

DOI:10.11992/tis.201610016

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20170227.2211.020.html>

基于改进可拓学第三创造法的产品创新设计

桂方志,任设东,赵燕伟,楼炯炯

(浙江工业大学特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室,浙江 杭州 310014)

摘要:针对可拓设计方法中第三创造法对现有产品模型的建立以及缺点列举中的不足,提出建立产品事元模型,并引入功能分析与因果链分析方法的改进第三创造法。该方法利用功能分析方法对产品的缺点进行分析,并通过因果链分析方法找出引起产品缺点的深层原因,以形成关键问题,最后运用第三创造法对关键问题的改进,得到产品创新设计方案。应用改进后的第三创造法,对现有普通断线钳进行创新设计并生成了多种不同的设计方案,对这些方案进行优度评价,选取优度最高者作为最终设计。设计结果验证了该方法的可行性和有效性。

关键词:第三创造法;事元模型;功能分析;因果链分析;创新设计

中图分类号: TP18;TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2017)01-0038-09

中文引用格式:桂方志,任设东,赵燕伟,等. 基于改进可拓学第三创造法的产品创新设计[J]. 智能系统学报, 2017, 12(1): 38-46.

英文引用格式:GUI Fangzhi, REN Shedong, ZHAO Yanwei, et al. Product innovation design using the modified third creation method[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2017, 12(1): 38-46.

Product innovation design using the modified third creation method

GUI Fangzhi, REN Shedong, ZHAO Yanwei, LOU Jiongiong

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Manufacturing Technology, Minister of Education/Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Due to the deficiency of product modeling and defect listing in the third creation method, a modified third creation method of Extenics was proposed using the affair model, and the functional analysis and cause-effect chain analysis were introduced. The product defects were found by functional analysis and the underlying cause can be determined by the cause-effect chain analysis. Then, the key defects were determined. Finally, the defects were resolved using the modified third creation method and a new product was formed with many design schemes. Also, new bolt cutters were designed by selecting the optimum scheme, and they proved the feasibility and effectiveness of the method.

Keywords: third creation method; affair model; functional analysis; cause effect chain analysis; innovative design

解决发明问题即创新设计,其核心是设计过程中的冲突消解^[1]。四川大学李彦等^[2]认为,对于产品的创新设计一般基于以下 3 个方面:1) 运用领域知识进行知识创新,如专家系统、基于实例推理 CBR 等;2) 改变思维方式的思维创新,如头脑风暴法、横向思维法等;3) 以工程技术为基础的发明问题解决法,如 TRIZ、创造模版法等。可拓学是我国学者蔡

文提出的一种解决矛盾问题的方法。赵燕伟、苏楠^[3]将可拓学理论应用于产品设计,形成可拓设计方法,该方法针对产品设计过程中出现的矛盾问题,利用可拓学理论进行研究以寻求最优设计方案^[4];陈建等^[5]根据可拓设计方法研究了转换桥方法消解产品的绿色设计冲突问题,并将其应用于油锯的绿色设计;LIAO Yongqiang 等^[6]将可拓设计方法与 Kano 需求模型相结合,对产品族的创新设计进行了研究。

可拓学第三创造法^[7-8]是从已有产品缺点出发并进行改善的概念设计方法,其中对产品缺点的分

收稿日期:2016-10-14. 网络出版日期:2017-02-27.

基金项目:国家自然科学基金项目(51275477).

通信作者:任设东.E-mail:renshedong@zjut.edu.cn.

析采用缺点列举法。缺点列举法^[9]的关键是从产品的功能、使用过程和环境以及消费者的反馈等方面找到产品的缺点或产品使用过程中的不便,产品表面的缺点易于发现并易于解决,但引起产品缺陷的内在因素却很难把握。另外,可拓学第三创造法采用的是建立产品物元模型,物元模型能够描述产品的特征及特征的量值,但是不能清楚地反映产品与其作用对象之间的相互作用。

针对上述不足,本文提出改进可拓学第三创造法。由可拓学基元理论可知,物与物之间的相互作用可用事元来描述,因此本文主要采用事元及其复合元模型对产品进行描述,并对各组件从功能特征方面用物元模型描述,以便从功能层面找出产品的缺点,进而生成更多创意。对产品缺陷的分析采用功能分析和因果链分析。功能分析和因果链分析是源于社会科学研究的两种基本方法^[10-11],在 TRIZ 理论中,这两种方法作为重要的分析工具,在解决冲突问题中起着关键作用。

1 可拓学第三创造法

广东工业大学杨春燕^[12]提出利用拓展分析方法及可拓变换实现产品创新设计的第三创造法,该方法针对现有产品的缺点,通过有序的流程对产品中存在的不足进行改进,形成新的设计方案,使其满足客户需求。在此基础上,齐宁宁等^[13]在可拓变换前加入了物元特征相关分析,丰富了设计流程,使设计过程更加清晰合理,并用该方法对生活中的垃圾桶进行了创新设计。

