

南京航空航天大学

研究生硕士学位论文

研究生姓名	<u>钱 进</u>
专 业	<u>测试计量技术及仪器</u>
研 究 方 向	<u>计算机测控技术</u>
指 导 教 师	<u>赵 敏</u>

一九九九年一月

南京航空航天大学

研究生硕士学位论文

研究生姓名	<u>钱 进</u>
专 业	<u>测试计量技术及仪器</u>
研 究 方 向	<u>计算机测控技术</u>
指 导 教 师	<u>赵 敏</u>

一九九九年一月

工学硕士学位论文

多点多参数传感器自校准方案的研究

硕士研究生:钱 进
指导教师:赵 敏

南京航空航天大学测试工程系
一九九九年一月

DISSERTATION FOR MASTER' S DEGREE

The Study on the Scheme of Multi-points/multi-parameters Self-Calibration of Sensor

Prepared by: Qian Jin
Supervisor: Prof. Zhao Ming

Department of Measurement & Testing Engineering
Nanjing University of Aeronautics & Astronautics
January 1999

摘 要

本文系统地阐述了多点多参数传感器自校准方案的推导和实现。首先介绍了在理想条件下,即假定传感器线性的条件下的自校准的原理,随即提出了在实际应用时所必须面对的问题。针对实际应用时传感器非线性的特性,本文提出了分段插值法,并详细地介绍了软件设计方案;另外还给出了改进后的硬件测试系统。最后,根据以上的研究方案,做出了样机。对样机的实际测试证明,采用多点多参数技术及本文所阐述的其他技术,大大提高了硅压阻传感器测量精度及稳定性。

关键词: 多参数 传感器 非线性 插值

Abstract

The paper systematically interprets deducing procedures and the realization of a designing plan concerned of the self-calibration of a multi-points/multi-parameters sensor system. First, the situation under ideal conditions, namely, the principle of self-calibration of sensors with supposed linear characteristic, is mentioned. Then, questions may encountered in practice are put forward. In the light of nonlinear property of real sensors, we advanced the fractional interpolation method, and give a detailed introduction of software design and the structure of the improved testing system. According to the design plan mentioned above, a sample of the system has been tested. The results of the experiment manifest that, in use of the techniques of multi-points/multi-parameters and other techniques the paper mentioned, the system gains great improvement on accuracy and stabilization.

Key Words: multi-parameters sensor nonlinear interpolation

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 传感器的定义及其重要性.....	1
第二节 传感器的一般特性.....	2
第三节 传感器技术的现状与发展.....	3
第四节 硅压阻传感器.....	5
第二章 多点多参数自校准技术的研究.....	15
第一节 研究方案的探索.....	15
第二节 实时自校准原理初探.....	18
第三节 分段插值法.....	21
第三章 实现方案.....	24
第四章 系统的硬件组成.....	26
第一节 输入通道.....	26
第二节 恒流源电路.....	30
第三节 功能键.....	31
第四节 点阵式字符型液晶显示模块.....	31
第五节 I ² C 总线系统及应用.....	39
第五章 系统的软件设计.....	45
第一节 主菜单.....	46
第二节 学习程序模块.....	47
第三节 测量程序模块.....	53
第四节 浮点运算.....	54
第五节 CPU 的抗干扰措施.....	55
第六章 实验数据及结果分析.....	56
第一节 实验设备简介.....	56
第二节 实验数据表格.....	58
第三节 结果分析.....	70
结束语.....	72
附录一 电路原理图.....	73
附录二 参考文献.....	75

第一章 绪论

第一节 传感器的定义及其重要性

传感器是一种测量装置,它能感受或响应规定的被测量,并按照一定规律转换成可用输出,以满足信息的转换、处理、存储、记录、显示和控制等要求。

在被称为信息化社会的今天,人们对科学技术方面的要求更加严格。若将信息化社会与人体相比,则可以说计算机相当于人的大脑,而传感器则相当于人的五官部分。

国家标准 GB7665-87 对传感器下的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件指传感器中能将敏感元件感受的或响应的被探测量转换成适于传输或测量的电信号部分。大多数的传感器可将获取的信号转换为电信号。

