

包装机械

全自动袋式包装生产线规格的柔性设计

刘成龙¹, 李丽娟¹, 程国清²

(1.南京工业大学, 南京 210009; 2.常熟三禾精工科技有限公司, 苏州 215517)

摘要: **目的** 以袋式包装生产线为对象, 设计一条全自动袋式包装柔性生产线。**方法** 将包装生产线划分为料仓、定量下料装置、包装材料放卷装置、真空热封合装置、切分装置、放袋装置、自动计数器、PLC 程序控制及人机界面, 并对各装置进行柔性化设计。**结果** 形成了一条全自动袋式包装柔性生产线, 并运用可靠性预计方法得出生产线的平均无故障工作时间为 1164 h, 满足实际生产需求。**结论** 该生产线具有较强的灵活性和节约性, 对缩短产品生产周期、降低生产成本、快速响应客户需求、实现敏捷生产具有重要的意义。

关键词: 柔性生产线; 袋式包装; PLC

中图分类号: TB842; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)19-0152-06

Flexibility Design for Specification of Automatic Bag Packaging Production Line

LIU Cheng-long¹, LI Li-juan¹, CHENG Guo-qing²

(1.Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2.Changshu Sanhe Precision Machinery & Technology Co., Ltd., Suzhou 215517, China)

ABSTRACT: The work aims to design a fully flexible automatic packaging production line for bag packaging. The bag packaging production line was divided into silo, quantitative feeding device, unwinding device of packaging material, vacuum heat-sealing device, segmentation device, unreeling device, automatic counter, PLC program control and human-machine interface. Flexible design was conducted for all the devices. An automatic production line was finally worked out. The average mean time between failures 1164 h was calculated by reliability prediction. It showed that the production line could meet the actual production demand. In conclusion, the production line has a strong flexibility and frugality. It is of great significance to shorten the production cycle, reduce production costs, rapidly response to customer demand, and achieve agile production.

KEY WORDS: flexible production line; bag packaging; PLC

近年来, 国内包装机已采用了 PLC 和智能控制仪表。相较于美国、德国、日本等国家共用一条包装生产线上的各智能仪表、部件构成柔性生产线来完成不同规格的包装^[1], 国内包装行业还存在着生产线结构刚性、产品包装规格单一的缺点。随着生产成本压缩、顾客交货期的遵守和消费者对产品多样化的需求等因素的驱动^[2], 国内这种传统生产

模式下的大批量“经济”生产模式已无法适应社会发展要求。20 世纪 80 年代以来, 国外一些学者对上述问题提出了多种柔性生产解决思路^[3], 这些思路在国外已经应用于生肉的柔性充氮包装生产线的设计^[4]。国内学者在包装领域的包装敏捷化方面做了一些研究工作, 徐丽萍等^[5]提出了以柔性元结构为基础构建广义模块化产品族的思想。姜卫国等^[6]

收稿日期: 2016-04-03

作者简介: 刘成龙 (1990—), 男, 山东菏泽人, 南京工业大学硕士生, 主攻包装机械的自动化控制。

通讯作者: 李丽娟 (1976—), 女, 山西吕梁人, 博士, 南京工业大学副教授, 主要研究方向为工业过程先进控制、包装机械的自动化控制。

提出基于市场需求的包装生产线模块化设计方式。这些设计理念便于通过功能模块的不同组合实现产品的用户化和定制化设计,但其也存在着自身的缺点,模块化设计多是以固定尺寸系列划分的刚性模块为基础,柔性度十分有限^[7]。文中对传统的袋式包装生产线进行改进,将生产线中关键装置进行柔性设计,使单一生产线满足多种规格包装的需求。

1 包装生产线的基本流程

袋式包装柔性生产线主要包括以下设备：定量下料装置、包装材料放卷装置、真空热封合装置、喷墨打码装置、切分装置、放袋装置、PLC 程序控制及人机界面、自动计数器，见图 1。包装材料通过放卷装置放到真空热封合装置处，热合封边后由安装在真空热封合装置上部的喷墨打码装置进行喷墨打码，之后由切分装置根据光标认定的袋长进

