

ISSN 0577-6686  
CODEN CHHKA2

# 机械工程学报®

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING



CMES 中国机械工程学会主办

半月刊 | 21 / 2011  
第 47 卷

ISSN 0577-6686



9 770577 668118

21 >



# 机械工程学报

JIXIE GONGCHENG XUEBAO

2011年第47卷第21期 11月5日出版

## 目次

### 机械学

#### 机构学及机器人

- 基于多约束的机器人关节空间轨迹规划.....张斌(1)
- 仿壁虎脚趾结构设计及粘附运动性能测试.....俞志伟 李宏凯 张晓峰等(7)
- 基于概率分布的3-UPU机构误差影响敏感度.....郭盛 王乃玥 方跃法等(14)
- 基于人工免疫反馈的自治水下机器人推力器控制.....吴乃龙 刘贵杰 李思乐等(22)
- 多楔带传动系统轮一带振动的实测与计算方法研究.....上官文斌 张智 许秋海(28)
- 磁隙式爬壁机器人的研制.....薛胜雄 任启乐 陈正文等(37)
- 空间共轭啮合副二次包络面三面共点构造法.....李锦上(43)

#### 机械动力学

- 带弹性环保护轴承的动力学特性.....朱益利 徐龙祥(49)
- 采用粒子群算法的冲击信号自适应单稳态随机共振检测方法.....李继猛 陈雪峰 何正嘉(58)
- 基于有限元法的周期拱形结构振动特性.....张玉光 温激鸿 肖勇等(64)
- 磁悬浮球形关节三维动力学模型与控制特性.....曾励 张帆 徐媛媛(69)
- 行星齿轮系扭转非线性振动建模与运动分岔特性研究.....李同杰 朱如鹏 鲍和云等(76)
- 含裂纹故障齿轮系统的非线性动力学研究.....马锐 陈予恕(84)

#### 摩擦学

- 线接触滑—滚条件下微凹坑表面摩擦特性.....李兵 刘焜 王静等(91)
- 钴基合金的滑动磨损行为及仿真预测.....李聪聪 曾攀 雷丽萍等(97)
- 基于Navier滑移的油膜缝隙微流动特性数值分析.....刘赵淼 王国斌 申峰(104)

### 制造科学与技术

#### 数字化设计与制造

- 一种结合部法向刚度的预估方法.....王世军 赵金娟 张慧军等(111)
- 一种支持型腔粗加工刀具序列高效优化的刀具筛选方法.....尹震霆 刘飞 刘霜等(116)
- 基于技术杂交的一类产品技术集成创新设计.....刘芳 江屏 檀润华(123)
- 废弃电路板插件件的自适应磨削拆解方法.....龙旦凤 向东 董晔弘等(133)
- 一种基于硬件在环的可重构数控系统验证方法.....杜少华 于东 黄艳等(139)
- 基于扩展干涉矩阵的几何可拆卸性判别方法.....于嘉鹏 邢宇飞 王成恩(146)

#### 制造工艺与装备

- 光制造科学与技术的现状和展望.....王国彪(157)
- 基于锯切弧区切向力分布的功率消耗模型.....黄国钦 徐西鹏(170)
- 微结构光学功能元件模具的超精密磨削加工技术.....赵清亮 郭兵(177)
- 磁性复合磨粒化学机械抛光技术及其加工试验研究.....许雪峰 郭权 黄亦申等(186)

《CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING》(中国机械工程学报)

- 2011年第24卷第6期目次、摘要.....(193)

DOI: 10.3901/JME.2011.21.123

# 基于技术杂交的一类产品技术集成创新设计\*

刘芳 江屏 檀润华

(河北工业大学机械工程学院 天津 300130)

**摘要:** 技术集成创新是近几年来企业应对激烈竞争而产生的一种新的创新模式。针对技术集成创新理论研究中存在的问题,从产品进化资源的角度提出技术杂交的概念,分析产品技术杂交的原理,将产品技术杂交分为牵引杂交和竞争杂交两类。借鉴生物杂交过程中的基因重组思想,提出技术基和技术基重组的概念,研究技术基的表达和获取方法,以及技术基重组过程中的基本操作和重组原则,进而建立基于技术基重组的产品技术杂交实现方法。在此基础上提出一类基于技术杂交的产品技术集成创新设计过程模型。该模型针对实现功能相同或相似但技术特性互补的两个产品技术,通过将体现两产品优势技术特性的技术基进行集成,以实现产品创新。中药滴丸脱脂机的技术集成创新设计实例说明了该方法的应用。

**关键词:** 技术集成创新 技术杂交 过程模型

中图分类号: TH122

## Product Integrated Innovation Based on the Technological Hybridization

LIU Fang JIANG Ping TAN Runhua

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

**Abstract:** Integrated innovation is a new innovational model that comes into being due to the increasing competitions in recent years. For the existing problems in the theory of technological integrated innovation, the conception of technological hybridization is proposed from the perspective of the product evolutionary resources. The principle of product technological hybridization is analyzed. Product technological hybridization is divided into two kinds: towing hybridization and competing hybridization. Using the idea of gene recombination, the conceptions of technological base and technological basis recombination are put forward. Expressing and identifying technological base, basic operations and recombinational principles in technological basis recombination are studied, and then the method of product technological hybridization is constructed based on technological basis recombination. Lastly the design process model for technological integrated innovation based on product technological hybridization is built. This model focuses on two product technologies that realize same or similar main functions but have complementary technological properties, and innovation is achieved by integrating technological basis that show the beneficial technological properties of these two products. The example of degreasing machine of dropping pill illustrates the application of the proposed model.

