现代检测技术重点整理

# 绪论

## 信息技术三大支柱

通信技术、计算机技术、传感器技术

## 测试的基本任务

获取有用信息

## 完整的测试过程

被测**对象**、测量**方法**、**数值和计量单位**、测量**误差**

## 测量方法分类

直接测量、间接测量

接触式测量、非接触式测量

静态测量、动态测量

## 测试系统的基本结构

传感器单元、硬件、驱动软件、应用软件

## 测试系统的类型

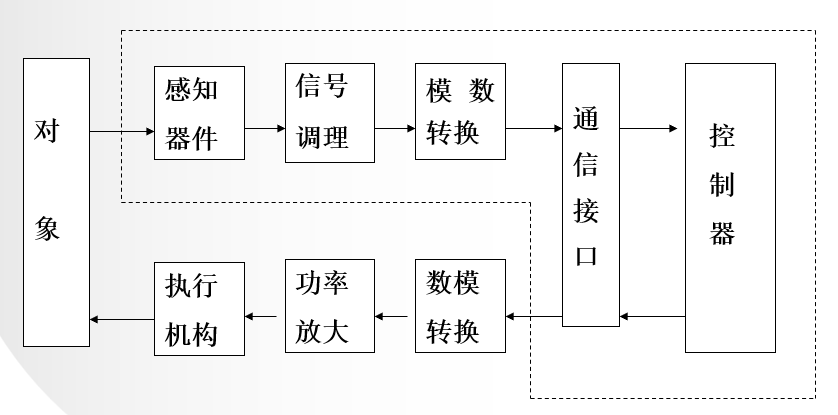
### 直接型

图示

描述已自动生成

### 标准通用接口型

### 闭环控制型



### 基于网络的测控系统模型（基于现场总线/Internet）

## 现代测试系统特点

高精度和高分辨率；

高速实时数据分析处理；

高可靠性和稳定性；

多功能扩展；

自校准和自动故障诊断；

多种形式输出和存储结果。

## 现代检测检测技术的发展趋势

**传感器**向新型、微型、智能型发展；

**测量技术**向高精度、多功能、集成化、低价格、在线监测、性能标准化发展；

测量**数据处理**以计算机为核心，使测量、分析处理、显示及故障预报向自动化、网络化发展。

# 误差分析处理

## 误差表示类型

### 绝对误差（示值与真值之差，负值为修正值）

### 相对误差（绝对误差与真值之比）

### 引用误差（绝对误差与测量仪表量程之比，通过等级*a*确定最大误差值， 常用于判断选择测量仪器）

## 误差分类

随机误差（偶然性）、系统误差（与系统、仪器有关）、粗大误差

**多次测量可以抵消随机误差，但不能减小系统误差**

## 有效数字

数据的舍入规则：四舍五入，**末位取偶（入的时候取偶）**，一次舍入到位

## 随机误差的统计特性

对称性、单峰性、有界性、抵偿性

## 随机误差处理（先平均后计算）

通过**贝塞尔公式**求标准误差的近似值

贝塞尔公式：

采用近似值通过**谢波尔德公式**确定测量次数n（n一般取10~20）

谢波尔德公式：

## 粗大误差的剔除

### 拉依达准则：的数值剔除（n小于等于10时失效）

### 格罗布斯（Grubbs）准则：的测量值剔除（α=1-置信概率）

### 分布图法：

#### 找出上、下四分位数XU、XL，dX=XU-XL和中位数XM；

#### |Xi-XM|>βdX（β=1~2）的数值无效

#### 有效区间：[ρ1,ρ2] ρ1=XL- 0.5\*β\*dX ρ2=XU+ 0.5\*β\*dX

# 测量不确定度与数据表述

## 分类

### 标准不确定度

### A类标准不确定度μA（用统计方法得到）

### B类标准不确定度μB（用非统计方法得到）

### C类标准不确定度μC（合成在一起）

### 扩展不确定度U（合成不确定度的倍数表示）

## 置信因子确定

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 常见概率分布与置信因子k的取值 | | | | |
| 概率分布 | 正态分布 | 三角分布 | 均匀分布 | 两点分布 |
| 置信因子k | 2~3 |  |  | 1 |

