

基于PLC的辅材托盘自动升降系统设计

席磊 李方 龚雪松 沈 锐

安徽中烟工业有限责任公司合肥卷烟厂 安徽 合肥 230601

摘要: 在卷烟包装自动化生产线中,操作工需将辅材逐垛人工搬至所需工位。为提高生产线的效率,减少操作工工作量,设计了一套辅材托盘自动升降系统。采用智能检测光幕,两对光幕发送接收器放置于托盘四角,呈现交叉型光幕结构,当同一平面的辅材整体消耗完后,传感器检测到高度变化,控制系统判断并发出提升信号和提升高度至电机控制器,电机控制辅材托盘整体升降,通过预设提升高度,实现辅材托盘智能自动升降。结果表明,该辅材托盘自动升降系统结构简单,电气设置合理,静动态特性均符合要求。

关键词: 自动升降系统; PLC; 智能检测光幕

1 概述

1.1 课题设计的内容

本课题主要内容基于PLC控制的辅材托盘自动升降系统,部件有辅材升降机、操作按键盒、电机控制器、电机、丝杆及限位传感器等。利用智能检测光幕,将两对光幕发送接收器放置于托盘四角,呈现交叉型光幕结构,当同一平面的辅材整体消耗完后,传感器检测到高度变化,发送高度信息至控制系统,实现辅材消耗实时监控。控制系统判断并发出提升信号和提升高度至电机控制器,电机控制辅材托盘整体升降,通过预设提升高度,实现辅材托盘智能自动升降。

辅材托盘自动升降机的特点:提升高度可控,不同身高体征的人弯腰习惯不同,可通过设置系统默认辅材总高度,调整至不同的提升机上限,方便操作工实施搬运作业。面向受众广,实施场景不限于烟草行业,同时可拓宽于所有进行辅材搬运的行业^[1]。

1.2 课题设计的目的及意义

随着中国烟草行业智能化产业链的快速发展,人工智能可以辅助操作员执行重复性低难度任务,新的自动化物流模式的出现将提高工作效率,减少人为失误带来的成本增加,保障生产作业的实施。

烟草行业内,辅材搬运是包装作业中最耗时耗力的

$$\text{每托盘上烟包盒皮垛总数量} \approx 12(\text{长}) \times 3(\text{宽}) \times 10(\text{高}) = 360(\text{垛})$$

公式2-1

由于操作工与盒皮垛存在高度差,故每搬运一次,需弯腰一次。通过现场观察统计,平均每次操作工从托盘

环节之一。操作工需要从指定辅材放置点,弯腰搬运至包装机添置点,待工位消耗后,需重复此操作。这样做不仅人员要全程跟随,浪费人力,而且效率低下,大量重复费力的任务量使得操作工无法专注于包装机作业^[2]。

基于以上现状,我们研究此辅材托盘自动升降系统,自动化装置替代人类的重复劳动,使生产效率更加高效和稳定。

2 系统控制方案设定

2.1 系统环境描述

在卷烟生产车间,包装辅材运转都是以木托盘为单位进行整托盘运转,从库房到达包装机台后,则需要由操作工逐垛人工搬至所需工位。待工位储料消耗到一定程度,需由人工重复进行搬运。

以烟包盒皮托盘为例,根据行业内常规托盘大小及香烟盒皮大小进行计算,每个托盘上一次所放置的烟包盒皮垛数约为图1示意:

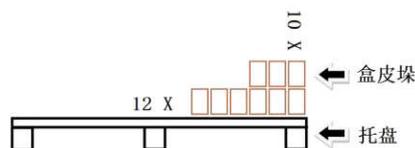


图1 托盘上烟包盒皮垛数量(若干烟包盒皮统称为一个盒皮垛,重约1KG)

$$360(\text{垛}) \times \frac{3(\text{托盘数})}{3(\text{搬运的垛数})} = 360(\text{弯腰次数})$$

公式2-2

根据以上分析,操作工还需要搬运条烟盒皮、铝

搬到工位处盒皮垛数量为3垛,每班约需消耗3托盘盒皮数量,那么在一个班次里,需要进行弯腰操作次数为:

