

基于组合赋权 TOPSIS 模型的工艺参数决策方法

戴宁^{a,b}, 万林林^{a,b}

(湖南科技大学 a. 智能制造研究院; b. 难加工材料高效精密加工湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 加工工艺方案的优选实质上是一种多目标决策的问题, 现阶段普遍采用的决策方案存在主观程度高、权重分配不科学、决策结果不稳定等缺陷。在此背景下, 提出一种基于 3 种权重组合赋权 TOPSIS 模型。建立磨削加工工艺 IPO 模型和磨削工艺绿色度评价体系; 通过改进 CRITIC 法、专家打分法以及熵值 G2 法得到 3 种权重, 再由改进 CRITIC 法对 3 种权重进行组合赋权, 结合 TOPSIS 法求解。以主轴磨削实验进行案例分析, 确定了最佳工艺参数, 实现资源和效率的协调优化, 节约能源, 提高质量。

关键词: 多目标决策; 组合权重; 工艺参数; TOPSIS 法; 主轴

中图分类号: TH16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2022)04-0107-06

Decision Making Method of Process Parameters Based on TOPSIS Model with Combination Weight

DAI Ning^{a,b}, WAN Linlin^{a,b}

(a. Intelligent Manufacturing Institute; b. Hunan Provincial Key Laboratory of High Efficiency and Precision Machining of Difficult-to-cut Material, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The essence of the optimization of processing scheme is a matter of multi-objective decision-making, and the decision-making schemes commonly used at present, however, have defects such as high degree of subjectivity, unscientific weight distribution, and unstable decision-making results etc. A TOPSIS model based on three weight combinations is proposed. IPO Model of grinding process and its green degree evaluation system are established. The improved CRITIC method, expert scoring method and entropy G2 method are applied to get three kinds of weights, which are combined by improved CRITIC method and solved by TOPSIS method. A case study of spindle grinding experiment is carried out to determine the optimal process parameters and realize the coordinated optimization of resources.

Keywords: multi-objective decision making; combination weight; processing parameters; TOPSIS method; spindle

0 引言

当前世界资源日益匮乏, 在环保压力不断增大的趋势下, 减少机械产品在生产过程中产生的废弃物, 选用低能耗低排放的工艺参数进行生产加工, 对环境资源的保护以及实现绿色制造具有重要意义。近年来, 有关工艺方案优选和决策问题的研究, 引起了一些学者的关注。韩自强等^[1]使用基于熵权 TOPSIS 法对机械加工实现了绿色工艺方案决策; 陆星宇等^[2]结合熵权 TOPSIS 对 FDM 成型工艺参数进行了多目标优化研究, 实验结果证明了熵权与 TOPSIS 相结合的科学性; 赵韬^[3]采用改进的模糊层次分析法和模糊综合评价法相结合的综合评价方法对典型机床零部件生产工艺绿色度进行了评价; 黄文良等^[4]通过粒子群算法对数控平面铣削工艺参数多目标优化模型求解, 表明该模型具有较高的精度和较好的优化效果; LYU L 等^[5]提出了 AHP 和 CRITIC 的组合权重, 使用 TOPSIS 法对指标进行排序, 确定最佳加工参数; 程美等^[6]针对微

细电火花加工的多个质量指标, 提出了 AHP 和 GRA 相结合优化工艺参数组合。

从上述可以看出, 现有研究多是采用将多目标问题转化成单目标问题的解决思路, 但是其计算过程相对复杂, 在权重的确定和分配上存在一定的主观随意性, 容易造成决策失误, 在一定程度上影响优化结果的准确性和一致性。本文利用改进 CRITIC 法得到客观权重, 专家打分得到主观权重, 熵值修正的 G2 法得到混合权重, 再由改进 CRITIC 法确定 3 种权重的占比来组合赋权, 并通过 TOPSIS 法进行接近度分析, 建立了基于改进 CRITIC-专家打分-熵值 G2 的组合赋权 TOPSIS 模型, 以主轴加工工艺方案为例, 通过正交实验所得数据进行优选分析, 验证了该模型的可行性和实用性。

