

基于 LabVIEW 和 PLC 的 Modbus RTU 通信的 RMR 水下泵组监控系统设计

刘晓林^{1,2,3}, 高洁云^{1,2,3*}, 陈浩文^{1,2,3}

- 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000;
- 中国地质学会自动化智能化钻探装备创新基地, 河北 廊坊 065000;
- 中国地质调查局深部探测钻探装备技术创新中心, 河北 廊坊 065000)

摘要: 泵组是深海钻探中 RMR 的重要设备, 通常安放在深水中, 为了实现在船舶甲板操控房中便捷地掌握泵组运行情况, 本文设计了一套 RMR 水下泵组监控系统。该系统的硬件包含水下测控单元、脐带缆和甲板监控单元 3 部分, 分别承担收集泵组工作参数与工作画面、为泵组供电与传输信息、显示和控制泵组工作参数等功能。使用光端机与脐带缆可实现信号远距离传输; 水下测控单元采用两台相同规格的 PLC, 具有模块化设计的优点。该系统的上位机采用 LabVIEW 软件进行编程, 具有操作简单, 人机界面友好等优点; 下位机采用 Easybuilder 软件对 PLC 进行编程, 具有库函数强大、可读性好等优点。上位机与下位机通过标准 Modbus RTU 协议进行通讯。该系统进行软硬件联调测试, 上位机能够正常读取、显示下位机外部设备的数据, 控制下位机外部设备的开关、启停与通断, 表明该系统能够很好地满足 RMR 水下泵组监控需求, 同时该系统还具有可扩展性等优点。

关键词: LabVIEW; PLC; RMR; 深海测控; Modbus RTU; 深海钻探; 监控系统

中图分类号: P634.3; TE92 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0245-07

Design of RMR underwater pump monitoring system via Modbus RTU based on LabVIEW and PLC

LIU Xiaolin^{1,2,3}, GAO Jieyun^{1,2,3*}, CHEN Haowen^{1,2,3}

- Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;
- Innovation Base for Automatic and Intelligent Drilling Equipment, Geological Society of China, Langfang Hebei 065000, China;
- Innovation Center for Deep Exploration and Drilling Equipment Technology, CGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The pump is an important equipment for RMR of deep-sea drilling, usually placed in deep water. In order to conveniently monitor the operation and working parameters of the pump in the ship deck control room, this paper designs an RMR underwater pump monitoring system. The hardware of the system includes three parts: underwater measurement and control unit, umbilical cable, and deck monitoring unit, which are responsible for collecting pump working parameters and working screens, supplying power and transmitting information to the pump, displaying and controlling pump working parameters. The use of optical transceivers and umbilical cables can achieve long-distance

收稿日期: 2024-07-24 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.037

基金项目: 国家重点研发计划项目“深海开路泥浆液位闭环控制系统研制”(编号: 2021YFC2800802)

第一作者: 刘晓林, 男, 汉族, 1987 年生, 高级工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 长期从事钻探装备及岩土钻掘装备自动化和智能化研发工作, 河北省廊坊市广阳区金光道 77 号, liuxiaolin_cqu@163.com。

通信作者: 高洁云, 女, 汉族, 1996 年生, 助理工程师, 机械工程专业, 硕士, 从事钻探新技术、新设备、新工艺的研发工作, 河北省廊坊广阳区市金光道 77 号, 775726390@qq.com。

引用格式: 刘晓林, 高洁云, 陈浩文. 基于 LabVIEW 和 PLC 的 Modbus RTU 通信的 RMR 水下泵组监控系统设计[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 245-251.

LIU Xiaolin, GAO Jieyun, CHEN Haowen. Design of RMR underwater pump monitoring system via Modbus RTU based on LabVIEW and PLC[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 245-251.

signal transmission. The underwater measurement and control unit adopts two PLCs of the same specifications, which have the advantage of modular design. The upper computer of the system is programmed using LabVIEW software, which has the advantages of simple operation and user-friendly interface. The lower PLCs is programmed using Easybuilder software, which has the advantages of powerful library functions and good readability. The upper computer and lower computer communicate through the standard Modbus RTU protocol. The system underwent software and hardware integration testing, and the upper computer was able to read and display data from external devices of the lower computer normally, control the on/off, start/stop of external devices, indicating that the system can well meet the monitoring requirements of RMR underwater pump. And the system also has advantage such as scalability.

