

# 无线压力传感器的研制及应用

李涛 高彰

重庆市计量质量检测研究院 重庆 401123

**【摘要】**：压力传感器广泛应用于工业过程监控等领域，压力传感器种类繁多，扩散硅式压力传感器具有灵敏度高的优点。随着微电子机械系统技术的发展，人们对压力传感器工艺研究不断深入，压力传感器设计转向基于微机械加工工艺的微结构设计。硅压力传感器与集成电路发展同步，压力传感器结构趋向于微型智能化。目前主要的传感器类型包括电容式压力传感器，热压力传感器等。研究介绍压力传感器技术原理与发展，进行压力传感器非线性与数据补偿分析，设计研制无线压力传感器，实现压力传感器的成功应用。系统具有成本低、实用性强等优点。

**【关键词】**：无线压力传感器；研制设计；实验应用

## Development and Application of Wireless Pressure Sensor

Tao Li, Zhang Gao

Chongqing Academy of Metrology and Quality Inspection, Chongqing 401123

**Abstract:** Pressure sensors are widely used in various fields such as industrial process monitoring, and there are many types of pressure sensors, and diffusion silicon pressure sensors have the advantages of high sensitivity. With the development of microelectromechanical system technology, people have been deepening their research on the pressure sensor process, and the design of pressure sensors has shifted to the microstructure design based on the micromachining process. Silicon pressure sensors are synchronized with the development of integrated circuits, and the pressure sensor structure tends to be miniature and intelligent. At present, the main sensor types include capacitive pressure sensors, thermal pressure sensors, etc. The research introduces the principle and development of pressure sensor technology, conducts nonlinear and data compensation analysis of pressure sensor, designs and develops wireless pressure sensor, and realizes the successful application of pressure sensor. The system has the advantages of low cost and practicality.

**Keywords:** wireless pressure sensor; development and design; experimental application

传感器技术是信息社会的重要技术基础，微电子技术，计算机技术等新技术发展为加快研制传感器提供条件。信息社会需要用传感器检测非电量信息，压力传感器是目前广泛应用的测控仪器必须用元器件，从汽车油压测量到航空器等特殊压力监控中压力传感器起到决定性作用，半导体传感器具有重量轻等特点，满足传感器向智能化方向发展的要求，微型传感器迅速发展，硅压力传感器广泛应用于工业过程监控等领域。电容式压力传感器具有稳定性好，封装不易受损等优点，但电容式压力传感器信号处理电路复杂。本文设计压力传感器MOSFETs，受到外界压力时桥路失衡，实现力学量信号到电压信号转变，压力传感器信号稳定。

## 1 压力传感器技术研究

### 1.1 压力传感器的发展

单晶硅材料与微加工技术结合广泛应用于压力传感器<sup>[1]</sup>。80年代半导体传感器在国际市场仅占15%，半导体压阻式压力传感器近几年年增长率达20%，利用硅材料制作半导体传感器可以将集成电路与传感器制作结合，传感器与微处理结合形成智能传感器，家用电器传感器成为廉价传感器第二市场。目前压力传感器研究集中于微机械加工压力传感器，开发高温压力传感器等方向。90年代后我国重视高精度传感器研究，目前从

事传感器生产的厂家有数千家，但大多数企业规模小，国家投入资金分散，相比国外其它国家的传感器技术更新速度慢，仅满足国内市场需求的40%，国产半导体压力传感器特性参数提高。目前高温硅压力传感器工作温度达到0~400℃，元器件品种增多，已有高压差压等力敏元件问世<sup>[2]</sup>。当前，传感器的发展趋势是小型化、集成化、智能化、低功耗等方向。

