基于激进式裁剪的产品突破性创新设计过程

杨伯军[1,2] 冯雁霞[1,2] 孙 群[1,2]
1.河北工业大学机械工程学院,天津,300130
2.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:产品的突破性创新可使得其性能大幅提升,成本急剧下降,并提高系统理想化水平。为了提高突破性创新的效率,解决设想产生的问题,将激进式裁剪方法用于产品开发的模糊前端阶段,通过功能分析和根原因分析确定裁剪对象,实施裁剪,利用标准解、进化趋势及效应等创新方法辅助进行功能重组,进而产生突破性创新设想。构建了产品的突破性创新过程模型,并应用该模型进行自动出货机的创新设计,验证了所提出方法的有效性和实用性。

关键词:突破性创新;激进式裁剪;功能重组;自动出货机
中图分类号:TH122
DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2018.09.003 开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Product Radical Innovation Design Processes Based on Radical Trimming

YANG Bojun[1,2] FENG Yanxia[1,2] SUN Qun[1,2]
1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin, 300130
2. National Technological Innovation Method and Tool Engineering Research Center, Tianjin, 300130

Abstract: The radical innovation of products might significantly improve the performances of the products, sharply reduce their costs and also improve the ideal levels of the system. The radical trimming method was brought into the processes of the fuzzy front end stages of product development to improve the efficiencies of radical innovation and to solve the problems of ideas, The function analyses and root cause analyses were used to determine the trimming objects and implementation of trimming. Standard solutions, evolution trends and effects etc. were used to assist functional reorganization and to generate radical innovation ideas. Based on these, the product radical innovation design process model was proposed to apply the innovation design of automatic shipment machine which verified proposed model's feasibility and practicability.

Key words: radical innovation; radical trimming; functional reorganization; automatic shipment machine

0 引言

在国内和国际竞争日趋激烈的大环境下,企业必须不断地通过自身产品的技术升级提升其在市场中的竞争力。产品技术升级方法有多种,其中突破性创新就是一种重要途径,对于提升企业竞争力具有决定性作用[1]。国内外学者对突破性创新的关注度越来越高,在其实现的基本原理及设想产生方面,已取得了一些成果:SCHOENMAKERS等[2]通过专利研究发现产品突破性创新的实现来源于已有知识及其组合,并非依靠全新的技术。ARTHUR[3]的研究表明,突破性创新技术的产生实际是来源于现有还不能实现的某种需求,通过搜寻能获得实现这种需求的科学原理或结构;或与上述相反,是始于一种新的科学原理或方法,在实现这些原理或方法的过程中会导致后续问题的出现,而解决这些问题的途径是出现某种突破性创新技术。上述研究表明实现突破性创新是有技术指导的,但在产品设计过程中,设计者往往因思维惯性或知识局限性,很难准确把握突破性创新技术,导致设计过程存在较大的盲目性。张洪石等[4]系统阐述了模糊前端管理的内容和步骤,将其作为突破性创新设想产生和识别的基础。ALI[5]利用生命周期观点在分析大量突破性创新工程案例的基础上建立了突破性创新过程模型。平恩顺等[6-7]将TRIZ应用于产品开发的模糊前端阶段,对实现产品主功能的技术系统进行技术预测,或对实现产品主功能的技术子系统进行功能裁剪及可用资源分析后进行技术预测,分析突破性创新的技术机会,构建了产品突破性创

收稿日期:2017-08-22
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51675159)

新设想产生过程模型。以上研究在一定程度上为设计者提供了理论指导，提高了创新的效率，但突破性创新是一种突变，具有明显的非线性、不确定性，因此如何降低模糊前端设想产生的不确定性程度，产生高质量的突破性创新设想，仍是需要研究解决的课题。

本文将激进式裁剪方法用于产品开发的模糊前端阶段，通过功能分析和根原因分析确定系统裁剪对象后实施裁剪，利用标准解、进化趋势、效应等创新方法辅助进行功能重组，进而产生突破性创新设想，最终建立产品的突破性创新过程模型。

