

# 基于零件加工难度系数的工时估算

杨续昌<sup>1,2</sup>, 陈友玲<sup>1</sup>

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400044; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832000)

**摘 要:** 针对当前生产环境下订单随机和产品种类多, 工时确定困难等特点, 为了能够准确高效地获得产品加工时间, 研究了加工时间与加工难度系数之间的关系, 提出了基于零件加工难度系数的一种工时估算方法. 通过分析影响零件加工时间的关键因素, 建立零件加工难度评价指标, 运用熵值法和群决策理论综合考虑各种因素, 构建零件加工难度系数模型. 根据已有零件工时信息, 运用 MATLAB 曲线拟合工具箱确定零件加工难度系数和工时之间函数关系. 最后, 通过实例验证了该方法的准确性和高效性.

**关键词:** 加工难度系数; 工时估算; MATLAB; 评价指标; 熵值法

中图分类号: TH 16 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2016)07-0998-05

## Labor Hour Estimation Based on the Difficulty Coefficient of Parts Processed

YANG Xu-chang<sup>1,2</sup>, CHEN You-ling<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China. Corresponding author: CHEN You-ling, E-mail: cylcqu@163.com)

**Abstract:** According to random order and many kinds of product, it is difficult to get labor hour in the current production environment, the relationship between the difficulty coefficient of parts processed and labor hour was researched. To quickly and accurately determine the labor hour, a method based on the difficulty coefficient of parts processed was presented. Considering the key factors affecting parts processing time, an evaluation index system for the process difficulty was built. In the model, the entropy value method and group decision theory were introduced to analyze the influencing factors of difficulty coefficient comprehensively. Based on historical data of time-quota, the correlative function of the process difficulty coefficient and time-quota was built using the MATLAB. The method was verified to be accuracy and efficiency by experiment.

**Key words:** difficulty coefficient of process; labor hour estimation; MATLAB; evaluation index; entropy value method

随着制造业信息化、科技化迅速发展, 制造企业所处的环境发生了巨大变化, 主要表现为产品种类多、生产订单随机、生产柔性大、作业重复低<sup>[1-3]</sup>. 面对新的生产环境, 企业往往因没有准确快速确定产品工时造成产品生产周期过长、无法确定交货期、生产成本过高, 为此, 企业需要快速高效制定出产品加工工时来规范其生产、经营和管理.

当前生产环境下, 传统定额方法已不能满足

顾客和企业对工时估算的高精度、高效率要求. 因此, 研究如何高效率、低成本地估算零件加工工时成为近年来的研究热点. 杨青海以汽轮机主轴的加工时间估算为例, 给出了一种基于事物特性表和案例推理的加工时间算法<sup>[4]</sup>. 陈友玲等从零件加工工序的角度分析研究, 以传动轴组件的工时估算为例, 提出基于工序层面的一种零件工时估算方法<sup>[5]</sup>. Eraslan 借助神经网络技术, 对企业零件库已有的零件工时数据进行建模, 计算具有类

似加工工艺的零件工时<sup>[6]</sup>。Chang 等利用模糊数学求解影响零件加工工时特征因素比重的基础上,提出一种基于回归分析计算工时的方法<sup>[7]</sup>;Liu 等估算船舶中间件加工时间时,采用神经网络和线性回归分析相结合的方法给出一种工时计算模型<sup>[8]</sup>。可以看出,为了准确估算工时,前人从多个角度进行探索,为工时估算开辟了新思路。然而在以下方面还存在不足:①零件加工的难易程度决定着最终产品的加工时间,上述方法均未从此角度考虑;②应用领域存在局限性,如文献[8]针对船舶中间件工时计算;③人工神经网络技术,不仅需要企业拥有完善的量化数据库,而且操作非常复杂,工时估算效率不高。基于此,本文在分析研究零件加工工时和加工难度系数关系的基础上,给出基于零件加工难度系数的工时估算模型,通过实例验证该方法的便捷性和准确性。

