

人工合成金刚石系统的通信设计与实现

牛杰,何文雪,邹鑫

(青岛大学 自动化学院,山东 青岛 266071)

摘要:以采用微波等离子 CVD 法合成金刚石现场设备的数据采集和通信为研究内容,设计基于 Modbus/TCP 协议与 RS-485 通信协议的数据采集与通信系统。系统以西门子 S7-1200PLC 为控制内核,微波发生器 GMP G4 以及质量流量计 FCST1000 作为硬件核心。通过分析 Modbus/TCP 协议的报文结构以及 RS-485 通信协议的数据传输帧格式,在西门子 TIA portal 软件中进行程序设计,实现 PLC 对微波电源以及质量流量计的数据采集与通信。经现场运行表明,该系统稳定可靠,能够满足设计要求。

关键词:金刚石;人工合成系统;数据采集;西门子 PLC;RS-485;Modbus/TCP

中图分类号:TP391.4 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)02-0120-03

Design and Implementation of Communication for Artificial Diamond Synthesis System

NIU Jie, HE Wenxue, ZOU Xin

(School of Automation, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: Focused on the data acquisition and communication of the diamond field equipment synthesized by the microwave plasma CVD method, a data acquisition and communication system based on Modbus/TCP protocol and RS-485 communication protocol is designed. The system adopts Siemens S7-1200PLC as the control core, microwave generator GMP G4 and mass flow meter FCST1000 as the hardware core. Through the analysis of the message structure of the Modbus/TCP protocol and the data transmission frame format of the RS-485 communication protocol, the program is designed in the Siemens TIA portal software to realize the data acquisition and communication of the PLC to the microwave power supply and mass flowmeter. The on-site operation shows that the system is stable and reliable and can meet the design requirements.

Keywords: diamond; artificial synthesis system; data acquisition; Siemens PLC; RS-485; Modbus/TCP

0 引言

随着金刚石制备技术的发展,高品级的金刚石在工业领域得到了广泛的应用,这使得世界各工业大国越来越重视金刚石制备技术的研究。目前,我国虽是金刚石生产大国,但在高品级单晶金刚石的生产上仍面临重重困难,主要原因在于高品级金刚石在形核生长过程中对于温度、气体流量等工艺参数的控制精度比较严苛^[1]。因此,设计一个能够可靠快速地采集和处理过程变量的通信系统尤为迫切。

针对温度和气体流量过程参数的数据采集,分别对微波加热装置与 PLC 的通信和气体流量控制装置与 PLC 的通信进行设计。该设计方案可以广泛适用于使用微波等离子 CVD 技术人工合成金刚石的情况,使金刚石合成过程状态数据可视化,有利于提高合成高品级金刚石的转化率,获得更显著的经济效益。

1 通信系统硬件设计

1.1 通信系统的总体结构

通信系统主要包括上位机、微波加热装置、质量流量

计和 PLC 组成。微波加热装置的作用是对合成金刚石气体原料进行电离和加热。质量流量计的作用是对多种气体进行精确测量和控制。采用西门子 S7-1200PLC,实现对设备的数据采集和自动控制。通信系统结构底层有 4 个质量流量计和 1 个微波发生器,中间是 1 个西门子 PLC,上层是上位机监控中心。4 个流量计互相串联通过 RS-485 二线制与 PLC 相连,微波发生器通过双绞线与 PLC 相连。系统结构如图 1 所示。

