# 第1章 概述

1. 什么叫传感器？它通常由哪几部分组成？它们的作用是什么？

答：传感器是能够感受被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。

传感器通常由敏感元件、转换元件、信号调理与转换电路和辅助电源组成。

敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号的部分；信号调理与转换电路的作用是把来自传感器的信号进行转移和放大，使其更适合于作进一步处理和传输；辅助电源为传感器的其它部件提供必要的工作能量，确保传感器的正常工作。

2. 请简述传感器技术的分类方法。

答：按工作原理分，有电参量式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热电式传感器、半导体传感器以及其它形式的传感器；

按被测量类型分，有位移传感器、速度传感器、加速度传感器、温度传感器、力/力矩传感器、流量传感器以及其他形式的传感器。

按传感器的能源分，有有源传感器和无源传感器。

3. 请简述传感器技术的发展趋势。

答：传感器技术的发展趋势主要表现为以下几个方面：

（1）开发新材料、研究新型传感器。

（2）集成化、多功能化。

（3）多传感器的融合。

（4）学科的交叉融合，实现无线网络化。

（5）向微功耗及无源化发展。

（6）网络化和物联网。

4. 请简述智能传感器的作用。

答：智能传感器的作用主要表现为以下几点：

（1）提高测量精度。

（2）增加功能。

（3）提高自动化程度。

（4）高信噪比与高分辨力。

5. 请简述智能传感器的主要功能。

答：智能传感器的主要功能表现为以下几方面：

（1）在自我完善能力方面，

①具有改善静态性能，提高静态测量精度的自校正、自校零、自校准功能；

②具有提高系统响应速度，改善动态特性的智能化频率自补偿功能；

③具有抑制交叉敏感，提高系统稳定性的多信息融合功能。

（2）在自我管理与自适应能力方面，

①具有自检验、自诊断、自寻故障、自恢复功能；

②具有判断、决策、自动量程切换与控制功能。

（3）在自我辨识与运算处理能力方面，

①具有从噪声中辨识微弱信号与消噪的功能；

②具有多维空间的图像辨识与模式识别功能；

③具有数据自动采集、存储、记忆与信息处理功能。

（4）在交互信息能力方面，具有双向通信、标准化数字输出以及拟人类语言符号等多种输出功能。

6. 请简述智能传感器的特点。

答：与传统传感器相比，智能传感器具有以下显著特点：

（1）精度高；

（2）高可靠性与高稳定性；

（3）高倍噪比与高分辨力；

（4）强自适应性；

（5）较高的性能价格比。

7. 简要说明智能传感器的实现途径。

答：智能传感器的实现途径主要有以下三种：

（1）非集成化实现

这是一种将传统的基本传感器、信号调理电路和带数字总线接口的微处理器组合为一个整体的方式。

（2）集成化实现

这种方式采用微机械加工技术和大规模集成电路工艺技术，利用硅作为基本材料来制作敏感元件、信号调理电路以及微处理器单元，并将它们集成在一块芯片上。

（3）混合实现：

根据系统的需求和可行性，将系统的各集成化环节，如集成化敏感单元、信号调理电路、微处理器单元、数字总线接口等，以不同的组合方式集成在几块芯片上，并装在一个外壳里。

# 第2章 传感器的基本特性及其校准

1. 传感器的静态特性指标主要有哪些？写出说明及相关表达式。

答：传感器的静态特性是它在稳态信号作用下的输入-输出关系。静态特性所描述的传感器的输入、输出关系式中不含有时间变量。

传感器的静态特性的性能指标主要有：

1. 测量范围：传感器所能测量到的最小被测输入量（下限）至最大被测输入量（上限）之间的范围；
2. 量程：传感器测量上限和测量下限的代数差；
3. 线性度：线性度描述了传感器输出与输入之间的线性关系程度。一般用非线性误差来衡量，即 ；
4. 灵敏度：传感器在稳态下输出量变化与输入量变化的比值，即 ；
5. 迟滞：系统在全量程范围内，输入量由小到大(正行程)或由大到小(反行程)两个静态特性一致的程度， ；
6. 重复性：重复性表示系统输入量按同一方向作全量程、连续多次变动时，静态特性之间一致的程度， ；
7. 分辨力：传感器能够感知或检测到的最小输入信号增量，反映传感器能够分辨被测量微小变化的能力；
8. 阈值：使传感器输出端产生可观测变化的最小被测输入量值；
9. 稳定性：传感器在相当长的工作时间内保持其性能的能力；
10. 漂移：传感器在输入量不变的情况下，输出量随时间变化的现象。
11. 精度：衡量传感器测量结果与真实值之间差异的指标。