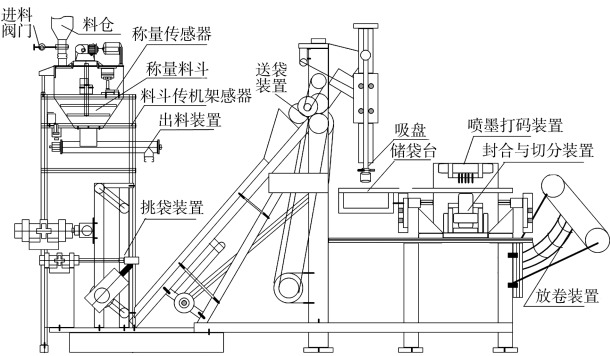


图 1 包装生产线主要设备
Fig.1 The main equipment of packaging production line

行切分,然后由吸盘取袋放置在定量下料器的出料阀下,物料经定量下料装置后装入包装袋中,后经过理料整料机构整理,包装袋进入真空热封合装置进行封口,最后由传送带送出包装袋至自动计数器。

2 柔性生产系统架构

从技术运用的角度看,柔性生产系统是在计算机集成生产系统环境下开发的可编程生产系统^[8]。华中生等^[9]认为柔性生产系统具有以下 2 个层次的结构：硬件层次结构（硬件系统）、管理和决策层次结构（软件系统）。硬件系统包括生产设备、自动化储运设备、电脑控制系统及通信网络控制系统。软件系统包括质量保障系统、运行控制系统、数据管理和通信系统。

根据上述柔性生产系统的思想,文中所设计的袋式包装生产线技术结构见图 2。包装生产线中的下料装置、包装材料放卷装置、切分装置、放袋装置、传送装置等生产设备以及包装程序、下料量、包装袋规格、生产袋数等都由计算机控制。计算机不断收集来自每个工位上的统计数据和其他制造信息,把生产计划、柔性调度、柔性调整各装置可调部件、控制各装置模块动作、协调各模块生产速度等功能集成为一体,使生产有条不紊地按生产计划进行。同时,当需要变更包装规格时,只要改变输给信息系统的生产计划信息、技术信息和加工程序,整个系统即能迅速、自动地按照新的要求完成新产品的加工。

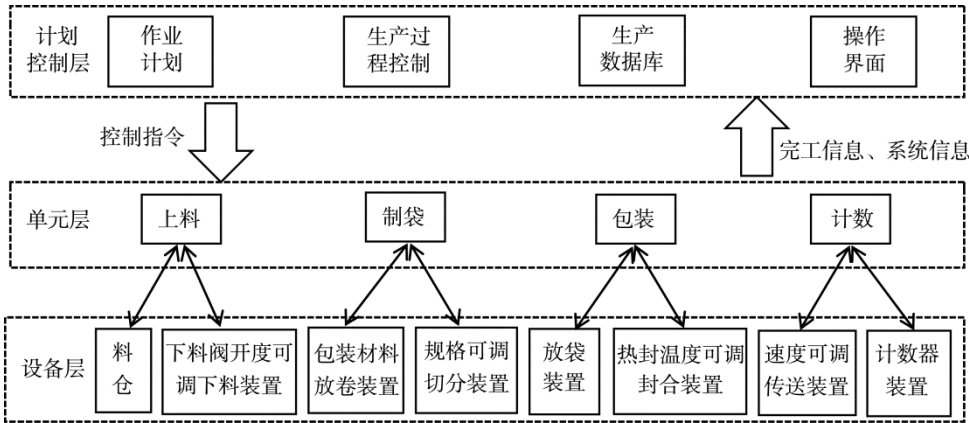


图 2 柔性袋式包装生产系统的技术结构
Fig.2 The technology structure of flexible bag packaging production system

3 包装生产线的规格柔性设计

包装规格包含包装材质、包装尺寸、被包装物

质量以及包装标识^[10]。在传统刚性包装生产线的基础上,对主要装置进行柔性化改造,设计一条具有较强灵活性和节约性的自动包装生产线。

1) 定量下料装置。其核心部分是定量下料器,失重秤为定量下料器的称量模块。当包装不同规格的物料时,只要包装规格的数量级相差不大,在称量传感器的正常测量范围内,失重秤的机械结构不需要做改动,只要根据生产要求远程设定入袋物料的质量,失重秤即可按照设定的质量实现柔性定量下料功能。

