

临床多通道微量注射泵的设计

林 纯¹, 周 永¹, 茅靖峰¹, 朱 翔², 贺佳彦², 陆国平³

(1. 南通大学 电气工程学院, 江苏 南通 226019; 2. 南通大学附属医院, 江苏 南通 226001;

3. 江苏信息职业技术学院, 江苏 无锡 214153)

摘要: 基于步进电机的单片机控制方法, 设计了一台具有 3 个通道独立注射功能的微量注射泵. 该注射泵采用单片机作为核心控制芯片, 通过 3 台步进电机的细分控制实现了注射器的高精度注射功能, 并应用旋转编码器对步进电机的工作状态进行监测反馈. 当注射完毕或出现工作状态异常时, 系统将给出提示报警. 实验测试结果表明该系统能应用于临床以实现同时对 3 种不同药液不同输注速度和注射量的高精度控制.

关键词: 多通道; 微量注射泵; 步进电机

中图分类号: TP29

文献标志码: A

文章编号: 1673-2340(2015)02-0007-05

Research and Design of Multi-channel Clinical Micro Injection Pump

LIN Chun¹, ZHOU Yong¹, MAO Jingfeng¹, ZHU Xiang², HE Jiayan², LU Guoping³

(1. School of Electrical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China;

2. Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, China;

3. Jiangsu College of Information Technology, Wuxi 214153, China)

Abstract: On the control method of the single chip microcomputer of stepper motor, a micro injection pump with a three-channel independent function of injection was designed. One type of single chip microcomputer was employed as the core control chip, and the subdivision control of three stepper motors was used to realize the high precision syringe injection function, one type of rotary encoder was applied to monitor and provide feed back about the working state of the stepper motors. When the injection finishes or abnormal working state emerges, alarm will be signalled from the system. The experimental results showed that the system can be used in clinical to realize high precise control of three kinds of speed and injection quantity to liquid synchronously.

Key words: multi channel; micro injection pump; stepper motor

微量注射泵是一种数字化、智能化的医疗仪器, 主要用于在临床上实现高精度的注射、输注定时定量的药液、各大院校及研究所的动物实验、工

业领域对流体流量或流速的精确控制^[1]. 临床上对某些药物的注射速度和精度要求很高. 当对所用药物的给药量要求非常准确、给药总量很小、给药过

收稿日期: 2015-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(61174066); 南通市应用研究计划项目(BK2013062)

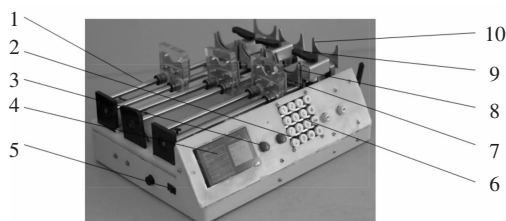
作者简介: 林纯(1980—), 女, 副教授, 主要研究方向为电气技术. E-mail: lin.c@ntu.edu.cn

程需缓慢或长时间恒定时,使用注射泵可以实现高精度长时间注射过程^[2-3]。

按照通道数来划分,注射泵可分为单通道注射泵、双通道注射泵、四通道注射泵和六通道注射泵等^[4-6],常见的有单通道注射泵和四通道注射泵两种。国内外的成品微量注射泵种类很多,功能大同小异。一般国产医用注射泵的注射精度不高,所使用的注射器一般容量较大,都是10 mL以上的,较常用的有10, 20, 50 mL等^[7]。进口的注射泵一般在输液过程检测和控制、注射精度、注液速度选择范围等方面做得更加完备些,但是相应的成本就比较高^[8-9]。因此,研究开发一套注射精度高、能实现多通道同时独立控制的微量注射泵是有价值的。

1 系统介绍

本文所设计的多通道微量注射泵主机如图1所示。它可以实现3个通道的独立注射及其注射速度控制。装有注射液的注射器针翼放置在注射器固定架上,通过注射泵压杆辅助固定,注射器可选择10, 20和50 mL 3种型号。



1-丝杆滑台;2-停止;3-开始;4-人机对话界面;5-电源开关;6-键盘模块;7-顶块;8-针翼固定片;9-L形压杆;10-注射器针筒托片。

图1 多通道微量注射泵主机图

1.1 系统图及界面介绍

注射泵工作时通过步进电机的转动带动丝杆上的顶块前行,顶块推动注射器以指定的速度前行,完成注射动作。最少注射量可达到0.001 mL/s。微量注射泵界面上设置有键盘模块,其中数字键,DEL键和上下键用来设置各个通道的注射速度;Change键用于选择注射通道号和注射器的型号;左右键用来控制顶块的左移和右移;GO键即开始键,用来确定键盘模块设定的信息,打开对应选择的通道,开始注射;STOP键用来暂停当前所选择通道的

