

文章编号:1671-251X(2015)01-0021-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.01.006
周兴,孔善右,丁恩杰,等.煤层气井压力和温度监测系统[J].工矿自动化,2015,41(1):21-24.

煤层气井压力和温度监测系统设计

周兴¹, 孔善右¹, 丁恩杰², 申建³

- (1. 普天高新科技产业有限公司, 江苏 南京 210022;
2. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008;
3. 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏 徐州 221008)

摘要:针对目前煤层气井压力、温度信息获取方式存在因人工采集导致信息孤岛、无法连续获得数据、压力传感器和温度传感器漏水等问题,提出了一种基于物联网的煤层气井压力和温度监测系统,给出了系统结构和软硬件架构,重点介绍了基于MEMS技术设计、真空封装、采用电阻负载调制方式发送数据的新型传感节点的设计方案。测试及试运行结果表明,该系统具有较好的可靠性、实时性和易操作性,其应用有效减少了现场人数,降低了安全事故发生频率。

关键词:煤层气;煤层气井;压力监测;温度监测;物联网

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2015-01-05 16:27

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150105.1627.006.html>

Design of pressure and temperature monitoring system of coalbed methane well

ZHOU Xing¹, KONG Shanyou¹, DING Enjie², SHEN Jian³

- (1. Potevio Hi-tech Industry Co., Ltd., Nanjing 210022, China; 2. Internet of Things (Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 3. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources and Reservoir Formation Process, Ministry of Education, Xuzhou 221008, China)

Abstract: In order to solve problems of existing pressure and temperature data collecting modes of coalbed methane well such as information island caused by manual collection, inability to collect data consecutively, water leakage of pressure sensor and temperature sensor and so on, a pressure and temperature monitoring system of coalbed methane well was proposed. System structure was given as well as compositions of hardware and software. Design scheme of a new type of sensor was focused on, which adopted MEMS technology, vacuum encapsulation and resistive load modulation mode to send collected data. Testing and trail running results show that the system has better reliability, real-time performance and operability, which can reduce field personnel and accidents effectively.

Key words: coalbed methane; coalbed methane well; pressure monitoring; temperature monitoring; Internet of things

0 引言

目前中国煤层气井排采信息获取方式存在以下

问题:大多通过人工抄录,易形成信息孤岛;煤层气井排采信息采集与自动控制设备和技术不能满足准确、连续的参数获取和多边参数控制要求;煤层气井

收稿日期:2014-04-16;修回日期:2014-11-10;责任编辑:李明。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAH12B01,2012BAH12B02);中央高校基本科研业务费资助项目(2014ZDP03);国家自然科学基金青年基金资助项目(41302131)。

作者简介:周兴(1983—),男,江苏南京人,硕士,主要从事物联网技术的开发与应用工作,E-mail:307016287@qq.com。

压力传感器、温度传感器存在漏水问题;进口煤层气井排采信息传感设备、采集设备、自动调控设备和软件价格昂贵,核心技术引进困难^[1-2]。

鉴于物联网技术的快速发展及其在煤炭行业中的大量应用^[3-4],本文提出一种基于物联网的煤层气井压力和温度监测系统。该系统结合 MEMS (Microelectro Mechanical Systems, 微机电系统) 传感器、负载调制、无线传输等技术,将井下压力、温度数据精确、连续地传送到监测中心,系统 PC 软件可准确、实时地显示井下压力、温度以及压力梯度的变化,判断煤层中地下水位高度、井筒液面,从而分析煤解吸/吸附程度,判断煤层气井间的连通情况,为合理制定排采方案、提高煤层气资源采收率提供有效手段。

1 系统总体架构

基于物联网的煤层气井压力和温度监测系统主要包括井下压力、温度传感节点,采集器,串口转 GPRS DTU(Data Transfer Unit, 数据传输单元), PC 软件 4 个部分,其结构如图 1 所示。传感节点负责采集煤层气井压力、温度数据并将其传送至井上;采集器负责完成数据接收、本地显示、打包,并通过 DTU 以无线方式将数据发送给监测中心,监测中心 PC 软件对数据进行处理、存储,并以实时曲线和数据变化方式进行显示。井下压力、温度传感节点和采集器需要在每个煤层气井安装一套。

