

文章编号: 1001 - 2265 (2009) 10 - 0007 - 05

基于需求分析和 TRIZ的产品创新方法^{*}

王浩伦¹,侯亮¹,刘文志²

(1.厦门大学 机电工程系,福建 厦门 361005; 2.福建省三明机床有限责任公司,福建 三明 365009)

摘要:针对企业在大规模定制生产模式下产品创新能力不足的问题,提出了基于客户需求分析和 TRIZ 的产品创新流程。该流程根据从质量功能展开 (QFD)中获取的客户需求特征,利用粗糙集方法,确定客户需求的基本重要度。基于企业对需求创新核心利益、需求类型和产品“卖点”因素的分析,确定了基本重要度的修正因子,并由此确定了客户需求的最终重要度;同时根据需求-功能-结构的映射关系,建立需求-结构的对应关系,确定了产品结构要素为创新对象;然后,通过对结构要素中创新问题的分析以及依据创新问题的特点,选择 TRIZ 创新工具;最后通过实例说明方法的应用。

关键词:客户需求;粗糙集;重要度;TRIZ 创新工具

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A

Product Innovative Method Based on Requirement Analysis and TRIZ

WANG Hao-lun¹, HOU Liang¹, LU Wen-zhi²

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China;
2. Sanming Machine Tool Co., Ltd., Fujian, Sanming Fujian 365009, China)

Abstract:

Key words:

0 引言

随着企业产品开发和生产模式已从大规模生产模

式转向以客户为中心、关注客户真实需求的大规模定制 (Mass Customization) 模式,产品的创新设计已经成为了企业适应快速变化的市场竞争环境的客观需要和

收稿日期: 2009 - 03 - 23

*基金项目:国家自然科学基金资助项目 (70402013, 70772093);福建省科技重大专项资助项目 (2008HZ0002 - 1);福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划资助项目

作者简介:王浩伦 (1982—),男,浙江金华人,厦门大学机电工程系博士研究生,从事现代设计方法学,产品平台创新研究;通讯作者侯亮,教授,博士生导师, (E-mail) hliang@xmu.edu.cn

企业生存和发展的内在要求。

目前,国内外学者对产品创新设计方法进行了大量的研究。文献[1]提出了使设计者在设计过程中挖掘创新问题的实质和解决创新问题的5W1H法;文献[2]对影响产品创新设计需求形成过程和创新设计需求内容的主要因素进行了分析和阐述;文献[3]阐述了机械产品创新过程中工作背景、市场需求等因素的变化对产品概念设计过程的决定性影响,建立了环境需求-功能-行为-结构(E-R-FB-S)变量集映射动态模型;文献[4]通过集成TRIZ、TOC、UXD、ABD等设计方法,建立了一种产品创新的概念设计集成过程模型。

以上研究对产品创新设计方法的发展起了非常重要的推动作用,但这些研究主要集中于新产品的概念创新设计阶段。对于如何围绕不同的客户需求,对产品在功能、原理和结构方面进行快速准确地改进和创新,相关理论、技术和方法研究还缺乏深入讨论。

针对这一问题,本文在产品KANO模型客户需求类型变化过程分析的基础上,提出了基于需求分析和TRIZ理论的产品创新过程,即由客户需求的获取(QFD)并经过客户需求重要度分析和产品的需求-功能结构的分析,确定产品首要创新的结构,再根据创新问题的特点,选择TRIZ理论四类创新工具进行创新,最后给出了实例分析。

1 需求类型变化与创新过程

1.1 需求类型变化

KANO模型是一个典型的定性分析模型,以客户的满意度为依据,把客户需求类型分为基本型需求、期望型需求和兴奋型需求^[5]。在不同的细分市场中需求类型的表现是不一样的,可以通过创新使其发生改变。例如,在对普通升降台铣床改造成数控升降台铣床之后,需求类型由原来的期望型变成兴奋型。不难发现,企业只有通过面向客户需求对产品进行创新,才能使客户对产品持续较高的满意度,才能使兴奋型需求持续较长时间,期望型需求转变为新的兴奋型需求,基本型需求转变为期望型需求或者转变为新的兴奋型需求。因此,这就必须通过创新的手段增强产品在市场上的竞争活力。

