

# 基于总线技术的井下流量采集传输系统设计

王 恒<sup>1,2</sup>, 刘海山<sup>1</sup>, 李 雪<sup>1</sup>, 张天琪<sup>1</sup>, 白玉新<sup>1,2</sup>

(1. 北京精密机电控制设备研究所, 北京 100076;

2. 航天钧和科技有限公司, 北京 100076)

**摘要:** 文章介绍了一种井下流量采集传输系统设计和实现方案; 针对油田分层注水井需要实时监测每层油层注水量以及压力温度等参数, 设计了基于文丘里流量计原理和总线技术的井下流量采集传输系统, 该井下流量采集传输系统实时采集文丘里流量计入口和出口处压力差, 根据测量压力差及文丘里管尺寸, 通过能量守恒定律——伯努力方程和流动连续性方程计算实时流量, 并对时间进行积分计算出总流量, 通过 485 总线实时将流量等参数上传至地面测控计算机, 具有参数上传实时性强、流量采集精度高、抗干扰能力强、尺寸小等特点。实验结果表明, 井下流量采集传输系统满足注水井流量等参数实时监测的要求。

**关键词:** 文丘里流量计原理; 总线技术; 实时采集传输

## Collecting and Transmitting Downhole Flow Rate Design Based on Bus Technology

Wang Heng<sup>1,2</sup>, Liu Haishan<sup>1</sup>, Li Xue<sup>1</sup>, Zhang Tianqi<sup>1</sup>, Bai Yuxin<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Research Institute of Precise Mechanical and Electronic Control Equipment, Beijing 100076, China;

2. Aerospace Conservo Technology Co., Ltd., Beijing 100076, China)

**Abstract:** This article introduced a monitoring system, which used to collect and transmit downhole flow rate. Typical separating injection well needs to monitor injected water volume of each oil layer and measure parameters such as pressure and temperature. This monitoring system is designed based on principle of the venturi meter and bus technology. It by way of monitoring pressure difference in between inlet and outlet of the venturi meter, with measured pressure difference and tube size of the venturi meter, applied energy equation (Bernoulli Equation and continuity equation) to calculate the real time flow and time integral algorithm to calculate the total flow. Then data will be send to surface measuring and controlling computer. This system has benefits such as real time data sending, high accuracy data collection, anti-interference ability, compact-sized. The experimental results showed that this system satisfies the requirements of measuring real time downhole parameters such as flow rate within injection well.

**Keywords:** venturi meter; bus technology; real time collection and transmission

## 0 引言

多年来, 为了满足油田不同开发阶段的技术需求, 解决油田开发层间存在的矛盾, 对油层进行注水, 保持各油层压力, 实现油田高产稳产和改善油田开发效果<sup>[1]</sup>。随着注水时间及注水量的延续, 需要合理控制各层的注水量, 防止高渗透层水窜, 因此发展分层注水技术, 实现有效注水, 是高含水后期, 特高含水期继续提高水驱采收率的主攻方向之一<sup>[2-4]</sup>。

注水方式可以将油井作为一个整体进行注水, 即笼统注水, 也可以对油井的各个产层进行分层注水, 达到分层开采的目的。传统的笼统注水具有管柱结构简单、操作简单的特点, 但不能进行分层注水, 每层的注水量得不到控制, 注水不均匀; 分层注水采用封隔器和配水器等组合, 精确控制各层的注水量, 达到精细注水的目的<sup>[5-6]</sup>, 越来越受到油田的青睐。

针对现阶段笼统注水注水量测量及分层注水每层注水量测量需求, 对注水过程中流量测量需求日益增强。目前国内电磁流量计使用的较为广泛, 但电磁流量计结构复杂, 为此设计了基于文丘里流量计原理和 485 总线通信的井下流量采集传输

系统。

## 1 系统结构及原理

### 1.1 系统构成

如图 1 所示, 该系统包括地面系统和井下流量采集传输系统两部份。地面系统包括测控计算机和地面测控箱, 其中测控计算机负责采集指令下发、数据接收、数据解析、数据显示以及数据存储、报表生成打印等; 地面测控箱负责为井下流量采集传输系统提供电源、总线通信、过流保护等。井下流量采集传输系统包括电源变换单元、485 总线通信单元、主控单元、AD 采集单元、压力传感器和温度传感器等。电源变换单元作为井下流量采集传输系统的电源来源, 为主控单元、通信单元、AD 采集单元、压力传感器和温度传感器提供电源; 通信单元负责主控单元与测控计算机间 485 总线通信; 主控单元负责接收测控计算机发来的指令、AD 采集、瞬时流量计算、总流量计算、指令信息回复等; AD 采集单元负责采集压力传感器和温度传感器数据等。

