

文章编号: 1001-0920(2007)12-1381-04

基于模块化设计的成本控制研究

韩庆兰

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘要: 以模块化设计为基础, 以变型设计为研究对象, 将成本企划思想与模块化产品规划融为一体, 提出了以基型模块成本为标准成本, 通过变型模块与基型模块的差异估算变型模块成本的思路和方法. 以此为基础, 研究了模块化成本控制的主要内容. 首先将需求转为产品特征, 确定需求产品的结构; 然后针对需求产品的设计成本, 构建了成本估算模型, 分析了影响成本的主要因素及其相互关系; 最后建立了以模块为对象的成本控制模型, 并验证了模型的有效性.

关键词: 模块; 设计成本; 成本控制; 需求产品

中图分类号: F275.3

文献标识码: A

Cost control based on modular design

HAN Qing-lan

(School of Businesses, Central South University, Changsha 410083, China. E-mail: hancsu@163.com)

Abstract: Based on modular design, taking variant design as research object, integrating TC thought and modularized product programming, the cost-estimating thought and method on variant module are proposed, in which basic module cost is taken as standard cost and variant module cost is calculated by the discrepancy between variant module and basic module. According to the thought and method, module cost control is researched. First, the market requirement is translated to product identities and the structure of required products is decided. Then a cost-estimating model is constructed aiming at the design cost of required products, and influencing factors on cost and their mutual relation are analyzed. Finally, a module-objected cost control model is established, and its effectiveness is verified.

Key words: Module; Design cost; Cost control; Required products

1 引言

模块化设计在设计思想上是对传统设计的一种创新. 模块化是一种新的标准化形式, 也是一种现代化设计方法, 现已形成了以计算机为工具、以模块化设计为目标的各学科交叉融合的新型技术领域, 在发达国家的应用实践中, 显示出了巨大的生命力, 取得了显著的经济效益.

实践经验证明, 新结构和新技术的应用不宜超过总体技术和结构的 25%, 否则产品的可靠性难以保证^[1]. 因此, 本文以变型设计为对象, 模块化设计为基础, 研究模块化的规划过程中设计成本的控制问题. 本文所指的设计成本就是借助虚拟制造技术的管理思想, 在产品阶段, 根据产品设计要求的性能、结构等技术经济定额, 产品的生产工艺要求, 以及产品投产后在正常生产条件下生产产品的成本. 它是一种测算成本^[2], 即产品的材料成本和加工

成本.

2 模块化产品的规划过程与成本控制的关系分析

模块规划是进行产品快速组合、敏捷响应市场需求的关键. 基于模块矩阵^[3]的模块系列规划技术揭示了模块化系列产品的本质, 现将成本企划的思想与模块化产品规划相结合, 构成模块化系统的矩阵模型与成本控制的关系如图 1 所示.

对图 1 解析描述如下:

1) 产品矩阵 M_p 中的一行构成 1 个横系列产品集, 一列构成 1 个纵系列产品集, 每行的第 1 个元素为基型产品^[4,5]. 对 M_p 产品按其功能进行模块化分解, 得到一系列功能集合

$$F = \{ F_1, F_2, \dots, F_n \}.$$

F 又可划分为基本功能集合 B_F 和辅助功能集合 A_F , 即

收稿日期: 2006-08-22; 修回日期: 2006-12-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70572059).

作者简介: 韩庆兰(1954—), 女, 石家庄人, 教授, 博士生导师, 从事信息系统及决策技术、现代成本管理的研究.