1 激进式裁剪与产品突破性创新的关系

1.1 激进式裁剪

裁剪(trimming)是TRIZ中分析问题和解决问题的方法，其可分为渐进式裁剪(incremental trimming)和激进式裁剪(radical trimming)[8]。渐进式裁剪指只裁剪系统内较少的组件数量，对系统的改进相对较少，不会造成系统有用功能的缺失，从而达到消除有害功能、简化系统以及提高系统理想化水平的目的，改进的结果往往属于渐进性创新。激进式裁剪是相对于渐进式裁剪而言的，其对系统的改进相对较大，通常会裁剪系统内大量组件(包括系统内实现基本功能的问题组件及与之相关联的组件)。激进式裁剪可使系统发生根本性变化，裁剪后会导致系统有用功能缺失，问题转化为功能求解问题。与渐进式裁剪相比，激进式裁剪解决问题更彻底，裁剪后产生的新问题更加尖锐，在项目约束允许的条件下，对系统进行激进式裁剪，往往会产生突破性创新[9]。

1.2 产品的突破性创新

关于产品突破性创新的概念界定，纵览国内外相关文献，主要有以下几种具有代表性的定义：DESS等[10]认为突破性创新是在一套新的科学知识基础上建立的创新，这种创新常常能开启新的市场或潜在的应用。HENDERSON等[11]认为产品核心部件间的连接关系发生巨大改变或生成全新产品概念可称之为突破性创新。RICHARD等[12]认为可从以下三点来判断产品创新是否为突破性创新：①产品是否具有全新的产品特色；②产品的性能指标是否提高5倍以上；③产品成本是否显著降低(至少30%)。张洪石等[13]认为突破性创新是会导致产品性能指标发生巨大变化，或对市场规划和竞争态势产生重大影响，甚至会导致产业重新洗牌的一类创新。熊敏等[14]指出突破性创新是技术创新方法中的一种，是使产品、工艺或服务具有前所未有的性能特征；或者使产品、工艺或服务具有与之前相似的性能特征但性能和成本都有巨大的改善；或者创造出一种新的产品。平恩顺等[7]认为机械产品的突破性创新是实现产品某一核心功能技术子系统(包括产品的执行技术子系统、传动技术子系统、控制技术子系统、驱动技术子系统)的工作原理发生改变，且改变后的核心功能技术系统的性能极限提高。

本文从技术、功能两个层面给出突破性创新的界定：①技术层面上，新技术取代旧技术的过程(即技术进化过程中两条S曲线的自然更迭，新旧技术完成的功能相同，新技术的性能极限提高)；②功能层面上，产品核心功能不变的前提下，核心功能实现的工作原理发生变化，且改变后核心功能技术系统的性能极限提高，技术进化潜力也提高。只要满足其一即为突破性创新。

1.3 激进式裁剪用于产品突破性创新的可行性

从20世纪初创新概念被提出开始，迄今为止已涌现出多种创新技法，大致可分为两类：①基于认知的方法，如头脑风暴法、形态学分析法、K-J法等。这些方法均侧重于人创新性思维的发展，进行问题求解时没有相应的规则参照或指导，且应用这些方法求解时往往会受到专业知识和思维定势的限制，无法有效地进行创新。②基于知识的方法，如公理设计、质量功能展开(quality function deployment，QFD)、发明问题解决理论(TRIZ)等。公理设计通过四个域之间的“之字形”映射完成产品设计，且提出了两条设计公理，设计者可根据这两条设计公理判断设计的合理性，指导设计者在最初作出正确的判断，但如果设计不满足设计公理存在的耦合关系，设计者只能根据经验去解决，公理设计中并未给出详细的解耦过程；QFD是一种需求驱动的产品开发方法，通过质量屋(houses of quality，HOQ)建立用户要求与设计要求之间的关系[15]，在概念设计阶段，HOQ给出了待设计产品明确的设计要求，但是并未给出实现这些要求具体的方法与规则，且在设计前期需求权重的判定多为主观判断，会对后期设计结果产生一定的影响；TRIZ中提供了多种问题分析和问题解决工具，可有效地帮助设计者在解决问题过程中避免繁琐的试凑工作，从而提高解决问题的效率。在一定程度上，上述方法均可用来指导设计者进行产品创新，但均未提出一个系统化过程或方法以有效地指导设计者进行产品突破性创新。

