

# 基于灰色理论的机械产品设计方案综合选择研究

刘晓叙, 吴 鹏

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

**摘 要:** 运用灰色理论中灰色关联的基本概念和方法, 进行了机械产品设计方案综合选择的应用研究。用灰色关联的方法进行设计方案的综合选择具有概念清楚, 计算方便, 区分度好的特点, 为机械产品设计方案的综合评价和选择提供了一种新方法。

**关键词:** 机械产品; 设计方案; 灰色关联; 方案选择

**中图分类号:** TH 122

**文献标识码:** A

在机械产品设计中, 任何一个产品的设计都会有多种设计方案, 如何对多个设计方案进行综合评价并选择其中最好的方案, 是机械产品开发设计中常常遇到的问题。

在一般机械产品方案设计阶段, 对设计方案选择的基本方法是根据设计人员的经验来进行, 这种方法的有效与否主要是取决于设计人员对所设计和评价产品的理解, 以及所具有的产品设计制造经验的丰富程度。在这种方法的基础上, 也可以采用专家按产品评价指标的要求, 对产品符合评价指标的情况进行打分评价。这种方法对一些简单产品和评价指标不多的产品来说, 一般不会产生矛盾的结果。但随着现代机械产品复杂程度的增加、评价指标的增多、并且有的指标之间还可能是相互矛盾的情况下, 要同时兼顾各个指标的影响, 对产品设计方案进行合理评价和选择的难度就大大地增加了。如何通过科学的方法对方案进行评价, 综合地考虑多个评价指标的影响, 并挑选出最接近设计要求的设计方案是产品设计中需要解决的问题。对这种问题的处理, 现在用得比较多的方法是采用模糊综合评判。本文根据灰色理论中灰色关联的基本概念和方法, 将其运用于产品设计方案的综合选择, 并通过一个例子的计算, 证明该方法是可行的。

## 1 模糊综合评判与灰色关联

机械产品的评价指标, 都存在指标的“内涵”和“外

延”的属性。简单地讲, 指标的“内涵”是表示指标的含义是什么; “外延”是表示指标的值是多少。有一些属于定量的指标, 如转速、生产率和最大功率等, 这种指标可以很直观的进行比较, 因为其内涵和外延都是清楚的; 但机械产品中还有很多指标是属于定性的指标, 如产品的“造型美观”、“结构的工艺性”和“操作方便”等, 通常可以认为这些指标的内涵是清楚的, 但外延不清楚, 所以, 可以采用模糊数学的方法来对其进行处理。在模糊判断中, 隶属函数和隶属度的确定带有很大的经验性和主观性。

根据灰色系统理论<sup>[1-2]</sup>, 很多机械产品的技术系统是信息不完全的灰色系统, 因为从广义的角度来讲, 任何系统都是信息不完全的, 因此任何系统都是灰色系统, 只是灰色的程度不同而已。灰色系统除了主要处理外延明确而内涵不明确的问题外, 也能处理内涵与外延都不明确的问题。所以, 灰色系统主要应用于灰色预测<sup>[3-4]</sup>、灰色关联<sup>[5]</sup>和灰色决策<sup>[6]</sup>等领域。从灰色系统理论的角度来讲, 机械产品评价指标中的定性指标, 也不能完全说是内涵清楚, 外延不清楚的。例如: 人们对“产品造型美观”的认识或理解实际上也不能说是完全清楚的, 一般只能说“产品的造型美观”应主要考虑那几个方面而已, 因为人们对“美观”所包含信息的认知是不完全的。

在模糊数学的模糊综合判断中, 是采用贴近期来判断两个模糊集的接近程度。灰色理论的灰色关联是指

事物之间的不确定关联。灰色关联主要分析和确定系统因子间的影响程度或因子对主行为的贡献程度。这种因子间关系的分析和比较,形象地讲实际上是几种曲线间几何形状的分析,曲线的几何形状越接近,则可认为关联程度越大。灰色关联系数的计算,就是系统因素之间关联程度大小的定量分析。

而对产品设计方案的选择,实际上就是要在所有设计方案中,选择与理想方案的设计指标最为接近的设计方案。所以,可以把设计方案的选择转化为实际设计方案评价指标与理想方案评价指标的灰色关联度大小的计算问题,运用灰色关联的方法来进行设计方案的综合选择。

## 2 灰色关联度计算的基本方法

### 2.1 建立因子空间

在一个系统中,影响系统的因素可能很多,一般根据人们对系统的认识和经验,对一个具体的问题,可以根据问题的需要,通过定性分析的方法找出或确定主要的影响因素,这些主要的因素就构成进行灰色关联分析的因子空间。

