



## 学习情境三 机电一体化检测系统设计

# 情境三 机电一体化检测系统设计

## 情境导入

传感器作为智能制造的新三基之一，在现代工业中无处不在，其作用为信息采集、状态监控，是控制的基础

## 情境剖析

### 知识目标

1. 了解机电一体化检测系统；
2. 熟悉检测系统的组成、特点及应用。

### 技能目标

1. 了解各类传感器的测试原理和具体应用；
2. 能够根据测量要求选择合适的传感器；
3. 能够设计典型机电一体化产品的检测系统。

# 目 录

## 子情境1 认识机电一体化检测系统

任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 子情境2 位移和位置测量

任务1 位移测量

任务2 位置测量

## 子情境3 速度与加速度检测

任务1 速度检测

任务2 加速度检测

## 子情境4 力、扭矩和流体压强检测

任务1 力和力矩的测量

任务2 流体压强检测

# 目 录

## 子情境5 温度检测

### 任务1 温度检测

## 子情境6 传感器信号的 处理

### 任务1 认识测量放大器 任务2 程控增益放大器 任务3 隔离放大器

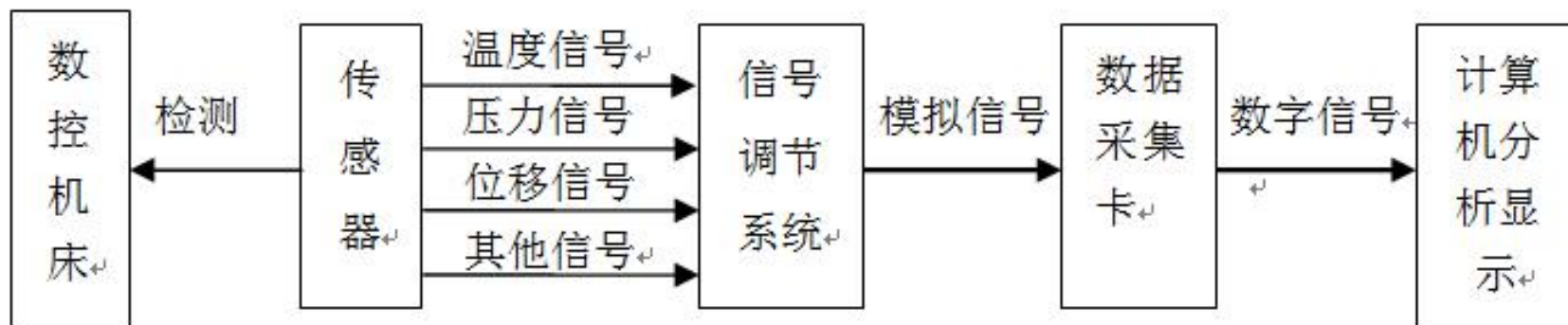
## 子情境7 传感器接口 技术

### 任务1 传感器接口技术

# 子情境1 认识机电一体化检测系统

## 体例1: 数控机床检测系统

传感器采集信号，输出给信号处理系统，通过数据采集卡，转换成数字量，最后通过计算机分析显示。

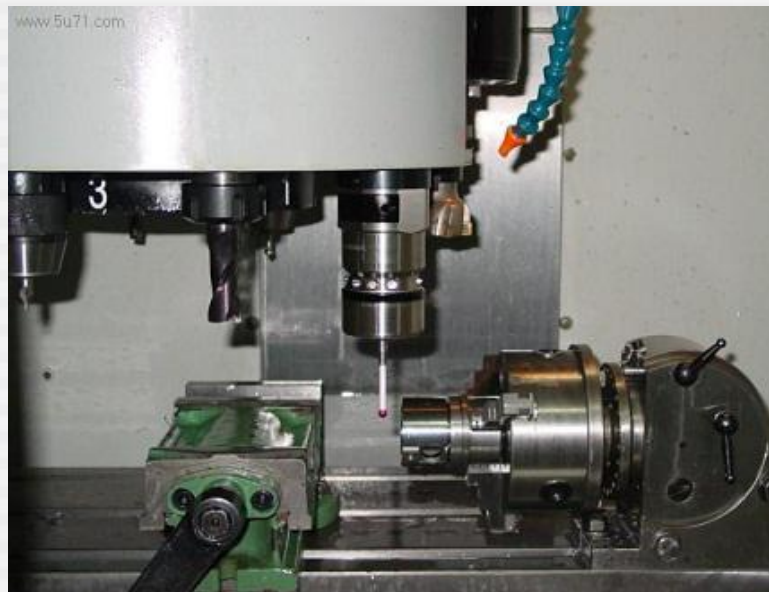


图体例 3. 1. 1 数控机床检测系统流程图



# 子情境1 认识机电一体化检测系统

数控机床检测系统实物图



系统名称	系统功能	系统组成	各组成部分功能
数控机床 检测系统	各种信号 检测 及分析显示	传感器	检测温度、压力、 位移等转换成电量
		信号调节系统	模拟信号转换
		数据采集系统	采集及A/D转换
		计算机	分析、显示

# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 任务资讯

检测系统主要由**传感器**和**信号处理系统**构成。传感器主要把各种非电量信息转换为电信号，信号处理系统对转换后的电信号进行测量，并进行放大、运算、转换、记录、指示、显示等处理。

传感器由敏感元件、转换元件和基本转换电路。

# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 1. 传感器的组成

- (1) 敏感元件：是一种能够将**被测量**转换成**易于测量**的物理量的预变换装置，其输入、输出间具有确定的数学关系(最好为线性)，如弹性敏感元件将力转换为位移或应变输出。
- (2) 传感元件：将敏感元件输出的**非电物理量**转换成**电信号**(如电阻、电感、电容等)形式。例如将温度转换成电阻变化，
- (3) 基本转换电路：将**电信号量**转换成便于测量的**电量**，如电压、电流、频率等。



图 3.1.2 传感器基本结构示意图



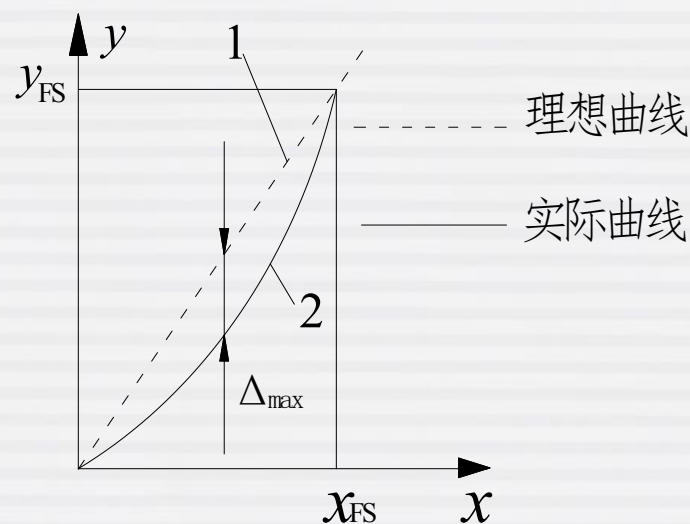
# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 2 传感器的基本特性：静态特性和动态特性

**传感器的静态特性**是指当被测量处于稳定状态下，传感器的输入与输出值之间的关系。主要技术指标有：线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

### (1) 线性度

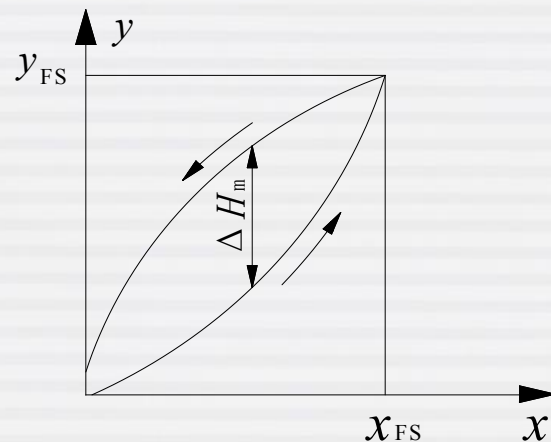
$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\%$$



## 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

(2) **灵敏度**。传感器在静态标准条件下，输出变化对输入变化的比值

$$S_0 = \frac{\text{输出量的变化量}}{\text{输入量的变化量}} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$



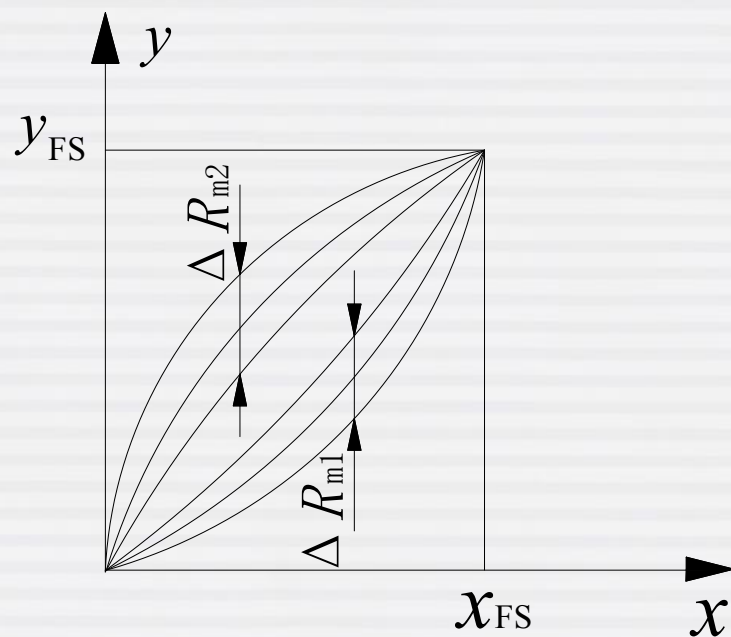
(3) **迟滞**。传感器在正、反行程中输出/输入特性曲线的不重合程度称为迟滞，

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_m}{y_{FS}} \times 100\% \quad \text{或} \quad \gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_m}{y_{FS}} \times 100\%$$

## 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

(4) **重复特性**。传感器在同一条件下,被测输入量按同一方向作全量程连续多次重复测量时,所得的输出/输入曲线不一致的程度,称为重复特性

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_m}{y_{FS}} \times 100\%$$



## 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

(5) **分辨力**。传感器能检测到的最小输入增量称为分辨力，在输入零点附近的分辨力称为阈值。分辨力与满度输入比的百分数表示称为分辨率。

(6) **漂移**。由于传感器内部因素或在外界干扰的情况下，传感器的输出发生的变化称为漂移。当输入状态为零时的漂移称为零点漂移。

(7) **精度**。精度表示测量结果和被测的“真值”的靠近程度。精度一般用校验或标定的方法来确定，此时“真值”则靠其他更精确的仪器或工作基准来给出。



# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 2 传感器的基本特性

传感器**动态特性**是指传感器测量动态信号时，输出对输入的响应特性。其性能指标可以通过**时域**、**频域**以及试验分析的方法确定，其动态特性参数如：最大超调量、上升时间、调整时间、频率响应范围、临界频率等。



# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 3. 传感器选择

### 1) 选择要求

- (1) 体积小、质量轻、配套性和适应性好。
- (2) 线性度高、灵敏度高、响应快、信噪比高、稳定性好。  
安全可靠、寿命长。
- (3) 传感器便于与二次仪表匹配组合。
- (4) 不易受被测对象的影响，也不影响其他单元的正常工作。
- (5) 对环境条件适应能力强（抗电场、磁场、辐射干扰等）。
- (6) 现场使用方便，操作性能好。
- (7) 动态特性好。
- (8) 价格便宜。

# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 2) 传感器的选择原则

- (1) 传感器的量程应大于测试信号最大值的1.2~1.5倍。
- (2) 传感器的固有频率应大于测试信号频率的5~10倍。
- (3) 传感器的准确度小于系统总不确定度的1/3倍。
- (4) 传感器的结构尺寸满足总体安装使用要求。
- (5) 传感器工作温度大于传感器测量温度的2倍。
- (6) 长期使用重复性误差小于 $\pm 0.02\%$ 。
- (7) 传感器安装使用方便，抗干扰性好，可靠性好。
- (8) 价格便宜。

# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 4. 信号传输与处理电路

主要考虑的问题：

(1) 传感器输出信号形式，模拟信号还是数字信号，电压还是电流。

模拟信号：幅值形式输出；数字信号：脉冲数量

(2) 传感器输出电路形式，单端输出还是差动输出。

(3) 传感器电路的输出能力，电压还是功率，输出阻抗的大小等。

(4) 传感器的特性，如线性度、信噪比、分辨率。

# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

## 5. 传感器的发展方向

### (1) 新型传感器的开发

#### 结构型向物性型转变

**结构型：**利用物理学中场的定律构成，如运动定律、电磁定律，以传感器中元件相对位置变化为基础，而不是以材料特性变化为基础。如电容式压力(位移)传感器（变间隙），应变电阻式传感器（应变片尺寸发生改变）。结构相对复杂，体积大

**物性型：**依据材料物理性能变化实现测量，例热敏传感器、光敏传感器、光纤，利用物质定律构成，如胡克定律等。所有半导体传感器以及利用各种环境变化引起的金属、陶瓷、合金等性能变换的传感器。

### (2) 传感器的集成化和多功能化

### (3) 传感器的智能化



# 任务1 了解检测系统在机电一体化中的应用

结构型还是物性型？ 掌握传感器的结构及工作原理

模拟式还是数字式？ 了解后续检测处理电路该如何设计





# 机电一体化检测系统设计

## 子情境2 位移和位置测量



# 任务1 位移测量

## 1.1 任务介绍：测量数控机床丝杠角位移

位置检测装置是数控机床的重要组成部分。在闭环、半闭环控制系统中，它的主要作用是检测位移和速度，并发出反馈信号，构成闭环或半闭环控制。

将旋转型检测装置（DWQT角度传感器）安装在驱动电机轴或滚珠丝杠上，通过检测转动件的角位移来间接测量机床工作台的直线位移，作为半闭环伺服系统的位置反馈用。优点是测量方便、无长度限制。



# 任务1 位移测量

## 1 旋转变压器（模拟式）

广泛应用于解算装置和高精度随动系统中及系统的装置电压调节和阻抗匹配等。

◆ 在解算装置中主要用来求解矢量或进行坐标转换、求反三角函数、进行加减乘除及函数的运算等等；

◆ 在随动系统中进行角度数据的传输或测量已知输入角的角度和或角度差；比例式旋转变压器则是匹配自控系统中的阻抗和调节电压。

# 任务1 位移测量

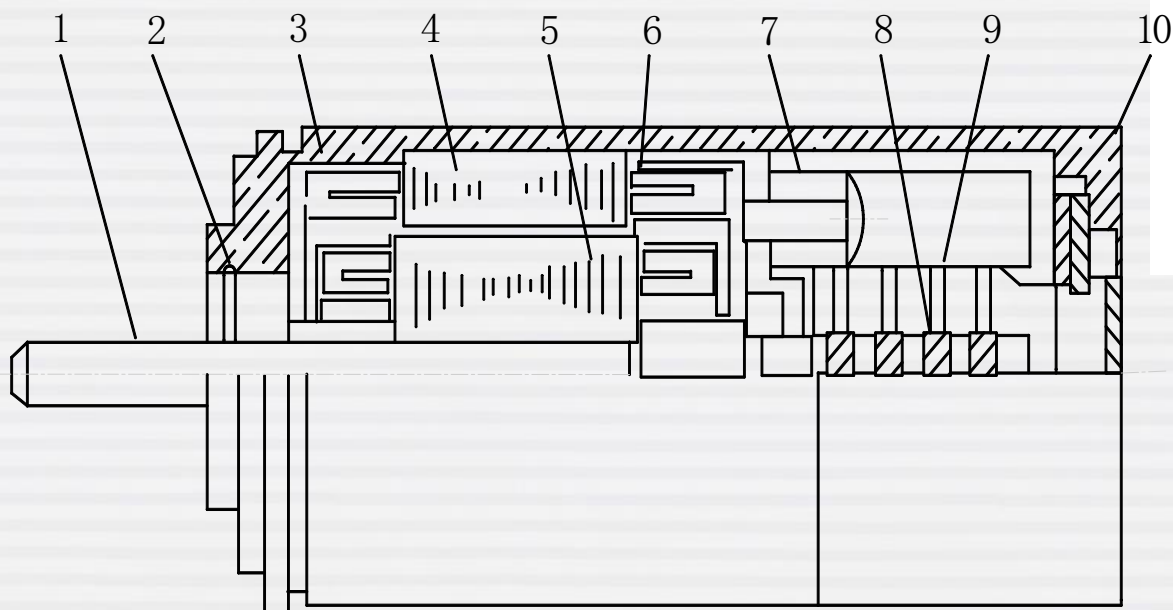


图3.2.2旋转变压器结构示意图

- 1—转轴； 2—挡圈； 3—机壳； 4—定子； 5—转子；  
6—波纹垫圈； 7—挡圈； 8—集电环； 9—电刷；  
10—接线柱

# 任务1 位移测量

## 2) 工作原理

旋转变压器在结构上由定子和转子组成。当以一定频率（通常为400Hz、500Hz、1000Hz及5000Hz等几种）的激磁电压加于定子绕组时，转子绕组的电压幅值与转子转角成正弦、余弦函数关系，或在一定转角范围内与转角成正比关系。前一种旋转变压器称为**正余弦旋转变压器**，适用于大角位移的绝对测量；后一种称为**线性旋转变压器**，适用于小角位移的相对测量。

当定子绕组中分别通以幅值和频率相同、相位相差为 $90^\circ$  的交变激磁电压时，便可在转子绕组中得到感应电势 $U_3$ ，根据线性叠加原理， $U_3$ 值为激磁电压 $U_1$ 和 $U_2$ 的感应电势之和，即：



# 任务1 位移测量

## 工作原理

$$U_1 = U_m \sin \omega t$$

$$U_2 = U_m \cos \omega t$$

$$U_3 = kU_1 \sin \theta + kU_2 \sin(90^\circ + \theta) = kU_m \cos(\omega t - \theta)$$

