

基于 PLC 的试管自动转移装置的设计

余正轩, 曾台英

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 基于全自动医学检验流水线试管转移机构的工作要求, 设计一套以机械手为主体的试管自动转移装置。**方法** 以基于 FX2N PLC 可编程控制器作为控制核心, 配合其他硬件设备实现试管转移的自动运行。描述系统的机械结构设计、工作内容规划和控制系统软硬件部分的设计。**结果** 设计研发的试管转移装置的定位精度为 11 μm , 能够完成自动转移试管的工作。**结论** 该装置机械结构设计合理、运行稳定、工作效率高、定位精准。硬件系统与软件系统巧妙结合, 充分发挥了 PLC 控制器和触摸屏人机交互界面的强大功能, 能够在全自动医学检验流水线中代替人工, 实现装载、转移试管的工作。

关键词: 试管转移; 机械手; 控制系统; PLC

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0167-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.032

Design of Automatic Test Tube Transfer Device Based on PLC

YU Zheng-xuan, ZENG Tai-ying

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to design a set of test tube automatic transfer device based on manipulator according to the operating requirements of the test tube transfer mechanism in the automatic medical inspection assembly line. With the programmable controller based on FX2N PLC as the control core, the automatic operation of the test tube transfer was realized with other hardware devices. The design of mechanical structure design, the work content planning and the software and hardware design of the control system were emphatically described. With 11 μm positioning accuracy of the test tube transfer device designed and developed, the automatic transfer of the test tube could be completed. The device is featured by reasonable mechanical structure design, stable operation, high working efficiency and accurate positioning. The ingenious combination of hardware system and software system gives a full play to the powerful functions of PLC controller and touch-screen man-machine interface, which can be used in automatic medical inspection assembly line, instead of the manual loading and transfer of the test tube.

KEY WORDS: test tube transfer; manipulator; control system; PLC

随着国家医疗保障制度和社保制度的改革, 医疗行业对进行信息化管理的要求越来越严格。设计研发一套能够代替原有烦琐的人工检验过程的全自动医学检验设备显得尤为重要^[1]。全自动医学检验系统是一套由计算机智能控制的分析系统, 它将医学检验过程中各项独立的操作工序以特殊的物流传送设备串联起来, 在信息流的主导控制下, 构成流水线作

业的组合, 形成检验过程的自动化、信息化^[2-3]。为完成在全自动医学检验过程中, 对试管的自动选择和转移试管的问题, 亟待开发一套以机械手为主体的试管自动转移装置。

自动化控制技术的发展使得机械手已成为现代化工业生产流水线中广泛应用的重要工具。机械手能够完成移动、抓取、搬运等一系列动作, 在许多领域

收稿日期: 2017-07-12

基金项目: 上海市属高校应用型本科试点包装工程专业建设项目 (1017309004)

作者简介: 余正轩 (1994—), 男, 上海理工大学硕士生, 主攻印刷包装机械控制。

通信作者: 曾台英 (1978—), 女, 博士, 上海理工大学讲师、硕导, 主要研究方向为包装印刷设备及其控制检测技术。

中代替人工操作,具有较高的工作效率和准确性。文中基于全自动医学检验流水线系统中的试管转移机构的工作要求,设计了一套以机械手为主体的试管转移装置,以 FX2N PLC (Programmable Logic Controller) 作为核心控制器,实现对该试管转移机构的自动化控制,配合步进电机驱动器、触摸屏等设备,使得对该机构的操作和调试更加灵活方便。

1 机械结构设计及工作过程规划

1.1 工作过程规划

根据全自动医学检验流水线系统中试管转移机构的功能要求设计,以机械手作为执行件终端。该机构在流水线中实现的主要功能是将上样工作台上装有待检样品的试管取出,并放入流水线下一执行机构工位上。试管转移机械手在上样模块中的安装示意图 1。