目前,传感器应用领域已十分广泛,在国防、航空、航天、交通运输、能源、机械、石油、化工、轻工、纺织等工业部门和环境保护、生物医学工程等方面都大量地采用各种各样的传感器。

在工业生产方面,全自动、半自动、加工设备、自动生产流水线、机器人的出现,它们可实现生产合理化、自动化、提高产品质量、降低生产成本、减轻工人的劳动强度、避免有害作业的直接操作。在家用电器和医疗卫生方面,新颖的家用电器在家务劳动的自动化、省力化方面起到极大的作用,全自动洗衣机、洗碗机已进入千家万户;新型家用电子医疗保健产品,如电子血压计、脉搏计、电子体温计等。它们对于改善人们的物质生活水平和提高人们的健康水平起了重要作用。在航空、航天方面,大型飞机在云层上自动驾驶,并能在恶劣的气候条件下安全“盲目”着陆;空-空导弹的自动跟踪;人造卫星在太空进行遥感、遥测等高科技中都大量地安装有各种各样的传感器,以确保完成各项任务。

此外,传感器在粮食资源、矿产资源、海洋开发、生命科学等领域还有待更好地开发。正因为如此,传感器技术已受到世界各国普遍得视,并已发展成为一种专门的技术学科。

现代科学技术不断地发展,世界上正面临着一场新的技术革命,这场革命的主要基础就是信息技术,它是以极大地提高劳动生产率和工作效率为主要特征的。信息技术的关键在于信息的采集和信息处理,而信息采集主要依靠各种

类型的传感器。

在一个自动控制系统中，首先要由传感器检测到信号，才能进行自动控制。传感器的精度、可靠性的高低，将决定系统的成败。

第二节 传感器的一般特性

传感器(或测量设备)的输出~输入关系特性是传感器的基本特性。一种是稳态(静态或准静态)形式，这种情况下的待测信号是不随时间变化，或变化很缓慢；另一种是动态(周期变化或瞬态变化)的形式，即待测信号是随时间变化的。输入的待测量状态不同，传感器的输出~输入特性也不相同，它和传感器的内部性能与参数有密切关系。一个优良的传感器必须有良好的静态特性和动态特性，才能不失真地完成信号的转换。

一、传感器的静态特性

传感器的静态特性的主要指标是线性度、灵敏度、迟滞、重复性、精度、时漂和温漂等。

1·传感器的线性度

传感器的一般输出~输入特性可表示为非线性函数，如

$$y = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

式中 y --输出信号； x --输入信号； a_0 --零位输出； a_1 --传感器的线性灵敏度； $a_2, a_3 \cdots a_n$ --待定常数。

在使用非线性传感器时，如果非线性项方次不高，在输入量变化范围不大的条件下，可用一条直线近似地代表实际的非线性特性，常用的方法有端点直线法，最小二乘法 and 直线拟合方法等。

2·灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下输出变化对输入变化的比值。

3·迟滞(迟环)

迟滞(或称迟环)特性表明传感器在正(输入量程增大)反(输入量程减小)程期间输出~输入特性曲线不重合的程度

4·重复性

重复性表示传感器在输入量按同一方向作全量程多次测试时，所得特性曲线的不一致性。

6·零点时间漂移

传感器在恒定的温度环境中，零点输出信号与时间的变化特性，称为传感

器零点时间漂移,简称零漂。传感器的零漂一般按8小时内输出信号的变化来度量。

7· 零点温度漂移

传感器的零点输出随温度而变化的特性,称为传感器的零点温度漂移。一般常用环境温度变化 10°C 所引起的输出变化相对于最大输出的百分比表示。在实际使用中,时间漂移与温度漂移是同时存在的。

