

# 大规模定制模式下多类型评价信息的多目标生产指派问题

程德通<sup>1</sup>, 李登峰<sup>2†</sup>, 余高锋<sup>3</sup>

(1. 三明学院 管理学院, 福建 三明 365004; 2. 福州大学 经济与管理学院, 福州 350108;  
3. 三明学院 信息工程学院, 福建 三明 365004)

**摘 要:** 针对大规模定制模式下具有直觉模糊数、三角模糊数、语言评价、区间数等多类型评价信息的多目标生产指派问题, 提出一种新的生产指派方法. 首先, 建立大规模定制模式下满意度评价指标体系; 然后, 通过计算不同类型的评价信息与负理想点的距离, 以及正理想点与负理想点的距离, 定义顾客满意度和企业满意度; 最后, 以顾客满意度最大化和企业满意度最大化为目标, 建立多目标生产指派优化模型, 并通过求解生产指派模型得到生产指派结果. 最后通过一个算例验证所提生产指派方法的可行性和有效性.

**关键词:** 大规模定制; 生产指派; 多类型评价信息; 理想点; 优化模型

中图分类号: F224.9

文献标志码: A

## Multi-objective production assignment problem of multi-format information under mass customization mode

CHENG De-tong<sup>1</sup>, LI Deng-feng<sup>2†</sup>, YU Gao-feng<sup>3</sup>

(1. School of Management, Sanming University, Sanming 365004, China; 2. School of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 3. School of Information, Sanming University, Sanming 365004, China)

**Abstract:** Under the mass customization mode, aiming at the multi-format information of the multi-objective production assignment problem, including intuitionistic fuzzy number, triangular fuzzy number, linguistic assessment and interval number, production assignment method is proposed. Firstly, a satisfaction evaluation index is built under the mass customization mode. Then, customer satisfaction and enterprise satisfaction are defined by computing the destination between different evaluation information and the negative ideal-solution, and the destination between the positive ideal-solution and the negative ideal-solution. Finally, a multi-objective production assignment optimization model is set up under the maximum customer satisfaction and enterprise satisfaction, and the result of production assignment is gained by saluting the production assignment optimization model. An example is given to illustrate the effectiveness and feasibility of the proposed method.

**Keywords:** mass customization; production assignment; multi-format information; ideal solution; optimized model

## 0 引 言

大规模定制是指以大规模生产的成本和速度, 提供定制的个性化产品的生产模式<sup>[1]</sup>. 大规模定制生产模式结合了大规模生产模式和完全定制生产模式两种生产模式的优势, 因而被认为是 21 世纪企业的主流生产模式<sup>[2]</sup>.

大规模定制环境下, 顾客要求企业以能够接受的价格和交货期提供个性化的产品. 然而, 在实际的大规模定制生产过程中, 企业常常会遇到生产和柔性能力不足的问题. 由于受到资源和能力的约束与限制, 企业不可能满足顾客的所有要求, 而只能根据自身的

实际, 通过优化生产安排、进行有效指派, 最终实现顾客与企业利益的“双赢”. 生产指派问题已成为大规模定制生产管理的一项重要研究内容, 受到学者们的关注, 并取得了一定的研究成果<sup>[3-9]</sup>. 在这些研究成果中, 决策者所给出的评价信息均是精确的数值. 近年来, 一些学者对具有直觉模糊信息<sup>[10]</sup>、区间直觉模糊信息<sup>[11]</sup>、对偶犹豫模糊信息<sup>[12]</sup>的指派问题进行了研究, 另外一些学者在相关研究的基础上, 分别对大规模定制模式下具有直觉模糊信息<sup>[13]</sup>、三角直觉模糊信息<sup>[14]</sup>、梯形直觉模糊信息<sup>[15]</sup>的指派问题进行了探讨. 通过以上文献可以看出, 已有研究多是对大

收稿日期: 2016-11-03; 修回日期: 2017-01-22.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71231003); 国家自然科学基金项目(71171055).

作者简介: 程德通(1966-), 男, 教授, 从事决策分析、大规模定制等研究; 李登峰(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 从事经济管理决策与对策等研究.

†通讯作者. E-mail: lidengfeng@fzu.edu.cn

规模定制模式下具有单一类型评价信息的指派问题进行分析.然而,在现实的生产指派问题中,由于决策问题的复杂性、决策环境的不确定性以及决策者表述信息方式的差异,决策者所给出的评价信息可能会同时涉及包括定性和定量信息在内的不同类型的信息,即多类型评价信息,已有的方法难以解决这类问题<sup>[16-17]</sup>.本文研究大规模定制模式下,同时具有直觉模糊数信息、三角模糊数信息、语言评价信息和区间数信息等多类型多指标指派问题,并给出一种基于多目标生产指派的决策分析方法.

## 1 大规模定制模式下满意度评价指标体系的构建

在大规模定制生产指派过程中,存在两个不同的决策主体——顾客和企业,这两个决策主体有着各自的决策目标.顾客的目标是产品个性化配置、价格和交货期等方面综合满意度的最大化,企业的目标是在定制预期效果的基础上实现利润最大化.由于顾客和企业有着各自的追求目标,二者的满意度评价指标也有所不同.顾客关注的评价指标是产品的个性化配置、价格和交货期,企业考虑的评价指标是定制预期效果和利润.顾客和企业依据各自的满意度评价指标,可能会给出包括定性和定量信息的多类型评价信息,这些评价信息成为大规模定制企业生产指派的重要依据.本文构建的满意度评价指标体系如表1所示.

