

doi: 10.12052/gdutxb.210121

基于功能分析与可拓理论的再设计方法

陈锦成, 成思源, 杨雪荣

(广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 针对已有产品的再设计, 提出了一种结合功能结构模型与可拓理论的流程化方法。该方法以功能本体库为知识基础建立已有产品的功能结构, 用事元模型表达产品存在的不良事件, 通过可拓理论中的蕴含系分析推断不良事件出现的原因, 并利用分析结果确认产品功能结构中的问题功能。之后建立问题功能事元模型, 以不良事件原因作为规避依据, 对其进行拓展分析与可拓变换, 得到改进后的新功能; 构建新的功能结构, 完成对已有产品的再设计。最后, 通过对一菠萝采摘器专利的再设计验证了该方法的可行性, 为针对已有产品的再设计提供了一种新的思路和可操作性的方法。

关键词: 功能结构; 可拓学; 事元模型; 再设计

中图分类号: TB472

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2022)02-0032-07

A Redesign Method Based on Function Analysis and Extension Theory

Chen Jin-cheng, Cheng Si-yuan, Yang Xue-rong

(School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: For the redesign of existing products, a process-oriented method combining functional structure model and extension theory is proposed. In order to reach the goal, this method is based on the knowledge base of functional ontology, the functional structure of existing products is built, the adverse affairs of products are expressed by affair element model, the causes of adverse affairs are inferred by implication system analysis of extension theory, and the problematic functions in product functional structure can be confirmed by the analysis results. After that, the problematic functional affair element model is created. Based on the reasons of adverse affairs, the extended analysis and extension transformation are carried out to obtain the improved new function, then the new function structure is reconstructed, and the redesign of the existing products is completed. Finally, the feasibility of the method is verified through the redesign of a pineapple picker patent, which provides a new idea and an operable method for the redesign of existing products.

Key words: function structure; Extenics; affair element model; redesign

产品的核心价值在于功能, 用户所需要的并非产品本身, 而是产品所附带的功能^[1]。对此, 面向功能的概念设计成为产品开发过程中创新程度最高的设计阶段。其中针对已有产品的再设计主要通过分析产品的已有功能并对其中相关模块改进以实现创新。殷习等^[2]基于功能-结构的映射关系提出了一种关于可变功能的机械设计方法。肖河曼等^[3]提出一种基于功能相似矩阵的创新设计方法, 通过建立专利产品的功能模型并建立其功能相似矩阵以选择合适

的创新原则对其进行再设计。梁铠等^[4]提出了一种基于功能建模的专利规避创新设计方法, 对产品进行功能建模并对其进行裁剪, 利用TRIZ理论得到侵权风险较小的创新方案。成思源等^[5]提出一种基于功能结构分析与TRIZ理论集成的产品创新方法设计方法, 利用功能分解与结构图解方法找出产品中待改进的问题及相关功能元, 再使用TRIZ理论工具对其分析并改进。

随着可拓学的广泛应用, 对于产品的可拓创新

收稿日期: 2021-08-20

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目(教高司函〔2021〕3号); 广东省研究生教育创新计划资助项目(2020JGXM039)

作者简介: 陈锦成(1998-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为创新方法

通信作者: 成思源(1975-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为技术创新方法、逆向工程技术, E-mail: imdesign@gdut.edu.cn

方法也逐渐成熟。可拓学将事物的特征和量值结合研究,相比其他创新方法更容易获取产品潜在的信息,有助于后续创意的发散与生成^[6]。郑震霆等^[7]提出了一种机械运动系统行为表示研究方法,通过蕴含系分析与事元模型分析机械的运动系统。陈晓菁等^[8]提出了一种面向专利产品创新的可拓变换方法,通过产品的组件构建功能模型并进行可拓变换得到专利规避模型。楼炯炯等^[9]提出一种基于可拓创新的TRIZ改进方法,利用基元模型规避了TRIZ在解决问题时问题分析和概念方案评价困难等缺点。李正军等^[10]提出了一种基于可拓基元的产品设计符号创新方法,通过可拓理论表示产品的设计符号,拓展产品的创新思路。

目前将可拓理论应用于产品功能分析的创新方法主要集中于研究产品的组件或整体功能结构,而以产品某个具体功能作为再设计出发点的可拓创新方法则较少。本文将产品的特定功能与可拓理论结合研究,提出一种基于功能分析与可拓理论的再设计方法。首先构建已有产品的功能结构,随后确认产品存在的不良事件,并对不良事件建立其事元模型,通过可拓学中的蕴含系分析推断其发生的原因。根据分析结果,可确认功能结构中的问题功能并对其建立功能事元模型,然后对其进行拓展分析与可拓变换得到改进后的功能,最后构建新的功能结构,完成对已有产品的再设计。本文以一种菠萝采摘装置设计为例验证该方法的可行性。

