包装机械电子凸轮关键技术研究与应用

王吉岱, 张兆健, 梁存仙, 张 哲
(山东科技大学, 青岛 266590)

摘要: 重点分析了电子凸轮功能在枕式包装机控制系统中的实现方法,利用智能高速型 PLC、伺服系统与人机界面技术,去除原有机械凸轮机构,改由电子凸轮功能控制横封切刀,实现了柔性变速运转。方案解决了传统机械凸轮安装困难、响应滞后、量测性差等问题,使横封切刀的运动曲线可以即时改变。同时提出了一种新型色标追踪方法,采用色标和光电传感器对切割长度值实时反馈,提高了包装精度,降低了系统的响应时间。

关键词: 电子凸轮; 色标追踪; 高速智能型 PLC; 交流伺服电机
中图分类号: TB486 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-3563(2013)07-0048-04

Research and Application of Electronic CAM Key Technology in Packaging Machine

WANG Ji-dai, ZHANG Zhao-jian, LIANG Cun-xian, ZHANG Zhe
(Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: Focuses on the electronic CAM function implementation methods in pillow packaging machine control system, combines PLC, servo system and Human Machine Interface technology, remove the original mechanical CAM, and now control horizontal sealing and cutting knife in variable speed rotating through the electronic CAM. This plan solved the problem in traditional mechanical CAM such as dificult installation , lags in response, and bad measurement performance, made horizontal sealing and cutting knife sport curve can be instantly change. Meanwhile this paper puts forward a new color code tracking method and using color and photoelectric sensor to detect the feedback of packaging length in real time , in order to improve the packaging precision and reduce the system response time.

Key words: electronic CAM; color code tracking; PLC of high speed and intelligent; AC servo motor

在现代工业企业中,大多数自动控制设备都具有循环往复运行的特点。枕式包装机的横封切断机构具有典型的循环往复运动轨迹。传统的枕式包装机中安装有机械凸轮,实现从动轴的各种曲线运动,由于机械凸轮具有安装困难、高成本、输出运动缺乏柔性等缺点,所以当从动轴的运动规律改变时,凸轮的生产工艺一般需要重新调整或彻底更换。

基于上述原因,笔者在分析比较了机械凸轮的缺点和弊端后,提出了一种基于基恩士 PLC 的电子凸轮技术在枕式包装机中的应用解决方案,以及一种新型的色标自动追踪方法的算法设计原理,提高了相关生产设备的智能化、自动化程度和生产效率。

1 电子凸轮曲线算法设计

1.1 电子凸轮技术

凸轮是用于实现机械三维空间联动传动关系与控制的机械构件。自动化控制系统用软件程序与伺服电机实现三维空间联动传动关系与控制的软件系统,称为电子凸轮技术。枕式包装机系统中横封切刀部分应用典型的电子凸轮功能,横封切断轴依据凸轮曲线运转的同时须与送料和送膜机构存在同步控制。见图 1,根据包装工艺要求,横封切断瞬时的速度与送膜或送料速度相等。定义切刀运转周期为同步区和异步区,即同步区的速度 与送料速度相等,同时自动调节异步区速度 的大小,使横封切刀在一个运转

收稿日期: 2013-01-16
作者简介: 王吉岱(1961-),男,山东人,硕士,山东科技大学教授,主要从事过程装备与工业自动化技术的教学与研究。

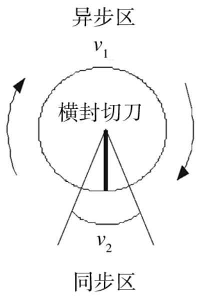

图 1　横封切刀切割工艺示意

Fig. 1 Cross seal cutting knife cutting process schematic diagram

周期内切割的长度为一个包装长度。

1.2　枕式包装机控制系统构成

枕式包装机控制系统主要由 PLC(KV-3000)、运动控制模块(KV-MC40V)、串行通讯模块(KV-L20V)、触摸屏、传感器、温控模块和交流伺服系统组成。多传感器采集数据后,在 PLC 内进行高速中断处理,运动控制模块依据误差补偿算法生成的数据输出脉冲,对电机轴执行动作微调,同时依据电子凸轮曲线算法得出的脉冲列驱动各从轴进行匀速或变速运动,触摸屏完成人机交互。系统整体采用全闭环控制策略,控制系统见图 2。