注射;静音键用来关闭报警提示音。

人机对话界面采用3.5寸彩色液晶屏,如图2所示。可通过键盘模块设置各个通道的注射器型号、注射总量、注射速度和剩余液量等信息并在人机对话界面上显示。各个通道的信息显示切换可通过按Change键来实现。当任意通道注射殆尽,屏幕下方会显示注射泵对应的注射通道号信息并发出报警提示音。



图2 微量注射泵显示屏示意图

1.2 系统工作流程

根据需要,用户将符合要求的注射器安装到注射器支架上。1台注射泵可以同时实现3种药物不同速度的注射,也就是说注射泵的3个通道上可以同时安装上注射器进行注射。根据药物注射需要设置微量注射泵各个通道的注射总量,注射速度和注射器型号。按下GO键后,注射泵将检测各通道的设置信息,并将之转换为定时器定时初值,控制电机运行。各通道的信息在没有键盘输入的情况下每2s刷新一次以保证显示屏上显示实时的注射信息。系统设置了30s的注射殆尽准备时间。如:当通道1的注射时间只剩下30s时,显示屏上开始显示“通道1即将注射完毕!”字样,同时给出报警提示音,方便医护人员作好注射完毕的准备工作。当注射完毕或监测到故障信息时,注射停止并发出声音报警。具体的工作流程如图3所示。

2 系统硬件设计

该微量注射泵主要由步进电机及其驱动器、行程开关、旋转编码器、控制系统、显示器、按键及报警系统组成,如图4所示。设置了3个独立的注射通道,能同时实现3种不同药物的不同速度的注射。每个注射器由对应的一台步进电机及其驱动器带动注射,实现30s注射完毕的预警功能,以给医

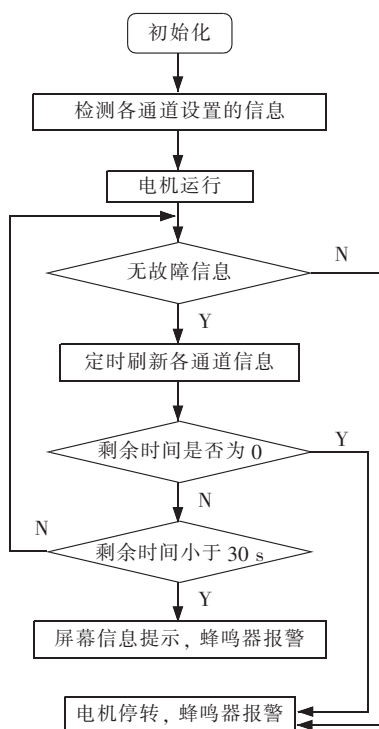


图3 微量注射泵的工作流程图

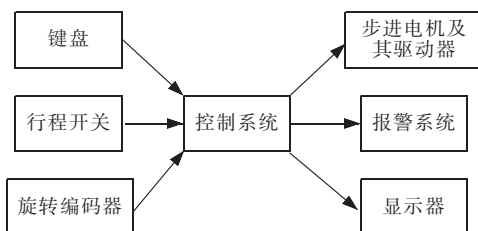


图4 微量注射泵的硬件原理图

护人员足够的应对和处理时间;采用良好的人机对话界面,使得显示更直观,操作更便捷.对工作过程中的注射故障作出响应,及时停止注射并给出报警提示.

2.1 控制系统

控制系统接收来自键盘、行程开关、旋转编码器的信息,经处理后给出步进电机的驱动信号,控制步进电机运行,同时根据输入状态驱动报警系统和显示器.总之,控制系统在整个微量注射泵的工作过程中起到了核心作用.本控制系统采用STM32F103ZET6作为主控芯片.STM32F103ZET6芯片具有专为高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用设计的ARM Cortex-M3内核,最高工作频率为72 MHz,该芯片中还集成了定时器,控制器局域网(CAN),模数转换器(ADC)等多个模块,共有11

个定时器足够设计时使用.芯片还具有体积小,功耗低的特点,适合用作微量注射泵的主控芯片.

