

# 往复式划膜仪控制系统的设计

陈曦, 朱亚东, 田舟

(河北工业大学 控制科学与工程学院, 天津 300130)

**摘要:** 对国内外划膜仪进行研究, 针对其存在的局限性, 设计了往复式划膜仪控制系统; 单片机控制高精度步进电机和滚珠丝杠, 使划膜笔支架在 X 轴方向做往复直线运动, 同时通过 RS-232 通讯与两台高精度工业注射泵协调, 抽取试剂, 在 NC 膜上均匀平稳地划膜; 划膜浓度、速度和长度由按键输入并显示在 LCD 屏上; 控制系统解决了划膜不均匀、划痕较重等问题, 划膜笔间的距离在 Y 轴可调, 能匹配生产需要, 适用于速测试纸条的研发及生产。

**关键词:** 往复式划膜仪; 单片机; 控制系统; 步进电机; RS-232

## Design of Control System for Reciprocating Dispenser Instrument

Chen Xi, Zhu Yadong, Tian Zhou

(School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

**Abstract:** By studying the theory of dispenser instrument at home and abroad, Considering the existing limitation of it, We designed control system for reciprocating dispenser instrument. SCM drive precision stepper motor and ball screw, making stents of crossed pen reciprocate in the X-axis direction, Simultaneously SCM communicate with high-precision industrial injection pump by RS-232, extract scribing solution, scribe on the nitrocellulose uniformly and steadily. Scribing density, velocity and length is input by key and displayed on LCD screen. The control system solves issues such as scribe unevenly and have heavy scratches etc., distance between crossed pens is adjustable in Y-axis, it can match the needs of production and is suitable for scientific research and production of colloidal gold strip.

**Key words:** reciprocating dispenser instrument; SCM; control system; step motor; RS-232

## 0 引言

胶体金免疫层析速测试纸条技术作为一项新型的快速检测技术, 因其具有快速、便捷、稳定和结果判断直观等优点, 成为发展较快的免疫学快速诊断和检测方法。胶体金免疫层析法(Gold Immuno Chromatography Assay, GICA)以抗原抗体的免疫反应和层析原理实现快速检测的<sup>[1]</sup>。将各种反应试剂(抗原或抗体)以条带状固定在玻璃纤维膜和硝酸纤维膜(NC膜)的检测线(T线)和质控线(C线)上(称为划膜工艺), 是生产速测试纸条的关键环节之一, T/C线上的试剂量决定了所包被的抗原或抗体的数量, 为了提高定量检测的灵敏度与精度就必须严格控制划线试剂的宽度和均匀度。划膜仪作为胶体金免疫层析速测试纸条的专业生产设备, 主要用于在NC膜表面均匀平稳地划出C/T线, 实现试纸条的高精度与高效率生产。划膜仪根据生产工艺及其要求操作平台的不同, 可以分为3种类型: 平台移动式、输送带式平台和划膜笔移动式<sup>[2]</sup>。

划膜仪采用软管将试剂划到NC膜表面, 而膜本身比较软脆, 划管会在膜的表面留下划痕。而划痕容易对层析的金标复合物形成阻力, 导致假阳性。同时容易出现跑板时在T线位置显现一条若有若无的细线(鬼线), 而跑板结束后鬼线消失的奇怪现象<sup>[2]</sup>, 影响试纸的检测结果。进口的划膜仪由于使用的材料和控制系统较好, 留下的划痕较轻, 但是国外进口的仪器价格昂贵、操作复杂、缺少显示参数, 设备不能完全匹配国内实际生产需要。针对这一现象, 在国内开发一套控制系统良

好, 高划线精度的NC膜划膜仪设备显得尤为重要且极为迫切。

## 1 控制系统的总体设计

### 1.1 设计方案

划膜仪设备由机体、控制面板、划膜笔支架往复运动机构、试剂供给部分、划膜笔低抬头控制模块、显示操作界面和控制电路等组成。设备试剂供给部分选用生物医学业内通用的高精度工业注射泵, 使试剂注射量更加精确, 划线更加均匀, 可配置两个注射泵, 在试纸条上同时划出T线和C线。选用进口PEEK中空纤维管做为划膜头进行划线操作, 这种纤维管柔韧而有弹性, 对微孔膜表面没有损伤, 不会留下划痕, 特别适合在NC膜表面划线。

