

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2208812

基于 ZigBee 的无线压力采集系统设计*

贾登 路学理 刘成 张易 周志雄 杨晓光

(中国石油集团工程技术研究院有限公司 北京 102206)

摘要: 针对油田中压力变送器对钻井泵、抽油机的液压参数靠有线传输方式,以及人工定期巡检的效率低和实时性差等缺点,从现场实际需要设计了一种采用 ZigBee 通信技术的无线压力采集系统。其硬件电路主要由供电电源管理模块电路、USB 转串口电路、MSP430 微处理及 AD 转换电路、PT2407 齐平膜压力变送器接口电路、ZigBee 通信模块电路组成。本系统的设计理念采用星状网络拓扑结构,提高了系统的抗干扰能力。经过实验室和油田现场测试表明:本无线压力采集系统的压力测量值相对误差 0.01%~0.5%,有效传输距离达 100 m,克服了传统物理布线的不足,无线方式可以准确地进行数据采集和传输,该套无线压力采集系统,具有功耗低、易组网、无线化的优点,极大地提高了生产效率。

关键词: 无线通信; ZigBee; 数据采集; 压力测试

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Design of wireless pressure acquisition system based on ZigBee

Jia Deng Luo Xueli Liu Cheng Zhang Yi Zhou Zhixiong Yang Xiaoguang

(CNPC Engineering Technology R&D Company Limited, Beijing 102206, China)

Abstract: Aiming at the disadvantages of wired transmission of hydraulic parameters of drilling pump and pumping unit by pressure transmitter in oil field, as well as the low efficiency and poor real-time performance of manual regular inspection, a wireless pressure acquisition system using ZigBee communication technology is designed from the actual needs of the field. Its hardware circuit is mainly composed of power supply management module circuit, USB to serial port circuit, MSP430 microprocessor and AD conversion circuit, pt2407 flush film pressure transmitter interface circuit and ZigBee communication module circuit. The design concept of the system adopts star network topology, which improves the anti-interference ability of the system. The laboratory and oilfield field tests show that the relative error of the pressure measurement value of the wireless pressure acquisition system is 0.01%~0.5%, and the effective transmission distance is up to 100 meters, which overcomes the shortcomings of traditional physical wiring. The wireless mode can accurately collect and transmit data. The wireless pressure acquisition system has the advantages of low power consumption, easy networking and wireless, and greatly improves the production efficiency.

Keywords: wireless communication; ZigBee; data acquisition; pressure test

0 引 言

我国部分油田现场的数据采集工作大多是通过人工巡查的方式进行生产和管理,巡查人员需要每天定时巡查钻井泵,抽油机等设备的油压,套压,液压等参数,如果发现不工作或设备参数异常,则立即停机,由于人工巡查的次数有限,相关故障得不到及时发现和处理,不能提前预知设备参数的状态。这种方式不仅效率低下,而且已阻碍了油田生产管理水平的提高^[1-2]。

此外,采用压力变送器对现场设备的运行参数靠有线传输方式,通过安装在钻机,抽油机的传感器采集数据,然后传感器通过电缆把数据发送到监控中心处理^[3-4]。

这种线路的铺设成本高昂,布线繁杂,并且数据采集的可靠性和稳定性也得不到保证,给实时处理带了不便^[5-6]。

目前常用的无线传输方式有 Wi-Fi(IEEE802.11)、蓝牙(Blue-Tooth)和 ZigBee 技术。然而,WiFi 通信在传输数据时功耗过大且安全性还不完善。蓝牙的弊端在于传输距离近、有效传输距离传输 15 m 左右,一般是点对点传输。

收稿日期:2022-01-10

* 基金项目:中国石油天然气集团有限公司科学研究与技术开发项目(2021DJ4304)资助

ZigBee 技术具有低功耗、低速率、低成本、组网结构灵活、高可靠性等特点,它有自己的无线电标准,可实现一点对多点的无线通信。在整个网络范围内,每一个 ZigBee 网络数据模块之间可以相互通信,每个网络节点间的距离可以从标准的 75 m 无限扩展。这些传感器只需要较低功耗以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器,所以它们的通信效率非常高,能够广泛的应用于军事、工业、智能家居等领域^[7-9]。

