

文章编号:1000-582X(2005)07-0009-03

# 基于变形设计理论的产品模块化设计<sup>\*</sup>

刘达斌,任亨斌

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

**摘要:**快速变形设计可以快速开发产品、降低设计成本、快速响应市场,是一种适应于大规模客户定制化生产模式的现代设计方法。作者通过对变形产品成本影响较大、通用性高的平台零部件进行标准化、模块化设计,而对平台其他零部件的变形是对产品进行派生变形设计的重要方法。作者对模块化设计的意义及其与一体化设计的区别与联系,模块化设计的内涵及模块化设计的方法、步骤进行了分析研究,提出通过模块化的设计可以快速变形,实现产品多样性要求,节省设计成本,达到规模经济的低成本。

**关键词:**变形设计;模块化设计

**中图分类号:**TH122

**文献标识码:**A

Meyer 和 Alvin<sup>[1]</sup>指出在实际的设计工作中,大约有70%属于变形设计。变形设计是在原有平台产品的基础上,按市场需求进行结构重组,它的实现过程可以最大限度地重用企业已有的成熟产品资源,具有很强的灵活性和适应性,不但可以快速开发产品、响应市场而且还可以极大地降低产品设计阶段的成本,是一种适应于大规模客户定制化生产模式的现代设计方法<sup>[2]</sup>。变形设计有效地解决了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<sup>[3]</sup>。

快速变形设计某种程度上就是通过对产品成本影响较大、使用频率高的零部件进行标准化、模块化,通过对其它零部件的变形来满足定制。模块化是标准化原理的具体应用<sup>[4]</sup>。模块化设计通常是指把性能不同而具有一定功能或用途的同类部件的联系尺寸(结合要素)标准化,而部件具有很强的互换性。通过模块的选择和组合可以构成不同的产品<sup>[5]</sup>,采用较少的不同模块生产出不同种类的产品以满足不同用户的要求。

零部件的模块化设计体现了大规模定制企业充分利用规模经济的效应,促进设计重用,节省设计成本,在变形设计占有重要的地位。

## 1 模块化设计和一体化设计的区别

“块”是指由若干个零件组成的一个部件。模块化

设计的特性是:一个“块”可单独实现一个功能;“块”与“块”之间有明确的划分界面,各自独立。模块化设计允许不改动其体系结构中其它“块”,而只对体系结构中某个模块加以更改而改进产品的功能。和模块化设计相对,一体化设计的特性是:产品的功能元素由多个“块”来实现;或者单个“块”实现多个功能元素;没有明确划分“块”,“块”与“块”之间的界限可能很难鉴别或者根本不存在。一体化设计的结构可以保证产品设计整体性能的最优化,但同时,任何为了改进产品性能的局部修改都可能导致整个产品的重新设计。一体化设计的结构不会出现模块化设计结构常见的功能冗余,相对消耗较少的原料,可以减少产品制造成本;此外一体化设计结构的产品也比较难以仿制。

图1所示的两种仪表板产品(A和B)由外表面和内部支架构成。在图1(a)表示的模块化设计的结构体系下的产品A和产品B是两种款式的仪表板,均是由两个“块”组成,但它们可以共享其中的“块”——内部支架,只需更换另一个“块”——外表面,就可以得到两种款式的仪表板,顾客可见的两种外表面有较大差异;相反,图1(b)中具有一体化设计的结构体系下的产品A和产品B也是两种款式的仪表板,但它们为了改变产品的外形,必须重新设计整个产品。

\* 收稿日期:2004-11-20

基金项目:国家自然科学基金项目(5075087)

作者简介:刘达斌(1969-),女,广州人,博士,重庆大学讲师,主要从事机械设计理论研究。

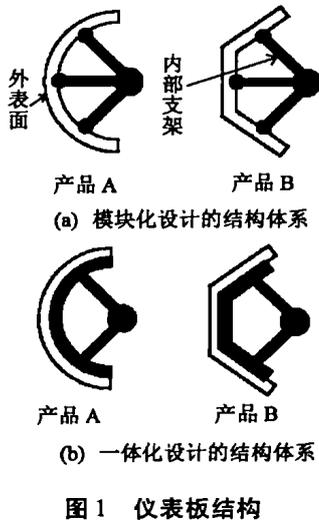


图1 仪表盘结构

从系统的观点出发,可将系统的功能分为总功能和分功能.每个系统都有其总功能,一个系统的总功能确定后,通常很难立即找到相应的实体解答,可以将相对比较难以寻求实体解答的总功能分解,如图3所示.进行功能分解的目的就是将总功能分解为较为简单的分功能或功能单元,以能找出相应的解答来.

