

# 基于 Modbus 协议的混砂车数据采集系统设计与实现

黄立华<sup>1</sup>,张海鹏<sup>1</sup>,刘洪江<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(北京)克拉玛依校区,新疆 克拉玛依 834000; 2. 东营汇聚丰石油科技有限公司,山东 东营 257000)

**摘 要:**为了解决混砂车数据采集系统可靠性低、防砂施工过程不具备可追溯性的问题,开发了混砂车数据采集系统和仪表车监控系统。数据采集系统采用 PLC 控制器采集防砂施工中的左、右输砂量、排量、油压、套压。仪表车监控系统借助 Delphi 编程环境,采用 Modbus 协议完成监控软件开发。该监控系统实现了混砂车数据的实时监控和记录,同时为油气井综合分析软件提供基础数据库。改造后的混砂车数据采集系统满足油气井防砂施工要求。

**关键词:**混砂车;数据采集;高速计数;Delphi;Modbus 协议

**中图分类号:**TP23 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)02-0095-03

## Design and Implementation of Data Acquisition System for Sand-mixing Vehicle Based on Modbus Protocol

HUANG Lihua<sup>1</sup>, ZHANG Haipeng<sup>1</sup>, LIU Hongjiang<sup>2</sup>

(1. China University of Petroleum(Beijing)Karamay Campus, Karamay 834000, China;

2. Dongying Huijufeng Petroleum Technology Co., Ltd., Dongying 257000, China)

**Abstract:** To improve poor reliability of data acquisition system of sand-mixing vehicle and lack of traceability in construction process, the data acquisition system and instrument truck monitoring system of sand-mixing vehicle were developed. PLC controller was adopted in the data acquisition system to collect the left and right sand transportation volume, displacement, oil pressure and casing pressure in construction. The monitoring system of instrument car was programmed with Delphi programming environment and Modbus protocol, which realized the real-time monitoring and recording of sand mixing vehicle data, and provided basic database for oil and gas well comprehensive analysis software. The improved data acquisition system of sand mixer met the requirements of sand control in oil and gas wells.

**Keywords:** sand-mixing vehicle; data acquisition; high speed counting; Delphi; Modbus protocol

## 0 引言

目前国内部分油气田开采已进入中后期,压裂技术被广泛应用于油气田增产增效<sup>[1]</sup>,同时压裂施工也造成了出砂井数量增多,出砂面积增大,出砂部位加深,防砂施工难度加大<sup>[2]</sup>。这就要求油气井防砂施工过程管理更精细,施工过程应具有可追溯性。早期的混砂车参数仪采用单片机作为控制器,系统功能单一、扩展性差,且不提供数据交互接口。混砂车为移动式作业装备,野外施工现场工况恶劣,参数仪故障率高,操作人员多凭经验操作,原有混砂车数据监控系统无法满足目前压裂防砂施工要求。对某厂家生产的混砂车数据采集系统进行改造,并新增仪表车监控系统。

量之和,砂比等于输砂量与出口排量之比。常规施工过程中向混砂罐中添加支撑剂和干粉的情况较少<sup>[3]</sup>,改造后的系统未对液添流量和干添流量进行数据采集。混砂车数据采集系统结构如图 1 所示。系统网络分为设备层、控制层和信息层。控制器采用西门子 S7-200 小型 PLC,利用 PLC 高速计数功能测量螺旋绞龙的转速,间接测量输砂量。利用模拟量扩展模块 EM231 完成排量、油压、套压的检测。PLC 控制器 RS485 接口 PORT0 采用 Modbus 协议与仪表车通信,PORT1 采用 PPI 协议与混砂车控制室内触摸屏通信。触摸屏作为 PPI 协议通信主站对 PLC 寄存器进行读写,实现传感器标定和参数动态显示。仪表车监控系统作为 Modbus RTU 协议通信主站,读取并解析对应工艺参数,生成相应报表、曲线,并为第三方的油气井综合分析软件提供特定格式的数据库文件。

