

文章编号: 1006-5911(2001)04-0048-04

可拓学中优度评价方法在变型设计中的应用研究^{*}

李仁旺¹, 彭卫平¹, 顾新建², 祁国宁³, 周 济¹

(1. 华中科技大学机械学院 CAD 中心, 湖北 武汉 430074; 2. 浙江大学机械工程系, 浙江 杭州 310027; 3. 杭州汽轮机股份有限公司, 浙江 杭州 310022)

摘要:大批量定制是一种面向 21 世纪制造业的重要生产模式, 其核心在于通过各种产品的变型设计等方式, 以便有效地解决大批量生产的低成本、短交货期与定制生产的高成本、长生产周期的统一问题。本文论述了可拓学中优度评价方法, 并以变型设计为例, 说明了该评价方法在变型设计决策过程中的应用。

关键词:可拓学; 优度评价方法; 大批量定制; 变型设计

中图分类号:TP14 **文献标识码:**A

0 背景

随着科学技术的不断进步, 产品的供应市场向客户提供了时间、成本、质量和服务等方面更大的选择范围, 人们已不再满足对企业已有的产品进行选择, 而是要求企业设计与生产的产品不断融入客户的个性化需求。定制生产可以满足客户的这种个性化需要, 但由于必须根据客户的特殊需求组织生产, 因而产品开发设计周期长、成本高和质量不稳定。在这种背景下出现了大批量定制(MC)^[1-4]。大批量定制作为一种集企业、客户、供应商、环境等于一体, 充分利用现有人类各个认知领域最新研究成果的一种先进的企业生产与管理模式, 其核心思想是要求企业以类似大批量生产的时间和成本生产出具有个性化(客户化)的产品^[3]。

大批量定制所面临的巨大挑战是:既要展现无限的产品外部多样化, 同时又不能因产品内部多样化而导致额外的成本增加和时间延误。对传统的大批量生产企业来说, 在试图定制产品的时候, 这种额外的成本增加和时间延误几乎是不可避免的。因此, 大批量生产的低成本、短交货期与定制生产的高

成本、长生产周期, 就成为企业管理者的两难问题。

根据设计活动的特点和实际应用情况, 产品设计活动一般可分为三种类型:创造性设计、适应性设计和变型设计。其中, 变型设计是在产品工作原理、基本功能定义不变的情况下, 通过改变现有产品局部结构型式和尺寸来满足不同工作性能的需求。此时, 由于基本组成、结构和功能早在开发初期就已确定, 因此设计的主要任务是:根据具体的设计需求, 将已有的类似产品或模块作为设计模块, 在保持其整体结构和功能不变的前提下, 对其局部结构的配置和尺寸进行一定范围内的变动和调整, 以设计出符合要求的产品或模块。实际上, 这正是大批量定制所需要的。由此可知, 变型设计在大批量定制产品设计中占有非常重要的地位。

如何针对变型设计的特点, 选取适宜的评价方法, 对有效实施变型设计具有重要的意义。由于变型设计中所需要作出的评价决策往往具有多目标、多因素、模糊, 以及受时间影响(如产品或零部件等的价格随时间推移而不断变化)等特点, 因而所使用的评价方法最好能在适应这些特点的同时, 简化整个过程、缩短评价周期和规范各个因素和目标等等。

^{*} 收稿日期: 2000-10-30; 修订日期: 2000-12-25

基金项目: 国家 863/CIMS 主题资助项目(863-511-880-011); 国家自然科学基金资助(50005009); 中国博士后科学基金资助。
作者简介: 李仁旺(1971-), 男(汉族), 湖南人, 华中科技大学 CAD 中心博士后, 主要从事 CIMS、DEM、GT 等研究。