表1 大规模定制模式下满意度评价指标体系

决策主体	评价指标	指标类型
顾客	个性化配置 $E_1$	定性指标
	价格 $E_2$	定量指标
	交货期 $E_3$	定性指标
企业	定制预期效果 $F_1$	定量指标
	利润 $F_2$	定量指标

本文所构建的评价指标涉及到的指标类型有直觉模糊数 ( $I_1$ )、三角模糊数 ( $I_2$ )、语言值 ( $I_3$ ) 和区间数 ( $I_4$ ). 大规模定制模式下,明晰的顾客需求为企业生产提供了准确的要求.然而,在实际的生产过程中顾客提供的需求信息常常是不清晰、不充分、不完善且常发生变更的,从而增加了产品配置管理的复杂性,同时也导致企业对产品成本、价格以及相应可获得利润的预测具有模糊不确定性.因此,本文用三角模糊数来表示产品成本、价格以及利润.顾客对产品个性化配置进行评价时,可能会给出满意度、不满意度 and 犹豫度3方面的评价信息,因此采用直觉模糊数来表示.顾客对交货期满意度的评价可以通过顾客的语言来描述,以语言值的形式来衡量.定制预期效

果是企业生产指派需要考虑的一项重要评价指标,该指标的数据由企业聘请专家根据企业提供的产品个性化配置情况以及以往实施定制生产的情况,结合顾客的个性化需求给出区间数的评分分数,其评分范围为0~1.

## 2 决策方法

### 2.1 大规模定制模式下基于多类型评价信息的生产指派问题描述

假设有  $m$  个顾客对大规模定制企业提出了个性化需求,顾客的集合为  $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , 其中  $A_i$  表示第  $i$  个顾客,  $i = 1, 2, \dots, m$ . 假设对企业而言,这  $m$  个顾客具有相同的重要性.顾客在生产指派过程中需考虑的评价指标集为  $\mathbf{E} = \{E_1, E_2, E_3\}$ , 其中  $E_k$  表示第  $k$  个评价指标,  $k = 1, 2, 3$ ; 对应于  $\mathbf{E}$  的评价指标权重向量为  $\mathbf{w} = (w_1, w_2, w_3)$ , 其中  $w_k$  表示评价指标  $E_k$  的权重,  $0 \leq w_k \leq 1$ ,  $\sum_{k=1}^3 w_k = 1$ . 大规模定制模式下,顾客最关心的是自己的产品个性化配置能否得到满足,其次才是考虑价格和交货期因素<sup>[18]</sup>, 因此对顾客而言,个性化配置评价指标的重要性程度,即权重  $w_1$  会高于另外2个评价指标的权重  $w_2$  和  $w_3$ . 设指标  $E_1$  为直觉模糊数信息型的指标 ( $I_1$ ), 指标  $E_2$  为三角模糊数信息型的指标 ( $I_2$ ), 指标  $E_3$  为语言评价信息型的指标 ( $I_3$ ).

针对这  $m$  个顾客的个性化需求,大规模定制企业安排  $n$  个分厂进行生产,且企业各分厂之间的地位是平等的.每个分厂针对顾客的特定需求,为顾客提供一类的个性化产品, $n$  个分厂可提供  $n$  类的产品.通常情况下,由于大规模定制企业存在生产能力和其他资源条件的约束和限制,因此有  $n < m$ . 假设企业  $n$  个分厂生产能力的上限分别为  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , 企业分厂的集合为  $\mathbf{B} = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ , 其中  $B_j$  表示第  $j$  个分厂,  $j = 1, 2, \dots, n$ . 企业各分厂在生产指派过程中需考虑的评价指标集为  $\mathbf{F} = \{F_1, F_2\}$ , 其中  $F_h$  表示第  $h$  个评价指标,  $h = 1, 2$ ; 对应于  $\mathbf{F}$  的评价指标权重向量为  $\mathbf{v} = (v_1, v_2)$ , 其中  $v_h$  表示评价指标  $F_h$  的权重,  $0 \leq v_h \leq 1$ ,  $\sum_{h=1}^2 v_h = 1$ . 由于定制预期效果会直接影响到企业的市场份额,企业评价指标集的2个评价指标权重的取值应在综合考虑市场情况以及利润目标等因素的基础上确定.若认为定制预期效果与利润目标重要性相同,则  $v_1 = v_2$ ; 若认为不同,则  $v_1 \neq v_2$ , 此时可通过专家评判法确定.设指标  $F_1$  为区间数信息型的指标 ( $I_4$ ), 指标  $F_2$  为三角模糊数信息型的指标 ( $I_2$ ).

基于以上的论述, 本文依据顾客与企业双方的多类型评价信息以及相应的权重, 通过采取某种决策方法, 在考虑生产能力以及成本、价格等约束条件下, 对顾客定制的产品在不同分厂之间进行指派, 从而使得顾客与企业双方的满意度最大化。

### 2.2 顾客对产品的个性化配置评价价值

对产品的个性化配置评价价值是顾客购买决策的重要依据之一。假设顾客  $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$  对分厂  $B_j (j = 1, 2, \dots, n)$  生产产品的个性化配置评价价值用直觉模糊数表示为  $\tilde{g}_{kij} = \langle u_{kij}, v_{kij} \rangle (k \in I_1)$ , 其中  $u_{kij} \in [0, 1]$  和  $v_{kij} \in [0, 1]$  分别表示顾客  $A_i$  对分厂  $B_j$  提供的定制产品个性化配置的满意度(隶属度)和不满度(或非隶属度), 且  $0 \leq u_{kij} + v_{kij} \leq 1$ 。此外,  $\pi_{kij} = 1 - u_{kij} - v_{kij}$ , 反映顾客对定制产品个性化配置评价过程中的犹豫度或不确定度。由于大规模定制不是完全定制, 企业提供的产品个性化配置与顾客的个性化需求之间往往会存在一定的偏差, 因此顾客对产品的个性化配置评价价值通常会有一个最低要求。假设顾客的最低要求用直觉模糊数  $\tilde{U}_i$  来表示, 当  $\tilde{g}_{kij} \geq \tilde{U}_i$  时, 顾客接受定制产品; 当  $\tilde{g}_{kij} < \tilde{U}_i$  时, 顾客不接受定制产品。文中涉及直觉模糊数的比较和排序方法可参见文献[19], 这里不再赘述。

