指标评估序列与行为序列的绝对残差序列为 $\Delta_k^{(i)}$ ，把绝对残差序列 $\Delta_k^{(i)}$ 中的每一列作

为影响因素代入公式(14)，分辨系数 ρ 取 0.5，求得第 k 位专家打分时 $V_{\eta}^{(i)}$ 和 $V_j^{(i)}$ 的关联系数^[20]：

$$\xi_j^{(i)}(k) = \frac{\min_k \min_k \Delta_j^{(i)}(k) + \rho \max_j \max_k \Delta_j^{(i)}(k)}{\Delta_j^{(i)}(k) + \rho \max_j \max_k \Delta_j^{(i)}(k)}。 \quad (14)$$

关联系数去模糊化，求得关联度为：

$$\gamma_j^{(i)} = \frac{1}{e} \sum_{k=1}^e \xi_j^{(i)}(k)。 \quad (15)$$

将关联度归一化处理，得到第 i 个准则层评价指标的关联权重系数为：

$$\alpha_j^{(i)} k = \frac{\gamma_j^{(i)}}{\sum_{j=1}^n \gamma_j^{(i)}}。 \quad (16)$$

用关联权重系数修正由模糊层次分析法求得的各项指标权重，可得评价指标的综合权重为：

$$w_j^{(i)'} = \frac{\alpha_j^{(i)} w_j^{(i)}}{\sum_{j=1}^n \alpha_j^{(i)} w_j^{(i)}}。 \quad (17)$$

2.4 综合评分

根据评价指标的隶属度和权重向量，利用模糊变换原理，求机床的质量水平隶属于各评语等级的程度有：

$$G^{(i)} = w_j^{(i)'} R^{(i)}(\otimes) = (w_1^{(i)}, w_2^{(i)}, \dots, w_n^{(i)}) \begin{bmatrix} r_{11}(\otimes) & r_{12}(\otimes) & \dots & r_{1h}(\otimes) \\ r_{21}(\otimes) & r_{22}(\otimes) & \dots & r_{2h}(\otimes) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1}(\otimes) & r_{n2}(\otimes) & \dots & r_{nh}(\otimes) \end{bmatrix} = (e_1, e_2, \dots, e_h)。 \quad (18)$$

利用分值集将机床的综合质量水平转化为一个具体的质量指数 C ：

$$C = GT^T = (e_1, e_2, \dots, e_h) \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_h \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^h e_i t_i。 \quad (19)$$

