

集成 QFD/TRIZ/AHP 的产品创新设计模式研究

陈媛¹, 宋端树^{1,2}, 辜俊丽¹

(1.江苏师范大学 机电工程学院, 徐州 221116; 2.江苏师范大学 江苏省工业设计中心, 徐州 221116)

摘要: **目的** 研究基于 QFD、TRIZ 和 AHP 理论的集成创新设计模式, 并将这种集成设计模式应用到产品创新设计中。**方法** 使用 AHP 确定 QFD 的客户需求权重, 通过 QFD 发掘客户核心需求, 运用 TRIZ 的发明原理寻找解决办法。**结论** 以通用智能卫浴产品的概念设计为例, 演示了集成设计模式使用的详细步骤, 并验证了这一设计模式的可行性与有效性, 为其他产品的创新设计提供新的思路。

关键词: 质量功能配置; 发明问题解决理论; 层次分析法; 创新方法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)20-0150-06

Product Innovation Design Method Integrated with QFD/TRIZ/AHP

CHEN Yuan¹, SONG Duan-shu^{1,2}, GU Jun-li¹

(1.School of Mechanical Engineering, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China;

2.Jiangsu Industrial Design Center, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: It aims to research the integrated innovation design methods based on the theory of QFD, TRIZ and AHP, and apply the integrated design patterns into the design of the product innovation. AHP methods are used to determine the customer demands weight of QFD, customer's core demands are excavated by QFD, solutions are found from TRIZ. Through the concept of general intelligent sanitary ware products design, it demonstrates the detailed steps of integrated design method, the feasibility and effectiveness of this design method are verified as well, which provides new thinking for other product innovation design.

KEY WORDS: theory of inventive problem solving; quality function deployment; analytic hierarchy process; innovation method

随着市场竞争的加剧, 产品的生命周期大幅缩短, 企业只有快速准确地掌握客户需求, 并在短时间内将能够满足客户需求的产品投入市场, 才能赢得市场竞争。在新产品的开发过程中需要科学的设计理论作为指导, 帮助设计人员更加准确地把握市场趋势, 了解客户需求, 做出尽可能准确的设计决策。目前, 国际著名的设计理论包括 Akao 的质量功能布置^[1] (QFD), Noriaki Kano 的 Kano 模型^[2], Fitts 的 Fitt's 设计定律^[3], Altshuller 的发明问题解决理论^[4] (TRIZ) 等。美国学者 TateD 在对这些理论进行研究分析后总结: 尽管一些设计理论的提出由来已久, 在设计界也

得到了成功运用, 但每种理论都存在自身的优缺点, 设计理论并不完善, 仍处于准理论阶段^[5]。

QFD 能够确定客户需求, 但是解决方法不足; TRIZ 理论提供解决方法, 但是问题分析不明确。将 QFD 与 TRIZ 理论进行集成, 为创新产品的概念设计提供一种新的设计方法正吸引更多的学者进行研究^[6]。

1 QFD/AHP/TRIZ 的集成设计方法

QFD 最早作为一项质量管理体系由日本学者 Akao 等在 20 世纪 60 年代提出, 它通过亲和图、质

收稿日期: 2017-06-31

基金项目: 江苏省教育厅资助项目 (14KJB460015); 江苏省重点研发计划项目 (BE2016651); 徐州市科技计划资助项目 (KCI4SM074)

作者简介: 陈媛 (1990—), 女, 江苏人, 江苏师范大学硕士生, 主攻工业设计、通用设计。

通讯作者: 宋端树 (1982—), 男, 江苏人, 江苏师范大学副教授, 主要研究方向为工业设计和通用设计。

量屋等方法，将客户需求转化为相应的技术要求，并以此设计、生产能充分满足客户需求的产品。QFD 的核心在于客户需求分析，通常用权重来表示客户对某一需求的关心程度，传统的确定权重的方法主要有德尔菲法（专家评定法）、 α -方法和客户调查法，而研究表明将这 3 种方法应用在 QFD 中，均存在不同程度的局限性^[7]。德尔菲法，主观意识较强，易造成结果的偏差； α -方法，采用数学原理解决问题，对定性问题分析存在不足；客户调查法，通过两次问卷调查由客户直接选择需求权重，既延长了产开发周期，又很难形成一致性的结论。这些局限在一定程度上影响了对用户核心需求的判断，进而会造成后期设计决策的偏差。