## 1 数据采集系统结构

混砂车数据采集系统主要采集输砂量、排量、砂比、液添流量、干添流量、油压、套压。其中输砂量为左、右输砂

## 2 PLC 程序设计

混砂车利用左、右两个螺旋绞龙向混砂罐输送粒径为 0.8~1.2 mm 的石英砂,螺旋绞龙轴顶部安装一个测量齿

**基金项目:**中国石油大学(北京)克拉玛依校区科研启动基金资助项目(XQZX20200024)

**第一作者简介:**黄立华(1984—),男,高级工程师,硕士,主要从事石油化工设备自动化控制方面的教学与科研。

轮,其齿数为 36。螺旋绞龙每旋转 1 周接近开关发出 36 个脉冲信号。利用 PLC 高速计数功能分别检测左、右两个输砂绞龙的转速,计算左、右输砂瞬时量。该 PLC 高速计数功能采用专用芯片捕捉脉冲信号,计数过程不受 PLC 扫描周期的影响,最高计数频率可达 100 kHz,可确保输砂量测量的可靠性。高速计数采用内部方向控制的单向计数模式,2 个接近开关的输出信号分别接 PLC 高速计数专用输入通道 I0.0 和 I0.1,对应高速计数器为 HSC0 和 HSC3。高速计数器 HSC0 初始化程序如图 2 所示,HSC3 与之类似,主程序利用首次扫描接通寄存器位 SM0.1 调用初始化子程序。

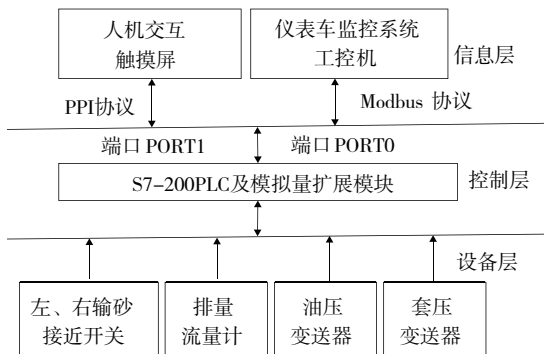


图 1 数据采集系统结构图

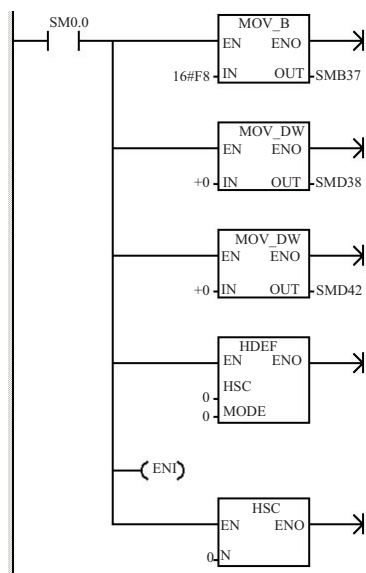


图 2 高速计数器 HSC0 初始化程序

利用 T200 定时器产生周期为 1 s、脉宽为一个扫描周期的连续脉冲,定时读取高速计数器 HSC0 和 HSC3 的当前值 HC0 和 HC3。左输砂量计算逻辑如图 3 所示,其中 Lef\_sand 为左输砂的脉冲当量,输砂量的单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ 。读取高速计数器当前值后,复位高速计数器 HSC0、HSC3,使其重新计数。设置高速计数器 HSC0 控制寄存器 SMB37 值为 16#F8,重新启用计数器 HSC0,并写入当前新值和预设值,利用 HSC 指令重启该高速计数器。排量、油压、套压变送器输出均为 4~20 mA 标准信号,分别接入模拟量输入模块 EM231 的 A、B、C 通道,

A/D 线性转换后得到对应排量瞬时值、油压、套压。利用 T200 定时器产生的秒脉冲,完成左、右输砂量和出口排量的累积计算。

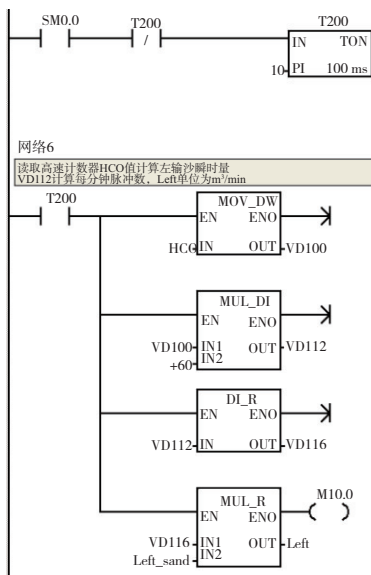


图 3 左输砂计算程序

### 3 上位机程序设计

混砂车上位机程序设计包括触摸屏程序和仪表车监控程序设计,触摸屏采用 PPI 主从协议与 PLC 通信,其数据帧格式含 PPI 帧头和 PPI 载荷区两部分,PPI 帧头为固定格式,PPI 载荷区包含数据头、参数 1、参数 2、变量 1。触摸屏作为 PPI 通信主站,发送 VD 区读取指令获取左输砂量、右输砂量、输砂量、排量及对应累积量、砂比、油压、套压的值并进行实时显示。发送写指令修改 PLC 对应寄存器,完成左、右输砂脉冲当量、排量、油压、套压量程、增益及偏移量的设置。