1.2 产品创新过程

客户需求是产品创新的必要条件和既定目标,产品创新又是客户需求快速实现的途径。本文提出了基于需求分析和TRIZ的产品创新流程,如图1所示。

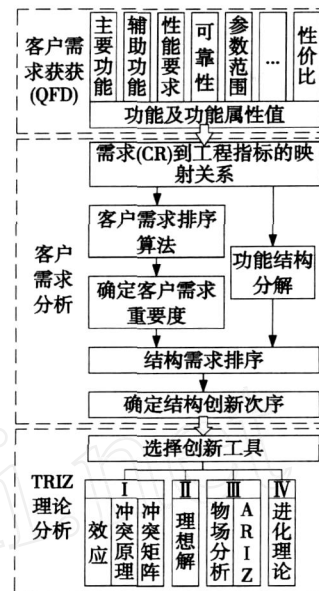


图1 产品创新流程

首先,通过质量功能展开(QFD)从市场获取需求信息,通过客户需求到工程指标的映射,一方面,根据客户需求的模糊性和各种不同的客户需求能够体现产品不同的功能属性和不同层次水平的需求的特点,应用粗糙集多属性决策方法,从大量客户需求中发现具有创新改进潜力的需求,并确定客户需求的基本重要度,又由一些影响因素对基本重要度进行修正,以此确定客户需求的最终重要度;另一方面,根据客户需求层-功能层-结构层的映射关系,建立客户需求层-结构层的对应关系。基于此,确定产品结构要素的最终重要度。然后,确定产品结构要素为创新对象,并对创新对象和创新问题进行分析。最后将TRIZ理论中创新工具分成I、II、III、IV四类,根据TRIZ理论所要解决的创新问题的特点,快速正确选择TRIZ创新工具对产品进行创新。

2 需求分析

2.1 客户需求描述

客户需求具体可表现为客户对产品功能、性能、结构、材料、外观、价格、交货期、服务等方面的要求。客户需求可用一组需求特征来表示,即: $CR = \{CR_1, CR_2, \dots, CR_m\}$ 。

2.2 客户需求排序算法

粗糙集理论是通过知识或经验将研究对象进行分类,并提供了严格的数学理论方法^[6]。粗糙集理论中对象的隶属度函数值和隶属度值不依赖于其他对象,可

以比较客观地反映知识的模糊性。根据文献^[6-7],下面基于粗糙集理论构造客户需求重要度的确定方法,其主要步骤如下:

步骤 1:由质量屋(QOH)确定客户需求 CR_1, CR_2, \dots, CR_n 组成条件属性集合 AT ,同时将客户满意度水平 CS 确定为决策属性集合 D ,其中 $AT = C \setminus D, C \setminus D = \phi$ 。根据实际情况确定各属性的值域,得到一个决策系统,记作 $DT = (U, AT \cup D)$ 。

步骤 2:将上述数据进行转换得到符合粗糙集定义的一个决策表。其中, CR_1, CR_2, \dots, CR_n 列是条件属性, CS 列是决策属性。根据粗糙集中代数和逻辑的运算法则,对决策表作如下分析:考察决策表的粗糙性;验证各条件属性的约简性等,从而判断样本集构成的知识库是否具有完备性。根据粗糙集中相对正域的方法,可确定条件属性 CR_i 的重要度 $g_i = (CR_i, CS)$,进而确定产品客户需求 CR_i 的基本重要度:

$$g_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i}, i = 1, \dots, n \quad (1)$$

