

机械与过程控制

TRIZ 理论综述及在轻工装备领域研究展望

任工昌, 张魏, 张强, 杨悦欣

(陕西科技大学 机电工程学院, 西安 710021)

摘要: **目的** 针对轻工装备领域缺乏系统性的创新设计理论和方法等不足, 运用 TRIZ 理论来指导轻工装备领域开展创新设计。**方法** 对 TRIZ 理论的研究现状、基于 TRIZ 的深度知识获取、基于 TRIZ 的计算机辅助创新系统开发、TRIZ 在我国轻工业领域中的应用等 4 个方面的相关研究成果进行整理, 并深入分析。**结论** 总结出 TRIZ 在轻工装备领域的研究不足, 提出了轻工装备领域创新设计研究展望, 指出今后面向轻工装备领域的创新设计研究重点、构建创新设计研究框架, 为开展轻工装备创新设计提供了方法与思路。

关键词: TRIZ; 综述; 轻工装备; 创新设计

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)07-0156-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.07.023

Summary of TRIZ Theory and Research Prospect in Light Industry Equipment

REN Gong-chang, ZHANG Wei, ZHANG Qiang, YANG Yue-xin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: In view of the lack of systematic innovative design theories and methods in the field of light industry equipment, the paper aims to use TRIZ theory to guide the innovative design in the field of light industry equipment. The research status of TRIZ theory, in-depth knowledge acquisition based on TRIZ, development of computer-aided innovation system based on TRIZ and application of TRIZ in light industry in China were sorted out and analyzed. The research deficiency of TRIZ in light industry equipment field is summarized, and the research prospect of innovative design in light industry equipment field is put forward. The focus of future research on innovative design in light industry equipment field is pointed out, and the research framework of innovative design is constructed to provide methods and ideas for carrying out innovative design of light industry equipment.

KEY WORDS: TRIZ; summary; light industry equipment; innovative design

发明问题解决理论 TRIZ (Theory of inventive problem solving) 是前苏联科学家 G.S.Altshuller (根里奇·阿奇舒勒) 在分析大量专利和创新案例的基础上总结出来的一种系统性的创新方法, 成功地揭示了发明创造的内在规律和原理。TRIZ 的突出优点是它为设计过程中的矛盾提供了新思路, 能够系统地进行创新设计, 而且最重要的是 TRIZ 适用于各种技

术领域的创新。

轻工装备包括包装机械、食品机械、皮革机械、造纸机械等各类轻工机械, 具有一些显著特点: 范围宽、种类多; 结构、动作和加工原理差异大、复杂程度不一; 加工对象的结构、性质特殊; 工作环境差等^[1]。当前, 造成我国轻工装备创新能力不足的原因, 主要是产品设计水平相对较低, 特别是缺乏针对轻工装备领域的

收稿日期: 2018-12-18

基金项目: 国家自然科学基金 (51175314)

作者简介: 任工昌 (1962—), 男, 博士, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为产品创新理论、CAD、机构综合等。

创新设计方法和手段。只有采用先进的设计理论、方法和手段,创造性地设计出高性能的产品,才能在激烈的国际市场竞争中立足于不败之地,因此,文中通过分析 TRIZ 理论的现状、基于 TRIZ 的深度知识获取、基于 TRIZ 的计算机辅助创新系统(Computer Aided Innovation, CAI)开发、TRIZ 在轻工业领域中的应用等方面的研究情况,提出轻工装备领域创新设计研究展望,为进一步开展轻工装备领域创新设计研究提供理论支撑。

1 TRIZ 理论综述

1.1 TRIZ 理论的研究现状

从 20 世纪 90 年代初开始,TRIZ 理论受到发达国家研究学者们的广泛关注。MC Ang 等^[2]将 TRIZ 的标准工程参数和发明原理进行改进和扩充,更新了矛盾矩阵,更好地支持设计者解决冲突问题。张卫平^[3]提出了基于德国的 WOIS 理论、PI 理论和 MIS 理论三者为一体的 RLI 模式,对 TRIZ 理论的 ARIZ 算法进行了改进。Song-Kyoo Kim^[4]为提高问题分析效率,将 TRIZ 的物质-场模型替换为排队理论模型。CHANG^[5]针对物质-场分析解决产品设计中的生态创新问题进行了研究。WEI 等^[6]对 TRIZ 的标准解进行扩展,并结合进化法则和发明原理,将扩展得到的 84 个标准解划分为 7 类,为进一步掌握和运用标准解提供了简约的方式。