PLC 作为从站与仪表车监控系统采用 RS-485 总线的 Modbus RTU 协议通信<sup>[4-5]</sup>,PLC 将输砂量、累积输砂量、排量、累积排量、油压、套压以浮点数格式存入 VB50 开始的 24 个连续字节 V 区寄存器。利用 MBUS\_INIT 指令完成 PLC 通信参数设置,具体通信参数如图 4 所示。

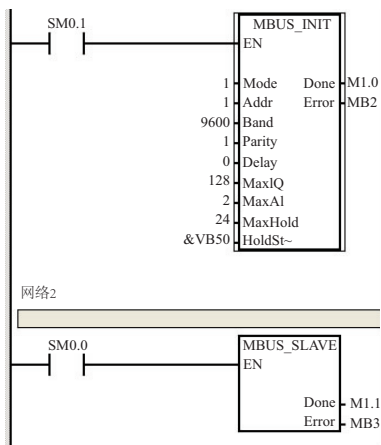


图 4 下位机 Modbus 通信参数设置

仪表车监控软件是利用 Delphi 编程平台、借助第三方 SPComm 串口控件和 Iocomp 工控仪表控件编写的上位机程序。仪表车工控机作为主站,监控软件定时调用 SPComm 串口控件的 WriteCommData 方法,通过串口向 PLC 定时发送寄存器读取请求指令,时间间隔 500 ms,其十六进制读取数据帧为:01 03 00 00 00 0C 45 CF。其中 PLC 从站地址为 01,寄存器读取功能码为 03,起始地址为 00 00,数据长度为 00 0C,CRC16 校验为 45 CF。从站 PLC 收到请求后返回 VB50 作为起始地址的 12 个寄存器(24 个字节)的值,应答帧数据格式如下(应答帧数据长度为十六进制 18):01 03 18 数据 1... 数据 24 CRC 低字节 CRC 高字节。

仪表车监控系统采用基于事件触发的多线程方式完成串口数据接收,工控机串口接收到 PLC 应答数据后,将接收的数据放入缓冲区,同时产生一个硬件中断。系统发出对应消息,触发仪表车监控软件辅助线程 OnReceiveData 响应该事件。在事件响应程序中获取缓冲区数据,重新计算接收字符串的 CRC16 校验值并与接收字符串末尾 2 个校验字节进行比对,判断接收数据的有效性。然后从接收字符串的第 4 个字节开始,每 4 个字节代表 1 个工艺参数,将其解析为对应的输砂量、累积输砂量、排量、累积排量、油压、套压,其数据解析程序部分代码如下:

```
Procedure Form2.Comm1ReceiveData(Sender: TObject; Buffer:
Pointer; BufferLength: Word);
Var
receivelegal: boolean;
begin
plcreceivelegal := false;
SetLength(Str, BufferLength);
Move(buffer^, PChar(@Str[1]), bufferlength);
//判断 PLC 返回数据是否有效
receivelegal := hCheckCrc(Str);
if receivelegal then
begin
hexstr := StrToHexStr(Str);
//参数字符截取
SandFlow_str := copy(str, 4, 4);
SandAcc_str := copy(str, 8, 4);
...
Try //转浮点数 SandFlow := hextofloat(StrToHexStr
(SandFlow_str));
SandAcc := hextofloat(StrToHexStr(SandAcc_str));
...
except
...
end;
```

混砂车电液阀件在操作过程会产生一定的高频干扰信号,造成数据突变。采用递推平均滤波法对采样数据进行滤波,为 6 个工艺参数分别建立 1 个一维数组。综合考虑采集系统实时性和平滑效果,设置数组长度为 20,采样数据采用“先进先出”方式存入各自数组中,每个采样周期计算 1 次数组中所有元素均值作为当前采样数据。