2) 封合和切分装置。此处对传统的刚性封合切分模块进行柔性改造,设计采用光标定位、认定袋长、封合块间距调整并配合封合温度的调控来完成预定尺寸的制袋功能。真空热封合装置包括热流体传热管、步进电机和多组封合块。其中多组封合块分成2类,其中一类封合块竖放,即竖组封合块,实现对包装袋的背封或边封,另一类封合块横放,即横组封合块,实现对包装袋的上、下封和切分。出于对包装袋尺寸不同要求的考虑,这里把每组封合块的机械结构设计为封合块间距可调的结构形式,见图3。竖组封合块包括2个平行的封合块,这2个平行的封合块中一个为可以来回移动的封合块,成为运动封合块;另一个为固定在机架上的封合块,成为固定封合块。横组封合块包括1个封合块和1把切刀,封合块和切刀都可以来回移动,并且切刀和封合块固定在一起,实现切刀和封合块联动。以压缩空气为动力源,以气缸为执行器,借助电定位器接受调节器的输出信号,然后以它的输出信号去控制气动调节封合块,当调节封合块动作后,封合块的位移又通过机械装置反馈到定位器,封合块位置状况通过电信号传给上位系统。同时,

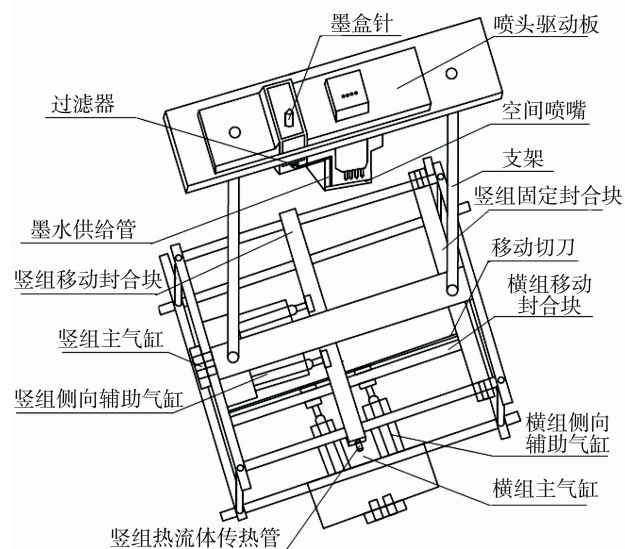


图3 封合切分装置与喷墨打码装置结构
Fig.3 Segmentation for sealing device and inkjet print device structure

用步进电机通过连接杆带动齿轮箱传动来控制封合块的封合和张开动作,并用步进电机带动导向装置确保包装袋准确移动,从而保证封合块的正确定位。根据包装袋材质的特点可以在上位机设定不同的封合温度,保证传送到封合块的温度达到封合包装袋所需温度,来实现封合温度随包装条件的不同而柔性变换的功能。包装袋规格可由上位机界面输入,PLC根据包装袋规格自动确定封合块的定位位置,控制光标定位、认定袋长,封合成不同尺寸的包装袋,实现柔性制袋功能。

3) 喷墨打码装置。喷墨打码装置通过支架放置在封合和切分装置的上部,由软件系统和硬件系统2个部分组成。其主要任务是根据制袋规格,控制喷头驱动板的运动和喷头的开关来完成整个喷墨打印的过程^[11]。通过远程上位机上绘制出的标识图案所转换的PLA文件程序向硬件系统发送路径指令,使喷头按照PLA指令文件运动,以完成整个图形的自定义打印,实现柔性打码的效果。

4) 放袋装置。取袋是放袋工艺过程首要的一步,这里对传统的单一定制化取袋系统进行柔性改造,将取袋的关键设备—真空吸盘设计成吸盘间距可调节的结构,其实现方法同封合块间距调整方法。中间的吸盘固定在道槽中间部位,左右两边的吸盘可以在气缸推动下沿道槽移动,完成根据包装袋袋宽的大小调整3个吸盘的间距,以适应不同尺寸的包装袋,实现柔性取袋,提高取袋的可靠性,见图4。

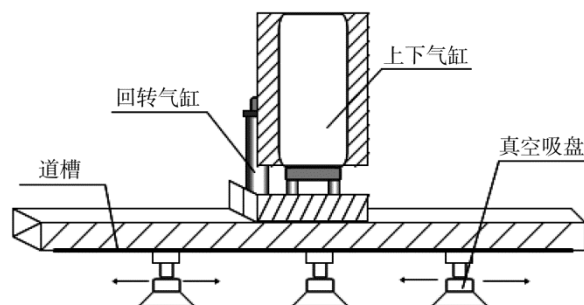


图4 取袋结构
Fig.4 Bag taking structure

4 控制系统设计

4.1 硬件设计

系统硬件结构见图5。PLC通过输入输出模块与现场设备连接,读取设备动作信息并输出指令信

号控制执行机构动作。WINCC(Windows Control Center),系统通过以太网和 PLC 进行通讯,同时也与各柔性装置均进行实时通信,对生产线运行过程进行实时监控,并将采集到的生产线信息传送至企