8· 灵敏度温度漂移

传感器的灵敏度随温度改变而变化,它反映温度变化对传感器输出信号影响的大小。一般用温度每变化 10°C 而引起传感器的相对变化来表示。

二、传感器动态特性的数学模型与响应函数

一个传感器静态特性很好,但当输入量随时间变化时,输出量不能追随输入量而变化,产生了很大的动态误差。动态特性是指传感器对输入量的响应特性,如将温度计插入待测液槽时,不能立即显示液体的温度值,而是要经过一段时间后达到平衡时才正确显示液体的温度,即有一个响应时间。

通常把传感器看作一线性不变系统,用常系数线性微分方程来描述

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \cdots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} y}{dt^{m-1}} + \cdots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \quad (1-2)$$

式中 $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$ 和 $b_m, b_{m-1}, \dots, b_0$ 均为与系统结构参数有关的常数。

线性不变系统有两个十分重要的性质,即叠加性和频率保持性。

显然对一个复杂的系统,严格求解式(1-2)这个微分方程是困难的。因此在工程控制和信息论中通常采用一些能反映系统动态特性的函数来将输出和输入联系起来,如传递函数,频率响应函数和脉冲响应函数等。

第三节 传感器技术的现状与发展

人类利用传感器来代替或补充感觉器官功能的技术先于近代科学出来,但随着近代科学的发展它又得到了进一步的提高和发展,并占有着重要地位。

由于新工艺、新材料、新原理的出现,机械结构型传感器在精度、稳定性等方面有了极大的提高,如最近出现的谐振式、石英电容式等一些稳定可靠的高精度传感器。迄今为止,结构型传感器在国防、工业自动化、自动检测等许多领域中仍占有较大的比重。由于近代材料科学的发展,如大量的半导体材料、功能陶瓷和功能有机聚合物,为物性传感器的发展,提供了坚实的物质基础,更由于宽广的市场需求,刺激了各类廉价物性传感器的发展,促进了传感器的小型化,但因物性敏感元件的基础工艺要求高(如半导体的大规模集成技术、超净与细微工艺等),稳定性较差,在

一些要求高可靠、高稳定的使用场合以及恶劣环境条件下,目前应用尚受到一定限制,然而,物性传感器必将在其不断提高性能的进程中得到发展。

近年来,微电子技术与微处理机技术传感器领域之后,传感器出现了新的突破。传感器与微电脑的有机结合,可以将获得的信息进行存储、数据处理、控制及打印,从而扩展的功能,提高了精度,而且在对环境条件的自适应性、信息的识别等方面,大大优于传统的单功能传感器,此类传感器称之为智能传感器。目前,人们对传感器的智能化极为关注,正广泛开展研究。

此外,还有许多利用新原理创造的各种新型传感器,也在不断地涌现出来,如一种响应速度极快的红外探测器,就是根据超导体量子力学的隧道效应,即约瑟夫逊效应制成的传感器,它对光纤通信的贡献非常大,还有目前十分引人注目的一种采用新材料与新工艺制成的能把光学图像信号转换成电信号的一种功能型传感器等等,总之,目前传感器发展迅速,不断涌现新型产品,其发展的趋势是小型化、集成化、智能化等等,现简述如下:

一、集成化、功能化

集成化的含义有二:一是将同一类型的单个传感器在同一平面上排列起来,排成一行者为线性传感器,排列成二维阵列者为面型传感器,而且将会向三维空间以及包括时间在内的四维空间发展。二是把传感器与放大、运算及温度补偿等环节一体化,从而组装成一个器件,构成组合传感器。

所谓功能化,是当其除具有信号转换功能外,还具有温度补偿、信号处理等功能。功能化的另一含义,是将一种传感器与其他功能复合,从而导出新的功能。例如,把温度传感器与开关电路集成为一体的“热敏可控硅器件”,就兼有测温及开关电路两种功能。同时具有两种以上功能的传感器,称为多功能传感器。

二、追求检测下限

借助量子力学诸效应追求逼近检测下限,是现代传感器技术发展的又一趋势。例如,利用核磁共振吸收效应的磁敏感元件,可将检测下限扩展到地磁场强度的 10^{-7} ;利用约瑟夫逊效应的热噪声温度传感器可测量 10^{-6} K的超低温。极微弱信号的正确检测,往往导致新技术的萌芽,从而给生产带来巨大效益,甚至使一些新学科诞生。

