

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.03.005

蠕动式点胶机的精确点胶研究

张铁虎,詹民民,代欣,俞经虎,王琨

(江南大学机械工程学院,江苏无锡 214122)

摘要:为了改善传统点胶机不易控制流量的问题,在分析蠕动泵的基础上,建立蠕动泵的模型并进行理论流量的推导;然后对蠕动泵的步进电机进行分析,提出采用 ATmega2560 微控制器外接驱动器 A4988 细分驱动技术方案,对蠕动泵步进电机控制系统进行设计;对单个点胶过程提出采用 S 型曲线规划 Z 轴的运动,实验证实采用蠕动泵进行点胶达到了良好的点胶效果,本研究提高了点胶质量。

关键词:点胶机;蠕动泵;S 型曲线;ATmega2560 微控制器

中图分类号: TG493; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2016)03-0018-06

Research of Peristaltic Dispensing Machine's Precision Dispensing

ZHANG Tiehu, ZHAN Minmin, DAI Xin, YU Jinghu, WANG Kun

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: The flow rate of traditional dispensing machine is difficult to control. In order to improve this problem, the mode was built and the theoretical flow was derived based on the peristaltic pump. After analyzing the stepper motor of peristaltic pump, the drive scheme was presented that used circumscribed driver A4988 of ATmega2560 microcontroller to drive, and the control system of stepper motor was designed. For a single dispensing process, using S curve to plan the motion of Z axis was proposed. The final experiment confirmed using a peristaltic pump for dispensing achieved a good effect on dispensing, at the same time, improved the quality of dispensing.

Key words: dispensing machine; peristaltic pump; S-type curve; ATmega2560 microcontroller

蠕动泵又叫软管泵或恒流泵,是一种液体驱动装置,可输送具有腐蚀、研磨和氧敏感特性的物料,具有良好的自吸能力和空转无回流等优点^[1],在药物微量输送、化工和食品定量灌装、精准定量点胶、集成电子元件冷却等领域应用广泛^[2-3]。

为了解决传统点胶机点胶不精确、点胶泵清洁困难等难题,拟采用蠕动泵进行点胶。当点胶头到达指定的点胶位置时,通过运动控制器发出脉冲信号,信号经过驱动电路放大后驱动步进电动机旋转,从而使蠕动泵工作^[4]。由于流体被隔离在泵管中,因此可以实现快速更换泵管,并且具有密封性好、可防止流体回流的优点。

蠕动泵在工作时有脉动存在,这就导致蠕动泵在

工作时的流量有些波动。因此从理论和实际两方面对蠕动泵进行分析,并对单个点胶过程进行分析,最终实现对胶水的精确控制,实现稳定点胶。

1 蠕动泵的特点及应用

如图1所示,蠕动泵通常由3部分组成:电机、泵头和泵管。电机提供动力,进行调速。泵头是实现蠕动传输的关键部件,一般是由压块、弹簧调整机构、滚轮与辊子组成;压块是具有弧形工作面的部件,工作时,工作面与辊子之间存在间隙;弹簧调整机构用来调整固定间隙以适应不同外尺寸的泵管,并通过间隙控制吸力;辊子安装在滚轮上,与上压块配合起到挤压泵管的作用^[5]。

由于泵管是与介质接触的唯一部件,所以流体只

收稿日期:2015-12-21;修回日期:2016-01-30

基金项目:国家自然科学基金项目(50905176);国家科学自然基金项目(51375209);中央高校基本科研业务费专项(JUSRP11456);江苏省食品先进制造装备技术重点实验室开放课题资助项目(FM-2014-05)。