劳动的次数将会大于500次,对于操作人员来说极易产生疲劳^[3]。

2.2 系统总体设计思路

2.2.1 变量分析

基于以上客观情况，目标设计一种可调节托盘高度的设备，使得待搬辅材的高度与操作人员手臂高度相当，免去操作人员频繁弯腰，降低劳动强度。该设计方案的

主要思想是消除操作人员手臂与辅材之间高度差，从而达到避免弯腰劳动的目的。

据统计男性操作工的占比较大，身高在166至185范围内的操作工占大多数。以不同阶段下手臂与地面的高度为变量，观测其辅材消耗高度变化。设定托盘高度为30cm。

表1 不同身高阶段下手臂高度与辅材高度对比

身高范围	行业人员占比量	手臂高度与地面间落差 (cm)	手臂高度与辅材全消耗引起的落差 (cm)
150-165 (cm)	9%	97-103	67-73
166-175 (cm)	58%	109-114	79-84
176-185 (cm)	33%	118-126	88-96

由表1可得出，行业中大多数操作工的手臂高度在97至126cm之间，可设定最适应常规搬运的最高点为110cm，低于此高度时，控制器操纵电机，将辅材抬升至此高度。

通过测量辅材高度可知，以烟包盒皮为例的每垛辅材高度在15cm左右，而每托盘在垂直方向上堆叠10垛，若辅材高度高于常规操作工的手臂高度，系统规定，只有在低于最适高度时，升降机进行工作。

设定辅材高度为x，提升垛数为n，则需要提升的辅材高度 $H = x * n$ 。此情况下提升对象为纸质类辅材，当运送卡纸等圆盘类辅材时，辅材高度以每垛卡纸高度为基准。

2.2.2 系统结构

设计辅材升降机包含操作按键盒、电机控制器、电机及丝杆、限位传感器等。当最上层辅材距离操作人员手肘部高度差较大时，系统自动提升至最适位置，操作人员也可以点动向上或向下按钮，托盘即向对应方向自动升、降一个垛高位置，在辅材逐渐消耗中重复上述操作，直到托盘推至极限位置，点动“复位”按钮后，电机复位到初始位置，见图2。

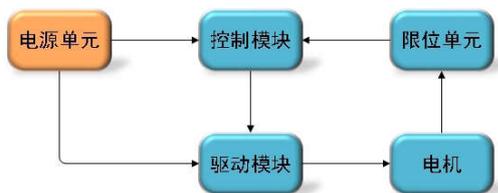


图2 升降机控制结构图

3 系统硬件方面设计

3.1 硬件系统结构设计

整个系统的机械设计分为动力模块、底盘模块两个部分，见图3。

动力模块：该模块为调节托盘高度提供动力，可采用电机+丝轴作为动力源，并配有限位传感器，以对机械结构进行运动限位保护。

底盘模块：该模块位于动力源上，主要起托动托盘作用。

检测模块：两对检测光幕，放置与底盘四角，托盘位于底盘模块上方。

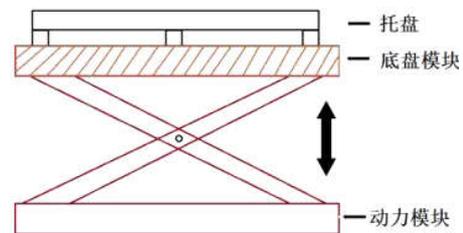


图3 机械结构示意图

机械参数：承重：300千克。长：1200 宽：1200 高：300升至1300。升降速度0.1米/秒。

检测光幕位于底盘模块的四角，放置辅材托盘时，需要将托盘放置在托盘位置框中。四角的检测光幕支架设有放置凹槽，可90度收回凹槽，凹槽位于托盘位置框外。当工作人员在人机交互界面按下放置辅材按钮，此时电机控制检测光幕支架向凹槽收回，保证填料正常，当升降机正常工作时，在人机交互界面上为升降联机状态，此时电机控制检测光幕支架90度垂直放置，实施检测^[4]。

3.2 电气元件选择

整个系统的电控设计分为控制模块、驱动模块两个部分。控制模块：主要包括PLC、电机驱动器、按钮盒等器件，用于控制驱动模块的运动方向及运动量。驱动模块：主要包括电机、安全、位置传感器、丝杆、导轨等启动机构，该模块用于驱动动力源，以达到调节托盘高度的目的。

3.2.1 传感器和监测系统

本系统采用智能测量光幕，它具有两对测试的红外线发射器和接收器。当测试功能打开后，灯珠发射红外线至接收点，当被测物即辅材放置于托盘上时，红外线被遮挡，接收点获得的电信号降低，低于设定阈值后，

输出此时IO状态,当高于辅材的灯珠红外线没有被遮挡,认为同一水平面的辅材高度整体下降,升降机需要提升一垛的高度,来保证辅材的高度位于操作工手肘位置,方便搬运材料。