质量指数综合反映了产品的质量水平，可用于不同产品质量间的比较，质量指数与产品评语等级的关系如表 1 所示^[21]。

表 1 质量指数与评价等级对应表

Table 1 Table of quality index and evaluation grade

质量指数	评语等级	质量指数	评语等级
(0,2]	很差	(6,8]	好
(2,4]	差	(8,10]	很好
(4,6]	一般		

3 实例

灰色模糊层次评价法是灰色系统理论和层次分析法相结合的产物,以某公司五轴联动机床为例,应用灰色模糊层次分析评价法评估产品的设计质量。



图4 待评价五轴联动机床

Figure 4 Five axis machine tool to be evaluated

3.1 层次结构

在制定机床评价指标体系时,为使产品满足全生命周期众多环节的要求,应考虑影响机床寿命的所有因素,包括技术指标、经济指标和社会指标。所有指标建立层次结构如图5所示。

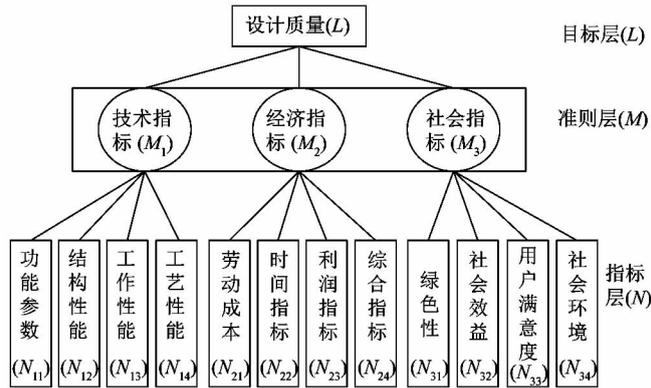


图5 五轴联动机床指标层次结构

Figure 5 Hierarchical structure of five axis machine tool indexes

3.2 指标权重

通过模糊层次分析法得到准则层判断矩阵A如表2所示。其中,技术指标为 a_1 ,经济指标为 a_2 ,社会指标为 a_3 。

表2 准则层判断矩阵

Table 2 Judgment matrix of criterion

A	a_1	a_2	a_3
a_1	0.5	0.0	1.0
a_2	1.0	0.5	0.5
a_3	0.0	0.5	0.5

对矩阵行求和后,根据公式(10)求得准则层权:
 $w^{(0)} = [0.310 \quad 0.362 \quad 0.328]$ 。

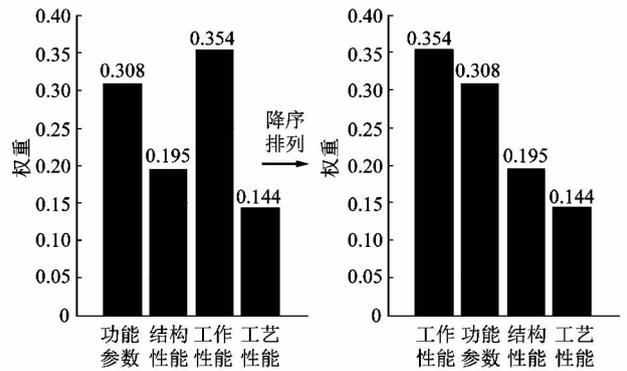
同理,利用模糊层次分析法得到指标层的模糊一致性矩阵,各判断矩阵对应的特征矢量即各评价指标对于质量目标的合成权重如下:

$$w^{(1)} = [0.308 \quad 0.195 \quad 0.345 \quad 0.144];$$

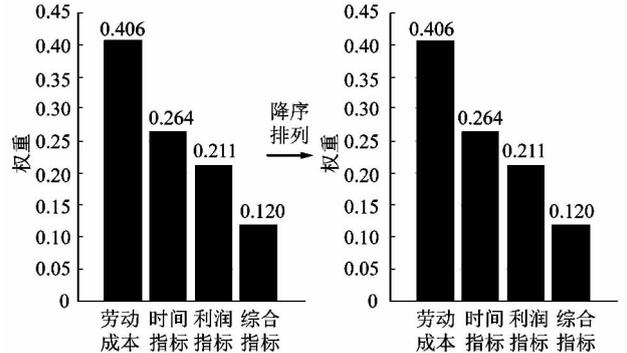
$$w^{(2)} = [0.406 \quad 0.264 \quad 0.211 \quad 0.120];$$

$$w^{(3)} = [0.265 \quad 0.221 \quad 0.365 \quad 0.149]。$$

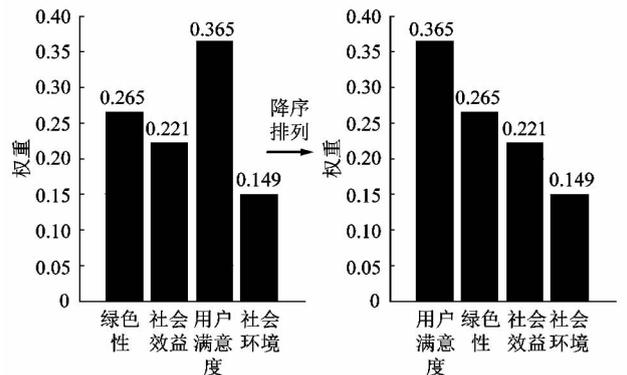
将各准则层的指标权重可视化以及根据权值降序排列如图6所示。



(a) 技术指标权重



(b) 经济指标权重



(c) 社会指标权重

图6 五轴联动机床的指标权重

Figure 6 Weights of five axis machine tool indexes

由图 6 可知,技术指标中工作性能所占权重最大,工艺性能所占权重最小;经济指标中劳动成本权重最大,综合指标权重最小;社会指标中用户满意度所占权重最大,社会环境权重最小。

3.3 权值修正

在权重分配的基础上,组织 5 名专家对产品质量按标准进行打分,得到技术指标、经济指标和社会指标的评判矩阵 $V^{(1)}$, $V^{(2)}$ 和 $V^{(3)}$ 。

$$V^{(1)} = \begin{bmatrix} 7 & 5 & 7 & 6 \\ 8 & 6 & 5 & 7 \\ 8 & 5 & 6 & 7 \\ 7 & 6 & 5 & 6 \\ 7 & 6 & 6 & 7 \end{bmatrix};$$

$$V^{(2)} = \begin{bmatrix} 8 & 6 & 9 & 8 \\ 7 & 7 & 6 & 7 \\ 7 & 6 & 7 & 8 \\ 6 & 8 & 8 & 7 \\ 8 & 7 & 8 & 9 \end{bmatrix};$$

$$V^{(3)} = \begin{bmatrix} 8 & 6 & 7 & 7 \\ 7 & 8 & 6 & 8 \\ 8 & 8 & 7 & 6 \\ 8 & 7 & 8 & 9 \\ 7 & 7 & 8 & 8 \end{bmatrix}。$$