作者简介:张铁虎(1989),男,河南周口人,硕士研究生,主要研究方向为点胶机设计。E-mail:ztiehu310@163.com

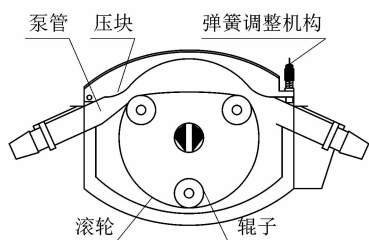


图1 蠕动泵结构图

Figure 1 Peristaltic pump structure diagram

流经泵管而不会对泵体造成污染,同时泵体也不会对流体造成污染,清洁时更换泵管即可,可以避免高成本的维护和节约拆卸时间^[6]。

2 蠕动泵流量计算

本文分别从实际流量和理论流量对蠕动泵进行分析,并找出影响流量的关键因素。

2.1 蠕动泵理论流量计算

如图2所示,辊子从位置1转到位置2,不考虑辊子碾压管子占有的流体体积,输送流体的体积约等于圆弧12段管子内存储的流体的体积,即

$$\Delta q = \frac{\alpha D}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \alpha D d^2}{8} \quad (1)$$

式中: Δq —圆弧12段管子内流体体积/ m^3 ;

α —辊子转动的角度/ rad ;

D —泵壳节圆直径/ m ;

d —管子的内径/ m 。

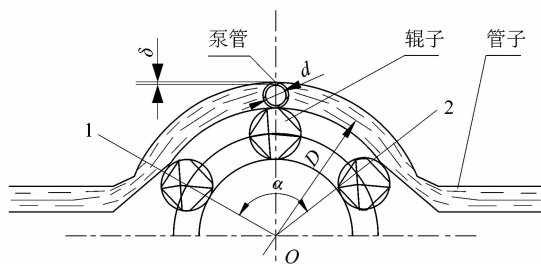


图2 蠕动泵流量计算模型

Figure 2 Flow calculation model of peristaltic pump

那么,蠕动泵旋转一周输送的流体体积

$$q = \frac{2\pi}{\alpha} \Delta q \quad (2)$$

式中: q —蠕动泵旋转一周的流量/ m^3 。

所以,蠕动泵的流量

$$Q = qv = \frac{2\pi}{\alpha} \cdot \frac{\alpha D}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} n = \frac{\pi^2 D d^2 n}{4} \quad (3)$$

式中: Q —蠕动泵的流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$;

n —蠕动泵的转速/ $(\text{rad} \cdot \text{min}^{-1})$ 。

由式(3)可知,在不计辊子碾压管子占有流体的

情况下,蠕动泵流量只与管子内径、泵壳节圆直径和蠕动泵转速有关,而与辊子个数无关。

2.2 影响蠕动泵流量的因素

由上述推导计算可知,不同内径的管子所产生的流量是不一样的,相同的蠕动泵头管子内径越大,蠕动泵头每转一圈产生的流量就越大,反之就越小。

现实的情况会和理想有点出入:

1) 因为蠕动泵要靠泵管的回弹吸入液体,蠕动泵软管的回弹是需要一定的时间的,输送的液体越是黏稠,其回弹所需要的时间就越长。所以在泵的回弹时间小于蠕动泵1个轮距位移时间时,蠕动泵的流量跟转速的关系呈线性增长的关系;如果回弹所需要的时间大于轮距位移的时间,即蠕动泵软管还未完全回弹就被转轮再次压过,那么蠕动泵每转一圈产生的流量就会比泵管完全回弹时产生的流量小。如果蠕动泵的转速固定,那么每转一圈产生的流量也是固定的。

2) 出口压力大,排出流量也会受到影响,原因是出口的压力升高导致泵管胀大,排出口的液体会因此反流,如果排出口的压力大于泵产生的压力,那么液体会无法排出而出现完全回流现象。

因此在计算蠕动泵的流量的时候,要考虑到蠕动泵速度增加和液体黏度对软管回弹的影响。如果蠕动泵输送过程中速度不断变化,就不能完全按照单纯的乘积关系来计算了。通常情况下,转速小于 $300 \text{ rad} \cdot \text{min}^{-1}$ 且辊子数少于4个的泵,都可以按乘积关系来计算。如果黏性较高就要考虑降低这个经验转速。

