

# 基于 STM32 和 PyQt5 的分子泵监控系统 设计与实现

张延顺, 宁远涛, 黄 涛, 吴晓鹏, 黄佳荣, 任维松

(上海裕达实业有限公司, 上海 200240)

**摘要:** 该文提出了一种高端分析仪器用分子泵的监控系统设计与实现方案。系统采用 Modbus - RTU 协议, 通过串口通信实现主从模式的实时数据交互。分子泵驱动器采用 STM32F030 单片机, 实现电机控制和数据采集; 上位机软件则基于 PyQt5 开发, 提供用户友好的界面进行远程监控和数据管理。系统的成功实施不仅提升了分子泵的性能和可靠性, 也为分子泵进一步国产化应用奠定基础。

**关键词:** 分子泵; STM32; PyQt5; Modbus

**中图分类号:** TP273

**文章编号:** 1000 - 0682(2025)02 - 0060 - 04

**文献标识码:** A

**DOI:** 10. 19950/j. cnki. CN61 - 1121/TH. 2025. 02. 011

## Design and implementation of a molecular pump monitoring system based on STM32 and PyQt5

ZHANG Yanshun, NING Yuantao, HUANG Tao, WU Xiaopeng, HUANG Jiarong, REN Weisong  
(Shanghai Institute of Satellite Equipment, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** This paper presents a design and implementation scheme for a monitoring system for molecular pumps used in high - end analytical instruments. The system employs the Modbus - RTU protocol to achieve real - time data interaction in a master - slave mode through serial communication. The molecular pump driver utilizes the STM32F030 microcontroller for motor control and data acquisition, the upper computer software is developed based on PyQt5, providing a user - friendly interface for remote monitoring and data management. The successful implementation of the system not only enhances the performance and reliability of the molecular pump but also lays the foundation for the further domestic application of molecular pumps.

**Keywords:** molecular pump; STM32; PyQt5; Modbus

## 0 引言

作为国家战略核心科技力量, 实验分析仪器是一个国家科技创新能力及综合国力的体现<sup>[1]</sup>。高速小型分子泵作为分析测试仪器(如电镜、质谱仪等)的关键核心部件, 其性能直接影响到仪器的分析精度和稳定性。高速小型分子泵因其高抽速、高效率 and 优异的稳定性, 成为质谱仪等高端分析仪器的关键组成部分。

然而, 国内在高端分子泵领域的自主研发能力尚显不足, 长期依赖国外产品, 这不仅增加了成本, 也限制了技术进步。针对这一现状, 自主研发了超高速高端仪器用小型分子泵及分子泵驱动器。该分子泵具有体积小、启动力矩大、额定转速高等特点, 驱动器控制方式为基于反电势过零检测的无位置传感器无刷直流电机控制。

分子泵作为高端分析仪器的组成部分, 需要与其他控制器等部件进行通信, 以实现分子泵的实时监测和精确控制。通信协议选用工业领域广泛应用的简单、可靠和易于实现的 Modbus - RTU 协议。为此, 该文设计了基于 STM32 和 PyQt5 的分子泵监控系统, 通信方式为 RS - 485 串口通信, 包含基于 STM32 的分子泵驱动器半双工串口通信设计和基

收稿日期: 2024 - 08 - 12

基金项目: 国家重点研发计划资助(2022YFF0707200)

第一作者: 张延顺(1987—), 男, 硕士, 研究真空应用设备测控系统与卫星地面装备。E - mail: zysnj@126.com

于 PyQt5 的上位机监控软件设计。最后基于该系统对分子泵进行实际功能检验。

## 1 总体设计

分子泵监控系统分为两部分,包括分子泵驱动器通信端口和上位机监控软件,系统拓扑结构如图 1 所示。两者为串口主从通信,通信协议为标准 Modbus - RTU。上位机监控软件作为 Modbus 主站。分子泵控制器通信端口作为 Modbus 从站,也可使用其他主站控制器和软件进行通信。

分子泵驱动器核心使用 STM32F030 单片机,除驱动控制功能外,同时检测分子泵各项实时运行数据,供上位机读取。单片机 USART 接口为 TTL 电平,通过半双工通信收发器转换为 RS - 485。