为了提高 QFD 发掘用户需求的准确性，创新集成设计模式中采用层次分析法（AHP）来确定 QFD

的客户需求权重。AHP 由美国运筹学家 T.L. Saaty 最先提出，它的发展以数学和心理学为基础，是一种系统性的分析方法^[8]。这种方法能够将复杂系统的决策思维进行层次化，将每一层中的每个因素对结果的影响进行量化，帮助决策者更好地理解问题，提高后期决策的准确性。

使用 AHP 得到客户需求权重，结合 QFD 中客户需求与产品特征关系得到技术特征重要度。分析核心技术措施的相关关系，确定冲突类型，再利用发明问题解决理论（TRIZ）的 40 条发明原理寻找解决方法。TRIZ 是前苏联科学家 Galtshuller 开发的一套问题解决工具，它揭示了创造发明的内在规律与原理，认为设计师对待系统内的矛盾不应采取妥协、折中的方式，而是应该去完全解决矛盾^[9]。集合 QFD/TRIZ/AHP 理论的创新设计模式的流程图，见图 1。

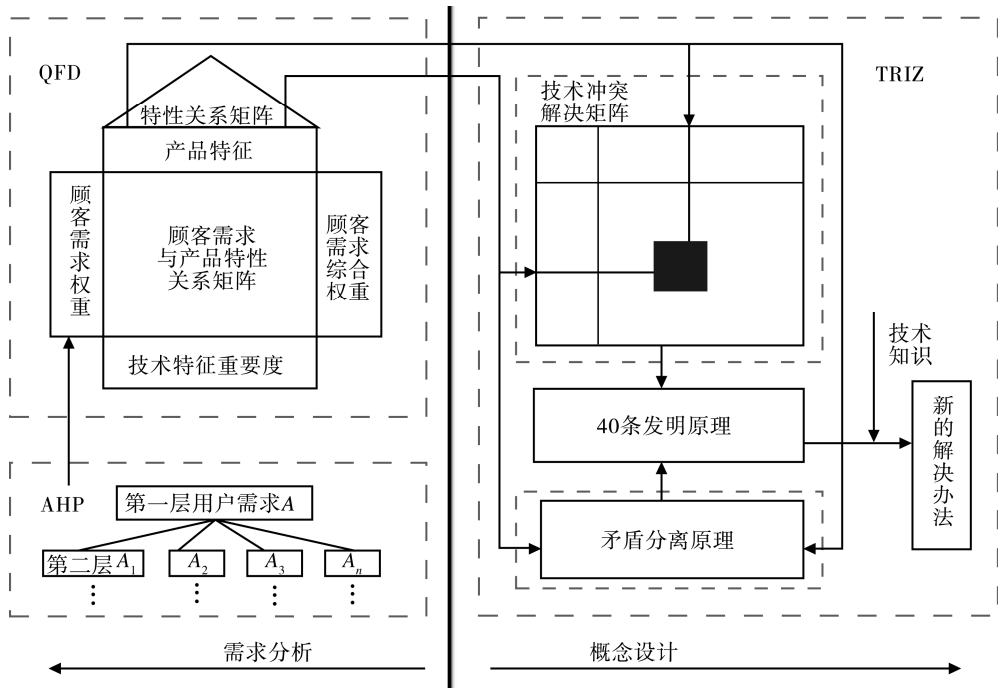


图 1 集成创新设计流程
Fig.1 Integrated innovation design process

首先应用 AHP 计算 QFD 的客户需求权重，再通过较为完善的 QFD 量表确定核心用户需求与核心技术需求。在明确核心用户需求与核心技术措施后，判断相应的技术特征的冲突类型，应用 TRIZ 创新发明原理寻找解决办法，进行产品的创新设计。

随着“互联网+”的快速发展，各传统行业都有了革新性进步，其中传统家居正向智能家居迈进，智能家居产业正在寻求创新性发展，因此以通用智能卫浴产品的概念设计为例，进行集成创新设计模式的具体步骤演示。

