

1: **传感器**:是能感受规定的被检测量并按照一定规律转换成可输出信号的器件或装置。

一、传感器的组成

2: 传感器一般由**敏感元件**、**转换元件**及**基本转换电路**三部分组成。①**敏感元件**:是直接感受被测物理量,并以确定关系输出另一物理量的元件(如弹性敏感元件将力,力矩转换为位移或应变输出)。②**转换元件**:是将敏感元件输出的非电量转换成电路参数(电阻,电感,电容)及电流或电压等电信号。③**基本转换电路**:是将该电信号转换成便于传输,处理的电量。大多数传感器为开环系统,也有带反馈的闭环系统。

二、传感器的分类

1、按被测量对象分类:

(1) **内部信息传感器**:主要检测系统内部的位置,速度,力,力矩,温度以及异常变化。(2) **外部信息传感器**:主要检测系统的外部环境状态,它有相对应的接触式(触觉传感器、滑动觉传感器、压觉传感器)和非接触式(视觉传感器、超声测距、激光测距)。

2、传感器按工作机理:

(1) **物性型传感器**是利用某种性质随被测参数的变化而变化的原理制成的主要有:光电式传感器、压电式传感器。(2) **结构型传感器**是利用物理学中场的定律和运动定律等构成的(主要有①电感式传感器;②电容式传感器;③光栅式传感器)。

3、按被测物理量分类:

如**位移传感器**用于测量位移,**温度传感器**用于测量温度。

4、按**工作原理**分类主要是有利于传感器的设计和应用:**电阻式、电感式、电容式、光电式、磁电式、压电式、热电式、陀螺式、机械式、流体式**。

5、按传感器能量源分类:

(1) **无源型**:不需外加电源,而是将被测量的相关能量转换成电量输出(主要有:压电式、磁电感应式、热电式、光电式)又称**能量转化型**。(2) **有源型**:需要外加电源才能输出电量,又称**能量控制型**(主要有:电阻式、电容式、电感式、霍尔式)。**电阻式包括光敏电阻、热敏电阻、湿敏电阻等形式**。

6、按输出信号的性质分类:

(1) **开关型(二值型)**:是“1”和“0”或开(ON)和关(OFF);(2) **模拟型**:输出是与输入物理量变换相对应的连续变化的电量,其输入/输出可线性,也可非线性;(3) **数字型**:①**计数型**:又称**脉冲数字型**,它可以是任何一种脉冲发生器所发出的脉冲数与输入量成正比,加上计数器可对输入量进行计数;②**代码型**(又称**编码型**):输出的信号是数字代码,各码道的状态随输入量变化。其代码“1”为高电平,“0”为低电平。

7、①**开关型(二值型)**:包括:接触型(微动开关、行程开关、接触开关)、非接触型(光电开关、接近开关);②**模拟型**:包括:电阻型(电位器、电阻应变片)电压/电流型(热电偶、光电电池)、电容/电感型(电容、电感式位置传感器);③**数字型**:包括:计数型(脉冲或方波信号+计数器)、代码型(回转编码器、磁尺)。

三、传感器的特性及主要性能指标

1、传感器的**特性**主要是指**输出与输入**之间的关系,有**静态特性**和**动态特性**。
2、传感器的**静态特性**是当传感器的输入量为常量或随时间作缓慢变化时,传感器的输出与输入之间的关系,叫静态特性,简称静特性。
表征传感器静态特性的**指标**有**线性度**,**灵敏度**,**重复性**等。
3、传感器的**动态特性**:传感器的输出量对于随时间变化的输入量的响应特性称之。**取决于传感器的本身及输入信号的形式**。传感器按其**传递、转换信息的形式**可分为①**接触式环节**;②**模拟环节**;③**数字环节**。**评定其动态特性**:正弦周期信号、阶跃信号。
4、**传感器的主要性能要求**是:1)高精度、低成本。2)高灵敏度。3)工作可靠。4)稳定性好,应长期工作稳定,抗腐蚀性好;5)抗干扰能力强;6)动态性能良好。7)结构简单、小巧,使用维护方便,通用性强,功耗低等。

四、传感检测技术的地位和作用

1、**地位**:传感检测技术是一种随着现代科学技术的发展而迅猛发展的技术,是机电一体化系统不可缺少的关键技术之一。
2、**作用**:能够进行信息获取、信息转换、信息传递及信息处理等功能。**应用**:仪器设备、家用电器、计算机集成制造系统(CIMS)、柔性制造系统(FMS)、加工中心(MC)、CNC机床、计算机辅助制造系统(CAM)。

五、基本特性的评价指标与选用原则

1、**测量范围**:是指传感器在允许误差限内,其被测量值的范围;
量程:则是指传感器在测量范围内上限值和下限值之差。
2、**过载能力**:一般情况下,在不引起传感器的规定性能指标永久改变条件下,传感器允许超过其测量范围的能力。过载能力通常用允许超过测量上限或下限的被测量值与量程的百分比表示。
3、**灵敏度**:是指传感器输出量Y与引起此变化的输入量的变化X之比。

4、**灵敏度表示传感器或传感检测系统对被测物理量变化的反应能力**。灵敏度越高越好,因为灵敏度越高,传感器所能感知的变化量越小,即被测量稍有微小变化,传感器就有较大输出。K值越大,对外界反应越强。**过高的灵敏度会影响其适用的测量范围**。

5、反映非线性误差的程度是**线性度**。线性度是以一定的拟合直线作基准与校准曲线作比较,用其不一致的最大偏差 ΔL_{max} 与理论量程输出值 $Y(=y_{max}-y_{min})$ 的百分比进行计算。

6、**稳定性**在相同条件,相当长时间内,其输入/输出特性不发生变化的能力,**影响传感器稳定性的因素是时间和环境**。

7、电阻应变式传感器,湿度会影响其绝缘性;温度影响其零漂,**零漂**是指还没输入时,输出值随时间变化而变化。长期使用会产生蠕变现象。

8、**重复性**:是衡量在同一工作条件下,对同一被测量进行多次连续测量所得结果之间的不一致程度的指标;(分散范围小,重复性越好)

9、**精确度**:简称精度,它表示传感器的输出结果与被测量的实际值之间的符合程度,是测量值的精密程度与准确程度的综合反映。

10、**分辨力**是指传感器能检出被测量的最小变化量。

11、**动态特性**:反映了传感器对于随时间变化的动态量的响应特性。传感器的响应特性必须在所测频率范围内努力保持不失真测量条件。一般地,利用光电效应、压电效应等物性型传感器,响应时间快,工作频率范围宽。在动态测量中,**响应特性对测试结果有直接影响**。采用**正弦输入信号分析传感器检测系统的频率响应**,包括**幅频特性和相频特性**

12、**环境参数**:指传感器允许使用的工作温度范围以及环境压力、环境振动和冲击等引起的环境压力误差,环境振动误差和冲击误差。

六、传感器的标定与校准

1、**标定**(计量学称之为定度)是指在明确传感器输入/输出变换关系的前提下,利用某种标准器具产生已知的标准非电量(或其它标准量)输入,确定其输出电量与其输入量之间的过程。

2、**校准**是指传感器在使用前或使用过程中或搁置一段时间再使用时,必须对其性能参数进行复测或作必要的调整与修正,以确保传感器的测量精度。

3、**标定系统的组成**:①**被测非电量的标准发生器**或被测非电量的标准测试系统;②待标定传感器;③它所配接的信号调节显示、记录器等。

4、**静态标定**是给传感器输入已知不变的标准非电量,测出其输出,给出标定方程和标定常数,计算其灵敏度,线性度,滞差,重复性等传感器的静态指标。**对传感器进行静态标定时,首先要建立静态标定系统**。

5、传感器的**静态标定设备**有:力标定设备,压力标定设备,温度标定设备等。

6、**对标定设备要求**:①具有足够的精度,至少应比被标定的传感器高一个精度等级,并且应符合国家计量值传递的规定;②量程范围应与被标定传感器的量程相适应;③性能稳定可靠,使用方便,能适应多种环境。

7、传感器的**动态标定的目的**是检验测试传感器的动态性能指标。

8、**动态标定**指标是通过确定其线性工作范围,频率响应函数,幅频特性和相频特性曲线,阶跃响应曲线,来确定传感器的频率响应范围,幅值误差和相位误差,时间常数,阻尼比,固有频率等。

9、**常用的标准动态激励设备**有:激振器、激波管、周期与非周期函数压力发生器;(其中激振器可用于位移、速度、加速度、力、压力传感器的动态标定)。

上述振幅测量法称**绝对标定法**,**精度较高,但所需设备复杂,标定不方便,故常用于高精度传感器与标准传感器的标定。工程上采用比较法进行标定,俗称背靠背法**。

10、**传感器与检测技术的发展方向**:①开发新型传感器。②传感检测技术的智能化。③复合传感器④研究生物感官,开发仿生传感器。

11、**开发新型传感器**:①利用新材料制作传感器;②利用新加工技术制作传感器;③采用新原理制作传感器。

12、**传感检测技术的智能化**:传感检测系统目前迅速地由**模拟式、数字式**向**智能化**方向发展。

功能:①自动调零和自动校准;②自动量程转换;③自动选择功能;④自动数据处理和误差修正;⑤自动定时测量;⑥自动故障诊断。

13、**复合传感器**:是同时检测几种物理量具有复合检测功能的传感器。

14、目前研究的**生物传感器**中有**酶传感器、微生物传感器**等。**生物传感器与微电子技术相结合,将开创人造器官的新时代**。

第二章 位移检测传感器

1、位移可分为**线位移**和**角位移**两种。**测量位移常用的方法有:机械法,光测法,电测法**。

电测法:是利用各种传感器将位移量转换成电量或电参数。再经后接测量仪器进一步变换完成对位移检测的一种方法。

位移测试系统由传感器、变换器、显示装置或记录仪器**三部分组成**。

测量位移常用的传感器有:电阻式、电容式、涡流式、压电式、光电式、感应同步器式、磁栅式等。

2、**位移传感器的分类**:**参量型位移传感器,发电型位移传感器,电位器传感器**。

一、参量型位移传感器

1、**参量型位移传感器的工作原理**:将被测物理量转化为电参数,即**电阻,电容或电感**等。

2、电阻式位移传感器的电阻值取决于材料的几何尺寸和物理特征，即 $R = \rho L/S$ 。

(1) **电位计**：是一种常用的机电元件。由**骨架、电阻元件（线绕电阻、薄膜电阻、导电塑料）、电刷等组成**。

函数电位计（非线性电位计）：电位计还可以将位移或转角变换成与之有某种函数关系的电阻或电压输出，称之为。

(2) **电位计优点**：结构简单，输出信号大，性能稳定，并容易实现任意函数关系，**缺点**：是要求输入量大，电刷与电阻元件之间有干摩擦，容易磨损，产生噪声干扰。

3、(1)**线性电位计的空载特性**： $R_x = R X/L = K_R X$ (K_R ：电位计的电阻灵敏度 Ω/m 、电位计的电阻元件长度 L 、总电阻 R 、电刷位移 X 、相应的电阻 R_x 、电源电压 U_i 、输出电压 U_o)。电位计输出空载电压为 $U_o = U_i X/L = K_u X$ (K_u ：电位计的电压灵敏度)。