2. 什么是传感器的动态特性？如何分析传感器的动态特性？

答：传感器的动态特征反映了其对动态信号进行准确测量的能力。系统的动态响应特性一般通过描述系统的微分方程、传递函数和频率响应函数等数学模型来进行分析。

3. 请简述传感器静态标定的过程。

答：（1）将传感器的全量程分成若干等间距的点。

（2）根据传感器的量程分点，逐渐从小到大输入标准量程，并记录下每个输入值对应的输出值。

（3） 逐渐将输入值从大到小减小，并同时记录下每个输入值对应的输出值。

（4）按步骤（2）和（3）所述的过程，对传感器进行多次正、反行程测试，并将得到的输出/输入测试数据列入表格或绘制成曲线。

（5）对测试数据进行必要的处理，并根据处理结果确定传感器的线性度、灵敏度、迟滞和重复性等静态性能指标。

4. 提高传感器性能的途径有哪些？

答：（1）合理选择结构、材料和参数；

（2）使用差动技术；

（3）应用平均技术；

（4）采用补偿和修正技术；

（5）进行稳定性处理；

（6）实施屏蔽隔离和干扰抑制。

5. 应当如何正确选择传感器？

答：（1）借助于传感器的分类表，根据被测量的性质，找出符合用户需要的传感器类别，再从典型应用中初步确定几种传感器。

（2）借助于常用传感器的比较表和价格表，根据被测量的测量范围、测量精度、测量要求和环境要求，再次确定传感器的类别。

（3）借助于传感器的产品目录选用样本或传感器的手册，查出传感器的规格型号，性能参数及结构尺寸。

6. 某位移传感器，在输入量变化5mm时，输出电压变化为200mV，求其灵敏度。

解：（mV/mm）

7. 某压力传感器的测试数据如下表示，试据此计算某压力传感器的迟滞误差和重复性误差。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 行 程 | 输入压力  （×105Pa） | 输出电压(mV) | | |
| ⑴ | ⑵ | ⑶ |
| 正行程 | 2.0 | 190.9 | 191.1 | 191.3 |
| 4.0 | 382.8 | 383.2 | 383.5 |
| 6.0 | 575.8 | 576.1 | 576.6 |
| 8.0 | 769.4 | 769.8 | 770.4 |
| 10.0 | 963.9 | 964.6 | 965.2 |
| 反行程 | 10.0 | 964.4 | 965.1 | 965.7 |
| 8.0 | 770.6 | 771.0 | 771.4 |
| 6.0 | 577.3 | 577.4 | 578.4 |
| 4.0 | 384.1 | 384.2 | 384.7 |
| 2.0 | 191.6 | 191.6 | 192.0 |

解：（1）迟滞误差：

∵ 迟滞误差

最大迟滞误差发生在第三循环测量处，为:

∴

② 重复性误差：

由所给数据可得，

正行程：，反行程：

∴ 

又 

∴重复性误差 

# 第3章 常用传感器的工作原理

1. 应变片的种类有哪些？各有什么特点？

答：应变片主要有三类：金属丝式、金属箔式和半导体应变片。

金属丝式应变片制造简单且便宜，但端部弧形段会产生横向效应。 金属箔式应变片通过光刻和腐蚀在绝缘基片上制成电阻箔片，厚度在0.001～0.1mm。相比金属丝式，其散热好、通过电流大、横向效应小、柔性好、寿命长，且工艺成熟，适合大批量生产。

半导体应变片由半导体材料制成，工作原理基于压阻效应。其灵敏度比金属丝式、箔式高几十倍，横向效应小，应用广泛。

2. 应变片产生温度误差的原因及减小或补偿温度误差的方法是什么？

答：温度误差产生原因包括两方面：（1）电阻温度系数的影响；（2）试件材料与敏感栅材料的线膨胀系数不同，使应变片产生附加应变。

温度补偿法：（1）线路补偿法；（2）应变片自补偿法。

3. 电感式传感器的工作原理是什么？根据转换原理，其可以分为哪几类？

电感式传感器（Inductance Sensor）是一种利用电磁感应原理，将被测的非电量转换成电磁线圈的自感或互感量变化的测量装置

根据转换原理不同，可分为变磁阻式（自感式）、变压器式（互感式）、电涡流式（互感式）传感器等。

4. 引起零点残余电压的原因是什么？如何消除零点残余电压？

答：零点残余电压的产生原因：传感器的两次极绕组的电气参数与几何尺寸不对称，导致它们产生的感应电势幅值不等、相位不同，构成了零点残余电压的基波；由于磁性材料磁化曲线的非线性（磁饱和，磁滞），产生了零点残余电压的高次谐波（主要是三次谐波）。

为了减小和消除零点残余电压，可采用差动整流电路。

5. 根据电容式传感器工作时变换参数的不同，可以将电容式传感器分为哪几种类型？各有何特点？

答：根据电容式传感器的工作原理，可将其分为三种：变极板间距的变极距型、变极板覆盖面积的变面积型和变介质介电常数的变介质型。

变极板间距型电容式传感器的特点是电容量与极板间距成反比，适合测量位移量。

变极板覆盖面积型电容传感器的特点是电容量与面积改变量成正比，适合测量线位移和角位移。

变介质型电容传感器的特点是利用不同介质的介电常数各不相同，通过介质的改变来实现对被测量的检测，并通过电容式传感器的电容量的变化反映出来。适合于介质的介电常数发生改变的场合。