2 应用 AHP 确定 QFD 的客户需求权重

2.1 AHP 应用步骤

步骤 1：建立递阶层次结构图。通过对问卷调查、焦点访谈等方式搜集的客户需求进行筛选、分解、组合，建立递阶层次结构图。以通用智能卫浴的设计为例，构建客户需求层次结构图（见图 2），第一层是客户的总需求，第二层是将客户总需求分解为主要性能、辅助性能、操作性等 6 类，第三层是每一类需求的具体客户需求。

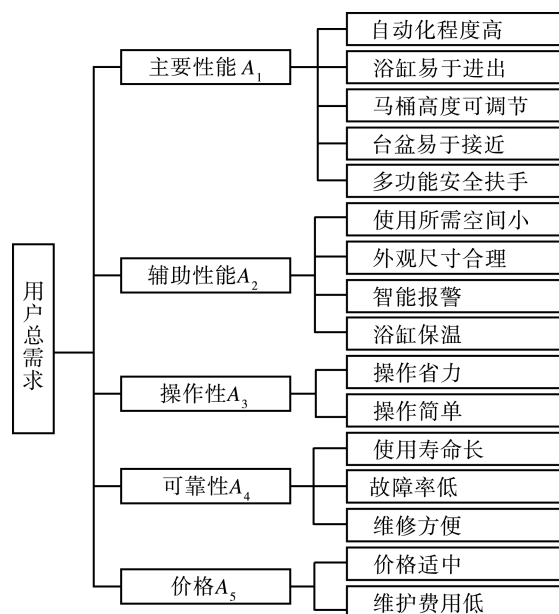


图 2 客户需求递阶层次结构

Fig.2 Hierarchical structure diagram of customer demands

步骤 2: 构造判断矩阵。以上一层要素为比较基准, 按照 Saaty 建议使用的 9 个重要性等级及其赋值进行元素的两两比较。比值 a_{ij} 按照要素 i 与要素 j 相比较的重要度取值, 一般的 9 种取值分别为 1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9, 也可以取上述各数值的中间值及其倒数。比较结果构成判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$, 其中 $a_{ij} = 1/a_{ji}$, 判断矩阵 A 所对应的特征方程:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (1)$$

步骤 3: 求解特征向量并进行一致性检验。求解特征方程的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 和对应的特征向量 W , 然后归一化处理作为权值。这一结果需要进行一致性检验, 一致性检验可以通过计算一致性比例 CR 来决定, 即:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

公式(2)中: CR 为计算一致性比例; CI 为检验系数; RI 为平均随机一致性指标; 公式(3)中: $\lambda_{\max}$ 为特征方程的最大特征根; n 为判断矩阵 A 的阶数。其中 RI 的取值见表 1。计算结果若 $CR < 0.1$, 则认为该判断矩阵通过一致性检验, 否则需要对判断矩阵 A 的元素取值进行调整。

表 1 平均随机一致性指标

Tab.1 Average random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

2.2 应用举例

以图 2 构建的通用智能卫浴产品的客户需求递

阶层次结构为例, 以层次结构的第一层客户总需求为比较基准, 对第二层客户需求进行两两比较, 构成判断矩阵 A , 见表 2。

表 2 判断矩阵 A
Tab.2 Judgment matrix A

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	3	5	5	7
A_2	1/3	1	3	3	7
A_3	1/5	1/3	1	1	5
A_4	1/5	1/3	1	1	5
A_5	1/7	1/7	1/5	1/5	1

借助数学软件 Matlab 求取特征向量, 并将特征向量进行归一化处理, 主要使用的计算机语言有 $[V, D] = \text{eig}(A)$ 和 $W = w ./ \text{sum}(W)$ 。计算结果 $W = [0.4931, 0.2515, 0.1100, 0.1100, 0.0353]$, 且 $\lambda_{\max} = 5.2617$; $CI = 0.0654$; $RI = 1.12$; $CR = 0.0584 < 0.1$, 可见判断矩阵 A 通过一致性检验, 结果可信度较高。

同理可以计算出第三层客户需求的权重, 将结果计入 QFD 量表, 用于计算客户需求综合权重及技术措施的重要度, 综合结果见表 3。

从表 3 中得到的结论如下: 客户需求方面, 客户对于自动化程度、占据空间小、操作等方面的需求度较高; 技术措施重要度方面, 空间尺寸、浴缸进出方式、自动化操作的重要较高, 属于核心技术措施。这说明在进行创新设计时, 需要对卫浴产品的操作方式、空间规划以及浴缸的进出方式进行重点设计。

