

海洋探测与调查技术

教师：黄慧*

浙江大学 海洋学院

*电子邮箱： hhuangh1@126.com

办公室：海工楼420室

2019-2-27

课程包括两大部分：

- 传感与检测基础知识（黄慧等）
- 海洋传感器与调查方法（陈家旺）

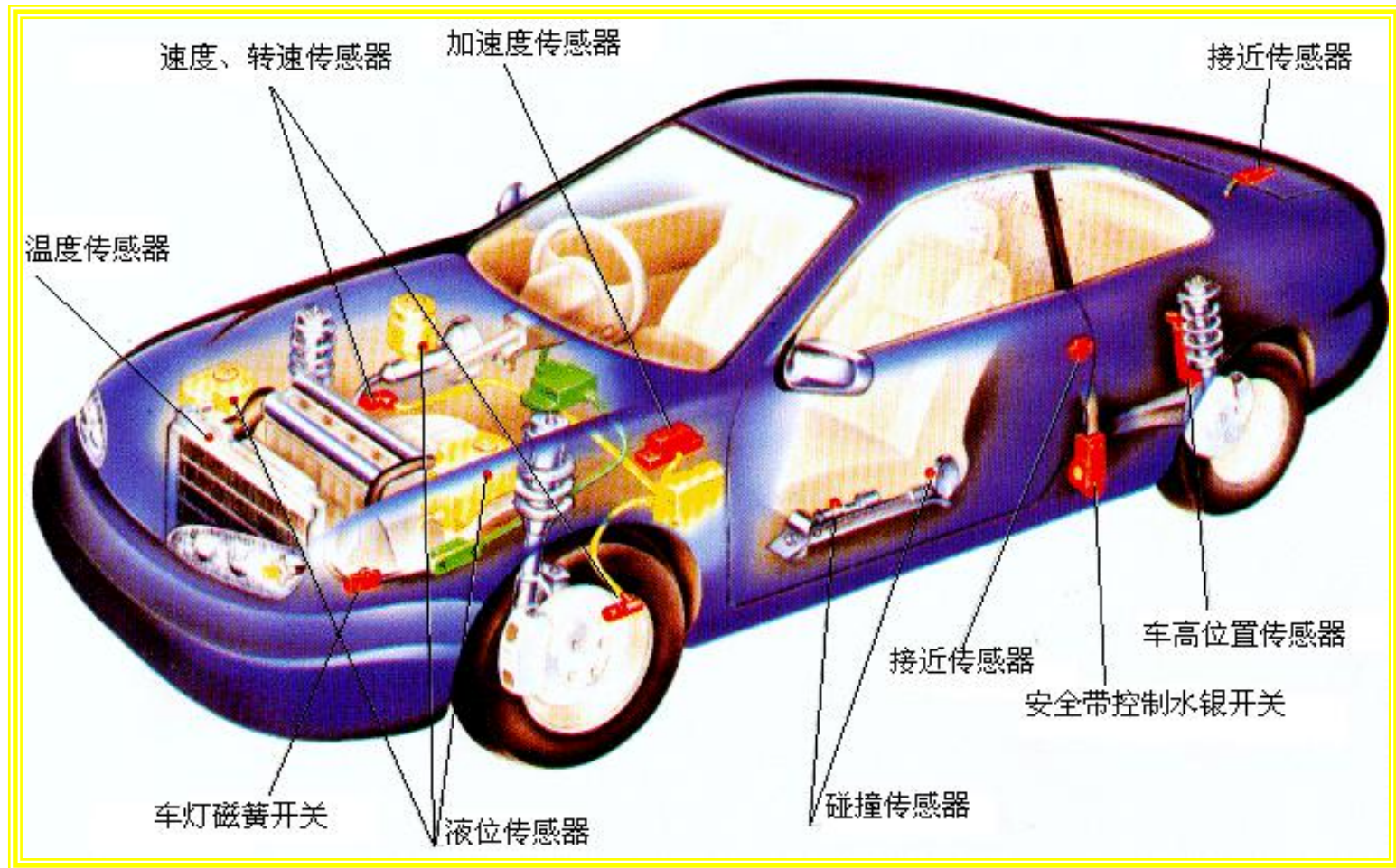
什么是传感（器）？……

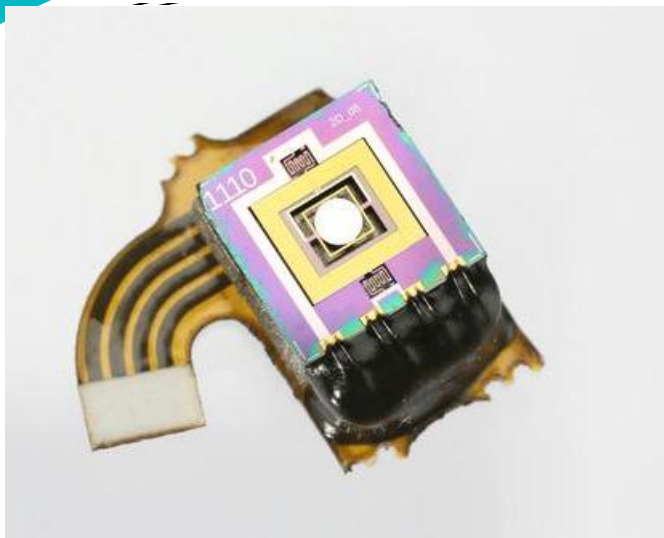
- 传感器（英文名称：transducer/sensor）是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息，按一定规律**变换**成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。
- 国家标准GB7665-87对传感器下的定义是：“能感受规定的被测量件并按照一定的规律(数学函数法则)**转换**成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成”。
- “传感器”在新韦式大词典中定义为：
“从一个系统接受功率，通常**以另一种形式**将功率送到第二个系统中的器件”。

传感器的功能：信息的转换

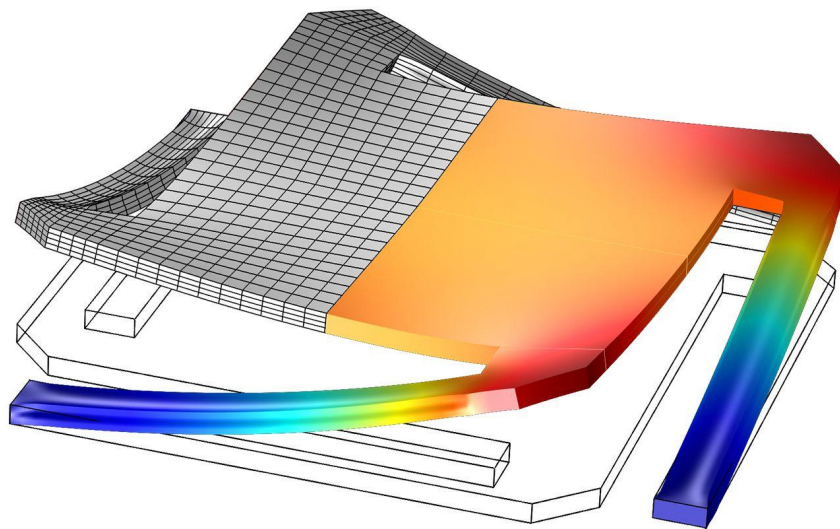
- 人体的传感器：眼、耳、鼻、皮肤
- 生活中的传感器：温度计、摄像头、感应开关……
- 工业生产：温度、湿度、压强、物质浓度……
- 海洋中的传感器：CTD(温盐深)、叶绿素、营养盐、风速、流速、压力、速度、位移……

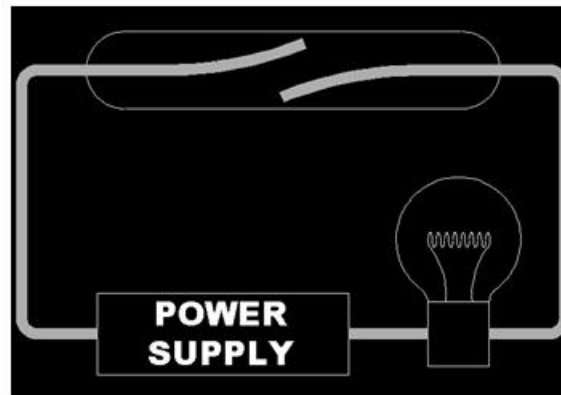
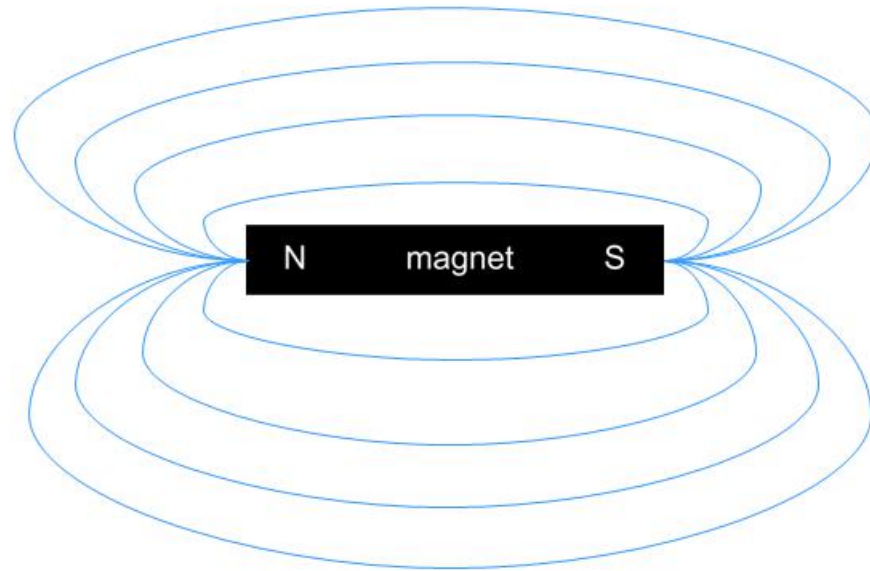
Conductance电导, Temperature温度, Depth深度