### 1.2 压力传感器技术原理

压力传感器是工业实践中常用的传感器，通常由压力敏感元件与信号处理单元组成，广泛应用于工业自控环境，涉及智能建筑，航空航天等众多行业。多传感器信息融合技术原理像人脑综合处理信息，将传感器进行多空间信息互补产生对观测环境的解释，利用多源数据合理支配，通过对信息多级别组合导出更多有用信息，综合处理其他信息源的数据提高传感器系统智能化<sup>[3]</sup>。传统压力传感器以机械结构型器件为主，半导体压力传感器特点是体积小温度特性好。不同压力传感器类型工作原理不同，陶瓷压力传感器压力作用在陶瓷膜片表面，厚膜电阻印刷在陶瓷膜片背面，电桥产生与压力成正比的高度线性电压信号。扩散硅压力传感器的工作原理是利用压阻效应原理，使膜片产生与介质压力成正比的微位移，利用电子线路检测变化转换输出测量信号。

## 2 压力传感器非线性与数据补偿分析

压力传感器薄膜为弹性元件,传感器输入输出满足线性关系,超出弹性限度出现滞后现象,导致传感器实际测量值与理论值偏差。温度变化压力传感器零点发生漂移,传感器热零点漂移补偿方法较多,硬件补偿法包括双电桥补偿技术等。硬件电路校正存在调试困难等缺点。软件补偿是将微处理器与压力传感器结合,对传感器温度附加误差修正。

### 2.1 压力传感器非线性误差

压力传感器静态特性是静态标准下测定,利用校准设备对压力传感器进行重复性测试,对不存在蠕变效应迟滞传感器静态特性方程为  $y=S_0+S_1X+S_2X^2+S_3X^3+\dots+S_nX^n$ ,  $S_0$  为零点输出,  $y$  为输出量;  $S_2, \dots, S_n$  为非线性项特定常数<sup>[4]</sup>;  $x$  为输入量。静态特性是线性项  $S_0+S_1X$  和  $X$  的高次项决定。理想情况  $S_0$  为零,输入-输出曲线线性满足  $y=S_1X$ ,  $X$  奇次项原点附近特性曲线满足  $y(x)=-y(-x)$ 。实际使用中,  $X$  幂次不高,可将实际曲线某段用割线代替。非线性误差是传感器特性重要参数,桥路组合后输出非线性将比亚敏电阻非线性降低,是高精度压力传感器设计原则。压力传感器零点存在热漂移,零点输出随时间变化<sup>[5]</sup>。电阻条发热导致电阻条阻值变化,压力传感器力敏电阻条工作发热产生零点漂移,电阻条工作发热造成传感器结构温度分布不均,附加热应力分布在力敏电阻条区域产生零点漂移。电阻条工作发热对传感器零点输出影响显著。

### 2.2 压力传感器数据补偿

压力传感器非线性使测量数据存在误差,温度是影响非线性漂移的主要因素。压力灵敏度与压阻系数成正比例关系,压阻系数随温度变化是产生灵敏度漂移的原因,传感器温度不均产生附加热应力,热应力分布在力敏电阻条区域产生零点漂移,电阻条工作发热造成传感器结构温度分布不均,电阻条工作发热对传感器零点输出有显著影响,常用零点漂移补偿方法,包括与力敏电阻性质相反的热敏电阻减缓零点漂移,半导体系电阻温度系数  $\alpha=0.08\%$ ,选择不合适加大零点漂移<sup>[6]</sup>。双电桥补偿技术可使零点失调输出范围控制在满量程输出  $(0.2\sim 1)\%$ 。

自平衡电桥可消除压力传感器热零点,传感器输出信号  $U$  有电位器  $P_3$  中央插头端输出,扩散硅构成力敏电阻压力传感器零点输出存在电漂移,零点输出绝对值变大满量程输出下降。推导出力敏电阻元桥电压  $V_e$  与电位器  $P_1$  中间插头电位关系,  $R_b$  为热零点漂移补偿电路与力敏电桥等效电阻,零度下调节电位器  $R'1$  使自平衡电桥两端电压  $V_1=V_2$ ,对  $V_e$  影响仅为毫伏极变化量,可视  $r$  为近似场,三极管  $3DG6$  截至  $V_e=0$ 。电桥中点电位为  $U_1, U_2: U_1=aV_e$ ,

