

基于层次分析法的模具网络化制造企业匹配技术

孙忠良, 荆无名, 洪军, 霍敏

(西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 为解决模具网络化制造企业与开发任务匹配的模糊性问题, 提出了基于层次分析法、融合模糊综合评判的匹配算法和流程. 在综合考虑工艺能力、生产状态、经济性、快速性、相对距离和企业信誉6方面指标的基础上构建了多层匹配模型, 并根据专家打分, 结合模糊评判得出评价矩阵和权重矢量, 继而求得决策向量, 实现了对候选模具企业的排序和选择. 通过装订器壳体注塑模具的开发实例表明, 所提出的方法能有效量化问题中如各指标权重等主观定性因素, 并将涉及工艺、价格等诸多方面的匹配过程层次化, 为模具网络化制造企业的匹配提供了可信依据.

关键词: 模具网络化制造企业; 匹配; 层次分析法

中图分类号: TH166 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)03-0291-04

Matchmaking of Network Mold Enterprise Based on Analytical Hierarchy Process

SUN Zhongliang, JING Wuming, HONG Jun, HUO Min

(State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Aiming at the fuzzy problem concerning matchmaking of network mold enterprises with development tasks, the analytical hierarchy process(AHP) with fuzzy comprehensive judgment is adopted to propose an integral analysis process and the corresponding algorithm. The method takes six aspects into account, including technology abilities, manufacture state, economy, agility, relative distance and corporate credibility, and a matchmaking model with multiple levels is afterwards established. According to the scoring of experts, the evaluation matrix and weight vector with fuzzy judgment are obtained to seek out the decision vector for the sorting and selection of candidate mold enterprises. The proposed scheme is verified by a practical injection molding development of binding machine shells to show the ability for quantizing the subjective and qualitative elements, such as the weight of indicators, and hierarchizing matchmaking process containing various aspects like technology, price etc.

Keywords: network mold enterprise; matchmaking; analytical hierarchy process

模具行业的网络化制造模式已经成为企业快速响应市场和生存发展的关键, 其中根据具体开发任务选择最优企业这一问题又是模具网络化制造过程中的关键. 目前, 国外相关理论层面的研究较多, 并提出了选择合作伙伴的分阶段模型^[1-2], 国内也对敏捷虚拟制造企业伙伴的选择问题提出了决策数学模型和结构化流程^[3-4].

由于现有的研究多为理论层面和宽泛的指标以及模型框架, 因此不能很好地解决模具行业开发任务与网络化制造企业的匹配问题. 为此, 利用层次分析法^[5](AHP), 结合模糊评判, 提出了符合模具生产实际的指标体系, 建立了对应的 AHP 数学模型和完整的计算流程. AHP 方法相对其他计算模型更具层次性和条理性, 能有效克服匹配过程中主观因

素和非定量数据的弊端,为模具网络化制造企业匹配这一复杂问题提供了有说服力的量化依据。

1 模具制造企业服务能力的评价指标

针对模具企业的自身特点,建立了面向任务的企业能力匹配指标。

(1)工艺能力与用户要求匹配原则。匹配子原则主要包括:①企业加工模具类型与任务需求匹配;②模具尺寸在企业模具加工能力之内;③模具制造精度与任务需求匹配;④型腔表面粗糙度与任务需求匹配;⑤模具性能与任务需求匹配;⑥模具后处理能力符合任务的需求。

