

# 基于基因工程的产品成本建模理论和方法\*

赵 亮 潘双夏 冯培恩

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要: 当前产品设计领域中, 如何有效组织和处理包括数值与知识的复杂信息的动态传递和转化是成本建模研究的关键问题。提出了成本基因模型的概念及其表达方法, 提出了基于基因复制、基因转录和基因转译等工程原理的信息传递和转化表达新方法。利用基因的自组织性、遗传性和转换性等实现了数值与知识组合建模, 研究了支持设计单阶段的产品成本基因建模, 并依此提出了支持产品设计全过程的成本基因建模框架, 开发了相应的软件并在工程应用中得到成功验证, 实现了建模过程的高效性、可靠性和通用性。

关键词: 产品设计 基因工程 成本建模 基因模型 数值与知识

中图分类号: TH11 F2

## 0 前言

由于当前成本建模研究没有系统的理论方法, 成本建模系统存在效率低、可靠性和通用性差等缺点<sup>[1]</sup>, 目前市场上还没有商品化的成本建模系统软件。产品成本建模存在以下关键问题:

(1) 在设计阶段, 由于影响产品经济性能的因素非常复杂, 并且必须处理数值与知识组合信息(如材料、特征和加工工艺等), 如何对这些信息进行有效处理是产品成本建模必须解决的关键问题之一。

(2) 产品信息随着设计进程呈现动态变化, 必须解决面向全过程的成本建模方法, 使产品成本模型在保证质量的前提下随着设计深入能够自动地扩张, 以提高建模的效率。

(3) 产品成本建模必须具有学习能力和适应能力, 能够利用优胜劣汰来描述那些经过实践考验的、有遗传价值的不同层次的成本信息, 以保证模型的高质量。

基于基因工程能有效地控制非常复杂的生命遗传过程以及基因具有的封装性、遗传性、转换性、相识性和自组织性, 提出基于基因工程的产品成本建模方法。

## 1 成本基因模型

### 1.1 基因工程中心法则

基因是遗传信息的最小单位, 中心法则是基因

工程的基本原理, DNA 和 RNA 是基因的载体, 蛋白质(Protein)即信息的表现特征。DNA 和 RNA 通过各种功能, 实现遗传信息单元——基因的信息传递和表达<sup>[2]</sup>。基因工程的中心法则如图 1 所示。

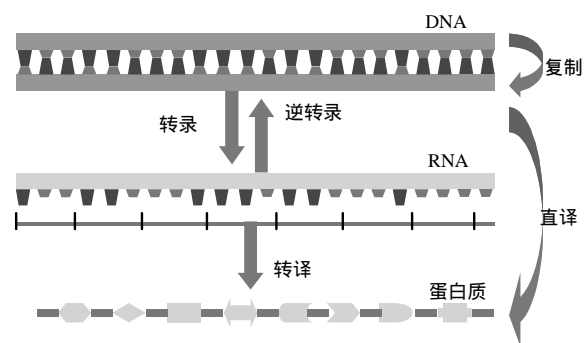


图 1 基因工程中心法则

### 1.2 成本基因模型

成本基因模型: 在对产品成本模型进行详细分析的基础上, 建立具有柔性、封装性、继承性和自组织性的新模型。产品成本模型从总体上分为: I/O 控制器、开发成本、制造成本、管理成本、销售成本、运行成本、回收成本、加工能力和资源布置等模块<sup>[3]</sup>。设其总模块数为  $N$ , 定义产品成本模型为一染色体 Chrom(Chromosome), 把  $N$  个模块称为染色体上的基因片段 Loca(Location), 第  $i$  个基因片段用  $Loca(i) (1 \leq i \leq N)$  表示; 设基因片段  $Loca(i)$  具有  $M$  个信息单元, 每个信息单元称为基因 Gene(Gene), 用于表示各种信息的基本表达单元, 如基因  $Gene(i, j) (1 \leq i \leq N; 1 \leq j \leq M)$  表示第  $i$  个基因片段中的第  $j$  个基因; 采用这种方法可以建立起一个成本模型与染色体一一对应的关系, 实现成本模型的相对模块化和标准化, 以利于成本建模, 这个新模型称为成

\* 国家自然科学基金(59635150, 59630007)、浙江省自然科学基金(5011238)和青年科技人才培养专项基金(RC9608)资助项目。  
20020306 收到初稿, 20020528 收到修改稿