式中： $k=w_1/w_2$ ——旋转变压器的变压比

$w_1$ 、 $w_2$ ——转子、定子绕组的匝数

# 任务1 位移测量

## 3) 旋转变压器的使用原则

- (1) 旋转变压器应尽可能在接近空载的状态下工作。因此，负载阻抗应远大于旋转变压器的输出阻抗。两者的比值越大，输出电压的畸变就越小。
- (2) 使用时首先要准确地调准零位，否则会增大误差，降低精度。
- (3) 励磁一方只用一相绕组时，另一相绕组应该短路或接一个与励磁电源内阻相等的阻抗。
- (4) 励磁一方两相绕组同时励磁时，即只能采用二次侧补偿方式时，两相输出绕组的负载阻抗应尽可能相等。

# 任务1 位移测量

## 2 感应同步器（模拟式）

感应同步器（Inductosyn），是一种将角位移或线位移变换为电信号的高精度测量元件。

原理上和多级旋转变压器一样，结构上运动部分和静止部分，均采用了印制绕组。



# 任务1 位移测量

## 直线感应同步器的结构及安装

直线式感应同步器如图3.2.3所示。它由定尺和滑尺组成，用于检测直线位移。定尺和滑尺的基板通常采用厚度约为10mm的钢板，基板上敷有约0.1mm厚的绝缘层，并粘压一层约0.06mm厚的铜箔，采用与制造印制电路板相同的工艺做出感应同步器的印制绕组。为防止绕组损坏，在绕组表面再喷涂一层绝缘漆。

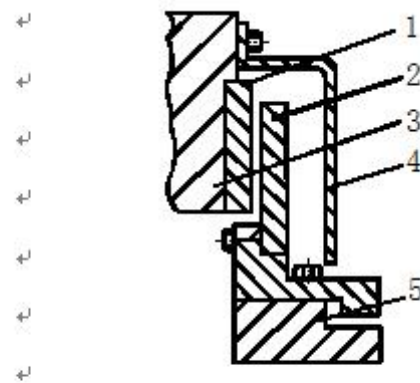
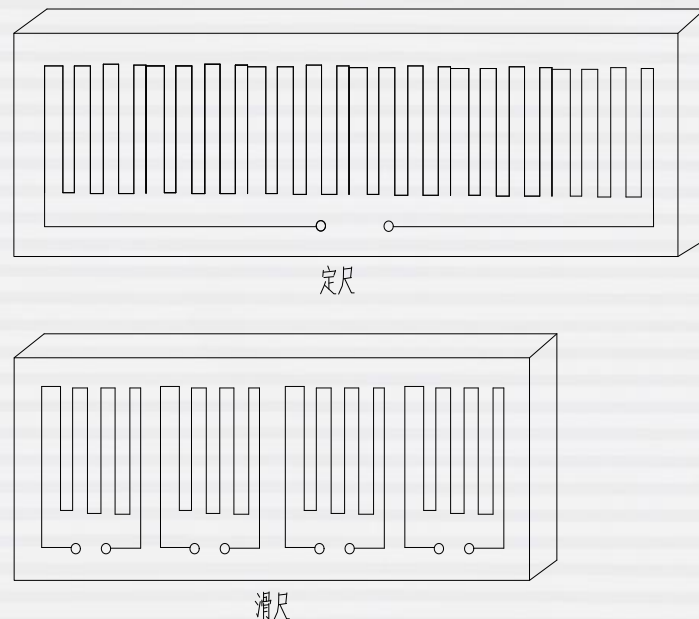


图 3.2.5 直线感应同步器安装示意图

1-定尺； 2-滑尺； 3-静止部件； 4-保护罩； 5-运动部件



# 任务1 位移测量

## 2) 特点

- (1) 具有较高的精度和分辨率。
- (2) 抗干扰能力强。
- (3) 使用寿命长、维护简单。
- (4) 可以作长距离位移测量 。
- (5) 工艺性好、成本较低、便于复制和成批生产。





# 任务1 位移测量

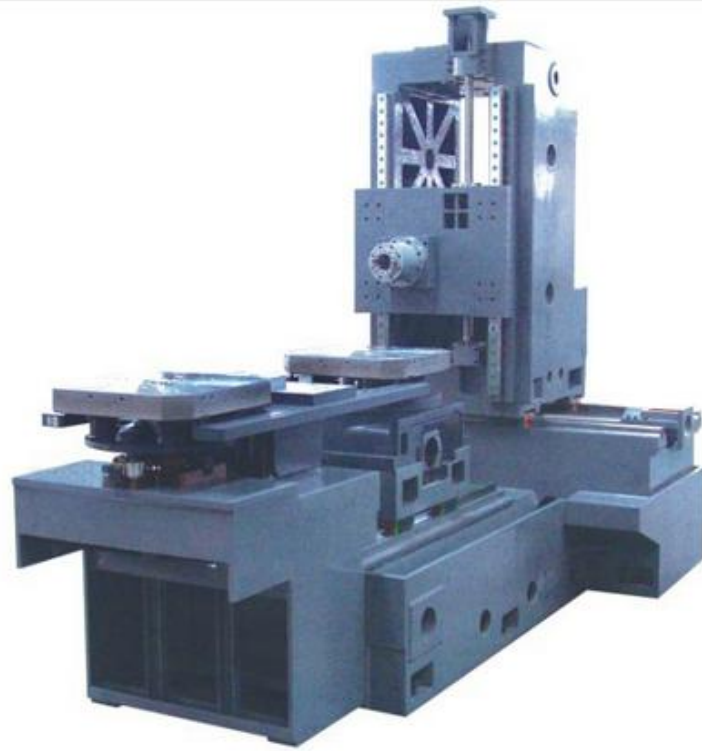
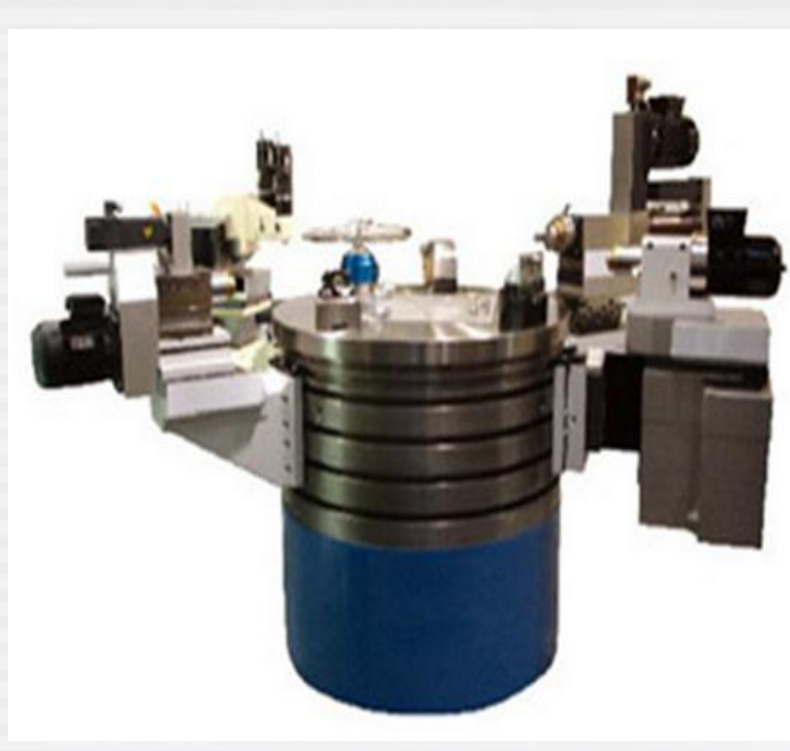
## 3) 感应同步器的种类

- (1) 被测量性质：直线和旋转感应同步器
- (2) 极对数：180，360，720，1024，2000
- (3) 结构形式：组装式和分装式
- (4) 通道数量：单通道、双通道
- (5) 激磁方式：单相和两相

# 任务1 位移测量

## 4) 主要用途

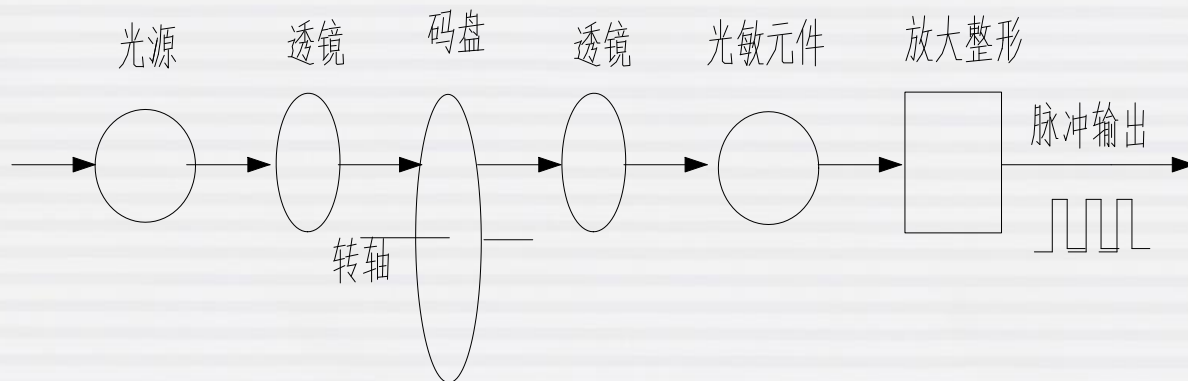
作为测量元件：精密机床数字显示、数控机床闭环伺服、射击控制、雷达天线定位等高精度跟踪系统应用广泛。



# 任务1 位移测量

## 3 编码器（数字式）

光电编码器是一种通过光电转换将输出轴上的机械几何位移量转化成脉冲或数字量的传感器，其分辨率高、精度高、结构简单、体积小、使用可靠等优点使其在数控机床、机器人、高精度闭环调速系统、伺服系统等领域中得到了广泛的应用。





# 任务1 位移测量

## 1) 编码器的分类及结构

- a. 增量式编码器
- b. 绝对式编码器
- c. 混合式绝对值编码器

# 任务1 位移测量

## 2 ) 典型应用

(1) 已知增量式光电编码器的参数和大、小皮带轮的传动比，若希望当加工好一个元件后紧接着加工另一元件，可计算出编码器给出多少脉冲数时，电动机停转，从而加工工件。如图3.2.6所示。

(2) 角编码器与旋转刀库连接，编码器的输出为当前的刀具号，如图3.2.7所示。

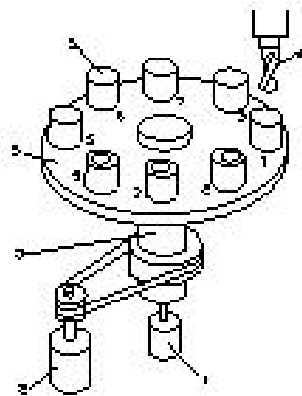


图 3.2.6 编码器用于定位加工图



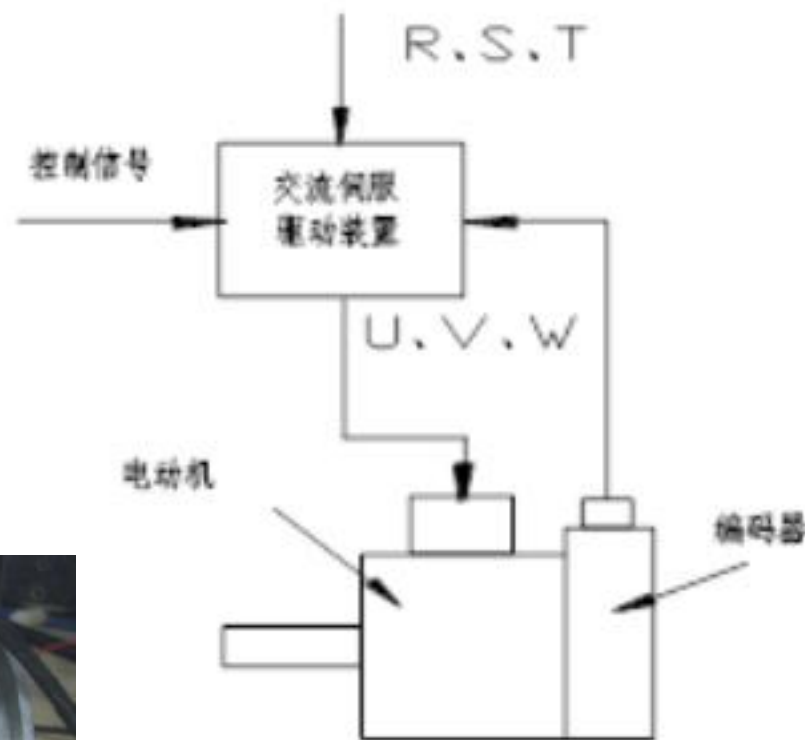
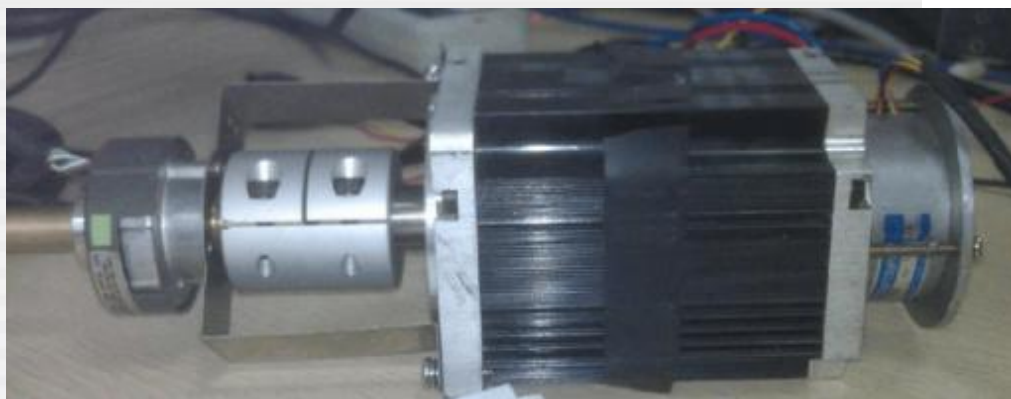
3.2.7 编码器用于刀库选刀控制图



# 任务1 位移测量

## 2 ) 典型应用

(3) 利用编码器测量伺服电机的转速，并通过伺服控制系统控制其各种运行参数，如图3.2.8所示。



3.2.8 编码器用于伺服电机

# 任务1 位移测量

## 4 光栅式传感器（数字式）

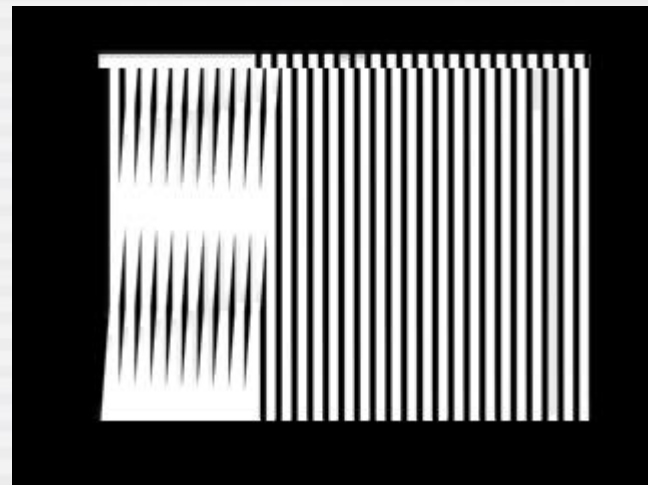
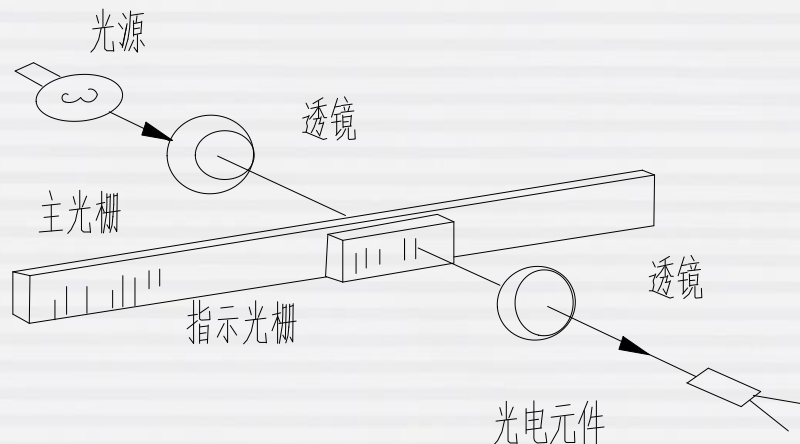
### 1) 光栅式传感器结构

是在**玻璃或金属基体**上，通过**照相腐蚀或激光刻线**，均匀刻画出**等节距的平行的**透光缝隙和不透光线纹。线纹间距—**栅距**，单位长度上的线纹数目—**线纹密度**