6. 试讨论变极距型电容式传感器的非线性及其补偿方法。

答：单极式变极距电容传感器的灵敏度和非线性对极板初始间隙的要求是相反的，要改善其非线性，要求应增大初始间隙，但这样会造成灵敏度的下降，因此通常采用差动结构来改善非线性。

7. 简述变磁通式和恒磁通式磁电感应传感器的工作原理。

答：变磁通式磁电传感器主要是靠改变磁路的磁通大小来进行测量，即通过改变测量磁路中气隙的大小，从而改变磁路的磁阻来实现测量的。

恒磁通式传感器是指在测量过程中使导体（线圈）位置相对于恒定磁通变化而实现测量的一类磁电感应式传感器。

8. 磁电式传感器与电感式传感器有哪些不同？

答：磁电式传感器是通过磁电作用将被测量转换为电信号的一种传感器。

电感式传感器是利用线圈自感或互感的变化来测量的一种装置。

磁电式传感器具有频响宽、动态范围大的特点。而电感式传感器存在交流零位信号，不宜于高频动态信号检测；其响应速度较慢，也不宜做快速动态测量。

9. 什么是霍尔效应？霍尔电动势与哪些因素有关？

答：当载流导体或半导体处于与电流相垂直的磁场中时，在其两端将产生电位差，这一现象被称为霍尔效应。

霍尔电势：

霍尔电势与霍尔电场、载流导体或半导体的宽度、载流导体或半导体的厚度、电子平均运动速度、磁场感应强度和电流有关。

10. 如何提高霍尔传感器的灵敏度？

答：（1）将霍尔元件制成薄片形状。（2）采用自由电子浓度较低的材料作霍尔元件。

11. 试简述电阻式气体传感器的工作原理。

答：电阻式气敏传感器使用金属氧化物（如氧化锡、氧化锌）作为敏感元件，当这些材料接触气体时，其电阻值会发生变化，从而检测气体的成分或浓度。这些金属氧化物半导体分为N型和P型。当氧化型气体吸附到N型半导体上，或还原型气体吸附到P型半导体上时，多数载流子（价带空穴）会减少，导致电阻增大。相反，当还原型气体吸附到N型半导体上，或氧化型气体吸附到P型半导体上时，多数载流子（导带电子）会增多，导致电阻下降。通过观察气体浓度与电阻值的变化关系，可以得知气体的浓度。

12. 试简述光纤传感器的工作原理。

答：由光源发出的光通过源光纤引到敏感元件，被测参数（温度、压力、应变、振动等）作用于敏感元件，在光的调制区内，使光的某一性质（光强、波长/频率、相位、偏振态）受到被测量的调制，调制后的光信号经过接收光纤耦合到光探测器，将光信号转换为电信号，最后经过信号处理得到所需要的被测量。

# 第4章 传感器信号调理与处理

1. 什么是直流电桥？若按桥臂工作方式不同，可分为哪几种？各自的输出电压如何计算？

答：使用直流电源的电桥的电桥称为直流电桥。

按桥臂工作方式不同，可分为单臂直流电桥、半桥差动直流电桥和全桥差动直流电桥三种。

单臂直流电桥输出电压为：

半桥差动直流电桥输出电压为：

全桥差动直流电桥输出电压为：

2. 在传感器测量电路中，直流电桥与交流电桥有什么不同，如何考虑应用场合？用电阻应变片组成的半桥、全桥电路与单桥相比有哪些改善？

答：直流电桥适合供电电源是直流电的场合，交流电桥适合供电电源是交流电的场合。

半桥电路比单桥电路灵敏度提高一倍，全桥电路比单桥电路灵敏度提高4倍，且二者均无非线性误差。

3. 在下图中，负载电阻为无穷大（开路），，。

（1）为金属应变片，其余为外接电阻，当的增量为时，试求电桥的输出电压。

（2），都是应变片，且批号相同，感应应变的极性和大小都相同，其余为外接电阻，试求电桥的输出电压。

（3），都是应变片，且批号相同，感应应变的大小为，但极性相反，其余为外接电阻，试求电桥的输出电压。



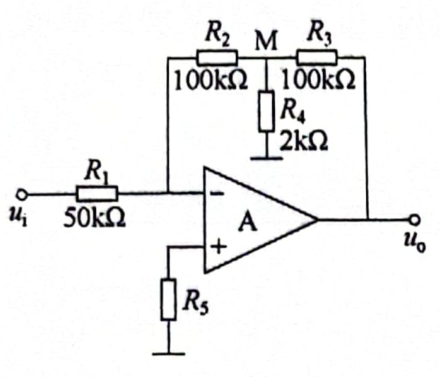
解：（1）

（2）

（3）当受拉应变，受压应变时：

当受压应变，受拉应变时：

4. 电路如下图所示，试求其输入电阻和放大倍数。



解：输入电阻通常定义为输入端到接地点的电阻。在本题中，根据虚短和虚断原理，，输入端到接地点实际上就是输入端到，支路中只有一个电阻，故。

同理，根据虚短和虚断原理，可以列出如下方程：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （1） |
|  |  | （2） |