(2)工艺能力空闲原则。优先选择相关工艺能力空闲的企业,并及时更新自身的工艺能力状态信息以保证信息的时效性。

(3)经济性原则。价格总是用户最关心的因素之一,因此优先选择报价低的企业。

(4)任务执行时间最短原则。由于执行时间已成为决策的关键指标,因此选择周期较短的企业以体现开发的快速性。

(5)用户与企业商务运输路线最合理原则。物理模型终归需要实际运输,因此需考虑企业与用户之间的商务运输路线是否较短并要保证时间。

(6)企业信誉良好原则。企业信誉也是客户考虑的重要因素,选择时要优先考虑信誉好的候选企业。通过以上对评价准则的阐释,设定对应于各准则指标的赋值方法如下。

(1)工艺能力与用户要求匹配指标代码为 C_1 ,并由 $C_{11} \sim C_{16}$ 子代码综合体现。在模具制造中,企业可加工模具类型的匹配最为重要,其次为能够加工的模具尺寸范围、尺寸精度、型腔表面粗糙度及性能等。首先,应根据企业的可加工模具类型和尺寸进行初步筛选,其他因素可放松考虑。采用如下逻辑运算来综合考虑企业与任务的工艺能力匹配程度,即

$$C_1 = C_{11}C_{12}(C_{13} + C_{14} + C_{15} + C_{16})/4 \quad (1)$$

$C_{11} \sim C_{16}$ 的取值按照如下原则:如果企业加工的模具类型和尺寸范围与任务匹配, C_{11} 、 C_{12} 取为 1,若不匹配则取为 0。 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 、 C_{16} 的取值按照评价集确定

$$\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5\}$$

式中 $\lambda_1 \sim \lambda_5$ 依次分别表示“完全匹配”、“较好匹配”、“基本匹配”、“较差匹配”和“完全不匹配”,对应取值依次为 1、0.8、0.5、0.2 和 0。

由于 C_1 的子系数 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 、 C_{16} 的取值范围

均为 0~1(见式(1)),从而保证了该系数的取值与其他系数具有同样的数量级。

(2)工艺能力是否空闲指标代码为 C_2 ,具体数值由需排队等待的时间来确定。工艺能力空闲无需等待时,取 $C_2=1$,需等待 5 d,取 $C_2=0.5$,当需等待 10 d 时,取 $C_2=0.33$,当等待时间无法确定时,则取 $C_2=0.1$ 。

(3)经济性指标代码为 C_3 ,具体数值为企业对任务的实际报价值的倒数。

(4)制作时间指标代码为 C_4 ,具体数值为企业对任务的制造时间预估值的倒数。

(5)商务运输路线合理指标代码为 C_5 ,取值为按照正常运输所需时间值的倒数。

(6)企业信誉指标代码为 C_6 ,其初始值均为 1,按用户要求每完成一项任务增加 0.1,反之减去 0.1。综合以上得到的各评价指标集合如表 1 所示。

表 1 企业评价指标数据表

性能指标	企业 1	企业 2	...	企业 n
C_{11}	C_{111}	C_{112}	...	C_{11n}
C_{12}	C_{121}	C_{122}	...	C_{12n}
C_{13}	C_{131}	C_{132}	...	C_{13n}
C_{14}	C_{141}	C_{142}	...	C_{14n}
C_{15}	C_{151}	C_{152}	...	C_{15n}
C_{16}	C_{161}	C_{162}	...	C_{16n}
C_2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2n}
C_3	C_{31}	C_{32}	...	C_{3n}
C_4	C_{41}	C_{42}	...	C_{4n}
C_5	C_{51}	C_{52}	...	C_{5n}
C_6	C_{61}	C_{62}	...	C_{6n}

注: C_{ij} 为模型对企业 j 在第 i 项指标的取值, $i=11,12,13,14,15,16,2,3,4,5,6, j=1,2,\dots,n$ 。

2 基于 AHP 的模具网络化制造企业选择

采用 AHP 结合模糊综合评判,建立相应的算法模型和流程。

2.1 选择的层次模型

如图 1 所示,模型包含 3 个逻辑层次,其中目标层 O 指出解决问题的目的,即选择的最佳制造企业,准则层 C 为匹配模具企业的指标集合,方案层 P 指候选企业 $1,2,\dots,n$ 。