由光源、透镜、光栅副（主光栅和指示光栅）和光电接收元件组成。

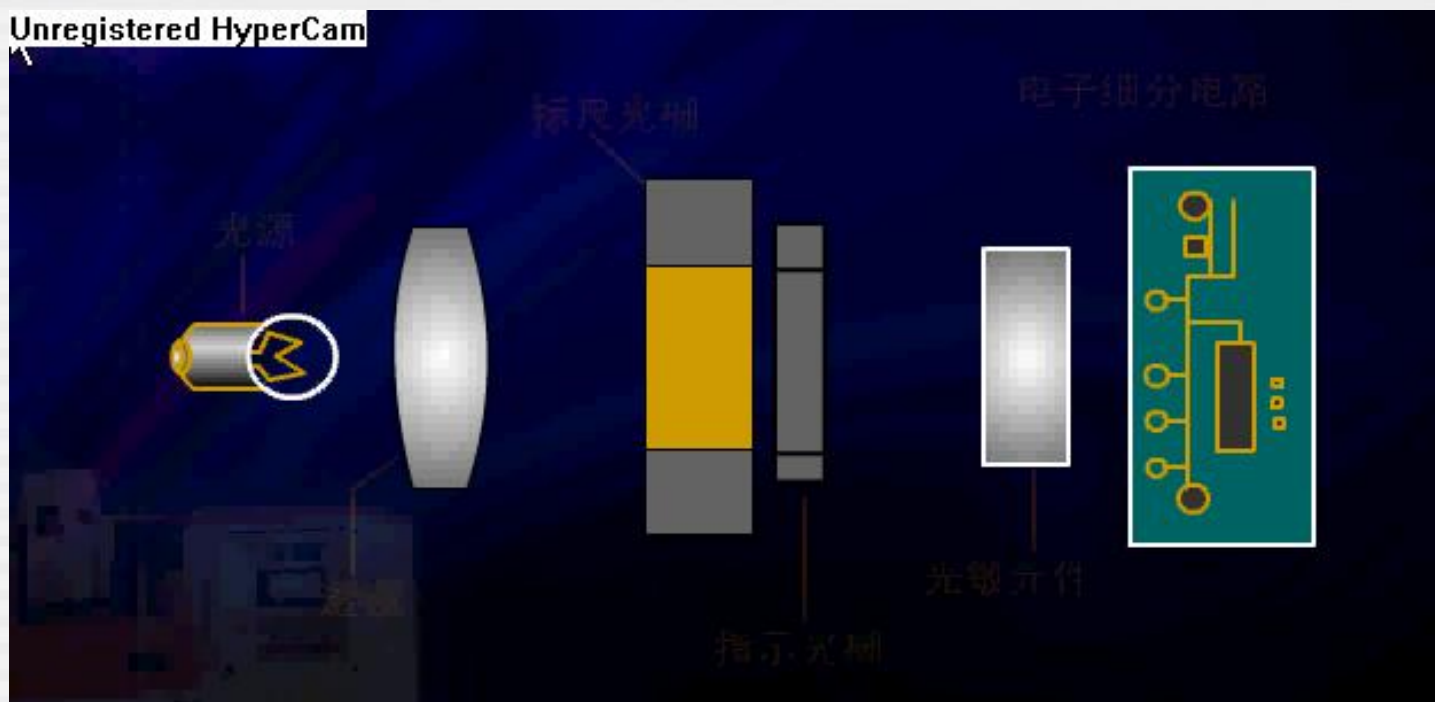
**光源**：钨丝灯泡；半导体发光器件。

**光电元件**：光电池；光敏二极管。



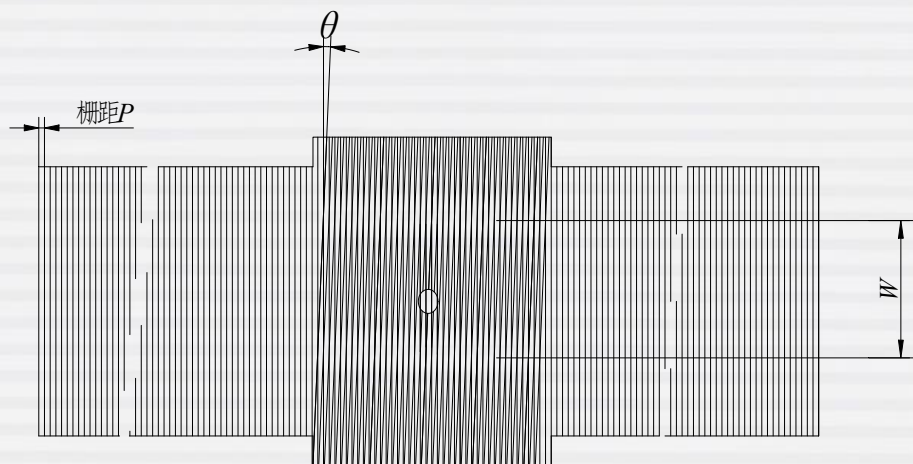
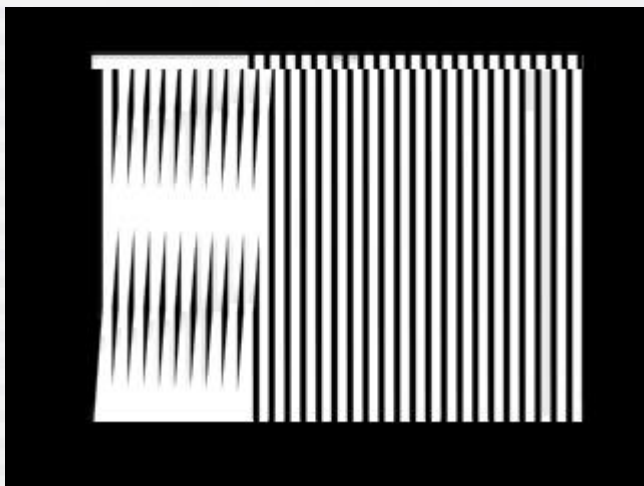
# 任务1 位移测量

标尺光栅安装在机床活动部件上（工作台或丝杠）  
指示光栅安装在机床固定部件上（机床底座）



# 任务1 位移测量

2) 光栅的工作原理：莫尔条纹的工作原理  
两光栅间夹角 $\theta$ ，栅距 $P$ ，莫尔条纹宽度 $W$



$$W = \frac{P}{\theta}$$

# 任务1 位移测量

## 莫尔条纹的特征

### (1) 放大效应

$$W = \frac{P}{\theta}$$

### (2) 平均效应

### (3) 正弦变化规律

莫尔条纹的光强度近似正弦曲线，光电元件中产生近似按正弦规律变化的电流（电压）

### (4) 一一对应规律

莫尔条纹的移动与光栅的移动成比例



# 任务1 位移测量

## 3) 光栅式位移传感器的应用

机床与加工中心以及测量仪器等方面，可用作直线位移或者角位移的检测。其测量输出的信号为**数字脉冲**，具有检测范围大，检测精度高，响应速度快的特点。



# 任务1 位移测量

## 4) 光栅的种类

### (1) 按光栅的原理和用途分

分为物理光栅和计量光栅

**物理光栅**（衍射光栅）：利用光的衍射现象，主要用于光谱分析和光波长测量，刻线细密，栅距较小，线纹密度为200~500条/mm，栅距为0.002~0.005mm

**计量光栅**：利用莫尔效应，测量位移、速度、加速度等，刻线较粗，线纹密度有25条/mm、50条/mm、100条/mm、250条/mm，栅距为0.004~0.25mm；读数速率从每秒零次到数十万次，非常适用于**动态测量**

# 任务1 位移测量

## (2) 按光栅形状分

分为**长光栅**和**圆光栅**

**长光栅**：用于长度或直线位移测量，刻线平行，线纹密度有25条/mm、50条/mm、100条/mm、250条/mm，栅距为0.004~0.25mm；

**圆光栅**：用于角度或角位移测量，在玻璃圆盘的外环端面上做出黑白相间的条纹，条纹呈均匀辐射状，条纹间夹角（栅距角）相等。

**圆光栅有三种形式：**

**二进制**（圆周内的线纹数目512、1024、2048等）

**十进制**（圆周内的线纹数目1000、2500、5000等）

**六十进制**（圆周内的线纹数目10800、21600、64800等）

# 任务1 位移测量

## (3) 按光栅制作材料分

分为**玻璃光栅**和**金属反射光栅**

**玻璃光栅**：在玻璃表面上用真空镀膜法镀一层金属膜，再涂上一层感光材料，用照相腐蚀法（或刻蜡、化学腐蚀、涂黑工艺）制成透明与不透明间隔相等的条纹。

线纹密度较大，有100条/mm、125条/mm、250条/mm。

**金属光栅**：在钢尺或不锈钢的镜面上用照相腐蚀法（或钻石刀刻画）制成光栅线纹。线纹密度有4条/mm、10条/mm、25条/mm、40条/mm、50条/mm；分辨率比玻璃光栅低

# 任务1 位移测量

(4) 按光源照射方式分 分为**投射光栅**和**反射光栅**

**投射光栅：**玻璃光栅

**优点：**光源垂直入射，信号幅值大、信噪比高，光电转换器结构简单；线纹密度较大，减轻了电子线路的负担

**缺点：**玻璃易碎，线胀系数与机床金属部件不一致，影响测量精度。长度在1~2米，线纹密度有4条/mm、10条/mm、25条/mm、50条/mm、100条/mm、200条/mm、250条/mm。

**反射光栅：**金属光栅

**优点：**线胀系数与机床金属部件一致，测量精度高；可接长或做成长达数米的长光栅；标尺光栅的安装面积小，调整方便，适于大位移测量；不易破碎

**缺点：**为使反射后的莫尔条纹反差大，每毫米线纹数不宜过多，线纹密度有4条/mm、10条/mm、25条/mm、40条/mm、50条/mm。



# 任务1 位移测量

光栅精度可达微米级，通过电子细分电路可达 $0.1\mu\text{m}$ ，甚至 $0.025\mu\text{m}$ 。莫尔条纹是由若干个光栅线纹干涉形成，故栅距误差具有平均效应。

表 4.3 几种计量光栅的精度

计 量 光 栅		光栅长度(直径)	线纹数	精度
长光栅	玻璃透射光栅	500 mm	100/mm	$5\ \mu\text{m}$
		1 000 mm		$10\ \mu\text{m}$
		1 100 mm		$10\ \mu\text{m}$
		1 100 mm		$3\sim5\ \mu\text{m}$
		500 mm		$2\sim3\ \mu\text{m}$
	金属反射光栅	1 220 mm	100/mm	$13\ \mu\text{m}$
		500 mm	100/mm	$7\ \mu\text{m}$
	高精度金属反射光栅	1 000 mm	100/mm	$7.5\ \mu\text{m}$
	玻璃衍射光栅	300 mm	100/mm	$\pm 1.5\ \mu\text{m}$
圆光栅	玻璃圆光栅	$\phi 270\ \text{mm}$	$10\ 800/2\pi$	$3''$

# 任务1 位移测量

## 5 光电传感器（数字式）

### 1) 结构

通过把光强度的变化转换成电信号的变化来实现控制。

由三部分构成：**发送器、接收器和检测电路**。

**发送器**对准目标发射光束，发射的光束一般来源于半导体光源，发光二极管(LED)、激光二极管及红外发射二极管。光束不间断地发射，或者改变脉冲宽度。

**接收器**由光电二极管、光电三极管、光电池组成。在接收器的前面，装有光学元件如透镜和光圈等。在其后面是**检测电路**，它能滤出有效信号和应用该信号。此外，光电开关的结构元件中还有发射板和光导纤维。

# 任务1 位移测量

## 5 光电传感器

### 2) 特点

元件类型	优点	缺点
光敏电阻	价格低廉，输出电流大、受温度的影响小，抗干扰能力强，可靠性高。	响应速度慢
光敏二极管、 光敏晶体管	灵敏度高，响应时间快。 不同型号的管子对光谱响应有很大不同。	受温度影响比较大，受光面小，而且有非常强的方向性，抗干扰能力弱。
光电池	受光面积大，输出电流小，灵敏度高，响应速度快，光谱比较宽，受温度影响小，抗干扰能力强。	

应用特点：

①检测距离长。②对检测物体的限制少。③响应时间短。④分辨率高。⑤可实现非接触检测。⑥可实现颜色判别。⑦便于调整。

# 任务1 位移测量

## 3) 光电式转速传感器测速原理

是一种**角位移传感器**，由装在被测轴(或与被测轴相连接的输入轴)上的带缝隙圆盘、光源、光电器件和指示缝隙盘组成。光源发生的光通过缝隙圆盘和指示缝隙照射到光电器件上。当缝隙圆盘随被测轴转动时，由于圆盘上的缝隙间距与指示缝隙的间距相同，因此圆盘每转一周，光电器件输出与圆盘缝隙数相等的电脉冲，根据测量单位时间内的脉冲数 $N$ ，则可测出转速为：

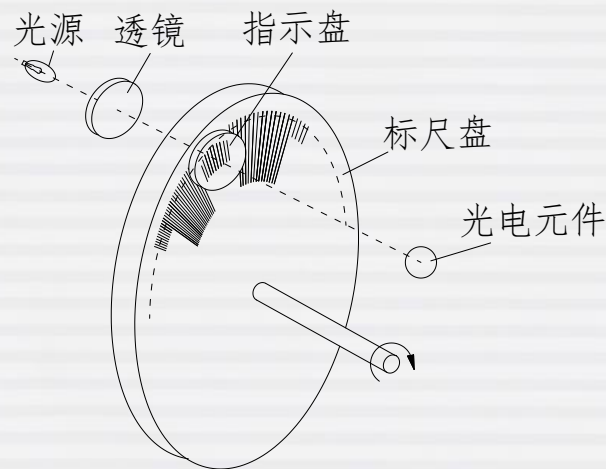
式中：

$$n = \frac{60N}{Zt}$$

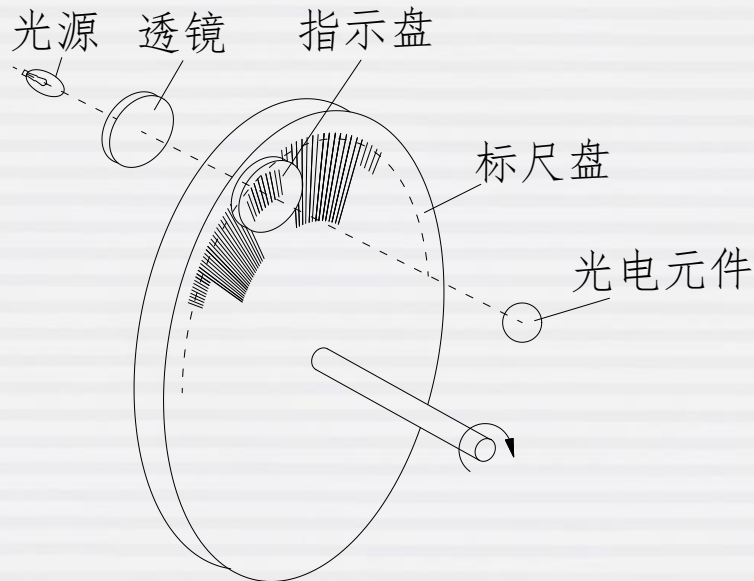
$Z$ ——圆盘上的缝隙数；

$n$ ——转速 (r/min) ；

$t$ ——测量时间 (s) 。



# 任务1 位移测量



一般取  $Z_t = 60 \times 10^m$  ( $m=0, 1, 2, \dots$ )。利用指示盘和标尺盘缝隙间距 $W$ 相同。设置相差 $(i/2+1/4)W$  ( $i=0, 1, 2, \dots$ )的指示缝隙和两个光电器件，可辨别出圆盘的旋转方向。



# 任务1 位移测量

## 1.4 设计方案

任务：测量数控机床丝杠角位移（根据检测要求的精度选择不同精度的传感器）

传感器的精度如下表所示：

传感器	旋转变压器	感应同步器		编码器	光栅传感器		光电式转速传感器
精度	$\pm 2.5^{\circ}$	直线感应同步器	圆感应同步器	$\pm 0.4''$	直线光栅	圆光栅	测量误差更小，精度更高
		$\pm 1.5\mu\text{m}$	$\pm 0.1^{\circ}$		$\pm 1\mu\text{m}$	$\pm 0.5''$	



# 任务1 位移测量

## 任务分析

因为角度和直线位移是能够相互转换的，丝杠转过的角度和螺母的直线位移一一对应，所以角度和直线位移的测量也能够转换。因而可以设计两种方案，一种是**直接测定法**，另一种是**间接测定法**。

**直接测定法：**旋转变压器、圆感应同步器、编码器等测量

**间接测定法：**直线感应同步器、直线光栅



# 任务1 位移测量

## 子任务1 数控机床丝杠角位移（要求测量精度能够达到 $\pm 2.5^\circ$ ）

由表3.2.2可知，在要求的测量精度下，可选用的传感器的种类很多，这时就要考虑经济问题，因此可选用旋转变压器作为测量数控机床丝杠角位移的传感器。



# 任务1 位移测量

## 子任务2

数控机床丝杠角位移（要求测量精度能够达到 $0.352^\circ$ ）

## 子任务3

数控机床丝杠角位移（要求测量精度高）



## 任务2 位置测量

### 2.1 任务介绍：在机械加工中确定螺纹进刀位置

在机械加工中，无论是内螺纹还是外螺纹，数控机床都不能一次完成，需要重复切削才能够完成。所以在整个加工过程中**必须保证每次重复切削时，进刀的位置必须相同**，才不会出现乱扣的现象发生，这就要求数控机床的检测系统必须能够**测量进刀位置**。





## 任务2 位置测量

### 2.2 任务分析

确定数控机床的进刀位置，则要求检测系统中存在位置传感器，测量位置的传感器主要有霍尔传感器，以及编码器，光栅传感器等。



## 任务2 位置测量

### 2.3 知识资讯

霍尔传感器是一种**磁传感器**。可以检测磁场及其变化，可在各种与磁场有关的场合中使用。

霍尔传感器以**霍尔效应**为工作基础，由霍尔元件和它的附属电路组成的集成传感器。

在工业生产、交通运输和日常生活中有着非常广泛的应用。

## 任务2 位置测量

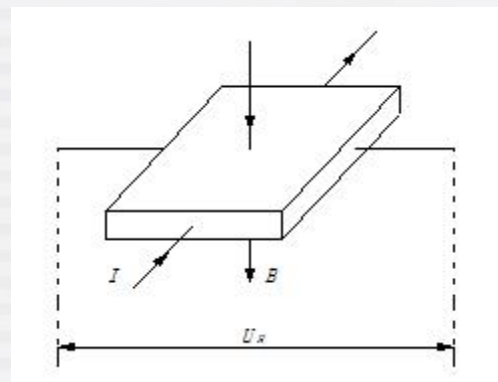
### 1) 工作原理—霍尔效应

在半导体薄片两端通以控制电流 $I$ ，并在薄片的垂直方向施加磁感应强度为 $B$ 的匀强磁场，则在垂直于电流和磁场的方向上，产生电势差为 $U_H$ 的霍尔电压，它们之间的关系为：

$$U_H = k \frac{IB}{d}$$

式中， $d$  为薄片的厚度， $k$ 为霍尔系数，它的大小与薄片的材料有关。

上述效应称为霍尔效应，它是德国物理学家霍尔于1879年研究载流导体在磁场中受力的性质时发现的。





## 任务2 位置测量

### 霍尔元件

根据霍尔效应，用半导体材料制成的元件叫霍尔元件。它具有对磁场敏感、结构简单、体积小、频率响应宽、输出电压变化大和使用寿命长等优点，因此，在测量、自动化、计算机和信息技术等领域得到广泛的应用。

