

# 绪论

## 1) 传感器

广义定义：把外界非电信息转换成电信号或者光信号输出的器件

狭义定义：利用一定的物质法则、定理、定律、效应等进行能量转换与信息转换，并且输出与输入严格一一对应的器件或装置

+ 传感器的组成：敏感元件、转换元件、转换电路，框架见作业图

2) 典型传感器的构成方法：根据**被测量对象、转换原理、使用环境、性能要求**分：自源型、辅助能源型、外源型、相同敏感元件的补偿型、差动结构补偿型、不同敏感元件的补偿型、反馈型

3) 传感器分类：

1. 按照**被测量类别** 分类：**热工量**（温度、热量；压力、压差；流量、流速、风速）；**机械量**（位移，力，力矩，质量；转速、线速度；振幅）**物性和成分量**（气、液体化学成分，PH）**状态量**（颜色、透明度、表面成分、材料内部缺陷）

2. 按照**传感器原理**分类：**光电式**（红外式、光导纤维）**电感式、谐振式、电容式、霍尔式**（磁式）**阻抗式**（电涡流式）

4) 传感器一般指标：容量、灵敏度、精度适当；响应速度、稳定性、可靠性；使用性和适用性强；经济性

---

# 技术基础

一般数学模型：

## 1) 数学模型：表达传感器输出输入关系及特性的规律

### (1) 静态模型：输入量不随时间变化的常量

- 在静态条件下（输入量对时间  $t$  的各阶导数为 0）得到的传感器数学模型
- 表示方式：代数方程  $y=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+ a_nx^n$  ( $x$ 、 $y$  分别表示输入、输出  $a_0$  为零位输出， $a_1$  为灵敏度  $K$ ， $a_2\dots a_n$  为非线性项的待定常数)
- 图示通常为直线，**线性模型  $y=a_0+a_1x$  或  $y=ax$**
- 建立数学模型方法：传感器数据拟合 数据拟合方法
- 法：端点法，最佳直线法，**最小二乘法**
  - 最小二乘法拟合直线方程  $y=b+kx$  ( $k$  和  $b$  的求解方法见公式 1)

### (2) 动态模型：输入量随时间变化的变量

- 微分方程
- 传递函数

## 2) 特性与指标

### (1) 静态特性指标--检测静态特性

- 线性度：表征输入输出曲线和拟合直线的吻合程度 见公式 2
- 回差：反映传感器正反行程过程中与输入输出的曲线不重合的程度见公式 3
- 重复性：衡量传感器在同一工作条件下，输入量按同一方向作全量程连续多次的变动，所得特性曲线的一致程度见公式 4
- 灵敏度  $K$ ：线性为拟合直线斜率 非线性为  $dy/dx$ ;

- 分辨力：规定测量范围内能册数的输入量的最小值（分辨率=分辨力/满量程输入值）
- 阈值：传感器输出端产生可测变化量的最小被测输入量值，即零位附近的分辨力）
- 稳定性和温度稳定性：又称长期稳定性，用输出值与起始标定之间的差异表示/有效期
- 漂移：传感器不因输入的原因发生的变化（零点漂移、灵敏度漂移、时漂、温漂）
- 静态误差（精度）：评价传感器的综合性能指标，传感器再满量程内任意一点输出值与理论值的最大偏差计算方法见公式 5

## (2) 动态特性

- 定义：传感器的动态特性是指其输出对随时间变化的输入量的响应特性用于分析动态误差，包括两部分：1.输出量达到稳定状态以后与理想输出量之间的差别；2.当输入量发生跃变时，输出量由一个稳态到另一个稳态之间的过渡状态中的误差
- 频率响应特性、阶跃响应特性、典型环节的动态响应、幅频特性、相频特性

**3) 改善性能方式：**结构、材料与参数的合理选择；差动技术；平均技术；稳定性处理；屏蔽、隔离与干扰控制；零示法、微差法和闭环技术；补偿、校正和有源化；集成化、智能化和信息融合

**4) 合理选择传感器基本原则和方法：**依据测量对象和使用条件确定传感器的类型；线性范围与量程；灵敏度；精度；频率响应特性；稳定性

## 5) 标定和校准

(1) 静态标定：检测、测试传感器（或传感器系统）的静态特性指标，如静态灵敏度、非线性、回差、重复性等。静态标定首先要建立静态标定系统。关键在于被测非电量的标准发生器及标准测试系统。