可拓学第三创造法是针对现有产品的缺点,通过可拓学理论将缺点进行改进的产品创新设计方法。其核心思想包括以下几个方面。

1.1 物元建模

第三创造法中的物元建模包括产品的多元模型建立和缺点分物元的建立。产品的多元模型可用多维物元模型表示,缺点分物元用一维物元模型表示。

1.2 拓展分析

为了从尽可能多的途径获得解决矛盾问题的方法,可对基元进行拓展,即拓展分析方法^[7]。拓展分析方法包括发散分析方法、相关分析方法、蕴含分析方法以及可扩分析方法。拓展分析方法不能直接解决矛盾问题,而是给问题提供多种解决途径,分析之后需采用可拓变换的方法才能获得解决方案。

1.3 可拓变换

可拓变换是可拓理论中解决矛盾问题的主要方法,可将矛盾问题转化为相容问题^[7],其包括基本变换(置换、增删、扩缩、分解、复制等)和传导变换。

1.4 优度评价

在可拓学中,优度评价方法^[7]是利用关联函数来评价产品优劣的基本方法。它从产品的技术、经济和社会角度确定衡量指标,并赋予其权系数。通过建立关联函数确定各指标的关联度,最后计算出设计方案的优度。优度的高低反映了方案的优劣,选择优度最高的设计方案确定产品的最优设计。

2 改进可拓学第三创造法

2.1 改进可拓学第三创造法流程

针对传统可拓学第三创造法中缺点列举的不足,本文首先从功能层面分析现有产品功能层面的缺点,再通过因果链分析方法找出缺点的内在原因,形成关键问题;然后通过对产品的关键问题进行拓展分析,并用可拓变换的方法生成众多产品创新设计方案;最后对改进的方案进行优度评价,选择优度值最高者作为最终设计的新产品方案。该方法的流程如图 1 所示。

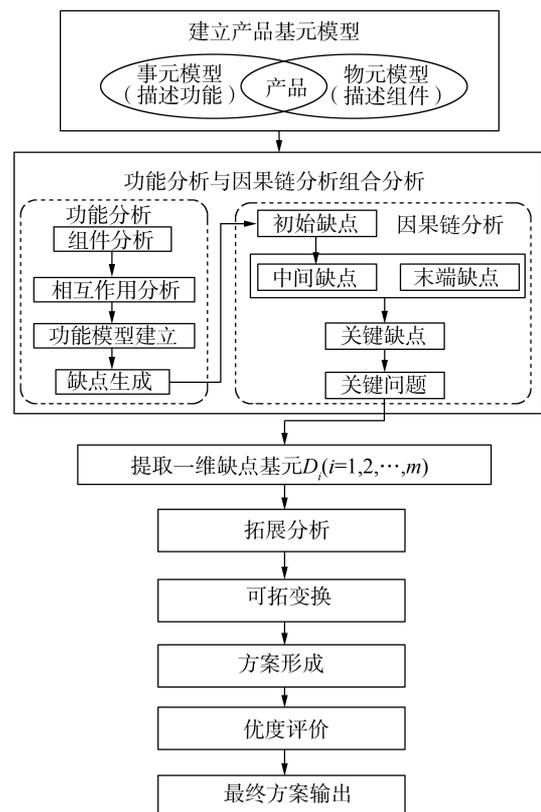


图 1 改进第三创造法设计流程图

Fig.1 Flowchart of the modified third creation method

2.2 功能分析

功能分析是 TRIZ 理论解决问题的重要分析方法,该方法从产品各组件的功能出发,发现其中不足之处^[14]。功能分析能完整定义系统各组件之间的功能关系,以便找出其中的问题。钱炜苗等^[15]提出将功能分析与约束理论相结合的方法,对太阳能组件接线盒的设计问题的根本原因进行分析并产生解决方案。卢希美等^[16]利用功能分析方法找出系统组件之间的相互作用,建立了物场模型,并用实例检验了该方法的可行性。蔡敢为等^[17]针对传统液压装载机的概念设计引入功能分析方法,设计了新型机构式装载机。通过功能分析能够确定产品改进设计的目标,从产品薄弱点确定设计的重点。其主要过程包括组件分析、相互作用分析以及功能模型的建立。

1) 在 TRIZ 理论中,组件分为系统组件和超系统组件,在进行组件分析时需要根据研究对象划分系统组件和超系统组件。

2) 两个物体相互接触就会产生相互作用。相互作用一般是通过矩阵形式表示的,若某组件与其他组件之间均不存在相互作用,则表示该组件对整个系统不产生功能,可直接从组件中去除。

3) 功能包括有用功能和有害功能,功能模型是用于描述系统组件或超系统组件的参数。从性能上看,有用功能中又存在正常功能、过度功能和不足功能,只有正常功能符合产品改进的期望值,才可以保留,而过度功能、不足功能以及有害功能都是不希望在新产品中出现的,可以通过一定的方法对其改进。

