



工程测试与信号处理



武汉理工大学 机电工程学院





一、测试和测量系统

测试技术是测量和试验技术的统称。

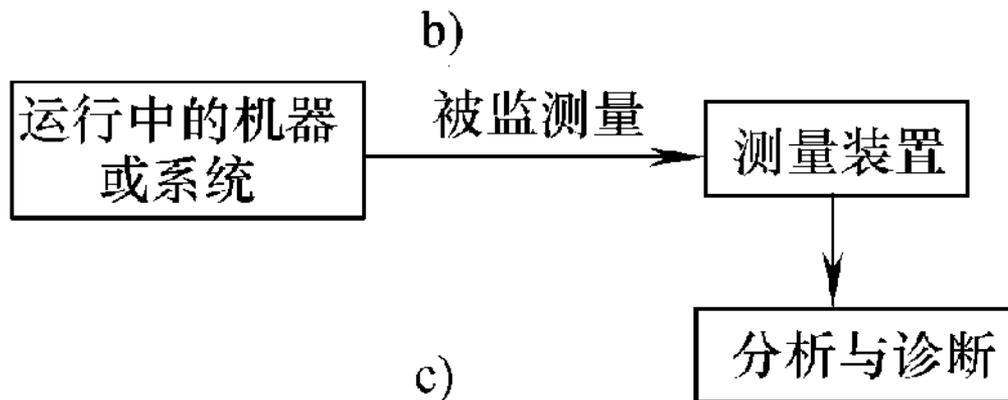
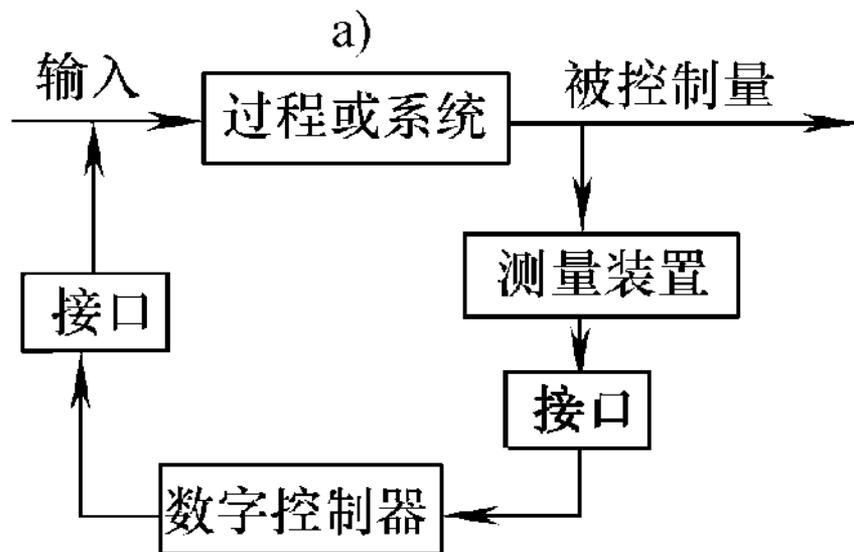
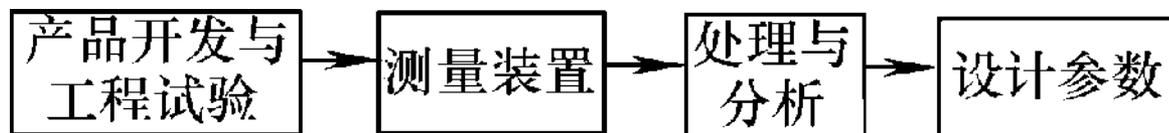
- 为确定被测对象的量值而进行的实验过程称为测量。
- 为研究被测对象的某些性能或特性指标所做的探测性的实验过程称为试验。