本基因模型。制造成本基因片段 Loca(3)如图 2 所示。

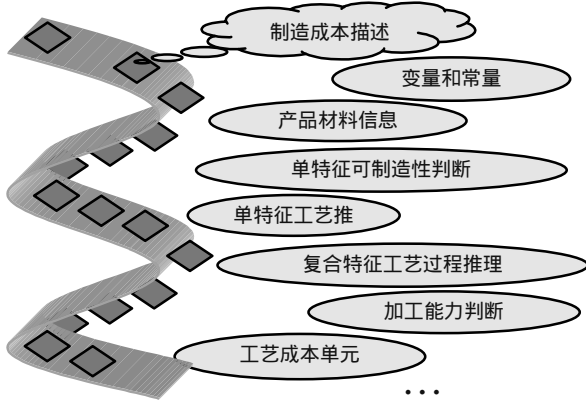


图 2 制造成本基因片段

## 2 成本信息功能算法

利用基因工程的中心法则原理, 建立包含突变、转录、逆转录、转译和直译等成本信息的功能算法。

### 2.1 成本信息突变算法

利用基因突变功能建立成本信息突变算法(如图 3 所示)。成本信息突变可以分为全局突变和局部突变。全局突变发生的条件: 当关于成本的全局信息如企业管理模式、生产理念(外协加工和自加工等)发生变化时而产生的成本基因模型的结构改变的突变; 局部突变的条件: 当关于产品的局部信息(加工资源、特征信息)发生变化时引起成本基因模型的局部突变。成本信息的不断充实和修改是突变的重要原因。

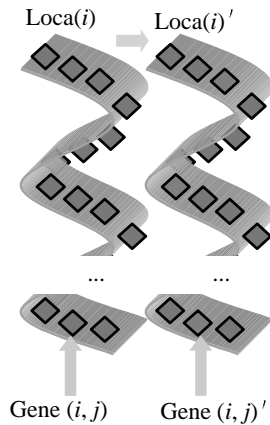


图 3 成本信息突变算法

信息突变功能函数 Mutation 定义: 对基因片段 Loca(i)结构进行永久性变化的功能, 表达形式为

$$M(\text{Loca}(i), j, m)$$

运算规则: ①提取 Gene(i, j)的信息。②设置 Gene(i, j)=m(m 为突变值)。③保持 Loca(i)中的其他基因值。④在组合规则的控制下重组该基因片段中

所有基因。

### 2.2 成本信息转录算法

利用基因转录功能建立成本信息转录算法。转录发生的条件: 成本建模中, 在规则的控制下集中成本基因模型中的所有直接和间接信息并进行结构的标准化、规范化和对象化操作, 以在成本基因模型的组合过程中进行有效控制。

信息转录函数 Transcribe 定义: 按照基因片段 Loca(i)的结构进行转录转化成基因片段 Loca(i)\'的功能, 即根据规则库、方法库和策略库进行录制, 对基因信息对象化, 其转录算法如图 4。

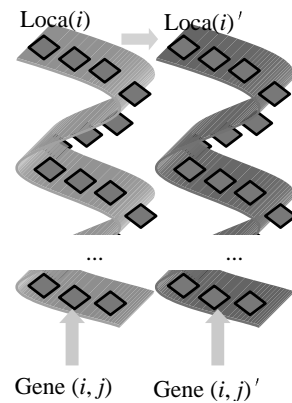


图 4 成本信息转录算法

表达形式为

$$T(\text{Loca}(i))$$

运算规则: ①提取基因 Gene(i,1)。②实现 Gene(i,1)对象化。③重复步骤①和②, 实现 Loca(i)中所有基因的对象化。④组合该基因片段中的所有基因生成 Loca(i)\'。

### 2.3 成本信息逆转录算法

利用基因逆转录功能建立成本信息逆转录算法(如图 5 所示)。逆转录发生的条件: 在成本建模过程中发现成本基因模型中的某一基因或基因片段随着环境(设计阶段、信息变化等)需要进行临时性更新, 或者需要对成本建模信息进行反馈时发生。

信息逆转录函数 RTranscribe 定义: 按照基因片段 Loca(i)\'转化成基因片段 Loca(i)的功能, 实现转录过程中的信息反馈, 临时性修改基因片段 Loca(i), 其表达形式如下

$$RT(\text{Loca}(i))$$

运算规则: ①提取基因 Gene(i,1)\'。②实现 Gene(i,1)\'抽象化。③重复步骤①和②, 实现 Loca(i)中所有基因的抽象化。④组合该基因片段中的所有基因生成 Loca(i)。

