

龙门式码垛机防爆控制系统设计与实现

李红果, 石卓栋, 古田, 屠凤莲
(北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: **目的** 研制一种龙门式防爆码垛机以提高易爆危险场所码垛设备的自动化程度, 提高劳动效率, 降低工人劳动强度, 减少生产成本。 **方法** 采用隔爆型防爆方式, 合理选择防爆元件, 设计以PLC为核心的码垛控制系统的硬件和软件; 研究了触摸屏和开关按钮在隔爆系统中人机交互的应用; 分析了码垛机的运动结构, 采用了模糊PID控制算法。 **结果** 设计的龙门式防爆码垛机满足防爆等级E级, 运行稳定可靠, 重复定位精度满足工作要求, 大大提高了生产效率; 触摸屏和开关按钮的应用, 成功解决了隔爆系统不易修改参数的难题。 **结论** 此码垛机具有良好的市场前景和推广价值。

关键词: 码垛机; 防爆; 模糊控制

中图分类号: TB486+.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)07-0053-04

Design and Implementation of Explosion-proof Control System for Gantry Palletizing Machine

LI Hong-guo, SHI Zhuo-dong, GU Tian, TU Feng-lian
(Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to develop an explosion-proof gantry palletizing machine so as to improve the automation of palletizing equipment in the explosive dangerous places, reduce the labor intensity, raise the efficiency of labor, and diminish the cost of production. An explosion-proof gantry palletizing machine was designed and manufactured which was one kind of flameproof apparatus. The hardware and software of palletizing control system in which PLC was applied as the control core was designed with reasonable explosion-proof components. The application of touch screen and switch button in the flameproof system was researched. The motion structure of the palletizing machine was analyzed, and a fuzzy-PID algorithm was used. The explosion-proof gantry palletizing machine designed reached explosion grade, ran stably and reliably, had the repeated positioning accuracy that could meet the work requirements, and enhanced the product efficiency greatly. The application of touch screen and switch button successfully solved the difficulty that the parameters could not be easily adjusted in the flameproof system. The palletizing machine which was frequently used in a paint plant had an excellent market prospect and value of promotion.

KEY WORDS: palletizing machine; explosion-proof; fuzzy-PID

近年来,随着我国科技的进步、工业自动化程度的不断提高和劳动力成本的日益增加,自动化程度高的包装码垛生产线在工业现场得到了大量应用^[1-3]。目前,国内在工业爆炸危险场所和化学、尘埃等污染场所内,电气设备的自动化程度相对较低,大量的产品码垛工作主要由人工完成。为此,研制一种龙门式防爆码垛机,采用隔爆型防爆方式,以PLC作为控制核心,通过触摸屏和开关按钮进行人机交互,使用了

模糊PID控制算法,具有功能强、操作简单和自动化程度高等特点,降低了工人劳动强度,减少了生产成本,具有较好的推广价值。

1 码垛机的组成和工作原理

码垛是物流自动化技术领域的一门新兴技术^[4],其实质是在生产过程中,码垛机按照预定的堆积图形

收稿日期: 2014-09-15

作者简介: 李红果(1982—),男,山东沂南人,硕士,北京强度环境研究所工程师,主攻包装设备自动化系统设计。

模式将产品堆成垛,从而代替繁重的人工劳动,便于实现后续的产品搬运、存储、装卸和运输等物流活动。防爆式龙门式码垛机的结构见图1。

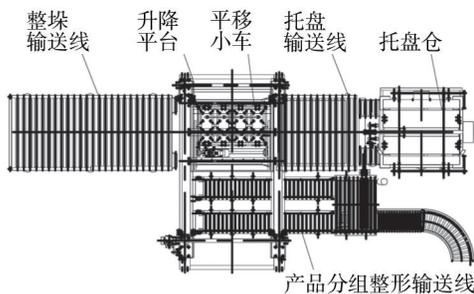


图1 龙门式码垛机组成结构

Fig.1 Structure of the gantry palletizing machine

产品的抓取和堆放工作由升降平台、移动小车和码垛夹具完成。移动小车固定在升降平台上,码垛夹具又固定在移动小车上。升降平台由交流异步电动机通过链条拖动,并以配重块平衡,带动移动小车和码垛夹具上下移动,实现码垛过程中的垂直升降动作;移动小车则由交流异步电动机通过链条拖动,带动码垛夹具在升降平台上水平移动,实现码垛过程中的水平运动动作;码垛夹具完成产品的抓取任务,具体可以采用真空吸取、机械抓取或电磁吸取等方式^[4-5];分组整形输送线将产品分组并整形成码垛所需队列形态;托盘仓存储和梳理人工放置的托盘;托盘输送线输送经过梳理的单个空托盘至码垛工位;整垛输送线将码垛完成后的成品输送至线体末端,等待叉车将成品入库。