### 1.2 系统工作原理

使用过程中, 井下流量采集传输系统随油管下至井下几千米需要测量流量对应层处, 通过铠装线缆与放置在井口的地面测控箱连接, 测控计算机通过串口线缆与地面测控箱间连接, 如图 2 所示, 铠装电缆为 4 芯, 其中 2 芯为电源线缆, 2 芯为

收稿日期: 2018-02-23; 修回日期: 2018-03-12。

作者简介: 王 恒(1985-), 男, 安徽蚌埠人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事伺服控制方向的研究。

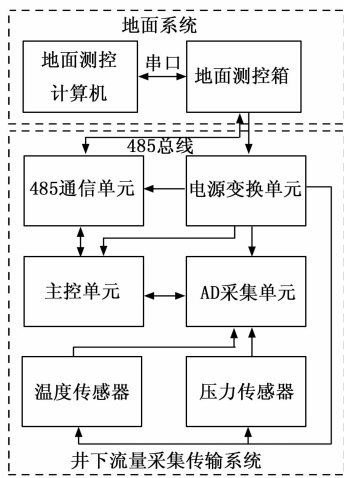


图 1 系统构成示意图

485 总线通信线缆。

井下流量采集传输系统中的电源单元将地面测控箱提供的高压直流电转换为系统所需的低压直流电; 主控单元实时通过 AD 采集单元实时采集压差传感器压力、压力传感器压力及温度传感器数据, 根据文丘里计算公式、压差传感器压力及温度数据实时计算瞬时流量, 并通过瞬时流量对时间进行积分计算总流量。当地面测控计算机通过串口发送给地面测控箱并经地面测控箱和铠装电缆以 485 总线方式下传至井下流量采集传输系统中的主控单元时, 主控单元将根据协议将数据进行打包发送, 经铠装电缆和地面测控箱到达测控计算机, 测控计算机进行数据解码、显示及存储, 并可提供报表生成打印服务。

当多个井下流量采集传输系统一起下入同一口井使用时, 共用一套地面系统, 各井下流量采集传输系统间通过铠装电缆连接在一起, 测控计算机通过软件协议中

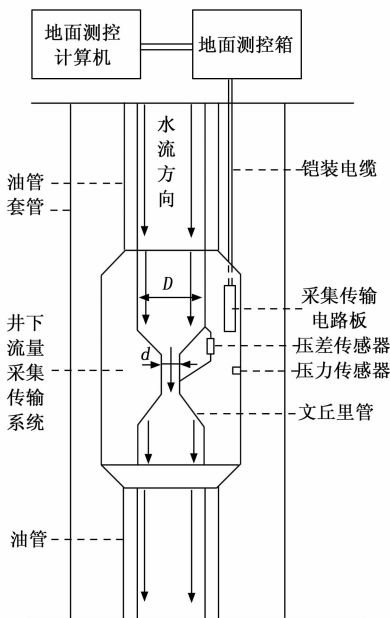


图 2 井下流量采集传输系统结构示意图

指令命令符的不同区分不同流量采集传输系统的数据, 达到多级使用的目的。

## 2 系统软硬件设计及算法描述

### 2.1 系统硬件设计

#### 2.1.1 电源变换单元

电源变换单元负责将地面提供的高压直流电 (+24 V ~ +72 V) 转换为系统所需的低压直流电 (+5 V), 在设计时电源模块的输入端电源正负间串接 5 个 3.3  $\mu$ F/250 V 电容和 1 个 0.1  $\mu$ F/250 V 电容。

地面测控箱与井下流量采集传输系统间使用几千米铠装电缆连接, 为避免电源接反及瞬间断电产生的高压反电动势烧坏电源模块, 在电源线进入电源模块前电源正负间反接一个 1.5KE250A 二极管, 用以保护电源模块。

#### 2.1.2 485 总线通信单元

RS-485 总线系统具有硬件设计简单、控制方便、成本低廉、传输距离远等优点, 现广泛应用于工业控制、小区监控、水情监测、地震勘探等领域<sup>[7-9]</sup>。

485 总线通信单元原理如图 3 所示, 485 总线芯片采用 Ti 公司的 SN65HVD1781-Q1 芯片, 该芯片具有总线管脚保护不于  $\pm 70$  V、工作电压从 3.3 V ~ 5 V、 $\pm 16$  KV HBM 保护、功耗低等特点。

