

DOI:10.13196/j.cims.2015.02.010

基于产品基因与物理表达的变型设计

刘 伟^{1,2}, 曹国忠^{1,2+}, 檀润华^{1,2}, 李梦林^{1,2}

(1. 河北工业大学 机械工程学院, 天津 300130;

2. 河北工业大学 国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心, 天津 300130)

摘 要:为提供产品功能原理层的变型设计方法, 结合产品基因相关概念与物理学中物理信息的表达与推理过程, 提出物理单位描述的产品基因表达方法, 推导了基于物理推理的产品技术系统构建过程, 形成了基于产品基因与物理表达的变型设计模型。最后, 借助电加热水设备的变型设计, 得到新产品家用中药熬制器的设计过程, 验证了所提方法的实用性与可行性。

关键词:产品基因; 物理描述; 变型设计; 功能建模; 产品创新

中图分类号:TH122 **文献标识码:**A

Variant design based on products genes and physical description

LIU Wei^{1,2}, CAO Guo-zhong^{1,2+}, TAN Run-hua^{1,2}, LI Meng-lin^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

2. National Technological Innovation Method and Tool Engineering Research Center,

Hebei University Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: To provide variant design method in the level of product principle function, the method of product gene expression for physical units description was proposed by combining the concepts of products genes with the process of description and reasoning in physical laws, and the process of product technology system construction based on physical reasoning was also deduced. The variant design model based on products genes and physical description was formed. Through the variant design of electrical water heating devices, the new products of household herbs decocted devices was obtained to verify the feasibility and practicality of the proposed method.

Ke words: product genes; physical description; variant design; function modeling; product innovation

0 引言

市场竞争的加剧迫使企业纷纷寻找有效的途径来最大限度地提高产品质量, 降低生产成本, 缩短生产周期, 以适应快速变化的市场需求^[1-2]。变型设计能够使企业在现有平台的基础上, 按照市场需求进行结构重组, 形成新的产品^[3], 从而提高企业的市场竞争力, 其价值已被重视。Meyer 等的研究表明, 在实际的设计工作中约有 70% 属于变型设计^[4]。现

有的变型设计主要体现为对产品组成元件参数的调整或产品元件组成关系的调整^[5], 产品的创新级别普遍较低。研究表明, 产品的创新级别越高, 产品潜在的市场附加值越高, 给企业创造的利润也越多^[6-8]。跨行业跨学科知识的应用能够催生高级别的创新^[8-9], 较高级别的创新主要体现在产品的原理层面或者功能层面上^[10], 而非结构层面上的参数调整或结构调整。模块化变型设计又称模块化设计^[11-12], 其特点是以功能分析为基础, 通过功能相

收稿日期: 2014-07-25; 修订日期: 2014-11-08。Received 25 July 2014; accepted 08 Nov. 2014.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51275153, 51475137); 国家创新方法专项资助项目(2013IM030400)。Foundation items: Project supported by the National Natural Science Foundation, China(No. 51275153, 51475137), and the National Innovative Approach Work Special, China(No. 2013IM030400).

同而性能用途不同的各模块互联组合,实现各种基型产品和变型产品。近年来,产品信息基因的研究成果^[13-14]为解决在产品功能层面上的变型设计提供了理论支持^[15],但已有的产品基因以及基于此的产品实例种群分析方法^[16]只提供了产品基因的信息建模方法,缺乏实际变型设计可应用的实际操作流程。为解决这一问题,本文提出将物理定律推理与产品基因的基本原理相结合,基于物理推理的产品技术系统构建过程,形成基于产品基因与物理定律推理的变型设计模型,从而形成面向高级别创新模式的产品变型设计方法理论。

1 产品基因驱动变型设计的原理

1.1 产品基因与产品实例种群

产品信息基因简称产品基因,指产品在时间和空间的变化中发生的移植、扩展、再现、增殖过程中的基

本信息单元,是产品科学和技术的继承者和传播者^[13]。利用产品基因可以尽可能地利用经过生产实践的产品信息,便于实现产品的模块化生产制造,并能通过对产品信息的快速重构形成创新设计。顾新建等^[13-14]提出产品信息基因的模型结构如图 1 所示,并基于该模型提出面向先进制造方法的应用策略。

产品实例种群^[16]是在产品基因基础上发展起来的。产品实例群指在一定时间和空间内具有相同基本功能特征,构成元件单元相同或相似特征属性的产品实例的集合。由生物遗传进化理论可知生物的遗传和进化由生物基因决定^[17],产品创新设计与生物遗传进化在形式方面具有类似特征。生物 DNA 转录过程是生物基因功能实现的过程,期间生物信息进行了两次转化,同理产品基因的功能实现也需要进行信息转化,两者在过程方面也具有相似性,如图 2 所示。

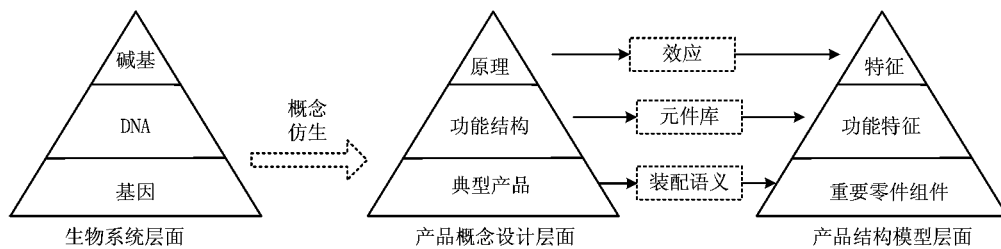


图1 产品信息基因的模型结构示意图

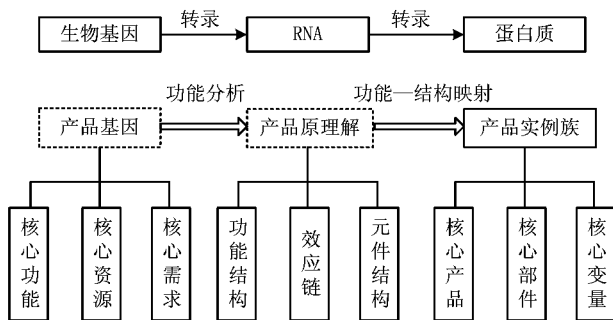


图2 生物与产品基因的信息转化流程图

1.2 产品基因变异驱动变型设计

生物基因的突变能够使生物变异,在长期自然选择下能够产生新的物种^[18]。因此,产品基因变异达到一定程度后会产生新的产品。在生物进化中,生物基因变异的产生是随机的,结果也不能提前预知,这与产品设计有明显区别。新产品的出现是为满足市场上出现的新的用户需求,这种需求具有方向性,因此产品基因的变异具有明确的方向性,具有方向的产品基因突变会产生新的产品。与现有产品