2.3 蠕动泵选用依据

蠕动泵的流量是蠕动泵最重要的参数,是选型先决条件,只有在流量满足用户的需求后,才会考虑其他方面是不是合适。蠕动泵厂家标出的流量范围一般是在传输水的情况下测得的,没有黏度。当用户在考虑蠕动泵的流量范围是不是符合需求的时候,应该首先确定自己传输的液体是什么,有没有黏度,因为黏度的大小会在很大程度上影响蠕动泵的流量;其次要考虑传输时的温度,温度越高,软管越软,弹性越不好,流量也会有所衰减;再者,要考虑传输液体是否有颗粒;最后要考虑实际使用时用到的吸程大小,吸程过大会在很大程度上影响流量的衰减。以上4点确定之后,有经验的蠕动泵工作人员会大致推测出流量的衰减比例,推荐合适流量范围的蠕动泵。

3 蠕动泵点胶

为了克服传统点胶机点胶不精确、点胶泵清洁困难等缺点,拟采用蠕动泵进行点胶。

3.1 蠕动泵电机分析

本文研究的蠕动泵为 KCS-S 步进电机高精度蠕动泵,型号为 SB-12V 步进电机蠕动泵。电机型号为 42 系列步进电机,2 相 4 线制,额定电流为 0.9 A,静态转矩为 $0.3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

步进电机作为蠕动泵的动力执行元件,其运转的平稳性决定着蠕动泵流量波动的大小,因此,将步进电机的稳定运行作为控制系统的首要任务^[7]。

3.2 蠕动泵控制方案

步进电机控制方便、结构简单、不存在累计误差并且控制精度高,因此蠕动泵常用步进电机作为动力源。但步进电机存在噪声大和低速转动时振动的缺陷^[8],并且步进电机的启停是一个变速的过程,如果采用简单速度直接下降或上升的恒速法控制蠕动泵,步进电机就会因速度波动过大而导致蠕动泵挤胶不均匀,影响点胶效果。

为了改善步进电机运行品质对低频振荡进行抑制,一般有以下几种方法:①采用交流伺服电机基本可以避免噪声和震动,但成本较高^[9];②采用步距角较小的步进电机可以减轻噪声和震动,但成本也较高;③通过在电机轴上加磁性阻尼器也能减轻噪声和震动,但操作起来比较复杂且机械结构改变较大;④采用带有细分功能的驱动器是最简便、最有效的方法。所以采用细分驱动技术设计蠕动泵控制系统的硬件^[10],结果表明该系统的蠕动泵步进电机的低频振荡特性有明显改善,电机运行平稳,而且系统的实时调速性好、可靠性高^[11]。

蠕动式点胶机采用 Arduino Mega2560 单片机为中央处理器。处理器核心是 ATmega2560,驱动器采用带过流保护和转换器的全桥 DMOS 微步驱动器 A4988。图 3 所示为 A4988 步进电机驱动器及外围电路图,ATmega2560 通过控制 DIR, ENABLE, STEP 3 路端口实现对蠕动泵步进电机的控制。其中, DIR 端口控制蠕动泵正反转,输入高电平时,蠕动泵顺时针旋转;输入低电平时,蠕动泵逆时针旋转。ENABLE 端口输出 A4988 内部的 FET,输入为高电平时,蠕动泵

不旋转,此时蠕动泵的电机处于紧锁状态;只有当输入为低电平时,蠕动泵才旋转。A4988 驱动器可在在全、半、1/4、1/8 及 1/16 5 种模式下步进。为了克服步进电机运行时容易失步,存在较大噪声和震动,高频出力不足,低频振荡等缺陷^[12],同时使步进电机具有良好的平滑运行性能,采用 16 步进量细分法。

4 对单个点的点胶过程分析

4.1 点胶过程分析

对单个点进行点胶,如图 4 所示。点胶过程主要分为 4 个部分:

1) X, Y 轴从坐标原点运动到点胶位置,同时 Z 轴带动针头至点胶位置正上方 H_1 处。

2) Z 轴向下带动针头移向基板。Z 轴的下降使针头移近基板,当针头距基板间隙为 H_2 时,控制步进电机带动蠕动泵开始点胶,蠕动泵转动将胶水从针头挤出,使胶水与点胶表面接触并黏附在基板上,此时胶水还与点胶针头相连。Z 轴的运动可以细分为:加速运动、匀速运动和减速运动;