三、开拓新领域

现在开发的传感器以物理型传感器居多。化学型和生物型传感器还应积极开发与研究。另外未开发的领域还很多,例如气敏传感器等。

四、智能化

随着微型计算机向着高速、高性能、低成本方向的发展,传感器也向着集成化、功能化方向发展。这两种相互吻合的趋势,促使“智能传感器”诞生。因此,智能传

感器是传感器与微型计算机相结合的产物。

智能传感器不仅能进行外界信号的测量、转换，同时还具有记忆、存储、解析以及统计处理等功能。智能传感器的出现，将庞杂的数据处理由集中型处理变为分散型处理。这样一方面可以保证数据处理的质量，另一方面也可以降低成本。

第四节 硅压阻传感器

利用硅的压阻效应和集成电路技术制成的传感器具有灵敏度高、动态响应速度快、测量精度高、稳定性好、工作范围宽、易于小型化和能够进行批量生产，使用方便等特点，因而获得日益重要和广泛的应用，是发展非常迅速的新型传感器。

当力作用在硅单晶时，硅晶体的电阻率发生显著的变化，称为压阻效应。硅的压阻效应在 1954 年由 C.S.Smith 首先详细研究，确定了硅具有良好的弹性形变性能和显著的压阻效应，从此以后就开始了用硅制造压力传感器。早期的硅压力传感器称为体型压力传感器(又称半导体应变计式压力传感器)。它是用硅单晶切割加工成薄片矩形条，焊接上电极引线，粘贴在金属或者其它材料制成的弹性元件上形成的。当弹性体受压力后便产生应力，使之受到压缩或拉伸，硅的电阻率发生变化，产生正比于压力变化的电压信号输出，测定电压大小就可确定压力。这种半导体应变计式压力传感器后来发展成为用扩散方法在硅片上制造电阻条，称为固态压阻式压力传感器或扩散型压力传感器。它是在 N 型硅片上，定域扩散 P 型杂质形成电阻条，连接成惠斯登电桥，制成压力传感器芯片，使用时将此芯片粘贴在弹性元件上。当压力作用于弹性元件时，弹性元件上的电桥在应力的作用下使电桥出现不平衡，输出一个正比于压力变化的电压信号。半导体应变计式压力传感器在工业上获得重要和广泛的应用，也是目前仍然应用得较多的一种压力传感器。但是，这种压力传感器由于采用粘片结构，故存在着较大的滞后和蠕变现象、固有频率较低、小型集成化有困难、精度不够高等缺点，影响它的使用和进一步发展。

七十年代以来，采用集成电路技术制造硅压阻力传感器获得迅速的发展，制成了周边固定的电阻与硅膜片一体化的硅杯式扩散型压力传感器，它克服了半导体应变计式压力传感器存在的问题，性能优良，易于实现小型化和批量生产，能够将电阻条、补偿线路、信号调整电路集成在一块硅片上，甚至将计算机处理电路与传感器集成在一起，制成为“智能传感器”，使压阻式压力传感

器获得了重要和广泛的应用,成为人们普遍重视的一种压力传感器。除压力传感器外,人们利用硅的压阻效应制作成其它种传感器。

一、硅压阻传感器工作原理

压阻式传感器是利用单晶硅材料的压阻效应制成的。单晶硅材料受到力的作用后,其电阻率就要发生变化,这种现象称为压阻效应。

对于导体或半导体材料,其电阻 R 可用下式表示:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中: ρ ——电阻系数 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)

l ——导体或半导体长度 (m)

S ——导体或半导体截面积 (mm^2)

将(1-3)微分并除以 R 得

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-4)$$

因为 $S = \pi r^2$ (r 为导体或半导体的半径)

$$\begin{aligned} dS &= 2\pi r dr \\ \frac{dS}{S} &= 2 \frac{dr}{r} \end{aligned} \quad (1-5)$$