业 MES(Manufacturing Execution System)系统^[12],然后接受来自企业 MES 系统的生产要求,转化为相应的生产工艺参数,控制生产线按照预定的包装规格对产品进行包装。

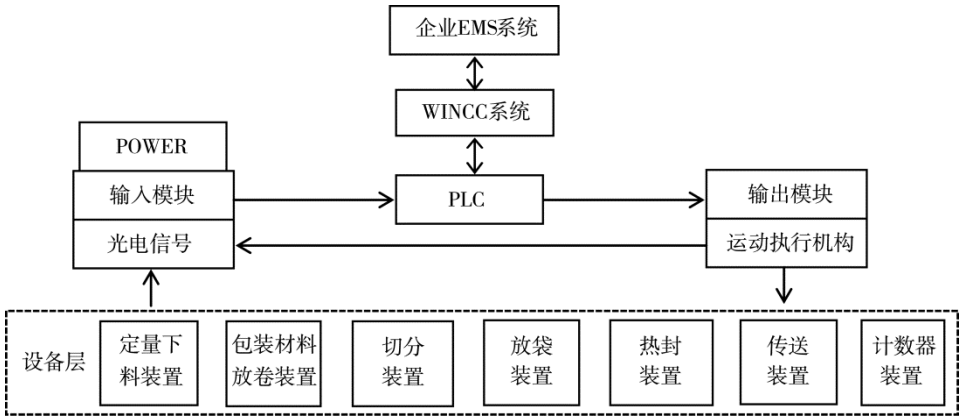


图 5 系统硬件结构
Fig.5 The system hardware structure

4.2 软件设计

根据生产线的柔性包装要求,监控界面使用 WINCC 组态软件进行组态。根据生产规格要求,可以在 WINCC 系统上设置称量预定值、包装袋尺寸、封合温度、吸盘间距、包装袋数量等参数;动态画面上显示了生产设置、生产数量、变频器的运行速度及包装生产线当前的工作状态。参数设置、实时监控及故障报警界面分别见图 6—8。

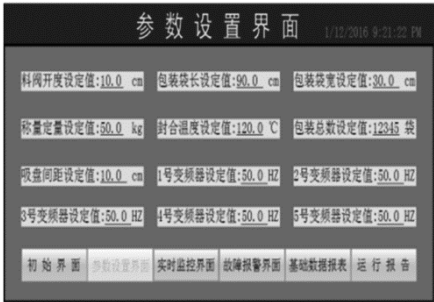


图 6 参数设置界面
Fig.6 Parameter settings interface



图 7 实时监控界面
Fig.7 Real-time monitoring interface



图 8 故障报警界面
Fig.8 The fault alarm interface

4.3 程序设计

为了使包装生产线具备自动运行、手动操作 2 种工作模式和包装规格柔性,并结合生产线所要完成的动作功能以及包装对象的特点和各工序之间的衔接,设计生产线控制系统流程见图 9。在程序设计时,封合温度、封合块间距、吸盘间距、下料量、包装总数、电机速度和加减速时间参数均可在线调节。另外在定量下料装置、封合装置、切分装置、喷墨打码装置、放袋装置处设置报警器,当缺料、缺墨、封合块和切刀不到位时报警;在传送带处安装计数器,便于生产线进行柔性转产;采用 WINCC 系统和 PLC 控制系统控制操作。

