

# 基于设计模板的快速变型设计方法<sup>\*</sup>

陆长明<sup>1,2</sup> 张立彬<sup>1</sup> 蒋建东<sup>1</sup> 胥芳<sup>1</sup> 张宪<sup>1</sup>

(1. 浙江工业大学机械制造及自动化教育部重点实验室, 杭州 310014;

2. 浙江机电职业技术学院机械工程系, 杭州 310053)

**【摘要】** 传统的变型设计方法存在变型过程复杂, 容易产生约束冲突的问题。针对零部件之间依赖关系复杂, 设计过程需要通过交互和人工干预的形式才能完成配置与变型的问题, 提出了在模板框架下的快速变型设计方法。利用模板的灵活性和信息载体功能, 提出了可变型单元的概念, 通过可变型单元之间建立相互关联实现对象之间的参数联动, 在模板定义域范围内实现产品零部件的快速变型。以变速箱为实例, 通过产品的结构变型实现产品的系列化, 在同系列产品中通过几何参数的变更实现产品的多样化。

**关键词:** 产品族 设计模板 快速变型设计 可变型单元

**中图分类号:** TP391.72

**文献标识码:** A

## Rapid Variant Design Approach Based on Design Template

Lu Changming<sup>1,2</sup> Zhang Libin<sup>1</sup> Jiang Jiandong<sup>1</sup> Xu Fang<sup>1</sup> Zhang Xian<sup>1</sup>

(1. *The MOE Key Lab of Mechanical Manufacture & Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China* 2. *Department of Mechanical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical &*

*Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China*)

### Abstract

Problems such as complex variant process and the easiness of generating conflict of constraints existed in traditional variant design methodology. Aiming at the problem of the complexity of dependent relations among parts as well as configuration and variation in design process must be alternated and intervened by designer, a rapid variant design approach under design template frame was proposed. Taking advantage of flexibility and information carrier function of templates, concept of variable element was put forward. Rapid variation of artifacts was realized within definition domain of template through creation of interrelation among variable elements to relate parameters with each other. An example of gearbox of small agricultural machinery was used to verify that serialization through structural variation and diversification of product through changing the geometric parameters in same series.

**Key words** Product family, Design template, Rapid variant design, Variable element

### 引言

针对产品个性化需求的不断增长和产品生命周期日益缩短的现状, 企业为适应市场的竞争, 势必从产品的多样化和缩短产品开发周期上下功夫。产品多样化是满足客户个性化需求的一个途径, 但由于

需求的不确定性, 再多的品种也难满足每一个顾客的需求。变型设计是在已有产品的基础上, 通过改变部分零部件的配置结构或某些参数, 最终形成相似零部件或产品的一种设计方法, 可利用有限的资源去满足客户多样化的需求。

文献[1]提出了面向三维设计的产品顶层基本

收稿日期: 2008-08-12 修回日期: 2008-10-07

<sup>\*</sup> “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A10-02)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20040337002)、国际科技合作重点项目(2005DFA70380)和浙江省重中之重学科开放基金资助项目(JDKF001)

作者简介: 陆长明, 博士生, 浙江机电职业技术学院副教授, 主要从事机械设计理论、CAD/CAM 等研究, E-mail: luchangming@hz.cn

骨架模型,用以支持三维设计环境下设计信息的动态传递,其主要特点是注重在最初的产品总体布局中捕获和抽取各子装配体和零件间基本特征及其相互关联和依赖性,在模型的基础上进行复制、修改、细化和完善,通过变更信息实现产品的变型设计。文献[2]提出了功能元件的概念,用功能元件来表示可能的变型产品,产品设计时通过公共参数和规则确定具体的产品结构;文献[3]根据产品的变型要求确定零部件的变型参数,分析零部件与产品及变型参数之间的关联关系,组成参数传递链,利用产品模型将客户定制参数配置出变型产品;文献[4]采用事物特性表对产品和零部件族的信息进行描述并实现产品的变型设计。

以上研究成果在现有的产品实例基础上通过不同途径实现了产品零部件的变型方法,然而对于整个产品族来说,零部件之间存在着复杂的关联关系,局部零件的变型会影响到产品的装配、制造、功能和整体性能,通过自底向上的变型设计会导致设计复杂化,因此需要研究一种变型部件与其他零部件之间影响最小的快速高效的变型设计方法。设计模板具有可重用性、柔性和参数化的特点,能较好地描述系统设计目标。因此,本文在前人研究的基础上,提出在模板框架内实现产品快速变型的设计方法。