**Key words:** Technological integrated innovation Technological hybridization Process model

## 0 前言

技术创新分为原始创新、模仿创新和集成创新。由于原始创新的技术开发投入大、周期长、风险大,以及模仿创新的被动性和制约性,而技术集成创新在已有技术资源基础上通过集成实现产品创

新,开发成本低、见效快,因此,技术集成创新目前是更加适合我国国情的创新模式。

技术集成理论最早由美国哈佛大学商学院 IANSITI<sup>[1]</sup>提出,将技术集成定义为在寻求技术选项与市场需求之间有效匹配过程中,对多种技术选项进行调查、评估和选择的一系列活动。近年来,技术集成作为技术创新的新范式逐渐引起人们的重视,国内外一些学者对其进行了研究<sup>[2-9]</sup>。KORUNA<sup>[3]</sup>从知识管理角度认为知识杠杆会影响技术集成的能力。PARTHASARTHY 等<sup>[4]</sup>把技术集

\* 国家创新方法工作专项(2010IM020100, 2011IM010200)、国家自然科学基金(70972050)和河北省科技支撑计划(10242116D)资助项目。20110112 收到初稿, 20110725 收到修改稿

成分为功能集成、工具集成和外部关系集成。ZANRA 等<sup>[5]</sup>认为技术商业化是否成功取决于企业内、外部资源的综合利用程度,并指出技术集成模式是发挥这一作用的关键。慕玲等<sup>[7]</sup>认为技术集成是以把握需求环节为起点,通过开放的产品建构和企业互动模式来集成各种各样的技术资源,以获得更好的产品开发绩效和更快的生产率提高。张米尔等<sup>[9]</sup>指出技术选择及其与新领域知识的整合是技术集成的基础,并构建了技术集成创新模型和产品衍生模型。

上述研究主要涉及技术集成创新的成因、模式、要素、机理等方面,侧重于以技术选择为基础的技术单元组合过程,本文将这一类技术集成模式称为技术组合型集成创新。针对该类技术集成创新的产品设计可以通过已有设计理论或方法来实现,例如,基于功能结构和形态学矩阵的 PAHL&BEITZ 系统化设计理论<sup>[10]</sup>,基于设计目录的产品设计方法<sup>[11]</sup>等。它首先将产品总功能逐层分解到功能元,其次在已有技术资源基础上,通过比较、选择、评价,确定实现每个功能元的原理解或技术单元,进而通过将各原理解或技术单元进行集成得到新产品的原理解或技术系统,其本质是技术单元的组合。

产品处于进化之中<sup>[12]</sup>,产品进化是不断消耗可用资源的过程。在产品进化过程中,进化资源起着重要的作用。文献[13]对产品设计中的进化资源进行了研究,指出系统杂交是获取进化资源的一种途径,但它并未给出具体实现过程。本文基于杂交思想,从产品进化资源的角度提出技术杂交的概念,进而形成一类基于技术杂交的产品技术集成创新模式,即技术杂交型集成创新。它不同于技术组合型集成创新,不是将若干技术进行组合得到新产品,而是将实现功能相同或相似但技术特性互补的已有产品的优势技术特性进行集成,从而实现产品创新。该类技术集成创新无法直接通过已有设计理论或方法来实现。考虑到产品技术杂交与生物杂交的相似性,本文提出了技术基的概念,利用技术基重组实现产品技术杂交,进而提出了基于技术杂交的产品技术集成创新设计过程模型。

## 1 技术杂交

### 1.1 技术杂交概念

产品进化与生物进化相似。生物的进化伴随着可用资源的消耗,很多资源逐渐枯竭,但同时新的资源不断出现。产品进化也伴随着可用资源的消耗。

ZLOTIN 等<sup>[13]</sup>将资源分为两类:发明资源和进化资源。进化资源对产品进化起关键作用。一个新系统的诞生表明允许系统进化的进化资源的形成。当系统耗尽这些资源时,系统进入成熟期和衰退期。

产品是功能的实现。在产品进化过程中其主功能保持不变,改变的是其辅助功能以及实现技术。产品技术是依据一定原理能够实现产品功能的手段和方法。它与功能是多对多的关系。在一个新产品诞生初期,设计者需要对可能实现产品功能的多种技术进行选择,去除在当前条件下不能转变为产品的技术,将能够实现的技术形成新产品(S 曲线),进而变为成熟产品。伴随着产品的进化,那些曾经被舍弃的技术或是新出现的技术在现有条件下又可能形成新产品(S 曲线)。这些成熟的或新的不成熟的产品,尽管它们采用的技术各不相同(不同的 S 曲线),但它们的主功能相同或相似,且技术特性不同(分别具有不同的优缺点)。将这些不同产品或技术系统的某些有用特征进行集成,可以形成新的进化资源,进而产生新的产品或技术系统。该过程类似于生物杂交的过程,本文称为技术杂交。技术杂交是将主功能相同或相似但技术特性互补的产品的有用特征进行集成,进而形成满足用户需求的新产品。与生物杂交类似,产品技术杂交的结果可以是对已有产品技术进行改进或优化,也可以得到满足新市场的新产品。

### 1.2 技术杂交的类型

从进化的观点看,技术杂交可以分为两种类型:牵引杂交和竞争杂交。牵引杂交是指将实现功能相同或相似的不成熟产品技术与已有成熟技术进行集成。根据成熟技术的来源不同,牵引杂交又可分为同域牵引杂交和跨域牵引杂交。同域牵引杂交是指将产品的不同代的技术进行集成;跨域牵引杂交是指将其他领域中实现功能相似的成熟技术与本领域中的不成熟产品技术进行集成。竞争杂交是指将同一市场上实现功能相同或相似的成熟产品技术进行集成。

图 1 是牵引杂交的示意图。随着技术的不断进步产品不断更新换代,但它们的主功能都相同。由于已有成熟技术系统已达到技术性能极限,进化资源的缺失使其无法继续进化,而新技术(不成熟产品)虽然具有进化潜能,但它无法有效可靠地替代原有系统。当两个技术系统技术特性互补时,通过技术杂交集成,可促进不成熟产品的进化,提高其技术性能。该过程利用同领域产品技术进行杂交,即同域牵引杂交。此外,由于可以采用跨领域的技术来

实现相同或相似功能，尤其是一些使能技术，所谓使能技术是指能够广泛应用的通用性技术。当其他领域中的成熟技术与本领域中的不成熟产品技术满足技术特性互补时，通过技术杂交集成，同样可以提高不成熟产品的技术性能。该过程为跨域牵引杂交。

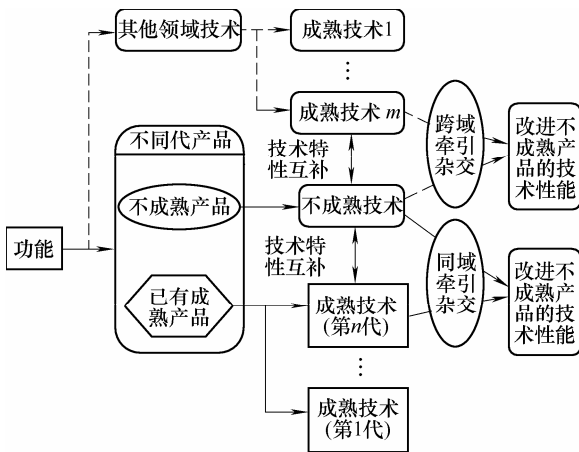


图1 牵引杂交

图2是竞争杂交的示意图。由于一个功能可以通过不同的技术来实现，基于不同技术的成熟产品能够实现相同或相似的功能需求，但它们的技术特性各不相同，它们之间是一种竞争关系。将两个技术特性互补的成熟产品技术进行集成，杂交后的产品具有两成熟产品的优势技术特性，满足新的市场需求。

