

# 考虑企业资源配置的产品模块化规划

侯 亮,王浩伦,贾鸿翅,温志嘉  
(厦门大学 机电工程系,福建 厦门 361005)

**摘 要:**为满足客户多样化需求,研究了供应商等外部资源参与企业产品平台规划的问题。首先分析了客户需求、协同供应商与产品结构复杂度、品种、批量等定制化参数之间的关系,介绍了产品定制类型量化评价指标,阐述了定制化类型与产品平台、模块化之间的内在关系。介绍了跨企业产品协同的产品平台开发过程,鉴于客户需求和供应商等企业外部因素,提出了模块化产品平台规划的方法,以及基于模糊聚类分析和复合阈值进行模块划分和方案评价的方法。最后以平面铣床跨企业产品平台设计为例,验证了上述方法的有效性。

**关键词:**产品平台;产品开发;模块划分;大规模定制;协同开发;供应商参与

**中图分类号:**TP391.72 **文献标识码:**A

## Product modular planning considering enterprise resources configuration

HOU Liang, WANG Haolun, JIA Hongchi, WEN Zhi-jia

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** To satisfy diversified customers' requirements, the problem of suppliers and other outsourcing resources involving in product platform planning was studied. Relationships among customer requirements, collaborative suppliers and product structure complexity, variety & batch were discussed, then the evaluation indices for product customization were presented, and the inherent relationships between the type of customization, product platform and modularization were analyzed. The collaborative product platform development process cross enterprises was introduced. Considering the customer requirements, suppliers and other external factors, a planning methodology of modular product platform was put forward. The method of module partition and scheme evaluation based on fuzzy clustering and compound threshold value were discussed. Finally, an example of product platform planning of modular machine tool was given to indicate the effectiveness of the proposed method.

**Key words:** product platform; product development; module partition; mass customization; collaborative development; supplier involvement

## 0 引言

企业产品开发和生产模式已从大规模生产模式转向以客户为中心、关注客户真实需求的大规模定制(Mass Customization, MC)模式,因此,基于产品

平台(product platform)的新产品开发模式成为企业关注的焦点<sup>[1]</sup>。由于产品平台可以实现产品的衍生和变型,以及技术与知识的衍生和演进,满足了客户多样化需求,达到了缩短产品开发周期、降低成本和提高产品性能的目的<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2008-08-06;修订日期:2008-10-27。Received 06 Aug. 2008; accepted 27 Oct. 2008.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70402013,70772093);福建省科技重大专项资助项目(2008 HZ0002-1);福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划资助项目。**Foundation items:** Project supported by the National Natural Science Foundation, China (No. 70402013, 70772093), the Specialized Science & Technology Foundation of Fujian Province, China (No. 2008 HZ0002-1), and the Program for New Century Excellent Talents in University of Fujian Province, China.

作者简介:侯 亮(1974-),男,河南许昌人,厦门大学机电工程系教授,博士生导师,博士,主要从事现代设计理论与方法、研发管理等的研究。  
E-mail: hliang@xmu.edu.cn.

根据文献[3],产品平台战略可通过模块化和可调节变量产品族实现。其中,围绕模块化产品平台,国内外学者已经开展了大量的研究,如文献[4]提出了面向全生命周期的集成模块化设计方法,通过采用遗传算法和模拟退火算法,求解所建立的优化模型来实现产品的模块化设计方法;文献[5]通过定义零件之间的依附性和相似性来建立评价矩阵,再根据计算结果的优劣程度形成模块;文献[6]提出从建立产品功能结构,然后将功能相关的元素组合成模块的角度进行考察;文献[7]利用各零部件之间的物理关系进行模块划分,并采用启发式交换算法进行聚类分析;文献[8]从产品设计过程的需求建模、功能建模和结构建模等几个方面阐述了面向产品族设计的建模方法;文献[9]从客户需求、功能、几何、物理等相关准则出发,提出了基于模糊聚类的模糊划分方法,以及基于装配、成本和维修等方面的模块划分方案评价模型;文献[10]通过分析大规模定制与模块化产品、模块品种、批量和客户订单分离点的关系,定性地讨论了不同定制化条件下的产品外协资源配置模式及其对模块化平台规划的影响。

上述研究从不同角度和侧重点对模块化产品平台规划过程中的关键问题进行了深入探索,提出了众多有效方法和应用实例。然而,随着供应商等外部资源参与企业产品研发过程的不断深入,在模块化产品平台规划过程中如何将这种影响系统化、定量化,现有研究还处于起步阶段。对此,本文在现有研究基础上,分析企业外部资源对模块划分的影响,并量化定制化类型的各相关因素,进而提出基于客户需求、功能、结构与供应商等因素的模块化产品平台中类聚模块划分及其方案的评价方法,最后给出某企业铣床产品的模块化产品平台规划设计案例。

## 1 影响模块化的企业外部资源因素

### 1.1 影响模块化产品平台的资源因素

如图 1 所示,模块化产品平台的建立不但与企业的市场需求、产品的功能和结构有关联,还与供应商的选择和匹配能力等有关。

首先,客户需求、产品的功能和结构是传统模块化过程中考虑模块聚类划分的基本因素,其中客户需求是新产品研发中模块功能和结构设计的依据和前提;另一方面,准确预测客户需求的差异性和需求规模等,也是企业实施模块化产品设计的重要依据,即基于细分市场的客户需求分析,将决定产品的批