## 1 产品族模板结构

面向顾客的变型设计是针对顾客需求,在产品模型的基础上,利用现有设计资源,对产品的相关结构、参数进行变异设计,配置出满足客户需求的相似产品。产品族设计中的一个关键问题是产品的信息表达,在规范化的信息模型基础上,通过零部件的局部变异来满足顾客需求。基于模板的产品信息模型<sup>[5]</sup>有效地利用了模板的信息载体功能,特别是在方案设计阶段,系列产品以设计模板的形式来表示可变型对象的参数及其约束关系,使产品族的主要设计信息统一规范。

产品设计模板具有以下几个特性:①规范性:产品的表示方法、设计模式都必须具有一定的规范约束。②灵活性:模板除了能提供常用的设计规律外,还要能将新技术应用到产品开发中,具有灵活性和变异性。③抽象性:模板是具有相似特性事物的抽象描述,不涉及具体的对象。④模板对象参数有其定义域范围,参数之间存在约束<sup>[6]</sup>。

基于模板的产品族设计方法中,每个系列产品由3种配置单元组成:

(1) 固定配置单元(fixed element, 简称 FE):产品族中所有产品都具有的相同部件或零件,在不同系列产品中其参数保持不变。

(2) 可变型单元(variable element, 简称 VE):产品族中具有相同功能的不同部件所抽象形成的一类柔性部件,具有特定的机械功能并且包含有知识信息的可变型零件或部件。可变型单元具有自适应能力,即当产品结构发生变化时,为适应与其他对象的约束关系,系统在模板定义域范围内自动形成相应参数的功能。

(3) 标准单元(standard element, 简称 SE):由标准件库提供的用于装配的可选零部件。

图1为产品族模板组成结构,其中  $FE_i \subseteq FE$ ,  $VE_j \subseteq VE$ ,  $SE_k \subseteq SE$ , 分别表示对应单元的子集,系列产品由3种单元子集通过不同组合而成,但必定包含有可变型单元。模板作为不同单元之间存在相互关联的信息载体,通过单元的组合可得到不同的产品系列。此外,在同一系列产品中改变可变型单元的几何参数,得到具体的产品变型实体。

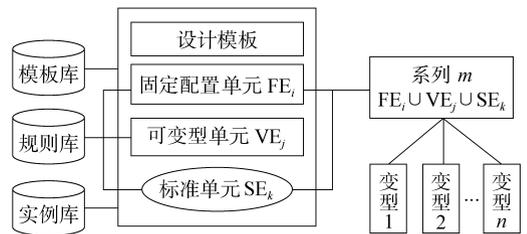


图1 产品族模板组成结构框图

Fig.1 Template structure of product family

## 2 模板框架内的产品变型原理

大多数的变型设计是根据顾客的功能需求,通过基于实例推理获取最相近的实例,在此基础上改变主要的功能部件以满足客户需求。这种变型设计方法是在已有实例无法满足客户需求的情况下采取的被动设计方法,而现代设计技术要求在顾客未提出需求时就已经做到未雨绸缪。一个可行的方法是以柔性化模型来表达产品族结构,通过有效的知识表达与处理方法,并通过设计决策来实现目标。

用模板表示的部件其可变参数都存在一定的范围,其定义域可以是连续域或离散域,可变参数可以是尺寸、功率、运动方向等,模板内部各对象之间、模板与外部单元之间都存在着相互约束关系,产品变型结果必须满足约束规则。

### 2.1 可变型单元的确定

产品变型的目的是为了满足不同客户需求,根据公理设计理论,客户需求需要转化成功能需求,最终体

现到产品的具体设计参数。可变型单元的确定原则是选取主要影响产品功能的零部件,这些元件必须具有以下特性:①信息一致性:可变型单元在整个产品族中所表达的信息必须一致。②约束关系明确:可变型单元与其他对象之间存在明确的约束关系,根据约束规则进行单元配置时不会发生干涉。③具有自适应能力:与其关联的对象结构及参数发生变化时,可变型单元能在其定义域范围内具有自动适应的能力。