上位机监控软件基于绑定 Python 的 Qt 桌面应用程序框架 PyQt5 开发,采用了逻辑与界面分离的设计原则,主要实现分子泵远程控制、运行状态及实时运行数据的监测、存储和历史数据查询功能。

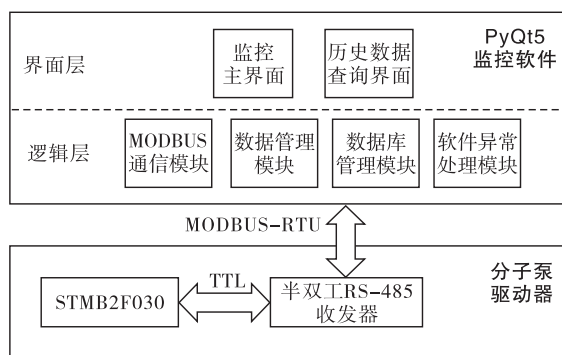


图 1 分子泵监控系统拓扑结构图

## 2 系统硬件设计

分子泵驱动器核心选用 STM32F030,STM32 的 USART 是全双工异步串口通信,TTL 电平,有 2 个传输线 TX 和 RX,其中 TX 为发送,RX 为接收。而 RS - 485 为半双工,需要  $-6 \sim +6 \text{ V}$  的电压,因此在使用过程中,常常通过 485 芯片来对电平进行转换。半双工通信收发器选用 SN65HVD3082 - EDR,通信端口电路如图 2 所示。

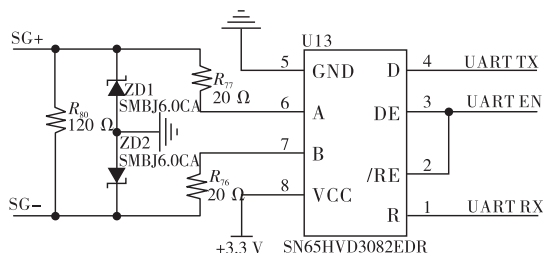


图 2 驱动器通信端口电路图

STM32F030 是一款高性能、低功耗的 32 位微控制器,采用 ARM Cortex - M0 内核,专为高性价比的嵌入式应用设计。它集成了多种通信接口(如 SPI,I<sup>2</sup>C 和 USART)和丰富的外设(包括 ADC、定时器和 PWM 等),具有紧凑的封装、灵活的配置选项和强大的开发工具支持,能够实现精确的电机控制和灵活的数据交换。

SN65HVD3082EDR 是一款由德州仪器(Texas Instruments)生产的高速 3 通道差分信号收发器,专为工业和汽车应用设计,支持高达 3.3 V 的供电电压和最高 4 Mbps 的数据传输速率。该芯片采用先进的 CMOS 工艺制造,具有封装低功耗、高噪声抑制和强电磁兼容性的特点,适合用于长距离、高可靠性的通信系统。

通过配置其串行通信接口 USART(PB6、PB7),设置适当的波特率和通信参数,STM32F030 能够精确控制数据的发送和接收。而 SN65HVD3082EDR 收发器则负责将微控制器的 TTL 电平信号转换为 RS - 485 所需的差分信号,提供高噪声抑制和强电磁兼容性,确保数据在复杂环境中的稳定传输。UART EN(PB5)为高电平时,STM32F030 发送数据,UART EN 为低电平时,STM32F030 接收数据。SG + 为 RS - 485 的 A 端,SG - 为 RS - 485 的 B 端。

## 3 系统软件设计

分子泵监控系统软件包括驱动器通信端口程序和上位机程序。驱动器通信端口程序主要实现串口通信从站配置及数据处理,作为芯片固件程序一部分使用 keil5 开发。上位机程序主要实现串口通信主站配置和分子泵运行及控制等数据的采集、显示和存储,使用基于 Python 的 PyQt5 框架开发。