量大小和品种的多少,进而影响后续的定制化设计和生产模式。

如果说产品批量的大小、品种的多少是实施模块化的动力和依据<sup>[10]</sup>,则模块或零部件的品种和批量对模块化平台的设计,以及外协供应商和具体合作模式具有直接意义。如图 1 所示,模块是组成模块化产品平台的基本元素,模块品种的多少和批量的大小是模块化产品平台设计的直接体现,除了功能、结构将对模块大小和品种产生影响之外,供应商的选择及其能力也对产品模块化过程和结果产生影响。如何将战略供应商等外部资源对企业产品平台战略的影响定性、定量地体现出来,是本文考虑的一个重点。

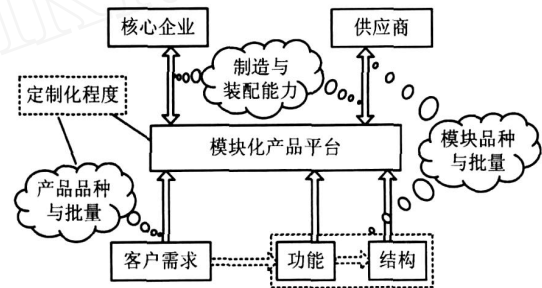


图1 影响模块化产品平台设计的各种因素

供应商等外部资源与模块化产品平台之间是相互影响的关系,这种影响体现在企业模块化平台规划和决策过程中。一方面,在考虑客户、功能、结果的基础上,需要量化战略供应商等所能提供产品或零部件设计方案的能力,作为模块划分的因素;另一方面,在模块化产品平台规划后期的决策和评价阶段,供应商提供模块品种和批量的能力因素将是模块划分方案决策的直接因素之一。

由此可见,模块化产品平台的规划和决策与定制化程度,即产品、模块的品种批量、客户需求、核心企业和供应商的设计制造能力等具有直接关系,给出这些因素的量化指标是模块化产品平台设计的前提。

### 1.2 产品定制化程度的量化判定

在研究文献[10]和文献[11],以及对企业调研的基础上,提出以产品覆盖客户群的大小,产品结构、制造和装配的复杂度,与供应商合作的程度和关系,投放市场的产品品种与批量的比值和定制模块的数量为定制模式的评价指标,而这些指标是通过企业各部门的专家们对每个指标进行评分后得到相应的权重值,再应用层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)确定各指标的权重系数<sup>[12]</sup>,

如表 1 所示。通过各个指标值的综合加权计算可得到总指标值,判断指标值的大小,从而确定该产品是属于什么类型的定制化。

确定了产品的定制化模式,便可知道该产品的市场特征,以及与供应商的合作模式,这对后续的模块划分将产生较大的影响。在模块划分中,将更注重外协资源的作用,增加其权重,而且在最后的模块划分评价中,不同定制化模式、不同的模块数量组合将会对各评价产生影响。

表 1 产品定制化指标

指标名称 $P_i$	权重 $W_i$	指标系数		
客户群 $P_1$	0.15	小	中	大
		0.9	0.5	0.1
结构、制造和装配复杂度 $P_2$	0.15	复杂	普通	简单
		0.9	0.5	0.1
供应商设计合作 $P_3$	0.15	紧密	一般	极少
		0.9	0.5	0.1
品种/批量 $P_4$	0.40	> 0.1	0.000 1 ~ 0.1	< 0.000 1
		0.9	0.2 ~ 0.8	0.1
定制模块的数量 $P_5$	0.15	多	中等	少
		0.9	0.5	0.1
总指标	1.00	深度化定制	中间值	浅度化定制
$S = \sum_{i=1}^5 P_i W_i$		> 0.6	0.3 ~ 0.6	< 0.3

注:  $W_i$  为第  $i$  个指标对应的权重值;  $P_i$  为第  $i$  个指标对应的指标系数值。

## 2 供应商参与的产品平台设计

### 2.1 设计过程

跨企业协作模式下的模块化产品平台开发过程主要包括需求/资源分析和产品平台设计两个步骤。即首先在开发新产品之前,企业应基于自身的核心技术、内外源进行市场定义和市场细分,以及相应供应商资源分析,以利于企业在复杂的市场环境中找到自身产品的定位,同时也方便企业了解单个客户的定制化需求,并制定自己的市场开发战略。企业通过需求/资源综合分析得到公共需求信息,以此作为跨企业产品平台构建的基础。通过分析和定义客户需求、供应商、功能及结构等企业外部因素和相关准则,进而建立相关分析矩阵,进行模块划分及评价,最后确定产品平台。本文重点分析跨企业协同开发产品平台的构建,图 2 给出了供应商参与的产品平台构建过程。