例如对一个机械产品的设计方案,可以从技术性能、使用方便、造型美观、经济性和绿色环保等几方面来进行评价。

### 2.2 对数据进行等权处理

在建立因子空间后,为了避免两个序列的因子值由于数值差别太大而使数值大的数据对结果的影响太大,而使小数值序列的数据作用反映不出来,需要对数据进行等权处理。所谓等权处理,是实现序列因子间对结果的影响权重相同。一般可采用初值化、均值化等方法对数据进行等权处理。初值化是指每个因子集所有数据均用第一个数据除,然后得到一个新的数列,这个新的数列就是各个不同的值相对于第一个值的百分比。均值化则是以序列的平均值去除所有的数据,从而得到一个以占平均值百分比为多少的序列。

例如:有序列:  $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$  进行初值化后,  $X'_i = X_i/x_i(1) = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(n))$   $i = 0, 1, 2, \dots, m$ 。

### 2.3 求差序列

$$\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)| \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

### 2.4 求最大差与最小差

$$M = \max_i \max_k \Delta_i(k), \quad m = \min_i \max_k \Delta_i(k) \quad (2)$$

式(1)和式(2)分别是对差值序列进行大中取大和小中取小的计算。

## 2.5 求关联系数

关联系数:

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{m + \zeta M}{\Delta_i(k) + \zeta M}$$

$$k = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

式中:  $\zeta$ 为分辨系数,取值在 0~1 之间,一般取 0.5。

## 2.6 计算关联度

$$\gamma_{0i} = \gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k))$$

## 3 算例

采用灰色关联的方法,对某产品的设计方案进行评选。

某机械产品共有 10 个设计方案,确定的评价指标有:  $X = (x_1, x_2, \dots, x_7) = (\text{造型、结构工艺性、经济性、可靠性、人机关系、功能、维护性})$  等 7 个。

基本的方法是采用比率标度法确定理想设计方案和每个设计方案对评价指标的一维比率判断向量<sup>[7]</sup>。对得到的一维向量进行初值化处理,采用灰色关联的方法,求出每个设计方案与理想产品的关联度,其关联度最大者即为最好的设计方案。

### 3.1 理想设计方案对评价指标的一维比率判断向量

$$x_0 = (0.047, 0.161, 0.123, 0.173, 0.022, 0.452, 0.022)$$

10 个设计方案对 7 个评价指标的比率判断向量:

$x_1 =$	0.361	0.041	0.054	0.100	0.362	0.041	0.041
	0.043	0.388	0.042	0.171	0.293	0.021	0.042
	0.198	0.050	0.197	0.034	0.442	0.055	0.024
	0.151	0.063	0.152	0.026	0.547	0.045	0.016
	0.018	0.069	0.253	0.050	0.253	0.104	0.253
	0.350	0.055	0.055	0.089	0.349	0.044	0.058
	0.030	0.197	0.127	0.215	0.030	0.386	0.015
	0.029	0.281	0.070	0.029	0.281	0.281	0.029
	0.068	0.152	0.152	0.032	0.548	0.032	0.016
	0.067	0.024	0.240	0.031	0.540	0.067	0.031

### 3.2 初值化后的数值序列

$$x'_0 = (1, 3.425, 2.617, 3.681, 0.468, 9.617, 0.468)$$

$x'_1 =$	1	0.114	0.150	0.277	1.003	0.114	0.114
	1	9.023	0.977	3.977	6.814	0.488	0.977
	1	0.253	0.995	0.171	0.2.23	0.278	0.121
	1	0.417	1.007	0.172	3.623	0.298	0.106
	1	3.833	14.05	2.778	14.056	5.778	14.056
	1	0.157	0.157	0.254	0.997	0.126	0.166
	1	6.567	4.233	7.167	1.000	12.867	0.5
	1	9.690	2.413	1.000	9.690	9.690	1.000
	1	2.235	2.235	0.471	8.059	0.471	0.235
	1	0.358	3.582	0.462	8.060	1.000	0.463

3.3 差值序列为

$$\Delta_i = \begin{pmatrix} 0 & 3.312 & 2.467 & 3.404 & 0.535 & 9.503 & 0.355 \\ 0 & 5.6 & 1.64 & 0.296 & 6.346 & 9.129 & 0.509 \\ 0 & 3.173 & 1.622 & 3.509 & 0.764 & 9.339 & 0.347 \\ 0 & 3.008 & 1.61 & 3.509 & 3.154 & 9.319 & 0.362 \\ 0 & 0.408 & 11.439 & 0.90 & 13.587 & 3.839 & 13.587 \\ 0 & 3.268 & 2.46 & 3.427 & 0.529 & 9.491 & 0.302 \\ 0 & 3.141 & 1.616 & 3.486 & 0.532 & 3.250 & 0.032 \\ 0 & 6.264 & 0.203 & 2.681 & 9.222 & 0.073 & 0.532 \\ 0 & 1.190 & 0.382 & 3.21 & 7.591 & 9.146 & 0.233 \\ 0 & 3.067 & 0.965 & 3.218 & 7.591 & 8.617 & 0.005 \end{pmatrix}$$