机器人表面软体皮肤





块体声波滤波器

•BAW filters

•BAW duplexers

Bulk acoustic wave duplexers, 声体波双工器

射频开关

•RF switch / variable capacitor

温度补偿晶体振荡器

•TCXO oscillators

•Accelerometer

陀螺仪

•Gyroscope

•Electronic compass

电子罗盘

•Pressure sensor

MEMS micro-mirror

微机电反射镜



•CMOS Image Sensor

•Auto-Focus actuator

自动对焦器

Internet of Things online

•Front camera

•ALS & Proximity sensor

•Microdisplay

近距离传感器

Silicon microphone

北京时间7月28日凌晨

蛟龙号第三次深海探秘

正在开展摄影摄像、地形扫描等科研作业

CTD
压力

摄影摄像
地形扫描

机械臂

观测窗

采集样本

钛合金壁

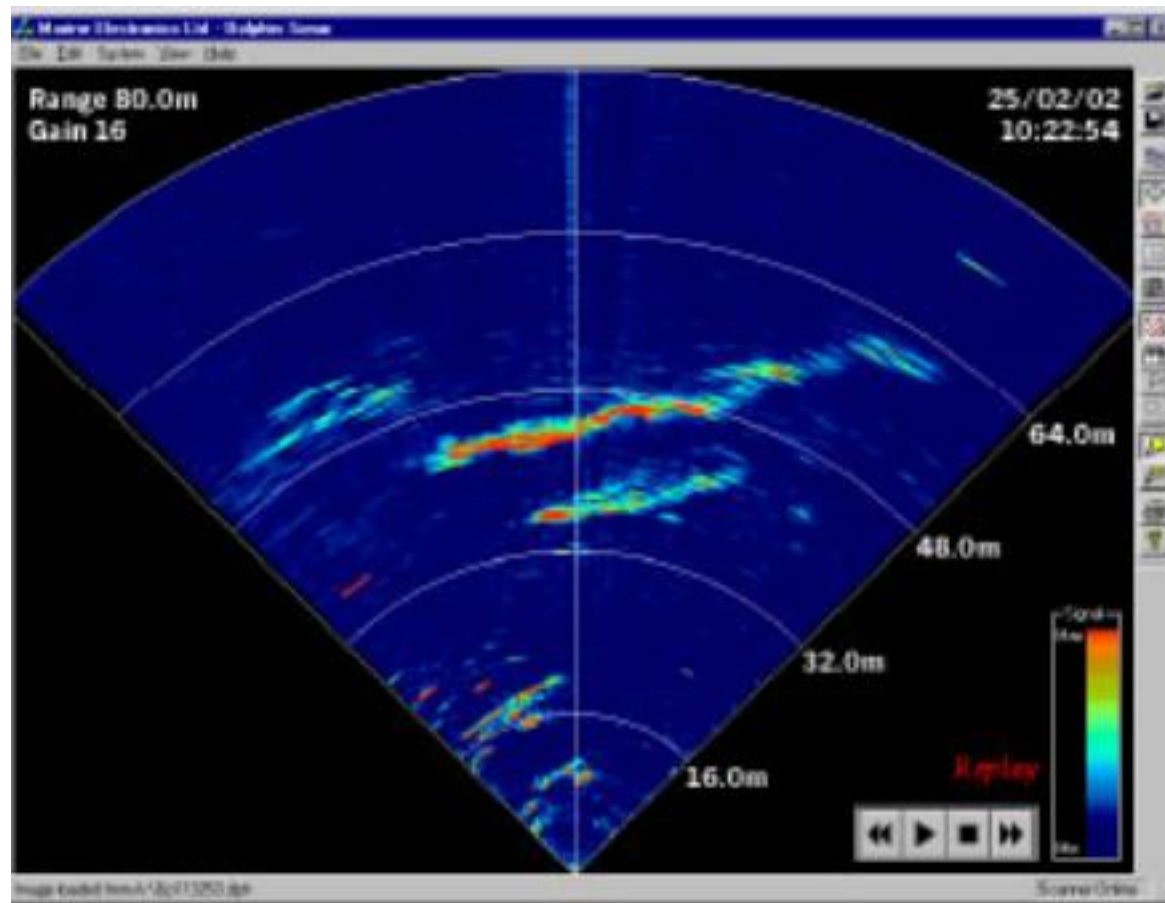
载人舱

5143m

新华社记者秦迎 编制



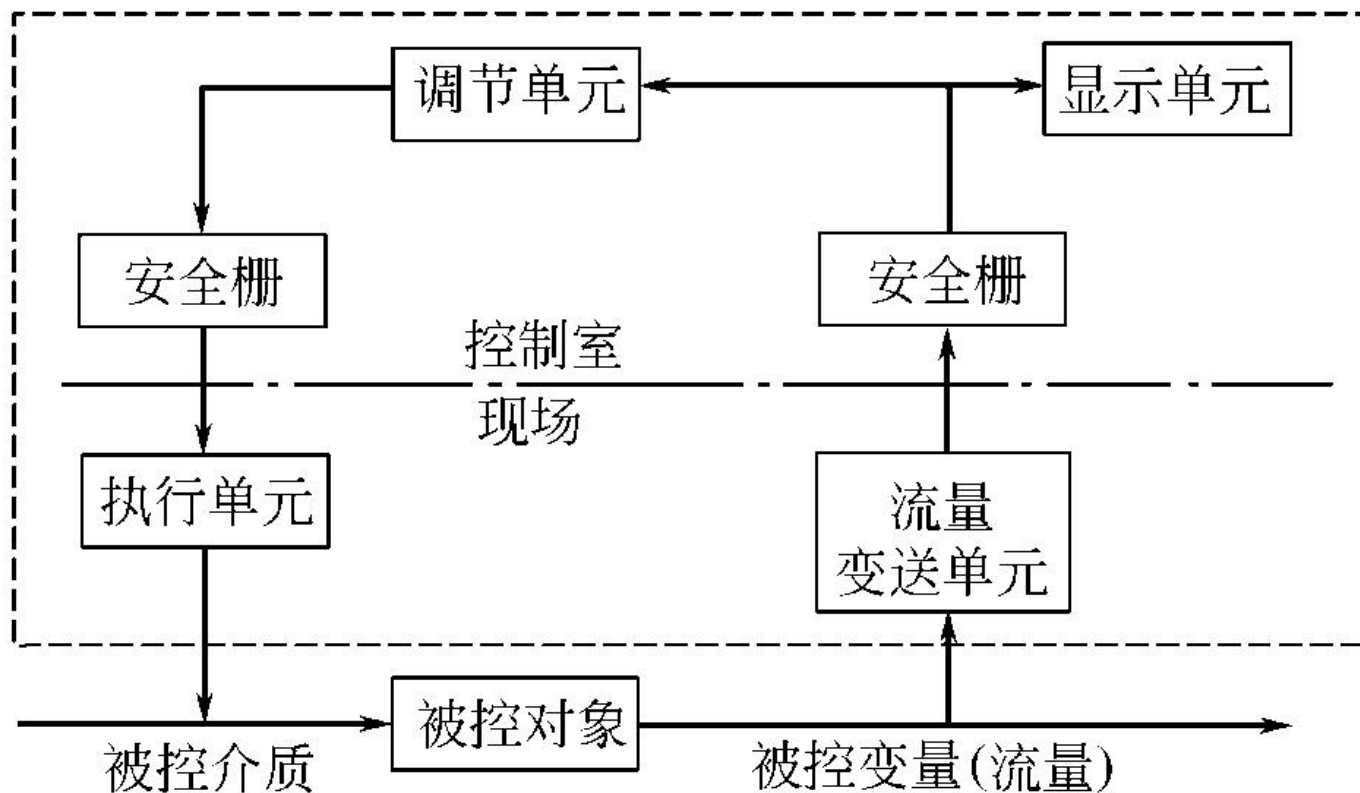
例如，利用声纳进行水下目标探测
e.g. 鱼群探测器



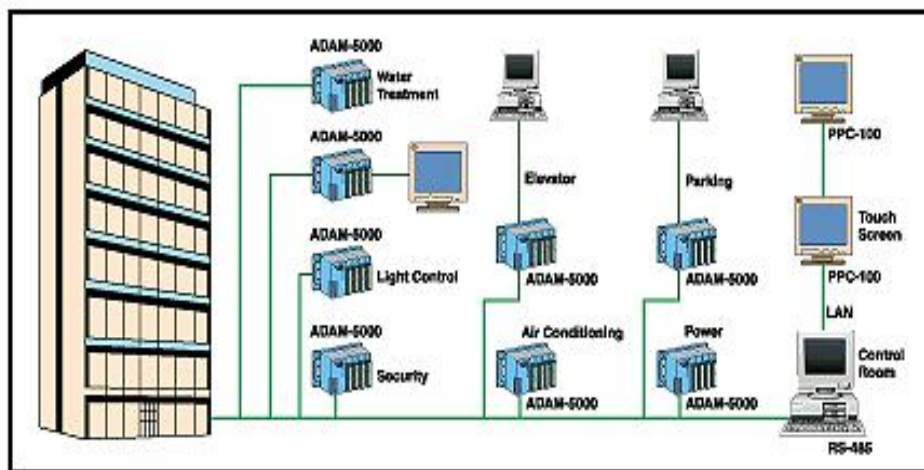
利用传感器进行自动控制（反馈控制）



流量控制 (FC)



智能楼宇控制



安全监测、照明控制、空调控制、水/废水管理等。



红外人体探测器



亮度传感器



温度传感器



湿度传感器



水压传感器

- “蛟龙”号：
 1. 自动定向航行
 2. 自动定高航行
 3. 自动定深功能
 4. 悬停定位
- 航空航天
- 无人驾驶汽车
- 无人机



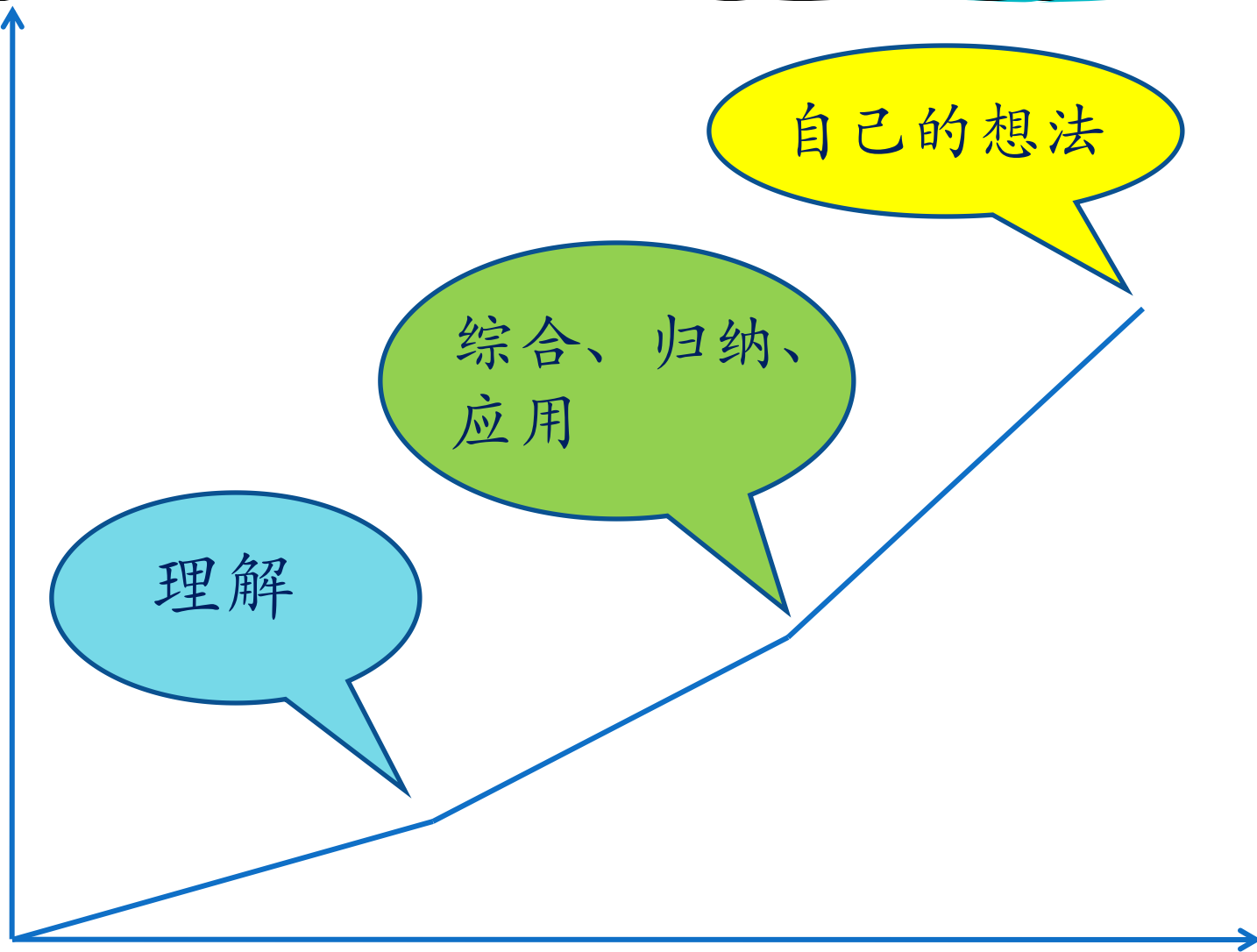
所以，

传感器存在于我们生活的方方面面，应用相当广泛！

尤其对于海洋研究、ROV、高端海洋装备的开发，更是离不开传感器……

那么，通过这门课程可以学到什么？

- 传感与检测基础知识
- 多种传感器（电阻电容、压电、光电）的工作原理
- 多种检测技术（温度、压力、流量）的原理



课程安排：

- 双周，单周
- 理论课：3+2节
- 实验课：2节
- 理论老师：
 - 1-2, 黄慧
 - 3, 贺双颜
 - 4-6, 王杭州
 - 7-8, 詹舒越
- 实验老师：
 -
 -
 -
- 郝帅，贺双颜

授课材料：

1. 课本：《传感器与检测技术》，王俊杰、曹丽等，清华大学出版社

2. 课件、作业、实验报告：

<http://ocedu.zju.edu.cn/bkspy/>

成绩组成：

- 探测部分共50分。
 - 考试：25分
 - 作业：7分，每章一个小作业
 - 出勤：3分
 - 实验：15分
- 有事请假。不请算扣分。
- 考试时间：春季结束

作业1：了解关于蜂鸟舌头的工作原理，仿照该原理或者部分原理，设计一个用于海面溢油回收的舌型机械结构（或者设计其它海洋探测相关结构/模块）

要求：至少1个结构示意图/三视图/装配图/等图，配必要的组成、工作过程说明文字。

参考：

<https://www.sciencemag.org/news/2012/10/video-tricks-hummingbirds-tongue>

https://video.tudou.com/v/XMjQxNDE5Mjk4NA==.html?__fr=oldtdh

<https://wenku.baidu.com/view/d1f46d164431b90d6c85c7f3.html>

传感与检测技术基础知识

主讲教师：黄慧

浙江大学 海洋学院

*电子邮箱： hhuangh1@126.com

办公室：海工楼420室

2019-2-27

三、参考文献及网址

- <http://www.cgjsxb.periodicals.net.cn> 传感技术学报
- <http://www.chinasensor.com.cn/index.asp> 传感器技术
- <http://www.isnmag.com> 仪器仪表与传感器
- <http://www.21ic.com> 中国电子网。
- <http://www.eaw.com.cn> 电子设计应用。
- <http://www.sensorworld.com.cn> 传感器世界
- <http://www.sensor.com.cn> 中国传感器

内容提纲:

1.1 传感器基础

1.2 检测技术基础

1.3 测量方式分类

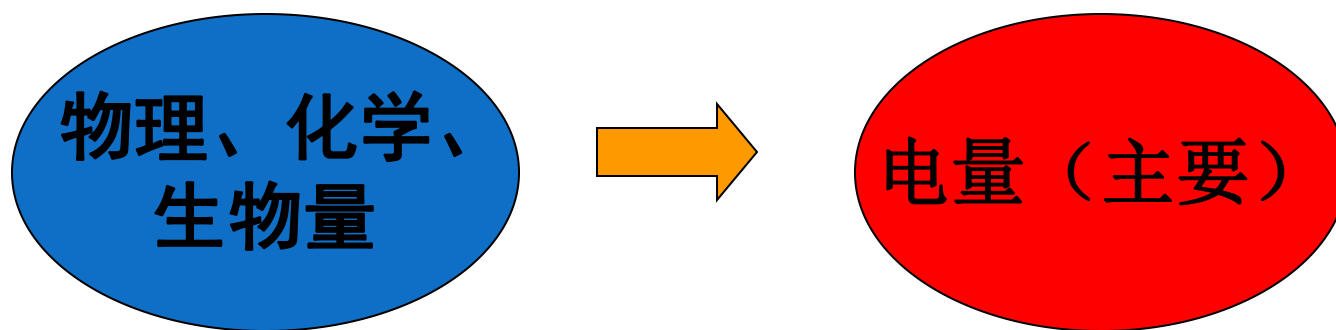
1.4 误差

1.5 小结

1.6 思考题

1.1.1 传感器功能

感知外界信息，并能按一定规律将这些信息转换成可用信号。



1.1.2 传感器的分类

1)按被测物理量分类

常见的被测物理量有哪些？

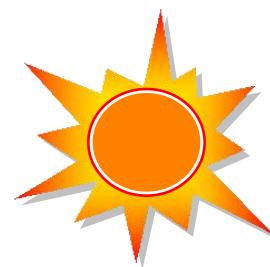
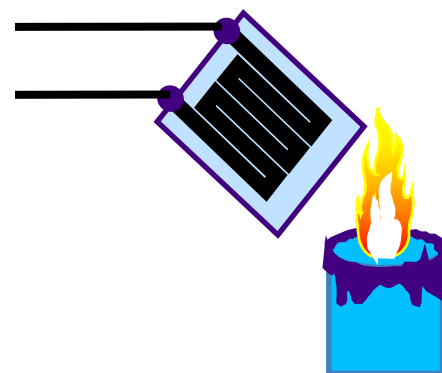
机械量:长度,厚度,位移,速度,加速度,
旋转角,转数,质量,重量,力,
压力,真空度,力矩,风速,流速,
流量; 深度

声: 声压,噪声.

磁: 磁通,磁场.

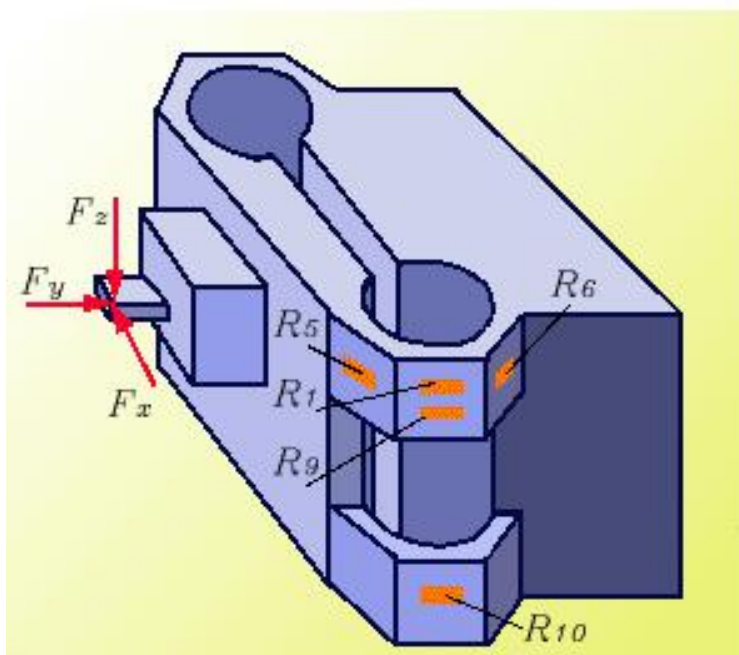
温度: 温度,热量,比热.

光: 亮度, 色彩, 辐照度

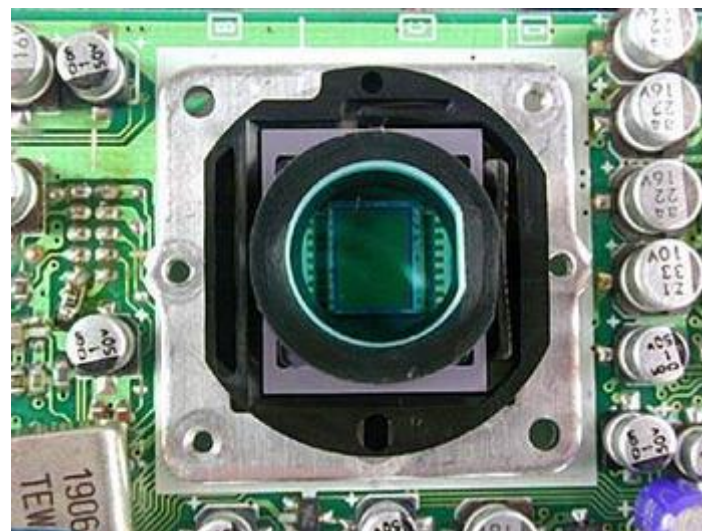


2)按工作原理分类:

机械式、电气式、光学式、流体式等。



切削力测量应变片



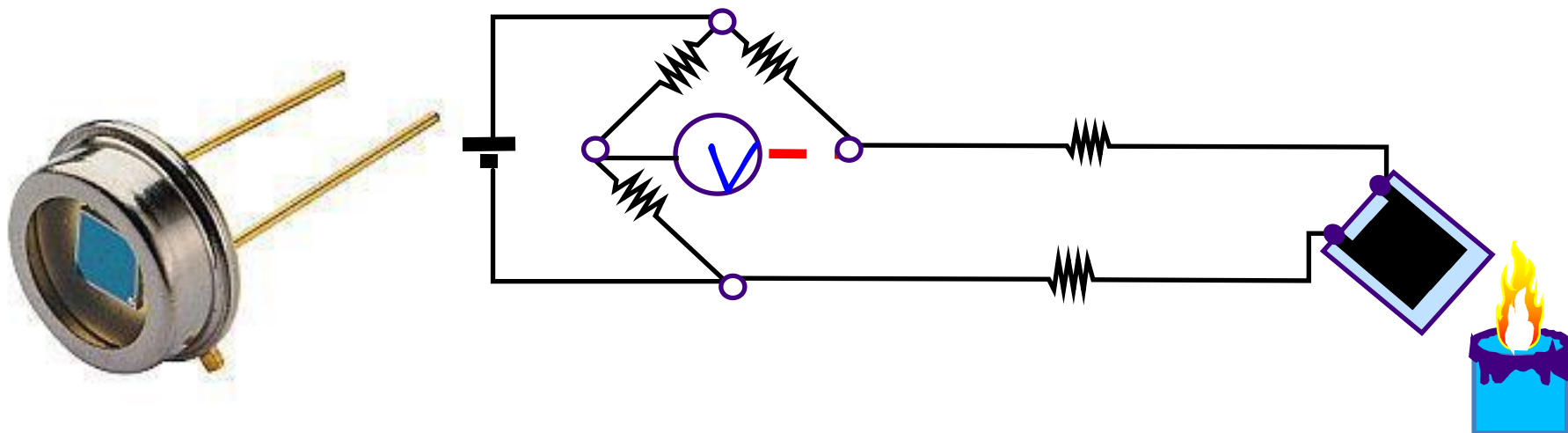
CCD传感器

3)按信号变换特征: 能量转换型和能量控制型.