2.2 步进电机及其驱动器

2.2.1 步进电机

该微量注射泵中所使用的电机为3台36GP-42H250B08型行星步进减速电机.该型号电机由混合式步进电机和减速比为27:1的行星齿轮减速器组成.电机通过减速以达到低转速、大力矩、消除电机低速运转震荡的目的,满足传动机构的负载和运转.减速器采用小模数行星齿轮传动,具有结构紧凑、体积小重量轻、传动可靠、控制性能优良等特点.

2.2.2 步进电机驱动模块

步进电机驱动器的作用是分配控制脉冲、放大功率,控制步进电机绕组能通电运行.本设计采用HM240D步进电机驱动器来驱动步进电机.该驱动器具有过压、短路等保护功能,动态电流控制技术使电流发热较低,静止时电流减半.该驱动器的控制信号由前述控制系统提供.

2.3 丝杆滑台

如图1所示,微量注射泵上注射器的安装方向和丝杆滑台的方向一致,即滑台的方向就是药物注射的方向.丝杆结构的作用是将步进电机的旋转运动转变为顶块的直线运动.采用导程为2 mm的T8丝杆,即丝杆每旋转一周,顶块移动2 mm.机械结构上,在丝杆滑块与光杆之间增加2个同一直径的轴承,以减少注射泵工作时顶块直线前进的阻力.

2.4 针筒固定装置

针筒固定装置由针翼固定片、L形压杆和注射器针筒托片组成.针翼固定片由2个弧形铝片构成.组装时在2个铝片之间预留3 mm间隙,用于放置并固定注射器的针翼,保证其不会水平滑动.L形压杆的结构如图5所示.

位于顶部的黑色压块可以在水平方向顺时针或逆时针方向绕轴90°转动,压块朝下设有弧面.纵向圆柱形空心套筒内置有弹簧结构,控制压块可以在竖直方向拉伸.安装注射器时,先将压块纵向拉伸并旋转至与丝杆平行方向,然后将注射器针筒

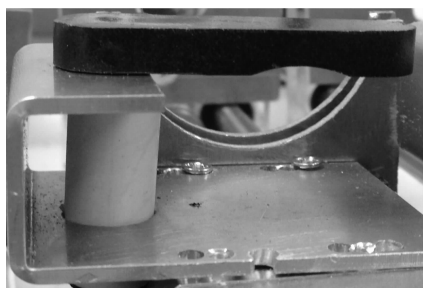


图5 注射器压杆的结构图

置于注射器针筒托片上, 针翼置于两弧形铝片之间, 将压块旋转回垂直于丝杆的方向, 使得压块弧面和针筒可靠配合, 注射器固定妥当. 下设弧面的压片结构使得该固定装置可以固定多种型号的注射器.

2.5 电源模块

电源模块由电源接入端、充电器、电池、降压模块组成. 步进电机驱动器采用6节有过充、过放、过流、短路等保护功能的18650锂电池芯串联成24V锂电池组供电. 该锂电池由XVE2520050, 24V锂电池充电器充足电后工作. 单片机及其他模块供电电压为5V. 它由LM2596S可调降压模块对24V电压降压处理后提供.

3 系统软件设计

微量注射泵的软件设计在Keil4开发环境下完成, 采用模块化的设计结构, 分成主控模块和各通道步进电机驱动模块2个部分. 主控模块主要负责系统初始化、自诊断、键盘识别、液晶显示、状态监测、报警功能的实现和中断处理; 步进电机驱动程序用于检测键盘输入的信息, 每50ms对按键进行一次扫描检测, 将之转换为相应频率的脉冲信号, 驱动各注射通道对应的步进电机以适合的速度运行. 系统初始化包括单片机、定时器、显示器和全局参数的初始化; 自诊断即判断微量注射泵是否正常运行, 包括诊断步进电机是否转动, 3个丝杆滑台的末端行程开关是否正常、旋转编码器有无脉冲信号输出、剩余注射时间是否为敏感值、键盘模块中开始键和暂停键有没有输入动作等内容. 若自诊断不正常则电机停转并给出报警提示; 若自诊断正常则继续注射动作. 下面介绍软件设计中涉及的数值计算和步进电机定位处理问题.