$\Delta b = \Delta U_2(P)/V_e = -\Delta R_4/R_r = krP, \Delta R_1$  与  $\Delta R_4$  符号相反,  $k_1$  和  $kr$  是与电路结构有关正比系数,输出信号表示为

$U=U_0+U(P)=(a_0-B_0)V_e+(ak_1-Bkr)P V_e, S_0=a_0-B_0$ ,部分零点输出  $U_0=S_0V_e, U=(rV_{cc}-t)(S_0+KP)$ ,调整电位器  $P_2$  中央插头  $V_3, R_1$  和  $R_r$  可视为与桥电压关系不大,力敏扩散电阻具有非线性,通过自平衡电桥对压力传感器激励零点输出对外电源  $V_{cc}$  存在电漂移。

## 3 压力传感器数据采集无线传输系统设计

压力传感器是仪器仪表测量系统的核心部件,是自动获得信息的重要装置,在日常生活中应用广泛,为压力传感器研制带来很多问题。单独使用传感器外围电路难于调试查找错误,智能化传感器利用芯片提高精度,实现传感器自校正自动报警等功能,一些极端条件下传统压力传感器不能满足生产工作要求,需要实现无线采集数据压力传感器<sup>[7]</sup>。随着计算机技术的发展,压力传感器无线数据采集成为现实,可应用于布线困难区域等,是信息时代测试的必然趋势。

### 3.1 无线数据传输系统

通信是推动人类社会文明进步的动力,人类社会各种活动与通信密切相关,信息时代通信渗透到各领域,通信对人们的日常生活起到重要作用。无线数据传输通信系统由收发信机,空中信道等组成,设计工作包括应用系统要求确定电台指标,天线类型架设高度等,通过理论计算根据地形要求确定主站分站架设高度,根据电台接收误码灵敏度等因素确定电台功率,由于现场实际环境不能绝对平坦,影响电波的传播,理论计算在复杂地形下无参考价值。设计无线数据传输系统要选择工作频段,根据不同业务种类具体分配。

数据通信产品接收灵敏度指电台接收场强要求值,根据项目要求简单架设主分站,在分站一端可读到接收场强值,由于电气环境干扰等因素,电台接收信号场强比门限值大  $10\text{dB}$  以上保证传输无误码,城市高楼密集环境接收信号场强有快衰弱现象,要求电台接收场强大于门限值  $30\text{dB}$  以上。先进的电台可对设备运行情况误码统计,根据统计结果读出电台共收发数据。实现信息传递所需技术设备为通信系统,通信系统模型包括收发设备与信道等。按照信道信号形式不同具体化为模拟与数字通信系统。模拟数字通信在不同通信业务中得到广泛应用,数字通信系统成为当代通信的主流,更能适应现代社会对通信技术的要求。数字通信中传输信号幅度为离散,接收端判别两种状态,噪声不能影响判决正确性可正确接收。数据通信具有与差错可控,易于与现代技术结合等特点。

### 3.2 系统整体硬件设计

测试系统包括压力信号采集与无线数据接收装置,测试装置将压力传感器外围工作电路集中在印刷电路板,系统上部分为传感器数据采集部分,数据采集发送部分主要为微处理器,包括信号调理电路等组成。信号调理电路部分包括前项通道与 A/D 转换器,微处理器负责控制系统各部分器件工作,数据无