相比,通过产品基因突变产生的新产品与原有产品实例族中的大多数产品基因相同,符合模块化变型设计的基本特征,可将其视为一种变型设计的方法。产品基因变异驱动变型设计原理过程与生物基因变异过程具有一定的相似性,原理过程如图 3 所示。

2 物理量描述的产品基因

2.1 物理量

物理量是物理学中最基本的概念,是量度物质属性、描述物质运动状态所用的各种量值,是现象、物体或物质的可以定性区别和定量确定的属性^[19-20]。国际量值中规定了 7 个基本量,如表 1 所示。

表 1 基本物理量和物理单位

序号	物理量	单位	英文名称	符号
1	长度	米	Meter	M
2	质量	千克	Kilogram	kg
3	时间	秒	Second	S

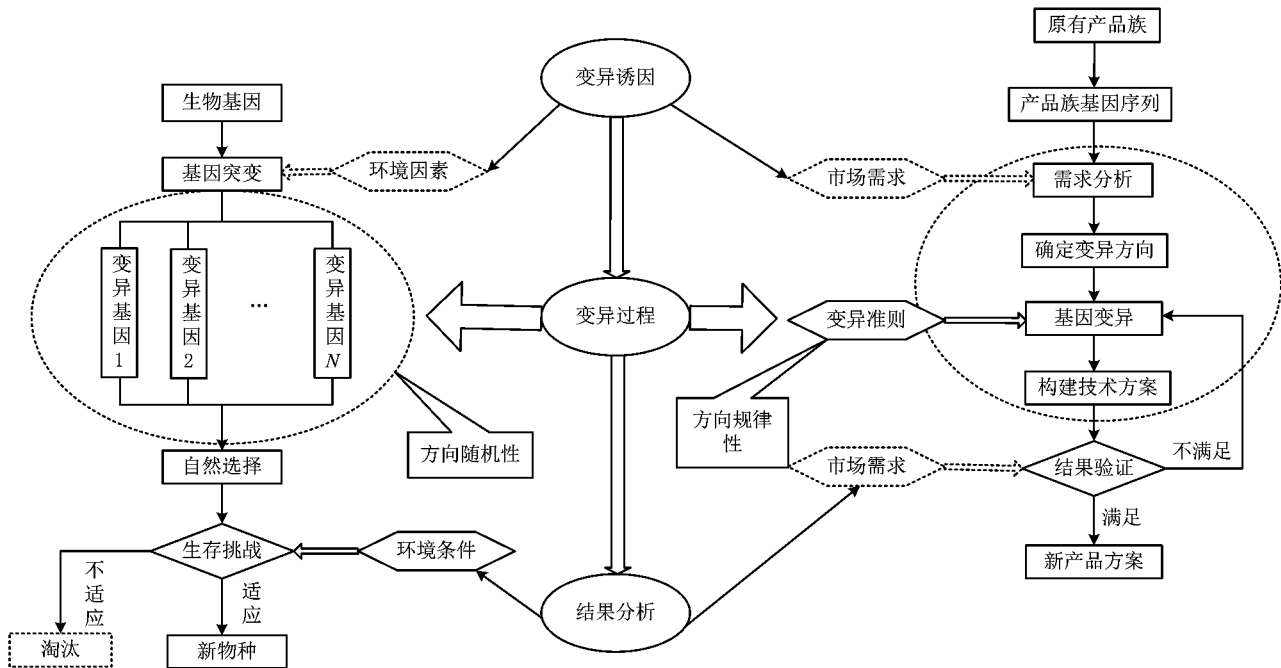


图3 生物—产品基因变异过程实现原理图

续表 1

4	电流	安培	Ampere	A
5	温度	开尔文	Kelvin	K
6	光强	坎德拉	Candela	Cd
7	物质的量	摩尔	Mole	Mol

虽然 7 个基本物理量可以覆盖当前科学技术的所有领域,但在实际中为了方便、更准确、更利于交流,还需将 7 个基本量组合产生导出量,国际单位制规定了一些具有专门名称的导出量和单位,这些导出量有专门名称和符号,这些物理量大约有 200 多种。部分导出量如表 2 所示。

表 2 SI 单位制中专门名称的导出量和单位(部分)

序号	物理量	单位	符号	用 SI 基本单位表示
1	(平面)角	弧度	Rad	M/M
2	频率	赫兹	Hz	S ⁻¹
3	力	牛顿	N	kg·m/s ²
4	压力(强)、应力	帕斯卡	Pa	N/m ²
5	能、功、热量	焦耳	J	N·m
6	功率、辐射能、通量	瓦(特)	W	N·m/s
7	电荷量	库仑	C	A·S
8	电容	法拉	F	A ² ·S ² /J
9	光通量	流明	Lm	Cd·m ² /m ²
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

2.2 基于物理量的推理过程模型

物理定律是描述物体状态或属性的可测物理量的数学表达,是在科学界公开发表和被广泛验证的理论^[21],将物理量推导的数学公式化是物理定律的核心内容。在表示物理定律的数学公式中,相关物理量有自变量和应变量的区分,利用数学方程的思想,可以对物理定律中的物理量进行分离,转化为输入物理量与输出物理量的关系,既可以做定性分析,又可以做定量计算,如图 4 所示。这种表示方法与 Pahl 和 Beitz 于 1996 年提出的能量物质信号(Energy Material Signal, EMS)模型(或称功能黑箱模型^[22],如图 5a),以及发明问题解决理论(Theory of Invention Problem Solving, TRIZ)中的效应^[23]表示形式(如图 5b)非常相似。



图4 物理定律的输入输出关系模型

根据上文分析,可以将产品功能模型或产品技术效应的模型用物理定律或物理定律链的方式表达,物理定律中有关物理量推导的数学过程也可以用作实际产品功能分析或性能计算的定量标准。