从而得到客户需求基本重要度的向量 $g = (g_i), i = 1, 2, \dots, n_0$ 。

步骤 3:客户需求基本重要度的修正因子。

(1) 根据客户对需求的描述及评价,确定需求创新目标的核心利益。用核心利益 P_i 来表示该需求经过创新获得具有独特性及达到或超越竞争对手的利益。用数值 1, 2, 3 表示利益大小。

(2) 在 KANO 模型中,对于不同需求类型,客户需求 CR_i 所属的 KANO 模型中需求类型的影响因子 S_i 也是不同的。见表 1 不同客户类型影响因子的取值。

(3) 将客户需求 CR_i 的“卖点”记作 SP_i 。通常一个强的“卖点”定义为客户需求重要,而一个中等的“卖点”则意味着客户需求的重要性不高或竞争优势不十分明显^[7]。取数值 1.5, 1.2, 1.0 对应“卖点”的三个等级。

表 1 不同需求类型对应的影响因子的取值

需求类型	说明	S_i 范围(取值)
基本型 B	需求创新改进量的重要性较大	> 1 (1.5)
期望型 P	需求创新改进量的重要性在二者之间	= 1
兴奋性 E	需求创新改进量的重要性较小	< 1 (0.8)

综上所述,客户需求 CR_i 的基本重要度的修正因子:

$$r_i = S_i \times P_i \times SP_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

通过归一化处理,从而得到客户需求基本重要度修正

因子向量 $r = (r_i), i = 1, 2, 3, \dots, n_0$ 。

步骤 4:将基本重要度 g_i 和其修正因子 r_i 两部分合成,即

$$f_{ci} = (g_i \times r_i) / \sum_{i=1}^n (g_i \times r_i) \quad (3)$$

最后得到客户需求的最终重要度向量 $f_c = (f_{ci}), i = 1, 2, 3, \dots, n_0$ 。

2.3 需求—结构对应关系

通过客户需求的排序算法得到客户需求的最终重要度 f_c ,另一方面,建立如图 2 所示的需求—结构映射关系。需求重要度从需求层到功能层再到结构层的映射,将重要度从需求层转移到了结构层,也就是说需求层上的功能要素创新和功能层上的原理要素创新都可以落实到结构层上对结构要素的创新。因此,设结构最终重要度为 $f_s = (f_{sj}), j = 1, 2, \dots, m$;需求最重要度 f_c 与结构最终重要度 f_s 之间的关系矩阵为 $A = \{q_{ij}\}$,其中 $q_{ij} = (f_{ci}, f_{sj})$ 表示客户需求与产品结构之间的关系,并取值如下:

$$q_{ij} = \begin{cases} 0 & f_{ci} \text{ 与 } f_{sj} \text{ 不相关} \\ 1 & f_{ci} \text{ 与 } f_{sj} \text{ 相关} \end{cases}$$

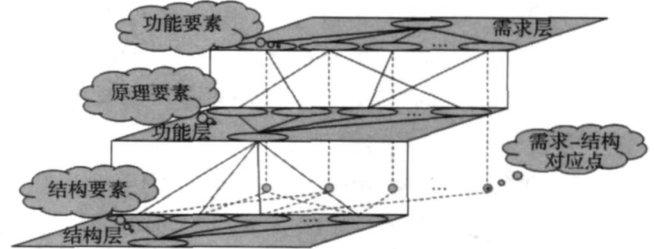


图 2 需求—结构的对应关系

结构最终重要度 f_s 与需求最终重要度 f_c 的关系为:

$$f_s = A \cdot f_c \quad (4)$$

产品结构要素最终重要度 f_s 的确定,为产品创新指明了方向。其中 $\max\{f_{sj}\}$ 说明了第 j 个结构要素客户反映最为强烈,存在创新改进的空间和潜力。因此,确定最终重要度最大的产品结构要素为创新对象。