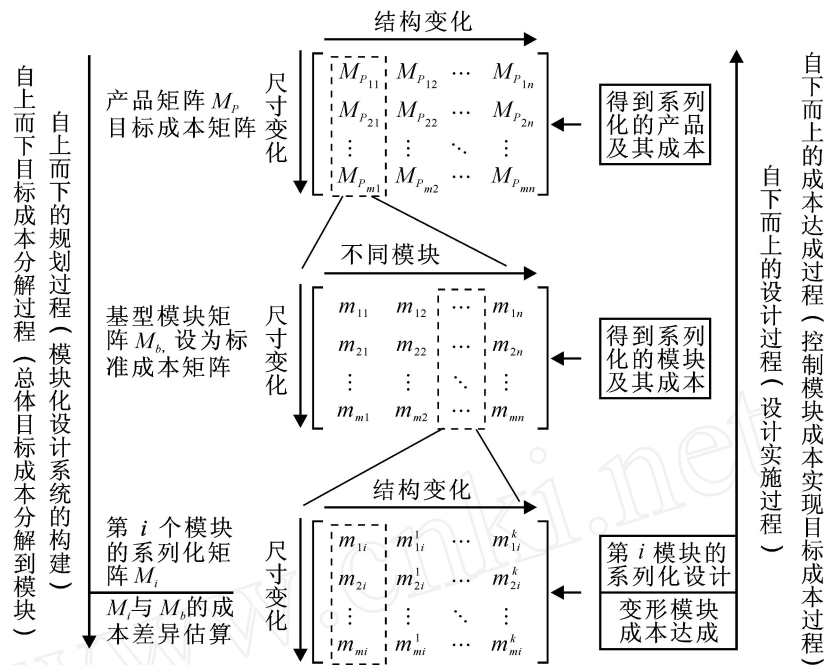


图 1 模块规划模型与成本控制思路

$$F = BF \quad AF = BF_1, BF_2, \dots, BF_n \quad AF_1, AF_2, \dots, AF_n. \quad (1)$$

设基型产品成本为标准成本,因为这类产品是企业长期使用并经多次验证具有准确的成本数据和设计数据.横系列产品的控制成本由具体产品如 $M_{p_{ij}}$ 与 $M_{p_{i1}}$ 比较分析得到.

2) 基型模块矩阵 M_b 的一行,对应某基型产品的所有模块,一列是一种模块的纵系列变型^[6].显然,基型模块矩阵是由产品矩阵中的基型产品分解而成.每一个模块可表示为

$$M = f(F, G(x), H). \quad (2)$$

式中: F 表示模块的功能集合, G 表示模块几何结构参数的集合,这些数据可从对应的 CAD 系统引入; H 表示生产该模块可用的材料集合.

设基型模块为标准成本模块,因为它是由基型产品分解而成的.为实现模块级的成本控制与各参数之间的约束关系,将式(2)表示为

$$M = f(F, G(x), H, C). \quad (3)$$

式中 C 是一个常量,是该模块不可超过的成本值^[7].

3) 第 i 种模块的系列化矩阵 M_i 中的一行构成了横系列模块集,一列构成纵系列模块集.每行中的第 1 个元素定义为基型模块. M_i 是最底层的模块矩阵,它由 M_p 与 M_b 中的信息共同扩展而来.变型模块的成本由变型模块和基型模块的差异估算得到.

3 模块化设计中成本控制的实现

3.1 将市场需求转变为产品特征

经市场调研,需求可归纳为对功能的需求、对

结构的需求、对工艺的需求、对外观的需求等.分类构造具体需求对基型产品的影响,进而筛选出对基型模块的影响,如表 1 所示.其中: R_q 表示市场需求, n 表示市场需求数, M 表示模块, k 表示模块数.由表 1 的结果可得到具体需求产品的型号规格和设计参数,以此作为需求产品的成本估算基础.

表 1 市场需求对产品的影响分析

市场需求	对基型产品的影响
R_{q_1}	M_1, M_3
R_{q_2}	M_1, M_6
...	...
R_{q_n}	M_3, M_k

3.2 需求产品的成本估算

根据需求产品的功能目标,采用产品基本功能及辅助功能集中的不同子集组合构成不同的功能集,可生成不同的需求产品,其功能用 $P_{R_q} F$ 表示,即

$$P_{R_q} F = \prod_{k=1}^{n_i} F_k^i = BF \quad AF^i = \{BF_1, BF_2, \dots, BF_b\} \quad \{AF_{a_1}, AF_{a_2}, \dots, AF_{a_i}\}, \quad AF^i \subset AF. \quad (4)$$

对应功能 $F_s, s \in [1, n]$ 中可选的功能载体集合为

$$M^s = \{M_{n1}, M_{n2}, \dots, M_{ns}\}, \quad M_p^i = \prod_{k=1}^{n_i} M_{k_i}^i, M_k^i. \quad (5)$$

因为模块是功能的载体,需求产品由符合设计条件的模块构成,由此可得出需求产品 P_{R_q} 设计成

本的估算公式为

$$C_{R_q} = \sum_{i=1}^m C_{M_i} = \sum_{i=1}^m C_{M_{ib}} + \sum_{i=1}^m C_{M_{ig}} = \sum_{i=1}^m (M_{l_i} \times L_{p_i}) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k (M_{T_{ij}} \times M_{R_{ij}}), \quad m, k \geq 1. \quad (6)$$

每个模块的成本由模块的材料成本和加工成本构成,为进行详细的成本估算和控制,可将材料成本分解为用料毛重量乘以材料的单价,将加工成本分解为每道工序的加工工时乘以该工序单位工时的加工成本分配率。