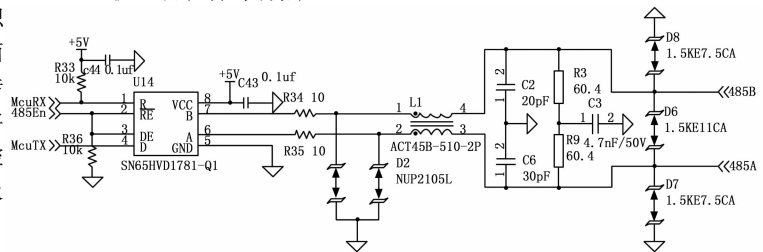


图 3 485 总线通信原理图

由于井下流量采集传输单元在井下工作, 通过几千米铠装电缆与地面测控箱间连接, 因此在通信过程中干扰较大, 为了抑制干扰, 采取如下措施:

- 1) 在 485 总线芯片的 A 脚和 B 脚分别串联一个 10 欧姆电阻;
- 2) 在总线上串接共模扼流圈;
- 3) 总线的 A 线和 B 线分别对地进行串接 TVS 管;
- 4) 总线 A 线和 B 线分别对地进行串接 30 Pf 电容;
- 5) 总线 A 线和 B 线直接串接两个 60.4 欧姆电阻, 两个电阻中间通过一个 4.7 Pf 电容对地连接;

6) 485 总线进入电路板后, A 线和 B 线间串联一个 1.5 KE11CA 的 TVS 管, 同时分别对地串接一个 1.5 KER7.5CA 的 TVS 管, 避免因高压电引入烧坏 485 总线通信单元。

由于与地面测控箱间连接的铠装电缆不仅提供 485 总线通信, 还提供电源, 为了尽可能的减弱干扰, 铠装电缆中的 2 根 485 总线电缆进行双绞处理、提供电源的 2 根电缆也进行双绞处理。

#### 2.1.3 主控单元

井下流量采集传输系统主控芯片采用 MICROCHIP 公司的 PIC18F25K80 芯片, 该单片机工作电压范围: 1.8 V 至 5.5 V、自带片上 3.3 V 稳压器、工作速度最高可达 64

MHz、最大 64 KB 的片上闪存程序存储器、最少 20 年数据保存时间（典型值）、1024 字节的数据 EEPROM、3.6 KB 的通用寄存器（SRAM）、3 个内部振荡器、中断优先级、扩展型看门狗定时器（WDT），同时具有功耗低、抗干扰能力强等特点<sup>[10]</sup>。

具有 5 个 CCP/ECCP 模块、5 个 8/16 位定时器/计数器模块、2 个模拟比较器、可配置的参考时钟输出、最多 4 个外部中断、3/4 线 SPI（支持所有 4 种 SPI 模式）、I<sup>2</sup>C™ 主/从模式、2 个增强型可寻址 USART 模块、最多具有 11 路通道的 12 位 A/D 转换器、符合 CAN 2.0B Active 规范。

2.1.4 AD 采集单元

ADC 采集单元负责采集压差传感器输出电压、压力传感器输出电压、标准电压值及温度传感器输出电压，其中压差传感器输出电压用于计算文丘里流量计两端压力差，根据压差计算瞬时流量及总流量；压力传感器实时用于测量地层压力；温度传感器用于测量井下温度，同时根据温度对压差传感器及压力传感器在井下实时进行二次温漂补偿；标准电压源为标准输出 2.5 V 直流电压，精度为 ±2 mV，AD 采集单元实时采集该标准电压，用于对采集的压差传感器输出电压、压力传感器输出电压和温度传感器输出电压进行实时校准，以提高电压采集精度，从而提高系统数据采集精度。

AD 采集单元的 ADC 芯片选用 TI 公司的 ADS8320 芯片，该芯片为单通道 16 位高速模数转换芯片，具有功耗低、供电电压范围宽等特点，与主控芯片间采用 SPI 总线通信。

由于 ADS8320 芯片位单通道模数转换芯片，为了满足压差传感器输出电压、压力传感器输出电压、温度传感器输出电压及标准电压 4 路模拟数据采集要求，在 4 路需采集电压与 ADC 芯片间接入一个 ADI 公司的 ADG604 模拟开关，该开关具有供电电压灵活、轨对轨等特点，完全满足需求，通过主控芯片 IO 控制模拟开关通道选择，操作简单，如图 4 所示。