3.4 求  $M = \max_i \min_k \Delta_i(k)$  和  $m = \min_i \max_k \Delta_i(k)$

$M = 13.587, m = 0.0$

3.5 计算关联系数

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{m + \Delta_i}{\Delta_i(k) + \Delta_i}$$

取  $\zeta = 0.5, k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.672 & 0.733 & 0.666 & 0.927 & 0.417 & 0.950 \\ 1.0 & 0.543 & 0.806 & 0.958 & 0.517 & 0.427 & 0.930 \\ 1.0 & 0.682 & 0.807 & 0.659 & 0.794 & 0.421 & 0.951 \\ 1.0 & 0.693 & 0.808 & 0.659 & 0.683 & 0.422 & 0.949 \\ 1.0 & 0.943 & 0.373 & 0.883 & 0.333 & 0.639 & 0.333 \\ 1.0 & 0.675 & 0.734 & 0.664 & 0.928 & 0.417 & 0.957 \\ 1.0 & 0.684 & 0.808 & 0.661 & 0.927 & 0.676 & 0.995 \\ 1.0 & 0.520 & 0.971 & 0.718 & 0.424 & 0.989 & 0.927 \\ 1.0 & 0.851 & 0.947 & 0.679 & 0.472 & 0.426 & 0.967 \\ 1.0 & 0.689 & 0.876 & 0.678 & 0.472 & 0.441 & 0.999 \end{pmatrix}$$

3.6 灰色关联度

在求出关联系数后,按公式  $\gamma_{0i} = \gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \cdot$

$\sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k))$  可求出灰色关联度,关联度  $\gamma(x_0, x_i) = (0.7666, 0.7409, 0.7592, 0.745, 0.6435, 0.7681, 0.8217, 0.7928, 0.7632, 0.7365)$ 。

可以看出,关联度的最大值为 0.8217,所对应的设计方案为设计方案 7,根据灰色关联的原理,应选择设计方案 7。用前面的一维比率向量,采用模糊综合判断的直接模式识别法所得到的结果为<sup>[7]</sup>:  $E = (0.1$

0.171, 0.123, 0.123, 0.123, 0.089, 0.386, 0.281, 0.152, 0.123),其最大值 0.386所对应的为设计方案 7。可见用灰色关联度计算选择的方案,与采用模糊综合评判选择的结果相同。

4 结束语

机械产品设计方案的评价中,涉及很多的定性指标,过去这些定性指标的取舍和设计方案的选择,主要依靠设计者的经验,难于进行较为准确的量化处理。按照灰色系统的理论,这些指标实际上都是属于灰色系统的范围,采用灰色关联的方法,可以定量地反映系统各个因素之间的相互作用、相互依赖的关系,可以全面地对设计方案的指标进行综合比较。灰色关联综合选择与采用模糊综合判断选择的结果相同,表明采用灰色关联的方法不会出现异常的、将正相关的情况作为负相关的情况,其方法是可靠的。灰色关联的分析对数据的要求不高,数据多或数据少都可以进行,是一种实用方便的机械产品设计方案定量综合选择方法,这种方法也可以推广到经济、管理等领域处理类似的情况。

参考文献:

- [1] 罗佑新. 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] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 刘晓叙. 灰色预测与一元线性回归预测的比较 [J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2009, 22(1): 107-109.
- [4] 刘晓叙, 陈敏. 内燃机气缸套磨损量的灰色预测 [J]. 润滑与密封, 2009, 34(3): 78-80.
- [5] 宋玲, 袁堂涛. 基于灰色关联分析的机械制造工艺方案选择 [J]. 煤矿机械, 2008, 29(3): 92-94.
- [6] 张彦, 赵韩. 灰色决策方法在轴承设计方案优选中的应用 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2008, 10: 1-3.
- [7] 朱文予. 机械概率设计与模糊设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

Synthetically Selecting the Design Plan of Mechanical Product Based on Grey Theory

LIU Xiaoxu, WU Peng

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

**Abstract** Using the basic concepts and methods about grey association of grey theory, the method of how the grey association theory to be applied for selecting the mechanical product design plans is studied. This method has the advantages of clear in concept, easy to calculate and distinguish. It is a new method for selecting the mechanical product design plans.

**Key words** mechanical product design plan, grey association, selecting plans