3 应用 TRIZ 进行概念设计

3.1 理论推导解决方案

应用 TRIZ 进行概念设计, 首先要分析技术措施之间的相互关系, 寻找矛盾, 判断负相关的冲突类型。TRIZ 理论将冲突类型分为技术冲突和物理冲突, 技术冲突涉及的是一个系统, 物理冲突涉及的是一个组件, 其中物理冲突更能体现核心矛盾^[10]。

技术冲突可以通过查找 TRIZ 理论的矛盾冲突解决矩阵列表, 得到解决技术冲突对应的发明原理, 见表 4。

物理冲突有 4 大冲突原理, 包括空间分离原理、时间分离原理、条件分离原理、整体与局部分离原理, 这 4 大原理与 TRIZ 理论的 40 条发明原理相对应。空间分离原理是指矛盾双方在不同的空间上分离, 可利用的 10 个创新原理分别是第 1, 2, 3, 4, 7, 13, 17, 24, 26, 30 条; 时间分离原理是指矛盾双方在不同的时间段上分离, 可利用的 12 个创新原理分别是第 9, 10, 11, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 29, 34,

表 3 通用型智能卫浴产品 QFD 量表（部分）
Tab.3 The QFD part of universal intelligent bathroom products(part)

技术措施	用户需求（权重）	空间尺寸	产品尺寸	形态结构	浴缸进出方式	台盆形状	马桶承重	材料	密封性	自动化操作	可拆卸	耐久性	综合权重
主要性能 (0.4931)	自动化成度高(0.4195)	△		◎				○		◎		△	0.2069
	浴缸易于进出(0.1159)	○	△		◎				△				0.0572
	马桶高度可调节(0.1398)	○	△				◎			○			0.0689
	台盆易于接近(0.1398)	△	△			◎				△			0.0689
	多功能安全扶手(0.1848)	△	△							○			0.0911
辅助性能 (0.2515)	使用所需空间小(0.4169)	◎	◎	△	○	○							0.1049
	外观尺寸合理(0.4169)	◎	◎	○	△	○							0.1049
	智能报警(0.1216)									◎			0.0306
	浴缸保温(0.0447)							◎					0.0112
操作性 (0.1100)	操作省力(0.5000)				○					◎			0.0550
	操作简单(0.5000)				○					◎			0.0550
可靠性 (0.1100)	使用寿命长(0.4054)			△				○				◎	0.0446
	故障率低(0.4806)			△				△	△	○			0.0529
	维修方便(0.1140)									○	◎	○	0.0125
价格 (0.0353)	价格适中(0.750)	△	△	○				◎		◎			0.0265
	维护费用低(0.250)							○		△	○		0.0088
技术措施重要度		182.07	136.16	163.11	103.56	91.54	34.45	102.23	11.01	277.69	8.89	26.05	

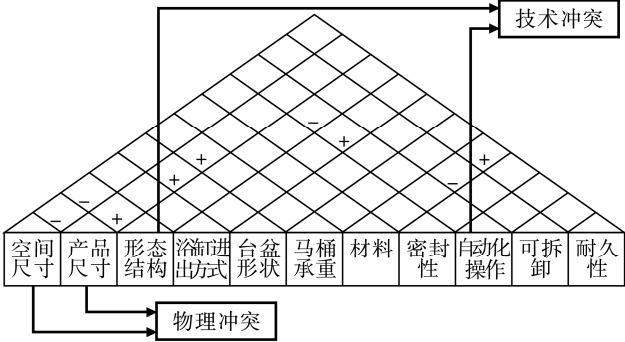
注：◎=5，○=3，△=1

表 4 矛盾冲突解决矩阵（部分）
Tab.4 The conflict resolution matrix(part)