在产品族设计中,为避免产品设计复杂化,产品的变型只是局部零部件的结构及几何尺寸参数的变化,将直接影响产品功能的主要零部件作为可变型单元,根据约束关系确定其定义域作为模板参数,只要变型结果符合模板中的定义域范围就可得到产品的快速变型。

### 2.2 配置结构变型

在产品族模板框架所表达的范围内,通过元件的不同配置可得到不同功能的变型产品。首先根据客户需求进行静态结构匹配,根据物料清单(bill of material, 简称 BOM)以规则推理进行模板对象的移除或替换操作,并将其实例化后得到结构变型。具体操作方法为:

移除操作  $V = T \setminus A$

替换操作  $V = (T \setminus A) \cup B$

其中  $T$  为组成模板的全体对象集,  $A$  为需移除的对象集,  $B$  为替换对象集。  $A$  可以为空集, 表示配置结构为模板表示的全体对象集。

基于模板的产品设计中, 由于模板中表达的信息包括模板对象、对象之间的约束和设计参数等, 模板对象必须在满足约束规则的基础上进行变更, 在模板框架内选择相应配置元件并将其参数具体化就可得到新的产品。

### 2.3 几何变型

在同系列产品中通过对组成模板的可变型单元设置不同的设计参数, 得到不同的产品性能, 参数的变异在模板定义域范围之内, 并且同样要满足约束关系。

设组成模板  $T_A$  的对象集为  $A = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ , 对象集  $A$  中的各对象之间存在约束关系  $R \subseteq A \times A$ , 矩阵  $M(R) = (a_{ij})_{n \times n}$  为各对象之间的关系矩阵, 其中

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (O_i R O_j) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases}$$

以  $e_{i,j}$  表示存在约束关系的对象  $O_i$  与  $O_j$  之间

的约束规则集, 则有:  $\forall a_{ij} = 1, \exists e_{i,j} \neq \emptyset, e_{i,j} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}, r_k$  表示约束规则, 其中  $i = 1, n; j = 1, n; k = 1, m$ 。模板对象及其约束关系可用图来表示, 假设  $C_j$  为一割集, 去掉割集  $C_j$  中的边集后得到孤立点  $O_j$ , 则割集  $C_j$  中的边集即为对象  $O_j$  的所有约束规则。

图 2 中以“○”表示固定配置单元, “◎”表示的对象  $O_4, O_5$  为可变型单元, 割集  $C_4$  和  $C_5$  分别表示对象  $O_4, O_5$  的关联集, 其中  $C_4 = \{e_{2,4}, e_{3,4}, e_{4,5}\}, C_5 = \{e_{4,5}, e_{5,6}\}$ , 割集中每个元素包含多个约束规则, 约束规则包括装配约束、尺寸约束、位置约束、依赖约束、排斥约束等, 当可变型对象  $O_4$  的参数变化后, 要对约束规则集  $e_{2,4}, e_{3,4}, e_{4,5}$  进行逐个检验。以  $e_{4,5}$  为例, 检验方法为:

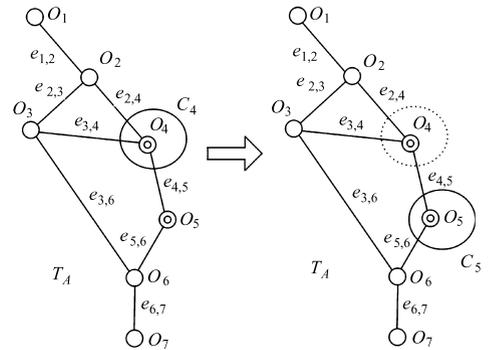


图 2 对象之间的约束关系

Fig. 2 Constraints among objects

对象  $O_4$  与  $O_5$  的参数之间存在约束关系  $e_{4,5}$ , 设  $O_4$  的参数集为  $P_{O4} = \{p_{41}, p_{42}, \dots, p_{4m}\}$ ,  $O_5$  的参数集为  $P_{O5} = \{p_{51}, p_{52}, \dots, p_{5n}\}$ , 两参数集之间存在的约束关系可用  $P_{O5} = F(P_{O4})$  来表示, 如  $p_{5j} = f(p_{4i}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ , 设两参数的定义域分别为:  $p_{4i} \in [s_{i1}, s_{i2}], p_{5j} \in [t_{j1}, t_{j2}]$ , 现由于功能需求的改变, 对参数  $p_{4i}$  进行变更, 即  $p'_{4i} = p_{4i} \pm \Delta p_{4i}, p'_{4i} \in [s_{i1}, s_{i2}]$ , 则  $p'_{5j} = f(p'_{4i})$ , 结果为:

(1) 若  $\forall i \forall j, p'_{5j} = f(p'_{4i}) \in [t_{j1}, t_{j2}]$ , 则参数  $p_{4i}$  的改变  $\Delta p_{4i}$  使得与其关联对象  $O_5$  的参数变化在模板规定的范围内, 系统自动完成参数的变更。

(2) 若  $\forall i \exists j, p'_{5j} = f(p'_{4i}) \notin [t_{j1}, t_{j2}]$ , 表示由于对象  $O_4$  的参数变更导致其与  $O_5$  之间产生约束冲突, 系统根据割集  $C_5$  对对象  $O_5$  的约束规则进行交互设计, 重新设定与对象  $O_5$  有关联关系的相邻对象  $O_6$  的参数及属性, 即按约束规则  $e_{5,6}$  进行检验, 若局部修正后  $p'_{5j}$  符合规则集  $e_{5,6}$  中所有规则, 则变型结束; 否则, 无法通过局部参数的变更满足客户需求, 而要进行结构创新来满足设计要求。

### 3 应用实例

农业旋耕机在作业时,对于不同的工况,需要采用不同的行走速度,客户在选择作业机时,根据实际的作业环境选购不同行进速度的作业机。企业为满足不同客户的个性化需求,在现有产品的基础上可通过快速变型来满足需求。

#### 3.1 变速箱结构

变速机构是作业机的一个核心部件,根据可重构设计方法<sup>[7~8]</sup>,为降低产品成本,作业机产品族中不同系列的产品采用同一变速箱箱体,通过对啮合齿轮的不同配置和变型来满足客户的个性化需求。

变速箱的功能可描述为:将输入转速  $\omega_1$  经齿轮传动后传递到输出轴,输出转速为  $\omega_2$ ,其中  $\omega_1 > \omega_2$ 。在图 3 的变速箱结构中,取主要零件进行分析,直接影响输出转速的为啮合齿轮组。因此,根据可变型元件确定方法,在作业机产品族设计中,以齿轮组件作为可变型元件,通过不同的配置和元件几何参数划分产品系列。根据可重构变速箱设计方法可知,输出参数是由滑移齿轮来控制,通过不同组合实现不同的输出转速,从而满足不同用户的功能需求,齿轮对是实现变速箱主要功能的关键零件,因此选取两对滑移齿轮 6、7、12、13 作为可变型单元。

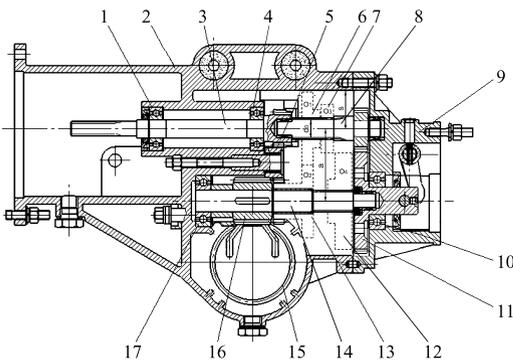


图 3 齿轮变速箱结构图

Fig. 3 Structural drawing of gearbox

1、4、10、17. 轴承 2. 箱体 3. 输入轴 5. 中间齿轮  $Z_1$  6. 对象  $O_1$ (滑移齿轮  $Z_2$ ) 7. 对象  $O_3$ (齿轮  $Z_3$ ) 8. 花键轴 9. 端盖 11. 齿轮  $Z_4$  12. 对象  $O_4$ (滑移齿轮  $Z_5$ ) 13. 对象  $O_2$ (双联齿轮  $Z_6$ ) 14. 输出轴 15. 蜗轮 16. 蜗杆