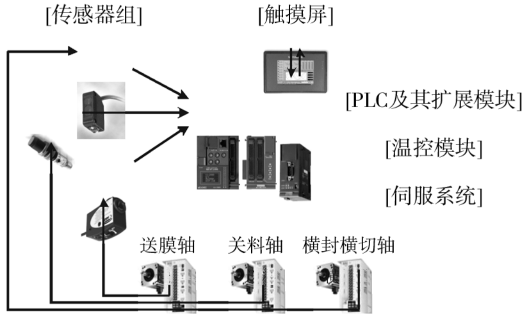

图 2　控制系统

Fig. 2 Control system graph

KV-3000 的 I/O 口具有 10 路的中断继电器和输入捕获功能,可以外接色标传感器等的输入信号并进行高速中断处理;KV-MC40V 内置虚拟轴 5,能进行最多 4 轴的定位或同步控制,特有的凸轮曲线设定功能可以执行运动过程中凸轮数据的更改和凸轮曲线的切换。

1.3　电子凸轮曲线算法实现

在 PLC 中,同步控制是根据各轴同步参数设定,使从轴位置与主轴位置同步的功能。根据设定的凸轮(曲线)数据及其他补偿设定,运算同步从轴相对于主轴变化量的位置。

设定虚轴 5 为同步控制主轴,送膜轴 1、送料轴 2、横封切断轴 3 为同步控制从轴。对于主轴坐标,可以设定输入轴周期,以循环进行凸轮运动。

凸轮数据按行程的比例“%”创建,由各轴的同步参数指定输入轴周期和凸轮行程。在具体应用中,凸轮行程值由伺服电机的参数决定。伺服电机驱动器的细分数设定相同时,它旋转一周所需的脉冲数固定不变。对横封切断轴 3 而言,为保持切割位置固定不变,轴 3 的凸轮行程值与伺服电机旋转一周所需的脉冲数值相同。

定义送料轴 2 的半径为 R_2,横封切轴 3 的半径为 R_3,主轴 5 的脉冲输出频率为 ω,在 ω 下输出的电机轴心速度为 ω',则 $m=\dfrac{\omega}{\omega'}$($m$ 的值由交流伺服电机的型号和参数决定)。轴 2、轴 3 的输入轴周期和凸轮行程值在同步参数中进行设置。设定轴 2、轴 3 的输入轴周期值分别为 P_2,P_3,轴 2、轴 3 的凸轮行程分别为 P_2',P_3'。

系统启动前,由触摸屏输入的可变参数为包装速度 v(m/s)和包装长度 L(m)。轴 2 的送料速度 $v_2=R_2\omega'$,横封切轴 3 的线速度 $v_3=R_3\omega'$。因轴 3 执行的是变速曲线运动,其线速度值按线性规律变化,令 $v_3=v$,则由:

$$\begin{cases} v=R_3\omega' \\ m=\dfrac{\omega}{\omega'} \end{cases} \tag{1}$$

得 $\omega=\dfrac{mv}{R_3}$。若 $P_2=P_2'$,因 $R_2\neq R_3$,则 $v_2\neq v_3$。为保证 $v_2=v_3=v$,使轴 2 送料速度与轴 3 同步区切割速度和包装速度相同,应改变轴 2 的轴心速度,方法是在轴 2 凸轮行程不变的情况下改变其输入轴周期值,令 $P_2=P_2'\dfrac{R_2}{R_3}$,可满足条件。

轴 5 的脉冲输出频率设定值为 $\omega=\dfrac{mv}{R_3}$,当虚拟主轴 5 的脉冲输出频率值改变时,各从轴同步速度同时更改。触摸屏输入包装速度 v 后,由内部算法映射得出 ω 的值,自动控制程序中通过 PLC 缓冲存储器写入指令修改为包装速度当前值。横封切轴 3 的运转周期 $T=\dfrac{P_3}{\omega}$,则:

$$\begin{cases}\omega=\dfrac{mv}{R_3}\\T=\dfrac{P_3}{\omega}\\L=vT\end{cases}\qquad(2)$$

由式(2)得 $L=\dfrac{P_3R_3}{m}$，$P_3=\dfrac{Lm}{R_3}$。可知，包装长度 L 的大小仅随轴 3 输入轴周期 P_3 的变化而改变，与包装速度 v 无关。触摸屏输入包装长度 L 的值后，由内部算法映射得出 P_3 的值，自动控制程序中通过 PLC 缓冲存储器写入指令修改为包装长度当前值。

1.4 凸轮数据的更改与凸轮曲线的切换

在凸轮行程和凸轮曲线号不变的情况下，当轴 3 输入轴周期改变时，同步区切割速度将按照一定的比例增大或减小。为满足包装工艺，保持轴 3 同步区切割速度与输入轴周期更改前相同，须实时修改凸轮曲线在切割点区域的凸轮数据，并执行凸轮曲线的切换。