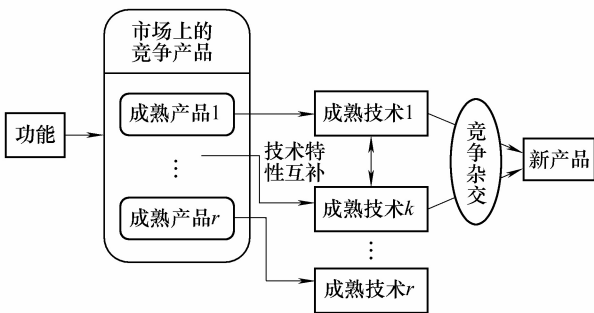
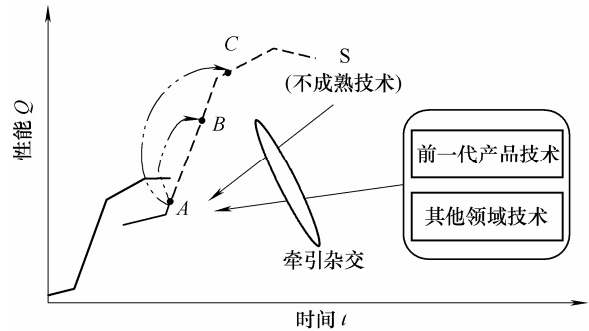


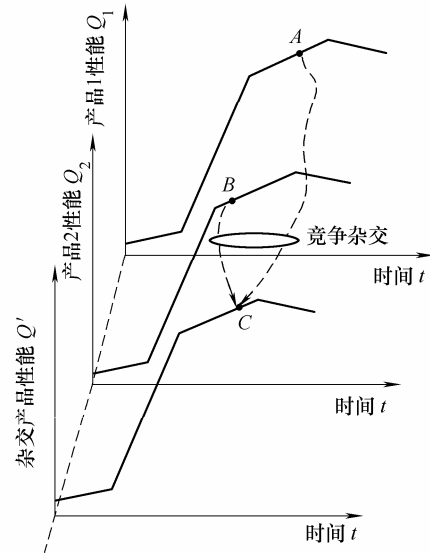
图2 竞争杂交

产品的进化分为婴儿期、成长期、成熟期和退出期四个阶段<sup>[14]</sup>，并且可以通过技术成熟度预测来判断产品所在的阶段<sup>[13]</sup>。由于牵引杂交是不成熟产品技术与成熟产品技术之间的集成，以改进并提高不成熟产品技术的性能，因此，它适用于位于成长期的产品，其特征表现为基于新技术的同一S曲线上产品性能提高的过程，见图3a，即通过牵引杂交使不成熟产品的技术性能由S曲线上的A点提升到B点或是C点。竞争杂交是针对两个成熟产品技术，

即适用于位于成熟期的产品。其特征表现为不同性能间S曲线技术跨越过程，见图3b，即通过竞争杂交，使产品1S曲线上的A点和产品2S曲线上的B点转移到新S曲线上的C点，新产品具有两个成熟产品的优势技术特性。



(a) 牵引杂交描述



(b) 竞争杂交描述

图3 S曲线上的技术杂交描述

产品技术杂交集成可以改善或优化一项产品技术，但是一次产品技术杂交往往只改善产品某一方面的技术特性，并且在产品技术杂交过程中可能会产生新的不良特性，若新产生的不良特性在设计约束范围内可以不对其进行处理，否则需要解决其不良特性，因此可以通过连续产品技术杂交来改进或优化产品技术。连续产品技术杂交如图4所示。产品 $P_1$ 、 $P_2$ 实现功能相同或相似，分别具有技术特性 $U_1$ 、 $U_2$ ，且互补，通过产品技术杂交，得到产品 $P'$ 和 $U'$ ， $P'$ 继续与 $P_3$ 进行杂交得到新的杂交产品 $P''$ ，该过程连续下去，直到产品 $P$ 具有所要求的技术特性 $U$ 。

$$\begin{aligned}
 &P_1 \rightarrow U_1 \\
 &P_2 \rightarrow U_2 \Leftrightarrow P' \rightarrow U' \\
 &P_3 \rightarrow U_3 \Leftrightarrow \dots P'' \rightarrow U'' \\
 &P_n \rightarrow U_n \dots \Leftrightarrow P \rightarrow U
 \end{aligned}$$

图4 连续产品技术杂交

### 1.3 基于技术基重组的技术杂交实现方法

#### 1.3.1 技术基

产品创新往往是对已有技术的重用或分解组合。通常情况下,产品技术系统由多个子技术系统构成,而各子技术系统又由下一级子技术构成,本文将产品技术系统中具有独立功能的最小技术单元称为产品技术基,简称技术基。若干技术基按照一定的关系组成技术基组,形成完整的技术系统。

按照物元理论<sup>[15]</sup>,任何事物都可用一有序三元组  $R = (N, c, v)$  来描述,其中  $N$  为事物的概念,  $c$  为事物的特征,  $v$  为事物关于特征的量值,并把  $(c, v)$  称为特征元。技术基是产品技术系统中具有独立功能的最小技术单元,它可以用特征元模型来描述,但是为反映技术基所实现的功能,将技术基用一个三元组来表示:  $T = (f, c, v)$ 。其中,  $T$  表示技术基,  $f$  表示功能,  $c$  表示特征,  $v$  表示特征对应的量值。对于一个技术基组,它可以表达为  $T_S = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ 。由于在产品设计过程中的概念设计阶段,其主要任务是产生原理方案,因此在该阶段,特征  $c$  主要为作用原理特征和概念结构特征,而量值  $v$  往往不是一个确切值,可以忽略表达。作用原理特征主要涉及与作用原理或效应相关的特征,它反映了技术单元从输入到输出过程中所经历的操作;概念结构特征主要涉及概念结构中的几何特征、连接特征等,以及物理、化学等属性。当一个技术基具有多个特征时,它可以表达为

$$T = \begin{pmatrix} f & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{pmatrix}$$