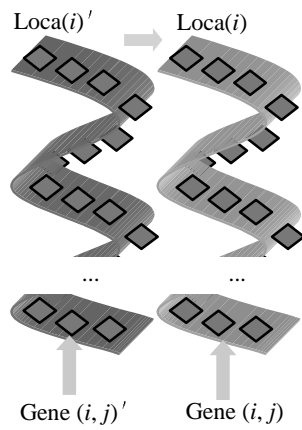


图 5 成本信息逆转录算法

## 2.4 成本信息转译算法

利用基因转译功能建立成本信息转译算法(如图 6 所示)。转译发生的条件:在成本基因模型的所有基因和基因片段已经标准化、规范化和对象化之后,生成成本基因模型时调用该函数。成本信息转译是生成成本基因模型的功能函数。

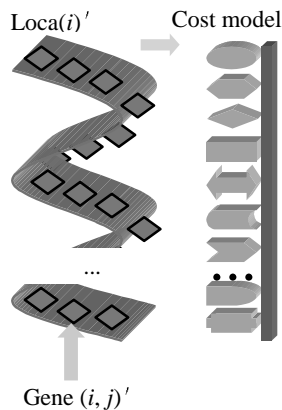


图 6 成本信息转译算法

信息转译函数 Translate 定义:对生成的所有基因片段  $Loca(i)'$  ( $1 < i < N$ ) 进行转译的功能,以建立完整的成本模型。函数的表达形式如函数 Translate, 具有以下运算法则。

二维运算:

- (1) 提取  $Gene(i, 1)$  和  $Gene(j, 1)$ 。
- (2) 对  $Gene(i, 1)$  和  $Gene(j, 1)$  进行组合运算。

运算规则:①建立基因片段的模式框架。②编辑变量、函数的定义。③组合中间变量、函数。④编辑输出模块。

(3) 对  $Gene(i, k)$  和  $Gene(j, k)$  ( $1 < k \leq m$ ) 按顺序进行组合( $m$  为该基因片段的基因数目)。

$n$  维运算:

- (1) 提取  $Gene(1, 1), \dots, Gene(n, 1)$ 。
- (2) 对  $Gene(1, 1), \dots, Gene(n, 1)$  进行组合运算。

运算规则:①建立基因片段的模式框架。②编

辑变量、函数的定义。③组合中间变量、函数。④编辑输出模块。

(3) 对  $Gene(1, k), \dots, Gene(n, k)$  ( $1 < k \leq m$ ) 按顺序进行组合( $m$  为该基因片段的基因数目)。

由以上组模函数,可以把产品成本建模过程的功能表达为

$$TR(TR(Loca(1), Loca(2)), \dots, Loca(N))$$

或

$$TR(Loca(1), Loca(2), \dots, Loca(N))$$

式中  $N$ ——基因片段的最大数

## 2.5 成本信息直译算法

利用基因直译功能建立成本信息直译算法。

直译发生的条件:成本基因模型的某一基因和基因片段已经固定时(如某一零件为外协件)发生。

信息直译函数 Direct:对于某些可以直接转化到成本模型的信息进行直接映射生成成本模型的功能,其函数称为直接函数,表达形式为

$$D(Loca(i), m)$$

运算规则:①提取基因  $Gene(i, 1)$ 。②设置  $Gene(i, 1)=m$ 。③隐含  $Loca(i)$  中的其他基因。

## 2.6 成本基因模型的特征

成本基因模型继承了基因的所有特点:封装性、继承性、转换性、相似性和自组织性等特征。

(1) 封装性(Encapsulation) 如同生物基因具有封装性的特点,在成本信息模块化和标准化的基础上,成本基因模型中体现了封装性的特点:①模型具有清楚的边界。②模型具有统一的外部接口(参数模式)描述该模型其他模型如技术性能模型间的相互作用。③使用者可以不必考虑模型的内部实现细节。

(2) 继承性(Inheritance) 在产品成本建模过程中存在较大相似性,因此不必每次建模都从头开始。参考以前经过实践的设计经验可以节省时间,同时可以保证成本模型的质量。成本基因模型根据优胜劣汰的自然规律来描述那些经过实践考验的、有遗传价值的成本信息。在建模过程中充分利用这些信息,所得到的新模型的质量就能够得到很好的保证。