国内从 20 世纪 90 年代后期开始接触 TRIZ 理论。檀润华教授作为国内 TRIZ 研究的开拓者开展了大量工作,将 TRIZ 理论与其他理论方法结合实现集成创新。建立的产品创新概念设计过程模型^[7],实现了 TRIZ 理论与约束理论(TOC)、未预见发现(UXD)、类比设计(ABD)等多理论方法的集成,实现了 TRIZ 冲突解决原理与模糊前端阶段产品创新设计理论的集成^[8];建立的多冲突问题解决过程模型^[9]实现了将障碍树(DOT)方法与 TRIZ 问题解决工具的集成;针对 TRIZ 求解过程中冲突识别难的问题,将 TRIZ 理论和六西格玛设计(DFSS)深度融合^[10]。此外,王年文等^[11]将 TRIZ 理论与质量屋(QFD)结合,提高了问题分析得效率,实现了医疗产品创新设计。王秋月等^[12]针对目前标准解分类方式存在选择时易选错及选多个难抉择的问题,对 76 个标准解中的前 3 类标准解进行重新分类。上述研究侧重于 TRIZ 理论体系及其与其他设计方法的集成,提出的创新设计方法主要是基于逻辑思维知识的创新设计,然而,创造性思维是将逻辑思维与发散思维深度融合,单纯的 TRIZ 理论在两者集成创新设计方面的研究略显不足。对此,笔者在前期研究中进行了积极探索,将基于发散思维的头脑风暴法引入基于 TRIZ 的问题求解

过程^[13-14],使得问题分析与求解更加精确。通过对 TRIZ 理论研究的不断深入和完善,为今后开展面向轻工装备领域创新设计研究奠定了良好的理论基础。

1.2 基于 TRIZ 的深度知识获取

TRIZ 理论是以整个工程领域的深度知识为支撑的创新方法。就 TRIZ 理论而言,深度知识是能够适用于各技术领域的科学效应、发明原理、技术进化等知识。这些知识能够辅助产品设计人员得出创新度高的设计方案,因此,如何获取深度知识、重组深度知识并建立深度知识库,是创新设计系统能否真正支持和实现创新设计的关键。专利是深度知识的具体化表述形式和重要来源,其深度知识含量最高,内容详尽,实用性强,能够快速反应新知识,因此,从专利中有目的地获取、重用和管理这些隐性知识,是创新发展的重要途径。目前,国内外在基于 TRIZ 的专利知识挖掘方面已开展了一些相关研究。YOON 等^[15]提出了基于可视化专利信息的技术形态分析方法对 TRIZ 知识进行搜集和整理。CASCINI^[16]研究了基于主语-行为-宾语的语义模型实现对专利中 TRIZ 知识的自动抽取。LOH 等^[17]在研究 TRIZ 理论的基础上,开发了专利自动分类系统,提高了专利分类效率。王克奇等^[18]将 TRIZ 理论与专利检索系统相结合,提高了专利检索的准确性。笔者^[19-21]开展了面向 TRIZ 理论深度知识获取及应用研究,建立的深度知识获取系统能够从专利中实现文本抽取、文本分类和深度知识挖掘等功能。徐志刚等^[22]依据 TRIZ 理论开发的软件系统能够对效应、功能等深度知识进行有效地规范和整理。檀润华等^[23]基于 TRIZ 的功能分析和技术进化法则,开发了面向企业专利挖掘和预测产品技术成熟度的软件。胡正银等^[24]在运用主语-行为-宾语和简单知识对象检索的基础上集成文本挖掘技术,构建了面向 TRIZ 的领域专利技术挖掘系统。此外,吕学强等^[25]、王昊等^[26]、高常青等^[27]分别开展集成 TRIZ 理论与本体技术的相关研究,基于本体和 TRIZ 的模型便于对专利知识的组织和管理。上述研究在基于 TRIZ 的专利知识挖掘与知识管理方面进行了积极的探索。研究显示,相比基于关键词或专利分类号的知识挖掘方法,语义检索更适合面向 TRIZ 的知识挖掘。语义检索技术的关键在于确定检索目标和建立语义检索模型。由于现有技术检索目标不明确且语义模型较简单,因此未能全面反映专利中蕴含的深度知识。同时,对深度知识的重组、应用、更新机制的研究相对较少,不能很好地支持基于深度知识的创新设计。

