

# 基于 AHP 的服装企业生产系统柔性度量模型

赵士清<sup>a</sup>, 胡觉亮<sup>b</sup>, 韩曙光<sup>b</sup>

(浙江理工大学, a. 服装学院; b. 理学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 随着市场对服装产品、种类需求的变化,多品种、小批量生产方式下要求企业生产系统更具有柔性。通过对服装企业生产系统柔性要素在时间、范围、费用维度的分析,建立了反应速度快、适应能力强、工作效率高的生产系统柔性评价体系。应用 AHP 方法并结合企业实际的生产状况建立柔性度量模型,通过服装企业实际生产案例分析验证模型。

**关键词:** 柔性; 度量模型; AHP 方法; 服装企业

**中图分类号:** TS941. 8; F768. 3

**文献标识码:** A

## 0 引 言

近年来,由于原材料、劳动力的价格上涨,服装企业制造成本不断攀升,市场给企业带来的不确定性不断增大,柔性已成为衡量生产系统核心竞争力的重要部分<sup>[1]</sup>。

生产系统柔性反映了生产系统应对由外部环境引起的变化和不确定性的能力<sup>[2]</sup>,柔性的应用是为了适应不确定性<sup>[3]</sup>。柔性在企业生产系统主要作用为<sup>[4]</sup>:有利于不同品种、批量产品的生产;系统可以经济快速地转换生产对象;减少了产品生产前的等待时间;减少库存,加速资金周转;提高设备利用率。

由于柔性的复杂性,目前仍旧没有一个较为可行的方法能够对柔性进行有效的评价<sup>[5]</sup>。许多学者根据不同的标准分别从不同方面对柔性进行了度量,但是这些度量方法都存在不同的缺陷并且过于偏重理论的分析,难以用于实际生产过程。

## 1 柔性三维度量分析

Slack<sup>[6]</sup>在分析柔性的特性基础上指出柔性具有范围、时间、费用三方面特性,并首次提出了柔性

的三维度量:状态范围维、状态转移费用维和状态转移时间维。其后许多学者关于柔性三维度量研究多为通过三维归类分析的定性描述,而无可量化的度量指标。因为影响系统柔性因素不仅要从横向研究,还要进行纵向的比较分析。

针对服装企业面对实际生产情况如订单变化、货期变化、产品种类变化等特点,结合柔性三维特性,通过对服装企业生产系统不同柔性、不同维度上的衡量指标分析,建立基于层次分析法 AHP(analytic hierarchy process)的生产系统柔性度量模型。

## 2 基于 AHP 的生产系统柔性度量

### 2.1 生产系统柔性因素分析

柔性体现具有三方面要素:反应速度快、生产效率高、适应能力强。适应变化体现了系统的反应速度,能力的大小反应了系统应对变化所付出的成本多少,具体而言,有以下几方面。

时间维,指通过对系统转换过程作必要的调整以响应系统内外各种可能变化的容易程度,表现在时间上付出代价的大小;范围维,指生产系统应对转换的输出可以在某个范围内变化的能力,可变范围越大,柔性越高;费用维,指系统应对变化调整所付

出的费用多少。在柔性三维度量基础上研究加工型服装企业生产系统基础级<sup>[7]</sup>的三种柔性: 作业柔性、机器柔性、货期柔性, 如表 1。

表 1 服装企业生产系统柔性因素分类

时间维		范围维	费用维
作业柔性	加工时间	加工产品数量	加工费用
机器柔性	机器加工时间	机器使用数量	机器损失费用
货期柔性	不按期交货时间	不按期交货产品数量	不按期交货损失费用

作业柔性: 制造系统在不增加重要制造设施的前提下制造多种产品的能力, 使系统能完成多样化的生产任务<sup>[8]</sup>。时间上表现为生产加工时间的多少, 即生产加工时间与标准作业时间比率, 范围上表现为单位时间内生产产品数量即生产线的生产效率, 费用上表现为企业付出作业成本占企业订单获利额中的比重。生产系统在标准作业时间内生产加工时间越多, 生产效率越高, 付出作业成本越少, 则作业柔性越高。

机器柔性: 机器能完成多种加工操作的能力。机器柔性表现在时间上, 机器的有效加工时间率; 范围上, 机器的利用率; 费用上, 机器固定成本损耗率。机器有效加工率越高, 利用率越高, 机器固定损失率越少, 则机器柔性越高。