对于绕线电位计，其电阻和电压输出空载特性并不是一条理想直线，而是呈阶梯状，称为**阶梯特性**。通过阶梯中点的直线是**理论特性线**，阶梯特性在其上下波动，这种输出误差称为**阶梯误差**，是一种**原理误差**，限制了线绕电位计的**精度和分辨率**。

(2)**非线性电位计空载特性**：其电阻灵敏度 $K_R = dR/dx$ 电压灵敏度 $K_u = dU_o/dx$ 。**非线性电位计结构形式**有：变骨架式、变节距式、分路电阻式、电位给定式等。

4、**电阻应变式位移传感器**：是将被测位移引起的应变元件产生的应变，经后续电路转换成电信号，从而测出被测位移。

5、**电容式位移传感器**：是利用电容量的变化来测量线位移或角位移的装置。**两平行板之间的电容量为 $C = \epsilon S/d$ ($\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} F/m$ 、 S ：极板间的覆盖面积 m^2 、 d ：极板间的距离 m)**。

电容式位移传感器：具有灵活多样的使用方式，既可以在封闭形式下工作，也可以在开放形式下使用，即利用被测对象作为一个极板（被测对象导体），或利用被测对象作为极板间的介质（被测对象绝缘体）。特点是：由于带电极板间的静电力小，活动部分的可动质量小，所以对输入能量的要求低，且具有较好的动态响应特性；由于介质损耗小，传感器本身发热影响小，而使其能在高频范围内工作。

电容式位移传感器的构件和连接电缆会引起泄露电容，造成测量误差。

(1)**变极距型的电容位移传感器**，特点：有较高的灵敏度，但电容变化与极距变化之间为非线性关系，其它两种类型的位移传感器具有比较好的线性，但灵敏度比较低。

电容式位移传感器的灵敏度为 $K = \Delta C / \Delta \delta = \epsilon S / \delta^2$ 。把电容位移传感器作成**差动形式**，当中间活动极板移动时，一边电容增加，另一边电容减小，总的电容变化为两者之和。不仅提高了灵敏度，同时在零点附近工作的线性度也得到改善。

(2)**变极板面积型电容位移传感器**：用于线位移测量，也可用于角位移测量。采用平板型极板、圆筒型极板、锯齿型极板。输入、输出具有线性特性。

圆筒型电容位移传感器。当位移 $x=0$ 时，电容量 $C_0 = 2\pi \epsilon l / \ln(R_2/R_1)$ 。极板移动 x 后，电容 $C = 2\pi \epsilon (l-x) / \ln(R_2/R_1) = C_0 - C_0 x/l$ 可得 $\Delta C / C_0 = x/l$ 。当 $\theta=0$ 时电容为原始电容 C_0 。得电容的相对变化与输入角度的关系 $\Delta C / C_0 = \theta / \pi$ 。

(3)**变介质型电容式位移传感器**：用于位移或尺寸测量的改变介质型电容位移传感器，一般都具有较好的线性特性，但也有输入输出呈非线性关系。

电容式液位计（测量液面高度）：当液面高度为零（无液体）时电容为： $C_0 = 2\pi \epsilon_1 h / \ln(r_2/r_1)$ ； $r_2 = D/2$ 外极筒内半径， $r_1 = d/2$ 内极筒外半径。液面高度 h_x 的电容 $C = 2\pi \epsilon_1 h + 2\pi (\epsilon_2 - \epsilon_1) h_x / \ln(r_2/r_1)$ ；由上两式得 $\Delta C / C_0 = (\epsilon_2 - \epsilon_1) h_x / \epsilon_1 h$ 。

电容 C 和介质厚度 δ 以及介质的介电常数 ϵ 之间的关系都是**非线性的**；即 $C = \epsilon S / d + \delta (\delta / \epsilon_1)$ ； ϵ_0 真空介电常数 (F/m)， $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ 介质的相对介电常数， ϵ 介质的介电常数。

(4)**容栅式电容位移传感器**是在面积型电容位移传感器的基础上发展来的，**可分为长容栅和圆容栅**。特点：因多极电容及平均效应，分辨力高，精度高，量程大对刻划精度和安装精度要求可有所降低，一种很有发展前途的传感器。

长容栅最大电容量 $C_{max} = n \pi \epsilon a b / \delta$ ；间隙 δ ，可动容栅的栅极数 n ； a 、 b 为栅极的宽度、长度。片状圆容栅最大电容量 $C_{max} = n \pi \epsilon a (R_2 - r_2) / 2\delta$ ； R_2 、 r_2 栅极外半径和内半径 (m)， α 每条栅极所对应圆心角 (rad)。

6、电容式位移传感器的绝缘和屏蔽

(1) 若绝缘材料性能不佳，绝缘电阻随环境温度和湿度而变化，还会使电容位移传感器的输出产生缓慢的**零位漂移**；

漏电阻：通常的绝缘电阻只能视为电容位移传感器的旁路电阻，称之为。

寄生电容：电容传感器的极板和周围物体、各种仪器乃至人体都会发生电容联系，产生附加电容，称之为。

(2) 绝缘材料应**具有**高的绝缘电阻、低的膨胀系数、几何尺寸的长期稳定性和低的吸潮性；

(3) 通常对电容位移传感器及其引线采取屏蔽措施，即将传感器放在金属壳内，接地应可靠；

(4) 可以消除不稳定的寄生电容，还可以消除外界静电场和交变磁场的干扰。

7、**电感式位移传感器**：将被测物理量位移转化为自感 L 、互感 M 的变化，并通过测量电感量的变化确定位移量。主要类型有**自感式、互感式、涡流式和压磁式**。输出功率大，灵敏度高，稳定性好等优点。

(1) **自感式电感位移传感器原理**：缠绕在铁心的线圈中通以交变电流 i ，产生磁通 Φ ，形成磁通回路。

磁通与电流的关系： $N\Phi = Li$ N ：线圈匝数， L ：自感 (H)。磁路欧姆定律 $\Phi = NI/R_m$ ， R_m ：磁阻 (H^{-1}) 包括：铁心、衔铁、气隙中的磁阻 $R_m = l/\mu S + 2\delta/\mu_0 S_0$ ， l ：铁心与衔铁的导磁长度 (m)； μ ：铁心与衔铁的导磁率 (H/m)； S ：铁心与衔铁中的导磁面积 (m^2)； δ ：气隙厚度 (m)； μ_0 ：真空磁导率 (H/m)； S_0 ：气隙导磁横截面积 (m^2)。

由上可得： $L = N^2/R_m = N^2/(l/(\mu S) + (2\delta/\mu_0 S_0))$ 。写成通式： $L = N^2/(\sum l_i/\mu_i S_i + 2\delta/\mu_0 S_0)$ 。

自感式位移传感器原理结构有：**a.气隙型，b.截面型，c.螺管型**。

为了提高自感位移传感器的精度和灵敏度，增大特性的线性度，实际用的传感器大部分都作为**差动式**。

改善其性能考虑的因素有：1) 损耗问题，2) 气隙边缘效应的影响，3) 温度误差，4) 差动式电感位移传感器的零点剩余电压问题。

(2) **互感式位移传感器（差动变压器式位移传感器）（测量范围最大）**：将被测位移量的变化转换成互感系数的变化，基本结构原理与常用变压器类似，故称为**变压器式位移传感器**。**常用的是螺管型**。

当一次侧通过交变电流 i_1 时，在二次侧上将感生感应电动势，这一电动势的表达式为： $E = -M \cdot di_1/dt$ 。 M ：互感系数 (H)，与**两线圈之间相对位置及周围介质导磁能力**等因素有关。

产生零点残压的原因：由于两二次侧线圈结构不对称、一次侧线圈铜损电阻的存在、铁磁材质不均匀、线圈间的分布电容等因素。**零点残压造成测量误差**。

(3) **涡流式位移传感器**：利用涡流效应将被测量转换为传感器线圈阻抗 Z 变化的一种装置。主要分为**高频反射**和**低频透射**两类。块状金属置于变化的磁场中或在磁场中运动时，金属体内都要产生感应电流，此电流的流线在金属体内自己闭合，所以称**涡流**。

涡流的大小与金属体的电阻率 ρ 、磁导率 μ 、厚度 t 以及线圈与金属体的距离 x 、线圈的激励电流强度 i 、角频率 ω 等有关。

涡流式传感器的特点：结构简单，易于进行非接触测量，灵敏度高，应用广泛，可测位移、厚度、振动等。

二、发电型位移传感器

1、**发电型位移传感器（压电位移传感器）**是将被测物理量转换为电源性参量。如：电动势、电荷等。包括：**磁电型、压电型**。

2、**压电式位移传感器的基本工作原理**是：将位移量转换为力的变化，然后利用压电效应将力的变化转换为点信号。

三、大位移传感器

1、**磁栅式位移传感器**是根据用途可分为**长磁栅**和**圆磁栅**位移传感器，分别用于测量**线位移**和**角位移**。磁头分动态（速度磁头）和静态（磁通响应式磁头）。磁栅式位移传感器精度可达 $\pm 0.01 mm/m$ ，分辨率达 $1 \sim 5 \mu m$ 。

2、当磁头不动时，输出绕组输出一等幅的正弦或余弦电压信号，其频率仍为励磁电压的频率，其幅值与磁头所处的位置有关。当磁头运动时，幅值随磁尺上的剩磁影响而变化。

4、**光栅式位移传感器**有测量线位移的**长光栅**和测量角位移的**圆光栅**。其性质：光栅移动方向与莫尔条纹移动方向垂直。

5、两块光栅作为一个标尺光栅（不动的）和一个指示光栅（动的）标尺光栅是一个长条形光栅，光栅长度由所需量程决定。**光栅条纹密度**有 25 条/mm，50 条/mm，100 条/mm 或更密，**栅线长度** $6 \sim 12 mm$ 。**光栅式位移传感器的**测长精度可达 $0.5 \sim 3 \mu m$ ，分辨率达 $0.1 \mu m$ 。

6、**莫尔条纹的性质**：①当两个光栅沿刻线垂直方向相对移动时，莫尔条纹相对栅外不动点沿着近似垂直的运动方向移动，光栅移动一个栅距 W ，莫尔条纹移动一个条纹间距 B ；②光栅运动方向改变，莫尔条纹的运动方向也作相应改变；③光栅条纹的光强度随条纹移动按正弦规律变化。

常用的光学系统：①透射式光路（栅）；②反射式光路（栅）。

7、**感应同步器**是利用电磁，原理将线位移和角位移转换成点信号的一种装置。根据用途，可将感应同步器分为**直线式**和**旋转式**两种，分别用于**测量：线位移和角位移**。

原理：当滑块的两相绕组用交流电励磁时，由于电磁感应，在定尺的绕组中会产生与励磁电压同频率的交变感应电动势 E 。当滑尺相对定尺移动时，滑尺与定尺的相对位置发生变化，改变了通过定尺绕组的磁通，从而改变了定尺绕组中输入的感应电动势 E 。