## 任务2 位置测量

### 霍尔传感器的结构

由于霍尔元件产生的电势差很小，故通常将霍尔元件与放大器电路、温度补偿电路及稳压电源电路等集成在一个芯片上，称之为霍尔传感器。

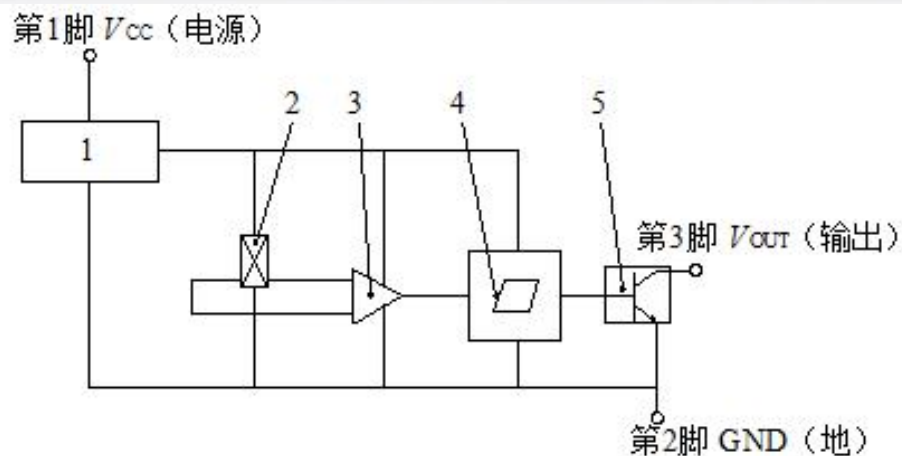


图 3.2.15 霍尔传感器的结构

1—稳压器；2—霍尔片；3—差分放大器；  
4—斯密特触发器；5—输出级

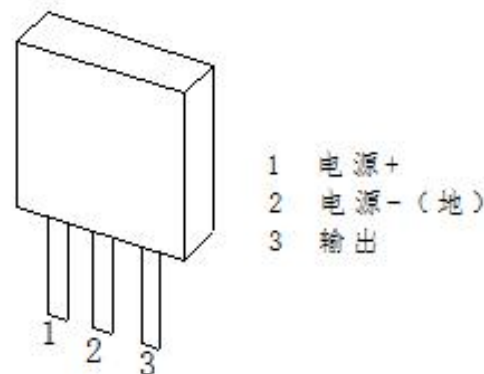


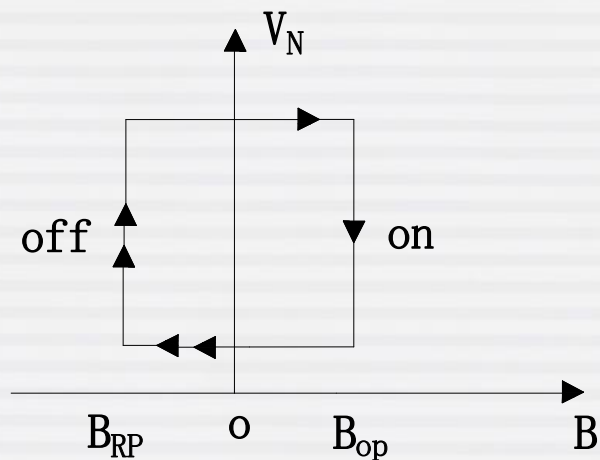
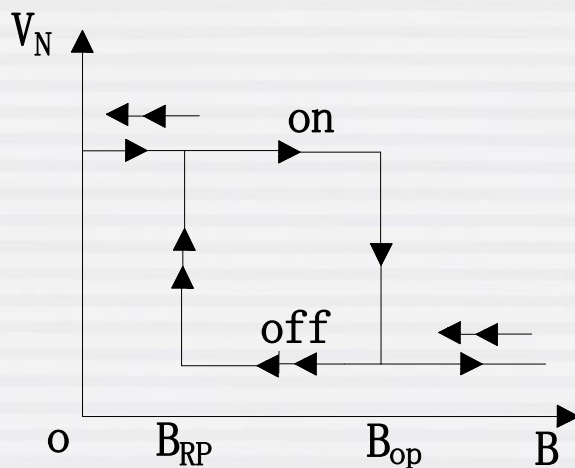
图 3.2.16 霍尔传感器外形



## 任务2 位置测量

### 霍尔传感器的输出特性

当外加的磁感应强度超过导通阈值 $B_{Op}$ 时，传感器输出低电平，当磁感应强度降到 $B_{Op}$ 以下时，传感器输出电平不变，一直要降低到 $B_{RP}$ 时，传感器才由低电平跃变为高电平。 $B_{Op} - B_{RP} = B_H$ 称为回差，回差使霍尔传感器抗干扰能力显著增强，使开关动作更为可靠。

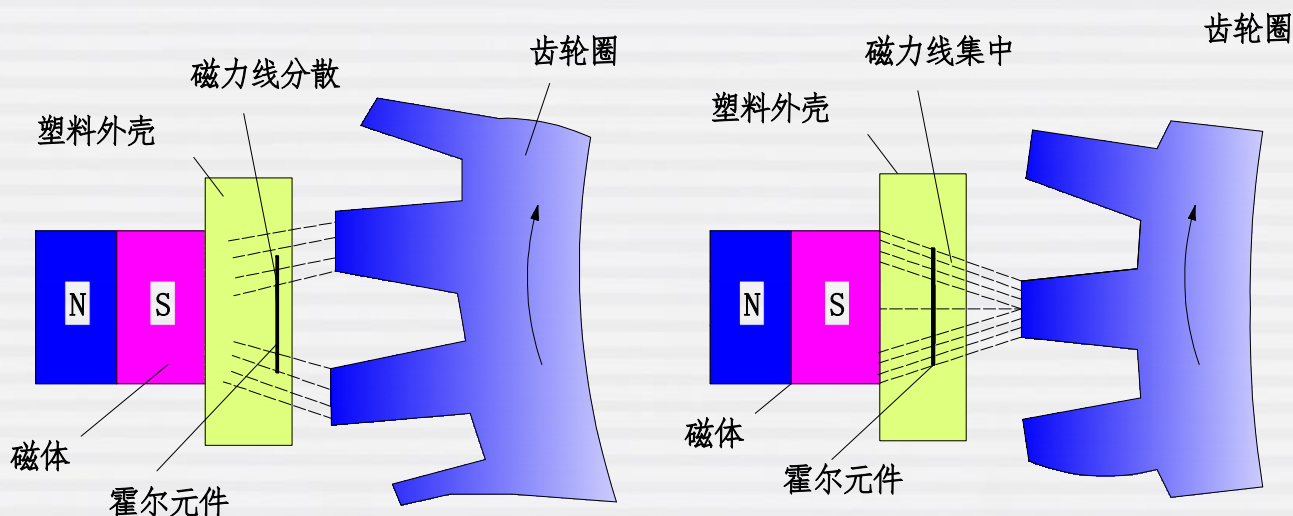


# 任务2 位置测量

## 霍尔传感器应用

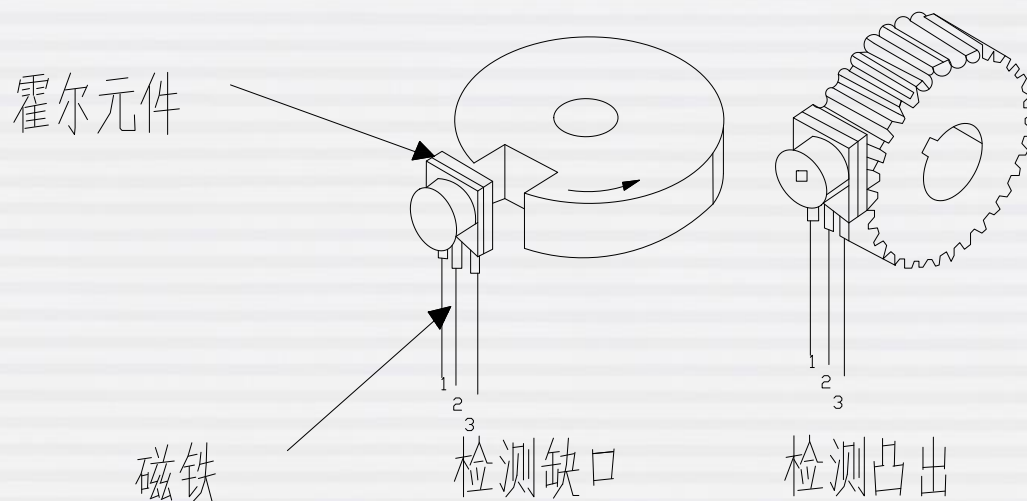
### (1) 霍尔转速表

齿对准霍尔元件时，磁力线集中穿过霍尔元件，可产生较大的霍尔电动势，放大、整形后输出高电平；反之，当齿轮的空挡对准霍尔元件时，输出为低电平。



## 任务2 位置测量

只要黑色金属旋转体的表面存在缺口或突起，就可产生磁场强度的脉动，从而引起霍尔电势的变化，产生转速信号。





## 任务2 位置测量

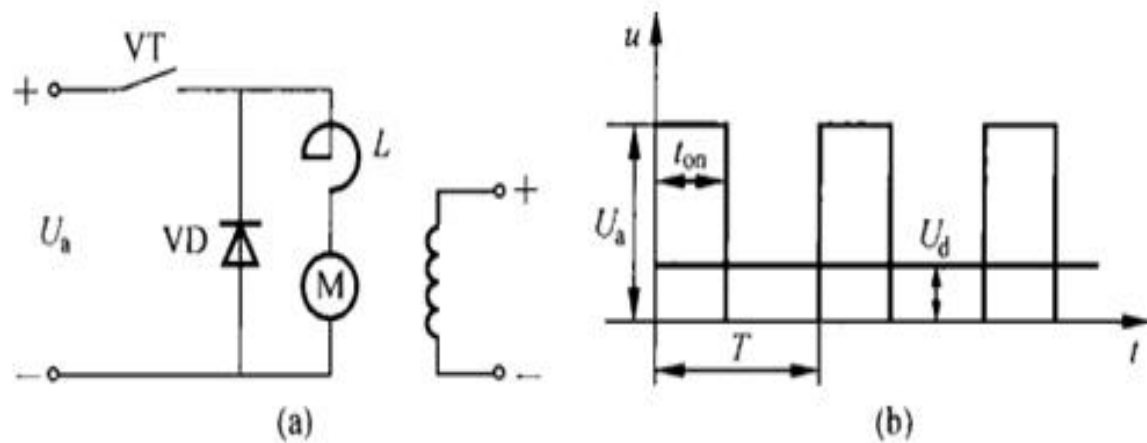
### 霍尔传感器应用

#### (2) 霍尔无刷电动机

霍尔式无刷电动机取消了换向器和电刷，而采用霍尔元件来检测转子和定子之间的相对位置，其输出信号经放大、整形后触发电子线路，从而控制电枢电流的换向，维持电动机的正常运转。

## 任务2 位置测量

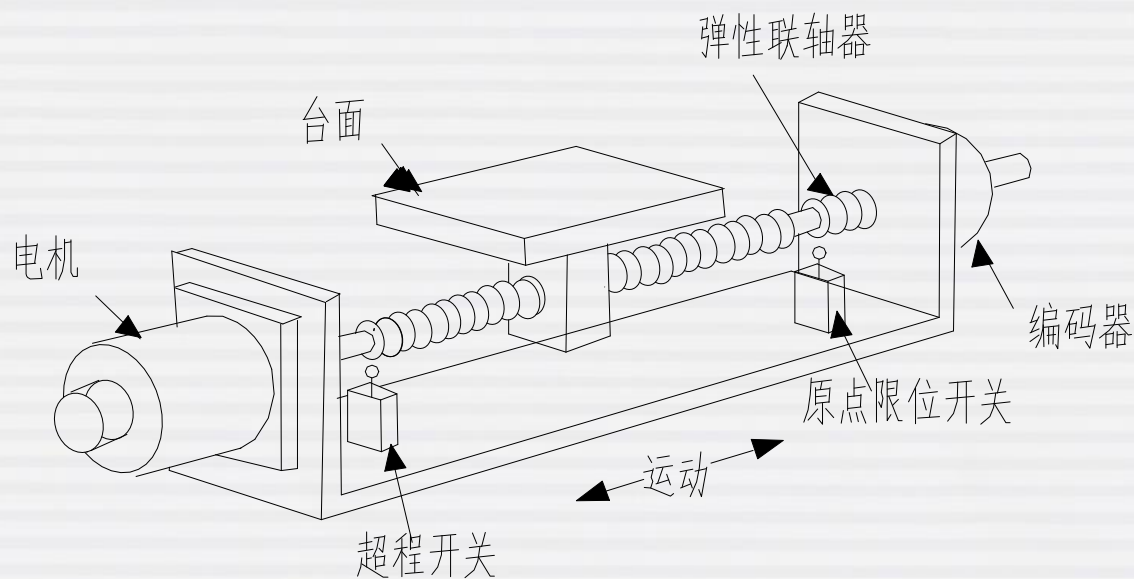
无刷直流电动机的外转子采用高性能钕铁硼稀土永磁材料；三个霍尔位置传感器产生六个状态编码信号，控制逆变桥各功率管VT通断，使三相（三相交流电整流）内定子线圈与外转子之间产生连续转矩，具有效率高、无火花、可靠性强等特点。





# 同步训练：应用光电编码器进行定位控制

编码器应用于运动控制时，PLC、CNC或运动控制器常常向定位系统的各个轴发出一系列的运动指令，使其在执行每项任务前回到相同的原点位置。本体例是一个典型的自动参考和间隙补偿序列，其目的是通过使用编码器标记脉冲建立零位。





# 机电一体化检测系统设计

## 子情境3 速度、加速度检测



# 任务1 速度检测

## 1.1 任务介绍

测量电动机轴转速

## 1.2 任务分析

电动机轴转速的测量可以采用间接测试法，即通过测量电动机轴的转角，除以所用时间，可以获得电动机轴的转速；也可以进行直接测试，即选用速度传感器检测电动机轴的转速。

# 任务1 速度检测

## 1.3 知识资讯

测速发电机按输出信号的形式，分为交流测速发电机和直流测速发电机两大类。

交流测速电机：同步测速电机和异步测速电机两种。

直流测速电机具有输出电压斜率大，没有剩余电压及相位误差，温度补偿容易实现等优点。

交流测速电机优点：不需要电刷和换向器，不产生无线电干扰火花，结构简单，运行可靠，转动惯量小，摩擦阻力小，正、反转电压对称。输出电压虽然也与转速成正比，但输出电压的频率也随转速而变化，所以只作指示元件用。

给信号的检测带来困难



# 任务1 速度检测

## 1.3 知识资讯

直流测速电机输出**不受负载性质**的影响，也不存在**相角误差**，应用较广泛，在自动控制系统和计算装置中可以作为**测速元件、校正元件、解算元件和角加速度信号元件**，可以测量各种机械在有限范围内的摆动或非常缓慢的转速，并可代替测速计直接测量转速。



# 任务1 速度检测

## 1. 直流测速机的类型

根据定子磁极激磁方式的不同，分为**电磁式**和**永磁式**两种。

以电枢的结构不同来分，**无槽电枢**、**有槽电枢**、**空心杯电枢**和**圆盘电枢**等。近年来，又出现了永磁式直线测速机。现在常用的为永磁式测速机。





# 任务1 速度检测

## 1. 直流测速机的特点

名称	特点	应用场合
ZYS直流测速发电机	使用简单、精度高、重量轻、体积小。	测量旋转体的转速，也可作速度信号的传送器，在自动调节系统中作测速反馈元件用
CYB系列带温度补偿永磁直流测试发电机	具有较高的精度，结构简单、耦合刚度好、分辨率高等的特点。	可以作伺服系统和数控装置的速度控制，控制系统中的阻尼及普通的速度指示。
CYD型永磁式低速直流测速发电机	结构简单、耦合度好、灵敏度高、输出比电势高、反应快、线性误差小、可靠性好	应用于各种速度和位置控制系统中，是测速、校正、解元的重要元件之一。多用于高精度低速伺服系统中的阻尼反馈元件，及解算装置的计算元件。
CYH系列直流测速机	环形结构，结构简单。	可与各种规格直流伺服电动机同轴安装作为速度检测元件，为系统提供相应的反馈信号，实现闭环、半闭环控制，使直流伺服电动机具有很宽的无级调速比。
CY型永磁式直流测速发电机	封闭自冷式，输出电压正比于电枢转速，连续工作制。	自动控制系统中作为测速、反馈和阻尼等元件。

# 任务1 速度检测

## 2 工作原理

测速机的结构有多种，但原理基本相同。图3.3.2所示为永磁式测速机的原理图。恒定磁通由定子产生，当转子在磁场中旋转时，电枢绕组中即产生交变的电势，经换向器和电刷转换成与转子速度成正比的直流电势。