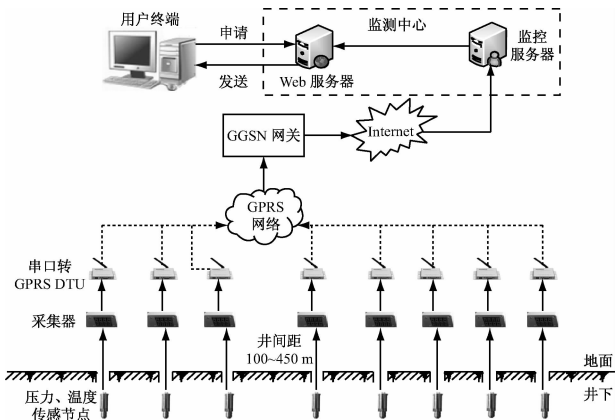


图 1 煤层气井压力和温度监测系统结构

2 井下压力、温度传感节点设计

现有的煤层气井压力、温度传感节点直径约为 33 mm,尺寸较大,不但增加了打井开采成本,也影响产品可靠性。由于井下环境恶劣,其精度仅能达

到 $\pm 0.5\%$ 左右,不能完全满足开采信息采集需求。本文提出一种新型煤层气井压力、温度传感节点,其测量精度达 0.02% ,直径为 27 mm,具有成本低、性能可靠等优势。

2.1 总体设计方案

井下压力、温度传感节点主要由微控制器,电源模块,压力、温度调理电路,AD 采集模块^[5],负载调制模块等组成,如图 2 所示。

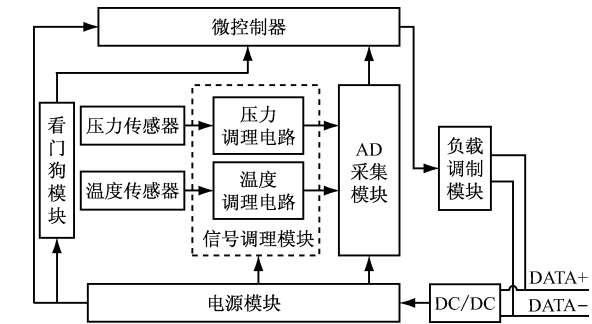


图 2 井下压力、温度传感节点组成

井下压力、温度传感节点采用 MSP430AFE2x3 单片机作为微控制器,其功耗低,外围资源丰富,能够实现模拟量数据的采集、处理和发送功能;采用 LP2951-50(33)电源模块分别产生 5 V 和 3.3 V 电压为外设供电;采用 Pt100、单晶硅分别作为温度及压力传感器芯片,通过烧结工艺实现芯片的真空封装;通过信号调理模块对压力、温度模拟信号进行放大;采用 AD7749 芯片对压力、温度模拟信号进行 AD 转换;采用 MAX6814 看门狗模块对 MSP430AFE2x3 进行复位,避免在意外状态下陷入死循环或跑飞状态;通过负载调制模块将井下压力、温度数据远距离传输到采集器端。井下压力、温度传感节点工作流程如图 3 所示。

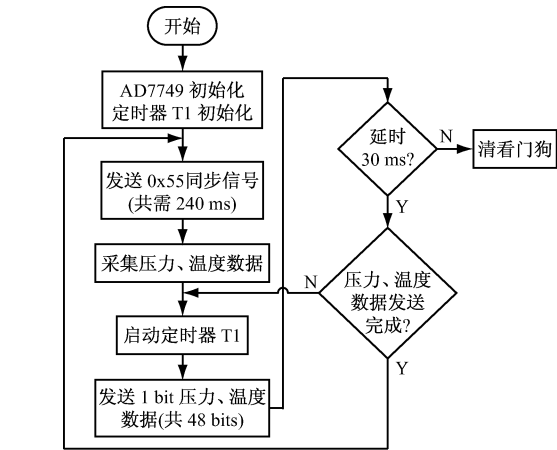


图 3 井下压力、温度传感节点工作流程

2.2 压力传感器

压力传感器基于 MEMS 技术设计,其结构包括衬底、膜片、膜片凸起、气体通道,如图 4 所示。气体通道两端维持恒定的气压差,根据膜片上的压力变化,气体通道的截面积随之变化,气体通道两端的气体流速也发生变化,通过监测气体通道两端的气体流速测得膜片上的压力。膜片凸起阻隔膜片中央与第 2 层衬底接触,使其原抛物线弯曲的膜片变成近似“W”型弯曲,增大膜片的平均挠度变化率,有利于提高传感器的灵敏度,同时可减小膜片边缘的应力,增加传感器的使用寿命。第 1,2 层衬底和膜片的材料为硅,其弹性好,便于传递压力信号;第 3 层衬底材料为 Pyrex7740,其热膨胀率与硅相似,可减小 2 种材料的衬底连接热膨胀应力,提高传感器结构的气密性;第 4 层衬底材料为金属,其有利于与气体通道的连接,提高气体通道气密性。