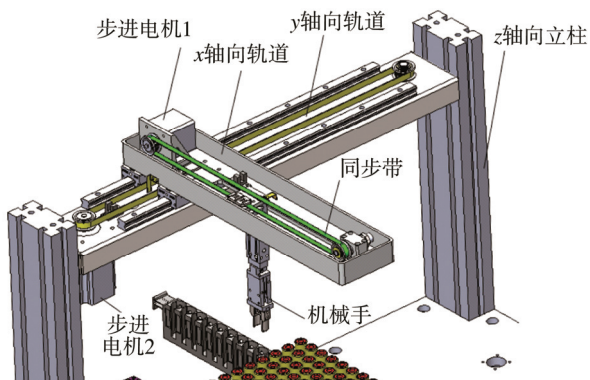


图1 试管转移机械手在上样模块中的安装

Fig.1 Installation of the test tube transfer manipulator in the upper sample module

该试管转移机械手的工作过程主要包括机械手的定位、抓取和转移动作。收到指令后,由电磁阀控制机械手沿 z 轴方向向上抬起,取出试管;通过步进电机 1 和 2 的协调运动将试管转移到下一个工位的指定位置,然后通过电磁阀控制机械手沿 z 轴向下运动,将试管放入下一个工位的试管孔内,随后松开机械手并复位,即完成一次试管转移动作,并等待接收下一次动作指令。机械手的动作轨迹见图 2。

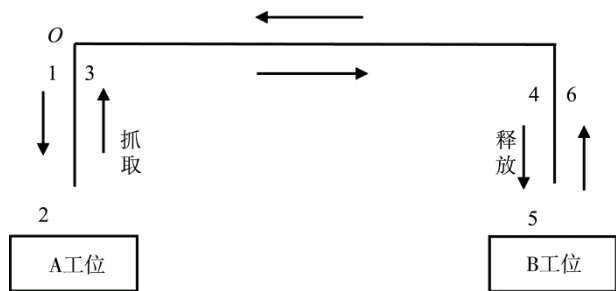


图2 试管转移机械手的动作轨迹

Fig.2 Motion trajectory of test tube transfer manipulator

试管转移机械手完成一个自动循环周期的操作路径见图 2 中 1→2→3→4→5→6 标示的顺序,将试管从 A 工位移动到 B 工位然后回到 O 点,其中 O 点为机械手运动的起始位置。若在执行过程中按下紧急停止按钮,机械手将停留在该工位上,当再次按下启动按钮,则又从该工位继续工作^[4]。上述的运行轨迹需要机械手在三维坐标中完成向上下、左右、前后移动以及夹取和放松等动作。在每次开机工作之前,需要对机械手进行复位操作。

1.2 机械结构设计

基于上述功能及工作过程规划的要求,并结合全自动医学检验流水线整体的结构特点,设计了一套试管转移机构。其主体为一个机械手(气动夹具),该机械手安装在导轨 1 和导轨 2 上,配合气缸可完成 x, y, z 三向运动,完成对试管的取出和放置动作^[5]。

考虑到试管转移装置要求较高的控制精度,采用步进电机作为 x 轴、 y 轴的驱动单元,通过 2 个步进电机带动同步带用以实现机械手在 x, y 轴方向的运动,用来定位目标试管的位置。电机与同步带轮组成啮合传动,其同步运动和动力是通过带齿与齿轮相啮合传递的,具有传动比恒定、效率较高的优点^[6],能够完成将机械手准确送至目标试管位置的工作。

由于机械手是两段式结构,所以其通过 2 个电磁阀分别控制机械手的 z 轴方向运动以及机械手的夹紧与放松。因为它只有 2 个工位的要求,一个是机械手在上位还是在下位,还有一个就是机械手的夹紧与放松,而这些操作只需要采用气动的方式就可以完成对其 2 个位置进行控制。

2 控制系统实现

试管自动转移机械手控制系统的主要功能是使机械手能够实现定位、抓取、转移试管动作的自动循环运行,包括对步进电机、电磁阀的控制和对触摸屏信息输入输出的处理。

2.1 硬件设计

根据功能要求设计的控制系统主要由 PLC 控制器、触摸屏、步进电机驱动器和电磁阀等部分组成。外部输入信号通过输入端口送入 PLC 控制器,再经过 PLC 输出端口分别向 x 轴、 y 轴步进电机驱动器和电磁阀发出信号,驱动电机工作并且控制机械手进行加紧或放松的动作^[4]。系统硬件设计见图 3。