鉴于此,本文设计了一种以 MSP430F149 低功耗单片机为微处理器,基于 ZigBee 通信技术的无线压力采集系统。本系统采用 ZigBee 组网方式,省去了有线布线的麻烦,同时降低了系统功耗和成本,提高了生产效率和管理水平,可以很容易应用到其他监测领域,是最合适的选择。

1 无线压力采集系统的组成

本文所涉及的基于 MSP430F149 单片机的无线压力采集系统具体包括集成了无线 ZigBee 的压力采集模块、ZigBee 无线路由器和配置特定 IP 地址的计算机。多个集成了无线 ZigBee 模块的压力采集模块以低功耗单片机 MSP430F149 为微处理器,通过 ZigBee 网络与分布于井场的各个压力变送器发生关联,主要是对油井现场的数据进行采集并按照 ZigBee 通信协议有序传输到 ZigBee 无线路由器;该路由器再运用 3G/4G 移动通信网络将数据长距离传输到配置特定 IP 地址的计算机进行管理和显示。这种分布式组网方式广泛应用于油田等数据监控现场,本系统综合应用了无线传感网络、ZigBee 无线通信、嵌入式技术、计算机技术等,能够对一个大范围的有效期区域实施监控功能,并且能够对获取的数据做出及时的反应和处理,保证油田进行安全、稳定、高效的生产。无线压力采集系统组成框图如图 1 所示。

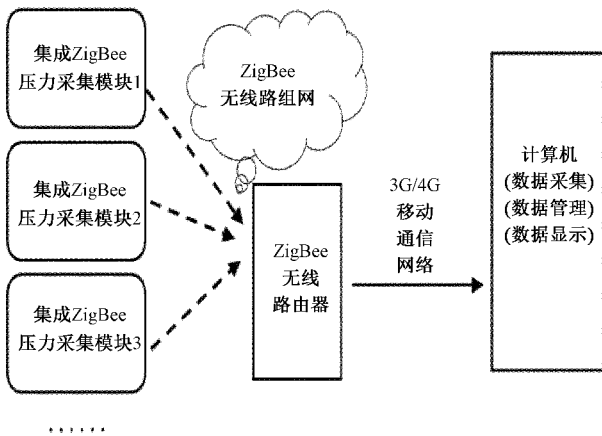


图 1 无线压力采集系统组成框图

2 关键硬件电路设计

作为工业实践中非常重要的一种传感器,压力变送器在石油化工,工业控制行业得到了广泛的应用,而且随着技

术的发展,压力变送器的应用领域也越来越广阔^[10-11]。压力变送器可以实现对气体、液压等压力信号的转换,将其转换为 4~20 mA 的电流信号,二次仪表就可以进行测量、指示和调节^[12]。由于针对的是对油田中液压进行监测,所以选用 PT2407 齐平膜压力变送器能准确稳定地测量粘稠状液体压力^[13]。PT2407 齐平膜压力变送器传出的 0~2.5 V 电压信号输出可以在低功耗 MSP430F149 单片机进行高精度 A/D 转换。MSP430F149 单片机内置的 12 位 ADC 进行 A/D 转换和预处理并与 ZigBee 无线通信模块进行数据传输,然后 ZigBee 无线通信模块电路将数据传给 ZigBee 无线路由器,经由无线路由器通过 3G/4G 移动通信网络将测试数据转发给配置特定 IP 地址的计算机进行数据处理。ZigBee 无线压力采集模块示意图如图 2 所示。

