

疫情视角下的医疗废弃物智能设备研究

王海强¹, 赵福辉¹, 彭魏¹, 苏晨¹, 朱衡²

(1.湖北工业大学, 武汉 430068; 2.湖南粤港模科实业有限公司, 常德 415000)

摘要: **目的** 为缓解疫情期间医废处理压力以及提升相关工作人员的安全防护, 设计一款从源头处理的医疗废弃物智能设备。**方法** 通过文献了解我国医疗废弃物处理现状, 结合疫情期间医疗废弃物处理所暴露出的问题与用户需求。将 QFD、AD、TRIZ 理论相结合, 通过构建医疗废弃物智能设备质量屋, 得到设计要素中的矛盾冲突, 应用 TRIZ 中分离、发明原理来化解矛盾冲突, 得到初步设计方案。将 QFD 质量屋中的设计要素转化为相对应的功能需求, 运用 AD 公理设计理论进行映射得到设计矩阵, 判断矩阵是否耦合, 若矩阵非耦合则创新方案产生, 若为耦合则利用 TRIZ 相关理论进行解耦, 获得最终设计方案。**结果** 将 3 种方法相结合, 解决了设计方案造型、功能性、安全性、操作性等问题, 提高了医疗废弃物处理效率与安全性。**结论** 通过该方法对医疗废弃物智能设备进行设计, 提升了医疗废弃物智能设备的创新性和有效性, 为发展医疗废弃物处理的新模式提供了思路。

关键词: 工业设计; 医废处理; QFD; AD; TRIZ

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)18-0227-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.18.026

Medical Waste Smart Devices from the Perspective of Epidemica

WANG Hai-qiang¹, ZHAO Fu-hui¹, Peng Wei¹, SU Chen¹, ZHU Heng²

(1.Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2.Hunan Yuegang Mookray Industrial Co., Ltd, Changde 415000, China)

ABSTRACT: In order to relieve the pressure of medical waste treatment during the epidemic and improve the safety protection of relevant staff, design a smart device for medical waste treatment from the source. To understand the current situation of medical waste treatment in my country through literature, and combine the problems exposed by medical waste treatment during the epidemic and user needs. Combining QFD, AD, and TRIZ theories, by constructing a house of quality for medical waste intelligent equipment, the conflicts in the design elements are obtained, and the separation and invention principles in TRIZ are used to resolve conflicts and conflicts, and a preliminary design plan is obtained. Transform the design elements in the QFD house of quality into corresponding functional requirements, use AD axiom design theory to map to obtain the design matrix, determine whether the matrix is coupled, if the matrix is not coupled, an innovative solution will be generated, if it is coupled, use TRIZ related theories Decoupling, get the final design plan. The three methods were combined to solve the problems of the design scheme's shape, functionality, safety, and operability, and improve the efficiency and safety of medical waste treatment. Through this method, the design of medical waste smart equipment improves the innovation and effectiveness of medical waste smart equipment, and provides ideas for the development of a new model of medical waste treatment.

KEY WORDS: industrial design; medical waste treatment; QFD; AD; TRIZ

收稿日期: 2021-06-25

基金项目: 2019 年国家艺术基金项目 (201941242); 2017 年湖北省教育厅人文社科项目 (15Y054); 2018 年湖北省非物质文化遗产保护中心基金项目 (HGFY20180305); 2018 年湖北文化创意产业化设计研究中心项目 (HBCY1814); 2017 年湖北工业大学教科研项目 (2017020)