(2) 动态标定：用于确定传感器的动态性能，如固有频率和频响范围等、动态灵敏度等。

进行动态标定时，需有一标准信号对它激励，常用的标准信号有二类：一是周期函数，如正弦波等；另一是瞬变函数，如阶跃波等。

用标准信号激励后得到传感器的输出信号，经分析计算、数据处理、便可决定其频率特性，即幅频特性、阻尼和动态灵敏度等。

# 电阻式传感器：通过电阻参数的变化实现测量

- 1) 按照测量对象的不同**分类**：应变计式（测应变）；压阻式（测压力）；电位式（测位移）；磁电阻式（测磁场强度）；光电阻式、热电阻式
- 2) 应变：长度的相对变化量，是形变量与原来长度尺寸的比值
- 3) 应变效应：导体或半导体材料在外界力的作用下产生机械变形时，其电阻值相应的发生变化。当一个导体在其弹性极限内受外力拉伸时，不会被拉断或产生永久变形，而是会变窄变长，这种变形导致了电阻变大。
- 4) 压阻效应：是指当半导体受到应力作用时，由于应力引起能带的变化，能谷的能量移动，使其电阻率发生变化的现象。

## 5) 电阻应变计

(1) 金属材料的应变电阻效应：金属材料的电阻相对变化与其线应变成正比  $dR/R = K_m \cdot \epsilon$ ， $K_m$  为金属应变灵敏系数 1.8~4.8

(2) 半导体材料的压阻效应：半导体材料的应变电阻效应主要基于压阻效应。  $dR/R = K_s \cdot \epsilon$ ，通常  $K_s = (80 \sim 100)K_m$ 。

## 6) 静态特性

(1) 灵敏系数 K：具有初始电阻 R 的应变计粘贴于试件表面，试件受力引起表面应变，将产生电阻变化，表示应变计轴向应变

(2) 横向效应和横向效应系数 H：应变计既敏感纵向应变，又同时受横向应变影响而是灵敏系数及相对电阻比都

减小的现象  $\frac{\Delta R}{R} = K_x (1 + aH)\epsilon_x$ ,  $a = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x}$ ,  $H = \frac{K_y}{K_x}$

- (3) 机械滞后：在恒温条件下，增减时间应变的过程中，同一机械应变所指示的应变量的差值
- (4) 蠕变：在恒温、恒载的条件下，指示应变变量随着时间单向变化的特性
- (5) 零漂：在空载的时候，应变计示数随时间发生变化的现象
- (6) 应变极限  $\epsilon_{lim}$ ：应变计的线性范围，衡量应变计的过载能力

## 7) 动态特性

- (1) 定义：指其感受随时间变化的应变时之响应特性
- (2) 对正弦信号的响应、对阶跃应变波的响应

## 8) 温度效应及热补偿

(1) 温度效应：应用应变计时，工作温度的变化会影响输出，这种单纯由温度变化引起应变计电阻变化的现象。常温下这种温度效应主要是温度变化对敏感栅影响的结果。

(2) 应变计的温度效应及其热输出由两部分组成：**前部分为热阻效应所造成；后部分为敏感栅与试件热膨胀失配所引起**

(3) 热补偿原因：在工作温度变化较大时，这种热输出干扰必须加以补偿。

**(4) 热补偿方法：温度自补偿法、桥路补偿法**

一、温度自补偿方法：

1. 单丝自补偿应变计：在研制和选用应变计时，若选择敏感栅的合金材料，其  $\alpha_t$ 、 $\beta_t$  能与试件材料的  $\beta_s$  相匹配，即满足  $\epsilon_t = 0$ ，达到温度自补偿的目的。

2. 双丝自补偿应变计：敏感栅由电阻温度系数一正一负的两种合金丝串接而成。当工作温度变化时，若  $R_a$  栅产生正的热输出  $\epsilon_a$  与  $R_b$  栅产生负的热输出  $\epsilon_b$  相等或相近

二、桥路补偿法：利用电桥的和、差原理来达到补偿的目的

1. 双丝半桥式：敏感栅由同符号电阻温度系数的两种合金丝串接而成，工作栅  $R_1$  接入工作臂，补偿栅  $R_2$  外接串接电阻  $R_B$  (不敏感温度影响) 接入补偿臂，当温度变化时，只要电桥工作臂和补偿臂的热输出相等或相近，就能达到热补偿目的。

优点：通过调整  $R_B$  值，不仅可使热补偿达到最佳状态，而且还适用于不同线膨胀系数的试件。缺点：是对  $R_B$  的精度要求高，而且当有应变时，补偿栅同样起着抵消工作栅有效应变的作用，使应变计输出灵敏度降低