### 3.2 模板组成

#### 3.2.1 模板信息表达

模板是从具有相似的功能单元中提取出其共同

特征组合而成的,其属性集涵盖模板对象所具有的全部参数与属性,模板可用巴科斯范式(Backus-Naur-Form,简称BNF)表示为:

$$\langle \text{Template} \rangle ::= \langle \text{ID} \rangle \langle \text{Template Objects} \rangle \langle \text{Rule} \rangle [ \langle \text{Constrain Set} \rangle ] [ \langle \text{Priority level} \rangle ] [ \langle \text{Matching Conditions} \rangle ]$$

根据模板的表示形式,变速箱模板信息<sup>[9]</sup>可表示为:

$$\langle \text{变速箱模板} \rangle ::= \langle \text{模板 ID} \rangle \langle \text{模板对象} \rangle \langle \text{规则} \rangle [ \langle \text{约束} \rangle ] [ \dots ]$$

$$\langle \text{模板对象} \rangle ::= \langle \text{箱体} \rangle | \langle \text{输入接口} \rangle | \langle \text{传动元件} \rangle | \langle \text{输出接口} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{传动元件} \rangle ::= \langle \text{蜗轮蜗杆} \rangle | \langle \text{齿轮组} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{齿轮组} \rangle ::= \langle \text{圆柱齿轮组} \rangle \langle \text{齿轮传动参数} \rangle \langle \text{定位约束信息} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{定位约束信息} \rangle ::= \langle \text{端点定位约束} \rangle \langle \text{齿轮组定位约束} \rangle \langle \text{终点定位约束} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{端点定位约束} \rangle ::= \langle \text{齿轮组 ID} \rangle \langle \text{定位类型} \rangle \langle \text{参考点} \rangle \text{定位数值}$$

$$\langle \text{齿轮组定位约束} \rangle ::= \langle \text{齿轮组 ID} \rangle \langle \text{定位类型} \rangle \langle \text{参考点} \rangle \text{定位数值}$$

$$\langle \text{终点定位约束} \rangle ::= \langle \text{齿轮组 ID} \rangle \langle \text{定位类型} \rangle \langle \text{参考点} \rangle \text{定位数值}$$

$$\langle \text{定位类型} \rangle ::= \langle \text{轴承定位} \rangle | \langle \text{键定位} \rangle | \langle \text{无定位} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{规则} \rangle ::= \langle \text{传动计算规则} \rangle | \langle \text{接口匹配规则} \rangle | \langle \text{定位规则} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{传动计算规则} \rangle ::= \langle \text{传动比} \rangle | \langle \text{强度规则} \rangle | \langle \text{刚度规则} \rangle | \langle \text{齿轮参数匹配规则} \rangle | \langle \dots \rangle$$

$$\langle \text{齿轮参数匹配规则} \rangle ::= \langle \text{规则 ID} \rangle ( \langle \text{规则体} \rangle , \langle \dots \rangle )$$

$$\langle \text{规则体} \rangle ::= \langle \text{匹配条件} \rangle \langle \text{匹配规则} \rangle$$

⋮

#### 3.2.2 约束关系描述

根据各零件之间存在的约束关系,可得到式(1)的邻接矩阵  $\mathbf{R}$ ,其中  $e_{i,j}$ 表示矩阵行列所对应的零件之间存在的约束关系。

以零件 6 为研究对象,求取与其相关的关联集,可得到关联集  $C_6 = \{e_{2,6}, e_{6,8}, e_{6,13}\}$ ,表示与其他对象 2、8、13 之间存在约束关系,具体约束关系为:

$e_{2,6}$ :滑移齿轮  $O_1$  与箱体之间存在约束。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	$e_{1,2}$	0	0	$e_{2,4}$	0	$e_{2,6}$	$e_{2,7}$	0	0	0	0	$e_{2,12}$	$e_{2,13}$	0	0	0	$e_{2,17}$
3	$e_{1,3}$	0	0	$e_{3,4}$	$e_{3,5}$	0	0	$e_{3,8}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	$e_{1,4}$	$e_{2,4}$	$e_{3,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	$e_{3,5}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$e_{5,13}$	0	0	0	0
6	0	$e_{2,6}$	0	0	0	0	0	$e_{6,8}$	0	0	0	0	$e_{6,13}$	0	0	0	0
7	0	$e_{2,7}$	0	0	0	$e_{6,7}$	$e_{6,8}$	$e_{7,8}$	0	0	0	$e_{7,12}$	0	0	0	0	0
8	0	0	$e_{3,8}$	0	0	0	$e_{7,8}$	0	$e_{8,9}$	0	$e_{8,11}$	0	0	0	0	0	0
R=9	0	0	0	0	0	0	0	$e_{8,9}$	0	$e_{9,10}$	$e_{9,11}$	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	$e_{9,10}$	0	$e_{10,11}$	0	0	$e_{10,14}$	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	$e_{8,11}$	$e_{9,11}$	$e_{10,11}$	0	0	0	$e_{11,14}$	0	0	0
12	0	$e_{2,12}$	0	0	0	0	$e_{7,12}$	0	0	0	0	0	$e_{12,13}$	$e_{12,14}$	0	0	0
13	0	$e_{2,13}$	0	0	$e_{5,13}$	$e_{6,13}$	0	0	0	0	0	$e_{12,13}$	0	$e_{13,14}$	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$e_{10,14}$	$e_{11,14}$	$e_{12,14}$	$e_{13,14}$	0	0	$e_{14,16}$	$e_{14,17}$
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$e_{15,16}$	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$e_{14,16}$	$e_{15,16}$	0	0
17	0	$e_{2,17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$e_{14,17}$	0	0	0

(1)

尺寸约束： $d_a/2 < s - \delta$ ，其中  $d_a$  为滑动齿轮齿顶圆直径， $s$  为齿轮轴与箱体内壁之间的距离， $\delta$  为滑动齿轮齿顶圆与箱体内壁的间隙。

$e_{6,8}$ :对象  $O_1$  与花键轴之间存在约束：

装配约束：同轴，轴向移动；

尺寸约束： $d_a > 2d_0$ ，其中  $d_0$  为齿轮轴直径。

$e_{6,13}$ :对象  $O_1$  与对象  $O_2$  之间存在约束：

装配约束：啮合；

尺寸约束： $a = m(Z_2 + Z_6)/2$ ， $a$  为中心距， $m$  为模数；

运动传递关系： $i = Z_2/Z_6$ ；依赖关系： $O_2 \rightarrow O_1$ 。

### 3.2.3 可变型单元参数范围

根据变速箱箱体尺寸，有  $s = 35.5$ ， $a = 55$ ， $d_0 = \phi 17.5$ ，齿轮模数  $m = 2$ ， $\delta = 5$ ，根据约束关系  $e_{2,6}$  可得： $d_a/2 < s - \delta = 30.5$ ，即  $d_a/2 = m(Z_2 + 2)/2 < 30.5$ ，可得  $Z_2 < 28.5$ ，取  $Z_{2max} = 28$ 。

由约束关系  $e_{6,13}$  可得：当  $Z_2 = 28$  时， $Z_6 = 26.5$ ，取整数  $Z_6 = 26$ ，为满足  $a = m(Z_2 + Z_6)/2$ ，滑动齿轮对象  $O_1$  设计为变位齿轮。

由约束关系  $e_{6,8}$  可得： $d_a > 2d_0$ ，即  $m(Z_2 + 2) > 35$ ，得到  $Z_2 > 15.5$ ，按标准齿轮不发生根切的条件，取  $Z_{2min} = 17$ 。

由约束关系  $e_{6,13}$  可得  $Z_{6max} = 37$ 。

根据以上分析，在变速箱箱体结构保持不变的

情况下，齿轮对  $O_1$  和  $O_2$  的齿数可选范围为： $\{Z_2 | Z_2 \in \mathbf{N}, \text{且 } 17 \leq Z_2 \leq 28\}$ ， $\{Z_6 | Z_6 \in \mathbf{N}, \text{且 } 26 \leq Z_6 \leq 37\}$ ， $\mathbf{N}$  为自然数集。

### 3.3 变型结果

根据产品族变型原理，在原型产品的基础上，通过结构变型得到不同系列的产品结构，在此基础上进行参数变型，可得到满足不同需求的变型产品。

#### 3.3.1 结构变型

在产品族信息模型基础上，通过输入客户需求信息，按规则库的配置规则进行模板对象的配置。

将变速箱作为整体以变速模板  $T_{GB}$  的形式表示， $T_{GB} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, \dots\}$  为变速模板的对象集，其中主要元件分为固定配置单元和可变型单元，固定配置单元集为： $F = \{1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, \dots\}$ ，可变型单元集为： $V = \{6, 7, 12, 13\}$ 。

