

智能压力应变仪的设计与分析

宣 明 王淑琴 田兴志

摘要 讨论了压力测量的基本原理和智能压力应变仪的设计方案；探讨了影响测量精度的基本因素，并以此为范例进一步讨论了智能仪器仪表设计过程中的关键问题。

关键词：智能、压力、测量

一、引 言

当前世界上面临着—场新的技术革命，信息技术是其中的热点。而测量控制技术、以微型计算机为代表的计算技术及通讯技术是其三大支柱。众所周知：先进的检测仪器是现代工业和科学实践必不可少的工具和手段。因此，仪器仪表的自动化、智能化是当前仪器仪表发展的方向。

在当今的现代化工业生产过程控制中，压力是最常用的控制与测量参数之一。在应变式传感器的配合下，应变仪可以测量力、压力、扭矩、位移、振幅、速度、加速度等物理量的变化过程，它是材料研究、机械制造等方面生产和科研必不可少的重要工具。以往的应变仪采用分立元件组装，不仅体积大、成本高，而且无法实现对生产过程的自动控制，更无“智能”而言。微型计算机的出现给仪器仪表的设计生产带来了重大的革命。本文仅就智能压力应变仪的设计和研制进行讨论，探讨在智能仪器仪表设计中的一些有代表性的典型问题，并给出了实施中的一些技术措施。

二、智能压力应变仪总体方案设计

根据我们所涉及的生产控制过程，对智能压力应变仪的要求为：压力控制范围：0～2000N；精度：±5N；数字显示0000—2000N。

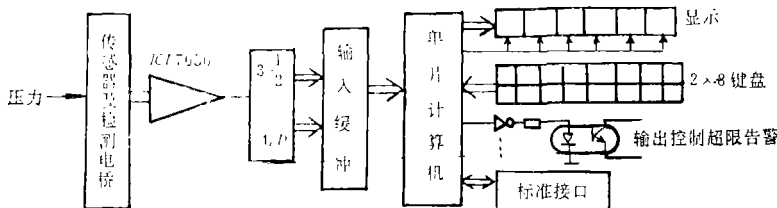


图 1

图 1 为智能应变仪总体方框图与普通的压力应变仪的不同之处在于用单片机8031取代了传统的硬件译码、显示…等功能，并在此基础上利用计算机丰富的软件功能给仪表增添了智

能指标（参数预置、超限告警、自检功能、运算功能、误差修正以及对外控制功能），还设置了标准仪器接口。

1. 传感器的选择

在检测仪表中，传感器是关键元件。现有的压力传感器品种繁多，基本上可以分为四类：液柱式；活塞式；弹性式和压力送变式。而压力应变式中有应变片式、膜片电容式、压电式和电阻式。其中应变片式以其体积小、安装方便、抗震动等特点使其在机械行业中得到广泛的应用。图 2 给出了应变片式传感器的工作原理。

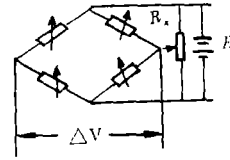


图 2

X—调零电位器； E—供桥电压；
ΔV—电桥输出信号

根据电桥原理，将贴于应变梁（筒）上的四片应变片接成桥路。应变梁（筒）在受力时，贴在梁（筒）上的应变片阻值便发生变化使电桥失去平衡，从 ΔV 端获得一个与压力成正比的电信号。表 1 给出某压力传感器的标定数据。

表 1 温度：18℃；桥压 6V；阻抗 120Ω

标定拉力 (N)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
加载输出 (mV)	0	44.1	88.1	132.0	175.4	217.2	261.6
卸载输出 (mV)	0.5	43.1	86.9	131.0	174.5	216.6	

2. 信号放大

来自检测电桥的信号为毫伏级的电压信号，因此必须进行放大。随电子技术的发展多采用运算放大器完成。目前运算放大器精度好、品种多并且出现了许多专用、通用的运算放大器，如仪器放大器、隔离放大器和可编程放大器等。这些高质量的运算放大器的出现使仪器仪表的精度进一步得到了保证。根据放大信号的要求：低失调、高精度且工作于低频，我们选择美国 Intersil 公司八十年代的产品 ICL7650 集成运放作为测量放大器。图 3 为信号放大部分原理图。由于是微弱信号放大，所以避免温度飘移和抗干扰显得特别重要。“直—交—