1 功能结构的建立

功能是产品与组件存在的依据,是从产品与组件中抽象出来的概念,而且在产品的使用过程中得以表现。但通过自然语句描述产品的行为来确认产品功能在结果上往往因人而异,导致在确认产品的功能过程中受到人的主观影响,有可能会导导致功能表达不规范或不准确^[11]。

功能本体可被定义为一个包括功能术语及其之间规范关系的体系,是功能概念化和功能分类的规范说明系统,是对各种功能知识进行结构化描述的表述方式^[12]。其相关应用包括利用对功能的基础动词词汇进行分类,搭建多层级的功能本体库。如Szykma^[13]整理的,由装配、组合、使用、控制、传输、转换六大类组成的功能集词库。其中表1为功能集词库的节选部分。

功能集词库有助于设计者规范地描述功能,其稳定性好,在建立已有产品的功能结构过程中,功能

表1 功能集词库(节选)

Table 1 Function set lexicon

主类	第二层	第三层	同义词
分支	分离	精炼	提纯、精制、清除……
		分离	分开、切断、拆散……
		移除	铣、切、撒、钻……
		划分	分类、孤立、拆开……
	分发	分发	消散、驱散、散播……

集词库可作为知识基础以标准化、规范化、格式化的形式描述各组件的功能。

已有产品的功能结构建立可分为以下步骤:

(1) 信息提取:对包括但不限于已有产品的专利说明书在内的书面文件或产品实物进行分析以获取产品的技术信息。

(2) 功能定义:以功能本体库为知识基础,通过上一步骤所提取的技术信息确认各组件表达的行为,与功能本体库中的功能词汇进行匹配。

(3) 功能建模:从系统分析的角度去确认已有产品中各组件的相互关系,建立功能结构的拓扑模型。

以功能本体库为知识基础,通过对已有产品的专利说明书或其他书面文件进行信息提取以了解已有产品的工作原理,建立对应的功能结构。如图1所示,总功能可逐层分解为分功能、子功能,形成多层级的功能结构^[14]。根据各功能的重要程度将产品的功能划分层级并将各组件与对应子功能间进行匹配,构建已有产品的功能结构模型,可以对产品各组件表现的行为进行抽象,有助于设计者在后续对于产品的问题功能的确认与改进。

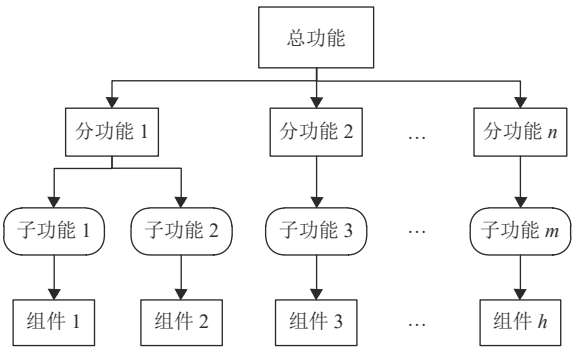


图1 功能结构模型图

Fig.1 Functional structure model diagram

2 基于可拓理论的问题功能改进

2.1 不良事件的事元模型建立与原因追溯

不良事件常指用户在使用过程中产品并不能满足其需求,产品的行为存在缺陷的负面现象,同时也

是产品存在问题功能的外在表现。相较于产品内在的功能,不良事件更容易在产品使用过程中被发现和观察,因此可对不良事件进行分析,将造成不良事件的原因作为确认产品功能结构中对应问题功能的依据。

在可拓学中,物与物之间的相互作用可称为事,不良事件可以理解成用户与产品之间或产品组件之间的相互作用,属于事的范畴。故可以用事元模型以形式化的方法使设计者更清晰地分析事物信息^[15]。其中事元模型的组成为

$$A = \begin{bmatrix} O_a & c_{a1} & v_{a1} \\ & c_{a2} & v_{a2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{an} & v_{an} \end{bmatrix}$$

其中, O_a 为动作的名称, c_a 为动作的特征, v_a 为对应特征所取的量值。动作的基本特征有支配对象、施动对象、接受对象、时间、地点、实现方式、工具等,根据实际事件类型合理选择特征与补充相对应的量值能有针对性地去定义事件^[6]。

