

# 油田注水硬件控制和远程监控系统 的平台设计

杜志民<sup>1</sup>, 白培瑞<sup>1</sup>, 韩旭<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学 电子信息工程学院, 山东 青岛 266590;  
2. 中国石油大学(华东)海洋与空间信息学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:** 针对油田注水时对注水设备控制和数据采集的实时性要求, 基于实验室油田注水仿真设备设计了一个油田注水硬件控制和远程监控平台; 采用多线程技术和 SuperSocket 技术设计了上位机远程管理系统软件, 用户指令通过 TCP/IP 协议传送到下位机; 井口端设备以 STM32 单片机作为控制器, 用 GPRS 模块接收上位机指令以及传输注水设备的实时数据; 经测试, 上位机软件能够准确实时地向下位机发送控制指令, 系统的反应时间约 1 s; 该研究对其他油田注水智能化管控研究有参考意义。

**关键词:** 硬件控制; 远程监控; STM32 单片机

## Design of Training Platform for Oilfield Water Injection Hardware Control and Remote Monitoring System

Du Zhimin<sup>1</sup>, Bai Peirui<sup>1</sup>, Han Xu<sup>2</sup>

(1. College of Electronic and Information Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. College of Ocean and Space Information, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

**Abstract:** The multi-threading technology and SuperSocket technology are used to design the remote management system software of the upper computer. The user commands are transmitted to the lower computer through the TCP/IP protocol. The wellhead device uses the STM32 microcontroller as the controller, and uses the GPRS module to receive the host computer command and transmit the real-time data of the water injection device. After testing, the host computer software can send control commands to the lower computer in real time, and the response time of the system is about 1 s. This research has reference significance for the research of intelligent control of water injection in other oil fields.

**Keywords:** hardware control; remote monitoring; STM32 MCU

## 0 引言

在油田开采过程中, 为了保持油田高产稳产, 必须对油田进行注水驱油操作, 在信息化高速发展的现代, 传统的油田注水工艺暴露出注水效率不高、控制手段落后等缺点。并且在油田注水管理领域中, 每个区块井组的注水井数量较多, 待采集的数据量较大, 需要经常转存数据, 处理过程较为复杂<sup>[1]</sup>, 对集中管理也提出了较大的挑战<sup>[2-3]</sup>。因此, 对智能化油田注水系统的研究成为当下的研究热点。

本系统使用 STM32 单片机作为核心处理器, 由 RS485 总线实现仪器通信, 通过 GPRS 模块将获取的数据实时传送到服务器端, 并在数据库中保存。本文构成了 STM32 单

片机+GPRS 网络+服务器端的实时监控系統, 系統可靠性高, 运行稳健且更易扩展。同时, 设计人机交互界面友好的客户端实时采集注水井数据, 远程控制注水设备, 使系统管理更加简捷方便。通过平台的设计使学生得到控制系统设计和软件编程等综合能力的训练, 将专业学习内容与实际应用无缝对接<sup>[4]</sup>。

## 1 平台总体架构及原理

### 1.1 平台总体架构

整个实训平台主要包括三个部分: 地面设备、远程服务器、上位机监控软件。地面设备包括: STM32 单片机、井口端设备。上位机监控软件包括: 本地服务器软件、本地客户端软件以及本地数据库。整个系统采用如图 1 所示的结构。

### 1.2 平台原理

平台以 STM32 单片机为处理器对井口端设备进行数据采集、仪器控制, 使用 GPRS 进行远程通信; 研发基于 B/S 架构的油田实时数据管理和设备控制系统, 系统采用软件开发方式实现, 云服务器通过 TCP/IP 协议获取油田的生产

收稿日期: 2019-09-03; 修回日期: 2019-10-09。

基金项目: 国家自然科学基金(61471225)。

作者简介: 杜志民(1993-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事高性能硬件系统设计以及图像处理方向的研究。

通讯作者: 白培瑞(1971-), 男, 山西五台人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事嵌入式系统开发、视频采集与传输、图像处理与识别方向的研究。