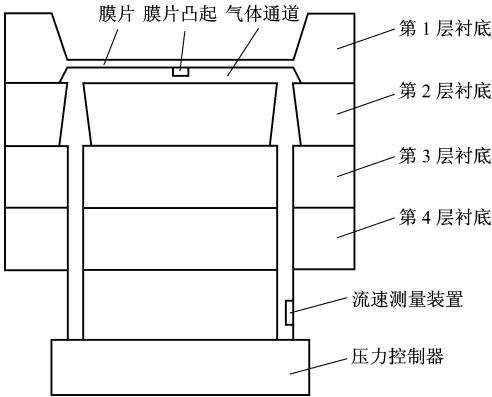


图 4 压力传感器结构

与压阻式压力传感器相比,基于 MEMS 技术的压力传感器可避免高温环境中压阻元件受热后的电子漂移问题,耐高温、高压;受力膜片弯曲改变通孔大小,从而转换为气体流速变化,没有电学信号,可以抵抗恶劣环境中的电磁辐射等干扰。与电容式压力传感器相比,基于 MEMS 技术的压力传感器没有寄生电容影响,灵敏度高。

2.3 远距离信号传输方式

煤层气井有的深达 2 000 m 且钻孔直径小,设计信号传输方式时需要考虑现场供电、传输距离、干扰、施工布线、安装及成本问题。目前煤层气井数据传输方案大致有 2 种:低压电力线载波通信和 hart 电流环通信;无线通信。低压电力线载波通信和 hart 电流环通信需要分别设计发射机、接收机和调制解调模块,硬件成本相对较高,产品尺寸相对增大,不便于现场使用;无线通信干扰大,可靠性低。

系统采用电阻负载调制方式进行数据传输。负载调制电路如图 5 所示。

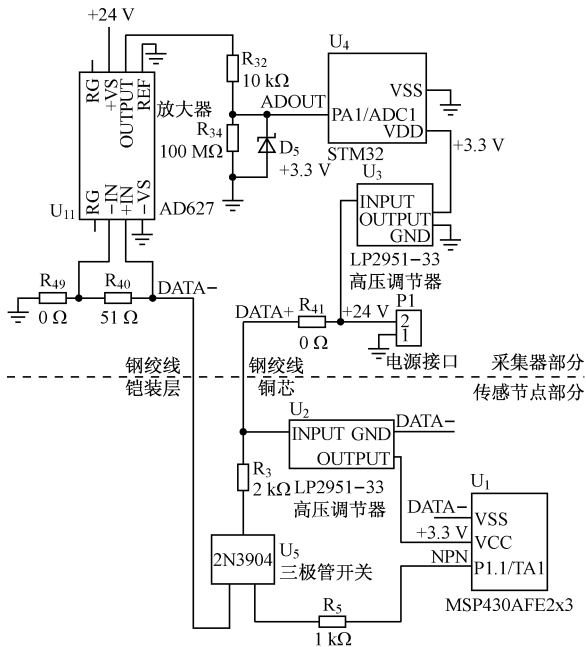


图 5 负载调制电路

负载调制电路的数据发射部分即传感节点的负载调制模块,主要由 MSP430AFE2x3 (P1.1), R_3 , R_5 , R_{10} , 2N3904 组成,通过 P1.1 端口控制 2N3904 集电极和发射极是否导通,从而判断 R_{10} 电压。负载调制电路的数据发送速率为 1 bit/30 ms,发送数据帧结构为同步信号(0x55)、压力数据(24 bits)、温度数据(24 bits)。

负载调制电路的数据接收部分集成在采集器中,主要由 AD627, R_{32} , R_{34} , D_5 , STM32 (PA1) 组成,用于放大并稳压处理 R_{40} 电压,经 PA1 口采样,将 48 bits 压力、温度数字信号转换成井下压力和温度值。

3 采集器设计

采集器主要由 MCU 控制模块 (STM32)、电流/电压转换电路、差分信号放大模块、4~20 mA 数据变送模块、电源模块等构成,如图 6 所示。电流/电压转换电路将 R_{40} 电流信号转换为电压信号送至差分信号放大模块 (AD627) 差分输入端;4~20 mA 数据变送模块为本地煤层气井排采的其他信息化系统提供 4~20 mA 压力、温度数据接口,方便与之兼容;RS232 与串口转 GPRS DTU 连接,用于将本地数据通过 GPRS 方式发送至监测中心。