2.3 基于物理描述的产品基因模型

从理论上而言,作为现代工程技术的基础,物理学利用现有的物理学术语,通过合理的表达方式,能

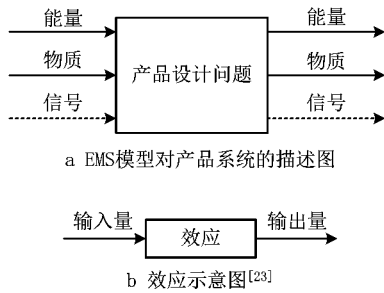


图5 创新方法理论中常用的产品描述框图

够表述现有工程技术中的所有问题。产品信息模型在产品的创新设计中,尤其在概念设计阶段具有重要意义。将产品基因模型的基本原理与变型设计方法结合,在产品的功能层面甚至原理层面进行变型设计,能够产生更高级别的产品创新设计结果。为进一步提高产品基因模型驱动变型设计的效率和可行性,现对已有产品基因模型进行改进,形成基于物理术语的产品基因模型,这种新的模型能够更加科学合理实现产品设计信息在多个设计层面的传递和转化。产品基因数据包含多条子码:地址子码(N)表示基因的序号和逻辑地址,输入物理量子码(IPU)表示功能元的输入物理量,输出物理量子码(OPU)表示功能元的输出物理量,下一基因地址子码(NP)表示下一个功能元的逻辑位置,转录因子子码(RP)表示输入与输出物理量转化的物理原理,使能因子子码(EF)表示产品技术实现的约束、可用的资源、必要的参数、制造工艺性等与具体技术方案相关的实现的因素。产品基因的数据结构图如图6所示。

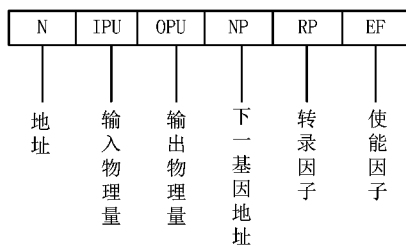


图6 基于物理描述的产品基因数据结构图

3 基于物理描述基因推理的产品技术系统构建

3.1 产品种群中的典型产品基因序列

产品种群概念源于生物学,指在一定技术背景和市场环境条件下,在特定的时间段中,具有相同基

本功能、核心技术构成单元、相同或相似特征属性的产品集合。典型产品指在产品种群中具有基本功能、体现核心技术特征的性能均衡、具有一定代表性的产品。变型设计的本质就是针对典型产品的参数、结构、功能的改变得到新产品的办法。针对产品功能的变型设计是最典型的,因此利用产品基因的一般思想建立典型的产品基因序列,作为变型设计的研究对象。

产品的基因序列指由若干基因单元构成的能够表征产品功能、结构、实现原理等多层面特征属性的信息模型。产品功能分析是获得产品基因序列的基础。首先借助现有的功能分解方法对产品的功能进行分析,获得产品的所有功能元,产品功能分解的终止条件可以描述为:当产品功能分解至所获的功能元可直接作用于功能对象的属性,并且可以用物理量的变化来描述,或者直接作用于对象本身时,功能分解完成。在实际中,可以利用上述终止条件判断产品功能分解的结果。然后根据已知产品的技术方案或实现原理,确定产品各功能元实现的物理定律;接着根据已知条件确定产品各功能元之间的连接次序和关系;最后根据产品的设计约束、可用资源等使能条件形成若干如图6所示的产品基因图,最终形成产品的基因序列图。整个操作流程如图7所示。

3.2 产品基因变异驱动的变型设计

产品基因描述了包含在产品系统中的功能、原理和具体技术结构相关的重要信息。典型产品的基因序列包含了所属产品种群的重要特征,如果产品基因序列发生变异,对变异的基因进行一系列的信息转化和处理,就能形成新的产品技术方案,符合变型设计的特征。

产品基因变异驱动的变型设计按照产品基因的变异特点不同可分为两类三种:①产品基因序列变异类,体现为基因单元的个数增加或减少,直接反映为产品的功能元个数的增减,实质为产品的功能结构发生了改变;②产品基因单元中的码段变异类,按照变异码段的位置不同可分为RP码段变异与EF码段变异两种,RP码段变异体现为产品某一功能元的实现原理发生改变进而衍生的变型设计,EF码段变异是产品某一功能元的使能条件(包含约束、资源、参数、工艺性等)发生改变产生的变型设计,现有的变型设计大多属于这种。各种产品基因变异驱动的变型设计特征如表3所示。

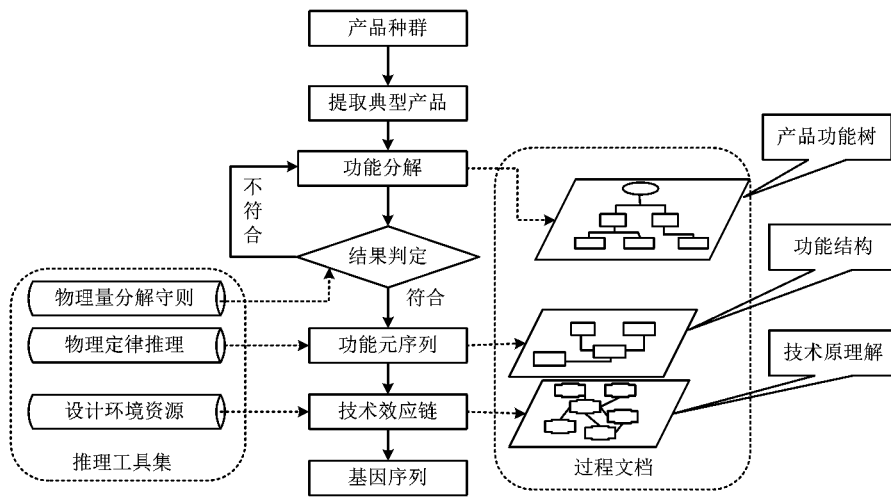


图7 产品种群典型产品基因序列的获得操作流程

表 3 产品基因变异驱动的变型设计特征表

类别	变异特征	技术特点	创新级别	实现方法
1	基因个数变化	功能结构变化	2~3	合并、裁剪、分离原理等
2	RP 码段变异	实现原理变化	2~4	效应、定律推理等
3	EF 码段变异	技术参数变化	1~2	发明原理等

3.3 基因推理驱动的产品技术系统构建原理

产品的基因序列包括产品的功能、技术原理、结构等信息,同时也包括产品中的物理特性,因此可利用现有物理定律,借助数理方法推导实现产品技术系统构建,从而为变型设计提供高效可行的方法。

利用物理推理构建产品的技术系统,需要将产品基因序列中的信息进行两次转化,类似生物中的 DNA 转录过程,从而将生物遗传基因中的信息转化为功能蛋白质集团。产品基因信息的两次转录分别为技术原理转录和结构参数转录。

产品基因序列包含产品诸多层面的信息,其中基因序列中的地址子码和物理量子码段经分析可以形成产品的功能结构;根据输入/输出物理量的转化关系并结合已有的物理原理,可以确定产品的技术原理转录序列由各基因单元的转录因子构成;利用地址子码与转录因子子码可以构成产品的技术效应链;产品基因序列中的转录因子虽能确定产品的技术原理,但是形成具体的产品技术结构还需要确定实现每一产品功能元的设计参数,确定设计参数的关键是确定产品基因序列中的使能条件子码,通过联立方程可以由确定的使能因子计算产品的设计参