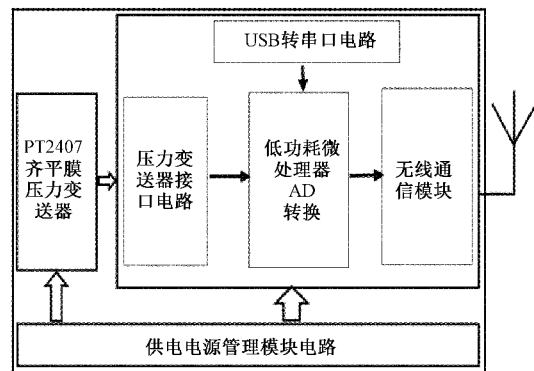


图 2 ZigBee 无线压力采集模块示意图

2.1 供电电源管理模块设计

在本无线压力采集系统中,考虑到压力变送器的供电电压为 3.3 V, MSP430F149 微处理器和无线 ZigBee 通信模块工作电压为 3.3 V, USB 转串口电路供电电压为 3.3 V。另外,本系统主要完成数据采集,A/D 转换功能由 MSP430 单片机内部集成 A/D 转换模块实现,其转换精度的高低直接影响整个系统精度,而 MSP430 的基准电压 2.5 V 是否稳定是决定 AD 转换精度的主要因素,所以在进行电源管理模块设计时候也要考虑微处理器基准电压的稳定性及抗干扰性^[14-15]。

综上所述,选取直流电压 5 V 容量 5 000 mAh 锂电池作为系统电源,工作时间超过 40 d。5 V 电压经过高精度低温票稳压芯片 ADP3333 得到 3.3 V 供电电压,其中第一供电电路 VDD,与稳压芯片的输出端、PT2407 齐平膜压力变送器、USB 转串口电路以及压力变送器接口电路分别电连接;第二供电电路 3VD,与稳压芯片的输出端以及 ZigBee 无线通信模块分别连接;第三供电电路 AVDD,与稳压芯片的输出端和微处理电路模拟电源连接。5 V 直流电源电压通过芯片 LT1019 得到稳定的 2.5 V 基准电压。电源转换电路设计图如图 3 所示。

2.2 USB 转串口电路设计

USB 转串口电路提供了常用的串口信号及 MODEM

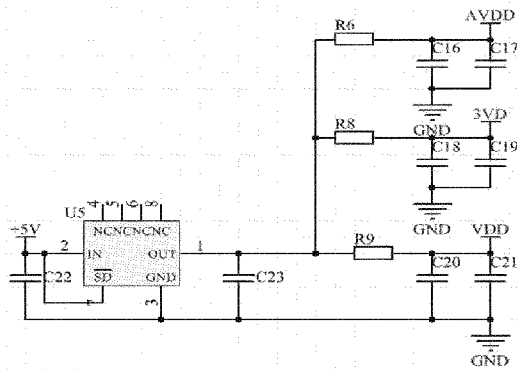


图 3 电源转换电路设计图

信号,通过电平转换将 TTL 信号转为 RS232 串口。为了给每个无线通信压力采集模块设置身份,USB 转串口电路连接低功耗单片机微处理及 AD 转换电路,并且通过低功耗单片机微处理器上的串口与无线通信模块电路连接和配置每个无线通信模块电路的 ID 号,多个集成了无线通信的压力采集模块与无线路由器组成了无线信号传输网络。

本文中 USB 转串口电路的驱动程序能够仿真标准串口,在计算机端 Windows 操作系统下串口应用程序完全兼容,不需要做任何修改,采用硬件全双工串口,内置收发缓冲区,支持通讯波特率 50 bps~20 Mbps。USB 转串口电路设计图如图 4 所示。