工程测量可分为静态测量和动态测量。

- 静态测量是指不随时间变化的物理量的测量。
- 动态测量是指随时间变化的物理量的测量。

0 绪论

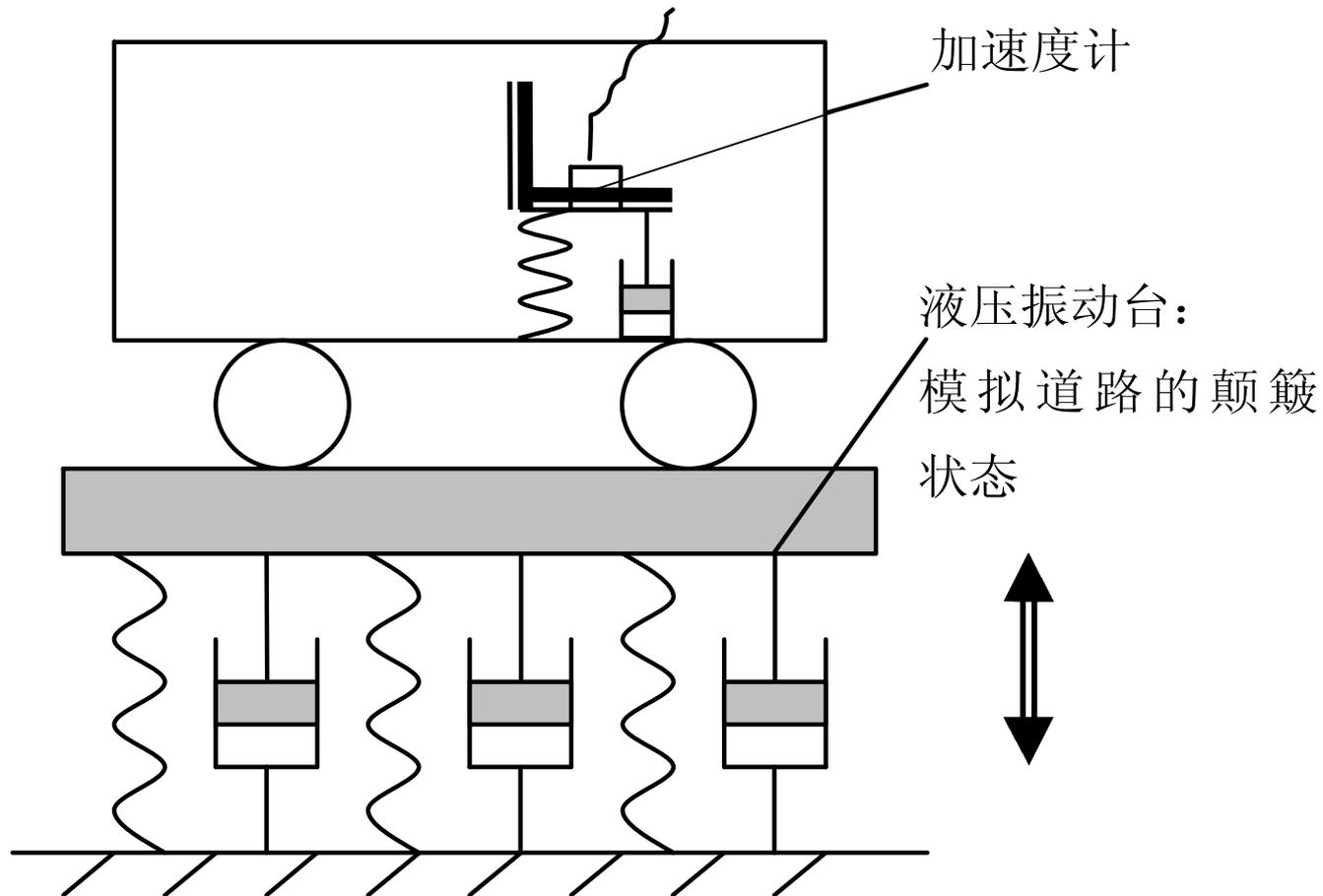
测量系统的用途如图所示。





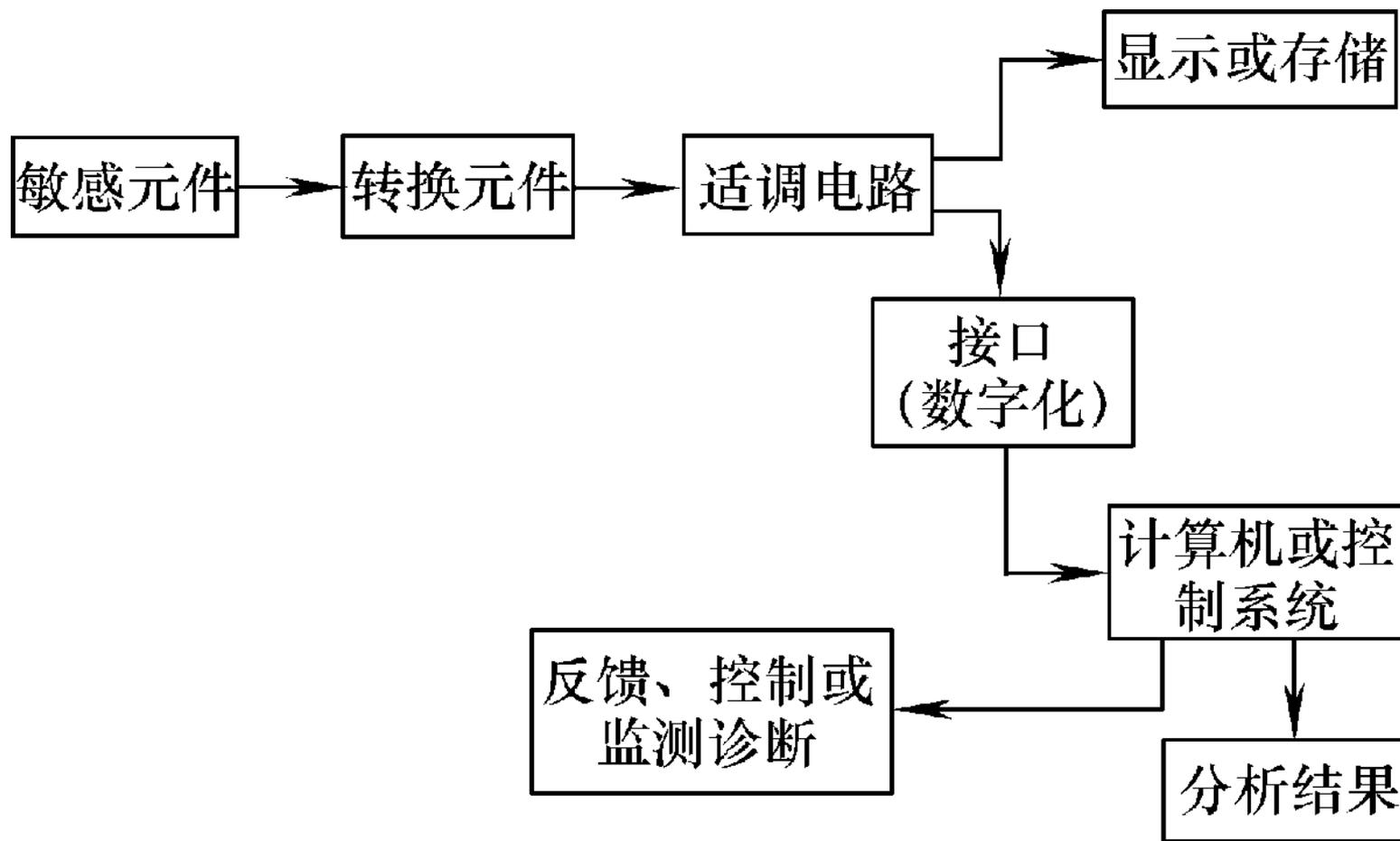
例. 汽车乘坐舒适性的台架试验

衡量乘坐舒适性的指标之一：座椅处的加速度



0 绪论

测量系统的一般构成如图所示





二、信息（号）处理的基本内容

工程中的信号描述了物理量的变化过程，在数学上可以表示为1个或 n 个独立变量的函数，可取为时间或空间变化之图形。工程中的信号，按其物理性质可分为非电信号和电信号。由于电信号方便传输、存储、处理，所以工程中常采用传感器将非电量转换成电量。

因为信息是以信号的形式传输的，所以工程中的信息处理又称为信号处理。它是指从传感器第一敏感元件获得初始信息，再用一定设备手段进行分析处理的过程。包括信息获取、传输、转换、分析、变换、处理、检测、显示及应用等过程。

其中，把研究信号的构成和特征值称为信号分析；把信号经过必要的加工变换，以获得有用信息的过程称为信号处理。



信号分析的经典方法有时域分析法和频域分析法。

时域分析又称波形分析，是用信号的幅值随时间变化之图形或表达式来分析，可以得到信号任一时刻的瞬时值或最大值、最小值、均值、均方根值等；也可通过信号的时域分解，研究其稳定分量与波动分量；对信号的相关分析，可以研究信号本身或相互间的相关程度；研究信号的幅值取值的分布状态，可以了解信号幅值取值的概率及概率分布情况，因此时域分析又称为幅值域分析。

频域分析是把信号的幅值、相位或能量变换为以频率表示的函数，进而分析其频率特性的一种方法，又称频谱分析。例如，幅值谱、相位谱、能量谱密度、功率谱密度等。对信号进行频谱分析，可以获得更多的有用信息，是近代信息技术发展中的一个重要手段。