数。产品基因信息的转化利用原理如图 8 所示。

根据图 8 中的转化原理以及产品基因序列的特点,产品技术系统构建流程如图 9 所示。

4 基于产品基因与物理描述的变型设计模型

综合利用产品基因思想和物理推理的逻辑过程,提出支持产品变型设计的设计模型,如图 10 所示。

设计模型按照操作流程分为三个阶段 9 步骤:

第一阶段:构建产品实例种群中的典型产品基因序列。

步骤 1 确定进行变型设计的产品种群,根据市场环境和企业的优势资源确定变型设计的产品种群。

步骤 2 定位产品种群中的典型产品,通过专利分析或根据产品中的典型型号来确定。

步骤 3 利用 EMS 模型及其他功能分析手段分析典型产品的功能,确定其功能元。

步骤 4 根据典型产品的功能元分析结果,借助产品基因分析法建立典型产品的基因序列,完成设计流程的第一阶段任务。

第二阶段:确定产品的基因变异方向并制定变型设计的设计目标。

步骤 5 用户需求分析,根据市场情形、用户需求及产品的主要技术特征,为目标产品匹配产品实例种群,并确定产品变型设计的方向。

步骤 6 确定产品基因的变异方向,即确定产品变型设计的类型。

步骤 7 对典型产品的基因进行变异。

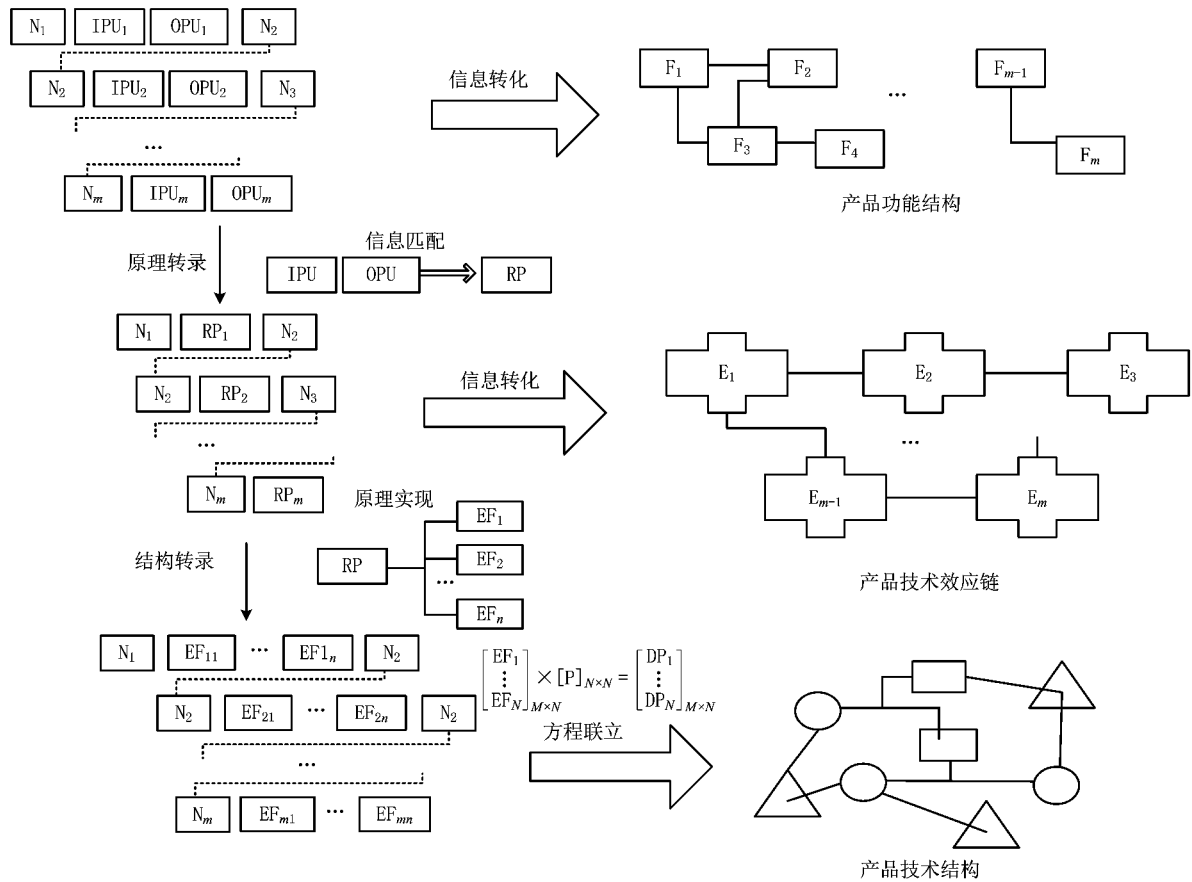


图8 基于产品基因和物理推理的产品技术系统构建原理图

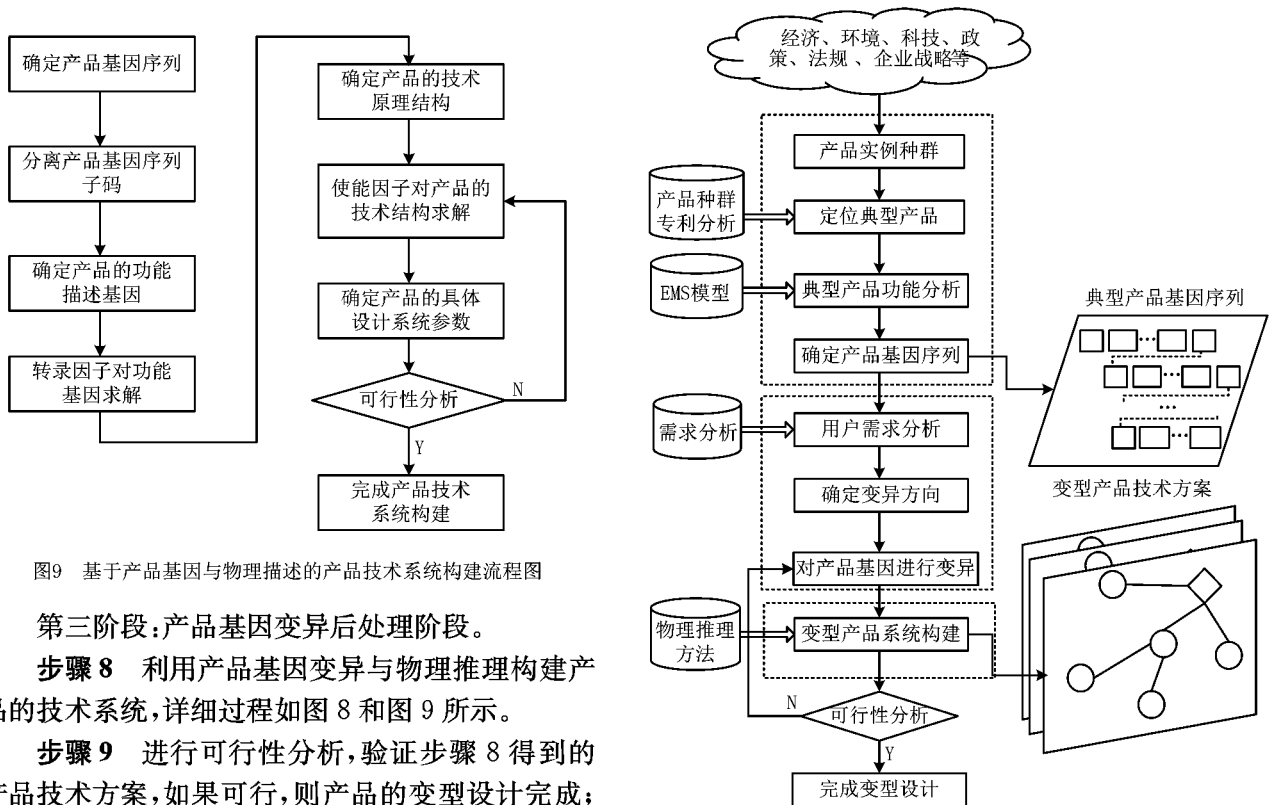


图9 基于产品基因与物理描述的产品技术系统构建流程图

第三阶段：产品基因变异后处理阶段。

步骤 8 利用产品基因变异与物理推理构建产品的技术系统,详细过程如图 8 和图 9 所示。

步骤 9 进行可行性分析,验证步骤 8 得到的产品技术方案,如果可行,则产品的变型设计完成;如果不满足可行性,则重复步骤 8,直到满足设计的

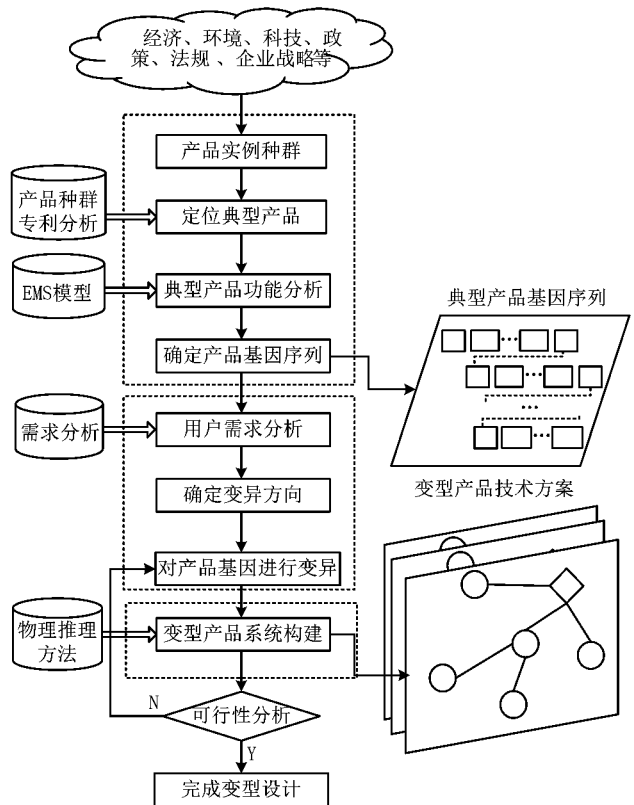


图10 基于产品基因与物理描述的变型设计模型