作者简介: 王海强 (1983—), 男, 山东人, 硕士, 湖北工业大学讲师, 主要研究方向为产品设计。

通信作者: 苏晨 (1968—), 男, 湖北人, 硕士, 湖北工业大学教授, 主要研究方向为工业设计。

随着城市、经济的快速发展,以及人口的不断增长,医疗机构和就诊人数不断增加,我国医疗废弃物处置行业负荷率居高不下。在提倡绿色发展的大环境下,如何科学高效地处理医疗废弃物逐渐成为社会关注的热点。尤其是在2019新冠肺炎暴发后,随着疫情的发展,所产生医疗废物急剧增加,我国医疗废弃物处理能力和水平受到严峻挑战。以武汉同济中法新城医院为例,疫情期间该院所产生的医疗废弃物是非疫情期间的近10倍,疫情造成大量医疗废弃物积压得不到及时处理,对环境以及相关工作人员的健康有着巨大潜在隐患。医疗废弃物中约有75%~90%的医疗废物类似于家庭废物,是无风险性或者“普通”医疗废物^[1]。其中主要为注射器、输液器、医用手套、口罩、棉球、纱布、药品包装等,该类医废经过毁型消毒后不再具备传染性。相比欧美发达国家,我国医废处理起步较晚,主要采用集中处理模式,方法为焚烧法和填埋法。近年来随着环境问题越来越被关注,国内学者开始对医疗废弃物的处理进行相关研究。但研究方向主要为管理和处理技术方面,其中杨琳等^[2]对我国如何加强医院感染废弃物管理进行了探讨;陈明壮等^[3]对疫情期间的医疗废弃物管理提出了相关建议;方书起等^[4]详细分析了医疗固体废弃物处理的相关技术现状。对从源头处理的相关研究较少。因此本研究将QFD、公理设计(AD)、发明问题解决理论(TRIZ)相结合,以缓解医废处理压力、提高工作安全性、绿色可持续为出发点,设计研发一款从源头处理的医疗废弃物智能设备。

1 QFD、TRIZ、AD 集成设计方法

1.1 QFD、TRIZ、AD 概述

QFD 质量功能展开(Quality Function Deployment, QFD)是解决用户需求,提高产品设计质量的较好方法^[5]。其能够将顾客的需求,明确地转变为产品开发能够理解、执行的各种具体信息^[6]。AD 公理设计是一种基于科学公理和推论的设计决策方法。通过AD理论中的设计域及设计方程完成用户需求到功能需求的转化,并通过功能域与物理域的映射,解决了设计环节中“做什么”的问题^[7]。同时独立公理能够判断映射后得到的设计矩阵是否存在耦合设计,从而可以对设计方案进行评价,找出最佳方案^[8-9]。TRIZ 是前苏联科学家阿奇舒勒开发的一套问题解决工具,其揭示了创造发明的内在规律与原理,认为设计师对待设计过程中的矛盾冲突不应采取妥协、折中的方式而是应该完全解决矛盾冲突^[10]。其鲜明特征是系统化的对问题进行处理^[11],TRIZ 创造性地将设计产品进行系统性的分析并转化为问题,利用40条创新原理、矛盾矩阵表、功能分析、物场分析、76个标准解和TRIZ(又称发明问题解决算法)等工具帮

助设计者打破以往进行产品设计时的惯性思维,迅速引导设计者找到解决方案。

1.2 QFD、TRIZ、AD 的集成应用

目前将多种设计方法相结合建立集成模型,是现代设计方法研究的热点。Gianni^[12]将QFD与TRIZ结合,设计了一种新的开模方法并验证了其有效性;俞斌^[13]提出将AD公理和TRIZ理论相结合达到优化设计的目的;胡康^[14]将AD与TRIZ结合,建立创新模型并应用到消防头盔创新设计上;ROHAN A^[15]、TIAN Qi-hua^[16]、MANN D^[17]等分别对AD与TRIZ集成创新进行研究,并将该方法带入到相关产品设计实例的验证中;李军^[18]等提出了基于QFD/TRIZ/AD集成的设计模型,并将其应用到应急救援车概念创新设计上,为该集成创新方法提供了参考依据;Sun^[19]等分析了AD/QFD/TRIZ三者的优缺点,将3种方法融入压缩切割机的设计中。QFD与AD准确分析用户需求和指导设计人员在设计过程中做出合理的决策判断,但无法提出具体解决措施。而TRIZ具有各种发明问题分析与解决工具,但是无法分辨出矛盾冲突之间的关联性。QFD与AD理论侧重于目标指向,TRIZ理论侧重于实现途径。本研究将三者结合,构建了基于QFD、TRIZ、AD理论的创新设计流程模型,流程见图1。