能量转换型:直接由被测对象输入能量使其工作.

例如:光电二极管 (非加压模式).

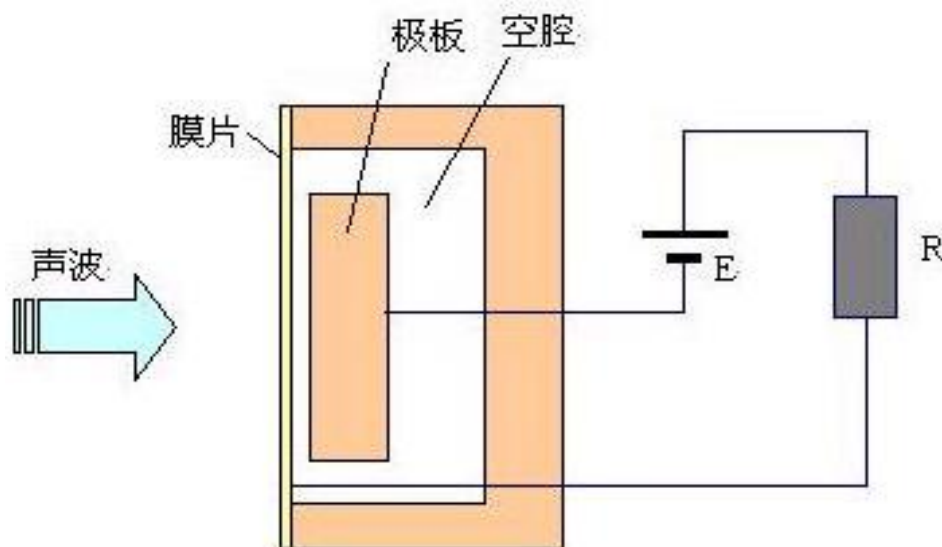
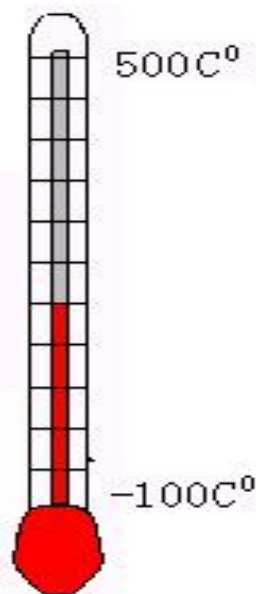
能量控制型:从外部供给能量并由被测量控制外部供给能量的变化.例如:电阻应变片.



4)按敏感元件与被测对象之间的能量关系:

物性型:依靠敏感元件材料本身物理性质的变化来实现信号变换.如:水银温度计.

结构型:依靠传感器结构参数的变化实现信号转变.
例如:电容式和电感式传感器.



1.1.3 传感器的特性

传感器的特性一般指输入、输出特性。

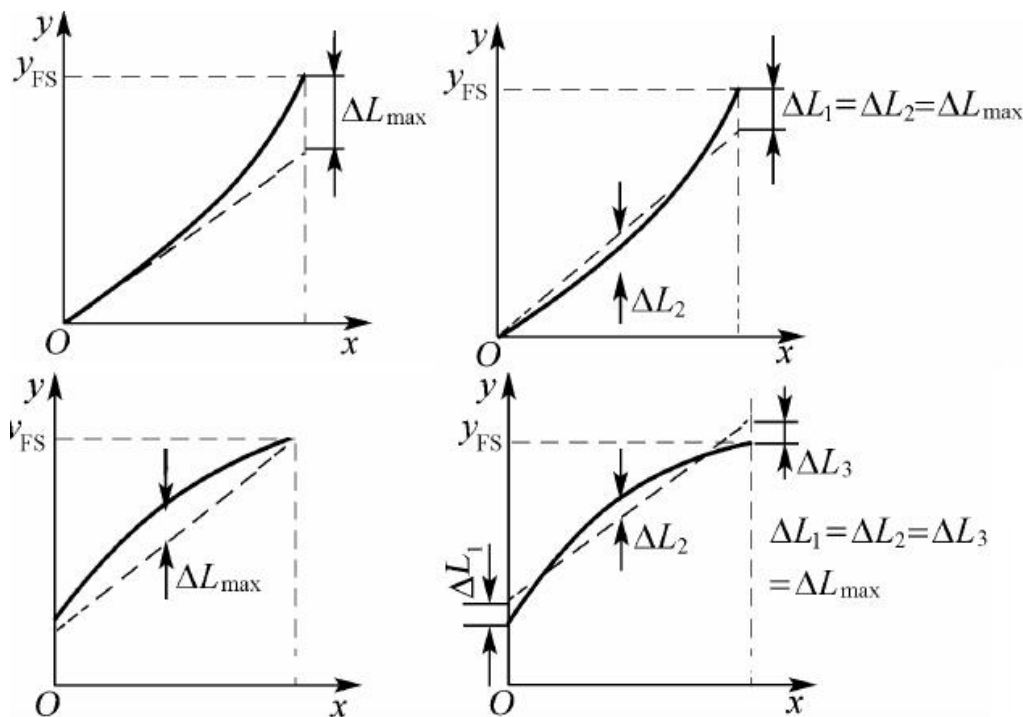
传感器的基本特性可用静态特性和动态特性来描述。

静态特性：

- 传感器的静态特性是指当被测量的值处于稳定状态时输入量与输出量的关系。
- 只有传感器处于稳定状态时，输入量与输出量之间的关系式中才不含有时间变量。
- 衡量静态特性的重要指标包括线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性、漂移和可靠性等。

1) 线性度

- 线性度是指传感器输入量与输出量之间的静态特性曲线偏离直线的程度，其又称为非线性误差。在实际使用中，大多数传感器的静态特性曲线是非线性的。可用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段，使输入输出特性线性化，这条直线称为拟合直线。



$$\gamma_L = \frac{\Delta_{Lmax}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\%$$

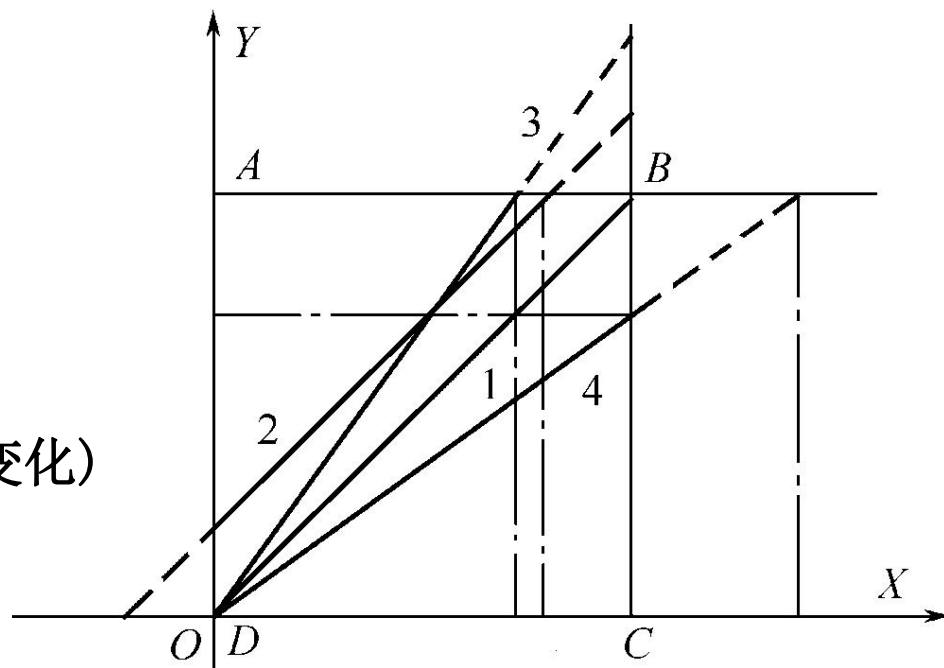
2) 零点迁移和量程迁移（漂移）

- 零点：测量的下限值。
- 根据测量要求和条件变化对仪表零点或量程的改变。

X: 仪表量程

Y: 指针最大偏转值

- 1: 迁移前特性曲线
2: 零点迁移特性曲线
3、4: 量程迁移特性曲线(灵敏度变化)



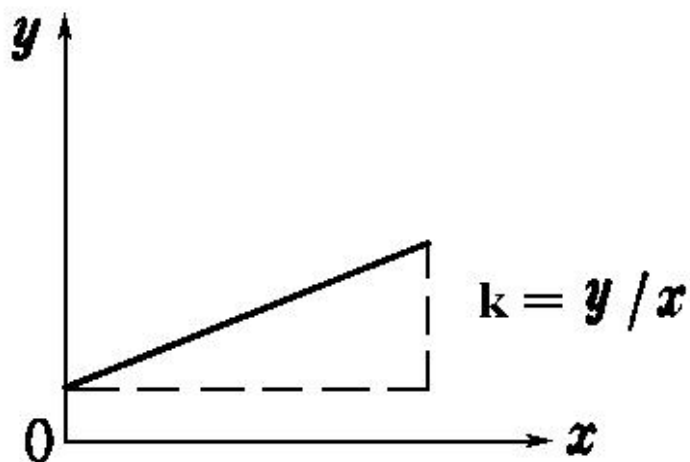
3) 灵敏度和分辨率

- 灵敏度：被测参数改变时，经过足够时间仪表指示值达到稳定状态后，仪表输出变化量与引起此变化的输入变化量之比。

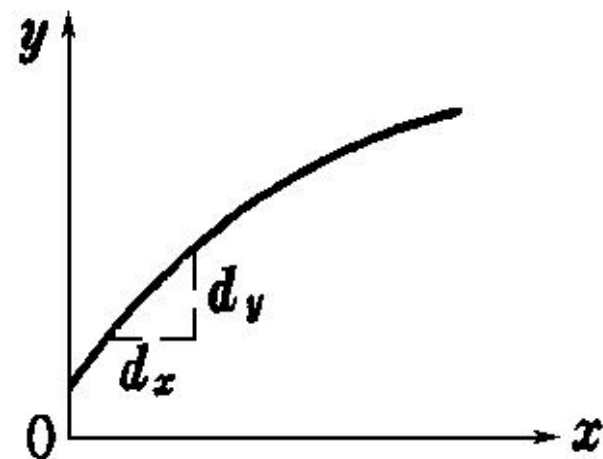
$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta Y}{\Delta U} \quad (\text{仪表的放大倍数})$$