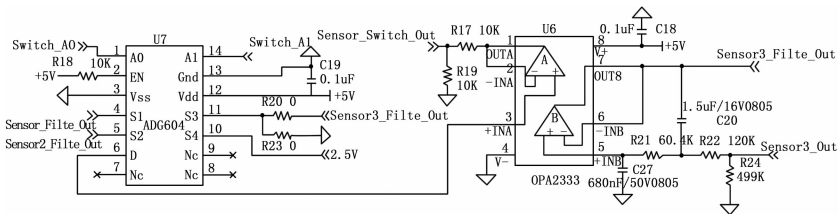


图 4 模拟开关使用原理图

由于需要主控芯片 IO 控制模拟开关通道选择，主控芯片 PIC18F25K80 的 IO 脚输出电压为 3.3 V，为了增加主控芯片 IO 的驱动能力，避免因主控芯片 IO 管脚驱动能力不足导致模拟开关通道选择失败问题，在主控芯片 IO 管脚后接入 MICROCHIP 公司的 MCP1402 芯片，该芯片实现将主控芯片 IO 管脚输出的 3.3 V 电压提高到 5 V，增加驱动能力。

2.1.5 地面测控箱

地面测控箱实现为井下流量采集传输系统提供电源、总线通信、过流保护。

为了方便井场使用，测控箱选用交流 220 V 市电作为供电电源，在测控箱中集成交流 220 V 转直流电源模块，为满足井下电源需求，测控箱中电源模块选用直流输出 0~300 V 可调电压。

同时测控箱具备将 485 总线转换为地面测控箱计算机的 232 总线通信，在测控箱中集成 RS485—RS232 通信转换模块。

2.1.6 文丘里流量计原理

文丘里流量计是一种节流流量计，节流流量计是利用节流装置前后的压差与平均流速和流量的关系，计算出流量的流量计<sup>[11-12]</sup>。

文丘里流量计利用文丘里效应原理来测量流量，该效应表现在受限流动在通过缩小的过流断面时，流体出现流速增大的现象，其流速与过流断面成反比。而由伯努利定律知流速的增大伴随流体压力的降低，形成压差，即常见的文丘里现象<sup>[13]</sup>。通俗地讲，这种效应是指在高速流动的流体附近会产生低压，从而产生吸附作用。利用这种效应可以制作出文氏管。对于理想流体（气体或者液体，其不可压缩和不具有摩擦），其压力差通过伯努利方程获得，由于本流量计用于测量注入水的流量，因此可利用伯努利方程来计算。

根据能力守恒定律，能量守恒定律——伯努力方程和流动连续性方程：

$$gz_1\rho + \frac{u_1^2}{2}\rho + p_1 = gz_2\rho + \frac{u_2^2}{2}\rho + p_2 + \Delta p_f$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}\rho(u_2^2 - u_1^2) + \Delta p_f$$

$$z_2 - z_1 = -L \cdot \cos(\theta)$$

截面 1 和 2 上的流量，即文丘里的入口和出口的流量：

$$u_1 = \frac{4V}{\pi d_1^2}$$

$$u_2 = \frac{4V}{\pi d_2^2}$$

其中： $d_1$  和  $d_2$  分别为截面 1 和截面 2 的直径，m； $V$  为体积流量， $m^3/s$ 。

$$\text{直管阻力损失: } \Delta p_f = \lambda \cdot \frac{L}{d_2} \cdot \frac{\rho u_2^2}{2}$$

$$\text{其中阻力系数: } \lambda = 0.0056 + \frac{0.5}{Re^{0.32}}$$

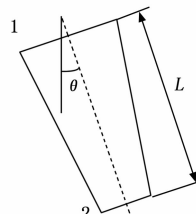


图 5 文丘里流量计

$$\text{雷诺数: } Re = \frac{du_2\rho}{\mu}$$

其中： $\rho$  为流体的密度； $\mu$  为流体的动力粘度，对于水  $\mu = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

$$\text{所以: } \Delta p = p_1 - p_2 = -\rho gL \cos\theta + \frac{1}{2}\rho(u_2^2 - u_1^2) + \Delta p_f$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = -\rho gL \cos\theta + \frac{1}{2}\rho \left[ \left( \frac{4Q}{\pi d_2^2} \right)^2 - \left( \frac{4Q}{\pi d_1^2} \right)^2 \right] + \lambda$$

$$\frac{L}{d_2} \cdot \frac{\rho}{2} \left( \frac{4Q}{\pi d_2^2} \right)^2 = -\rho gL \cos\theta + \frac{8\rho Q^2}{\pi^2} \left[ \frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} + \lambda \frac{L}{d_2^5} \right]$$