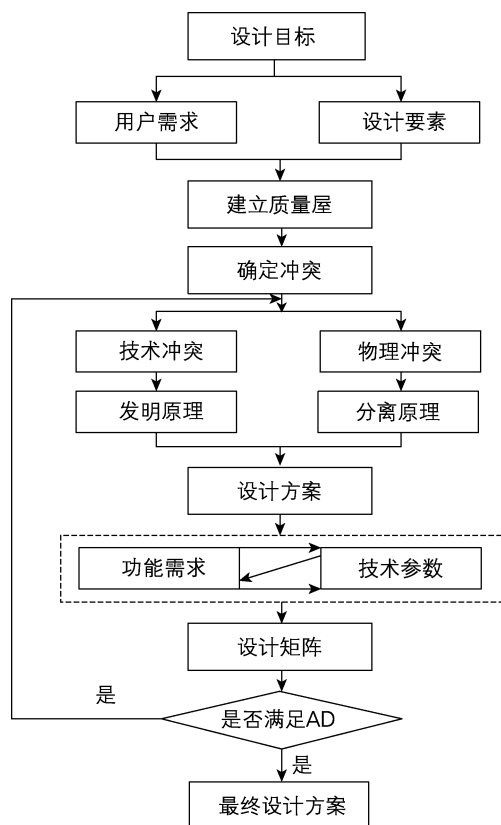


图1 基于QFD、TRIZ、AD理论的创新设计模型流程
Fig.1 Flow chart of innovative design model based on QFD, TRIZ, AD theory



图 2 市面常见医疗废弃物处理设备
Fig.2 Common medical waste centralized treatment equipment in the market

该创新设计流程模型框架应用过程如下：（1）首先通过调研分析，将用户需求转化为设计要素，构建 QFD 质量屋并获取矛盾冲突。（2）利用 TRIZ 理论分析矛盾冲突类型，将冲类型分类为技术、物理冲突 2 种类型，并选择 TRIZ 理论相关的发明理论来解决冲突，产生初步设计方案。（3）应用 AD 理论建立初步设计方案的功能需求与设计参数的映射关系，并判断是否满足独立性要求。（4）将映射不满足独立公理要求的设计矩阵应用 TRIZ 相关理论进行解耦处理，从而得到独立并且满足客户需求的最终创新设计方案。

2 基于 QFD/TRIZ/AD 的医疗废弃物智能设备设计研究实例

2.1 基于 QFD 和 TRIZ 的客户需求、设计要素分析

通过收集大量的相关资料，阅读文献与实地勘察走访，了解到我国目前医疗废弃物处理模式主要为医院集中回收，随后运输至政府部门规定的处理场所进行集中处理。处理方式主要为焚烧法和填埋法。根据市面现有类型产品的相关专利查询，以及对目标用户的调查访问，发现目前医疗废弃物处理设备主要存在：（1）造型简陋；（2）功能单一；（3）安全性三个问题。市面常见医疗废弃物处理设备见图 2。通过分析，最终获得医疗废弃物智能设备的用户需求如下：（1）造型美观；（2）多功能；（3）安全性；（4）操作简便；（5）提高工作效率；（6）维护方便；（7）绿色环保；（8）成本控制。将用户需求与设计要素结合完成医疗废弃物智能设备质量屋，见图 3。

2.2 医疗废弃物智能设备设计冲突分析

从质量屋我们可以获取以下信息：（1）多功能、安全性、提高工作效率在用户需求中所占比重最大，因此医疗废弃物智能设备应最大化满足这 3 个需求。（2）市面现有同类型产品在造型美观性上还存在不足，提升设备造型美观性有利于提高产品竞争力。（3）图 3 上方的自相关矩阵中呈现负相关的设计要素是医疗废弃物智能设备设计中的重点，根据市面现有产品对设备外观结构进行调整必然会对医疗废弃