Key words: LabVIEW; PLC; RMR; deep-sea measurement and control; Modbus RTU; deep-sea drilling; monitoring system

0 引言

无隔水管泥浆回收循环钻井(Riserless Mud Recovery, 简称RMR)技术是在深海钻探中实施开路钻井时,利用水下泥浆举升泵和专用回流管线将水下井口返出的泥浆举升回输至钻井平台,从而实现泥浆闭路循环的辅助钻井系统^[1-2]。

水下举升泵组作为RMR系统泥浆回收动力核心装备,通常采用撬式结构安装于需要的水深环境中。为掌握泵组运行情况及工作状态参数,需要设置水下摄像机、水下灯及传感器等设备,并通过光电复合脐带缆将设备信号传输至船舶甲板控制房监控水下视频画面和各传感器参数。

本文基于LabVIEW虚拟仪器组态软件和PLC,采用Modbus通信技术,设计了一套RMR水下泵组监控系统:搭建系统上位机软件操控平台VI,上位机通过标准Modbus RTU协议功能码指令方式与下位机PLC通信,实现了显示水下传感器信号与控制水下设备的开关等功能,配合光端机、脐带缆及深海测控单元封装技术,实现在船舶甲板控制房对RMR水下泵组进行远程监控的功能,有效提高了RMR系统的自动化水平。

1 硬件系统设计

1.1 系统整体架构

系统整体架构如图1所示,RMR水下泵组监控系统分为视频监控及测控两部分。

视频监控部分如图1中绿色数据流所示,视频画面由前端水下网络摄像机采集,经由网线传输至水下光端机,然后由水下光端机转换成光纤信号,通过光电复合脐带缆传输至船舶甲板控制房中的甲板光端机,由甲板光端机重新转回为网络视频信号,由视频录像机存储并输出至显示器显示视频画面,即该视频数据流由水下一甲板光端机“光纤—

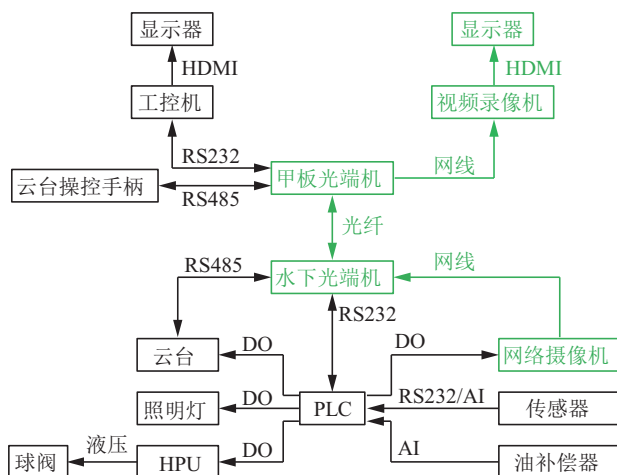


图1 系统架构框

网口”转换透传。

测控部分上、下位机之间采用Modbus RTU主从协议架构^[3-5],主机为工控机及其上运行的上位机软件,从机为支持Modbus RTU从站协议的PLC,PLC的采集、控制接口分别接入传感器信号输入及水下外部设备电源开关控制,主、从机采用标准RS232串口通讯,水下一甲板光端机仅作为“光纤—串口”双向透传,为Modbus RTU通信提供串口物理通道。光端机另有一路独立RS485串口通道为云台提供RS485远程操控,PLC仅为云台提供电源开关控制(DO)。

1.2 系统硬件组成

系统硬件组成如图2所示,RMR水下泵组监控系统分为甲板监控单元、脐带缆和水下测控单元3个部分。甲板监控单元由工控机、视频录像机、甲板通信机及显示器等组成,主要功能为处理与显示水下泵组传感器数据,存储与显示泵组监控画面,同时提供泵组控制界面供操作人员查看和控制水下泵组各设备;脐带缆是水下测控单元供电及光纤

