

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.04.010

蠕动式点胶控制方法与系统研究

张强,任工昌,李大军

(陕西科技大学机电工程学院,陕西西安 710021)

摘要:蠕动泵在流体点胶领域有着良好的应用前景,为提高蠕动式自动点胶的质量,深入分析了蠕动泵的工作特性和定量点胶要求,提出了一种蠕动式点胶控制策略。将打点、画线变换为运动控制问题,采用插补实现针头和蠕动泵的协调运动控制。在此基础上,开发了一种基于 SMC6480 运动控制器的数控点胶系统,重点介绍了系统软件结构、自动点胶过程及其软件实现。研究表明:提出的点胶控制策略可以实现点胶动作的精确控制,有利于提高点胶精度。开发的点胶系统实现了蠕动式自动点胶,且结构开放性好,模块化程度高。

关键词:流体点胶;蠕动泵;点胶针头;插补

中图分类号: TG493; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2017)04-0048-05

Research on Control Method and System for Peristaltic Dispensing

ZHANG Qiang, REN Gongchang, LI Dajun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Peristaltic pump possesses a good application prospect in the dispensing field. To improve the quality of peristaltic dispensing, the characteristics of peristaltic pump and the dispensing requirements were studied, and then a control strategy for peristaltic dispensing was proposed, in which the control of dotting and drawing was transformed into the motion control of syringe needle and peristaltic pump, and the coordinated control of syringe needle and peristaltic pump was realized by interpolation. On this basis, a NC dispensing system was developed based on SMC6480 motion controller, software structure and automatic dispensing program were mainly introduced in this paper. Research showed that the proposed control strategy realized accurate control of the motions of automatic dispensing, and could improve dispensing accuracy, the developed system not only realized automatic peristaltic dispensing, but also had favorable openness and high degree of modularization.

Keywords: fluid dispensing; peristaltic pump; syringe needle; interpolation

蠕动泵是一种容积式泵,通过挤压弹性软管将管内流体向前推送,利用软管弹性恢复时形成的局部真空抽吸后面的液体。这种挤压过程连续不断地进行,流体抽吸与输送就不断地形成,从而实现流体的连续泵送。与其它形式的容积式泵相比,蠕动泵易于实现微量控制,流体通过泵时一直处于胶管内部,流体与泵之间不会相互污染,十分适合输送剪切敏感、侵蚀性强的流体。此外,蠕动泵具有良好的自吸能力,可防止回流,维护和清洁十分简单。这些优点使其在许多行业得到了广泛应用^[1]。流体点胶是电子封装中的一项

关键技术。这项技术以受控的方式对流体进行精确分配,将理想大小的流体转移到工件的指定位置,以实现元器件之间机械或电气的连接^[2-3]。近年来,蠕动泵开始在流体点胶领域得到应用。为了拓展蠕动式点胶的应用范围,许多研究者从提高点胶精度和效率等方面开展研究:一是为提高点胶精度,提出了消除 Z 轴累积误差的方法^[4]、采用 S 型曲线规划 Z 轴运动,提高 Z 轴运行平稳性^[5];二是为提高步进电机驱动的蠕动泵的运行平稳性,开展了步进电机控制方法及装置的设计研究^[6];三是研究开发了蠕动式点胶机控制系统,

收稿日期:2017-03-14;修回日期:2017-05-10

基金项目:陕西省科学技术研究发展计划项目(2014GY2-04);陕西科技大学2016年大学生创新创业训练计划项目(017)。

第一作者简介:张强(1969),男,山东烟台人,硕士,副教授,主要研究方向为数控技术及应用。E-mail:zhangqiang@sust.edu.cn

以实现自动化点胶^[7]。需要指出与其他点胶技术相比,蠕动泵的某些特性如泵管回弹性能及其衰减,对于其工作性能有着复杂影响;同时,对于自动点胶过程中针头和蠕动泵的运动规律也需进行深入研究,例如在画线时针头移动和蠕动泵旋转具有关联性,实现2者的协调运动控制对于改善点胶精度也具有重要作用。

为此,笔者分析了蠕动泵的工作特性,从提高流量控制精度的角度讨论了蠕动泵的运行方式,并结合点胶要求提出一种点胶控制策略,通过插补实现针头和蠕动泵的协调运动控制;在此基础上,设计了基于运动控制器的蠕动式数控点胶系统,介绍了系统开发的关键技术。