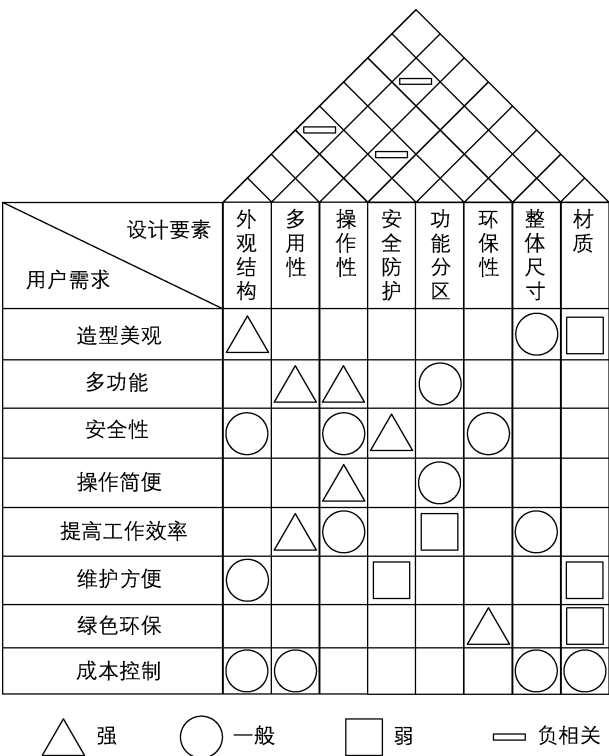


图 3 医疗废弃物智能设备质量屋
Fig.3 Quality house of medical waste smart equipment

物智能设备安全性产生影响，因此外观结构与安全防护呈负相关。增加设备多用性的同时，设备可能因为功能的增加对整体尺寸造成影响，因此多用性与整体尺寸呈负相关。设备在增加功能分区后，必然会增加设备的操作流程，因此操作性与功能分区呈负相关。针对上述 3 对矛盾冲突，突运用 TRIZ 理论的 39 个工程参数进行冲突描述，对图 3 中质量屋屋顶的负相关功能需求实现创新设计，见表 1。

2.3 解决医疗废弃物智能设备矛盾冲突

根据调研结果显示，安全性和造型美观性是医疗废弃物智能设备的主要需求。与以往集中处理医疗废弃物的大型处理设备不同，在源头进行处理的医疗废弃物智能设备的外观必须具有一定的审美价值，好的产品造型不仅会提高产品的附加价值，更会提高产品的市场竞争力。在安全性方面，市面现有相关产品多数采用将结构外露的造型，在粉碎注射器，针头等硬

表 1 医疗废弃物智能设备矛盾冲突问题求解方法
Tab.1 Solving method of conflict problem of medical waste intelligent equipment

矛盾冲突	期望改善	避免恶化	相关发明原理
外观结构与安全防护	设备外观与安全性	作用于对象的外部有害因素	1、2、22、35
多用性和整体尺寸	功能与整体尺寸	条件分离	1、5、6、7、8、13、14、22、 23、24、27、33、35
操作性和功能分区	操作方式与功能区域	时间分离	9、10、11、15、16、18、19、 20、21、29、34、37

物时因为挤压会导致硬物弹出，同时在毁型过程中会产生粉尘和有害气体，存在安全隐患。针对外观结构与安全防护的技术冲突，推荐发明原理有 1 号、2 号原理。运用 1 号分割原理来解决医疗废弃物智能设备制造单一的问题。使设备的外观达到简洁、统一的效果。1 号分割原理详细内容如下：（1）将对象分成相互独立的几个部分；（2）将对象分成易组装和拆分的部分；（3）提升对象的可分割度。运用 2 号抽取原理来解决医疗废弃物智能设备安全性的问题，将设备外露结构包裹，同时在设备运行时将进料口闭合，提高设备使用安全性。2 号抽取原理详细内容如下：（1）从对象中抽取能够产生负面影响或作用的部分和属性；从对象中抽取出必要的、有用的部分和属性。

目前采用集中处理的医疗废弃物处理设备，尺寸过大。而医疗废弃物智能设备采用源头处理模式，因此设备将放置在医院或者医院附近相关场所，设备尺寸是设备放置的关键因素。而丰富产品功能将进一步提升产品的价值与实用性。在丰富设备功能的同时，如何设减小设备体积尺寸是设计的重点。针对多用性与整体尺寸的物理矛盾冲突，推荐发明原理有 1 号、5 号、6 号原理。运用 6 号多用性原理，让设备在同一阶段可以执行多种不同的功能。6 号多用性原理详细内容如下：（1）使一个对象具备多个功能；（2）消除某项功能在其他对象中存在的必要性，进而消减其他对象；运用 1 号分割原理和 5 号组合原理解决设备整体外观尺寸问题。将物体分割为独立或可拆卸的部分，并进行组合，从而达到设备总体尺寸不变。1 号分割原理详细内容如下：（1）将对象分成相互独立的几个部分；（2）将对象分成易组装和拆分的部分；（3）提升对象的可分割度。5 号组合原理详细内容如下：（1）空间上，将相同的对象或者具有类似操作的对象组合一起（2）时间上，将相同或者相关的操作进行组合或连续化。