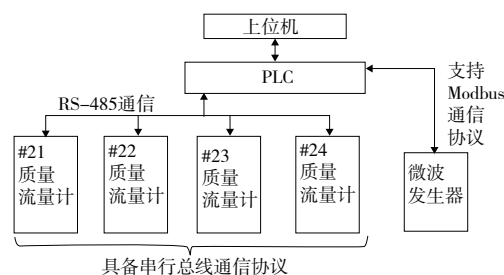


图 1 系统结构图

1.2 硬件的选型

控制器选用西门子 PLC1215C,该产品具有通信模块

第一作者简介:牛杰(1995—),男,山东日照人,硕士研究生,研究方向为计算机控制。

集成工艺和大容量存储器,具有集成 PROFINET 接口,并且可以在 CPU 前方加入一个信号板扩展数字或模拟量 I/O^[2]。扩展信号模块选用信号板 CB1241(RS-485),仅支持 RS-485 电气接口。微波加热装置选用法国某公司的第四代微波发生器 GMP G4 60 K T400,该版本具有数显前面板,可用于本地远程控制,具有弧光检测和工作环境扩展测量功能,支持 Profibus、CanOpen 和 TCP/IP 通信协议,输出微波功率为 6 kW。质量流量计选用定制的 4 种不同气体种类的 FCST1005 系列常开型流量计,分别为 O₂(10SCCM)、Ar(10SCCM)、CH₄(50SCCM)和 H₂(1SLM),支持 RS-485 通信协议,标准通信速度为 38 400 bps,流量输出信号为 0~5 V 直流电。

2 通信系统的软件设计

2.1 S7-1200PLC 与微波发生器的通信设计

S7-1200PLC 与微波发生器的通信遵循单客户端(Client)、单服务器(Server)的通信结构^[3]。在通信连接之前,需要通过数显前面板将微波发生器通信方式设置为 Modbus/TCP 模式,并设置本地 IP 地址。

在通信连接过程中,PLC 作为客户端向服务器即微波发生器发出请求报文,服务器根据请求作出响应报文,经过程序设计处理报文数据实现数据的实时传输^[4]。报文长度为 32 个字节,根据读和写命令请求的不同对应的报文 Modbus 地址编号有所不同。在对设备进行读取操作时,报文的起始 Modbus 地址编号为 100;在进行对设备进行写入操作时,报文的起始 Modbus 地址为 000。

在博图软件中进行程序设计时,首先设置 PLC 以太网地址,然后添加函数功能块,调用 MB_CLIENT 指令,其作用是在客户端与服务器之间建立连接,发送 Modbus 请求并接收响应^[5]。对其中几个重要参数进行说明,MB_MODE 参数定义了 Modbus 的读写功能。MB_DATA_ADDR 参数用于计算远程地址的地址信息,计算方法为报文起始地址与 Modbus 起始地址相加。CONNECT 参数指向描述连接结构的 TCON_IP_v4 指针,调用的所有 MB_CLIENT 指令的 CONNECT 参数指向同一连接结构指针。TCON_IP_v4 指针具体设置如图 2 所示。

aa	TCON_IP_v4	64.0	
InterfaceId	HW_ANY	64.0	16#40
ID	CONN_OUC	66.0	16#1
ConnectionType	Byte	68.0	16#0B
ActiveEstablished	Bool	69.0	1
RemoteAddress	IP_V4	70.0	70.0
RemotePort	UInt	74.0	502
LocalPort	UInt	76.0	0

图 2 TCON_IP_v4 参数设置

对发送和接收的数据进行处理。首先添加新的数据块,按照报文封装数据的数据结构,在数据块中创建两个结构体变量分别存储发送和接收的数据,发送的数据结构变量如图 3 所示。

调用 MOVE 指令,处理存储在数据缓冲区的 32 个字节的报文数据使之与结构体变量内容相匹配,将处理好的数据存储在结构体变量中,实现对微波发生器运行参数的数据采集。部分程序设计如图 4 所示。

senddata	Struct	
send0	Byte	16#11
startmode	UInt	0
starttime	UInt	0
filament	Byte	16#0
controlmode	UInt	0
send5	Byte	16#0
send6	Byte	16#0
send7	Byte	16#0
FPset	UInt	32
RPset	UInt	15
send12	UInt	0
send13	UInt	0
LowPowerPulseSet	UInt	0
HighPowerPulseSet	UInt	0
PulseFreqSet	UInt	0
PulseDutyCycSet	UInt	0
send24	UInt	0
MaintenCode	UInt	0
FilamentLimitLow	UInt	0
FilamentLimitHigh	UInt	0

图 3 发送的数据结构体变量

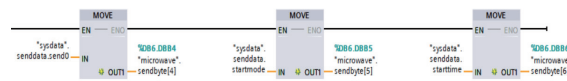


图 4 数据处理程序

2.2 S7-1200PLC 与质量流量计的通信设计

PLC 与质量流量计是通过 RS-485 两线制主从通信连接的方式进行数据传递^[6]。西门子 S7-1200 作为通信主机,从信号板 CB1241(RS-485)处接出的 RS-485 通信链路挂接 4 个从站节点,4 个质量流量计作为从站通过 RS-485 通信口相互串联,如图 5 所示。