TRIZ中的裁剪可有效克服思维定势的限制，

对系统组件进行删除，而不是简单修补，其中激进式裁剪方法会去除系统内实现基本功能的问题组件及与之相关联的组件，裁剪后将导致系统有用功能缺失，系统问题转化为“如何实现被裁剪组件的有用功能”，需应用一些新技术、新原理实现该有用功能，使技术系统向更高水平进化。TRIZ中的技术进化趋势指明产品进化的方向、效应知识库为功能求解提供了理论基础，为裁剪后问题求解提供强有力的支撑。激进式裁剪对系统的改进较大，可使系统发生根本性变化，采用新技术、新原理进行功能重组后会使系统功能实现原理发生改变，使系统格局发生改变，因此可将激进式裁剪视为实现产品突破性创新的一条路径，并用于产品创新过程中，结合使用技术进化、效应等高级别创新方法来实现产品突破性创新。

2　激进式裁剪在产品突破性创新过程中的应用

2.1　确定裁剪对象

功能分析是分析系统具体工作过程的系统化方法，可清楚表达元件及元件间的作用关系，进而明确功能与元件间的关系[15]。针对系统存在问题进行根原因分析，由果索因，识别出引起问题的关键因素；综合功能分析结果及根原因分析结果确定系统中存在问题的部件或子系统，将其作为初始预裁剪对象（即后期可能要裁剪的对象）。应用文献[16]中的功能等级评价值的计算规则计算系统中部件的功能等级，从而判断其是否符合激进式裁剪，符合则确定其为终裁剪对象（即最终确定要裁剪的对象），否则，重新分析问题。部件在系统中的功能等级越高，对系统的作用越大（即重要性越大），主要功能的功能等级最高。

2.2　激进式裁剪后的有用功能重组

对问题及功能进行分析，确定裁剪对象，执行裁剪操作后，确定系统缺失的有用功能，应用已有的基于知识的工具（标准解、进化趋势、效应等）辅助进行功能重组，如图1所示。

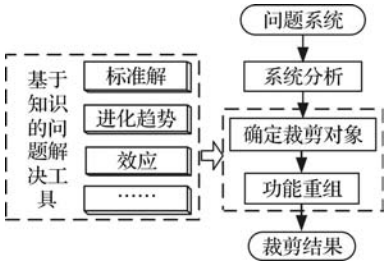


图1　基于知识的功能重组

Fig.1　Function reorganization assisted by knowledge

2.3　基于激进式裁剪的产品突破性创新设计过程模型

基于激进式裁剪的产品突破性创新过程模型如图2所示，该模型的具体步骤如下：

（1）确定目标产品，建立系统功能模型。明确需要改进的技术系统，对系统进行功能分析，明确各部件间的相互作用关系，建立系统的功能模型。

（2）确定裁剪对象。根据系统存在的问题，对系统进行根原因分析，结合步骤（1）的功能分析结果，确定初始预裁剪对象，利用功能等级计算规则计算功能等级，判断其是否符合激进式裁剪，符合则确定其为终裁剪对象，否则，重新分析问题。