可行性。

5 设计实例

按照上述变型设计模型,完整的产品设计流程由三个阶段 9 个具体设计步骤组成。

5.1 确定目标产品种群以及典型产品

设计流程中第一阶段的主要任务是确定目标产品种群,从而限定一个设计范围,同时确定目标产品种群中的典型产品,作为具体分析研究的对象。具体步骤及工作如下所述:

步骤 1 确定产品实例族。

目前,一系列以电能为能源、以加热水为加热介质或最终作用的产品,由于原理简单、易于实现而占据了一定市场,这类产品包括电热水壶、电热茶壶、电火锅、电热水器、电咖啡机、电饭锅、电压力锅和电热水器等。将该类产品定义为一个产品实例种群,称为电热水容器产品实例族。

步骤 2 定位典型产品。

在电热水容器产品实例族中,经分析比对,选择功能最基本的电热水壶作为该实例族的典型产品。

步骤 3 典型产品的功能分析。

根据本文所提的方法,首先对电热水壶的功能进行分析,采用 EMS 分析法得到产品的功能分解结果如图 11 所示。

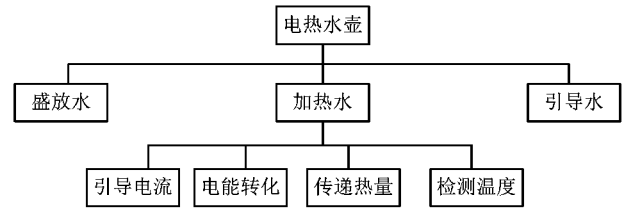


图11 电热水壶的功能分解图

步骤 4 确定典型产品的基因序列。

根据图 8 中所述的方法,建立电热水壶的功能要求列表如表 4 所示,利用本文所提供的方法建立该产品的基因序列如图 12 所示。

表 4 电热水壶功能要求列表

基因序号	功能要求 (FRS)	需求等级	使能因子			环境条件约束	原理 P_x
			EF _{z1}	EF _{z2}	EF _{z3}		
1	盛放水	I	密封	热稳定	无毒	100 ℃,液体、食用	—
2	引导水	I	密封	热稳定	无毒	100 ℃,液体、食用	—
3	引导电流	I	传导效率	—	—	220 V,家庭用	P_1
4	加热水	I	发热功率	电压	—	家庭用、操作简单	P_2
5	传递热量	I	转化效率	导热时间	—	操作简单或自动化	P_3
6	检测温度	II	响应时间	测量精度	—	操作简单	P_4