3 创新问题分析与 TRIZ 创新工具选择

在确定创新对象之后,分别针对不同创新层次的创新对象进行创新问题分析和根据创新问题的特点进行 TRIZ 创新工具的选择,如图 3 所示。

3.1 创新问题分析

产品是功能的实现。当有效功能和有害功能同时

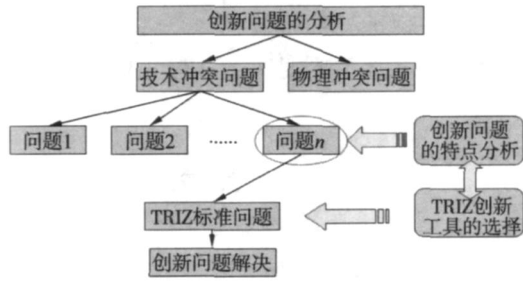


图3 创新问题分析与创新工具选择过程

出现时就会产生冲突。因此,创新是冲突问题的解决。在工程上,冲突可分为技术冲突与物理冲突两类,技术冲突是指由于系统本身某一部分的影响,所需要的状态不能达到;物理冲突指一个物体有相反的需求^[8]。

对创新问题的分析主要从功能特性分析和问题的冲突区域两个方面入手。如对主功能、辅助功能、关键子系统、工况条件、约束条件、几何参数以及运用因果关系链方法分析实现功能的缺陷或障碍等进行具体的分析。

3.2 TRIZ创新工具的选择

通过对创新问题进行分析,确定具体需要创新和改进的问题并利用TRIZ理论解决创新问题。首先,将特定的问题表达成为TRIZ的标准问题,然后利用TRIZ理论的创新工具,如冲突矩阵、效应、进化理论等,最后求出该TRIZ创新问题的普适解。而正确选择和快速使用TRIZ创新工具,将有利于提高矛盾问题解决的效率,有利于增强产品在市场上的竞争活力以及赢得企业市场竞争的主动地位。因此,通过对TRIZ理论的深入研究、实际操作和创新问题的分析总结,根据创新问题的特点将创新工具分成四类^[9],见表2创新问题与创新工具对应关系。

表2 创新问题与创新工具的对应关系

分类	创新工具	创新问题的特点
	冲突矩阵、分离原理、效应	问题的原因已知,问题解决的方向未知
	理想解	问题的原因不明,问题解决的方向已知
	物-场分析、ARIZ算法	问题原因和解决方向未知
	进化理论	问题原因和解决方向不明确

经过表2的分类,可以根据问题原因的已知、不明确、未知和不明确以及问题解决的方向已知、不明、未知和不明确的特点划分创新问题难易程度。设计人员可以根据创新问题的特点,有针对性地使用创新工具,解决创新问题。

4 实例分析

下面以该五面体铣削头产品为案例进行分析。

4.1 客户需求的最终重要度的确定

通过QFD方法确定市场及客户对某型号加工中心的五面体铣削头部件的需求,主要有:高速加工精度(CR1)、主轴转速(CR2)、刚度(CR3)等。在确定它们的可能性和上述需求综合影响下将导致客户需求满意度水平(CS)。由客户需求和客户满意度水平构成决策表,如表3决策表所示。

表3 决策表

U	CR1	CR2	CR3	CS	U	CR1	CR2	CR3	CS	U	CR1	CR2	CR3	CS
1	1	1	1	1	7	3	1	1	2	13	2	2	1	2
2	1	1	2	1	8	3	1	2	3	14	2	2	2	2
3	1	1	3	2	9	3	1	3	3	15	2	2	3	3
4	2	1	1	1	10	1	2	1	1	16	3	2	1	3
5	2	1	2	2	11	1	2	2	2	17	3	2	2	3
6	2	1	3	3	12	1	2	3	3	18	3	2	3	3