（3）执行裁剪操作，得到裁剪模型。裁剪模型为裁剪后系统的功能模型。

（4）分析裁剪模型，确定系统缺失功能。系统组件裁剪后会产生新的问题（即“被裁剪组件的有用功能如何实现”），准确定义该功能，便于后续进行功能重组，保证功能实现。

（5）功能重组，得到创新方案解。

（6）判断步骤（5）得到的创新方案解是否满足要求，若满足，则该方案解为最终方案解；若不满足，则转至步骤（7）。

（7）选用TRIZ工具解决问题，得到新的解决方案。

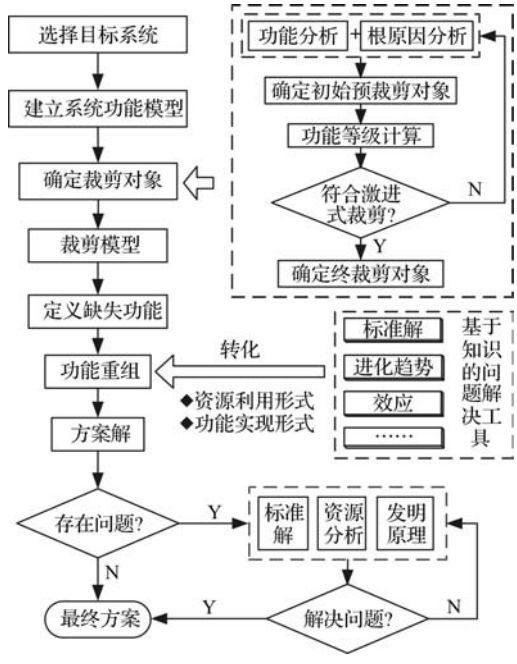


图2　基于激进式裁剪的产品突破性创新过程模型

Fig.2　Process model of radical innovation design based on radical trimming

3　自动出货机构的突破性创新设计

网上购物已经逐渐成为一种主流消费方式，

网店出售的商品大都呈现“材质种类多、尺寸大小不一、尺寸范围广、形状各式各样”等特点，目前网店销售大都采用手工包装，而网店普遍人力资源少、工作量大、效率低，因此，迫切需要一类用于包装多种材质、尺寸和形状商品的机械装置，以满足市场需求。其中，自动出货机构是整个机械装置的重要模块之一。

现有一种自动售货机的出货机构[17]结构示意图见图 3。由于操作工序复杂，导致大量的人力资源浪费，下面应用上述基于激进式裁剪的产品突破性创新过程模型对该出货机构进行改进，并检验该模型的合理性和有效性。

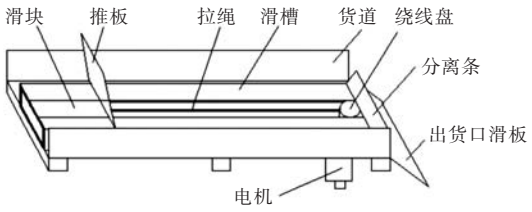


图 3　出货机构结构示意图

Fig.3　Schematic diagram of automatic shipment machine

3.1　确定裁剪对象

（1）构建系统功能模型。在出货机构系统中，货物是制品，通过电机驱动绕线盘旋转收紧拉绳，带动推板向前移动，进而实现货物进给。但是根据货物的大小规格，需不断调整滑槽和货道宽度，且装卸货物时需停机，工序复杂，浪费时间。将上述问题以部件间不足作用和有害作用进行描述，构建系统的功能模型如图 4 所示。

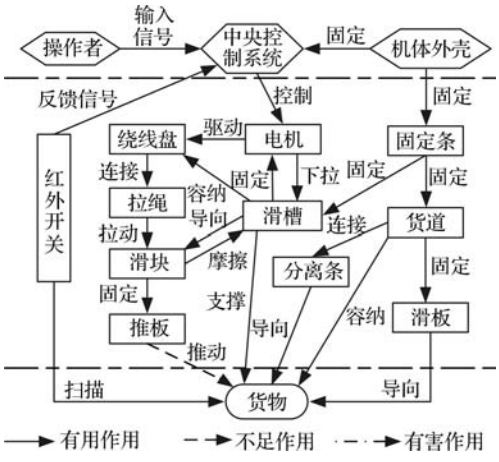


图 4　自动出货机构的功能模型

Fig.4　Functional model of automatic shipment machine

（2）根原因分析。针对系统存在的主要问题进行根原因分析，分析结果如图 5 所示。

（3）确定初始预裁剪对象。由功能分析和根原因分析可知装卸货物时需停机操作，且需拆卸绕线盘。这是由于电机与绕线盘通过紧定螺钉连接，只能单向进给，再则需根据不同商品需求，不停地更换滑槽并调节货道的距离，从而导致耗费大量的人力和时间，因此将这些部件作为裁剪对象。由于电机、绕线盘等被裁减，滑块及推板失去驱动力，所以一并裁剪掉，确定的初始预裁剪元件为电机、绕线盘、拉绳、滑块、推板、滑槽。