- 灵敏度为量纲（无单位）。由量纲U和Y确定。
- 分辨率：灵敏度的一种反映，表示仪表输出能响应和分辨的最小输入量，又称灵敏限。

灵敏度表征传感器对输入量变化的反应能力



(a) 线性传感器

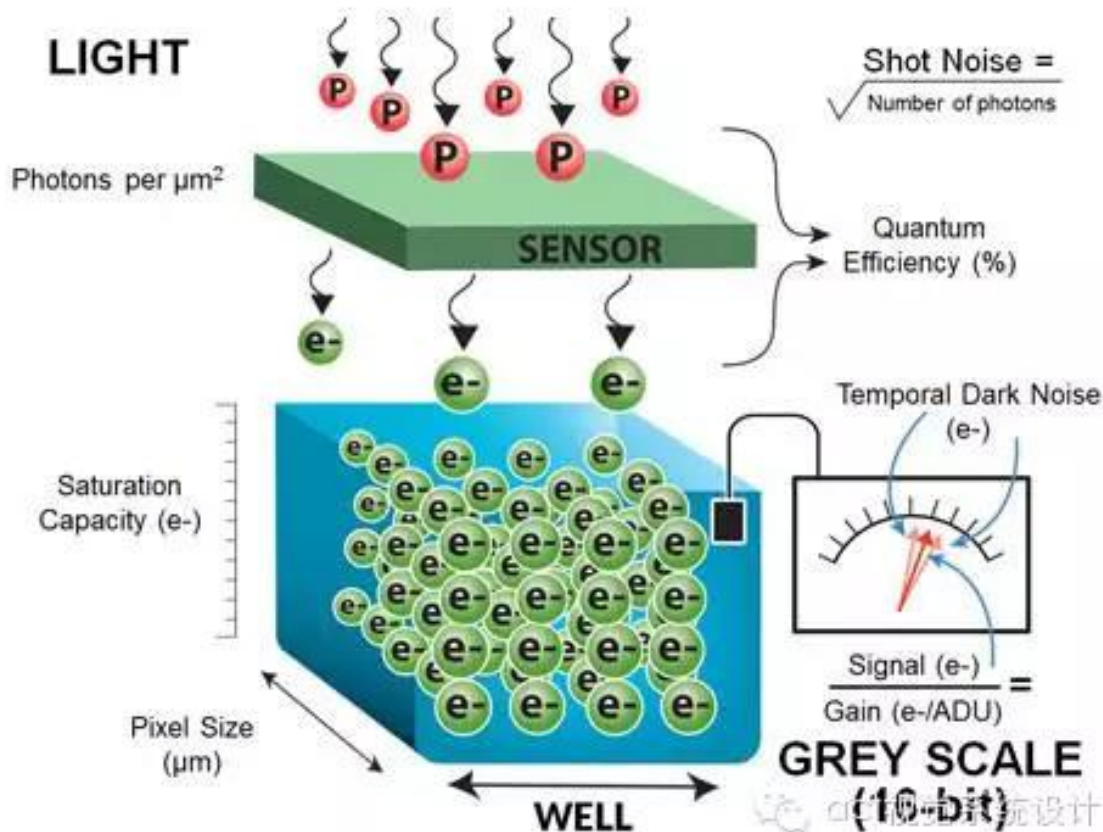


(b) 非线性传感器

相机灵敏度

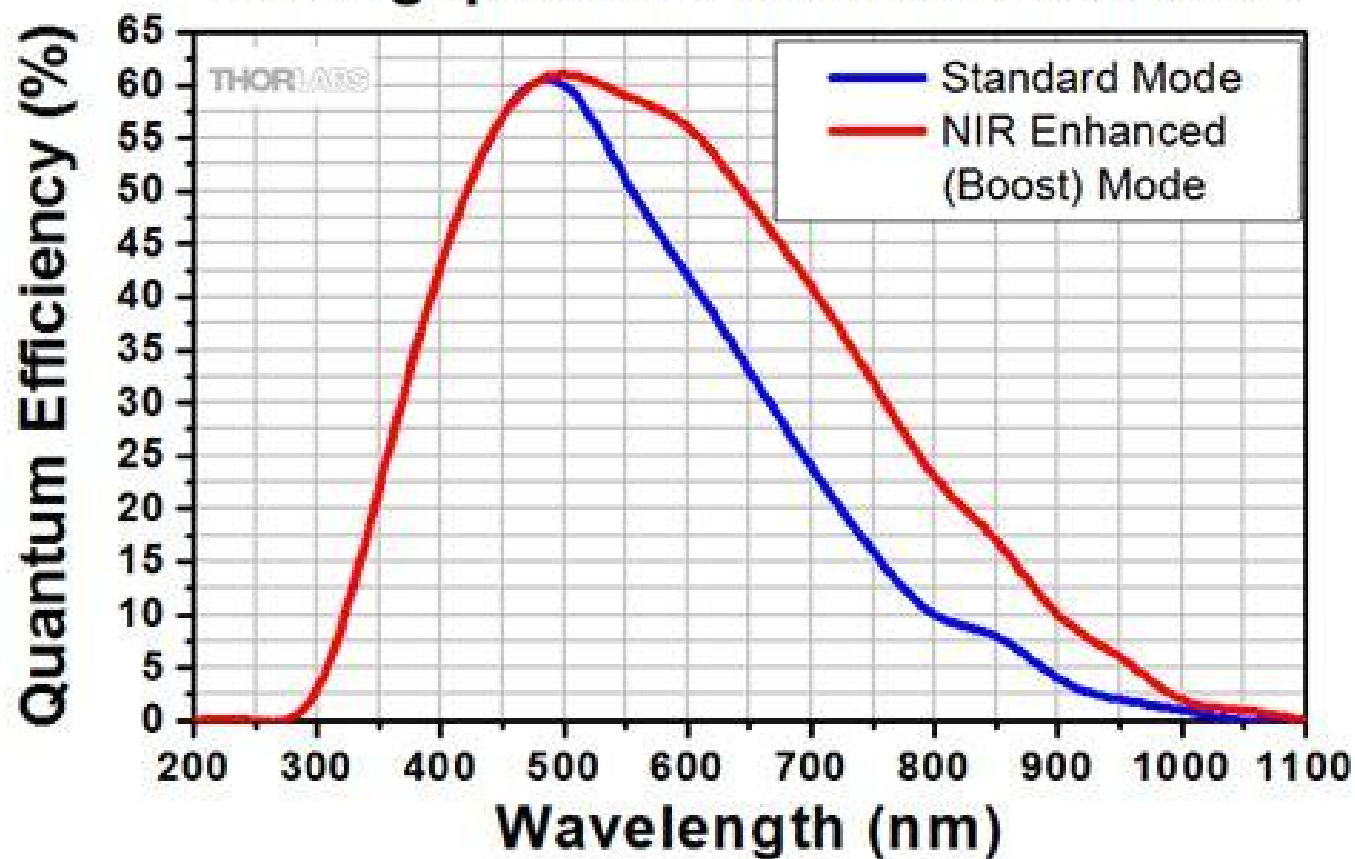
- 量子效率：

数字化光的第一个步骤是将光子转换为电子。本文将不再赘述传感器是如何完成这个转换的，而是介绍了转换效率的测量。在数字化过程中产生的电子与光子的比率，被称为量子效率（QE）。



可见光 相机 灵敏度

1.4 Megapixel Monochrome Cameras



4) 精确度

- 仪表的精确度通常是用允许的最大引用误差 $Q_{\max}$ 去掉百分号后的数字来衡量。
- 精确度划分为若干等级，简称精度等级，精度等级的数字越小，精度越高。价格越贵。
- 引用误差：是仪表中常用的一种误差表示方法，它是相对于仪表满量程的一种误差，测量的绝对误差与仪表的满量程值之比，称为仪表的引用误差，它常以百分数表示。 $\gamma = \Delta / \gamma$ （测量范围的上限-测量范围下限） $\times 100\%$
- 式中： γ —引用误差， Δ —绝对误差，测量范围的上限也指量程。

5) 滞环、死区和回差

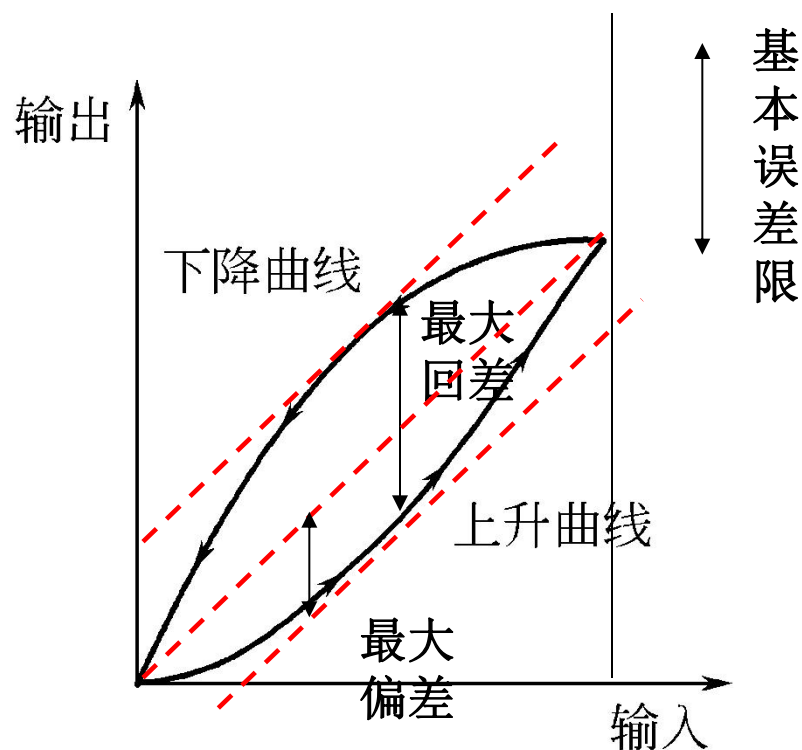
- 滞环：

- 储能效应

例如弹性变形、磁滞。

- 实际上升曲线和实际下降曲线不重合。

- 特性曲线形成环状。



滞环效应分析

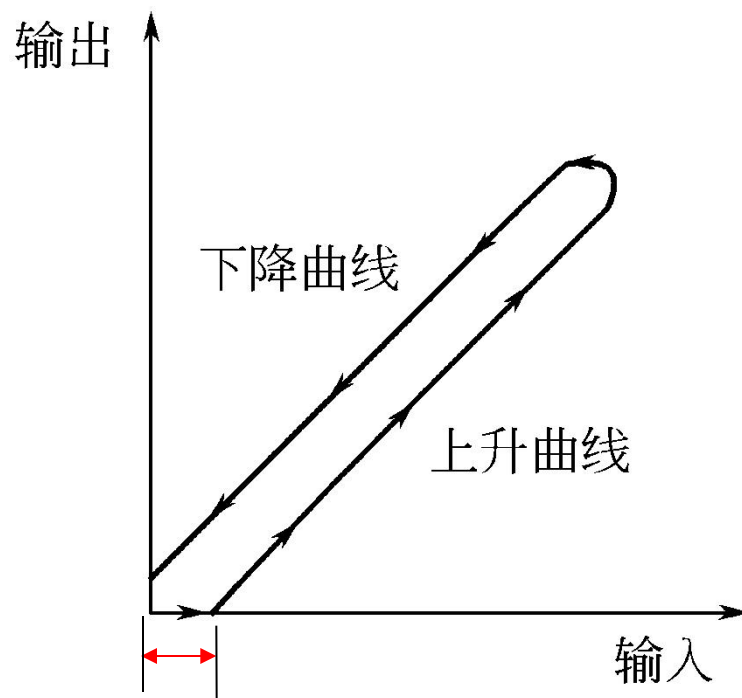
同一输入，对应多个输出值，出现误差。

滞环误差：全量程范围中，上行程和下行程两条曲线与标准值的偏差，其最大值称为最大滞环误差（最大偏差）

输入变量的变化不引起输出变量有任何可觉察变化的有限数值空间

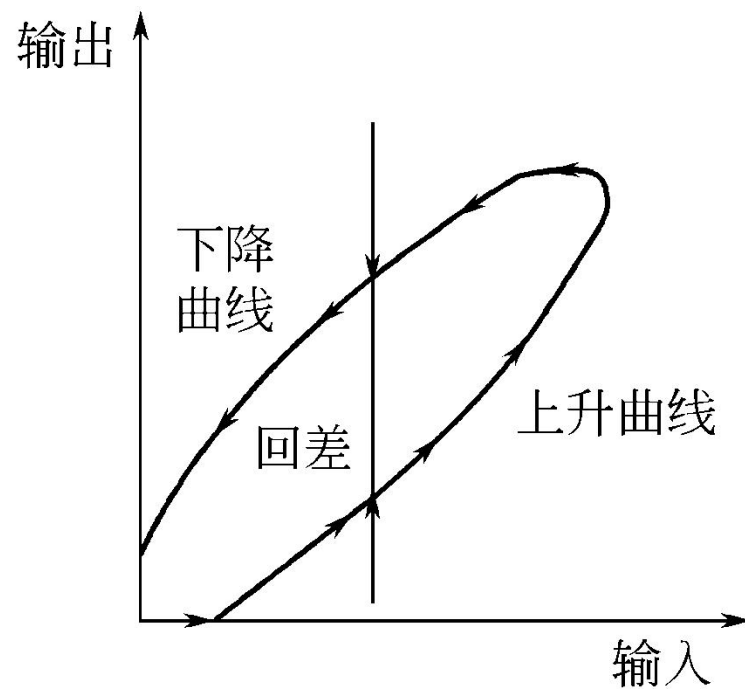
- **死区：**

- 死区效应，例如传动机构的摩擦和间隙。
- 实际上升曲线和实际下降曲线不重合。
- 仪表输入小到一定范围后不足以引起输出的任何变化。



死区效应分析

- 综合效应：
 - 既有储能效应，也具有死区效应。
 - 各种情况下，实际上升曲线和实际下降曲线间的差值称为回差或变差。

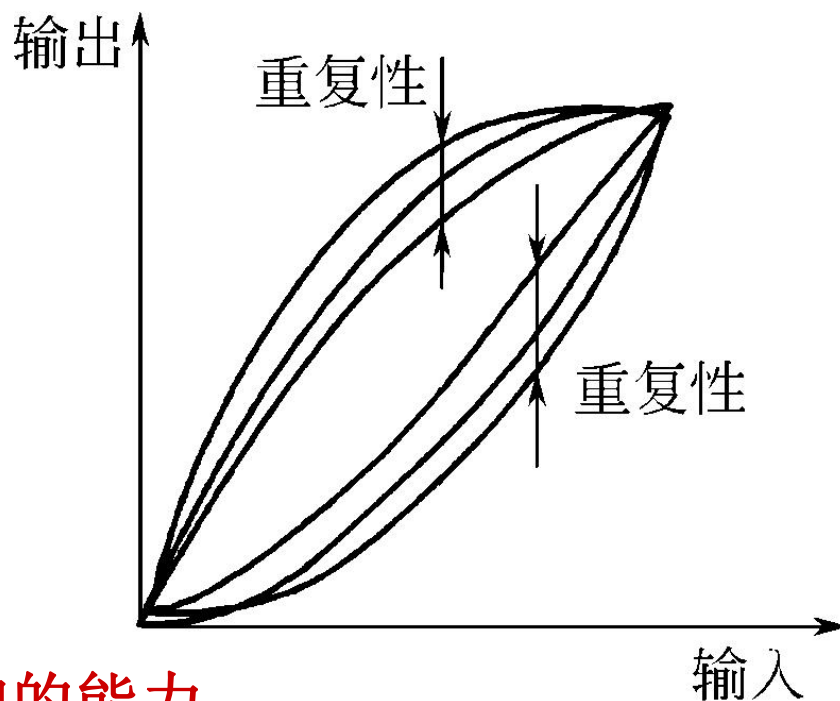


综合效应分析

6) 重复性

- 重复性：在同一工作条件下，同方向连续多次对同一输入值进行测量所得的多个输出值之间相互一致的程度。

选用上升曲线最大离散程度和下降曲线最大离散程度中的最大值。



衡量仪表不受随机因素影响的能力。

7) 信噪比

- 信噪比：在信号幅值对噪声幅值之比称为信噪比。SNR 程度。
- 选用传感器时，首先选用灵敏度和分辨率。

动态特性：

传感器的动态特性指传感器测量动态信号时，输出对输入的响应特性。传感器测量静态信号时，由于被测量不随时间变化，测量和记录的过程不受时间限制。但是，实际检测中的被测 t 是随时间变化的动态信号，传感器的输出不仅需要能精确地显示被测量的大小，而且还能显示被测量随时间变化的规律，即被测量的波形。传感器能测量动态信号的能力用动态特性来表示。

1、静态特性：指传感器本身具有的特征特点。

研究的几个主要指标有：线性度、精度、重复性、温漂等，通俗讲就是：非线性误差大小、线性误差大小如何、多次应用好坏、受温度变化误差大小等等；

2、动态特性：指传感器在应用中输入变化时，它的输出的特性。

常用它对某些标准输入信号的响应来表示，即自控理论中的传递函数。实际工作中，便于工程项目中的采集、控制

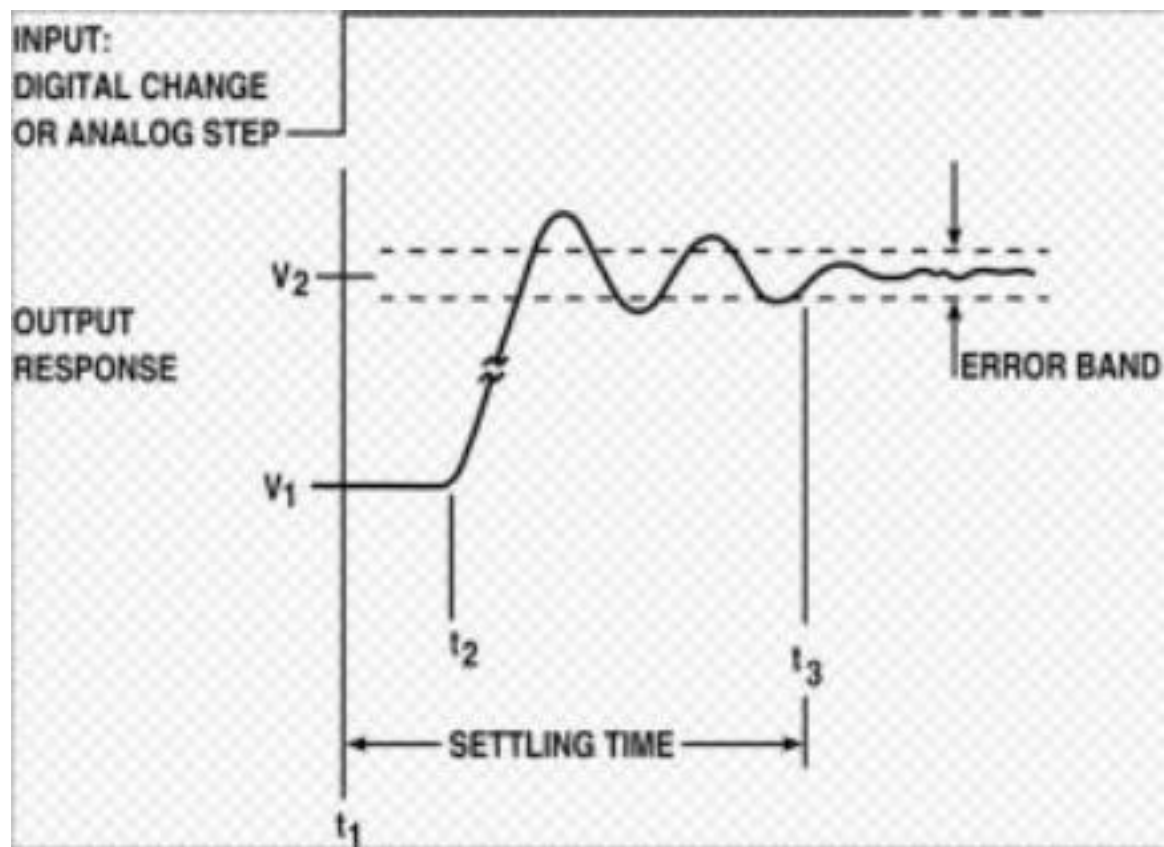


动态特性：

阶跃响应特性（最大偏离量，延滞时间，上升时间，峰值时间，响应时间）

频率响应特性（幅频特性（传感器的动态灵敏度/增益），相频特性）

动态特性：



内容提纲:

1.1 传感器基础

1.2 检测技术基础

1.3 测量方式分类

1.4 误差

1.5 小结

1.6 思考题

1.2.1 检测技术的概念与作用

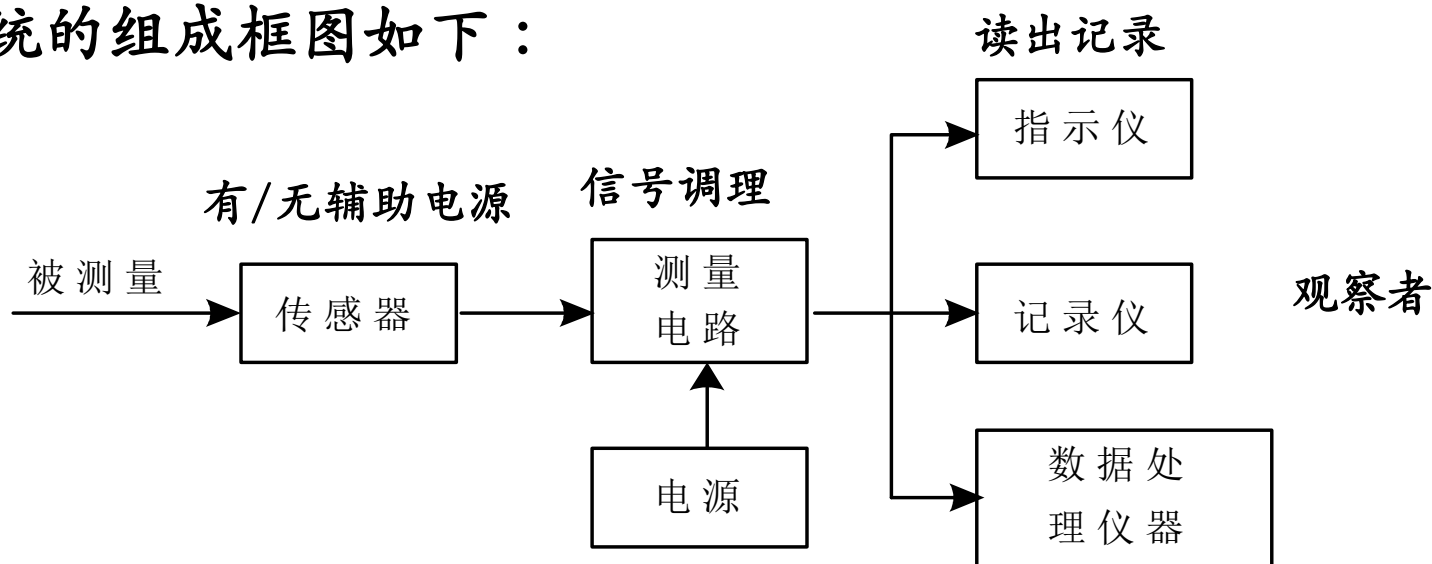
检测技术是利用物理、化学和生物的方法来获取被测对象的组分、状态、运动和变化信息，通过**转换和处理**，使这些信息成为易于人们阅读和识别的**量化形式**。

检测技术是自动化系统中不可缺少的组成部分。

检测元：感受被测变并作出响应的元件
比如：水银、铂、GN

1.2.2 检测系统的基本组成

一个完整的检测系统或检测装置通常是由**传感器、测量电路和显示记录装置**等几部分组成，分别完成**信息获取、转换、显示和处理**等功能。当然其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。检测系统的组成框图如下：



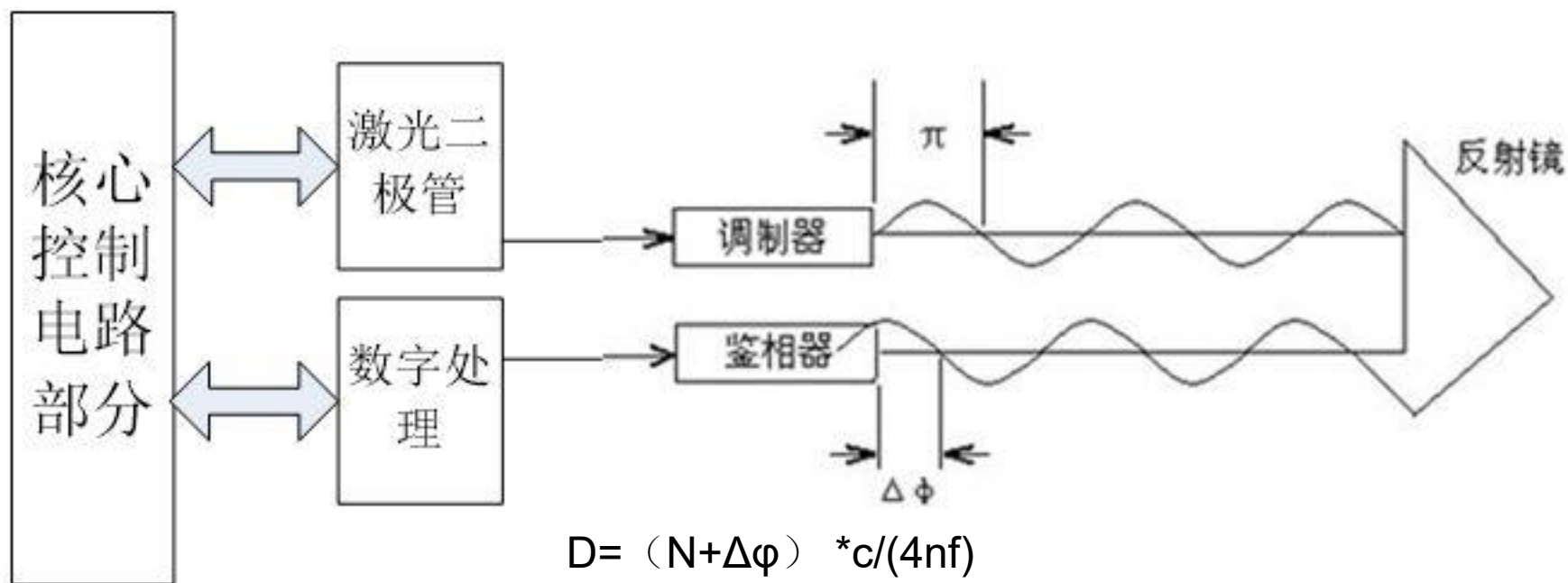
1.2.2 激光测距仪

激光测距仪，是利用调制激光的某个参数实现对目标的距离测量的仪器，它重量轻、体积小、操作简单速度快而准确，其误差仅为其它光学测距仪的五分之一到数百分之一。世界上第一台激光器，是由美国休斯飞机公司的科学家梅曼于1960年，首先研制成功的红宝石激光器。美国军方很快就在此基础上开展了对军用激光装置的研究。1961年，第一台军用激光测距仪通过了美国军方论证试验，对此后激光测距仪很快就进入了实用阶段。

1.2.2 相位法激光测距技术原理：

当今市场上主流的激光测距仪是基于相位法的激光测距仪。这是因为基于相位法的激光测距仪轻易地就可以克服超声波测距的一大缺陷：误差过大，使测量精度达到毫米级别。而基于此法的激光测距仪主要的缺点在于电路复杂、作用距离较短（一百米左右，经过众多科学工作者的努力，现在也有作用距离在几百米的相位法激光测距仪）。

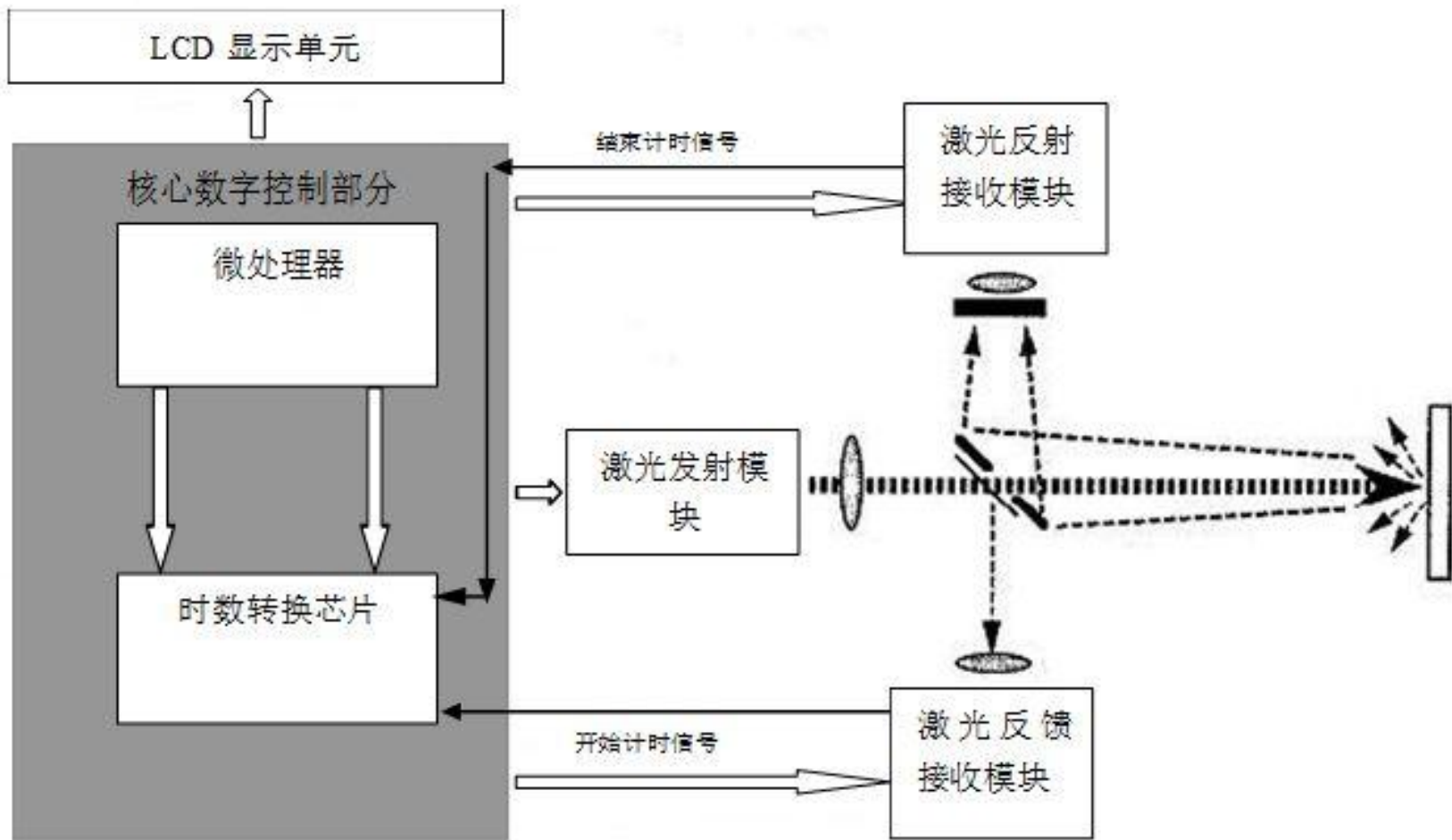
相位法激光测距技术，是采用无线电波段频率的激光，进行幅度调制并将正弦调制光往返测距仪与目标物间距离所产生的相位差测定，根据调制光的波长和频率，换算出激光飞行时间，再依次计算出待测距离。该方法一般需要在待测物处放置反射镜，将激光原路反射回激光测距仪，由接收模块的鉴波器进行接收处理。



$$D = (N + \Delta\phi) \cdot c / (4nf)$$

N是相位差中半波长的个数；
ω是调制信号的角频率。

1.2.2 脉冲法激光测距技术原理： 相位法与超声波测速测距所用方法相类似，最大测量距离通常为几百米，能较容易达到毫米的数量级，但是按照该方法设计的测距仪的最大测量距离是受到限制的，不可扩展。该方法主要在国外应用较广。而脉冲法激光测距一般采用红外激光，包括近红外激光和中红外激光。该波段激光有可见和非可见之分。且基于此技术的测距仪对相干性要求低、速度快、实现结构简单、峰值输出功率高、重复频率高且范围大，所以此项目使用的是脉冲方法设计手持激光测距仪。



$$D=CT/2n$$

为往返测量点与待测物间距离所用时间，

C为激光在空气中传播的速度（假设已设置测量的环境参数），

n为测量时大气折射率

传感与检测技术基础知识

主讲教师：黄慧

浙江大学 海洋学院

*电子邮箱： hhuangh1@126.com

办公室：海工楼420室

2019-3-6

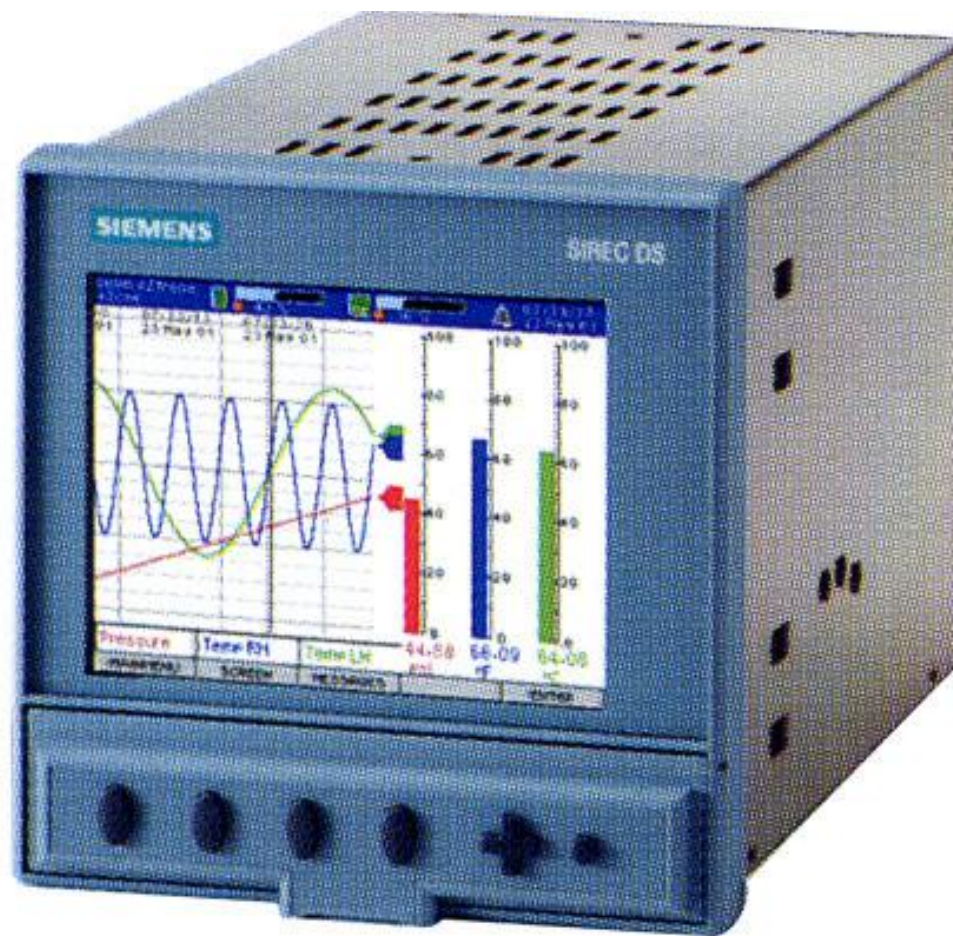
目前常用的显示器有四类：模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪等