2.2 企业服务能力匹配判断矩阵的构造

如果比较 n 个因子 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 对某因素 F

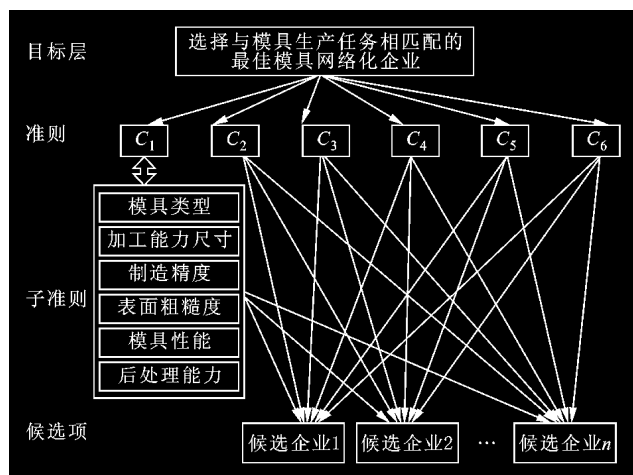


图1 模具网络化制造企业的 AHP 匹配模型

影响的大小,通常采取对因子两两比较的办法,并建立成对比较矩阵。设 a_{ij} 表示因子 B_i 和 B_j 对 F 的影响大小之比,从而构成矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$,则称 A 为 F - B 判断矩阵或成对比较矩阵, a_{ij} 的值可以利用 1~9 标度法^[6]来确定。Saaty 利用实验方法比较了不同标度下人们判断结果的正确性,结果表明,采用 1~9 标度最合适。

为了确定各指标在目标中的权重,构造 O-C 层的判断矩阵

$$A_0 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: a_{ij} 为评价指标 C_i 与 C_j 之比, $i=1,2,\dots,6$ 针对模具制造的实际情况,由 10 位模具行业协会的资深专家,根据自身经验对各指标进行逐一评分,得到的模具网络化制造企业匹配矩阵为

$$A_0 = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.50 & 2.00 & 0.33 & 3.00 & 4.00 \\ 2.00 & 1.00 & 3.00 & 0.50 & 4.00 & 5.00 \\ 0.50 & 0.33 & 1.00 & 0.25 & 2.00 & 3.00 \\ 3.00 & 2.00 & 4.00 & 1.00 & 5.00 & 7.00 \\ 0.33 & 0.25 & 0.50 & 0.20 & 1.00 & 2.00 \\ 0.25 & 0.20 & 0.33 & 0.14 & 0.50 & 1.00 \end{pmatrix} \quad (3)$$

由于构造判断矩阵的数据来自主观判断,初始被赋予的权重值难免出现相互矛盾,因此需对一致性进行验算。检验步骤如下。

(1) 计算一致性指标

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中: $\lambda_{\max}$ 为判断 A 的最大特征值; n 为判断矩阵的阶数。

(2) 查找平均随机一致性指标 R_1 ,在 $n=1,2,\dots,15$ 时,Saaty 给出了 R_1 的值,分别为 0、0、0.52、0.89、1.12、1.26、1.36、1.41、1.46、1.49、1.52、1.54、1.56、1.58 和 1.59。

(3) 计算一致性比例

$$C_R = C_1 / R_1 \quad (5)$$

当 $C_R < 0.1$ 时,认为 A 是一致的。

对式(3)进行一致性检验,计算出 $\lambda_{\max} = 6.103$, $n=6$, $C_1 = 0.021$ 。因为 $R_1 = 1.26$ 、 $C_R = 0.016$ 且 $C_R < 0.1$,所以判断 A 具有一致性。

2.3 候选方案的综合指标计算

一般情况下,判断 A 的关于 $\lambda_{\max}$ 的归一化特征向量 w 反映了各因子对某因素的影响权重,其计算步骤如下。

(1) 运用和积法对 A_0 的每一列进行归一化^[7]

$$a_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

(2) 每一列经正规化的判断矩阵按行求和

$$W_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

(3) 对向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 做正规化处理得

$$W_i = W_i / \sum_{j=1}^n W_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

依次所得到的 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 即为所求权重向量。由以上算法,根据式(3)、式(6)~式(8)得