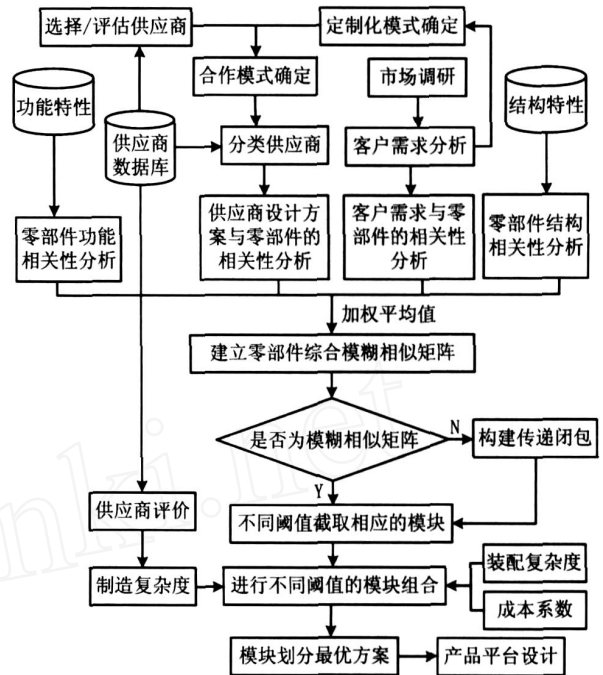


图 2 供应商参与的产品平台构建过程

### 2.2 产品平台设计中的模块划分方法

#### 2.2.1 模块划分中的相关准则定义

相关性分析是模块划分的基本方法,其本质是在不同影响因素(即相关性准则)之间找到一个最佳平衡点,使划分出的模块之间能够最大限度地满足各方面的要求。功能和结构相关性准则是模块划分过程中分析零部件相关性的基本准则,考虑到客户需求和供应商等企业外部资源对 MC 产品开发和生产的影响,提出以下模块化产品平台设计过程中的评价准则。

##### (1) 客户需求准则

客户需求的差异在于客户需求的多样性和多变性。对于用户需求信息的获取,可以采用多种方法。一般认为,基于实例推理 (Case Based Reasoning, CBR) 技术在对同类产品分析的基础上,通过建立用户需求模板或向导,可有效辅助用户充分发掘自己的真正需求信息。在此基础上可运用质量功能展开 (Quality Function Deployment, QFD) 完成顾客需求向功能需求的转换,为了定量描述客户需求对部件的影响程度,可由设计师构造改进质量屋,从而得到客户需求与部件的关系矩阵<sup>[13]</sup>。令  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 表示变化的客户需求,  $k$  表示客户需求权重,  $v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 表示部件矢量,  $R = [r_{ij}]_{m \times n}$  表示客户需求与部件的相关矩阵,其中

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & R_i \text{ 对 } v_j \text{ 无影响} \\ 0.1 \sim 0.3 & R_i \text{ 对 } v_j \text{ 影响较小} \\ 0.4 \sim 0.6 & R_i \text{ 对 } v_j \text{ 影响较大} \\ 0.7 \sim 0.9 & R_i \text{ 对 } v_j \text{ 影响很大} \end{cases}$$

### (2) 供应商准则

在供应商参与下的新产品开发中,产品模块化结构与外协资源存在相互影响的关系。一方面产品模块化模式及特征影响着供应商的选择及合作模式;另一方面供应商自身相关因素制约了产品模块化,如供应商技术能力、地理位置、生产成本等因素。因此,对于产品的某个部件或模块子系统,供应商可能已有适合其自身特点的最佳设计或生产模式。因此,在进行模块划分时,企业应充分考虑供应商对部件相关性的影响。表 2 所示为考虑供应商因素的部件相关性准则。

表 2 供应商影响的部件相关性准则

相关性描述	相关度
两零部件已被供应商整合为一个模块且是成熟产品	1.0
两零部件在供应商设计中大多情况为一个模块	0.7~0.9
两零部件在供应商设计下可为模块也可单独分开	0.4~0.6
两零部件在供应商设计下大多情况单独分开	0.1~0.3

根据协同开发参与程度不同,本文将供应商分成一般供应商和战略供应商两类。两者对模块划分的影响作用是不相同的,所谓一般供应商是指与核心企业是简单供应关系,对企业新产品研发进程影响不大,负责部分零部件的供应;而战略供应商不仅为企业提供大部分的零部件,还参与到产品的设计制造过程中,为企业提供基础性技术支持。进行零部件相关度评价时,只需给出一般供应商和战略供应商所供应零部件的相关度,由于它们对模块划分影响程度的不同,导致它们对零部件相关度的影响也不尽相同,战略供应商占的权重较大,体现了整个产品平台中所起的战略协作作用。应用 AHP 算法对不同类别的供应商进行权重赋值,如表 3 所示。

表 3 供应商权重表

供应商类别	一般供应商	战略供应商
零件供应为两类供应商	0.4	0.6
零件供应无一般供应商	0.0	1.0
零件供应无战略供应商	1.0	0.0

### (3) 功能准则

模块的一个重要特性是功能独立性。在模块划分时,将那些为实现同一功能的零部件聚在一起构成模块,并保持功能独立,不能出现功能耦合的现象,有助于提高模块的功能独立性。零部件的功能根据零部件能否实现同一功能来确定,如果能实现同一功能,则规定其为同一级别。表 4 所示为零部件间的功能相关性评价准则。

表 4 功能因素的部件相关性准则

相关性描述	相关度
两个零部件为实现某一功能而存在,且缺一不可	1.0
一个零部件的存在是为了另一个零部件更好实现某一功能	0.6~0.9
一个零部件的存在会对另一个零部件实现某一功能产生一些影响	0.1~0.5
两个零部件间毫无功能联系	0.0