基于三菱 FX2N PLC 的控制器是该试管转移装置的控制核心,用于接收并处理按钮开关信号和触摸屏的数据输入,同时作为开关量的逻辑控制,控制 2 个步进电机驱动器和 2 个电磁阀的开闭状态。搭配 LCD 触摸屏作为系统相关参数设置和指令传输并且

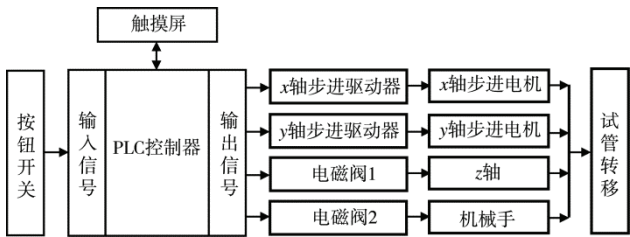


图 3 系统硬件组成
Fig.3 Composition of system hardware

监控系统的运行过程，实现工作人员与控制系统之间的交互。

步进驱动单元由步进驱动器和步进电机组成，通过和 PLC 控制器的连接来驱动机械手的运动。步进驱动器作为步进电机的驱动部分，接收从 PLC 发出的脉冲信号和方向信号从而控制步进电机的转动。具体接线电路见图 4。

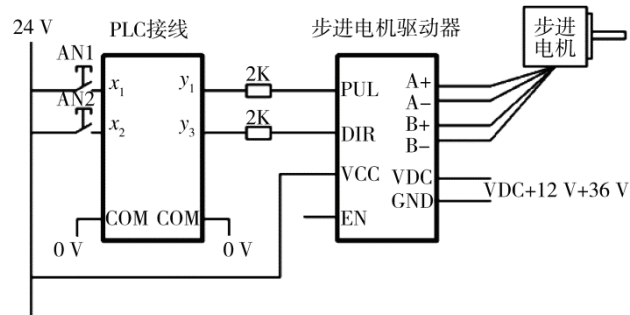


图 4 PLC、步进电机驱动器、步进电机接线原理
Fig.4 Wiring principle of PLC, stepping motor driver and stepping motor

图 4 中 x 轴步进驱动器的 PUL、DIR 分别接至 PLC 的 Y₁ 和 Y₃ 点。PUL 为脉冲信号，DIR 为方向信号，每一个脉冲信号的上升沿驱动电机转动一步，而方向信号则是控制步进电机转动的方向。将步进驱动器的 A+、A-、B+、B- 与步进电机的动力线相连^[7-8]。y 轴步进驱动器电路设计思路与 x 轴类似，此处不再赘述。

2.2 软件设计

控制系统的软件设计是整个控制要求得以实现的核心。文中机械手装置的软件部分设计主要包括以 PLC 为控制器的控制程序和以触摸屏为主体的人机界面软件开发这 2 部分。控制程序开发基于 GX Developer 的编程软件，机械手的运动控制过程需要具体的程序实现^[9-10]。为了便于查看和修改程序，在主程序设计中采用了调用子程序的方式，分别编写了回零、步进电机驱动、电磁阀驱动等子程序。主程序设计见图 5。子程序中设计了手动调试和自动控制的切换程序。自动控制程序流程见图 6。

