

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.04.056

卷烟厂空压机监控系统的研究与应用

张刚,周桂鹏,李鸿轩,李耀光,孟令威,杜浩,袁庆伟

(山东中烟工业有限责任公司青州卷烟厂,山东 青州 262500)

摘 要:介绍一种卷烟工业现场空压机系统运行状态的上位机监控软件,软件采用 C#高级语言编码完成,通过 RS485 总线接口与空压机系统核心控制器 PLC 进行连接。西门子 PLC 作为逻辑控制器实现冷却水泵变频器的控制,各类模拟量、数字量 I/O 的控制和信号采集以及其他仪器仪表的控制和数据采集功能。监控软件与 PLC 之间采用 Modbus RTU 协议实现数据交互。软件实现了空压机系统控制流程监视、参数设置、趋势曲线显示、故障报警、数据报表和硬件组态等一系列功能。通过实验和工业现场应用验证的结果表明:该系统运行稳定可靠,可在生产实践中广泛推广。

关键词:空压机系统;监控系统;Modbus RTU;西门子 PLC

中图分类号:TP277;TP311 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)04-0311-05

Research and Application of Air Compressor Monitoring System in Cigarette Factory

ZHANG Gang, ZHOU Guipeng, LI Hongxuan, LI Yaoguang, MENG Lingwei, DU Hao, YUAN Qingwei

(Qingzhou Cigarette Factory of Shandong China Tobacco Industry Co., Ltd., Qingzhou 262500, China)

Abstract: This paper introduces an upper computer monitoring software for the running state of the air compressor system in cigarette industry, which is coded by C# and connected to the core controller PLC of the air compressor system through RS485 bus interface. Siemens PLC is adopted as a logic controller to achieve the cooling water pump inverter control, all kinds of analog, digital I/O control and signal acquisition and other instrumentation control and data acquisition functions. With the Modbus RTU protocol, the data interaction between the monitoring software and PLC is realized. The software realizes the functions of air compressor system control flow monitoring, parameter setting, trend curve display, fault alarm, data report and hardware configuration. The experiment and industrial field application results show that the system runs stably and reliably, and can be widely promoted in production practice.

Keywords: air pressure system; monitoring system; Modbus RTU; Siemens PLC

0 引言

随着各国工业的发展,全球可利用资源随之减少,各国政府积极推动可再生资源的发掘技术和节能技术,以实现经济的可持续发展^[1]。空压机广泛应用于国民经济和国防的许多领域。在卷烟工业中,空压机系统作为卷烟生产过程中重要的动力能源之一,为制丝车间、卷包车间的设备提供压缩空气。但是,空压机是高耗能设备。据不完全统计它所消耗的电量占全国总发电量的 9% 以上;同时空压机也是产生高温和强噪音的设备,对长期在现场的工作人员身体健康产生一定影响。因此在卷烟生产过程中,对空压机的精准控制以及运行状态实时远程监控、故障诊断等显得

尤为重要^[2]。传统空压机控制模式主要依赖空压机本体自带的控制器和显示界面,工作人员需在现场操作空压机面板,实现设备的启/停、压力设定、报警查询等。空压机冷却系统现场设有操作箱,采用人工进行操作。整个过程自动化程度低,工作效率不高^[3]。虽然目前针对空压机实时监控的系统已有较为成熟的产品,但在可靠性、多功能性和节能控制等方面还有很大的提升空间。国内很多学者针对目前空压机监控系统存在的不足进行了大量的研究。饶新等^[4]将 BP 神经网络的理论应用于空压机联动监控环节中,实现了设备物联互通,通过网络实时在线监控设备运行,达到了快速监控的效果。杨林^[5]开发了基于物联网的空压机远程管理系统并建立云服务器,实现实时远

基金项目:山东中烟工业有限责任公司科技项目(202201003)