### 1 技术路线

建立基于零件加工难度系数的工时估算路线,如图 1 所示。

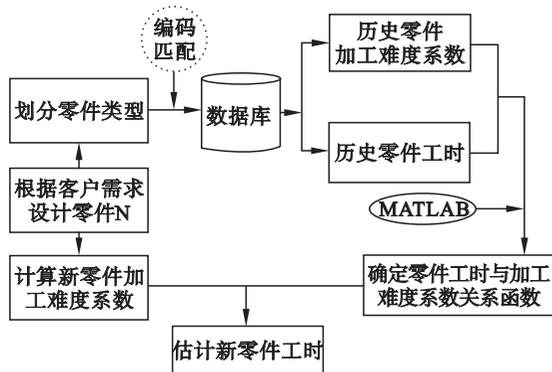


图 1 基于零件加工难度系数的工时估算路线  
Fig. 1 Route for determining labor hour based on the difficulty coefficient of parts processed

第一阶段:根据零件类型,在企业编码系统中的数据库匹配并输出相同材料类型的工时数据。

第二阶段:根据影响零件加工难度的因素,运用群决策理论建立模型,求解该零件的加工难度系数。

第三阶段:利用 MATLAB 曲线图形绘制拟合功能确定零件工时和加工难度系数之间的关系模型,计算出零件工时。

### 2 求解零件加工难度系数

种特定标准的难度值。为全面考虑零件加工特征对工时不同程度的影响,构建了影响零件加工难度的评价指标体系,利用熵值法计算各指标权重,通过群决策理论确定评价人员权重,使用群效用函数求解零件加工难度系数,求解过程如图 2 所示。

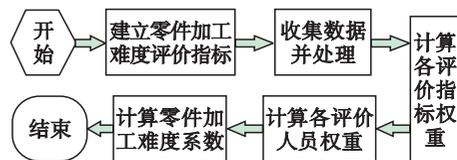


图 2 零件加工难度系数的求解过程  
Fig. 2 Solving process of parts processing difficulty coefficient

#### 2.1 建立评价指标体系

影响工时的主要特征因素包括零件的基本特征、精度特征和工艺特征等,结合指标体系的构建原则,建立评价零件加工难度系数的指标体系,如表 1 所示。

表 1 零件加工难度系数的评价指标体系  
Table 1 Evaluation index of parts processing difficulty coefficient

一级指标	二级指标
基本特征	材料类型(金属材料、无机非金属材料、复合材料等)
	形状特征(箱体类零件、盘类零件、轴类零件等)
	尺寸特征(精密零件、大型零件等)
精度特征	尺寸公差
	位置公差(同轴度、对称度、位置度、垂直度等)
	形状公差(平面度、圆度、线轮廓度、面轮廓度等)
	表面粗糙度
工艺特征	工艺内容(压力加工、焊接、热处理、装配等)
	加工设备(车床、磨床、铣床、刨床、钻床等)
其他	热处理、表面处理等

#### 2.2 计算各指标权重

根据熵值可以判定各指标间的差异程度,差异程度越大,指标的熵值越小,代表指标对评价体系的权重越大。本文采用熵值法<sup>[9]</sup>得出的指标权重具有比较高的可信度。

熵值法计算步骤如下:

1) 数据标准化。由于各指标计量单位不同,因此对各指标数据进行标准化处理。对  $n$  个指标、 $k$  个对象用  $A = (a_{ij})_{n \times k}$  表示评价结果,其中  $a_{ij} = \sum_{i=1}^n \lambda_i e_i$  表示评价专家给出的第  $j$  个对象第  $i$  个指

零件加工难度系数是零件加工过程中达到某

标的数值. 对数据进行标准化处理得  $R = (r_{ij})_{n \times k}$  其中标准化处理公式为

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min\{a_{ij}\}}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}}. \quad (1)$$

2) 计算第  $i$  个指标的熵值:

$$h_i = -l \sum_{j=1}^k f_{ij} \ln f_{ij}. \quad (2)$$

式中  $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^k r_{ij}$ , 其中  $l = 1/\ln k$ .

3) 计算第  $i$  个指标的权重:

$$w_i = \frac{1 - h_i}{n - \sum_{i=1}^n h_i} \quad (0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1). \quad (3)$$

### 2.3 计算评价人员权重

群决策是按照一定的决策规则和方案, 在满足一致性的情况下, 对群成员决策偏好进行调整, 直到群决策成员做出统一有效的抉择<sup>[10]</sup>; 计算评价专家权重的步骤如下.

