

基于原理实例检索的可变功能产品功能升级再设计

涂 强^{1,2}, 邓益民^{1,2*}, 王君宇^{1,2}

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211;

2. 浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 针对可变功能产品随市场变化导致其功能和性能存在不足之处的情况, 提出了用于该类产品功能升级再设计的“原理实例检索法”。首先, 归纳总结出功能升级的4种基本类型, 依据总结出的功能升级类型, 从功能需求的角度出发, 提出了一个功能升级辅助再设计软件原型系统, 用以进行原理实例的检索。若检索结果无相关原理或实例支持功能升级, 则对升级功能进行TRIZ(发明问题解决理论)工程参数转化, 通过构建冲突矩阵获得创新原理解。以电动工具为例, 建立的功能升级辅助再设计系统搜集了用于实现电动工具常见功能的基本原理和实例, 并利用Access数据库和Visual Basic 6.0对设计信息进行存储和原型系统构建。其次, 对升级功能结构和原共享结构间的匹配情况进行分析, 得出结构匹配可能出现的5类基本情况。最后, 以电钻“打磨固体”升级功能设计为实例, 利用上述功能升级再设计方法, 设计出了磨砺性能良好的“去锈打磨盘”, 验证了所提出的可变功能产品功能升级再设计方法的可行性。

关键词: 可变功能产品; 功能升级再设计; 原理实例检索; 结构匹配

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 04-0017-06

概念设计是产品设计过程中十分重要的阶段, 此阶段不仅决定了产品的功能实现形式, 也决定了产品绝大部分的生产成本。同时, 在整个产品设计过程中, 概念设计阶段最能够激发设计者创新性思维^[1-2]。创新性思维一般可以分为两类^[3]: 一种是从设计原理出发进行设计概念的创造, 即一种从无到有的创新, 这是一种根本性的创新; 第二种是在原有功能原理基础上进行改变的创新, 称为渐进性创新。其中第二种创新性形式更加符合设计者的一般设计过程, 特别是基于已有产品的再设计。产品设计是在功能驱动情况下, 设计者通过功能需求和物理结构间的复杂映射来达到设计目的的过程。为了反映功能和物理结构间的映射关系和约束关系, 国内外专家学者进行了一系列的研究。例如 Qian 等^[4]提出了“FBS(功能-行为-结构)”模型, 将产品的设计从功能层映射到行为层,

再从行为层映射到结构层, “功能-行为-结构”模型的提出可以描述产品设计过程的所有信息; Deng 等^[5]提出了概念设计过程的“FEBS(功能-环境-行为-结构)”模型, 该模型通过引入环境信息促进功能分解及因果行为的产生; 李国喜等^[6]提出了“FPBS(功能-原理-行为-结构)”模型的构建方法, 并将此模型运用到模块化设计方法中。上述这些模型从功能层面出发, 在产品设计中考虑功能、环境、原理等多种因素, 采用由顶向下的设计策略, 为概念设计方案的确定提供了较好的理论基础。

可变功能产品由于其功能众多, 且功能间转换便捷等特点而深受市场欢迎。此类产品相比于功能结构单一的传统产品在功能上具有更广泛的适应性和耦合性^[7-8], 但随市场的变化, 产品设计人员会面临消费者功能需求变化和企业内部功能技术革新等问题, 这时为进一步满足消费者新功

收稿日期: 2016-12-24.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journaljg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51375246); 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目(2016R405069)。

第一作者: 涂强(1992-), 男, 江西南昌人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计理论与方法。E-mail: tqnbu123@163.com

*通信作者: 邓益民(1966-), 男, 安徽舒城人, 博士/教授, 主要研究方向: 设计理论与方法、注塑成型与优化。E-mail: dengyimin@nbu.edu.cn

能的使用需求, 往往要对相应产品进行功能更新和性能升级再设计, 因此, 产品的功能再设计问题研究是产品设计中不可避免的问题之一。目前研究人员所建立的概念设计体系中还没有专门针对可变功能产品功能升级再设计理论模型, 也缺少具有指导作用的相关设计方法。