采用电磁铁控制划膜笔的低抬头, 确保划膜笔低头划线头触膜出液, 离膜停液, 可手动调节两个划膜笔在Y轴的间距。由高精度步进电机控制划膜笔支架在X轴方向进行往复运动。试剂的注射浓度、划膜长度及速度和注射泵的各项参数由键盘输入设定, 可存储记忆程序并在液晶屏上显示。可在划膜笔支架上安装CCD摄像头, 对划膜宽度及划痕实时检测。控制系统有自动计数功能, 可统计试纸条的生产量。

### 1.2 设计原理

划膜笔支架往复运动由单片机驱动步进电机正反实现, 试剂供给部分由主控制器通过RS-232串口通讯实现对工业注射泵的控制。显示与操作界面由LCD显示屏和键盘组成, 控制电磁铁实现划膜笔的升降。控制系统原理如图1所示。

单片机AT89S52的I/O口输出脉冲序列, 经步进电机驱动器放大, 使步进电机旋转运动。划膜笔支架通过滚珠丝杠和步进电机连接在一起, 使步进电机的正反旋转运动转化为划膜

收稿日期: 2013-12-06; 修回日期: 2014-03-17。

作者简介: 陈曦(1963-), 男, 天津市人, 教授, 博士, 主要从事控制理论与工程、智能检测和智能仪表以及嵌入式控制系统方向的研究。

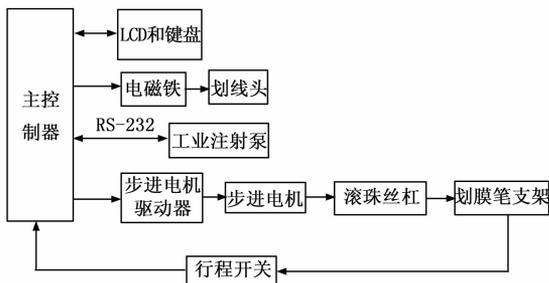


图 1 控制系统原理图

笔支架的往复直线运动。改变脉冲序列方向可改变步进电机的正反转方向,从而改变划膜笔支架的运动方向。改变单片机输出脉冲序列的频率可以改变步进电机旋转运动的速度,从而控制划膜笔支架往复运动的速度。单片机 I/O 口对系统原点处的行程开关进行检测可判断划膜笔运动位置,同时也能检测步进电机的运行状态。

系统上电后,划膜笔首先移动到原点位置,通过按键和 LCD 屏设置并显示系统参数,当运行键按下时,单片机控制电磁铁使划膜笔低头触膜,支架正向移动,同时注射泵工作,划膜笔触膜出液。到达右极限位置时,电机和注射泵停止工作,划膜笔离膜停液,电机快速反转回到原点位置,完成划膜的一个周期。

## 2 控制系统的硬件组成

NC 膜划膜仪系统采用模块化设计方法,硬件组成各模块如图 2 所示。以 AT89S52 单片机为核心控制模块,选用高精度步进电机和滚珠丝杠,通过联轴器和导轨将其连接,划膜笔平台固定在丝杠的螺母上,实现低阻力往复直线运动,在原点位置安装行程开关,划膜笔平台上有标尺可调节 PEEK 笔的 Y 轴方向的距离,安装电磁铁控制划膜笔的升降,高精度工业注射泵提供划线试剂,LCD 显示屏和按键组成系统显示操作界面,完成对系统各项参数设定与显示。在放置试纸条的平台上需安装挡块,以确定试纸放置的位置和划膜笔的划线工作区域,平台和丝杠及导轨需足够水平,以确保划线精度。

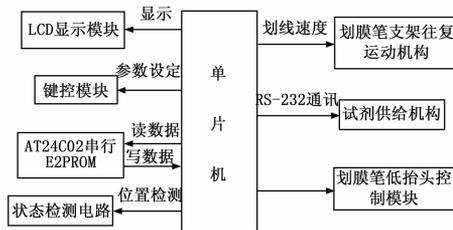


图 2 控制系统硬件模块图

### 2.1 主控芯片

对往复式 NC 膜划膜仪的研究,从系统要求及成本等考虑,采用单片机进行控制和数据处理。在单片机选型时不但要考虑芯片管脚的数量是否满足控制系统需求,还要考虑到芯片存储容量大小、功能以及功耗的大小。在本控制系统中,我们要实现对多个负载的控制,包括电机控制、按键输入、液晶显示和串行通讯,占用 I/O 口数量较多,控制系统选择 ATMEL 公司的 AT89S52 单片机,它是一个低功耗高性能单片机,它