3) 停止点胶,延时一段时间,控制 Z 轴向上运动以恒定的速度带动点胶针头移离点胶表面,胶水和针尖分离;

4) 完成一次点胶,针头离开基板,回到 H_1 位置,等待下次点胶指令。同理,Z 轴的运动可以细分为点胶头加速、匀速和减速运动。

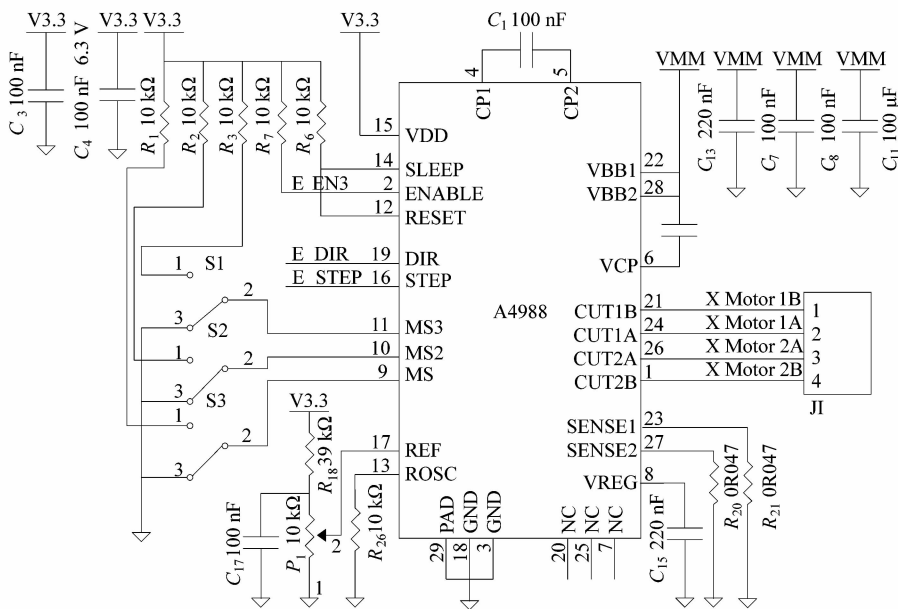


图 3 步进电机驱动电路

Figure 3 Driving circuit of stepping motor

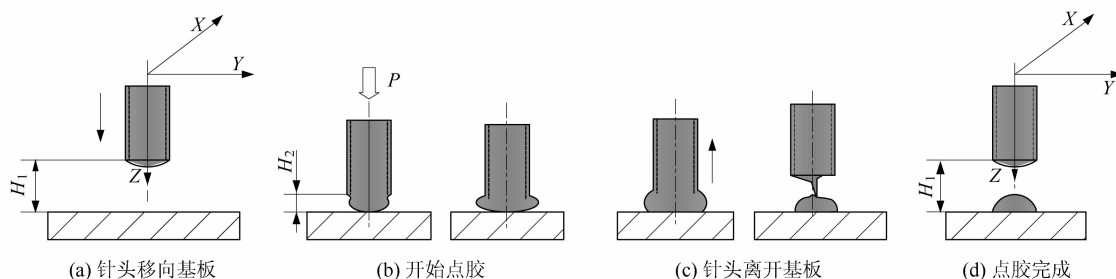


图4 对单个点胶进行分析

Figure 4 Analysis of single dispensing

4.2 Z轴运动分析

Z轴的运动决定着点胶滴质量的优劣,尤其是Z轴的运动重复性影响着点胶高度,而点胶高度对胶滴的一致性起着至关重要的作用。如果点胶高度过低,可能会造成点胶头污化和破坏,甚至影响胶滴的圆整性,如图5(a)所示;如果点胶高度过高,易引起拖胶、滴胶不均匀、拉丝等问题,如图5(b)所示;只有合适的点胶距离才能保证点胶的质量,如图5(c)所示。