1) 专家对指标评估值的一致性程度采用评分向量间夹角的余弦值来表示:

$$\cos(\theta_{ij}) = \frac{c_i c_j}{\|c_i\| \times \|c_j\|}. \quad (4)$$

其中  $c_i$  和  $c_j$  分别为专家  $i$  和  $j$  对各指标的评分向量;  $\cos(\theta_{ij})$  值越大, 表明专家  $i$  和  $j$  之间的一致性越强, 相反则越弱, 通常取临界值  $2/3$  和  $1/3$ .

2) 计算群体、个体一致性指标.

群体一致性指标为

$$\left. \begin{aligned} I_{GA} &= \frac{\sum_{i \in T} \sum_{i < j} 2\gamma(i, j)}{m(m-1)} \text{ 强一致性;} \\ I_{GD} &= \frac{\sum_{i \in T} \sum_{i < j} 2\gamma(i, j)}{m(m-1)} \text{ 强不一致性.} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

个体一致性指标为

$$\left. \begin{aligned} I_{IA} &= \frac{\sum_{i \in T} \sum_{i \neq j} \gamma(i, j)}{m-1} \text{ 强一致性;} \\ I_{ID} &= \frac{\sum_{i \in T} \sum_{i \neq j} \gamma(i, j)}{m-1} \text{ 强不一致性.} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中  $\gamma(i, j)$  和  $\chi(i, j)$  表示专家  $i$  和  $j$  对同一指标评估值的相近程度;  $I_{GA}$ 、 $I_{GD}$  分别为群体强一致性和强不一致性值;  $I_{IA}$ 、 $I_{ID}$  分别为个体强一致性和强不一致性值;  $m$  为评价人员总数.

3) 综上所述, 评价人员权重表示为

$$\lambda_i^* = \frac{I_{IA}(1 - I_{ID})}{I_{GA}(1 - I_{GD})}. \quad (7)$$

规范化处理后评价人员权重为

$$\lambda_i = \frac{\lambda_i^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \lambda_i^{*2}}}. \quad (8)$$

### 2.4 计算零件加工难度系数

群效用函数不是简单的多数原则, 它包含个人效用信息以及人与人之间的效用比较<sup>[11]</sup>. 本文计算零件加工难度系数时使用群效用函数进行计算.

群效用函数加法模型为

$$U(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i U_i(x). \quad (9)$$

式中  $U_i(x) \in [0, 1]$  表示第  $i$  个评价专家的效用函数;  $\lambda_i$  是  $U_i(x)$  的权重值.

根据群效用函数加法模型, 零件加工难度系数的计算公式为

$$U = \sum_{i=1}^m [\lambda_i \sum_{j=1}^n (w_{ij} X_j)]. \quad (10)$$

式中  $w_{ij}$  表示第  $i$  位专家给第  $j$  个指标的权重;  $X_j$  表示模糊化处理第  $j$  个指标的数值;  $m$  表示评价专家的数目;  $n$  表示评价指标的数目.

### 2.5 零件加工难度系数与加工时间关系模型的构建

MATLAB 可通过内建函数或者曲线拟合工具箱进行参数拟合, 同时具有面向数组、面向复数从事复杂运算的特点, 并且拥有解决数学问题所必须的各种函数, 这些函数具有较高的可靠性和鲁棒性. 本文选用 MATLAB 对零件加工时间和零件加工难度系数进行回归分析.

## 3 应用实例

R 公司的某客户订单要求生产一批传动轴组件, 该组件由齿轮、键、套筒和轴组成, 其中键、套筒为外购件, 齿轮是标准件. 为了合理编制生产计划、准时交货, 需要确定该轴的加工工时, 进而确定传动轴组件的工时.

### 3.1 计算新零件的加工难度系数

1) 计算各评价指标权重. 依据表 1 中影响零件加工难度的各项指标, 对从事该类零件加工 5 年以上的专家进行相关数据调查收集, 将数据运用 AHP 构造判断矩阵, 通过单层次排序、总层次排序和一致性检验, 得到排序向量. 由式(5)计算群体一致性指标, 得  $I_{GA} = 0.769 > \frac{2}{3}$ . 表明评价专家的意见具有强一致性, 证明调查数据有效. 然后标准化处理调查数据, 运用熵值法分别求出各指标权重.