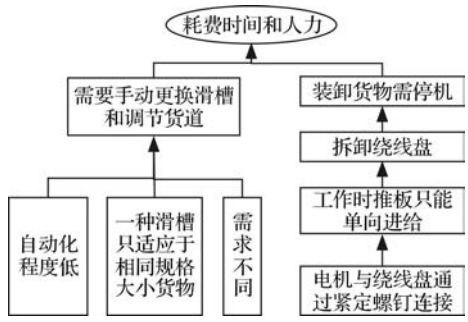


图 5　根原因分析

Fig.5　Root cause analysis

（4）功能等级计算，确定终裁剪对象。功能等级计算结果见表 1，由表 1 可知，初始预裁剪对象中滑槽的功能等级最高，滑块、推板、电机、拉绳、绕线盘的功能等级依次降低，由其组成的推进机构完成系统的主要功能，因此将这些部件作为裁剪对象符合激进式裁剪的要求，裁剪后得到裁剪模型如图 6 所示。

表 1　功能部件的功能等级数值

Tab.1　Functional rank values of components

部件	功能等级数值
电机	3
绕线盘	2
拉绳	3
滑块	7
推板	6
滑槽	9
货道	9
分离条	4
滑板	4
固定条	5
红外开关	4

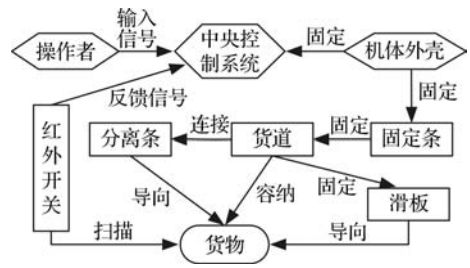


图 6　裁剪模型

Fig.6　Trimmed model

3.2　裁剪问题解决

分析裁剪后的系统功能模型，缺失功能一般化为“改变位移”，以功能“改变位移”为关键词在Goldfire效应库中进行检索，选择可用效应“重力”进行功能重组，设计方案将货道设计成倾斜面，利用货物自身的重力作用使其向出货口移动。

基于上述改进后，分析发现分离条对货物不能实现有效控制，表现为作用不足，按照加强物质-场中标准解No.16：对于可控性差的场，用一个易控场代替，或增加一个易控场。用液压系统来替代机械系统，利用气缸交替运动带动的挡板代替分离条，以实现货物的阻挡及一定数量的下落，裁剪改进后新系统的功能模型如图7所示。

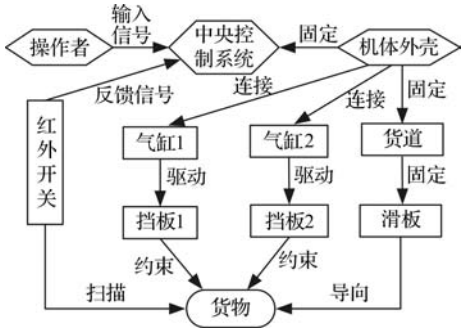


图7　新系统功能模型

Fig.7　Functional model of new system

3.3　方案评价

应用基于激进式裁剪的机械产品突破性创新设计过程模型对自动出货机构进行改进，将改进后的功能原理解与原始产品功能结构通过结构连接方式组合形成产品原理解，最终得到一种自动出货机构新产品，新系统的三维模型图见图8，试验样机如图9所示。改进后的出货机构较之前的出货机构相比有如下优点（具体评价见表2）：

（1）裁剪了系统中由电机、绕线盘、滑槽等组成的主功能推进机构，用气缸等组成的液压系统代替，利用货物自身重力实现进给，通过气缸的交替动作来控制出货，系统的执行技术子系统和驱动技术子系统的工作原理均发生改变。