1 建立磨削加工工艺 IPO 模型和磨削工艺绿色度评价体系

IPO 模型是用来描述一个系统中数据的输入和输出

基金项目: 湖南省教育厅科学研究重点项目 (19A163)

第一作者简介: 戴宁 (1996—), 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 研究方向为绿色设计、工艺优化、多目标决策等。

的模型。在机械加工过程中,输入元素有原材料、切削液、电能、工艺参数等因素,输出元素有成品、噪声、粉尘等因素。结合磨削工艺生产过程的输入和输出元素,建立如图 1 所示的机械制造磨削加工工艺 IPO 模型。通过分析磨削工艺过程的资源环境属性,建立磨削工艺绿色度评价体系如图 2 所示。

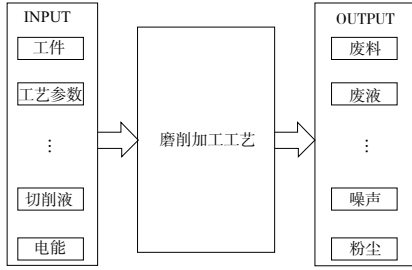


图 1 磨削工艺 IPO 模型

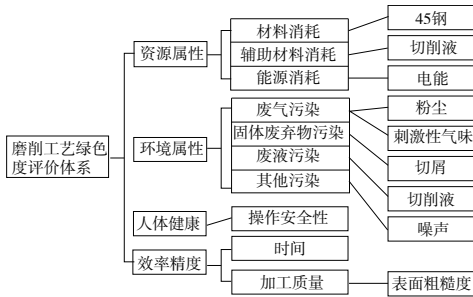


图 2 磨削工艺绿色度评价体系

2 组合赋权

2.1 改进 CRITIC 法

CRITIC 法是一种处理多元准则方案的评估方法,由 Diakou laki 最先提出,该方法是以评价指标的对比强度和指标间的冲突性来综合衡量特征的客观权重,第 j 个指标与其他指标的冲突量化指标为 $\sum_{i=1}^m (1-r_{ij})$, r_{ij} 表示第 i 个指标和第 j 个指标之间的相关系数^[7]。传统的 CRITIC 法在计算中 r_{ij} 可能会产生负值,影响结果的准确性,本文通过取 r_{ij} 的绝对值对其改进,消除其中的逆指标带来的影响,即计算 $\sum_{i=1}^m (1-|r_{ij}|)$ 指标来度量指标之间的冲突性。

1) 首先对收集得数据构建资源环境评分矩阵 $Y = [y_{ij}]_{m \times n}$ 。其中 m 为工艺方案个数; n 为评价指标个数; y_{ij} 表示第 i 个工艺方案的第 j 个评价指标的得分。

2) 为了消除数据量纲的影响,选用标准方差法对决策矩阵进行标准化处理^[8]:

$$z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2}} \quad (1)$$

得无量纲矩阵 $Z = [z_{ij}]_{m \times n}$

3) 得到第 j 个指标包含的信息量如下:

$$C_j = \frac{\sigma_j}{\mu_j} \sum_{i=1}^m (1 - |r_{ij}|) \quad (2)$$

式中: σ_j 为第 j 个指标的标准差; μ_j 为第 j 个指标的均值。

4) 第 j 个指标的客观权重计算公式为

$$\omega_j^o = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

同理,由于各权重间的对比强度和冲突性不同,CRITIC 法将用于后续的主客观权重分配上。

2.2 专家打分法

首先,由 k 位专家综合理论知识和丰富的实践经验,对待评价工艺的评价体系中的 n 个评价指标进行独立评分,得评价向量矩阵 $U = [u_{ij}]_{k \times n}$ 。

由于后续的熵值修正能对专家打分法进行补充,当专家意见分歧较大时,信息熵能将其体现出来,故在此无需一致性检验。

则第 j 个指标的主观权重计算公式为

$$\omega_j^z = \frac{\sum_{i=1}^k u_{ij}}{\sum_{\substack{1 \leq i \leq k \\ 1 \leq j \leq n}} u_{ij}} \quad (4)$$