系统特征参数		恶化的通用工程参数									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改善的通用工程参数	1 运动物体重量	+		15, 8 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 8, 10, 15, 38 18, 37	
	2 静止物体重量		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2			8, 10, 19, 35	
	3 运动物体的长度	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 17, 10, 8 4	
	4 静止物体的长度		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40			28, 10	
	5 运动物体的面积	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4		29, 30, 19, 30, 4, 34 35, 2	
	6 静止物体的面积		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+			1, 18, 35, 36	
	7 运动物体的体积	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		+		29, 4, 15, 35, 38, 34 36, 37	
	8 静止物体的体积		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14				+	2, 18, 37	
	9 速度	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34		+	13, 28, 15, 19
	10 力	9, 1, 18, 13, 17, 19, 37, 18	1, 28	9, 36	28, 10	19, 10, 1, 18, 15 36, 37	15	15, 9, 2, 36, 13, 28, 12, 37 18, 37 15, 12			+

37 条；条件分离原理分别是指矛盾双方在不同的条件下分离，可利用的 13 个创新原理分别是第 1，5，6，7，3，13，14，22，24，25，27，33，35；整体与局部分离原理是指冲突双方在不同的层次上分离，可利用的 9 个创新原理分别是第 12，28，31，32，35，36，38，39，40 条^[11]。物理冲突通过查找发明原理可以快速得到创新设计思路。通用智能卫浴产品技术措施的特征矩阵见图 3。

以图 3 中具有代表性的两种典型性冲突为例，通过 TRIZ 求解。其中，客户希望在较小的空间内能够获取最舒适的用户体验与卫浴产品自身尺寸相对较大构成了一对物理冲突。这一冲突可以利用空间分离原理和时间分离原理求解，在对应的创新发明原理中寻找解决办法，对比筛选后拟定采用第 1，17，10 条发明原理。此外，提高卫浴产品操作的自动化程度与其形态复杂程度的增加构成了一对技术冲突用，通过查表 3 得到第 1，13，32，15 条发明原理，可帮助解决冲突。



注：“+”为正相关，“-”为负相关

图 3 特征关系矩阵
Fig.3 The characteristic relation matrix

结合前期调研的用户需求，对查找到的发明原理进行分析研究，优选出第 17，15，10 条发明原理指导通用智能卫浴产品的创新设计。第 17，15，10 条发明原理解释及其在通用智能卫浴产品的创新设计中的应用，见表 5^[12]。

表 5 原理解释及应用
Tab.5 Principle interpretation and application

序号	原理名称	原理解释	通用智能卫浴产品的应用
17	维数变化原则	将一位空间的物体向二维或三维转化；将单层次结构向多层次转化；使物体倾斜或侧向放置；利用给定表面的反面	由于卫浴产品自身尺寸较大，可以充分利用三维空间，将传统卫浴的单层次结构向多层次转化
15	动态原则	使物体或介质特性可变，使其在不同工作阶段都是最佳状态；将物体分为可相互移动的几个部分；将静止的物体变为可动的	将自动化技术运用到卫浴产品中，使其由传统固定状态变为可动的，通过改变尺寸、位置增加通用性
10	预先作用原则	预先完成要求的动作；预先将物体放至合适位置，使其在需要时间或地点立即完成所需工作	利用现代科学技术，使卫浴产品能够根据使用者具体需求，预先进入准备状态，通过智能化提高用户体验

3.2 设计实践

根据表 5 进行创新性草图构思，对概念草图进行优选，利用计算机辅助建模、渲染。设计过程中参考人机工程学设计合理的产品尺寸，参考设计心理学对产品造型、色彩等进行反复修改，初步方案见图 4。产品的主要创新点包括：（1）对卫浴空间内的主要产品进行集成化设计，将使用率不高的浴缸置于顶部，台盆、马桶根据使用高度依次与可动模块连接，形成多层次结构，提高了空间使用率；（2）在不靠近卫浴产品时即可通过遥控选择所需功能，产品预先进入不同的使用准备状态，如选择使用台盆时，马桶模块将转置背面，为轮椅使用者等有需要的人群提供足够的腿部放置空间；（3）台盆、马桶的高度和安全扶手的长、宽、高均可自动调节，如选择使用马桶时，马桶会根据红外扫描到的使用者人体尺寸调节自身高度，进入最佳使用状态，为弱势群体提供更好的服务。