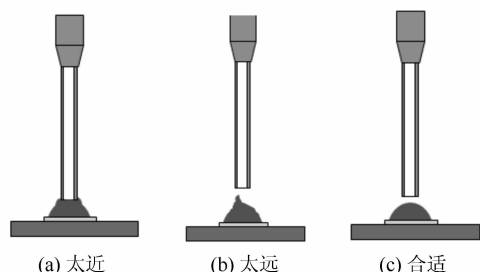


图5 点胶头与基板的距离

Figure 5 Distance between dispensing head and substrate

点胶嘴与PCB板间的距离是保证胶点的适当径高比的必要因素,一般,对于低黏性的材料,径高比大约为3:1,对于高黏度的锡膏约为2:1。

同时Z轴的速度对点胶也有较大影响,为了提高点胶效率,使Z轴向下运动的过程与挤胶过程同时进行,Z轴速度的变化也会对胶水从针头流出的情况产生较大的影响,所以对Z轴的控制及其控制参数的选取都至关重要。

Z轴运动为高速的加/减速运动,常用的加/减速控制曲线有直线型、指数型以及S型曲线3类^[13]:

1) 直线型。由于直线型加/减速控制曲线算法加速过程的开始和结束是突变的,容易出现速度过渡不平滑和运动精度低的缺陷。直线型加/减速控制曲线多用于起停、进/退刀等辅助运动中。

2) 指数型。指数型加/减速相对复杂,加/减速的

起点和终点仍然会发生加速度突变情况。如果要求有较高的跟踪响应,一般可采用指数型加/减速控制曲线。

3) S型。S型曲线加/减速控制曲线加速性能平稳精确,具有良好的柔性,启停过程中对设备传动机构的冲击较小,常用于要求较高的运动精度控制系统中。

如图6所示为典型S型曲线速度、加速度、加加速度曲线。运行过程分为7段:1为加加速段;2为匀加速段;3为减加速段;4为匀速段;5为加减速段;6为匀减速段和7为减减速段^[14-16]。在变加/减速段, $|da/dt| = J$, J 为恒值;匀加/减速段,加速度 a 为恒值;匀速段的速度为恒值 V_c 。

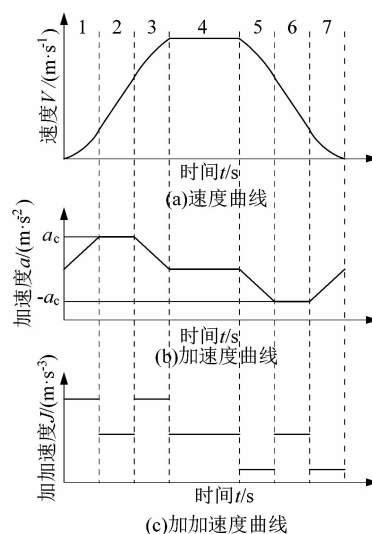


图6 典型S曲线速度、加速度、加加速度曲线

Figure 6 Typical S curve of speed, acceleration and jerk curve

设插补周期为 T , 则在第 i 个插补周期结束时, 位移 S_i 的插补递推公式为

$$S_i = S_{i-1} + V_{i-1}T + \frac{1}{2}a_{i-1}T^2 + \frac{1}{6}JT^3。$$

加速度为

$$a_i = a_{i-1} + \frac{1}{3}JT。$$

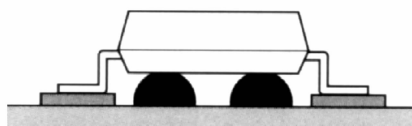
速度为

$$V_i = V_{i-1} + \frac{1}{2}a_i T。$$

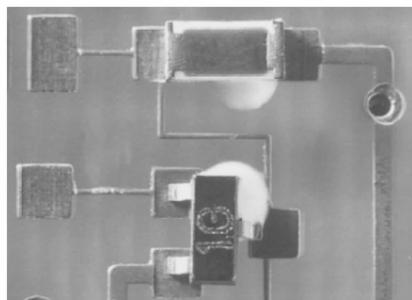
式中: $S_i, S_{i-1}, V_i, V_{i-1}, a_i, a_{i-1}$ 分别为第*i*个和第*i-1*个插补周期结束时*Z*轴的位移、速度、加速度; J 为*Z*轴的加加速度。采用S型加/减速控制曲线结果表明*Z*轴运行平稳且振动显著减轻。