对于水，其中取阻力系数： $\lambda = 0.025$ ；

由此可得瞬时流量：

$$Q = \sqrt{\frac{\pi^2 (\Delta p + \rho gL \cos\theta)}{8\rho \left( \frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} + \lambda \frac{L}{d_2^5} \right)}} (m^3/s)$$

$$\text{总流量: } Q_{\text{总}} = \int Q dt \text{ (m}^3/\text{s)}$$

其中:  $\Delta p$  单位为 Pa;  $\rho$  单位  $\text{kg}/\text{m}^3$ , 对于水  $\rho = 1\ 000\ \text{kg}/\text{m}^3$ ;  $L$  单位 m;  $d_1$  和  $d_2$  单位 m。

### 3 系统软件设计

井下流量采集传输系统程序由地面测控软件和井下数据采集传输嵌入式软件组成。

#### 3.1 地面测控软件

地面测控软件安装在测控计算机上使用, 负责采集指令下发、数据接收、数据解析、数据显示以及数据存储、报表生成打印等;

地面测控计算机与井下流量采集传输系统的主控单元间通过 485 总线通信, 485 为半双工总线, 因此地面测控计算机作为主机, 井下系统中的主控单元为从机, 地面测控计算机定时向下发送数据采集指令, 并等待一定时间, 如果此时间内, 井下系统主控单元没有将数据反馈给测控计算机, 测控计算机认为此帧无应答, 发送下一个指令; 当多个井下流量采集传输系统一起下入同一口井使用时, 共用一套地面系统, 各井下流量采集传输系统间通过铠装电缆连接在一起, 因此为了满足共用一套地面系统的问题, 在地面测控软件设置命令字来满足对各个井下系统指令下发及井下系统数据上传的区分, 具体格式如下:

地面测控软件发送指令格式如表 1。

表 1 地面测控软件发送指令格式

主机命令字	从机命令字	数据长度	数据	校验	结束字
0xA0	0xB1/0xB2/ .../0xBn				0xA0

井下系统主控单元回复格式表 2。

表 2 井下系统主控单元回复格式

从机命令字	主机命令字	数据长度	数据	校验	结束字
0xB1/0xB2/ .../0xBn	0xA0				0xA0

其中地面测控软件发送指令中:

主机命令字 0xA0: 代表该帧为地面测控计算机下发数据读取指令;

从机命令字 0xB1/0xB2/.../0xBn: 代表地面测控计算机读几号井下系统中数据;

数据长度: 代表命令字后面将带几个字节有效数据;

校验: 主机命令字、从机命令字、数据长度以及数据的同或;

结束字 0xA0: 代表此帧数据结束。

其中井下系统主控单元回复格式中:

从机命令字 0xB1/0xB2/.../0xBn: 代表几号井下系统向地面测控计算机回复数据;

主机命令字 0xA0: 代表是该帧数据为井下系统向地面测控计算机回复数据;

数据长度: 代表命令字后面将带几个字节有效数据;

校验: 主机命令字、从机命令字、数据长度以及数据的同或;

结束字 0xA0: 代表此帧数据结束。

经过上述格式指令下发及数据回复确保指令下发、数据接收的准确无误, 地面测控软件包括指令定时发送、数据中断接收、数据解析显示、数据存储、数据打印, 软件流程图如 6 所示。

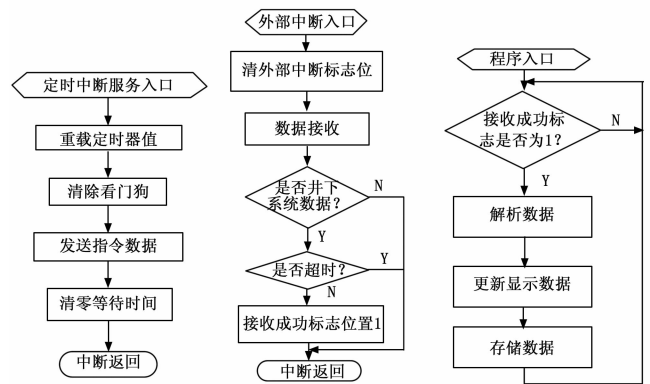


图 6 地面软件定时中断、接收中断及主程序流程图

#### 3.2 井下数据采集传输嵌入式软件

井下数据采集传输软件主要功能接收地面测控软件发送的指令、回复数据、井下传感器数据采集计算。要包括控制主程序、定时器中断子程序和外部中断子程序三部分。

控制主程序主要完成系统初始化、看门狗初始化、功能寄存器初始化、全局变量初始化、定时器及外部中断初始化等; 定时器中断子程序主要完成清除看门狗、AD 采集传感器数据、压力、温度、流量等数据计算, 主程序及定时器中断流程图如图 7 所示。