### 3.1 驱动器通信程序设计

驱动器通信端口程序中驱动器通信端口配置为串口通信从站,程序主要包含 USART 初始化配置、寄存器配置、Modbus 处理。主要使用 STM32 的串口 USART 功能(用于收发数据)、I/O 功能(用于使能和失能 RS - 485 的收发)、定时器功能(用于对接收的数据的间隔进行计时,以判断数据帧是否接收完成)、CRC 功能、FLASH 读写功能以及 Modbus 的服务函数。分子泵运行实时数据如分子泵转速、驱动器电流、驱动器电压、电机温度、轴承温度、运行状态等通过分子泵驱动程序实时采集。部分参数如设备地址、波特率、设定频率、温度限值及驱动控制参数等存储在芯片内部 FLASH 中,可以掉电保存。

Modbus - RTU 是一种主从通信模式的串行通信协议(见表 1),该协议因其良好的适用性被广泛的使用<sup>[2]</sup>。1 个数据帧可以分为设备码、功能码、数据码和校验码 4 个部分。设备码为设备地址,分子

泵驱动器默认为 1。为简化通信功能,功能码只支持 0x03 读寄存器和 0x06 写单个寄存器。数据码为需要读写操作的数据。校验码为 16 位的 CRC 校验,使用 CRC 查表法实现。

表 1 Modbus - RTU 协议

类别	设备码	功能码	数据码				校验码
读数据主站发送			起始寄存器地址 2Byte		寄存器个数 2Byte		
读数据从站应答			数据长度 1Byte		数据:数据长度 × 2		
写数据主站发送	1Byte	0x03	起始寄存器地址 2Byte	寄存器个数 2Byte	数据个数 1Byte	数据 数据长度 × 2	2 Byte
写数据从站应答			起始寄存器地址:2Byte		寄存器个数:2Byte		

驱动器通信程序处理流程如图 3 所示。

(1) 上电 USART 初始化,设置 UART EN 为低电平,使能接收数据;

(2) 寄存器配置,将分子泵数据的地址映射到 Modbus 寄存器数组;

(3) 启用 USART 中断读取缓冲区接收到的每一个字节,存入接收数据区;

(4) 通过系统定时器循环检查接收到的数据是否为完整的 Modbus 帧,若为完整帧,进行 Modbus 数据处理;

(5) 首先进行设备码判断,再进行 CRC 校验。若 CRC 校验正确,根据 Modbus 功能码调用对应的处理函数,如果 CRC 校验不正确,则不予响应,结束处理;

(6) 计算并校验 CRC 码,确保数据的准确性;

(7) 根据需要构建响应数据,写入发送数据缓冲区;

(8) 设置 UART EN 为高电平,使能发送数据;

(9) 循环发送数据,直至完成后,延时一段时间,设置 UART EN 为低电平,重新使能接收数据。

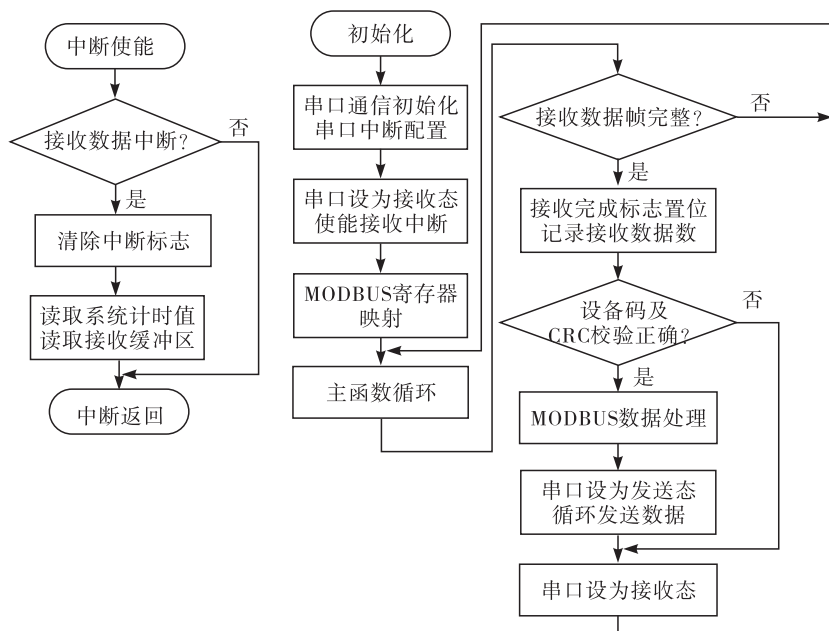


图 3 驱动器通信处理流程图

### 3.2 上位机程序设计

PyQt5 是一个用于创建图形用户界面 (GUI) 的 Python 库,基于 Qt 库,Qt 是一个用于创建跨平台应用程序的 C++ 库。它提供了丰富的组件和工具,使得开发人员能够使用 Python 语言快速构建功能强