灰色关联分析是灰色系统理论的一个分支,根据公式(14)和公式(15)求得技术指标、经济指标和社会指标的灰色关联度,分析情况如图 7 所示。

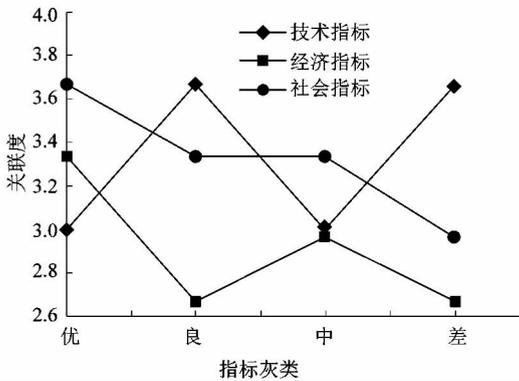


图 7 五轴联动机床的指标关联度
Figure 7 Correlation degree of five axis machine tool indexes

图 7 中,技术指标的灰类关联度,灰类等级“良”和“差”与评价结果的关联度较大;经济指标的灰类关联度,灰类等级“优”与评价结果的关联度最大,“良”

和“差”与评价结果的关联度较小;社会指标的灰类关联度,灰类等级“优”与评价结果的关联度最大,灰类等级“差”与评价结果的关联度最小。

根据公式(16)求得 3 个准则层各个指标之间的关联系数为:

$$\alpha^{(1)} = (0.225\ 0, 0.275\ 0, 0.225\ 0, 0.275\ 0);$$

$$\alpha^{(2)} = (0.286\ 7, 0.229\ 3, 0.254\ 7, 0.229\ 3);$$

$$\alpha^{(3)} = (0.275\ 8, 0.250\ 7, 0.250\ 7, 0.222\ 8)。$$

根据公式(17),用关联系数对指标权重进行修正:

$$w^{(1)'} = (0.288\ 6, 0.185\ 7, 0.323\ 2, 0.164\ 9);$$

$$w^{(2)'} = (0.451\ 0, 0.234\ 4, 0.208\ 1, 0.106\ 5);$$

$$w^{(3)'} = (0.288\ 4, 0.218\ 9, 0.361\ 5, 0.131\ 2)。$$

每个准则下的 4 个评价指标原有权重和修正后的对应权重对比如图 8 所示。

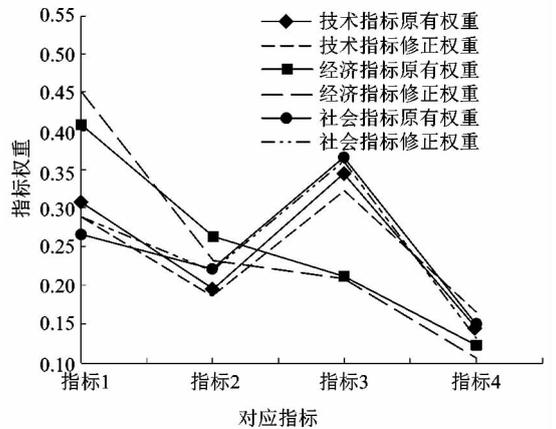


图 8 评价指标权值对比

Figure 8 Comparison of weights of evaluation indexes

由图 8 可以发现,在相同条件下,对于同一被评价的指标,计算所得的权重存在不同程度的偏差,修正后的评价指标权重系数考虑了人对事物认识的模糊性,使评价人员对五轴联动机床设计质量评价的结果具有更高的可信度。

3.4 综合评价

根据 5 位专家给出的评分矩阵确定灰数后,利用公式(12)~(13)可得各个评价指标分别属于 4 个灰类的评估值,所得灰色评估矩阵如下所示:

$$R^{(1)}(\otimes) = \begin{bmatrix} 0.200 & 0.800 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.375 & 0.625 & 0.000 \\ 0.000 & 0.400 & 0.600 & 0.000 \\ 0.000 & 0.800 & 0.200 & 0.000 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{R}^{(2)}(\otimes) = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0.0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0.0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \\ 0.4 & 0.6 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{R}^{(3)}(\otimes) = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0.0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}。$$

将灰色评估矩阵代入公式(18)得到初级评价结果 $G^{(1)}$ 、 $G^{(2)}$ 和 $G^{(3)}$:

$$G^{(1)} = w^{(1)} \mathbf{R}^{(1)}(\otimes) = [0.057\ 7, 0.561\ 7, 0.380\ 1, 0.000\ 0],$$

$$G^{(2)} = w^{(2)} \mathbf{R}^{(2)}(\otimes) = [0.239\ 5, 0.647\ 7, 0.112\ 8, 0.000\ 0],$$

$$G^{(3)} = w^{(3)} \mathbf{R}^{(3)}(\otimes) = [0.255\ 1, 0.673\ 8, 0.071\ 2, 0.000\ 0]。$$