通讯传输介质;水下测控单元主要由测控舱、分线箱、水下摄像机、照明灯、HPU、球阀、云台、传感器

及油补偿器等组成,主要功能为收集水下泵组的工作状态参数与泵组工作画面。

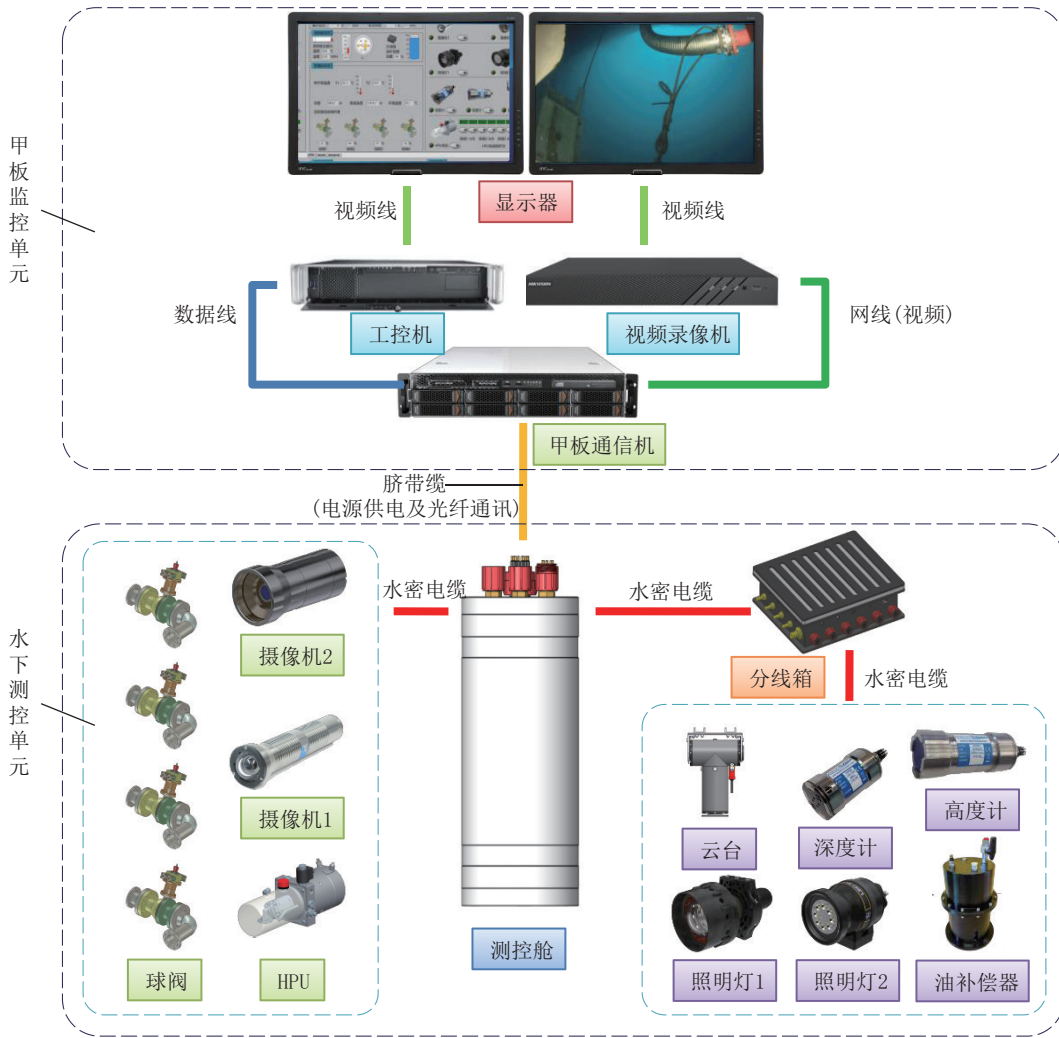


图2 系统硬件组成示意

1.3 采集和控制电路设计及设备选型

1.3.1 PLC的IO接入需求

针对PLC接入外部设备的IO点需求进行分析,对于PLC的IO点大致分为以下几类:

(1)外设开关量输出控制点。此类输出点主要是指水下摄像机、照明灯、云台、传感器、HPU电机以及电磁阀的电源开关、启停或通断控制,即开关量输出(DO)控制点。

(2)模拟量采集点。针对球阀1~球阀4开关状态的位置传感器,通过4~20 mA信号采集输入PLC;另有油补偿器油量信号通过0~5 V信号采集输入PLC^[6]。

(3)深度计及高度计数字输入。

对于深度计及高度计数据,通过RS232数字信号接入PLC。

综上,PLC外部IO点统计见表1。

表1 PLC外部IO点统计

I/O类型	说明	数量
开关量输出 (DO)	水下摄像机、照明灯、云台、深度计、高度计电源开关;HPU电机启动;阀门1~4油路电磁换向阀	16
模拟量输入 AI (4~20 mA)	球阀1~球阀4的角度位置	4
模拟量输入 AI (0~5 V)	油补偿器油量	1
RS232	深度计、高度计数据	2

1.3.2 采集和控制电路设计

采集和控制电路设计主要围绕PLC接入外部设备电路和“水下一甲板”光端机电路开展。根据系统整体架构设计以及上、下位机主从站结构通信特点,结合PLC接入设备IO点需求,并将光端机及脐带缆作为远距离中继透传通道,设计系统采集控制电路如图3所示。

系统采集控制电路特点如下:

(1)考虑到系统外部IO点接入需求和模块化设计原则,使用了2台PLC(KTS2408_1和KTS2408_2)采用CAN总线通信方式扩展。

(2)根据基于RS232串口的Modbus RTU通信

“一主一从”结构特点,仅有1台PLC(KTS2408_1)作为下位机从站,经光端机RS232通道透传与上位机进行通信。

1.3.3 主要设备选型

1.3.3.1 PLC

PLC作为下位机主控单元,承担Modbus从站通信和外部设备采集接入和控制输出功能,是下位机的中枢^[7-9],根据前述IO点数量和类型需求统计分析,兼顾水下测控舱体积轻量化和高集成度等要求,选用KTS2408型定制PLC,该PLC主要参数指标见表2。

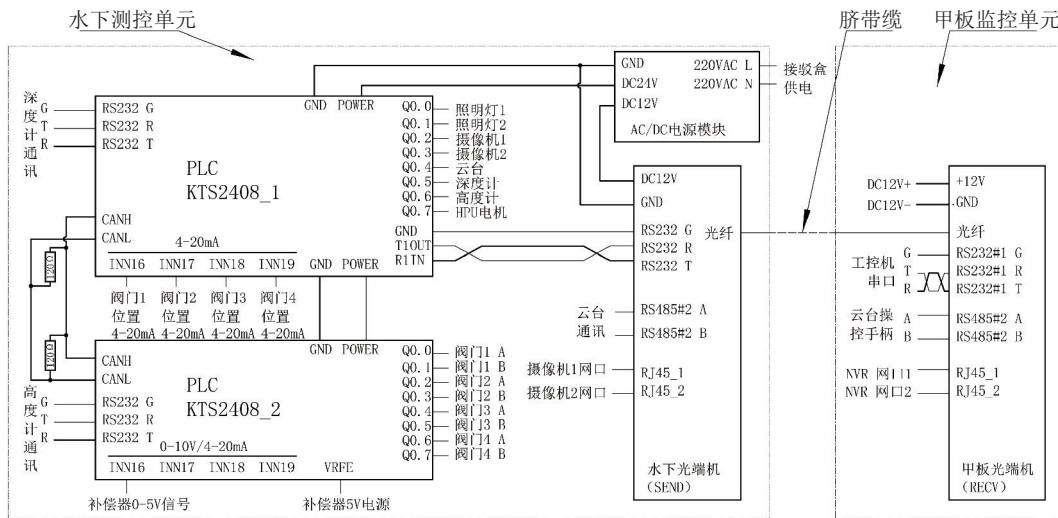


图3 系统采集和控制电路

表2 PLC主要参数指标

参数	指标	参数	指标
产品型号	KTS2408	模拟量输入	4~20 mA/0~10 V 2/2(4/0)
外形尺寸	165 mm×82 mm×20 mm	电阻检测端口	4
CPU类型	STM32F103VET7	开关量/上拉开关量输入	17/5
通信口	1×CAN2.0B;2×RS232(Modbus RTU Slave)	高速计数端口	2
功耗	40 mA(无负载)~18A(最大)@8~31V DC	开关量输出	8(3 A)
工作温湿度	-40~85℃/95%	PWM输出	6
存储	112 K(程序)/8 K(用户)	传感器电源	5 V/30 mA