对伺服电机而言，在相同的时间内输入相同的脉冲数即脉冲频率相等时，电机输出轴的角速度相同。在轴 3 的凸轮行程不变的情况下，若轴 3 的输入轴周期由 P_3 变为 $2P_3$，则电机输出轴角速度变为原来的 1/2。图3 中 X 轴 10% 处的输入轴周期值变为原来的

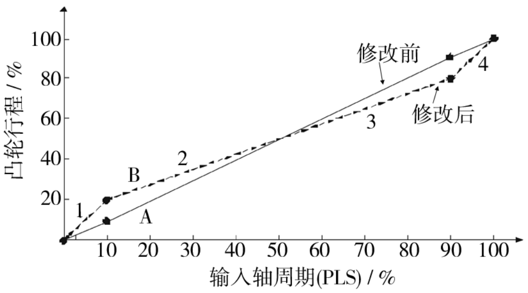

图 3 修改前后的凸轮曲线对比

Fig. 3 Before and after the modification of the CAM curve control

2 倍，此种情况下，若要使切割区速度与送料速度相同，须增大 X 轴 10% 处的凸轮行程，即 Y 轴凸轮行程值由原来的 10% 变为 20%。定义横封切轴 3 的切割区域为运转周期的 0% ~10% 和 90% ~100%（0%）相位。

在轴 3 的同步参数中设定初始输入轴周期 P_3 = 5000 PLS，凸轮行程 P_3' = 5000 PLS。设 P 为包装长度 L 对应的输入轴周期值，见图 3，第 1，4 阶段的比例：

$$k_{14}=\frac{P}{5000}$$

第 2，3 阶段的比例：

$$k_{23}=\frac{50\%-10\%k_{14}}{50\%-10\%}$$

设 DM_{1X}，D_{2X}，DM_{3X}，DM_{4X} 分别为原始凸轮曲线第 1，2，3，4 阶段的凸轮行程数据；DM_{1X}'，DM_{2X}'，DM_{3X}'，DM_{4X}' 分别为修改后凸轮曲线第 1，2，3，4 阶段的凸轮行程数据。则它们之间的关系分别为：

$$DM_{1X}'=DM_{1X}k_{14}$$

$$DM_{2X}'=5\times10^8-(5\times10^8-DM_{2X})k_{23}$$

$$DM_{3X}'=5\times10^8+(DM_{3X}-5\times10^8)k_{23}$$

$$DM_{4X}'=1\times10^9-(1\times10^9-DM_{4X})k_{14}$$

依据上述算法模型对单个运转周期内各阶段的凸轮数据修改完成后，系统形成新的凸轮曲线号 N，通过梯形图程序更改轴 3 的输入轴周期为 P，同时切换轴 3 的凸轮编号为新生成的凸轮曲线号 N，最终实现横封切轴的电子凸轮功能。

2 多传感器色标自动追踪算法

在硬件连接上，色标传感器信号和光电传感器信号输出端分别连接至 KV-3000 PLC 中断输入端口，当中断信号到来时，从相应控制存储器中获取高速计数器对内部时钟的计数值，并保存。

系统开始稳定运行后，设色标传感器信号触发时，输入捕获捕捉的内部时钟的计数值为 T_0；与 T_0 间隔时间最短的时间内，横封切轴光电传感器检测到切刀信号时，捕捉的内部时钟计数值为 T_1。

在后续运转周期中，色标传感器检测到某个色标点时，保存的触发时刻为 T_0'；与 T_0' 间隔时间最短的时间内，横封切轴光电传感器检测到切刀信号时，保存的触发时刻为 T_1'。则色标追踪基准值 $T_{色}=T_1-T_0$，色标追踪比较值 $T_{色}'=T_1'-T_0'$。

在每个运转周期比对色标追踪比较值 $T_{色}'$ 与基准值 $T_{色}$ 的大小，色标追踪偏差 $\Delta T_{色}=T_{色}'-T_{色}$。当 $\Delta T_{色}>0$ 时，表明切刀旋转速度减慢，须在下一运转周期对横封横切轴进行加速调节；当 $\Delta T_{色}<0$ 时，表明切刀旋转速度加快，须在下一运转周期对横封横切轴进行减速调节。