本系统所选智能检测光幕最小检测精度2.5mm,对射距离超过5m,响应时间短。多种输出方式,具备RS485、RS232、模拟量电压输出、模拟量电流输出。标准通讯协议采用Modbus-RTU通讯协议。抗电磁干扰能力强能够有效抗击电机设备的各种电磁干扰影响。

3.2.2 电气控制单元

本系统采用西门子S7-200可编程逻辑控制器作为数字运算处理中心,具有极高的可靠性和极强的实施特性。通过对输入输出进行特别规定,输入信号来自于人机界面的按键控制,输出信号主要控制电机进行上升和下降的工作。

表2 辅材托盘自动升降系统I/O分配表

输入口	名称	输出口	名称
I0.0	升降初始最低位	Q0.0	复位脉冲
I0.1	自动/手动模式	Q0.1	自动/手动模式脉冲
I0.2	“上”运动按键	Q0.2	手动模式升降机上升脉冲
I0.3	“下”运动按键	Q0.3	手动模式升降机下降脉冲
I0.4	检测光幕实时高度值	Q0.4	自动模式上升脉冲
I0.5	检测光幕最低值	Q0.5	自动模式下降脉冲
I0.6	急停	Q0.6	急停脉冲
I0.7	备用1	Q0.7	备用1
I1.0	备用2	Q1.0	备用2

4 系统软件方面设计

4.1 精确高度定位设计

如图4,两对发送接收器生成两个检测面,对应辅料高度投影至X检测面和Y检测面,每次输出两处高度值

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] = K_p e(t) + \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{公式4-1}$$

通过PID算法,可以通过比例微分设定,控制PLC输出对应脉冲,当预设辅材类型发生变化,如烟包盒皮、铝纸、卡纸、条烟盒皮、透明纸等不同材料切换时,选定不同预设辅材总高度和每垛材料高度,此时算法自动设定输出脉冲,控制电机运转,保证系统正常工作。

结语

基于PLC的辅材托盘自动升降系统设计,手动模式下,可以通过人机界面手动控制托盘上升或下降,具有复位按钮;自动模式下,无需人工控制,智能光幕实时高度检测,当同一水平面下的辅材整体消耗完后,升降机自动抬升一垛的高度,当所有辅材均消耗完,升降机自动复位。此系统极大的减少了操作工的弯腰次数,提

H1、H2,数据返回至PLC进行处理,得到此时辅料的平均高度,再与设定的最适高度进行比较。若控制器处于自动状态,则PLC发出自动模式上升或下降脉冲,升降机自动置于合适的高度。

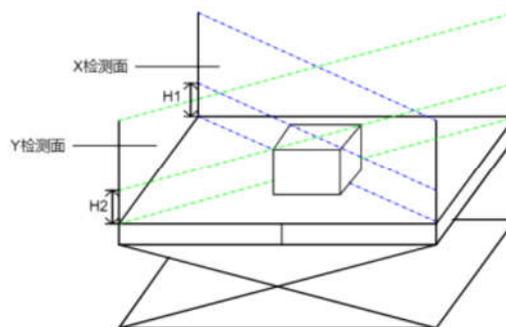


图4 智能测量光幕测试简图

其中PLC每发出一个脉冲,步进电机转动一个步距角度,Z轴步进电机带动Z轴丝杆做上下直线运动,实现载物台上、下运动。通过控制Z轴步进电机的脉冲个数,就可以控制载物台在Z轴上移动的距离,实现载物台在X—Z轴平面的精确定位,从而把物体放到指定位置。通过预设最适高度,PLC发送一垛所需要的脉冲数,实现自动升降^[5]。

4.2 自适应逻辑设计

在本系统中,被控对象辅材每垛的高度,辅材的类型无法完全确定,得不到精确的数学模型,系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定,故逻辑使用了PID调节控制。

根据给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $y(t)$ 构成偏差: $e(t) = r(t) - y(t)$ 。将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量,对受控对象进行控制。其控制规律为:

高了卷烟工厂智能化工业化的进程,解放了工作者的双手,且适用场景广泛,具有推广意义。

参考文献

- [1]常斗南.PLC运动控制实例及解析[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [2]聂建华,陶永华.新型PID控制及其应用[J].工业仪表与自动化装置,1998(2):59-61.
- [3]田海,崔桂梅,王晓红,等.西门子PLC控制网络的配置策略与应用[J].电气传动,2010(1):5.
- [4]汪小澄,张峰.PLC控制网络的组建与监控[J].计算机应用,2002.
- [5]谢勇,甘海苗,许永疆,等.适应型测量光幕[P].2023(8):6