式中 u_{ij} ($1 \leq i \leq k; 1 \leq j \leq n$) 是第 i 个专家对 j 个指标的评价值。

2.3 熵值修正的 G2 法

熵值修正的 G2 法是建立在专家打分法基础上的,通过计算决策者的主观评价数据的客观信息熵,再结合 G2 法的主观判断,在一定程度上实现了主客观信息的结合。

其评价指标的计算 u_{ij} 的信息熵为^[9]

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln(f_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中: $e_j > 0; f_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sum_{i=1}^m u_{ij}}$ 为第 i 位专家对第 j 个指标评价价值占该指标总评价价值的比重。

决策者从指标体系中选出他认为最不重要的一个指标 u_s , 记其信息熵为 e_s , 然后通过对比该指标的信息熵,得到其他指标的重要程度比值如下^[10]:

$$a_s = \begin{cases} \frac{e_s}{e_j}, & e_j < e_s \\ 1, & e_j \geq e_s \end{cases} \quad s = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

各指标的混合权重:

$$\omega_j^s = \frac{a_j}{\sum_{i=1}^n a_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

2.4 基于改进 CRITIC 法权重分配的组合赋权

为解决部分权重分配对主观的依赖性较大和系数过于均衡的问题,在有主客观权重的基础上,加入熵值 G2 混合权重,以增强决策的稳定性。通过改进 CRITIC 法对 3 种权重进行分配,分析权重间的差异性来确定其权重占

比。具体权重占比计算步骤如下:

1)由改进 CRITIC 法得出的权重 ω_j^c ,专家打分的权重 ω_j^z ,熵值 G2 的权重 ω_j^s ,构造权重矩阵如下:

$$\omega_{ij} = (\omega_j^c, \omega_j^z, \omega_j^s) = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{n1} & \omega_{n2} & \omega_{n3} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2)计算各权重的信息量 C'_j

$$C'_j = \frac{\sigma'_j}{\mu'_j} \sum_{i=1}^n (1 - |r'_{ij}|) \quad (9)$$

式中: σ'_j 为第 j 个权重的标准差; μ'_j 为第 j 个权重的均值; r'_{ij} 表示第 i 个权重和第 j 个权重之间的相关系数。

3)各权重占比如下:

$$\theta_j = \frac{C'_j}{C'_1 + C'_2 + C'_3}, \quad j=1,2,3 \quad (10)$$

4)得组合赋权权重:

$$W = \omega_j = \omega_j^c \theta_1 + \omega_j^z \theta_2 + \omega_j^s \theta_3 \quad (11)$$

3 基于改进 CRITIC-专家打分-熵值 G2 的组合赋权 TOPSIS 模型

TOPSIS 法的基本思路是通过对比正负理想解,即分别计算评价方案与最优方案和最劣方案的距离,对比其与最优方案的接近程度,以此作为评判优劣的标准,即接近程度值越大,方案越优,绿色度也就越高,取绿色度最高的方案来指导生产加工^[11]。此外,改进的 TOPSIS 法在决策矩阵中考虑了组合赋权权重,其模型如图 3 所示。

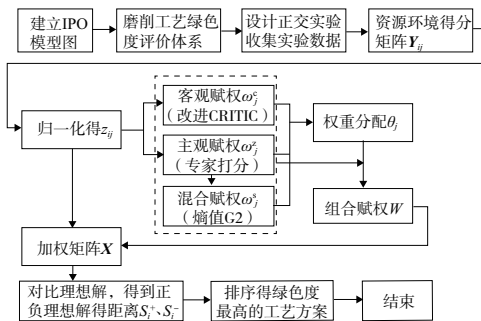


图 3 基于改进 CRITIC-专家打分-熵值 G2 的组合赋权 TOPSIS 模型

计算步骤如下:

1)将资源环境属性得分矩阵 Y 归一化得矩阵 Z ;

2)将矩阵 Z 中的 z_{ij} 与组合赋权权重 ω_j 相乘,得到加权矩阵 X ,其中 x_{ij} 为指标 y_{ij} 的加权标准化结果,即

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = (z_{ij} \omega_j)_{m \times n} \quad (12)$$