1 功能升级再设计类型

可变功能产品的升级包括功能升级和性能提升。虽然可变功能产品本身已经具有较多功能, 但随着市场的变化会导致产品功能并不能满足实际需要。因此, 对该类产品进行功能升级是改善其功能使用情况的有效方式, 功能升级操作特别是针对于偏锋型产品进行升级操作尤为必要。偏锋型产品是指该可变功能产品虽然功能众多, 但各功能间使用频率具有很大偏差^[9]。因此, 根据可变功能产品结构所具备的特点(可变功能构件和共享结构具有一定非耦合性), 总结出该类产品功能构件升级操作的 4 种基本类型。

(1) 功能增添。功能增添是指有些产品随着市场的变化, 其功能数量和类型达不到消费者的现有使用需求, 需要通过增添新功能方式来满足消费者的新使用需求。

(2) 功能删除。功能删除是指产品中那些基本不需要的功能或已经被淘汰的功能, 在进行再设计时需要对该类功能进行删除, 以避免不必要的资源浪费。

(3) 功能修改。功能修改是指产品的功能在其相关的物理属性上达不到新的应用需求, 从而需要通过修改功能属性值的方式进行产品升级。例如轴承的功能“支撑轴体”中有一个属性是支撑力的大小。若新的应用场合需要更大的支撑力, 则在修改功能时需要相应地更改其属性值, 使新功能的属性值满足新的使用需求。其他常见的功能属性有运动长度、角度, 运动速度、加速度, 角速度、角加速度, 受力面积、受力大小、方向等。

(4) 功能置换。功能置换是指可变功能产品在功能升级操作时, 在保证功能数目不变的前提下, 用一种或几种新功能去替换原来的一种或几种功能。功能置换是可变功能产品功能升级中功能删除和功能增添的综合。

图 1 是功能升级各情况示意图。

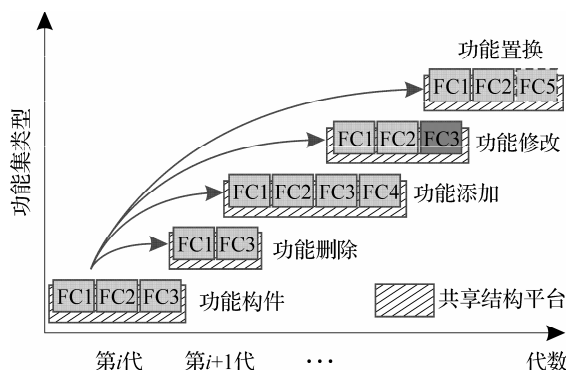


图 1 功能升级再设计类型示意图

对可变功能产品进行功能升级再设计时, 产品设计人员不仅可以基于具有相似性的同一产品族(例如在对多功能扳手进行升级时增加其锤击功能, 铁锤和扳手均隶属于工具产品族)进行功能升级再设计, 也可以将属于不同产品族的创新功能引入新的设计方案中, 其中基于组合思想的再设计方法^[10]为后者提供了一定的研究基础。

在功能升级过程中共享结构平台可表示为:

$$C_{\text{Max},s} = (C_{g1} \cap C_{g2}) \cup (C_{g2} \cap C_{g3}) \cdots, \quad (1)$$

$$C_{\text{Min},s} = C_{g1} \cap C_{g2} \cap C_{g3} \cdots, \quad (2)$$

式中, $C_{\text{Max},s}$ 为升级后产品构件和原产品构件共享最大情况; $C_{\text{Min},s}$ 为升级后产品构件和原产品构件共享最小情况; C_{gi} 为第 i 代产品所有构件。

2 功能升级再设计过程与方法

2.1 再设计基本流程

可变功能产品功能升级再设计的目的是使再设计后产品的功能更符合消费者实际使用要求。“功能-行为-结构”映射理论表明, 功能是设计人员需要达到的目的和意图, 行为是指实现功能所采用的途径和方法, 结构是指实现功能时采用的物理构件和组合。消费者的功能需求最终要依靠结构进行实现, 对可变功能产品进行功能升级再设计实质上是对实现可变功能产品升级功能的结构进行再设计。在结构再设计中, 求解结构的原理方法又是重点和关键, 设计人员面对客户的升级功能需求时, 通常是在现有产品功能原理信息基础上, 利用数据挖掘(data mining)^[11-12]、CBR(实例推理)^[13]以及相似推理(analogy-based reasoning)^[14]等进行相似性实例或原理方法的搜索。搜索结果