(3) 转换性(Transformation) 生物的基因控制着生物的整个的生长过程,从胚胎、幼体到成熟的个体,直到衰老和死亡。同样在设计全过程中,基于原来的成本信息成本基因模型不断地得到信息扩张,模型的精度得到提高。

(4) 相似性(Similarity) 在成本建模过程中,由于人类知识的继承性,也或多或少存在一定的相似性。成本基因模型就是从相似性出发,根据不同的

相似性水平对各种方法进行分层和分类，并充分地利用这种相似性来简化建模信息。

(5) 自组织性(Self-organization) 生物基因通过自然选择法则使生物表现出对环境变化的自组织性和自适应性。成本基因模型在其继承性、封装性、转换性和相似性的基础上，可以在知识规则控制下实现信息自组织。

### 3 成本建模框架

#### 3.1 单一阶段的成本基因建模

根据成本信息功能算法，针对产品设计中的某一阶段如技术设计阶段，可以建立成本基因建模框架如图7。

成本基因建模的一般步骤如下：

(1) 建立产品的特征二叉树。利用特征二叉树管理平台可以确定要进行成本建模的对象，确定对象的特征组成结构。在这个平台上，可以对产品的特征组成进行添加、修改和删除等操作。

(2) 确定特征类型、特征参数、特征编码和特征相互关系等信息。特征参数为柔性，可以赋值给常量，也可以是广义优化平台中的表达式。

(3) 利用成本信息的各种功能算法，包括突变、转录和逆转录等算法建立成本基因片段。

(4) 利用成本信息中的转译、直译等算法生成产品的成本基因模型。

在成本基因建模过程中，成本建模平台提供了基本信息库的管理和支持，包括特征库、工艺库、材料库、设备库、策略库和模型库，在成本基因模型的生成过程中自动地调用相应模块。

#### 3.2 产品设计全过程的成本建模策略

在产品设计中，产品信息是随着设计的不断深入而不断充实和完善的<sup>[4]</sup>，建立的成本建模支持平台必须支持所有设计信息。

在产品的方案设计阶段，产品的表达用功能特征和原理特征来表达。随着设计的深入，产品不仅可以用功能原理来表达，而且可以用装配特征和结构特征来表示，在产品的施工设计阶段，产品的表达包括了产品的功能特征、装配特征，还包括了结构特征和工艺特征等信息的表达方法。

产品设计的进程可以描述成为这些特征之间的逐步演变，包括特征替代、特征添加、特征删除和特征修改等操作。这些特征信息作为成本基因建模输入信息，必须提供各种算法使这些信息能有效地组织起来，并在模型中得到很好的表达。可以建立成本基因建模中的功能过程与信息功能的关系(如下表所示)。