3)计算得样本最优方案 X^+ 和最劣方案 X^- ,即当决策指标为越大越好的高优指标时, X^+ 取最大值, X^- 取最小值;当决策指标为越小越好的低优指标时, X^+ 取最小值, X^- 取最大值。由于决策指标如能耗、时间等均为低优指标,故:

$$X^+ = (X_{\min 1}, X_{\min 2}, \dots, X_{\min n}) = (X_1^+, X_2^+, \dots, X_n^+) \quad (13)$$

$$X^- = (X_{\max 1}, X_{\max 2}, \dots, X_{\max n}) = (X_1^-, X_2^-, \dots, X_n^-) \quad (14)$$

4)第 i 个评价和理想解与非理想解的距离 S^+, S^- :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X^+ - X_{ij}^+)^2}, \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X^- - X_{ij}^-)^2}, \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

5)计算第 i 个评价和最优方案的接近程度 K_i :

$$K_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (17)$$

4 实例分析

以主轴零件的磨削加工为例,基于磨削工艺绿色度评价体系,选取工件转速、砂轮线速度、磨削深度作为工艺参数变量。由于切削液的使用,产生的粉尘较少,实测中,粉尘测量仪测出的粉尘浓度变化很小,不具有决策价值,故不将粉尘作为决策指标。最终决定以切削液消耗、磨削能耗、噪声、表面粗糙度和加工时间作为决策指标。加工的主轴零件如图 4 所示。

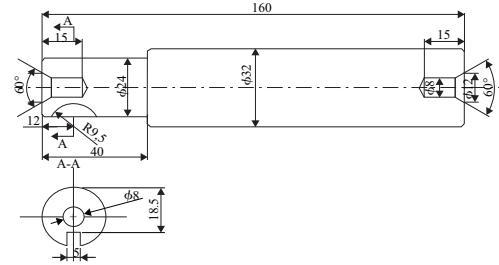


图 4 主轴零件图

4.1 实验研究

在如图 5 所示的 CNC8325 型超高速复合磨床上进行正交实验,并通过图 6 所示各仪器收集测量所得数据。

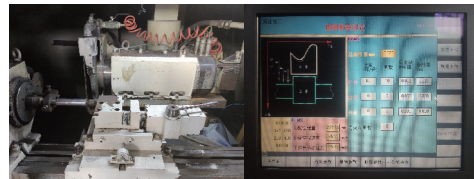


图 5 CNC8325 型超高速复合磨床



图 6 数据采集设备

实验中考虑如下工艺参数:工件转速 v_g 、砂轮线速度 v_s 、磨削深度 a_p 。设计三因素四水平正交试验。实验中,采用横磨法磨削,砂轮以缓慢的速度断续横向进给。磨削总厚度 $Z=0.6\text{ mm}$,砂轮来回空程时间为 15 s ,分别测量 16 组工艺实验中的切削液消耗、磨削能耗、噪声、表面粗糙度

及加工时间。整理得工艺参数和决策指标的实验数据见表 1。然后对所得实验数据进行分析处理,优选最佳工艺参数来指导生产加工,最终达到节能减排、提质提速提效的目的。

表 1 主轴磨削参数评价指标

实验组号	工艺参数				决策指标			
	砂轮线速度/ (m/s)	工件转速/ (r/min)	磨削深度/ μm	切削液消耗/ L	能耗/(kWh)	噪声/dB	表面粗糙度/ μm	时间/s
1	60	40	10	18.225	6.981	58	0.421	1 215
2	60	60	20	9.225	3.629	62	0.459	615
3	60	80	30	6.225	2.299	59	0.464	415
4	60	100	40	4.725	1.857	61	0.466	315
5	70	40	20	9.225	3.720	62	0.384	615
6	70	60	40	4.725	1.856	59	0.387	315
7	70	80	30	6.225	2.762	63	0.416	415
8	70	100	10	18.225	7.467	57	0.378	1 215
9	80	40	30	6.225	2.597	64	0.385	415
10	80	60	10	18.225	8.065	58	0.369	1 215
11	80	80	20	9.225	4.579	61	0.399	615
12	80	100	40	4.725	2.178	60	0.411	315
13	90	40	40	4.725	2.370	58	0.398	315
14	90	60	20	9.225	4.569	61	0.387	615
15	90	80	10	18.225	9.275	59	0.356	1 215
16	90	100	30	6.225	3.590	60	0.374	415