以触摸屏为主体的人机界面软件开发基于触摸屏组态软件 Draw，该软件是用于制作和下载触摸屏画面的软件，主要针对 PLC 控制系统的人机交互界

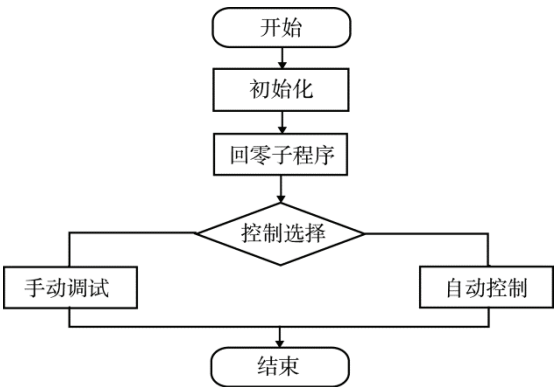


图 5 主程序设计
Fig.5 Main program design

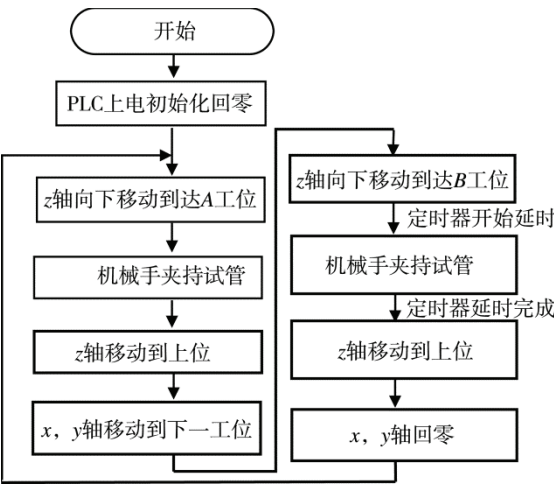


图 6 自动控制程序流程
Fig.6 Autocontrol program flow

面开发，操作简单，降低了人机界面开发的难度。该部分的主要功能是完成对 x、y 轴上步进电机的输入脉冲数和脉冲频率的设置工作，以及在手动调试时进行点动输入^[11-12]。该模块的人机用户界面见图 7。

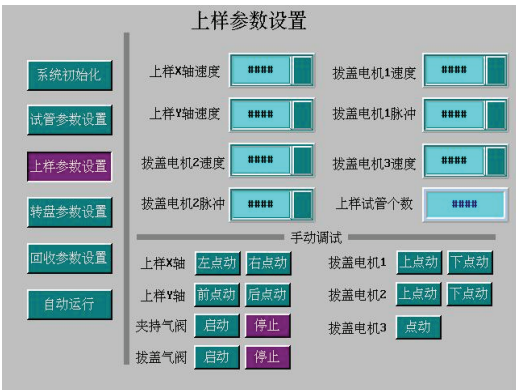


图 7 机械手参数设置模块人机界面
Fig.7 Man-machine interface for setting of manipulator parameters

3 精度测试方法

机械手装置的定位精度和重复精度可采用激光

干涉仪进行测试。如以 x 轴为例, 根据机械手的结构, 将反射镜安装在机械手上作为移动反射镜, 线性干涉镜作为固定光学镜, 激光束由激光发射器产生, 使干涉镜、反射镜互相准直并与机械臂的 x 轴垂直^[13]。其测量原理见图 8。测量时, 沿 x 轴运动的反射镜相对于固定的干涉镜移动一个采样间隙并停留预设时间, 来自激光器的光束进入线性干涉镜, 并在此处被分成 2 束。一束光 (称为参考光束) 射向线性反射镜 1, 另一束光 (称为测量光束) 穿过分光镜达到线性反射镜 2, 然后 2 束光都被反射经过分光镜后汇合, 并且彼此干涉。反射镜相对于线性干涉镜移动时, 干涉条