1 蠕动泵及其特性分析

蠕动泵结构如图1所示,主要由驱动电动机、泵头和泵管等部分组成。泵头是蠕动泵的关键部件,包括压块、滚轮、辊子和调整机构等元件。压块是具有弧形工作面的部件,其工作面与辊子之间有适当的间隙,辊子安装在滚轮上,泵管则从工作面和辊子之间穿过。调整机构用来调整压块工作面和辊子之间的间隙大小。工作时,驱动电机带动辊子反复碾压和释放泵管,使泵管内产生真空,将被输送的流体吸入泵管。泵管内的流体在转动辊子作用下排出,实现流体输送。

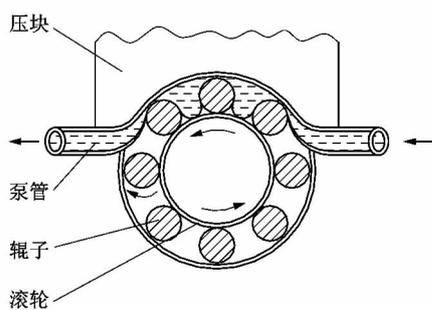


图1 蠕动泵结构示意图

Figure 1 Structure drawing of peristaltic pump

理论分析表明,在不考虑辊子碾压泵管占有体积的前提下,蠕动泵流量与辊子数量及泵管壁厚等参数无关,只与泵管内径、泵壳圆周节圆直径和蠕动泵转速有关^{[8]186}。因此,蠕动泵流量可表示为:

$$Q_{\omega} = m \cdot \omega \quad (1)$$

式中: m 为系数,mL/r,与泵头、泵管规格有关; ω 为泵头转速,r/min; Q_{ω} 为流量,mL/min。

由式(1)可知,改变泵头转速即可调节蠕动泵的流量。但是,试验表明蠕动泵流量与转速的实际关系与理论关系之间可能存在一定差异:一定转速下实际流量

小于理论流量,且随着转速升高,两者之差有扩大的趋势^{[8]187}。造成这种现象的主要原因为:①泵管材质性能的衰变,泵管在使用过程中受到反复碾压,其回弹性能将逐渐下降;②流体黏度的影响。泵管在受到辊子2次碾压的间隔期,需要完成弹性恢复,以便形成局部真空效应。流体黏度越大,泵管弹性恢复所需时间越长。当泵头转速较高时,将造成泵管弹性恢复不充分。可见,蠕动泵流量精度受到多种因素的综合影响,且具有一定的时变性。

蠕动泵的流量精度是影响点胶质量的一个重要因素。需指出的是,当蠕动泵转速不变时,各种因素对流量的影响相对稳定。通过流量校正即标定流量-转速关系并采用恒定转速运行,可获得很高的流量精度,其误差 $\leq \pm 1\%$ ^[9]。因此,为保证蠕动泵的流量控制精度,在自动点胶过程中应避免改变蠕动泵的工作转速。在蠕动泵流量不变的前提下,通过控制蠕动泵的泵头角位移、针头移动速度等参量实现定量点胶。

2 自动点胶控制策略

打点和画线是定量点胶的2种基本方式。打点指将一定量的流体点涂在工件的指定位置。画线指点胶针头沿一定轨迹运动的过程中,将一定量的流体均匀地涂覆在工件表面。点胶量的准确性是决定点胶精度的一个主要因素。打点方式下,点胶量用流体体积 V 表示,画线方式下的点胶量可用单位迹线长度上的流体体积 q 表示。在分析打点、画线点胶工艺要求的基础上,这里提出一种点胶运动控制策略。

2.1 打点控制策略

设打点的点胶量为 V ,则

$$V = Q_{\omega} \cdot t \quad (2)$$

式中: t 为打点时蠕动泵的运行时间, Q_{ω} 为蠕动泵的流量。由于蠕动泵按设定转速 ω 运行,其角位移 θ 为

$$\theta = \omega \cdot t$$

可见,控制时间 t 或角位移 θ 都可以实现对点胶量 V 的控制。由于点胶量 V 与蠕动泵的角位移 θ 直接相关,以角位移 θ 为被控参数有利于提高控制精度。为此,可将蠕动泵转轴映射为 C 轴,通过单轴运动模式实现点胶控制。控制参数有角位移 θ 和转速 ω ,为提高打点精度, C 轴加减速控制采用S曲线模式。