令 $\varepsilon_x = \frac{dl}{l}$ ——轴向应变

$\varepsilon_y = \frac{dr}{r}$ ——径向应变

导体或半导体受拉时,沿轴向伸长而沿径向缩短,两者关系为

$$\varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x \quad (1-6)$$

式中: μ ——导体或半导体材料的泊松系数。

将(1-5)、(1-6)式代入(1-4)式,经整理得

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu)\varepsilon_x + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-7)$$

引用

$$\frac{d\rho}{\rho} = \pi \sigma \quad (1-8)$$

式中: π ——压阻系数

σ ——应力

则式(1-7)可写成

$$\frac{dR}{R} = (\pi E + 1 + 2\mu)\varepsilon_x \quad (1-9)$$

式中: E ——导体或半导体材料的弹性模量

对半导体材料而言, πE 要比 $(1+2\mu)$ 大得多, 故 $(1+2\mu)$ 可以忽略不计, 因而其电阻相对变化可写为

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi \sigma \quad (1-10)$$

式(1-10)说明, 半导体材料电阻的变化率 $\Delta R/R$ 主要是由 $\Delta \rho/\rho$ 引起的, 这就是半导体的压阻效应。

在弹性变形限度内, 硅的压阻效应是可逆的, 即是说在应力作用下硅的电阻发生变化, 而当应力除去时, 硅的电阻又恢复到原来的数值。应力作用在硅晶体, 使它的电阻发生变化这一压阻效应的物理解释, 依据半导体多能谷导带/价带模型的公式, 当力作用于硅晶体时, 晶体的晶格产生形变, 它使载流子产生从一个能谷到另一个能谷散射, 载流子的迁移率发生变化, 扰动了纵向和横向的平均有效质量, 使硅的电阻率发生变化。这个变化随硅晶体的取向不同而不同, 硅的压阻效应与晶体的取向有关。

二、压阻系数

应力作用在硅单晶上, 由于压阻效应, 硅晶体的电阻发生变化。电阻的相对变化 $\Delta R/R$ 与应力的关系如下式所示。在正交坐标系中, 坐标轴与晶轴一致时, 有

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t + \pi_s \sigma_s \quad (1-11)$$

式中 σ_l 为纵向应力, σ_t 为横向应力, σ_s 为与 σ_l 和 σ_t 垂直的方向上的应力, 由于它比 σ_l 和 σ_t 小很多, 一般都略去。 π_l 、 π_t 、 π_s 分别为 σ_l 、 σ_t 、 σ_s 相对应的压阻系数。 π_l 表示应力作用方向与通过压阻元件的电流方向一致, π_t 表示应力作用的方向与通过压阻元件的电流方向垂直。

当硅晶体的晶轴与立方晶体晶轴有偏离时, 电阻的变化率表示为:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t \quad (1-12)$$

在此情况下, 式中的 π_l 、 π_t 值可用 π_{11} 、 π_{12} 、 π_{44} 表示为

$$\pi_l = \pi_{11} - 2(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2) \quad (1-13)$$

$$\pi_t = \pi_{12} + (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2) \quad (1-14)$$

式中 π_{11} 、 π_{12} 、 π_{44} 分别为压阻元件的纵向, 横向及剪切向压阻系数; l_1 、 m_1 、 n_1 分别为压阻元件纵向应力相对于立方晶轴的方向余弦; l_2 、 m_2 、 n_2 分别为应力相对于立方晶轴的方向余弦; π_{11} 、 π_{12} 、 π_{44} 是硅半导体的三个压阻系数。它

们的获得是实测的结果。在室温下，单晶硅 π_{11} 、 π_{12} 、 π_{44} 的数值见表 1-1。

表 1-1 π_{11} 、 π_{12} 、 π_{44} 的数值($\times 10^{-11} m^2 / N$)

晶 体	导电类型	电阻率 ($\Omega \cdot cm$)	π_{11}	π_{12}	π_{44}
Si	P	7.8	+6.6	-7.1	+138.1
	N	11.7	-102.2	+53.4	-13.6