不良事件在通过事元模型的建立后,可通过可拓理论中的蕴含系分析法来推断其发生的原因。

蕴含系分析可根据事物之间的蕴含性,以事元为形式化工具对事物进行分析,是找到核心问题与问题源头的一种常用方法。一个事元的出现常常与另外一个事元相关并导致其他事元的出现,故事元之间存在着逻辑关系,其蕴含关系主要包括“与蕴含”和“或蕴含”^[16]。

设有事元 A 、 A_1 与 A_2 ,若 A_1 、 A_2 两者之一实现都能使 A 实现,则称 A_1 、 A_2 或蕴含 A ,记 $A_1 \vee A_2 \Rightarrow A$ 。反之则称 A 或蕴含 A_1 、 A_2 ,记 $A \Rightarrow A_1 \vee A_2$ 。

设有事元 A 、 A_1 与 A_2 ,若 A_1 、 A_2 两者同时实现方能实现 A ,则称 A_1 、 A_2 与蕴含 A ,记 $A_1 \wedge A_2 \Rightarrow A$ 。反之则称 A 与蕴含 A_1 、 A_2 ,记 $A \Rightarrow A_1 \wedge A_2$ 。

对于一个实际问题事件而言,其蕴含系常常是包括多种蕴含关系且多层级的^[17],如图2所示。

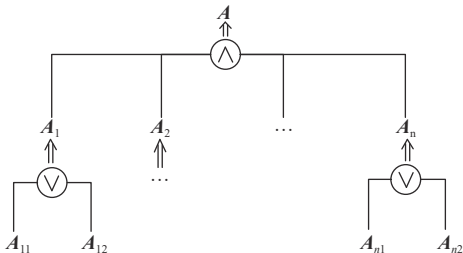


图 2 实际问题事元蕴含系结构图

Fig.2 Structure diagram of the affair element implication system for practical problem

对不良事件的事元模型进行逻辑推断能构建它的蕴含系,通过蕴含系分析能以清晰的因果关系得出导致不良事件发生的原因。其原因可作为依据以确认功能结构中的问题功能,并为其事元模型的建立提供部分特征的属性量值,还能为问题功能事元模型的拓展分析指引合理的拓展方向。

2.2 问题功能的事元模型建立与拓展分析

通过对产品的不良事件建立事元模型并进行蕴含系分析得到其原因,可以从功能结构中检索出问题功能。

事元模型能够通过选择与补充多个特征量值这一方式对功能进行多维度的信息提取与分析,这无疑体现了可拓学中基元理论的优势与特点。但对整个功能结构的所有功能都建立事元模型会造成功能特征信息的冗余,导致拓展分析的方向过多,不利于后续针对产品当前存在的问题进行改进。因此有必要先确认出功能结构中的问题功能,再针对问题功能建立其事元模型并对其进行分析。

建立问题功能事元模型后,为得到改进的思路需进行拓展分析。本文主要采用拓展分析中的发散分析方法对问题功能事元模型与对应的组件物元模型进行发散,其主要针对基元的三元素:对象、特征、量值进行拓展。在拓展过程中,常常不变动三者之一,然后对剩余两个元素进行拓展,从而进行如“多对象一特征多量值”、“一对象多特征多量值”等针对不同元素的拓展分析。

2.3 可拓变换

从一个基元出发,基于拓展分析可以得到许多相关的基元,为问题功能与对应组件的变换提供了多条途径。但拓展分析只是生成了可能实现的途径,并未对功能结构进行操作。想要实现改变功能结构这一目的,仍需要进行可拓变换,通过变换运算,生成功能与组件的变换方案。

基元的可拓变换有5种基本形式^[16],分别为:

- (1) 置换变换: $TB = B'$, 从 B 的发散基元集中寻找可以替代本身的基元。
- (2) 增删变换: $TB = B \oplus B_0$; $TB = B \ominus B_0$, 从 B 的发散基元集寻找可与之进行组合的基元 B_0 进行增变换或对可分基元 B 进行分解出基元 B_0 并进行减变换。
- (3) 扩缩变换: $TB = \alpha B$, 对 B 的对象或者特征的量值进行扩缩变换。
- (4) 分解变换: $TB = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$, 若 B 为可分基元,则可将其分解为若干个子基元。
- (5) 复制变换: $TB^* = \{B, B^*\}$ 。

在可拓变换过程中,常不能直接一步变换便把初始基元变换为目标基元,故需要一定逻辑的变换运算方法,其中最常见的方法为积变换,即多个变换依照顺序连续执行。

基于功能本体库内的知识内容以及对不良事件的原因追溯,并通过以上多种形式的可拓变换及其运算,可将问题功能事元模型与其对应的组件物元模型进行变换,获得规避了造成不良事件的原因且表现更好的功能事元模型及其对应的组件物元模型,从而构建新的功能结构。