由式（1）可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （3） |

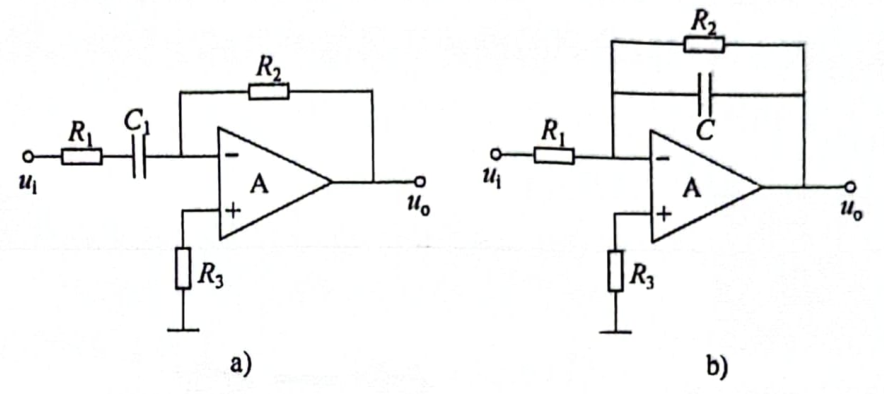
将（3）代入（2）可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4） |

将，，，代入，并整理可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5） |

5. 分别推导下图所示各电路的传递函数,并说明它们属于哪种类型的滤波电路。



解：（a）根据虚短和虚断原理有：，

由电容的欧姆定理可得：

由基尔霍夫定理可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

整理可得：

这是一个高通滤波器。

（b）根据虚短和虚断原理有：，

根据欧姆定理可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （1） |
|  |  | （2） |
|  |  | （3） |

由基尔霍夫定理可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4） |

将式（1）、式（2）和式（3）代入式（4），并整理可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

这是一个低通滤波器。

6. 什么是电压/频率变换，它有什么应用？

答：电压/频率变换是将模拟输入电压转换成与之成正比的振荡频率的技术。它可以用于远距离传递频率信息，并且具有优良的抗干扰能力，常用于模拟信号到数字信号的转换。

7. 取样积分器是如何实现微弱信号检测的？

答：取样积分器通过对信号进行多次周期性采样和积分，求得平均值来实现微弱信号的检测。由于信号具有周期性重复性而噪声不具备这一特性，通过足够多次的信号重复，可以从噪声中提取出信号，从而提高信噪比和系统的噪声抑制能力。

# 第5章 参数检测

1. 什么是测量？测量方法有哪几种？

答：测量就是以确定被检测值为目的的一系列操作，即利用物质的物理、化学或生物特性，对被测对象的信息进行提取、转换和处理，从而获得定性或定量结果的过程。

测量方法的的分类方式主要有以下几种：

（1）根据测量方式的不同可分为：直接测量、间接测量和组合测量

（2）根据测量方法的不同可分为：偏差式测量、零位式测量和微差式测量

（3）根据测量精度要求的不同可分为：等精度测量和非等精度测量

（4）根据被测量变化的快慢可分为：静态测量和动态测量

（5）根据测量敏感元件是否与被测介质接触可分为：接触式测量和非接触式测量

2. 什么是绝对误差、相对误差和引用误差？

答：绝对误差：仪表的指示值与被测量的真值之间的差值；

相对误差：仪表指示值的绝对误差δ与被测量真值的比值，常用百分数表示。

引用误差：用误差是绝对误差与仪表量程的比值，通常以百分数表示。

3. 什么是系统误差？其产生的原因是什么？

答：在相同的条件下，多次重复测量同一量时，误差的大小和符号保持不变，或按照一定的规律变化，这种误差称为系统误差。

产生的原因主要有：

（1）检测装置本身性能不完善

（2）测量方法不完善

（3）测量者对仪器使用不当

（4）环境条件的变化

4. 请描述测量系统的结构及各部分的作用？

答：测量系统的结构如下图所示：



传感器：能够感知被测量的大小并输出相应可用信号的设备或装置。

数据传输环节：负责在测量系统的各个功能环节之间传输数据。

数据处理环节：负责处理和转换传感器的输出信号，如放大、滤波、运算、线性化、A/D或D/A转换等，以便于显示、记录和处理。

数据显示环节：负责将测量结果转换为易于理解的形式并输出，以便于监视、控制或分析。

5. 测量系统是如何分类的，各有何特点？

答：根据是否存在反馈通道，或信号在其中的传递情况，可以将测量系统分开环测量系统与闭环测量系统两种基本类型。

开环测量系统没有反馈通道，全部信息的变换只沿着一个方向进行。除非提高各环节的抗干扰能力，否则，开环测量系统很难获得高的测量精度。

闭环测量系统有两个通道：一个正向通道，一个反馈通道。对于闭环结构的测量系统，如果正向通道的传递系数足够大，则整个系统的输入、输出关系由反馈环节的特性决定，而正向通道的放大器等环节特性的变化不会影响测量结果。