2.3 因果链分析

功能分析能够找出产品功能层面的缺陷或问题,因果链分析能够找出缺点或问题最根本的原因。因果链分析是以图形的方式呈现工程系统中的初始缺点及其潜在联系,通过探讨具体问题实现产品的改进^[18]。该分析方法在很多领域都得到了广泛的应用:O. Abramov 等^[19]用该方法分析了在农药制备过程中的物理冲突;A. Zeller^[20]在程序编译过程中能自动找到程序中出现问题的因果链;贾仁安^[21]提出了用于火力发电系统的因果链分析法,采用系统反馈环模型,找出产生冲突的因素所在,并采取措​​施予以解决。在因果链分析中,缺点分为初始缺点、中间缺点和末端缺点,三者之间存在因果关联。其分析过程如下^[13]:

1) 根据产品的结构、性能等列出需解决的初始

缺点;

2) 从初始缺点出发,找出影响该缺点的直接因素,一般可通过查阅相关文献等方法来获得,中间缺点可以有多层;

3) 重复 2),直至达到停止的条件,形成末端缺点;

4) 根据产品实际情况,在中间缺点和末端缺点中筛选出关键缺点。

3 案例分析

断线钳是用于剪切钢丝、钢筋、电缆等棒材和线材的工具,广泛应用于建筑、通信等行业^[22],其结构如图 2 所示,它是由两个曲杠杆组成的复合式杠杆结构,其工作方式是两块刀片的刀刃对材料进行对口咬合。本文采用改进后的第三创造法对断线钳进行创新设计。



图 2 断线钳的结构

Fig.2 The structure of bolt cutter

3.1 模型建立

根据断线钳的功能,建立断线钳的事元模型:

$$A = \begin{bmatrix} \text{剪切,} & \text{支配对象,} & \text{材料} \\ \text{施动对象,} & & \text{操作工} \\ \text{接受对象,} & \text{钢丝} \vee \text{电缆} \vee \dots & \\ \text{工具,} & & M \\ \text{固定方式,} & & \text{手工固定} \end{bmatrix}$$

$$\text{其中 } M = \begin{bmatrix} \text{断线钳,} & \text{操作方式,} & \text{内压 } M_3 \\ \text{机械原理,} & & \text{杠杆} \\ \text{装配方式,} & & \text{螺栓连接} \\ \text{最大剪切直径,} & & 16 \text{ mm} \\ \vdots & & \vdots \end{bmatrix}。$$

将断线钳的主要组件用物元表示:

$$M_1 = \begin{bmatrix} \text{刀片,} & \text{咬合方式,} & \text{对口咬合} \\ \text{刃口型式,} & & \text{中刃口型} \\ \text{互换性,} & & \text{一般} \\ \text{结构,} & & \text{一体化} \\ \text{材料,} & & \text{碳素工具钢} \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} \text{压板,} & \text{用途,} & \text{防松} \\ \text{材料,} & & \text{普通碳钢} \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} \text{手柄,} & \text{用途,} & \text{传送动力} \\ \text{材料,} & & \text{可锻铸铁} \end{bmatrix}$$

3.2 功能分析

功能分析是对产品分析的基础,通过功能分析,能够将产品各组件的功能详细展现出来并能找出其中存在的问题。

3.2.1 组件分析

在组件分析之前,需根据产品的约束条件对断线钳进行系统划分。断线钳的操作方式是操作者内压手柄使两刀片的刀刃挤压材料,本文保持力的施加对象不变,因此将操作组件作为超系统,其他组件作为工程系统,相应组件分析如表 1 所示。

表 1 断线钳系统组件分析

Table 1 Analysis of bolt cutter system components

工程系统	系统组件	超系统组件
断线钳(M)	刀片(M_1)、压板(M_2)、手柄(M_3)	螺栓(M_4)、材料(M_5)、操作者(M_6)

3.2.2 相互作用分析

考虑表 1 中断线钳两两组件之间的相互作用,其分析如表 2 所示。其中“+”表示两组件之间有相互作用,暗示两者之间可能存在功能;“-”表示两者无相互作用,则在后续分析过程中不再考虑这两者的功能。断线钳组件的相互作用分析如表 2 所示。

表 2 断线钳相互作用分析

Table 2 Analysis of bolt cutters interaction

组件	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
M_1	\	+	+	+	+	
M_2	+	\	-	+	-	-
M_3	+	-	\	+	-	+
M_4	+	+	+	\	-	-
M_5	+	-	-	-	\	-
M_6	-	-	+	-	-	\

3.2.3 功能建模

功能体现在两组件之间发生参数或状态变化。若某功能是有用的,可根据其作用对象的不同,将有用功能分为基本功能(对象是系统目标)、辅助功能(对象是超系统组件)或附加功能(对象是其他组件),这 3 种功能的重要性是不同的。有害功能是产品设计中必须要避免的,所以需特殊对待。对断线钳的各组件功能进行两两分析,结果如表 3 所示。