内部算法根据偏差值的大小和正负决定系统对横封切轴 3 的调节幅度和方向，各传感器实时反馈修

正结果并进行误差自动判断,PLC 根据判断结果决定下一运转周期是否启动对轴 3 的调节指令。系统形成全闭环控制机制,包装精度和稳定性大大提高。

3　色标追踪过程实验验证情况

系统初步稳定运行后,因色标传感器和横封切断轴光电传感器信号触发节点时间不同,保存的色标点与切刀点相对位置的基准值为 $T_{色}$,在后续运转周期中,保存的相对位置比较值为 $T'_{色}$,色标自动追踪程序中当基准值 $T_{色}$ 确定时,比较值 $T'_{色}$与偏差值 $\Delta T_{色}$ 见表 1。可以看出,每个运转周期的偏差值较小,折算成包装精度值为±2 mm。

表 1　色标追踪过程处理数据

Tab.1 Color code tracking process data

序号	比较值 $T'_{色}$	基准值 $T_{色}$	序号	偏差值 $\Delta T_{色}$
1	−0.446 046	−0.405 196	1	−0.026 281
2	−0.441 379		2	−0.028 151
3	−0.416 838		3	−0.026 078
4	−0.438 485		4	+0.000 038
5	−0.441 768		5	−0.040 469
6	−0.458 278		6	+0.005 967
7	−0.415 049		7	−0.020 201
8	−0.438 995		8	+0.027 651
9	−0.410 356		9	−0.060 285
10	−0.447 189		10	−0.021 892

4　结语

以基恩士运动控制系统实现的电子凸轮功能,已经成功应用在全自动枕式包装机控制系统中。通过简单的参数设置,结合基恩士 PLC 的精确同步控制和凸轮曲线设定功能,实现了包装长度和速度范围内任意调节;色标传感器与运动控制部分构成闭环系统,始终对检测参数和理想参数进行比对,并进行相应的调节。精确的误差处理算法通过必要的参数设定,可以有效地降低输出误差,提高包装精度。电子凸轮技术同样可以应用在其他相关自动化设备中,对提高设备的运动柔性和智能化水平具有重要意义。

参考文献:

[1] 董超,王孟效,李虎. 西门子 S7-300 PLC 在包装机同步控制系统中的应用[J]. 包装工程,2007,28(2):41-43.
DONG Chao, WANG Meng-xiao, LI Hu. The Application of Siemens S7-300 PLC in the Packaging Machine Synchronous Control System[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2):41-43.

[2] KV-1000 系列 PLC 用户手册[K]. 上海:基恩士公司,2007:17-51.
KV-1000 Series PLC User Manual[K]. Shanghai: KEYENCE Corporation, 2007:17-51.

[3] KV-ML16V/MC40V/MC20V/MX1 用户手册[K]. 上海:基恩士公司,2007:20-57.
KV-ML16V/MC40V/MC20V/MX1 User Manual[K]. Shanghai: KEYENCE Corporation, 2007:20-57.

[4] 尹章伟,刘全香,马桃林. 包装概论[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
YIN Zhang-wei, LIU Quan-xiang, Ma Tao-lin. Introduction to Packaging[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

[5] 黄义萍,魏军会. 电子凸轮及其在自动化生产中的应用[J]. 淮北煤师院学报,2001,22(1):46-49.
HUANG Yi-ping, WEI Jun-hui. Electronic CAM and Its Application in Automatic Production[J]. Huaibei Coal College Journal, 2001, 22(1):46-49.

[6] 李瑞平,冯济缨,黄明琪. 包装机械设计中的控制技术[J]. 包装工程,2005,26(1):19-21.
LI Rui-ping, FENG Ji-ying, HUANG Ming-qi. The Design of Packaging Machinery Control Technology[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1):19-21.

(上接第 42 页)

[14] 王成云,赵贵文. Eu(DBM)$_3$phen 三元配合物薄膜的制备和表征[J]. 化学工程师,2002(8)4:6-9.
WANG Cheng-yun, ZHAO Gui-wen. Preparation and Characterization of Thin Films of Ternary Complexes of Eu(DBM)·phen[J]. Chemical Engineer, 2002, 8(4):6-9.

[15] 陈文,刘琦,赵春霞,等. Tb(DBM)$_3$phen/APTES-SBA-15 介孔复合体系的制备与表征[J]. 化学学报,2006,64(19):1969-1973.
CHEN Wen, LIU Qi, ZHAO Chun-xia, et al. Preparation and Characterization of Tb(DBM)$_3$phen/APTES-SBA-15 Mesoporous Composite Material[J]. Acta Chi Mica Sinica, 2006, 64(19):1969-1973.