数字式仪表



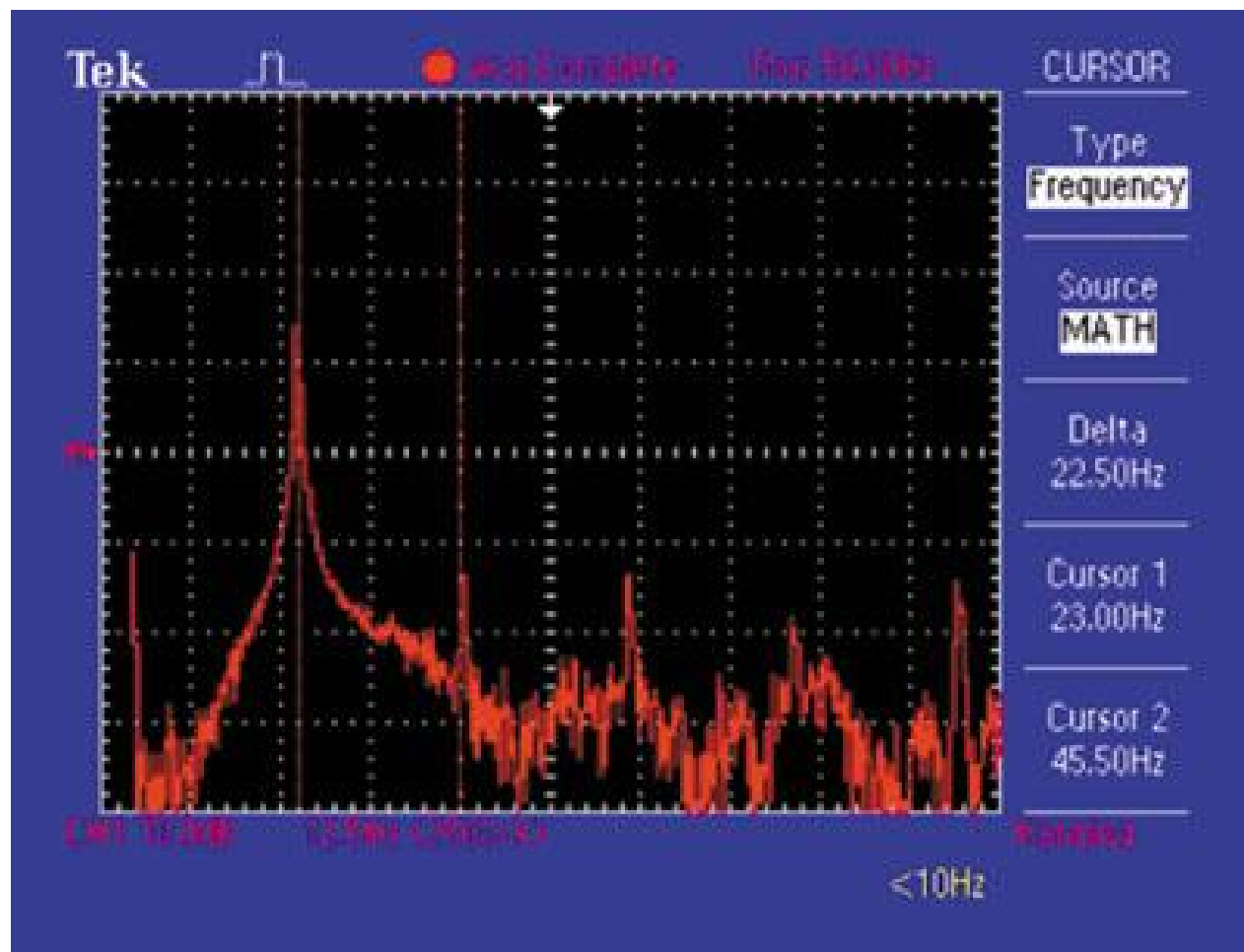
图像显示



数据处理装置

计算机、频谱分析仪、某些示波器
等

软件、硬件
软测量技术



1.2.3 检测技术的发展趋势

检测技术的发展趋势主要有以下两个方面：

第一，新原理、新材料和新工艺将产生更多品质优良的新型传感器。例如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、**微生物传感器**等。

第二，检测系统或检测装置目前正迅速地由模拟式、数字式向**智能化**方向发展。

软测量技术

内容提纲:

1.1 传感器基础

1.2 检测技术基础

1.3 测量方式分类

1.4 误差

1.5 小结

1.6 思考题

1.3 测量的分类

- 测量是检测技术的重要组成部分，是以确定被测量值为目的的一系列操作。

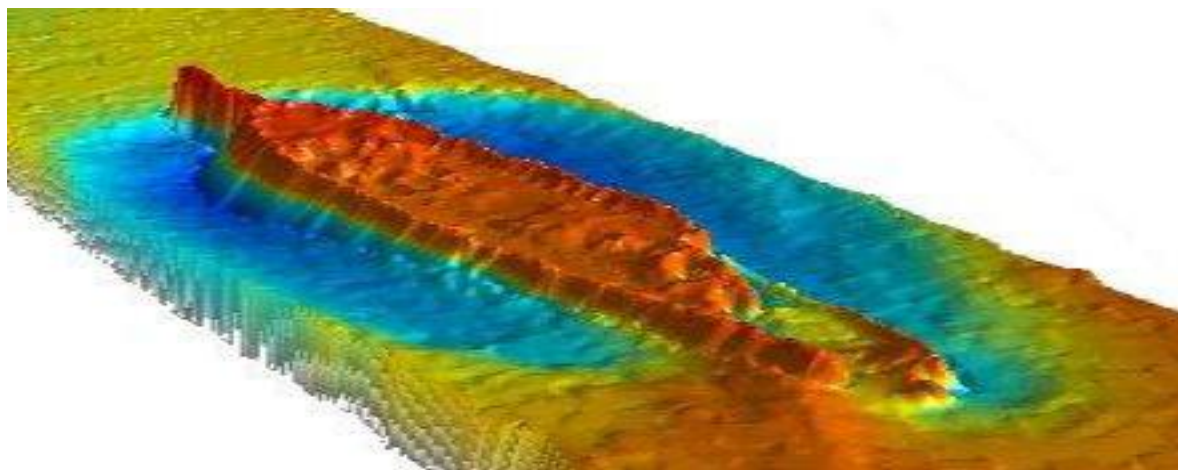
- 分类：

- 直接、间接 热电阻测热水温 VS 冬季供暖系统散热器耗热量
- 开环、闭环 串联的数字温度计VS自动电位差计，热电偶，加油枪？
- 能量变换、能量控制 温度计VS光敏
- 接触式、非接触式
- 静态、动态 灵敏度、线性度误差、回差VSFFT