## A类标准不确定度

### 计算平均值

### 计算标准偏差

### 获得A类不确定度

## B类标准不确定度

### 确定误差区间(-α,α)

### 假设概率分布

### 获得B类不确定度（置信区间半宽度α，包含因子k【通常为2~3之间】）

## C类标准不确定度

## 扩展不确定度【k常取2或3】

## 非线性信号产生原因

### 传感器转换环节非线性

### 测量电路非线性

## 非线性信号补偿方法

### 模拟式【硬件补偿】：差动、开环（加入校正环节）、闭环

### 数字式【软件补偿】：拟合、查表

# 系统静态特性

## 基本参数

### 量程 yFS

### 零点y(0)【x=0时y的值】

### 灵敏度

### 分辨率（传感器能够检测到的最小输入增量）

## 质量指标

### 重复性



### 迟滞



### 线性度



### 准确度

### 稳定性和环境影响

#### 零点温度系数

#### 灵敏度温度系数

### 可靠性

#### 平均无故障时间（MTBF）

#### 可信任概率P

#### 故障率（1/MTBF）

#### 可用度A（平均修复时间MTTR）

# 系统动态特性

## 一阶数学模型

时间常数τ，静态灵敏度K

1/τ 转折频率/截止角频率，系统的工作频率范围取决于时间常数τ

响应时间 4τ

要求：会推导幅频、相频公式

## 二阶数学模型

系统无阻尼固有角频率ω0，阻尼比ζ，静态灵敏度K

幅频特性曲线是否出现峰值取决于阻尼比ζ

可用范围与**允许的幅度误差**和**阻尼比**有关

要求：会推导幅频、相频公式

# 传感器原理概述

## 传感器定义

传感器是能够**感受规定的被测量**并按一定规律**转换成可用输出信号**的器件或装置。

## 传感器的组成

敏感元件（非电量=>其他易于转换为电量的物理量）、  
变换元件（非电=>电）、  
辅助元件（信号的调节与转换）

## 弹性敏感元件

### 基本特性

#### 刚度

#### 灵敏度

#### 固有频率

### 分类

柱式、梁式（根部应变最大）、环式、扭转轴、膜片、薄壁圆筒、弹簧管、波纹管

|  |
| --- |
|  |

# 应变式传感器

## 基本原理

电阻应变效应（金属）：  
金属导体在外力作用下发生机械变形时，其电阻值随着所受机械变形而变化

泊松比μ、纵向应变εx

应变片压阻效应（半导体）：  
半导体材料在受到外力作用时，其电阻率ρ发生变化的现象

纵向应变εx

**S为灵敏度系数**

## 分类

丝式（典型结构、分为丝绕型和短接型【短接型的横向效应小】）、  
箔式、  
半导体、  
薄膜

## 测量电路

**灵敏度**

**直流电桥**

1. 分类（灵敏度以2倍递增）
2. 半桥单臂（0.25）
3. 半桥双臂（0.5）
4. 全桥（1）
5. 和差特性（提高灵敏度、实现温度补偿、消除干扰）

电桥内的电阻有2个相邻桥臂、1个相对桥臂

相邻桥臂：  
应变极性**相同**时，电桥输出电压与两应变**差**有关；  
应变极性**相反**时，电桥输出电压与两应变**和**有关

相对桥臂（与相对桥臂正好相反）

## 校正和补偿

**温度补偿方法**

自补偿法（选择自补偿、组合式自补偿）、  
桥路补偿法（温度升高应变片灵敏度下降）

热敏电阻补偿法

## 应用

测量应变、应力、位移、加速度、压力等

# 电感式传感器

## 基本原理

电磁感应原理（线圈匝数W、空气磁导率μ0、气隙δ、气隙导磁截面积A）

集肤效应（电涡流）

## 分类

1. **自感**
   1. 变磁阻式自感传感器
   2. 变气隙式自感传感器
   3. 变面积式自感传感器
   4. 螺管式自感传感器（移动螺管内铁芯来改变磁阻）
2. **互感（利用互感系数，两电感反向串联）**
3. **电涡流**
   1. 高频反射式电涡流式传感器  
      （用于位移及与位移相关的厚度、振动等测量）
   2. 低频透射式电涡流式传感器（测量厚度）

## 测量电路

1. 差动测量系统（增大了灵敏度）
2. 交流电桥（与直流不同之处为：电阻R变为阻抗Z）
   1. 电感式电桥
   2. 变压器电桥

**变压器电桥与电阻平衡电桥相比：**

**优点：元件少，输出阻抗小；**

**缺点：变压器副边不接地，容易产生来自缘原边的静电感应电压，使高增益放大器不能正常工作**

## 校正和补偿

交流电桥的调制与解调（实现信号的远距离传输）

## 应用

测厚度、无损探伤、测速

# 电容式传感器

## 基本原理

介电常数ε、极距δ、正对面积A

## 分类

### 变间隙式电容传感器（包括差动型【提高灵敏度、增大工作范围、降低影响】）

### 变面积式电容传感器

### 变介电常数式电容传感器

## 测量电路

**差动脉冲宽度调制电路**

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

## 校正和补偿

## 应用

测位移、流量、压力、液位

# 压电式传感器

## 基本原理

**压电效应**

电荷q、压电常数d、力F

1. 正压电效应（压力 => 电荷）
2. 负压电效应（电场 => 发生形变）
3. 横向压电效应（x轴 => x轴）
4. **纵向压电效应（x轴 => y轴）【主要运用】**