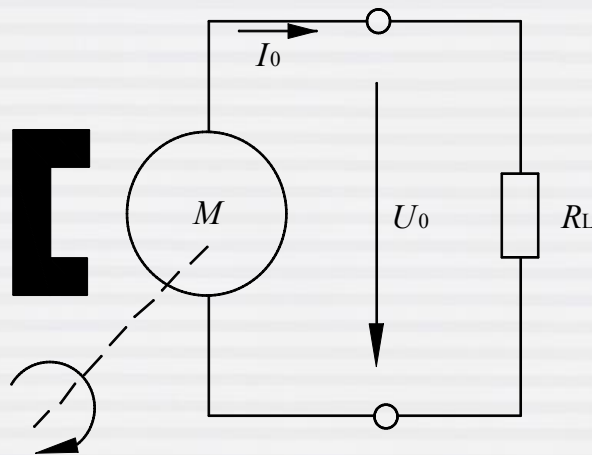


图3.3.2永磁式测速机的原理图

# 任务1 速度检测

从直流测速机的输出特性曲线可以看出，当负载电阻 $R_L \rightarrow \infty$ 时，其输出电压 $U$ 与转速 $n$ 成正比。随着负载电阻 $R_L$ 变小，其输出电压下降，而且输出电压与转速之间并不能严格保持线性关系。由此可见，对于要求精度比较高的直流测速机，除采取其他措施外，负载电阻 $R_L$ 应尽量大。

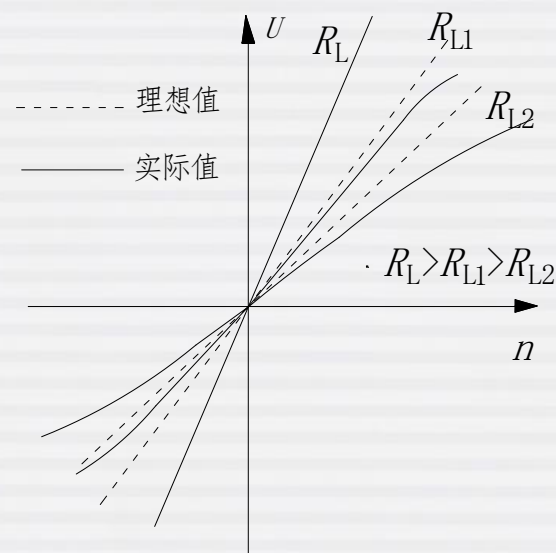
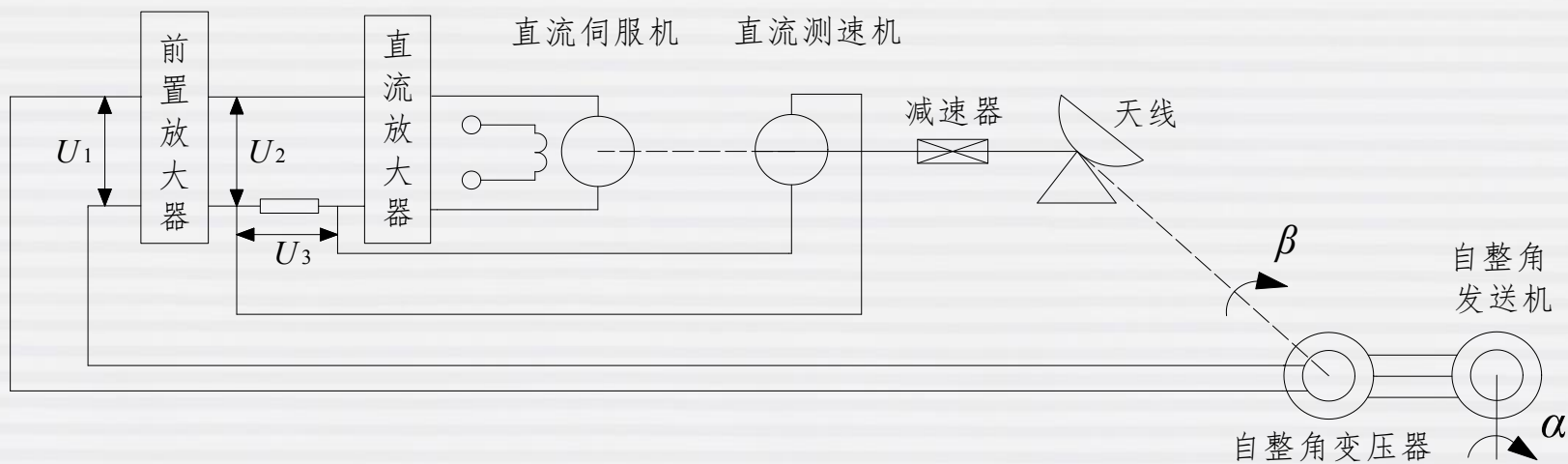


图3.3.3直流测速机的输出特性曲线

# 任务1 速度检测

## 3. 应用

### 1) 直流测速发电机在雷达天线系统中的应用

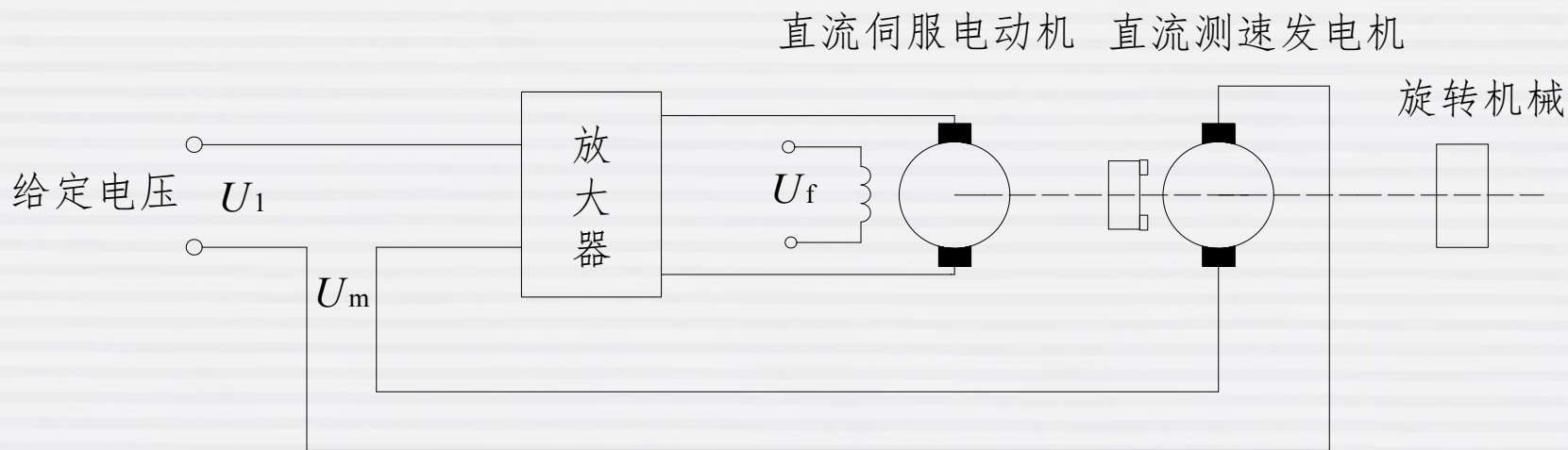




# 任务1 速度检测

## 3. 应用

### 2) 直流测速发电机用作反馈元件



# 任务1 速度检测

## 1.4 测量方案

**方案1：直接测量**，采用直流测速机。将直流测速机直接连接到电动机轴上进行测量，可以提高检测灵敏度。

**方案2：直接测量**，采用光电式转速传感器。将光电式转速传感器直接连接到电动机轴上，根据测量时间 $t$  (s) 内的脉冲数 $N$ ，可测出转速(r/min)为：

$$n = \frac{60N}{Zt}$$

式中： $Z$ —光电圆盘上的缝隙数

**方案3：间接测量**，采用角位移传感器测量角度，除以时间，获得角速度



## 任务2 加速度检测

### 2.1 任务介绍

了解加速度传感器

### 2.2 知识资讯

多种形式，工作原理都是利用牛顿第二定律

最常用的有应变式（压阻式）、压电式、电容式等

## 任务2 加速度检测

### 原理

**应变式加速度传感器**测试是通过测试惯性力引起弹性敏感元件的变形，该变形引起压阻效应，即半导体电阻阻值发生变化然后获得加速度，因此又名**压阻式**。物性型

**电容式传感器**借助了弹性元件在惯性力的作用下产生的变形位移引起气隙的变化导致的电磁特性。结构型  $C = \frac{\epsilon S}{d}$

**压电式传感器**是利用某些材料(压电晶片)在受力变形的状态下产生电的特性的原理。物性型

## 任务2 加速度检测

### 特点

**压电式传感器**：测量频率范围宽、量程大、体积小、重量轻、结构简单坚固、受外界干扰小以及产生电荷信号不需要任何外界电源等优点，它最大的缺点是不能测量**零频率**信号。

**压阻式传感器**的频率测量范围和量程很大，体积小重量轻，主要缺点是受温度影响较大，一般都需要进行温度补偿。



## 任务2 加速度检测

### 特点

电容式传感器的优点是灵敏度高、零频响应、受环境（尤其是温度）影响小等，主要缺点是输入输出非线性对应、量程很有限以及本身是高阻抗信号源，需后继电路给予改善。

### 应用

压电式传感器应用更为广泛一些，压阻式也有一定程度的应用，而电容式主要专用于低频测量。



## 任务2 加速度检测

### 2 压电式加速度传感器

#### a. 压电效应及压电材料

某些材料在某一方向被施加压力或拉力时，会产生变形，并在材料的某一相对表面产生符号相反的电荷；当去掉外力后，它又重新回到不带电的状态。这种现象被称为压电效应。具有压电效应的材料叫压电材料。

常见的压电材料有单晶体结构的石英晶体和多晶体结构的人造压电陶瓷(如钛酸钡和锆钛酸铅等)。

## 任务2 加速度检测

### b. 压电传感器的结构和特性

压电传感器一般由两片或多片压电晶体粘合而成，由于压电晶片有电荷极性，接法上分成**并联**和**串联**两种。**并联**接法虽然输出电荷大，但由于本身电容也大，故时间常数大，可测量变化**较慢的信号**，并以**电荷**作为输出测量参数。**串联**接法输出电压高，本身电容小，适应以**电压**输出的信号和测量电路**输出阻抗很高**的情况。

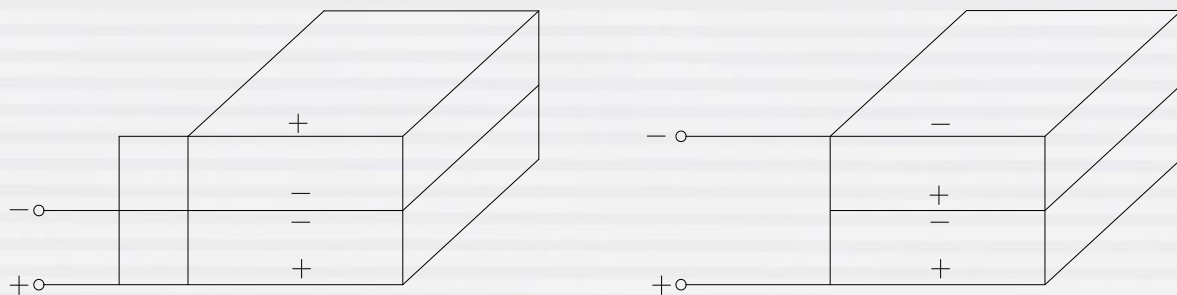
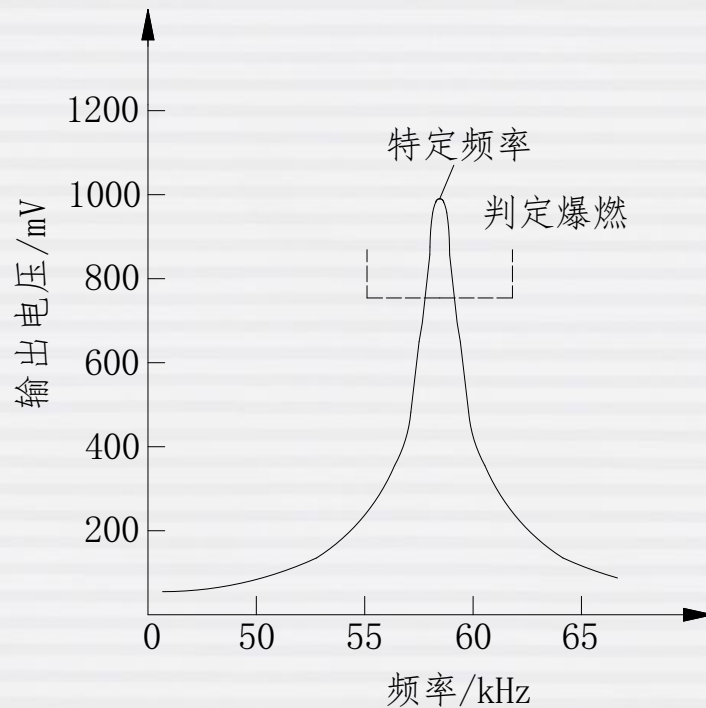
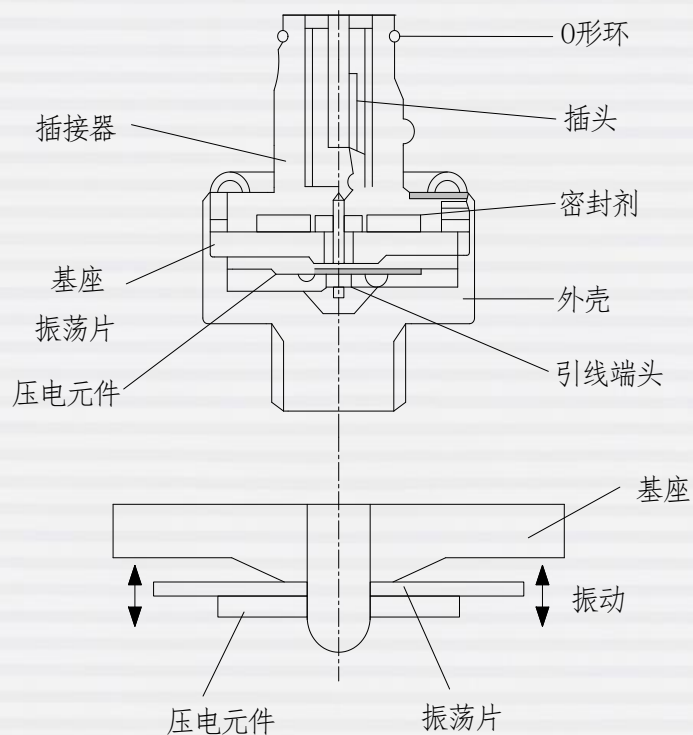


图3.3.6 压电传感器的并联、串联示意图

(a) 并联； (b) 串联

## 任务2 加速度检测

**应用：** 利用共振型压电式爆燃传感器检测发电机爆燃





# 机电一体化检测系统设计

## 子情境4 力、扭矩和流体压强检测 传感器应用



# 任务1 力和力矩的测量

力传感器（**force sensor**）能检测张力、拉力、压力、重力、扭矩、内应力和应变等力学量。

**特点：**高精度、惯性小、响应快、易于记录、便于遥控

按其**工作原理**可分为弹性式、电阻应变式、气电式、位移式和相位差式等。（物性型）

**电阻应变片式**力、压力和扭矩传感器的**工作原理**是：利用弹性敏感器元件将被测力、压力或扭矩转换为应变，然后通过粘贴在其表面的电阻应变片转换成电阻值的变化，经过转换电路输出电压或电流信号。

# 任务1 力和力矩的测量

## 1.1 任务介绍

了解力和力矩测量的设备以及方法

## 1.2 知识资讯

按其量程大小和测量精度的不同有很多规格,它们的主要差别是弹性元件的结构形式不同以及应变片在弹性元件上粘贴的位置不同。常见的弹性元件有柱形、筒形、环形、梁式和轮辐式等。

# 任务1 力和力矩的测量

## 1. 力的测量

### 1) 柱形或筒形弹性元件

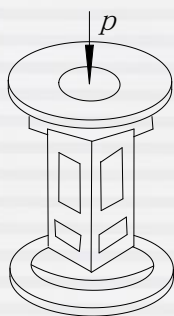
结构简单，可承受较大的载荷，常用于测量较大力的拉(压)力传感器中，但其抗偏心载荷和侧向力的能力差，制成的传感器高度大。桥接方法能减少偏心载荷引起的误差，且能增加传感器的输出灵敏度。

筒的轴向应变

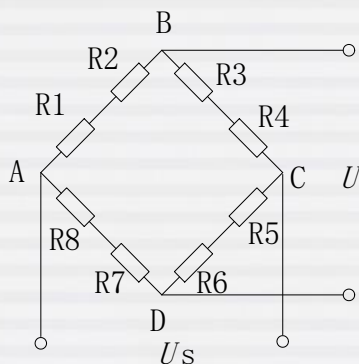
$$\varepsilon_L = \frac{\sigma}{E} = \frac{p}{EA}$$

电阻应变仪指示应变

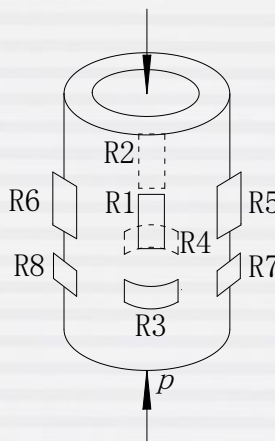
$$\varepsilon = 2(1 + \mu)\varepsilon_L$$



a)



b)



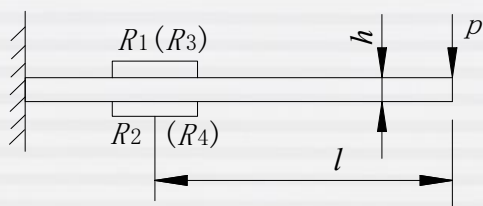
c)