### (4) 结构准则

模块划分充分考虑结构因素,不仅可以提高模块化程度,还便于模块的库存管理、生产、装配并易于模块的组合与拆分。在模块划分中,要尽量把产品中那些经常被装卸的部分作为模块独立出来,并使这些模块具有尽可能简易的接口,以方便其装配或更换。结构交互主要考虑零件的定位、联接、尺寸大小和装配顺序等。结构准则如表 5 所示。

表 5 结构因素的部件相关性准则

相关性描述	相关度
两零部件间具有难以拆卸的联接关系或严格的形位关系	1.0
两零部件间具有压力、冷缩等配合关系或存在较强的形位相关	0.7~0.9
两零部件的联接关系是铆接或键槽关系或存在一定的形位相关	0.4~0.6
两零部件的联接关系是铆螺纹等易拆卸的关系或存在些许的形位相关	0.1~0.3
两零部件间无联接、无形位关系	0.0

### 2.2.2 相关性分析矩阵

在供应商参与模块划分中,要充分考虑供应商所起的重要作用,虽然它在模块的模糊相似矩阵中只是其中关联度影响因素之一,对于划分整个模块方案的分析师,需要综合功能、结构、客户需求和供应商四个因素的影响,但是在后期对最终方案的选择则要更多地考虑供应商的影响。

从分析产品部件相关度描述准则出发,能直接

得到相应的相关矩阵。而客户需求相关矩阵可由构造改进质量屋(客户需求 - 产品部件关系矩阵), 采用数量积法得部件相关矩阵

$$C = \{c_{ij}\}, \tag{1}$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \prod_{k=1}^m r_{ki} r_{kj} & i \neq j \end{cases} \tag{2}$$

式中:  $c_{ij}$  为部件  $i$  和部件  $j$  在客户需求方面的相关度;  $k$  为客户需求的权重;  $r_{ki}, r_{kj}$  为第  $k$  个客户需求对第  $i, j$  个部件的影响程度。

而对于供应商影响部件相关度, 要依据不同类型的供应商, 结合表 2 和表 3 进行加权平均, 获得矩阵

$$D = \{d_{ij}\}, \tag{3}$$

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \frac{d_1}{M} \sum_{m=1}^M a_{ij}^m + \frac{d_2}{N} \sum_{n=1}^N b_{ij}^n & i \neq j \end{cases} \tag{4}$$

式中:  $d_{ij}$  为部件  $i$  和部件  $j$  在供应商方面的相关度;  $d_1, d_2$  分别为两种供应商的权重(参照供应商权重表);  $a_{ij}^m, b_{ij}^n$  分别为两种供应商给出的  $i$  和  $j$  部件的相关度(参照 2.2.1 节中供应商准则确定);  $M, N$  代表他们各自供应商的数量和。

在对影响模块划分的功能、结构、客户需求和供应商设计方案等因素进行相关性分析后, 需要面向某设计目的的一系列影响因子进行加权平均, 构造算法如下。

$$t_{ij} = \begin{cases} w_1 c_{ij} + w_2 d_{ij} + w_3 f_{ij} + w_4 s_{ij} & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases} \tag{5}$$

式中:  $t_{ij}$  为任意两个零件  $i, j$  之间的综合交互加权平均值;  $c_{ij}, d_{ij}, f_{ij}, s_{ij}$  分别为两个部件  $i, j$  在客户需求、供应商、功能和结构因素影响下的相关度;  $w_k (k = 1, 2, 3, 4)$  为各相关度的权重系数, 本文根据深、中、浅三种定制化类型的不同情况, 采用 AHP 方法确定各个权重系数。

(1) 浅度化定制 由于客户群较大, 批量化较大, 客户定制化需求因素作用较小, 供应商参与设计程度不深, 得到  $w_1 = 0.2, w_2 = 0.2, w_3 = 0.3, w_4 = 0.3$ 。

(2) 中度定制化 客户群、批量化等参数均处于中间状态, 故取  $w_1 = 0.25, w_2 = 0.25, w_3 = 0.25, w_4 = 0.25$ 。

(3) 深度化定制 该模式客户群小, 定制量大, 需求丰富, 客户需求信息对模块化平台设计影响大,

供应商参与设计程度深, 需要提供各种设计方案信息, 分析得到其权重值分别为  $w_1 = 0.3, w_2 = 0.3, w_3 = 0.2, w_4 = 0.2$ 。

由式(3)计算出零件的交互值加权平均后, 就可以对定制的产品形成一个模块评价矩阵, 为模块的有序形成提供了选择尺度。由上式得出的综合交互关系值, 建立模糊相似矩阵

$$T = \{t_{ij}\}. \tag{6}$$

式中:  $0 < t_{ij} < 1, t_{ij} = t_{ji} (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

### 2.2.3 模块划分评价及产品平台确定

在获得零部件综合模糊相似矩阵  $T$  后, 要判断它是否为模糊等价矩阵, 如果是模糊等价矩阵, 则直接设定不同截距进行聚类, 否则求得传递闭包再进行聚类。在得到模糊等价矩阵后, 选取阈值 对矩阵进行分割, 采用判断法则进行动态聚类:

$$\begin{cases} t_{ij} & i, j \text{ 聚为一类} \\ t_{ij} < \tau & i, j \text{ 不属于一类} \end{cases} \tag{7}$$