根据对滑尺的正、余弦绕组供给励磁电压方式的不同，又分为**鉴相**和**鉴幅型**测试系统。

感应同步器测位移的特点：①精度较高，对环境要求低，可测大位移；②工作可靠，抗干扰能力强，维护简单，寿命长；③对局部误差有平均化作用。）

8、**激光式位移传感器结构**由：激光器、光学元件、光电转换元件组成激光测试系统，将被测位移量转化成电信号。（特点：精度高，测量范围大、测试时间短、非接触、易数字化、效率高。）

9、**激光干涉测长技术用途**：①精密长度测量（磁尺、感应同步器、光栅检定）②精密机床位移检测与校正；③集成电路制作中的精密定位。

10、**常用的激光干涉测长传感器**：①单频激光干涉传感器；②双频激光干涉传感器。

第三章 力、扭矩和压力传感器

一、测力传感器

1：测量力的传感器多为**电气式**。根据转换方式分为**参量型**和**发电型**。

参量型测力传感器有电阻应变式、电容式、电感式等；**发电型测力传感器**有压电式、压磁式。

2、**电阻式应变测力传感器原理**是将力作用在弹性元件上，弹性元件在力作用下产生应变，利用贴在弹性元件上应变片将应变转换成电阻的变化，然后利用电桥将电阻变化转换成电压或电流的变化，在送入测量放大电路测量。最后利用标称的电压（电流）和力之间的对应关系，测出力的大小或经换算得到被测力。

弹性元件：（1）柱型弹性元件（有：圆柱形、圆筒形、方柱形），**受力后的应变值 $\epsilon = F/SE$** （E 材料的弹性模量 Pa，S 弹性元件的横截面积 m^2 ）；（2）薄壁环型弹性元件（用于测：拉力、压力），**承受的弯矩 $M = FR_0(0.318 - 0.5 \cos \varphi)$** （ R_0 环的平均半径 m， φ 断面的坐标角，M 坐标角 φ 断面处的弯矩 $N \cdot m$ ），最大弯矩 $M_A = 0.318FR_0$ ， $M_B = 0.182FR_0$ ，**应变值 $\epsilon_A = 1.908FR_0/bh^3E$ ， $\epsilon_B = 1.908FR_0/bh^3E$** （b 薄壁环的宽度 m，h 薄壁环的厚度 m，E 材料的弹性模量 Pa）；（3）梁型弹性元件（有：悬臂梁式、两端固定梁式）**应变值分别是： $\epsilon = 6F/Ebh^2$ ， $\epsilon = 3F/4Ebh^2$** （l、b、h 长度、宽度、厚度 m）。

3、**应变片**是非电量电测中一种常见的转换元件，由于应变片使用简单，测量精度高，体积小，动态响应好，被广泛应用。

4、**金属丝的作用：**是感受机械试件的应变变化，称为**敏感栅**。

5、**对金属丝的要求：**（1）具有较高的电阻系数（单位长度的电阻要大）（2）具有尽可能大的电阻应变灵敏度系数；（3）具有较小的温度系数；（4）具有较高的弹性极限，以便得到较宽的应变测量范围；（5）良好的加工性和焊接性；（6）对铜的热电动势要小。

6、**底基的作用：**是将试件的应变准确地传给敏感栅，所以底基应具有较低的弹性模量，较高的绝缘电阻，良好的抗湿抗热性能。**厚度 $20 \sim 50 \mu m$** 之间，（**常用底基：**纸基、胶基、玻璃纤维布基）。

纸基制作简单，价格便宜，比较柔软，易于粘贴，应变极限大，但耐潮湿性和耐热性差。

胶基比纸基更柔软，且具有较好的绝缘性，较高的弹性，耐热和耐潮湿性都较好，使用温度达 **$100^\circ C \sim 300^\circ C$** 。用酚醛树脂、环氧树脂、聚酯等固化后制成。

玻璃纤维布基：制作的底基能耐 **$400^\circ C \sim 500^\circ C$** 的高温，用于中温和高温情况下。

7、**箔式电阻应变片：**敏感栅是用（3~5） μm 厚的金属箔粘于胶基上，用光刻技术加工成需要的形状。**敏感栅制成圆角形栅，也可成直角形栅。**

优点：（1）金属箔很薄，因而所感受的应力状态与试件表面的应力状态更接近；（2）箔式敏感栅面积大，散热条件好，允许通过较大的电流，灵敏度较高，输出信号功率比较大，为丝式电阻应变片的 100~400 倍；（3）箔式敏感栅的尺寸可以做的很准确，基长可以很短，并能制成任意形状，从而可扩大使用范围；（4）便于成批生产。

缺点：生产工序复杂，引线的焊点采用锡焊，不适用于在高温环境中测量，另外价格比较高。

8、**半导体应变片的工作原理是基于压阻效应。**

（1）**压阻效应**是指固体受到应力作用时，其电阻率发生变化。这种现象称**压阻效应**。半导体应变片的应变灵敏系数 $K = (dR/R)/\epsilon = \pi_L E$ ，比**电阻**应变片的应变灵敏系数 50~70 倍。使用于需要大信号输出场合。

（2）**优点：**半导体应变片横向效应小，其横向灵敏度几乎为零；机械滞后小，可制成小型和超小型片子。

（3）**缺点：**应变灵敏系数的离散性大，机械强度低，非线性误差大，温度系数大。

9、**应变片的布置和接桥方式：**应根据测量目的、对载荷分布的估计以及在复合载荷下测量应变时应能消除相互影响等情况而定。

电桥：有单臂、双臂、四臂工作方式（平衡条件 $U_0 = 0 \quad R_1 R_3 = R_2 R_4$ ）

工作方式	单臂	双臂	四臂
应变片所在位置	R1	R1, R2	R1, R2, R3, R4
输出电压 U_0	$1/4 U_i K \epsilon$	$1/2 U_i K \epsilon$	$U_i K \epsilon$

10、**压电式传感器**是基于压电元件的压电效应而工作的。压电效应有**正压电效应**和**逆压电效应**。

（1）**正压电效应**是当某些晶体沿一定方向受外力作用而变形时，在其相应的两个相对表面产生极性相反的电荷，当外力去掉后，又恢复到不带电状态，这种物理现象称之为。电荷的极性取决于变形的形式。

（2）**逆压电效应**是当某些晶体的极化方向施加外电场，晶体本身将产生机械变形，当外电场撤去后，变形也随之消失，这种物理现象称之为。

压电晶体常用的材料：石英、钛酸钡压电陶瓷、锆钛酸铝系压电陶瓷（PZT）以及新型高分子材料（**聚偏二氟乙烯 PVDF**）等。

压电元件在传感器中的布置形式：单片式、两片串联式、两片并联式、剪贴式、扭转式。压电式传感器的**等效电路**为：带电荷 Q 的电容器（电荷源），电容量 **$C_p = S/\delta$** ；压电元件两端电压 **$U_p = Q/C_p$** 。

压电式传感器的前置放大器的**输入阻抗应尽可能的高**。**前置放大器有：**电压放大器、电荷放大器两种形式。

11、**压电式力传感器：**是利用压电晶体的**纵向**和**剪切**向压电效应。（分：单分量和多分量）。

压电式力传感器的选用原则：①量程和频带的选择，②电荷放大器的选择，③电缆选择。

12、**电荷放大器的选择：**要求电荷放大器输入阻抗高于 $10^{12} \Omega$ ，低频响应为 0.001Hz

13、**压磁效应**是在机械力作用下，铁磁材料内部产生应力变化，使磁导率发生变化，磁阻相应也发生的现象。外力是拉力时，在作用力方向铁磁材料磁导率提高，垂直作用力方向磁导率降低；作用力为压力时，则反之。

常用铁磁材料：硅钢片、坡莫合金。制成的弹性体称铁磁体或压磁元件。

14、**压磁式力传感器工作原理是根据压磁效应原理**，当在一次侧绕组通过交变励磁电流时，铁心中产生磁场，由于压磁元件在未受力时各向同性，磁力线呈轴对称分布。

15、**压磁式力传感器结构：**主要是由压磁元件，弹性机架，基座和传力钢球等组成。

二、扭矩传感器

转矩：使物体转动的力偶或力矩。**扭矩（扭转力矩）：**使物体产生某种程度的扭转变形。

1、**电阻应变式扭矩传感器的工作原理：**当轴类零件受扭矩作用时，在其表面产生切应变，此应变可用电阻应变片测量。（集流环按工作原理分类：**电刷-滑环式、水银式、感应式**。）

端面电刷-滑环集流装置结构由套筒、绝缘环、滑环构成集流环。

①**电刷-滑环集流装置特点：**结构简单，坚固耐用，维修方便；但它的接触电阻易受振动影响而波动，影响到测量精度。②**水银集流装置特点：**水银在高温下工作时易蒸发逸出，对人体有毒害，因而使用受到限制。③**感应式集流装置：**是利用电磁感应原理将旋转部分的电信号耦合到固定部分上，去掉了各种接触点，因而称无接触集流装置，也称变压器式集流装置。**特点：**无接触电阻的影响，体积小惯性也小，但易受外电磁场的干扰。

2、**压磁式扭矩仪**又叫**磁弹式扭矩仪****工作原理**是根据磁弹效应，受扭矩作用的轴的导磁性发生相应变化，即磁导率发生变化，从而引起线圈的感抗变化，通过测量电路测量感抗的变化可确定扭矩。

3、**电容式扭矩测量仪工作原理**是利用机械结构，将轴受扭矩作用后的两端相对转角变化转换成电容器两极板之间的相对有效面积的变化，引起电容量的变化来测量扭矩。其**最要优点：**是灵敏度高，测量时它需要集流装置传输信号。

4、**光电式扭矩测量仪：**这种扭矩传感器的工作转速为（100~800）r/min，测量精度为 1%。

原理：当轴传递扭矩时，由于轴的变形，使圆盘重合的透光面积减少，光电元件输出脉冲电流的宽度也相应减少，微安表的指示正好与扭矩值成反比关系。**结构：**轴、套管、光电元件、带孔圆盘、光源。

5、**钢弦式扭矩传感器**是将扭矩转换成钢弦固有频率变化进行工作。（**特点：**抗干扰能力强，允许导线长达几百米到几千米，测量精度可达 $\pm 1\%$ 。但结构复杂。）

三、压力式传感器

绝对压力 $p_{绝}$ 把作用于单位面积上的全部压力称之为。

1、**弹性式压力传感元件有：****波登管、膜片和波纹管**三类。

2、**电量式压力计**是用各种传感器或测量元件将压力转换成电量或电参数，再经后接相应的测量电路进一步变换，最后由显示或记录仪显示或记录下来，以实现压力测量的装置。常用的**测压力系统所用的传感器有电容式、电感式、电阻式、涡流式、压电式**。