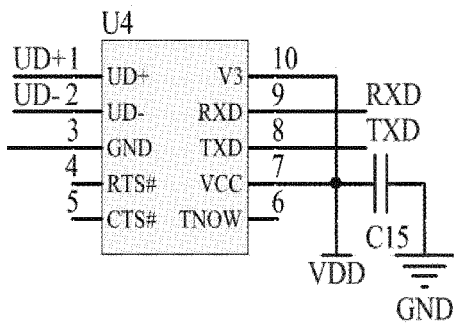


图 4 USB 转串口电路设计图

2.3 低功耗单片机微处理及 AD 转换电路

由于需要长时间对钻井泵、抽油机等设备的液压参数进行监控,在进行数据处理和传输上需要考虑功耗影响。MSP430 系列单片机是美国 TI(德州仪器)公司生产的一种超低功耗、高性能的 16 位微处理器。它将许多模拟电路外设(如 ADC\DAC、模拟比较器等)和常用数字模块(如 SCI,SPI 看门狗)集成于芯片内部。由于 MSP430 单片机具有 16 位的体系结构以及 16 位的 CPU 集成寄存器和常数发生器,可使 MSP430 单片机实现代码效率最大化^[16-18]。数字控制振荡器使所有低功耗模式从唤醒到运行模式的唤醒时间不到 6 μ s。本文中的低功耗单片机微处理及 AD 转换电路由 MSP430F149 单片机、高精度参考电压芯片 LT1019、晶振 32.768 M 和晶振 8 M 组成,另外配套电路由

储能电容和滤波电容等。

本无线压力采集系统的数据采集和 A/D 转换由 MSP430F149 微处理器完成。PT2407 齐平膜压力变送器根据受到的压力值转化成 0~2.5 V 电压信号,系统利用 MSP430F149 单片机自带的 8 通道 12 位 AD 转换器进行采样,由于 MSP430F149 单片机具有低功耗模式,在系统不工作的时候使 CPU 处于 LPM3 状态。MSP430F149 单片机完成 A/D 转换后,将数字信号通过串口送给 ZigBee 模块。ZigBee 模块接收数据后再通过无线路由器上传给计算机进行处理、显示和存储。

整个压力采集系统的工作状态会影响数据测量精度。在电路设计中考虑了以下问题:1)数字区和模拟区在电路板上分区布线,并将数字地和模拟地通过 0 Ω 电阻连接,降低了相互干扰;2)提高 A/D 转换精度,在 PT2407 齐平膜压力变送器输出信号端加上滤波电容,另外在芯片的正负供电引脚加上储能电容和滤波电容。低功耗单片机微处理及 AD 转换电路如图 5 所示。

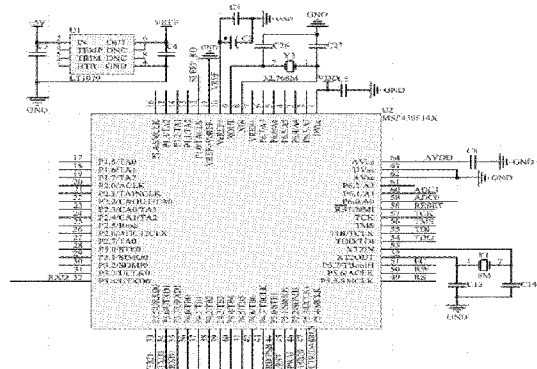


图 5 低功耗单片机微处理及 AD 转换电路

2.4 ZigBee 通信模块电路

由于需要长时间对钻井泵、抽油机等设备的液压参数进行监控,在进行数据处理和传输上需要考虑功耗影响。MSP430 系列单片机是美国 TI(德州仪器)公司生产的一种超低功耗、高性能的 16 位微处理器。它将许多模拟电路外设(如 ADC\DAC、模拟比较器等)和常用数字模块(如 SCI,SPI 看门狗)集成于芯片内部。由于 MSP430 单片机具有 16 位的体系结构以及 16 位的 CPU 集成寄存器和常数发生器,可使 MSP430 单片机实现代码效率最大化。数字控制振荡器使所有低功耗模式从唤醒到运行模式的唤醒时间不到 6 μ s。本文中的低功耗单片机微处理及 AD 转换电路由 MSP430F149 单片机、高精度参考电压芯片 LT1019、晶振 32.768 M 和晶振 8 M 组成,另外配套电路由储能电容和滤波电容等。

本系统中 ZigBee 通信模块是一种基于 IEEE802.15.4/ZigBee 技术的嵌入式无线数据传输电路,采用了符合 2.4 GHz 标准射频发射模块。无线通信方式采用高性能工业级 ZigBee 方案,实现数据透明传输;低功