通过对市面现有类型产品调查，目前市面相关产品存在功能分区不明确、操作区域分散的问题。而根据市场与用户的需求，而操作的方便与否也在一定程度上决定了用户体验。针对操作性和功能分区的物理矛盾冲突，推荐发明原理有 10 号原理。选择 10 号预先作用原理将设备整体划分不同功能区域，同时单独划分设备操作区域，让其能够在最方便的位置使

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{bmatrix}$$

图 4 矩阵 A

Fig.4 Matrix A

矩阵 A 中：FR₁—称重；DP₁—电子秤；FR₂—消毒；DP₂—微波消毒；FR₃—毁型；DP₃—破碎；FR₄—分类；DP₄—智能化。

用，进一步提高工作人员的工作效率和操作舒适性。10 号预先作用原理详细内容如下：（1）预先完成部分或者全部的动作、功能与要求；（2）预先妥当安置对象，使其在最恰当的或者最方便的时候发挥作用。

2.4 基于 QFD、AD、TRIZ 集成方法的医疗废弃物智能设备功能需求、设计参数分析

通过对医疗废弃物智能设备用户需求分析，得到设计要素。将设备与功能相关的设计要素转化为医疗废弃物智能设备的功能需求 FR：FR₁、FR₂、FR₃、FR₄。将功能需求 FR 映射为技术参数 DP：DP₁、DP₂、DP₃、DP₄，得到相应设计矩阵 A 见图 4。

依据 A 矩阵中所示，医疗废弃物智能设备功能需求 FR 与设计参数 DP 转换中无矛盾出现，属于无耦合设计，满足公理设计，设计方案成立。

2.5 医疗废弃物智能设备方案生成

根据 QFD、AD、TRIZ 集成创新方法，对医疗废弃物智能设备进行设计。通过上述分析，（1）选择 1 号、2 号原理来进行医疗废弃物智能设备的造型设计，解决了市面现有产品造型形态简陋、缺少美观性的问题，另一方面也提升了产品的附加价值。（2）选择 1 号、5 号、6 号原理解决设备功能增加与整体外观尺寸问题。医疗废弃物智能设备在破碎毁型的基础功能上增加了消毒功能、分类功能、称重功能。消毒功能采用微波消毒，作为一种新型的医疗废弃物处理技术，微波加热技术适用于小批量、间歇式的医疗废弃物处理，其加热均匀、穿透力强、作用快、无污染、成本低。设备将毁型和消毒后的医废进行分类，其中金属可回收提炼后再利用，而处理后的塑料等医废，经过该设备处理不再具备传染性，根据我国《国家危险废物名录》新增“豁免清单”显示，经过安全处理后的医疗废弃物可直接按普通生活垃圾进行处理，可

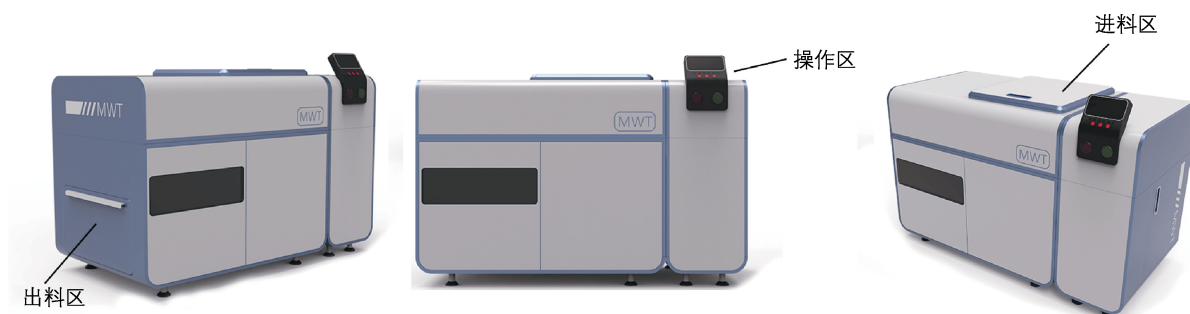


图 5 最终设计方案

Fig.5 Final design

缓解医疗废弃物处理的压力。处理后的医疗废弃物在体积上也远小于之前，将进一步节省收集容器空间，从而减少医疗废弃物运转次数，降低运输成本。加入微波消毒、分类等功能解决了医疗废弃物处理设备功能单一的问题，也提高了相关工作人员进行医疗废弃物处理时的安全性。（3）选择 10 号原理解决医疗废弃物智能设备操作性与功能分区的问题。将设备的控制操作区域与医废处理区域左右划分并进行优化，提高了相关工作人员的操作舒适性。最终设计方案见图 5。