线发射电路在微处理器控制下,将采集信息数据编码发射,数据接收部分由微处理器与显示部分组成,接收电路解码器对格式数据解码,将压力信息显示在LED接收板面上。

系统硬件包括数模转换电路,无线收发电路等,电路器选用大量集成电路IC,系统要求同时兼顾仪器成本。压力传感器采用Honeywell的24系列采集外界压力信号,环境温度对精度有很大影响,用感温二极管进行温度信号采集,通过多芯电缆与外围电路连接,用1mA恒流源激励,感温二极管供给单片机部分温度参数。压力传感器将非电量压力信号转换为电压信号,信号动态范围较大,单个普通运放组成前置放大器在增益精度等指标方面不能满足要求,常采用三运放组成测量放大电路,第一级是两个对称同相放大器。调节增益改变外接电阻RG将不影响差分关系。元件匹配问题是影响放大电路性能的主要因素,采用集成测量放大器避免元件参数差异。AD623是改进新型仪表放大器,输入放大器前加PNP晶体管为电压缓冲器,符合电源输入运放电路结构要求,对输入放大器输出共模信号起到抑制作用。

### 3.3 系统软件设计实现

系统使用C51语言编程应用程序,压力信号经过通道选择,经过AD转换器ICL7135转换数值由单片机89C51读取,单片机控制输出为软件设计思路。系统软件包括前端系统与无线通信协议设计。压力传感器前端系统软件包括初始化程序,数据采集程序等部分。初始化程序在上电复位后执行,包括堆栈指针设置,设置扩展I/O口控制字等。终端处理程序中执行

数据采集等任务。A/D转换中STRB端口为高电平,可利用STRB端口下降沿请求中断,每中断一次计数器Rn内容减1,计数器Rn内容减至零时所有位数BCD码读完。

无线数据传输在很多领域广泛应用,可靠性是数据传输的重要指标,一些外部因素对数据无线传输产生影响,需要采用有效的方法确保通信。协议首先识别噪声,理想的噪声源应产生可能直接信息的结合,经测试发现0xFF后跟0x00在噪声中不易发生,发送协议开始是任意内容字节,接收协议规定仅接收0xFF后跟00x00开始的包。需要对接收数据进行错误检测,将分析结果加到数据包中,错误检测方法包括CRC检验等。采用重复纠正检错法适用于简单通信协议,数据在包中复制2次,第一个拷贝进行检错,剩下备份用以改正错误。需要简单的通信协议,系统采用编码器对信源信号编码,每帧数据连续发送4次,接收端使用解码器对接收数据解码。

### 4 结语

本文讨论扩散硅压力传感器热灵敏度漂移原因,压力传感器存在热灵敏度,减小热零点漂移措施是力敏电阻值相等性。用软硬件法对压力数值拟合处理,可使测量结果达到更高精度。软件提出拟合处理,MATLAB五次分段拟合法得出数据精确度高,得到简洁的多项式方程,自校准处理是低成本压力传感器的最佳选择。数据无线传输技术可替代有线电缆连接,解决复杂的现场连线。硬件设计中讨论A/D转换电路实现,软件设计讨论无线收发数据传输过程,设计简单实用的无线通信协议。系统具有低成本实用性强等优点。

### 参考文献:

- [1] 王新宇.万向节型机械自解耦无线无源弯扭传感器研制及实验研究[D].东北电力大学,2021.
- [2] 段玲泓.压电式高压压力传感器校准技术研究[D].中北大学,2021.
- [3] 罗胡铸.舰船无线传感器低功耗研究[D].南华大学,2021.
- [4] 张磊.基于石墨烯异质敏感材料的LC谐振式柔性传感器关键技术研究[D].中北大学,2020.
- [5] 徐镜先.农田多向无线土压力传感器及监测系统研究[D].东北农业大学,2020.
- [6] 彭泳卿,陈青松,戴保平.现代航天传感器技术发展趋势分析[J].计测技术,2019,39(04):64-72.
- [7] 赵明,魏秋旭,陈健,陈德勇,王军波.颅内外伤早期可植入式无线颅内压监测仪的研制[J].医疗卫生装备,2019,40(05):21-23.

课题名称及编号:消防枪栓扣水压试验机校准规范制定及校准装置研制 cstc2020jxjl120011。