表 功能过程与信息功能的关系表

功能过程	信息功能
特征添加	突变、转译、直译
特征删除	突变、转译、直译
特征替代	转录、转译、直译
特征修改	转录、转译、直译
环境变化	转录、转译、直译

为了有效表达产品设计全过程的成本建模框架，可以把支持产品设计全过程的成本建模描述为以下两个方向的网络结构。

横向——在某一阶段利用已有信息进行成本基因建模，具体功能过程如图7所示。

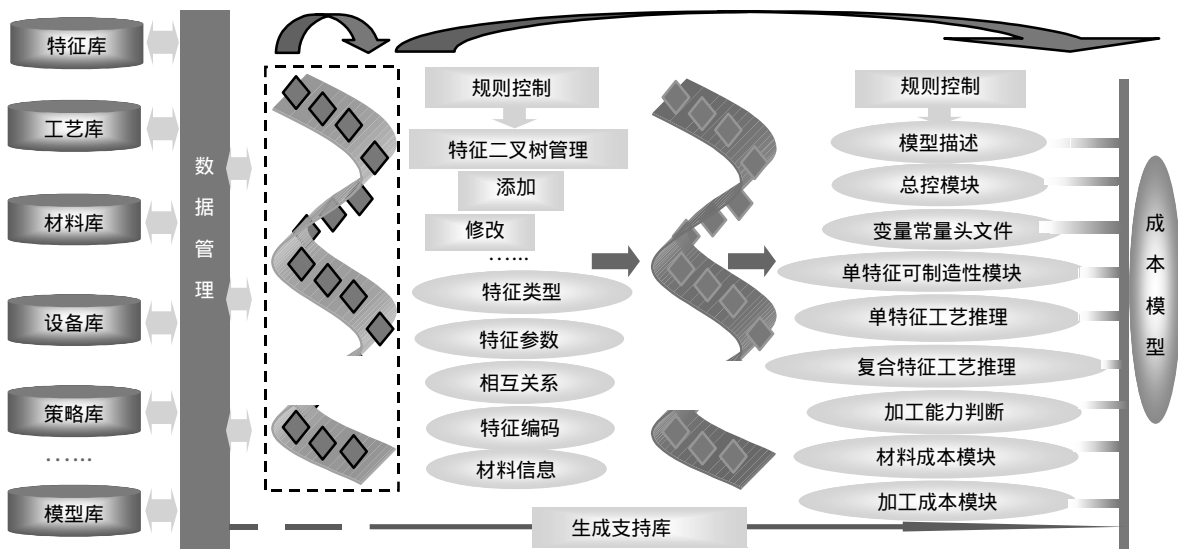


图7 单阶段产品成本建模框架

纵向——随着设计过程的不断深入、信息的不断充实和完善,产品的信息不断修改和完善,如由实现某一功能的结构特征取代原来的功能特征,在优化中认为某一结构特征代替原来结构特征等。

在这些功能过程中,如果希望成本模型在原来

建立的模型上修改,可以调用自组织功能。自组织功能定义为对原来的成本基因模型进行分解,并在重组规则的控制下利用突变、转录、转译和直译的功能实现成本基因模型的重组。可以建立支持产品设计全过程的成本基因建模框架,如图8所示。

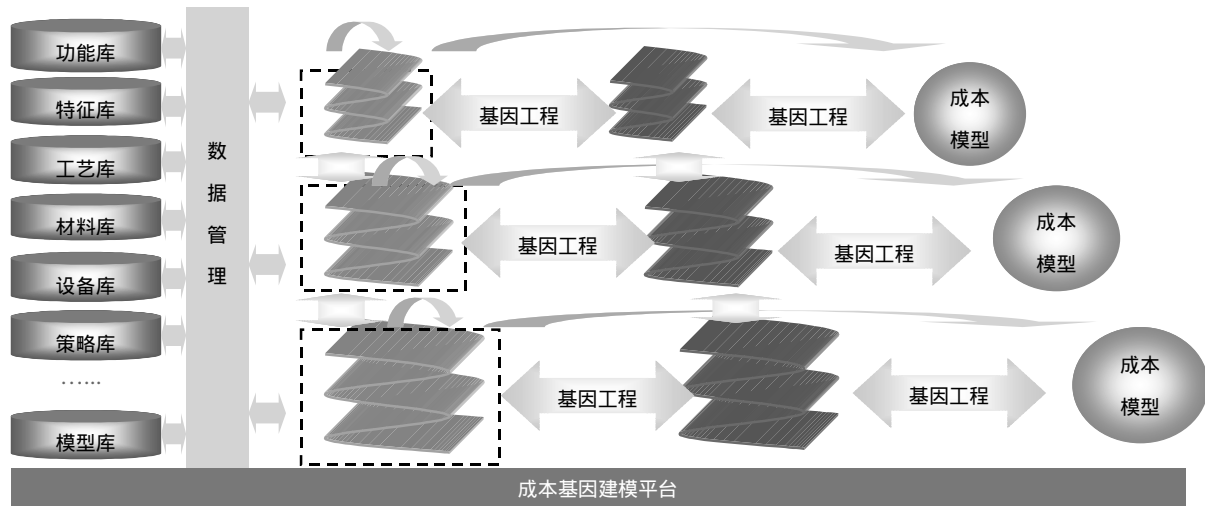


图8 支持设计全过程的成本基因建模框架

## 4 应用技术

根据以上研究,开发了产品成本基因建模平台PCGMP(Product cost gene modeling platform),系统具有在一般成本基因建模功能基础上还可解决以下问题的特性:

(1) 成本模型成长和快速重建。在成本基因建模过程中,成本模型成长和快速重建功能的具体算法如图9所示。

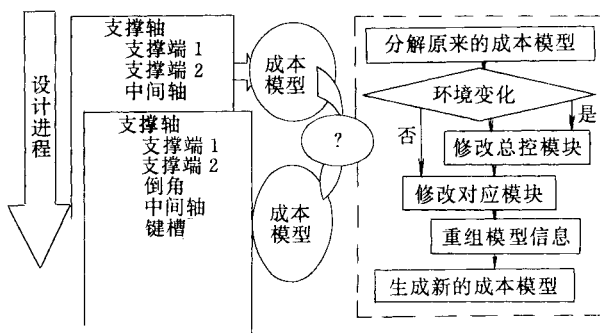


图9 成本模型成长和快速重建

成本模型成长和快速重建的功能利用了成本基因模型在具有相似性、继承性和转换性等基础上具有的自组织性特点,只需在原来模型的基础上进行快速重构便可得到新的成本模型。

(2) 数值与知识的组合信息处理。在产品的成本建模过程中,利用成本基因模型的封装性特点,

可以根据需要对设计信息进行封装。根据信息的内容,提出了广义知识元GKU(Generalized knowledge unit)的概念<sup>[5]</sup>。

GKU具有统一的结构形式

$$\text{Output} = \text{Knowledge} (\text{Input}) \{ \text{Function} \}$$

Output: 设计师期望的输出信息,包括材料密度、特征的加工工艺过程等。

Knowledge: 广义知识元的名称,如45钢、车削一圆柱。

Input: 广义知识元的输入信息,包括参数信息和控制信息。其结构形式如下

(类型1: 参数名1; 类型2: 参数名2; …, 类型n: 参数名n)

Function: 广义知识元的工作原理,包括一般的数值计算过程以及知识推理过程等。

广义知识元支持对数值信息的调用。在建立了数值与知识的组合表达形式之后,可以在成本建模过程中实现数值与知识的组合建模。

## 5 结论

在产品阶段,利用基因工程原理建立的成本基因建模平台可以具有以下优点。

(1) 利用基因工程原理实现了产品成本建模信息的有效组织和传递,并利用基因工程基因封装性等特点,实现了产品数值信息与非数值信息组合

建模。

(2) 利用基因工程原理提高了产品成本建模过程的效率, 增强了系统的通用性和可靠性。

(3) 利用基因工程中优胜劣汰的自然规律来描述那些经过实践考验的、有遗传价值的不同层次的成本信息, 并在建模过程中充分利用这些成本信息, 这样, 新模型的高质量就有很好的保证。

(4) 基于基因工程原理建立支持产品设计三阶段的成本建模框架, 支持产品成本模型的成长和快速重建。

在产品设计领域, 随着设计技术的完善和发展, 产品包含的信息是越来越复杂, 基于基因工程的产品成本建模方法在实践中体现了较强的问题解决能力, 进一步研究产品成本基因建模软件的性能以及实现其商品化对于提高目前国内的产品设计水平具有重要意义。

#### 参 考 文 献

- 1 Charles T Horngren, George Foster, Srikant M Datar. Cost Accounting. Prentice Hall, 1997
- 2 赵功民. 遗传的观念. 北京: 中国社会科学出版社, 1996
- 3 Morris A Cohen, Seungjin Whang. Competing in product and service: A product life-cycle model. Management Science, 1997, 43(4): 20~25
- 4 Pahl G, Beitz W. Engineering Design. Springer-Verlag Press, 1988
- 5 Zhao L, Feng P E, Pan S X. Numeral and knowledge compound expression technique faced on product design field. In: International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing (ICFDM'2000), China; Hangzhou, 2000

## RESEARCH ON PRODUCT COST MODELING METHODS BASED ON GENE ENGINEERING

Zhao Liang Pan Shuangxia Feng Peien  
(Zhejiang University)

**Abstract:** The complexity and expansibility of cost information are the key problem of the researches on cost modeling in the field of product design. Based on gene engineering, the conception of cost gene model is provided, and cost information functions including information heredity, information copy, information transcribable, information translation studied carefully based on gene function, the questions on information complexity of cost modeling are resolved well, product cost intellectualized modeling is realized successfully. According to this research, a relative software called product cost gene modeling platform (PCGMP) is developed and proved by the example of an excavator boom, the efficiency, reliability and flexibility of product cost modeling are realized compared with formerly researches. The software CGMS has a good commercial foreground as a tool for cost decision supporting system which is provided for product designers.

**Key words:** Product design Gene engineering Cost model  
Gene model Numeral and knowledge

作者简介: 赵亮, 男, 1976年出生, 浙江大学博士研究生, 主要研究方向为产品设计中的成本、CAD和设计方法学, 发表论文10余篇。