2. 补偿块法：使用两个相同的应变计  $R_1$  贴在试件上，接入电桥工作臂， $R_2$  贴在与试件同材料、同环境温度，但不参与机械应变的补偿块上，接入电桥相邻臂作补偿臂，补偿臂产生与工作臂相同的热输出，通过电桥，起到补偿作用。

3. 差动电桥法：巧妙地安装应变片可以起补偿作用并提高灵敏度。

## 9) 应变计应用

(1) 结构：敏感栅、基地、引线、盖层、粘结剂、电极

(2) 类型：

1. 金属丝式应变片：有回线式和短接式二种。回线式最为常用，制作简单，性能稳定，成本低，易粘贴，但横向效应较大。直径在 0.012 ~ 0.05mm 的金属丝；

2. 金属箔式应变片：利用照相制版或光刻技术将厚约 0.003 ~ 0.01mm 的金属箔片制成所需图形的敏感栅，也称为应变花。

3. 半导体应变片：由单晶半导体经切型、切条、光刻腐蚀成形，然后粘贴在薄的绝缘基片，最后再加上保护层。但重复性、温度及时间稳定性差。

(3) 使用：1) 选择粘结剂：采用常温、指压固化条件的粘结剂如聚脂树脂、环氧树脂类 2) 应变计的粘贴：①准备——试件和应变片；②涂胶；③贴片；④复查；⑤接线；⑥防护

## 变磁阻式传感器

1) 定义：利用磁路磁阻变化引起传感器线圈的电感（自感或互感）变化来检测非电量的机电转换装置。常用来检测位移、振动、力、应变、流量、密度等物理量。由于它结构简单、工作可靠、寿命长，并具有良好的性能与宽广的适用范围，适合在较恶劣的环境中工作

2) 缺点：存在交流零位信号，不适宜高频动态测量

## 自感式传感器

1) 定义：实质上是一个带气隙的铁芯线圈。

2) 按照磁路几何参数变化形式不同，目前常用的自感式传感器有变气隙式、变面积式和螺管式

3) 变气隙式

(1) 使用场合：测量几微米至几百微米的位移，灵敏度高，线性度不高，测量范围小

(2) 输出特性是非线性的，灵敏度随气隙增加而减小，可以通过减小气隙总长来增大灵敏度

4) 变面积式：

(1) 使用场合：一般用于分辨零点几角秒以下的微小角位移，灵敏度高（比气隙低），线性范围较大

(2) 忽略气隙磁通边缘效应的条件下，输出特性是线性的，故有较大线性范围，可以通过减小气隙总长来增大灵敏度

5) 螺管式：

(1) 使用场景：可测量几纳米到一米的位移，但灵敏度低，线性范围较大

6) 按照磁路结构型式又有  $\pi$  型，E 型或者罐型等等 按照组成方式有单一式与差动式

## 互感式传感器（差动变压器）

互感式传感器是一种线圈互感随衔铁位移变化的变磁阻式传感器。其原理类似于变压器。不同的是，后者是闭合磁路，前者为开磁路；前者初、次级的互感为常数，但是前者的随衔铁移动而变化，且两个次级绕组按差动方式工作

## 差动变压器 VS 差动式自感传感器：

- 相同点：都是通过改变衔铁位置来实现被测量的检测，且均由单一式结构对称组成差动式，改善非线性，提高灵敏度
- 不同点：前者通过改变衔铁位置改变初次级间的互感系数来检查相关物理量；后者改变的是磁路磁阻来改变各自的自感系数来实现被测量的检测

## 自感和互感区别：见作业 3-1

## 各使用场合，优缺点：见作业 3-4

**应用：** 位移和尺寸的测量；压力测量；力和力矩测量；振动的测量

## 电涡流式传感器

- 工作原理：有一通以交变电流  $I$  的传感器线圈。由于电流  $I$  的存在，线圈周围就产生一个交变磁场  $H_1$ 。若被测导体置于该磁场范围内，导体内便产生电涡流，也将产生一个新磁场  $H_2$ ， $H_2$  与  $H_1$  方向相

反，力图削弱原磁场，从而导致线圈的电感量、阻抗和品质因数发生变化。这些参数变化与导体的几何形状、电导率、磁导率、线圈的几何参数、电流的频率以及线圈到被测导体间的距离有关。如果控制上述参数中一个参数改变，其余不变，就能构成测量参数的传感器。