4.2 实验数据处理

对表 1 中采集的决策指标标准化处理得到如下的无量纲矩阵 Z ,即:

$$Z = \begin{bmatrix} 0.417 & 0.361 & 0.241 & 0.260 & 0.417 \\ 0.211 & 0.188 & 0.258 & 0.284 & 0.211 \\ 0.142 & 0.119 & 0.245 & 0.287 & 0.142 \\ 0.108 & 0.096 & 0.254 & 0.288 & 0.108 \\ 0.211 & 0.192 & 0.258 & 0.237 & 0.211 \\ 0.108 & 0.096 & 0.245 & 0.239 & 0.108 \\ 0.142 & 0.143 & 0.262 & 0.257 & 0.142 \\ 0.417 & 0.386 & 0.237 & 0.233 & 0.417 \\ 0.142 & 0.134 & 0.266 & 0.238 & 0.142 \\ 0.417 & 0.417 & 0.241 & 0.228 & 0.417 \\ 0.211 & 0.237 & 0.254 & 0.246 & 0.211 \\ 0.108 & 0.113 & 0.249 & 0.254 & 0.108 \\ 0.108 & 0.123 & 0.241 & 0.246 & 0.108 \\ 0.211 & 0.236 & 0.254 & 0.239 & 0.211 \\ 0.417 & 0.479 & 0.245 & 0.220 & 0.417 \\ 0.142 & 0.186 & 0.249 & 0.231 & 0.142 \end{bmatrix}$$

4.3 决策指标组合赋权

1) 利用改进 CRITIC 确定客观权重:

指标包含的信息量 C_j :

$$(C_1, C_2, \dots, C_5) = (0.643, 0.601, 0.077, 0.210, 0.634)$$

改进 CRITIC 法客观权重 ω_j^c :

$$(\omega_1^c, \omega_2^c, \dots, \omega_5^c) = (0.294, 0.279, 0.036, 0.098, 0.294)$$

2) 利用专家打分法得主观权重:

由 6 位专家对待评价工艺的评价体系中的指标进行独立评分得到评价矩阵 U :

$$U = \begin{bmatrix} 8 & 8 & 3 & 7 & 3 \\ 7 & 8 & 4 & 8 & 5 \\ 8 & 9 & 3 & 8 & 3 \\ 6 & 8 & 5 & 9 & 5 \\ 7 & 9 & 4 & 8 & 7 \\ 8 & 9 & 4 & 8 & 8 \end{bmatrix}$$

主观权重 ω_j^s :

$$(\omega_1^s, \omega_2^s, \dots, \omega_5^s) = (0.223, 0.259, 0.117, 0.244, 0.157)$$

3) 利用熵值 G2 法得混合权重:

信息熵 e_j :

$$(e_1, e_2, \dots, e_5) = (0.997, 0.999, 0.991, 0.999, 0.963)$$

由专家选出最不重要的指标为噪声,其信息熵为 e_3 ,各指标重要程度比值 a_s :

$$(a_1, a_2, \dots, a_5) = (1, 1, 1, 1, 1.029)$$

熵值 G2 的混合权重:

$$(\omega_1^s, \omega_2^s, \dots, \omega_5^s) = (0.119, 0.119, 0.119, 0.119, 0.204)$$

4)利用改进 CRITIC 计算权重占比:

构建权重矩阵:

$$\omega_j = \begin{bmatrix} 0.294 & 0.233 & 0.119 \\ 0.279 & 0.259 & 0.119 \\ 0.036 & 0.117 & 0.119 \\ 0.098 & 0.224 & 0.119 \\ 0.294 & 0.157 & 0.204 \end{bmatrix}$$

权重系数 θ_j :

$$(\theta_1, \theta_2, \theta_3) = (0.648, 0.338, 0.014)$$

5)进行组合赋权得组合权重 $W = \omega_j$:

$$(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_5) = (0.269, 0.271, 0.065, 0.148, 0.247)$$