耗设计,最低功耗 1 μ A,支持休眠和唤醒模式,支持 UART 接口;提供 5 路 I/O 口,可实现数字量输入输出,其中 3 路 I/O 口可实现模数量采集,2 路 I/O 口可实现摸宠计数等功能。在稳定可靠性方面,采用 WDT 看门狗设计及完备的防掉线机制,保证数据终端永远在线。ZigBee 应用拓扑结构如图 6 所示。

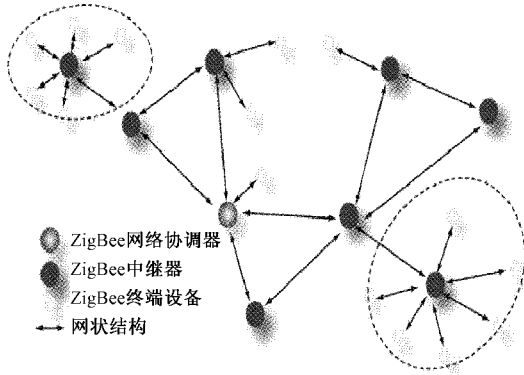


图 6 ZigBee 应用拓扑结构

ZigBee 通信模块通过 MSP430F149 单片机上串口连接预先配置一个 ID 网络号加入网络,多个集成 ZigBee 通信模块的压力变送器与无线路由器组成无线数据传输网络^[19-21]。此无线通信模块的工作电压为 3.3 V,在与 MSP430F149 单片机通信时只需要将两者的 TXD(发送数据信号线)、RXD(接收数据信号线)交叉对接即可,有效传输距离可达 100 m。ZigBee 通信模块电路如图 7 所示。

通常情况下 ZigBee 通信模块处于低功耗待机状态,当收到数据接收的唤醒信号后,根据所收到指令向上位机传输压力测量数据,等数据发送完成后再次处理待机状态。ZigBee 通信模块电路实物如图 8 所示。

经过加工、组装和调试,集成了无线 ZigBee 的压力采集模块实物如图 9 所示。

3 无线压力采集系统测试

为了测试无线压力采集系统的准确性,将某公司的等

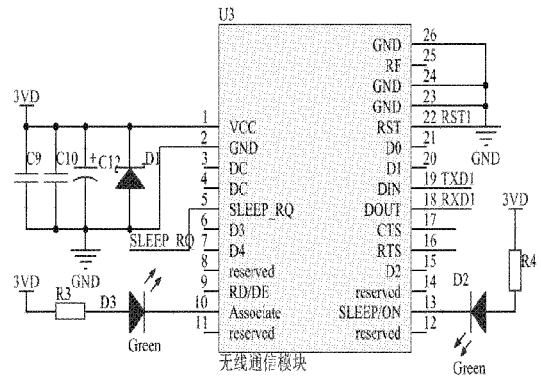


图 7 ZigBee 无线通信模块电路

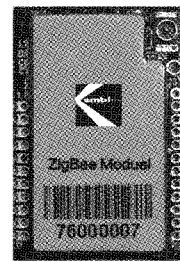


图 8 ZigBee 无线通信模块实物

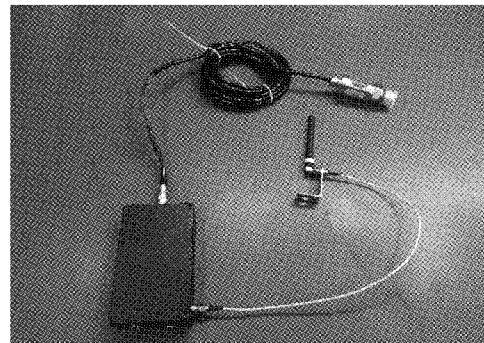


图 9 集成了无线 ZigBee 的压力采集模块实物

效压力源作为信号输入源进行无线测量,其实际测量结果如表 1 所示。

表 1 压力测量试验结果及误差分析

实际值/ KPa	测量值/KPa		相对误差/ %	实际值/ KPa	测量值/KPa		相对误差/ %
	+	-			+	-	
20	20.1	19.9	0.5	200	200.1	199.9	0.05
40	40.1	39.8	0.375	400	400.2	399.9	0.26
60	60.0	59.7	0.25	600	600.1	600.0	0.01
80	80.4	79.8	0.375	700	700.3	699.9	0.03
100	100.0	99.5	0.25	800	800.6	799.8	0.05
120	120.3	119.6	0.29	900	900.2	899.8	0.02
150	150.1	149.9	0.07	1 000	1 000.1	999.9	0.01