1.3 基于 TRIZ 的计算机辅助创新系统(CAI)开发

为促进 TRIZ 的应用,国内外出现了许多基于

TRIZ 的计算机辅助创新系统 (Computer Aided Innovation, CAI)。在国际上,比较有代表性的 CAI 有美国的 Goldfire 和 Innovation Workbench、比利时的 CREAX Innovator Suite、乌克兰的 TriSolver 等。在国内,北京亿维讯公司推出的 Pro/Innovator,河北工业大学研发的 Invention Tool 等也具有较大影响,然而,从 TRIZ 的应用推广过程来看,CAI 并没有从根本上降低创新方法的应用难度。造成上述问题的一个重要原因是,现有 CAI 系统多是面向一般创新问题的通用 CAI,对于不同领域问题泛化为 TRIZ 问题和将 TRIZ 通解转化为领域解的支持不足。为此,鲍宏等^[28]通过构造再制造设计参数与 TRIZ 工程参数之间的映射关联,在再制造设计需求驱动下进行零部件的创新设计。为支持面向再制造的工程机械创新设计,笔者在开发的通用 CAI^[29-30]基础上,通过集成混凝土泵车再制造领域知识库,开发了面向再制造的工程机械 CAI 系统^[31-32]。上述研究表明,实现一般创新方法与具体工程领域知识的结合,是解决创新方法应用难的有效途径。

1.4 TRIZ 在我国轻工业领域中的应用

近年来,基于 TRIZ 的创新方法在轻工业领域开始受到人们的关注,并在造纸、食品、皮革等行业得到应用。任国庆等^[33]利用 TRIZ 理论进行制浆造纸技术创新,运用矛盾矩阵和分离原理寻找问题的“TRIZ 解决方法”,转化为制浆领域的专业技术,改善了造纸行业的制浆工艺,取得了良好的经济效益。刘德喜等^[34]利用 TRIZ 理论的因果链分析,明确了食品分拣装置的关键问题,借助 40 条发明原理改善了分拣机构,实现了自动化分拣功能,提高了企业运营效率。李坤等^[35]针对山东龙口大型粉丝生产线改造设计过程,结合 TRIZ 理论与模糊算法改进粉丝切断机,实现了自动化切割。朱广飞等^[36]基于 TRIZ 理论解决工程问题的逻辑思维,以组件为目标逐步深入分析,最终获得创新原理和类比实例并形成可行的设计方案,解决了搅拌融合问题,提高了生产效率。王立新等^[37]利用 TRIZ 的发明原理指导皮革箱包的外观和功能创新设计。温会涛等^[38]在制革复染废液 SS/Cr 膜分离研究中,以 TRIZ 标准工程参数定义和分析问题,利用矛盾矩阵、冲突分离、物质-场分析、标准解法及进化法则等 TRIZ 常规方法来寻找问题解决方案,实现了制革复染废液 SS/Cr 膜分离系统的创新设计。上述研究表明,TRIZ 理论在轻工业领域的应用还很少,实现的创新设计都是基于简单理论的基本应用,并未形成较为完整的且具有针对性的轻工领域创新体系。尤其是在造纸加工机械等轻工装备领域,基于 TRIZ 理论实现的创新设计更是微乎其微,因此,开展基于 TRIZ 的轻工装备领域创新设计研究是非常必要的。

2 TRIZ 在轻工装备领域的研究不足

纵观基于 TRIZ 的产品创新研究现状,可谓百花齐放,在理论方法、CAI 系统开发等方面为产品创新奠定了必要的基础。然而,产品创新理论在轻工业领域中的应用比较简单,在轻工装备领域的应用还比较鲜见,这与轻工装备创新发展的要求是不相适应的。

1) 我国轻工装备领域的自主创新能力不足,缺乏针对轻工装备领域的创新设计方法和手段。自主创新,方法先行。以 TRIZ 为代表的产品创新设计理论和方法,为产品创新设计提供了强有力的指导。然而,产品创新设计理论在不同领域的发展和应用还不均衡,尤其是在轻工装备领域,TRIZ 理论在支持产品创新方面的研究和应用尚处于初期阶段^[33-38]。如何推进创新方法在轻工装备领域的应用,提高自主创新能力,是当前轻工装备制造业发展面临的一个重要难题。