压变片面积S、压电材料介电常数ε、极板间距δ【等效为电流、电压源】

居里点：温度超过居里点时，压电材料的压电性能被破坏

## 分类

## 测量电路

并联（q大、C大、时间常数大 => 适合高频、电荷）

串联（U大、C小、时间常数小 => 适合低频、电压）

## 校正和补偿

前置放大器：放大信号、阻抗变换

## 应用

# 磁敏式传感器之磁电式传感器

## 基本原理

电磁感应定律

## 分类

### 变气隙式【线圈与磁铁无相对运动】

被测物体运动引起磁阻变化

### 恒磁通式【线圈与磁铁有相对运动】

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

测扭矩、流量、振动

# 磁敏式传感器之霍尔传感器

## 基本原理

霍尔效应

霍尔常数RH，与磁场方向一致的厚度d，磁场与元件的夹角θ

## 分类



由**霍尔片、四根引线、壳体**组成（横向接激励电压、纵向接负载电压）

UH-I【线性】

UH-B【不一定线性，有些情况存在非线性】

### 线性型

### 开关型

### 位移式传感器【中间物块】

### 计数传感器

## 测量电路

## 校正和补偿

不等电位电势补偿

**温度补偿【通过并联电阻成进行补偿】**

K、R、r均会随温度变化，变化斜率不相等

## 应用

测电流、电压、位移、加速度、压力

# 磁敏式传感器之磁敏电阻

## 基本原理

磁阻效应

比例因子K，  
电子迁移率μ，  
磁敏电阻的长（沿着电流方向）与宽 Lb，  
f(L/b)形状系数

## 分类

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

无触点开关，力、加速度测量

# 磁敏式传感器之磁敏二极管、磁敏三极管

## 基本原理

PN结型的新型磁电转换器件【灵敏度高、正反磁灵敏度、线性区域窄】

|  |
| --- |
| 二极管 |
|  |
| 三极管 |
|  |
| 进入r区时被嵌入，电子数量减少，进而导致电流减小 |

## 分类

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

测磁场、电流、转速、位移，探伤，位置控制，接近开关

# 光电式传感器

## 工作原理

### 外光电效应

光照下电子逸出，形成光电流

能量 E、普朗克常量h、频率υ、电子质量m、电子逸出速度v、逸出功A

### 光生伏特效应

在光线作用下，使物体产生一定方向的电动势

### 内光电效应

在光照下，物体的导电性能发生改变

## 分类

### 外光电效应器件

光电管【暗电流：无光照下，电流不为0；入射光越强，衰老越快】

### 光生伏特器件

光电池【硅、硒、砷化镓】、光敏二极管、光敏三极管

### 内光电效应器件

光敏电阻【阻值随光照增强而减小】、光导管

|  |
| --- |
|  |
| 光敏电阻结构 |

暗电流：光敏电阻在室温条件下，无光照时测量的电阻值称为暗电阻，此时在给定电压下流过的电流。

亮电流：光敏电阻在某一光照下的阻值，称为该光照下的亮电阻。此时流过的电流。

光电流：亮电流与暗电流之差测量电路

光电传感器【组成：光源、光学元件、光电变换器】

e.g. 光电耦合器

## 校正和补偿

## 应用

# 图像传感器

## 基本原理

光学图像转换成电信号

## 分类

### 电荷耦合器件（CCD）【以电荷为信号载体，灵敏度高、动态范围高】

光照产生了自由电子，电子数量取决于光照强度和收集时间

线型

面型

### 互补式金属-氧化物-半导体（CMOS）型【以电压为信号载体、低功耗高集成】

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

# 热电式传感器

## 工作原理

温度转换为电量（电阻、电势等）

## 分类

### 温度 => 电阻

热电阻、热敏电阻

### 温度 => 电势

热电偶、PN结传感器

### 温度 => 电荷

热电探测器、红外探测器

接触式测温【热平衡、滞后大、精度在1%】与非接触测温【热辐射、适合高温、精度在10度左右】

## 测量电路

热敏电阻【e分布曲线、阻值随温度上升递减】

热电偶：

## 校正和补偿

**热电偶**

0℃恒温法【校准】

冷端温度实时测量修正法

补偿导线法（远离热源，获得相对稳定的冷端）

补偿电桥法

## 应用

# 数字式传感器

## 工作原理

模拟量转换为数字量

**优点：**

测量精度和分辨率高；

抗干扰能力强；

易于计算机连接，便于信号处理和实现自动化测量；

适宜于远距离传输。

## 分类

脉冲输出式【光栅数字传感器、感应同步器\】

编码输出式【编码器】

频率输出式

1. 光栅数字传感器

光栅莫尔条纹

* 1. 构成：光源、透镜、主光栅、指示光栅、光电元件
  2. 莫尔光栅
     1. 产生：
        1. 主光栅和指示光栅具有夹角；
        2. 挡光效应、光的衍射
        3. 宽度大于栅距W的明暗条纹
     2. 光栅莫尔条纹：
     3. 特征：
        1. 运动对应关系；
        2. 放大位移；
        3. 减小误差。
     4. 主光栅每移动W变化一个周期，可用过光电元件，转换为电信号
     5. 辨向电路（间距为B/4的位置设置两个光电元件）

1. 感应同步器
2. 编码器
3. 容栅传感器

可测量大位移的变面积电容式数字传感器

# 光纤式传感器

## 工作原理

## 分类

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

# 辐射式传感器之红外传感器

## 工作原理

## 分类

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

# 辐射式传感器之超声波传感器

## 工作原理

## 分类

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用

# 辐射式传感器之SAW传感器

## 工作原理

## 分类

## 测量电路

## 校正和补偿

## 应用