第一作者简介:张刚(1991—),山东潍坊人,工程师,硕士,研究方向为计算机技术、工业自动化控制技术, yjh_723@163.com。

程监控、故障诊断等功能,对提高生产效率和设备维护效率起到很好的作用。

本文研究的空压机监控系统采用高级语言 C#实现。监控界面设计模拟流程控制图、运行参数设置、重要运行数据实时趋势图、故障报警、数据报表和硬件组态界面数据,可根据设备运行数据调整运行参数,从而达到节能减排的效果。系统可设置数据报警阈值,在设备运行过程中自动检测故障并报警,这不仅提高了设备故障检出率、设备维修效率;还可通过适当网络手段实现任意地点的远程监控,这减少了现场操作人员数量,为企业节省了人力成本。经过试验验证和现场应用实践表明,该系统运行稳定、可靠性高、系统界面功能强大、操作便捷,能够满足生产实际需求。

1 系统总体架构

1.1 总体架构设计

空压机系统是由冷却塔、冷却水循环泵、空压机、过滤器、储气罐等部件组成,各部件均通过西门子 PLC 控制^[6]。运行上位机监控软件的工业 PC 通过 RS485 总线与西门子 PLC 连接,使用 Modbus RTU 协议完成上位机软件与西门子 PLC 之间的通信,实现过程数据的实时采集、控制命令的发送和配置参数的下载。整个系统架构如图 1 所示。

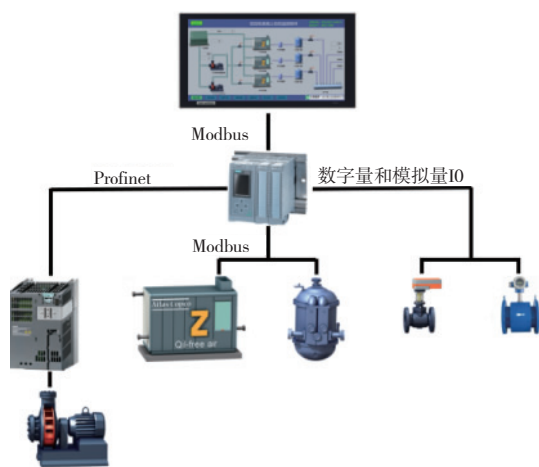


图 1 空压机监控系统架构

卷烟工业现场空压上位机集中监控系统是通过 Visual Studio 2019 开发环境完成的 WinForm 应用程序,采用 C#高级语言实现;整个软件架构采用 C#编程典型的三层架构实现,即显示层、业务逻辑层和数据访问层再加上实体类库组成,具有

“高内聚,低耦合”的特点^[7]。利用这种分层结构,降低了层间依赖,使系统的耦合更加松散,从而使整个系统更加容易维护和复用。

整个上位机监控系统自下而上包括串口通信接口、Modbus RTU 通信库、空压机系统实体类库、逻辑业务处理模块、UI 显示和参数配置功能模块。

串口通信接口库是上位机软件连接 RS485 总线的底层通信函数库,通过调用串口通信接口库函数实现串口参数配置和打开、关闭串口等功能;在 RS485 总线通信机制中需要设置串口号、波特率、数据位、停止位和奇偶校验等通信参数,并通过调用打开或关闭函数来启动和关闭 RS485 通信^[8]。

Modbus RTU 接口库是根据 Modbus 协议使用 C#实现的通信库,通过把交换数据封装成 Modbus RTU 数据帧格式发送到 RS485 总线,下位机 PLC 接收到请求命令后解析并做出响应,上位机软件接收到响应数据解析后给空压机系统实体类库中的对象赋值,完成数据采集和界面显示。

实体类库主要是根据空压机系统中实际用到的各种配置参数、运行状态数据而封装的对象类库,在整个软件业务逻辑和 UI 中通过对象的调用,实现空压系统参数配置和过程数据的实时显示。

逻辑业务模块是把 UI 界面中需要设置的参数数据经过处理后写入 Modbus RTU 通信库函数的参数中,然后调用 Modbus RTU 通信库函数完成参数配置;同时解析 Modbus RTU 通信库函数读取的下位机数据并显示在 UI 界面中。