功能是系统输入量和输出量之间的关系<sup>[16]</sup>。相同的功能可以具有不同的特征,即不同的技术基可以具有相同的功能,这就造成具有相同功能的技术基,由于其特征不同,会使得技术基的输入量和输出量不同。由此,技术基又可以用图 5 表达。

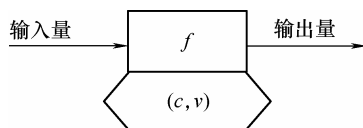


图 5 技术基

#### 1.3.2 技术基重组

生物杂交过程必然包括基因的重组。基因是生物的遗传物质,是遗传的基本单位、功能单位和重组单位<sup>[17]</sup>。基因重组可以将双亲控制不同性状的优良基因结合于一体,产生在各该性状上超过亲本的

类型,即“杂种优势”。技术杂交类似于生物杂交过程,因此,可以借鉴基因重组思想研究技术杂交的实现方法。

生物体性状是由生物基因来控制的,而技术基是产品技术特性或性状的载体,因此,产品技术特性由技术基来体现。由此可知,与生物的基因重组类似,将体现两产品优势技术特性的技术基进行集成,可以产生具有“杂种优势”的新产品,本文称为技术基重组。

基于技术基重组可以实现产品技术杂交。在技术基重组过程中主要存在 4 种基本操作。

(1) 分割:若存在一技术基组  $T_S = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ ,将技术基组中第  $i$  个技术基  $T_i$  单独划分出来,而不改变其他技术基的相对位置关系,该操作称为分割。

(2) 替换:若存在一技术基组  $T_S = (T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n)$ ,将技术基  $T_m$  在位置  $i$  处替换该处原有技术基  $T_i$ ,且不改变其他技术基的相对位置关系,形成新的技术基组  $T_S' = (T_1, T_2, \dots, T_m, \dots, T_n)$ ,该操作称为替换。

(3) 组合:若存在一技术基组  $T_S = (T_1, T_2, \dots, T_i, T_{i+1}, \dots, T_n)$ ,在位置  $i$  处加入技术基  $T_k$ ,且不改变其他技术基的相对位置关系,形成新的技术基组  $T_S' = (T_1, T_2, \dots, T_i, T_k, T_{i+1}, \dots, T_n)$ ,该操作称为组合。

(4) 变异:若存在一技术基组  $T_S = (T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n)$ ,在对技术基组的操作过程中,第  $i$  个技术基  $T_i$  发生了突变,形成新的技术基组  $T_S' = (T_1, T_2, \dots, T_i', \dots, T_n)$ ,该操作称为变异。变异又分为两种情况。

若存在一操作  $M$ ,使得  $M(T_i) = T_i'$ ,且  $f_i' = f_i + \Delta f_i$ ,  $c_i' = c_i$ ,该操作称为功能变异。

若存在一操作  $M$ ,使得  $M(T_i) = T_i'$ ,且  $c_i' = c_i + \Delta c_i$ ,  $f_i' = f_i$ ,该操作称为特征变异。

在生物的杂交过程中可能会发生基因变异,它是在自然环境下的自然变异。在产品技术杂交过程中可能发生技术基变异,但是这种突变是通过设计者的经验,或是借助计算机辅助创新(Computer aided innovation, CAI)软件提供的相关环境所构成的设计情景作用于人的思维、经验等促成的,是设计者进行的有意识的变异。也就是说,技术基的变异可以通过两种方式来实现,其一是设计者依据自身经验,按照设计要求对某一技术基的功能或特征进行改变,以形成满足设计要求的新的技术基;其二是利用 CAI 软件,设计者通过查找与某一技术基的功能或特征相关的作用原理和实例,将这些作用原理和实例与已有技术基进行类比,在这些作用原理和实例的激发下,设计者依据经验对已有技术基进行改进,进而实现技术基变异。

由于产品技术杂交是将具有互补特性的技术进行集成，其往往表现为以一个产品技术为基础，将与其技术特性互补的另一个产品技术的优势技术基植入其中，形成新的产品。由此，本文将前者定义为基产品，后者定义为辅产品。对于牵引杂交，当前不成熟的产品技术为基产品，已有成熟产品技术为辅产品；而对于竞争杂交，需要根据具体情况按照创新策略确定基产品和辅产品。在技术基重组过程中，基产品的优势技术基作为载体技术基，而辅产品相对于基产品的优势技术基作为目的技术基。通过技术基重组，实现产品技术杂交。为了确保目的技术基与载体技术基能够重组成功，进而表达为新产品的原理解，技术基重组必须符合以下两个原则。

- (1) 输入/输出匹配原则，指技术基之间输入/输出量的相容性。
- (2) 特征匹配原则，指技术基之间特征的相容性。

在技术杂交过程中，优势技术基的获取至关重要。考虑到任何一个功能都必定由两种物质和一种场构成，并且物质—场模型可以表达一个最小的具有机能、可控的技术系统，图6为物质—场模型[12]。图6中F为场，S<sub>1</sub>及S<sub>2</sub>分别为物质，其意义为场F通过物质S<sub>2</sub>作用于物质S<sub>1</sub>并改变S<sub>1</sub>。技术基体现的是技术系统中具有独立功能的最小技术单元，因此可以通过建立并分析产品技术

系统的物质—场模型，进而获得优势技术基。该过程主要包括以下几步。

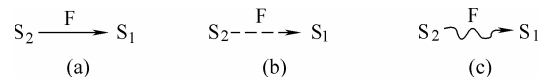


图6 物质—场模型的3种基础符号

——> 需要的效应    ~~~> 有害的效应  
 ----> 不足的效应

步骤 1：将产品总功能进行分解，一直分解到功能元，建立产品功能结构。

步骤 2：分析与产品主功能相关的功能元的实现技术，建立其技术系统的物质—场模型。

步骤 3：分析物质—场模型中的物质、场，以及它们之间的作用方式，将优势技术特性向物质—场模型进行映射，分析优势技术特性是由哪些物质、场及其相互作用来体现，进而抽取出体现优势技术特性的技术基。