三、测试技术的发展概况

1. 新原理新技术在测试技术中的应用

各种物理效应、化学效应、微电子技术，甚至生物学原理在工程测量中得到广泛应用，使得可测量的范围在不断扩大，测量精度和效率得到很大提高。

2. 新型传感器的出现

包括新型传感器的出现、传感器性能的提高，还包括功能的增强、集成化程度的提高以及小型、微型化等。

3. 计算机测试系统与虚拟仪器的应用

传感器网络及仪器总线技术、Internet网与远程测试、测试过程与仪器控制技术，以及虚拟仪器及其编程语言等的发展都是现代工程测试技术发展的重要方面。



0 绪论

四、测试技术的工程应用

在工程领域，科学实验、产品开发、生产监督、质量控制等，都离不开测试技术。测试技术应用涉及到航天、机械、电力、石化和海洋运输等每一个工程领域。





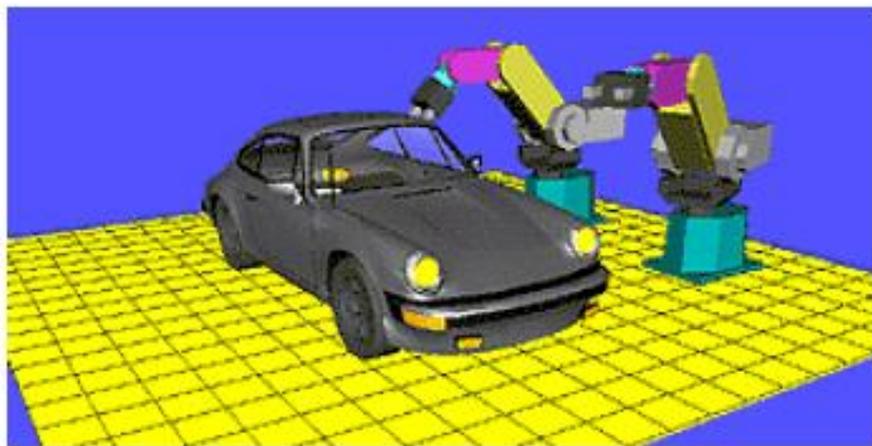
0 绪论

四、测试技术的工程应用

在各种自动控制系统中，测试环节起着系统感官的作用，是其重要组成部分。

a) 机械手、机器人中的传感器

转动/移动位置传感器、力传感器、视觉传感器、听觉传感器、接近距离传感器、触觉传感器、热觉传感器、嗅觉传感器。



密歇根大学的机械手装配模型





四、测试技术的工程应用

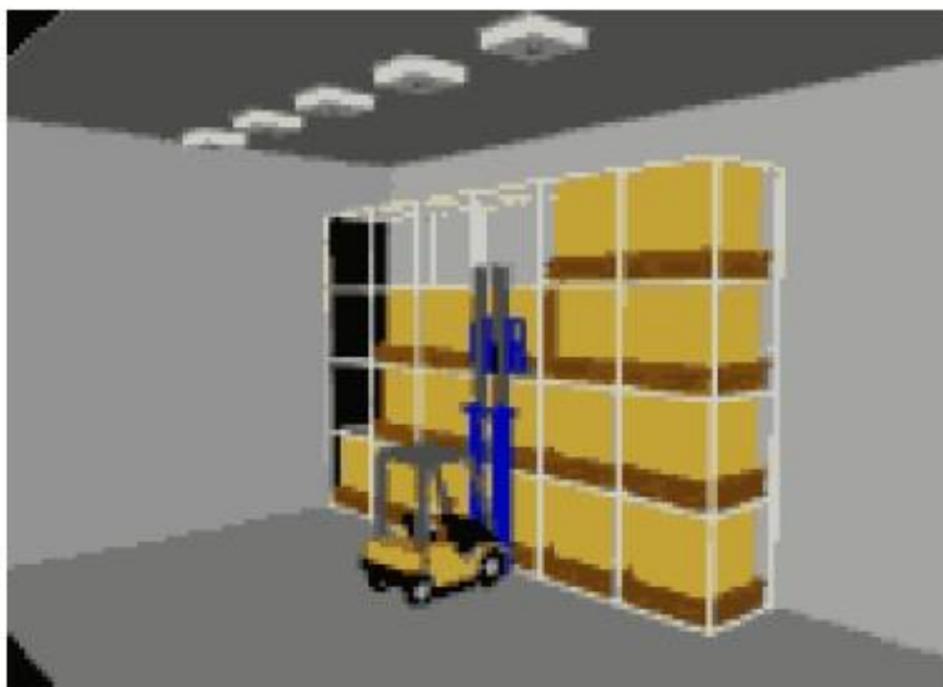
b) AGV自动送货车



超声波测距传感器、判断建筑物内人和物所在位置；
红外线色彩传感器运动轨迹和AGV小车位置识别；