2) 计算评价人员权重. 由式(6)~式(8)计算个体一致性指标和评价人员权重,如表2所示.

表2 评价人员权重  
Table 2 Weight of evaluation personnel

参数	评价专家序号				
	1	2	3	4	5
$I_{IA}$	0.677	0.608	0.779	0.979	0.809
$I_{ID}$	0.130	0.098	0.003	0.009	0.011
$\lambda^*$	0.072	0.058	0.120	0.138	0.119
$\lambda$	0.131	0.109	0.237	0.280	0.243

### 3.2 确定基于零件加工难度系数的工时估算模型

在企业零件信息数据库中筛选出与新零件加工工艺类似、材质相同的零件,按上述过程对零件加工难度系数计算.选取其中10组零件,运用MATLAB曲线图形绘制指令对离散点进行拟合,拟合度最高的关系函数就是所求的工时估算模型.用历史零件数据检验工时估算模型.待拟合零件数据如表3所示.

运用MATLAB曲线拟合工具箱绘制样本零件工时-零件加工难度系数的散点图,选择多个函数对散点图拟合分析,发现指数函数具有较高的拟合度,如图3所示.

确定零件加工难度系数  $U$  和工时  $T$  的关系函数为

$$T = ae^{bU} + ce^{dU} \quad (11)$$

其中:  $a = 132.5$ ;  $b = 2.982$ ;  $c = -509.6$ ;  $d = -1.683$ .

由式(10)计算出新零件的加工难度系数为  $U_{(新轴)} = 0.405$ ,代入式(11)得  $T_{(新轴)} = 186 \text{ min}$ .

表4 不同算法结果对比及误差分析  
Table 4 Error analysis and the results of different algorithms

零件编号	零件号	零件加工难度系数	模特排时法时间/min	模型估算时间/min	相对误差/%
QZ1201	P <sub>11</sub>	0.432	241	234	2.9
QZ1206	P <sub>12</sub>	0.357	101	105	4.0
QZ1223	P <sub>13</sub>	0.506	386	382	1.0
QZ1234	P <sub>14</sub>	0.483	135	333	1.5
QZ1238	P <sub>15</sub>	0.385	150	151	0.6
新零件	P	0.405	—	186	—

由表4可以看出,该工时估算模型与模特排时法相比,计算的工时数据有不超过4%的误差,在企业实际运用中可以接受.另外该方法有MOD法不具备的优势:①能够快速计算零件工时,克服了传统工时制定操作复杂、效率低的问题.②通过构建数学模型即可获得较准确的零件工时,不需

表3 待拟合零件数据  
Table 3 Data for fitting parts

零件编码	零件号	加工难度系数	模特排时法时间/min
QZ1007	P <sub>1</sub>	0.332	66
QZ1015	P <sub>2</sub>	0.338	71
QZ1019	P <sub>3</sub>	0.325	61
QZ1023	P <sub>4</sub>	0.315	35
QZ1026	P <sub>5</sub>	0.389	155
QZ1030	P <sub>6</sub>	0.370	124
QZ1040	P <sub>7</sub>	0.412	201
QZ1043	P <sub>8</sub>	0.350	96
QZ1058	P <sub>9</sub>	0.628	685
QZ1079	P <sub>10</sub>	0.503	375

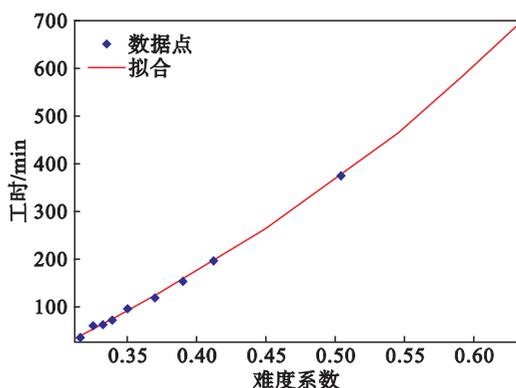


图3 难度系数和工时拟合曲线图

Fig. 3 Fitting curve of difficulty coefficient and labor-hour

### 3.3 基于零件加工难度系数的工时估算模型验证

使用该模型计算的零件工时与模特排时法所得工时进行对比,结果见表4.