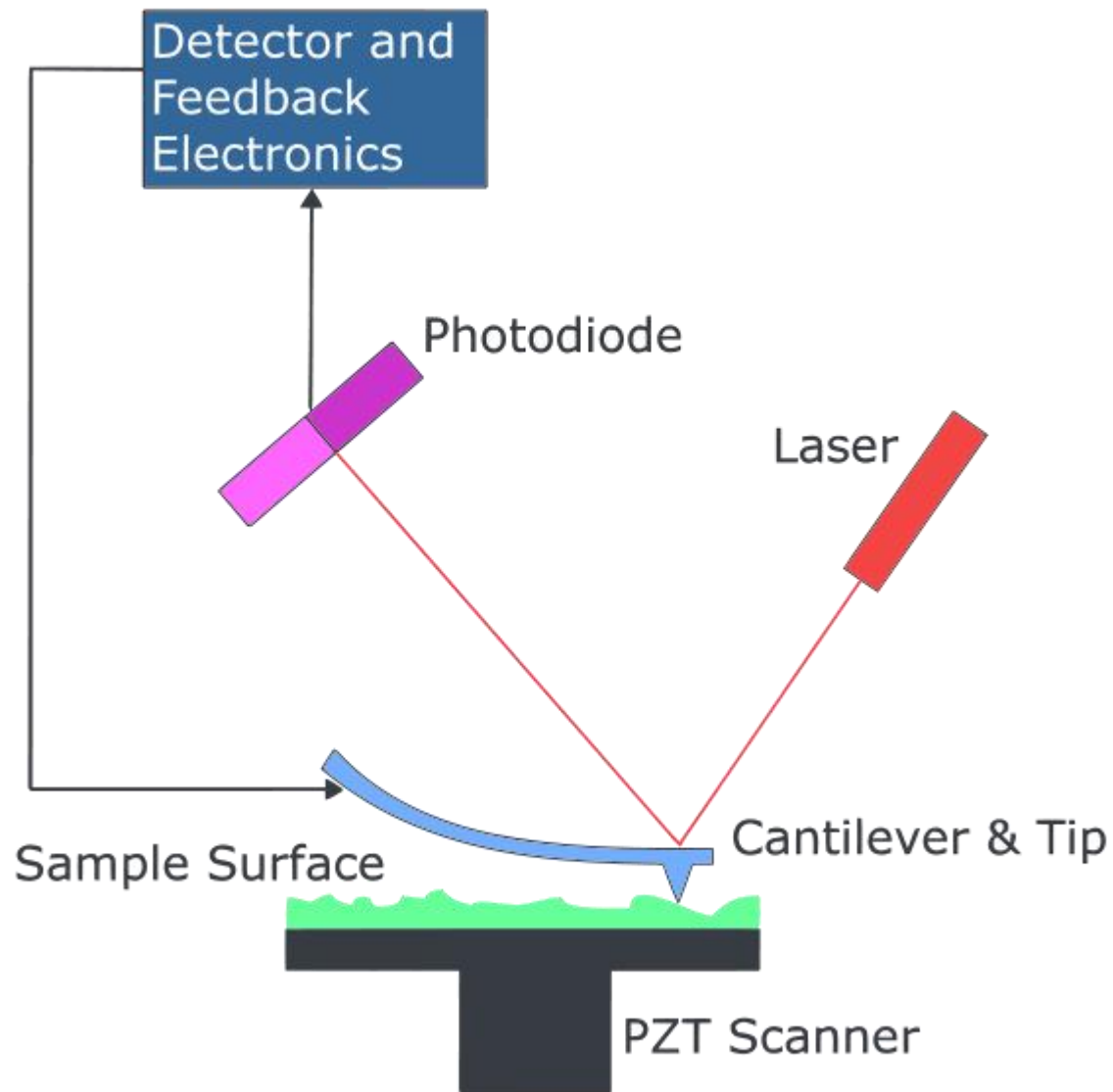
直接测量



间接测量（计算得到）



闭环测量



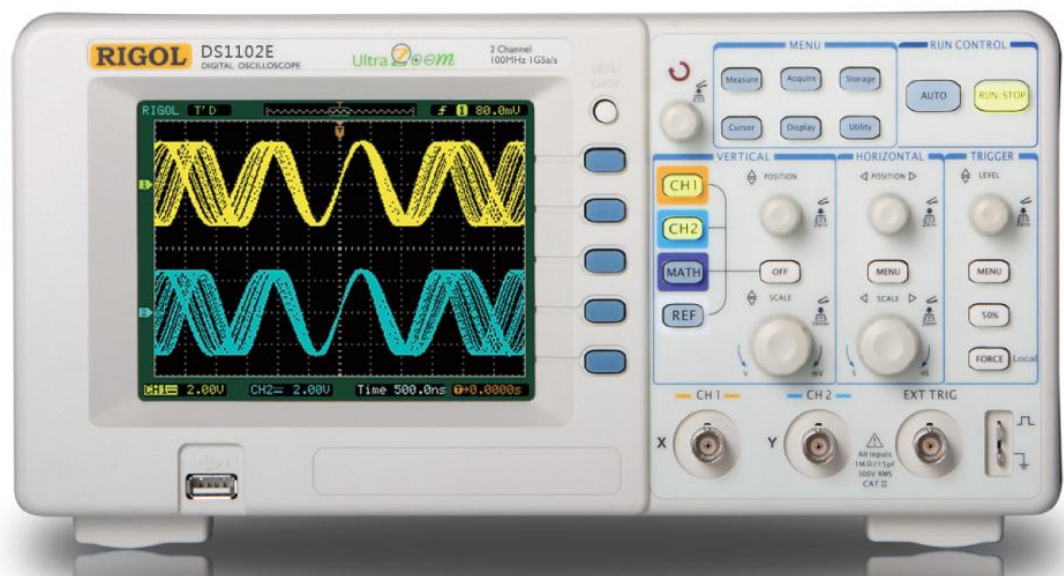
非接触式测量

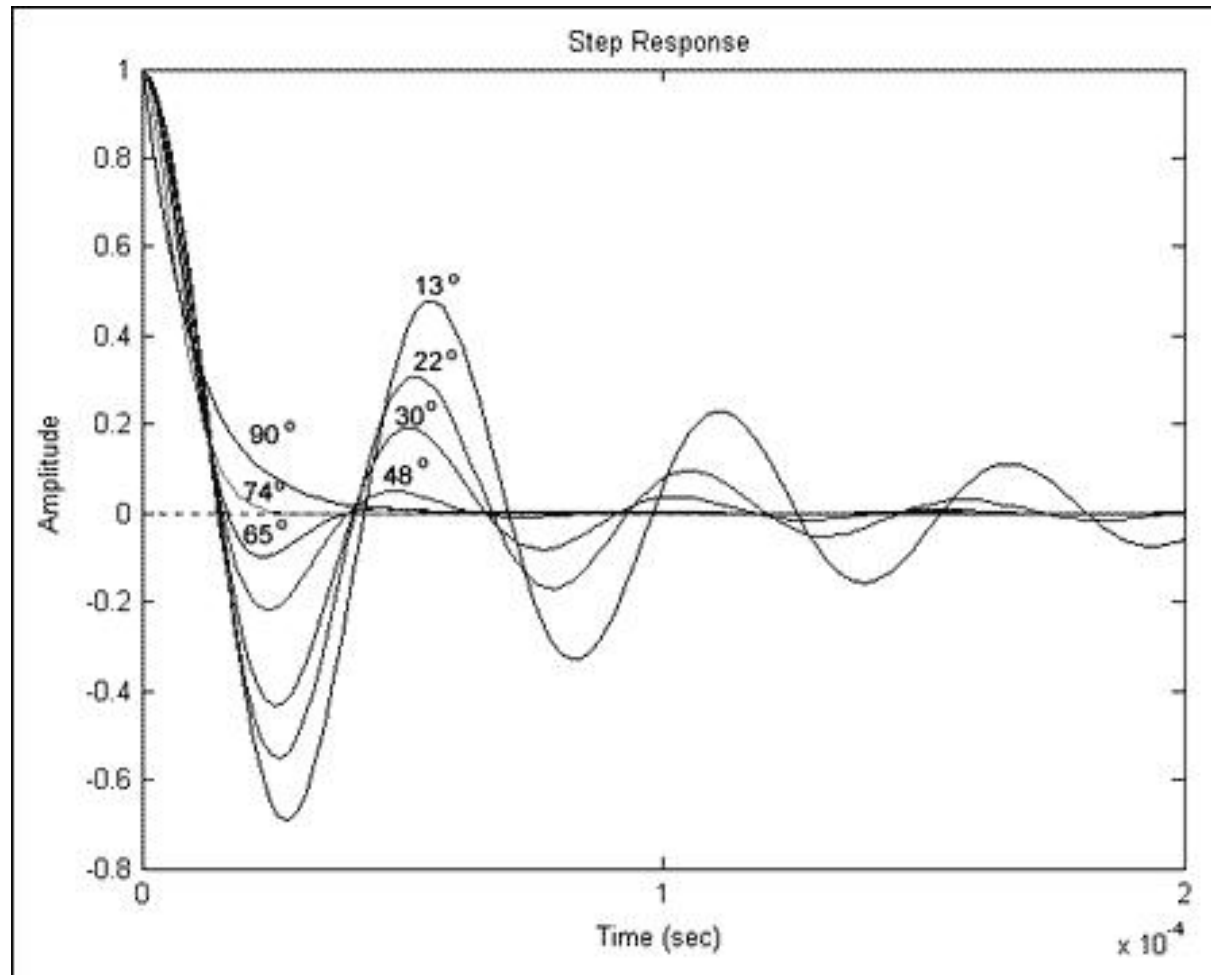
例：雷达测速





- 静态测量（仅适用于缓慢变化的量的测量）
- 动态测量（用于变化较快的量，如波形测量）





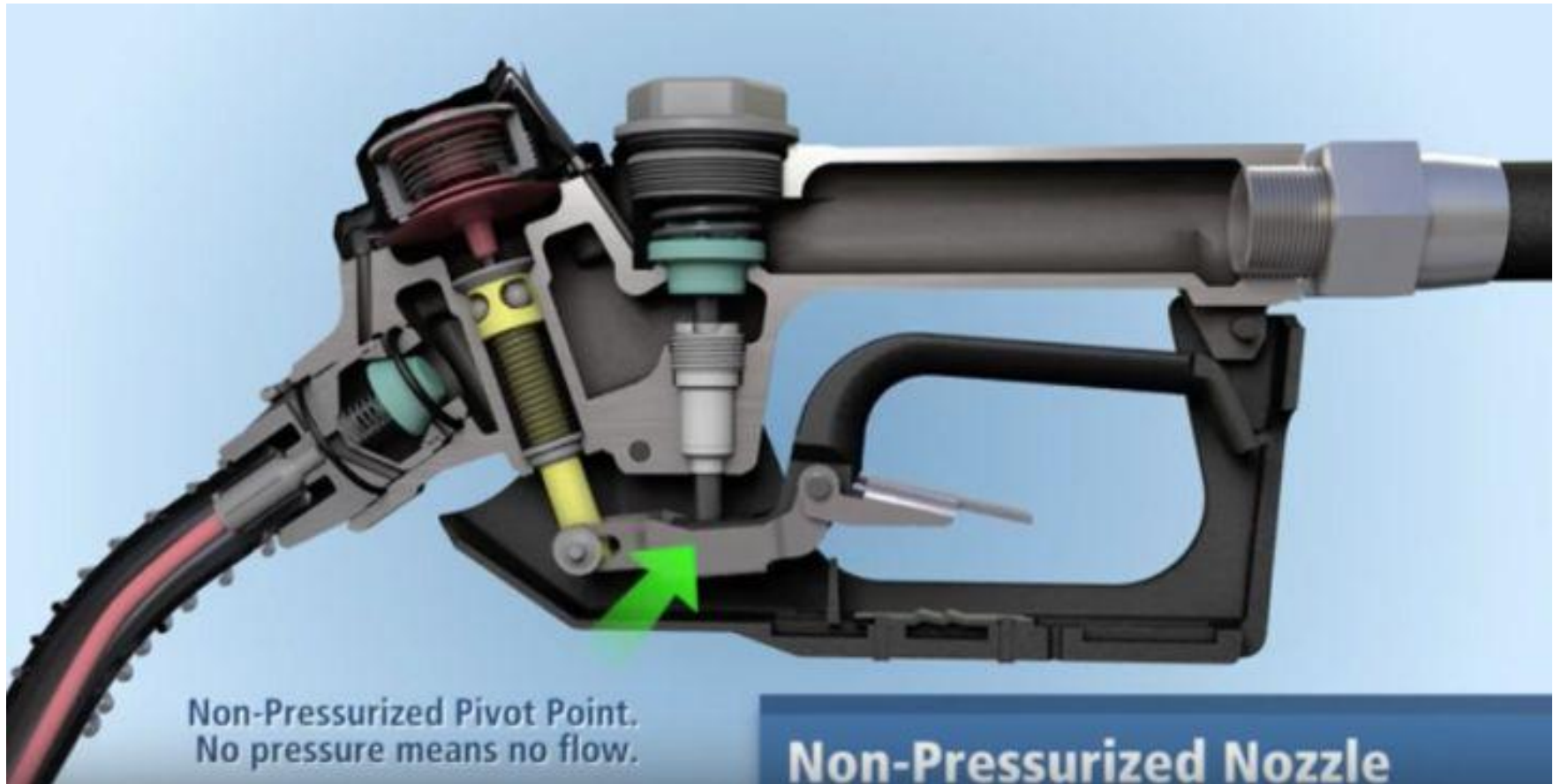
- 
- 下述是否是一种基于传感器的测量方式？



Non-Pressurized Nozzle



1. 皮套
2. 枪嘴
3. 阀盖
4. 自控膜
5. 自封杆
6. 枪盖
7. 弹簧座
8. 阀
9. 顶杆
10. 枪体
11. 杠杆
12. 护把
13. 螺钉



Non-Pressurized Pivot Point.
No pressure means no flow.

Non-Pressurized Nozzle



The B-Cap mechanism detects pressure and locks handle in position.

Product Flow

Dispenser is Activated

Nozzle is now pressurized



The flow of fuel across the Bleeder Poppet creates a vacuum through the Venturi Port

Pressurized Pivot Point

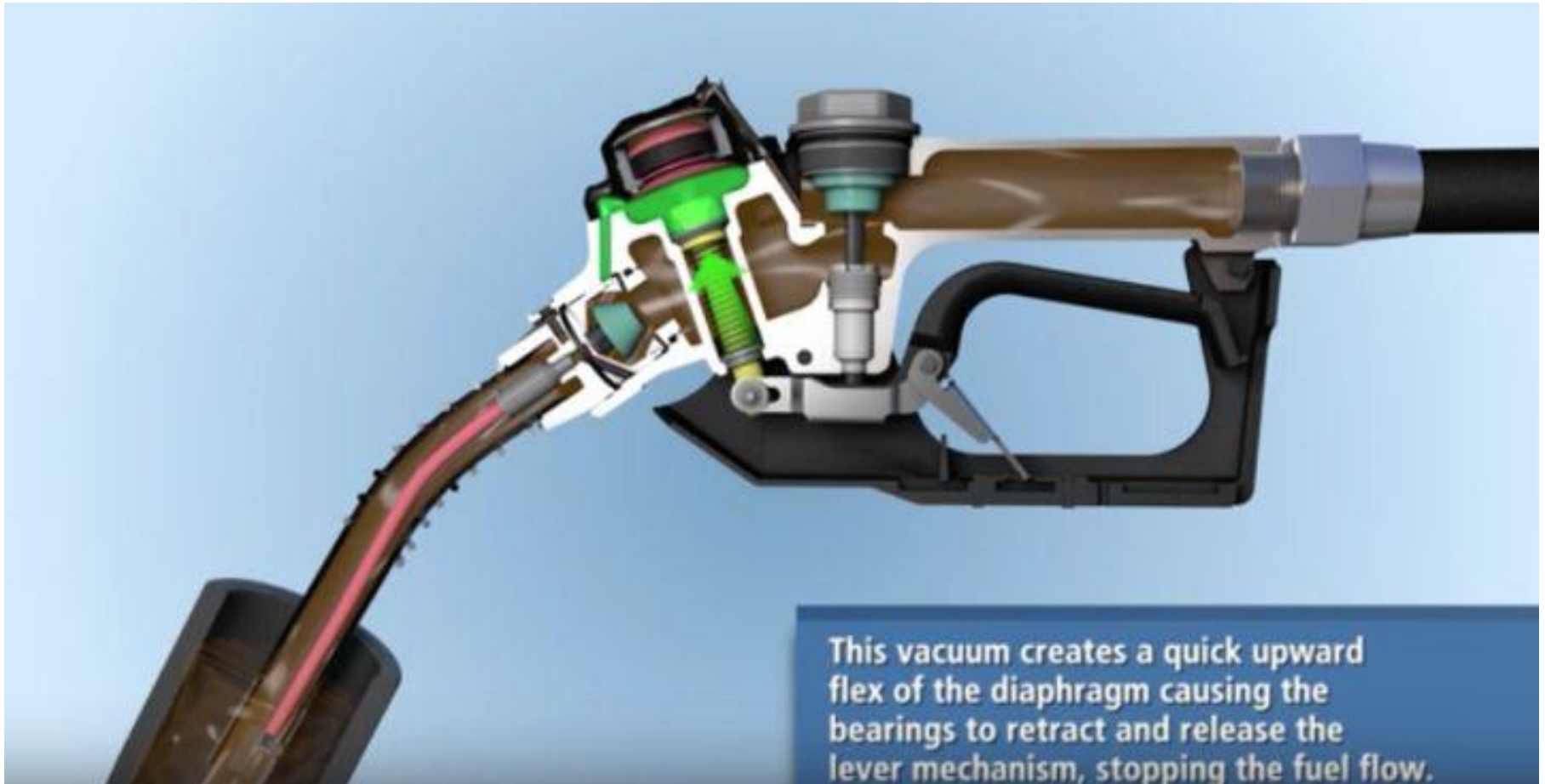
Venturi Port

Dispenser is Activated

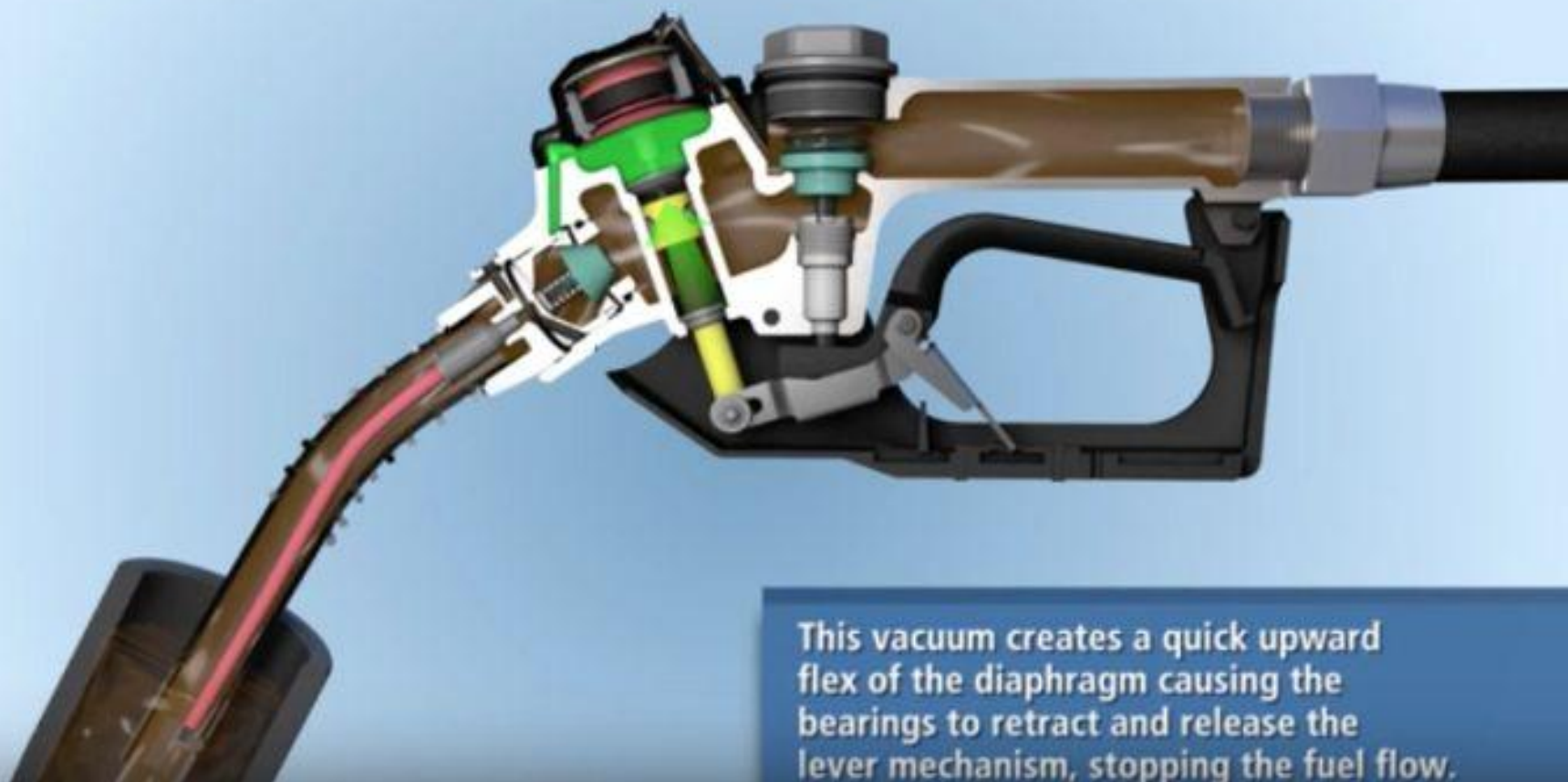
Nozzle is now pressurized



When the fuel rises and blocks the Venturi port, the flow of air stops and re-directs the vacuum to the B-Cap mechanism



This vacuum creates a quick upward flex of the diaphragm causing the bearings to retract and release the lever mechanism, stopping the fuel flow.



This vacuum creates a quick upward flex of the diaphragm causing the bearings to retract and release the lever mechanism, stopping the fuel flow.

内容提纲:

1.1 传感器基础

1.2 检测技术基础

1.3 测量方式分类

1.4 误差

1.5 小结

1.6 思考题

1.4 误差

- 作用：衡量仪表的精度
- 真值：理论值
- 约定真值 A_0 ：国家标准计量机构标定过的标准仪器的测量值（如光速、时间、电子电量等）
- 分类：1) 系统误差、2) 随机误差、3) 粗大误差
- 各类误差定义

测量范围、上下限及量程

- 测量范围：仪器按照规定的精度进行测量的被测变量的范围。
 - 测量下限：测量范围的最小值。
 - 测量上限：测量范围的最大值。
 - 量程：量程=测量上限值-测量下限值。
-
- 例：某温度测量仪表的下限值 -50°C ，上限值为 150°C ，则其测量范围可表示为 $-50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，量程为 200°C 。

1) 系统误差:

系统误差也称装置误差，它反映了测量值偏离真值的程度。凡误差的**数值固定或按一定规律变化者**，均属于系统误差。

系统误差是有规律性的，因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正，也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

夏天摆钟变慢的原因是什么？



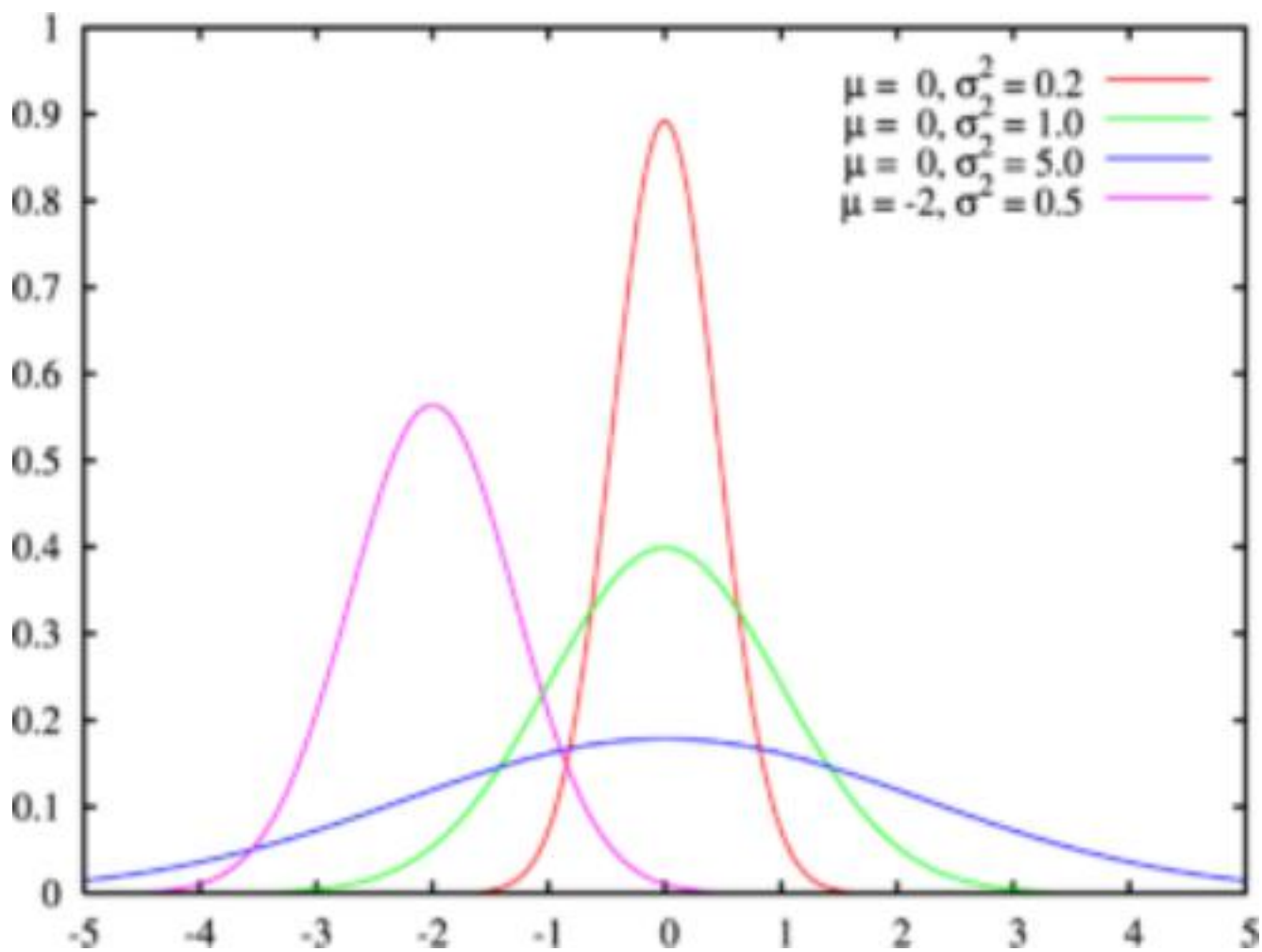
系统误差产生的原因?