3.1 剩余液量与剩余时间的计算

计算注射剩余液量和剩余时间是软件设计中需要处理的一个技术问题. 确定好注射总量值 S 后, 根据式(1)可计算得 N , 即为注射完毕总共需要的PWM波的脉冲数 N_{pwn} .

$$N = S \times 64 \times \frac{360^\circ}{1.8^\circ} \times \frac{1}{d \times \pi \times r^2} \quad (1)$$

式中: d 为丝杆导程, r 为注射器内径, 64为步进电机驱动器的细分数, 1.8° 为步进电机步距角. 运用PWM捕捉技术每100ms对已输出PWM波脉冲数进行计数得到 n_{pwn} , 由式(2)计算 N_{pwn} 和 n_{pwn} 的差值 n .

$$n = N_{\text{pwn}} - n_{\text{pwn}} \quad (2)$$

$$T_r = \frac{S_r}{v} \quad (3)$$

将 n 代入式(1)中 N , 计算出 S 即剩余液量 S_r , 再通过式(3)算得剩余时间 T_r .

3.2 推杆精确定位控制

作为注射器注射动作的推动部件, 推杆的移动不能像普通开合螺母那样通过弹簧夹随意移动, 它仅由丝杆带动. 在推杆定位时, 靠步进电机恒速运动实现, 若步进电机转速过低, 则需要较长的调节时间; 若转速过高, 推杆的定位受惯性影响会不精确. 针对以上问题, 本系统对推杆定位时采用了二级停止的方法. 具体步骤如下: 按下左右移动键后步进电机逐渐加速至 n_r , 如图6所示, 此后一段时间以 n_r 恒速运行; 当推杆接近目标位置时, 按下停止键, 步进电机由 n_r 逐渐降速到 n_0 , 并以 n_0 恒速运行; 当推杆达到目标位置时, 再次按下停止键, 步进电机停止. 实验证明, 采用停车二级减速的方法可以有效地实现短时推杆精确定位, 节约调节时间.

4 系统测试结果分析

在注射泵的3个通道上依次加上10, 20, 50mL的注射器, 如图7a所示. 设置注射总量分别为6, 15, 36mL, 注射速度分别是10, 20, 40mL/h, 按下GO键, 3个通道同时开始工作. 刚上电时, 显示屏详细信息如图7b, 7c所示, 这2个通道的显

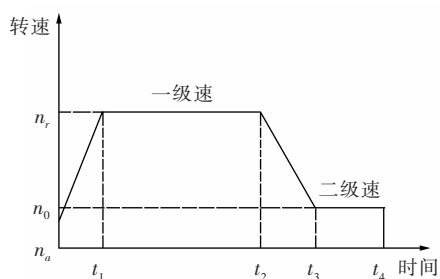


图6 停车二级减速的原理图

示切换可以通过将光标定位到“CH1”,按“change”键实现,用同样的方法也可以显示通道3的详细信息.经过30 min测试;注射量分别为5,10,20 mL,实现了预期的正常注射功能;又经过5.5 min后,蜂鸣器报警,屏幕上提示通道1注射殆尽,实现了注射殆尽报警提示功能,显示屏详细信息如图2所示.测试结果证明,本文设计的微量注射泵能应用于临床药液注射,具有较强的实用性.



a 注射泵工作状态图



b 左界面通道1信息



c 界面通道2信息

图7 系统测试结果图

5 结论

本文讨论了一种三通道微量注射泵的设计问题,给出了一套可复现的多通道微量注射泵的软硬件设计方案,实现了临床上对输注药液速度和药量的可靠控制.多通道的微量注射泵将多组注射装置设计在同一个注射泵主体上,有利于节约资源和病房操作空间.目前,微量注射泵正朝着多通道的方向发展,因而所设计的系统具有广泛的应用前景.

参考文献:

- [1] Hartley F T. Miniature peristaltic pump technology and applications[J]. Journal of Advanced Materials, 2000, 32(3): 16-22.
- [2] 吴泽华,曹伟华,龙尚斌.精密微量注射泵的设计与实现[J].现代电子技术,2009(15):139-142.

- [3] 帅万钧,晁勇,徐世宁,等.微量注射泵流速的质量控制研究[J].医疗卫生装备,2010,31(8):123-125.
- [4] 李兆梅.微量注射泵在ICU应用中存在的问题与对策[J].山东医药,2003,43(2):34.
- [5] 刘辉,李侗正,胡强.多通道微量注射泵的设计与实现[J].现代电子技术,2011,34(7):167-169.
- [6] 曹伟华,吴泽华.传感器技术在微量注射泵中的应用[J].电子技术,2009(7):10-11.
- [7] 陈曦,王清,蔡姗姗.微量注射泵的设计与实现[J].化工自动化及仪表,2013,41(3):290-293.
- [8] 王恩刚.人体便携式自动输液器的研制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [9] 郑正学.WZ系列微量注射泵监控系统及软件设计[J].计算机时代,2005(9):21-22.

(责任编辑:仇慧)