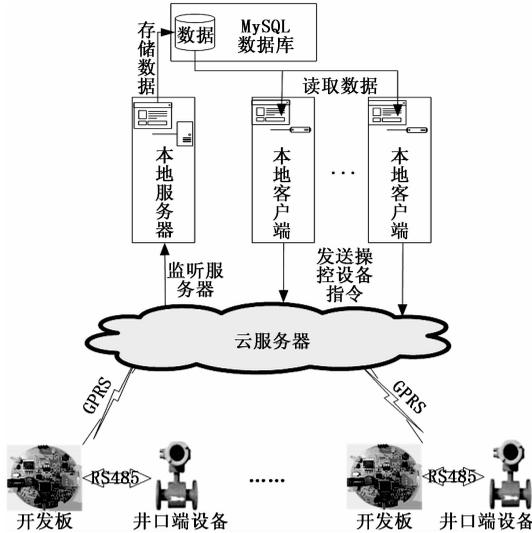


图 1 系统框图

数据，并保存到云服务器 MySQL 数据库；上位机软件轮询采集油井的各项参数，并存储到本地 MySQL 数据库，使得油田管理部门快速准确地了解油田现状，从而方便、快速地做出各项方案和决策。

### 2 硬件设计

硬件系统主要由主控单片机模块、GPRS 模块、通讯接口模块、电源模块等模块组成。

#### 2.1 主控单片机模块

地面设备主控芯片采用 STM32F103<sup>[5]</sup> 系列单片机，其内核是 ARM32 位的 Cortex-M3 处理器。该系列芯片最高拥有 72 MHz 工作频率，64 或 128 K 字节闪存，自带 USB 接口、CAN 接口、7 个定时器、2 个 ADC 和多达 9 个的通信接口。同时，提供了卓越的计算性能和先进的中断系统响应，从而保证了系统的实时性，在工业控制领域应用广泛。

主控芯片电路如图 2 所示，包括复位电路以及外部振荡电路。单片机 3、4 引脚接 32.768 kHz RTC 晶振用于计时。5、6 引脚接 8MHz 晶振，经 PLL 倍频产生 72 MHz 系统时钟，达到系统要求的数据处理能力。16、17 引脚接 RXD2 和 TXD2，用于和 GPRS 模块进行数据传输。29、30 引脚接 RXD3 和 TXD3，与 RS485 模块连接，用于和井口端设备通信。46、49 引脚作为烧录引脚，用于下载程序。

#### 2.2 GPRS 通信模块

GPRS 是在 GSM 系统基础上引入新的部件而构成的无线数据传输系统，最高可以达到 171.2 kb/s，系统传输数据大小不到 1 kb 完全符合传输要求。它采用分组交换技术，能兼容 GSM 网络<sup>[7-8]</sup>并在网络上更加有效的传输高速数据和指令。允许用户在端到端分组转移模式下发送和接收数据，不需要利用电路交换模式的网络资源，从而提供了一种高效、低成本的无线分组数据业务。

USR-GM3 是一款高度集成的通用异步收发传输器通

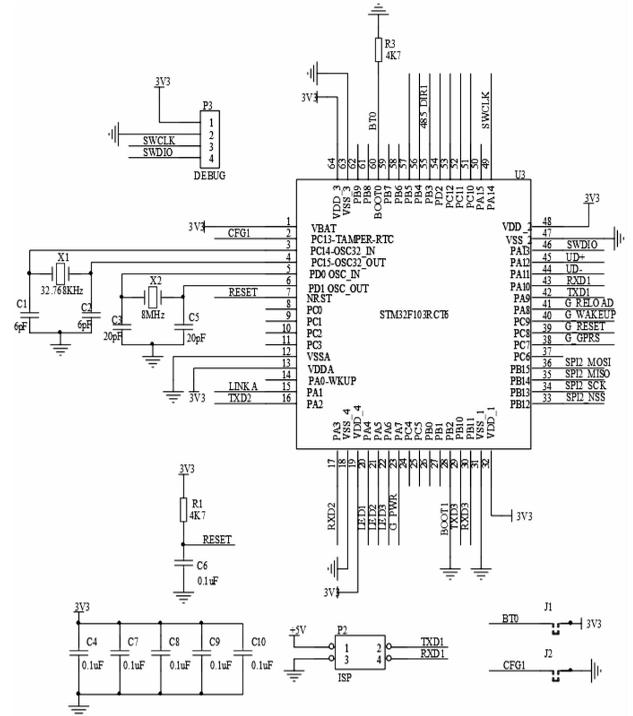


图 2 主控芯片模块

信转 GPRS 通信模块，可以透明的双向传输网络到串口的数据。本模块与市面上的 GPRS 模块不同，不需要理解复杂的 AT 指令和协议，插卡即可使用，无需内置 SIM 卡。网络透传模式如图 3 所示，数据由 UART2 串口传送至 GM3 模块，经 GPRS 网络<sup>[9]</sup>采用 TCP/IP 协议传送至云服务器，并由计算机经监听云服务器获取设备数据。