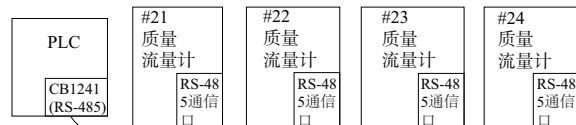


图 5 质量流量计接入 PLC 端口配置图

在通信连接之前,通过 FCS_MACIDset 软件对各个质量流量计的 MACID 物理地址进行设置,以便通信时通过不同的 MACID 地址号寻找相应的从站,来发送请求指令^[6]。将 4 个质量流量计的 MACID 地址分别设置为 0x21、0x22、0x23 和 0x24。控制模式参数 Control Mode 设置为 Digital Mode(数字量控制模式)。

PLC 与各质量流量计通过 RS-485 通信的方式进行连接,通信过程中的数据传输帧格式如图 6 所示。

Sequence	Data Contents
1	MAC ID
2	STX (=0x02)
3	Command Code
4	Packet Length (=0x05)
5	Class ID
6	Instance ID
7	Attribute ID
8	Data (LSB)
9	Data (MSB)
10	Pad (=0x00)
11	Checksum

图 6 数据传输帧格式

根据主站发出读取和写入命令请求的不同,从站的应答机制也有所不同,因此通信过程中数据传输帧的格式也有所不同^[7]。当主站在对从站进行数据读取命令请求时,命令帧数据格式由 Master MACID、STX、Command

Code、Packet Length、Class ID、Instance ID、Attribute ID、Pad 和 Checksum 9 个部分组成,长度为 9 个字节。从站在成功接收到命令请求后,会在 1 ms 内作出应答响应,包括 1 个字节的 ACK (=0x06) 响应码和 11 个字节的传输数据帧,因此响应帧总长度为 12 个字节。当主站在对从站进行数据写入命令请求时,命令帧数据格式为一般数据传输帧格式,字节长 11 个字节,如图 6 所示。从站成功应答命令请求后只会返回 2 个字节长度 ACK (=0x06) 表示数据已成功写入。

采用轮询的方式对 4 个质量流量计发送命令请求,分别获取各个质量流量计的相关参数数据。通过参照命令功能表,对命令帧中的相关参数进行设置来获取质量流量计的特定参数数据。当主站发送命令请求获取 IndicatedFlow 参数数据时,命令帧中对应的 Class ID、Instance ID、Attribute ID 参数应分别设置为 0x6a、0x01、0xa9。当命令请求获取 Setpoint 参数数据时,则命令帧中对应参数应分别设置为 0x69、0x01、0xa4。

在博图(TIA portal)软件中进行程序设计,首先调用点到点通信发送指令 SEND_PTP,其作用是建立通信连接,发送通信缓冲区数据。接收来自质量流量计的响应数据帧时,调用 RCV_PTP 指令,其作用是接收从站返回的响应帧数据并储存在缓冲区[8]。其中 BUFFER 参数作为地址指针指向命令帧数据。

综上所述,根据命令帧数据格式的设置规则,当读取#21质量流量计的 Setpoint 参数数据时,命令帧数据的长度为 9 个字节,具体参数设置如图 7 所示;当写入质量流量计的 Setpoint 参数数据时,命令帧数据的长度为 11 个字节,具体参数设置如图 8 所示。

readfilteredsetpoint21	Array[1..9] of Byte	160.0	
readfilteredsetpoint..	Byte	160.0	16#21
readfilteredsetpoint..	Byte	161.0	16#02
readfilteredsetpoint..	Byte	162.0	16#80
readfilteredsetpoint..	Byte	163.0	16#03
readfilteredsetpoint..	Byte	164.0	16#69
readfilteredsetpoint..	Byte	165.0	16#01
readfilteredsetpoint..	Byte	166.0	16#a4
readfilteredsetpoint..	Byte	167.0	16#00
readfilteredsetpoint..	Byte	168.0	16#93