要对操作者进行细致观测.③对生产周期较长的新产品,该算法的优势更加明显.

## 4 结 语

本文对现代生产环境下零件工时估算进行了

研究,提出从零件加工难度系数的角度出发,寻求零件加工工时与加工难度系数间的关系函数计算零件工时.首先,通过熵值法对影响零件加工难度的评价指标体系进行分析,进而计算各评价指标的权重,运用群决策有关理论计算评价专家的权重,使用群效用函数对零件加工难度系数进行计算.其次,选用 MATLAB 拟合工具箱确立零件加工难度系数和工时之间的函数关系,进而计算零件工时.最后,通过与模特排时法对比,验证了该方法的可行性和便捷性.

#### 参考文献:

- [ 1 ] Huang C T , Tsai K H. Synergy , environmental context , and new product performance : a review based on manufacturing firms [ J ]. *Industrial Marketing Management* , 2014 , 43( 8 ) : 1407 - 1419.
- [ 2 ] Alexandra F , Antonio C , Jorge P. An approach for integrated design of flexible production systems [ C ] // 46th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013. Amsterdam : Elsevier 2013 586 - 591.
- [ 3 ] Yue W , Mitchell T. Incorporating tolerances of customers ' requirements for customized products [ J ]. *CIRP Annals—Manufacturing Technology* 2014 , 63( 1 ) : 129 - 132.
- [ 4 ] 杨青海, 祁国宁, 黄哲人, 等. 基于案例推理和事物特性表的零件工时估算方法 [ J ]. *机械工程学报* , 2007 , 43( 5 ) : 99 - 105.  
( Yang Qing-hai , Qi Guo-ning , Huang Zhe-ren , et al. Evaluation method of machine hour of part based on case-based reasoning and SML [ J ]. *Journal of Mechanical Engineering* 2007 , 43( 5 ) 99 - 105. )
- [ 5 ] 陈友玲, 任晓杰, 唐娟, 等. 大规模定制环境下基于工序难度系数的工时估算 [ J ]. *计算机集成制造系统* , 2014 , 20( 12 ) : 424 - 429.  
( Chen You-ling , Ren Xiao-jie , Tang Juan , et al. Labor hour estimation method based on difficulty coefficient of process in mass customization [ J ]. *Computer Integration Manufacturing System* 2014 , 20( 12 ) : 424 - 429. )
- [ 6 ] Eraslan E. The estimation of product standard time by artificial neural networks in the molding industry [ J ]. *Mathematical Problems in Engineering* , 2009 , 19( 5 ) : 417 - 422.
- [ 7 ] Chang S K , Myung S C , Jae J R. A case study for determining standard time in a multi-pattern and short life-cycle production system [ J ]. *Computers & Industrial Engineering* 2007 , 53( 2 ) : 321 - 325.
- [ 8 ] Liu B , Jiang Z H. The man-hour estimation models and its comparison of interim products assembly for ship building [ J ]. *International Journal of Operational Research* , 2005 , 2( 1 ) : 9 - 14.
- [ 9 ] Teerlink T , Craig C , Thomas A , et al. An application of the latent p value method to assess linkage in asthma pedigrees [ J ]. *Human Heredity* 2010 , 70( 1 ) : 1 - 8.
- [ 10 ] 姜艳萍, 梁海明. 不同粒度语言信息的群体一致性判别和改进方法 [ J ]. *东北大学学报(自然科学版)* , 2010 , 31( 11 ) : 1652 - 1656.  
( Jiang Yan-ping , Liang Hai-ming. Identification of consensus in group decision-making with multi-granularity linguistic information and compromise of discrepancy [ J ]. *Journal of Northeastern University( Natural Science )* , 2010 , 31( 11 ) : 1652 - 1656. )
- [ 11 ] Zhang S , Zhu Q. Heterogeneous wireless network selection algorithm based on group decision [ J ]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications* 2014 , 21( 3 ) : 1 - 9.