4.4 磨削工艺参数决策

对矩阵 Z 加权处理得矩阵 X :

$$X = \begin{bmatrix} 0.112 & 0.098 & 0.016 & 0.039 & 0.103 \\ 0.057 & 0.051 & 0.017 & 0.042 & 0.052 \\ 0.038 & 0.032 & 0.016 & 0.043 & 0.035 \\ 0.029 & 0.026 & 0.017 & 0.043 & 0.027 \\ 0.057 & 0.052 & 0.017 & 0.035 & 0.052 \\ 0.029 & 0.026 & 0.016 & 0.035 & 0.027 \\ 0.038 & 0.039 & 0.017 & 0.038 & 0.035 \\ 0.112 & 0.105 & 0.015 & 0.035 & 0.103 \\ 0.038 & 0.036 & 0.017 & 0.035 & 0.035 \\ 0.112 & 0.113 & 0.016 & 0.034 & 0.103 \\ 0.057 & 0.064 & 0.017 & 0.037 & 0.052 \\ 0.029 & 0.030 & 0.016 & 0.038 & 0.027 \\ 0.029 & 0.033 & 0.016 & 0.036 & 0.027 \\ 0.057 & 0.064 & 0.017 & 0.035 & 0.052 \\ 0.112 & 0.130 & 0.016 & 0.033 & 0.103 \\ 0.038 & 0.050 & 0.016 & 0.034 & 0.035 \end{bmatrix}$$

确定样本的最优方案 X^+ 和最劣方案 X^- :

$$X^+ = (0.029, 0.026, 0.015, 0.033, 0.027)$$

$$X^- = (0.112, 0.130, 0.017, 0.043, 0.103)$$

计算各评方案与最优方案、最劣方案的距离,并计算对应接近程度 K ,将 K 值乘以放大系数 100,得到其绿色度的值,并将其排序如表 2。

表 2 TOPSIS 法下的接近程度、绿色度及排序

方案	接近程度	绿色度	排序
1	0.195	19.5	13
2	0.703	70.3	10
3	0.891	89.1	6
4	0.938	93.8	4
5	0.703	70.3	9
6	0.981	98.1	1
7	0.879	87.9	7
8	0.162	16.2	14
9	0.892	89.2	5
10	0.119	11.9	15
11	0.651	65.1	12

续表 2

方案	接近程度	绿色度	排序
12	0.957	95.7	2
13	0.948	94.8	3
14	0.652	65.2	11
15	0.062	6.2	16
16	0.824	82.4	8

4.5 对比与分析

为了验证决策的准确性,使数据具有说服力。对加权矩阵 X 运用常规的线性加权函数综合评价法进行排序,评价模型如式(18)所示。

$$f_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (18)$$

运用该模型计算得分结果 f_i ,由于所有指标均为低优指标,故令 $K' = 1 - f_i$ 为综合评价法的评价值,将 K' 值乘以放大系数 100,得到其绿色度的值,并将其排序,结果如表 3 所示。

表 3 综合评价法下的评价值、绿色度及排序

方案	评价值	绿色度	排序
1	0.633	63.3	13
2	0.782	78.2	10
3	0.836	83.6	6
4	0.859	85.9	4
5	0.787	78.7	9
6	0.867	86.7	1
7	0.833	83.3	7
8	0.631	63.1	14
9	0.838	83.8	5
10	0.623	62.3	15
11	0.774	77.4	12
12	0.860	86.0	2
13	0.859	85.9	3
14	0.775	77.5	11
15	0.607	60.7	16
16	0.826	82.6	8

根据表 2 和表 3 生成不同评价方案下的绿色度对比图,如图 7 所示。

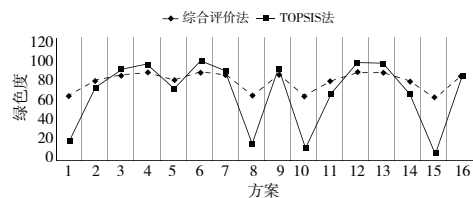


图 7 不同评价方案下绿色度对比

由图 7 可知两种评价方法走势基本一致,且 TOPSIS 法差异性大,说明决策更加稳定、准确,证明该方法是可行的,而线性加权函数综合评价法只适用于同为高优指标或低优指标,具有一定的局限性, TOPSIS 法的适用范围更广。由表 2、表 3 可知,两种决策方法得出的排序一致,且排序第一的均为 6 号方案,发现在该组工艺参数条件下,能以最少的切削液消耗、最低的能耗以及最少的时间达到相对高的加工精度,而这 3 个评价指标在绿色度评价体系中所占权重相对较大,比较符合实际。该组工艺参数用于指导生产,对于提高磨削工艺绿色度有重要作用。