表 3 断线钳功能表

Table 3 Functions of bolt cutter

组件	功能	事元符号表示	等级	性能水平
M_1	剪切 M_5	A	基本功能	不足
M_2	保证 M_1 切割面	A_1	附加功能	正常
	防止 M_1 松动	A_2	附加功能	正常
M_3	转动 M_1	A_3	有害功能	
	剪切 M_5	A	基本功能	不足
M_4	固定 M_1, M_2, M_3	A_4	附加功能	正常
M_6	对 M_3 施力	A_5	辅助功能	过量
	剪切 M_5	A	基本功能	不足

3.2.4 图形化表示

对上述断线钳功能表进行图形化描述,能够使各组件之间功能的关系更加直观。不同功能的图形化描述如表 4 所示。

表 4 功能图形化表示

Table 4 The graphic representation of function

功能类型	性能水平	图形符号
正常功能	正常功能	→
有用功能	不足功能	---→
	过度功能	⇒
有害功能		~→

将表 3 中的功能进行图形化表示如图 3 所示。

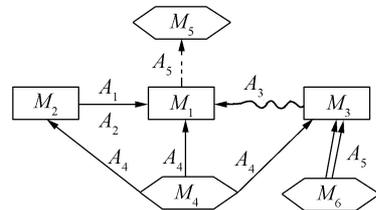


图 3 断线钳的功能模型图

Fig.3 The function model of bolt cutter

3.2.5 功能缺点列举

将图 3 所反映出的问题列出来,就可得到如表 5 所示的功能缺点列表,根据这些缺点,就可以进行下一步因果链分析,找出问题的潜在原因。

表 5 断线钳功能缺点

Table 5 Functional defect of bolt cutter

序号	功能缺点	可拓模型表示
1	剪切材料效率低	$S_1 = (\text{剪切, 效率, 低})$
2	操作者施加过量的力	$S_2 = (\text{施加, 力, 过量})$
3	手柄带动刀片转动	$S_3 = (\text{转动, 支配对象, 刀片})$

3.3 因果链分析

因果链分析关键在于对矛盾的挖掘, 对于一个矛盾问题, 引起其产生的原因可能有很多, 但是在究其原因的时候, 需要注意矛盾的层次性, 在找某一缺点的原因时, 只需分析其直接诱因, 而不必究其内涵, 如果在找原因时跳跃性太大, 会丢失很多产生问题的原因, 减少了解决问题的关键点。

由功能分析找到了断线钳存在的 3 个缺点, 针对缺点 S_1 进行因果链分析, 其结果如图 4 所示。

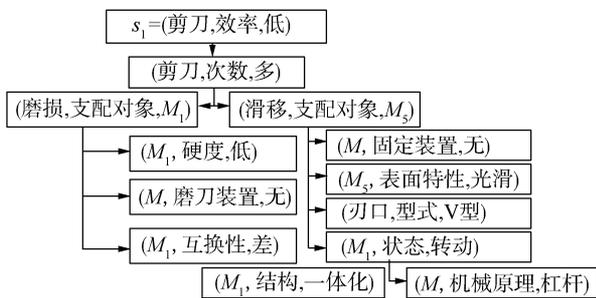


图 4 因果链分析

Fig.4 Cause-effect chain analysis

每个缺点都可能是解决问题的突破口, 材料方面的原因与断线钳的创新设计无关, 因此无需继续分析其深层次原因。从图 4 的分析结果可以提炼出关键缺点, 并可将其转换为关键问题, 以采用适当方法加以解决。本文提取出的关键缺点、其问题表述以及可能解决的方案如表 6 所示。

表 6 因果链分析结果

Table 6 Result of cause-effect chain analysis

序号	关键缺点	缺点表述	可能解决的方案
1	(M , 磨刀装置, 无)	无法磨刀	加装磨刀机构
2	(M_1 , 互换性, 差)	换刀不便	改变刀片结构
3	(M_1 , 状态, 转动)	刀片绕螺母转动	改变机械结构
4	(M , 固定装置, 无)	未固定材料、断线钳	加装固定装置

3.4 拓展分析

由功能分析和因果链分析得出产品创新设计的关键问题, 将这些问题用一维基元表示:

$$D_1 = (\text{磨损, 支配对象, 刀片})$$

$$D_2 = (\text{刀片, 用途, 剪切})$$

$$D_3 = (\text{断线钳, 机械原理, 杠杆})$$

$$D_4 = (\text{滑移, 支配对象, 材料})$$

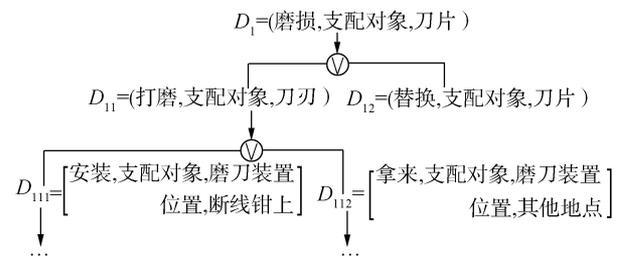
对这些缺点基元进行如下拓展分析。

3.4.1 对刀片和待剪切材料进行蕴含分析

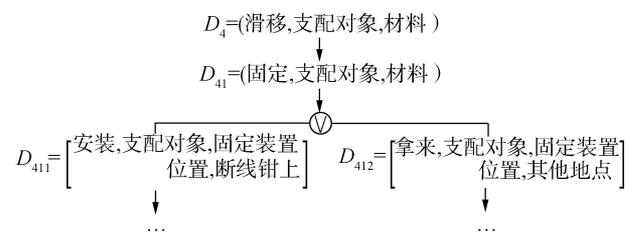
在刀片变钝的情况下, 必须对刀片进行磨刀或者换刀, 磨刀需要有磨刀装置, 磨刀装置又可集成到断线钳上或采用独立磨刀装置两种方式……。因此, 其蕴含分析过程如图 5(a) 所示。

