

# 精准出铝控制无线调试系统设计与实现

宋丽华, 鲍世昆

(北方工业大学, 北京 100144)

**摘要:** 精准出铝作业控制系统中控制器控制参数的现场调试是一项复杂耗时的工作, 需要根据现场的情况反复修改控制参数以达到精准控制的效果; 为了简化调试过程, 缩短调试周期, 针对控制系统使用的 S7-200 PLC 控制器, 基于无线通信技术和 Modbus 通信协议, 设计了一种无线调试系统, 通过对称重上下限、出铝计重偏离判断、关风上下限、异常关风补偿量等 PLC 参数进行动态调整, 实现了对系统控制部分的调试及维护; 实际现场测试, 结果表明该调试系统具有良好的可靠性和实用性, 在保证出铝的精准控制的同时有效降低了系统功耗。

**关键词:** 无线通讯; 低功耗设计; Modbus 协议

## Precise Control of Aluminum Wireless Debugging System Design and Implementation

Song Lihua, Bao Shikun

(North China University of Technology, Beijing 100144, China)

**Abstract:** The process of optimizing parameters on controller depends on effective communication mode on precision aluminum operations control system. The parameters of controller need to be modified by many times. In order to symplify the debugging process, shorten debugging period, this paper designs an wireless system which has graphical interface to control and maintenance the operating system. This system is geared to the need of S7-200PLC which is used in the system, and Modbus protocol in the wireless way. Through the PLC parameters like the upper and lower limit of weigh, the judgment of produced aluminum weight calculation deviation, the upper and lower limit of closing wind and abnormal closing wind compensation dosage to make status adjustment, realize the debugging and maintenance to the system control part. As the result of spot test shows, this handled equipment has good reliability and practicality. It reduce the power consumption of the system effectively while the precise control of aluminum.

**Keywords:** wireless communication; lower-power design; Modbus protocol

## 0 引言

在电解铝生产过程中, 出铝精度直接关系到单槽的铝产量、电解槽的铝水平和质水平高度; 基于 PLC 的多功能天车精准出铝控制系统, 为了达到精准控制单槽出铝量的目的, 需要根据整个出铝过程和实际出铝数据获取信息, 通过对称重上下限、出铝计重偏离判断、关风上下限、异常关风补偿量等 PLC 参数进行动态调整, 进行系统数据求精的调试。

由于多功能天车工作时需要在电解厂房的三维空间内自由行走, 靠线路连接容易出现线路短路。因此需要合理的通信方式使调试系统与 PLC 控制器之间能够实时的传输数据。目前, 国内外已经开发出各种基于 RF 技术的无线速传模块, 其显著特点是: 所需外围元件少, 设计方便, 工作于国际开放的 ISM 频段, 作为无线技术方案, 系统升级容易、系统功耗低<sup>[1-2]</sup>。本系统利用两块 nRF905 模块作为无线数据传输的发送端和接收端, 方便了系统数据求精的调试。

本文设计了一种调试系统, 和以往的调试系统不同, 该系

统采用无线技术可以在出铝现场实时的获取 PLC 控制器的控制参数, 根据实际出铝情况对控制参数进行动态调整。体积小, 易携带, 调试方便, 可视性强。

## 1 系统设计

本系统由上端、下端两部分组成, 如图 1 所示, 上端为无线收发器, 由 STC89C52RC CPU 和无线模块组成, 并与控制柜中 PLC 通过串口连接, 由无线模块与下端进行通信。下端由 ARM 核心板、无线模块、LCD 液晶屏和串口组成, 以 Linux 操作系统作为软件平台; 采用 LCD 屏进行操作与控制参数的同时显示, 操作命令通过触摸屏进行发布, 通过无线模块与上端通信。

### 1.1 通信协议

#### 1.1.1 通信流程<sup>[3]</sup>

图 2 中上端部分, 接收时, CPU 通过无线模块收到下端的报文, 通过串口采用 Modbus 协议把参数和控制信号传输给 PLC<sup>[4]</sup>。发送时, PLC 通过串口把 PLC 控制参数和出铝信息或者错误信息传给 STC89C52RC CPU, CPU 将数据打包通过无线模块发送到下端设备。