3 结语

本研究将 QFD、AD、TRIZ 三者相结合的创新集成方法运用到医疗废弃物智能设备设计中，根据用户需求以及现有相关产品存在的缺陷，准确找到医疗废弃物智能设备的创新点。最终的设计方案解决了医疗废弃物智能设备造型、安全性、操作舒适性、功能性等问题。医疗废弃物智能设备在源头处理医废的模式，可缓解特殊疫情期间医废处理压力，同时可提升日常医废处理的工作效率，为废弃物处理设备设计提供了新的研究思路。但该设备在容量与处理医废种类上还存在不足，后续迭代产品的研发将进一步完善设备的容量与处理医废种类。

参考文献：

- [1] 李慧平, 王小万. 国际医疗废物分类及基本特点[J]. 中国医院管理, 2004(3): 18-21.
LI Hui-ping, WANG Xiao-wan. International Medical Waste Classification and Basic Characteristics[J]. Chinese Hospital Management, 2004(3): 18-21.
- [2] 杨琳, 毕重秀, 丛冬梅, 等. 医院感染废弃物管理的探讨[J]. 中华医院感染学杂志, 2013, 23(1): 145-146.
YANG Lin, BI Chong-xiu, CONG Dong-mei, et al. Discussion on Hospital Infection Waste Management[J]. Chinese Journal of Nosocomial Infection, 2013, 23(1): 145-146.
- [3] 陈明壮, 查静茹, 鲁超, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情

期间综合医院医疗废物管理实践[J]. 中国医院管理, 2020, 40(3): 47-49.

- CHEN Ming-zhuang, CHA Jing-ru, LU Chao, et al. Practice of Medical Waste Management in General Hospitals during the Novel Coronavirus Pneumonia Epidemic[J]. Chinese Hospital Management, 2020, 40(3): 47-49.
- [4] 方书起, 崔俊乐, 白净, 等. 医疗固体废弃物处理技术综述[J]. 应用化工, 2019, 48(11): 2677-2681.
FANG Shu-qi, CUI Jun-le, BAI Jing, et al. Overview of Medical Solid Waste Treatment Technology[J]. Applied Chemical Industry, 2019, 48(11): 2677-2681.
- [5] 姚君, 唐晓腾, 李亚捷, 等. 基于 QFD 的尘肺病家用康复产品系统设计[J]. 包装工程, 2019, 40(6): 152-158.
YAO Jun, TANG Xiao-teng, LI Ya-jie, et al. Design of QFD-based Home Rehabilitation Products for Pneumonia[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(6): 152-158.
- [6] 胡康, 张济人, 艾险峰. 基于 QFD 与 TRIZ 集成的小户型住宅茶几创新设计[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 152-158.
HU Kang, ZHANG Ji-ren, AI Xian-feng. Innovative Design of Small Apartment Residential Coffee Table Based on the Integration of QFD and TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(20): 152-158.
- [7] 付敏, 范德林, 李锐. 基于 TRIZ 和 AD 的集成创新设计模型及其应用[J]. 机械设计, 2014, 31(3): 10-14.
FU Min, FAN De-lin, LI Rui. Integrated Innovative Design Model Based on TRIZ and AD and Its Application[J]. Mechanical Design, 2014, 31(3): 10-14.
- [8] ROHAN A S, GUL E O. Using TRIZ and Axiomatic Design Synergistically: A Case Study[J]. International Journal of Innovation and Technology Management, 2007, 4(2): 155-170.
- [9] 刘悦, 容芷君, 但斌斌. 公理设计在产品研究中的研究综述[J]. 机械设计, 2013, 30(2): 1-9.
LIU Yue, RONG Zhi-jun, DAN Bin-bin. Research review of Axiomatic Design in Product Design[J]. Mechanical Design, 2013, 30(2): 1-9.

(下转第 261 页)