2 防爆控制系统设计

2.1 防爆方案选择

目前,自动化工业爆炸危险场所一般采用隔爆型、增安型、正压型、本安型、浇封型、油浸型、充沙型和特殊型等电气设备。针对自动化程度高的大型设备,国内设备制造商大多采用隔爆型和正压型电气设备。正压型电气设备通过向密闭机箱内充放安全气体,使箱内气压大于箱外气压,避免箱外危险气体侵入,使箱内成为安全空间,从而达到防爆的效果^[6-8]。正压型电气设备在应用时必须附加外围的供气控制设备,不仅增加了使用成本,而且适用范围也有局限性。相比较而言,隔爆型电气设备的防爆性能主要依靠“防爆外壳”来保证,防爆外壳允许进入外壳内的爆

炸性气体混合物发生燃烧爆炸,但防爆外壳应能承受内部的爆炸力而不破损,并且防爆外壳各零部件之间从内到外的各种缝隙能够阻止爆炸生成物向壳外传播,点燃周围的爆炸性气体混合物^[8-9]。隔爆型相比正压型不需要附加的供气设备,对现场的要求条件少,维护简单,成本低廉,因而该控制系统采用隔爆型防爆系统。

“防爆外壳”作为隔爆型电气设备的核心部件,其设计、制造和实验过程必须严格遵照GB 3836.2《爆炸性气体环境用电气设备》第2部分:隔爆型“d”中的规定。该系统中的“防爆外壳”按照防爆等级E设计,选用落地式安装方式,外形为长方体,壳体由钢板整体焊接而成,采用间隙式隔爆结构和浇注型电缆引入,在防爆接洽面上涂敷204-1型防锈油以防止其发生锈蚀现象。针对防爆型电气设备中控制元件和本安型电气元件易发生干扰的问题,采用2个“防爆外壳”,即大功率和小功率隔爆箱。容易产生干扰信号的大功率电气元件安装在大功率隔爆箱中,容易被干扰的控制元件或本安型检测元件安装在小功率隔爆箱中。2个隔爆箱之间通过控制信号电缆相连。此方法有效避免了干扰现象的发生,提高了系统可靠性。

2.2 硬件设计及关键部件选型

龙门式码垛机防爆控制系统采用PLC作为控制单元^[4-5,10],使用触摸屏实现手动操作、生产状态的监控和工艺参数的输入等,具有可靠性高、易操作等特点;采用变频器调节输送电机(例如码垛升降电机和码垛平移电机)控制速度和接触器控制速度恒定的输送线(例如产品分组整形输送线、托盘输送线和整垛输送线),减少了不必要的成本,其系统框图见图2。

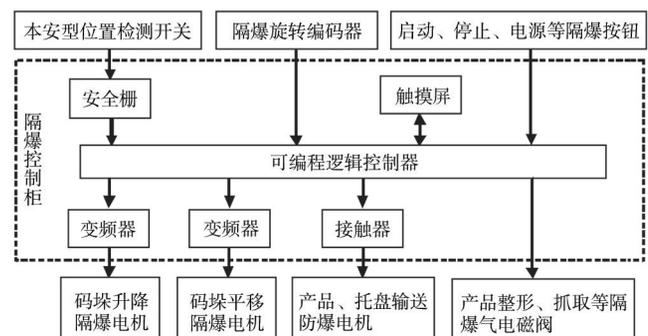


图2 码垛机防爆控制系统

Fig.2 Explosion-proof control system of the palletizing machine

在具体实施过程中,可编程逻辑控制器、变频器、接触器和触摸屏等所有非防爆电气元件安装在隔爆

控制柜内,与易燃易爆危险气体隔离。在危险场所,执行元件如电机和电磁阀等,采用隔爆型;按钮、传感器和编码器等选用隔爆型或本安型,但在接入隔爆控制柜内时,必须通过安全栅进行隔离。

根据码垛机的具体功能要求,可编程逻辑控制器选用西门子S7-200系列PLC,其中,CPU为CPU226,扩展模块分别为2块数字量、8个数字输入的EM221、2块数字量输入输出模块EM223和1块2通道的模拟量输出模块EM232;人机界面选用上海步科的触摸屏,型号为MT4403T,安装在隔爆控制柜内,通过隔爆控制柜上镶嵌的厚玻璃面板显示系统的数据和信息;本安型位置检测开关选用美国邦纳的MINI-BEAM系列本安型光电开关;隔离栅选用德国图尔克的IM系列安全隔离栅;防爆编码器选用倍加福的隔爆型增量旋转编码器,型号为14-14361。

