

基于 TRIZ 的螺旋道钉自动包装生产线设计与应用

张远庆, 于毫勇, 吕明奎*
(铁科(天津)科技有限公司, 天津 301700)

摘要: **目的** 针对螺旋道钉人工包装方式, 采用 TRIZ 理论的创新思维与方法进行螺旋道钉自动包装生产线的设计, 实现其全自动包装。**方法** 首先提出实际问题, 然后运用 TRIZ 理论构建矛盾矩阵表, 从而获得生产线设计时所遇问题的发明原理解, 设计全自动的智慧包装生产线并进行安装, 最后通过实际包装验证生产线包装效果。**结果** 通过设计的自动包装生产线将螺旋道钉进行实际包装验证, 结果表明该生产线能够实现螺旋道钉的全自动包装, 且包装效率高、包装质量优异。**结论** 该全自动包装生产线实现了 PLC 的集成统一控制, 各包装工序工作协调, 设备操作简单, 提高了产品包装效率、降低了人工强度。

关键词: TRIZ; 螺旋道钉; 自动化; 包装线

中图分类号: TB488 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)11-0213-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.11.025

Design and Application of Automatic Packaging Production Line for Spiral Spikes Based on TRIZ

ZHANG Yuanqing, YU Haoyong, LYU Mingkui*
(Tieke (Tianjin) Technology Co., Ltd., Tianjin 301700, China)

ABSTRACT: Aiming at the manual packing method of spiral spike, the work aims to design an automatic packing line of spiral spike through the innovative thinking and method of TRIZ theory and realize its automatic packing. First, the practical problems were put forward, and then the TRIZ theory was used to construct the contradiction matrix table, so as to obtain the original understanding of the problems encountered in the design of the production line, and design the automatic intelligent packaging line and field installation. Finally, the packaging effect of the production line was verified through the actual packaging. The results showed that the automatic packing line can realize the automatic packing of spiral spike with high packing efficiency and excellent packing quality. The automatic packaging production line realizes the integrated and unified control of PLC. The work of each packaging process is coordinated, the equipment operation is simple, the product packaging efficiency is improved, and the labor intensity is reduced.

KEY WORDS: TRIZ; spiral spike; automatic; packaging line

铁路用螺旋道钉作为铁路扣件系统的组成部分, 广泛应用于我国多条铁路线, 由于我国复杂的地理结构及环境特征, 扣件类型丰富, 使得螺旋道钉在实际使用过程中具备了特有的结构特征及尺寸不一的特点。目前螺旋道钉在生产过程中采用的包装方式为人

工包装, 人员较为密集, 工作强度高。随着我国高速铁路、地铁及城轨的快速发展, 在满足产品质量要求的条件下, 现场对螺旋道钉的包装方式及要求也在逐步提升, 同时考虑人工成本的不断提升, 企业发展目光逐步投向自动化、智能化生产, 研发出一套可以适

用于不同品种的螺旋道钉自动包装生产线显得极为重要。

TRIZ 理论是前苏联专利专家 G. S. Altshuller 通过对大量的专利进行详细的研究,总结出的一套解决复杂设计问题的理论体系。通过矛盾矩阵的构建及分析,能够为人们在进行创新设计时提供更为清晰的方向,更好地实现产品设计^[1~8]。吴茜等^[9]利用 TRIZ 的 3 个应用实例描述,补充了创新思路设计;桓源等^[10]通过 TRIZ 理论设计出一款采摘机器人;李小彤等^[11]运用 TRIZ 理论优化了筒纱包装生产线造型设计方案;张佰顺等^[12]运用 TRIZ 理论设计了一种自动翻转整列包装装置;郭春东等^[13]通过 TRIZ 相关原理,设计了一种机械抓取手,提高了生产效率;郭栋等^[14]通过 TRIZ 技术矛盾,设计并开发了一种智能搬运平台。

基于 TRIZ 理论的实际应用效果,本文结合螺旋道钉现有包装工艺,提出设计自动包装线所面临的问题,构建相关技术矛盾,根据 TRIZ 的发明原理解,进行自动包装生产线的设计及安装,并通过实际包装验证该生产线的使用效果。