图 3 网络透传模式

#### 2.3 通讯接口模块

工程使用 RS485 标准进行单片机与设备之间的通信，RS485<sup>[10]</sup>是一个定义平衡数字多点系统中的驱动器和接收器的电气特性的标准，该标准由电信行业协会和电子工业联盟定义。使用该标准的数字通信网络能在远距离条件下以及电子噪声大的环境下有效传输信号。RS-485 使得廉价本地网络以及多支路通信链路的配置成为可能，因此使用 MAX485 来实现 RS485 通信<sup>[11]</sup>。通讯接口电路图如图 4 所示。

#### 2.4 电源模块

电源部分采用德州仪器 (TI) 生产的 LM2596 芯片，它内含固定频率振荡器 (150 kHz) 和基准稳压器 (1.23 V)，并具有完善的保护电路、电流限制、热关电路等。在芯片输入端接入 0.1 μF 的滤波电容，可以减少输入端收到的干扰，构成高效稳压电路，很好地满足硬件系统的要求。硬件电路外部使用 24 V 供电，5 V 输出电压，主要用于对

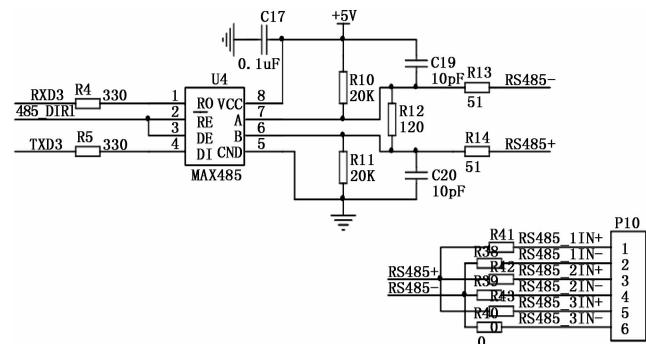


图 4 串口通信模块

通讯模块供电, 以及通过输出降压开关型集成稳压芯片产生 3.8 V 电压对 GPRS 模块供电; 3 V 输出电压主要用于对 STM32F103 电路和 flash 供电。

### 2.5 Flash 模块

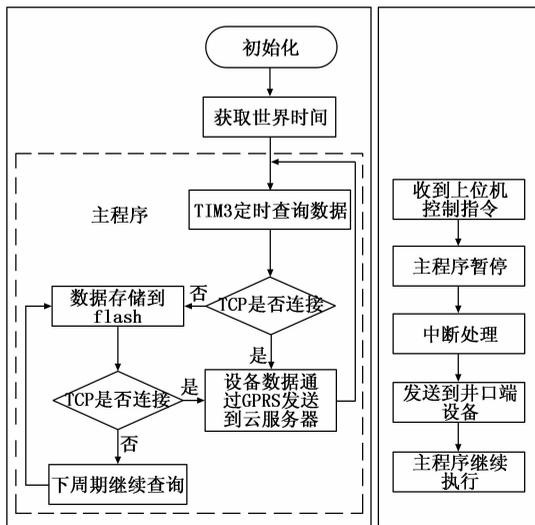
Flash 使用 W25Q40 芯片用于存储配置信息 (设备号、设备系数、服务器 IP 地址); 保存没有及时上传至云服务器的数据。

## 3 软件设计

软件系统设计包括硬件系统的软件设计以及上位机软件设计。

### 3.1 硬件系统的软件流程

单片机软件程序以 keil uvision5 为开发平台采用 C 语言进行编程。硬件系统正常工作主要有两个状态, 如图 5 所示, 图 5 (a) 表示主程序状态, 图 5 (b) 表示中断处理状态。