该PLC内置大电流驱动电路,无需中间继电器即可驱动24 V/3 A以内的电动阀,且内置了A/D转换模块可满足4~20 mA或0~10 V信号采集输入。数字接口方面,RS232串口支持标准Modbus RTU从站协议,CAN2.0B接口可作为系统与外部

设备的数据交换和扩展接口。

1.3.3.2 光端机

光端机作为甲板—水下远距离传输光纤中继器,既承担了“网络—光纤”信号双向转换、“水下一甲板”单向传输的功能,又通过“串口—光纤”信号

双向转换功能实现了上、下位机 Modbus RTU 通信的透传功能与云台 RS485 通信功能,是系统数据转换和传输的高速通道接驳站。其主要参数指标见表 3。

表 3 光端机主要参数指标

参数	指标
尺寸	95 mm×90 mm×20 mm
供电	6~12 VDC, 1 A
光纤接口	单模单芯, FC 接口
电气接口	视频×2;网络×2;RS232×2; RS485×3;RS485/RS422×1

2 软件系统设计

2.1 上位机软件设计

2.1.1 功能需求分析

软件系统的功能主要是作为系统上位机与下位机 PLC 进行通信,通信采用工业上广泛使用的标准 Modbus RTU 协议,通过 Modbus 功能码指令实现水下灯、摄像机、云台、传感器及水下 HPU 等设备的开关控制,以及读取 PLC 中采集的深度计、高度计、模拟量传感器数据^[10-11],使操作者通过操控运行于工控机的上位机软件界面,就可以便捷地实现显示 RMR 水下泵组工作状态参数和发送相应操作指令等功能。

根据前述系统硬件组成及 PLC 接入的外部设备 IO 点采集和控制需求进行分析,按数据读取和写入方向,对上位机软件主界面进行功能区域划分。

(1)数据查询读取区。上位机软件发送查询指令给下位机 PLC 进行数据读取进而实现信息显示,根据此需求列出 3 个功能区:下位机信息、测控舱状态和泵橇块状态。

(2)操控指令写入区。上位机软件发送操控指令给下位机 PLC 进行数据写入进而实现控制外部设备开关,根据此需求列出设备控制功能区。

2.1.2 编程思想与程序流程

软件编程采用顺序执行式编程结构思想,根据上位机主界面功能设计,结合软件运行接口调用参数配置基本需求,规划上位机软件程序流程如图 4 所示。

首先启动 RMR 泵组监控系统上位机,设置串口端口号(串口参数在程序中使用默认配置),然后

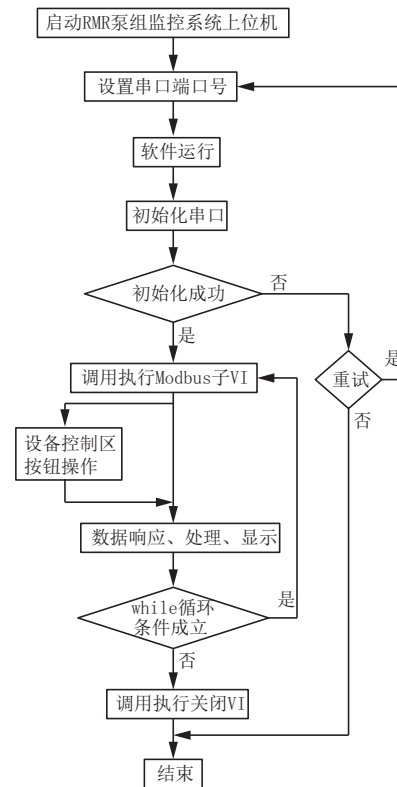


图 4 上位机软件程序流程

点击运行按钮,程序初始化串口^[12-13],初始化成功则调用执行各 Modbus 子 VI,等待下位机从站响应,此时无论是否操作设备控制区按钮,程序都将响应数据送入指定寄存器地址进行数据读取与写入,实现数据的处理与显示;while 循环成立时将重复“调用执行 Modbus 子 VI——数据响应、处理、显示”流程,直到循环条件结束时,调用执行关闭 VI,程序结束运行。

2.1.3 上位机软件实现

LabVIEW 作为图像化编程软件,使用图形化代码块(VI,即 Virtual Instrument,虚拟仪器)来构建程序,这些代码块通过连线来传递数据^[14-15]。