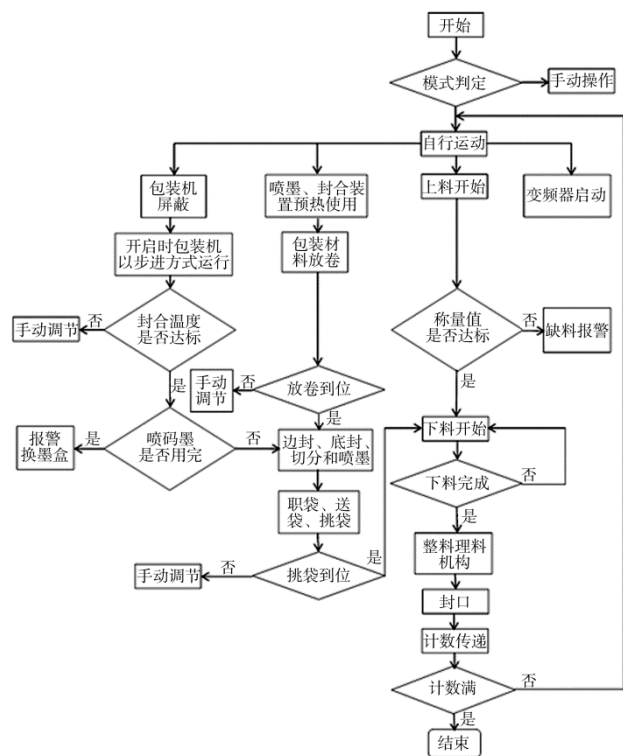


图9 生产线控制系统流程

Fig.9 The flow chart of production line control system

5 柔性自动包装生产线可靠性分析

柔性自动包装生产线是一个复杂的机电一体化系统,其可靠性指标包括平均寿命、平均无故障工作时间、平均修复时间。其中平均无故障工作时间是可靠性的主要指标^[13],此处运用可靠性预计对生产线的平均无故障工作时间来进行客观评估。包装生产线的可靠性数学模型^[14]的表达式为:

$$R_S(t) = f[R_1(t), R_2(t), \dots, R_n(t)] \quad (1)$$

式中: $R_S(t)$ 为整个系统的可靠度; $R_i(t)$ 为系统中第 i 个元件的可靠度, $i=1, 2, 3, \dots, n$; n 为系统中元件的总数量。

柔性自动包装生产线分为电气控制系统、动力系统、包装生产线机械本体等 3 个部分。这 3 个部分的各元器件之间没有软硬件多余和替换关系,任意一个元器件的损坏将导致整个包装生产线无法正常工作运行,因此,该包装生产线是可靠性串联模型,对于串联系统的可靠度可以得到:

$$R_S(t) = R_1(t) R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2)$$

串联系统的可靠度 $R_S(t)$ 取决于串联元件的数量 n 及每个元件可靠度 $R_i(t)$ 。若各元件寿命均服从指数分布,即各元件失效都属于偶然失效。令元件

失效率为 λ_i (一般可认为基本为常数),其系统可靠度为:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n \exp\left[-\int_0^t \lambda_i(t) dt\right] = \exp\left[-\int_0^t \lambda_s(t) dt\right] \quad (3)$$

式中: λ_s 为系统失效率也是常数,且:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{Gi} \pi_{Qi}) \quad (4)$$

式中: N_i 为第 i 种元器件的数量; λ_{Gi} 为通用失效率,表示第 i 种元器件在某一环境类别中,在通用工作环境温度下和常用工作应力下的失效率,对于袋式柔性自动包装生产线而言,均按照“一般地面固定”预计; π_{Qi} 为质量系数,表示第 i 种元器件的质量等级对其工作失效率影响的调整系数。

元器件的寿命分布有好几类,如电子元器件的寿命一般按指数分布,机械零部件按威布尔分布,电机按正态分布等。为了简化计算,通常认为这几类元器件的失效概率保持一致。

串联系统的平均无故障工作时间为:

$$t_s = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (5)$$

在袋式自动包装生产线的各元器件寿命均服从指数分布的情况下可以得到:

$$t_s = \frac{1}{\lambda_s} \quad (6)$$

通过查阅与可靠性相关的设计手册或者借鉴国内外类似产品的相关数据,根据《NPRD Non-electronic Parts Reliability Data》(非电子零部件可靠性数据)、GJB/Z 299C—2006《电子设备可靠性预计手册》以及一些相关研究论文里的可靠性数据库^[15],得到柔性自动包装生产线各子系统失效率预计计算表。根据柔性自动包装生产线各子系统失效率预计计算表求得 3 个子系统的失效率,则整个柔性自动包装生产线的失效率为:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 859\,472 \times 10^{-9} (1/h)$$