### 2.3 产品定价与利润测算

如何对产品定价, 是大规模定制模式下生产指派需要解决的一个重要问题。如果定价偏高, 超出顾客的容忍程度, 顾客就会放弃定制产品, 从而导致企业失去订单; 如果定价偏低, 企业则无法实现预期的利润目标甚至发生亏损。因此, 定制产品的价格应该有一个范围, 即最大值不超过顾客愿意支付的最高产品价格, 最小值不能低于企业的生产成本。其次, 定制产品的定价不仅要考虑产品的价格范围, 同时还应考虑顾客的支付意愿。通常地, 顾客对产品个性化配置评价价值越高, 愿意支付的价格也就越高。因此, 企业可以针对不同的个性化需求制定不同的产品价格, 即采取个性化的产品定价策略。产品定价模型可以构建为

$$\hat{p}_{kij} = \theta_{kij} \hat{P}_{ki}^* + (1 - \theta_{kij}) \hat{c}_{kj},$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2. \quad (1)$$

其中:  $\hat{p}_{kij}$ 、 $\hat{P}_{ki}^*$  和  $\hat{c}_{kj}$  均用三角模糊数表示;  $\hat{p}_{kij}$  表示为  $\hat{p}_{kij} = (p_{kij}^L, p_{kij}^M, p_{kij}^U) (k \in I_2)$ , 代表分厂  $B_j$  为顾客  $A_i$  提供的定制产品价格, 可作为顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于价格的满意度评价信息;  $\hat{P}_{ki}^*$  表示顾客  $A_i$  愿意支付的最高产品价格;  $\hat{c}_{kj}$  表示分厂  $B_j$  的定制产品生产成成本;  $\theta_{kij}$  表示顾客  $A_i$  对分厂  $B_j$  生产的产品

个性化配置的评价得分值, 即  $\theta_{kij} = u_{kij} - v_{kij}$ 。由上述分析可知, 定制产品的价格应介于企业的生产成本与顾客愿意支付的产品最高价格之间, 即  $\hat{c}_{kj} \leq \hat{p}_{kij} \leq \hat{P}_{ki}^*$ 。文中涉及三角模糊数的比较和排序方法可参见文献[20]。

由产品价格  $\hat{p}_{kij}$  和生产成本  $\hat{c}_{kj}$  可测算出分厂  $B_j$  为顾客  $A_i$  定制产品可得的利润为

$$\hat{r}_{hij} = \hat{p}_{kij} - \hat{c}_{kj},$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2. \quad (2)$$

其中  $\hat{r}_{hij}$  用三角模糊数表示为  $\hat{r}_{hij} = (r_{kij}^L, r_{kij}^M, r_{kij}^U) (k \in I_2)$ , 可作为企业分厂  $B_j$  对顾客  $A_i$  关于利润的满意度评价信息。

## 2.4 满意度

### 2.4.1 顾客满意度

考虑具有直觉模糊数、三角模糊数和语言评价信息 3 种类型的顾客满意度评价指标。为消除各种指标量纲、单位和类型差异对决策结果的影响, 首先需对顾客的满意度评价信息进行规范化处理, 在此基础上构建各指标的正、负理想评价价值, 通过计算顾客评价价值与负理想点的距离, 以及正理想点与负理想点的距离, 计算顾客的满意度。

1) 针对直觉模糊数信息型指标  $E_k (k \in I_1)$ , 记顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于评价指标  $E_k$  的直觉模糊数评价信息矩阵为  $\tilde{G}_k = (\tilde{g}_{kij})_{m \times n}$ ,  $\tilde{g}_{kij} = \langle u_{kij}, v_{kij} \rangle$ 。由于直觉模糊数本身介于 0 与 1 之间, 无需规范化。构建直觉模糊数评价信息对应的正理想评价价值  $\tilde{E}_k^+$  和负理想评价价值  $\tilde{E}_k^-$  为

$$\begin{cases} \tilde{E}_k^+ = \langle u_k^+, v_k^+ \rangle = \langle \max_{\forall i,j} \{u_{kij}\}, \min_{\forall i,j} \{v_{kij}\} \rangle, \\ \tilde{E}_k^- = \langle u_k^-, v_k^- \rangle = \langle \min_{\forall i,j} \{u_{kij}\}, \max_{\forall i,j} \{v_{kij}\} \rangle. \end{cases} \quad (3)$$

进一步地, 由下面公式计算直觉模糊数评价信息与负理想评价价值  $\tilde{E}_k^-$  的距离  $d(\tilde{g}_{kij}, \tilde{E}_k^-)$  和正理想评价价值  $\tilde{E}_k^+$  与负理想评价价值  $\tilde{E}_k^-$  的距离  $d(\tilde{E}_k^+, \tilde{E}_k^-)$ :

$$d(\tilde{g}_{kij}, \tilde{E}_k^-) = \sqrt{[(u_{kij} - u_k^-)^2 + (v_{kij} - v_k^-)^2 + (\pi_{kij} - \pi_k^-)^2] / 2}, \quad (4)$$

$$d(\tilde{E}_k^+, \tilde{E}_k^-) = \sqrt{[(u_k^+ - u_k^-)^2 + (v_k^+ - v_k^-)^2 + (\pi_k^+ - \pi_k^-)^2] / 2}. \quad (5)$$

其中:  $\pi_k^+ = 1 - u_k^+ - v_k^+$ ,  $\pi_k^- = 1 - u_k^- - v_k^-$ ,  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_1$ 。

2) 针对三角模糊数信息型指标  $E_k (k \in I_2)$ , 记顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于评价指标  $E_k$  的三角

模糊数评价信息矩阵为  $\hat{P}_k = (\hat{p}_{kij})_{m \times n}$ ,  $\hat{p}_{kij} = (p_{kij}^L, p_{kij}^M, p_{kij}^U)$ . 首先, 利用下式将  $\hat{P}_k = (\hat{p}_{kij})_{m \times n}$  规范化为  $\hat{P}'_k = (\hat{p}'_{kij})_{m \times n}$ ,  $\hat{p}'_{kij} = (p'_{kij}{}^L, p'_{kij}{}^M, p'_{kij}{}^U)$ .