1 问题分析

1.1 传统包装工艺

螺旋道钉传统包装方式为人工包装。螺旋道钉完成防腐后,传送至专用收集装置或人工收集,随后由人工将工件按固定码放方式放入准备好的纸箱,码放完成后,由人工进行封箱,并按要求进行排列码放,最后再进行封包,包装过程如图 1 所示。在该过程中,各步骤均需配备相关操作人员,不仅需耗费大量的人工,还存在漏放、漏封等风险,为后续现场使用带来一定的困扰。



图 1 螺旋道钉人工包装
Fig.1 Manual packing diagram of spiral spike

1.2 问题描述及解决目标

螺旋道钉自动包装线,涉及开箱→码件→封箱→码垛→封包这 5 道工序。其中开箱工序是将堆叠的纸箱逐一撑开,经胶带粘贴后得到螺旋道钉包装所需的

包装箱;码件工序是将杂乱的螺旋道钉按一定顺序逐支、逐层放置于包装箱内;封箱工序是将码件后的包装箱首先采用胶带完成封箱,再在包装箱对称面缠绕包装带;码垛工序是将封箱后的包装箱按一定的摆放方式进行码放;封包工序是将码放整齐的包装箱缠上缠绕膜,再打上包装带。为实现自动化包装,需完成各工序采用设备及衔接,为此,提出如下 4 个待解决的问题:

1) 在有限的场地需实现各工序之间的有效衔接,要求各工序在实现功能的条件下,在有限场地内规划位置,实现工件的有序传送,完成自动包装。

2) 为提高设备通用性,要求包装线能适应不同规格、不同尺寸形状的螺旋道钉。

3) 在保证实现生产线全自动化的基础上,要求设备的设计应合理、简洁、操作简单,使得设备能够高效使用。

4) 在实现全自动化的基础上,还应提高生产效率。

以上述亟待解决的问题为切入点,将 TRIZ 理论的思维方法融入螺旋道钉包装线的设计,即提出生产设计时需注生产线规划、包装多规格产品适用性、设备操作简单化和生产效率提高 4 方面问题,且需通过最后的实际包装进行验证。在提出问题后,构建 TRIZ 矛盾矩阵,获得对应的发明原理解,根据原理解进行生产线方案的设计和实际验证,得到图 2 所示设计思路。

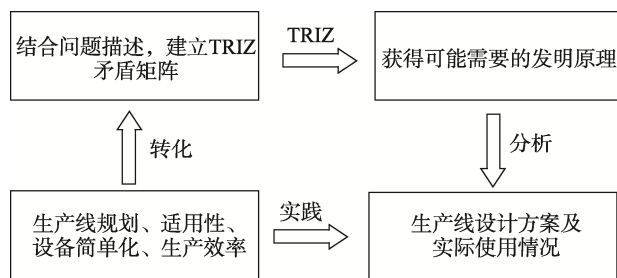


图 2 基于 TRIZ 理论的螺旋道钉自动包装线设计流程
Fig.2 Design flow of spiral spike automatic packaging line based on TRIZ theory

2 应用 TRIZ 理论解决技术矛盾

2.1 分析问题得到参数,构建技术矛盾

分析 1.2 节的 4 个问题,包装涉及的 5 道工序需满足以下要求:需将各工序有机连接起来,并实现自动化,对应 TRIZ 矩阵表改善参数为 36(系统复杂性);需实现不同型号的螺旋道钉包装,对应 TRIZ 矩阵表改善参数为 35(适应性及多用性);在实现包装全自动化的基础上设备需操作简单,对应 TRIZ 矩阵表改善参数为 33(可操作性);在实现自动化包装的前提

下, 还需提高生产效率, 对应 TRIZ 矩阵表改善参数为 39 (生产率)。在实现上述改善参数的同时, 均对自动化生产线设计过程的自动化程度参数在一定程度上造成影响。为此, 得到恶化参数 38 (自动化程度), 且该恶化参数分别与上述特征参数 36 (系统复杂性)、特征参数 35 (适应性及多用性)、特征参数 33 (可操作性) 和特征参数 39 (生产率) 构成矛盾对。通过查询 TRIZ 表可知, 得到的矛盾对为 M_{38-36} 、 M_{38-35} 、 M_{38-33} 和 M_{38-39} 。

2.2 建立矛盾矩阵, 确定发明原理

对 2.1 节得到的矛盾进行分析, 并根据 TRIZ 矩阵表得到的矛盾对 M_{38-33} 的发明原理解 (1、34、12、3)、 M_{38-35} 的发明原理解 (27、4、1、35)、 M_{38-36} 的发明原理解 (15、1、24) 和 M_{38-39} 的发明原理解 (5、12、35、26), 得到矛盾矩阵, 具体见表 1。