（1）**电容式压力传感器**是将压力转换成电容的变化，经电路转换成电量输出。其**特点是**灵敏度高，适合测量微压，频响好，抗干扰能力较强。

（2）**应变式压力传感器的工作原理**是利用应变片将弹性元件在压力作用下产生的应变转换成电量的变化。应变式压力传感器**特点**体积小，重量轻，精度高，测量范围宽，从几帕到 **500MPa**，频响高，同时耐压，抗振，应用广泛。

（3）**压阻式压力传感器**是利用压阻效应将压力转换成电阻的变化实现压力测量。其**特点是**频响宽，动态响应快，测量范围从几 Pa 到 **$3 \times 10^6 Pa$** ，适用于爆炸，冲击压力的测量。

（4）**电感式压力传感器**是将压力变化转换成电感变化，通过测量电路再将电感变化转换成电量实现压力测量。**类型较多**。其**特点是**频响低，使用于静态或变化缓慢压力的测试。

（5）**涡流式压力传感器**属于电感式压力传感器中的一种，它是利用涡流效应将压力转换成线圈阻抗的变化，再经测量电路转换成电量。**特点**它有良好的**动态特性**，适合在爆炸等极其恶劣的条件下工作，如测量冲击波。

（6）**霍尔式压力传感器**结构原理是波登管在压力作用下其末端产生位移，带动了霍尔元件在均匀梯度的磁场中运动。当霍尔元件通过恒定电流时，产生与被测压力成正比的霍尔电动势，完成压力至电量的变换。**特点**由于波登管的频响较低，适用于静态或变化缓慢压力的测量。

（7）**压电式压力传感器**工作原理是压力通过膜片或活塞，压块作用在晶片上，晶片上产生了电荷，经后接放大器的变换，由显示或记录仪显示或记录，实现对压力的测量。其**特点是：**是具有频响宽，可测压力范围大，体积小，重量轻，安装方便，可测多向压力等特点，应用广泛，**适用于测动态力和冲击力，但不适于测静态力。**

第四章 速度、加速度传感器

一、速度传感器

- 1、测速发电机是机电一体化系统中用于测量和自动调节电机转速的一种传感器。它由**绕组的定子和转子**构成。
- 2、根据励磁电流的种类，测速发电机分为**直流测速发电机（他励式/电磁式和永磁式两种）**和**交流测速发电机**两类。
直流测速发电机按电枢结构形式不同分**无槽电枢、有槽电枢、空心杯电枢、圆盘印刷绕组**等。
- 3、在实际应用中，机电一体化系统对测速发电机的主要要求有：①输出电压对转速应保持较精准的成正比关系。②转动惯量要小。③灵敏度要高，即测速发电机的输出电压对转速的变化反应要灵敏。

(1) **直流测速发电机**是一种微型直流发电机。它的定子、转子结构与直流伺服电动机基本相同。其**工作原理**是根据电磁感应原理，在恒定磁场中，旋转的电枢绕组切割磁通，并产生感应电动势，而后测速的发电机。

电刷两端的电枢感应电动势： $E_a = K_a \Phi n = C_e n$ (K_a 感应系数； Φ 磁通； n 转速； C_e 感应电动势与转速的比例系数)。

(2) 空载（电枢电流 $I_a = 0$ ）时，直流测速发电机的输出电压和电枢感应电动势相等，因而输出电压与转速成正比。

有负载（ $I_a \neq 0$ ）时，测速发电机的输出电压应比空载时小，这是电枢（电枢绕组电阻）的电压降造成的。输出电压 $V_a = E_a - I_a R_a$ 。

(3) 直流测速电动机在理想情况下系数 C_e 和 C 与输出电压之间的关系： $I_a = V_a / R_L$ (有负载时，电枢电流)。 $V_a = C_e n / (1 + r/R_L) = C n$ ； $C = C_e / (1 + r/R_L)$ (R_L 负载电阻；理想下 r, R_L, Φ 均常数)。

(3) 直流测速电动机产生误差的原因和改进方法？

① 有负载时，电枢反映去磁作用的影响，使输出电压不再与转速成正比，遇到这种问题可以在定子磁极上安装补偿绕组，或使负载电阻大于规定值。

② 电刷接触降压的影响。这是因为电刷接触电阻是非线性的，即当电机转速较低，相应的电枢电流较小时接触电阻较大，从而使输出电压很小。只有当转速较高，电枢电流较大时，电刷电压降才可以认为是常数。为了减小电刷接触降压的影响，即缩小不灵敏区，应采用接触电压降较小的铜-石墨电极或铜电极，并在它与换向器相接触的表面上镀银。

③ 温度的影响。这是因为励磁绕组中长期流过电流易发热，其电阻值也相应增大，从而使励磁电流减小的缘故。在实际使用中可在直流测速发电机的绕组回路中串联一个电阻值较大的附加电阻，在接到励磁电源上。这样，当励磁绕组温度升高时，其电阻虽有增加，但励磁回路总电阻的变化却较小，故可保持励磁电流几乎不变。

4、交流测速电动机可分为**永磁式、感应式和脉冲式**三种。

交流测速电动机的工作原理，是利用定子、转子齿槽相互的位置的变化，使输出绕组中的磁通产生脉冲，从而产生感应电动势，这种工作原理称为感应子式发电机原理。

① **永磁式交流测速发电机**实质上是单向永磁转子同步发电机，定子绕组感应的交变**电动势大小、频率**都随输入信号（转速）而变化，即 $f = pn/60$ ； $E = 4.44 N K_a \Phi_m = 4.44 p/60 \cdot N K_a \Phi_m n = K n$ ；(K 常数， p 极对数， N 定子绕组每相匝数， K_a 定子绕组基波绕组系数， Φ_m 电机每极基波磁通的幅值)。
② 当转子**不转**时，磁通不变，定子绕组**无感应电动势**；输出电动势**频率 $f = Zr n/60$ (Hz)**；(Zr 转子齿数， n 电机转速 r/min)。

5、**线振动速度传感器的工作原理**是当一个绕有 N 匝的线圈作垂直于磁场方向相对运动时，线圈切割磁力线，由法拉第电磁感应定律可得其线圈产生感应电动势。 $E = NB$ (B 磁感应强度 T ， l 每匝线圈平均长度 m ， v 线圈磁场运动速度 m/s)。

6、陀螺式角速度传感器分为：**转子陀螺、压电陀螺、激光陀螺、光纤陀螺**。

(1) 转子陀螺式角速度传感器是一种惯性传感器，安装简单，使用方便，但有机机械活动部件，被测角速度范围 $\pm 30^\circ \sim \pm 120^\circ/s$ ，质量较大，成本高，寿命低。

转子陀螺 y 轴为测量轴/输入轴； x 轴为输出轴。

(2) 压电陀螺式利用压电晶体的压电效应工作，分：振梁型、双晶片型、圆管型。
① 振梁型：**动态范围** ($\pm 5 \sim 7200$) $^\circ/s$ 可调；**特点** 稳定可靠性好，适用于恶劣环境，平均无故障间隔 $> 10000h$ ，工作温度 ($-40 \sim 60^\circ C$)。
② 双晶片型：**动态范围** ($\pm 30 \sim \pm 300$) $^\circ/s$ ；**特点** 体积小，寿命长，响应快，线性度好，滞后可忽略，功耗小，廉价，重量约 $100g$ ，可抑制振动和加速度干扰。
③ 圆管型：**动态范围 $\pm 60^\circ/s$** **特点** 结构简单，易批量生产，可靠性高，成本低，适用于精度要求不太高的稳定系统。

(3) 光纤陀螺式：具有无机械传动部件、无需预热时间、对加速度不敏感、动态范围宽、体积小、灵敏度高**等优点**。

7、**霍尔式传感器的工作原理**是利用霍尔元件组成的传感器，在被测物上粘有多对小磁钢，霍尔元件固定于小磁钢附近，当被测物转动时，每当一个小磁钢转过霍尔元件，霍尔元件输出一个相应的脉冲，测得单位时间内的脉冲个数，即可得被测物的转速和角速度。**特点**：由半导体材料制成，体积小，结构简单。

8、**电涡流式转速传感器的工作原理**是在传感器靠近在被测物上设定的等距标记安装，当被测物转动时，传感器输出频率与转速成正比的信号。

9、**半导体硅流速传感器的工作原理**是依据发热体与放置发热体的流体介质的热导率与流体流速相关原理制成的。P64

二、加速度传感器

1、常用**加速度传感器**的种类有**压电式、应变式、磁致伸缩式**。

2、**压电式加速度传感器**的频率范围广、动态范围宽、灵敏度高，故应用较为广泛。

压电加速度传感器的工作原理是利用压电陶瓷的压电效应可构成不同使用要求的振动加速度传感器来制作的。

常用的**三种原理结构式压缩型、剪切型、弯曲型**。其**特点**是它可以做得很小，重量很轻，对被测机构的影响就小。压电传感器本身的内阻抗很高，而输出的能量很微弱，因此在使用时，必须接**高输入阻抗的前置放大器**。放大器有两种是**电压放大器**和**电荷放大器**。

电荷放大器输出电压与电缆分布电容无关。一般加速度传感器的尺寸越大，其固有频率越低。

3、**应变式加速度传感器的工作原理**是经过质量-弹簧惯性系统将加速度转换为力，再将力作用于弹性元件，从而将力转换为应变，通过测量应变可以测量加速度。P69

第五章 视觉、触觉传感器

1：视觉传感器在机电一体化系统中的**作用**有三种：①进行位置检测。②进行图像识别③进行物体形状、尺寸缺陷的检测。

2：视觉传感器（以光电变换为基础）的**组成及各组成环节的作用？**

(1) 照明部：为了从被测物体得到光学信息而需要照明，是充分发挥传感器性能的重要条件。

(2) 接受部：由透镜和滤光片组成，具有聚成光学图像或抽出有效信息的功能。

(3) 光电转换部：将光学图像信息转换成电信号。

(4) 扫描部：将二维图像的电信号转换为时间序列的一维信号。通常 2、3、4 部分成一体。在机器人领域，几乎都是采用工业电视摄像机作为视觉传感器。

3： **光电式摄像机**是由接收部分，光电转换部分和扫描部分组成的二维视觉传感器。其光导摄像管是一种兼有光电转换功能和扫描功能的真空管，构成**原理**：经透镜成像的光信号在摄像管的靶面上作为模拟量而被记忆下来。从阴极发射的电子束依次在靶面（光电转换面）上扫描，将图像的光信号转换成时间序列的电信号输出。

4： **固体半导体摄像机原理**是由许多光电二极管组成阵列，作为摄像机的感光部分以代替光导摄像管。它是由摄像元件（CCD）、信号处理电路、驱动电路和电源组成。摄像元件（CCD）是一种 MOS 行晶体开光集成电路。

5： 二维 CCD 摄像元件的构成主要有**隔行传送方式**和**帧传送方式**两种。

6： **激光式视觉传感器的原理**是利用激光作为定向性高密度光源的视觉传感器构成的，这种传感器用作激光扫描器来识别商品上的条形码。由光电转换及放大元件、高速回转多面棱镜、激光器等组成。