## 2 基于技术杂交的产品技术集成创新设计过程模型

从已有产品技术出发，判断其所在S曲线上的位置，按照所处位置的不同从不同角度对实现功能相同或相似的产品技术进行搜索，在满足技术特性互补的条件下，通过技术杂交实现产品创新，则形成一类基于技术杂交的产品技术集成创新设计过程模型，如图7所示。该模型包括以下几步。

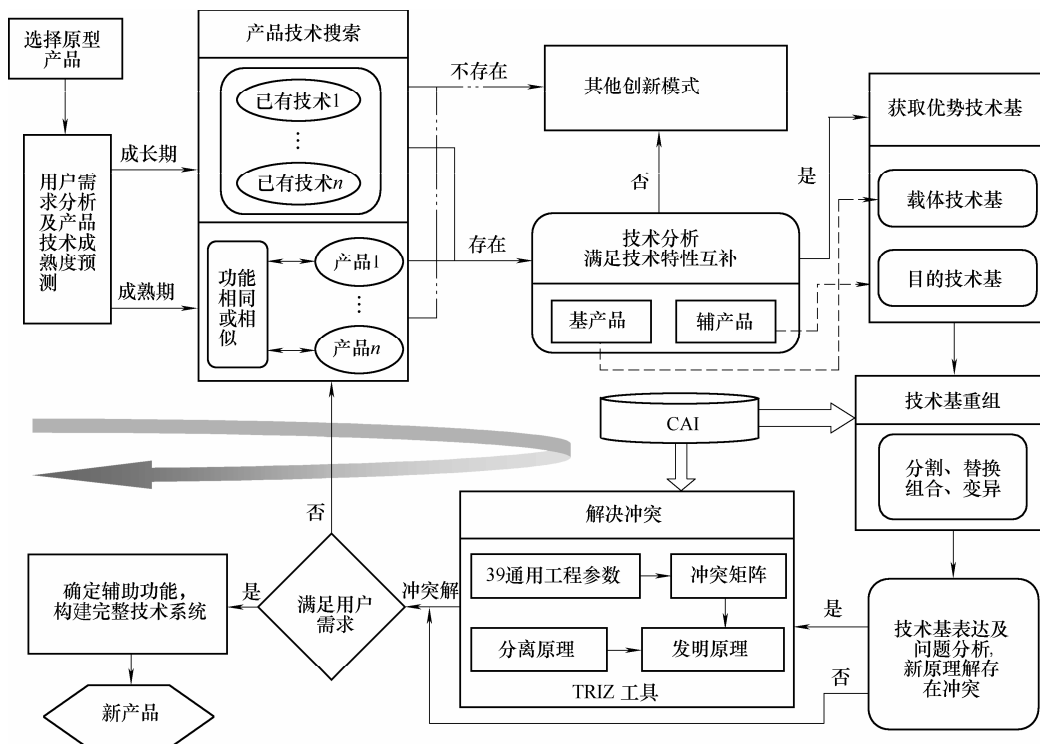


图7 基于技术杂交的产品技术集成创新设计过程模型



(1) 选择原型产品。根据企业自身情况和市场需求状况进行待开发产品的选择。原型产品可以是本企业生产的产品,也可以是市场上销售的产品。

(2) 产品用户需求分析及技术成熟度预测。通过市场调查,可以采用用户调查问卷或会谈等方法进行用户需求分析,进而确定其潜在的用户需求。并对原型产品进行技术成熟度预测,判断其是否处于成长期或成熟期,否则退出流程。

(3) 相关产品技术搜索及分析。对于位于成长期的产品,搜索其前代已有成熟产品技术,而对于位于成熟期的产品,搜索市场上已有的与其实现功能相同或相似的产品技术。分别分析原型产品和搜索到的产品的技术特性,找出与原型产品技术特性互补的产品,进而根据用户需求和企业开发策略确定产品技术杂交的基产品和辅产品。若不存在满足技术特性互补的产品,则退出流程,采用其他创新模式。

(4) 按照第 1.3.2 节优势技术基获取方法,确定载体技术基和目的技术基。

(5) 技术基重组,在重组过程中可能对某些技术基进行突变,进而得到新的技术基组。

(6) 技术基组的表达及问题分析。将重组后的技术基组表达为新产品的原理解或概念结构,并判断其是否存在冲突。若不存在冲突,则接下一步;若存在冲突,可以利用 TRIZ 工具(39 通用工程参数,4 分离原理、40 发明原理和冲突矩阵)进行冲突的求解。首先把冲突用 39 个工程参数来表示,后通过查找冲突矩阵,得到可以用于解决冲突的发明原理,进而根据特定的问题应用该原理以产生一个特定的冲突解。该过程可以在 CAI 软件的帮助下完成。

(7) 判断新原理解是否满足用户需求。若不满足,也就是说,通过技术杂交仅改进了部分不良技术特性,或者是在技术杂交后产生了新的不良技术特性,可以返回步骤(3),进行连续技术杂交,否则接步骤(8)。

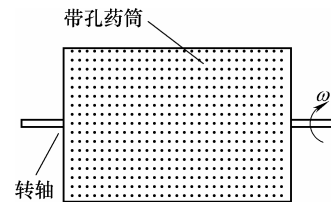
(8) 重构技术系统。产品技术杂交的结果得到实现产品主功能的新原理解,依据该解,重新建立产品功能结构,并确定其辅助功能的原理解,进而构建完整技术系统。

### 3 工程实例

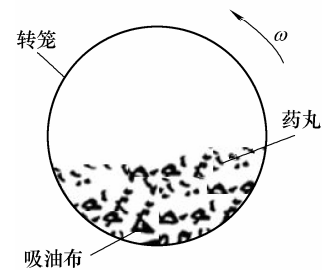
经滴丸机滴制成形的滴丸,其表面附着大量冷凝剂,需要在滴丸封装之前去除。滴丸脱脂机就是去除滴丸表面冷凝剂的设备。本节应用上述模型对滴丸脱脂机进行创新设计。

(1) 选择原型产品。从滴丸开始生产到现在,滴丸脱脂技术也经历了一些发展,从人工擦拭到机

器转笼式擦拭脱脂,再到离心脱脂。目前,国内大多数厂家采用离心脱脂,其工作原理如图 8 所示。将滴丸放入带孔药筒中,通过药筒的旋转,在离心力的作用下去除滴丸上的冷凝剂,通过集油装置收集冷凝剂。尽管离心脱脂较以往的脱脂方法效率大大提高,但是也不全尽如人意。因此,本文将离心脱脂机作为实施创新的原型产品。