$$\hat{p}'_{kij} \text{ 的计算公式为 } (p'_{kij}{}^L, p'_{kij}{}^M, p'_{kij}{}^U) = \begin{cases} \left( \frac{p_{kij}^L}{\max_{\forall i,j} \{p_{kij}^U\}}, \frac{p_{kij}^M}{\max_{\forall i,j} \{p_{kij}^U\}}, \frac{p_{kij}^U}{\max_{\forall i,j} \{p_{kij}^U\}} \right), & k \in I_2^b; \\ \left( 1 - \frac{p_{kij}^U}{\max_{\forall i,j} \{p_{kij}^U\}}, 1 - \frac{p_{kij}^M}{\max_{\forall i,j} \{p_{kij}^U\}}, 1 - \frac{p_{kij}^L}{\max_{\forall i,j} \{p_{kij}^U\}} \right), & k \in I_2^c. \end{cases} \quad (6)$$

其中  $I_2^b$ 、 $I_2^c$  分别表示三角模糊数信息型的效益型指标和成本型指标. 然后, 构建三角模糊数评价信息对应的正理想评价价值  $\hat{E}_k^+$  和负理想评价价值  $\hat{E}_k^-$  为

$$\begin{cases} \hat{E}_k^+ = (p_k'^{L+}, p_k'^{M+}, p_k'^{U+}) = \\ \quad (\max_{\forall i,j} \{p_{kij}'^L\}, \max_{\forall i,j} \{p_{kij}'^M\}, \max_{\forall i,j} \{p_{kij}'^U\}), \\ \hat{E}_k^- = (p_k'^{L-}, p_k'^{M-}, p_k'^{U-}) = \\ \quad (\min_{\forall i,j} \{p_{kij}'^L\}, \min_{\forall i,j} \{p_{kij}'^M\}, \min_{\forall i,j} \{p_{kij}'^U\}). \end{cases} \quad (7)$$

进一步地, 由下面公式计算三角模糊数评价信息与负理想评价价值  $\hat{E}_k^-$  的距离  $d(\hat{p}_{kij}, \hat{E}_k^-)$  和正理想评价价值  $\hat{E}_k^+$  与负理想评价价值  $\hat{E}_k^-$  的距离  $d(\hat{E}_k^+, \hat{E}_k^-)$ :

$$d(\hat{p}_{kij}, \hat{E}_k^-) = \sqrt{\frac{(p_{kij}'^L - p_k'^{L-})^2 + (p_{kij}'^M - p_k'^{M-})^2 + (p_{kij}'^U - p_k'^{U-})^2}{3}}, \quad (8)$$

$$d(\hat{E}_k^+, \hat{E}_k^-) = \sqrt{\frac{(p_k'^{L+} - p_k'^{L-})^2 + (p_k'^{M+} - p_k'^{M-})^2 + (p_k'^{U+} - p_k'^{U-})^2}{3}}. \quad (9)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2$ .

3) 设语言评价集  $J_k = \{j_q | q \in \{0, 1, \dots, (T/2) - 1, T/2, (T/2) + 1, \dots, T\}\} (k \in I_3)$ , 其中  $j_q$  表示语言评价集  $J_k$  中的第  $q$  个语言短语,  $q \in \{0, 1, \dots, T\}$ ,  $T$  一般为偶数.  $j_{kijq}$  表示顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于  $E_k (k \in I_3)$  的语言评价信息为语言评价集  $J_k$  中的第  $q$  个语言评价信息. 首先, 利用下式将语言评价信息  $j_{kijq} \in J_k$  转化为规范化语言评价信息:

$$s_{kij} = \begin{cases} j_{kijq}, & k \in I_3^b; \\ \text{Neg}(j_{kijq}), & k \in I_3^c. \end{cases} \quad (10)$$

其中  $I_3^b$ 、 $I_3^c$  分别表示语言评价信息型的效益型指标

和成本型指标. 记规范化后的语言评价信息矩阵为  $S_k = (s_{kij})_{m \times n}$ . 然后, 构建语言评价信息对应的正理想评价价值  $\check{E}_k^+$  和负理想评价价值  $\check{E}_k^-$  为

$$\begin{cases} \check{E}_k^+ = s_k^+ \in S_k; \\ \check{E}_k^- = s_k^- \in S_k. \end{cases} \quad (11)$$

进一步地, 由下面公式计算语言评价信息与负理想评价价值  $\check{E}_k^-$  的距离  $d(s_{kij}, \check{E}_k^-)$  和正理想评价价值  $\check{E}_k^+$  与负理想评价价值  $\check{E}_k^-$  的距离  $d(\check{E}_k^+, \check{E}_k^-)$ :

$$d(s_{kij}, \check{E}_k^-) = |\Delta^{-1}(s_{kij}, 0) - \Delta^{-1}(s_k^-, 0)|, \quad (12)$$

$$d(\check{E}_k^+, \check{E}_k^-) = |\Delta^{-1}(s_k^+, 0) - \Delta^{-1}(s_k^-, 0)|. \quad (13)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_3$ .

定义顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于直觉模糊数信息型指标的满意度  $\rho_{kij} (k \in I_1)$ 、三角模糊数信息型指标的满意度  $\rho_{kij} (k \in I_2)$  以及语言评价信息型指标的满意度  $\rho_{kij} (k \in I_3)$  分别为

$$\begin{cases} \rho_{kij} = d(\tilde{g}_{kij}, \tilde{E}_k^-) / d(\tilde{E}_k^+, \tilde{E}_k^-), & k \in I_1; \\ \rho_{kij} = d(\hat{p}_{kij}, \hat{E}_k^-) / d(\hat{E}_k^+, \hat{E}_k^-), & k \in I_2; \\ \rho_{kij} = d(s_{kij}, \check{E}_k^-) / d(\check{E}_k^+, \check{E}_k^-), & k \in I_3. \end{cases} \quad (14)$$

进一步地, 可依据下式定义顾客关于各指标的满意度  $\rho_{ij}$ :

$$\rho_{ij} = \sum_{k=1}^3 w_k \rho_{kij}, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

显然,  $\rho_{ij}$  越大表示顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于各指标的综合满意度越高; 反之, 则表示满意度越低.