一般会有两种情况: (1)存在可用于支撑升级功能实现的原理方法或实例; (2)不存在可用于升级功能实现的原理方法, 或者现有原理不完善需要改进. 对第一种情况, 搜索得到的原理方法或实例通常需进行兼容性修改, 如应用公理设计中的功能独立原理对原理或实例进行评估^[15], 并在此基础上加以修改完善. 对于第二类情况, 需进行设计综合和创新, 例如对所升级的功能进行 TRIZ 工程参数转化, 通过构建冲突矩阵来得到所需要的原理创新解, 最后应用“原理-结构”映射求得所需结构解. 若构建冲突矩阵失败, 则还可以进一步利用其他 TRIZ 工具进行原理求解. 可变功能产品功能升级的具体流程框架如图 2 所示.

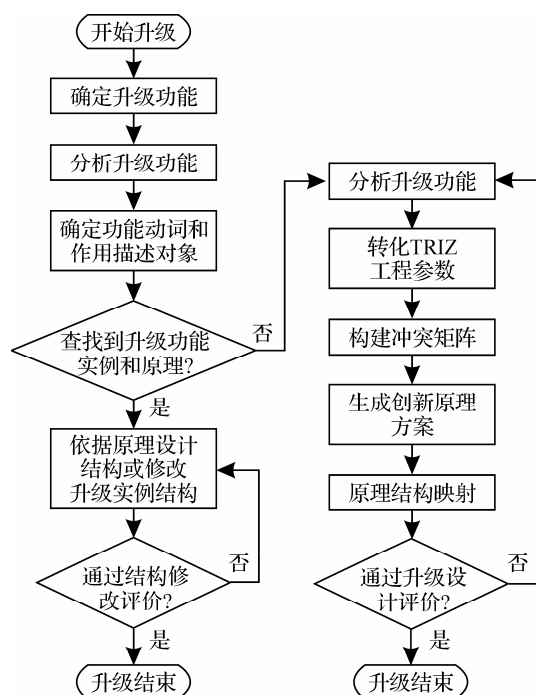


图2 功能升级再设计流程框架

2.2 设计信息表达及功能升级辅助设计软件原型

为了实现上述的再设计流程框架, 需要一种能够合理有效支撑功能升级再设计的基本方法. 设计人员在功能增添、删除、修改和置换等升级再设计创新时, 已有的设计案例或类似相关的设计原理是一类重要的设计知识. 因此, 一种常用的辅助设计方法是针对特定的设计领域或设计对象建立常见或相关机械产品的功能原理数据库. 为此, 本文利用 Microsoft Visual Basic 6.0 构建了一个功能升级辅助设计软件系统, 并以电动工具

类产品为例, 利用 Microsoft Access 建立了该产品常用设计原理和案例数据库. 其中的设计信息采用了“动词+名词”形式的表达方法^[16], 即通过“动词性描述”和“对象描述”表达功能和行为信息. 基于该方法, 设计人员可以从“动词性描述”或“对象描述”出发进行条件筛选, 其中动词性描述主要是从“分支”“导向”“连接”“控制大小”“转换”“供应”“接发”“支撑”这 8 个基本动词进行描述归纳; “对象描述”主要是从“对象类型描述”和“对象名称描述”来进行分类, 对象类型进一步分为“物料”“信号”“能量”等基本类型, 而对象名称为功能具体实现情况. 以升级功能“控制电压”为例, 利用开发出的功能升级辅助软件筛选检索得到的原理信息和检索操作方式如图 3 和图 4 所示.