满足这一要求的评价方法是可拓学中的优度评价方法^[3,5,6]。

1 可拓学中的优度评价方法

优度评价方法是评价一个对象(包括事物、策略、方法等)优劣的基本方法。这里,最关键的问题是如何进行“优度”的定义。例如,如果引入“权重”的概念,则可以通过加权的方式来对问题的优度进行量化:设某问题的衡量条件集为 $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\}$, 某一个满足所有条件的解集合 J , 关于衡量条件集 T 中的某一个条件子集 T_i 的规范合格度为 ζ_i , T_i 在所有条件子集中的权重系数为 δ_i , 那么,就可以定义该问题的解集合 J 的优度 $G(J)$ 为:

$$G(J) = \sum_{i=1}^n \zeta_i \times \delta_i \quad (1)$$

根据文献[3, 5, 6]可知,权重系数的优度评价方法的应用范围非常广泛。但是,这里有几个重要的思想值得注意^[6],即:①评价一个对象的优劣,必须反映出利弊的程度及其可能的变化情况;④权重系数的大小对于优度的高低具有异常关键的作用,不同的权重系数会得出不同的结论;④在处理实际问题时,有些条件是非满足不可的,该条件不达到,其它任何条件再好也不能使用;④在评价时,往往要考虑到动态性和潜在的利弊。

2 优度评价方法的应用步骤

通常,根据问题的复杂程度不同,或者优度评价方法使用者的出发点不同,在具体应用优度评价方法时,其具体应用步骤往往各有侧重或者省略。这里,为了说明问题的一般性^[5],列出具有一般性的优度评价方法具体应用步骤如下:

第一步,确定衡量条件。没有比较的标准,就没有优劣可言,为此,要评价一个对象的优劣,首先必须规定评价条件。

第二步,确定权重系数。评价一个对象优劣的各评价条件有轻重之分,而用权重系数来表示各评价条件的重要程度,不仅方便,而且也是目前普遍采用的一种方式。

第三步,首次评价。排除法,是简化复杂问题的一个基本手段。为此,首先要对评价决策早期可能出现的各种情况进行初步排除,即首次评价。首次评价往往是一种非常奏效地简化整个评价决策过程的举措。

第四步,建立关联函数,计算合格度。为了将多个需要优化的目标同时进行优化,无论是采用建立统一优化函数方式,还是对各个目标分别优化后再通过人工干预确定最后方案,其最后方案都必须满足所有约束,也就是说,其中存在一个关联了所有分目标的关联函数。

第五步,规范化。规范化的目的在于将不同领域或具有不同单位的不同因素纳入同一个优化函数或优化过程中,实际上,这与通常所说的无量纲化方法是类似的。

第六步,计算优度。实际上,这里的优度也就是各个方案在通过上述几个步骤处理后,经过定量化得到的各个方案优劣的一个量化值。

3 应用举例

现举一个简单的实例(如图 1),来说明可拓学中的一些相关思想与方法在变型设计中的应用。

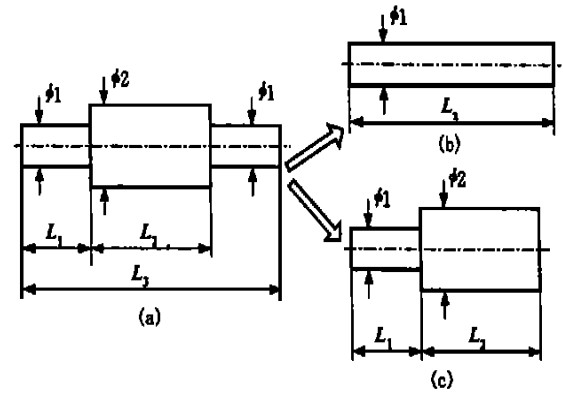


图1 变型设计实例示意图

本实例的出发点是:如果某企业 ϕ 同时收到来自两个不同厂家的两份订单,分别表示为 ξ, ζ , 其中订单 ξ 是定制图 1(b) 中所示零件, 订单 ζ 是定制图 1(c) 中所示零件。目前,由于各种原因(例如,材料过分特殊等),企业 ϕ 只能用自己库存中的零件(如图 1(a) 中所示)作为坯料来加工两份订单中所要求的零件。此外,由于企业所拥有的设备、操作工人有限,也不可能同时安排两个订单的生产。于是,对于图 1 中的两种“变型”情况(b)、(c),并根据各个订单的定价、具体交货时间要求等,应提供哪一种方案作为最佳方案推荐给企业 ϕ 选用?