2) 产品创新设计理论方法在轻工装备领域存在着应用推广难的问题。在产品创新设计研究领域,较多关注于产品创新的一般理论和方法,开发的 CAI 系统大多是面向所有工程领域的通用 CAI^[29-30]。由于不同领域问题具有其特殊性,因此一般创新理论方法难以对轻工装备领域工程创新问题提供充分支持^[28,31-32]。

3) 支持轻工装备产品创新设计的基础性问题——深度知识获取和应用研究需要加强。TRIZ 理论是以强大的科学效应、发明原理、进化法则等深度知识库做支撑,而我国目前尚缺乏面向轻工装备领域深度知识的详细内容(国外是不会公开的)。目前国内外有关从专利中获取知识的研究主要集中在知识的获取方法上,而对于深度知识的重组、应用以及知识库的更新机制方面的研究较少^[15-27]。

4) 目前基于 TRIZ 的创新方法研究,主要集中在基于逻辑思维的推理建模和解决工程矛盾的基本方法上^[13-14]。尚缺乏对轻工装备领域冲突解决过程的深入全面的研究,尤其是轻工装备领域冲突问题的 TRIZ 识别和 TRIZ 通解转化为轻工装备领域解,还大多依赖设计者个人的知识和经验,没有具体面向轻工装备领域创新设计的过程模型^[33-38],可操作性不强,不利于产生高质量的创新方案。

3 轻工装备领域创新设计研究展望

针对 TRIZ 在轻工装备领域创新设计研究的不足之处,对未来开展面向轻工装备创新设计研究将采用理论分析、知识挖掘、软件编程、建模仿真和物理模型验证相结合的研究方法。研究趋势如下所述。

1) 轻工装备领域知识获取与知识库构建,促进

创新理论方法在轻工装备领域的应用。

2) 以专利知识为基础, 开展有利于实现轻工装备创新设计的深度知识获取、重组和应用机制研究。

3) 开发面向轻工装备领域的计算机辅助创新设计系统, 促进 CAI 软件在轻工装备领域创新设计中的应用。

4) 以领域知识和深度知识为基础, 研究集逻辑思维设计方法、发散思维设计方法和克服思维惯性方法的创新性概念设计过程模型。

面向轻工装备领域创新设计的研究框架见图 1。采取文献检索和知识挖掘等技术, 研究从轻工装备领域的技术文献以及各领域专利中, 获取轻工装备领域知识和支持创新的深度知识; 再通过创造性思维建模、运用数据库技术、网络技术和协同设计模式, 在研究创新性设计过程模型的基础上, 建立面向轻工装备的计算机辅助创新设计系统, 并引入轻工设备的技术难题以获得创新性的解决方案, 对创新方案进行建模仿真, 最后制作物理模型验证创新方案。