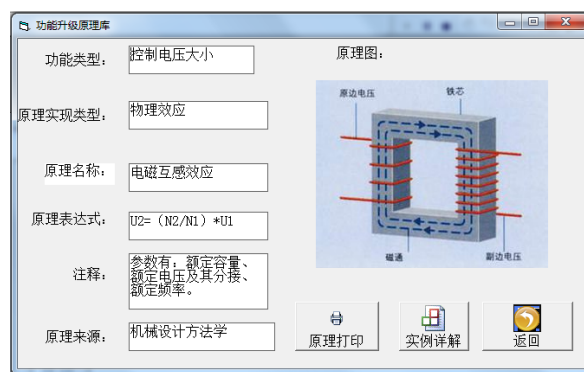


图3 控制电压原理库

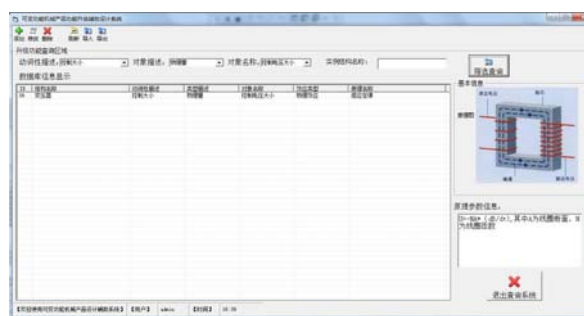


图4 控制电压检索

2.3 基于 TRIZ 理论的升级原理方案改进与补充

对可变功能产品进行功能升级再设计的目标是使功能升级后的产品满足消费者对新功能的要求, 当所建立的功能升级辅助再设计系统无法查询到能够满足要求的原理或案例, 或者所获得的原理或案例不能很好解决当前设计问题时, 设计人员可借助 TRIZ 理论和方法进行创新原理的求解,

为上述辅助再设计系统提供新的或改进的设计原理和案例。为此,需要将升级功能转化为 TRIZ 方法所需要的工程参数,然后利用冲突矩阵进行创新原理求解。图 5 即是升级功能“供给能量”基于 TRIZ 理论的求解模型。首先对“供给能量”功能进行工程参数转化,将“供给能量”功能转化为改善的通用工程参数“操作流程的方便性”和恶化的通用工程参数“能量损失”,然后再将所获得的解决方案依次进行“原理-行为”“行为-结构”等映射。具体求解过程如图 5 所示。

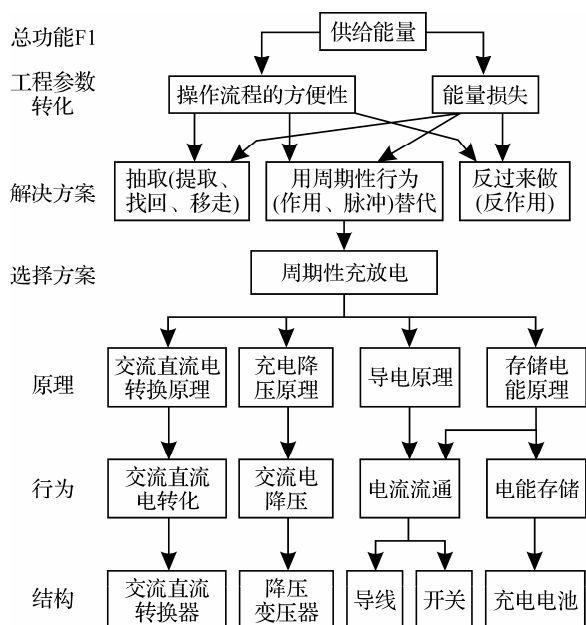


图 5 基于 TRIZ 理论的供给能量结构求解模型

3 功能升级结构匹配

升级功能的实现最终需要映射到产品结构,再设计后的升级结构和可变功能产品共享结构之间的匹配问题是升级再设计过程的关键部分,结构匹配情况直接关系到升级原理方案的选择和结构的再设计。其中结构的匹配又最主要体现在升级结构和共享结构之间的接口匹配,接口是升级结构和共享结构进行能量、信息和物料交换的必要途径。本文对结构间可能出现的匹配情况进行分类分析,将结构匹配类型分成两大类:第一类是结构和结构间的匹配问题,包括了结构匹配时的尺寸匹配、形状匹配、功能流匹配等;第二类匹配是指结构匹配后的新系统和外环境间相容性匹配问题,此类匹配情况主要是考虑匹配后的整体结构

和工作环境间的友好性,图 6 为升级结构匹配可能出现的几种基本情况。

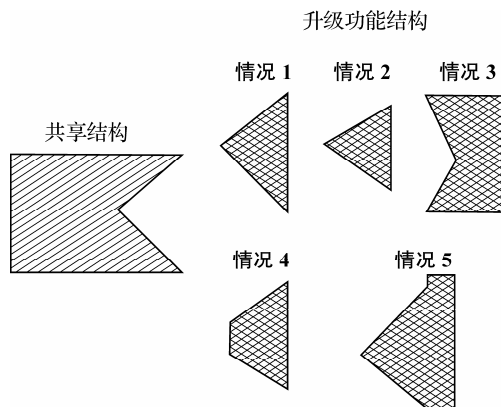


图 6 结构匹配基本类型

情况 1 结构匹配成功,包括在关键几何参数、几何形状以及外部环境等都方面具有较好的匹配结果;