条形码传感器，货品识别。



香港理工AGV模型

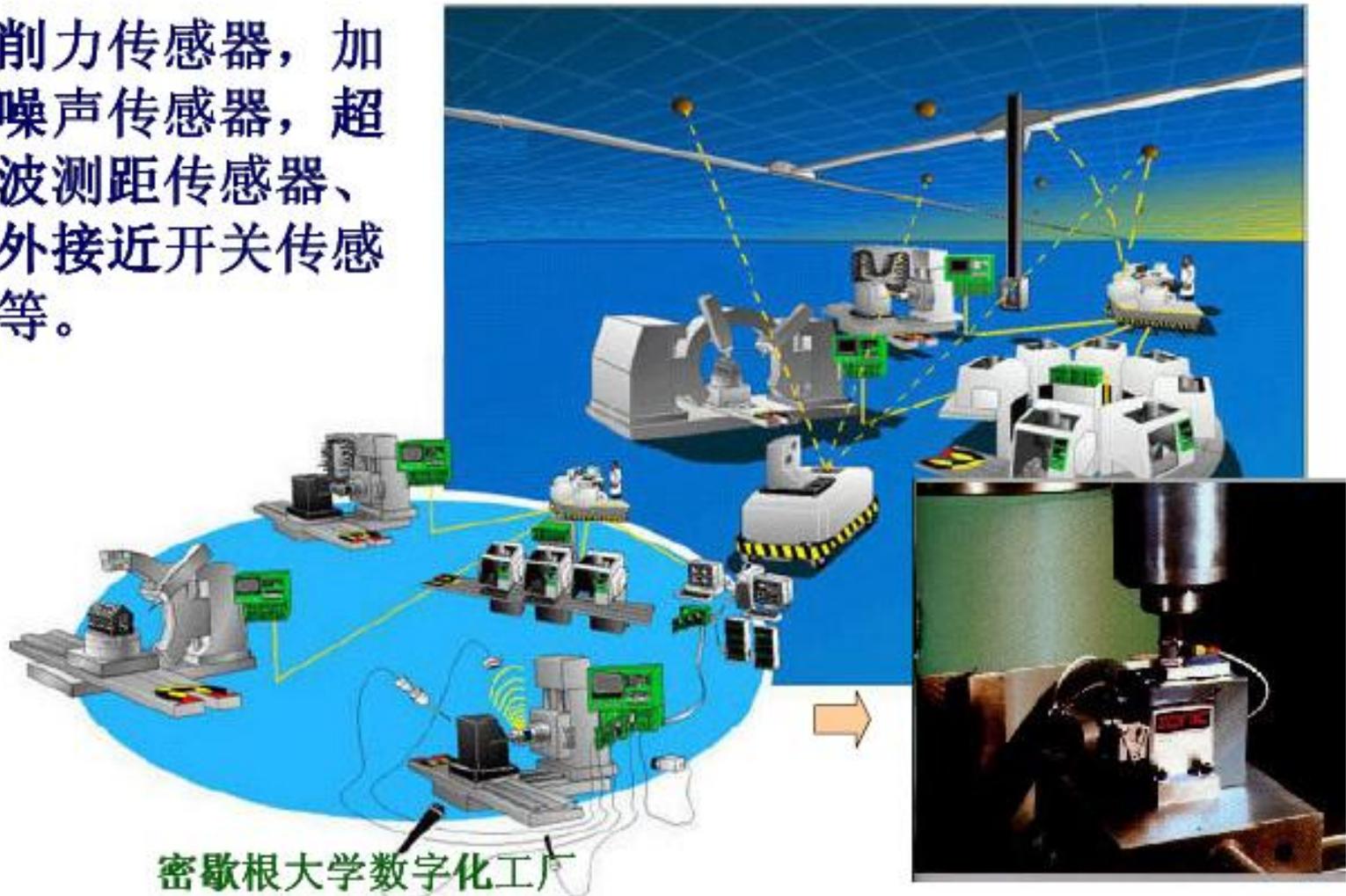




0 绪论

四、测试技术的工程应用

切削力传感器，加工噪声传感器，超声波测距传感器、红外接近开关传感器等。

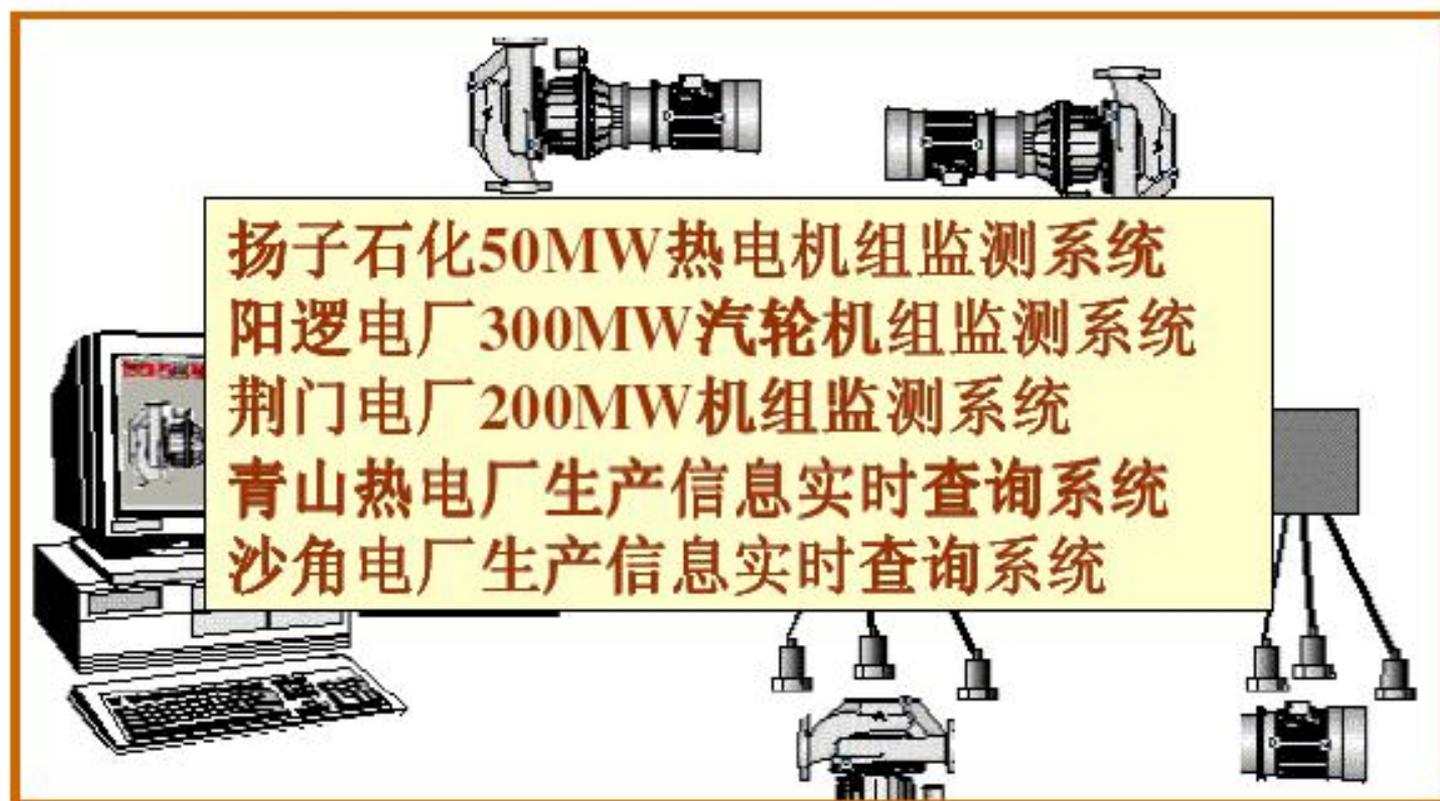




四、测试技术的工程应用

流程工业设备运行状态监控

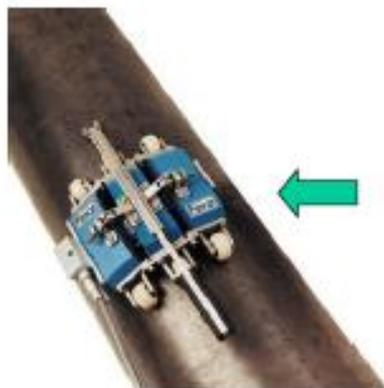
在电力、冶金、石化、化工等流程工业中，生产线上设备运行状态关系到整个生产线流程。通常建立24小时在线监测系统。



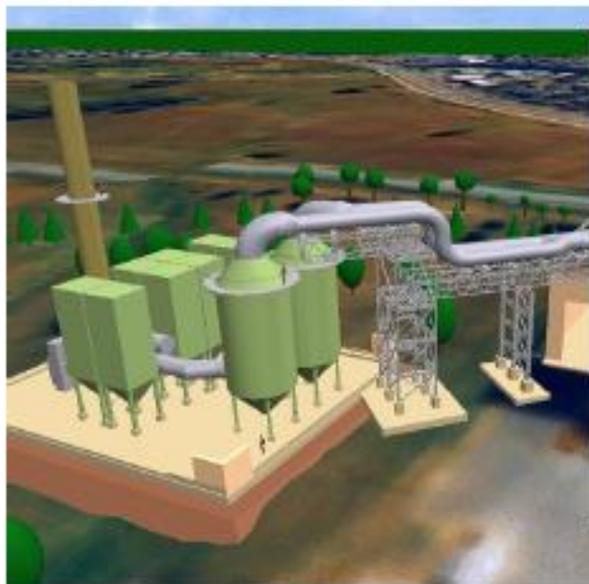
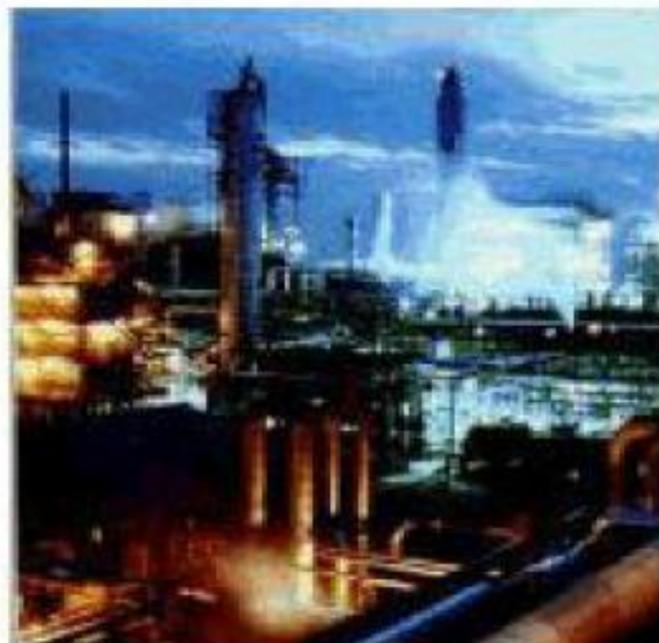


四、测试技术的工程应用

石化



石化企业输
油管道、储
油罐等压力
容器的破损
和泄露检测。



序号	使用单位	设备名称
1	中原油田	油管井口检测仪
2	江汉油田	油管井口检测仪、抽油杆检测线
3	大庆油田	油管井口检测仪、油管和抽油杆检测线
4	胜利油田	油管井口检测仪、油管、抽油杆和钻杆检测线
5	华北油田	油管和抽油杆井口检测仪、油管和抽油杆检测线
6	大港油田	油管井口检测仪、油管和抽油杆检测线
7	吉林油田	油管和抽油杆井口检测仪
8	玉门油田	钻杆检测线
9	长庆油田	油管和抽油杆井口检测仪
10	新星公司华东局	钻杆检测线
11	青海油田	钻杆检测线