每一个模块可用式(3)作为约束.如第*i*个模块是基型模块,则 C_{M_i} 为已知数;如是变型模块,则

$$C_{M_i} = C_{m_{ib}} + C_{m_{il}} + C_{m_{ig}} = C_{m_{ib}} + l_i \times L_{p_i} \pm g_i \times M_{R_i}. \quad (7)$$

其中: $C_{m_{ib}}$ 为 C_{M_i} 的参照基型模块成本, $C_{m_{il}}$ 为材料成本差异, $C_{m_{ig}}$ 为加工成本差异, l_i 表示用料量差异, g_i 表示加工工序的差异. 依此方法估算产品的设计成本,然后与依据市场需求设定的目标成本进行比较,根据结果实施成本控制。

3.3 需求产品的成本控制

3.3.1 影响设计成本的主要因素分析

为有效地实施成本控制,首先对影响成本的主要因素进行分析,以寻求解决问题的途径。

1) 材料对产品成本的影响

采用何种材料是从零部件的设计开始的,由于产品的层次结构关系,各个零部件的材料最终组成产品的材料^[7]. 因此,材料对产品成本的影响是从产品初步结构方案设计开始的,并一直贯穿于零部件的设计直至生产阶段. 由于不同材料在机械性能方面的差异,对零部件的强度、刚度等性能产生很大的影响,从而影响到零部件的结构和大小^[8,9]. 在零部件结构相似及安全系数相同的情况下,适合的材料是一个集合,在材料集中寻找替代材料,是降低材料成本的主要依据。

2) 工艺对产品成本的影响

产品是由材料(或部件)经过加工/装配生产而形成的,即按照设计好的加工装配工艺路线进行生产的过程^[10]. 因此,工艺是自始至终对产品成本产生影响最活跃的因素. 因为产品的主要功能部件决定其总体结构,主要部件详细结构的设计决定产品的具体功能和零部件,直至细化为具体零部件的原材料、形状、尺寸和其他的技术要求,最后对零部件的加工/装配工艺路线进行设计,确定其制造过程. 设计工艺路线时,不仅要考虑加工件的工艺要求,同时也与所采用材料的性能密切相关。

3) 材料成本、加工成本与成本对象

由工程设计可知,一般标准件可用于多种产品,而每个标准件的可选材料并不唯一. 材料的工艺性能不同,从而形成不同的加工工艺. 它们之间的关系可用图 2 表示(成本对象,即模块),其数据关系如下:

$$P \rightarrow P_H, M_H, G(x), L_H, L \rightarrow L_H, V, D \rightarrow D_H, D_H, D_F \rightarrow D_H, S_H, W_s, \text{Step}_1, \dots, \text{Step}_n, \text{Sum } t, \text{Sum } c. \quad (8)$$

其中: L_H 材料牌号表示材料的主属性,其属性值可为 20 Cr, 20 CrMnTi, 40 Cr 等; V 表示同一元组中材料的单价; D_H 表示设计方案编号; S_H 是工序编号; $\text{Step}_1, \dots, \text{Step}_n$ 表示加工步骤; $\text{Sum } t, \text{Sum } c$ 分别表示加工总工时和总成本。

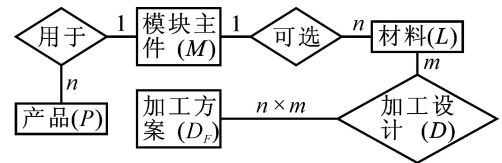


图 2 模块、材料与加工过程

3.3.2 建立以模块为单位的成本控制模型

由图 2 分析可知,每个模块在选料与加工设计时就形成了 $n \times m$ 种备选方案,即将每种方案的参数值代入式(6)中单模块的计算公式

$$C_M = C_{M_L} + C_{M_g} = M_L \times L_p + \sum_{j=1}^k M_{T_j} \times M_{R_j}$$

进行计算,从中选择总成本最低者. 由此可得到如下的模块成本控制模型:

$$\min C_M = \min \begin{bmatrix} C_{M_1} + \sum_{j=1}^k D_{L_{1j}} (M_{T_j} \times M_{R_j}), \dots, \\ \dots, \dots, \\ C_{M_n} + \sum_{j=1}^k D_{L_{nj}} (M_{T_j} \times M_{R_j}), \dots, \\ \dots, \dots, \\ C_{M_1} + \sum_{j=1}^k D_{L_{1m}} (M_{T_j} \times M_{R_j}), \\ \dots, \\ C_{M_n} + \sum_{j=1}^k D_{L_{nm}} (M_{T_j} \times M_{R_j}) \end{bmatrix} \quad 0. \quad (9)$$

式中每一行的材料成本相同,加工成本不同. 因此,首先在每一行选择 1 个加工成本最低的设计方案;然后在 N 个方案中选择综合成本最低者作为最优方案. 根据图 2 所描述数据之间的关系,采用式(8)

给出的关系型数据库的多个二维表之间的关系运算,完成模型求解.