01	Mo1	Mo1	02	-	EF ₁₁	EF ₁₂	EF ₁₃
02	Mo1	Mo1	-	-	EF ₂₁	EF ₂₂	EF ₂₃
03	A	A	04	P ₁	EF ₃₁		
04	A	℃	05	P ₂	EF ₄₁	EF ₄₂	
05	℃	℃	06	P ₃	EF ₅₁	EF ₅₂	
06	℃	A	-	P ₄	EF ₅₁	EF ₅₂	

图12 电热水壶的产品基因序列

5.2 用户需求分析与目标产品变异的确定

确定了目标产品种群以及其中的典型产品,也

就确定了具体的变型设计的范围,接着需要对设计任务进行分析,并利用本文所提方法确定典型产品基因的变异结果,为后续的变型设计过程提供具体参考依据。该阶段的具体工作如下:

步骤 5 用户需求分析。

随着人们生活水平的提升,中药养生保健和辅助治疗的功效越发被关注,但传统的中药熬制手段费时费力,已与先进的科技时代格格不入。为满足这一需求,拟设计一种新的中药熬制器并能够普及到家庭中使用。经分析,目标产品的主要技术特征为加热水并以热水作为加热介质,符合电热水容器产品种群的基本特征。提取需求分析的主要信息,整理后形成的家用中药熬制器功能要求如表 5 所示。

表 5 家用中药熬制器功能要求列表

基因序号	功能要求(FRS)	需求等级	使能因子				环境条件约束	原理 P_x
			EF ₂₁	EF ₂₂	EF ₂₃	EF ₂₄		
1	盛放水	I	密封	热稳定	无毒	耐腐	液体、沸腾、食用	—
2	引导水	I	密封	热稳定	无毒	耐腐	液体、沸腾、食用	—
3	引导电流	I	效率	—	—	—	220 V,家庭用	P_1
4	加热水	I	发热功率	电压	—	—	家庭用、操作简单	P_2
5	传递热量	I	转化效率	导热时间	—	—	操作简单或自动化	P_3
6	检测温度	II	响应时间	测量精度	—	—	操作简单	P_4
7	主、副成分药盛放	II	透水	热稳定	无毒	耐腐	固体、透水、沸腾、食用	—
8	引导药液	II	热稳定	无毒	耐腐	—	液体、沸腾、食用	—
9	药渣榨取	II	效率	功率	电压	尺寸	压榨力效率	P_5

步骤 6 确定变异方向。

经初步分析,目标产品中的基因序列与产品族群中的典型产品相比,其主要变异方向包括两类:①基因序列的个数发生变化,具体体现为增加了一些基因码段;②技术参数变化,具体体现为 EF 码段内容的变异。

步骤 7 对产品基因进行变异。

利用前文所述方法,根据步骤 6 分析得出的变异方向并结合表 5 中的具体分析内容,可以得到目标产品的基因序列,如图 13 所示。

01	Mo1	Mo1	02	-	EF ₁₁	EF ₁₂	EF ₁₃	EF ₁₄
02	Mo1	Mo1	-	-	EF ₂₁	EF ₂₂	EF ₂₃	EF ₂₄
03	A	A	04	P_1	EF ₃₁			
04	A	℃	05	P_2	EF ₄₁	EF ₄₂		
05	℃	℃	06	P_3	EF ₅₁	EF ₅₂		
06	℃	A	-	P_4	EF ₆₁	EF ₆₂		
07	Mo1	Mo1	08	-	EF ₇₁	EF ₇₂	EF ₇₃	EF ₇₄
08	Mo1	Mo1	09	-	EF ₈₁	EF ₈₂	EF ₈₃	
09	A	N	-	P_5	EF ₉₁	EF ₉₂	EF ₉₃	EF ₉₄

图 13 家用中药熬制器的产品基因序列

利用图 13 中产品基因序列中的信息,可以得到家用中药熬制器的功能结构如图 14 所示。

5.3 变型产品技术系统的构建

根据第二阶段获得的目标产品的基因序列及功

$$[EF]_{N \times M} = \begin{bmatrix} \text{密封} & \text{密封} & \text{效率} & \text{功率} & \text{效率} & \text{时间} & \text{透水} & \text{热稳定} & \text{效率} \\ \text{热稳定} & \text{热稳定} & \text{N} & \text{电压} & \text{时间} & \text{精度} & \text{热稳定} & \text{无毒} & \text{功率} \\ \text{无毒} & \text{无毒} & \text{N} & \text{N} & \text{N} & \text{N} & \text{无毒} & \text{耐腐} & \text{电压} \\ \text{耐腐} & \text{耐腐} & \text{N} & \text{N} & \text{N} & \text{N} & \text{耐腐} & \text{N} & \text{尺寸} \end{bmatrix}_{4 \times 9} \quad (1)$$

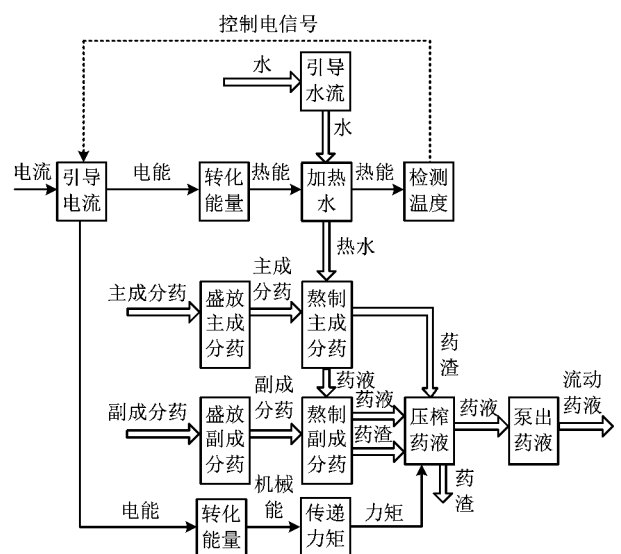


图 14 家用中药熬制器的功能结构示意图

能结构,本节利用前文所述方法对目标的功能进行求解,并完成其技术原理与结构设计,具体步骤如下:

步骤 8 构建变型产品系统并完成产品设计。

根据本文提供的方法步骤,分析图 13 中产品基因的输入/输出转化因子,查询已有的物理效应知识库,得到原理转录因子序列为 $[P_i] = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5] = [\text{欧姆定律} \ \text{焦耳定律} \ \text{热传导} \ \text{热电偶} \ \text{安培力}]$ 。利用图 13 的产品基因序列中的使能因子序列,将缺省的转录因子标注为 P_0 ,若有多个缺省转录因子,则需对 P_0 进行编号,用 P_{0i} 加以区别,得到使能因子参数矩阵