- 系统误差产生的原因大体上可分为以下几种：
 - (1) 测量所用的工具（仪器、量具等）本身性能不完善或安装、布置、调整不当而产生的误差。
 - (2) 在测量过程中，因温度、湿度、气压、电磁干扰等环境条件发生变化而产生的误差。
 - (3) 因测量方法不完善，或者测量所依据的理论本身不完善等原因而产生的误差。
 - (4) 因操作人员读数方式不当而造成的读数误差等。

2) 随机误差

- 在同一条件下，多次测量同一被测量。误差的绝对值及正、负以不可预见的方式变化，该误差称为随机误差，也称偶然误差。
- 随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综合结果。
- 存在随机误差的测量结果中，虽然单个测量值误差的出现是随机的，既不能用实验的方法消除，也不能修正，但是就误差的整体而言，多数随机误差都服从正态分布规律。

随机误差的正态分布规律



随机误差的正态分布规律

a. 集中性：大量的测量值集中分布于算术平均值附近。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

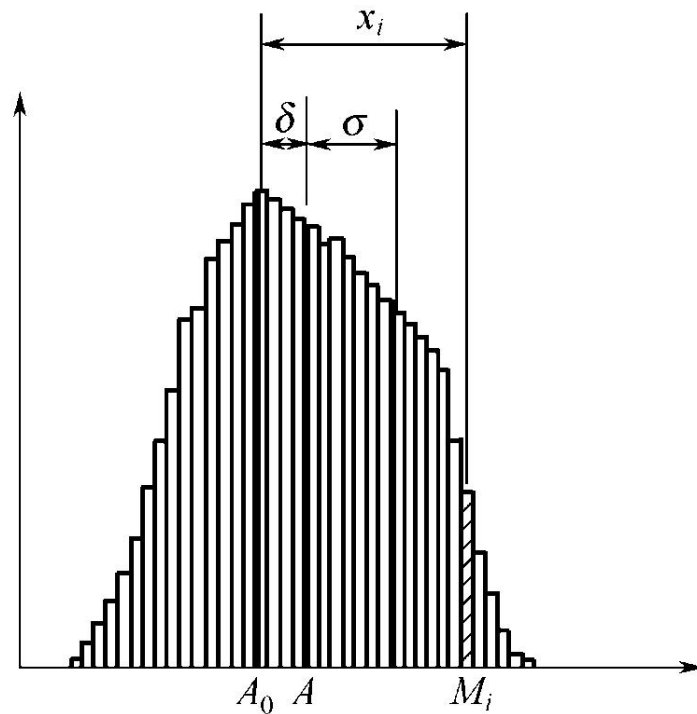
b. 对称性：测量值大致对称地分布于两侧。

c. 有界性：在一定的条件下，测量值有一定的分布范围，超过这个范围的可能性非常小，即出现绝对误差很大的情况很少。粗大误差的测量值应予以剔除。考虑异常（坏值）

- 测量值的算术平均值为 A ， n 足够大时（仅对随机误差适用）：

$$A_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} A$$

- 多次测量的平均值



测量值与其频率密度

几个名词的定义

- 残差：各测量值 M_i 与平均值 A 的差

$$v_i = M_i - A_0$$

- 方差(variance):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - A_0)^2$$

- 标准误差(standard deviation): 方差的均方根值，表示 M_i 偏离 A_0 的程度

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - A_0)^2}$$

方差描述随机变量对于数学期望的偏离程度。

常用分布的方差

1. 两点分布
2. 二项分布 $X \sim B(n, p)$
3. 泊松分布（推导略）
4. 均匀分布 另一计算过程为
5. 指数分布（推导略）
6. 正态分布（推导略）
7. t分布
8. F分布：

两组测量值 x_{ik} 和 x_{jk} 的平均值分别为 A_i 和 A_j

- 协方差被定义为

$$\sigma_{X_i X_j}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (X_{ik} - A_i)(X_{jk} - A_j)$$

- 相关系数是标准化的协方差

$$r(X_i, X_j) = \frac{\sigma_{X_i X_j}^2}{\sigma_{X_i} \sigma_{X_j}}$$

- 习题：对某一电路的输出电压进行了10次测量，得到如下测量结果：10.15，9.53，10.34，10.43，10.17，10.25，10.24，9.89，10.15，9.67。请计算这10次测量的平均值和方差。

3). 粗大误差

- 明显偏离真值的误差称为粗大误差，也叫过失误差。
- 粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的。如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等造成的误差。
- 就数值大小而言，粗大误差明显超过正常条件下的误差。当发现粗大误差时，应予以剔除。

产生粗大误差的一个例子



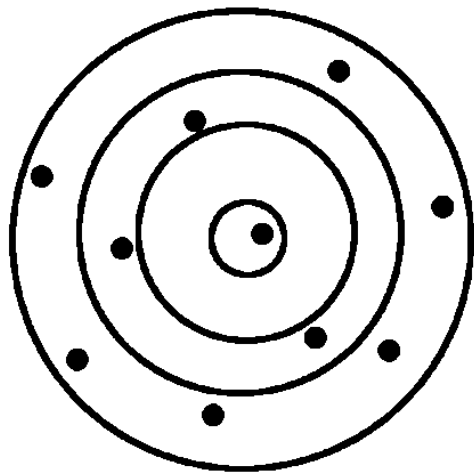
例：对钢板的厚度进行6次等精度测量，所得数据如下表（单位为mm），请指出哪几个数值为粗大误差？
剔除粗大误差后，用算术平均值公式求出钢板厚度。

n	x_i / mm
1	8.04
2	8.02
3	7.96
4	5.99
5	9.33
6	7.98

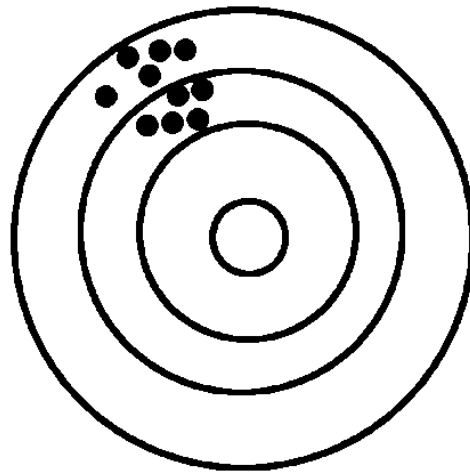
系统的准确度、精密度与误差的关系

- 系统误差决定了测量的**准确度**，表明了测量值偏离实际值的程度。系统误差越小，测量值的准确度越高。
- 随机误差决定了测量的**精密度**。随机误差越小，测量值的精密度越高。
- 如果一个测量值的精密度和准确度都很高，就称此测量的**精确度**很高。

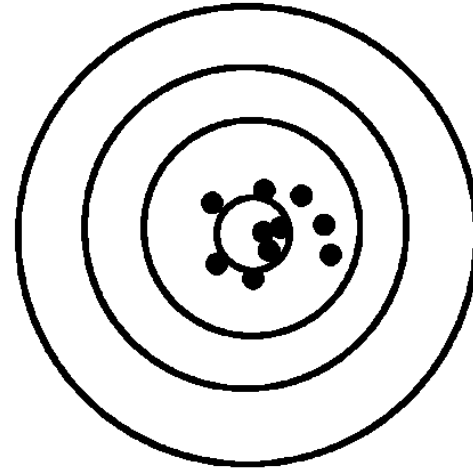
测量的准确度与精密度的区别



(a) 弹着点很分散

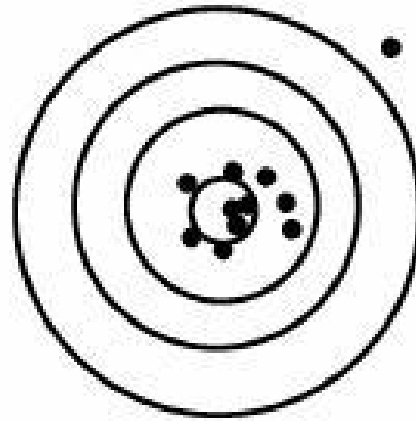
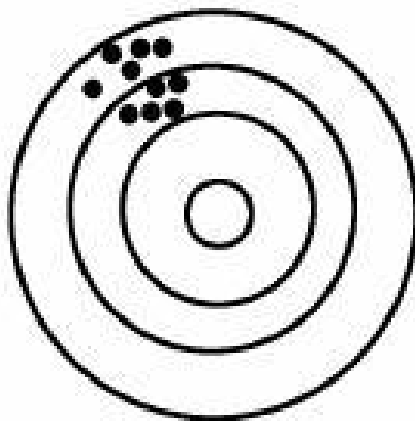
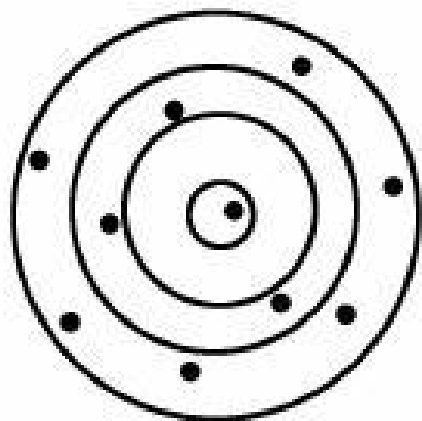


(b) 弹着点集中但偏向一方



(c) 弹着点集中靶心

若靶心为真实值，图中黑点为测量值，则图(a)表示准确却不精密的测量，图(b)表示精密却不准确的测量，图(c)表示既准确又精密的测量。



下图是射击弹着点示意图，其中：（a）包含__误差，
（b）包含__误差，（c）包含__误差。

A. 系统误差

B. 粗大误差

C. 随机误差

D. 动态误差

1.4.4 误差

- 作用：衡量仪表的精度
- 真值：理论值
- 约定真值 A_0 ：国家标准计量机构标定过的标准仪器的测量值（如光速、时间、电子电量等）
- 分类：1) 系统误差、2) 随机误差、3) 粗大误差
- 各类误差定义

1、绝对误差 δ :

绝对误差 $\delta = \text{示值}A - \text{约定真值}A_0$

不能确切的反映测量的准确程度。

分别在三家商店购买100kg、10kg、1kg大米，发现均缺少约0.5kg，你对哪家意见最大？

- 采用绝对误差表示测量误差, 不能很好说明测量质量的好坏。
- 例如, 在温度测量时, 绝对误差 $\Delta=1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对体温测量来说是不允许的, 而对测量钢水温度来说却是一个极好的测量结果。
- 在实际应用中更多地是用相对误差来代替绝对误差表示测量结果, 这样可以更客观地反映测量的准确性。

2、相对误差 γ :

相对误差 γ (%) = 绝对误差 δ / 约定真值 A_0

衡量测量的准确度，相对误差越小，准确度越高。

3、引用误差 Q :

引用误差 Q (%) = 绝对误差 δ / 量程 L

L 通常为仪表满刻度值。

如满刻度为5A的电流表测量电流, 示数为4A, 实际电流为4.02A, 此点电流的引用误差是多少?

$$Q = [(4 - 4.02) / 5] \times 100\% = -0.4\%$$

4、最大引用误差 $Q_{\max}$:

最大引用误差 $Q_{\max}$ (%) = 最大绝对误差 $\delta_{\max}$ / 量程L

仪表基本误差的主要形式, 是仪表的主要质量指标。

$Q_{\max}$ 又被称为满度相对误差。

仪表等级：仪表的最大引用误差去掉%后的数字经过圆整

等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差	±0.1%	±0.2%	±0.5%	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±5.0%

例：某指针式电压表的精度为2.5级，用它来测量电压时可能产生的最大引用误差为2.5%。

等级 + 量程，求得

满度相对误差 $\beta_m = (\text{最大绝对误差} / \text{仪表满度值}) \times 100\%$

最大绝对误差% = (精度等级 $\times$ 满度值) $\times 100\%$

5、允许误差：

最大引用误差 $Q_{\max}$ $\leq$ 允许误差。

6、附加误差

受工作环境，相对湿度等客观条件影响所产生的误差。

误差小结：

- 示值相对误差随示值（测量值）的减小而增大；
- 选用仪表时，示值应在仪表满度值的 $\frac{2}{3}$ 以上。

检测仪表技术发展趋势

- 成组传感器的复合检测
- 微机械量检测技术
- 智能传感器的发展
- 各种智能仪表的出现
- 计算机多媒体化的虚拟仪表
- 传感器、变送器和调节器的网络化产品

内容提纲:

1.1 传感器基础

1.2 检测技术基础

1.3 测量方式分类

1.4 误差

1.5 小结

1.6 思考题

小结:

1. 传感器的功能、分类、主要特性
2. 检测系统基本组成
3. 测量方式的分类
4. 误差的来源、各种误差的定义

- 思考：现有精度等级为0.5级，量程为0~300℃和精度等级为1.0级，量程为0~100℃的两个温度计，要测80℃的温度，试问采用哪一个温度计好？

解： 用精度等级为0.5级的仪表测量时，最大标称相对误差为

$$\gamma_{x1} = \pm \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \pm \frac{300 \times 0.5}{80 \times 100} \times 100\% = \pm 1.875\%$$

用精度等级为1.0级的仪表测量时，最大标称相对误差为

$$\gamma_{x2} = \pm \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \pm \frac{100 \times 1.0}{80 \times 100} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

由此可得 $\gamma_{x2} < \gamma_{x1}$ ，显然用精度等级为1.0级的仪表测量比用精度等级为0.5级的仪表测量更合适。

或者用：最大绝对误差

作业2-1: 某公司生产测量温度的仪表, 满度相对误差均在 $1.1\sim 1.6\%$ 之间, 该系列产品属于哪一级温度表? (举例说明, 原因。)