情况 2 结构形状、外环境等匹配成功,但升级结构和共享结构之间关键几何参数不匹配,从而导致结构匹配失败;

情况 3 结构几何参数等匹配成功,但相互匹配的两结构功能流一致(即同为输入功能流或同为输出功能流),最后导致结构匹配失败;

情况 4 待匹配结构之间的主要尺寸参数和外环境等匹配合适,但几何形状匹配失败,最终导致结构匹配失败;

情况 5 结构间几何形状、基本几何参数、功能流等匹配合适,但匹配后整体结构和外环境间不匹配,例如升级功能结构的整体尺寸(非匹配几何参数)比共享结构大很多,以组合机床功能升级为例,此类型匹配后的结构在工作时容易影响产品的加工精度,甚至影响机床操作人员的安全性。

4 实例研究

多功能电钻因其可更换功能钻头较多,且功能转换方式简便,因此深受市场欢迎,为许多家装工人装修时必备的工具之一。但随着市场需求的不断变化,电钻的功能种类的要求越来越多,经过对市场的初步调研发现,“打磨固体”功能是电钻需要添加的一个“升级功能”,且打磨固体中对打磨的精度具有一定要求,运用辅助设计平台对电钻升级功能进行原理实例检索,其中“打磨固体”

功能的检索方式为动词性描述“分支”和对象类型描述“物料”以及对象名称“分离固体物料”,经过辅助设计软件检索发现,存在“打磨固体”原理数据信息,其中的一个原理信息如图7所示,利用数据库中的信息辅助设计出了和原有共享结构(电钻机身)形状、尺寸、功能流等较为匹配的“去锈打磨盘”。但同时为了提高“去锈打磨”精度,改善打磨效果,这时通过TRIZ理论工程参数转化,建立相关冲突,查找到相关创新原理,设计出“磨砺性”更好的“去锈打磨盘”,其相关TRIZ求解模型如图8所示。

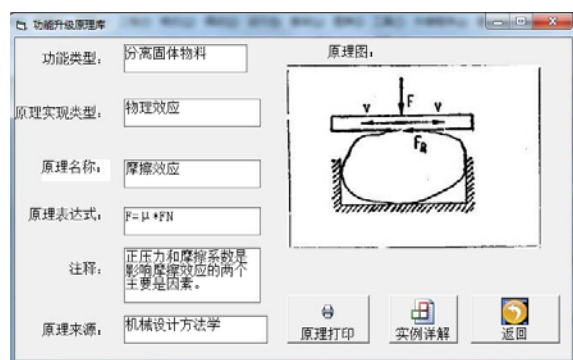


图7 打磨固体功能数据信息

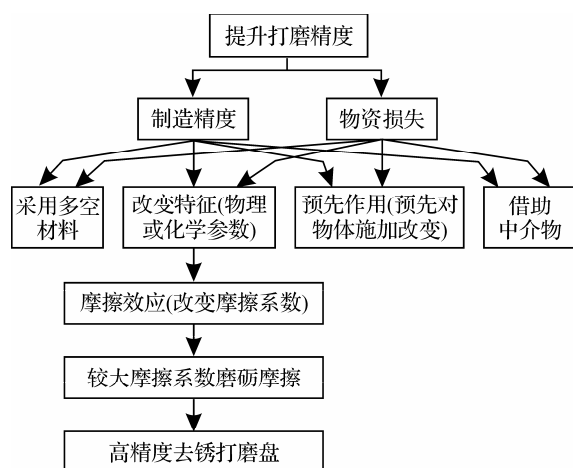


图8 基于TRIZ理论的打磨固体结构求解模型

5 结论

可变功能产品因其功能众多、结构紧凑而深受市场欢迎,但随着市场需求的不断变化会导致各功能的实际使用情况出现这样或那样的不足,在产品升级再设计过程中将“过时”的功能“删除”、“增添”新的功能以及改善产品工作时的性能等都可以增加产品在市场上的适应性和竞争力。本文