(a) 主程序状态 (b) 中断处理状态

图 5 程序流程图

1) 主程序运行状态: 初始化后, GPRS 模块从 NTP 服务器获取 UTC, 处理后存入单片机 RTC 寄存器。由 TIM3 定时器定时查询并读取井口端设备信息。在数据上传前, 检测 GPRS 模块 TCP 连接是否正常, 连接正常通过 GPRS 将数据发送至云服务器, 否则将数据存入 flash 芯片中。当

检测到 TCP 连接正常后, flash 芯片中存储的数据在定时器定时查询空闲状态中通过 GPRS 将数据发送至云服务器。

2) 中断处理状态, 当收到来自上位机的指令, 主程序暂停运行, 进入中断处理并发送控制指令到井口端设备后主程序继续执行。

### 3.2 上位机软件系统设计

上位机软件系统使用 Windows 系统以 .NET 作为开发环境, 采用 C# 语言编写, 包括云服务器软件、本地服务器软件和本地客户端软件。SuperSocket 是基于 .NET 轻量级的开发框架, 支持各种协议, 内置的协议解析工具把实现通信协议这种复杂的工作变得简单, 因此, 使用 SuperSocket 完成 TCP/IP 通信。

#### 3.2.1 云服务器软件

远程服务器软件在接收到信息后, 判断收到信息的来源。如果是来自 GPRS 模块就将数据解析并保存至云服务器数据库; 如果是来自本地客户端的控制指令, 就将控制指令发送至单片机的 GPRS 接收模块; 如果是来自本地服务器的查询指令, 根据查询信息从数据库中获取信息发送至客户端。远程服务器软件界面如图 6 所示。

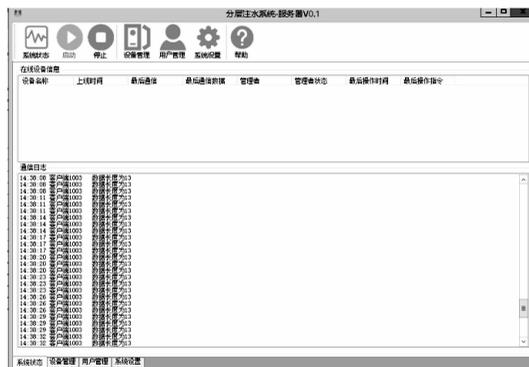


图 6 远程服务器软件界面

#### 3.2.2 MySQL 数据库

系统使用数据库<sup>[12-13]</sup>管理工具 Navicat 对数据库 MySQL 进行开发。Navicat 是一套快速、可靠并且价格相当便宜的数据库管理工具, 专为简化数据库的管理及降低系统管理成本而设, 其直观化的用户界面使使用者以安全并且简单的方式创建, 访问并用信息。远程服务器和上位机监控软件使用的数据库结构相同, 都是用于对数据、设备信息和用户信息的储存。索引是对数据库表中一列或多列的值进行排序的一种结构, 使用索引可快速访问数据库表中的特定信息, 因此为了减少数据查询时间, 为列表中的设备号以及上传时间建立索引。

#### 3.2.3 本地服务器和本地客户端

本地服务器主要用于显示选中设备的重要信息, 并将列表中所有在线的设备信息保存到本地数据库中。

本地客户端从本地 MySQL 数据库中读取设备详细信息 (实时信息、历史信息、历史流量等), 并在远程操控界面对井口端设备进行阀门开闭, 流量设定等控制操作。本地

服务器主界面如图 7 所示,本地客户端主界面见图 8。



图 7 本地服务器主界面

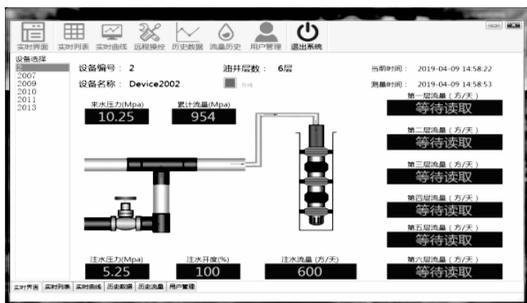


图 8 设定结果显示

## 4 系统测试

### 4.1 硬件控制和远程通讯开发板实物图

开发板使用 AltiumDesigner 软件设计,直径大小为 70 mm,方便安装在井口端设备上,4 个定位孔便于固定。

### 4.2 测试结果及分析

试验在中国石油大学(华东)教学科研基地进行测试,将开发板连接到油田注水仿真设备,打开运行在 Windows 系统上的上位机软件以及发布在阿里云服务器上的云服务器软件 and 数据库。由于注水井数据一般都是大量重复性数据,为了节约系统资源同时又保证实时数据的传递,因此将 STM32 单片机上传到云服务器上的时间间隔设置为 3 s 一次。