从上表可以看出，对于 P 型硅， π_{44} 远大于 π_{11} 和 π_{12} ，因而在计算时，只取 π_{44} ；对于 N 型硅， π_{44} 较小， π_{11} 最大， $\pi_{12} \approx -0.5 \pi_{11}$ ，因而在计算是只取 π_{11} 和 π_{12} 。

影响压阻系数大小的因素主要是扩散杂质的表面浓度和晶向。晶向对压阻系数的影响比较复杂，但用单晶硅在(111)晶面上制作传感器电阻条时用不着考虑晶向。扩散杂质浓度增加时，压阻系数就要减小。表面杂质浓度低时，温度增加，压阻系数下降得快；表面杂质浓度高时，温度增加，压阻系数下降得慢。

三、硅压阻传感器的测量线路

硅压阻感器的测量线路是在测试工作过程与标定传感器性能时使用的。本节着重介绍传感器测量线路中常用的恒压电源、恒流电源和放大电路。

硅压阻传感器硅芯片上扩散出的四个桥臂电阻，一般是将其连接成惠斯登电桥。为使电桥的灵敏度最大，将一对增加的电阻对接，将另一对减小的电阻也对接，如图 1-1 所示。供电常采用两种方式：恒压源供电和恒流源供电。

1 恒压源供电时电桥的输出

在图 1-1 中，电桥的输出为

$$U_{sc} = \frac{U_o(R + \Delta R + \Delta R_T)}{R - \Delta R + \Delta R_T + R + \Delta R + \Delta R_T} - \frac{U_o(R - \Delta R + \Delta R_T)}{R + \Delta R + \Delta R_T + R - \Delta R + \Delta R_T}$$

整理后得

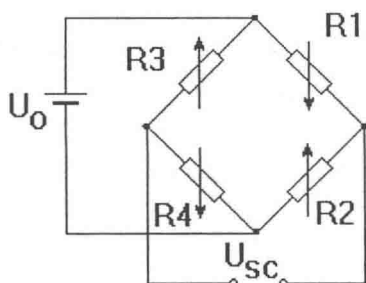


图 1-1 恒压源供电

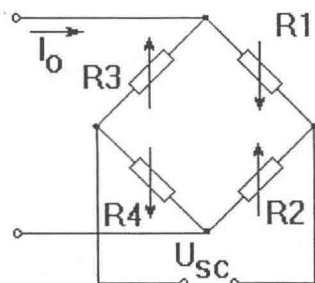


图 1-2 恒流源供电

$$U_{sc} = U_o \frac{\Delta R}{R + \Delta R_T} \quad (1-15)$$

式中 ΔR_T 是由于温度的增加产生的电阻变化。四个桥臂电阻的起始阻值都相等且为 R ，式(1-15)说明电桥输出一方面与 $\Delta R/R$ 成正比，另一方面又与供桥电压 U_o 成正比，即电桥的输出电压除了与被测量成正比外，同时与电桥输入电压 U_o 的大小和精度有关。当温度改变时，输出电压 U_{sc} 还与温度有关，即 U_{sc} 与 ΔR_T 呈非线性关系，所以用恒压源供电时，不能消除温度的影响。

2 恒流源供电时电桥的输出

恒流源供电时电桥如图 1-3 所示。在图 1-3 中，假设电桥两个支路的电阻相等，那么通过每条支路的电流相等，都等于 $I_o/2$ 。因此电桥的输出为

$$U_{sc} = \frac{1}{2} I_o (R + \Delta R + \Delta R_T) - \frac{1}{2} I_o (R - \Delta R + \Delta R_T)$$

经整理后得

$$U_{sc} = I_o \Delta R \quad (1-16)$$

电桥的输出与电阻的变化量 ΔR 成正比，也与电源电流成正比，即输出与恒流源供给的电流大小与精度有关。但是电桥的输出与温度无关，不受温度的影响，这是恒流源供电的优点，缺点是电路较复杂，恒流源供电时，一个传感器最好配备一个恒流源，这在使用中有时是不方便的。