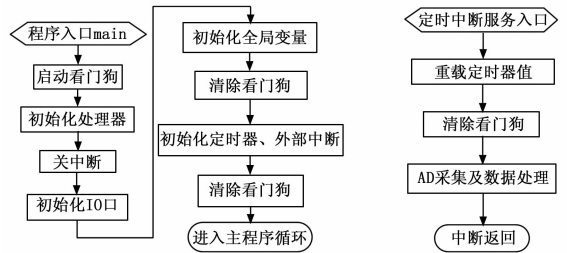


图 7 主程序、定时器中断流程图

外部中断子程序主要完成清除 485 中断信号、指令接收、指令解析以及数据回复, 该软件外部中断优先级在程序中为最高优先级, 在接收到地面测控计算机发送的指令后, 首先进行指令解析和数据反馈外部中断子程序流程图如图 8 所示。

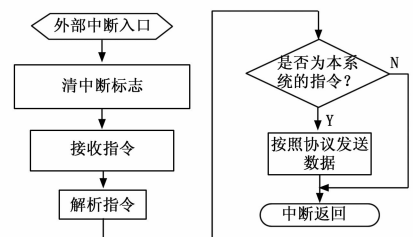


图 8 外部中断子程序流程图

### 4 实验及结果分析

为了验证井下流量采集传输系统的数据传输及参数采集计算的可靠性及准确性，进行了地面试验，试验条件如下：

- 1) 使用泵车进行泵水过井下流量采集系统；
- 2) 井下流量采集传输系统与地面测控箱间使用 4 000 米 4 芯铠装电缆连接；
- 3) 在泵车和井下流量采集传输系统间串接一个电磁流量计，用于检验设计的井下流量采集系统测量流量的准确性；
- 4) 测控箱供电电压 60 V；

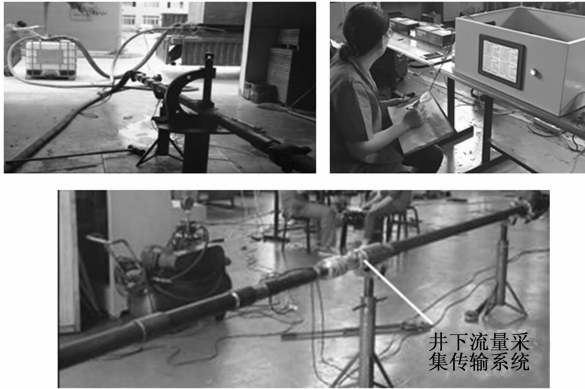


图 9 井下流量采集传输系统地面试验

由于井下流量采集传输系统采用文丘里原理进行流量测量，即采用压差及文丘里管尺寸进行计算得到流量，由于其量程比较小，不同的流量范围采用不同的结构尺寸 ( $D$  和  $d$ )，其中  $D$  和  $d$  尺寸见图 2 中的标注，不同的流量范围与结构尺寸之间关系如表 3 所示；管径 ( $D$ ) 20 mm，不同开孔尺寸 ( $d$ )，其压差与流量之间关系如图 10 所示。

表 3 结构尺寸和流量间关系

$D$ / mm	$d$ / mm	最大压差/ kPa	流量范围/ ( $m^3/d$ )
20	15	200	40~140
18	10.3	200	15~150
14	5.1	200	3~30