求得综合评价结果 G :

$$G = w^{(0)} \mathbf{B}^{(0)} = w^{(0)} \begin{bmatrix} G^{(1)} \\ G^{(2)} \\ G^{(3)} \end{bmatrix} = [0.188\ 3, 0.629\ 6,$$

0.182\ 0, 0.000\ 0]。

将综合评价结果代入公式(19),得到产品质量指数:

$$C = 7.012。$$

由产品质量指数可知,该五轴联动机床质量属于“优”、“良”、“中”、“差”灰类评估等级的隶属度分别为 18.83%、62.96%、18.20% 和 0。根据表 1 可知,该机床质量等级为“好”,机床具有一定的市场竞争力,但仍有一些质量提升空间。

4 结论

机床在设计过程中存在相互约束的多层次指标,建立判定可靠且具有通用性的综合评价体系能使质量指标层次清晰化,对明确设计目标、设计重点以及优化设计质量有一定的指导意义。笔者结合灰色理论和模糊层次分析法为机床设计质量提供了一种科学有效的综合评价方法,在构建质量评价体系时,保证了体系的通用性、实用性和完整性;用关联系数对评价指标的权重进行修正,提高了判断结果的可信度。对于机床设计质量评价的研究有利于明确产品的设计重点、缩短产品的研制周期以及优化设计质量,这对提高企业竞争力意义重大。

参考文献:

[1] 赵楠,于爱兵,路明村. 机床造型质量的模糊层次综合评价[J].

制造技术与机床,2007(9):66-69.

- [2] SAATY T L. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes [J]. European journal of operational research,2006,168(2):557-570.
- [3] 庞继红. 复杂机电产品设计质量若干关键技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2011:1-15.
- [4] 黄洪钟,刘征,彭卫文,等. 数控机床可靠性评价体系探究[J]. 制造技术与机床,2015(7):71-77.
- [5] 张根保,罗冬梅,冉琰,等. 基于相对熵排序的装配序列质量模糊评价方法[J]. 中国机械工程,2016,27(8):1089-1095.
- [6] 杜彦斌,曹华军,刘飞,等. 基于熵权与层次分析法的机床再制造方案综合评价[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(1):84-88.
- [7] 要小鹏,黄华川,殷国富,等. 基于 IEGF-AHP 算法的机床精度评价[J]. 中国机械工程,2016,27(23):3215-3220.
- [8] WANG Guoxin, HUANG Sihan, YAN Yan, et al. Reconfiguration schemes evaluation based on preference ranking of key characteristics of reconfigurable manufacturing systems[J]. The international journal of advanced manufacturing technology,2016,89(5/6/7/8):2231-2249.
- [9] 刘杨,陈亚哲,刘挺,等. 基于熵值法的产品广义质量综合评价方法[J]. 中国工程机械学报,2010,8(4):485-488.
- [10] 王洪,唐晓青. 设计质量评估体系模型及其构建方法研究[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(1):50-53.
- [11] 郭凯. 产品设计质量评价方法及其应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2009:1-13.
- [12] 刘杰. 现代产品设计规划的关键理论及其应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2008:15-18.
- [13] 闻邦椿,李小彭,李鹤,等. 机械产品设计质量的检验与评估[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [14] 朱永梅,王明强. 机械产品设计综合评价的方法研究[J]. 华东船舶工业学院学报(自然科学版),2004,18(3):70-74.
- [15] XI Xi, QIN Qiuli. Product quality evaluation system based on AHP fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of industrial engineering and management, 2013,6(1):356.
- [16] VIDAL L A, MARLE F, BOCQUET J C. Using a Delphi process and the analytic hierarchy process (AHP) to evaluate the complexity of projects[J]. Expert systems with applications,2011,38(5):5388-5405.
- [17] 陈翔. 退役机床再设计方法及支持系统[D]. 重庆:重庆大学,2013:24-26.
- [18] 刘英,余武,李岳,等. 基于区间灰色系统理论的可靠性分配[J]. 中国机械工程,2015,26(11):1521-1526.
- [19] 王化吉,宗长富,管欣,等. 基于模糊层次分析法的汽车操纵稳定性主观评价指标权重确定方法[J]. 机械工程学报,2011,47(24):83-90.
- [20] PALANIKUMAR K, LATHA B, SENTHILKUMAR V S, et al. Analysis on drilling of glass fiber - reinforced polymer (GFRP) composites using grey relational analysis [J]. Materials and manufacturing processes,2012,27(3):297-305.
- [21] 李爱群,黄玉舫,邱均平. 我国学术期刊文献计量评价体系的客观性与评价结果的准确性探讨[J]. 中国科技期刊研究,2009,20(4):609-613.