货期柔性: 货期柔性表示生产系统对于缩短交货期、对交货期变化要求而进行调整的能力。具体表现在时间上调整交货期的能力, 即用实际交货时间与货期时间差值与货期的比率; 范围上表现为不按期交货产品数量占产品总数的比重; 费用上表现为不按期交货成本损失率即不按期交货损失费用占盈利总额的比值大小。交货期偏差率越小, 不按期交货数量越少, 不按期交货损失费用越低, 生产系统货期柔性越高。

2.2 基于 AHP 柔性因素的权重评判

层次分析法 AHP, 是将决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础之上进行定性和定量分析的决策方法<sup>[9]</sup>。以企业制造系统柔性为目标层 A, 准则层 B 为柔性表现的三个维度, 将作业柔性、机器柔性、货期柔性三个柔性因子在三个维度上的表现形式作为准则层 C, 建立层次结构模型如图 1:

利用 AHP 法确定权重步骤如下:

a) 构造比较判断矩阵。采用 1~9 标度的判断尺度(如表 2), 将各指标的比较结果量化采用专家打分法建立生产柔性维度比较矩阵(如表 3)。

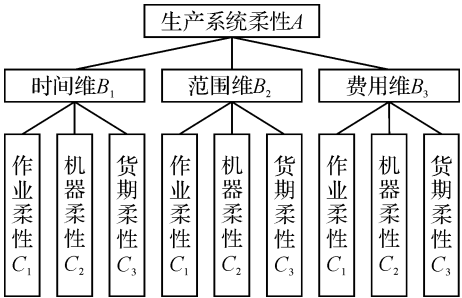


图 1 柔性评价层次结构图

表 2 重要性标度含义

重要性标度	含义
1	两个元素相比, 具有同等重要性
3	两个元素相比, 前者比后者稍重要
5	两个元素相比, 前者比后者明显重要
7	两个元素相比, 前者比后者强烈重要
9	两个元素相比, 前者比后者极端重要
其他	上述判断的中间值

表 3 柔性维度判断矩阵

柔性维度 A	时间维 B <sub>1</sub>	范围维 B <sub>2</sub>	费用维 B <sub>3</sub>
时间维 B <sub>1</sub>	1	3	1/3
范围维 B <sub>2</sub>	1/3	1	1/5
费用维 B <sub>3</sub>	3	5	1

分别建立各维度间比较矩阵如表 4~表 6。

表 4 柔性时间维判断矩阵

柔性	作业柔性	机器柔性	货期柔性
作业柔性	1	3	5
机器柔性	1/3	1	3
货期柔性	1/5	1/3	1

表 5 柔性范围维判断矩阵

柔性	作业柔性	机器柔性	货期柔性
作业柔性	1	2	1/5
机器柔性	1/2	1	3
货期柔性	1/5	1/3	1

表 6 柔性费用维判断矩阵

柔性	作业柔性	机器柔性	货期柔性
作业柔性	1	5	3
机器柔性	1/5	1	1/3
货期柔性	1/3	3	1

b) 计算权重向量。通过层次单排序并对判断矩阵的一致性进行检验。依据和法求解判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$  及其对应的标准化特征向量。通过层次单排序得到目标层 A 对于准则层 B 权重向量  $u_i$ 、准则层 B 对于准则层 C 权重向量  $v_{ij}$ , 如表 7。

表 7 柔性权重向量

判断矩阵	层次单排序权重向量	$\lambda_{\max}$
$A-B$	$u_i = (0.260, 0.106, 0.634)$	3
$B_1-C$	$v_{1j} = (0.633, 0.278, 0.089)$	3
$B_2-C$	$v_{2j} = (0.412, 0.454, 0.134)$	3
$B_3-C$	$v_{3j} = (0.633, 0.163, 0.204)$	3

c) 一致性检验。通过随机一致性比率(CR)检验比较判断矩阵的一致性。若  $CR < 0.1$ , 则比较判断矩阵具有令人满意的一致性, 各性能指标的权重分布合理。进行一致性检验:  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ , 通过查自由度指标表 8, 求得 3 阶矩阵  $RI = 0.52$ , 一致性检验结果如表 9。

表 8 自由度指标

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6
$RI$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.56

由检验结果看出, 判断矩阵各项指标权重分布合理。

d) 层次总排序。计算第三层指标相对于目标层的权重  $w_{ij}$ , 如表 10, 则:  $w_{ij} = \sum_i^3 \sum_j^3 u_i v_{ij}$ , 其中  $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$