文献[15]采用单一阈值进行模块划分, 通过对聚类过程和实际情况的分析, 单纯用聚类方法形成聚类树, 还存在单一阈值模块划分很难达到最优, 以及阈值的确定缺少理论依据等方面的不足<sup>[15]</sup>。通过不同阈值选取的不同模块的组合, 丰富了模块方案的组合, 这样基于模糊聚类树的复合阈值模块划分符合模块的划分原则, 使每个模块都有自身的值, 使模块划分更有柔性。本文将在模糊聚类树的基础上, 综合考虑客户需求、供应商、产品的功能和结构四种因素确定复合阈值, 形成 对应的划分方案  $F_i$ , 并得到模块的并集  $YM$ 。

一个模块化系统实现的难易程度(稳定程度)取决于复杂度(信息熵)的大小, 复杂度越小, 对实际生产越有利, 模块划分方案越合理<sup>[9]</sup>。利用熵对供应商等外部资源参与下的模块设计制造的复杂性、模块化产品装配的复杂性及模块化产品成本进行衡量, 得到最优模块划分方案。

(1) 模块设计制造的复杂性可根据式(8)计算:

$$Z(M) = - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [P_i \ln P_i + (1 - P_i) \ln (1 - P_i)]. \tag{8}$$

式中:  $N$  为模块数的总量;  $P_i$  为第  $i$  个模块在设计制造中的制造难度,  $P_i$  值的确定需要考虑供应商对它的影响,

$$P_i = W P + \sum_{j=1}^k W_j P_j. \tag{9}$$

式中:  $W$  为核心企业所占的权重,  $W_j$  为第  $j$  个供应商所占的权重, 可用 AHP 方法确定;  $P$  为核心企业给出的模块制造难度,  $P_j$  为第  $j$  个供应商所给出的模块制造难度。模块制造难度  $P$  和  $P_j$  的取值规则为: 最容易制造为 1, 容易制造为 0.8, 适中为 0.6, 一般为 0.4, 难制造为 0.2, 无法制造为 0。当  $P_i$  为零时, 表示该模块无法制造, 此时应剔除该方案, 无需再进行制造复杂性判断。

(2) 由于阈值  $\alpha$  的不同选取会影响模块数的大小, 阈值  $\alpha$  越大, 模块数就越多, 模块间结合面(接口数)就越多, 装配时间就越长, 装配精度较差的概率增加, 装配难度加大; 反之装配会变得容易。定义模块化产品装配的复杂性为

$$Z(F) = - \sum_{j=1}^{k_a} \frac{a_{j,q}}{n} \ln \frac{a_{j,q}}{a_i} \quad (10)$$

式中:  $k_a$  为与阈值  $\alpha$  所对应的模块数,  $n$  为零部件个数,  $n_{a_j}$  为构成第  $j$  个模块的零部件个数,  $a_i$  为第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 个零部件的结合面(接口)数,  $a_{j,q}$  为第  $j$  个模块中第  $q$  个零部件的结合面(接口)数, 且  $a_{j,p} \in \{a_i\}$ 。

(3) 从产品成本角度考虑, 倾向于将产品细分, 就整体而言, 应该降低模块在成本方面的平均信息熵。定义复杂度为

$$Z(P) = - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^M (C_i \ln C_i + (1 - C_i) \ln (1 - C_i)) \quad (11)$$

式中  $C_i$  为第  $i$  个零部件的相对成本。

(4) 考虑模块划分中模块化系统总的复杂性  $Z$ ,

$$Z = Z(M) + Z(F) + Z(P) \quad (12)$$

模块划分的数目为最优的充分必要条件是  $Z$  最小。分别计算模块划分中, 不同阈值下不同划分方案的模块化系统复杂性  $Z$ ,  $Z$  值最小所确定的模块划分即为最优。

在模块划分选择了部件方案后, 由供应商进行方案设计, 或由供应商和制造企业共同完成方案的设计<sup>[16]</sup>。在供应商参与下的新产品开发中, 供应商对产品的某个部件可能提供有多个竞标设计方案, 通过对方案在安全性、可靠性和装配性等方面的模糊综合评判, 得到表现度的量化值, 并结合数学算子对结果进行量化评价, 即得到设计方案的最优综合表现度, 以此确定对供应商的选择<sup>[17]</sup>。通过共享模块设计可得到跨企业产品平

台, 并将共享模块的实体表现形式分为平台中的通用部分、可调部分和满足客户个性需求的特殊部分。

### 3 实例

现以某企业生产平面铣床为例, 验证上述方法的有效性。这类企业存在的关键问题在于如何有效地基于当前的技术、制造和管理, 充分利用企业内外部资源, 尤其是供应商资源, 及时、准确地满足客户定制化的需求, 并利用面向 MC 的模块化产品规模经济效益来提高企业的市场竞争力。通过建立产品的功能结构树可以得到平面铣床的主要零部件, 表 6 所示为平面铣床的主要零件清单。

表 6 平面铣床的主要零部件及对应供应商

编号	名称	供应商	编号	名称	供应商
1	刀卡	A <sub>1</sub> , B <sub>5</sub>	13	X 轴电机	A <sub>2</sub>
2	切削电机	A <sub>2</sub> , B <sub>5</sub>	14	X 轴滚珠丝杆	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>
3	主轴系统	B <sub>5</sub>	15	床身	自制
4	主轴箱体	自制	16	X 轴导轨	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>
5	Z 轴电机	A <sub>2</sub>	17	工作台	自制
6	Z 轴滚珠丝杆	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>	18	位置检测装置	A <sub>6</sub>
7	立柱	自制	19	数控装置	A <sub>7</sub>
8	Z 轴导轨	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>	20	伺服系统	A <sub>8</sub>
9	Y 轴电机	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>	21	冷却系统	A <sub>9</sub>
10	Y 轴滚珠丝杆	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>	22	润滑系统	A <sub>9</sub>
11	滑座	自制	23	铣削检测装置	A <sub>7</sub>
12	Y 轴导轨	A <sub>3</sub> , B <sub>4</sub>	24	液压系统	A <sub>10</sub>