6. 某开环测量系统由传感器、放大器和记录仪组成，各环节的灵敏度分别为：，，，求该系统总的灵敏度。

解：开环测量系统的灵敏度等于（）等于各环节灵敏度（、、…、）之积，故：

# 第6章 基本智能化功能与python实现

1. 什么是非线性校正技术？它的目的是什么？

答：非线性校正技术是指通过软件或硬件的方法，使传感器的输出信号与输入信号之间的关系尽可能地接近线性。它的目的是提高传感器的测量精度，消除非线性误差。

2. 什么是查表法？它的基本原理是什么？

答：查表法是一种分段线性插值法，它根据精度的要求对反非线性曲线进行分段，用若干段折线逼近曲线。它的基本原理是将折点坐标存入数据表中，测量时，查找出输入值对应的电压值处在哪一段折线上，根据这段折线的斜率进行线性插值，求得输出值。

3. 什么是曲线拟合法？它的优点是什么？

答：曲线拟合法是一种用多项式来逼近反非线性曲线的方法，这个多项式的系数是通过最小二乘法确定的。它的优点是可以用较低的多项式次数来达到较高的精度，且计算简单，易于实现。

4. 请简述自校零与自校准功能的核心思想。

答：不论何种因素，如温度、电源电压波动或自身的老化，引起了传感器输入输出特性发生漂移，偏离了初始标定曲线。只要现场实时进行标定实验，测出漂移后的输入-输出特性，并按其进行刻度转换，就能消除特性漂移引入的测量误差，输出的被测量值更接近实际的真实值。

5. 以压力传感器为例，简要说明两基准法的基本步骤。

答：两基准法的基本步骤如下：

（1）校零：输入信号是零点标准值，即大气压，系统的输出值为零位值，即零点漂移。

（2）标定：输入信号是标准值，由标准压力发生器产生，系统的输出值为标定值，即灵敏度漂移。

（3）测量：输入信号为被测目标参量压力，测量系统相应的输出值为测量值，根据零位值和标定值进行刻度转换，得到真实的压力值。

6. 形成干扰的三个因素是什么？它们之间有什么关系？

答：形成干扰的三个因素：噪声源、传播途径和接收载体。

关系：噪声源是产生干扰信号的设备，传播途径是干扰信号的传播路径，接收载体是受影响的设备的某个环节。噪声源通过传播途径对接收载体形成干扰。

7. 请简述抑制噪声干扰的措施。

答： （1）消除或抑制噪声源

（2）破坏干扰的耦合通道

（3）消除接收电路对于干扰的敏感性

（3）采用软件抑制干扰

8. 什么是多传感器数据融合，它包括哪两大方面？

答：多传感器数据融合技术是指将多个传感器与计算机（或微处理器）组建智能化多传感器系统，并将多个传感器获得多个信息的数据进行融合处理，实现某种改善传感器性能的智能化功能。

两大方面：

（1）提高某点位置处（单点）某一个参量（单参量）的测量准确度；

（2）是抑制交叉敏感改善传感器稳定性的同时，系统的线性度也可以得到改善。

9. 什么是交叉敏感现象？它会给传感器系统带来什么问题？

答：交叉敏感现象是指当传感器的目标参数保持不变，而其他非目标参数发生变化时，传感器的输出值会发生变化的现象。

问题：性能不稳定、准确性差。

10. 什么是频域校正法？它的基本步骤有哪些？

答：频域校正法是一种利用频谱分析和复数除法运算来实现频率补偿的方法。

基本步骤有：

（1）采样：对输入信号的输出响应信号进行采样，得时间序列；

（2）频谱分析：对采样信号进行快速傅里叶变换（FFT），得出它的频谱；

（3）做复数除法运算：根据，求出系统被测输入信号频谱；

（4）进行傅里叶反变换：对频谱进行傅里叶反变换（IFFT），得原函数的离散时间序列。

11. 什么是解析冗余方法？它的主要步骤有哪些？

答：解析冗余方法是指构建包含传感器的被测对象的动态模型，并通过比较模型输出和实际输出的差异，来判断传感器是否发生故障。

解析冗余方法的主要步骤有：

（1）模型设计，根据被控对象的特性、传感器的类型、故障类型和系统要求等，建立相应的被控对象的数学模型；

（2）设计与传感器故障相关的残差，通过比较模型输出和实际输出的差异，来生成残差信号；

（3）进行统计检验和逻辑分析，以诊断某些类型的传感器故障。

# 第7章 多元回归法及其在智能传感器系统中的应用

1. 什么是多元回归分析法的核心思想？

答：为了消除n≥1个干扰量对主传感器测量目标参量的影响，就要设置n≥1个监测干扰量的辅助传感器，以建立更完备的逆模型。

2. 什么是最小二乘法？它在多元回归分析中有什么作用？

答：最小二乘法是一种最小二乘法是一种用于求解回归方程中未知参数的方法，它的原理是使所有标定点的因变量标定值与计算值之差的平方和最小。它在多元回归分析中的作用是确定回归方程的最优解，使回归方程的拟合效果最好。

3. 什么是回归方程的项数？它由什么决定？

答：回归方程的项数是指回归方程中自变量的数量再加上自变量的最高阶次。回归方程的项数由允许的误差范围来决定，一般来说，项数越高，回归方程的拟合效果越好，但同时也会增加计算的复杂度和过拟合的风险。