表 9 一致性检验结果

判断矩阵	$CI$	$RI$	$CR$
$A-B$	0	0.52	0
$B_1-C$	0	0.52	0
$B_2-C$	0	0.52	0
$B_3-C$	0	0.52	0

表 10 柔性权重分布表

维度 $B_i$	柔性 $C_j$	柔性指标	权重( $W_{ij}$ )
时间维 $B_1$	作业柔性 $C_1$	作业时间	$W_{11}$
	机器柔性 $C_2$	机器有效加工时间	$W_{12}$
	货期柔性 $C_3$	不按期交货时间	$W_{13}$
范围维 $B_2$	作业柔性 $C_1$	加工产品数量	$W_{21}$
	机器柔性 $C_2$	机器使用数量	$W_{22}$
	货期柔性 $C_3$	不按期交货产品数量	$W_{23}$
费用维 $B_3$	作业柔性 $C_1$	作业成本	$W_{31}$
	机器柔性 $C_2$	机器损失成本	$W_{32}$
	货期柔性 $C_3$	不按期交货损失费用	$W_{33}$

利用层次分析法, 求得生产系统各项柔性权重矩阵:

$$Rw_{ij} = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.07 & 0.02 \\ 0.04 & 0.05 & 0.01 \\ 0.40 & 0.10 & 0.13 \end{bmatrix}$$

2.3 生产系统柔性度量模型

柔性最终在系统中反映出来的是能力, 柔性的大小体现了能力的强弱, 对生产加工为主的服装企

业生产系统, 柔性的大小可用各柔性在不同维度上反映的生产指标来进行定量分析。根据以上分析建立柔性能力模型。

设生产系统货期  $T$ , 生产加工时间  $T_m$ , 标准作业时间  $T_s$ , 批量大小为  $N$ , 机器总数量为  $M$ , 使用数量  $m$ , 机器故障率  $s$ , 机器损失成本  $V_m$ , 产品成本  $V_c$ , 获利  $V$ , 货期每偏差一天带来损失费用(库存费用和延期交货费用等)为  $V_s$ 。产品工艺难度系数为  $k$ , 质量系数为  $q$ , 质量系数、工艺系数是衡量生产系统柔性的参数, 反映了生产系统加工产品的质量水平、工艺水平, 只有在质量和工艺都有意义的条件下才能对柔性进行衡量。根据产品的加工情况, 对质量、工艺水平进行等级评定。

采用专家打分法对质量  $q(0 < q < 1)$  和工艺指标  $k(0 < k < 1)$  进行评价, 如表 11。

表 11 质量系数、工艺系数指标评价

$q$	好	较好	一般	差	较差
评分	$>0.85$	$0.84 \sim 0.65$	$0.64 \sim 0.45$	$0.44 \sim 0.25$	$<0.25$
$k$	困难	较难	一般	容易	较容易
评分	$>0.25$	$0.25 \sim 0.44$	$0.45 \sim 0.64$	$0.65 \sim 0.84$	$>0.85$

设制造系统在维度  $B_i$  上的柔性  $C_j$  具有的柔性能力为  $f_{ij}$ , 则:

$$\begin{aligned} f_{11} &= T_m / T_s \\ f_{12} &= 1 - s \\ f_{13} &= 1 - (|T - T_s|) / T \\ f_{21} &= 1 / T_s \\ f_{22} &= m / M \\ f_{23} &= (|N / T - N / T_s| |T - T_s|) / N \\ f_{31} &= (V - V_c) / V \\ f_{32} &= (V - V_m) / V \\ f_{33} &= (V - |T - T_s| V_s) / V \end{aligned}$$

上式中:

$0 \leq f_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, f_{ij} = 0$  说明该项柔性能力为 0, 即不存在应变能力, 故为刚性,  $f_{ij} = 1$  柔性最大。

$$T > T_m, V > V_c, V > V_m, V > V_s$$

建立柔性能力矩阵:

$$r(f_{ij}) = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix}$$

依据 AHP 建立的柔性因素权重的评判, 建立生产系统度量模型:  $F = qk \sum_i^3 \sum_j^3 (Rw_{ij})(rf_{ij})^T$ ,  $0 < F < 1$ 。