四、测试技术的工程应用

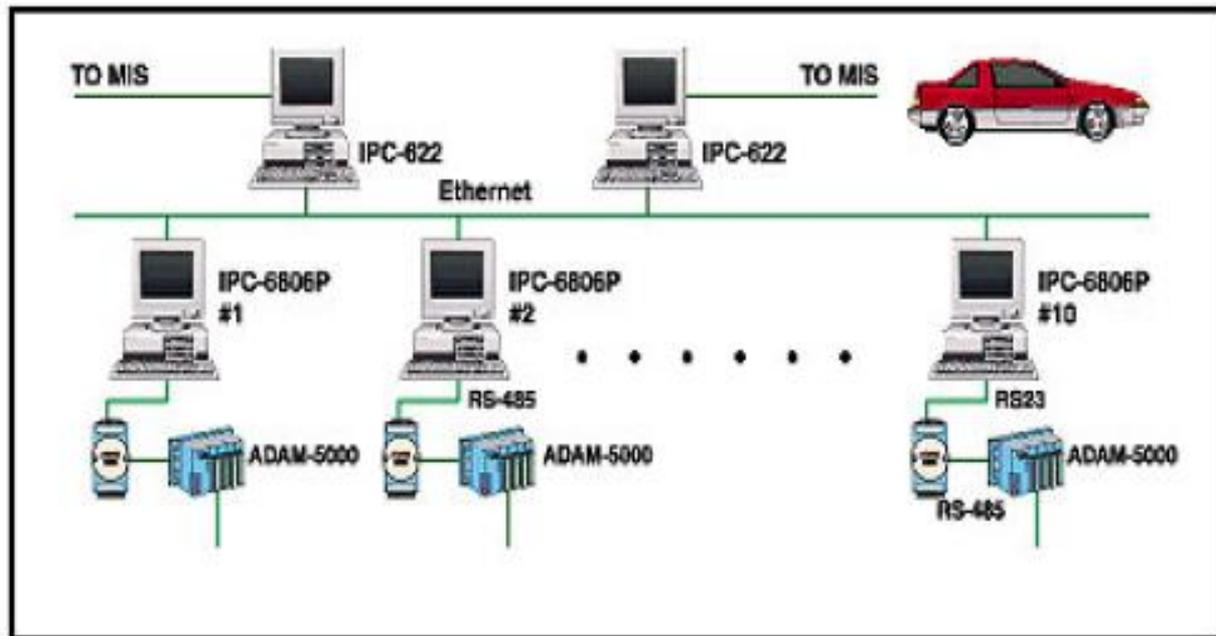
产品质量测量

在汽车、机床等设备，电机、发动机等零部件生产和出厂时，必须对其性能质量进行测量和出厂检验。

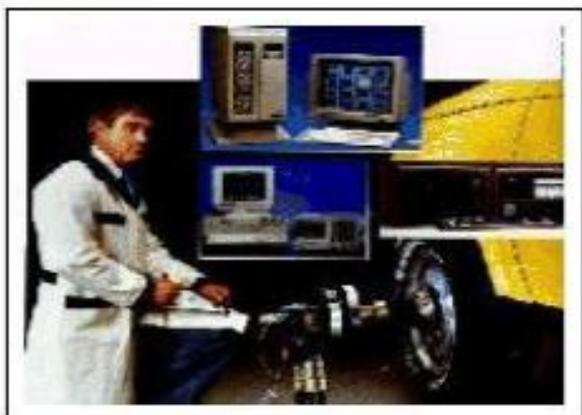




四、测试技术的工程应用



汽车出厂检验，测量参数包括：**润滑油温度**，**冷却水温度**、**燃油压力**及**发动机转速**等。

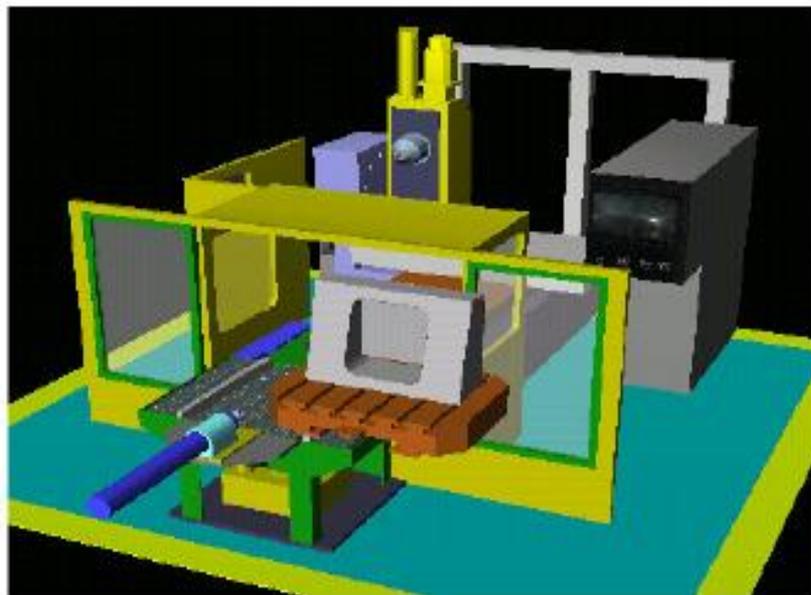


汽车扭距测量

通过对抽样汽车的测试，工程师可以了解产品质量。

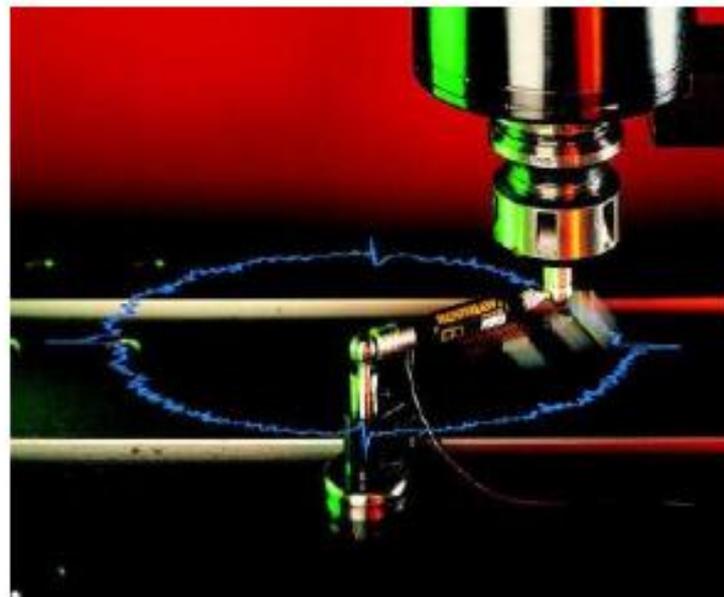


四、测试技术的工程应用



机床精度分静精度、加工精度（包括尺寸精度和几何精度）、定位精度、重复定位精度等5种。

机床动态轮廓精度评价





四、测试技术的工程应用

楼宇控制与安全防护

为使建筑物成为安全、健康、舒适、温馨的生活、工作环境，并能保证系统运行的经济性和管理的智能化。在



室内恒温器



空气质量传感器



湿度传感器



水压传感器



烟雾传感器



亮度传感器



红外人体探测器



四、测试技术的工程应用

家庭与办公自动化

在家电产品和办公自动化产品设计中，人们大量的应用了传感器和测试技术来提高产品性能和质量。



全自动洗衣机中的传感器：
衣物重量传感器，衣质传感器，水温传感器，水质传感器，透光率光传感器(洗净度) 液位传感器，电阻传感器(衣物烘干检测)。



指纹传感器



透光率传感器



温湿度传感器



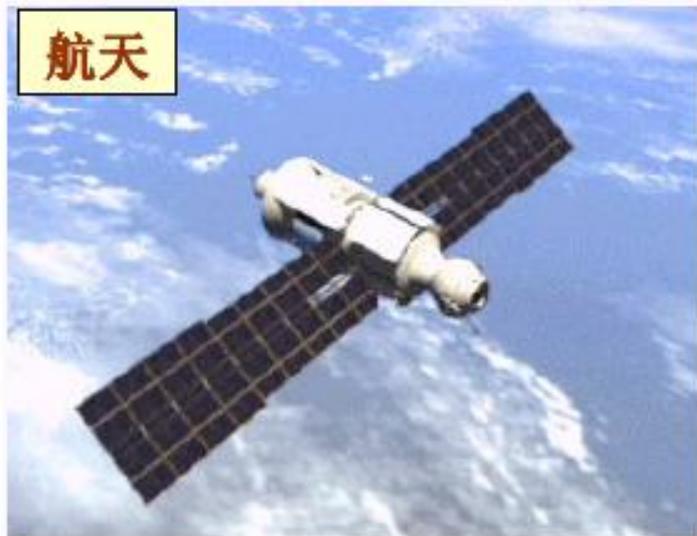
温度传感器



四、测试技术的工程应用

其他应用

航天



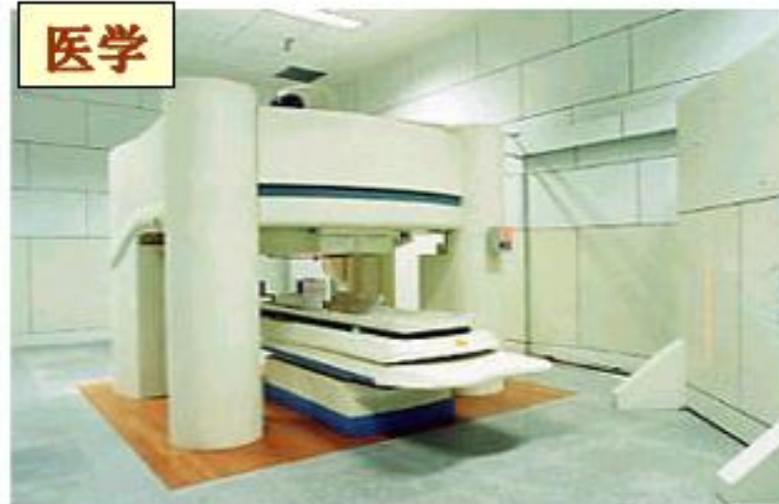
农业



交通



医学





四、测试技术的工程应用

人民网 people
www.people.com.cn

人民网 >> 科技 >> 科学界

航天



传感器对“发现”号航天飞机有多重要？

记者 朱广普

2005年07月28日13:14

【字号 大 中 小】 【留言】 【论坛】 【打印】 【关闭】

“发
射，原因
飞机的外
闭。如果
引擎关闭
重要？本

“就
机的‘感
压力传感

对**航天飞机**，传感器承载3项使命：其一，获取各部件工作状况信息，控制它们协调有序地工作，使航天飞机成为高度精确的自动化系统；其二，准确地提供飞行参数和空间位置信息，使航天飞机按预定目标进入轨道、重返大气层和安全降落；其三，提供飞行空间环境参数，及时发现各种意外情况，采取应急措施，确保航天器和航天员安全。