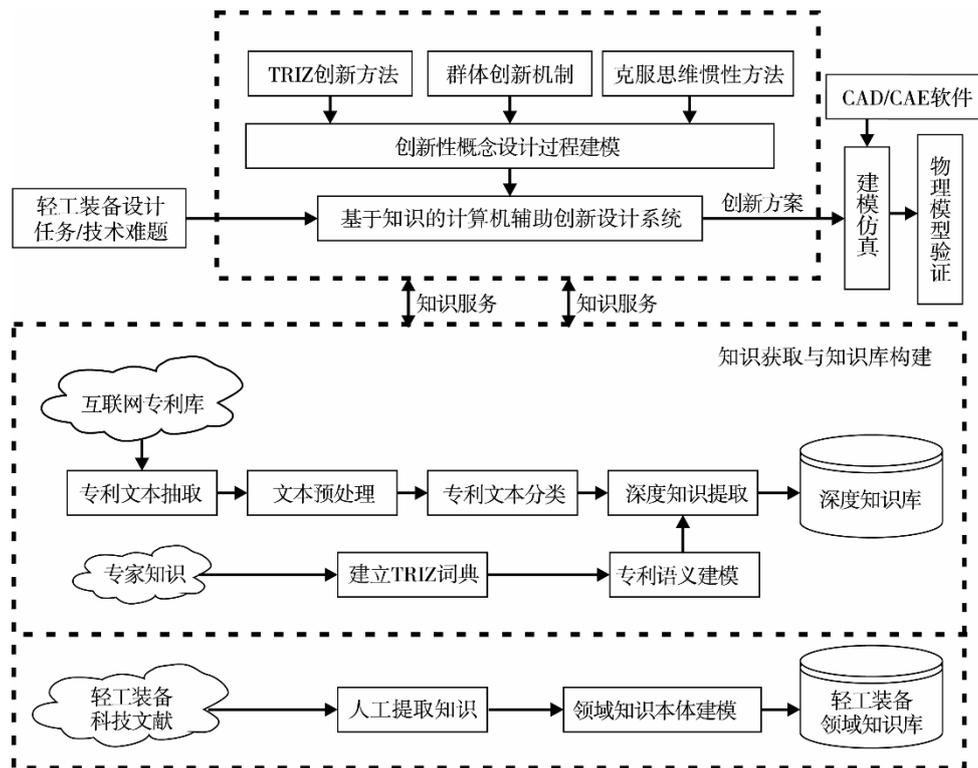


图 1 面向轻工装备领域创新设计的研究框架
Fig.1 Research framework for innovative design in light industrial equipment

4 结语

创新是一个民族进步的灵魂, 是一个国家兴旺发达的不竭源泉。TRIZ 作为各种创新设计方法和理论其中最具代表性的创新理论在各领域得到了广泛应用。通过对 TRIZ 及其应用的研究综述, 将 TRIZ 应用于轻工装备领域的创新, 提出了轻工装备创新设计研究的 4 个趋势, 给出未来开展面向轻工装备领域的创新设计研究内容, 符合轻工业“十三五”规划的需要, 能够促进我国轻工业的快速发展。

参考文献:

[1] 中国轻工总会. 轻工业技术装备手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
China National Light Industry Association. Manual on Technical Equipment for Light Industry[M]. Beijing:

Mechanical Industry Press, 1995.
[2] MC A, KW N, SA A, et al. An Engineering Design Support Tool Based on TRIZ[J]. Advances in Visual Informatics, 2013, 8237: 115—127.
[3] 张卫平. 创新方法“TRIZ”在德国的理论研究和推广应用情况[J]. 广东科技, 2013, 22(7): 20—21.
ZHANG Wei-ping. Theoretical Research and Popularization of Innovative Method "TRIZ" in Germany[J]. Guangdong Science and Technology, 2013, 22(7): 20—21.
[4] SK K. Innovative Design of Substance-Field Notations for Reformulating the Seventy-six Standard Solutions in TRIZ[C]// International Journal of Systematic Innovation, 2011: 19—26.
[5] CHANG H T. The Study of Integrating Su-field Analysis Modeling with Eco-Innovative Concept for Product Design[C]// International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing,