7： **红外图像传感器原理**是把波长（2~20） μm 的红外光图像转换成如同电视图像的时序扫描信号输出的传感器。它通常由红外敏感元件和电子扫描电路组成。

8： **人工视觉（机器视觉）**：使用机器的自动化刀法实现类似人类视觉的功能。

人工视觉系统的**硬件构成**一般由**图像输入、图像处理、图像存储和图像输出**四个系统构成。各部件的用途是（1）**图像输入**是通过视觉传感器将对象物体变成二维或三维图像，再经光电变换将光信号变成电信号，通过扫描采样将图像分解成许多像素，再把表示各个像素信息的数据输入计算机进行图像处理。（2）**图像处理**是对获取的图像信息进行预处理（前处理），以滤去干扰，噪声，并作几何、色彩方面的校正，以提高信噪比。**目的是改善图像质量，以利于进行图像识别**。（3）**图像存储**是把表示图像各个像素的信息送到存储，以备调用。图像的信息量大。（4）**图像输出**分为两类：①一类是只要求瞬时知道处理结果，以及计算机用对话形式进行处理的显示终端，该类称为**软拷贝**。②另一类是可长时间保存结果，如宽行打印机、绘图机、X-Y 绘图仪、显示器画面像装置等称为**硬拷贝**。

9： **物体图像信息的输入识别**物体前先将物体的有关信息输入到计算机内。被输入的信息主要有明亮度信息，颜色信息和距离信息。

10： 图像处理的**方法**有**微分法和区域法**。 **触觉传感器**有接触觉传感器、压觉传感器、滑动觉传感器。

10： **接触觉传感器**最早是**微动开关**。它工作范围宽，不受电，磁干扰，简单，易掌握，成本低，但响应速度低，动作压力高。**原理**：它们都是通过在一定接触力下，切换通一断状态，输出高或低的电平信号，以表示是否发生接触。

11： **硅橡胶触觉传感器的工作原理**是硅橡胶与金属电极对置，接触，硅橡胶受压其电阻值就改变，当金属电极受力压硅橡胶时，输出电压相应变化。

12： **压觉传感器定义**通过高密度配置这种传感器，可以获得同物体接触时各部分不同的压力，将该压力变换成相应处的电压信号，可以获得关于物体形状的信息。**特点**：动作准确，精度高，**缺点是**体积大，不能高密度配置。

13： **滑动觉传感器应用于**工业机器人手指把持面与操作对象之间的相对运动，以实现实时控制指部的夹紧力。**不同之处**仅处检测指部与操作物体在切向的相对位移，而不检测接触表面法向的接触或压力。

第六章 温度传感器

1： **温度**代表物质的冷热程度，是物体内部分子运动剧烈程度的标志。**测量温度的方法**有**接触式**和**非接触式**。

2： 接触式的**特点**是感温元件与被测对象直接物理接触，进行热传导。

3： **非接触式的特点**是感温元件与被测对象不物理接触，而是通过热辐射进行热传递。

4： **热电偶式温度传感器**属于接触式热电动势型传感器，它的**工作原理**是热电效应。

热点效应：当两种不同金属导体两端相互紧密地连接在一起组成一个闭合电路时，由于两个接触点温度 T 和 T_0 不同，回路中将产生热电动势，并有电流通过，这种把热能转换成电能的现象称为热电效应。

5: **热电动势**由**接触电动势**和**温差电动势**组成。

6: **接触电动势**是由于两种不同导体的自由电子密度不同而在接触处形成的电动势。

7: **温差电动势**是在同一根导体中由于两端温度不同而产生的电动势。

中间导体定律：导体 a, b 组成的热电偶，当引入第三个导体时，只要保持其两端温度相同，则对总热电动势无影响，这一结论被称为中间导体定律

8: **热电偶**通常由热电极、绝缘材料、接线盒和保护套组成。

9: **热电偶可分为：**(1)普通热电偶：**结构：**热电极、绝缘套管、保护套管、接线盒、接线盒盖**组成**。主要用于测量液体和气体的温度。绝缘体使用陶瓷套管，保护套有金属和陶瓷。

(2)铠装热电偶(缆式热电偶)：**结构**热电极、绝缘体和金属保护套组合成一体**组成**。**特点**是测量结热容量小，热惯性小，动态响应快，挠性好，适用于普通热电偶不能测量的空间温度。有碰底型，不碰底型，露头型，冒型等。

(3)薄膜热电偶：**分：**片状、针状。**结构**由测量结点、薄膜 A、衬底、薄膜 B、接头夹、引线**组成**的探头性。主要用于测量固体表面小面积瞬时变化的温度，**特点**是热容量小，时间常数小，反应速度快。

(4)并联热结点偶：它是把几个同一型号的热电偶的同性电极参考端并联在一起。各个热电偶的测量结处于不同温度下，其输出电动势为各热电偶电动势的平均值。适用于测量平均温度。

(5)串联热电偶(热电堆)：把若干同一型号的热电偶串联在一起。所有测量端处于同一温度 T 下，所有连接点处于另一温度 T_0 下，则输出电动势是每个热电动势之和。

10: **热电偶参考端电位补偿法有：**恒温法，温度修正法，电桥补偿法，冷端补偿法，电位补偿法。

11: **电位补偿法**是在热电偶回路中接入一个自动补偿的电动势。

12: **热电阻式传感器**可分为**金属热电阻式**和**热敏电阻式**。

13: **金属热电阻式**温度传感器是电阻体，电阻体是由金属导体**构成**的。**测温机理**是在金属导体两端加电压后，使其内部杂乱无章运动的自由电子形成有规律的定向运动，而使导体导电。当温度升高时，由于自由电子获得较多能量，能从定向运动中挣脱出来，从而定向运动被削弱，导电率降低，电阻率增大。

14: **热电阻的结构**主要由不同材料的电阻丝绕制而成，为了避免通过交流电时产生感抗，或有交变磁场时产生感应电动势，在绕制时采用双线无感绕制法。

15: **热敏电阻式**温度传感器的感温元件是对温度非常敏感的热敏电阻，所用材料是**陶瓷半导体**，其导电性取决于电子-空穴的浓度。**测温机理**是在低温下，电子-空穴浓度很低，故电阻率很大，随温度的升高，电子-空穴的浓度按指数规律增加，电阻率迅速减少，其阻温特性为 $R_T = R_0 e^{(1/T - 1/T_0)}$ 。(R_0 为 20°C 时的电阻值 Ω ， R_T 温度 T 时电阻值 Ω ， T 热力学温度 K ， B 热敏电阻常数)。当 $T_0 = 20^\circ\text{C}$ 时， $R_0 = 965\text{K}\Omega$ ， $T = 100^\circ\text{C}$ 时， $R_0 = 27.6\text{K}\Omega$ ，则 $B = 1366 \ln(R_T/R_0)$ **其特点**是热敏电阻的温度系数比金属热电阻大，体积小，重量轻，很适用于小空间温度测量，它的热惯性小，反应速度快，适用于测量快速变化的温度。

热敏电阻分①**正温度系数热敏电阻：**在测量温度范围内，其阻值随温度增加而增加，最高温度不超过 140°C 、②**临界温度系数热敏电阻：**的特点是在 临界温度附近电阻有急剧变化，因此不适用于较宽温度范围内的测量、③**负温度系数热敏电阻：**其阻值随温度增加而呈下降趋势，一般用于 $(-50 \sim 300)^\circ\text{C}$ 之间的温度测量。

16: **非接触式温度传感器**采用**热辐射**和**光电检测**的方法。其**工作原理**是当物体受热后，电子运动的动能增加，有一部分热能转变为辐射能量的多少与物体的温度有关。当温度较低时，辐射能力很弱；当温度较高时，辐射能力很强。当温度高于一定值之后，可以用肉眼观察到发光，其发光亮度与温度值有一定关系。

17: 非接触式温度传感器**可分为****全辐射式温度传感器**、**亮度式温度传感器**和**比色式温度传感器**。

18: **全辐射温度传感器**是利用物体的**全光谱**范围内总辐射能量与温度的关系测量温度。**测温方法：**被测物的辐射能量经物镜聚焦到热堆的靶心铂片上，将辐射能转变为热能，再由热堆变成热电动势，有显示仪表显示出热电动势的大小，由热电动势的数值可知所测温度的大小。 **特点**是适用于远距离，不能直接接触的高温物体，其范围是 $(100 \sim 2000)^\circ\text{C}$ 。

19: **亮度式温度传感器**利用物体的**单色辐射亮度**随温度变化的原理，并以被测物体光谱的一个狭窄区域内的亮度与标准辐射体亮度进行比较来测量温度。**测温方法：**将被测物体与标准光源的辐射经调制后向光敏元件，当两光束的亮度不同时，光敏元件产生输出信号，经放大后驱动与标准光源相串联的滑线电阻活动触点向相应方向移动，以调节流过标准光源的电流，从而改变它的亮度，当两束光的亮度相同时，光敏元件无信号输出，这时滑线电阻触点的位置即代表被测量值。 **特点**是量程较宽，有较高的测量精度，一般用于测量 $(700 \sim 3200)^\circ\text{C}$ 范围的铸钢，轧钢，锻压，热处理时的温度。

20: **比色温度传感器**以测量两个波长的**辐射亮度之比**为基础。**测温方法：**被测物体的辐射经透镜 L 投射到分光镜 G 上，使长波透过，经滤光片 K_2 把波长为 λ_2 的辐射光透射到光敏元件 A_2 上，光敏元件的光电流 I_{λ_2} 与波长 λ_2 的辐射强度成正比，则电流 I_{λ_2} 在电阻 R_3 和 R_x 上产生的电压 U_2 与波长 λ_2 的辐射强度也成正比。另外，分光镜 G 使短波辐射光被反射，经滤光片 K_1 把波长为 λ_1 的辐射光投射到光敏元件 A_1 上。**特点**是用于连续

自动检测钢水，铁水，炉渣和表面没有覆盖物的高温物体温度，其量程为 $(800 \sim 2000)^\circ\text{C}$ ，测量精度为 0.5% 。它的**优点**是反应速度快，测量范围宽，测量温度接近于实际值。

21: **半导体温度传感器以半导体 P-N 结的温度特性为理论基础的。**是利用晶体二极管与晶体三极管作为感温元件。二极管感温元件利用 P-N 结在恒定电流下，其正向电压与温度之间的近似线性关系来实现。它忽略了高次项非线性的影响，其测量误差较大。**特点：**采用半导体二极管作温度传感器，有简单，价廉的优点，用它可制成半导体温度计，测量范围在 $(0 \sim 50)^\circ\text{C}$ 。用晶体三极管制成的温度传感器测量精度高，测量范围较宽在 $(-50 \sim 150)^\circ\text{C}$ 之间，因而用于工业，医疗等领域的测量仪器或系统。都具有很好的长期稳定性。

第七章 气敏、湿度、水份传感器

一、气敏传感器

1: **气敏传感器**是一种将检测到的**气体成分和浓度**转换为电信号的传感器。

2: **气敏元件的工作原理**是吸附效应。半导瓷气敏电阻值将随吸附气体的数量和种类而改变。器件在加热到稳定状态的情况下，当有气体吸附时，吸附分子首先在表面自由扩散，其间一部分分子蒸发，一部分分子固定在吸附处。