(a) 离心脱脂原理



(b) 擦拭脱脂原理

图 8 已有滴丸脱脂技术

(2) 滴丸脱脂机的用户需求分析及技术成熟度预测。通过市场调查,现有离心滴丸脱脂机存在一些亟待解决的问题:① 脱脂效果不理想,经过离心脱脂后,滴丸表面仍存在不少油脂;② 药丸分批进行脱脂,不能连续进、出料,需要人工参与;③ 在离心脱脂机的去油过程中,容易损伤一部分滴丸。

考虑到现有生产方式的弊端,用户需求在药丸损失率低、脱脂效果好、生产效率高三方面提出了比较高要求。此外,尽管离心原理已广泛应用于各个领域,但是将离心原理应用于滴丸的脱脂,其技术还存在很多不足之处。根据其技术程度和市场情况可以判定,离心脱脂机位于产品成长期。因此可以试图采用牵引杂交来进行产品创新。

(3) 相关滴丸脱脂技术搜索及分析。从滴丸技术产生到现在,滴丸脱脂技术经历了两代技术,第一代为擦拭脱脂,目前的离心脱脂为第二代技术,并且它处于成长期。擦拭脱脂的原理如图 8b 所示。将滴丸与吸油布料放入转笼一起旋转,滴丸上的冷凝剂被布料擦拭吸收,布料饱和后取出,经清洗后再次使用。由于滴制出的滴丸表面附着冷凝剂较多,吸油布料与滴丸接触后,布料很快就吸收冷凝剂至饱和,实际生产中需要频繁停车更换布料,但是使



用这种方法滴丸不容易破碎。

通过对已有滴丸脱脂技术的技术特性进行分析,可以看出离心脱脂和擦拭脱脂的技术特性互补,如图 9 所示。因此满足产品技术杂交的条件,并且将现有离心滴丸脱脂机作为基产品,而擦拭滴丸脱脂机为辅产品。

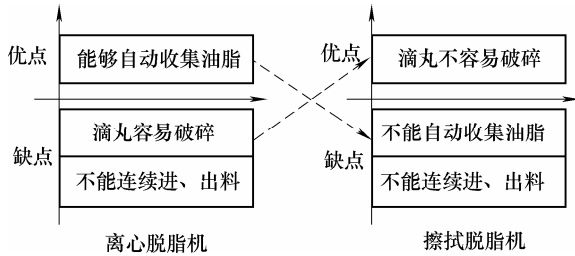


图 9 技术特性对比分析

(4) 确定载体技术基和目的技术基。

1) 确定载体技术基。首先通过功能分解,确定离心脱脂机的功能结构,如图 10 所示。然后建立其主功能的物质—场模型,如图 11 所示。

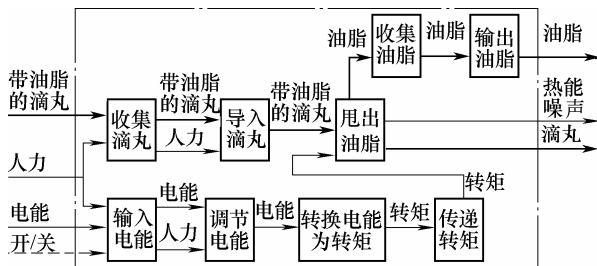


图 10 离心滴丸脱脂机的功能结构

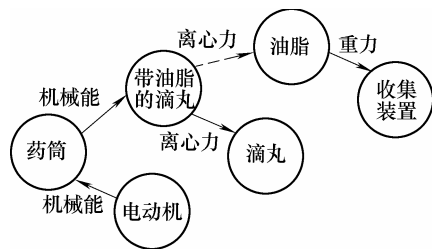


图 11 离心滴丸脱脂机部分物质—场模型

由图 11 可以看出,尽管通过药筒的高速旋转,利用离心力去除油脂是一个不足作用(即不能完全去除油脂),但它能够实现自动收集油脂。由此可以抽取它的载体技术基  $T_c$ ,如图 12 所示。

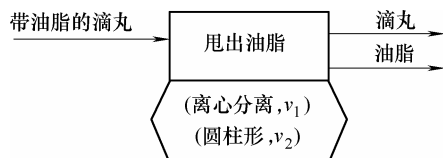


图 12 载体技术基

2) 确定目的技术基,即擦拭脱脂机相对与离心脱脂机的优势技术特性所对应的技术基。首先建立

已有擦拭滴丸脱脂机的功能结构,然后建立其主功能的物质—场模型,如图 13 所示。

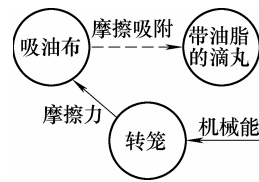


图 13 擦拭滴丸脱脂机部分物质—场模型

从图 13 的物质—场模型可以看出,尽管吸油布通过摩擦吸附作用去除滴丸表面上的油脂是一个不足作用,但是这种方法不会使滴丸在操作过程中发生破碎,相对于离心脱脂机的缺点它是一个优良特性,对于它所带有的不良特性,可以通过后续设计进行消除。由此可以抽取出它的目的技术基  $T_a$ ,如图 14 所示。

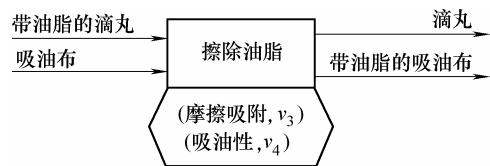


图 14 目的技术基

(5) 技术基重组。将得到的载体技术基和目的技术基按照匹配原则进行技术基重组,考虑到离心脱脂机能够自动输出油脂,由此得到新的技术基组为  $T_S = (T_a, T_c)$ 。由于离心脱脂机和擦拭脱脂机都不能实现连续自动输出滴丸,因此有必要对重组后的技术基组进行改进。

考虑到重组后的技术基组将摩擦吸附作用和离心作用相结合,由此利用 CAI 软件(例如 Inventiontool 3.0)查找与其相关的作用原理或效应链。通过查找,发现有一个效应链可能能够解决连续进、出料问题,即“非均匀流体媒质中的离心率”→“受破振动”→“利用惯性运送”。