1) 图 9 为客户端显示井口端设备放大后的历史信息,可以看出数据能够准确显示数据,且远程数据传输稳定。并且从图 7 可以看出采集时间与当前时间一致,在数据传输方面具有较高的实时性。

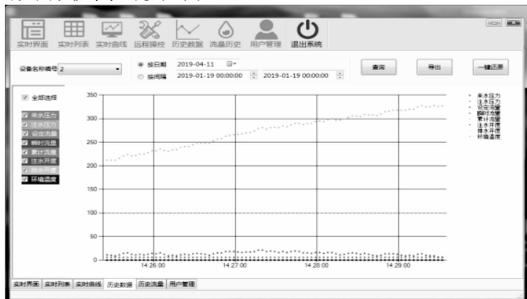


图 9 客户端历史数据界面

2) 在远程操控界面将注水开度设为 100 以及将设定流量设定为 600 (方/每天) 后,设备反馈的结果如图 8 所示,注水流量已被设定为 600 (方/每天),可以看出对井口端设备的控制符合工业要求。

3) 为了测试 MySQL 数据库中数据的容量对上位机的影响将开发板上电 3 个月,此时数据库中的数据达到了 258 万条,在通信条件良好的情况下,下发控制指令,系统响应时间依然保持在 1s 以内。其实时性、稳定性得到保证。

## 5 结束语

本文设计了一个油田注水硬件控制和远程监控系统,主要介绍了此系统的硬件和软件设计,并给出了设计的效果图。本系统将操作人员从繁琐的人工操作过程中解脱出来,实现油田注水远程监控、高效运行的同时,极大改善了操作维护人员的工作环境。

通过上位机测试验证了系统的通讯功能,系统的稳定性、实时性达到了实际应用的要求。实现了集云数据采集、存储、显示及设备硬件控制于一体的实训平台设计。

### 参考文献:

- [1] 张海涛. 信息化油田注水井的区块监管系统设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2017.
- [2] 孙艳琴. 基于虚拟串口和数据库技术的远程监控系统软件设计 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2013.
- [3] 李文华, 李涛, 杨旭. 基于 PIC16F877A 的分层注水流量智能测调系统的设计 [J]. 工矿自动化, 2010, 36 (4): 95-98.
- [4] 宋华军, 邵帅, 刘润华, 等. 改革实训教学模式, 提高学生综合设计能力 [J]. 实验室研究与探索, 2017, 36 (9): 206-210.
- [5] 吴学富, 刘忠富. 基于 STM32 的车辆远程预警系统设计 [J]. 智能计算机与应用, 2018, 8 (1): 138-141.
- [6] 刘青川, 沈海军, 闻娜, 等. 基于 GPRS 的煤矿远程监控通用终端设计 [J]. 煤炭技术, 2017, 36 (12): 207-208.
- [7] Chitre V A, Daigle J N. IP-based services over GPRS [J]. ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review, 2000, 28 (3): 39-47.
- [8] 王玺联. GPRS 无线数据采集与 CAN 总线远程监控系统设计与开发 [D]. 烟台: 烟台大学, 2011.
- [9] 董丽, 游静, 朱春红. 基于 GPRS 远程监控系统在油田生产中的应用 [J]. 石油工业计算机应用, 2008 (3): 44-46.
- [10] 封位, 黄国辉, 姜周曙. 远程实验数据监控系统设计与应用 [J]. 实验技术与管理, 2017, 34 (9): 142-145.
- [11] 李凤民, 潘居臣, 宋松, 等. 油井远程监控系统采集层设备 RTM 的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5): 89-92.
- [12] 朱学娟, 葛新民, 单沙沙. 远程实时传输测井系统的设计与实现 [J]. 科学技术与工程, 2019 (15): 70-76.
- [13] 成建宏, 马训鸣. 电器试验设备远程监控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (2): 66-70.