仪表车监控程序将解析后的防砂施工过程参数在上位机上进行实时显示,利用 Iocomp 组件中的 iXYPlot 控件

新建 6 个曲线记录通道,定时调用其 AddXY 方法以采样次数为  $x$  轴,当前值为  $y$  轴,生成输砂量、输砂累积、排量、累积排量、油压、套压的实时曲线。

利用 Delphi 自身控件 ExcelApplication、ExcelWorksheet、ExcelWorkbook 调用工控机已安装的 Excel 应用程序,创建并激活工作表、工作簿,完成表格固定单元格内容赋值,利用定时器循环记录压裂防砂施工试压、前置、加砂、顶替相关阶段工艺参数,自动生成防砂施工报表,记录时间间隔为 3 min。仪表车监控界面如图 5 所示。

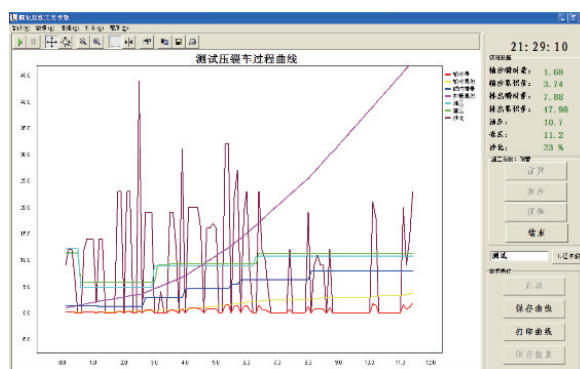


图 5 仪表车监控程序界面

为进一步深入研究油气井出砂机理、影响因素以及防砂改进措施,每间隔 5 s 系统生成一条记录,将每次施工过程数据存储为一个数据库文件,以油井名称、施工日期时间命名。该数据库为油气井综合分析软件提供实验数据,软件对防砂施工过程进行分析评价、油气井工况进行判断,并作为油气井综合管理的一个重要组成部分。

## 4 数据采集系统分析

本系统中左、右瞬时输砂量、输砂量累积、出口排量累积计算均以 T200 定时器产生间隔为 1 s 的脉冲作为计时基准,该时间间隔比真实时间基准少一个 PLC 扫描周期,这样会造成瞬时输砂量和累积量比真实值略小。经 5 个井次的现场测试,发现施工完毕后的累积量与设计的砂量和配液比较存在约 3% 的误差,基本满足施工要求。进一步提高输砂量检测精度可采用定时中断,通过中断事件响应直接访问高速计数器当前值寄存器 HC0、HC3 计算输砂量。避免将外设寄存器值送入过程映像区,整个计数过程不受扫描周期影响。

输砂量是利用绞龙转速与左、右输砂脉冲当量的乘积计算得到的,受限于螺旋绞龙输送机械结构约束,砂箱内石英砂的堆积高度将直接影响输砂脉冲当量。当砂箱内石英砂较少时,实际输砂脉冲当量会偏小,计算所得砂比、输砂量会偏大。当螺旋绞龙空转时,操作人员需及时停止输砂绞龙。

将仪表车监控软件生成的数据库导入油气井综合分析软件,发现存在约 10% 的数据与实际工艺过程明显不符。因递推平均滤波法仅对采样数据进行平滑处理,故应结合防砂施工过程工艺特征,考虑数据之间的关联性,对

(下转第 102 页)

线。确定模型的工艺路线是为了建立工序模型,因此只考虑形状特征发生改变的工序,表面处理、热处理等信息根据需求使用三维标注的方式标注在 MBD 模型中。该零件逆向从设计模型到毛坯模型共需要经历 7 步建模工序,由设计模型—车螺纹—铣键槽—半精车一端圆柱体—半精车另一端—粗车一端—粗车另一端—毛坯模型。最终工序模型由左到右为的设计模型到毛坯的模型步骤,建模结果如图 8 所示。