其中, A 类供应商为一般供应商, B 类供应商为战略供应商。

根据调研对平面铣床现有的品种和批量进行统计分析, 该厂平面铣床的年销售量近 300 台, 而有效品种已达 30 几种, 两者之间的比例大于 0.1, 通过前述的产品定制化定量判断方法, 结合表 1 确定平面铣床的各个指标系数和权重值, 可以得到总指标  $S = 0.81 > 0.6$ 。因此, 平面铣床产品属于深度化定制, 应采用组合模式并需要供应商参与模块族的设计。

#### 3.1 平面铣床类机床模块划分和方案评价

通过对客户需求信息的收集, 根据客户准则可以得到平面铣床的改进质量屋, 并由式(1)和式(2)计算出由客户需求引起的部件相关性矩阵  $C(24 \times 24)$ 。

经过供应商初选后,对供应商进行分类,通过对平面铣床的各零部件供应分析,得到他们的关系如表 6 所示。通过分析表 6,可得到两零件间的相关度由哪些供应商给出(如表 7),每个供应商都需给出与自己供应的零件有关的相关度(如表 8),再根据供应商的类型得到各自权重,便可算出供应商影响下的零件相关度(如果两零件都为自制件,则它们的相关度由核心企业给出)。

表 7 供应零部件的供应商组合

零件	1	2	3	4	5	...
1	A <sub>1</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> ,A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> ,A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	
2		A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	
3			B <sub>5</sub>	B <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> ,B <sub>5</sub>	
4				自制	A <sub>2</sub>	
5					A <sub>2</sub>	
...						...

表 8 供应商 A<sub>1</sub> 给出的相关度(其他供应商省略)

零件	1	2	3	4	5	6	...
1	1.0	0.8	0.7	0.6	0	0	...

以零件 1 和零件 2 为例,说明供应商影响的部件相关度的计算。由表 6 可知,零件 1 和零件 2 的相关度由 A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,B<sub>5</sub> 给出,这三个供应商给出的相关度分别为 0.8,0.7,0.7,由式(3)和式(4)计算出

$$d_{12} = \frac{0.4}{2}(0.8 + 0.7) + \frac{0.6}{1} \times 0.7 = 0.72。$$

其他零件间的相关度根据以上方法获得,最终得到供应商引起的部件相关性矩阵 D(24 × 24),

$$D = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.72 & 0.67 & 0.74 & 0 & \dots & 0.11 & 0 & 0 & 0 \\ 0.72 & 1.00 & 0.67 & 0.68 & 0 & \dots & 0.32 & 0 & 0.23 & 0 \\ 0.67 & 0.67 & 1.00 & 0.65 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0.33 & 0.53 \\ 0.74 & 0.68 & 0.65 & 1.00 & 0.66 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.66 & 1.00 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0.11 & 0.32 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1.00 & 0.20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0.20 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0.23 & 0.33 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0.53 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1.00 \end{bmatrix}。$$

根据客户需求与零部件之间的功能、结构以及供应商设计方案相关准则的分析,可依次建立相应的模糊相似矩阵。根据上文提到的平面铣床产品属于深度化定制类型,各相关度权重为  $w_1 = 0.3, w_2 = 0.3, w_3 = 0.2, w_4 = 0.2$ 。由式(3)和式(4)得到零件模糊相似矩阵 T(24 × 24),

$$T = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.81 & 0.81 & 0.64 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.81 & 1.00 & 0.81 & 0.63 & 0 & \dots & 0.28 & 0 & 0.33 & 0 \\ 0.81 & 0.81 & 1.00 & 0.65 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0.35 & 0.50 \\ 0.64 & 0.63 & 0.65 & 1.00 & 0.76 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.76 & 1.00 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0.28 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1.00 & 0.22 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0.22 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33 & 0.35 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1.00 \end{bmatrix}。$$

运用相关模糊聚类分析方法,采取不同的阈值对模糊等价矩阵进行截取。图 3 所示为多阈值划分模糊聚类树,只画出部件 1~18,由于部件 19~24 单独性较强,在树中形式结构与 18 一样,故未画出。依据前述方法,求所有  $Y_i$  方案中模块的并集  $Y_M$ 。