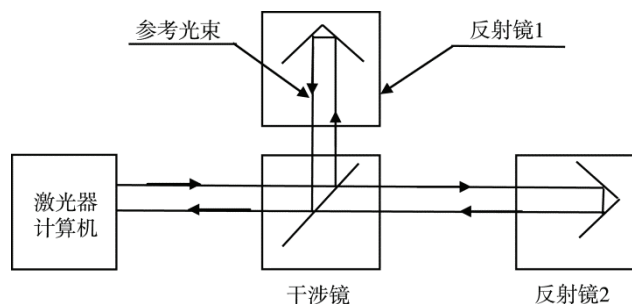


图 8 定位精度激光干涉测试原理

Fig.8 Test principle of positional accuracy laser interference

纹就产生周期性的明暗变化, 计算可以得到机械手在 x 轴的实际移动距离^[14]。

一般来说, 选择目标测量点不少于 5 个, 每个目标位置在每个方向上测量 5 次。在机械手向 x 轴上每一个目标点位置 P_i 运动时, 用干涉镜即机械手到达的实际定位点 P_{ij} , 减去目标位置 P_i 即得目标位置定位偏差 X_{ij} , 根据 n 次测量的偏差值就可确定该点的平均定位偏差值 $\bar{X}_i$ 和标准偏差 S_i , 见式 (1—2), 进而得到机械手在 x 轴的定位精度 R 和重复精度 A , 见式 (3—4)^[15]。

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{ij} - P_i) \quad (1)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2} \quad (2)$$

$$R = (2S_i)_{\max} \quad (3)$$

$$A = (\bar{X}_i + 2S_i)_{\max} \quad (4)$$

经测试计算数据统计见表 1, 可以得到 x 轴的定位精度为 $11 \mu\text{m}$, 重复精度为 $5 \mu\text{m}$ 。文中设计的机械手装置能够完成自动化转移试管的工作要求。

表 1 定位精度和重复性精度测试数据

Tab.1 Test data of positioning accuracy and repeatability accuracy

目标位置 P_i	定位偏差 X_{ij}					平均定位偏差 $\bar{X}_i$	标位偏差 S_i	定位精度 A	重复性精度 R
$P_1=0 \text{ mm}$	4.46	5.85	2.17	6.05	1.64	4.04	2.06		
$P_2=75 \text{ mm}$	6.43	3.77	8.07	4.84	2.91	5.2	2.07		
$P_3=150 \text{ mm}$	5.86	10.04	4.6	3.02	6.31	5.97	2.61	11.19	5.22
$P_4=225 \text{ mm}$	7.37	4.2	3.87	9.55	5.39	6.07	2.38		
$P_5=300 \text{ mm}$	3.89	5.72	10.47	5.26	4.52	5.97	2.61		

4 结语

全自动医学检验系统的研发是推动我国医疗卫生事业向信息化、自动化发展的重要环节。文中研发的全自动试管转移装置结构设计合理, 满足了检验流水线准确、高效的工作要求, 实用性高。基于 PLC 性能可靠, 控制灵活的特点, 设计了该试管转移装置的控制系統。通过对医学检验过程中试管转移的运动轨迹的分析, 实现对机械手的定位、抓取、转移等动作的控制, 完成将试管从某一机构传送到另一机构的控制要求。程序编写采用模块化的设计思想, 结构清晰, 便于检查。并搭配了 LCD 触摸屏作为人机交互界面, 实现对该装置的灵活控制和调试。通过实际操作验证, 该全自动试管转移装置运行稳定, 工作效率高, 能够完成全自动医学检验系统的试管转移工作。

参考文献:

- [1] 于森. 全自动医学检验分析仪控制系统 Petri 网建模应用研究[D]. 吉林: 长春工业大学, 2013.
YU Miao. Automatic Medical Laboratory Analyzer Control System Modeling Application Based on Petri Network[D]. Jilin: Changchun University of Technology, 2013.
- [2] 廖伟娇, 黎毅敏, 陈涛, 等. 临床实验室全自动化系统检验流水线的建立与应用[J]. 中华检验医学杂志, 2006, 29(2): 188—189.
LIAO Wei-jiao, LI Yi-min, CHEN Tao, et al. Clinical Laboratory Automation System Establishment and Application of Inspection Line[J]. Chinese Journal of Laboratory Medicine, 2006, 29(2): 188—189.
- [3] 牛爱军, 王开森, 张玮玮, 等. 医学检验自动化流水线信息化管理系统的构建及应用[J]. 国际检验医学杂志, 2012, 33(14): 1784—1786.
NIU Ai-jun, WANG Kai-sen, ZHANG Wei-wei, et al. Medical Test Automation Assembly Line Building and