利用粗糙集中的相对正域的定义和表3的数据计算得到如下结果:

$$Pos_c(D) = \{U\}, \quad Pos_{C-\{CR1\}}(D) = \{\{U_6, U_9\}, \{U_{12}, U_{15}, U_{18}\}\}$$

$$Pos_c(D) \quad Pos_{C-\{CR1\}}(D)$$

可知,条件属性CR1相对于决策属性CS是不可简约的。同理,条件属性CR2和CR3都是不可简约的。根据决策表中条件属性重要度的公式,计算得到条件属性CR1的重要度:

$$(CR1) = (C, D) - (C - \{CR1\}, D)$$

$$= \frac{|Pos_c(D)|}{|U|} - \frac{|Pos_{C-\{CR1\}}(D)|}{|U|} = 0.722$$

同理,其他条件属性的重要度,如表4所示。

表4 重要度

	CR1	CR2	CR3
(A, CS)	0.722	0.444	0.722

由(1)式可得客户需求基本重要度的向量 $g = (g_1, g_2, g_3) = (0.382, 0.235, 0.382)$ 。

针对本企业与竞争对手的产品进行核心利益竞争性评价,并依据KANO模型对上述客户需求进行分类和根据企业的各种资源状况确定客户需求的“卖点”,如表5所示各修正因素的评价数据。

利用(2)(3)式计算并通过归一化处理得到基本重要度的修正因子向量 $r = (r_1, r_2, r_3) = (0.405, 0.324, 0.270)$;客户需求最终重要度向量 $f_c = (fc_1,$

$fc2, fc3) = (0.463, 0.228, 0.309)$ 。由此可以判断高速加工精度的客户需求为最重要的需求。

表 5 修正因素评价数据

	P_i	KN	S_i	SP_i
CR1	3	P	1	1.5
CR2	3	B	1.5	1.2
CR3	2	B	1.5	1.0

4.2 确定结构创新对象

首先,将五面体铣削头进行功能分解成控制检测系统、齿轮传动副机构、主轴系统以及其他辅助系统。根据铣削头需求-结构的对应关系可以得到铣削头需求-结构关系矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{由 (4) 式可得 } f_s =$$

$(f_{s1}, f_{s2}, f_{s3}) = (0.233, 0.334, 0.433)$,可知,铣削头的主轴系统是铣削头结构创新对象。

4.3 基于 TRIZ的铣削头主轴系统创新

铣削头主轴系统的问题主要在于轴承支撑、主轴静动平衡、刀具松紧机构等。依据表 2 以及对问题的分析可知,轴承支撑和主轴动静平衡问题的特点是原因和解决的方向都已知,不属于 TRIZ 理论创新问题范畴。

刀具松紧机构的主要作用是快速完成装夹并使刀具能与主轴刚性连接。当前加工中心普遍采用碟形弹簧紧刀,液压或气压松刀,也有采用机械传动来松紧刀具的,但往往存在着一些问题,如紧刀时拉力过大,刀具与主轴产生过盈配合,使松刀困难;换刀过于频繁,轴向的力会使碟形弹簧和主轴轴承的使用寿命缩短,增加主轴的维修成本,影响加工质量;另外,松紧刀具机构较为复杂不利于铣削头技术的发展。依据表 2,刀具松紧机构问题和解决的方向不明确,选取 TRIZ 进化理论寻求解决方案,为设计者提供参考。

方案一:铣削头主轴与刀具连接从由螺纹副连接到由碟形弹簧伸缩力连接,再到由液体、气体及场的作用来连接的方向发展,如图 4 所示。利用磁流体的性能特点替代碟形弹簧刀具松紧机构的功能。通过电磁场或由主轴转动产生的磁场作用于磁流体,使其瞬间固化达到紧固刀具以及刀具与主轴同轴连接的目的。在刀具与主轴同轴定位的条件下,磁流体瞬间固化使刀具与主轴合为一体,增加刚度,提高加工精度以及简化主轴系统的复杂度。