由式(6)可得平均无故障时间为:

$$t_s = \frac{1}{\lambda_s} = 1164 \text{ h}$$

结合以上分析,并通过查找可靠性相关设计手册中各元件器的失效率数据,最终综合计算出可靠性指标——平均无故障时间为 1164 h,符合实际生产需求。

6 结语

该柔性袋式包装生产线是柔性生产思想在传统袋式包装生产领域的一个应用,为包装生产线集成柔性化和网络化奠定了基础,具有可诊断性和敏捷性。同时生产线采用气动马达控制下料、程序控制认定袋长、电脑跟标、在线调整柔性装置等设计细节,减少了以往应用电动马达所产生的电弧、电火花以及短路现象,免去了更换齿轮再调袋长的繁琐,保证了准确填充物料,简化了包装中各工序之间的衔接,提高了生产效率并保证了生产质量。

参考文献:

- [1] BRODY A L. A Power Tool for Food, Food Technology[J]. Intelligent packaging, 2010, 64(5): 79—81.
- [2] MICHALOS G, MAKRI S, PAPA KOSTAS N, et al. Automotive Assembly Technologies Review: Challenges and Outlook for A Flexible and Adaptive Approach[J]. Journal of Manufacturing Science and Technology, 2010, 2(2): 81—91.
- [3] SEEBACHER G, WINKLER H, SEEBACHER G, et al. A Citation Analysis of the Research on Manufacturing and Supply Chain Flexibility[J]. International Journal of Production Research, 2013, 51(11): 3415—3427.
- [4] JOONGMIN S, BRUCE H, ELLIOT R, et al. Active Packaging of Fresh Chicken Breast, with Allyl Isothiocyanate(AITC) in Combination with Modified Atmosphere Packaging(MAP) to Control the Growth of Pathogens[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): 65—71.
- [5] 徐丽萍, 徐燕申, 卢志永, 等. 基于柔性元结构的广义模块化产品族建模及其应用[J]. 机械工程学报, 2004, 15(18): 1654—16567.
XU Li-ping, XU Yan-shen, LU Zhi-yong, et al. Modeling of General Modular Product Family and Applications Based on Flexible Unit Structure[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 15(18): 1654—1657.
- [6] 姜卫国, 李全华, 李怀刚, 等. 基于市场需求的工业炸药自动中包生产线的模块化设计[J]. 爆破器材, 2010, 39(6): 30—33.
JIANG Wei-guo, LI Quan-hua, LI Huai-gang, et al. Modular Design of the Explosive Auto-packaging Line Based on Market Demand[J]. Explosive Materials, 2010, 39(6): 30—33.
- [7] 高卫国, 徐燕申, 陈永亮, 等. 广义模块化设计原理及方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(6): 49—54.
GAO Wei-guo, XU Yan-shen, CHEN Yong-liang, et al. Theory and Methodology of Generalized Modular Design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(6): 49—54.
- [8] 华中生, 徐晓燕, 石琴. 柔性制造系统的柔性性与决策问题[J]. 中国科学技术大学学报, 2000, 30(1): 99—107.
HUA Zhong-sheng, XU Xiao-yan, SHI Qin. Flexibilities and Decision-Making Problems in Flexible Manufacturing Systems[J]. Journal of China University of Science and Technology, 2000, 30(1): 99—107.
- [9] 华中生. 柔性制造系统和柔性供应链: 建模、决策与优化[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
HUA Zhong-sheng. Flexible Manufacturing System and Flexible Supply Chain: Modeling, Decision-making and Optimization[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [10] 李晓芳, 闫其顺, 罗杰. 一种多规格袋装机料管结构的设计方案研讨[J]. 科技创新导报, 2013(26): 96—98.
LI Xiao-fang, YAN Qi-shun, LUO Jie. The Many Specifications of Bag Installed Tube Structure Design Plan for Discussion[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013(26): 96—98.
- [11] 张晓婷. 用于喷墨打印快速成形技术的纳米铝热剂含能油墨研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
ZHANG Xiao-ting. Study on Energetic Ink of Nano-thermites for Inkjet Print Rapid Prototyping Technology[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013.
- [12] SAGHIRI S S, BARNES S J. Supplier Flexibility and Postponement Implementation: An Empirical Analysis[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 173: 170—183.
- [13] 钱静. 包装机械的 MTBF 计算和故障分析[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
QIAN Jing. The Calculation of MTBF and Failure Analysis of Packaging Machinery[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [14] 芮延年, 戈雁. 现代可靠性设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
RUI Yan-nian, GE Yan. The Modern Reliability Design [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [15] 胡杰. 高速包装机器人设计及可靠性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
HU Jie. Design and Reliability Research of the High-Speed Packaging Robot[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.