2.4 问题功能改进流程

问题功能的改进流程如图3所示,首先通过功能本体库去构建已有产品的功能结构,之后对产品存在的不良事件建立其事元模型,利用可拓理论中的蕴含系分析推断其出现的原因。通过该原因可得到功能结构中的问题功能,并建立问题功能事元模型及其对应的组件物元模型。

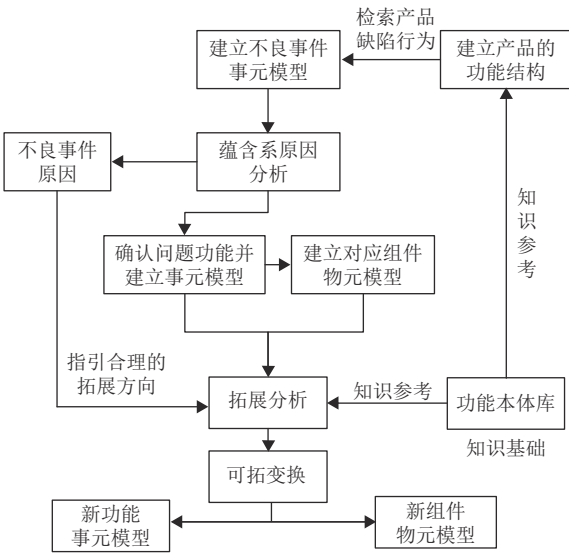


图3 问题功能改进流程图
Fig.3 Problem function improvement process

在拓展分析过程中,利用先前蕴含系分析中所得的不良事件原因作为规避的依据,使问题功能事元模型与组件物元模型朝着合理的方向拓展;功能本体库作为其知识基础,便于生成更多的创意。

在后续的可拓变换阶段中,将问题功能事元模型与其对应的组件物元模型变换成拓展分析所得的新功能事元模型与新组件物元模型,实现对问题功能的改进。

3 案例分析

本次案例分析引用了专利号为CN201920316642,

名为“一种菠萝采摘工具”的产品。通过其专利说明书附图获取其组件构成,如图4所示。

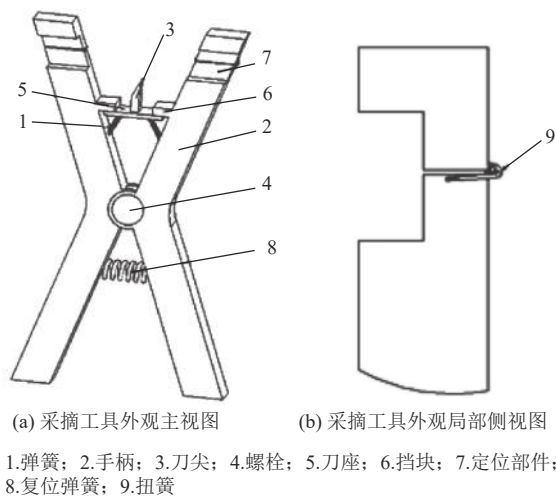


图4 一种菠萝采摘工具示意图
Fig.4 Schematic diagram of a pineapple picking tool

通过专利说明书可知其相关工作原理:本申请实施例中,提供了一种菠萝采摘工具,通过手柄、弹簧刀、定位部件等组件,完成对菠萝的采摘工作且不会损伤植株;通过定位部件定位菠萝茎部,并在手柄转动的过程中将茎部折弯,对后续切断有帮助;通过弹簧刀的弹力产生切割的动力,以便于菠萝茎的一次性切除,提高菠萝采摘效率^[18]。

根据专利文本提供以上的信息,以已有的功能本体库为知识基础,建立该产品的功能结构,如图5所示。

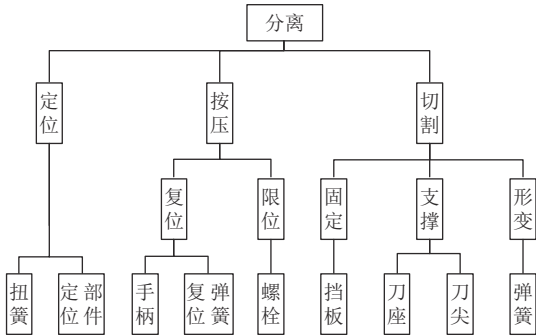


图5 原有产品的功能结构图
Fig.5 Functional structure of the original products

从原有产品的功能结构图可知,该产品主要通过切割子功能实现菠萝与菠萝根茎分离的目的,定位功能则是保证切割功能的稳定实现。结合产品专利说明书对功能结构分析,可知产品在长期使用后容易出现切割力不足与不能准确定位这两种不良现象,可定义产品存在的不良事件为:产品在长期使用