2.2 画线控制策略

迹线全长上的流体体积为:

$$V_l = l \cdot q \quad (3)$$

式中, l 为画线长度,mm。 q 为画线方式下的点胶量,mL/mm。

设点胶针头运动速度为 v , 画线时间为 t , 则上式可表示为

$$V_1 = v \cdot t \cdot q_0$$

时间 t 内蠕动泵排出的流体体积为

$$V_2 = Q_\omega \cdot t = m \cdot \omega \cdot t_0 \quad (4)$$

根据 $V_1 = V_2$, 有:

$$v = \left(\frac{m}{q}\right)\omega \quad (5)$$

如上所述, 画线时蠕动泵转速和针头移动速度为线性关系, 两者之间存在协调运动关系。此外, 多段画线过程中, 为避免前后 2 段迹线转接处, 在针头加减速阶段造成流体堆积, 也要求蠕动泵同步进行加减速。为此, 采用的控制策略为: 将针头和蠕动泵的运动映射到一个新的空间, 根据两者运动关系确定其合成运动形式; 然后, 采用相应的插补方法实现其协调运动控制。

图 2 所示, 针头沿直线 OE 画线, 蠕动泵旋转运动映射为沿 Z 轴的运动, 针头和蠕动泵的合成运动为“动点”沿直线 OE' 的运动。采用线性插补可实现两者的协调运动。所谓线性插补, 是对直线插补的一种推广, 参与插补的各坐标轴的位移、速度的量纲可以不同^[10]。文中, X, Y 轴坐标单位为 mm , Z 轴单位为 rad 。插补直线 OE' 需确定终点 $E(x_E, y_E, z_E)$ 及编程进给速度 F 。坐标 x_E, y_E 已知, 坐标 z_E 和编程进给速度 F 按以下步骤计算:

- 1) 由式(5)计算针头速度 v ;
- 2) 计算画线时间 $t, t = l/v$;
- 3) 计算泵头角位移 $z_E, z_E = \omega \cdot t$;
- 4) 计算合成进给速度 F ,

$$F = \sqrt{v^2 + \omega^2} \quad (6)$$

式(6)中, 针头运动速度的单位为 mm/min 、泵转速单位为 rad/min , 计算时忽略其量纲。

画线轨迹为圆弧时, 针头在给定平面内做圆弧运动, 针头的线速度与蠕动泵转速仍为线性关系。针头和蠕动泵的合成运动轨迹是螺旋线。为此, 可采用圆柱螺旋线插补实现两者的协调运动。螺旋线插补的参数有圆弧参数(圆弧终点及圆心坐标等)、第 3 轴参数(蠕动泵的角位移 z_E 、螺旋线导程 k)以及螺旋线插补速度。圆弧参数已知, 蠕动泵转角及插补速度可参考上述线性插补有关方法确定。考虑到画线点胶时, 圆弧圆心角 $\alpha \leq 2\pi$, 导程 k 按式(7)确定:

$$k = z_E \frac{2\pi}{\alpha} \quad (7)$$

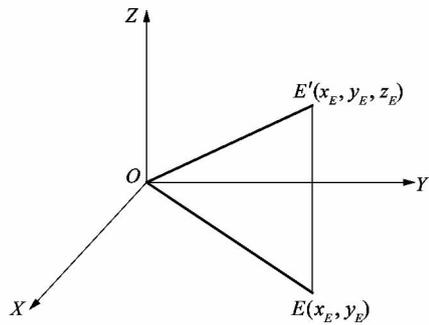


图 2 针头与泵的协调运动

Figure 2 Coordinated motion of needle and pump

3 数控点胶系统设计

在上述研究的基础上, 研究设计了一种基于运动控制器的蠕动式数控点胶系统。下面主要介绍系统开发的关键技术及其实现方法。

3.1 系统硬件组成

目前, “PC (personal computer) + 运动控制卡” 是开放式数控系统的主要构成形式^[11-12]。为适应工业现场的应用要求, 采用了“独立式运动控制器 + HMI 人机界面”的系统方案。系统硬件主要由运动控制器、触摸屏、驱动单元及检测元件等组成。本研究中, 运动控制器选用雷塞科技的 SMC6480。SMC6480 是一种独立型运动控制器, 可脱离 PC 单独运行。该控制器具有 2 ~ 4 轴直线插补、2 轴圆弧插补、螺旋线插补等功能, 满足系统开发要求。触摸屏通过串口与 SMC6480 连接, 提供显示和操作功能, 是系统的人机界面。

3.2 系统软件设计

软件设计是系统开发的重点。运动控制器部分采用雷塞 BASIC 语言进行软件二次开发。雷塞 BASIC 是一种针对运动控制器二次开发的脚本语言, 具有简单易用、交互性强和稳定性高等特点, 其指令集支持运动控制器的多任务调用、通信命令等高级功能。运动控制器支持 MODBUS 通信协议, 可方便地实现与触摸屏的信息交换。