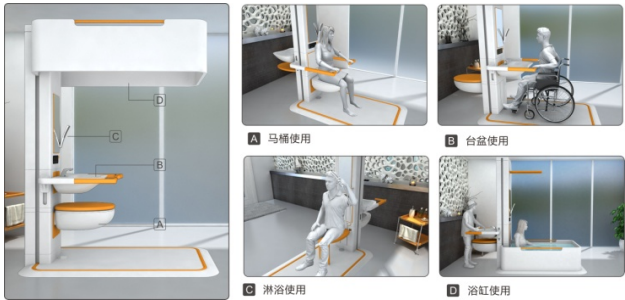


图 4 设计方案
Fig.4 The design proposal

4 结语

以通用智能卫浴产品的概念设计为例验证了 QFD/AHP/TRIZ 的集成设计模式的可行性与有效性，并对这一设计模式的使用步骤进行了说明。这种集成设计模式主要应用 QFD 发掘客户需求，应用 TRIZ

快速寻找解决办法, 其中采用 AHP 确定 QFD 的用户需求权重值, 将客户思维通过系统化、数字化的形式体现出来, 提高了在 QFD 中确定用户需求等级时的准确性。这种集成设计模式能够在一定程度上弥补单一设计理论的不足, 能够较好的帮助企业快速开发出适应市场需求的创新产品, 赢得市场竞争。

参考文献:

- [1] NAHM Y E. A Novel Approach to Prioritize Customer Requirements in QFD Based on Customer Satisfaction Function for Customer-Oriented Product Design[J]. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2013, 27(12): 3765—3777.
- [2] WANG C H, WU C W. Combining Conjoint Analysis with Kano Model to Optimize Product Varieties of Smart Phones: a VIKOR Perspective[J]. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 2014, 31(4): 177—186.
- [3] 王玥. 费兹原理在非接触式机器视觉手势交互中的扩展性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
WANG Yue. Extension of Fitts' Law in Noncontact Gesture Interaction in Machine-Vision[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [4] ROVIDA E, BERTONI M, CARULLI M. About the Use of TRIZ for Product-Service Development[C]. *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design*, 2009.
- [5] TATE D. A Roadmap for Decomposition: Activities, Theories, and Tools for System Design[D]. Department of Mechanical Engineering, MIT, 1999.
- [6] 李付星. TRIZ 理论再特殊群体辅助轮椅创新设计中的应用[J]. *包装工程*, 2016, 37(10): 113—117.
LI Fu-xing. The Application of TRIZ Theory in the Design of Special Group Assisted Wheelchair[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(10): 113—117.
- [7] 莫勒. MATLAB 数值计算[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.
CLEVE M. Numerical Computing with MATLAB[M]. Beijing: Beihang University Press, 2015.
- [8] ROSLI M U, ARIFFIN M K A, SAPUAN S M, et al. Integrated AHP-TRIZ Innovation Method for Automotive Door Panel Design[J]. *International Journal of Engineering and Technology*, 2013, 5(3): 3158—3157.
- [9] 桂科, 刘江南, 张文博, 等. 基于现代 TRIZ 工具的多功能课桌创新设计[J]. *包装工程*, 2016, 37(14): 34—37.
GUI Ke, LIU Jiang-nan, ZHANG Wen-bo, et al. Innovative Design of a Multipurpose Desk Based on Modern TRIZ Tools[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(14): 34—37.
- [10] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. *数学的实践与认识*, 2012, 42(7): 93—100.
DENG Xue, LI Jia-ming, ZENG Hao-jian, et al. Research on Computation Methods of AHP Wight Vector and Its Applications[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2012, 42(7): 93—100.
- [11] 杨智皓, 何邦贵, 杨朝丽, 等. 基于 TRIZ 及 TOC 理论的滤棒测径仪结构设计[J]. *包装工程*, 2015, 36(21): 79—83.
YANG Zhi-hao, HE Bang-gui, YANG Chao-li, et al. Structure Design of the Diameter Measuring Gauge of Filter Rod Based on TRIZ and TOC[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(21): 79—83.
- [12] 刘征, 潘凯, 顾新建. 集成 TRIZ 的产品生态设计方法研究[J]. *机械工程学报*, 2012, 48(11): 72—77.
LIU Zheng, PAN Kai, GU Xin-jian. Research on Product Ecological Design Method Integrating TRIZ [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2012, 48(11): 72—77.