4 模型验证

本模型的产品选自某科研协作单位.该单位有很好的信息化基础,全部产品实现了数据化管理.主要产品为:单联泵有 15 个型号;双联泵有各种不同组合,共 58 个型号;三联泵可根据用户需求组合成各种不同排量.在此只选择了 9 个型号的产品,组成的 M_p 矩阵与 M_b 矩阵如图 3 所示.在 M_p 矩阵中,每一列产品分解的部件相同,只是设计参数的大小不同; M_b 矩阵由单联泵分解得到.

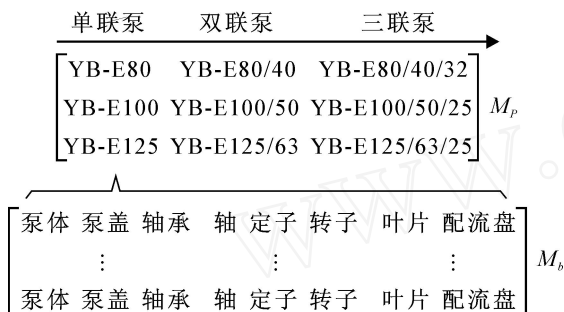


图 3 M_p 矩阵与 M_b 矩阵

4.1 基型产品与变型的模块比较

变型产品是根据用户对排量、流量的需求不同所决定的.双联泵、三联泵都是单联泵的变型产品. YB-E 系列的双联泵均由与其型号相关的单联泵部件和双联泵的专用件组装而成.例如:21 V 双联泵,其部件可分解为 3 类:20 V 单联泵部件、10 V 单联泵部件、21 V 双联泵部件.单联泵部件成本是标准成本,即 C_M 为常数,关键是对 21 V 的专用件即变型模块进行估算控制.

4.2 计算过程

以双联泵某专用件为例,选择了 3 种可用材料,每种材料有 2 和 3 种可选工艺, $N = 3$, $m = 3$, k 分别为 7, 6, 6, 代入式 (9) 进行计算.每个公式所需数据均可从式 (8) 的关系数据表中取得.表 2 为 $K = 7$ 的加工工序,其他数据略.采用不同组合的双联泵作为需求产品,即单联泵的变型产品进行计算.模型的计

表 2 某部件加工工艺路线数据

工序描述	加工时间 / min	加工设备
开料	2	轧机
粗车外径	4	CA 车床
热处理	6	铝制炉
精车内圆	5	PJ-A 车床
磨四平面	7	磨床
盐浴	3	盐浴炉
精磨车槽	8	PJ-A 车床

算结果与实际产品成本相比,误差可控制在 $\pm 5\%$ 以内,得到了满意的结果.

5 结 语

本文针对模块化产品的设计成本控制问题,以基型模块为标准成本,分析了需求产品模块与基型模块的差异,将产品成本的估算转换为模块之间的成本差异估算,充分利用了已有资料,有效地提高了估算速度和精度.在成本控制对象的选择上,以材料作为成本控制的关键,因为一旦选定了某种材料,则会因其工艺性能的不同而导致所要求的加工成本不同,二者具有内在的联系.因此,在进行成本控制时,以控制材料选择为首要目标,在确定材料的基础上,比较其加工成本,从中选优,最终实现成本控制的目标.

参考文献(References)