3: 如果材料的功函数大于吸附分子的离解能，吸附分子将向材料**释放电子**而成为正离子吸附。 O_2 和氮氧化合物倾向于负离子吸附，称为**氧化型气体**。

4: H_2 、 CO 碳氢化合物和酒类倾向于正离子吸附，称为**还原型气体**。氧化型(还原型)气体吸附到 N 型半导体上，将使载流子减少(增多)，从而使材料的电阻率增大(下降)。

5: **半导瓷气敏元件与半导体单晶体相比**，具有工艺简单，使用方便，价格便宜，对气体浓度变化响应快，即使在低浓度下灵敏度也很高等**优点**，故可用于制作多种具有实用价值的气敏元件。其**缺点**是稳定性差，老化较快，需进一步提高其气体识别的能力及稳定性。

6: **常用气敏元件的种类按其结构**可分为，**烧结型**、**薄膜型**和**厚膜型**。

7: (1)烧结型器件的一致性较差，机械强度也不高，但它价格便宜，工作寿命较长，应用广泛。(2)薄膜型气敏元件(SnO_2 ， ZnO 薄膜的气敏性最好)为物理性附着系统，器件之间的性能差异仍较大。(3)厚膜气敏元件的一致性较好，机械强度高，适于批量生产。是一种有前途的器件。

8: **气敏元件的几种应用实例有：**①气敏电阻检漏报警器。②矿灯瓦斯报警器。③一氧化碳报警器。④煤气传感器。它可分为半导式和接触燃烧式。

二、湿度传感器

9: **湿敏元件**是利用**湿敏材料**吸收空气中的**水份**而导致本身**电阻值发生变化**的原理制成的。**优点：**是灵敏度高，体积小，寿命长，可以进行遥测和集中控制。

10: **湿度**是指大气中所含的水蒸气量。最常用的**两种方法**是**绝对湿度**和**相对湿度**。

11: **绝对湿度**是指一定大小空间中水蒸气的绝对含量。用 kg/m^3 表示。也称**水气浓度**或**水气密度**。 **绝对湿度**也可用**水的蒸气压**表示：设空气水气密度为 $\rho_v = p_v M / RT$ (p_v 蒸汽压力， M 水气的摩尔质量， R 摩尔气体常数， T 热力学温度)。

12: **相对湿度**是指为某一被测蒸气压与相同温度下饱和蒸气压比值的百分数，常用 **%RH** 表示。这是一个无量纲值。

湿敏元件有：**氯化锂湿敏元件**、**半导体陶瓷湿敏元件**、**热敏电阻湿敏元件**、**高分子膜湿敏元件**等。

13: **氯化锂湿敏电阻是：**利用吸湿性盐类潮解，离子导电率发生变化而制成的测湿元件。

14: **半导体陶瓷湿敏元件的材料，主要是不同类型的金属氧化物。**

15: **负特性湿敏半导体**是由于它们的电阻率随湿度的增加而下降。

16: **正特性湿敏半导体**是一类材料(Fe_3O_4 半导体)的电阻率随着湿度的增加而增大。

半导体湿敏元件特点具有较好的热稳定性，较强的抗沾污能力，能在恶劣，易污染的环境中测得准确的湿度数据，而且有响应快，使用温度范围宽(可在 150°C 以下使用)，可加热清洗。

17: **热敏电阻式湿敏元件特点和****应用**是：(1)灵敏度高且响应速度快；(2)无滞后现象；(3)不像干湿球温度计需要水和纱布及其它维修保养；(4)可连续测量(不需要加热清洗)；(5)抗受风，油，尘埃能力强。**应用：**使用这种绝对湿度传感器的湿度调节，可制造出精密的恒湿槽。**结构：**焊点、珠形热敏电阻、直径 0.5mm 孔(空气入口)、白金丝、密封、焊接连接等组成。

18: 高分子膜湿敏元件它用于工业湿度计测量中。

19: **高分子膜湿度传感器的工作原理**是以随高分子膜吸收或放出水份引起**电导率**或**电容**变化测量环境**相对湿度**的装置。

20: **电子湿度计的构成**它由**检测部分**(有携带型，墙袋型和凸缘型三种传感器)，**数字显示器**和**变换器**等构成。

21: **高分子膜湿敏元件的主要用途**是广泛用于湿度监视，记录和控制，尤其可用于普通湿度计难以测量的小于 $20\% \text{RH}$ 的湿度中，湿度计使用在超过 $90\% \text{RH}$ 的高湿度区域中会出现结露。结露时，湿度传感器在沾湿间歇不能测量，一旦沾湿现象消失，恢复原来特性。

金属氧化物陶瓷湿敏传感器：具有**耐久性好**、**测量范围广**、价廉、易变换电信号(**可靠**)等**特点**。常用于空调机的湿度控制系统等。

陶瓷湿度传感器结构：保护器、陶瓷灯丝、陶瓷湿度传感器、氧化钨电极、基座(铝)灯丝引线。**湿敏传感元件(AI2O3)特点：**①可连续测量 $5\% \sim 99\% \text{RH}$ ，不确定度在士

2. 0%RH 以内；②反应迅速；③工作温度在 (-10~100)℃ 之间；④不影响环境气体的流速；⑤滞后现象少；⑥抗机械冲击强；⑦加热清洗周期长，不易污垢；⑧小型；⑨传感器电阻比一般的低一个数量级，容易在电路上使用；⑩环境适应性强。

22: **结露传感器的优点**是 (1) 实际使用时，传感器特性并不因表面的垃圾和尘埃以及其它气体的污染而受影响。(2) 可以用于高湿状态。(3) 具有快速开关特性，所以工作点变动小。(4) 工作电路可用直流电压。

三、水份传感器

23: **水份**是存在于物质中水的数量，以**百分比表示**。该项**指标**是掌握物质保存状态和质量管理的指标。

24: **水份传感器 (水份计)**有直流电阻型，高频电阻型，电容率型，气体介质型，近红外型，中子型和核磁共振型。

25: **水份传感器的工作原理**是利用了被测物质的电学性质，高分子物质的电阻 R 与其含水率 M 之间的关系，通过测定电阻值，就能测定水份含量。(在区域 I 范围内，随水份的增加，电阻 R 呈对数减少)。

26: **直流电阻型水份传感器的工作原理**是利用微型计算机储存了温度修正以及各种试样水份与电阻值相关的特性，通过转换开关进行各种试样的水份测定。

第八章 传感检测系统的构成

一、电桥

1: **传感检测系统的组成及其各环节的功能**是：通常是由传感器、中间转换电路、微机接口电路、分析处理及控制显示电路等部分**组成**；分别完成信息的获取，转换，传输，分析处理，显示记录等功能。

中间转换电路是将传感器的输出信号转换成易于测量或处理的电压或电流信号。

常用的显示：模拟、数字、图像显示。**模拟式显示**：是利用指针对标尺的相对位置标示被测量数值的大小。**数字式显示**则直接以十进制数字形式显示读数。利于消除读书误差。

2: **电桥**是把电阻，电感和电容等元件参数转换成电压或电流的一种测量电路。这种测量电路简单直接，而且精度和灵敏度都较高，在检测系统中应用较多。

3: ①**按电源的不同电桥**分为直流电桥和交流电桥。②**按电桥的工作方式**可分为平衡电桥和不平衡电桥。③**按电桥被测电阻的接入方式**可分单臂电桥和差动电桥。

4: **直流电桥**是在电桥的输入端加入直流电源 E_s 。

5: **交流电桥**是采用交流电源供电的电桥。

6: 当用电桥进行**测量时**，可采用零测法和偏差测量法。

7: **平衡状态的应用**是基于零测法。利用热电阻传感器测量温度，应用的就是电桥的平衡状态。它一般适合于测量静态值。**不平衡状态的应用**基于偏差测量法。它既可以测量静态值又可以测量动态值，其测量精度受检流计的精度及电源稳定性的影响，但能满足实际测量的要求。

8: **衡量电桥的工作特性质量的两项指标**是电桥的**灵敏度**及电桥的**非线性误差**。

9: **电桥的灵敏度**是指单位输入量时的输出变化量。对于不平衡电桥，输入量是指桥臂上电阻的变化量 ΔR ，输出量是电桥的输出电压 U_0 的变化量 ΔU ，即电桥的灵敏度是电压的相对变化量与电阻的相对变化量之比， $K_{us}=(\Delta U/U_0)/(\Delta R/R)$ 。

10: **电桥调零**是在测量时，由于是利用了电桥的不平衡输出反映被测量的变化情况，因此，测量前电桥的输出应调为零，称为**电桥调零**。

11: **电桥调零**通常采用**串联调零**和**并联调零**两种方法。①**串联调零电路**，微调电位器 R_w 串联在桥路中，它多用在桥臂参数 R 值较大的场合。调零电位器的阻值 $R_w \ll R_0$ 。②**并联调零电路**，微调电位器 R_w 并联在电桥输出端，多用在桥臂参数 R 值较小的场合，并要求 $R_w \gg R_0$ 。

三、调制与解调

12: **调制**是指将直流信号换成交流信号的过程。常用的调制器有**晶体管调制器**和**提高输出**的**晶体管调制器**。

13: **解调**是指当直流信号被调制成交流信号后，若再将该交流信号还原成直流信号。常用的调制器是**二极管调制器**和**三极管调制器**。

四、滤波器

14: **滤波方式**有**无源滤波**、**有源滤波**和**数字滤波**。

15: 若检测系统中对滤波要求不太高，可以采用**无源滤波器**。**无源滤波器**电路简单，缺点是带负载能力差。

16: **一阶 RC 低通滤波器**是指传递函数为一阶。它适用于精度要求不高的场合。①**低通滤波器**：具有低频信号容易通过并抑制高频信号的作用称之。

②**高通滤波器**是指 RC 电路具有高频信号容易通过并抑制低频信号的作用。

③**带通滤波器 (由 RLC 构成)**用于通过某一频段的信号，而将此频段以外的信号加以抑制或衰减。衡量带通滤波器的工作特性好坏的**重要指标**是**品质因数**，其定义为**中心频率 f_0 与通频带宽度 B 之比**，即 $Q=f_0/B$ 。在 f_0 一定的条件下，Q 越大通频带越窄，选择性越好。

17: **有源滤波器**由**运算放大器**和**RC 网络**组成。

18: ④**带阻滤波器**是抑制某个频率范围内的频率分量，使其衰减，而让此频率以外的频率顺利通过。

19: **有源滤波器与无源滤波器相比具有的****优点**是 (1) 有源滤波器不用电感线圈，因而在体积，重量，价格，线性等方面具有明显的优越性，便于集成化。(2) 由于运算放大器输入阻抗高，输出阻抗低，可以提供良好的隔离性能，并可提供所需增益。(3) 可以使低截止频率达到很低范围。P129