由表 1 可知,经过计算,本无线压力采集系统的相对误差为 0.01%~0.5%,在准确度误差范围内,压力试验结

果与等效压力源实际输出基本一致,压力测量满足实际工程测量需求。

为进一步验证无线压力采集系统的现场使用情况,选择宝鸡石油机械有限公司的钻井泵进行压力试验,钻井泵机组为交流变频电机驱动窄 V 型皮带传动的电动泥浆泵组,用以向井底输送高压钻井泥浆,通过钻头喷射破碎岩石同时冷却钻头和携带出岩屑。为了预防钻井过程中出现井喷,需要对钻井泵的液压进行实时监测,保障安全生产。本无线压力采集系统的测量值与钻井泵压力值显示结果如表 2 所示。

表 2 无线压力采集系统现场试验结果及误差分析

泵压值/ KPa	测量值/KPa		相对误差/ %
	+	-	
30	30.1	29.9	0.33
50	50.2	49.8	0.4
100	100.2	99.7	0.25
200	200.3	199.8	0.13
500	500.3	499.6	0.1

由表 2 可知,本系统对宝鸡厂钻井液泵测量不同的泵压值,最大误差为 0.4%,有效传输距离达 100 m,连续工作时间约 30 d;经过现场试验再次证明,本系统测试数据准确、稳定,不但解决了布线的困难,而且节省了电能的消耗。现场试验图如图 10、11 所示。

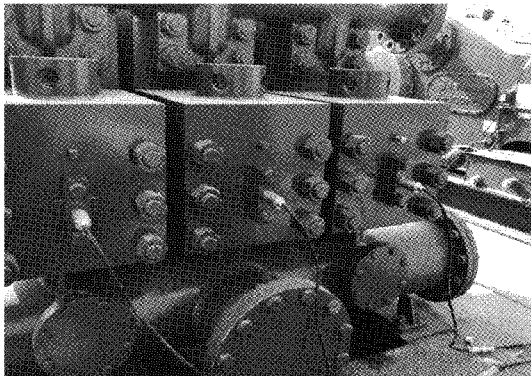


图 10 无线压力采集系统现场试验一

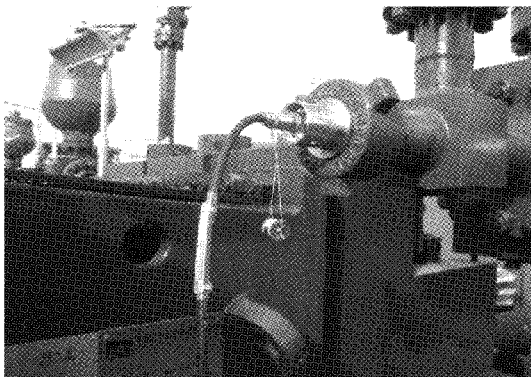


图 11 无线压力采集系统现场试验二

4 结 论

由于油田现场使用的有线压力设备信号传输线路繁杂、受工况和环境影响大,可靠性差;针对现场设备钻井泵、抽油机液压监测系统存在的问题,并根据油田无线组网的实际需要,基于 ZigBee 技术研制了一套以 MSP430 低功耗单片机为微处理器的无线压力采集系统,重点阐述了供电电源管理模块电路、USB 转串口电路、MSP430 微处理及 AD 转换电路、PT2407 齐平膜压力变送器接口电路和 ZigBee 通信模块电路的设计思路,并实现了基于 ZigBee 协议的无线压力传感器网络层功能,无线液压传感器网能对变化的拓扑结构自动组网。另外,本系统经过实验室和油田现场测试证实:本无线压力采集系统的压力测量值相对误差 0.01%~0.5%,在准确度误差范围内,有效传输距离达 100 m,省去了油田布线的麻烦,数据采集准确度高,数据传输稳定可靠。本设计可用于无线传感器网络的研发,也可以用于油田现场的实际应用。在下一步的研究工作,可以在实验中扩大无线网络传输规模如增加传感器数量分析本系统数据采集的稳定性,也可以对无线 ZigBee 的压力采集模块的外置天线进行改进从而提高无线网络传输距离等。