- [1] Labahn D W, Krapfel Robert. Early supplier involvement in customer new product development: A contingency model of component supplier intentions[J]. J of Business Research, 2000, 47(2): 173-190.
- [2] 毛启武, 史海峰. 新产品设计成本优化[J]. 企业活力, 2005, (2): 50-51.
(Mao Qi-wu, Shi Hai-feng. Design cost optimizing of new product [J]. Enterprise Energy, 2005, (2): 50-51.)
- [3] Martin M V, Ishii K. Design for variety: Standardized and modularized product platform architectures [J]. Research in Engineering Design, 2002, 13(4): 213-235.
- [4] 童时中. 模块化设计原理、方法与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
(Tong Shi-zhong. Modular design theory, method and application[M]. Beijing: Engineer Industry Publishing Company, 2000.)
- [5] 吕利勇, 乔立红, 王田苗. 面向产品生命周期的产品模块化分解方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(4): 546-551.
(Lv Li-yong, Qiao Li-hong, Wang Tian-miao. Research on product modularity method for product life cycle[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(4): 546-551.)
- [6] 吴先超, 吕晓枫, 孙吉贵. 基于广义产品结构的配置和集成研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(6): 868-875.
(Wu Xian-chao, Lv Xiao-feng, Sun Ji-gui. Research on configuration & integration based on generic product structure [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(6): 868-875.)

(下转第 1394 页)

模糊熵大小的 3 个相互作用因素之间的内部关系,给出了直觉模糊熵的几何解释.分析了满足直觉模糊熵的直观约束条件,提出了一种直觉模糊熵的公理化定义(定理 1),揭示了直觉模糊熵最小值计算性质(定理 2).通过算例分析比较,验证了本文方法可有效解决文献[11]中存在的问题,可推导出更加符合人们直觉的逻辑理论,表明该方法是正确、合理、有效的.

参考文献(References)

- [1] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338-353.
- [2] 李凡, 卢安, 蔡立晶. 关于 Vague 集的模糊熵及其构造[J]. 计算机应用与软件, 2002, 19(2): 10-12.
(Li Fan, Lu An, Cai Li-jing. Fuzzy entropy of Vague sets and its construction method [J]. Computer Application and Software, 2002, 19(2): 10-12.)
- [3] 李凡, 卢安, 余智. 一类 Vague 集模糊熵的构造方法[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(9): 1-3.
(Li Fan, Lu An, Yu Zhi. Fuzzy entropy of Vague sets and its construction method[J]. J of Huazhong Science and Technology University, 2001, 29(9): 1-3.)
- [4] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [5] Atanassov K. More on intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 33(1): 37-46.
- [6] Atanassov K. New operations defined over the intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 61(2): 137-142.
- [7] 雷英杰, 王宝树, 苗启广. 直觉模糊关系及其合成运算[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(2): 113-118.
(Lei Ying-jie, Wang Bao-shu, Miao Qi-guang. On the intuitionistic fuzzy relations with compositional operations [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2005, 25(2): 113-118.)
- [8] 雷英杰, 王宝树, 路艳丽. 直觉模糊逻辑的近似推理方法[J]. 控制与决策, 2006, 21(3): 305-310.
(Lei Ying-jie, Wang Bao-shu, Lu Yan-li. Techniques for approximate reasoning based on intuitionistic fuzzy logic [J]. Control and Decision, 2006, 21(3): 305-310.)
- [9] Lei Y J, Wang B S. Study on the control course of ANFIS based aircraft auto-landing [J]. J of Systems Engineering and Electronics, 2005, 16(3): 583-587.
- [10] 李晓萍. 关于三角模的直觉模糊群及其同态像[J]. 模糊系统与数学, 2005, 19(1): 57-62.
(Li Xiao-ping. The intuitionistic fuzzy group with respect to trigonal norms and its homomorphic image [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2005, 19(1): 57-62.)
- [11] Burillo P, Bustince H. Entropy on intuitionistic fuzzy sets and on interval-valued fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 78(3): 305-316.
- [12] Eulalia Szmídt, Janusz Kacprzyk. Entropy for intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 118(3): 467-477.
- [13] Luca A De, Termini S, A definition of a non-probabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory [J]. Information and Control, 1972, 20(5): 301-312.

(上接第 1384 页)

- [7] 韩庆兰, 蔡军. 产品成本设计中目标成本的确定及评价[J]. 山西财经大学学报, 2006, 28(3): 130-133.
(Han Qing-lan, Cai Jun. Determining and assessing the target cost in product cost design [J]. J of Shanxi Finance and Economics University, 2006, 28(3): 130-133.)
- [8] Kreng Victor B, Lee Tseng-pin. Modular product design with grouping genetic algorithm — A case study [J]. Computers and Industrial Engineering, 2004, 46(3): 443-460.
- [9] Jose Alberto, Tollenaere Michel. Modular and platform methods for product family design: Literature analysis [J]. J of Intelligent Manufacturing, 2005, 16(3): 371-390.
- [10] Zha Xuan F, Du H. Manufacturing process and material selection in concurrent collaborative design of MEMS devices [J]. J of Micromechanics and Micro Engineering, 2003, 13(5): 509-522.