UI 界面用来显示空压机系统运行状态、趋势曲线、报警信息、数据报表等信息;参数配置界面用于设置 PLC 组态,RS485 通信参数设置,空压机系统中按键指令、参数配置等功能的实现。

1.2 Modbus RTU 通信协议

Modbus 协议由施耐德电气公司于 1979 年发明,是全球第一个真正用于工业现场的总线协议。Modbus 协议已经成为工业领域通信协议的业界标准,它是 OSI 模型应用层报文传输协议^[9-10]。作为开源协议,在包括智能仪表、PLC 和 DCS 系统中得到广泛应用。Modbus 协议分为三种通信方式: Modbus RTU、Modbus ASCII 和 Modbus TCP^[11]。

本文研究使用的是 Modbus RTU 通信协议模

式,它是一种主从式串行异步半双工通信协议,基于 RS485、RS422、RS232 物理层的通信协议。每个字符通信格式规定为 1 个起始位、8 个数据位、1 个校验位、1 或 2 个停止位,协议使用 CRC 校验作为错误检查^[12]。无论是主站请求报文,还是从站应答报文,其帧结构都如表 1 所示^[13]。

表 1 Modbus 报文帧格式

内容	起始位	地址	功能码	数据	CRC	结束符
帧格式	至少 3.5 字符	8 bit	8 bit (N×8)	bit 16 bit	16 bit	至少 3.5 字符

起始位、结束符至少是 3.5 个字符传输时间的停顿间隔,时间标定消息的开始或结束。Modbus 报文中第 1 个字节传输的是设备地址,该字节表明该帧数据是发给指定地址码的从机设备。数据帧中第 2 个字节是通信协议中规定的功能码,在 Modbus 通信中功能码的范围是 1~127^[14]。从节点接收到数据报文后解析出功能码,根据功能码来作出响应,同时把包含与主节点相同功能码的响应报文发送给主节点设备,表明从节点设备已响应主节点进行了操作。如果从节点响应错误,会把功能码最高位置 1 发送到给主机点设备,表明发生了响应错误^[15]。

1.3 空压机系统下位机部件组成

本文研究的空压机系统下位机是用西门子 PLC1516-3PN/DP 作为核心控制器,下位机控制器 PLC 与空压机系统中的空压机、干燥机、储气罐和部分智能仪表通过 RS485 总线进行通信,通过模拟量输入模块获取温度、压力、液位、压差等参数,通过模拟量输出模块来控制过滤器、流量阀等阀门开关;通过 Profinet 总线与变频器来控制冷却水循环泵流量大小。

2 上位机监控软件设计

2.1 软件流程设计

本文研究的空压机监控系统包括 UI 界面和后台程序构成,整个软件使用 3 个线程实现:主线程、Modbus 通信线程和报警信息更新线程。主线程实现 UI 界面切换、数据刷新显示和设备参数的设置等功能;Modbus 通信线程是在主线程中建立的子线程,通过 while 语句循环请求 Modbus 从站数据并写入上位机实体类对象;报警信息更新线程循环查询空压机的运行状态,通过实时值与阈值比较获得实际的报警信息。整个软件运行