表 1 M_{38-33} 、 M_{38-35} 、 M_{38-36} 、 M_{38-39} 矛盾矩阵
Tab.1 M_{38-33} , M_{38-35} , M_{38-36} , M_{38-39} contradiction matrices,

恶化的参数	改善的参数	发明原理解
38 (自动化程度)	33 (可操作性)	1 (分割原理)
		34 (抛弃或再生原理)
		12 (等势原理)
		3 (局部质量原理)
38 (自动化程度)	35 (适应性及多用性)	27 (廉价替代品原理)
		4 (不对称原理)
		1 (分割原理)
		35 (物理或化学参数改变原理)
38 (自动化程度)	36 (系统复杂性)	15 (动态特性原理)
		1 (分割原理)
		24 (借助中介物原理)
38 (自动化程度)	39 (生产率)	5 (组合原理)
		12 (等势原理)
		35 (物理或化学参数改变原理)
		26 (复制原理)

根据各工序实际要求, 可得出表 1 中的 1 (分割)、5 (组合)、12 (等势)、15 (动态特性) 和 26 (复制) 在生产线设计过程中具有较强的可行性, 由此分析出创新方向及具体应用。

1 分割原理: 把工序分割成几部分完成, 对封箱工序和封包工序进行分割, 分次完成。

5 组合原理: 将各工序设备传送接口统一大小, 使各工序有序组合、衔接。

12 等势原理: 各工序传送装置均在同一水平高度。

15 动态特性原理: 通过运动方式以提高生产线的适应性, 整体采用 PLC 进行控制, 实现各工序的有效衔接。

26 复制原理: 采用简单滚轴作为包装箱在各工序之间的承重流转工具, 控制简单、转运快。

3 创新设计与确定方案

TRIZ 理论在实际应用中需充分利用各种有效资源^[15]。结合包装工序, 整个自动包装线由自动开箱机、自动装箱机、自动封箱系统、自动码垛设备、自动封包系统及输送平台组成。

3.1 自动开箱机

该设备需将折叠的纸箱自动打开, 纸箱底盖贴好胶带, 且底盖接缝处全部粘贴。为配合自动化生产线, 要求开箱机速度快, 实现纸箱底部“一”字形自动封底, 开箱机及其开箱如图 3 所示。

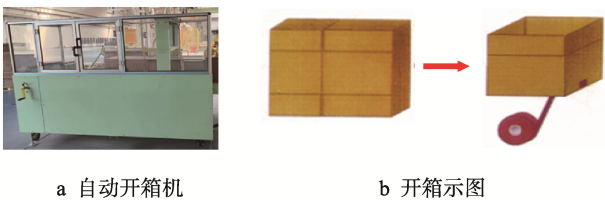


图 3 纸箱开箱
Fig.3 Diagram of carton unpacking

3.2 自动装箱机

将防腐后的螺旋道钉由机械手夹取自动装入纸箱中, 码放如图 4 所示。通过调研及筛选, 蜘蛛手装箱对实现螺旋道钉的包装是最为合适的选择。其结构非常简单, 使用寿命长运行稳定, 占地面积小, 工作空间低, 磁吸法的抓取方式能够满足不同型号螺旋道钉的包装。

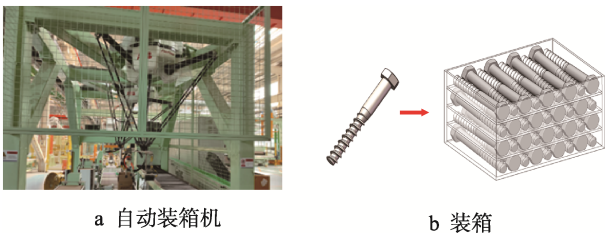


图 4 自动装箱
Fig.4 Diagram of automatic packing

3.3 自动封箱系统

根据发明原理 1 (分割), 将封箱工序分割成 3 步完成。第 1 步由自动折盖封箱机完成, 第 2 步和第 3 步均由自动打包机完成, 该系统如图 5 所示。完成