4.3 挤胶量的控制

如图7所示,点胶量对点胶质量有着重要影响,胶量不足会造成掉件或偏移,胶量太多会污化焊盘。根据元器件的尺寸和重量来确定点胶量的大小和多少:胶点直径的大小一般为焊盘间距的一半,这样即可保证有充足的胶水来粘结元件同时又避免因胶水过多而造成焊盘浸染;点胶量多少由点胶时间长短及点胶量来决定。



(a) 胶量不足



(b) 胶量太多

图7 点胶量对点胶的影响

Figure 7 Influence of dispensing quantity on dispensing

完成一个点胶动作后,在*Z*轴上升的过程中,蠕动泵有一个短暂的倒转过程,但这并不影响下次的点胶,从而能抑制点胶机拖胶现象的发生。

5 实验分析

为了验证采用蠕动泵进行点胶的可靠性,使用制作好的蠕动式点胶样机进行点胶测试。胶水采用一种工业树脂,常温下黏度为 $1.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,为了便于观察,在胶水中添加绿色的染色剂。

首先设定好点胶运动的轨迹、速度,当*X, Y, Z*轴运动到指定位置时,蠕动泵开始向基板点胶。为了验证蠕动式胶的一致性,进行阵列胶点,如图8所示,点胶为 4×6 的阵列图像,从图中可以看出点胶一致很好,而且非常光滑,点胶量适中,没有拖胶和少胶现象的发生。为了验证蠕动泵的控制精度,设置蠕动式点胶机对点胶直径不同的点胶点,点胶结果如图9所示,可以看出蠕动泵对不同直径的点胶点控制比较准确,点胶效果良好。

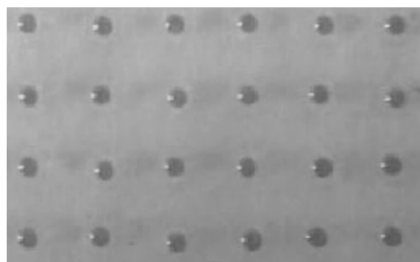


图8 阵列点胶

Figure 8 Array dispensing



图9 不同直径点胶

Figure 9 Dispensing with different diameters

6 结语

通过推导蠕动泵理论流量的计算公式,设计蠕动泵点胶控制系统,然后对*Z*轴的运动情况进行分析研究,最后对单个点胶进行理论分析,并进行实验验证。结果表明:与活塞式点胶、时间压力型点胶相比,蠕动泵更易控制胶水的流量,点胶的一致性好,无拖胶和少胶的现象。精确点胶在电子封装行业有着很大的应用价值,蠕动式点胶势必会在点胶机行业有更大的发展,因此后续会利用流体分析软件并结合流体黏性对流体进行分析,实现对蠕动式点胶更精确的控制。

参考文献:

- [1] 王洋,潘海鹏,徐立,等.小型蠕动泵用直线振荡电机的数学模型研究[J].微特电机,2010,38(11):27-30.
- [2] 梁莉,马旭,张铁民.圆环型压电蠕动泵的结构设计与仿真[J].农业工程学报,2012,28(11):40-44.
- [3] 王道臣,陈志军,韩玉明,等.蠕动泵流量的理论计算与试验验证[J].化工自动化及仪表,2015,42(2):186-187.
- [4] 李健,任工昌,王勃群.基于GT运动控制器的蠕动式点胶机的设计[J].机床与液压,2009,37(8):11-13.
- [5] 陶金牛.大流量蠕动泵特性研究及试验系统设计[D].武汉:华中科技大学,2014:13-17.

(下转第29页)