在本系统设计中,选择 LabVIEW 2015 作为上位机软件开发平台,并安装 DSC 模块或 Real-Time 模块以支持 Modbus VI 子程序命令库,通过该软件开发平台,设计程序代码(LabVIEW 称“程序框图”)和人机交互界面(LabVIEW 称“前面板”)。

在本系统上位机软件开发中,主要调用 LabVIEW 提供的 Modbus VI 子程序命令库(或称子函数)来搭建程序。

按顺序执行式结构编程思想,首先初始化串

口,然后使用 while 循环结构,多次调用 Modbus VI 子程序,配置好各 Modbus VI 子程序通信地址及参数^[16],并连线传递数据,通过调用“数组—簇”转换、“解除捆绑”函数,处理数据后以数值方式显示数据,搭建程序框图。

同样地,在 while 循环结构中多次添加调用 Modbus VI 子程序,并按需调用相关函数处理、传递、显示数据,直至完成所有上位机功能区设计数据的读取和写入。

前面板即上位机软件界面,分别设计“主界面”、“通信设置”、“设备组成架构”3个界面供操作人员切换选择,各界面设计如下:

(1)主界面。主界面为软件主要工作界面见图5,根据2.1.1中上位机软件功能需求分析,将主界面细分为“下位机信息”、“测控舱状态”、“泵橇块状态”、“设备控制”4个功能区。



图5 前面板设计

“下位机信息”功能区可读取RMR泵组监控系统的下位机模块编号、程序版本及累计运行、本次运行时间数值。

“测控舱状态”功能区可读取测控舱主舱内温湿度数据,以及分线箱油补偿器油量数值。

“泵橇块状态”功能区可读取举升泵温度,泵橇块的下放深度、离底高度和环境温度,以及RMR泵橇块泥浆管线各球阀的角度位置(开度)百分比数值。

“设备控制”功能区,鼠标点击控制摄像机、照明灯、深度计、高度计与云台的电源开关;控制HPU电机启停,控制球阀1~4对应电磁阀A/B口通断。照明灯2可通过鼠标按住并旋转旋钮实现该LED灯亮度百分比调节。

(2)通信设置。通信设置界面用来设置软件与

下位机PLC通信串口端口号,打开软件后,会自动搜索计算机串口端口资源,并将搜索到的串口资源号显示在下拉菜单中,选择正确的串口端口号才能使软件与下位机成功通信。

(3)设备组成架构。本界面显示RMR泵组监控系统设备组成架构图,供操作人员查询参考。

2.2 下位机PLC程序设计

KTS2408型PLC厂家提供了梯形图/STL语句编程和在线监测软件Easybuilder,该软件采用符合IEC 61131-3标准的编程语言,并内置了功能强大的指令和库函数可供直接调用,具有模块化、可读性好的特点。

(1)从站PLC编程。将作为Modbus RTU从站的PLC(KTS2408_1)通信参数设置好后,按数据采集和控制需求开展下位机PLC程序设计。

从站PLC的编程设计思想采用主程序顺序调用各子程序执行结构(如图6所示),网络0使用STL语句块形式,调用7个子程序。

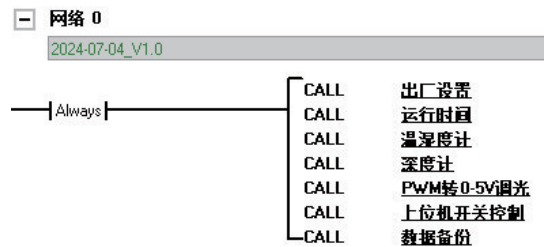


图6 从站PLC主程序

子程序的设计则按各独立功能模块来进行模块化设计,对于各子程序模块功能设计如下:

①出厂设置:出厂设置子程序中内置了模块编号和程序版本信息。

②运行时间:通过调用PLC计时器和计数器指令,统计本次运行和累计运行时间。

③温湿度计:CAN总线接口读取测控舱内温湿度计数据。

④深度计:串口RS232读取深度计ASCII码数据,并转换成实数。

⑤PWM转0~5V调光:通过PWM比例输出驱动转换板输出0~5V,控制LED调光。

⑥上位机开关控制:将上位机操控指令转换至PLC的Q区控制外部设备开关、启停、通断。

⑦数据备份:对于需要掉电保存的数据,如系

统累计运行时间等,传送至铁电区备份。

(2)扩展PLC编程。扩展PLC的编程主要处理高度计、油补偿器油量采集数据,另外,将与从站PLC的CAN通信交换数据经转换至PLC的Q区输出控制阀门1~4A/B口电磁阀换向。