# 任务1 力和力矩的测量

## 2) 梁式弹性元件

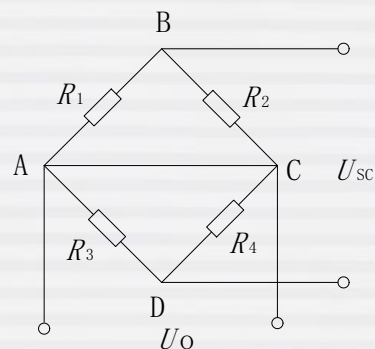
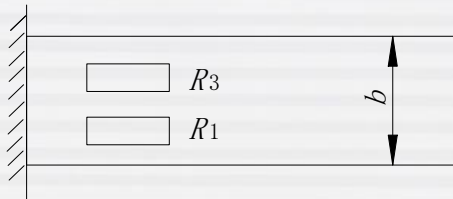
- ① **悬臂梁式**弹性元件的特点是结构简单，容易加工，粘贴应变片方便，灵敏度较高，适用于**测量小载荷**的传感器。

图示为一截面悬臂梁弹性元件，在其同一截面正反两面粘贴应变片，组成差动工作形式的电桥输出。



$$\varepsilon = \frac{6l}{Ebh^2} p$$

a)



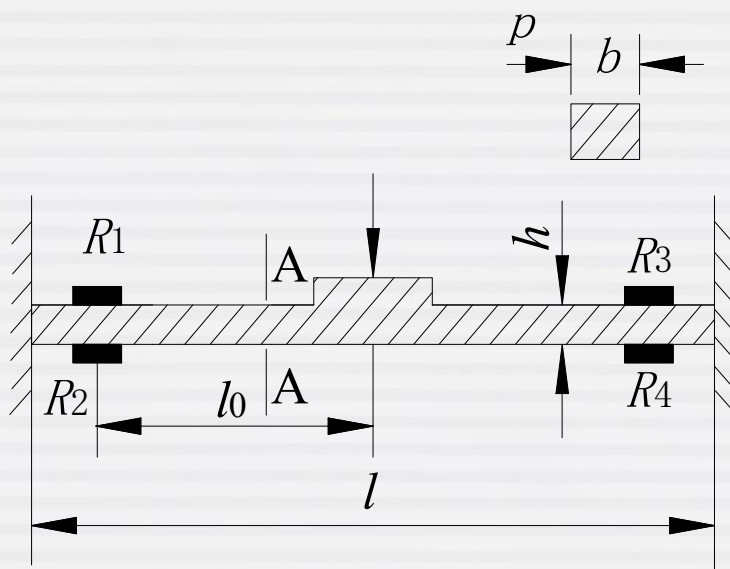
b)

$$U_{SC} = K\varepsilon U_0$$

# 任务1 力和力矩的测量

## 2) 梁式弹性元件

② 两端固定梁：比悬臂梁刚度大，抗侧向能力强。



$$\varepsilon = \frac{3(4l_0 - l)}{4Eb h^2} p$$

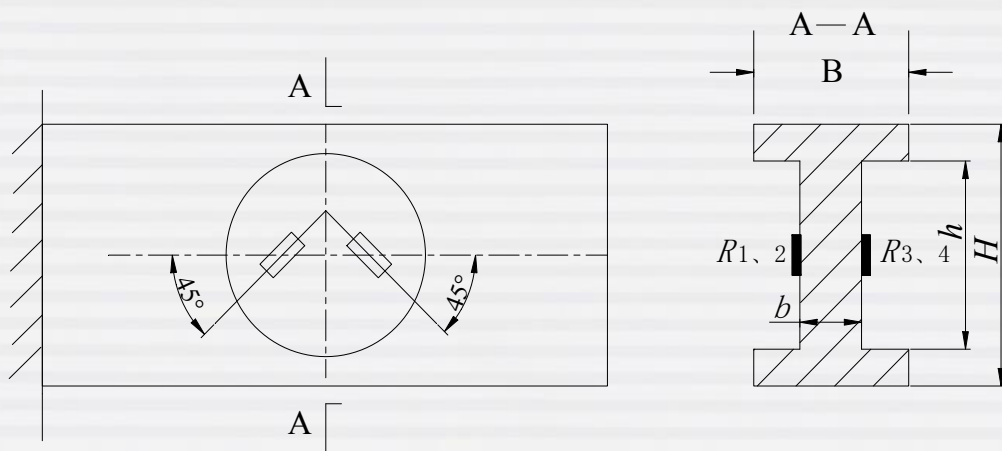


# 任务1 力和力矩的测量

## 3) 梁式剪切弹性元件

与普通梁式弹性元件的结构基本相同，只是应变片粘贴位置不同。应变只与梁所承受的剪切力有关，而与弯曲应力无关。因此，无论是拉伸还是压缩载荷，灵敏度相同。

适用于同时测量拉力和压力的传感器。与梁式弹性元件相比，它的线性好、抗偏心载荷和侧向力的能力大，



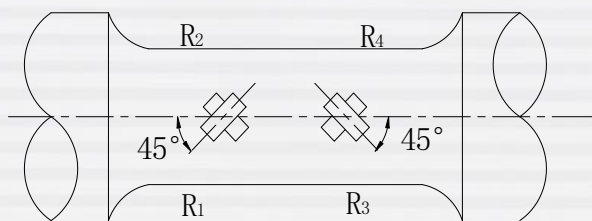
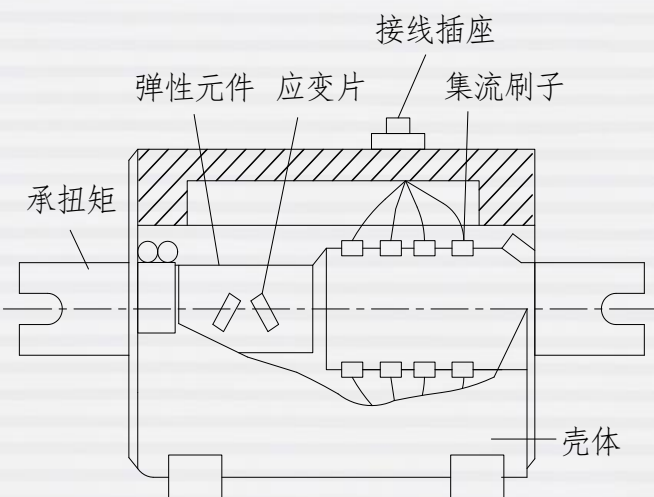
$$\varepsilon = \frac{p}{2bhG}$$

# 任务1 力和力矩的测量

## 2. 扭矩测量

### 1) 电阻应变转矩传感器

弹性元件是一个与被测转矩的轴相连的转轴，转轴上贴有与轴线成 $45^\circ$ 的应变片，应变片两两相互垂直，并接成全桥工作的电路方式。



扭矩:  $M_T = \varepsilon G W_T$

$G$ —剪切弹性模量,

$$G = E / 2(1 + \mu);$$

$W_T$ —抗扭截面模量,

实心圆轴的

$$W_T = \pi D^3 / 16$$

# 任务1 力和力矩的测量

## 2. 扭矩测量

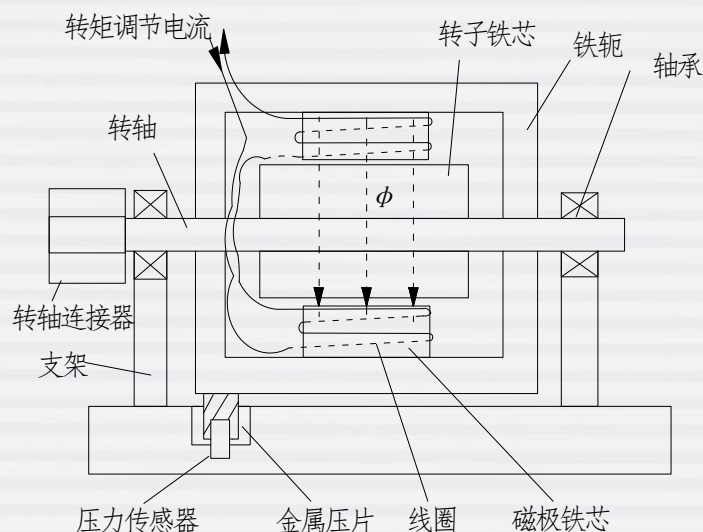
### 1) 电阻应变转矩传感器

由于检测对象是旋转运动的轴，应变片的电阻变化信号要通过**集流装置**引出才能进行测量，转矩传感器已将集流装置安装在内部，只需将传感器直接相连就能测量转轴的转矩，使用方便。

# 任务1 力和力矩的测量

## 2) 测功机

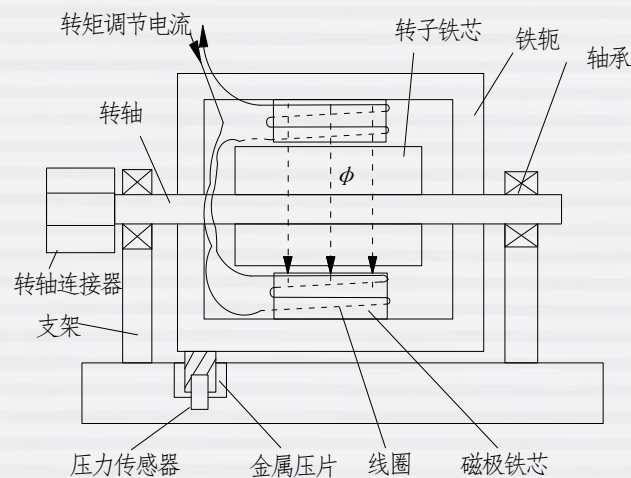
吸收式测功机在测量转矩时耗散机械能量，适合于测量功率或由动力源如发动机、电动机产生的转矩。有依靠干摩擦的**摩擦式测功机**、利用液体摩擦的**水力测功机**、依靠电流损耗的**电涡流测功机**、利用磁滞转子的**磁滞测功机**等。



# 任务1 力和力矩的测量


## 2) 测功机

使用时，绕组中通入直流电流  $I$ ，将在磁极铁心与转子铁心之间产生恒定磁通  $\phi$ ，在铁轭、磁极铁心、气隙、转子铁心之间环成闭合磁路。电动机通过转轴连接器拖动转子铁心以转速  $n$  旋转时，转子铁心因切割磁场感应出涡流，产生制动转矩  $T$ ，此转矩传递到金属压片上，以压力形式传递到压力传感器，压力转换成输出电流信号，输送到电路设备或到仪表上，供处理、显示。只要改变励磁电流，就可以平滑改变转矩。

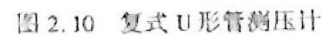
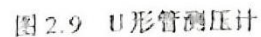
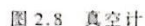




### 金属测压计—利用金属的弹性变形，测量较高压强

**电测式测压计—利用压力传感器**  **电量，远程测量和动态测量**

**液柱式测压计**—用液柱高度直接测量，测较小压强、精度较高



测压强 $<40\text{kPa}$

### 测量较大压强 $<300\text{kPa}$

压强>300kPa



## 任务2 流体压强检测

### 2.2 知识资讯

电阻应变式流体压强传感器主要用于测量气体和液体压强。

测量方法：借助弹性元件把压强变为压力和应变后再进行测量。

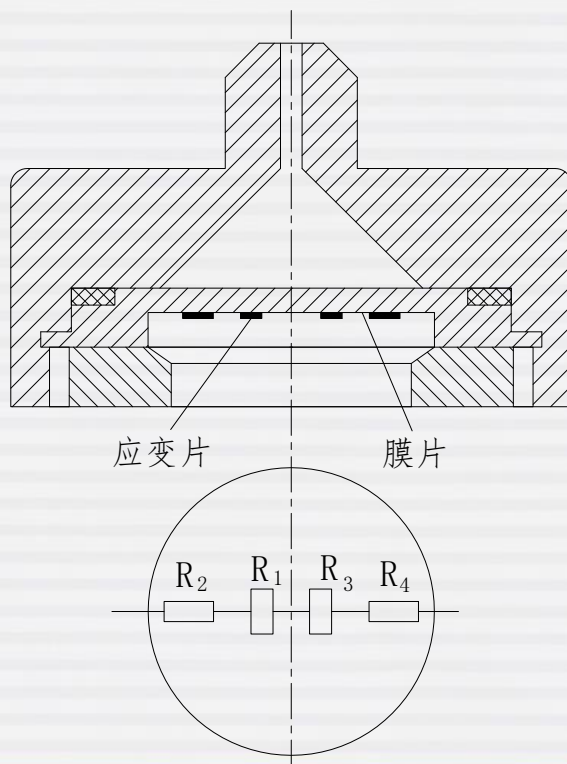
流体的压强测试范围一般为 $10^4 \sim 10^7 \text{Pa}$ 。

传感器所用弹性元件有膜式、筒式等。

# 任务1 力和力矩的测量

## 1. 膜式压力传感器

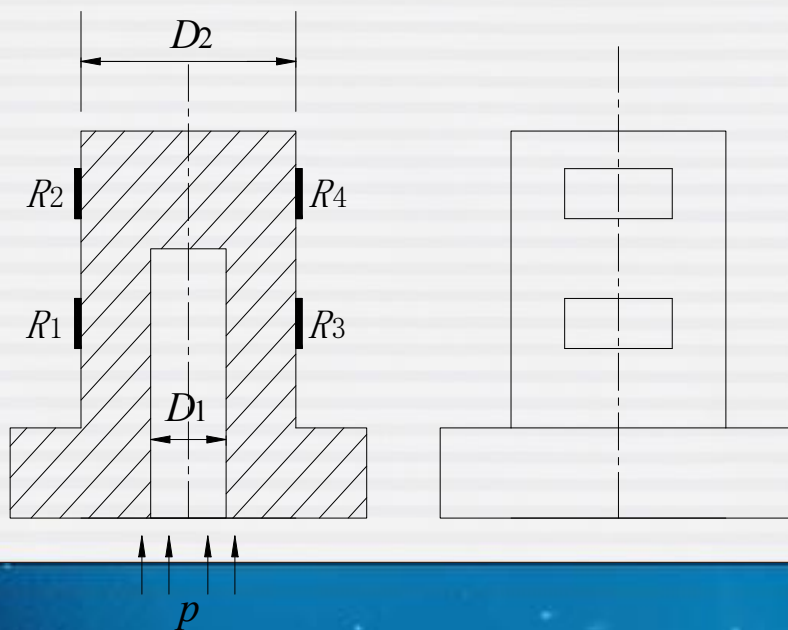
弹性元件为四周固定的等截面圆形薄板，又称平膜板或膜片。其一表面承受被测分布压力，另一侧面贴有应变片。应变片接成桥路输出。



# 任务1 力和力矩的测量

## 2. 筒式压力传感器

弹性元件为薄壁圆筒,筒的底部较厚。特点是圆筒壁厚不同,其压力测量范围不同,测压灵敏度亦不相同,输出特性也存在差异;圆筒受到被测压力后,外表面各处的应变是不同的。应变计的粘贴位置对所测应变不影响。适用于测量较大压力。



# 同步训练：压力传感器在数控机床中的应用

数控系统中进行压力检测的传感器有压电式传感器、压阻式传感器和电容式传感器等。压力传感器是一种将压力转换成电信号的传感器。它是检测气体、液体、固体等所有物质间作用力能量的总称，也包括测量高于大气压的压力计以及测量低于大气压的真空计。结构型



# 同步训练：压力传感器在数控机床中的应用

电容式压力传感器的电容量是由电极面积和两个电极间的距离决定，灵敏度高、温度稳定性好、压力量程大。在数控机床中应用

- ①用它检测对工件夹紧力，当夹紧力小于设定值时，会导致工件松动，系统发出报警，停止走刀；
- ②检测车刀切削力的变化；
- ③在润滑系统、液压系统、气压系统被用来检测油路或气路中的压力，当油路或气路中的压力低于设定值时，其触点会动作，将故障送给数控系统。



# 机电一体化检测系统设计

## 子情境5 温度检测

## 子情境5 温度检测

常用的测温传感器：**电阻温度计、热敏电阻、热电偶以及红外线温度传感器。**

### **1. 电阻温度计** (RTD resistance temperature detector)

使用**纯金属**，利用电阻随温度变化特性的材料制成，有铂电阻温度计（在低于600℃的工业场合，取代热电偶）、铜电阻温度计，低温下还有碳、锗和铑铁电阻温度计。电阻温度计适用于较大的温度范围：14~903K

## 子情境5 温度检测

### 2. 热敏电阻

热敏电阻是一种传感器电阻，其电阻值随着温度的变化而改变，属于可变电阻的一类，广泛应用于各种电子元器件中。

热敏电阻器使用半导体陶瓷或聚合物。两者也有不同的温度响应性质，电阻温度计适用于较大的温度范围，而热敏电阻通常在有限的温度范围内实现较高的精度，通常是 $-90^{\circ}\text{C} \sim +130^{\circ}\text{C}$ 。

# 任务1 温度检测

## 2 热敏电阻

热敏电阻是对温度敏感的半导体元件。电阻值对温度的依赖关系称为阻温特性。按温度特性分为负温度系数热敏电阻（NTC）、正温度系数热敏电阻（PTC）和在某一特定温度下电阻值会发生突变的临界温度电阻器（CTR）。