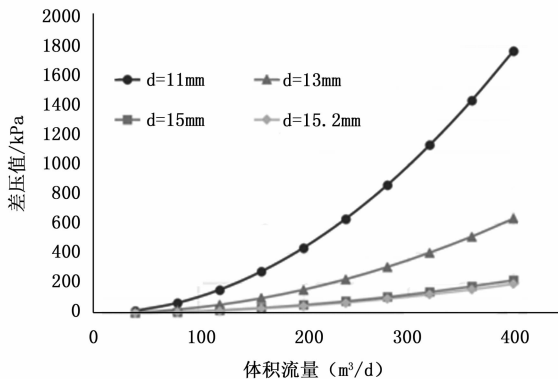


图 10 压差与流量之间关系

地面测控软件间隔 2 秒向井下流量采集传输系统发送一次数据上传指令，井下流采集传输系统接到指令后，将实时的压

差传感器压力数据、温度、瞬时流量及总流量上传至地面测控计算机。

分别使用泵车对设计的 3 台井下流量采集传输系统进行泵水计量试验，其中泵车理论排量、安装的电磁流量计排量及井下流量采集传输系统测量的流量如表 4 所示。

表 4 井下流量采集传输系统流量测量情况

	泵车	电磁流量计	1# 井下流量采集传输系统
瞬时流量/ (L/min)	125.0	130.1	129.6
	138.9	145.6	145.3
	152.8	160.4	160.6
	187.5	199.1	190.4
	208.3	222.2	222.5
瞬时流量/ (L/min)	泵车	电磁流量计	2# 井下流量采集传输系统
	62.5	64.2	63.9
	90.3	93.2	93.3
	118.1	121.8	121.2
	159.7	168.0	168.2
	180.6	189.5	189.9
208.3	212.3	211.9	
瞬时流量/ (L/min)	泵车	电磁流量计	3# 井下流量采集传输系统
	69.4	70.2	70.5
	125.3	128.6	128.5
	208.5	221.6	221.8

水力泵车采用柱塞泵，其排量不精确，从上表 2 可以看出，井下流量采集传输系统测量的瞬时流量与外接的电磁流量计测量的瞬时流量一致，误差不超过 0.5%，满足井下流量采集精度及数据传输的需求。

### 5 结论

本文结合井下流量采集传输的要求，对基于 485 总线的井下流量采集传输系统的结构和硬件进行设计和开发，编写了嵌入式控制采集软件和地面测控软件。试验结果表明：基于 485 总线的流量采集传输系统不仅能够实时将井下几千米采集的流量等信息上传至地面，同时流量采集精确，结构简单，具有集成度高、多级串接、单层使用成本低、使用方便等特点。

由于该系统采用压差及文丘里管尺寸进行计算得到流量，由于其量程比较小，不同的流量范围采用不同的结构尺寸，在工具入井使用前需要根据流量大小选用对应的结构尺寸，如果流量与结构尺寸不对应或相差较大，影响流量采集精度，为了解决此问题，需要能够实时根据流量调节结构尺寸以保证流量采集精度。

井下流量采集传输系统满足油田注水井下对流量实时采集及上传的需求，同时使用成本较低，满足油田降本增效的需求，具有广阔的应用前景。

#### 参考文献：

[1] 刘合, 裴晓含, 罗凯, 等. 中国油气田开发分层注水工艺技术现状与发展趋势 [J]. 石油勘探与开发, 2013, 40 (6), 733-737.

[2] 刘合, 肖国华, 孙福超, 等. 新型大斜度井同心分层注水技术

[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42 (4), 512-517.

[3] Pei Xiaohan, Yang Zhipeng, Ban Li, et al. History and actuality of separate layer oil production technologies in Daqing Oilfield [R]. SPE 100859, 2006.

[4] Liu He, Gao Yang, Sun Fuchao, et al. Overview of key zonal water injection technologies in China [R]. IPTC 16868, 2012.

[5] 孟丽娜, 刘 盈, 韩志付, 等. 油田注水开发工艺技术探讨 [J]. 油气开采, 2017, 43 (6), 56.

[6] 廖成龙, 黄 鹏, 李 明, 等. 智能完井用井下液控多级流量控制阀研究 [J]. 石油机械, 2016, 44 (12), 32-37.

[7] Hayward J. Data acquisition gets active [J]. Process Engineering (London), 2006, 87 (8): 35.

[8] 李 成, 王 鹏, 丁天怀, 等. RS-485 总线的高速串行远距离数据传 输 [J]. 清华大学学报, 2009, 49 (5), 684-687.

[9] 李 博. 一种新型瓦斯气体无线监测系统的设计 [J]. 计算机测控与控制, 2014, 22 (4), 1062-1064.

[10] PIC18F66K80 系列数据手册 [Z]. 2011 Microchip Technology Inc.

[11] 娄 毅, 奚维斌, 白红宇, 等. 低温文丘里流量计计算机数据采集的实现 [J]. 仪器仪表学报, 2003, 24 (4), 481-483.

[12] 冯 定, 徐冠军, 黄朝斌. 基于文丘里的井下流量计量 [J]. 西南石油大学学报, 2010, 32 (1), 151-154.

[13] 冯 定, 李成见, 薛敦松. 油水乳化作用对潜油电泵黏温特性的影响 [J]. 石油学报, 2008, 29 (1): 132-134.