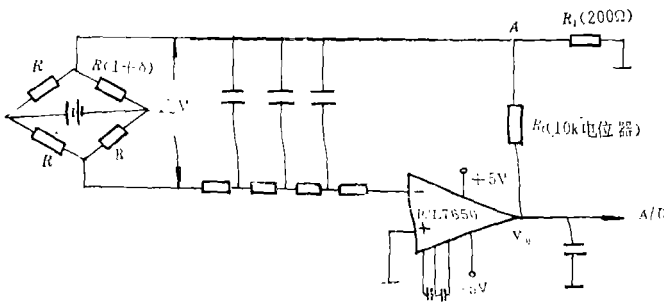


图 3

直”斩波稳零放大器抗干扰能力强，有利于提高测试精度。

在图3电路中包括一些实用的滤波网络。在现场环境中考虑到信号与计算机之间的距离，其它带强电的设备和它们产生的磁场影响，以及来自电网的干扰都会混入被测信号之中影响真实信号的识别和检测，所以对来自传感器桥路的信号必须进行滤波。

图中ICL7650接为参考源（应变片桥路供桥电压 E ）浮地式传感器输出信号测量放大器，其输出与输入之间的关系可推导如下：

由图中可得传感电桥的输出信号 ΔV 与传感桥臂电阻相对变量 δ 的关系：

$$\begin{aligned} \Delta V &= -I_1 R + I_2 R = -\frac{ER}{R+R(1+\delta)} + \frac{E \cdot R}{2R} \\ &= -\frac{E \cdot \delta}{2(2+\delta)} \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $\delta = \frac{\Delta R}{R}$ ，当 $\delta \ll 1$

$$\Delta V = \frac{E}{4} \delta \quad (2)$$

而在ICL7650两输入端之电压为 V_s ，为强迫 V_s 接近零则A点电压应等于电桥的不平衡电压，即

$$V_A = V_0 \cdot \frac{R_1}{R_f + R_1} = \Delta V$$

将(1)式代入有

$$V_0 \cdot \frac{R_1}{R_f + R_1} = \frac{E\delta}{4(1+\delta/2)}$$

所以输出电压为

$$V_0 = \frac{R_f + R_1}{R_1} \cdot \frac{E\delta}{4(1+\delta/2)} = \frac{E}{4} \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \delta \left(\frac{1}{1+\delta/2}\right) \quad (3)$$

由式(3)可见：当 $\delta \ll 1$ 则输出 V_0 与 δ 成线性关系。同时有电路输出 V_0 与由于压力使桥不平衡导致的桥二端上的电压 ΔV 之间的关系：

$$\frac{V_0}{\Delta V} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (4)$$

可见，只要调整 R_f ，可以方便地调整增益而与桥路电阻 R 无关，并且此种电路具有很高的输入电阻，适用于弱信号斩波稳零放大。

此外，CMOS ICL7650由于其内部零点自动补偿电路的作用，增益一高在输出端就有开关尖峰式MOS电路特有的电压噪声出现，所以在其输出端设置了低通滤波以消除斩波噪声。

3. A/D转换器的选择

选择A/D转换器时，精度、速度是两项重要的指标，而其温度特性、抗干扰性能在智能仪表中更是不容忽视的因素。现有A/D可以分为逐次逼近式、计数式和积分式。其中积分式A/D具有良好的抗干扰性能，但转换速度慢，对于变化缓慢的压力信号完全可以胜任。

为此，我们选择MC14433 $3\frac{1}{2}$ A/D转换器，它具有良好的抗干扰性能、灵活可变的参考电压量程以及BCD码串行输出，这些都使它在智能仪表中受到重视。

对于压力从0~2000N转换的电压信号经放大为0~2V，则测量5N对应的信号电压为

5mV。MC14433当取参考电压为2V则分辨率为1mV，完全可以满足精度要求。若有更高的精度要求，可缩小量程提高精度，将被测压力信号分为不同的量程从而改变测量放大器的增益。此时测量放大器若采用可编程运放，则可实现量程的自动切换。

4. 其它

为增添仪表的智能功能，采用键盘预置参数（压力上限、补偿参数…），根据需要进行某些公式计算，并提供控制功能。在键盘设计中采用“状态变量”法，一键多义简化了设计。同时，根据智能仪表特点，对外设有标准仪器接口，以便与控制系统连接，组成自动测试控制系统。该系统备有超压告警等控制信号。为提高系统抗干扰性能，采用了光电隔离技术。

三、测试结果与误差分析

该应变仪经测试，达到了原设计指标。它可以取代以往的“二次仪表”，自成自动测试系统。经实验验证和分析该系统，误差的主要来源为：

(1) 传感器本身的非线性误差和温度特性等误差源。可由程序进行软件的温度和非线性等补偿，并且对传感器定期标定，以保证使用精度。

(2) 检测电路及放大器的非线性以及漏电流产生的误差。放大微弱信号时保证精度的主要措施是，首先在输入端防止漏电流的影响。这可将印刷电路板用环氧树脂涂覆，以防表面漏电。此外，在输入端加保护环，使其与高电位端隔离。切忌与计算机总线或数字电路临近造成干扰。