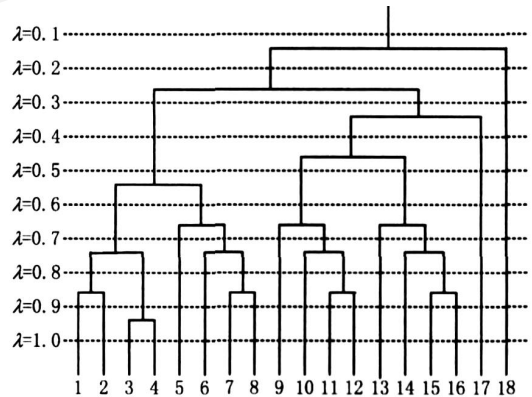


图 3 多阈值划分模糊聚类树

$Y_M = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, (3, 4), (1, 2), (7, 8), (11, 12), (15, 16), (1 \sim 4), (6 \sim 8), (10 \sim 12), (14 \sim 16), (5 \sim 8), (9 \sim 12), (13 \sim 16), (1 \sim 8), (9 \sim 16), (9 \sim 17), (1 \sim 17), (1 \sim 18)\}$ 。选取不同的模块进行组合,获得若干个模块组合方案。根据式(5)~式(9)得到表 9 所示结果。从表 9 可以看出,选取方案 c 时系统的复杂度最低,即可得到最优的模块划分方案。但这并非最终方案,此时还要考虑各个战略供应商提供模块品种和批量的能力因素,它们是模块划分方案决策的直接因素之一,只有划分出来的模块能够得到供应商的认可,且供应商具备提供这些模块品种的能力,才能确定最终的方案。在应用所述方法中,获得模块的最优方案是由 12 个模块系统组成的,经与各协作战略供应商进行沟通交流后,得到此方案能够很好地响应供应商各方面的要求,因此该方案就是最终的模块划分方案。图 4 所示为平面铣床类机

床的最终模块划分方案。以 17(工作台)为核心模块构建产品,各个模块之间依靠图示零件联接。其中,模块 A 为主轴箱(1,2,3,4),模块 B 为立柱(5,6,7,8),模块 C 为滑座(9,10,11,12),模块 D 为床身(13,14,15,16),模块 E 为工作台(17),模块 F 为数控装置(19),模块 G 为位置检测装置(18),模块 H 为铣削检测装置(23),模块 I 为伺服系统(20),模块 J 为冷却系统(21),模块 K 为润滑系统(22),模块 L 为液压系统(24)。

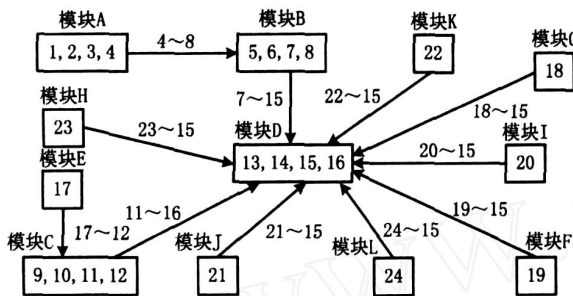


图4 平面铣床类机床的最终模块划分方案

表 9 不同阈值 下的模块划分方案

方案	阈值组合	模块数量 $m$	模块中含有零部件数量 $n(i)$	制造复杂度 $Z(M)$	装配复杂度 $Z(F)$	成本系数 $Z(P)$	综合复杂度 $Z$
a	10	1	1(24)	0.96	0	0.81	1.77
b	6 和 7	10	2(8), 8(1)	0.66	0.53	0.64	1.83
c	4 和 5	12	4(4), 8(1)	0.44	0.71	0.58	1.73
d	3 和 4	16	3(3), 2(2), 11(1)	0.38	1.01	0.63	2.02
e	1	24	24(1)	0.16	2.01	0.25	2.41

### 3.2 确定产品平台

共享模块可以作为平台中的通用部分。机床需要调节的主要是主轴系统、切削系统、进给系统等。通过跨企业产品平台的构建,设计者只需要根据具体要求来修改产品平台中的可调节部分,并添加其他个性部件,即可得到不同的产品。平面铣床产品平台如表 10 所示。

表 10 平面铣床产品平台

产品	通用部分					可调节部分					
	支撑模块	伺服装置	冷却系统	润滑系统	检测装置	主轴箱	进给系统	X 轴系统	Y 轴系统	数控装置	加工空间
平面系列铣床	床身	伺服驱动电路			铣削检测装置	刀卡	滚珠丝杠	滚珠丝杠	滚珠丝杠	操作面板	工作台
		伺服驱动装置			位置检测装置	主轴电机	立柱	床身	滑座	运算控制器	
						主轴箱体	导轨	导轨	导轨	输出装置	

## 4 结束语

在跨企业协同开发模式下,本文分析了客户需求、协同供应商与产品结构复杂度,以及品种批量等定制化参数之间的关系,给出了产品定制类型量化评价指标,提出了跨企业产品协同的产品平台开发过程和具体的规划算法,并给出了机床产品的跨企业协同开发模块化产品平台的规划案例。

供应商等资源规划与模块划分之间的并行、相互影响的关系,使得模块化产品平台规划过程变得复杂。进一步研究不同类型产品的资源规划及其对模块划分的准则和量化指标、评价和优化方法,并将所开发的模块化产品平台规划子系统与供应商评价和选择子系统集成,将是下一步研究的重点。

### 参考文献:

[1] MEYER M H, UTTERBACK J M. The product family and the dynamics of core capability[J]. MIT Sloan Management