流程如图 2 所示。

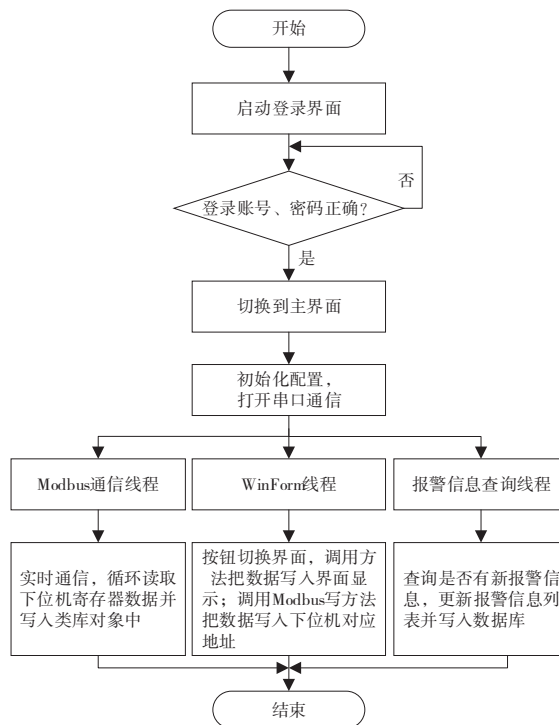


图 2 空压机上位监控软件执行流程

2.2 Modbus RTU 通信库的设计

本文研究的系统中采用的 Modbus RTU 通信库主要包括串口打开关闭方法、串口接收数据事件和 Modbus 请求从站数据的方法。其中 Modbus 请求从站数据的方法包括读线圈状态、读输入位状态、读保持寄存器、强制单个线圈、预置单个保持寄存器、预置多个寄存器和 CRC 校验方法。各功能方法实现过程如下所述^[16]。

1) 串口打开关闭方法实现。系统中采用 .Net Framework 提供的串口类实现。通过封装成名称为 OpenComm、返回值为布尔类型的函数来实现串口打开功能;通信需要的串口号、波特率、数据位、奇偶校验和停止位作为函数参数传入到函数内部,然后调用串口 Open()方法来打开串口等待数据通信;通过调用 Close()方法关闭串口通信^[17]。

2) Modbus 接收数据方法的实现。首先通过 while 语句查询 SerialPort 串口库提供的接收缓存区字节数量 BytesToRead 变量值是否大于 0,若大于 0 则继续读取缓冲区数据直到 BytesToRead 值为 0,然后根据接收数据帧中功能码解析数据帧类型。具体实现流程如图 3 所示。

3) Modbus 数据请求功能实现。Modbus 协议是一主多从的通信方式,有一个主机可以挂接多

个从机,每个从机具有唯一的地址用来辨别身份,并通过不同的功能码来实现所要读取/写入的内容。系统中主要涉及到 0x01 读线圈状态功能码、0x05 强制单个线圈功能码、0x03 读保持寄存器功能码和 0x06 预置单个寄存器功能码^[18]等。

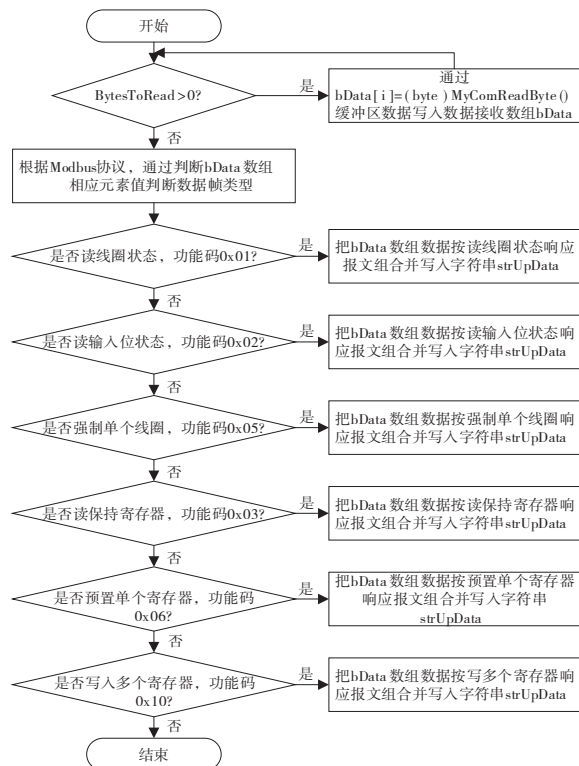


图3 Modbus 数据接收及解析流程

在 Modbus 通信类库中实现读取保持寄存器功能。首先根据协议帧格式拼接报文,报文由 8 字节组成,一个字节的从站地址,一个字节的的功能码,两个字节的寄存器开始地址,两个字节的待访问的寄存器数量和两个字节的 CRC 校验码;然后通过调用 SerialPort 通信库中的 Write() 方法发送查询报文,程序等待 300 ms 后查询字符串型全局变量 strUpData,并拆分字符串 strUpData 赋值到数组,从而获得从站相应寄存器的数据^[19]。