利用目标产品的原理转录因子序列对产品基因序列的使能因子矩阵进行求解,得到产品的设计参数

$$[DP]_{N \times M} = [EF]_{N \times M} \times [P]_{M \times M} = \begin{bmatrix} \text{密封} & \text{密封} & \text{效率} & \text{功率} & \text{效率} & \text{时间} & \text{透水} & \text{热稳定} & \text{效率} \\ \text{热稳定} & \text{热稳定} & 0 & \text{电压} & \text{时间} & \text{精度} & \text{热稳定} & \text{无毒} & \text{功率} \\ \text{无毒} & \text{无毒} & 0 & 0 & 0 & 0 & \text{无毒} & \text{耐腐} & \text{电压} \\ \text{耐腐} & \text{耐腐} & 0 & 0 & 0 & 0 & \text{耐腐} & 0 & \text{尺寸} \end{bmatrix}_{4 \times 9} \times \begin{bmatrix} P_x & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_x & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & P_5 \end{bmatrix}_{9 \times 9} = \begin{bmatrix} \text{隔水} & \text{隔水} & \text{阻值} & \text{功率} & \text{功率} & \text{感应时间} & \text{透水} & \text{耐热} & \text{能耗} \\ \text{耐热} & \text{耐热} & 0 & \text{额定电压} & \text{表面积} & \text{灵敏度} & \text{耐热} & \text{无毒} & \text{功率} \\ \text{无毒} & \text{无毒} & 0 & 0 & 0 & 0 & \text{无毒} & \text{耐腐} & \text{额定电压} \\ \text{耐腐} & \text{耐腐} & 0 & 0 & 0 & 0 & \text{耐腐} & 0 & \text{尺寸} \end{bmatrix}_{4 \times 9} \quad (2)$$

将得到的[DP]作为产品功能求解的结果,并对满足每项功能要求的[DP]序列进行元件设计,引入设计参数序列[DP]_{N×M}的转置转秩矩阵[DP]_{N×M}与约束权重序列[W_s]_{N×1}相乘,得到目标产品的元件序列[TU],

$$[TU]_{M \times 1} = [DP]_{M \times N} \times [W_s]_{N \times 1} = \begin{bmatrix} \text{隔水} & \text{耐热} & \text{无毒} & \text{耐腐} \\ \text{隔水} & \text{耐热} & \text{无毒} & \text{耐腐} \\ \text{阻值} & 0 & 0 & 0 \\ \text{功率} & \text{额定电压} & N & N \\ \text{功率} & \text{表面积} & N & N \\ \text{相应时间} & \text{灵敏度} & 0 & 0 \\ \text{透水} & \text{耐热} & \text{无毒} & \text{耐腐} \\ \text{耐热} & \text{无毒} & \text{耐腐} & 0 \\ \text{能耗} & \text{功率} & \text{额定电压} & \text{尺寸} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{不锈钢注水口} \\ \text{不锈钢加热皿} \\ \text{铜导线} \\ \text{电加热器} \\ \text{热交换器} \\ \text{热电偶} \\ \text{盛药皿} \\ \text{导液管} \\ \text{电压力泵} \end{bmatrix} \quad (3)$$

用式(3)中得到的产品元件求解图 14 中的相关信息,得到目标产品的技术原理解如图 15 所示,根据图 15 中产品的技术原理解,可以设计出一种新型的家用中药熬制器,技术结构如图 16 所示。该中药

熬制器由主存药及压榨装置、熬制器体及加热皿、加热装置与控制面板、压力泵及药液导流管、副存药及压榨装置五部分组成。经分析比较,利用产品基因变异形成的新的家用中药熬制器能够满足用户需求及相应的技术约束条件,完成产品概念设计阶段的任务。

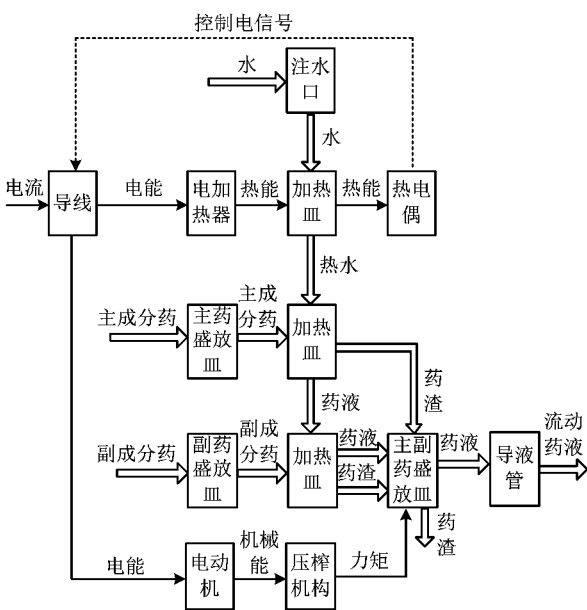


图 15 家用中药熬制器的技术原理解

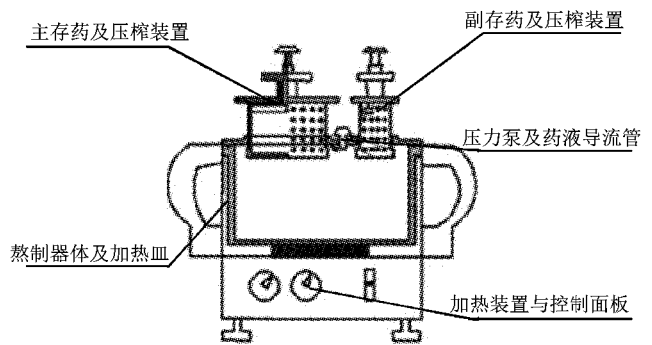


图 16 一种新型家用中药熬制器的技术结构示意图

6 结束语

本文在分析现有产品基因方法特点的基础上,综合其他学科研究问题的方法,特别是物理定律的推理与生物基因的转录原理,提出基于产品基因与

物理描述进行变型设计的方法,包括:对物理学中物理量的分类及其关系研究,物理定律中的物理量推导模型,基于物理量描述的产品基因序列组建手段,产品种群中的典型产品基因序列分析,产品基因变异驱动的变型设计步骤,以及基于物理推理的产品技术系统构建模型等关键使能技术的研究。

将所论述的方法与工具进行集成,形成基于产品基因与物理描述的变型设计模型,为在功能层次上的模块化变型设计提供了系统化的支持,比传统的变型设计方法具有更强的系统性,提高了产品的创新级别。本文已在产品基因方法在产品变型设计中的应用方面,以及基于物理量对工程设计表述方法研究方面进行了有益的探索,下一步将要研究物理知识库信息化和方法流程智能化的问题。