- 2005: 663—670.
- [6] WEI Y, ZANNI M C, ROUSSELOT F, et al. A Heuristic Method of Using the Pointers to Physical Effects in Su-Field Analysis[C]// TRIZ Future Conference, 2012: 586—598.
- [7] 刘晓敏, 檀润华, 姚立纲. 产品创新概念设计集成过程模型应用研究[J]. 机械工程学报, 2008, 44(9): 154—162.
LIU Xiao-min, TAN Run-hua, YAO Li-gang. Application Research on Integrated Process Model for the Conceptual Design of Product Innovation[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(9): 154—162.
- [8] 刘力萌, 张换高, 檀润华. 多方法集成的模糊前端创新设想产生研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(15): 49—57.
LIU Li-meng, ZHANG Huan-gao, TAN Run-hua. Study on the Generation of Fuzzy Front End Innovative Ideas in Multi-method Integration[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(15): 49—57.
- [9] 韦子辉, 檀润华. 产品设计中多冲突问题解决过程研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(3): 263—267.
WEI Zi-hui, TAN Run-hua. Study on Solving Process of Multi-conflict problem in Product Design[J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(3): 263—267.
- [10] 闫洪波, 曹国忠, 檀润华, 等. TRIZ 与六西格玛设计集成创新及问题定义阶段融合应用研究[J]. 中国机械工程, 2018, 29(13): 1560—1567.
YAN Hong-bo, CAO Guo-zhong, TAN Run-hua. Research on TRIZ & DFSS Integrated Innovation and Integration in Problem Definition Phase and Applications[J]. China Mechanical Engineering, 2018, 29(13): 1560—1567.
- [11] 王年文, 王剑. 基于 QFD/TRIZ 的热透灸理疗仪创新设计[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 218—224.
WANG Nian-wen, WANG Jian. Innovative Design of Hot Moxibustion Therapy Apparatus Based on QFD/TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 218—224.
- [12] 王秋月, 杨伯军, 段秀玲. 基于物质-场模型及相似性的标准解重新分类研究[J]. 工程设计学报, 2015, 22(6): 520—527.
WANG Qiu-yue, YANG Bo-jun, DUAN Xiu-ling. A study on the Reclassification of Standard Solutions Based on Su-Field model and Similarity[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(6): 520—527.
- [13] 陈红柳, 任工昌, 鲁麒, 等. TRIZ 和头脑风暴对创造性思维的促进作用研究[J]. 机械设计与制造, 2013(11): 268—269.
CHEN Hong-liu, REN Gong-chang, LU Qi, et al. Study on the Role of TRIZ and Brainstorming in Promoting Creative Thinking[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(11): 268—269.
- [14] 陈红柳. 基于产品创新软件系统的克服思维惯性应用研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
CHEN Hong-liu. Application Research on Overcoming the Inertia of Thinking Based on Product Innovation Software System[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2014.
- [15] YOON B, CHRISTOPHER L M. Exploring Technology Opportunities by Visualizing Patent Information Based on Generative Topographic Mapping and Link Prediction[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 132: 105—117.
- [16] CASCINI G, RUSSO D. Computer-aided Analysis of Patents and Search for TRIZ Contradictions[J]. International Journal of Product Development, 2007, 4(1/2): 52—67.
- [17] LOH H T, HE C, SHEN L X. Automatic Classification of Patent Document for TRIZ Users[J]. World Patent Information, 2006, 28: 6—13.
- [18] 王克奇, 于江涛, 李海英, 等. 基于 TRIZ 理论的专利检索方法的研究[J]. 科技管理研究, 2011, 31(5): 169—172.
WANG Ke-qi, YU Jiang-tao, LI Hai-ying, et al. Research on Patent Retrieval Method Based on TRIZ Theory[J]. Science and Technology Management Research, 2011, 31(5): 169—172.
- [19] 鲁麒, 任工昌, 陈红柳. 面向 TRIZ 理论的深度知识获取及应用研究[J]. 情报杂志, 2013, 32(8): 145—149.
LU Qi, REN Gong-chang, CHEN Hong-liu. Deep Knowledge Acquisition and Application for TRIZ Theory[J]. Journal of Intelligence, 2013, 32(8): 145—149.
- [20] 鲁麒, 任工昌, 李平平, 等. 基于 TRIZ 理论的中文专利文本挖掘模型的构建[J]. 情报科学, 2014, 32(10): 28—32.
LU Qi, REN Gong-chang, LI Ping-ping, et al. Model Building of Text Mining about Chinese Patents Based on the Theory of TRIZ[J]. Information Science, 2014, 32(10): 28—32.
- [21] REN G C, LU Q, YU F H. On Classification and Extraction of Deep Knowledge in Patents Based on TRIZ Theory[C]// IEEE Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, Hunan, China, 15-16 June, 2014: 666—670.
- [22] 徐志刚, 刘涛涛. 基于专利的效应库研究及软件开发[J]. 智能计算机与应用, 2015, 5(1): 29—31.
XU Zhi-gang, LIU Tao-tao. Research on Effects Library and Software Development Based on Patents[J]. Intelligent Computer and Applications, 2015, 5(1): 29—31.
- [23] LI H, TAN R H, JIANG P, et al. Research on the Strategy of Patents Layout Basing on TRIZ[C]// IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2013), 2013: 13—17.
- [24] 胡正银, 刘春江, 隗玲, 等. 面向 TRIZ 的领域专利技术挖掘系统设计与实践[J]. 图书情报工作, 2017, 61(1): 117—124.