20: **一阶低通滤波器的缺点**是对截止频率以外的信号衰减较慢，因此**选择性差**。**二阶低通滤波器 ($R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$)**能克服一阶低通滤波器的缺点。**二阶高通滤波器**可以克服一阶滤波器在 $\omega < \omega_0$ 附近衰减慢的缺点。**带通滤波器 (RC 网络与集成运算放大器构成)**品质因数 Q 越大，通频带宽度越窄，则选择性越好。改变 R_1 或 R_2 可以改变 Q 和 B，但不影响 f_0 。**带阻滤波器**品质因数 Q 越大，阻带宽度越窄，抑制选择性越好。

29: **构成二阶以上的滤波器的方法**：①是将几个低阶滤波器串联如构成四阶高通滤波器，可将两个二阶高通滤波器串联即成；②是由 RC 网络和集成运算放大器直接构成。P133

30: **数字滤波器**：**优点**：由于利用程序来实现，因而不需要增加硬件，而且可靠性高、稳定性好、灵活方便。

21: **数字滤波方法**有 (1) 限定最大偏差法：它主要用于变化比较缓慢的参数。(2) 算术平均值法：适用于压力测量，流量测量。(3) 加权平均滤波法。

22: **模/数 (A/D) 转换**是指将模拟量变为数字量。**转换器—构成**：由电压比较器、数/模转换器、顺序脉冲发生器、数码寄存器、逐次逼近寄存器等构成。

数/模 (D/A)是指将数字量变为模拟量。**转换电路—构成**：由 T 形电阻网络，模拟开关 S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 及求和运算放大器 A 构成。

23: **数/模 (D/A) 转换器的技术指标**是 (1) **分辨率**：是指最小输出电压与最大输出电压之比。(2) **精度**：转换器的精度是指输出模拟电压的实际值与理想值之差。这种误差由参数电压的波动，运算放大器的零点漂移，模拟开关的压降以及电阻阻值的偏差引起的。(3) **线性度**：通常用非线性误差的大小表示数/模转换器的线性度。(4) **输出电压 (或电流) 的建立时间**。(不超过 $1\mu s$)。此外还有**电源抑制比**、**功率消耗**、**温度系数**等技术指标。P140

24: 模拟量、转换为数字量的方法很多，目前用的较多的是**逐次逼近法**。

31: **模/数 (A/D) 转换器的技术指标**是①**分辨率**：以输出二进制数的位数表示。位数越多，分辨率越高，一般转换精度也越高。如 $5/2^8V=4.88mV$ 。②**相对精度**：为转换器实际转换值和理想特性之间的最大偏差，除以输入转换值，以相对值表示。③**转换速度**：用完成一次转换所需要的时间来衡量。(在 $10 \sim 50\mu s$ 间)。此外还有**电源抑制比**、**功率消耗**、**温度系数**、**输入模拟电压范围**、**输出数字信号的逻辑电平**等技术指标。

25: **多路模拟开关环节**：通常在微机控制的检测系统中，要采用多路信号，为了减少检测通道的设备，而使多个信号的采样共同使用一个模/数转换器，需将经过多路传感器转换后的信号采用分时法切换到模/数转换器上。这一过程称作**多路切换**。完成多路切换的器件称**多路模拟开关**。

32: **常用的模拟开关**有：晶体管开关、光耦合器开关、结型场效应管开关、CMOS 工艺开关 (应用最多)。**多路模拟开关**有：4 选 1、8 选 1、双 4 选 1、双 8 选 1、16 选 1 等几种。

33: **多路模拟开关电路**：由地址译码器、多路双向模拟开关**组成**。**工作原理**：它可以通过外部地址输入，经电路内部的地址译码器译码后，接与地址码相对应的其中一个开关，以实现任一路信号的传送。

26: 由于多路模拟开关在**接通时**有一定的**导通电阻**，在某种情况下对信号的**传递精度**带来较大影响，一般可通用**加大负载阻抗以减小其影响**。

27: **采样保持器的工作原理**是模/数转换器在将模拟量转换成数字量的过程中需要一定的时间，这就要在模/数转换开始时将信号电平保持住，而在模/数转换结束后又能对输入信号进行采样。

28: **采样保持器的作用**：在采样期间，其输出能跟随输入的变化而变化，而在保持状态能使其输出值保持不变。

34: 为了使采样保持器达到一定的精度，需在它的输入级采用**缓冲器**，以**减少信号源的输出阻抗，增加负载的输入阻抗**。采样开关被接通的时间称为**采样时间**。

35: **LF399 采样保持器特点**：采样速度高、保持电压下降速率慢、精度高等。P147。

七、传感器检测信号的细分与辨向原理

1: **几何量测量**中采用**机械式细分**、**光学式细分**和**电子式细分**等方法。

2: **辨向原理**：(两路信号的**相位差 ψ**) ψ 角不能是 0° 、 180° 、 360° ，否则会出现两路信号刚好相差整数周期或相位刚好想反，而无法鉴别哪一路信号超前。在实际中常从**细分电路**中取出两路信号进行辨向，相位差取 90° 。

3: **四倍细分电路**：又称**直接细分**。**相位跟踪细分电路**：细分方法**适用于感应同步器或磁栅、容栅的传感检测系统**。

29: **按照干扰的来源**可以分**两类**是**系统内部的干扰**和来自**系统外部的干扰**。

30: **产生内部干扰的因素**有：信号通过公共电源，地线和传输线的阻抗相互耦合形成的干扰；元件之间、导线之间通过寄生电容或互感耦合造成的干扰；大功率和高压元件产生的电场；电子开关元件的电压或电流急剧变化而产生的干扰源；工作电源，交叉走线等。

31: **外部干扰的因素**有：外部高压电源因绝缘不良形成的漏电；广播电视、高频感应加热等；空间电磁波的辐射；周围机械振动和冲击的影响等。

32: **形成干扰的三个条件是**：**干扰源**、**干扰的耦合通道**、**干扰的接收电路**。

33: **抑制干扰的方法有:** (1) **接地:** 在测量系统中有四种接地系统: 安全地, 信号源地, 数字信号地和模拟信号地。

(2) **屏蔽:** ①静电屏蔽: 其方法有两种 **1)** 是用金属屏蔽罩罩住带静电的物体, 并将屏蔽罩接地, 使罩外空间不存在静电场; **2)** 用屏蔽罩罩住测量电路, 保证罩内部存在静电场。②低频磁感应屏蔽: 其原理是使绝大部分磁通量经屏蔽体通过, 选用导磁性好的材料做屏蔽罩。③高频磁感应屏蔽: 其对辐射电磁场屏蔽。

(3) **隔离:** 变压器隔离电路和光电耦合电路。

(4) **滤波:** ①电源滤波②退耦滤波器③有源滤波④数字滤波。

34: **典型噪声干扰的抑制** (1) **设备启、停时产生的电火花干扰:** 消除这种干扰的方法通常是 **采用 RC 吸收电路**, 即将电阻 R 和电容 C 串联后并联到继电器触点或电源开关两端。(2) **共模噪声:** 噪声电压或电流同时加到两信号上所产生的噪声称共模噪声。抑制这种干扰采用差分放大器, 因为它几乎对共模噪声没有放大作用。其输入阻抗越高, 抑制作用越强。(3) **串扰:** 克服串扰的有效方法是将不同信号线分开, 并且留有最大可能的空间隔离。

35: **克服串扰在设计及组装检测系统时, 应注意的问题是:** (1) 信号线, 数据线, 控制线尽可能分开, 以避免不同类型的走线平行或靠近。(2) 走线尽可能短, 尽可能不在集成芯片之间走线。(3) 电源线和地线要设计的尽量粗而短。(4) 对于单稳态, 多谐振荡器等易受电源影响的器件, 要在近旁的电源-地线之间接入电容器进行去耦, 易受干扰的器件要远离振荡器等。

36: **传感检测系统中的微机接口** 是将被测的模拟量, (如位移、速度、加速度、压力、流速、温度、湿度、扭力、振动等非电量), 经过传感器、放大器、采样保持器、A/D 转换后输入微型计算机。

37: **传感检测系统中微机接口的基本方式是** (1) 开关量接口方式 (2) 数字量接口方式 (3) 模拟量接口方式。

38: **ADC 与 CPU 的时间协调, 其时间常数远比 CPU 的指令周期长。其控制方式有** (1) 延时等待式 (2) 中断式。(3) 查询式。

39: **数据转换接口的典型结构:** 包括 A/D、D/A 两类。以其为核心, 根据需要再附加多路转换开关、采样保持放大器或滤波器等, 可构成完整的数据转换接口。

40: **ADC 与 CPU 的接口示例:** ①8 位 8 通道 A/D 转换电路原理; ②ADC574 与 8031 单片机的接口; ③增量型光电编码器检测角位移接口电路原理; ④增量型光电编码器测速接口电路原理。

41: 液晶显示器是一种低功耗器件, 其 **液晶显示器的驱动方式由电极引线的选择方式确定**, 一般有 **静态驱动和时分制驱动**。

42: **温度补偿的处理方法:** 环境温度对传感器、特别是各种半导体传感器的输出信号有较大影响。**为消除环境温度的影响**, 需要对传感器信号进行温度补偿, 其补偿在计算机能力允许时, 可采用计算机软件进行, 也可采用硬件电路实现。利用计算机软件进行温度补偿时常用公式法和表格法。

43: **线性化处理方法:** 在非线性情况下, 会影响测量精度, 如果直接由计算机进行数据分析, 则增加其数据处理的难度。线性化处理可以用硬件实现, 但其线性化处理电路往往比较复杂, 也会增加检测系统的成本。在计算机系统处理能力允许的前提下, 可以用软件实现线性化处理。常用线性化方法有公式法和表格法。

第九章 信号分析及其在测试中的应用

1: 信号有静态信号与动态信号。**静态信号**是指其量值与时间无关的信号。**动态信号**是指其量值随时间变化的信号。

2: 信号分为**确定性信号**与**非确定性信号**。

3: **确定性信号**是指能用明确的数学解析关系式或图表描述的信号。(如简谐波、方波、矩形波等信号)。**确定性信号**分为**周期信号**和**非周期信号**。

4: **周期信号**是指若信号依一定的时间间隔 T 而复始, 则该信号为**周期信号**。实际上周期信号往往不是仅含一个正(余)弦的简单周期信号, 但它们具有取值周期重复性的特征。

5: **非周期信号**是指在时域内不按周期重复出现, 但仍可用明确的数字关系式或图表描述的信号。

6: **非确定性信号(随机信号)**是指在时域波形不确定, 无法用确切的数字关系式描述, 也不能准确预测未来的结果的信号。由于每次观测的结果均不相同, 因此, 只能用概率统计方法描述它的规律。P173

7: **模拟信号**是指在某一自变量连续变化的间隔内, 信号的数值连续, 为**模拟信号**。

8: **离散信号**是指自变量在某些不连续数值时, 输出信号才具有确定值称为**离散信号**。

9: **数字信号**是指如果将其各离散点的幅值也作离散化, 以二进制编码表示, 称之。

10: **信号均值 μ_x** 是指信号 $x(t)$ 在整个时间坐标的积分平均, 它表示信号中常值分量或直流量。

11: **信号的方差 δx** 是指描述信号的(波动范围), 其正平方根 $\delta x = \sqrt{\delta x}$ 称为**信号的标准差**。

12: **信号的均方值 Ψ_{xx}** 描述信号的**强度**, 表示信号的(平均功率)。 $\Psi_{xx} = \delta x + \mu_{2x}$ 。P175