大的应用程序。PyQt5 支持 Windows, MacOS 和 Linux 等多种操作系统。PyQt5 具有高效的代码生成器,可以使用 Qt Designer 快速创建用户界面,并将其导出为 Python 代码。信号 (Signal) 和槽 (Slot) 是 Qt 中的核心机制,也是在 PyQt5 编程中对象之间

进行通信的机制。

设计采用界面与逻辑分离的原则,通过将用户界面与业务逻辑分离,开发者可以更灵活地修改和扩展应用程序,而不会对其他部分产生影响,有助于提高软件的可维护性、可扩展性和可重用性。设计开发具体实现如下:

(1)使用 QtDesigner 设计软件界面 UI,通过外部工具 PyUIC 将其转化成 py 文件;

(2)新建 mainwindow. py,创建 MainWindow 类,绑定相应的 signal 和 slot,实现业务逻辑;

(3)在主函数 main. py 中实例化类 MainWindow,并调用 show 方法显示。

上位机分子泵监控软件使用 VS Code 作为开发工具,按照功能主要分为分子泵运行监控、分子泵参数配置和分子泵历史数据查询。实现各种功能的功能模块主要由 Modbus 通信模块、数据管理模块、数据库管理模块以及软件异常处理模块构成。软件数据库采用 SQLite3,作为一款轻量级、独立式的数据库管理系统,因其无需配置、ACID 兼容、跨平台、丰富的 SQL 支持以及高性能等特点,广泛应用于移动

应用、桌面应用、嵌入式系统及 Web 开发中。

Modbus 通信模块调用 Modbus\_tk 库,完成与分子泵驱动器的 Modbus - RTU 主从通信,通过内部定时器设置,周期性进行底层数据交互。数据管理模块主要功能包括采集到的分子泵数据的转换、显示、参数配置。

数据库管理模块调用 sqlite3 库和 openpyxl 库,主要功能包括 SQLite3 数据库的新建与连接,采集数据定时写入数据库,数据库历史数据的查询与 EXCEL 导出。

软件异常处理模块主要包括通信连接异常、数据配置异常、数据库管理异常等软件运行出现异常时的提示与处理。若出现软件异常,如通信失败或数据库查询失败等,会弹出提示框进行提示,并自动进行软件保护处理操作,如断开通信连接或数据库连接。

最终,使用 PyInstaller 工具将 Python 代码和依赖项打包成一个单独的可执行文件。分子泵监控软件界面如图 4 所示。



图 4 分子泵监控软件界面

## 4 系统测试

使用 USB 转 485 通信转换器连接分子泵驱动器和测试电脑,打开分子泵监控软件。首次打开会自动创建 database. db 数据库文件。依次打开串口和开始采样后。软件按照采样周期自动采集并显示分子泵运行数据。点击“启动”或“停止”按钮,可以控制分子泵启停。点击历史报警“刷新”按钮,可以读取最近 10 次的历史报警记录。点击右侧“参数读取”可以读取驱动器内部设定参数。点击右上角“📄”按钮进入历史数据查询界面,可按照时间设置查询历史数据,并可将其导出 Excel 文件,供后续处理。图 5 所示为分子泵监控软件运行界面。



图 5 分子泵监控软件运行界面

(下转第 104 页)

高的识别准确率和处理速度,尤其在处理光照条件不佳和仪表类型多样化的场景时表现出色。综上所述, YOLOv5 在复杂场景下的工业仪表识别任务中取得了显著成果,展现出较高的实用价值。尽管 YOLOv5 模型在多个场景下表现出色,但在处理仪表损坏严重或存在重度遮挡的情况下,其识别准确率仍有待提高。