2.3 系统软件设计

系统软件使用STEP 7编程软件作为编程环境,并且利用梯形图(LD)进行编程操作,主要分为初始化程序、主程序、手动程序、自动程序、光标及数据输入输出控制程序、数据处理程序和故障保护程序等。自动程序又可以分为托盘仓控制程序、托盘输送控制程序、产品输送编组程序和码垛循环程序。

在设备自动运行时,生产流程见图3,首先托盘仓控制程序控制托盘仓,将叠加在一起的托盘分理成单独托盘,然后托盘输送控制程序控制托盘输送线,将单个托盘输送至码垛工位等待码垛;与此同时,产品输送编组程序控制分组整形输送线及相关气动元件,将产品编组整形为适合抓取的队形等待抓取;码垛循环程序控制升降平台、移动小车和码垛夹具,将产品从分组整形输送线抓放到位于码垛工位的托盘上,最后托盘输送控制程序控制整垛输送线进行整垛输送。

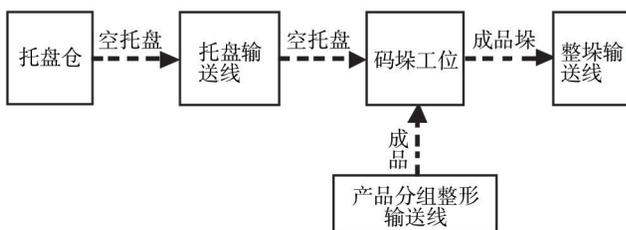


图3 龙门式码垛机生产流程

Fig.3 Product flow chart of the gantry palletizing machine

2.4 隔爆系统人机交互

人机交互是隔爆控制系统的设计难题。自动化

程度越高的机器设备,一般所需要输入的工艺参数越多,而在隔爆设备中,触摸屏、显示面板等普通的人机交互元件不具备防爆功能,无法直接安装在危险环境中。为此,在该隔爆系统中,触摸屏或者显示面板被安装在隔爆柜内,当修改参数时,操作人员需要按动隔爆柜面板上的上键、下键、左键、右键及确定键,光标及数据输入输出控制程序根据现有光标的位置和按键的输入情况,移动光标位置或修改相应的数据。该解决方案的实施案例见图4。



图4 人机交互实施案例

Fig.4 Implementation example of the human-machine interaction

在该隔爆系统中,针对不同的参数输入,例如开关量、数字和字符等,利用不同的光标类型如箭头、圆点、方框和颜色变化等进行区别。针对整数、实数和字母等复杂数据输入,采用输入过程分级多层输入的方法,利用多个光标同时显示或者顺序显示标识操作过程,例如输入123.45时,先用“颜色变化”表示该参数被选中,然后用“圆点”或“竖线”光标表示正在修改的是数字的哪个位数,人工按动相应的增加键或减小键来设置参数,或者显示模块弹出窗口界面,人工通过输入按键在窗口界面上进行选择输入。针对某些频繁进行的操作,可以在输入按键上设置快捷键或与之类似的功能,如界面切换和某些常用参数的输入等。

3 运动控制

龙门式防爆码垛机以直角坐标形式运动,本质上是一种2轴码垛机器人,升降平台的垂直运动构成了z轴方向的运动,移动小车的水平运动构成了x轴方向的运动。其运动结构见图5,PLC通过模拟量输出模块驱动变频器,变频器再驱动电机拖动升降平台或移动小车运动,而在相应电机输出轴上装有旋转编码器,旋转编码器将相应的位置信息转化为脉冲序列传递给PLC,从而构成闭环控制。为了使码垛机按照既定的轨迹运动,PLC需要控制升降平台和移动小车的

运动速度,使之耦合出对应的运动轨迹^[11]。

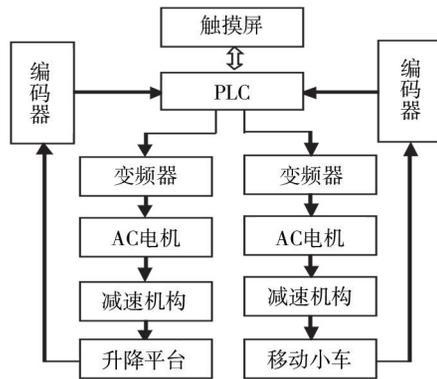


图5 运动控制结构

Fig.5 Structure diagram of the motion control

在实际生产中,抓取方式、负载大小、产品种类和2轴同时运动时相互之间的干扰等因素都增加了系统的控制难度。为了提高码垛机运动轨迹的轮廓精度,系统采用了一种模糊PID算法,较好地解决了以上问题,使控制精度达到了生产要求。