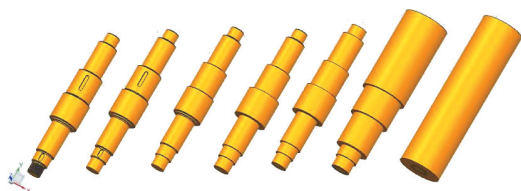


图 8 三维工序模型

## 5 结语

三维工序模型是连接设计与制造的桥梁,本文通过基于特征树的特征遍历匹配方法实现特征识别,应用几何链接器功能和建模功能实现三维工序模型的创建,并通过实例验证了方法的可行性,最终完成了工序模型的创建,该研究为后续完成 CAPP 系统奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] 吕昆仑,李显君,刘召君. 应用基于模型的定义技术建立三维工序模型研究[J]. 机械制造,2021,59(1):44-47.
- [2] 曲令晋,邵鑫. 基于 Pro/E 数字化三维工艺设计系统的研究[J]. 机械制造,2015,53(9):79-83.
- [3] 孙汉文,周来水,卫炜. MBD 工艺模型驱动的涡轮盘槽拉刀设计[J]. 机械制造与自动化,2019,48(4):42-45.
- [4] 白茜. 基于 MBD 的特征识别方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2016.
- [5] 石雷,谢新春,王勃,等. 基于 MBD 项目三维工艺技术应用研究[J]. 航空标准化与质量,2020(1):20-22,38.
- [6] JING X W, TANG M M, LIU J F, et al. Research on the intelligent generation method of MBD model 3D marking using predefined features[J]. Concurrent Engineering, 2020, 28(3): 222-238.
- [7] 吕斌,王细洋. 基于特征编码的飞机结构件工艺设计[J]. 航空制造技术,2017,60(3):81-85.
- [8] 黄斌达. 基于 MBD 的工序模型建模方法研究[J]. 机电信息, 2019(15):83-84.
- [9] 王杰,李方信,肖素梅. 机械制造工程学[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004:43-44.
- [10] WAN N, MO R, LIU L L, et al. New methods of creating MBD process model: on the basis of machining knowledge[J]. Computers in Industry, 2014, 65(4): 537-549.

收稿日期:2021-05-06

(上接第 97 页)

无效数据进行剔除。未来还需进一步完善数据有效性判别算法,数据采集系统联机调试结果如图 6 所示。

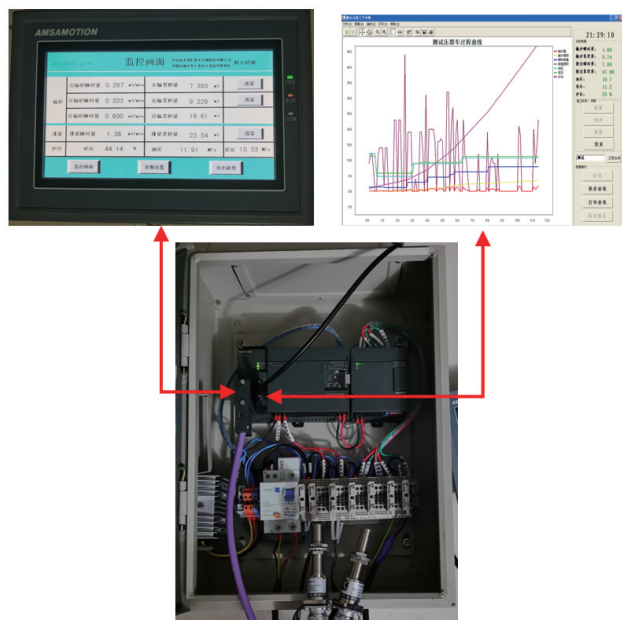


图 6 系统联机调试

## 5 结语

本设计利用 S7-200 PLC、艾莫迅触摸屏和 Delphi 编程平台实现对原有混砂车数据采集系统的改造,基本满足现阶段油气井防砂施工要求。混砂车控制部分仍采用手动操作液压阀件来实现,数据采集系统与液压控制系统相互独立,提高了混砂车运行的可靠性,但同时也降低了作业装备的自动化程度。提高混砂车自动化程度可采用专用车载控制器,在增加系统可靠性的同时将液压控制系统与数据采集系统进一步集成。

### 参考文献:

- [1] 杨小涛,白田增,任勇强,等. 油田混砂车自动控制系统的研究与应用[J]. 中国新技术新产品,2020(14):74-75.
- [2] 张正祖,彭俊威,李小兵,等. 混砂车液压控制系统设计研究[J]. 机械工程师,2016(7):177-178.
- [3] 王万帅. 压裂机组仪表车的监控系统研究与设计[D]. 兰州:兰州理工大学,2014:6-20.
- [4] 夏正龙,邓斌. 基于 PLC 的智能仪表通信协议解析设计与实现[J]. 自动化仪表,2020,41(6):17-19,23.
- [5] 龚培娇,黄辉,肖飞,等. Modbus 协议在储能系统中的实现与应用[J]. 自动化技术与应用,2020,39(11):48-54.

收稿日期:2021-02-01