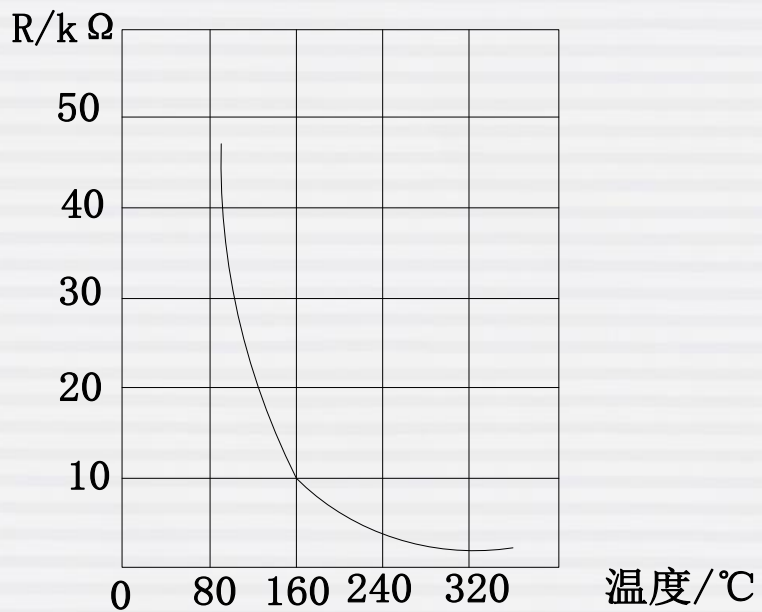
正温度系数的热敏电阻  $R_T = R_0 e^{AT}$  随温度升高, 阻值增大

负温度系数的热敏电阻  $R_T = R_\infty e^{B/T}$  随温度升高, 阻值减小

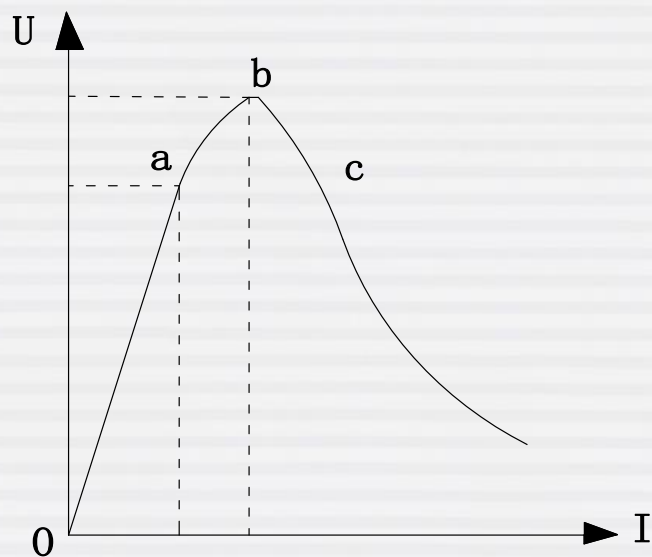


# 任务1 温度检测

- NTC电阻-温度特性曲线



NTC型热敏电阻温度特性



NTC型热敏电阻伏安特性



## 任务1 温度检测

热敏电阻值随温度变化呈指数规律，其非线性十分严重，为使测量系统的输入输出呈线性关系，可以采用：

- (1) 串、并联补偿电阻；
- (2) 利用电路中其他部件的非线性修正；
- (3) 计算机修正等方法。

# 任务1 温度检测

## •典型应用

热敏电阻传感器主要元件是热敏电阻，当热敏材料周围有热辐射时，它就会吸收辐射热，产生温度升高，引起材料的阻值发生变化。

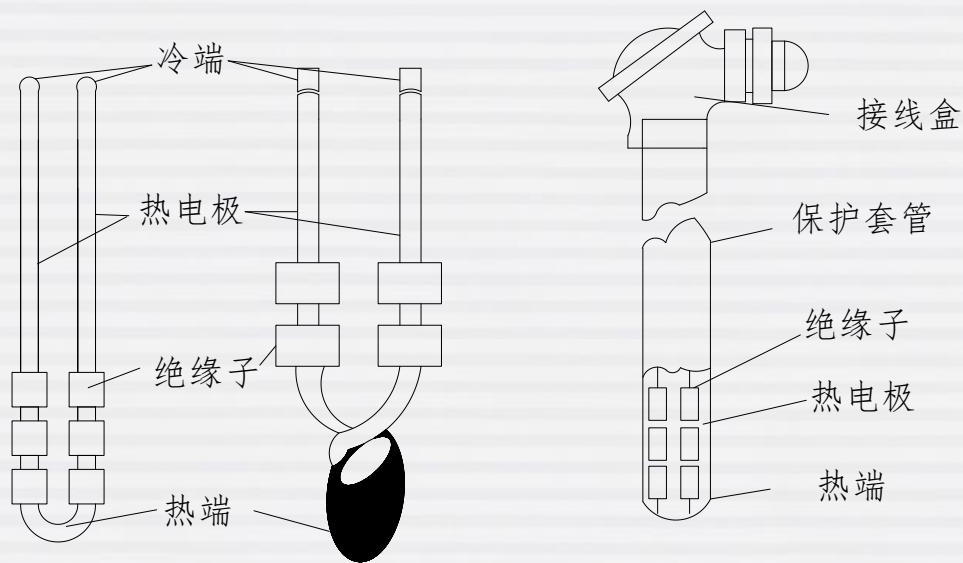
热敏电阻的主要应用有以下几个方面：

- (1) 热敏电阻传感器测温
- (2) 热敏电阻传感器用于温度的补偿
- (3) 热敏电阻传感器的过热保护
- (4) 热敏电阻传感器用于液面的测量

# 任务1 温度检测

## 3 热电偶

热电偶是一种结构简单、性能稳定、测温范围宽的热敏传感器，在冶金、热工仪表邻域得到广泛应用，是目前检测温度的主要传感器之一，尤其是在检测 $1000^{\circ}\text{C}$ 左右的高温时更有优势。



# 任务1 温度检测

## 热电偶工作原理

将两种不同的导体两端相接，组成一个闭合回路，当两个接触点具有不同温度时，回路中便产生电流，这种物理现象称为塞贝克效应。当温度 $T > T_0$ 时，由导体A、B组成的热电偶回路总热电势为：

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AB}(T) - E_{AB}(T_0)$$

$E_{AB}(T)$ 为热端的热电势， $E_{AB}(T_0)$ 为冷端的热电势。只有当A、B材料不同并且热电偶两端温度不同时，总热电势才不为零。



# 任务1 温度检测

## 热电偶的主要参数

在选择热电偶产品时，应考虑的主要参数有：

- (1) 热电偶的类型、测温范围及允许误差；
- (2) 时间常数；
- (3) 最小置入深度；
- (4) 常温绝缘电阻及高温下的绝缘电阻；
- (5) 偶丝直径、材料，安装固定形式、尺寸，测量端结构形式等。

# 任务1 温度检测

## 4 红外线传感器

红外线传感器是利用物体产生红外辐射的特性，实现自动检测的传感器。在物理学中，可见光、不可见光、红外光及无线电等都是电磁波，差别只是波长(或频率)的不同而已。电磁波按照波长(或频率)排成**波谱图**，称之为**电磁波谱**。

波长	10 <sup>4</sup> Km	10 Km	1 Km	1 m	1cm	1mm	1 μm	1 nm	0.1 nm	
频率	3×10 <sup>-1</sup>	3×10 <sup>2</sup>	3×10 <sup>5</sup>	3×10 <sup>8</sup>	3×10 <sup>10</sup>	3×10 <sup>11</sup>	3×10 <sup>14</sup>	3×10 <sup>17</sup>	3×10 <sup>18</sup>	3×10 <sup>21</sup>
名称	声波		无线电波			红外线	可见光	紫外线	X射线	γ 射线

# 同步训练：DS1820数字温度传感器的应用

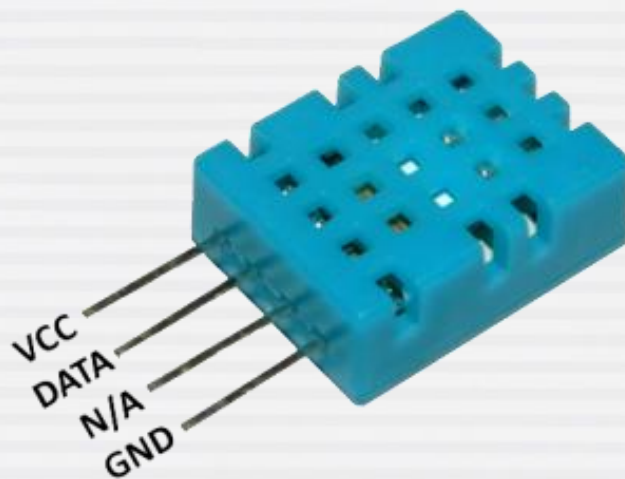
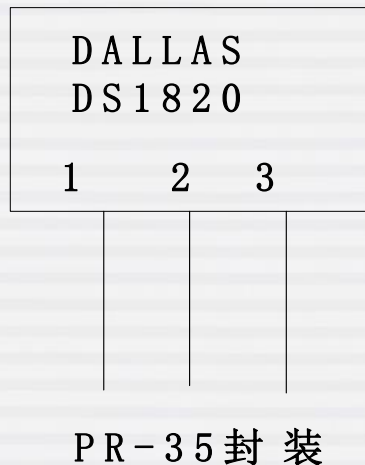
## 1. DS1820的功能特性

- (1) 测量范围为 $-55^{\circ}\text{C}$ — $+125^{\circ}\text{C}$ ，分辨率为 $0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- (2) 单线接口，只需1个接口就可完成温度转换的读写时间片的操作；
- (3) 9位数字值方式读出温度，典型转换时间为1s；
- (4) 用户可定义的非易失性温度告警设置；
- (5) 典型的供电方式为3线制，亦可采用寄生电源供电的2线制。

# 同步训练

## 2. DS1820 51引脚功能说明

其PR-35封装形式见图所示，外表看起来像三极管；  
另还有8脚S0IC封装形式，只用3，4和5脚，其余为空脚或  
不需连接引脚。见表3.4.1所示。



DHT11传感器是温湿一体化数字传感器。



# 机电一体化检测系统设计

## 子情境6 传感器信号的处理





# 任务1 认识测量放大器

## 1.1 任务介绍

测量放大器能够将微弱的电信号进行放大，由于应用十分广泛，现在已经有集成的测量放大器供使用了。

## 1.2 任务分析

测量放大器主要是通过运用集成运放将所测量的信号进行**不失真的放大**，并不对所测量的电路产生影响，需要测量放大器有**较高的输入电阻**和**较高的共模抑制比**。



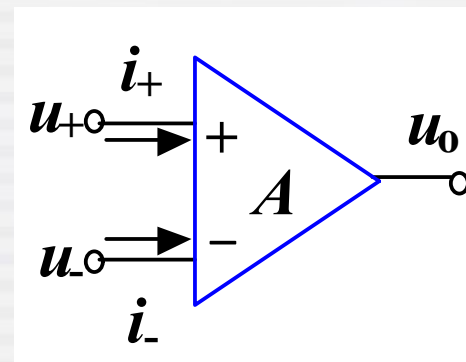
## 理想集成运放工作于线性区

理想运放工作于线性区：

$$u_o = A_{od}(u_+ - u_-)$$

而  $A_{od} \rightarrow \infty$ ,  $u_o$  为有限值, 所以,  $(u_+ - u_-) \rightarrow 0$ ,

故  $u_+ \approx u_-$

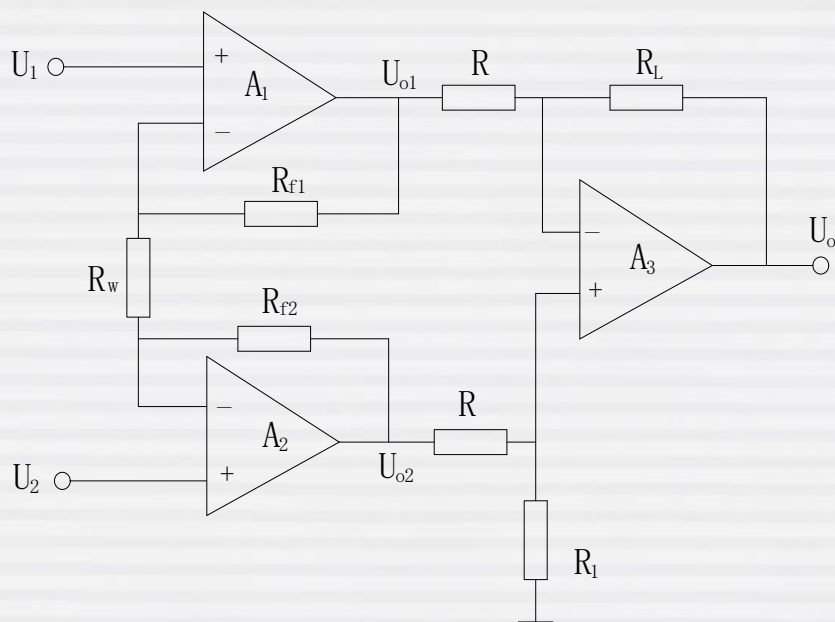


**“虚短”**：运放的同相输入端和反相输入端的电位“无穷”接近，好象短路一样，但却不是真正的短路。

因为  $r_{id} \rightarrow \infty$ ,  $u_i = u_+ - u_-$  为有限值, 所以,  $i_+ = i_- \approx 0$

**“虚断”**：运放的同相输入端和反相输入端的电流趋于0，好象断路一样，但却不是真正的断路。

# 任务1 认识测量放大器



$$A_U = \frac{R_f}{R} \left( 1 + \frac{R_{f1} + R_{f2}}{R_w} \right)$$

$$A_{ud} = A_u$$

$$A_{uc} = 0$$

## 1) 测量放大器的主要技术指标

- (1) 非线性度
- (2) 温漂
- (3) 建立时间
- (4) 恢复时间

共模抑制比

$$\text{CMR} = 20 \lg \left| \frac{A_{ud}}{A_{uc}} \right| \text{ dB}$$

$A_{ud}$  差模信号放大倍数

$A_{uc}$  共模信号放大倍数

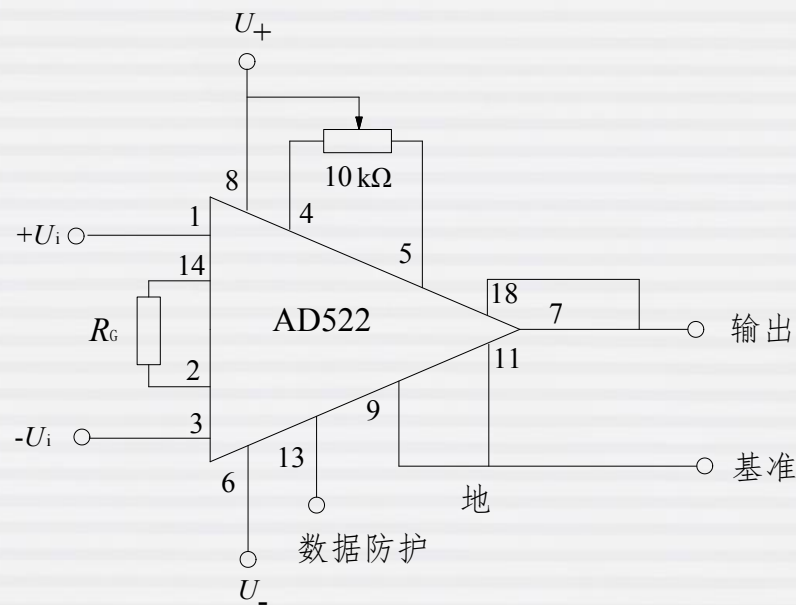
# 任务1 认识测量放大器

## 2) 测量放大器集成芯片

### AD522集成测量放大器

特点：设有数据防护端，用于提高交流输入时的共模抑制比。

说明：对远处传感器送来的信号，通常采用屏蔽电缆传送到测量放大器，电缆线上的分布参量会使其产生相移。当出现交流共模信号时，这些相移将使共模抑制比降低。利用数据防护端可以克服上述影响。