- 结构类型：反射式，投射式
- 测量电路：谐振电路、电桥电路、Q 值测试电路
- 谐振电路类型：定频调幅式、变频调幅式、调频式 应用：测位移、测厚度、测温度
- 优点：不受金属表面涂料、油、水等介质的影响；可实现非接触测量；反应快

## 电容式传感器：将被测非电量的变化转化为电容量变化的一种传感器

- 优点：结构简单，高分辨率，非可解除测量，环境适应性强，动态响应快 缺点：输出特性非线性，泄露电容的影响 分类：变极距型、变面积型、变介质型
- 基本原理：两极板间的距离、相对介电常数、极板间有效面积，三个参量中任意一个发生变化，都会引起电容量的变化，在通过测量电路就可转化为电量的输入。

## 变极距型电容传感器

### 1) 单极式

初始电容量  $C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{\delta_0}$ ，当电容极板发生移动产生  $\Delta \delta$ ，电容增大

$$\Delta C, \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta \delta}{\delta_0} \left(1 - \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^{-1}, \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} F/m$$

3) **差动式**：比单极的好处：灵敏度提高一倍；非线性误差大为减小；有效地补偿温漂

### 4) 变面积型电容传感器

(1) 结构：单片式、中间极板移动式

(2) **灵敏度 S 见公式 7**

(3) 变面积型电容传感器用途：角位移测量，结构：扇形平板结构、柱面板结构

(4) 被测量通过极板移动，有效覆盖面积发生变化，从而导致电容的变化 这种传感器输出特性呈线性，因而量程不受线性范围的限制，适合测量较大的直线位移和角位移

(5) 特点变面积型电容传感器与变极距型相比，其灵敏度下降。因此，在实际应用中，也采用差动式的结构来提高灵敏度。

### 5) 变介质式电容传感器

(1) 用途：1. 测量粮食、纺织品、木材等非导电固体物质的湿度 2. 测量纸张、绝缘薄膜等厚度

(2) **电容：见公式 8**

(3) **保持电容式传感器特性稳定的方法及其实现措施**：答：(1) **减小边缘效应的影响**（灵敏度降低，产生非线性）：采用带有保护环的结构、减小极板的厚度。如在绝缘材料商制作金属薄膜作为极板

(2) **减小寄生电容的影响**：驱动电缆法，整体屏蔽法、采用组合式与集成技术 (3) **等效电路、静电引力、温度影响也是要考**。其中温度的影响是两个方面的：结构尺寸和介质

(4) 应用：电容式位移、电容式加速度、电容式力和压力、电容式物位

(5) **例题见例题 1**

## 磁电式传感器

- 1) 利用电磁感应原理，将输入运动速度或者磁量的变化变换成感应电势输出的传输器 **原理公式 9**
- 2) 通常是不需要电源的，所以是一种自源式传感器
  - ◆ 结构型式：变磁通式、恒磁通式
  - ◆ 动态特性：**频幅特性、相频特性见公式 10**

## 霍尔传感器

- ◆ 工作原理：基于霍尔效应而将被测量转换成电动势输出的一种传感器。特点：体积小、无触点、结构简单，工艺成熟，体积小，工作可靠，寿命长，线性好，频带宽，得到广泛应用。应用：微位移及机械振动测量，当霍尔元件的控制电流不变，并置于均匀梯度的磁场中移动时，其输出的霍尔电势  $U_H$ ，
- ◆ 只取决于它在磁场中的位移，磁场梯度越大，灵敏度越高。2.无触点发讯及转速测量，当霍尔元件通以恒定的控制电流，且有磁体及距离接近然后再离开时，元件将输出一个脉冲霍尔电压，利用这一特性进行无触点发讯
- ◆ **霍尔效应：见 5-12 习题 不等位电动势**
- ◆ **产生原理和温度影响：5-13**