(上接第 219 页)

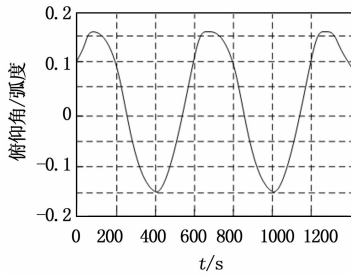


图 6 卫星俯仰角曲线变化

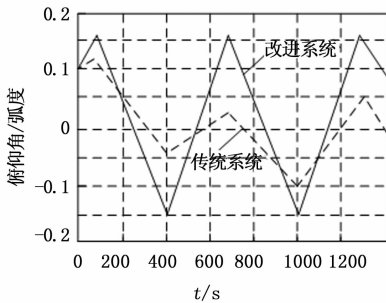


图 7 两种系统信息保障效果

由图 7 可知: 采用传统系统对信息传输时, 由于不同时刻卫星位置、速度、姿态以及卫星上的不同工作状态参数等信息无法得到保障, 导致系统实施效果较差; 而采用改进系统对信息传输时, 任何时刻卫星信息都能得到保障, 其轨迹与卫星俯仰角曲线变化基本一致。

将传统系统与改进系统对信息保障所花费的时间进行对比结果如表 1 所示。

表 1 两种系统信息保障耗费时间对比结果

实验次数	传统系统	改进系统
1	20s	18s
5	30s	35s
15	50s	38s
20	60s	40s
50	65s	45s

由表 1 所知: 当实验次数为 1 次时, 采用传统系统与改进系统时间相差较小, 仅差 2 s; 当实验次数为 5 时, 两种系统时间相差 5 s。随着实验次数的增加, 传统系统信息保障所耗

费的时间明显多于改进系统。

由上述实验内容可知: 采用传统系统存在卫星位置、速度、姿态以及卫星上不同工作状态参数等信息无法得到保障问题, 导致系统信息保障效果较差, 耗费时间较长; 而采用改进系统卫星信息可得到保障, 耗费时间较短, 系统保障效果较好。

### 4 结束语

我国航天技术发展逐渐成熟, 在未来战争中, 难免用到军事化武器对抗, 战场范围也必然延伸到空间, 由空间态势可获得重要的主动权。提升我军空间攻防体系对抗能力, 系统级别空间信息保障能力演示验证是最重要的组成部分。以空间态势信息保障系统构建为基础, 完善空间态势信息监测, 实现信息安全保障。因此, 构建完善、自主的态势信息, 可为空间攻防对抗与信息对抗提供有力支撑, 为监测网络完善提供必要手段, 实验验证结果可知, 该系统信息保障效果较好, 可有效覆盖秘密时间和空间等要素。

### 参考文献:

[1] 张 威, 张 强, 胡 骏, 等. 航天器数字化综合测试状态管理系统设计 [J]. 航天器工程, 2017, 26 (4): 109-115.

[2] 吴 姮, 孙善秀, 马方超, 等. 增压输送系统三维数字化设计技术 [J]. 导弹与航天运载技术, 2016, 15 (1): 36-39.

[3] 柴鑫彤, 杨学博. 近圆轨道下航天器相对运动的滑模控制 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (1): 93-96.

[4] 张献民, 张润峰, 刘 亚, 等. 基于三维 GIS 的机场飞行区运行数字化管理系统 [J]. 南京航空航天大学学报, 2016, 48 (5): 761-771.

[5] 陈 浩, 卢 翔, 张国柱, 等. 星载软件在环的 G 举 C 快速原型仿真系统设计 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38 (6): 1450-1455.

[6] 胡韶华, 柏占伟, 伍小兵, 等. 基于标准化岗位的航天火工品数字化快速工艺及其应用 [J]. 制造技术与机床, 2016, 15 (2): 102-106.

[7] 崔元军, 邹卫文, 张斯滕, 等. 基于互逆光纤色散的微波光子雷达系统设计和实现 [J]. 光子学报, 2017, 18 (12): 12-16.

[8] 谢伟康, 赵 罡, 于 勇, 等. 基于特征的异构全三维数字化模型转换方法研究与实现 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 15 (9): 1833-1841.

[9] 柏占伟, 胡韶华, 范奇恒, 等. 航天产品数字化工艺快速编制方法及其应用 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (33): 232-238.

[10] 柏占伟, 胡韶华, 范奇恒, 等. 航天产品数字化工艺快速编制方法及其应用 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (33): 232-238.