有 40 个引脚,其中有 32 个外部双向输入/输出端口<sup>[3]</sup>。

### 2.2 步进电机直线运动模块

划膜笔支架的往复运动是通过步进电机带动滚珠丝杠运动实现的。步进电机的驱动和滚珠丝杠的机械连接是划膜仪设备中的重要组成部分。

#### 2.2.1 步进电机控制系统

步进电机是一种能够将电脉冲信号转换成角位移或线位移的机电元件,它是一种单相或多相同步电机。当给步进电机持续输入一个确定频率的脉冲信号时,由于独立电压波动和负载变化的影响,电机的运转角度或转速应与输入脉冲的数量保持严格的比例。改变通电方式可控制步进电机的转向,即按给定工作方式正序通电,步进电机正转;若按反序换相通电,则反转。根据划线速度和精度要求,本系统选用两相(AB相)混合式步进电动机。

步进电机控制系统主要由脉冲发生器、脉冲分配器、功率放大器、步进电机和负载 5 部分组成。脉冲发生器是一个脉冲频率由几赫兹到几十赫兹可连续变化的信号发生器,它为脉冲分配器提供脉冲序列,采用单片机作为脉冲发生器来控制步进电机,脉冲信号经过脉冲放大器后,为步进电机提供了一种可行的通电方式,使步进电机按要求启动、运转和停止<sup>[4]</sup>。单片机与步进电机驱动器的连接如图 3 所示,P2.2 口控制电机方向,P2.0 口输出脉冲序列控制电机转速。

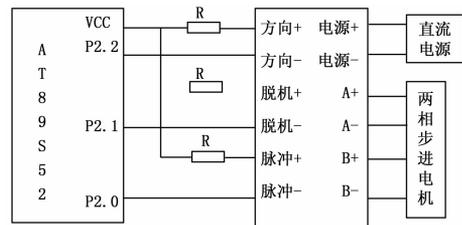


图 3 单片机与步进电机驱动器连接图

#### 2.2.2 滚珠丝杠

滚珠丝杠是由丝杠、螺母及滚珠等零件组成的机械元件,其作用是将旋转运动转变为直线运动或将直线运动转变为旋转运动,它具有传动效率高、定位准确等特点,是传统滑动丝杠的进一步延伸发展。当丝杠作为主动体时,螺母就会随丝杠的转动角度按照对应规格的导程转化成直线运动,被动工件可以通过螺母座和螺母连接,从而实现对应的直线运动。滚珠丝杠通过联轴器和步进电机连接在一起,划膜笔支架与螺母连接。

### 2.3 试剂供给模块

工业注射泵由步进电机及其驱动器、丝杆和支架等构成,具有往复移动的丝杆、螺母也称为丝杆泵。螺母与注射器的活塞相连,注射器里盛放试剂。工作时,单片机系统发出控制脉冲使步进电机旋转,而步进电机带动丝杆将旋转运动变成直线运动,推动注射器的活塞进行注射输液<sup>[5]</sup>。通过设定螺杆的旋转速度,就可调整其对注射器针栓的推进速度,从而调整所给的药物剂量。工业注射泵的原理如图 4 所示。

### 2.4 按键显示模块

LCD 液晶屏能显示试剂浓度、划膜速度及长度、注射泵参数和系统运行状态,按键部分由“运行”、“暂停”、“停止”、“菜单”、“设置(光标移动)”、“+”、“-”和“确定”等组成,采用矩阵式键盘与单片机相连。

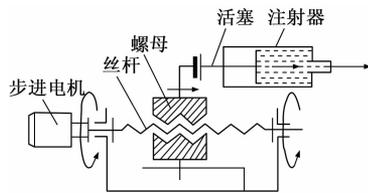


图 4 工业注射泵原理图

### 2.5 注射泵的通讯接口

每台 MSP1-C2 注射泵都有一个外部通讯接口，通过该接口可为注射泵提供电源并与其他设备通讯。每台泵设有唯一的地址，主控制器通过 RS-232 或 RS-485 与注射泵通讯。在本控制系统中我们选择的是 RS-232 通讯接口，该接口不支持硬件握手，并且只需要 3 根线：RXD、TXD 和信号地<sup>[5]</sup>。

### 2.6 行程开关

在划膜仪的机械部分设计中，我们在系统原点处设置了一个行程开关，每当划膜笔支架运动到初始原点位置时，就会使开关闭合，对划膜仪原点位置的检测就转换为对行程开关状态的检测。单片机 P3.6 口用作输入，开关闭合时输入为低电平，断开时输入为高，由此判断划膜笔是否移动到原点位置。