若采用在断线钳上安装磨刀装置, 则根据可加分析原理, 将断线钳与磨刀装置构成“聚合物”; 若采用拿来其他独立的磨刀机构, 则可根据可积分析原理将断线钳与磨刀装置构成完整的工程系统。

同理, 对剪切材料蕴含分析如图 5(b) 所示。



(a) 缺陷 D_1 蕴含分析



(b) 缺陷 D_4 蕴含分析

图 5 蕴含分析

Fig.5 Implication analysis

根据上述蕴含分析结果, 再利用发散分析将思路具体化:

$$D_{111} \left\{ \begin{array}{l} D_{1111} = \left[\begin{array}{l} \text{安装} \quad \text{支配对象} \quad \text{磨刀石} \\ \text{位置,} \quad \text{断线钳上} \end{array} \right] \\ D_{1112} = \left[\begin{array}{l} \text{安装,} \quad \text{支配对象,} \quad \text{磨刀棒} \\ \text{位置,} \quad \text{断线钳上} \end{array} \right] \end{array} \right.$$

$$\begin{cases}
 D_{1121} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 磨刀石} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{1122} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 磨刀棒} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{1123} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 电动磨刀器} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{1124} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 电动砂轮} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{4111} = \begin{bmatrix} \text{安装, 支配对象, 套筒} \\ \text{位置, 断线钳上} \end{bmatrix} \\
 D_{4112} = \begin{bmatrix} \text{安装, 支配对象, 机械臂} \\ \text{位置, 断线钳上} \end{bmatrix} \\
 D_{4121} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 卡盘} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{4122} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 虎钳} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{4123} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 弹簧夹头} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix} \\
 D_{4124} = \begin{bmatrix} \text{拿来, 支配对象, 吸盘} \\ \text{位置, 其他} \end{bmatrix}
 \end{cases}$$

3.4.2 对刀片进行可扩分析

在刀片变钝或者已经无法再使用的情况下,可采取的另一种方法就是将其更换掉,但是目前的断线钳的刀片是一体化结构,因此可按一定条件对刀片进行可分解分析:

$$D_2 // (l) \{D_{21}, D_{22}\}, \quad l = \text{用途}$$

3.4.3 对断线钳的机械原理进行发散分析

断线钳的功能是剪切材料,现有断线钳为双杠杆机构,两刃口在剪切时呈现 V 形,材料会产生滑移,因此,可将断线钳的 V 形对口咬合改为平行对口咬合。故而对断线钳的机械原理进行发散分析:

$$D_3 \begin{cases}
 D_{31} = (\text{断线钳, 机械原理, 曲柄滑块}) \\
 D_{32} = (\text{断线钳, 机械原理, 凸轮机构}) \\
 D_{33} = (\text{断线钳, 机械原理, 蜗杆机构}) \\
 \vdots
 \end{cases}$$

3.4.4 对断线钳的组件进行相关分析

由于断线钳的各组件之间具有相关性,通过相关分析能够清楚表明它们之间的相互关系,其相关网模型如下:

$$M_6 \sim M \sim \begin{cases} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \end{cases}$$

3.5 可拓变换

可拓变换方法有多种,针对不同的模型可采取不同的变换。由上述拓展分析结果可知,断线钳的各项缺点都有很多不同变换方向,因此可以采用不同的设计方案。设可拓基本变换方法为 $T = \{\text{置换, 分解, 增加, 删减, 扩大, 缩小, 复制, } \dots\} = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, \dots\}$, 取

$$M_2 = \begin{bmatrix} \text{压板, 用途, 防松} \\ \text{材料, 普通碳钢} \end{bmatrix}$$

$$M_{31} = (\text{手柄, 用途, 传送动力})$$

$$M_{02} = (\text{断线钳, 机械原理, 杠杆})$$

$$M'_1 = \begin{bmatrix} \text{刀片, 用途, 剪切} \\ \text{材料, 碳素结构钢} \end{bmatrix}$$

则根据上述拓展分析,分别对其作如下可拓变换:

变换 1

$$M_2 = \begin{bmatrix} \text{压板, 用途, 防松} \\ \text{材料, 普通碳钢} \end{bmatrix} \rightarrow \text{增加} \wedge \text{置换}$$

$$T_1 M_2 \wedge T_3 M_2 = \begin{bmatrix} \text{压板, 用途, 防松} \wedge \text{磨刀} \\ \text{材料, 砂岩} \end{bmatrix}$$