若物元 R_a 表示图 1(a) 中所示零件,物元 R_b 、 R_c 分别表示图 1(b)、(c) 中零件,则依“一物多征”性质可知,由 R_a 可以得到一个基于 R_a 的结构变型可拓集 T_a , 即

$$T_a = \{ R_b, R_c, \dots \} \quad (2)$$

其中 $R_a = (N_a, c_a, v_a)$, $R_b = (N_b, c_b, v_b)$, $R_c = (N_c, c_c, v_c)$ 。其中, (N_a, c_a, v_a) 分别表示图 1(a) 所示零件、特征及其量值; (N_b, c_b, v_b) 分别表示图 1(b) 所示零件、特征及其量值; (N_c, c_c, v_c) 分别表示图 1(c) 所示零件、特征及其量值。

下面, 利用可拓学中优度评价方法来论述这里的“结构变型”优度评价问题。为方便说明, 这里仅对图 1 中所示的两种变型状况作出评价。

第一步, 确定评价的条件。为简便起见, 仅仅考虑这样一些评价方面: ① 最大实体原则; ④ 加工成本; ④ 订单的紧迫性情况。

第二步, 确定权重系数。对于非满足不可的条件, 用指数 Λ 来表示, 对于其它的评价条件, 则根据重要程度分别赋以 $[0, 1]$ 之间的值。于是, 设 α_1 , α_2 , α_3 分别表示最大实体原则、加工成本与订单的紧迫性情况的权重系数, 记为:

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \quad (3)$$

其中, 若 $\alpha_i = \Lambda$, 则 $\sum_{k=1, k \neq i}^3 \alpha_k = 1$; 由于评价条件“① 最大实体原则”, 是非满足不可的条件, 即: $i = 1$, 从而令 $\alpha_2 = 0.3$, 则 $\alpha_3 = 0.7$ 。实际上, 这里权重系数 α_2 , α_3 的选取是由企业自己决定的, 可由企业内资深的技术人员给出, 也可以采用特尔斐法确定。

第三步, 首次评价。首先, 根据非满足不可的条件进行筛选, 除去不满足该条件的对象。显然, “最大实体条件”是非满足不可的条件, 因而如果图 1(b) 中的直径 $L_x > L_3$, 则可拓集 T_a 中的元素 R_b 必须首先要筛选出去。如果图 1(b) 中的直径 $L_x \leq L_3$, 则 R_b 、 R_c 都是满足非满足不可条件的对象, 于是继续以下步骤, 这里, 为方便说明, 假设 $L_x \leq L_3$ 。

第四步, 建立关联函数, 计算合格度。根据前面论述可知, 评价条件集 M 为

$$M = \{ M_1, M_2, M_3 \} \quad (4)$$

其中, $M_1 = [\text{评价条件 最大实体尺寸 } R_{m1}]$, 而

$$R_{m1} = \begin{bmatrix} \text{最大实体尺寸} & \text{长度} & \leq L_3 \\ & \text{直径 1} & \leq \phi 1 \\ & \text{直径 2} & \leq \phi 2 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = [\text{评价条件 加工成本 } c \text{ 元/件}]$$

$$M_3 = [\text{评价条件 零件紧缺性情况 紧缺/不紧缺}]$$

显然, 为了简便, 在上述各式中都已进行了尽可能的简化。

根据第三步可知, 除去非满足不可的条件^①之后, 剩下的条件 M_2 , M_3 所相应的权重系数分配为 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2) = (0.3, 0.7)$ 。

假设规定紧缺性情况相应特征量值区间为 $[0, 100]$, 而加工图 1(b)、(c) 中所示零件的成本分别为 δ_1 (10 元/件)、 δ_2 (20 元/件), 零件紧缺性评价指标值分别为 β_1 (80)、 β_2 (60)。

为了简便, 我们取图 1(b) 中零件相应量值为基数, 对这些量值(价格、零件紧缺性评价指标值)进行规范化, 并设关于 M_2 , M_3 的关联函数(或称合格度)

$$K_i(M_2) = \frac{\delta_i}{\delta_1} \quad (i = 1, 2), \quad K_j(M_3) = \frac{\beta_j}{\beta_1} \quad (j = 1, 2),$$

于是

$$K_1 = (K_1(M_2), K_1(M_3)) = (1, 1) \quad (5)$$

$$K_2 = (K_2(M_2), K_2(M_3)) = \left(\frac{20}{10}, \frac{60}{80} \right) = (2, 0.75) \quad (6)$$