通过建立可变功能产品功能升级辅助设计系统,可在一定程度上促进功能升级再设计的原理方案的获取,而且所搜集到的原理实例也可为设计人员带来进一步的设计启发。另一方面,对未能检索到合适原理实例的升级功能,可以从TRIZ理论的角度进行相关工程参数的转换,从而基于TRIZ方法得到创新原理解。鉴于所搜集到的电动工具升级辅助原理实例数据库的规模还较小,因此完善功能升级系统数据库和提高搜索时的便捷性将是下一步研究的方向。

参考文献:

- [1] GOEL A. Design, analogy and creativity[J]. IEEE Expert, 1997, 12(2):62-70.
- [2] 雷永刚, 彭颖红, 阮雪输. 机械产品概念设计: 综述与分析[J]. 机械科学与技术, 2000, 19(1):18-21.
- [3] 宁汝新, 赵汝嘉, 欧宗瑛. CAD/CAM 技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005:45-47.
- [4] QIAN L, GERO J S. Function-behavior-structure paths and their role in analogy-based design[J]. Artificial Intelligence in Engineering Design, Analysis and manufacturing, 1996, 10(4):289-312.
- [5] DENG Y M, TOR S B, BRITTON G A. Abstracting and exploring functional design information for conceptual mechanical product design[J]. Engineering with Computers, 2000, 16(1):36-52.
- [6] 李国喜, 吴建忠, 张萌, 等. 基于功能-原理-行为-结构的产品模块化设计方法[J]. 国防科技大学学报, 2009, 31(5):75-80.
- [7] 杨鹏, 邓益民, 殷习. 可变功能机械行为链序结构相似性及应用[J]. 工程设计学报, 2015, 22(1):30-34.
- [8] 余远文, 邓益民, 杨鹏, 等. 基于全关联矩阵的可变功能机械功能耦合分析[J]. 宁波大学学报(理工版), 2014, 27(4):88-93.
- [9] 王根华, 邓益民, 邹长武. 可变功能机械非均衡功能使用构件重要度分析[J]. 机械设计与研究, 2015, 31(6):1-3; 7.
- [10] 李帅军, 贺华波, 邓益民. 基于功能主题链和功能本体的创新组合设计初探[J]. 工程设计学报, 2016, 23(2):124-129.
- [11] 景旭文, 易红, 潘宝俊, 等. 基于数据挖掘工具的机械产品概念设计研究[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(10):1215-1218.
- [12] 张慧萍. 数据挖掘技术与应用研究[D]. 武汉: 武汉科技大学信息科学与工程学院, 2005.

- [13] WATSON I. An introduction to case-based reasoning[C]. Proceedings of the First United Kingdom Workshop on Progress in Case-Based Reasoning, 1995:3-16.
- [14] 付相君, 李善平. 产品的相似性推理: 一种描述逻辑的方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(4): 568-573.
- [15] SUH N P. The Principles of Design[M]. New York: Oxford University Press, 1990.
- [16] 邓益民, 郑堤. 机电产品功能与行为表达方法综述[J]. 工程设计学报, 2008, 15(3):164-169; 177.

Functional upgrading of adaptable-function products based on a principle-and-case retrieval method

TU Qiang^{1,2}, DENG Yi-min^{1,2*}, WANG Jun-yu^{1,2}

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211,China;

2.Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo 315211,China)

Abstract: To address the problems of functional inappropriateness and performance deficiency of the adaptable-function products, a redesign method called principle-and-case retrieval is proposed. A functional upgrading software prototype from the perspective of functional requirement is presented, by which the proposed principle-and-case retrieval method is implemented to assist the designers in identifying suitable design solutions. In the case where no suitable design principle or design case is retrievable, it is proposed to convert the known design requirements into their corresponding TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) engineering parameters so as to help obtain innovative design principles through TRIZ conflict matrix. Some commonly-used design principles and design cases for electric tools are collected to build a Microsoft ACCESS database, and Microsoft Visual Basic 6.0 is used for the implementation of the software prototype. The matching conditions of the upgraded structural components and the original unchanged components, i.e. the shared components for multiple functions, are analyzed, from which five basic matching conditions are concluded. Finally, an electric drill is used as a design case study, for which a new component of “derusting and polishing disc” is designed, with a new additional function called “polishing and derusting” being developed. The case study demonstrates the feasibility of the proposed principle-and-case retrieval functional upgrading methodology.

Key words: adaptable-function product; functional upgrading redesign; principle-and-case retrieval; structure matching

(责任编辑 章践立)