5 结语

在机械加工行业中,对于加工工艺参数的优选和决策大多是以层次分析(AHP)以及模糊综合评价为主,而 CRITIC 法和熵值 G2 赋权法多用于宏观经济、金融以及医药领域。本文在主客观权重中加入混和权重,增强决策结果的稳定性,即针对专家打分、改进 CRITIC 法以及熵值 G2 法 3 种主观、客观、混合权重,利用改进 CRITIC 法进行权重分配,进而组合赋权,结合 TOPSIS 评价法决策,针对机械加工领域提出一种新的评价方法,并应用在主轴磨削加工工艺优选上,实现资源消耗、加工质量和生产效率的协调优化。主要工作如下:

1)对传统 CRITIC 法进行改进,通过绝对值来修正数据逆指标可能带来的影响,因此改进 CRITIC 法所求的信息量更能体现出数据内在的客观信息;

2)在主客观权重的基础上加入混合权重,来确保决策结果的稳定性和准确性;

3)利用改进 CRITIC 法来对 3 种权重进行分配,计算其权重系数,进而组合赋权,通过权重数据的冲突性指标来计算权重系数,融合决策者的主观判断和数据本身的客观信息,避免权重分配不平衡;

4)在 TOPSIS 评价法中的决策矩阵考虑组合权重,进而由接近度计算出各评价方案绿色度,然后对其进行排序,并将该模型应用主轴加工工艺优选实例中,通过与线性加权函数综合评价法进行对比验证,证明了模型的有效

性和可行性。故此模型不仅在主轴加工工艺优选中颇有成效,还可以运用到其他领域的综合评价问题上,对实现经济效益和可持续发展的统一具有重大意义,值得借鉴和推广。

参考文献:

- [1] 韩自强,单武斌,何腾飞. 基于熵权 TOPSIS 法的机械加工绿色工艺方案决策[J]. 现代制造工程,2020(8):87-91.
- [2] 陆星宇,樊黎霞,丁骁垚. 结合熵权 TOPSIS 的 FDM 成型工艺参数多目标优化研究[J]. 机械科学与技术,2017,36(11):1715-1721.
- [3] 赵韬. 典型机床零部件生产工艺绿色度评价方法研究及评价系统研发[D]. 湘潭:湖南科技大学,2016.
- [4] 黄文良,邓朝晖,吕黎曙,等. 面向低碳高效的铣削工艺参数优化及应用[J]. 机械制造与自动化,2019,48(3):12-16.
- [5] LYU L, DENG Z H, MENG H J, et al. A multi-objective decision-making method for machining process plan and an application[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 260: 121072.
- [6] 程美,欧阳波仪,何延钢. AHP 和 GRA 的微细电火花加工工艺多目标优化研究[J]. 机械设计与制造,2020(12):124-127,133.
- [7] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method [J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7):763-770.
- [8] 邓朝晖,孟慧娟,张华,等. 基于组合赋权的机床加工工艺参数多目标综合决策方法[J]. 中国机械工程,2016,27(21):2902-2908.
- [9] 贾博婷,赵天威,祝志川. 基于熵值修正 G2 赋权的综合评价方法及实证[J]. 统计与决策,2019,35(8):30-35.
- [10] 姜启波,谭清美. 新时期我国高质量发展水平测度及空间差异研究——基于熵值 G2 与灰色关联 CRITIC 的变异系数组合赋权法[J]. 管理现代化,2020,40(5):24-30.
- [11] 刘平清,张鹏,宁宝权. 基于改进 CRITIC-G1 法的混合交叉赋权与 TOPSIS 模型的节水灌溉项目优选[J]. 节水灌溉,2019(12):106-109.

收稿日期:2021-03-16