图 7 读取 Setpoint 参数命令帧设置

setflowrate21	Array[1..11] of Byte	88.0	
setflowrate21[1]	Byte	88.0	16#21
setflowrate21[2]	Byte	89.0	16#02
setflowrate21[3]	Byte	90.0	16#81
setflowrate21[4]	Byte	91.0	16#05
setflowrate21[5]	Byte	92.0	16#69
setflowrate21[6]	Byte	93.0	16#01
setflowrate21[7]	Byte	94.0	16#a4
setflowrate21[8]	Byte	95.0	16#00
setflowrate21[9]	Byte	96.0	16#40
setflowrate21[10]	Byte	97.0	16#00
setflowrate21[11]	Byte	98.0	16#ef

图 8 写入 Setpoint 参数命令帧设置

根据从站应答响应机制的不同响应帧长度有所不同,接收读取响应帧时数据缓冲区长度应为 12 个字节,接收写入响应帧时接收数据缓冲区长度应为 2 个字节。SEND_PTP 指令与 RCV_PTP 指令必须成对调用才能完成一个完整的命令请求与响应应答的通信过程。两个指令不可同时作用,上一个指令结束后,下一个指令才能导通。用户可以根据现场工艺具体要求,自行选择需要获取的质量流量计相关参数,确定需要调用的指令组数。

3 上位机画面设计

系统设计的上位机画面的作用主要在于西门子 S7-1200PLC 与各个质量流量计成功建立通信连接后,测试通信数据是否正常以及实现实时监控系统内各个设备的运行状态和参数。在西门子 TIA portal 环境中,组态 PLC 与 PC station 设备与网络结构,上位机组态结构如图 9 所示。

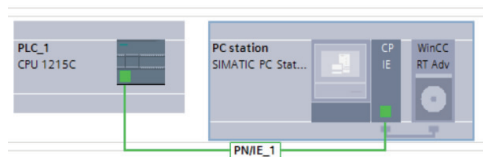


图 9 上位机组态结构图

在 PC station 中的 WinCC RT Advanced 组态设备下设计了质量流量计控制与显示画面,如图 10 所示。

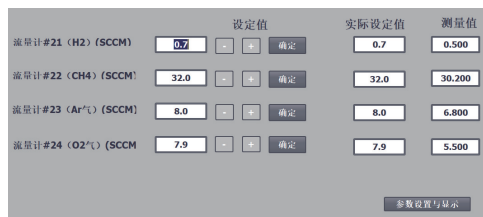


图 10 质量流量计控制与显示画面

4 结语

通过分析 Modbus/TCP 协议的报文结构以及 RS-485 通信协议的数据传输帧格式,分别针对单客户端服务器结构以及一主多从结构的通信结构,实现了 PLC 与微波电源以及质量流量计之间的通信系统设计。所设计的系统解决了金刚石合成过程中数据反馈不及时的问题,有利于提高合成高品质金刚石的转化率和产量。该系统已在现场运行,满足了金刚石合成过程中对过程变量的监控要求。

参考文献:

- [1] 朱凌云,吕承康,何端阳. 人造金刚石合成工艺的智能控制[J]. 工业仪表与自动化装置,2005(6):27-29,23.
- [2] 何文雪,刘华波,吴贺荣. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [3] 查修齐,吴荣泉,高元钧. C/S 到 B/S 模式转换的技术研究[J]. 计算机工程,2014,40(1):263-267.
- [4] 卢伟,孟婷,孙以泽,等. 基于 Modbus/TCP 及 FINS/TCP 协议的数据采集与通讯系统设计[J]. 仪表技术与传感器,2017(1):88-91.
- [5] 伞宏力,唐兴喆. STM32 单片机与 S7-200 smart 以太网通讯系统设计[C]//第十七届沈阳科学学术年会论文集,沈阳:2020:203-205.
- [6] 张露,袁鑫. 基于 S7-1200 的 RS485 串口通讯[J]. 工业控制计算机,2020,33(4):99-100.
- [7] 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.
- [8] 刘华波,何文雪. 西门子 S7-300/400PLC 编程与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2011.

收稿日期:2021-03-29