由以上模型分析看出,费用维的柔性权重指标大于其他维度,即服装企业在实际生产过程中把费用维度指标作为首要考虑的因素,企业的一切活动都是以利润最大化为目标。而范围维度上权重最小,表明企业在生产过程中往往忽略了新旧产品转换所给企业带来的损失。柔性是系统的综合体现,只有按照企业实际生产状况,提高低柔性维度的柔性,才能实现总体柔性的提高。

3 实例分析

已知某服装企业生产一批产品的生产情况如表 12,根据专家打分评定产品工艺难度系数  $k=0.63$ ,质量系数  $q=0.86$ ,该工厂机器数量  $M=50$  台,实际工作  $m=45$  台,机器故障率  $s=5\%$ 。机器损失固定成本  $V_m=0.05$  万元,延期所付损失费用  $V_s=0.1$  万元/天。

表 12 ES50 款生产情况表

款号	N/件	T/天	$T_s$ /天	$T_m$ /天	$V_c$ /元	$V$ /元
ES50	1 000	15	8	14	50 000	100 000

则根据模型计算出该生产系统柔性能力矩阵为:

$$r(f_{ij}) = \begin{bmatrix} 0.77 & 0.95 & 0.83 \\ 0.05 & 0.90 & 0.04 \\ 0.50 & 0.95 & 0.97 \end{bmatrix}$$

该生产系统柔性  $F=qk \sum_i^3 \sum_j^3 (Rw_{ij})(rf_{ij})^T=0.69$ ,时间维柔性  $B_1=0.22$ ,范围维柔性  $B_2=0.05$ ,费用维柔性  $B_3=0.42$ 。由此看出,此企业生产系统柔性能力整体良好,时间和范围维度柔性较小,说明该企业过多关注生产柔性的费用方面,而造成生产的不及时、产品转换较慢等,严重影响企业生产。因此,需加强生产线生产速度、效率以提高该企业时间、范围维度柔性,从而提高生产系统整体面对不确定变化的能力。

4 结 论

对服装企业生产系统的柔性度量的实质是找出在生产环境发生变化的条件下,生产系统转换的范围大小以及转换所付出的时间、费用方面的代价。本研究基于 AHP 方法的三维度量模型能够有效运用于服装企业的生产实际,并能对某一项柔性能力做出判断。然而柔性并非越大越好,针对不同类型服装企业,怎样更好地选择生产加工过程的柔性因素,并找出最佳柔性水平,提高企业的抗风险能力还需深入研究。

参考文献:

[1] Buzacott J A, Kahyaoglu Y. Flexibility and robustness in manufacturing systems[J]. International Journal of Manufacturing Technology Management, 2000(2): 546-558.

[2] Gupta A B. Flexibility in an automobile manufacturing enterprise[J]. Flexible System Management, 2001, 2 (1): 43-50.

[3] Beachr, Muhlemann A P. A review of manufacturing flexibility [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 122: 41-57.

[4] 王 晶, 齐京华, 刘晓宇. 生产系统柔性的度量方法研究[J]. 管理工程学报, 2003, 17(3): 63-66.

[5] 杨景梅. 系统柔性度量方法的研究[J]. 机械工程与自动化, 2010(5): 210-213.

[6] Slack N. The flexibility of manufacturing systems[J]. Int of Oper&Prod Management, 1978, 7(4): 35-45.

[7] 王明方, 谈 毅, 全允桓. 制造柔性的期权特征及其经济价值度量方法[J]. 管理工程学报, 2007, 21(2): 63-67.

[8] 吴东鹰, 方云安, 王沈尘. 柔性制造系统柔性度量模型 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 1994(9): 31-35.

[9] 庞庆华, 杜 栋. 基于 AHP 方法的企业生产系统柔性评价[J]. 科技管理研究, 2005(9): 192-196.

Evaluation Model of the Flexibility of the Garment Production System Based on the AHP Method

ZHAO Shi-qing<sup>a</sup>, HU Jue-liang<sup>b</sup>, HAN Shu-guang<sup>b</sup>

(Zhejiang Sci-Tech University; a. School of Fashion; b. School of Sciences, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** With the changes in market demands for apparel products, the mode for small, multi-variety batches in the production system should be more flexible. By analyzing the flexibility elements in the time, scope, and cost dimension of the garment production system, this paper establishes a flexible index system with high reaction speed, strong adaptability, and high efficiency. This study proposes a measurement model verified by an actual production example in the garment enterprise based on the AHP method.

**Key words:** flexibility; measurement model; AHP method; garment enterprise

(责任编辑: 马春晓)