3.2.1 软件结构

SMC6480 支持在程序中启动或停止多个任务, 实现一个主任务和多个子任务的并行运行。为此, 构建了一种基于多任务处理的模块化软件结构。

SMC6480 支持以嵌套方式启动和停止任务。在上一级任务中启动和终止下一级任务的过程如图 3 所示。图中, 当条件 P_2 为真时, 启动子任务并执行指定的子程序; 当条件 P_3 为真时, 终止子任务。需要指出

的是,本系统中各级任务启动后,均以“死循环”方式循环运行。若要终止某一级子任务,需在启动该子任务的上一级任务中,通过 stop 指令终止其运行。因此,图 3 中条件 P_1 恒为真。

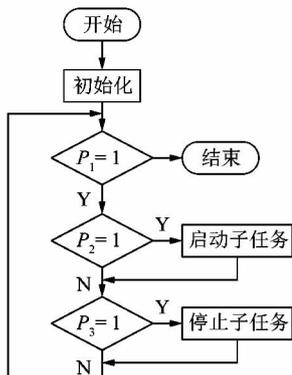


图 3 任务调度的逻辑过程

Figure 3 Logic of task scheduling

主任务在系统上电时自动启动,其它子任务通过指令启动。任务启动指令为 run,其调用格式为:

```
run num,task
```

其中,num 是任务号,task 是任务对应的子程序名。启动任务 num 时将自动执行子程序 task。任务停止指令为 stop,调用格式是:

```
stop num
```

停止任务 num 时系统将终止子程序 task 的运行。

系统软件的功能结构如图 4 所示。主控模块通过主任务在系统上电后自动运行。该模块管理着示教编程、自动运行等功能模块,根据设定条件启动或停止功能模块的运行。以启动示教编程模块为例,当操作者通过触摸屏操作切换至编程窗口时,运动控制器根据接收的窗口切换信息启动编程任务。反之,当操作者从编程窗口返回主界面时,运动控制器中的主控模块停止编程任务。主控模块的部分代码如下:

```
auto:
..... '执行初始化代码
while 1 '主模块循环
if (modbus_bit(0) and flag) then '若进入编程窗口
flag = 0 '复位标志变量
run 1,editor '启动任务 1 执行编程模块 editor
elseif modbus_bit(1) then '若退出编程窗口
stop 1 '停止任务 1
flag = 1 '重置标志变量
modbus_bit(0) = 0
modbus_bit(1) = 0
```

```
endif
.....
wend
end
```

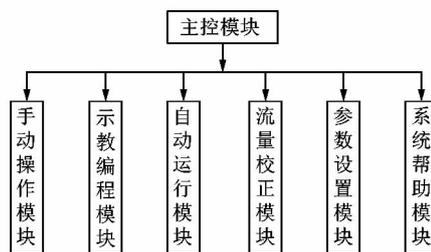


图 4 系统软件功能框图

Figure 4 Functional block of system software

位寄存器 modbus_bit(0) 和 modbus_bit(1) 由触摸屏软件在窗口切换时置位。为避免任务启动/停止出现不可预知的情况,必须合理设定启动和停止条件。上述代码中,变量 flag 为一个连锁标志,可避免触摸屏窗口切换时主任务反复启动编程模块。

自动运行模块的功能是执行用户点胶程序,包括点胶程序的译码、预处理以及点胶程序执行。预处理的一个主要任务是,根据打点、画线点胶要求,将定量点胶控制变换为相应形式的运动控制问题,在此基础上确定应调用的 SMC6480 运动控制指令。

3.2.2 自动点胶及软件实现

图 5 是画线的点胶控制过程,由一系列基本动作组成。动作 1 为针头在安全高度定位至画线起点。动作 2 为针头沿 Z 轴向下运动至点胶高度,使针头与工件表面保持一个合理间隙。执行动作 1 和 2 时,蠕动泵待命。动作 3 为开胶延时。所谓开胶延时,是指在画线点胶前先启动蠕动泵运行一段时间,避免泵头到针头处的泵管内缺胶。动作 4 通过插补执行画线点胶,该动作由针头运动和蠕动泵旋转的联动实现。动作 5 为回吸。回吸指在画线终点,蠕动泵反转将多余



图 5 自动点胶的工艺过程

Figure 5 Process of automatic dispensing

(下转第 55 页)