装箱的螺旋道钉纸箱由滚轮沿 x 方向传送前进,当通过定位传感器时,自动折盖封箱机开始动作,将纸箱自动折上盖后,对纸箱上、下面自动贴胶带进行封口处理,要求封箱效果平整,胶带粘贴紧实、牢固、不易脱落。自动封箱完成后,滚轮继续传送包装箱沿 x 方向前进,当到达定位传感器时停止前进,自动打包机 1 在包装箱上自动进行第 1 次包装带封箱的操作,随后滚轮继续传送,当达到一定位置后沿 y 轴方向前进,再次到达定位传感器时停止前进,自动打包机 2 在包装箱上自动进行第 2 次包装带封箱的操作,经包装后,要求保证包装箱捆扎整齐美观、牢固无松动、不易脱落。

自动折盖封箱机、自动打包机设计简单,操作方便,可以完成不同产品包装纸箱的封箱,合理有效地实现自动化封箱。

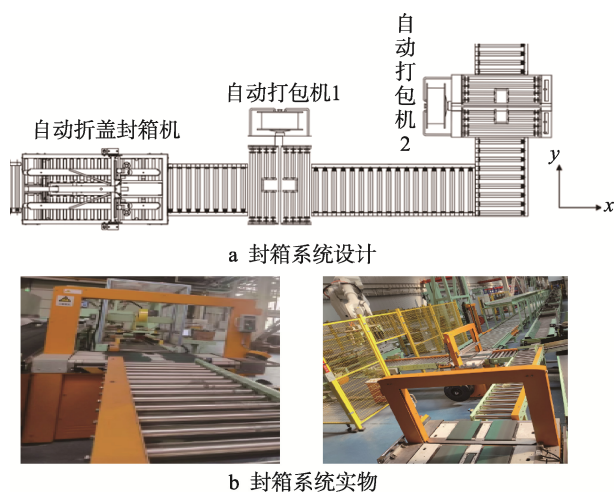


图 5 自动封箱系统
Fig.5 Automatic sealing system

3.4 自动码垛设备

码垛机器人将已完成自动封箱的纸箱按横竖交错码放,箱与箱之间的留有细小间距,码放层数及每层码放数量、机器人的负载能力、工作范围(角度、半径)可根据实际生产要求进行选择。

3.5 自动封包系统

自动封包工序是将码垛后的纸箱首先采用缠绕膜缠绕,再采用包装带打包。根据发明原理 1(分割),将封包工序分割成 2 步完成。第 1 步由缠膜机缠膜,第 2 步由自动打包机打包,该系统如图 6 所示。码垛完成后,工件由滚轮往前传送,当到达定位传感器后停止前进,平台自动旋转,保证码垛纸箱外表充分完成缠绕膜缠绕。缠绕完成后,继续传送,当到达自动打包机定位传感器后停止前进,打包机旋转台能够使托盘旋转 90° ,满足封包“#”字模式的打包要求。

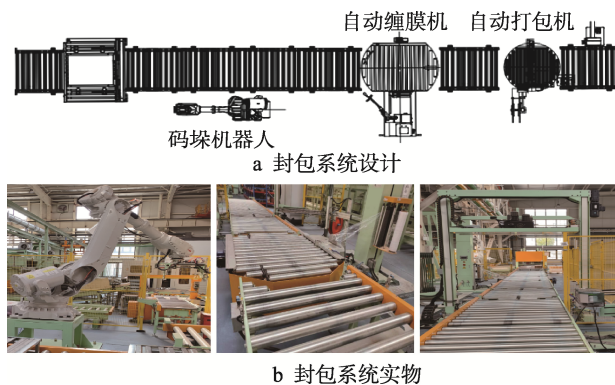


图 6 自动封包系统
Fig.6 Automatic packet system

按上述方法进行设备的选取,结合实际情况得出自动包装线生产布局,见图 7。其工作流程:自动开箱机打开堆叠纸箱往自动装箱机处传送,待包装工件经传送带传送至自动装箱机处,自动装箱机按规定的方