天
么
飞是



动力总成

- 废气再循环传感器
- 油温传感器
- ETC踏板
- 燃油状态传感器
- 空气流量计
- 燃油喷射线圈
- 节气门位置传感器
- 凸轮轴传感器

- 油箱液位传感器
- 速度传感器



气囊充气附属装置



气囊引爆器

安全



声音报警系统



ABS传感器



e-Park系统

气候控制单元



风速控制器

娱乐&舒适



方向盘开关



车身控制模块



后视镜位置传感器

底盘



刹车踏板传感器



方向盘传感器



自动变速箱
换挡单元

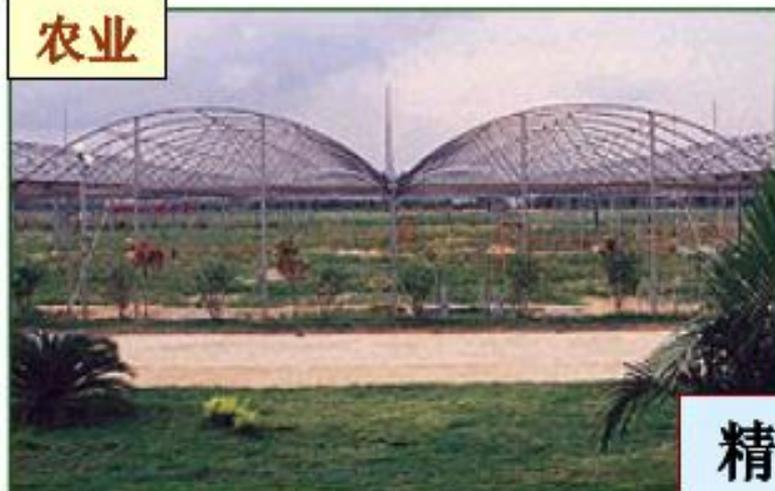


后座音频模块



四、测试技术的工程应用

农业



(1)温度和湿度：作物的生长与温度和湿度有密切关系，塑料大棚的控制参数中，温度与湿度检测、控制是主要参数之一。

(4)光照度：采用光传感器可以得到均匀一致的光

(2)土壤干燥度：作物生长需要水份，在设施农业中如何灌水，做到既不影响作物生长又不浪费水资源。

精准农业



美国NTech土壤取样器系统



1.1 测量的基本方法

测量的过程或行为就是进行一个被测量与一个预定标准之间的定量的比较，从而获得被测对象的数值结果。由测量所得的被测对象的量值表示为数值和计量单位的乘积。

测量的最基本形式

比较——将待测的未知量和予定的标准作比较。

量值——由测量所得到的被测对象的量值表示为数值和计量单位的乘积。

测量的分类：直接测量、间接测量、组合测量、软测量。

1.1.1 直接测量

- 定义：无需经过函数关系的计算，直接通过测量仪器得到被测量值的测量为直接测量。
- 分类：直接比较和间接比较。

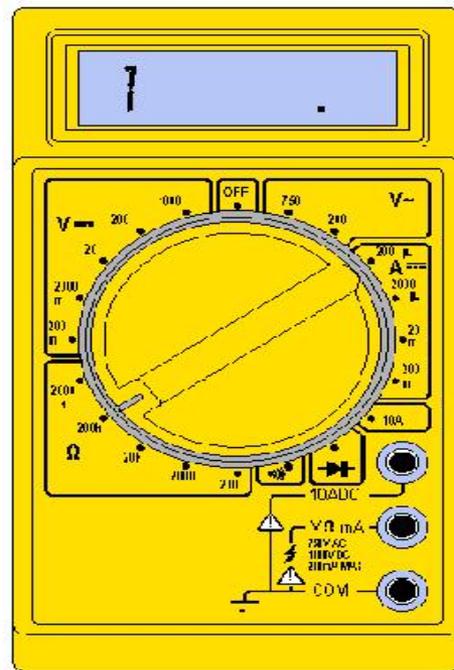
直接比较：直接把被测物理量和标准作比较的测量方法称为直接比较。

举例

天平测物体质量

用米尺测量物体长度

测量导体的电阻

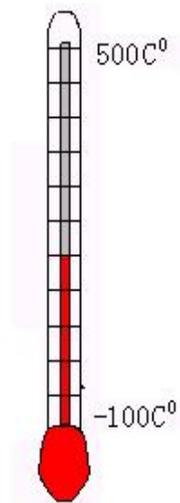


第1章 测量的基础知识

间接比较：利用仪器仪表——统称之为测量系统——把原始形态的待测物理量的变化变换成与之保持已知函数关系的另一种物理量的变化，并以人的感官所能接受的形式，在测量系统的输出端显示出来。

- **举例**

水银温度计测体温
弹簧测物体的重量



1.1.2 间接测量

- 定义

间接测量是在直接测量的基础上，根据已知的函数关系，计算出所要测量的物理量的大小。

- 特点

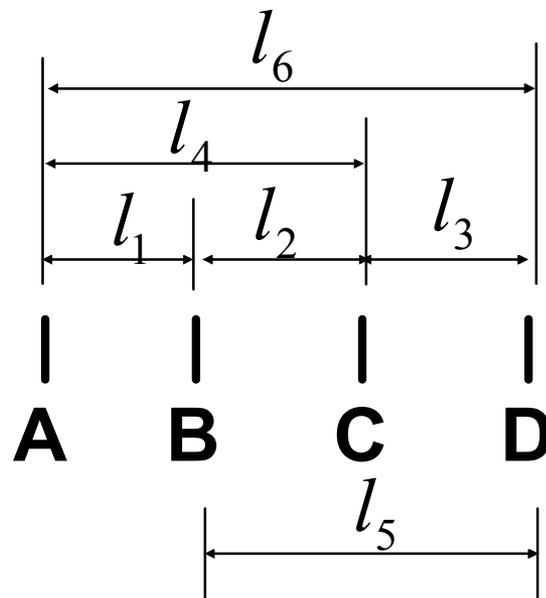
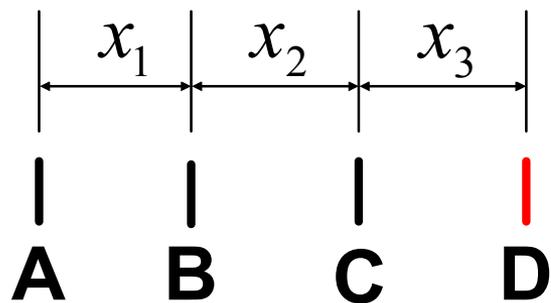
被测物理量不能用现有仪表直接测量得到，需通过数学关系计算得到。

如：在 $y = f(x_1, x_2, x_3)$ 中，欲测量 y ，必须首先测量 x_1, x_2, x_3 。

1.1.3 组合测量

将直接测量值或间接测量值与被测量之间按已知关系组合成一组方程（函数关系），通过解方程组得到被测值的方法。组合测量实质是间接测量的推广，其目的是在不提高计量仪器准确度的情况下，提高被测量值的准确度。

以检定三段刻线间距为例，要求检定刻线A、B、C、D间的距离 x_1, x_2, x_3 。





直接测量各组合量，得

$$l_1 = 1.015mm \quad l_2 = 0.985mm \quad l_3 = 1.020mm$$
$$l_4 = 2.016mm \quad l_5 = 1.981mm \quad l_6 = 3.032mm$$

列出误差方程

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= l_1 - x_1 \\ v_2 &= l_2 - x_2 \\ v_3 &= l_3 - x_3 \\ v_4 &= l_4 - (x_1 + x_2) \\ v_5 &= l_5 - (x_2 + x_3) \\ v_6 &= l_6 - (x_1 + x_2 + x_3) \end{aligned} \right\}$$



由最小二乘法求出 x_1, x_2, x_3 的最佳估计值:

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.028 \\ 0.983 \\ 1.013 \end{bmatrix}$$

1.1.4 软测量

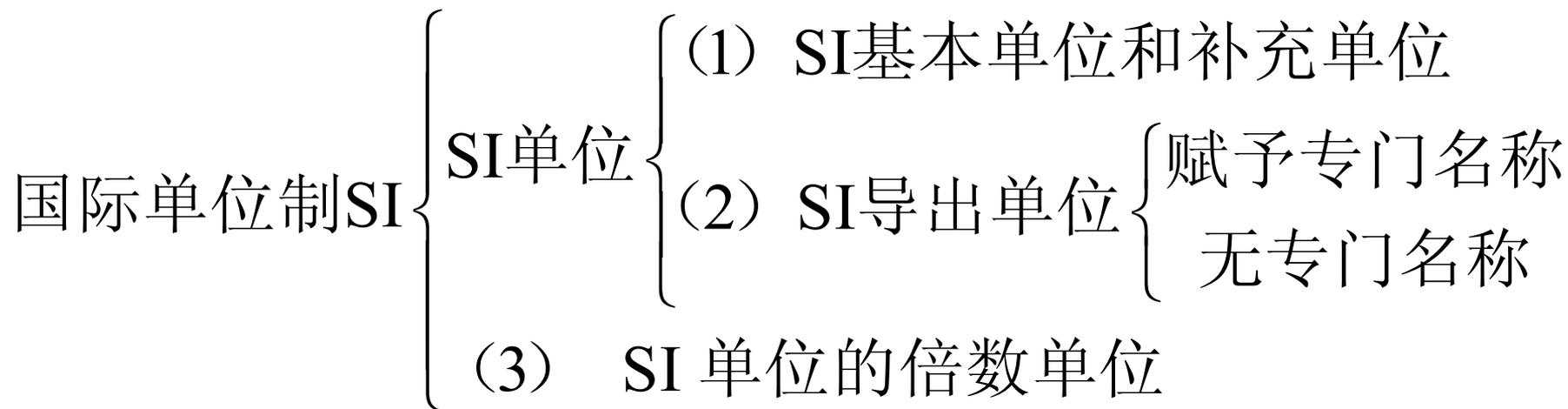
利用易测过程变量与难以直接测量的待测过程变量之间的数学关系，通过数学计算和方法估计，在测定易测量基础上实现对待测过程变量的测量。