图 2 中下端部分, 无线模块接收上端的报文传送给 ARM 处理器进行数据解析, 将 PLC 控制参数和出铝信息在 LCD 上显示; 发送时, 从触摸按键获取命令, 将修改的 PLC 控制参数的数据打包, 通过无线模块发送到上端。

收稿日期: 2014-03-14; 修回日期: 2014-04-14。

**基金项目:** 北京高等学校“青年英才计划”资助项目(YETP1419); 北京市属高等学校创新团队建设与教师职业发展计划项目(IDHT20130502)。

**作者简介:** 宋丽华(1979-), 女, 博士, 讲师, 主要从事嵌入式技术、网络通信协议方向的研究。

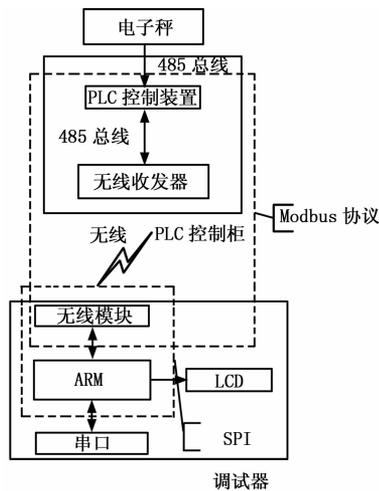


图 1 调试器系统架构图

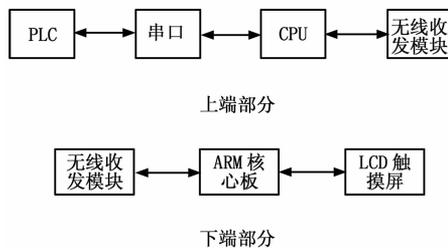


图 2 上、下端收发流程图

### 1.1.2 无线通信频段选择

上端控制柜和下端无线手持调试设备的距离一般为 10~40 m，在使用过程中，控制箱遇到天车部分机械装置遮挡的情况不可避免，并且现场电磁干扰较大，所以无线模块选择具有强度较高、传输距离长、穿透绕射能力强和传输过程衰减较少等优点的 433 MHz 频段。nRF905 单片集成无线接收和发射器的芯片，工作于 433 MHz 频段，采用高效 GFSK 调制，最高工作速率 50 kbps，内置了 CRC 纠错检硬件电路和协议，能自动完成处理字头和 CRC 校验的工作，抗干扰性强，适合工业控制场合；电流消耗很低，在发射功率为 +10 dBm 时，发射电流为 30 mA，接收电流为 12.5 mA，内建空闲模式与关机模式，满足工程的低功耗设计需要<sup>[5-6]</sup>。

### 1.1.3 Modbus 协议无线/有线混合设计

传统的 Modbus 通信系统通过有线连接方式建立在串行链路或 TCP/IP 网络上，现场设备通过 RS-485 总线或以太网连接。

本文把 Modbus 协议报文封装到无线传输中如图 3 所示，实现了 Modbus 协议报文的无线传输，扩展了 Modbus 报文的传输与应用范围。提高系统的可扩展性，解决了有线连接局限性的问题，使 PLC 控制参数的数据和控制指令以 Modbus 应用协议定义的报文格式在系统中设备之间传输<sup>[7-8]</sup>。

在使用 Modbus 协议的混合设计之前，由于无线传输采用的并不是 Modbus 协议，所以上端的无线模块在接收到报文后要进行数据解析、数据处理、打包发送这样一个复杂的过程；为了提高上端无线收发器中断响应速度并提高通信效率，设计了一种可兼容无线/有线可混合传输的方式，将 Modbus 协议封装到无线传输数据中，这样上端无线收发器只是作为一个数

据中转站，这样减少了系统中可能出现的故障点，在系统的故障检测中带来便利。

从 ARM 到 PLC 数据传输时协议转换过程：

- 1) 把 Modbus 协议报文封装在无线传输协议中并发送出去；
  - 2) 无线收发器通过 nRF905 协议栈接收 nRF905 数据帧；
  - 3) 拆包提取 Modbus 协议报文；
  - 4) 通过串口将 Modbus 协议报文发送到 PLC；
- 从 PLC 到 ARM 的协议转换过程于此相反。