在该效应链及其实例提供的场景下,设计者根据自身经验得到解决方案,即可以利用旋转产生的离心力作用在一个倾斜表面上,以产生一个沿斜面向上的力,在惯性作用下使滴丸自动脱离药筒。由此可以对技术基组中的  $T_c$  进行变异操作,将圆柱形筒变为圆锥形筒,通过离心力作用圆锥表面产生向上的力,使滴丸在惯性的作用下自动输出。变异后的技术基组  $T'_S = (T_a, T'_c)$ ,如图 15 所示。

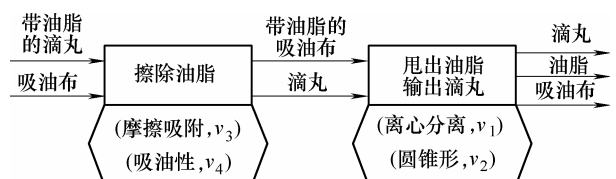


图 15 变异后的技术基组

(6) 技术基组的表达及问题分析。将新得到的技术基组表达为新产品的原理解，如图 16 所示。其工作原理如下：药筒侧壁倾斜一定角度，并且内壁附着吸油材料，滴丸机出来的滴丸通过输送带从进料口进入药筒底部，药筒旋转，在离心力的作用下使滴丸沿药筒侧壁螺旋上升，在摩擦吸附作用下实现对滴丸的脱脂，最终滴丸在惯性力作用下自动从出料口输出，并且吸油材料上的油脂在离心力的作用下从药筒侧壁的圆孔中甩出。此过程不断重复，实现了对滴丸的连续操作，且不需要人工操作。此外，由于连续进、出料，且滴丸不与药筒直接接触，因此避免了大量滴丸之间以及与药筒之间的碰撞，滴丸不容易破碎。

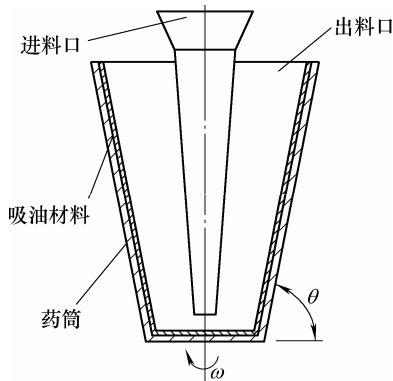


图 16 新产品的原理解

分析上述原理解可知，由于从滴丸机出来的滴丸带有较多的油脂，当带有较多油脂的滴丸进入药筒后，可能未达到擦拭要求就已经脱离药筒，使得脱脂达不到要求。如果要达到满意的去油效果，就需要延长滴丸在药筒内的擦拭时间，这就需要增加药筒的长度，但药筒为离心旋转运动，较大的长径比不利于系统运动的稳定性，同时给加工制造带来一定的困难，设计中存在冲突。该冲突可以表述如

下：增加药筒长度可以提高脱脂的质量，但是会使得设备的稳定性及复杂性恶化。

通过利用 39 个通用工程参数描述冲突并查询冲突矩阵，可得到 4 条发明原理：4(不对称)，10(预操作)，15(动态化)，29(气动与液压结构)。发明原理为解决冲突提供了方向，参考得到的发明原理，并结合自身设计经验以及对具体问题的分析，这里可以采用发明原理 10 和 29 来解决冲突，得到的冲突解如图 17 所示。输送滴丸的传送带上设有漏油孔，在风压作用下，滴丸上的大量油脂脱离滴丸通过漏油孔流出，只留下在滴丸表面上的吸附力比较强一层油脂。经过预处理的滴丸被输送到图 16 的离心脱脂机构，经过药筒上的吸油材料，在摩擦吸附作用下去除滴丸表面上的一层油脂，从而实现对滴丸的进一步脱脂。

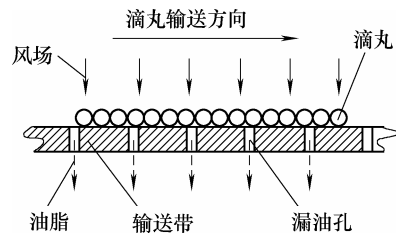


图 17 预处理机构原理图

(7) 构建完整技术系统。按照上述分析得到的新产品原理解，它将滴丸脱脂机分为两个部分：预处理机构和离心脱脂机构。通过建立整个滴丸脱脂机的功能结构，如图 18 所示。确定其他辅助功能的原理解，进而将各原理解集成即得到新滴丸脱脂机技术系统。图 19 为新滴丸脱脂机示意图。图 19a 为预处理机构的示意图，图 19b 为离心脱脂机构的示意图。