### 2.4.2 企业满意度

考虑具有区间数和三角模糊数两种类型的企业满意度评价指标. 针对区间数信息型指标  $F_h (h \in I_4)$ , 记企业分厂  $B_j$  对顾客  $A_i$  关于评价指标  $F_h$  的区间数评价信息矩阵为  $\bar{Y}_h = (\bar{y}_{hij})_{m \times n}$ ,  $\bar{y}_{hij} = [y_{hij}^l, y_{hij}^u]$ . 首先, 将  $\bar{Y}_h = (\bar{y}_{hij})_{m \times n}$  规范化为  $\bar{Y}'_h = (\bar{y}'_{hij})_{m \times n}$ ,  $\bar{y}'_{hij} = [y'_{hij}{}^l, y'_{hij}{}^u]$  的计算公式为

$$[y'_{hij}{}^l, y'_{hij}{}^u] = \begin{cases} [y_{hij}^l / \max_{\forall i,j} \{y_{hij}^u\}, y_{hij}^u / \max_{\forall i,j} \{y_{hij}^u\}], & h \in I_4^b; \\ [1 - y_{hij}^u / \max_{\forall i,j} \{y_{hij}^u\}, 1 - y_{hij}^l / \max_{\forall i,j} \{y_{hij}^u\}], & h \in I_4^c. \end{cases} \quad (16)$$

其中  $I_4^b$ 、 $I_4^c$  分别表示区间数信息型的效益型指标和成本型指标. 然后, 构建区间数评价信息对应的正理想评价价值  $\bar{F}_k^+$  和负理想评价价值  $\bar{F}_k^-$  为

$$\begin{cases} \bar{F}_h^+ = [y_h^{l+}, y_h^{u+}] = (\max_{\forall i,j} \{y_{hij}^l\}, \max_{\forall i,j} \{y_{hij}^u\}), \\ \bar{F}_h^- = [y_h^{l-}, y_h^{u-}] = (\min_{\forall i,j} \{y_{hij}^l\}, \min_{\forall i,j} \{y_{hij}^u\}). \end{cases} \quad (17)$$

进一步地,由下面公式计算区间数评价信息与负理想评价价值  $\bar{F}_h^-$  的距离  $d(\bar{y}'_{hij}, \bar{F}_h^-)$  和正理想评价价值  $\bar{F}_h^+$  和负理想评价价值  $\bar{F}_h^-$  的距离  $d(\bar{F}_h^+, \bar{F}_h^-)$ :

$$d(\bar{y}'_{hij}, \bar{F}_h^-) = \sqrt{[(y_{hij}^l - y_h^{l-})^2 + (y_{hij}^u - y_h^{u-})^2]}/2, \quad (18)$$

$$d(\bar{F}_h^+, \bar{F}_h^-) = \sqrt{[(y_h^{l+} - y_h^{l-})^2 + (y_h^{u+} - y_h^{u-})^2]}/2. \quad (19)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_4$ .

针对企业分厂  $B_j$  对顾客  $A_i$  关于三角模糊数信息型指标  $F_h (h \in I_2)$ ,可参考顾客  $A_i$  对企业分厂  $B_j$  关于三角模糊数信息型指标  $E_k (k \in I_2)$  的处理方法进行

类似地,可采取顾客满意度的定义方法,定义企业关于各指标的满意度

$$\sigma_{ij} = \sum_{h=1}^2 v_h \sigma_{hij}, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

### 3 生产指派模型

大规模定制模式追求的是顾客与企业“双赢”,因此本文以顾客满意度最大化和企业满意度最大化为目标,建立如下的双目标生产指派优化模型I:

$$\max H_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{ij} z_{ij}, \quad (21)$$

$$\max H_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} z_{ij}. \quad (22)$$

$$\text{s.t. } \tilde{g}_{kij} + (1 - z_{ij})M \geq \tilde{U}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_1; \quad (23)$$

$$\hat{c}_{kj} \leq \hat{p}_{kij} + (1 - z_{ij})M, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2; \quad (24)$$

$$z_{ij} \hat{p}_{kij} \leq \hat{P}_{ki}^*, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2; \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} \leq Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m; \quad (27)$$

$$z_{ij} = 0 \text{ or } 1. \quad (28)$$

其中:  $\tilde{g}_{kij}$  和  $\tilde{U}_i$  为直觉模糊数评价信息,  $\hat{c}_{kj}$ 、 $\hat{p}_{kij}$  和  $\hat{P}_{ki}^*$  为三角模糊数评价信息,  $M$  为一充分大的正数. 模型中,  $Q_j$  为已知常量,  $\tilde{g}_{kij}$ 、 $\tilde{U}_i$ 、 $\hat{c}_{kj}$ 、 $\hat{p}_{kij}$ 、 $\hat{P}_{ki}^*$  也已知,  $\rho_{ij}$  和  $\sigma_{ij}$  分别由式(15)和(20)计算得出,  $z_{ij}$  为变量.

目标函数(21)和(22)表示生产指派模型为兼顾顾客满意度和企业满意度的多目标规划模型. 约束条件(23)表示顾客对产品的个性化配置评价价值不得低于其最低要求;约束条件(24)和(25)表示分厂  $B_j$  提供给顾客  $A_i$  的产品,其价格应介于产品的生产成本与顾客愿意支付的最高产品价格之间;约束条件(26)表示企业某个分厂提供的产品数量不能超过该分厂的生产能力;约束条件(27)表示每位顾客需求的定制产品只能被加工一次;约束条件(28)表示  $z_{ij}$  为0-1变量.

为了求解所提多目标生产指派优化模型,本文采取加权和法<sup>[21]</sup>将多目标优化问题转化为单目标优化问题. 运用加权和法求解多目标决策问题的难点是如何找到合理的权重<sup>[22]</sup>. 一种常用的方法是对双目标赋予相等的权重再进行求和,如对式(21)和(22),可以通过式  $\max H = 0.5H_1 + 0.5H_2$  将双目标优化问题转化为单目标优化问题. 然而,采取等权的方式未能充分考虑各目标属性值差异程度对决策结果造成的影响,即属性值大对决策影响大,属性值小对决策影响小甚至可以忽略不计,从而造成子目标之间的互相替代,而有违于子目标的不可或缺性<sup>[23]</sup>. 为了克服这一缺陷,本文在借鉴文献[4]、文献[24]和文献[25]的思想与方法的基础上,采取以下步骤确定多目标之间的权重.