## 压电式传感器：以有压电效应的压电器件为核心组成的传感器

- **只用于动态测量**：外力作用在压电元件上产生的电荷只有在无泄漏的情况下才能保存，实际上是不可能的，因此不能用于静态测量。压电元件在交变力的作用下，电荷可以不断补充，可以供给测量回路以一定的电流，故只适用于动态测量。
- **压电效应**：离子型晶体的电介质在机械力的作用下，发生极化现象，当外力消失，又恢复不带电原状，当外力变向，电荷极性随之而变，这种现象称为压电效应。
- **压电三种材料**：1.压电晶体：石英晶体，其他压电单晶；2.压电陶瓷；3.新型压电材料：压电半导体，有机高分子压电材料。**特点见习题 6-2**
- 压电材料主要特性参数：习题 6-2
- **压电常数矩阵与正压电效应**：在这些电截止电介质上的一定方向上**施加机械力而产生形变**，就会引起他内部正负电荷中心的相对转移而产生电的极化，从而导致两个相对表面上出现符号相反的束缚电荷  $Q$ ，且电位移  $D$  与外应力张量  $T$  成正比： $D = dT$   $d$  就是压电常数矩阵。当外力消失，又恢复成不带电的原状；当外力变向，电荷极性随之而变。这种现象称为正压电效应
- **逆压电常数矩阵和逆压电效应**：若对上述的电介质施加电场作用时，同样会引起电介质内部正负电荷中心的相对位移而导致电介质产生形变，且其应变  $S$  与外电场强度  $E$  成正比  $S = d_e E$   $d_e$  就是逆压电常数，这种现象称为逆压电效应
- **压电陶瓷 磁化**：在一定温度下对其施加强直流电场，迫使“电畴”趋向外电场方向做规则排列；电场去除后，趋向电畴基本保持不变，形成很强的剩余极化，呈现出压电性。特点：压电系数大，灵敏度高，制造工艺成熟，可通过合理配方和掺杂等人工控制来达到所要求的性能，成型工艺性也好，成本低廉。
- **压电效应应用**：利用压电材料各种物理效应构成的种类繁多的传感器都是压电式传感器。
  - 压电式加速度传感器主要有压缩型、剪切型和复合型三种。
  - 压电式压力传感器：基本原理与结构同压电式加速度传感器，不同点为：必须通过弹性膜等，把压力收集，转换成力，再传递给压电元件，通常采用石英晶体作为压电元件。注意：1.确保弹性膜片与后接传力件有良好的接触；2.传感器基体和壳体要有足够的刚度；3.压电元件的振动模式选择要考虑到频

率覆盖；4.涉及传力的元件，尽可能采用高音速材料和扁薄结构；5.考虑加速度，温度的补偿。

---

## 热电式传感器

1) 定义：是利用转换元件电磁参量随温度变化的特性，对温度和与温度有关的参量进行检测的装置。其中 将温度变化转换为电阻变化的称为**热电阻传感器**，将温度变化转换为热电势变化的称为**热电偶传感器**

2) 分类：金属热电阻式（热电阻）和半导体热电阻式（热敏电阻）

3) 热电效应：将两种不同性质的导体组成闭合回路，节点处于不同的温度时，两者之间将产生一热电势，在回路中形成一定大小的电流。热电效应由接触电势和温差电势组成。

4) 温差电势：对于单一金属，如果两端的温度不同，则温度高端的自由电子向低端迁移，使单一金属两端 产生不同的电位，称为温差电势，与金属性质和温度差有关。

5) 接触电势：当两种金属接触在一起时，由于不同导体的自由电子密度不同，在节点处就会发生电子迁移 扩散。失去自由电子的金属呈正电位，得到自由电子的金属呈负电位。当扩散达到平衡时，在两种金属 的接触处形成电势，称为接触电势。其大小与金属的性质有关，还与节点温度有关

6) **热电阻和热电阻区别**：1) 热电阻对温度的响应是阻值的增量，必须借助桥式电路或其它措施。测电阻必须借助外加电源，即热电阻必须通过电流才能体现出阻值变化。而热电偶只要热端和冷端温度不等，就会产生热电势，是不需要电源的发电式传感器。2) 热电阻感温部分尺寸较大，热容量较大。热电偶的热端是很小的焊点，热容量小，动态响应快；3) 同类材料制成的热电阻不如热电偶测温上限高；4) 同样 温度下，热电阻的输出信号较大，易于测量

### 7) 工作定律见公式 11

1. 中间导体定律：导体 A、B 组成的热电偶，当导入第三导体时，只要保持其两端温度相同，则对回路总热 电势无影响
2. 连接导体与中间温度定律：回路的总热电势等于热电偶电势  $E_{AB}$  与连接导线电势  $E_{A'B'}$  的代数和
3. 参考电极定律：参考电极 C 与各种电极配对时的总热电势为两电极 A、B 配对之后的电势差