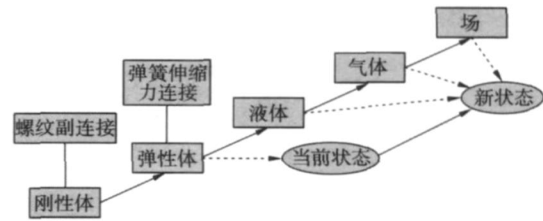


图 4 “系统向微观传递”中的进化路线

方案二:铣削头主轴刀具松紧机构从螺纹连接的单系统到由碟形弹簧、油缸、检测及电子动态修正技术等组成的多系统,再向复合系统方向发展,如图 5 所示。目前传感器检测及电子动态修正技术主要为了检测刀具配合、刀具与主轴同轴状况和主轴动平衡的调整。其原因是消除各种微小偏差会导致主轴高速转动时产生振动和离心效应等。由于不能反应和修正刀柄与主轴连接的刚性以及主轴在工作状态的受力情况,因此按照进化路线刀具松紧机构应该向复合系统进化。也就是说,在高效的刀具松紧机构研究中,引入智能化和集成化的分析系统,从而提高加工质量和效率以及延长主轴系统的使用寿命。

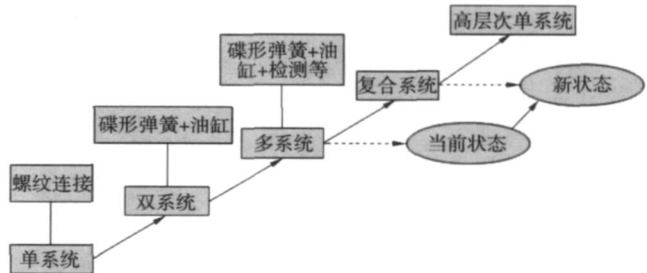


图 5 “增加动态性及可控性”中的进化路线

5 结束语

企业面向不断变化的市场对现有模块化产品进行创新,有助于提高企业产品在市场竞争中快速反应的能力,因此本文针对产品创新过程做了如下工作:

(1)通过获取不同细分市场的客户需求,利用粗糙集理论迅速正确地确定不同的需求的重要度,为产品创新指明了方向;

(2)利用需求层-功能层-结构层的映射关系把来自需求层和功能层的功能、原理要素落实到结构层上,根据不同需求的重要度来确定结构要素重要度最大的为创新对象;

(3)分析了创新问题的特点以及与创新工具对应和选择的关系,可以实现对创新对象进行有目的、有效率地进行创新改进。

(下转第 14 页)

x_0 时为 Y 轴进给, $y_e = y_0$ 时为 X 轴进给。

类似地,当偏差 $F < 0$ 时,则由 Y 轴正向向量与直线的夹角决定,推导类似,不再赘述。

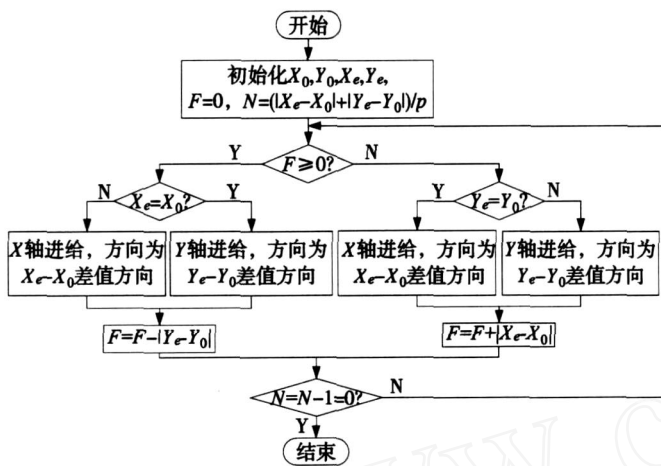


图 5 偏差运算及进给方向算法流程图

进给方向一经决定,则偏差计算时应为绝对值的相加减。如此,偏差运算及进给方向判断算法流程如图 5 所示(注:图中 p 为脉冲当量,如此能保证插补步数 N 总为正整数)。