变换 2

$$M_{31} = (\text{手柄, 用途, 传送动力}) \rightarrow \text{增加} \rightarrow T_3 M_{31} =$$

$$\begin{bmatrix} \text{手柄} \oplus \text{磨刀棒, 用途, 传送动力} \\ \text{位置, 手柄中} \end{bmatrix}$$

变换 3

$$M_{02} = (\text{断线钳, 机械原理, 杠杆}) \rightarrow \text{置换} \rightarrow T_1 M_{02} = (\text{断线钳, 机械原理, 曲柄滑块})$$

变换 4

$$M'_1 = \begin{bmatrix} \text{刀片, 用途, 剪切} \\ \text{材料, 碳素结构钢} \end{bmatrix} \rightarrow \text{分解} \rightarrow$$

$$T_2 M'_1 = \{M_{11}, M_{12}\}$$

$$\text{其中 } M_{11} = \begin{bmatrix} \text{刀刃, 用途, 剪切} \\ \text{材料, 碳素工具钢} \end{bmatrix}, M_{12} = \begin{bmatrix} \text{刀架, 用途, 固定刀刃} \\ \text{材料, 普通碳钢} \end{bmatrix}.$$

可拓变换具有传导性,其中一个特征发生变化,其他若干特征也会随之发生变化,适用于当原问题的变换引起其他问题发生转变的矛盾问题。对断线钳的机械原理可拓变换之后,即 M 发生了变化,由上述相关分析可知 M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 将发生传导变换,如杠杆机构的改变会使刀片材料或型式发生变化,即 ${}_M T_{M_1} M'_1 = M''_1$ 。另外,也可能改变压板的用途及材料,即 ${}_M T_{M_2} M_2 = M'_2$ 。这将会造成断线钳的整个结构发生变化,但是这种变化不一定会使结构更加复杂。

根据上述变换并结合实际分析,可得到以下设计方案。

方案1 替换压板材料,使其具备磨刀功能,其物元模型可表示为

$$N_1 = \begin{bmatrix} \text{新断线钳,} & \text{用途,} & \text{剪切} \\ & \text{最大剪切直径,} & \text{16 mm} \\ & \text{创新等级,} & \text{微小改进} \\ & \text{制造成本,} & \text{230 元} \\ & \text{便携性,} & \text{一般} \\ & \text{互换性,} & \text{一般} \end{bmatrix}$$

方案2 改变机构的机械原理,采用四边形机构进行传动,使刀刃剪切时保持平行,增大剪切力,其物元模型可表示为

$$N_2 = \begin{bmatrix} \text{新断线钳,} & \text{用途,} & \text{剪切} \\ & \text{最大剪切直径,} & \text{20 mm} \\ & \text{创新等级,} & \text{较大改进} \\ & \text{制造成本,} & \text{220 元} \\ & \text{便携性,} & \text{好} \\ & \text{互换性,} & \text{一般} \\ & \text{机械原理,} & \text{曲柄滑块} \end{bmatrix}$$

方案3 将方案2中的刀片模块化,其物元模型可表示为

$$N_3 = \begin{bmatrix} \text{断线钳,} & \text{用途,} & \text{剪切} \\ & \text{最大剪切直径,} & \text{20 mm} \\ & \text{刀片结构,} & \text{模块化} \\ & \text{创新等级,} & \text{重大改进} \\ & \text{制造成本,} & \text{240 元} \\ & \text{便携性,} & \text{好} \\ & \text{互换性,} & \text{好} \\ & \text{机械原理,} & \text{曲柄滑块} \end{bmatrix}$$

3.6 优度评价

针对普通断线钳的制造以及应用情况,从其技术、经济和社会方面进行全方位衡量,确定其衡量条件:

$$MI = \{MI_1, MI_2, MI_3, MI_4\}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} MI_1 = (\text{创新等级}, d) \\ MI_2 = (\text{制造成本}, c \text{ 元/把}) \\ MI_3 = (\text{便携性}, p) \\ MI_4 = (\text{互换性}, e) \end{cases}$$

根据市场调查并查阅相关资料, $d \in \{\text{全新技术, 重大改进, 较大改进, 微小改进, 无改进}\}$, $c \in [20, 400]$, $p \in \{\text{好, 一般, 差}\}$, $e \in \{\text{好, 一般, 差}\}$ 。

根据评价指标的重要程度高低,对 MI_1 、 MI_2 、

MI_3 、 MI_4 赋予权系数,即

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = (0.1, 0.3, 0.3, 0.3)$$

对于衡量指标 MI_2 ,其最优点位于区间 $[a, b] = [20, 400]$ 的中点,即

$$M = \frac{a + b}{2} = \frac{20 + 400}{2} = 210$$

则其关联函数为

$$K(x) = \begin{cases} \frac{2(x - a)}{b - a}, & x \leq \frac{a + b}{2} \\ \frac{2(b - x)}{b - a}, & x \geq \frac{a + b}{2} \end{cases}$$