#### 参考文献:

- [1] BOKAI ZHANG, DARRICK STURGEON, ARJUN RAVI SHANKAR, et al. Surgical instrument recognition for instrument usage documentation and surgical video library indexing[J]. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization, 2023, 11(4): 1064 – 1072.
- [2] 陈开峰, 俞伟聪, 唐雁文, 等. 基于轻量化深度神经网络的数字仪表识别[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(2): 674 – 680.
- [3] KOSTIUCHIK GEORGII, SHARAN LALITH, MAYER BENEDIKT, et al. Surgical phase and instrument recognition: how to identify appropriate dataset splits[J]. International journal of computer assisted radiology and surgery, 2024, 19(4): 699 – 711.
- [4] 孙辉, 李晓峰, 程远方, 等. 基于改进联合滤波与 CNN 模型的仪表识别算法[J]. 制造业自动化, 2023, 45(10): 166 – 172.
- [5] 杨典, 李小燕, 刘培焱, 等. 基于 OpenCV 的变电站仪表识别方法研究[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(4): 75 – 80.
- [6] ZHAO WENTING, WANG SHIGANG, ZHAO YAN, et al. A study on attention – based fine – grained image recognition: Towards musical instrument performing hand shape assessment[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence: The International Journal of Intelligent Real – Time Automation, 2024, 129(Mar.): 107512. 1 – 107512. 9.
- [7] 郝琨, 韩冰, 李志圣, 等. 基于投影阈值分割和数字序列校正的高噪声数字仪表图像识别方法[J]. 电子科技大学学报, 2023, 52(5): 728 – 738.
- [8] 张森, 万吉林, 王慧芳, 等. 基于注意力机制的卷积神经网络指针式仪表图像读数识别方法[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(4): 218 – 224.
- [9] 钱玉宝, 王紫涵, 邱腾煌. 指针式仪表读数识别的研究现状与发展[J]. 电子测量技术, 2024, 47(8): 110 – 119.
- [10] 张琳. 基于传感器的工业仪表信号采集与处理技术研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(3): 111 – 116.
- [11] 赵伟达, 陈海文, 郭陆阳, 等. 基于 YOLO – E 与改进 OCRNet 图像分割的变电站仪表读数自适应识别方法[J]. 电力建设, 2023, 44(11): 75 – 85.
- [12] 高志国, 袁牧, 童旸, 等. 基于 PCBAM – YOLOv5 网络的变电站表计缺陷检测[J]. 电子设计工程, 2023, 31(4): 77 – 81.
- [13] PENG G, DU B, LI Z, et al. Machine vision – based, digital display instrument positioning and recognition[J]. 2022, 29(2): 230 – 243.
- [14] 金爱萍, 袁亮, 周德勤, 等. 基于 YOLOv5 和 U – net 的指针式仪表读数识别方法[J]. 仪表技术与传感器, 2022(11): 29 – 33.
- [15] 孙顺远, 魏志涛. 基于刻度轮廓拟合的指针式仪表自动识别方法[J]. 仪表技术与传感器, 2022, 2(8): 51 – 57.
- [16] 刘培焱, 叶尔扎提 · 努尔德别克, 孙敏, 等. 基于智能机器人的变电站仪表识别系统[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(12): 28 – 33.

(上接第 63 页)

## 5 结论

通过对基于 STM32 和 PyQt5 的分子泵监控系统的设计与实现, 为高端分析仪器的小型化分子泵控制提供了一种有效的解决方案。该系统在 STM32 驱动控制基础上, 结合串口 Modbus 通信、PyQt5、SQLite3 的便捷化、轻量化开发优势, 实现了分子泵的实时监控及数据管理功能, 为高端分析仪器用小型化分子泵的国产化应用奠定基础。

此外, 该文所设计的分子泵监控系统还具有较

好的可扩展性和灵活性, 可根据实际需求进行功能扩展和升级, 未来, 随着物联网、大数据等技术的不断发展, 该系统可进一步与这些先进技术融合, 实现更加智能化、自动化的分子泵监控与管理, 为高端分析仪器的应用和发展提供更加全面的技术支持。

#### 参考文献:

- [1] 李天柱, 高皓天, 王亚东. 高端科学仪器的创新特性与产业发展思路[J]. 科技和产业, 2021, 21(2): 109 – 114.
- [2] 卢文俊, 冷杉, 杨建军. 基于 Modbus 协议的控制器远程监控系统[J]. 电力自动化设备, 2003(06): 54 – 56.