后切割运动不稳定以及定位效果不佳。对此,分别对两不良事件建立以下事元模型。

$$A_1 = \begin{bmatrix} \text{切割,} & \text{支配对象,} & \text{菠萝} \\ & \text{施动对象,} & \text{人} \\ & \text{工具,} & \text{刀尖} \\ & \text{方式,} & \text{弹簧形变} \\ & \text{方向,} & \text{单向} \\ & \text{稳定性,} & \text{低} \end{bmatrix}$$
$$A_2 = \begin{bmatrix} \text{定位,} & \text{支配对象,} & \text{菠萝根茎} \\ & \text{施动对象,} & \text{人} \\ & \text{工具,} & \text{定位部件} \\ & \text{方式,} & \text{扭簧形变} \\ & \text{稳定性,} & \text{低} \end{bmatrix}$$

结合实际应用的不良现象与不良事件事元模型可知,弹簧在长期反复的压缩拉伸的运动后,其弹力性能恶化,使得挡板与手柄之间的面接触固定不可靠,不利于产品执行切割运动。同时定位部件也用到了扭簧,亦有类似风险。对此,建立对应的事元模型,并进行以下的蕴含系分析,所得的事元蕴含系结构如图6所示。

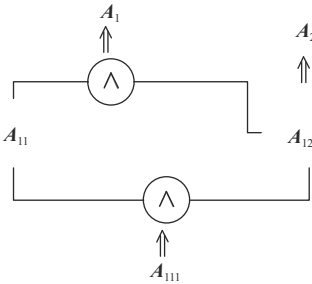


图 6 不良事件蕴含系结构图
Fig.6 Structure of implication for adverse affairs

由图6可知,使用者在长期使用该产品时,需要反复按压手柄切割,而这一运动的长期执行又导致了弹簧和扭簧的弹性性能恶化。对此,可确认产品中由弹簧形变来实现固定挡板的固定功能与由扭簧实现的定位功能为问题功能。下一步,分别建立其对应的问题功能事元模型并对其进行拓展分析。

$$A_{11} = \begin{bmatrix} \text{固定,} & \text{支配对象,} & \text{刀座} \\ & \text{工具,} & \text{挡板} \\ & \text{约束类型,} & \text{位移} \\ & \text{约束方式,} & \text{面接触} \\ & \text{约束方向,} & \text{垂直方向} \end{bmatrix}$$
$$A_{12} = \begin{bmatrix} \text{松弛,} & \text{支配对象,} & \{\text{弹簧、扭簧}\} \\ & \text{弹性,} & \text{弱} \\ & \text{工具,} & \text{手柄} \\ & \text{发生条件,} & \text{长期使用} \end{bmatrix}$$
$$A_{111} = \begin{bmatrix} \text{按压,} & \text{支配对象,} & \text{手柄} \\ & \text{施动对象,} & \text{人} \\ & \text{辅助工具,} & \{\text{复位弹簧、螺栓}\} \\ & \text{稳定性,} & \text{高} \end{bmatrix}$$

对于原有的问题功能“固定”,其特征“实现方

式”的量值为“面接触”,而该量值属于不良原因,故需要对其进行变更。为更换事元特征中实现方式这一量值,相比由弹力生成的静摩擦而实现的面接触,可选择更为稳定的杆系连接,而杆系连接中能够实现水平方向位移且符合实际情况的传动方式有曲柄滑块传动。具体发散过程为:面接触-杆系连接-曲柄滑块传动。

通过对已有的功能本体知识库查找可知,原有的“固定”属于“保障”一类,而“牵引”属于“导向”一类,但“牵引”这一抽象概念能通过连接这一更为稳定的传动方式来表达,而且“固定”与“牵引”属于同一层级,故可进行替换,建立起新的功能事元模型并拓展其合适的实现方式。该问题功能事元模型发散分析过程为

$$A_3 = \begin{bmatrix} \text{固定,} & \text{支配对象,} & \text{刀座} \\ & \text{工具,} & \text{挡板} \\ & \text{实现方式,} & \text{面接触} \\ & \text{固定方向,} & \text{水平方向} \end{bmatrix}$$
$$\vdash A_{31} = \begin{bmatrix} \text{牵引,} & \text{支配对象,} & \text{刀座} \\ & \text{实现方式,} & \text{杆系连接} \\ & \text{牵引方向,} & \text{水平方向} \\ & \text{稳定性,} & \text{高} \end{bmatrix}$$
$$\vdash A_{32} = \begin{bmatrix} \text{牵引,} & \text{支配对象,} & \text{滑块} \\ & \text{工具,} & \{\text{手柄、曲柄}\} \\ & \text{实现方式,} & \text{曲柄滑块传动} \\ & \text{稳定性} & \text{高} \end{bmatrix}$$