4. 什么是交叉灵敏度？它会对传感器的测量结果产生什么影响？

答：交叉灵敏度是指传感器对非目标参量的灵敏度，即传感器的输出量不仅受目标参量影响，还受其他参量影响。它会对传感器的测量结果产生误差，降低传感器的准确性和稳定性。

5. 什么是均方误差最小原则？它在传感器数据融合中有什么作用？

答：均方误差最小原则是一种用于求解回归方程中未知参数的方法，它的原理是使所有标定点的因变量标定值与计算值之差的平方和最小。它在传感器数据融合中的作用是确定回归方程的最优解，使回归方程的拟合效果最好。

6. 什么是温度影响系数？它包括哪两个方面？

答：温度影响系数是评价传感器性能随温度变化的情况的重要指标。它包括两个方面：零位温度系数和灵敏度温度系数。零位温度系数表示零位值随温度漂移的速度，灵敏度温度系数表示灵敏度随温度漂移的速度。

7. 什么是均方误差？它的计算公式是什么？

答：均方误差（Mean Squared Error, MSE）是拟合值与标定值差值平方的平均值。它衡量了拟合值与标定值之间的偏离程度。MSE的值越小，说明预测模型对实验数据的拟合更精确。其计算公式是：

式中：—标定值；

—拟合值；

—样本数量。

8. 什么是决定系数？它有什么意义？

答：决定系数是指回归平方和占总平方和的比例，它反映了回归方程对因变量变异的解释能力。决定系数越接近1，说明回归方程的拟合效果越好，自变量对因变量的影响越大。

# 第8章 神经网络技术及其在智能传感器系统中的应用

1. 神经网络按照神经元之间的连接方式可以分为哪两类？各自的特点是什么？

答：人工神经网络按照神经元之间的连接方式，可以分为分层网络和相互连接型网络两大类。分层网络的神经元按照输入层、隐层和输出层的顺序排列。在这种网络中，每一层的神经元只与下一层的神经元相连，信息只在一个方向上流动。相互连接型网络的神经元之间可以任意相连，信息可以在两个方向上流动。

2. 神经元模型的基本组成部分有哪些？它们之间的关系是什么？

答：神经元模型的基本组成部分包括输入、连接权值、偏置值、总输入、激活函数和输出。

它们之间的关系是：总输入是输入和连接权值的加权和加上偏置值，输出是激活函数作用于总输入的结果。输入是神经元接收的外部信息，连接权值是神经元对输入的重要性的度量，偏置值是神经元的内部参数，总输入是神经元的内部状态，激活函数是神经元的非线性变换，输出是神经元的响应。

3. 神经元的两个基本特性是什么？它们的意义是什么？

答：神经元的两个基本特性是：

（1）输出是所有输入综合作用的结果；

（2）神经元具有可塑性，即其输出可以通过调整连接权值来改变。

它们的意义是：

（1）输出是所有输入综合作用的结果，这表明神经元可以实现对输入信息的综合处理，从而提高网络的表达能力；

（2）神经元具有可塑性，这表明神经元可以通过学习调整连接权值，从而提高网络的适应能力。

4. 激活函数的主要作用是什么？常用的激活函数有哪些？

答：激活函数的主要作用是引入非线性因素，使得神经网络能够学习并逼近复杂的非线性关系。激活函数能够实现对输入数据的非线性变换，从而提高网络的表达能力和泛化能力。

常用的激活函数有线型激活函数（identity）、对数型激活函数（logistic）、双正切型激活函数（tanh）和修正线型激活函数（relu）。

5. BP神经网络的网络结构通常由哪些层组成？每层的节点数分别是多少？

答：BP神经网络的网络结构通常由输入层、隐藏层和输出层组成。

输入层的节点数是输入数据的维数；

隐藏层的节点数一般根据具体的问题和数据进行实验和调整；

输出层的节点数是输出数据的维数。

6. 请简述BP神经网络的学习流程。

答：BP神经网络的学习流程如下：

（1）网络初始化，随机设定连接权值 ，阈值，学习因子，势态因子；

（2）向具有上述初始值的神经网络提供输入学习样本和序号；

（3）计算隐层输出值；

（4）计算输出层的输出；

（5）计算输出层和隐层训练误差；

（6）判断均方误差是否满足给定允许偏差。当满足时，结束训练；否则，进入下一步；

（7）修正权值，并转向（3）进行下一轮训练。

7. BP神经网络的优化器有哪些？它们的主要特点和优缺点分别是什么？

答：BP神经网络的优化器有Lbfgs、Sgd和Adam。

它们的主要特点和优缺点分别是：

Lbfgs是一种迭代优化方法，特别适用于大规模参数优化问题。它采用了一种有限内存方法，能够处理大规模的优化问题，同时保持了BFGS方法的超线性收敛性能。它的优点是收敛速度快，缺点是内存消耗大，可能不稳定。