PID按照偏差的比例、积分和微分进行控制,而该系统采用的模糊PID算法在常规PID控制算法的基础上,利用模糊控制理论,离线建立了误差、误差变化率和PID参数 K_p 、 K_i 、 K_d 之间对应模糊整定查询表,并实时在线根据不同的误差和误差变化率自动整定 K_p 、 K_i 、 K_d ^[12-18]。当误差变化率较大时,取较大的 K_p ,而 K_i 和 K_d 取值为0,只采取比例环节;当误差变化率较小时,取较大的 K_p 、 K_i 和较小的 K_d 。

4 结语

该龙门式码垛机防爆控制系统是一种隔爆系统,以PLC为控制核心,通过触摸屏和开关按钮进行参数显示和输入,采用模糊PID为运动控制算法,运行可靠,操作方便,定位精度满足生产要求,防爆等级为E级,适用于大部分的工业易燃易爆危险场所,在廊坊阿克苏诺贝尔装饰涂料公司油漆生产车间内,以平均1000桶/h的生产速度长期频繁使用,故障率极低,大大提高了该生产车间的产能。

参考文献:

[1] 吴昊,张艳芳,郑江花,等.基于PLC的控制系统在机器人码垛搬运中的应用[J].山东科学,2011,24(6):80—83.
WU Hao,ZHANG Yan-fang,ZHENG Jiang-hua,et al. Application of a PLC Based Control System in Robot Palletizing[J]. Shandong Science,2011,24(6):80—83.

- [2] 李成伟,朱秀丽,俞超.码垛机器人机构设计与控制系统研究[J].机电工程,2008,25(12):81—84.
LI Cheng-wei,ZHU Xiu-li,YUN Chao. Design and Research of Stacking Robot[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine,2008,25(12):81—84.
- [3] 付铁,李金泉,陈昱,等.一种新型高速码垛机械手的设计与实现[J].北京理工大学学报,2007,27(1):17—20.
FU Tie,LI Jin-quan,CHEN Ken,et al. Novel Design and Implementation of a High-speed Palletizing Manipulator[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology,2007,27(1):17—20.
- [4] 杨传民,田少龙,杨猛,等.码垛机器人末端执行器的设计[J].包装工程,2014,35(3):60—63.
YANG Chuan-min,TIAN Shao-long,YANG Meng,et al. Design of End of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering,2014,35(3):60—63.
- [5] 陈宝江,葛田子,王建治.一种包装机手及其控制的研究[J].包装工程,2014,35(7):90—94.
CHEN Bao-jiang,GE Tian-zi,WANG Jian-zhi. Control Methods and Manipulator Used for Packaging the Filiform Type Materials[J]. Packaging Engineering,2014,35(7):90—94.
- [6] 李兴胜.正压防爆仪器房间电源控制系统设计[J].电气防爆,2008(8):6—9.
LI Xing-sheng. The Design of Power Supply Control System for Pressurized Explosion-protected Apparatus House[J]. Electric Explosion Protection,2008(8):6—9.
- [7] 许春家.正压型防爆电机的防爆原理与设计[J].防爆电机,2008,43(4):8—10.
XU Chun-jia. Explosion-Proof Principle and Design of Pressurized Explosion-Proof Motor[J]. Explosion-proof Electric Machine,2008,43(4):8—10.
- [8] 余声扬.石油企业电气防爆浅谈[J].石油化工安全环保技术,2007,23(1):11—14.
YU Sheng-yang. Electrical Explosion-proof on Petroleum Enterprise[J]. Safety and Environmental Technology for Chemical Industry,2007,34(1):11—14.
- [9] 刘翔.液压防爆提升机电控系统的研究[D].洛阳:河南科技大学,2014.
LIU Xiang. The Research of the Hydraulic Explosion-Proof Hoists Electrical Control System[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology,2014.
- [10] 周亮,李珍.基于PLC的液体袋装包装机控制系统的设计[J].包装工程,2013,34(1):88—91.
ZHOU Liang,LI Zhen. Design of the Control System Liquid Bag Packaging Machine Based on PLC[J]. Packaging Engineering,2013,34(1):88—91.
- [11] 李金泉,段冰蕾,李忠明.新型码垛机器人工作空间及影响系数分析[J].北京邮电大学学报,2011,34(6):78—81.