---

## 光电式传感器

光电式传感器是以光为测量媒介、以光电器件为转化元件的传感器。具有非接触、响应快、性能可靠的优点

- 常用光电器件
  - 外光电效应及器件：在光的照射下，电子逸出物体表面而产生光电子发射的现象。光电器件：光电管和光电倍增管。内光电效应及器件（光电导效应及器件、光生伏特效应及器件）：光照射
  - 在半导体材料上，材料 中处于价带的电子吸收光子能量，通过禁带跃入导带，使导带内光子浓度和价带内空穴增多，激 发出光生电子-空穴对，从而使半导体材料产生光电效应。
- 常用光源：热辐射光源、气体放电光源、发光二极管、激光器
- 组成结构：习题 8-1
- 光电式传感器按照输出量的性质，分为模拟式和开关式

---

## 光纤传感器

- 1) 光纤结构：纤芯（直径 5~150 微米）、包层、涂覆层、护套（由内到外）
- 2) 光纤传光原理：光的全反射；
- 3) 证明公式见第 9 章习题
- 4) 光纤按照折射率分类：阶跃行、渐变型；按传播模式分：多模光纤、单模光纤
- 5) 光纤主要特性：损耗；色散：材料色散（折射率色散，由于光信号中各波长分量的光群速度不同）、波导色散（结构色散，波导结构不同，某一波导模式传播常数随着信号角频率变化引起色散）、多模色散
- 6) 光纤传感器分类：（1）功能型：传感型光纤传感器，利用光纤本身特性，光纤作为敏感元件；（2）非功能型：传光型光纤传感器，光纤仅作为光的传输介质

### 7) 光调制与解调

#### (1) 强度调制与解调

是被测对象引起载波光强度变化，从而实现对被测对象进行检测的方式。光强度变化可以直接用光电探测器进行检测。

- 解调过程主要考虑信噪比是否能满足测量精度的要求
- 光强调制技术：1) 微弯效应：微弯损耗强度调制器的原理如图。当垂直于光纤轴线的应力使光纤发生弯曲时，传输光有一部分会泄漏到包层中去。2) 光强度的外调制：外调制技术的调制环节通常在光纤外部，因而光纤本身只起传光作用。这里光纤分为两部分：发送光纤和接收光纤。两种常用的调制器是反射器和遮光屏。3) 折射率光强度调制
- 强度信噪比计算公式见公式 12

### 8) 偏振调制与解调

光纤传感器中的偏振调制器常利用电光、磁光、光弹等物理效应。在解调过程中应用检偏器。

调制原理：普克耳效应、法拉第磁光效应光纤、光弹效应见公式 13

### 9) 相位调制与解调

调制基本原理：通过被测能量场的作用，使能量场中的一段敏感单模光纤内传播的光波发生相位变化，利用干涉测量技术把相位变化变换为振幅变化，再通过光电探测器进行检测。

实现相位调制的物理效应：应力应变效应：应变效应（光纤的长度变化）；泊松效应（光纤芯的直径变化）；光弹效应（光纤芯的折射率变化）；热胀冷缩效应

- 10) 干涉测量仪：迈克尔逊干涉仪、马赫 - 泽德尔 (Mach-Zehnder) 干涉仪、塞格纳克 (Sagnac) 干涉仪、法布里—帕罗 (Fabry-Perot) 干涉仪

---

## 数字式传感器

- 1) 特点：①具有高的测量精度和分辨率，测量范围大；②信号易于处理、传输；③抗干扰能力强，稳定性好；④便于动态及多路测量，读数直观；⑤安装方便，维护简单，工作可靠性高。
- 2) 常用：感应同步器；栅式数字传感器：光栅、容栅、磁栅、球栅等；编码器：脉冲盘式、码盘式等

### 光栅：

- 1) 定义：光栅是由很多等节距的透光缝隙和不透光的刻线均匀相间排列构成的光器件，分为物理光栅和计量光栅，前者的刻线比后者细密，物理光栅主要利用光的衍射现象，计量光栅利用



光栅的莫尔条纹现象。

2) 按**工作原理**有物理光栅和计量光栅之分，前者的刻线比后者细密。物理光栅主要利用光的衍射现象，通常用于光谱分析和光波长测定等方面；计量光栅主要利用光栅的莫尔条纹现象，它被广泛应用于位移的精密测量与控制中。

3) 按应用需要，计量光栅又有透射光栅和反射光栅之分，而且根据用途不同，可制成用于测量线位移的长光栅(直光栅)和测量角位移的圆光栅。

4) 按光栅表面结构的不同，又可分为幅值（黑白）光栅和相位（闪耀）光栅

---