Review,1993,34(3):29-48.  
 [2] DE WECK O L, EUN SUK SUH. Platform architecture:a two-level optimization approach[C]// Proceedings of 2003 ASME Design Engineering Technical Conferences. New York, N. Y.,USA: ASME,2003:2-6.  
 [3] SIMPSON T. Product platform design and optimization: status and promise [C]// Proceedings of 2003 ASME International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference. New York, N. Y., USA: ASME Press,2003.  
 [4] GU P, HASHEMIAN M, SOSALE S. An integrated modular design methodology for life-cycle engineering[J]. CIRP Annals,1997,46(1):71-74.  
 [5] GERSHENSON J K, PRASAD GJ, ALLAMENT S. Modular product design:a life-cycle view[J]. Journal of Integrated Design and Process Science,1999,3(4):1-9.  
 [6] URICH K, TUNG K. Fundamentals of product modularity [C]// Proceedings of ASME Writer Annual Meeting. New York, N. Y.,USA:ASME Press,1991,39:73-80  
 [7] EPPINGER S D, WHITNEY D E, SMITH R P, et al. Organizing the task in design projects[C]// Proceedings of ASME



- the 2nd International Conference on Design Theory and Methodology. New York, N. Y., USA: ASME, 1990: 39-45.
- [8] ZHU Bin, JIANG Pingyu. Methodology of design for product family[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(3): 1-8 (in Chinese). [朱斌, 江平宇. 面向产品族的设计方法学[J]. 机械工程学报, 2006, 42(3): 1-8.]
- [9] PAN Shuangxia, GAO Fei, FENG Pei'en. Module partition method research under the circumstances about mass customization[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(7): 1-6 (in Chinese). [潘双夏, 高飞, 冯培恩. 批量客户化生产模式下的模块化方法研究[J]. 机械工程学报, 2003, 39(7): 1-6.]
- [10] HOU Liang, HAN Donghui, LIN Zusheng. Sourcing configuration for product mass customization[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(5): 131-136 (in Chinese). [侯亮, 韩东辉, 林祖胜. 大规模定制模式下的产品外部资源配置研究[J]. 机械工程学报, 2006, 42(5): 131-136.]
- [11] HOU Liang, HAN Donghui, WEN Zhijia. Supplier planning and selection for new product collaborative development[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(5): 50-56 (in Chinese). [侯亮, 韩东辉, 文志嘉. 面向新产品协同开发的供应商规划与选择[J]. 机械工程学报, 2007, 43(5): 50-56.]
- [12] TSAI Y T, WANG K S. The development of modular-based design in considering technology complexity[J]. European Journal of Operation Research, 1999, 119(3): 627-703.
- [13] GAO Fei, XIAO Gang, PAN Shuangxia, et al. Method of product function module partition[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(5): 29-35 (in Chinese). [高飞, 肖刚, 潘双夏, 等. 产品功能模块划分方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(5): 29-35.]
- [14] WANG Haijun, SUN Baoyuan, WEI Xiaopeng. Process analysis of product modularization's generation based on fuzzy cluster[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(5): 123-126 (in Chinese). [王海军, 孙宝元, 魏小鹏. 基于模糊聚类的产品模块化形成过程分析[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(5): 123-126.]
- [15] GONG Zhibing. Research and implementation of key technologies for rapid design based on product platform[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2006 (in Chinese). [贡致兵. 基于产品平台的快速设计关键技术研究及实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.]
- [16] TANG Jiafu, ZHANG Yan'e, CHEN Yizeng. Model of parts design scheme selection for supplier involved new product development[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(5): 619-623 (in Chinese). [唐加福, 张艳娥, 陈以增. 供应商参与下的产品部件设计方案选择模型[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(5): 619-623.]
- [17] CHEN Yizeng, TANG Jiafu, REN Zhaohui, et al. A design scheme selection program model based on house of quality[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(2): 127-131 (in Chinese). [陈以增, 唐加福, 任朝辉, 等. 基于质量屋的设计方案选择模型[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(2): 127-131.]

### (上接第 1742 页)

- [5] HUANG Xiaoyuan, LU Zhen. Application of two-stage supply chain model in server and distribution system[J]. Systems Engineering—Theory Methodology Applications, 2003, 12(3): 228-231 (in Chinese). [黄小原, 卢震. 二级供应链模型及其在服务销售问题中的应用[J]. 系统工程理论方法应用, 2003, 12(3): 228-231.]
- [6] ZHANG Qing. Model optimizing production structure of coal enterprise and its application[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(3): 331-334 (in Chinese). [张青. 煤炭企业产品结构优化模型及其应用[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(3): 331-334.]
- [7] PENG Chen, YUE Dong. The research of opening functional structure of coal supply chain[J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(3): 326-331 (in Chinese). [彭晨, 岳东. 基于开放式功能体系的煤炭供应链结构研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28(3): 326-331.]
- [8] PENG Chen, YUE Dong. Study of object oriented structural description of flow supply chain[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology, 2004, 4(2): 49-52 (in Chinese). [彭晨, 岳东. 煤炭供应链的工作流描述方法[J]. 南京师范大学学报: 工程技术, 2004, 4(2): 49-52.]
- [9] CHEN Jiansheng, WANG Lijie. Logistics and supply chain union of the coal enterprises[J]. Management World, 2004(11): 148-149 (in Chinese). [陈建生, 王立杰. 论煤炭企业物流供应链联盟[J]. 管理世界, 2004(11): 148-149.]
- [10] MAHERT V A, VENKALARAMANAN M A. Special research focus on supply chain linkages: challenges for design and management in the 21st century[J]. Decision Science, 1998, 29(3): 537-552.
- [11] SABRI E H, BEAMON B M. A multiobjective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design[J]. International Journal of Management Science, 2000, 28(6): 581-598.