采集器软件主要负责对本地显示屏、键盘、时钟

进行控制和管理,完成井下压力、温度数据的采集、存储、传输等。其工作流程如图 7 所示。采集器每隔 30 ms 接收 1 bit 数据,接收数据格式为同步信号

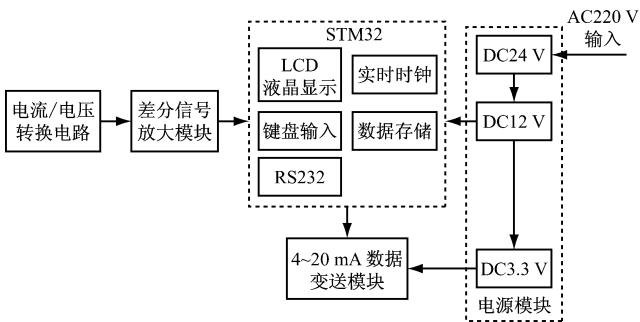
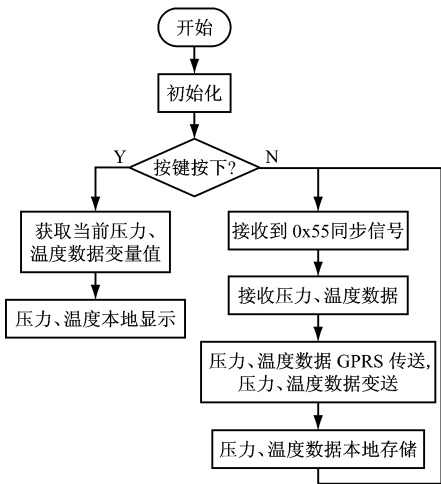
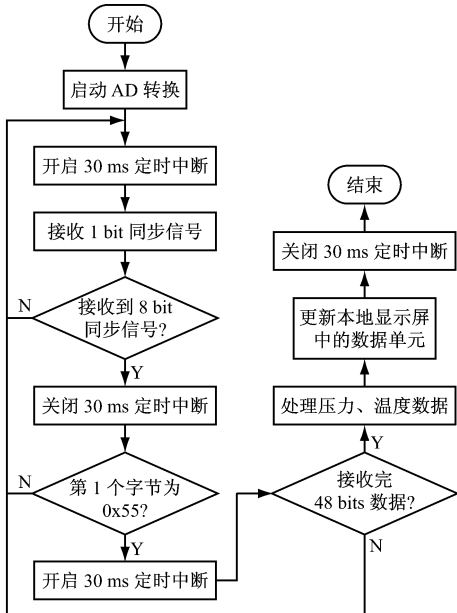


图 6 采集器结构



(a) 总体工作流程



(b) 定时中断数据采集流程

图 7 采集器软件工作流程

(0x55)、压力数据(24 bits)、温度数据(24 bits)。

4 系统软件设计

系统软件采用 4 层架构设计,即设备层、平台层、业务层、展示层。设备层包含系统中的工业控制、采集及传感设备,如采集器、压力传感器、温度传感器、煤粉传感器、氯离子传感器、流量计等。平台层包括中间件平台和 ACS 接入服务器,采用中间件平台作为搭建系统所有功能模块的基础平台,通过 ACS 接入服务器连接设备层和中间件平台,保证它们之间通信的可靠性和实时性。业务层包括后台服务和前台接口两部分,搭建在中间件平台上,后台服务包括定时任务、自动控制和预警等;前台接口采用 Spring MVC 实现,提供前台页面交互的接口。展示层作为系统的用户界面,采用 JSP 编写。

系统软件支持角色登录管理、压力和温度数据接收、实时数据显示、实时曲线显示、历史曲线显示、历史曲线查询、超限报警、数据存取、统计分析、报表管理、系统日志、打印输出等功能,具有较好的易操作性。

5 结语

基于物联网的煤层气井压力和温度监测系统在山西晋城、贵州松河等煤层气井排采项目中进行了测试和试运行,结果表明该系统具有较好的可靠性、实时性和易操作性,其应用有效减少了现场人数,降低了安全事故的发生频率,提高了工作效率,较好地满足了煤层气井排采需求。

参考文献:

[1] 冯三利,胡爱梅,叶建平.中国煤层气勘探开发技术研究[M].北京:石油工业出版社,2007.

[2] 丁闫,温欣.煤层气井监控系统建设方案及其应用[J].煤田地质与勘探,2010(10):19-22.

[3] 马小平,胡延军,缪燕子.物联网、大数据及云计算技术在煤矿安全生产中的应用研究[J].工矿自动化,2014,40(4):5-9.

[4] 付贵祥,周红军,郭继茹.基于物联网的煤矿安全综合智能预警系统[J].工矿自动化,2014,40(4):99-101.

[5] 刘升贵,张新亮,袁文峰.煤层气井煤粉产出规律及排采管控实践[J].煤炭学报,2012,37(增刊2):412-415.