参考文献:

- [1] XU Xinsheng, TAO Xizhu, ZHU Tianrong, et al. Product variant design based on multi-choice goal programming[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(1): 1-6 (in Chinese). [徐新胜,陶西柱,祝天荣,等.基于多重选择目标规划的产品变型设计[J].计算机集成制造系统,2013,19(1): 1-6.]
- [2] WANG Zongyan, YU Guojun, WU Shufang, et al. Parametric collaborative design of mechanical products for concurrent engineering[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(2): 552-557 (in Chinese). [王宗彦,虞国军,吴淑芳,等.面向并行工程的机械产品参数化协同设计[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(2):552-557.]
- [3] MEYERH P. The power of product platforms: building value and cost leadership[M]. New York, N. Y., USA: The Free Press, 1997.
- [4] QIAO Hu, MO Rong, CHEN Tao, et al. Research on method for building variant design knowledge base[J]. China Mechanical Engineering, 2011, 22(16): 1974-1980 (in Chinese). [乔虎,莫蓉,陈涛,等.变型设计知识库构建方法研究[J].中国机械工程,2011,22(16):1974-1980.]
- [5] ALTSHULLER G. The innovation algorithm, triz, systematic innovation and technical creativity[M]. Worcester, Oh., USA: Technical Innovation Center, Inc., 1999.
- [6] TAN Runhua, WANG Qingyu, YUAN Caiyun, et al. Innovative problem solution theory; TRIZ-the process tools and develop trend of TRIZ[J]. Mechanical Design, 2001(7): 7-12, 53 (in Chinese). [檀润华,王庆禹,苑彩云,等.发明问题解决理论; TRIZ——TRIZ过程、工具及发展趋势[J].机械设计,2001(7):7-12,53.]
- [7] TAO Zicheng, HE Yanfang, GAO Shichun. Application of value engineering in optimizing the design scheme[J]. Value Engineering, 2005(8): 55-57 (in Chinese). [陶自成,何彦舫,高仕春.价值工程在优化设计方案中应用[J].价值工程,2005(8):55-57.]
- [8] TAI Ligang, ZHONG Yanxiu. Research on population of product cases and product gene[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2007, 41(9): 1466-1469 (in Chinese). [台立刚,钟延修.产品实例种群及产品基因研究[J].上海交通大学学报,2007,41(9):1466-1469.]
- [9] 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 (in Chinese). [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.]
- [10] XIAO Xinhua, SHI Minghua, YANG Xiaofeng, et al. Research on variant design based on modular product case[J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(7): 803-807 (in Chinese). [肖新华,史明华,杨小凤,等.基于模块化产品实例的变型设计技术研究[J].中国机械工程,2007,18(7): 803-807.]
- [11] GONG Jingzhong, QIU Jing, LI Guoxi, et al. Extension approach for product module variant design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(7): 1256-1267, 1312 (in Chinese). [龚京忠,邱静,李国喜,等.产品模块可拓变型设计方法[J].计算机集成制造系统,2008,14(7):1256-1267,1312.]
- [12] GU Xinjian, QI Guoning, TAN Jianrong. product information theory and advance manufacturing system-product information theory[J]. Chinese Standardization, 1996(6): 4-6 (in Chinese). [顾新建,祁国宁,谭建荣.产品信息基因理论与先进制造系统——产品信息基因理论之一[J].中国标准化,1996(6):4-6.]
- [13] GU Xinjian, TAN Jianrong, QI Guoning. Mechanical product information gene module[J]. China Mechanical Engineering, 1997, 8(2): 77-79, 124-125 (in Chinese). [顾新建,谭建荣,祁国宁.机械产品信息基因模型[J].中国机械工程,1997,8(2):77-79,124-125.]
- [14] GU Xinjian, QI Guoning, WANG Jianfeng, et al. product information standardize system engineering-product information gene theory IV[J]. Chinese Standardization, 1996(9): 9-12 (in Chinese). [顾新建,祁国宁,王剑峰,等.产品信息标准化系统工程——产品信息基因理论之四[J].中国标准化,1996(9):9-12.]
- [15] CHEN Dengkai, ZONG Licheng, YU Suihuai. Study of population gene in case product for innovative design[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(5): 29-32 (in Chinese). [陈登凯,宗立成,余隋怀.面向创新设计的产品实例种群基因研究[J].计算机工程与应用,2014,50(5): 29-32.]
- [16] BENYUS J M. Biomimicry: innovation inspired by nature [M]. New York, N. Y., USA: Harper Collins Publishers Inc, 2002.

- [17] XIE Jingyi, ZHONG Xia, HAN Jiankang. On the product innovation techniques contained in genome biology principles [J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2011, 24(3): 29-30 (in Chinese). [谢精一, 钟厦, 韩健康. 浅析生物基因原理中所蕴含的产品创新技法[J]. 机电产品开发与创新, 2011, 24(3): 29-30.]
- [18] LI Zhiguang. Conceptual design based on function and physical laws[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2014 (in Chinese). [李志广. 基于功能和物理定律的概念设计研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2014.]
- [19] KOVALEVSK J, QUINN T. The international system of units (SI) [J]. Comptes Rendus Physique, 2004, 5(8): 799-811.
- [20] ZAVBI R, DUHOVNIK J. Prescriptive model with explicit use of physical laws[C]//Proceedings of the 11th International Conference on Engineering. Washington, D. C., USA: IEEE, 1997.
- [21] GERO J S. Design prototypes: A knowledge representation schema for design[J]. AI Magazines, 1990, 11(4): 26-36.
- [22] PAHL G, BEITZ W. Engineering design-a systematic approach[M]. 2nd ed. London, UK: Springer-Verlag, 2000.
- [23] TAN Runhua. TRIZ and Applications the process and methods of technological innovation[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011 (in Chinese). [檀润华. TRIZ 及应用技术创新过程与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.]

作者简介:

- 刘伟(1987—),男,河北邯郸人,博士研究生,研究方向:产品创新设计方法、仿生设计等,E-mail:lw12512727@126.com;
- 曹国忠(1974—),男,河北唐山人,教授,博士,研究方向:产品创新设计理论及应用,通信作者,E-mail:caoguozhong@hebut.edu.cn;
- 檀润华(1958—),男,河北任丘人,教授,博士,博士生导师,研究方向:创新设计理论及应用、技术创新过程管理、面向大规模定制设计与管理等;
- 李梦林(1990—),男,河北沧州人,硕士研究生,研究方向:产品创新设计方法。