按建立软测量的数学模型的方法不同可将软测量技术分为：机理建模、回归分析、状态估计和辨识、模式识别、人工神经网络、模糊数学、相关分析、非线性处理技术等。

1.2 标准量及其传递

1.2.1 SI (International System of Unit) 的构成

国际单位制SI由基本单位、导出单位、倍数单位三大块组成。



1. SI基本单位、补充单位

SI基本单位有七个，分别是：长度——米/m (**Metre**)、质量——千克/kg (**Kilogram**)、时间——秒/s (**Second**)、温度——开尔温/K (**Kelvn**)、电流——安培/A (**Ampere**)、发光强度——坎德拉/cd (**Candela**)、物质的量——摩尔/mol (**Mol**)。

SI补充单位两个，平面角——弧度 (**rad**)，立体角——球面弧度 (**sf**)

第1章 测量的基础知识

2. 导出单位

在选定了基本单位和辅助单位之后，按物理量之间的关系，由基本单位和辅助单位以相乘或者相除所构成的单位称为导出单位。分为两种，一种是有专门名称和符号的，如下表。

量	单位	符号	公式	量	单位	符号	公式
电容	法拉	F	C/V	频率	赫兹	Hz	1/s
电导	西门子	S	A/V	磁通量	韦伯	Wb	V.s
电感	亨利	H	Wb/A	磁通密度	特斯拉	T	Wb/m²
电势	伏特	V	W/A	功率	瓦特	W	J/s
电阻	欧姆	Ω	V/A	压强	帕斯卡	Pa	N/m²
能量	焦耳	J	N.m	电荷量	库仑	C	A.s
力	牛顿	N	Kg.m/s²				

另一种导出单位不具有所赋予的专门符号，包括：
加速度 (m/s^2)，角加速度 (rad/s^2)，角速度
(rad/s)，面积 (m^2)，密度 (质量) (kg/m^3)，密度
(能量) (J/m^3)，热通量 (W/m^2)，力矩 ($\text{N}\cdot\text{m}$)，速度
(m/s)，黏度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)，体积 (m^3)

3. SI单位的倍数单位

SI单位词头前冠以十进制倍数或分数代号以扩大或缩小原有单位，成为SI的倍数单位。如兆、千、百、十、微、纳……。



1.2.2 量值的传递与溯源

1. 量值的传递

任何计量器具，都具有不同程度的误差，必须用适当等级的计量标准进行周期检定，以保证其误差在允许的范围之内。

将国家计量基准所复现的计量单位量值，依次逐级传递给下一等级的计量器具。这一过程称为量值传递。这种自上而下的活动带有强制性。

2. 量值的溯源

量值的溯源是从下而上，主动地由基层企业根据测量准确度的要求，自主地寻求具有较佳不确定度的参考标准进行测量设备的校准，甚至与国家或国际的计量基准进行比对和校准。这种自下而上的活动则是量值传递的逆过程。



1.3非电量电测系统的组成

1. 非电量电测法的基本思想

首先要将输入物理量转换成电量，然后再进行必要的调节、转换、运算，最后以适当的形式输出。

2. 非电量电测系统的组成

①模拟式测量系统

②数字式测量系统

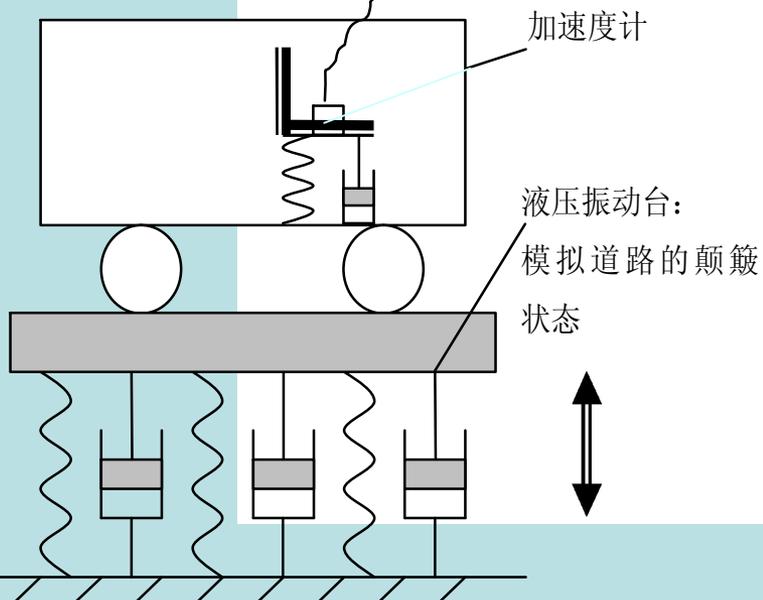
第1章 测量的基础知识

衡量乘坐舒适性的指标之一：座椅处的加速度

标定装置

第一级：传感器

第二级：信号调理电路



汽车振动
加速度

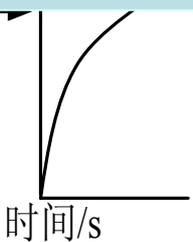
加速度计

滤波器

积分器

放大器

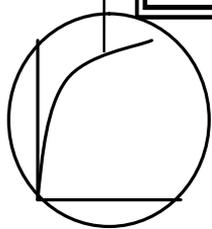
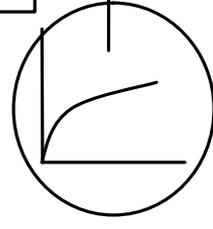
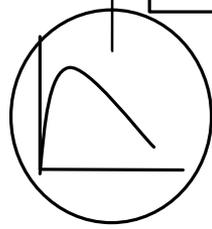
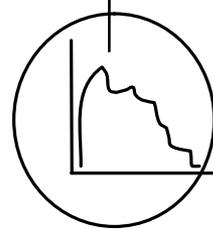
显示记录



激励装置
(振动台)