对于定位功能,其功能为产品所需,故不需更改。结合蕴含系分析的结果可知,扭簧形变是定位功能成为问题功能的不良原因,需要变更该功能的实现方式。由产品的功能结构可知,手柄与复位弹簧共同作用可实现角度变化的功能。通过发散分析,将实现定位功能的定位部件变更为新的手柄,利用按压手柄逐渐靠拢菠萝根茎这一动作来作为定位功能新的实现方式。具体发散过程为:扭簧形变-按压-靠拢夹紧,该问题事元模型的发散分析过程为

$$A_4 = \begin{bmatrix} \text{定位,} & \text{支配对象,} & \text{菠萝根茎} \\ & \text{施动对象,} & \text{人} \\ & \text{工具,} & \text{扭簧} \\ & \text{实现方式,} & \text{形变} \\ & \text{稳定性,} & \text{中等} \end{bmatrix}$$
$$\vdash A_{41} = \begin{bmatrix} \text{按压,} & \text{支配对象,} & \text{手柄} \\ & \text{施动对象,} & \text{人} \\ & \text{受影响对象,} & \text{定位部件} \end{bmatrix}$$
$$\vdash A_{42} = \begin{bmatrix} \text{定位,} & \text{支配对象,} & \text{菠萝根茎} \\ & \text{施动对象,} & \text{人} \\ & \text{工具,} & \text{手柄} \\ & \text{实现方式,} & \text{靠拢夹紧} \\ & \text{稳定性} & \text{高} \end{bmatrix}$$

此外,增加部分在功能事元模型拓展分析后伴

随着特征变更而发散生成的组件物元模型与需要进行可拓变换的原有组件物元模型,具体为

$M_1 = [\text{原产品}, \text{组成部分}, \{ \text{扭簧、手柄、...} \}]$

$M_2 = [\text{手柄}, \text{材料}, \text{金属} \\ \text{形状}, \text{圆角直边} \angle \text{形}]$

$M_3 = [\text{挡板}, \text{材料}, \text{塑料} \\ \text{形状}, \text{长方体} \\ \text{稳定性}, \text{中} \\ \text{数量}, 2]$

$M_4 = [\text{曲柄}, \text{材料}, \text{金属} \\ \text{运动方式}, \text{轴向旋转} \\ \text{施力方式}, \text{扭矩}]$

$M_5 = [\text{滑块}, \text{材料}, \text{金属} \\ \text{运动方式}, \text{水平移动运动} \\ \text{行程}, 50 \text{ mm}]$

$M_6 = [\text{定位部件}, \text{材料}, \text{金属} \\ \text{形状}, \text{圆弧环状}]$

$M_7 = [\text{扭簧}, \text{材料}, \text{金属} \\ \text{施力方式}, \text{扭矩} \\ \text{稳定性}, \text{低}]$

$M_8 = [\text{弹簧}, \text{稳定性}, \text{低}]$

$M_9 = [\text{刀座}, \text{稳定性}, \text{低}]$

$M_{10} = [\text{待删减组件群}, \text{组成部分}, \{ M_2、M_3、M_6、M_7、M_8、M_9 \}]$

$M_{11} = [\text{待添加组件群}, \text{组成部分}, \{ M_4、M_5 \}]$

首先对原有产品的问题功能事元模型 $A_3、A_4$ 分别进行置换变换 $T_1、T_2$, 将其分别替换成表现更佳的新功能事元模型 $A_{32}、A_{42}$ 。

$T_1 A_3 = A_{32}$

$T_2 A_4 = A_{41}$

对应地, 伴随着功能的变换, 与原功能相关的组件物元模型亦需要进行可拓变换, 变换成能实现新功能的新组件物元模型。其中扭簧 M_7 、挡板 M_3 , 弹簧 M_8 的对应功能已被替换, 而手柄 M_2 与定位部件 M_6 在后续需要进行可拓变换, 故将上述物元纳入待删减组件群 M_{10} 的特征“组成部分”的量值中。通过原产品 M_1 与待删减组件群 M_{10} 之间进行基于共有特征“组成部分”的删变换 T_3 , 得到保留组件群 M_{101} 。