Sgd是一种随机梯度下降方法，其特点是在每次更新时只使用一个训练样本。它的优点是训练速度快，能够逃离局部最优，缺点是更新过程嘈杂和不稳定，可能收敛到次优解。

Adam是一种自适应学习率的优化方法，它融合了动量和自适应学习率的概念，通常能够提供良好的训练性能。它的优点是能够自动调整学习率，适应不同的参数，缺点是可能导致过拟合，需要更多的超参数调节。

8. 什么是样本集划分？它的目的是什么？

答：样本集划分是指将样本数据集分为训练集和测试集，分别用于模型的训练和测试评估。它的目的是提高模型的泛化能力，避免过拟合或欠拟合。

9. 请简述利用Python实现BP神经网络的流程。

答：利用Python实现BP神经网络的流程如下：

（1）安装需要的第三方库；

（2）引用第三方库；

（3）输入样本数据；

（4）划分训练集和测试集；

（5）归一化数据；

（6）创建并训练BP神经网络模型；

（7）预测并评估模型性能。

# 第9章 支持向量机技术及其在智能传感器系统中的应用

1. 常见的核函数有哪些？它们各自适用于什么样的问题？

答：常见的核函数有线性核函数、多项式核函数、径向基函数和Sigmoid核函数。 线性核函数适用于线性可分的问题，多项式核函数适用于非线性可分但不过于复杂的问题，径向基函数适用于非常复杂的非线性问题，Sigmoid核函数适用于需要将输出限制在某个范围内的问题。

2. 什么是惩罚系数？它有什么影响？

答：惩罚系数是一个正值常数，它用于控制分类或回归超平面对误差样本的惩罚程度。惩罚系数越大，对误差的惩罚更重，使得超平面更倾向于拟合所有样本，但可能导致过拟合；惩罚系数越小，对误差的惩罚更轻，使得超平面更倾向于保持较大的间隔或较小的复杂度，但可能导致欠拟合。

3. 什么是松弛变量？它有什么作用？

答：松弛变量是一个非负的实数，它用于处理某些样本点不满足硬间隔或ε-不敏感区域的约束条件，从而实现软间隔或ε-不敏感损失的最小化。松弛变量的值越大，表示样本点距离超平面越远，分类或回归错误的可能性也越大。

4. 常用的误差函数有哪些？它们的特点是什么？

答：常用的误差函数有平方误差函数、绝对值误差函数和ε-不敏感误差函数。

它们的特点是：

平方误差函数：对小误差不敏感，对大误差反映敏感，易受异常值的影响。

绝对值误差函数：对所有误差都一视同仁，不易受异常值的影响，但不可导，不利于优化。

ε-不敏感误差函数：定义了一个拟合范围，当误差在该范围内时，误差可忽略不计，当误差超过该范围时，误差函数的值为实际误差减去ε的绝对值，可以抗噪声，但需要指定ε的值。

5. 什么是气体的定性识别？

答：气体的定性识别，是指判断气体是否存在。当气体的浓度小于规定的分辨率时，就认为这种气体不存在；而当气体浓度大于规定的分辨率时，就认为这种气体存在。

6. 如何对标签进行转换？

答：对标签进行转换，是为了将多输出的多分类问题转化为单输出的多分类问题，以便使用支持向量机来处理。为了简化问题，可以直接将两位二进制转换为十进制，从而实现从多输出到单输出的转换。

7. 如何确定SVC模型的结构？

答：确定SVC模型的结构，需要使用从样本集中划分出来的训练集和验证集。训练集用于训练SVC的参数，包括核函数的类型和参数、C参数、惩罚函数的类型等。验证集用于测试SVC的性能，包括分类准确率、误差率等。通过不断地调整训练集上的参数，使得验证集上的性能达到最优。只有当SVC的性能满足要求时，才可以确定SVC的模型结构。

8. 什么是准确率、精确率、召回率、F1分数和AUC-ROC？

答：答：准确率是分类正确的样本数占总样本数的比例；

精确率是被模型正确分类为正类的样本数占被模型分类为正类的样本数的比例；

召回率是被模型正确分类为正类的样本数占真正的正类样本数的比例；

F1分数是精确率和召回率的调和平均数，可以同时考虑精确率和召回率；

AUC-ROC是以假正例率为横轴，真正例率为纵轴画出的ROC曲线下的面积，可以反映模型在不同阈值下的分类效果。

9. 什么是传感器非线性校正？为什么需要进行非线性校正？

答：传感器非线性校正是指对传感器的输出输入特性进行修正，使其更接近理想的线性关系。

进行非线性校正的原因是：传感器在实际应用中容易受到许多环境因素的影响，导致输出信号与被测量之间存在非线性误差，这可能降低测控系统的精度和稳定性。

10. 如何评价SVM模型的非线性校正效果？需要使用哪些指标？

答：价SVM模型的非线性校正效果，需要使用最大拟合误差和线性度两个指标。最大拟合误差是指预测的差压值与实际的差压值之间的最大偏差，线性度是指最大拟合误差与量程之比，反映了传感器输出与被测量之间的线性关系。