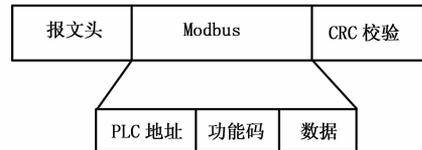


图 3 Modbus 协议报文在无线传输中的封装

## 1.2 硬件设计

### 1.2.1 串口设计

由于出铝现场环境恶劣，存在多种腐蚀性物体和噪声干扰。RS-485 具有传输距离远、抗干扰能力强的优点，固上端无线收发器与 PLC 之间选用 RS-485 传输<sup>[9]</sup>。

### 1.2.2 无线模块接口设计

本系统利用两块 nRF905 模块作为无线数据传输的发送端和接收端，分别与上端的单片机和下端的 ARM 通过 SPI 接口通信，单片机和 ARM 工作在主模式下，nRF905 射频模块工作在从模式下，主机通过口向从机 nRF905 模块发送数据，并为从机提供时钟，无线模块通过 SPI 接口的 MOSI 管脚和 MISO 管脚进行数据的接收发送；STC89C52RC 单片机没有提供 SPI 接口，所以采用 GPIO 口模拟 SPI 接口实现与无线模块的通信，两块 nRF905 模块工作在 433 MHz 频段。

## 1.3 软件设计

本文采用 Linux3.0 设计，界面使用 Qt 设计。

### 1.3.1 上端程序设计

上端无线收发器与 PLC 之间采用自动寻址的方式建立正确的通信，PLC 地址是通过硬件确定的，每台控制柜中的 PLC 地址不同，为了方便记忆，将其设置与天车号相同，上端无线收发器与 PLC 通信成功后可获取 PLC 的地址，并将无线收发器中无线模块的频道与 PLC 的地址相同。串口采用中断接收，当出现串口中断时，CPU 接收 PLC 报文并进行 CRC 校验，将正确的报文通过无线模块传输给下端。无线传输采用轮询的检测方式：当接收到正确的报文，直接通过串口发送给 PLC，等待 PLC 回应。如图 4 所示。

### 1.3.2 下端无线手持设备程序设计

在获取电子称报文时，设置匹配的端口后，打开接收线程并通过调整波特率、校验位、数据位、停止位获取正确的电子称报文，将接收到的报文以当前时间命名的文件保存到相应的路径下。

在配置 PLC 参数之前，首先下端无线手持设备需要和上端设备建立通信，建立通信之后，在天车处于空闲状态时，可以根据现场出铝情况，动态的修改 PLC 参数。本系统中 PLC 寄存器地址 VB800-VB1400 为外界可使用区域，不同的寄存器中放有不同功能的配置参数，VB801 中第五位为标志位，