# 任务2 程控增益放大器

## 程控增益放大器

为使放大器输出的模拟电压适合A/D转换器的电压范围，需要动态改变放大器的增益。

程控增益放大器与普通放大器的差别在于反馈电阻网络可变且受控于控制接口的输出信号。不同的控制信号，将产生不同的反馈系数，从而改变放大器的闭环增益。

### 1) 基本原理

程控增益放大器的基本形式是由运算放大器和模拟开关控制的电阻网络组成，模拟开关则由数字编码控制。数字编码可用硬件电路实现，也可用计算机软件根据需要来控制。

## 任务2 程控增益放大器

通过**数字编码**控制模拟开关切换不同的增益电阻,从而实现放大器增益的软件控制。

放大器增益G:

$$G = \frac{V_O}{V_I} \approx \left| \frac{R_{Fi}}{R_I} \right|$$

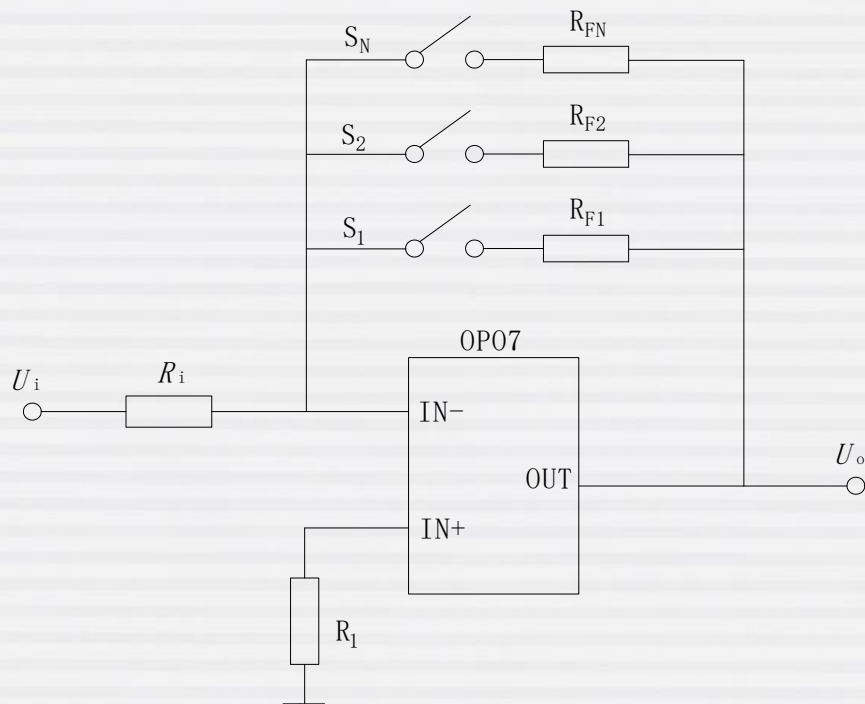


图3. 6. 5程控增益放大器基本原理图

## 任务2 程控增益放大器

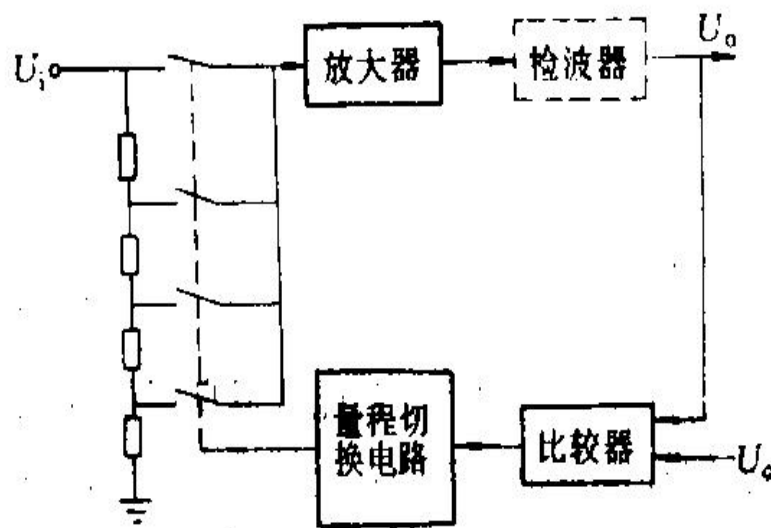


图 4-18 分压器自动切换原理框图

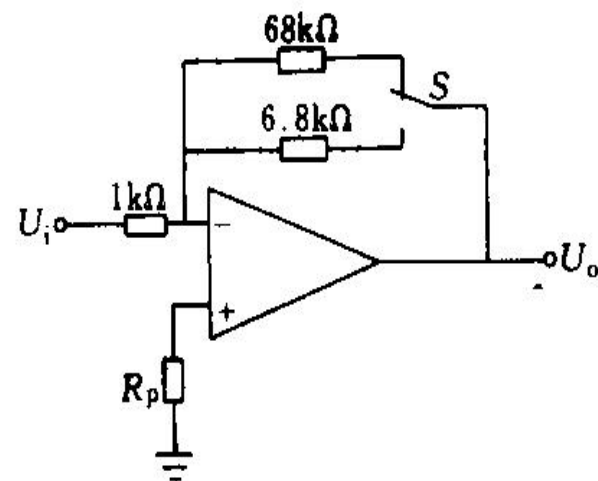
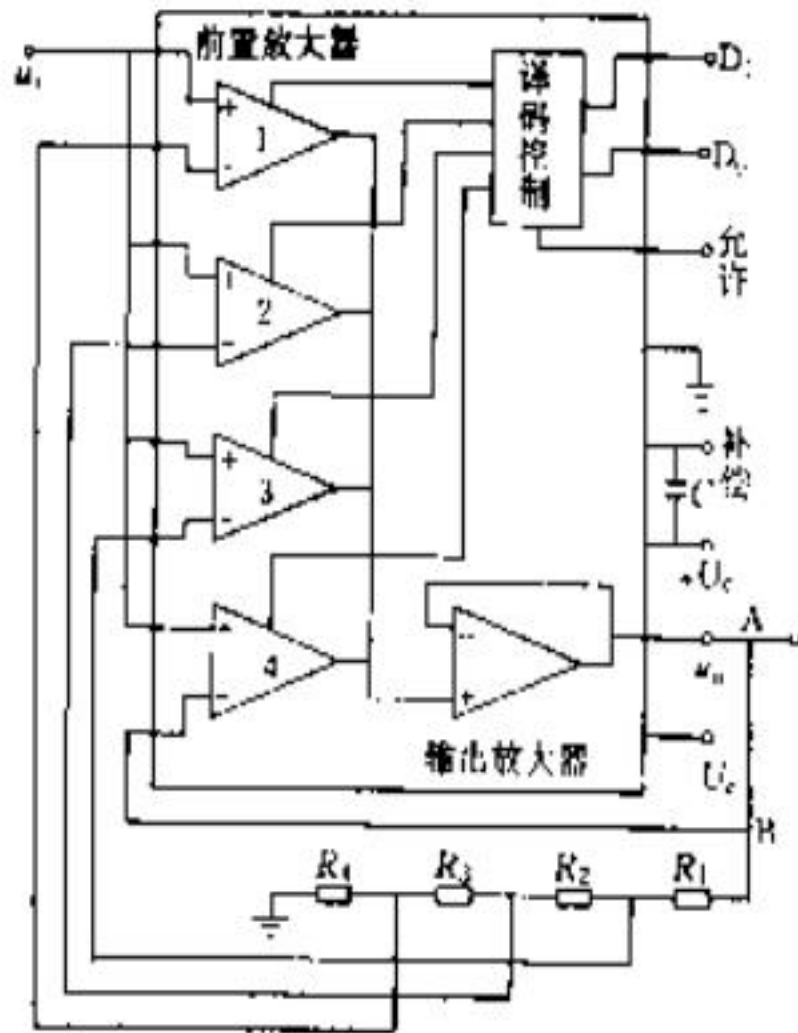


图 4-19 反馈电阻切换电路



## 任务2 程控增益放大器

- 在计算机测控系统中，常采用可编程运算放大器来实现增益的切换。
- HA-2400可编程运算放大器**。输入信号 $u_i$ 可同时送到HA-2400的前置放大器1~4，但在数字编码 $D_0$ 和 $D_1$ 的控制下，只能有一个前置放大器被选通，其增益变化规律由外接反馈电阻 $R_1$ - $R_4$ 阻值确定。信号最后通过输出放大器(即输出级电压跟随器)输出，与后续电路匹配。



## 任务3 隔离放大器

在强电或强磁干扰的环境中，为了防止电网电压等对测量回路的损坏，其信号输入通道应采用**隔离技术**，有这种功能的放大器称为隔离放大器。由于隔离放大器采用了**浮离式**设计，消除了输入、输出端之间的耦合，因此还具有以下特点：

- (1) 能保护系统元件不受高共模电压的损害，防止高压对低压信号系统的损坏。
- (2) 泄漏电流低，对于测量放大器的输入端无须提供偏流返回通路。
- (3) 共模抑制比高。

# 任务3 隔离放大器

## 隔离放大器

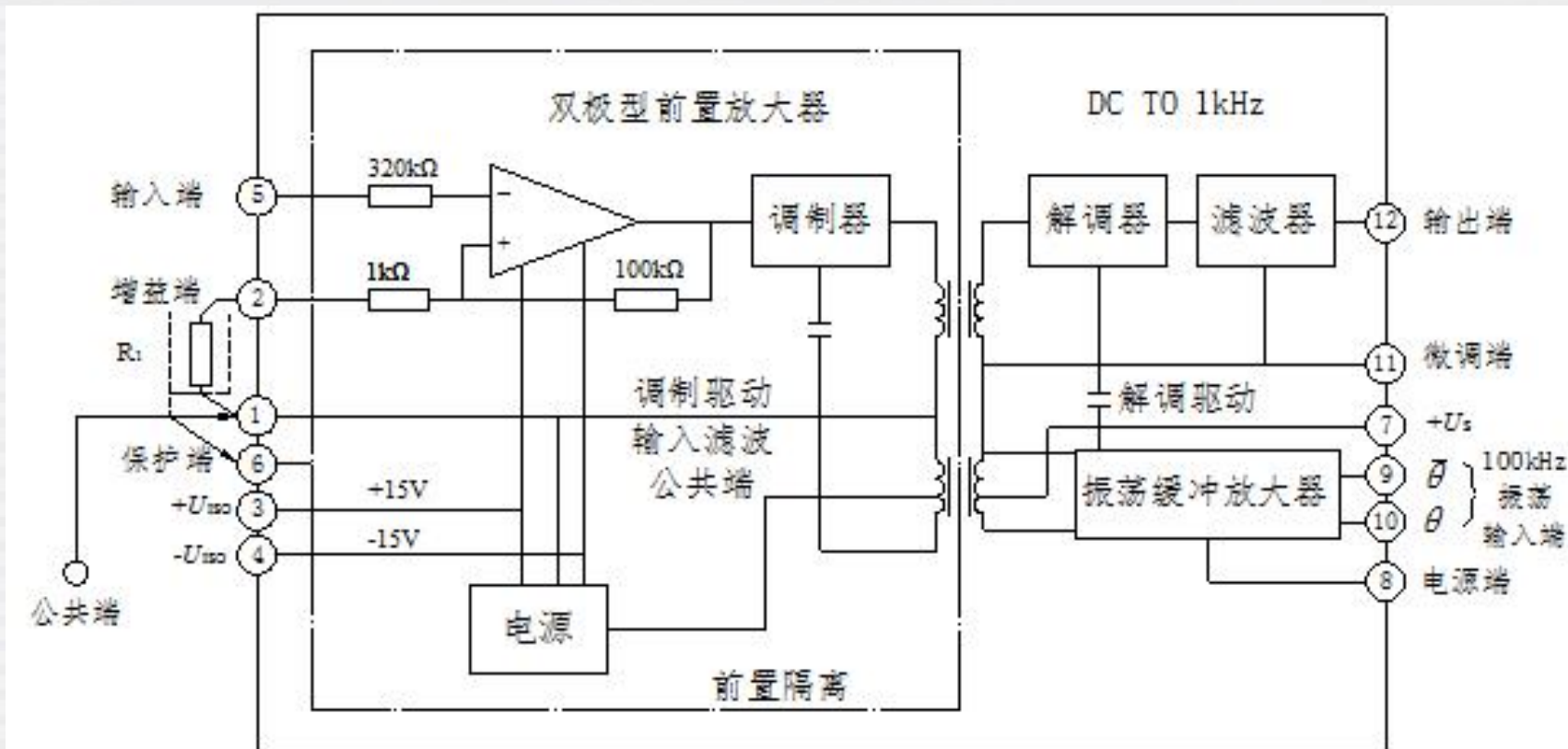


图 3.6.6 284 型隔离放大器电路结构图

## 任务3 隔离放大器

### 隔离放大器

为提高微电流和低频信号的测量精度，减小漂移，其电路采用调制式放大，其内部分为输入、输出和电源三个彼此相互隔离的部分，并由低泄漏高频载波变压器耦合在一起。通过变压器的耦合，将电源电压送入输入电路并将信号从输出电路送出。输入部分包括双极型前置放大器、调制器；输出部分包括解调器和滤波器，一般在滤波器后还有缓冲放大器。





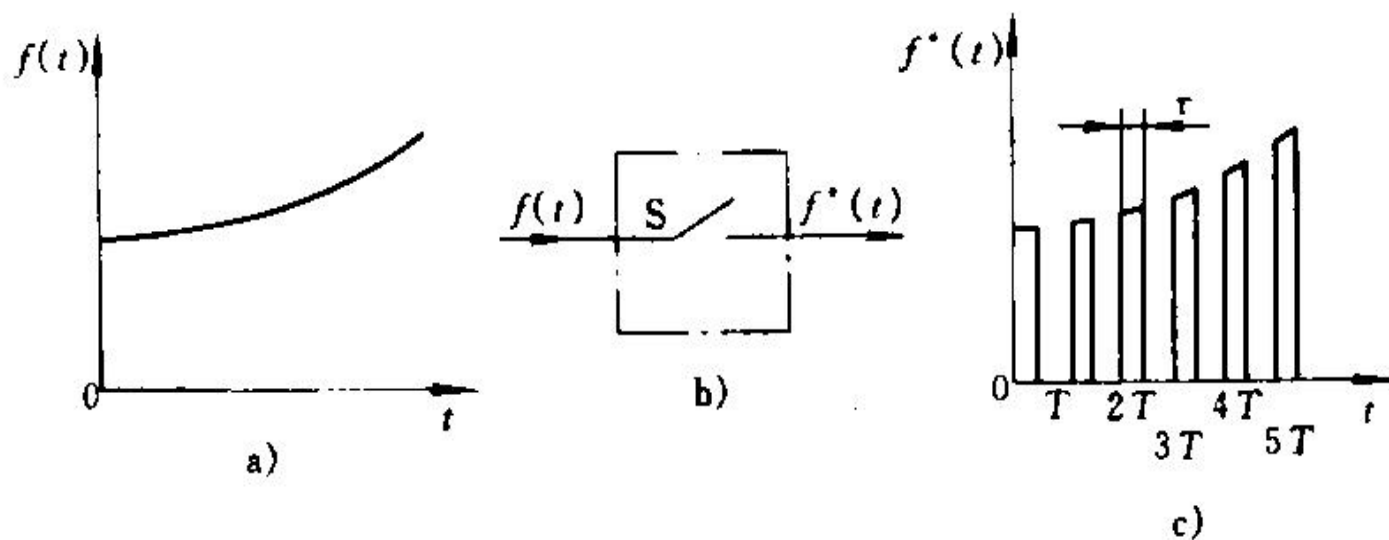
# 机电一体化检测系统设计

## 子情境7 传感器接口技术

# 1、采样保持器的原理

## (1)信号采样

采样：就是把时间连续的信号变成一连串不连续的脉冲时间序列的过程。





# 1、采样保持器的原理

$f(t)$ 是连续信号，通过采样开关S后变成一连串的脉冲信号 $f^*(t)$ 。

采样开关 $s$ 又称**采样器**，实质上是一个**模拟开关**，每隔时间间隔 $T$ 闭合一次，每次闭合持续时间 $\tau$ 。 $T$ 称为采样周期，其倒数 $f_s=1/T$ 称为**采样频率**， $\tau$ 称为**采样时间或采样宽度**。采样后的脉冲序列 $f^*(t)$ 称为**采样信号**，在经过A / D转换之前，采样信号 $f^*(t)$ 是一个离散的模拟信号。

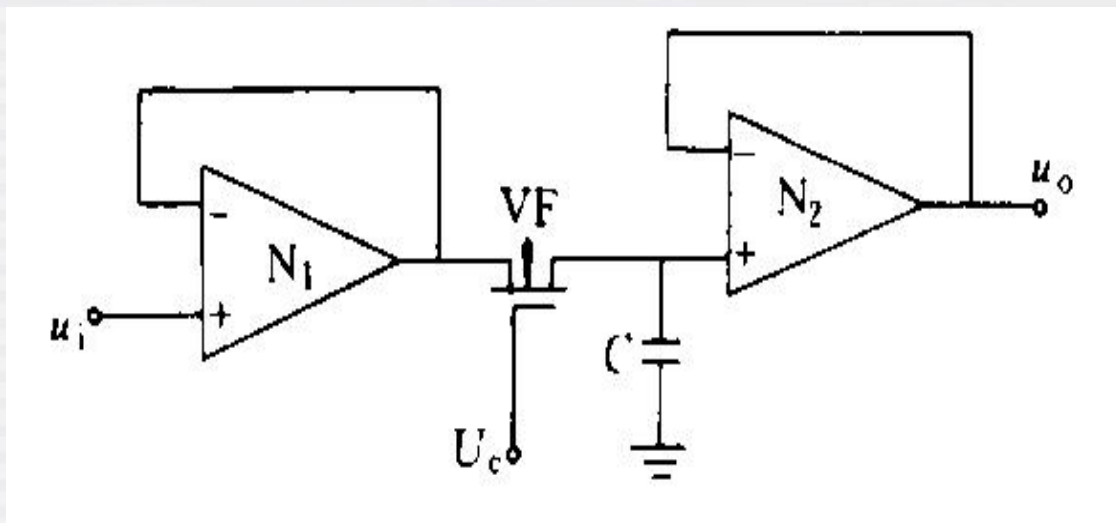
为保证在采样过程中不丢失原来信号中所包含的信息，采样频率必须按**香侬(Shannon)采样定理**来确定，即要求

$$f_s \geq 2f_{max}$$

式中， $f_{max}$  是原信号 $f(t)$  的最高频率。在实际应用中，常取 $f_s \geq (5 \sim 10)f_{max}$

# 1、采样保持器的原理

- 采样信号 $f^*(t)$ 在函数轴上仍是连续变化的模拟量，因此需用A / D转换器将其转换成数字量。A / D转换过程需要一定时间，为防止产生误差，要求在此期间内保持采样信号不变。实现这一功能的电路称**采样 / 保持电路**。
- 典型的采样 / 保持电路由模拟开关、保持电容和运算放大器组成。



# 1、采样保持器的原理

- 运算放大器 $N_1$ 和 $N_2$ 接成跟随器，作缓冲器用。当控制信号 $U_C$ 为高电平时，场效应管VF导通，对输入信号采样。输入信号 $u_i$ 通过 $N_1$ 和VF向电容C充电，并通过 $N_2$ 输出 $u_o$ ，由于 $N_1$ 的输出阻抗很小， $N_2$ 的输入阻抗很大，因而在VF导通期间， $u_o = u_i$ 。当 $U_C$ 为低电平时，VF截止，电容C将采样期间的信号电平保持下来，并经 $N_2$ 缓冲后输出。
- 场效应管VF即为采样开关，其关断电阻和 $N_2$ 的输入阻抗越高，C的泄漏电阻越大， $u_o$ 的保持时间越长，保持精度越好。

## 总结

### 内容

1. 机电一体化检测系统
2. 位移和位置检测
3. 速度与加速度检测
4. 力、扭矩和流体测量
5. 温度检测
6. 传感器信号处理
7. 传感器接口技术

### 重点

1. 机电一体化检测系统
2. 位移和位置检测
3. 速度检测
4. 温度检测
5. 传感器信号处理
6. 传感器接口技术



谢谢！