首先,计算顾客满意度  $\rho_{ij}$  与企业满意度  $\sigma_{ij}$  的比例  $\lambda_{ij}$  为

$$\lambda_{ij} = \rho_{ij} / \sigma_{ij}. \quad (29)$$

因为本文假设顾客之间以及企业各分厂之间的重要性相同,所以通过对  $\lambda_{ij}$  进行平均,求得算术平均数为

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}}{mn}. \quad (30)$$

进一步地,以  $\lambda$  作为综合权重,将双目标模型I转化为如下的单目标模型II:

$$\max H = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{ij} z_{ij} + \lambda \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} z_{ij}. \quad (31)$$

$$\text{s.t. } \tilde{g}_{kij} + (1 - z_{ij})M \geq \tilde{U}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_1; \quad (32)$$

$$\hat{c}_{kj} \leq \hat{p}_{kij} + (1 - z_{ij})M,$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2; \quad (33)$$

$$z_{ij}\hat{p}_{kij} \leq \hat{P}_{ki}^*,$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k \in I_2; \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} \leq Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (35)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m; \quad (36)$$

$$z_{ij} = 0 \text{ or } 1. \quad (37)$$

综合权重  $\lambda = 1$ , 表明顾客满意度目标属性值与企业满意度目标属性值保持了较好的均衡性;  $\lambda > 1$ , 表明相对于企业满意度目标属性值, 顾客满意度目标属性值相对较高, 此时综合权重  $\lambda$  能够起到调高企业满意度目标属性值的作用;  $\lambda < 1$ , 表明顾客满意度目标属性值相对较低, 此时综合权重  $\lambda$  能够起到调低企业满意度目标属性值的作用. 即, 综合权重  $\lambda$  能够起到平衡顾客满意度目标属性值与企业满意度目标属性值的作用, 这不仅符合大规模定制模式追求顾客与企业利益“双赢”的目标, 同时也体现了人们在作决策时遵循的“均衡”原则<sup>[25]</sup>. 需要说明的是, 模型 II 的解是模型 I 的非劣解集中的一个非劣解,  $\lambda$  的取值会影响模型 II 的求解结果, 企业可以根据自己的实际情况来确定  $\lambda$  的取值方法<sup>[4]</sup>.

模型 II 的指派问题是一个 0-1 型整数规划, 可以使用专门的优化软件包(如 Lingo11.0 等)来求解该模型.

综合前述内容, 可将问题求解步骤归纳如下.

**Step 1:** 根据式 (1) 和 (2), 测算企业各分厂为每位顾客提供的产品价格以及可获得的利润;

**Step 2:** 获取顾客与企业的多类型满意度评价信息;

**Step 3:** 根据式 (3)~(13) 以及式 (16)~(19), 对顾客与企业的多类型评价信息进行规范化处理, 并构建各指标的正、负理想评价价值, 计算评价价值与负理想点的距离, 以及正理想点与负理想点的距离;

**Step 4:** 根据式 (15) 和 (20), 计算顾客与企业的满意度;

**Step 5:** 根据式 (29) 和 (30), 确定综合权重;

**Step 6:** 根据式 (31)~(37), 建立生产指派的优化模型;

**Step 7:** 使用数学软件 (Lingo11.0 等) 求解模型 II, 获得最优的指派方案.

## 4 算例

假设某大规模定制企业收到了 10 个顾客的个性化产品需求订单. 针对这些顾客的个性化需求, 企业安排 3 个分厂进行生产, 每个分厂负责生产一类产品, 即企业生产 3 类产品. 设顾客的集合为  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{10}\}$ , 企业的集合为  $B = \{B_1, B_2, B_3\}$ . 顾客在对企业各分厂提供的定制产品进行评价时, 选取了 3 个指标, 即个性化配置 ( $E_1$ )、价格 ( $E_2$ ) 和交货期 ( $E_3$ ). 其中价格 ( $E_2$ ) 为成本型指标, 其余为效益型指标, 3 个指标的权重向量为  $w = (0.5, 0.3, 0.2)$ . 企业各个分厂在对顾客进行评价时, 主要考虑定制预期效果 ( $F_1$ ) 和利润 ( $F_2$ ) 两个效益型指标, 指标权重向量为  $v = (0.5, 0.5)$ .

假设 10 个顾客愿意支付的最高产品价格均为  $\hat{P}_{ki}^* = (790, 800, 810)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 10, k \in I_2$ . 顾客对产品个性化配置评价价值的最低要求见表 2. 企业各分厂的生产成本和生产能力的上限等相关数据见表 3.

表 2 顾客对产品个性化配置评价价值的最低要求

顾客序号	最低要求
1	$\langle 0.5, 0.2 \rangle$
2	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$
3	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$
4	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$
5	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$
6	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$
7	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$
8	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$
9	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$
10	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$

表 3 企业各分厂的生产成本和生产上限

	分厂 1	分厂 2	分厂 3
生产成本	(350,360,370)	(365,375,385)	(380,390,400)
生产上限	4	4	4

表 4 为顾客关于各指标的多类型评价信息,  $E_1$  的评价价值为直觉模糊数;  $E_2$  的评价价值为三角模糊数, 其数据根据式 (1) 计算得出;  $E_3$  的评价价值为语言短语, 顾客对交货期评价采用五粒度语言评价信息集  $S^5 = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\} = \{VP(\text{很不满意}), P(\text{不满意}), M(\text{一般}), G(\text{满意}), VG(\text{很满意})\}$ .

表 5 为企业关于各指标的多类型评价信息,  $F_1$  的评价价值为区间数;  $F_2$  的评价价值为三角模糊数, 其数据由式 (2) 计算得出.