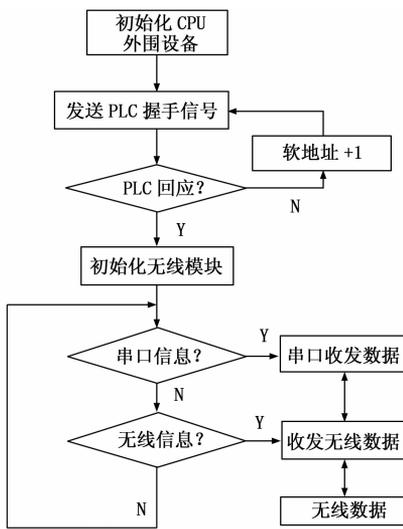


图 4 上端程序设计流程图

用来控制 PLC 准备数据到相应的寄存器和获取相应寄存器的值。通过读写寄存器的值, 可以实现对 PLC 参数的配置。如图 5 所示。

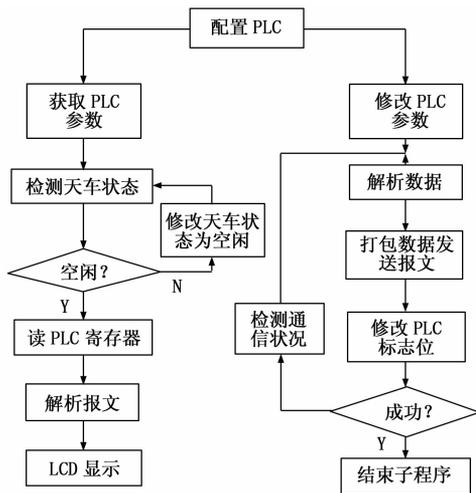


图 5 配置 PLC 程序流程图

### 1.4 背光驱动电源管理

根据现场的情况选定比较合适的背光值 (此值并非是最值), 可以有效的降低系统功耗。系统通过背光驱动程序可以有效的控制 LCD 背光灯的电力消耗, 在设备使用过程中, 可以通过按键调整背光, 并通过按键关闭或打开背光。在程序中打开背光设备驱动, 当有按键按下时产生中断, 并检测那个按键被按下并对背光值进行相应调整, 保存调整后的背光值<sup>[10]</sup>。

## 2 功能验证

### 2.1 功能可靠性验证

在系统调试过程中, 无线调试设备可以根据实际的出铝情况对 PLC 控制参数进行实时的动态调整。

如图 6 所示: 根据现场出铝的具体情况, 对称重上下限、出铝计重偏离判断、关风上下限、异常关风补偿量等 PLC 参数进行动态修改以观察控制效果, 最终达到控制精准出铝<sup>[11]</sup>。



图 6 现场获取的 PLC 控制参数

为了验证调试系统的可靠性, 在出铝车间进行了测试, 测量范围选在 10~70 m 区间, 每隔 10 m 做一个测量区间, 每个测量区间选择不同的距离、不同的地点测量 50 次, 统计每个测量区间配置 PLC 参数的成功率, 测试结果如表 1 所示。

表 1 实际测试结果

测量半径 (m)	平均成功率 (%)
10-20	100
20-30	100
30-40	98
40-50	98
50-60	20
>60	0

该结果表明在实际使用现场的有效传输半径为 50 m, 满足使用要求, 当超过无线模块的最大通信距离时通信成功率会急剧下降, 当距离大于 60 m 时, 无法进行通信。

### 2.2 屏幕背光控制节电分析

无线手持设备中使用 8.4 V 电池供电, 总电量为 5 800 mAh。选择测试电压为 8 V, 在调整屏幕背光亮度的同时检测系统总电流的变化; 容易看出, 屏幕背光亮度从 0~100 变化, 系统总电流的变化范围为 0.21~0.54 A。定义屏幕功耗比为  $p$ :

$$p = \frac{P_b}{P} \times 100\% \quad (1)$$

其中:  $P_b$  为屏幕的功耗,  $P$  为整个系统的总功耗。

$$P = UI \quad (2)$$

当背光亮度为 100 时, 总电流为 0.54 A, 当背光亮度为 0 时, 总电流为 0.21 A, 可得出

$$p = \frac{(0.54 - 0.21) A \times 8 V}{0.54 A \times 8 V} \times 100\% = 61.1\% \quad (3)$$

(下转第 2265 页)

0.14°, 调节时间 4.5 s, 响应无超调, 使飞机在 5 s 内恢复到  $\Delta\theta \leq \pm 0.5^\circ$  之内。在初始俯仰角  $\Delta\theta_0 = 5^\circ$  的作用下, 飞机抬头爬升, 达到稳态后飞机高度爬升 23 m。

仿真结果表明, 动态逆控制方法加入 PID 控制的补偿, 其输出能够满足设计要求。

## 5 总结

非线性动态逆控制作为非线性飞行控制理论的一个热点研究方向, 是解决非线性多变量解耦控制问题的有效方法。本文创新的将非线性动态逆方法结合经典 PID 控制理论方法来设计控制律, 以某型固定翼飞机飞行控制系统控制律的设计方案为背景, 并以纵向通道的俯仰角保持控制律为例, 给出了详细的介绍。并且利用这种方法, 设计了方案中的其他模态的控制律。仿真结果表明, 能够达到国军标飞行品质标准 1 的要求, 即能确保顺利完成各项预定的飞行任务<sup>[10-11]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 吴森堂, 费玉华. 飞行控制系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.  
[2] 贾秋玲, 袁冬莉, 栾云凤. 基于 MATLAB7. x/simulink/stateflow

系统仿真分析及设计 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.