Modbus 协议中预置单个寄存器是主机向从机的某个 4X 类型的寄存器写入数据。在 Modbus 通信类库中实现预置单个寄存器功能。首先根据协议帧格式拼接报文,报文由 8 字节组成,一个字节的从机地址,一个字节的的功能码,两个字节的寄存器地址,两个字节的预置数据和两个字节的 CRC 校验码;然后通过调用 SerialPort 通信库中的 Write() 方法发送查询报文,程序等待 300 ms 后查询字符串型全局变量 strUpData,并拆分字符串 strUpData 赋值到数组,从而获得从机响应寄存器

的数据^[20]。

2.3 上位机软件界面设计

软件界面主要包括登录界面、控制流程、参数设置、趋势曲线、故障报警、数据报表和硬件组态画面等。主要界面及功能如图 4 所示。

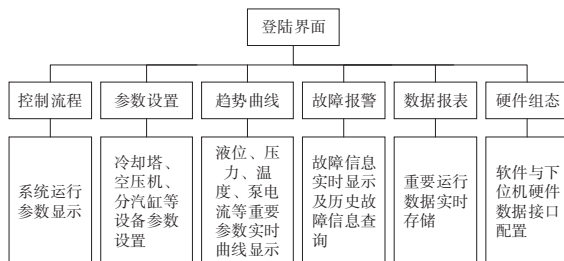


图4 软件界面功能设计

登录界面是软件启动界面,通过验证输入的用户名称和密码后进入软件运行主界面;控制流程界面主要用于显示空压机控制过程中各被控部件压力和温度及阀门开闭状态;参数设置界面主要是对冷却塔回水温度阈值、供水温度阈值、回水压力阈值、供水压力阈值、冷却泵频率高低限位阈值、空压机运转频率、分汽缸压力高限阈值及温度高限阈值等参数进行设置;趋势曲线界面可通过选择按钮对重要参数进行实时显示和历史数据显示;故障报警界面显示空压机系统运行过程中报警信息;数据报表界面是实时读取空压机系统中数据,然后定时把报表数据写入数据库中供查询;硬件组态界面设计有串口通信参数配置界面用来设置串口通信的串口号、波特率、数据位、停止位、奇偶校验参数;IO 变量配置界面用来配置上位机变量与下位机地址,使上位机能够根据对应地址读写数据,报警信息配置界面用来设置报警数据的上下限阈值。

3 实验验证和分析

本文研究对空压机上位监控系统与 Modbus Slave 软件进行了仿真测试。Modbus Slave 作为 Modbus RTU 从站来模拟 PLC 寄存器功能。空压机系统中各类运行参数和设置参数需要与从机地址进行关联,在上位机监控软件中“硬件组态”界面使用新建功能来添加地址映射,使用界面内“修改”按钮来修改已添加的变量地址映射,使用“删除”按钮来删除多余的变量地址映射条目,然后点击“保存”按钮实现把变量配置信息写入到配置文件。

在控制流程界面、系统配置参数界面,通过双击参数输入框调出数据输入对话框,写入新数据后点击“确定”按钮,数据写入下位机 PLC 控制器中。

传统空压机控制模式主要依靠操作人员巡检空压机本体或查阅空压机控制器报警记录来发现并解决设备故障。由于故障的随机性,往往发现故障的时间滞后,也导致故障处理的时间加长。空压机监控系统还可以设定参数报警阈值,系统在运行过程中监控数据超出阈值会自动报警并保存报警信息,大大提高了故障诊断效率。实验统计分析说明,传统模式下故障发现的时间约为 17 min,解决故障的时间为 38 min。空压机上位监控系统应用后,由于各项工艺参数和设备的异常可以第一时间触发报警并显示,使得故障发现的时间可以控制在 1 min 以内。由于发现及时,解决故障的时间可以控制在 10 min 以内,保证了设备的安全稳定运行。