(下转第90页)

- [7] YANG Yi, NIE Fei-ping, XU Dong. A Multimedia Retrieval Framework Based on Semi-supervised Ranking and Relevance Feedback[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 12(5): 1256—1267.
- [8] 田靛. 基于颜色内容的图像检索方法的比较[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 84—87.
TIAN Liang. Comparison of Image Retrieval Methods Based on Color Content[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 84—87.
- [9] PETERSON J, CAETANO T S. Reverse Multi-label learning [J]. Advances in Neural Information, 2010, 23(11): 803—808.
- [10] FRINKEN V, FISCHER A, MANMATHA R. A Novel Word Spotting Method Based on Recurrent Neural Networks[J]. Pattern Analysis and Machine, 2012, 34(2): 211—224.
- [11] FAN Jian-ping, SHEN Yi, YANG Chun-lei. Structured Max-margin Learning for Inter-related Classifier Training and Multilabel Image Annotation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 20(3): 837—854.
- [12] CARLOS M, KRISHNANAND N K, SATYANDRA K G. Improving Assembly Precedence Constraint Generation by Utilizing Motion Planning and Part Interaction Clusters[J]. Computer-aided Design, 2013, 45(11): 1349—1364.
- [13] ZHU Hai-bin, ZHOU Meng-chu. Efficient Role Transfer Based on Kuhn-Munkres Algorithm[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2012, 42(17): 1236—1244.
- [14] FARHADI A, ENDRES I, HOIEM D. Describing Objects by Their Attributes[J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2009, 28(30): 1778—1785.
- [15] GRANGIER D, BENGIO S. A Discriminative Kernel-based Model to Rank Images from Text Queries[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(12): 1371—1384.
- [16] PETERSON J, CAETANO T S. Reverse Multi-label Learning [J]. NIPS, 2010, 35(17): 803—806.
- [17] GUILANMIN M, MENSINK T, VERBEEK J. Discriminative Metric Learning in Nearest Neighbor Models for Image Auto-annotation[J]. ICCV, 2009, 20(12): 802—806.
- [18] KANNAN A, MOHAN V, ANBAZHAGAN N. An Effective Method of Image Retrieval Using Image Mining Techniques [J]. The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), 2010, 2(4): 17—26.
- [19] ZHU Wei-na, DREWES J, GEGENFURTNER K R. Animal Detection in Natural Images: Effects of Color and Image Database[J]. PLOS, 2013, 8(10): 78516—78522.
- [20] GRANGIER D, BENGIO S. A Discriminative Kernel-based Model to Rank Images from Text Queries[J]. Pattern Analysis and Machine, 2007, 30(8): 1371—1384.

(上接第 56 页)

- LI Jin-quan, DUAN Bing-lei, LI Zhong-ming. Analysis on Workspace and Influence Coefficients of a Proposed Palletizing Robot[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011, 34(6): 78—81.
- [12] 马丽娟. 模糊控制算法在定量包装机中的应用[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 92—94.
MA Li-juan. Application of Fuzzy Control Algorithm in Quantificational Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 92—94.
- [13] 苏绍兴, 黄金梭. 模糊PID控制在复合纸板分切机速度控制中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 80—84.
SU Shao-xing, HUANG Jin-suo. Application of Fuzzy-PID in Crosscut Feeding Speed Control of the Composite Paperboard [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 80—84.
- [14] 苏绍兴, 黄金梭. 模糊PID控制在复合纸板分切机速度控制中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 80—84.
SU Shao-xing, HUANG Jin-suo. Application of Fuzzy-PID in Crosscut Feeding Speed Control of the Composite Paperboard [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 80—84.
- [15] HANG C C, SIN K K. A Comparative Performance Study of Auto-tuners[J]. Control System Magazine, 1991, 11(5): 41—47.
- [16] SERVET S, MEHMET K, HASAN A. Design and Simulation of Self-tuning PID-type Fuzzy Adaptive Control for an Expert HVAC System[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36: 4566—4573.
- [17] WANG Tai-yong, XU Ai-fen, ZHAO Li. Safety of Wall Robot's Vacuum System on Redundant Control Theory[J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41: 261—263.
- [18] 徐湘元. 自适应控制理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
XU Xiang-yuan. Adaptive Control Theory and Applications [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.