$T_3 M_1 = M_1 \oplus M_{10} = M_{101} =$

$[\text{保留组件群}, \text{组成部分}, \{ \text{复位弹簧、螺栓、刀尖} \}]$

同理, 对手柄 M_2 与定位部件 M_6 进行基于共有特征“形状”的增变换 T_4 , 得到具有定位效果的新手柄 M_{21} , 并将其纳入待添加组件群 M_{11} 的特征“组成部分”的量值中。变换公式与组件模型为

$T_4 M_2 = M_2 \oplus M_6 = M_{21} =$

$[\text{新手柄}, \text{材料}, \text{金属} \\ \text{形状}, \text{圆弧环形} \oplus \text{圆角直边} \angle \text{形}]$

$M_{11} = [\text{待添加组件群}, \text{组成部分}, \{ M_4、M_5、M_{21} \}]$

之后, 对保留组件群 M_{101} 与待添加组件群 M_{11} 进行基于其共有特征“组成部分”的增变换 T_5 , 得到改进后的新产品 M_{102} , 其特征“组成部分”的量值见图 7 中的组件, 共 7 个。

$T_5 M_{101} = M_{101} \oplus M_{11} = M_{102}$

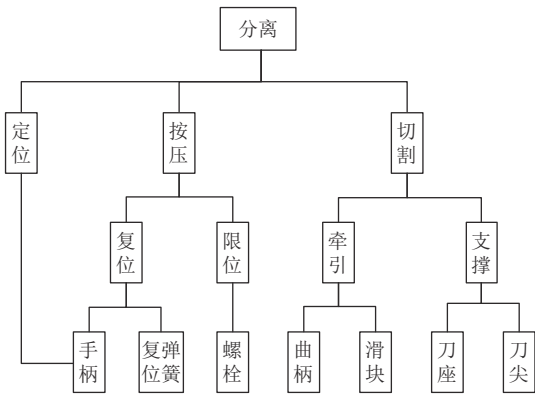
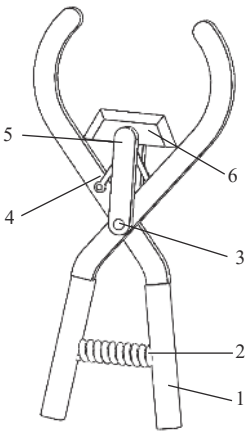


图 7 新功能结构图

Fig.7 Functional structure of new product

通过可拓变换可得到新功能事元模型与新组件物元模型, 并建立新的功能结构, 如图 7 所示。

根据新的功能结构可得到改进后的设计方案, 如图 8 所示。



1.手柄; 2.复位弹簧; 3.螺栓; 4.曲柄; 5.刀座、滑块; 6.刀尖

图 8 新产品外观示意图

Fig.8 New product appearance diagram

本次再设计首先构建原有产品的功能结构, 之后通过对产品的不良事件进行蕴含系分析得到产品的问题功能, 分别为形变功能、固定功能、定位功能。其中形变功能被删去, 并通过对剩余问题功能事元模行进行发散分析与可拓变换, 使牵引功能替换固定功能, 同时改进定位功能的实现方式。此外, 还对原有产品的组件构成进行删减, 将手柄的前端作为定位部件, 使得手柄在按压的过程同时能夹紧菠萝

根茎,增大了定位部件与菠萝根茎的接触面积,提高其定位效果,确保切割效果。

4 结语

本文提出了一种基于功能分析与可拓理论的再设计方法。基于功能本体库建立已有产品的功能结构,发现并选择以产品的不良事件作为切入点,通过蕴含系分析去确认产品功能结构中的问题功能。对不良事件与问题功能建立事元模型,其信息被特征与量值两类元素作为载体并以矩阵形式表达,设计者能直观地分析并提取有用的信息。通过蕴含系分析方法得到不良事件发生的原因作为后续功能事元模型拓展分析的规避依据。对问题功能事元模型进行合理的发散分析,变更部分特征与量值,最后对问题功能进行可拓变换,得到改进的新功能。该方法通过深入分析问题功能的相关信息,并以此提供合理的拓展分析指引,为针对已有产品的再设计提供了一种新的思路和可操作的方法。

参考文献:

- [1] 高常青. TRIZ——发明问题解决理论[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] 殷习, 邓益民, 杨鹏. 基于FBS的可变功能机械设计变更传播过程及特性分析[J]. 工程设计学报, 2016, 23(1): 8-13.
YIN X, DENG Y M, YANG P. Change propagation process and characteristic analysis of adaptable-function machine based on FBS [J]. *Journal of Engineering Design*, 2016, 23(1): 8-13.
- [3] 肖河曼, 成思源, 杨雪荣, 等. 基于功能相似矩阵的异类产品专利规避设计[J]. 广东工业大学学报, 2018, 35(5): 5-10.
XIAO H M, CHENG S Y, YANG X R, *et al.* Patent avoidance design for heterogeneous products based on function similarity matrix [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2018, 35(5): 5-10.
- [4] 梁铠, 杨杰, 龙晓斌, 等. 基于功能建模的多边折弯机规避与创新设计[J]. 广东工业大学学报, 2020, 37(1): 7-14.
LIANG K, YANG J, LONG X B, *et al.* Avoidance and innovation design of multilateral bending machine based on functional modeling [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2020, 37(1): 7-14.
- [5] 成思源, 吕瑟, 卜研, 等. 基于功能&结构分析与TRIZ理论集成的产品创新设计[J]. 包装工程, 2016, 37(6): 104-108.
CHENG S Y, LYU S, BU Y, *et al.* Product innovation design based on function & structure analysis and TRIZ theory [J]. *Packing Engineering*, 2016, 37(6): 104-108.
- [6] 杨春燕, 蔡文. 可拓学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [7] 郑震霆, 杨春燕. 基于事元理论的机械运动系统行为知识表示研究[J]. 广东工业大学学报, 2019, 36(6): 1-8.
- ZHEN Z T, YANG C Y. Behavior knowledge representation of mechanical motion system based on affair-element theory [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2019, 36(6): 1-8.
- [8] 陈晓菁, 成思源, 杨雪荣. 面向专利产品创新设计的可拓变换方法研究[J]. 包装工程, 2020, 41(24): 137-142.
CHEN X J, CHENG S Y, YANG X R. Extension transform method for patent product innovation design [J]. *Packing Engineering*, 2020, 41(24): 137-142.
- [9] 楼炯炯, 桂方志, 任设东, 等. 基于可拓创新方法的改进TRIZ研究[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1): 127-135.
LOU J J, GUI F Z, REN S D, *et al.* Improved TRIZ based on extension innovation method [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2018, 24(1): 127-135.
- [10] 李正军, 王浩鑫. 产品设计符号可拓基元创新方法[J]. 包装工程, 2016, 37(4): 143-147.
LI Z J, WANG H X. Extension basic-element innovation method of product design symbol [J]. *Packing Engineering*, 2016, 37(4): 143-147.
- [11] 蒋宇欢, 陈泳, 黄健, 等. 功能作用收集及其分类研究[J]. 工程设计学报, 2016, 23(2): 101-107.
JIANG Y H, CHEN Y, HUANG J, *et al.* Research on functional action collection and taxonomy [J]. *Chinese Journal of Engineering Design*, 2016, 23(2): 101-107.
- [12] 陈晓菁, 成思源, 杨雪荣, 等. 基于功能本体的专利知识功能模型建立[J]. 广东工业大学学报, 2019, 36(2): 26-30.
CHEN X J, CHENG S Y, YANG X R, *et al.* A functional model of patent knowledge based on functional ontology [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2019, 36(2): 26-30.
- [13] SZYKMAN S, FENVES S J, KEIROUZ W, *et al.* A foundation for interoperability in next-generation product development systems [J]. *Computer-aided Design*, 2001, 33(7): 545-559.
- [14] 米晶晶, 成思源, 丛海宸, 等. 基于功能需求的专利产品规避设计方法[J]. 现代制造工程, 2018(7): 146-152.
MI J J, CHENG S Y, CONG H C, *et al.* Patent product around design method based on function requirements [J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2018(7): 146-152.
- [15] 张文林, 成思源, 杨雪荣. 基于基元理论的改进功能分析方法研究[J]. 广东工业大学学报, 2019, 36(1): 10-15.
ZHANG W L, CHENG S Y, YANG X R. A research on improved function analysis method based on basic element [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2019, 36(1): 10-15.
- [16] YANG C Y. Extension innovation method[M]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2018.
- [17] 花黄伟, 杨春燕. 基于因果分析的事元蕴含系及其应用[J]. 智能系统学报, 2017, 12(1): 60-66.
HUA H W, YANG C Y. Affair-elements implication system and its application based on causal analysis [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2017, 12(1): 60-66.
- [18] 陈晓菁, 成思源, 杨雪荣, 等. 一种菠萝采摘工具: CN209594284U[P]. 2019-11-08.

(责任编辑: 杨耀辉)