表 4 顾客关于各指标的多类型评价信息

顾客序号	个性化配置 ( $E_1$ )			价格 ( $E_2$ )			交货期 ( $E_3$ )		
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_1$	$B_2$	$B_3$
1	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.8, 0.1 \rangle$	$\langle 0.9, 0.1 \rangle$	(482,492,502)	(663,673,683)	(708,718,728)	M	P	VP
2	$\langle 0.6, 0.1 \rangle$	$\langle 1.0, 0.0 \rangle$	$\langle 0.7, 0.1 \rangle$	(570,580,590)	(790,800,810)	(626,636,646)	G	M	G
3	$\langle 0.7, 0.1 \rangle$	$\langle 0.9, 0.1 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$	(614,624,634)	(705,715,725)	(585,595,605)	G	M	VG
4	$\langle 0.9, 0.0 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$	(746,756,766)	(535,545,555)	(462,472,482)	M	G	G
5	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.9, 0.0 \rangle$	(394,404,414)	(493,503,513)	(749,759,769)	G	G	M
6	$\langle 1.0, 0.0 \rangle$	$\langle 0.8, 0.2 \rangle$	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	(790,800,810)	(620,630,640)	(503,513,523)	M	G	VG
7	$\langle 0.6, 0.4 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$	$\langle 1.0, 0.0 \rangle$	(438,448,458)	(578,588,598)	(790,800,810)	VG	G	M
8	$\langle 0.9, 0.1 \rangle$	$\langle 0.8, 0.1 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	(702,712,722)	(663,673,683)	(544,554,564)	VP	P	M
9	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$	$\langle 0.9, 0.0 \rangle$	$\langle 0.8, 0.1 \rangle$	(526,536,546)	(748,758,768)	(667,677,687)	VG	P	M
10	$\langle 0.8, 0.1 \rangle$	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	(658,668,678)	(450,460,470)	(421,431,441)	P	M	G

表 5 企业关于各指标的多类型评价信息

顾客序号	定制预期效果 ( $F_1$ )			利润 ( $F_2$ )		
	分厂 1	分厂 2	分厂 3	分厂 1	分厂 2	分厂 3
1	[0.3,0.6]	[0.7,0.8]	[0.7,0.9]	(112,132,152)	(278,298,318)	(308,328,348)
2	[0.6,0.7]	[0.8, 1]	[0.6,0.8]	(200,220,240)	(405,425,445)	(226,246,266)
3	[0.6,0.8]	[0.7,0.9]	[0.5,0.8]	(244,264,284)	(320,340,360)	(185,205,225)
4	[0.8,0.9]	[0.5,0.6]	[0.3,0.5]	(376,396,416)	(150,170,190)	(62,82,102)
5	[0.2,0.5]	[0.3,0.6]	[0.8,0.9]	(24,44,64)	(108,128,148)	(349,369,389)
6	[0.8, 1]	[0.6,0.8]	[0.4,0.5]	(420,440,460)	(235,255,275)	(103,123,143)
7	[0.3,0.5]	[0.5,0.8]	[0.9, 1]	(68,88,108)	(193,213,233)	(390,410,430)
8	[0.7,0.9]	[0.7,0.8]	[0.4,0.7]	(332,352,372)	(278,298,318)	(144,164,184)
9	[0.4,0.7]	[0.7, 1]	[0.6,0.9]	(156,176,196)	(363,383,403)	(267,287,307)
10	[0.6,0.9]	[0.3,0.5]	[0.3,0.4]	(288,308,328)	(65,85,105)	(21,41,61)

根据以上的评价指标,按照 Step 2~Step 4,可以计算出顾客满意度  $\rho_{ij}$  和企业满意度  $\sigma_{ij}$ ,相关数据见表 6.

表 6 顾客满意度与企业满意度

顾客序号	顾客满意度			企业满意度		
	分厂 1	分厂 2	分厂 3	分厂 1	分厂 2	分厂 3
1	0.442	0.474	0.456	0.235	0.669	0.743
2	0.605	0.600	0.563	0.495	0.941	0.564
3	0.572	0.558	0.574	0.586	0.758	0.477
4	0.570	0.532	0.508	0.868	0.357	0.128
5	0.450	0.484	0.567	0.058	0.230	0.835
6	0.600	0.567	0.527	0.960	0.575	0.224
7	0.576	0.529	0.600	0.136	0.486	0.962
8	0.460	0.474	0.475	0.773	0.669	0.350
9	0.589	0.519	0.521	0.365	0.852	0.656
10	0.477	0.467	0.430	0.682	0.132	0.054

根据式(29)和(30),确定综合权重为  $\lambda = 1.780$ . 根据模型 II 建立大规模定制模式下生产指派数学模型. 运用 Lingo11.0 求解该指派问题,得到生产安排的结果为第 4、6、8 和 10 个顾客需求的产品安排给第 1 分厂生产,第 2、3 和 9 个顾客需求的产品安排给第 2 分厂生产,第 1、5 和 7 个顾客需求的产品安排给第 3 分厂生产.

### 5 结论

本文针对大规模定制模式下具有多类型评价信息的指派问题,提出了一种基于多目标的生产指派方

法. 该方法兼顾了顾客与企业双方的利益,通过计算不同类型的评价信息与负理想点的距离,以及正理想点与负理想点的距离,定义了顾客满意度和企业满意度,并以顾客满意度最大化和企业满意度最大化为目标建立了多目标生产指派优化模型. 该方法不仅具有较强的可操作性,而且具有一定的实际应用价值,能够为大规模定制模式下涉及定性和定量多类型评价信息的生产指派问题提供一种新途径.