根据变速模块中存在的部分配置规则为例：

$r_1$ : “一进一退” or “一进”  $\rightarrow \neg \text{clutch2}$

$r_2$ :  $\text{clutch2} \rightarrow \{O_3, O_4\}$

$r_3$ :  $\neg \text{clutch2} \rightarrow \neg \{O_3, O_4\}$

当客户需求“一进一退”变速箱时，根据规则  $r_1$  和  $r_3$ ，在模板  $T_{GB}$  中移除  $7(O_3)$  和  $12(O_4)$ ，得到配置结构： $S_{IFIB} = T_{GB} \setminus \{7, 12\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17\}$ 。

### 3.3.2 几何变型

以一进一退小型旋耕作业机为例,其前进挡传动比为

$$i = \frac{37}{1} \times \frac{43}{12} \times \frac{Z_2}{Z_6} \times \frac{19}{16} \times \frac{16}{15}$$

作业机行走速度  $v$  与齿轮传动比  $i$  直接相关,  $v = f(i)$ , 在模板中设定  $Z_2$  和  $Z_6$  为可变参数, 则  $v = f(Z_2/Z_6)$ 。

实际零部件配置规格为: 发动机转速 3 600 r/min, 轮胎直径 400 mm, 从齿数  $Z_2$  和  $Z_6$  的定义域可得出, 作业机前进挡行走速度可变范围为 1.50~

3.52 km/h。

## 4 结束语

根据产品或部件的主要功能确定可变型单元及其变化范围, 以模板为载体, 将包括配置规则、约束、变型参数等信息集成在设计模板中, 通过模板库、规则库、产品实例库等进行产品的快速配置与变型, 将局部零件的变型对其他部件的影响降到最低, 这种方法在产品变型过程中无需遍历所有的配置单元, 将可变型对象局限在部分零部件, 有效地提高了设计效率。通过变速箱的快速变型设计, 验证了这种方法的可行性与有效性。

## 参 考 文 献

- 齐从谦, 贾伟新. 支持变型设计的装配模型建模方法研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(1): 38~42.  
Qi Congqian, Jia Weixin. Research on assembly modeling for product variant design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(1): 38~42. (in Chinese)
- Prieur M. Functional elements and engineering template-based product development process[D]. Karlsruhe: Universität Karlsruhe, 2006.
- 方水良, 沈振华. 复杂变型产品参数传递结构研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(12): 1 934~1 938.  
Fang Shuilang, Shen Zhenhua. Parameters transfer structure for complicated product variant design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(12): 1 934~1 938. (in Chinese)
- 余军合, 祁国宁. 事物特征表支持的变型设计方法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(4): 107~111.  
Yu Junhe, Qi Guoning. Study on the method of variant design based on SML[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(4): 107~111. (in Chinese)
- 陆长明, 蒋建东, 张立彬. 基于模板的小型农业作业机产品信息模型研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(6): 1 101~1 105, 1 147.  
Lu Changming, Jiang Jiandong, Zhang Libin. Template-based product information model of small agricultural machinery [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(6): 1 101~1 105, 1 147. (in Chinese)
- 蒋祖华, 黄国全. 基于变异的产品客户化设计[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(5): 745~749, 753.  
Jiang Zuhua, Huang Guoquan. Product customization design using mutation[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2003, 37(5): 745~749, 753. (in Chinese)
- 蒋建东, 叶永伟, 张宪, 等. 基于 CBR 小型农业作业机的可重构设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 32~35.  
Jiang Jiandong, Ye Yongwei, Zhang Xian, et al. Study on small agricultural machinery products reconfigurable design based on CBR[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 32~35. (in Chinese)
- 张立彬, 叶永伟, 蒋建东, 等. 基于可重构模块化的小型农业作业机方案设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(4): 78~81.  
Zhang Libin, Ye Yongwei, Jiang Jiandong, et al. Scheme design of small agricultural machinery based on reconfigurable module method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(4): 78~81. (in Chinese)
- 陈焱. 基于图模板的小型农机产品配置方法研究及应用[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2008.  
Chen Yan. Study on small agricultural machinery's rapid configuration method based on product template technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2008. (in Chinese)