- HU Zheng-yin, LIU Chun-jiang, KUI Ling, et al. Design and Practice of Domain Patent Tech Mining System Oriented to TRIZ[J]. Library and Information Service, 2017, 61(1): 117—124.
- [25] 何宇, 吕学强, 刘秀磊, 等. 中文专利领域本体概念间非分类关系抽取[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(1): 97—102.
- HE Yu, LYU Xue-qiang, LIU Xiu-lei, et al. Extract Non-taxonomic Relations Between Ontological Concepts from Chinese Patent Documents[J]. Computer Engineering and Design, 2017, 38(1): 97—102.
- [26] 吴志祥, 王昊, 王密平. 中文专利术语层次关系解析研究[J]. 情报学报, 2017, 36(4): 401—410.
- WU Zhi-xiang, WANG Hao, WANG Mi-ping. A Study on Chinese Patent Terms Hierarchy Parse[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2017, 36(4): 401—410.
- [27] GAO Chang-qing, SUN Jian-hua, CHEN Wei, et al. Study on Management and Application System of Patent Knowledge Based on TRIZ[C]// Proceedings of the 2017 3rd Conference on Education and Teaching in Colleges and Universities (CETCU 2017), Shandong China, 8 July, 2017, 93: 18—20.
- [28] 鲍宏, 刘志峰, 胡迪, 等. 应用 TRIZ 的主动再制造绿色创新设计研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 33—39.
- BAO Hong, LIU Zhi-feng, HU Di, et al. Green innovative Design for Active Remanufacturing Based on TRIZ[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 33—39.
- [29] REN G C, LI P P, CHEN H L, et al. The New Type of CAI Based on TRIZ Research[C]// IEEE Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, Hunan, China, 2014: 1065—1068.
- [30] 任工昌, 李平平, 鲁麒, 等. 基于深度知识的创新性计算机辅助创新系统研究[J]. 机械设计, 2014, 31(2): 15—19.
- REN Gong-chang, LI Ping-ping, LU Qi, et al. Research on Innovative Computer-Aided Innovation System Based on Depth Knowledge[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(2): 15—19.
- [31] 于峰海, 任工昌, 鲁麒, 等. 再制造产品创新设计中 TRIZ 理论分析[J]. 机械设计与制造, 2013(12): 11—13.
- YU Feng-hai, REN Gong-chang, LU Qi, et al. TRIZ Theory Analysis of the Innovative Design of Remanufactured Products[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(12): 11—13.
- [32] REN G C, YU F H, LYU R C. Research on Innovative Design of Remanufacturing Products in the Field of Construction Machinery[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 525: 523—526.
- [33] 任国庆, 王永贵. TRIZ 理论在制浆中的应用[J]. 黑龙江造纸, 2012, 40(1): 24—26.
- REN Guo-qing, WANG Yong-gui. Application of TRIZ Theory in Pulping[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2012, 40(1): 24—26.
- [34] 刘德喜, 刘福, 张彦辉, 等. 基于 TRIZ 的食品分拣机分拣装置的创新设计[J]. 北京印刷学院学报, 2017, 25(2): 58—60.
- LIU De-xi, LIU Fu, ZHANG Yan-hui, et al. The Innovative Design of Sorting Device of Food Sorting Machine Based on TRIZ Theory[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2017, 25(2): 58—60.
- [35] 李坤, 张建中, 张树君, 等. 基于 TRIZ 理论的粉丝生产线切断机设计与仿真[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(5): 35—38.
- LI Kun, ZHANG Jian-zhong, ZHANG Shu-jun, et al. Design and Simulation of Noodle Cutting Machine Based on TRIZ Theory[J]. Packaging and Food Machinery, 2013, 31(5): 35—38.
- [36] 朱广飞, 李少华, 相海, 等. 基于 TRIZ 理论的高品质橄榄油加工粉碎融合机的创新研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(5): 103—106.
- ZHU Guang-fei, LI Shao-hua, XIANG Hai, et al. Innovative Research on High Quality Olive Oil Processing and Fusion Machine Based on TRIZ Theory[J]. China Oils and Fats, 2016, 41(5): 103—106.
- [37] 王立新, 赵茜. TRIZ 理论在多功能箱包设计中的应用研究[J]. 中国皮革, 2011, 40(20): 110—114.
- WANG Li-xin, ZHAO Xi. Research on the Application of TRIZ Theory in the Multi-function Bags and Cases Design[J]. China Leather, 2011, 40(20): 110—114.
- [38] 温会涛, 梁永贤, 王小卓, 等. 基于 TRIZ 理论的制革复染废液 SS/Cr 膜分离系统研究[J]. 西部皮革, 2017, 39(3): 51—61.
- WEN Hui-tao, LIANG Yong-xian, WANG Xiao-zhuo, et al. Study on SS/Cr Membrane Separation System of Leather Redyeing Waste Liquid Based on TRIZ Theory[J]. West Leather, 2017, 39(3): 51—61.