（2）由样机试验结果可知，系统出货误差减小，运作稳定，无需停机补货，工作强度减小，节约时间，从长远来看，会极大地降低成本，进而使得系统的理想化水平得到很大提升，技术系统向提高理想化水平的方向进化，所以可视该产品改进为突破性创新。理想化水平计算公式[18]为

$$Ideality = \sum Benefits \Big/ \left(\sum Expenses + \sum Harms\right)$$

其中，*Ideality* 指理想化水平；*Benefits* 指有用功能产生的效用；*Expenses* 指全生命周期的成本；

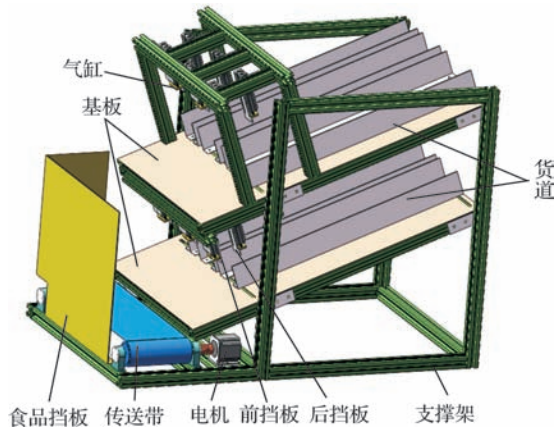


图8　新系统的三维模型图

Fig.8　Three-dimensional model of new system

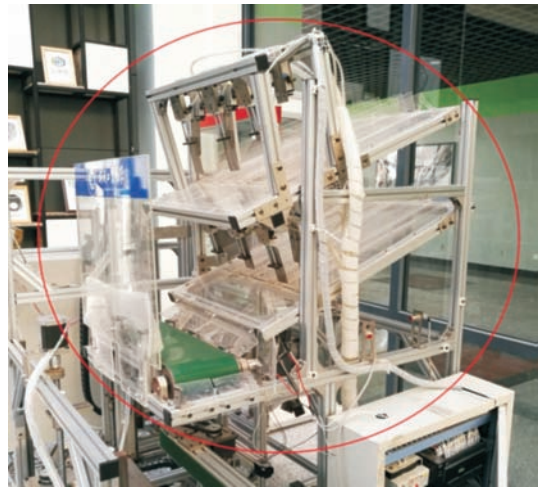


图9　出货机构的试验样机

Fig.9　Prototype of shipment machine

表2　方案评价表

Tab.2　Scheme evaluation

	工作原理	工作强度	时间	成本	理想化水平
改进前	电机驱动绕线盘旋转，拉动推板向前移动实现货物进给	强度较高	耗时多	高	低
改进后	依靠货物自身重力进给，并通过前后气缸交替运作控制数量并出货	有效降低	极大降低	极大降低	提高

Harms 指有害作用和不期望的结果。

4　结语

通过功能分析和根原因分析方法确定导致系统问题产生的一系列问题部件，选用激进式裁剪方法，然后应用标准解、进化趋势、效应等方法辅助功能重组，进而建立了基于激进式裁剪的产品突破性创新过程模型，并用自动出货机构的实例验证了该方法的可行性和有效性。应用激进式裁剪方法可更彻底地解决问题，消除系统中有害及

不足作用,从而提高系统的理想化水平。应用标准解、效应等高级别创新方法完成裁剪后的功能重组产生突破性创新设想,不仅提高了产品创新效率,还大大提高了产品的竞争力,对于企业占领市场或扩大市场份额有着重要的战略意义。

参考文献:

[1] 陈幼红. 浙江中小企业发展突破性创新路径研究[D]. 杭州: 浙江工业大学,2008.
CHEN Youhong. Innovative Path of Small and Medium Enterprises Development in Zhejiang[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology,2008.

[2] SCHOENMAKERS W,DUYSTERS G. The Technological Origins of Radical Inventions[J]. Research Policy,2010,39(8):1051-1059.

[3] ARTHUR W B. The Structure of Invention[J]. Research Policy,2007,36(2):274-287.

[4] 张洪石,陈劲,高金玉. 突破性产品创新的模糊前端管理研究[J]. 研究与发展管理,2004,16(6):48-53.
ZHANG Hongshi, CHEN Jing, GAO Jinyu. Research on Fuzzy Front End Management of Radical Product Innovation[J]. Research and Development Management, 2004,16(6):48-53.