根据本课题的误差要求，经综合分析后，我们决定采用恒压源供电。

3 硅压阻传感器的测量线路

硅压阻传感器常用的测量线路主要有电桥电压放大电路和电桥电流放大电路，分别如图 1-3 和图 1-4 所示。

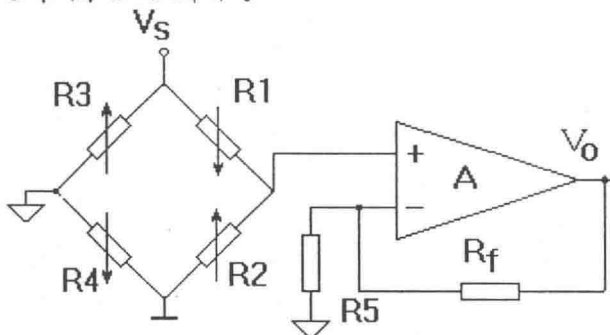


图 1-3 电桥电压放大电路

电桥电压放大电路中的放大倍数取决于 R_f 与 R_5 的比值，放大倍数调节比较方便，但传感器供电电源和运放电源不能共地，而电桥电流放大电路的放大倍数与 $R_1 \sim R_5$ ， R_f 有关， R_5 与 R_f 必须完全对称，这样方可保证此电路有较高的共

模抑制比。此外该电路传感器供电电源和运放电源可以共地，这是它的优点。

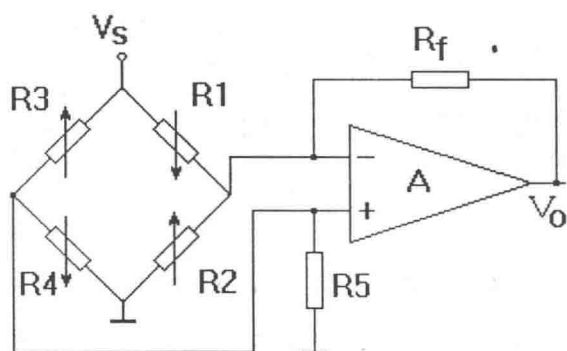


图 1-4 电桥电流放大电路

四、压阻式传感器的温度漂移与补偿

1 压阻式传感器的温度漂移

压阻式传感器受到温度影响后，就要产生零位漂移的灵敏度漂移。这是压阻式传感器最大的弱点。

零位温度漂移的产生是由于扩散电阻的阻值随温度变化引起的，而扩散电阻的温度系数随薄层电阻的不同而异，表面杂质浓度高时，薄层电阻小，温度系数也小；表面杂质浓度低时，薄层电阻大，温度系数也大。为减小温度系数，可提高表面杂质浓度，但这样做会使传感器的灵敏度降低。

压阻式传感器的灵敏度漂移是由于压阻系数随温度变化引起的，温度升高时压阻系数变小；温度降低时，压阻系数变大，所以传感器的灵敏度，当温度升高时要降低，温度降低时要升高，也就是说传感器的灵敏度温度系数是负的。如果扩散电阻的表面浓度高些，压阻系数随温度的变化要小些，传感器的灵敏度温度系数也要小些。

2 温度补偿

压阻式传感器由于有很多优点，因而发展很快，但是温度误差却是这类传感器发展中的一个需要解决的问题，所以在使用压阻式传感器时须进行温度补偿。温度补偿有硬件补偿和软件补偿两种方式，硬件补偿就是在传感器桥臂附加串并联电阻网络达到消除或减小温度影响的目的，而软件补偿就是利用微机或单片机系统对实时采集的数据进行综合修正达到消除和减小温度的影响，在以后的章节中我们要讨论如何将传感器的温度补偿和传感器的校准结合起来的技术，达到自校准和自补偿的效果。现在我们先来讨论压阻式传感器的硬件温度补偿方法。

(1) 线路补偿方法