由上式计算改进后方案的关联度分别为 $K_{21}(230) = 0.895$, $K_{22}(220) = 0.947$, $K_{23}(240) = 0.842$ 。

由于产品的创新等级和便利性指标是一个离散的数据,对方案的创新等级、便携性以及互换性衡量指标进行量化^[18],可令

$$K(d) = \begin{cases} 3, & d = \text{全新技术} \\ 2, & d = \text{重大改进} \\ 1, & d = \text{较大改进} \\ 0, & d = \text{微小改进} \\ -1, & d = \text{无改进} \end{cases}$$

$$K(p) = \begin{cases} 1, & p = \text{好} \\ 0, & p = \text{一般} \\ -1, & p = \text{差} \end{cases}$$

$$K(e) = \begin{cases} 1, & e = \text{好} \\ 0, & e = \text{一般} \\ -1, & e = \text{差} \end{cases}$$

则关联度矩阵为

$$\begin{cases} \mathbf{K}(N_1) = (K_1(MI_1), K_1(MI_2), K_1(MI_3), K_1(MI_4)) \\ \mathbf{K}(N_2) = (K_2(MI_1), K_2(MI_2), K_2(MI_3), K_2(MI_4)) \\ \mathbf{K}(N_3) = (K_3(MI_1), K_3(MI_2), K_3(MI_3), K_3(MI_4)) \end{cases}$$

$$\text{即} \begin{cases} \mathbf{K}(N_1) = (0, 0.895, 0, 0) \\ \mathbf{K}(N_2) = (1, 0.947, 1, 0) \\ \mathbf{K}(N_3) = (2, 0.842, 1, 1) \end{cases}$$

由关联度规范化^[19]公式

$$k_{ij} = \frac{K_i(MI_j)}{\max_{q \in \{1, 2, \dots, m\}} |K_q(MI_j)|}$$

式中, k_{ij} 表示第 i 个方案的第 j 个衡量指标, m 为方案总数量。可将上述关联度规范化为

$$\begin{cases} k(N_1) = (0, 0.944, 0, 0) \\ k(N_2) = (0.5, 1, 1, 0) \\ k(N_3) = (1, 0.889, 1, 1) \end{cases}$$

由优度计算公式:

$$C(N_i) = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \begin{bmatrix} k_{i1} \\ k_{i2} \\ \vdots \\ k_{in} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n \alpha_i k_{ij}$$

对上述两种方案的综合评价结果为: $C(N_1) = 0.283$,
 $C(N_2) = 0.650$, $C(N_3) = 0.967$ 。

根据评价结果,选择优度最高者作为最终设计方案,即采用方案3作为断线钳的创新设计方案,该方案的机构原理如图6所示。

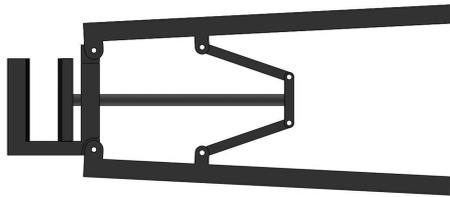


图6 方案3机构原理图

Fig.6 Schematic diagram of the program 3

4 结束语

可拓设计以解决设计过程中的矛盾问题为目标,其中提出的三个创造法能初步处理产品开发过程中的矛盾问题并可应用于产品设计中。本文改进了可拓设计方法中第三创造法的不足之处,采用事元建立产品模型,采取功能分析和因果链分析相结合的分析方法对缺点进行列举,并利用可拓学中的方法对普通断线钳进行改进,设计出了3种不同的设计方案,通过优度评价获得最优的设计方案,对产品的创新设计提供一种可行有效的思路。文中仅对结构简单的普通断线钳进行了创新设计,对于该方法在复杂装备中的创新设计的应用仍需进一步研究。

参考文献:

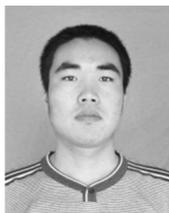
- [1] 檀润华. 产品创新设计若干问题研究进展[J]. 机械工程学, 2003, 39(9): 11-16.
TAN Runhua. Progress of some problems in product design for innovation [J]. Chinese journal of mechanical engineering, 2003, 39(9): 11-16.
- [2] 李彦, 李翔龙, 赵武, 等. 融合认知心理学的产品创新设计方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(9): 1201-1207.
LI Yan, LI Xianglong, ZHAO Wu, et al. Research on product creative design with cognitive psychology [J]. Computer integrated manufacturing systems, 2005, 11(9): 1201-1207.
- [3] 赵燕伟, 苏楠. 可拓设计[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4] 赵燕伟, 周建强, 洪欢欢, 等. 可拓设计理论方法综述与展望[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(5): 1157-1167.
ZHAO Yanwei, ZHOU Jianqiang, HONG Huanhuan, et al. Overview and prospects of extension design methodology[J]. Computer integrated manufacturing systems, 2015, 21(5): 1157-1167.
- [5] 陈建, 赵燕伟, 李方义, 等. 基于转换桥方法的产品绿色设计冲突消解[J]. 机械工程学报, 2010, 46(9): 132-142.
CHEN Jian, ZHAO Yanwei, LI Fangyi, et al. Transforming bridge-based conflict resolution for product green design[J]. Journal of mechanical engineering, 2010, 46(9): 132-142.
- [6] LIAO Yongqiang, YANG Chunyan, LI Weihua. Extension innovation design of product family based on Kano requirement model[J]. Procedia computer science, 2015, 55: 268-277.
- [7] 杨春燕, 蔡文. 可拓学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [8] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [9] 何文波, 刘丽萍. 基于缺点列举法的产品设计[J]. 河南科技大学学报: 社会科学版, 2006, 24(2): 70-72.
HE Wenbo, LIU Liping. Product design based on enumerating defect [J]. Journal of Henan university of science and technology: social science, 2006, 24(2): 70-72.
- [10] 龙书芹. 论默顿的功能分析范式[J]. 广西社会科学, 2006(2): 175-177.
LONG Shuqin. Causal analysis and functional analysis in the sociological research—the status of causal analysis in Robert K. Merton's paradigm[J]. Guangxi social sciences, 2006(2): 175-177.
- [11] SHIMODA Y, NARUMI D, MIZUNO M. Environmental impact of urban heat island phenomena—cause-effect chain and evaluation in Osaka City—[J]. Journal of Life Cycle Assessment, Japan, 2005, 1(2): 144-148.
- [12] 杨春燕. 新产品构思的第三创造法[J]. 广东工业大学学报, 1997, 14(1): 25-30.
YANG Chunyan. Third way of creation in new product conception [J]. Journal of Guangdong university of technology, 1997, 14(1): 25-30.
- [13] 齐宁宁, 杨春燕. 基于可拓学第三创造法的产品概念设计[J]. 数学的实践与认识, 2015(5): 226-238.
QI Ningning, YANG Chunyan. Product conceptual design based on third creative method of Extenics [J]. Mathematics in practice and theory, 2015(5): 226-238.
- [14] 孙永伟, 谢尔盖·伊克万科. TRIZ 打开创新之门的金

- 钥匙 I [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [15] 钱炜苗, 吕凤吹, 王耘, 等. 功能分析与约束理论集成驱动产品改进设计研究[J]. 机械设计, 2011, 28(9): 1-5.
QIAN Weimiao, LV Fengchui, WANG Yun, et al. Research on improvement design of FA and TOC integrated drive product [J]. Journal of machine design, 2011, 28(9): 1-5.
- [16] 卢希美, 张付英, 张青青. 基于 TRIZ 理论和功能分析的产品创新设计[J]. 机械设计与制造, 2010(12): 255-257.
LU Ximei, ZHANG Fuying, ZHANG Qingqing. Product innovation design based on the theory of TRIZ and functional analysis [J]. Machinery design & manufacture, 2010(12): 255-257.
- [17] 蔡敢为, 潘宇晨, 王红州, 等. 基于功能分析的新型装载机构型综合研究[J]. 机械工程学报, 2014, 50(11): 50-59.
CAI Ganwei, PAN Yuchen, WANG Hongzhou, et al. Functional analysis based type synthesis of a novel type of loading mechanisms [J]. Journal of mechanical engineering, 2014, 50(11): 50-59.
- [18] DOBRUSSKIN C. On the identification of contradictions using cause effect chain analysis [J]. Procedia CIRP, 2016, 39: 221-224.
- [19] ABRAMOV O, KOGAN S, MITNIK-GANKIN L, et al. TRIZ-based approach for accelerating innovation in chemical engineering [J]. Chemical engineering research and design, 2015, 103: 25-31.
- [20] ZELLER A. Isolating cause-effect chains from computer programs [C] // Proceedings of the 10th ACM SIGSOFT Symposium on Foundations of Software Engineering. New York, USA, 2002: 1-10.
- [21] 贾仁安, 沈小龙. 系统运行全部反馈环关键因果链分析法——以转型期火力发电系统实践为例[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(10): 2675-2687.
JIA Ren'an, SHEN Xiaolong. Analysis Method of system running by key causal chains of all feedback loops-An example to practice for the coal-power system in the transferring period [J]. Systems engineering-theory & practice, 2014, 34(10): 2675-2687.
- [22] 夏小玲, 刘伟平. 液压断线钳与普通断线钳剪切痕迹的检验及应用[J]. 中国司法鉴定, 2010(5): 52-55.
XIA Xiaoling, LIU Weiping. Cutting marks made by hydraulic cutter and bolt cutter [J]. Chinese journal of forensic sciences, 2010(5): 52-55.

作者简介:



桂方志, 男, 1992 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为数字化制造、可拓设计。



任设东, 男, 1989 年生, 博士研究生, 主要研究方向为数字化制造、可拓设计。



赵燕伟, 女, 1959 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为数字制造/数字装备建模与仿真的基础理论和关键技术、现代物流系统智能配送与优化调度、可拓设计等。