[5] ALI A. Pioneering Versus Incremental Innovation: Review and Research Proposition[J].Journal of Product Innovation Management,1994,11(1): 46-61.

[6] 平恩顺,檀润华,孙建广. 基于TRIZ的机械产品突破性创新设想产生过程研究[J]. 中国机械工程,2014,25(18):2439-2446.
PING Enshun, TAN Runhua, SUN Jianguang. Research on Ideas Generation Process for Mechanical Product Radical Innovation Based on TRIZ[J]. China Mechanical Engineering,2014,25(18):2439-2446.

[7] 平恩顺,檀润华,孙建广,等. 面向成熟期产品突破性创新设计模糊前端阶段过程研究[J]. 工程设计学报,2014,21(2):101-108.
PING Enshun,TAN Runhua,SUN Jianguang,et al. Research on the Process of Fuzzy Front End Stage for Radical Innovation Design of Mature Products [J]. Journal of Engineering Design,2014,21(2):101-108.

[8] 成思源,周金平,郭钟宁. 技术创新方法:TRIZ理论及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2014.
CHENG Siyuan,ZHOU Jinping,GUO Zhongning. The Methods of Technological Innovation: TRIZ and Applications[M]. Beijing:Tsinghua University Press,2014.

[9] 刘江南,杨小娟,张文博,等. 融合功能倒推与裁剪法的系统创新设计方法[J]. 机械工程学报,2016,52(23):69-76.
LIU Jiangnan,YANG Xiaojuan,ZHANG Wenbo,et al. System Innovation Method Based on Function Backward Pushing and Trimming[J]. Journal of Mechanical Engineering,2016,52(23):69-76.

[10] DESS G G,BEARD D W. Dimensions of Organizational Task Environments[J]. Administrative Science Quarterly,1984,29(1):52-73.

[11] HENDERSON R M,CLARK K B. Architectural Innovation: the Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms[J]. Administrative Science Quarterly,1990,35(1):9-30.

[12] RICHARD L, CHRISTOPHER M, GINA C, et al. Radical Innovation—How Mature Company Can Outsmart Upstarts[M]. Boston:Harvard Business Press, 2000.

[13] 张洪石,陈劲,付玉秀. 突破性创新:跨越式发展之基[J]. 自然辩证法通讯,2005,27(1):69-78.
ZHANG Hongshi,CHEN Jing,FU Yuxiu. Radical Innovation: the Foundation of Leap Development[J]. Natural Dialectic Communication, 2005, 27(1): 69-78.

[14] 熊敏,刘启华,宋玉廷. 我国实现跨越式发展的首选模式——突破性自主创新[J]. 科学学与科学技术管理,2006,12(3):123-127.
XIONG Min, LIU Qihua, SONG Yuting. The First Choice for Achieving Leapfrog Development in China—Radical Independent Innovation [J]. Science and Management of Science and Technology, 2006, 12(3):123-127.

[15] 檀润华. 发明问题解决理论[M]. 北京:科学出版社,2004.
TAN Runhua. Theory of Invention Problem Solving [M]. Beijing:Science Press,2004.

[16] 林云蔓. 基于萃智的电脑辅助之修剪流程与工具[D]. 新竹:清华大学,2009.
LIN Yunman. TRIZ-based Computer-aided Trimming Process and Tool [D]. Hsinchu:Tsinghua University, 2009.

[17] 胡建武. 一种自动售货机的出货机构:中国,CN201210016447.9[P]. 2012-07-04.
HU Jianwu. A Shipment Machine of Vending Machine:China,CN201210016447.9[P]. 2012-07-04.

[18] 张换高. 创新设计:TRIZ系统化创新教程[M]. 北京:机械工业出版社,2017.
ZHANG Huangao. Innovation Design: Systematic Innovation Based on TRIZ[M]. Beijing: China Machine Press,2017.

(编辑 胡佳慧)

作者简介: 杨伯军,男,1975年生,副教授。研究方向为技术创新方法、创新设计、TRIZ。发表论文10余篇。E-mail:ybj@hebut.edu.cn。冯雁霞(通信作者),女,1991年生,硕士研究生。研究方向为创新设计。E-mail:zxp0520@126.com。