### 参考文献(References)

- [1] Pine B J. Mass customization: The new frontier in business competition[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1992.
- [2] 邵晓峰, 季建华, 黄培清. 21 世纪的主流生产模式: 大规模定制[J]. 软科学, 2000, 14(4): 43-45. (Shao X F, Ji J H, Huang P Q. Mainstream producing model in 21 century: Mass customization[J]. Soft Science, 2000, 14(4): 43-45.)
- [3] 周俊, 梁樑, 余玉刚. 基于顾客满意度最大化的生产指派问题[J]. 管理工程学报, 2004, 18(4): 1-5. (Zhou J, Liang L, Yu Y G. Production assignment problem based on the optimization of customer satisfaction[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2004, 18(4): 1-5.)
- [4] 梁樑, 刘晓伟, 朱晨, 等. MC 模式下基于多顾客定单的选择性生产问题[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(9): 1222-1225. (Liang L, Liu X W, Zhu C, et al. Selective production and

- product pricing based on multi-customer orders under MC[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2004, 26(9): 1222-1225.)
- [5] 汤卫君, 刘晓伟, 凌六一, 等. MC模式下一种改进产品生产指派与定价模型分析[J]. *运筹与管理*, 2012, 21(6): 126-131.  
(Tang W J, Liu X W, Ling L Y, et al. Improved model analysis of production assignment and pricing under MC[J]. *Operations Research and Management Science*, 2012, 21(6): 126-131.)
- [6] 梁樑, 刘晓伟, 余玉刚, 等. MC模式下多属性产品的生产指派问题[J]. *系统工程学报*, 2004, 19(2): 188-192.  
(Liang L, Liu X W, Yu Y G, et al. Production assignment of multi-attribute product under MC[J]. *J of System Engineering*, 2004, 19(2): 188-192.)
- [7] 梁琛平, 彭灿. MC模式下多属性产品的改进生产指派模型[J]. *工业工程与管理*, 2009, 14(3): 96-104.  
(Liang C P, Peng C. Improved production assignment of multi-attribute product under MC[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2009, 14(3): 96-104.)
- [8] 王林, 吴清烈. 价格诱导下大规模定制的定制程度和产量优化[J]. *统计与决策*, 2007(9): 50-51.  
(Wang L, Wu Q L. The customization degree and production optimization of mass customization under the price inducement[J]. *Statistics & Decision*, 2007(9): 50-51.)
- [9] Anzanello M J, Fogliatto F S. Learning curve modelling of work assignment in mass customized assembly line[J]. *Int J of Production Research*, 2007, 45(13): 2919-2938.
- [10] Mukherjee S, Basu K. Solution of a class of intuitionistic fuzzy assignment problem by using similarity measures[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2011, 27(4): 170-179.
- [11] Wang J C, Chen T Y. Likelihood-based assignment methods for multiple criteria decision analysis based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2015, 14(4): 425-457.
- [12] Singh P. A new method for solving dual hesitant fuzzy assignment problems with restrictions based on similarity measure[J]. *Applied Soft Computing*, 2014, 24: 559-571.
- [13] 程德通, 李登峰, 余高峰. 大规模定制模式下具有直觉模糊信息的生产指派问题研究[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(22): 92-106.  
(Cheng D T, Li D F, Yu G F. Research on the production assignment which has the intuitionistic fuzzy information under the mass customization mode[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2015, 45(22): 92-106.)
- [14] 程德通, 李登峰, 余高峰. 大规模定制模式下基于三角直觉模糊信息的生产指派问题研究[J]. *运筹与管理*, 2016, 25(1): 59-69.  
(Cheng D T, Li D F, Yu G F. Research on the production assignment based on the triangular intuitionistic fuzzy numbers under the mass customization mode[J]. *Operations Research and Management Science*, 2016, 25(1): 59-69.)
- [15] 程德通, 李登峰. 大规模定制模式下基于梯形直觉模糊信息的多属性产品生产指派问题研究[J]. *三明学院学报*, 2016, 33(2): 33-43.  
(Cheng D T, Li D F. Research on the production assignment of multi-attribute product based on the trapezoidal intuitionistic fuzzy information under the mass customization mode[J]. *J of Sanming University*, 2016, 33(2): 33-43.)
- [16] 陈希, 樊治平. 多指标双边匹配决策方法研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2013: 87.  
(Chen X, Fan Z P. The research on decision making method for multi-index tow-sided matching problem[M]. Beijing: Economic Science Press, 2013: 87.)
- [17] 刘洋, 樊治平. 具有多种形式信息的指派问题的求解方法[J]. *系统工程*, 2008, 26(5): 73-79.  
(Liu Y, Fan Z P. A method for solving the multi-objective assignment problem with multiple format information[J]. *Systems Engineering*, 2008, 26(5): 73-79.)
- [18] 但斌, 冯韬, 兰林春, 等. 大规模定制——打造21世纪企业核心竞争力[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 45.  
(Dan B, Feng T, Lan L C, et al. Mass customization: creating the core competitiveness of enterprises in 21st century[M]. Beijing: Science Press, 2004: 45.)
- [19] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 4.  
(Xu Z S. Intuitionistic fuzzy information aggregation: theory and applications[M]. Beijing: Science Press, 2008: 4.)
- [20] 李登峰. 模糊多目标多人决策与对策[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 39-57.  
(Li D F. Fuzz multiobjective many-person decision makings and games[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003: 39-57.)
- [21] 邱苑华, 刘美芳. 管理决策及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 81-82.  
(Qiu W H, Liu M F. Managerial decision making and its application[M]. Beijing: China Machine Press, 2012: 81-82.)
- [22] 赵新泉, 彭勇行. 管理决策分析[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 175.  
(Zhao X Q, Pen Y X. Management decision analysis[M]. Beijing: Science Press, 2013: 175.)
- [23] 刘文奇. 一般变权原理与多目标决策[J]. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(3): 2-11.  
(Liu W Q. The ordinary variable weight principle and multiobjective decision-making[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2000, 20(3): 2-11.)
- [24] 于春田, 李法朝, 惠红旗. 运筹学[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 409-410.  
(Yu C T, Li F C, Hui H Q. Operations research[M]. Beijing: Science Press, 2011: 409-410.)
- [25] 刘文奇. 均衡函数及其在变权综合中的应用[J]. *系统工程理论与实践*, 1997(4): 58-74.  
(Liu W Q. Balanced function and its application for variable weight synthesizing[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 1997(4): 58-74.)