2.3 几何意义

以上是从坐标代数运算得出结论的,然而从几何角度来看,是有其几何意义的。 \cos 的图像为一余弦曲线,横轴代表各个象限,纵轴 \cos 的值则表示了直线的向量方向。故余弦曲线的每一点与直线在象限中的每一种情况一一对应。既然 \cos 值代表了直线的向量方向,而直线向量方向只与终点与起点的差值有关,且进给方向即为差值方向,因此 \cos 的值也可表示直线的进给方向。那么余弦曲线就可以将直线在四象限的进给方向直观形象地表示出来。

于是以横轴表示进给轴,纵轴代表进给方向。横轴

以上的点的进给方向为进给轴的正向,以下为负向。横轴上的点,向垂直于进给轴方向进给,方向为沿横轴正方向看,曲线下坡趋势的为上(即正向),上坡趋势的为下(即负向)。可将进给方向用余弦曲线表示为图 6 所示。

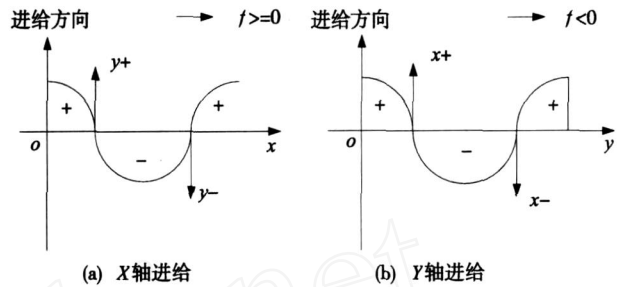


图 6 进给方向余弦曲线图

3 结束语

新算法的提出,突破了以往先分析第一象限,再推广至四象限这种局部到整体的分析方法。对四象限中直线的所有分布情况进行整体分析,根据直线斜率的存在性,使进给方向判别从传统的八种情况化归为通用的两种情况。向量的引入,更使判别过程清晰明了,也为编制程序提供了一种新的思路。

[参考文献]

- [1] 岳秋琴. 数控直线插补的优化算法 [J]. 机床与液压, 2003 (5): 182 - 183.
- [2] 叶秀云,朱文,田刚. 一种简捷的快速直线插补新算法 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005 (7): 28 - 30.
- [3] 高有行. 对逐点比较法的改进算法 [J]. 西安电子科技大学报, 1998, 25 (3): 299 - 303.
- [4] 许良元. 插补优化算法的研究 [J]. 机械工程与自动化, 2005 (2): 92 - 93.
- [5] 周建伟. 解析几何 [M]. 北京:高等教育出版社, 2005.

(编辑 赵蓉)

(上接第 11 页)

[参考文献]

- [1] Parkash R Apte "5W's and an H" of TRIZ innovation [EB/OL], <http://www.triz-journal.com/archives/2001/09/d/index.htm>.
- [2] DARLINGTON M J, CULLEY S J. A model of factors influencing the design requirement [J]. design studies, 2004, 25 (4): 329 - 350.
- [3] 赵宏,黄洪钟. 支持计算机辅助概念设计的机械产品创新过程动态建模 [J]. 机械工程学报, 2006, 42 (10): 190 - 196.
- [4] 刘晓敏,檀润滑,姚立刚. 产品创新概念设计集成过程模型研究及应用 [J]. 机械工程学报, 2008, 44 (9): 154 - 162.

- [5] KANO. Attractive Quality and Must-Be Quality [M]. Tokyo: Associates of Quality Control of Japan, 1982.
- [6] 张文修,吴伟志,梁吉业,等. 粗糙集理论与方法 [M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [7] 李延来,唐加福,等. 质量功能展开中顾客需求的排序算法 [J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13 (6): 1196 - 1203.
- [8] 檀润华. 创新设计: TRIZ 发明问题解决理论 [M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [9] 高常青,黄克正,张勇. TRIZ 理论中问题解决工具的比较与应用 [J]. 机械设计与研究, 2006, 22 (1): 13 - 15.

(编辑 赵蓉)