3 试验功能测试

3.1 通信测试

在系统外部设备未全部接入或全部软硬件联调测试条件尚不具备情况下,先进行通信测试,如将泵橇块状态区数据对应的PLC寄存器地址通过MOV命令直接赋值,然后连接上、下位机运行测试。经测试,上位机主界面“泵橇块状态”显示数据正确。

3.2 软硬件联调

在通信测试成功的基础上,连接系统全部软、硬件,按上位机软件功能分区逐一测试各数据读取显示和操控指令响应,确保数据正常读取、显示,外部设备的开关、启停、通断动作响应正常。

4 结语

在RMR水下泵组监控系统设计中,以LabVIEW作为上位机软件开发平台,充分利用了LabVIEW软件的图形化编程、与硬件结合度高的优点。系统设计采用工业上成熟度极高的标准Modbus RTU通信技术,直接调用软件内置的Modbus VI主站函数模块,结合使用内置Modbus从站协议的下位机PLC,以一种内置的、标准化集成的方式实现了上、下位机通信和测控功能,简化了程序设计流程,提高了系统轻量化、模块化程度和稳定可靠性,缩短了开发周期。同时LabVIEW具有很高的扩展性,后续将根据具体情况进一步改进该系统,使系统的功能更加完善。

参考文献:

- [1] 陈浩文,王林清,王德,等.400 m级无隔水管泥浆回收系统研发及海试[J].钻探工程,2023,50(6):37-44.
- [2] 陈浩文,刘晓林,王林清,等.无隔水管泥浆回收钻井技术控制系统功能设计[J].钻探工程,2021,48(S1):375-380.
- [3] 梁长峰,贾王纤,曹菁,等.基于Labview的Modbus监控系统设计[J].机电技术,2023(1):16-19.
- [4] 谢启,顾启民,涂水林,等.基于LabVIEW的Modbus RTU通信协议的实现[J].煤矿机械,2006(12):95-97.
- [5] 朱伟伟,李菊芳,梁美玉,等.基于LabVIEW与Modbus通信协议的煤矿通风机性能监测系统[J].矿山机械,2010,38(15):37-39.
- [6] JING Rui, ZHANG Lidong. A high-pressure relief valve life measuring system based on LabVIEW[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2024,2785(1).
- [7] 左宁,胡奇威,袁丽娟.基于Modbus通讯协议的PLC运动控制研究[J].电子工业专用设备,2024,53(2):1-7,19.
- [8] 李健.基于LabVIEW的高速旋转天平动态校准测控系统研究[D].重庆:重庆三峡学院,2024.
- [9] 徐梦阳,李昂,赵峰.基于Labview的Modbus串口上位机的实现[J].电子世界,2020(22):93-95.
- [10] LI Jian, SUN Bingyu. LabVIEW-based rotary balance data synchronization acquisition system design[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2024,2787(1).
- [11] YAO Ning, JI AiHong, DING HaiChun, et al. PXIe-and LabVIEW-based data acquisition system of animal motive mechanics[J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(14): 133-136.
- [12] 张日红,陆金,朱立学.LabVIEW在基于Modbus-RTU协议的功率分析仪信号监测中的应用[J].机床与液压,2014,42(8):115-119.
- [13] 庄博文,姚振强,侯志保.基于LabVIEW的大型内外圆磨床监测系统研究[J].组合机床与自动化加工技术,2024(5):40-43,50.
- [14] 万勇,万莉,戴永寿.基于LabVIEW的井控设备试压实验系统设计[J].实验室研究与探索,2018,37(12):102-106.
- [15] 程铃,汪星宇,吴雨桐,等.基于STM32和LabVIEW的气象数据监测系统[J].信息技术,2024(4):15-21.
- [16] 张建.LabVIEW环境下采用NI OPC与TM218 PLC进行Modbus RTU通讯[J].工业控制计算机,2017,30(11):11-13.

(编辑 荐华)