(3) A/D精度、 $\frac{1}{2}$ LSB的量化误差、线性度和温度特性等产生的误差。

(4) 其它干扰源产生的误差。系统内部噪音及50Hz工频干扰及脉冲尖峰干扰等。除在硬件电路上采取一系列措施（电源去耦…）外，在软件上也采取了相应的措施。如采用平均法消除50Hz的工频干扰，又采用中值法用以消除尖峰干扰等，从而有效地抑制了干扰，提高了系统精度。

四、几点探讨

在研制过程中体会到，欲设计一个高性能指标的智能仪表应由以下几方面考虑：

(1) 根据系统精度要求，合理设计数据采集系统，正确选择A/D芯片的位数。在传感器精度保证的前提下扩大量程，对输入信号可采用多量程。这样，可在不提高A/D位数的条件下获得更高的精度。

(2) 尽量选择低失调、高精度的运算放大器充当测量放大器。要充分了解不同型号运放的性能，做到正确、合理地选用。如ICL7650虽是性能近于“理想”、设计上摆脱传统束缚的第四代集成运放——差分式斩波稳零运算放大器，它利用动态校零原理将MOS器件固有的失调和漂移加以消除，但由于在动态校零过程中内部模拟开关的切换，受其栅漏极间分布电容的影响产生微分效应，影响输出电平的精度。如在低频或直流应用时，可加RC低通滤波滤去，但滤波同时也影响了频率特性。因而，这种集成运放的优越性，只有在直流和超低频应用中才能体现，不能盲目选用。

(3) 如需多路同时测量，可以考虑采用多路开关，使多路信号共享一片A/D转换器。

但实践表明：在高精度的数据采集系统中，多路开关所造成的误差是不容忽视的。因此，在不考虑成本的前提下，尽量选择高质量的多路开关或不采用多路信号共享ADC的方案。

(4) 依智能仪器的基本特点而定，它应具有智能化、自动化（操作简便）、标准化及自检等功能。

(5) 仪表的精度和稳定性是仪表的生命。除在硬件和软件上采取措施提高系统精度外，为提高系统稳定性也须采取相应措施。如电源去耦、多级稳压电源输入端低通滤波、光电耦合及小信号（模拟量）回路、逻辑回路、控制回路合理接地等措施都是行之有效的。接地的基本原则是：模拟地、数字地和计算机信号严格分开，最后一点接地。

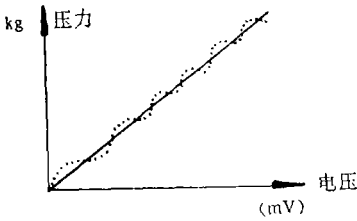


图 4

(6) 充分发挥计算机的软件功能，合理、正确使用其硬件资源，对提高整机系统的精度至关重要。图 4 是理想的和实测的由压力传感器检出的信号。它们的差异在于信号传递误差和随机误差的存在以及传感器的非线性等。为提高系统的测试精度和控制精度，必须进行非线性校正。我们采用的具体措施

是：

将现场模拟信号 $e(t)$ 每点采集 n 次，则有：

$$e(0)、e(1)、e(2)、\dots\dots e(n)$$

$$\text{则 } \overline{e(t)} = \frac{e(0) + e(1) + \dots\dots + e(n)}{n}$$

$\overline{e(t)}$ 即为 n 次采集信号的平均值。将 $e(t)$ 进行非线性校正，校正方程为：

$$e(t) = ae(n) + b$$

实践证明，校正后的测量精度大为提高。此外，利用硬件资源进行被测量的量程迁移，以充分发挥硬件设备能力（尤其是ADC），也是提高系统精度的行之有效的措施。

(7) 为进一步提高系统的抗干扰能力，可设置软硬件结合的自恢复系统。当主机因扰动脱离主循环程序时，自恢复系统迫使主机迅速复位，从入口重新运行。实践证明，这种自恢复系统对智能仪表的可靠性起了积极作用。

五、结 语

智能压力应变仪的设计和调试表明：用微型计算机取代传统的硬件布线逻辑可以大大地提高仪表的性能/价格比。设计中的关键是如何提高系统的精度和稳定性，这是当今微机应用中的难点和工程技术人员探索的方向。因此，通过理论分析与实验验证找出关键问题所在，并给出相应措施，对设计出高精度、高水平的智能仪表无疑是十分重要的。

参 考 文 献

[1] 杨志祥：《智能仪器》，南京工学院出版社，1986年5月。
 [2] 曾新民：《运算放大器应用手册》，电子工业出版社，1990年3月。

Design Intellectual Strain Gauge

Xuan Ming, Wang Shuqin and Tian Xingzhi

Abstract

The paper discussed the basic design principle of the intellectual strain gauge and the factors that influence on measurement accuracy. Through analysing the typical instrument the major factors of design were discussed.

Key words: Intellectual, Strain, Measurement