- Application of Information Management System[J]. International Journal of Laboratory Medicine, 2012, 33(14): 1784—1786.
- [4] 刘燕, 邹萍, 管文娟. 基于 PLC 的三轴机械手控制系统的设计与实现[J]. 制造业自动化, 2016, 38(7): 21—24.
LIU Yan, ZOU Ping, GUAN Wen-juan. Design and Implementation of Control System for Three-axis Manipulator Based on PLC[J]. Manufacturing Automation, 2016, 38(7): 21—24.
- [5] 于军. 基于 STC12C5A60S2 的智能车设计[J]. 今日电子, 2016(8): 53—55.
YU Jun. Smart Car Design Based on STC12C5A60S2 [J]. Electronic Products, 2016(8): 53—55.
- [6] 姜少伟, 黄文权. 基于 RecurDyn 的重量选别机 S3M 同步带动力学仿真分析[J]. 煤矿机械, 2016, 37(4): 66—68.
JIANG Shao-wei, HUANG Wen-quan. Dynamic Simulation Analysis of S3M Synchronous Belt of Weight Selection Machine Based on RecurDvn[J]. Coal Mine Machinery, 2016, 37(4): 66—68.
- [7] 赵秀伟, 任建岳. 步进电动机控制系统设计概述[J]. 微特电机, 2014, 42(5): 8—13.
ZHAO Xiu-wei, REN Jian-yue. An Overview of Stepping Motor Control System Design[J]. Small & Special Electrical Machines, 2014, 42(5): 8—13.
- [8] 李汉, 钟饰勇. 步进电动机快速准确定位系统的设计[J]. 微特电机, 2011, 40(5): 34—36.
LI Han, ZHONG Shi-yong. A Design of The Rapid and Precise Positioning System of the Stepper Motor[J]. Small & Special Electrical Machines, 2011, 40(5): 34—36.
- [9] 初航, 史进波. 三菱 FX 系列 PLC 编程及应用 (第二版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
CHU Hang, SHI Jin-bo. Mitsubishi FX Series PLC Programming and Applications(second edition)[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.
- [10] 三菱公司. 使用手册-FX 系列微型可编程控制器[Z]. 2008.
Mitsubishi Electric Corporation. Instruction Manual-FX Series Micro-programmable Controller[Z]. 2008.
- [11] 袁清珂, 赵冲, 林立仁. 基于 PLC 气动式机械手控制系统的设计与开发[J]. 仪表技术与传感器, 2015(11): 60—61.
YUAN Qing-ke, ZHAO Chong, LIN Li-ren. Design and Development of Control System for Pneumatic Manipulator Based on PLC[J]. Instrument Technique and Sensor, 2015(11): 60—61.
- [12] 张平洋, 吴向前, 盖晓华, 等. 气动机械手的自动控制 and 上位机监控设计[J]. 工业控制计算机, 2010, 23(10): 43—46.
ZHANG Ping-yang, WU Xiang-qian, GAI Xiao-hua, et al. Automatic Control and Supervision with Host Computer for Pneumatic Manipulator[J]. Industrial Control Computer, 2010, 23(10): 43—46.
- [13] 王胜, 刘宏昭, 原大宁. 重型数控卧式车床定位精度的激光测量与误差补偿[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(3): 271—274.
WANG Sheng, LIU Hong-zhao, YUAN Da-ning. Laser Measurement and Errors Compensation of Position Accuracy for CNC Heavy-Duty Horizontal Lathe[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(3): 271—274.
- [14] 卢业坚. 浅析 Renishaw 激光干涉仪对数控机床直线位置精度的检测[J]. 质量技术监督研究, 2012(4): 24—27.
LU Ye-jian. Analysis of The Accuracy of Linear Position of Numerically-controlled Machine Tool by Renishaw Laser Interferometer[J]. Quality and Technical Supervision Research, 2012(4): 24—27.
- [15] 郑鹏, 张頔. A/C 轴双摆角铣头定位精度与重复定位精度检测[J]. 工具技术, 2015, 49(8): 95—97.
ZHENG Peng, ZHANG Di. Positioning Accuracy and Repeated Positioning Accuracy Detection for A/C Axes Bi-rotary Milling Head[J]. Tool Engineering, 2015, 49(8): 95—97.