## 3 控制系统的软件设计

使用 C 语言对划膜仪控制系统进行软件设计，用 KEIL C 软件完成程序的编写和调试。为了方便系统功能的扩展及维护，我们采用模块化设计方法，系统软件部分主要包括系统主程序设计、步进电机驱动程序、按键扫描程序、菜单程序、运行程序、与注射泵通讯程序、I<sup>2</sup>C 总线读写程序和液晶显示程序的设计。

### 3.1 系统主程序设计

主程序部分主要介绍了整个系统软件的运行过程，当系统上电或者复位后，首先要对系统进行初始化，包括单片机初始化，键盘和液晶初始化，定时器初始化（设置定时器工作方式为 16 位 T0 定时器方式），开总中断等，显示系统初始化运行状态，确定中断方式。然后，EEPROM 读取上一次存储的数据并显示，划膜笔支架运动到原点位置，注射泵准备。之后，进行参数设定和状态检测，进入按键管理子程序，通过判断按键内容调用相应的子程序<sup>[6]</sup>，主流程图如图 5 所示。

### 3.2 系统子程序设计

当菜单键按下时，系统显示设定参数状态，执行菜单子程序。菜单子程序主要完成了系统参数的设置，主要包括划膜速度及长度和注射泵抽液速度的“-”、“+”设定，设置键负责光标移动，确定键完成参数设置等。当运行键按下时，系统显示运行状态，进入运行子程序。

在运行子程序中，划膜笔低头接触 NC 膜，支架按照设定好的参数正向移动，同时通过 RS232 通讯向工业注射泵发出指令，抽取试剂在 NC 膜上划膜。当支架运动到右极限位置时，脉冲计数值 N 溢出，电机和工业注射泵同时停止，电磁铁控制划膜笔离膜。电机快速反转，回到原点位置，定时器初值和计数值初始化，准备下一个周期的工作。工作过程中需随时查询步进电机和注射泵的工作状态，保证系统工作正常。

根据系统对划膜长度和划膜速度的要求，需计算控制系统脉冲计数值 N 和单片机输出脉冲的频率 f(定时器定时周期 T

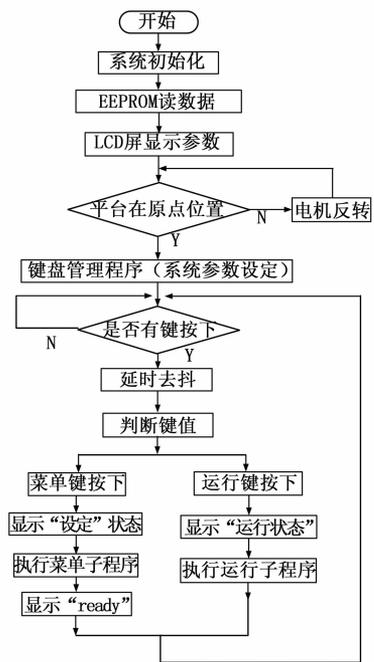


图 5 主程序流程图

的倒数)。划膜仪电机的步距角为  $\theta_s$ ，丝杠导程为 S，划线长度为 L，设定的划膜速度为 v。

$$N = \frac{360L}{S * \theta_s}$$

$$f = \frac{N}{t} = \frac{360v}{S * \theta_s}$$

## 4 结论

本控制系统以单片机为核心，综合运用涉及到的电子和机械等各方面知识，利用步进电机驱动技术、电子电路技术、单片机控制技术以及电动机调速技术等设计了往复式划膜仪控制系统，可实现划膜试剂浓度 0.1~10  $\mu\text{L}/\text{cm}$ ，划膜速度 10~150 mm/s 和划膜长度 30~300 mm 的要求，且划膜均匀平稳，可操作性高，可根据实际生产需求制造。该设计用途广泛，可应用于医学、生物工程等领域，实现胶体金层析速测试纸的高效大量生产，用以疾病的检测和医学实验。

### 参考文献：

- [1] 鞠莹, 曹远银. 胶体金免疫层析快速诊断技术 [J]. 现代生物医学进展, 2009, (11): 2191-2193.
- [2] 黄芬, 叶绍辉, 龚振明. 免疫层析快速诊断试纸条的制备及其应用 [J]. 当代畜牧, 2006, (8): 20-22.
- [3] 张迎新. 单片机微型计算机原理与应用及接口技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [4] 王鸿钊. 步进电机控制技术入门 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] 刘新生. 可编程注射泵控制系统的设计 [D]. 太原: 中北大学, 2008.
- [6] 陈曦, 代丙媛. 往复式 NC 膜划膜仪 [J]. 仪表技术与传感器, 2012, 1: 010.