13: **信号的概率密度函数 $p(x)$** 描述了信号 $x(t)$ 对(指定幅值的取值机会)。

I、信号的相关(时差)描述: **特点:** 是在广义积分平均时, 将信号作恰当的时延 τ , 从而反映信号取值的大小及先后的影响。

II、一个信号 $x(t)$ 的自相关函数 $R_x(\tau)$ 定义为: $R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt$ 。(τ 时延

(时差)量, $-\infty < \tau < \infty$)。自相关函数的性质: ①当时延 $\tau=0$ 时, 信号的自相关函数就是信号的均方值 $R_x(0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t)dt = \Psi_{xx}$; ② $R_x(0) \geq R_x(\tau)$, 即在 $\tau=0$ 处取峰值。 $\Phi R_x(\tau) = R_x(-\tau)$; ④周期信号的自相关函数必呈周期性, 是因为 $x(t) = x(t \pm nT)$, 故 $R_x(\tau \pm nT) = R_x(\tau)$ 。自相关函数描述了信号现在值与未来值之间的依赖关系, 同时反映了信号变化的剧烈程度, 是信号的基本统计特征之一。P176

III、信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的互相关函数 $R_{xy}(\tau)$ 定义为: $R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt$ 。互相关函数的性质: ① $R_{xy}(\tau)$ 通常不在 $\tau=0$ 处取峰值, 其峰值偏离原点的位置为 τ_0 , 反映了两信号相互有 τ_0 时移时, 相关程度最高。② $R_{xy}(\tau)$ 与 $R_{yx}(\tau)$ 是两个不同的函数。

$R_{xy}(\tau) = R_{yx}(-\tau)$ 在图形上, 两者对称于坐标纵轴。③均值为零的两个统计独立的随机信号 $x(t)$ 和 $y(t)$, 其 $R_{xy}(\tau) = 0$ 。VIII X ()

IV、信号的互相关系数 $\rho_{xy}(\tau)$: 由于信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 本身的取值大小直接影响相关函数的大小, 因而在比较不同成对信号的相关程度时, 仅视其相关函数值大小不确切。**对小信号虽然相关程度很高, 但相关函数值很小**, 反之亦然。**互相关系数:** (避免信号本身幅值对其影响) **定义:** $\rho_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau)}{\sqrt{R_{xx}(0)R_{yy}(0)}}$; 由于 $|R_{xy}(\tau)| \leq \sqrt{R_{xx}(0)R_{yy}(0)}$, 故 $|\rho_{xy}(\tau)| \leq 1$, 一般: $\rho_{xy}(\tau) = 1$ 说明 $x(t)$ 和 $y(t)$ 完全相关; $\rho_{xy}(\tau) = 0$ 说明 $x(t)$ 和 $y(t)$ 完全不相相关; $0 < |\rho_{xy}(\tau)| < 1$ 说明 $x(t)$ 和 $y(t)$ 部分相关。P177

V、自相关系数: $\rho_x(\tau) = R_x(\tau)/R_x(0)$, 反映了原信号 $x(t)$ 和时移后的原信号 $x(t+\tau)$ 之间的相关程度。

14: **傅里叶级数展开式说明:** 任意一个周期信号 $x(t)$ 都可认为由两类基本信号组成。一类是以 a_0 描述的直流量, 一类是由许多正交的、幅值分别以 a_n 和 b_n 描述的, 频率各为基频整数倍的余弦和正弦分量的迭加而组成。

VI、频谱(图): 以角频率 ω 为横坐标, A_n 和 Φ_n 分别为纵坐标作图, 该图称周期信号 $x(t)$ 的**频谱图**, 简称**频谱**。P179 (区别幅频图、相频图。

15: **周期信号频谱的特点:** (1) **离散性:** 频谱谱线是离散的。(2) **收敛性:** 谐波幅值总的趋势随谐波次数的增加而降低。即 $A_n(n \rightarrow \infty) = 0$ 。(3) **谐波性:** 谱线只出现在基频整数倍的频率处。

16: **非周期信号包括: 准周期信号和瞬态信号。** ①**准周期信号**的特点是谱线离散, 并无法确定其基频 ω_0 和谐频 $n\omega_0$, 只有频率分量幅值大小而没有共同周期。②**瞬变信号:** 是除准周期信号以外的一切可以用时间函数描述的非周期信号。③**瞬变非周期信号**的时间函数为各种**脉冲函数、衰减函数**等。P182

17: **振动测试的目的** 是 (1) 检查机器运转时的振动特性, 检验产品质量, 为设计提供依据。(2) 考核机器设备承受振动和冲击的能力及对系统的动态响应特征进行测试。(3) 分析查明振动产生的原因, 寻找振源, 为减振和隔振措施提供资料。(4) 对工作机器进行故障监控, 避免重大事故发生。P188

18: **振动测试的内容** 是 (1) **振动参数的测试:** 对振动的位移, 幅值, 频率, 相位, 波形等参数的测定。(2) **物体结构参数的测试:** 对结构的固有频率, 阻尼, 刚性, 振型等参数的测定。

19: **按产生振动的原因** 可分为自由振动, 强迫振动和自激振动; **按振动系统结构参数特性** 可分为线性振动和非线性振动; **按振动的规律** 可分确定性振动和随机振动。

20: **振动的激励方式** 有 (1) 稳态正弦激励 (2) 随机激励 (3) 瞬态激励。

常用的瞬态激励方式是 ①快速正弦扫描激励②脉冲激励③阶跃激励。

21: **激励器** 是对被测对象施加某种预定要求的激励力, 从而激起被测对象振动的装置。**其包括:** 脉冲锤、电动式激励器、电磁式激励器。

电磁式激励器优点: 体积小、重量轻、激励力大的优点, 并且是非接触式。

22: **电动式激励器按其磁场形成的方法是永磁式和励磁式。**前者多用于小型激励器, 后者用于较大型的激励器。**它主要用于对被测对象作绝对激励。**

23: **振动测试的方法有: 电测法、机械法、光学法—**

24: **电测法测振系统** 有 (1) **压电式测振系统:** 它是利用压电式加速度传感器直接测得振动加速度的测振系统。(2) **磁电式测振系统:** 该系统用磁电式传感器把振动速度转换成电压, 经测振仪器进一步变换, 再由指示仪器指出其振动值或用记录仪记录出波形, 或直接由数据处理装置进行需要的数据处理。(3) **电参数测振系统:** 该系统采用电容式或电感式, 电阻应变式, 涡流式传感器把振动参数转换成电容或电感, 电阻, 电抗等电参数变化进行测振的系统。其优点是传感器大多数为非接触式, 且灵敏度较高, 适于微小振动的旋转体测振。

30: 机械系统受激励力后产生的响应, **决定于系统的动态特性(固有频率、振型、阻尼等)**, 可用**机械阻抗**: 频率域内激励力和响应之比描述系统的固有特性。

VII、①位移阻抗(动刚度) $Z_f(\omega) = F/x$, 位移导纳(动柔度) $Y_x(\omega) = x/F$; ②速度阻抗 $Z_v(\omega) = F/v$, 速度导纳(导纳) $Y_v(\omega) = v/F$; ③加速度阻抗(视在质量) $Z_a(\omega) = F/a$, 加速度导纳 $Y_a(\omega) = a/F$ 。

25: **机械阻抗的倒数称为机械导纳。振动相应** 有: **位移 x 、速度 v 、加速度 a** 三种。

26: **机械阻抗是复数**, 可写成幅值、相角或实部、虚部形式, 也可用幅、相特性或奈奎斯特图表示。

27: ①**分析振动对人体感受的影响** 时, 常用**速度阻抗**; ②**分析振动引起的结构疲劳损伤** 时, 常用**加速度阻抗**; ③**分析车辆振动、噪声** 时, 常用**速度导纳**。

28: **机械阻抗的测试**是在结构上施加激振力，用阻抗头测出力和响应，所以**机械阻抗只决定于系统本身**，与激振力性质无关。

29: **功率谱密度函数**用于工业设备工作状况的分析和故障诊断。

第十章 传感器在机电一体化系统中的应用

- 1: 工业机器人的准确操作**取决于**对其自身状态，操作对象及作业环境的准确认识。
- 2: 工业机器人**常用的位置传感器**有**接触式微动开关、精密电位计、或非接触式光电开关、电涡流传感器**。
- 3: **机器人上常用的位移**传感器有旋转变压器，差动变压器，感应同步器，电位计，光栅，磁栅，光电编码器。
- 4: **机器人**中使用**速度**传感器是实现机器人各关节的速度闭环控制。在用直流，交流伺服电动机作为机器人驱动元件时，一般采用**测速发电机**作为**速度的检测器**。
- 5: **三坐标测量机**由：机械部分、计算机和三坐标机系统软件部分、测量系统、测量头及附件**构成**。按其性质**分为机械式**测量系统，**光学式**测量系统和**电气式**测量系统。
- 6: **三坐标测量机的测量头按测量的方法分为接触式和非接触式**。
- 7: **公路交通通用传感器**目前国内采用的传感器有**电感式、橡皮管式、超声波式、雷达式及红外线式**。
- 8、在**大位移量**中，常用位移传感器有：**感应同步器、光栅、磁尺、容栅**等。
- 9、**爆震**：指燃烧室中应逐渐燃烧的部分混合气突然自爆的现象。**产生爆震的原因：点火时间过早**。
- 10、**目前使用的冷却液温度传感器是**：热敏电阻、**铁氧体热敏元件**。
- 11、**汽车机电一体化的中心内容**：是以微机为中心的自动控制系统取代原有纯机械控制部件，从而改善汽车的性能，增加汽车的功能，实现汽车降低油耗，减少排气污染，提高汽车行驶的安全性、可靠性、操作方便和舒适性。

第1章：概述

一、传感器的定义。DX，GN

工程中通常把直接作用于被测量，能按一定规律将其转换成同种或别种量值输出的器件称作传感器。

二、传感器的分类。DX，GN

- 1.物性型传感器：依靠敏感元件材料本身物理化学性质的变化来实现信号变换的传感器。属于物性型传感器有：光电式和压电式，如：电阻应变片，压电式加速度计，光电管等。
- 2.结构型传感器：依靠传感器结构参量的变化实现信号转换。属于结构型传感器的有：电感式，电容式，光栅式。如：电容传感器，涡流传感器，差动变压器式等。

五套

- 3.按照工作原理分类，固体图象式传感器属于（光电式传感器）

三、传感器的特性与主要性能指标。DX，GN，JS

- 1.静态指标：线性度，灵敏度，重复性等。
 - （1）线性度：指测量装置输出、输入之间保持常值比例关系的程度。
 - （2）灵敏度：输出的变换量与输入的变换量之比。
 - （3）重复性：指测量系统在输入量按同一方向做全量程连续多次测试时所得输入、输出特性曲线不重合程度。