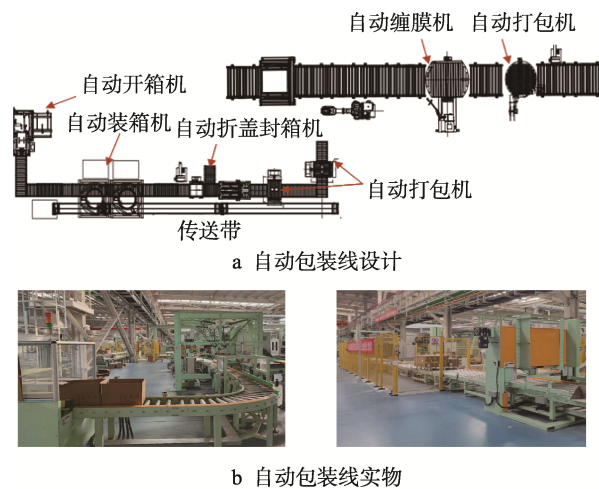


图 7 自动包装生产线布局
Fig.7 Layout diagram of automatic packaging production line

4 系统测试

基于 TRIZ 理论设计的螺旋道钉自动包装生产线,通过实际包装,对系统运行结果进行比较分析,可以有效验证系统的使用效果。结合实际情况,以成品螺旋道钉 S1 和 S2 进行包装效果测试,包装过程如图 8 所示,测试采用的各工序参数见表 2。

经测试,纸箱开箱→工件装箱→纸箱封箱→纸箱打包→纸箱码垛→纸箱缠绕打包各工序由机械手和滚轴进行纸箱的转运,且通过 PLC 整体控制,某一



图 8 产品包装
Fig.8 Diagram of product packaging

表 2 测试工序参数表
Tab.2 Test process parameters

工序	参数	包装规格
自动开箱	1~8 个/min	360 mm×220 mm ×175 mm
自动装箱	10~60 个/min	360 mm×220 mm ×175 mm
自动折盖封箱	1~8 个/min	360 mm×220 mm ×175 mm
自动打包	1~20 道/min	360 mm×220 mm ×175 mm
自动码垛	8 箱/min	1 080 mm×1 100 mm ×700 mm
自动缠绕膜	1 托盘/min	1 080 mm×1 100 mm ×700 mm
自动打包	1 道/10 s	1 080 mm×1 100 mm ×700 mm

工序的运行需在上一工序完成且系统给出指令后方能展开,有效实现螺旋道钉 S1、S2 的有序化、自动化包装。针对文中提出的生产线规划、设备通用性、简单化及生产效率,基于 TRIZ 理论设计的螺旋道钉自动包装系统具有良好的包装效率和包装效果。生产线布局合理、设备简单易操作、生产效率有着极大程度的提高,而且对不同规格的纸箱具有很好兼容性和适配性,能够很好地应用于实际包装。

5 结语

合理的设计能够很好地满足实际生产需求^[16]。本文通过运用 TRIZ 理论的分割原理、组合原理、等势原理、动态特性原理及复制原理,将原有的人工作业、分散工序包装方式,设计出一条全自动、集中工序流水线化生产的智慧包装生产线,实现了螺旋道钉自动包装线设计及应用,该包装线具有如下特点:

1) 整体采用 PLC 进行控制,具备根据不同型号产品,对装箱数量、装托盘数量、装托箱数量进行自动控制的功能。

2) 自动包装线产能高,生产效率优异,设备设计简单,易操作。

3) 自动包装线代替了装箱、码垛等需要人工操作的工序,能够实现不同尺寸的螺旋道钉全自动化、智能化包装,节省了大量人力。

通过该生产线的设计思路及应用,为其他螺栓类产品自动包装生产线设计提供参考。

参考文献:

[1] 李奋强,林浩屹. 基于 TRIZ 和专利规避的老人购物车设计[J]. 设计, 2023, 36(13): 57-61.
LI F Q, LIN H Y. Design of Shopping Cart for the Elderly Based on Triz and Patent Circumvention[J]. Design, 2023, 36(13): 57-61.

[2] 葛庆,汪崑. 基于 TRIZ 理论的变速安全跷跷板创新设计[J]. 设计, 2022, 35(7): 134-137.
GE Q, WANG Y. Innovative Design of Variable-Speed and Safety Seesaw Based on the Theory of Triz[J]. De-