11. 请简述将SVM模型移植到实际的传感系统中的步骤？

答：（1）在PC计算机上利用Python开发环境或其它大型数值计算软件训练支持向量机；

（2）提取已训练支持向量回归机SVR的权重（ω）和偏置项（b）；

（3）输入待处理的向量x，即传感器实际测量的值；

（4）根据核函数求取核函数矩阵的数值；

（5）根据支持向量机训练得到的权重系数矩阵ω、偏置b和公式，求取处理结果。

利用C语言编写程序实现上述功能，即可将支持向量机模型移植到单片机或DSP中，以在现场实际环境中使用传感器。

# 第10章 智能传感器的设计与应用

1. 简述智能传感器系统分析的目的及要解决的问题。

答：智能传感器系统分析的目的是确定系统的总体方向，选择最优的设计方案，以满足系统的功能需求和技术指标。

要解决的问题：

（1）明确设计目标与系统功能。

（2）提出初步方案，评估其合理性和可行性。

（3）制定实施计划，包括资金、人力、物力和设备的分配和使用情况等。

（4）识别关键技术问题，并深入研究。

2. 请简述智能传感器设计时标准微处理的选择原则。

答：（1）主芯片选择：应优先选择熟悉指令集的系列产品，并在同等条件下选择价格较低的产品。

（2）主机字长选择：应根据应用系统的要求确定合理的字长，字长越长，其运算能力和控制能力就越强，但成本也随之增加。一般来说，8位单片机适用于数据处理或一般的监控系统，16位单片机适用于数据处理并兼顾控制方面的要求。

（3）寻址范围选择：单片机的地址长度决定了系统中可存放的程序和数据量的范围，设计时，应根据应用系统的要求确定合理的存储容量。

（4）指令功能：单片机的指令功能应该面向所要处理的问题，若侧重于控制，要特别注意访向外部设备（或接口）指令的功能；如果侧重于数据处理，则应该注意数据操作指令的功能，如算术和逻辑运算、十进制调整、位操作指令、控制转移等指令的功能是否齐全。

（5）处理速度：通常情况下，时钟周期越短，执行速度越快。然而，不能仅依靠时钟频率来衡量微处理器的执行速度，还要考虑执行该指令所需的周期数。对于需要较短采样周期和大量实时计算的数据处理任务，应选择高速单片机。

（6）中断能力：在实际应用中，有时，为处理紧急任务，单片机需要暂停主程序，转而执行特定的服务子程序。对于需要快速处理多任务并实时响应的场景，应选择中断功能强大且具有优化判断电路的单片机。

（7）功耗：功耗受到器件工艺、器件复杂性和时钟速率的影响。在选择单片机时，应根据系统允许的工作范围和工作环境等条件来选择适用功耗的单片机。

3. 请简述智能传感器设计时嵌入式微处理器的选用原则。

答：（1）CPU总线位数：应根据系统处理的主要数据类型来确定，如果主要数据的位数大于8位，应选择16位或32位的CPU。

（2）价格与供货的稳定性和可靠性：在工业应用中，价格是影响CPU选型的一个重要因素，但对于武器系统等，供货的稳定性和可靠性更为重要，因为需要保证系统的长期可用性和维护性。

（3）开发工具的支持：开发工具在嵌入式系统的开发中具有重要地位，不仅影响开发的进度，而且直接关系到设备的性能甚至项目的成败，因此应选择有良好的开发工具支持的CPU。

（4）操作系统的支持：对于复杂的应用，通常需要操作系统的支持，因此应选择有相应的操作系统支持的CPU。

（5）代码继承性：代码的继承性通常是决定CPU选择的关键因素，尤其是在军用设备中，为了确保系统的可靠性和研制周期，通常会直接使用原来的CPU类型。

（6）供应商的因素：当功能扩展到原来选择的CPU无法满足系统需求时，供应商应提供相应的升级或替换CPU，并提供技术支持。

4. 简述智能传感器软件设计的方法和主要内容。

答：方法：自顶向下、模块化、结构化。这三种方法可以分解任务、降低复杂性、提高效率和质量。

内容：量程自动转换、标度变换、数字调零、非线性补偿、温度补偿和数字滤波等。

5. 简述分布式温度传感器系统的设计过程。

答：（1）系统分析。确定系统的性能指标，如温度分辨率、空间分辨率、时间分辨率、温度传感距离和温度传感范围等，以及系统的应用场景和需求。

（2）硬件结构设计。根据系统分析的结果，确定系统的总体结构和各个子系统的功能，如光源系统、光传输与分光系统、光接收系统等，以及各个子系统的组成部分和连接方式。

（3）硬件电路设计。根据硬件结构设计的结果，设计各个子系统的电路原理图和电路板，如脉冲驱动电路、温度控制电路、高压电路、光电转换与信号放大电路、高速数据采集电路等，以及各个电路的参数和元件选择。

（4）软件设计。根据硬件电路设计的结果，设计系统的软件程序，如主处理器的控制程序、单片机的通信程序、数据处理程序等，以及各个程序的功能和流程。

（5）系统测试和调试。根据软件设计的结果，将软件程序烧录到硬件电路中，进行系统的测试和调试，检查系统的功能和性能是否符合设计要求，如温度测量的准确性和稳定性、数据采集的速度和质量等，以及系统的可靠性和安全性。