- [3] 杜金刚. 基于动态逆方法的飞行控制系统设计与仿真 [D]. 西安: 西北工业大学, 2006.  
[4] 姜 杨, 薛艳峰, 陈剑涛. 某型无人机飞控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, (5): 911-913.  
[5] 高建尧, 卢京潮, 闫建国. 某型无人机导航/飞控系统设计与仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2006, (6): 759-761.  
[6] 贾忠湖, 齐红德, 侯志强. 基于非线性动态逆的飞机控制规律仿真 [J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22 (1): 125-128.  
[7] 初 阳, 陈培龙. 基于动态逆的无人机机动控制律设计 [J]. 指挥控制与仿真, 2010, 32 (2): 104-108.  
[9] 刘 波. 无人机非线性姿态控制律设计及仿真研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2006.  
[8] 王宏军, 王航宇. Stateflow 在飞行器建模仿真中的应用研究 [J]. 西北工业大学学报, 2009, 29 (5), 478-482.  
[10] Takeshi Yamasaki, Masahiro Miyada, Hiroyuki Takano. Handling Assist System Using Dynamic Inversion [R], AIAA 2009-5691, 2009.  
[11] 中国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准 CCAR-25R4 [S], 中国民用航空总局, 2001.

~~~~~

(上接第 2255 页)

由此可知屏幕功耗达到总功耗的 61.1%, 功耗和背光亮度成正比, 调整屏幕的背光程度, 可以很大程度节省功耗, 最终的功耗节省程度如表 3 所示。

表 2 功耗节省

| 背光亮度 | 功耗比 (%) | 节省程度 (%) |
|------|---------|----------|
| 20   | 16.6    | 44.5     |
| 40   | 27.8    | 33.3     |
| 60   | 38.9    | 22.2     |
| 80   | 50      | 11.1     |

## 3 结论

现场调试是复杂而又非常重要的一项工作, 本文通过分析精准出铝控制系统在出铝现场调试中遇到的问题, 采用无线与有线通信相结合的思想, 设计并实现了精准出铝控制无线调试系统, 可根据实际出铝情况对 PLC 控制参数进行动态调整, 并快速找到最优控制参数, 达到出铝的精准控制。本系统建立了友好的可视化界面, 在实时性、可靠性方面都达到了较理想的效果。现场使用结果表明该无线调试系统方便了现场调试, 提升了项目进度, 方便了后期维护, 减少项目人力、物力开支, 并且对于复杂环境下的设备调试系统设计有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] Proakis J G. SalehiM Communication systems engineering [M]. Upper Saddle River. Prentice Hall, 2001.  
[2] Stallings W. 无线通信与网络 [M]. 何 军译. 北京: 清华大学

出版社, 2004.

- [3] 张常年, 闫素梅, 康小麓, 等. TAP 火车无线遥控器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (3): 685-687.  
[4] 德国西门子子公司. S7-200 中文系统手册 [Z], 2008.  
[5] Single chip 433/868/915MHz Transceiver nRF905 [Z]. Nordic VLSI ASA, 2004.  
[6] nRF905 RF and antenna layout [Z]. Nordic Semiconductor ASA, 2004.  
[7] GB/Z19582. 1-2004. 中华人民共和国国家标准“基于 Modbus 协议的工业自动化网络规范第一部分: Modbus 应用协议” [S].  
[8] 王书根, 王振松, 刘晓云. Modbus 协议的 RS485 总线通讯机的设计及应用 [J]. 自动化与仪表, 2011, 5 (4): 25-28.  
[9] ZLG 公司. RS 485 选型指南 [Z]. 广州: 广州周立功单片机发展有限公司, 2004.  
[10] Alessandro Rubini & Jonathan Corbet. LINUX Device Drivers 2<sup>nd</sup> Edition [M]. Sebastopol, CA, O' Reilly & Associates, Inc, 2001.  
[11] 韩 兵, 周 雷, 王天华. 基于流速辨识的精准出铝系统的研究 [J]. 微计算机信息, 2010, 26 (4): 169-170.

## 更 正

本刊 2014 年第 6 期第 1833 页《基于 LXI 总线的压机试验台退喘试验系统研制》一文的基金项目为: 国家科技支撑计划课题 (2012BAH35F03)。

《计算机测量与控制》杂志社  
2014. 7