- sign, 2022, 35(7): 134-137.
- [3] 根里奇·阿奇舒勒. 创新算法: TRIZ、系统创新和技术创造力[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- ALTSHULLER G S. The Innovation Algorithm TRIZ、Systematic Innovation and Technical Creativity[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2008.
- [4] BARBARA G, HORST N. TRIZ as an Amplifier for Corporate Creativity and Corporate Innovation Ability[J]. *Procedia CIRP*, 2016(39): 185-190.
- [5] CEMPEL C. Application of TRIZ Approach to Machine Vibration Condition Monitoring Problems[J]. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2013, 41(1): 328-334.
- [6] 姚威, 储昭卫, 胡顺顺. TRIZ 真的是创新“点金术”吗——对浙江省 TRIZ 应用效果的分析[J]. *科技进步与对策*, 2022, 39(4): 10-19.
- YAO W, CHU Z W, HU S S. Is TRIZ Really an Innovative "Midas Touch": Application Analysis of TRIZ Based on Zhejiang Province[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2022, 39(4): 10-19.
- [7] 刘小勇, 吴小玲, 李荣丽, 等. 基于 TRIZ 冲突解决原理的产品感知设计方法研究[J]. *机械设计*, 2021, 38(10): 136-144.
- LIU X Y, WU X L, LI R L, et al. Research on Product Sensorial Design Method Based on Conflict Resolution Theory of TRIZ[J]. *Journal of Machine Design*, 2021, 38(10): 136-144.
- [8] RENEV I A, CHECHURIN L S. Application of TRIZ in Building Industry: Study of Current Situation[J]. *Procedia CIRP*, 2016(39): 209-215.
- [9] 吴茜, 鲁红雷, 曹鑫. 基于系统设计方法与 TRIZ 的产品创新设计探究[J]. *黑河学院学报*, 2023, 14(7): 15-18, 38.
- WU Q, LU H L, CAO X. Product Innovation Design Based on the Systematic Design Method and TRIZ Theory[J]. *Journal of Heihe University*, 2023, 14(7): 15-18, 38.
- [10] 桓源, 任工昌, 孙建功, 等. 基于 TRIZ 理论苹果采摘机器人的设计与分析[J]. *机械传动*, 2023, 47(5): 51-56.
- HUAN Y, REN G C, SUN J G, et al. Design and Analysis of Apple Picking Robots Based on TRIZ[J]. *Journal of Mechanical Transmission*, 2023, 47(5): 51-56.
- [11] 李小彤, 胡昌格. 基于 QFD-TRIZ 理论的筒纱包装生产线造型设计[J]. *包装工程*, 2022, 43(8): 92-100.
- LI X T, HU C G. Modeling Design of Cheese Packaging Machinery Based on QFD and TRIZ[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(8): 92-100.
- [12] 张佰顺, 姜向远, 陈纪暘, 等. 基于 TRIZ 的筒纱自动翻转整列包装装置的设计研究[J]. *现代制造工程*, 2023(8): 53-58.
- ZHANG B S, JIANG X Y, CHEN J Y, et al. Design and Research of Yarn Automated Turnover and Array Device Based on TRIZ[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2023(8): 53-58.
- [13] 郭春东, 李云浩, 孙肖鹏. 基于 TRIZ 理论的多功能机械抓取装置创新设计[J]. *工程机械*, 2023, 54(3): 66-71.
- GUO C D, LI Y H, SUN X P. Innovative Design of Multifunctional Mechanical Grasping Device Based on TRIZ Theory[J]. *Construction Machinery and Equipment*, 2023, 54(3): 66-71.
- [14] 郭栋, 王庆祥, 侯尧花, 等. 基于 Triz 理论的采煤工作面智能搬运平台设计[J]. *煤炭技术*, 2022, 41(12): 19-21.
- GUO D, WANG Q X, HOU Y H, et al. Design of Intelligent Handling Platform for Coal Mining Face Based on Triz Theory[J]. *Coal Technology*, 2022, 41(12): 19-21.
- [15] 孙晓辉, 黄昊. 运用 TRIZ 理论创新设计银行卡自动生产线[J]. *机电工程技术*, 2022, 51(4): 167-169.
- SUN X H, HUANG H. Innovative Design of Bank Card Automatic Production Line Based on TRIZ Theory[J]. *Mechanical & Electrical Engineering Technology*, 2022, 51(4): 167-169.
- [16] 陈纪暘, 鹿全礼, 张佰顺, 等. 基于 TRIZ 的筒纱自动缝纫包装系统设计与实现[J]. *包装工程*, 2022, 43(15): 301-307.
- CHEN J Y, LU Q L, ZHANG B S, et al. Design and Realization of Automatic Sewing and Packaging System for Package Yarn Based on TRIZ Theory[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(15): 301-307.