$W = (0.159, 0.249, 0.100, 0.387, 0.064, 0.041)^T$ 继而计算候选方案的综合指标值为

$$W = Tw = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{21} & c_{31} & c_{41} & c_{51} & c_{61} \\ c_{12} & c_{22} & c_{32} & c_{42} & c_{52} & c_{62} \\ c_{13} & c_{23} & c_{33} & c_{43} & c_{53} & c_{63} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{1n} & c_{2n} & c_{3n} & c_{4n} & c_{5n} & c_{6n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中: T 为候选企业评价指数; W 为综合指标向量,从中选出 $\max_{1 \leq q \leq n} \{W_q^{(0)}\}$ 所对应的方案即为最优方案。

3 实例

以一套注塑模具的开发平台为例来验证本文方

法. 客户发布的任务是: 对一款装定器产品的上、下壳体的两套传统钢制注塑模具进行开发, 而且对制造周期、精度、型腔表面粗糙度和模具寿命等提出了一定的要求.

从本地区的候选企业数据库中选出 6 家候选企业. 其中, 具有注塑模具产品开发能力且加工的模具尺寸范围符合用户要求的企业有 5 家 (A、C、D、E、J). 根据各企业的工艺能力信息, 计算的匹配值依次为 $P_A=0.725, P_C=0.85, P_D=0.425, P_E=0.575, P_J=0.55$, 对这 5 家企业的制造服务能力进行匹配. 如表 2 所示, 用式(9)计算的候选方案的综合指标 $W = Tw = (0.518, 0.255, 0.283, 0.439, 0.472)^T$. 从计算结果可以看出, 企业 A 的综合指标值最高, 其次为企业 J、E、D 和 C.

表 2 候选企业评价指标的数据表

候选企业	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A	0.725	1.0	0.143	0.045	1.00	1.4
C	0.85	0.1	0.125	0.033	0.25	1.3
D	0.425	0.5	0.118	0.036	0.25	1.2
E	0.575	1.0	0.143	0.04	0.25	1.3
J	0.550	1.0	0.133	0.033	1.00	1.1

4 结 论

本文提出的方法可以更好地解决模具网络化制造企业匹配这一典型、复杂的决策问题, 并且在平台运营中经过若干实例的检验, 收到了良好效果. 本文方法包含了 6 项主要指标和 6 项子指标的评价体系, 能很好地反映模具的生产实际情况. 对于一些主观和难于量化的指标, 如信誉度、等待时间等, 采用模糊评判的思想对其赋值, 将决策者的经验判断给予量化, 并利用层次分析法将思维过程层次化, 从而合理反映了问题的体系层次和因素间的相对权

重, 这是模型最后得到正确结果的基础, 也为匹配模具网络化制造企业提供了可信依据.

参考文献:

- [1] JOHNSON M, MEADE L, ROGERS J. Partner selection in the agile environment [C]// 4th Annual Agility Forum Conf Proc. Atlamtao, USA: Amos J W, 1995: 196-505.
- [2] MIKHAILOV L. Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises [J]. Omega, 2002, 30 (5): 393-401.
- [3] 钱碧波, 潘晓弘, 程耀东. 敏捷虚拟企业合作伙伴选择的方法研究 [J]. 机电工程, 1999(6): 41-46.
QIAN Bibo, PAN Xiaohong, CHENG Yaodong. Partner selection in agile virtual enterprise [J]. Mechanical and Electrical Engineering, 1999(6): 41-46.
- [4] 谭伟, 范玉顺. 网络制造环境下服务匹配与合成问题研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(10): 1408-1413.
TAN Wei, FAN Yushun. Research on service matching and composition in net worked manufacturing environment [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(10): 1408-1413.
- [5] SAATY T L. The analytic hierarchy process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [6] SAATY T L. Multicriteria decision making the analytical hierarchy process [J]. Management Science, 1986, 32(2): 841-955.
- [7] FAN Zhiping, MA Jian, ZHANG Quan. An approach to multiple attribute decision making based on fuzzy preference information on alternative [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 131(1): 101-106.

(编辑 管咏梅)