4 结语

本文研究的空压机监控系统软件设计灵活、配置简单、操作便捷,软件内容完整详细,方便实时监控空压机系统运行状态,减少人工现场检查流程;同时可以利用 PC 机的大容量硬盘存储空压机系统的历史数据,这有利于追溯设备历史生产状态和产品生产数据。

实验验证表明:空压机上位机监控系统实时监控设备运行情况,大大提高了故障诊断效率,进而提高了设备维护效率,减少了操作现场人员数量,降低了人力成本。该监控系统将是工业现场空压机智能化设备必备的组成部分,符合现代化和智能化发展的要求,并可在生产实践中广泛推广。

参考文献:

- [1] 范高原. 空压机智能控制系统的应用[J]. 化工管理, 2021(25):139-140.
- [2] 吕晨悦. 空压机智能控制系统及远程监控技术的研究[D]. 上海:上海工程技术大学, 2020.
- [3] 赵丞达. 空压机检测与控制系统的研究[J]. 机械管理开发, 2021, 36(8):237-238.
- [4] 饶新, 方建安. BP 神经网络在空压机远程监控系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2012, 25(10):9-10.
- [5] 杨林. 基于物联网的空压机远程监控及管理系统[D]. 杭州:浙江工商大学, 2018.
- [6] 宋维华. 基于 PLC 的低压变频器集成监控系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(6):167-169, 206.
- [7] 林辉灿, 刘扬, 高鹰, 等. 基于 C# 的 Modbus 协议的实现与应用[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(9):15-17.
- [8] 王小祥. MODBUS RTU 解析与应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(9):133-136.
- [9] 刘青亮, 姜秋红. 基于 Modbus RTU 主站通信协议的 PLC 监控系统设计[J]. 煤矿机电, 2019, 40(5):84-86.
- [10] 张浩, 魏飞, 张家旭. 基于 Modbus-RTU 的水面航行平台无线动力控制系统[J]. 电子测量技术, 2021, 44(2):6-9.
- [11] 黄立华, 张海鹏, 刘洪江. 基于 Modbus 协议的混砂车数据采集系统设计与实现[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(2):95-97, 102.
- [12] 李慧静, 刘慧文, 李东敬. 基于 Modbus-RTU 协议的串口通信软件实现[J]. 内蒙古科技大学学报, 2017, 36(4):372-376.
- [13] 史先传, 张本阳, 卢鸿运, 等. 基于 Modbus RTU 协议的多传感器数据采集系统设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2024(7):46-50, 76.
- [14] 许连阁. 基于 ModBus RTU 协议的卷烟厂配电参数监视系统[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2021, 37(3):64-70.
- [15] 刘宁宁, 殷华文, 郭壬戌. Modbus-RTU 协议的浮点数传输设计[J]. 自动化应用, 2024(10):275-278.
- [16] 张哲, 李菲, 张平. 浅谈几种串口通信协议的对比以及故障处理[J]. 中国仪器仪表, 2025(1):89-92.
- [17] 周阳, 周美娇, 黄波, 等. 基于 C# 的串口通信系统的研究与设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(7):135-140.
- [18] 冯新强, 孟庆鹏, 曹亚鹏. 基于 Modbus-RTU 的空压机一体化改造[J]. 压缩机技术, 2023(5):58-61.
- [19] 张丽果, 张毅, 曾泽沧, 等. 高速通信系统中并行 CRC 计算及电路实现[J]. 西安邮电大学学报, 2024, 29(1):71-80.
- [20] 王岩, 高建波, 张传锦, 等. 生产现场远程监控方法与系统[J]. 现代制造工程, 2020(1):113-117, 57.

收稿日期:2023-09-25