第五步, 对上述合格度进行规范化。即将各合格度除以相应的最大合格度, 即:

$$k_{ij} = \frac{K_i(M_{j+1})}{\max_{x \in \{1, 2\}} K_x(M_{j+1})} \quad (7)$$

$$K_i(M_j) > 0 \quad (i = 1, 2; j = 1, 2)$$

于是, 设图 1(b)、图 1(c) 的规范合格度分别为 k'_1, k'_2 , 则有

$$k'_1 = (k_{11}, k_{12}) = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{1} \right) = (0.5, 1),$$
$$k'_2 = (k_{21}, k_{22}) = \left(\frac{2}{2}, \frac{0.75}{1} \right) = (1, 0.75)$$

第六步, 计算综合评价指标值(或称之为优度)。

根据以上结果, 可以求得图 1(b)、图 1(c) 两种变型结果的综合评价指标值 $C(R_b)$ 、 $C(R_c)$:

$$C(R_b) = (\alpha_1, \alpha_2) \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{12} \end{bmatrix} = (0.3, 0.7) \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1 \end{bmatrix} = 0.850 \quad (8)$$

$$C(R_c) = (\alpha_1, \alpha_2) \begin{bmatrix} k_{21} \\ k_{22} \end{bmatrix} = (0.3, 0.7) \begin{bmatrix} 1 \\ 0.75 \end{bmatrix} = 0.825 \quad (9)$$

依上述评价可知, 在给出的各种条件之下, 应将

图 1(b) 中相应的方案作为最优方案推荐给企业 选用。

4 结束语

评价方法在变型设计中占有重要地位, 而可拓学中优度评价方法能够满足大批量定制产品的变型设计对评价方法提出的一些要求。例如, 优度评价方法的主要优点有: ①条件的分类与分别处理; ④关联函数值可正、可负等, 优度反映利弊程度; ④根据“非满足不可的条件”, 可在首次评价中就筛选去一些方案, 从而有利于简化后续方案优化、评选过程; ④考虑问题较全面, 在引入时间参数 t 后, 可以从发展的角度去权衡对象的利弊。

参考文献:

[1] PINE B J. Mass customization, the new frontier in business competition[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

[2] ANDERSON D M. Agile product development for mass customization: how to develop and deliver products for mass customization, niche markets JIT, build – to – order and flexible manufacturing [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

[3] 李仁旺. 大批量定制的若干理论与方法问题研究[D]. 杭州: 浙江大学, 1999.

[4] 祁国宁, 顾新建, 李仁旺. 大批量定制及其模型的研究[J]. 计算机集成制造系统 – CIMS, 2000, 6(2): 41 – 45.

[5] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.

[6] 杨春燕. 事元及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998, (2): 80 – 86.

Study on Goodness Evaluation Method in Extenics and Its Application in the Variant Design

LI Ren – wang¹, PENG Wei – ping¹, GU Xin – jian², QI Guo – ning³, ZHOU Ji¹

(1. CAD Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Mechanical Eng. Dept., Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

3. Hangzhou Steam Turbine Works, Hangzhou 310022, China)

Abstract: As a 21st century – oriented production mode, Mass Customization (MC) need to solve a core problem, i. e. the customized product not only satisfies the individual demands of customer, but also is similar to the product of mass production in the aspects of cost and delivery time, through all kinds of effective methods such as variant design etc. This paper elucidates the excellent degree evaluation method in extenics, whose application is illustrated through taking the variant – design in MC as an example.

Key words: extenics; goodness evaluation method; mass customization; variant design

(上接第 47 页)

参考文献:

[1] 胡华, 任午令. 面向对象的分布式智能生产流程管理系统[J]. 计算机工程, 1998, 24(7): 46 – 49.

[2] CHA J Z, GUO W. The methodology and environment for modeling and implementation in concurrent engineering[J]. Proceedings of ASME 19th Design Automation Conference, U. S. A., 1993.

[3] 江景波. 网络技术原理及应用[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.

[4] 宁宣熙, 马自丰. 微机辅助网络计划技术[M]. 南京: 东南大学出版社, 1991.

Project Management System Design Based on Distributed Concurrent Product Development

SHEN Chun – long, ZHANG You – liang, KONG Jian – shou

(Institute of CIMS, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The system architecture of project management based on the characteristic of concurrent product development under distributed environment is presented. By the graphic method, the task – flow network model is built. The function design of each model from prototype system is described. The system can manage and control task – flow correctly in the process of product development and make that product development is consistent with desired goal.