参考文献

- [1] 丛万生,张鹏飞,林智敏,等. 钻机远程在线监测及故障诊断系统研究[J]. 石油机械,2012,38(6):26-30.
- [2] 袁帅,梁凤霞,谢敏,等. 数字化油田无人值守模式研究[J]. 中国管理信息化,2021,24(12):90-91.
- [3] 马卫. 无线高精度压力采集器的硬件设计简介[J]. 甘肃冶金,2017,39(4):32-37.
- [4] 马慧宇,李剑,苏新彦,等. 基于无线传感器网络的桥梁全天候健康监测系统设计[J]. 国外电子测量技术,2021,40(8):150-155.
- [5] 车桂璠,胡建华. 无线通讯在工业控制中的应用[J]. 现代工业经济和信化,2021,204(6):122-124.
- [6] 常凯强,姚金杰,贺冠华,等. 一种低功耗 NB-IoT 远程监测终端设计[J]. 国外电子测量技术,2020,39(12):136-140.
- [7] 刘睿,裴晓敏,孔杰. 基于 ZigBee 技术的高校图书馆座位管理系统设计[J]. 国外电子测量技术,2019,38(1):81-83.
- [8] 钟国琛,蔡文君,许志明,等. 基于 ZigBee 和传感器技术的智能小区[J]. 国外电子测量技术,2018,37(4):65-69.
- [9] 刘应东,刘韬,李华,等. 变工况轴承的联合分布适应迁移故障诊断[J]. 电子测量技术与仪器学报,2020,35(5):69-75.
- [10] 王娇艳,张海宁. 压力变送器标定方法的研究[J]. 电子测量技术,2020,43(3):77-80.

- [11] 贾建波,刘俊彦,孙师贤,等. 旋转导向钻井工具中的压力采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(2): 126-129.
- [12] 邓勇,蒋田,赖洽屹. 基于 DBN 和 LSSVM 的管道气体压力检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(6):198-204.
- [13] 霍典,张洪明,史皓天,等. 一种液压油多污染物微检测传感器设计及研究[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(3): 50-58.
- [14] 朱江淼,高秀娜,马培香,等. GNSS 接收机抗干扰性能关键指标测试方法的研究与实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(3):135-141.
- [15] 黄正峰,杨潇,国欣祯,等. 基于 C 单元的抗干扰低功耗双边沿触发器[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(12):85-93.
- [16] 石敬南,王代华,唐宏,等. 一种井下瓦斯压力监测系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(7):144-149.
- [17] 高平安. 一种低功耗农田气象数据监测器设计[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(5):150-153.
- [18] 姜昌兴,宋超鑫,雷小华,等. 基于一体化探针的航空发动机内流多方向压力测量技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(10):10-19.
- [19] 江涛. 基于 MSP430 的智能远传水表设计[J]. 电子测量技术, 2019, 40(2):67-71.
- [20] 刘勇,陈佳,戴向阳,等. 基于 ZigBee 技术的带压作业监测系统设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(5): 113-118.
- [21] 林名,付岫,裴荣. 基于 Zigbee 网络的纺织机械凸轮轴温度监测系统[J]. 电子测量技术, 2020, 43(9):150-154.

作者简介

贾登,硕士研究生,工程师,主要从事无损检测技术和石油检测仪器研发。

E-mail:jiadeng123@qq.com

骆学理,工程师,主要研究方向为大数据、振动测试、石油钻井装备研发等。

E-mail: luoxuelidri@cnpc.com.cn