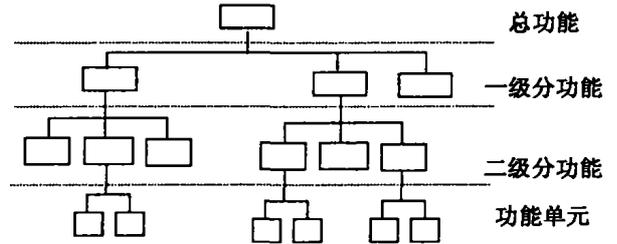


图3 功能分解

## 2 模块化设计的方法

使用模块化设计方法可使变形设计研发费用降低,同时增加了产品的种类,较好地成熟市场上得以生存和发展.此外,进行模块化设计可以加快开发进程,设计易进行和管理.然而,产品的性能并不一定因使用模块化方法被优化,在一个产品中使用太多的模块将影响设计过程的管理;影响产品的可变性以及外购的可行性;降低产品性能以至于不能满足用户的要求.因此在使用模块化时必须兼顾考虑经济和技术两方面的要求.论文提出的模块化设计方法划分是首先着眼于产品系统的功能分解,将总功能分解为较为简单的分功能或功能单元,而后通过客户域,功能域,物理域和过程域这4个步骤完成从产品功能到模块化设计的结构体系中“块”的转换.

### 2.1 功能分解

功能分解的步骤如图2.

分解中对功能的要求是第一位的,用户购买产品时要求的不是产品的本身,而是产品所具有的满足某种需要的功能.功能是对技术系统或产品能完成的任务的抽象描述,是反映产品所具有的特定用途与各种特性.

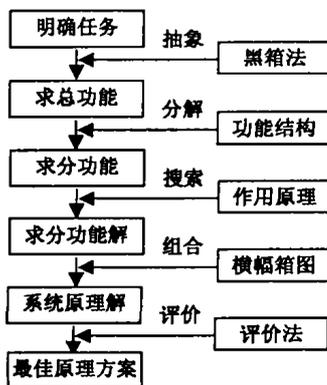


图2 功能分解的步骤

### 2.2 从功能域到结构域的转换

产品开发过程可以被看成是完全不同的区域(如客户域,功能域,物理域和过程域)间的映射.在开发一个新产品时,可以在具有相关性的不同的域中描述一个产品(如图4).在图中,对于两个邻近的域,左边一个表示“需要什么”右边表示“怎样实现”.功能域、物理域不同域中映射的方法可以被视为检验一个模块化设计是否优良的标准,假设两个同一层次的功能域和物理域之间的映射可用下式表示:

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ \dots \\ FR_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{11} & \dots & A_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & \dots & A_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} PP_1 \\ \dots \\ PP_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

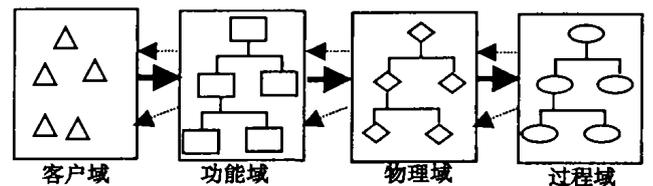


图4 不同域的关系映射

矢量  $FR$  表示功能的需求,矢量  $PP$  表示物理特性,矩阵  $A$ (具有 0, 或非 0 元素)表示两个域间的映射.如果  $A$  是一个对角阵,表示功能特征和物理特性是一一对应.每一个功能通过唯一的一个物理特性“块”来满足(无耦合设计).对角线以外的非零的元素增加将产生耦合设计,耦合设计越多,设计的柔性越差.这意味着产品的结构(从不同的观点考察)对产品的设计速度和产品的生产有重大的影响.可以说加快产品的设计速度取决于是否能把一个产品的结构分解为高度独立的具有唯一功能的部件.

只要功能域和物理域为一一对应(矩阵  $A$  为对角阵),在相互作用的“块”物理特性无功能耦合,那么一个机械产品的结构被定义为一个模块化设计的体系结

构,这意味着一个“块”的改变不会影响另一个“块”的功能.

### 3 结 论

相对一体化结构而言,模块化结构的平台更灵活.通过着眼于产品系统的功能分解,而后通过客户域,功能域,物理域和过程域这4个步骤完成从产品功能到模块化设计的结构体系中“块”的转换,可以成功地实现一个模块化设计的体系结构,通过不同“块”的组合,或通过对模块化设计的体系结构中其它“块”的变形来实现产品多样性要求<sup>[6]</sup>,因此,模块化设计是变形设计的重要方法,充分利用了规模经济和范围经济的效应,极大地降低产品设计阶段的成本,可以快速开发产品、响应市场.

#### 参考文献:

[1] MEYER H, ALVIN P. The Power of Product Platforms: Build-

ing Value and Cost Leadership [M]. New York: The Free Press, 1997.

[2] ANDERSON D. 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] PINE B J, MASS CUSTOMIZATION. The New Frontier in Business Competition [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

[4] 童时中. 模块化原理设计方法及应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[5] ROBERTSON D, ULRICH K. Planning for Product Platforms [J]. Sloan Management Review, 1998, 39 (4): 19-31.

[6] 阴向阳. 面向大批量定制的配置设计研究[D]. [博士学位论文], 清华大学, 2000.

## Modular Design Base on Variety Theory

LIU Da-bin, REN Heng-bin

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Variety Design not only support to short down development time, and cut down development cost, but also support to response marketing rapid, is a kind of modern design theory which apply on Mass Customization. In some way, Variety Design is a kind of design that integrates standard design and modular design, and Variety Design object is high cost and universal parts that among platform. The authors discuss the modular design role and the different between integral design, promote the method and the step of modular design, so change the low cost parts design, and give an new product based on the platform. Based on this model, they not only save the cost of develop new product, but also save time, achieve advantage which Mass produce process.

**Key words:** variety design; modular design

(编辑 成孝义)