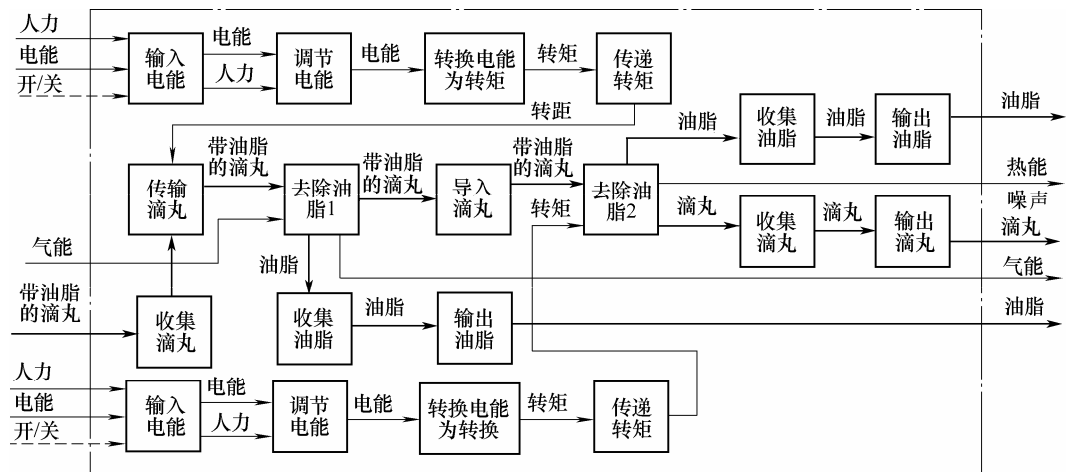


图 18 新滴丸脱脂机的功能结构



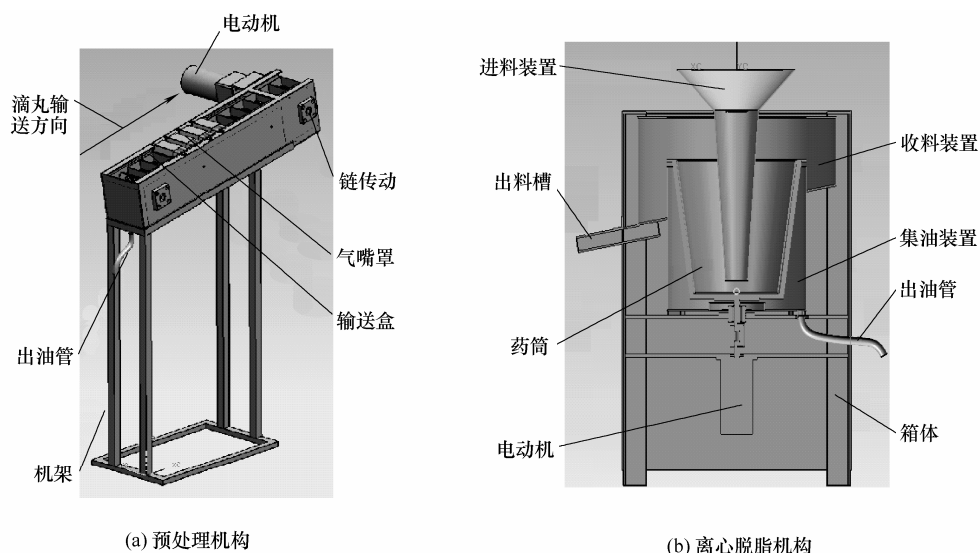


图19 新滴丸脱脂机示意图

通过产品技术杂交集成得到的滴丸脱脂机集离心脱脂和擦拭脱脂优点于一身，滴丸在脱脂的过程中不容易破碎，并且可以自动回收油脂，此外能够实现连续进、出料，不需要人工操作，自动化程度高。

## 4 结论

(1) 提出技术杂交的概念和基于技术杂交的一类产品技术集成创新设计过程模型。该模型针对实现功能相同或相似但技术特性互补的两个产品技术，通过获取能够体现两产品优势技术特性的技术基，进而利用技术基重组，实现产品创新。该模型为产品技术集成创新设计提供了一种新方法。

(2) 中药滴丸脱脂机设计实例表明，该方法完善了已有技术集成创新设计理论，能够有效地以已有技术资源为基础实现产品创新，进一步地体现出技术集成创新的优越性。

(3) 基于技术杂交的产品技术集成创新设计方法的研究尚在探索阶段，对于复杂产品技术，由于各子系统之间的耦合性及进化不平衡性，优势技术基的获取和重组及其他相关问题目前尚在继续解决之中。

## 参 考 文 献

- [1] IANSITI M. Technology integration: Making critical choice in a dynamic world [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1998.
- [2] BEST M H. The new competitive advantage: The renewal of American industry [M]. New York: Oxford University Press, 2001.
- [3] KORUNA S. Leveraging knowledge assets: Combinative capabilities — theory and practice [J]. R&D Management, 2004(34): 505-516.
- [4] PARTHASARTHY R, HAMMOND J. Product innovation input and outcome: Moderating effects of the innovation process [J]. Journal of Engineering and Technology Manage, 2002(19): 75-91.
- [5] ZANRA S A, NIELSEN A P. Sources of capabilities, integration and technology commercialization [J]. Strategic Management Journal, 2002(23): 377-398.
- [6] 陈劲. 集成创新的理论模式 [J]. 中国软科学, 2002(12): 23-29.  
CHEN Jin. The theoretic mode of integrative innovation [J]. China Soft Science Magazine, 2002(12): 23-29.
- [7] 慕玲, 路风. 集成创新的要素 [J]. 中国软科学, 2003(11): 105-111.  
MU Ling, LU Feng. Elements of integration innovation [J]. China Soft Science, 2003(11): 105-111.
- [8] 卢显文, 王毅达. 产品开发集成创新的过程与机制研究 [J]. 科研管理, 2006, 27(5): 10-15.  
LU Xianwen, WANG Yida. The process and mechanism on production in integrated innovation [J]. Science Research Management, 2006, 27(5): 10-15.
- [9] 张米尔, 杨阿猛. 基于技术集成的产品创新和产品衍生研究 [J]. 科研管理, 2005, 26(1): 38-41.  
ZHANG Mier, YANG Ameng. Research on product innovation and product extension based on technology integration [J]. Science Research Management, 2005, 26(1): 38-41.
- [10] PAHL G, BEITZ W. Engineering design – a systematic

- approach [M]. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 2000.
- [11] FENG Peien, XU Guorong, ZHANG Mingjun. Feature modeling based on design catalogues for principle conceptual design [J]. *Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing*, 1996, 10: 347-354.
- [12] 檀润华. 发明问题解决理论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- TAN Runhua. Theory of inventive problem solving [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [13] ZLOTIN B, ZUSMAN A. The concept of resources in TRIZ: past, present and future[EB/OL].[2005-03-20]. <http://www.Ideationtriz.com/new/materials/finalconceptresources.pdf>.
- [14] 檀润华, 苑彩云, 张瑞红, 等. 基于技术进化的产品设计过程研究[J]. *机械工程学报*, 2002, 38(12): 60-65.
- TAN Runhua, YUAN Caiyun, ZHANG Ruihong, et al. Study on product design process based on technology evolution[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2002, 38(12): 60-65.
- [15] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- CAI Wen. Matter element model and its application [M]. Beijing: Literature Press of Science and Technology, 1994.
- [16] 曹国忠, 檀润华, 孙建广. 基于扩展效应模型的功能设计过程及实现[J]. *机械工程学报*, 2009, 45(7): 157-167.
- CAO Guozhong, TAN Runhua, SUN Jianguang. Process and realization of functional design based on extended-effect model [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2009, 45(7): 157-167.
- [17] 赵亚华. 分子生物学教程[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- ZHAO Yahua. Molecular biology course [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- 
- 作者简介: 刘芳(通信作者), 女, 1979 年出生, 博士, 讲师。主要研究方向为创新设计理论和快速响应设计。  
E-mail: liufangzzh@sina.com
- 江屏, 男, 1977 年出生, 博士, 讲师。主要研究方向为公理设计和面向大规模定制的产品平台设计。  
E-mail: jiangping@hebut.edu.cn
- 檀润华, 男, 1958 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为创新设计、面向大规模定制的产品设计及相关软件开发等。  
E-mail: rhtan@hebut.edu.cn