反馈控制

测量装置



从加速度计获取带有“噪声”的电压输出

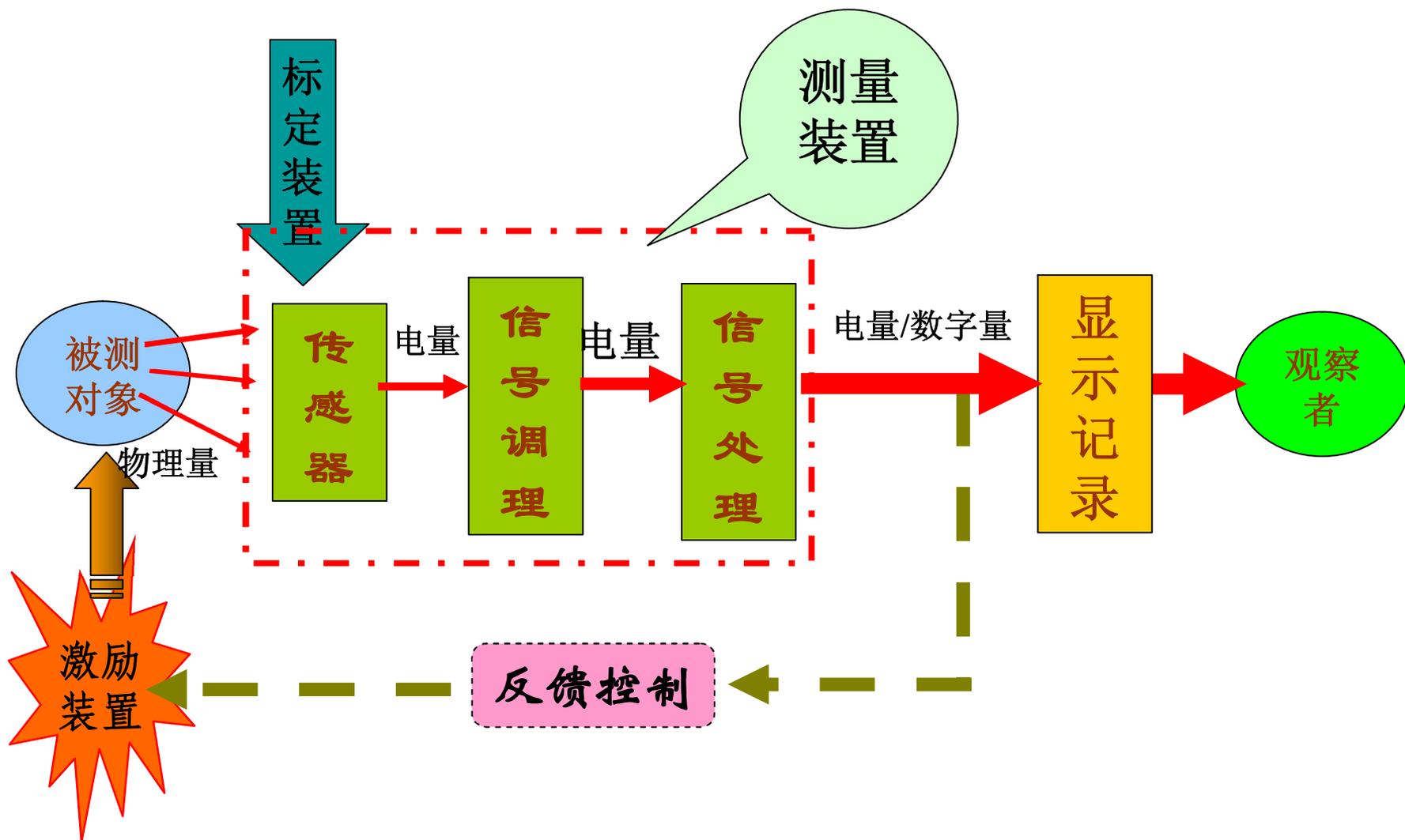
去除噪声后的信号

积分后得到的速度电压信号

放大后的电压信号

第1章 测量的基础知识

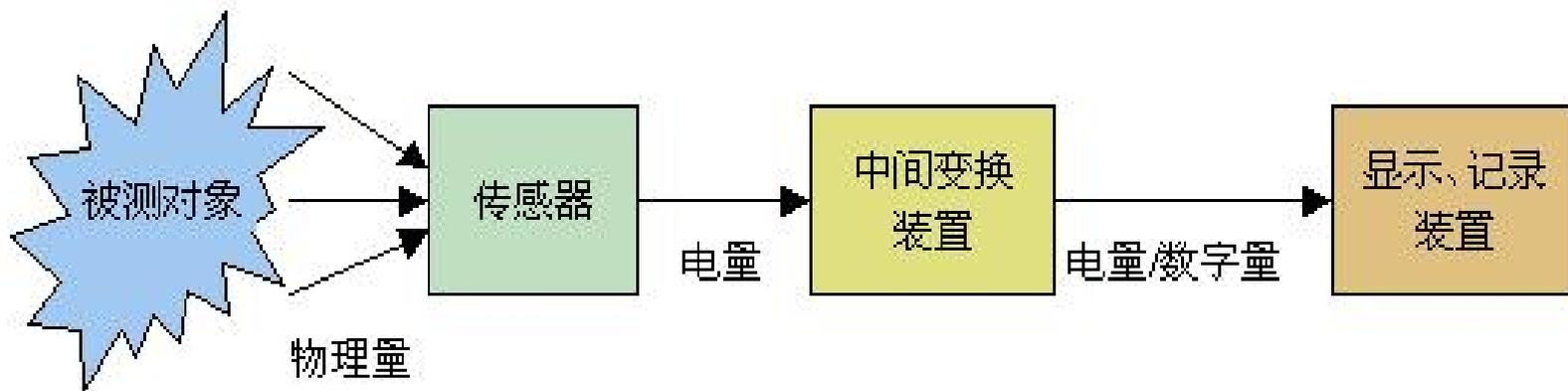
非电量电测系统的组成框图



第1章 测量的基础知识

一般说来，测试系统由**测量装置**、**标定装置**和**激励装置**三部分组成。

测量装置由**传感器**、**信号调理器**和**显示记录仪**三部分组成。



1) 传感器（一次仪表）

◆**定义：**将被测非电量通过某种原理转换成电信号的装置。

能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。

◆**作用：**将被测非电量转换成便于放大、记录。

传感器的组成

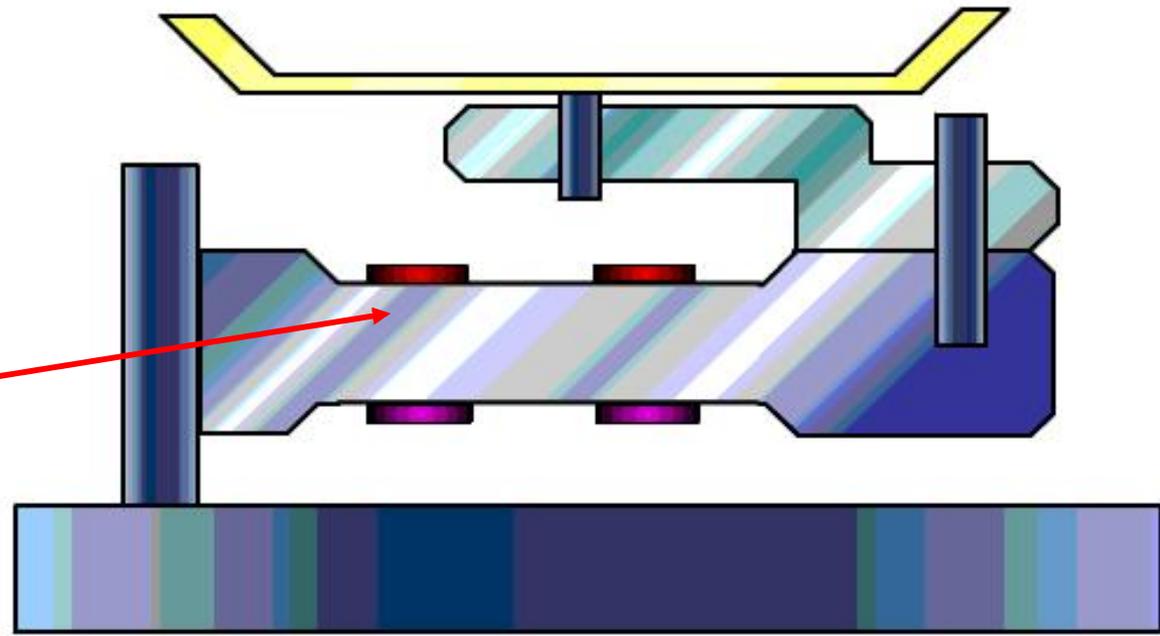
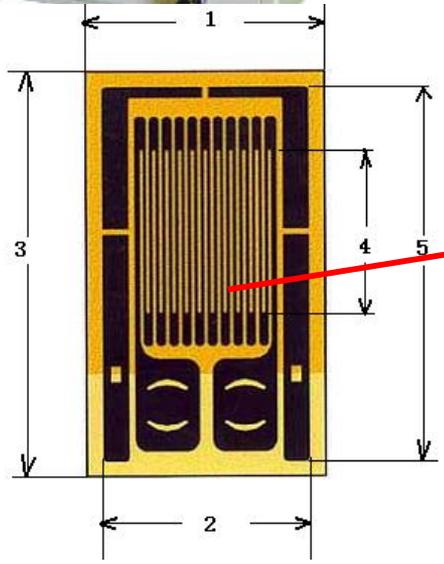


- ① **敏感元件**：将被测非电量预先变换为另一种易于转换成电量的非电量（例如应变或位移），然后再利用传感元件，将这种非电量变换成电量。
- ② **传感元件**：凡是能将感受到的非电量（如力、压力、温度梯度等）直接变换为电量或电参量的器件称为传感元件。

如应变计、压电晶体、压磁式器件、光电元件及热电偶等。传感元件是利用各种物理效应或化学效应等原理制成的。



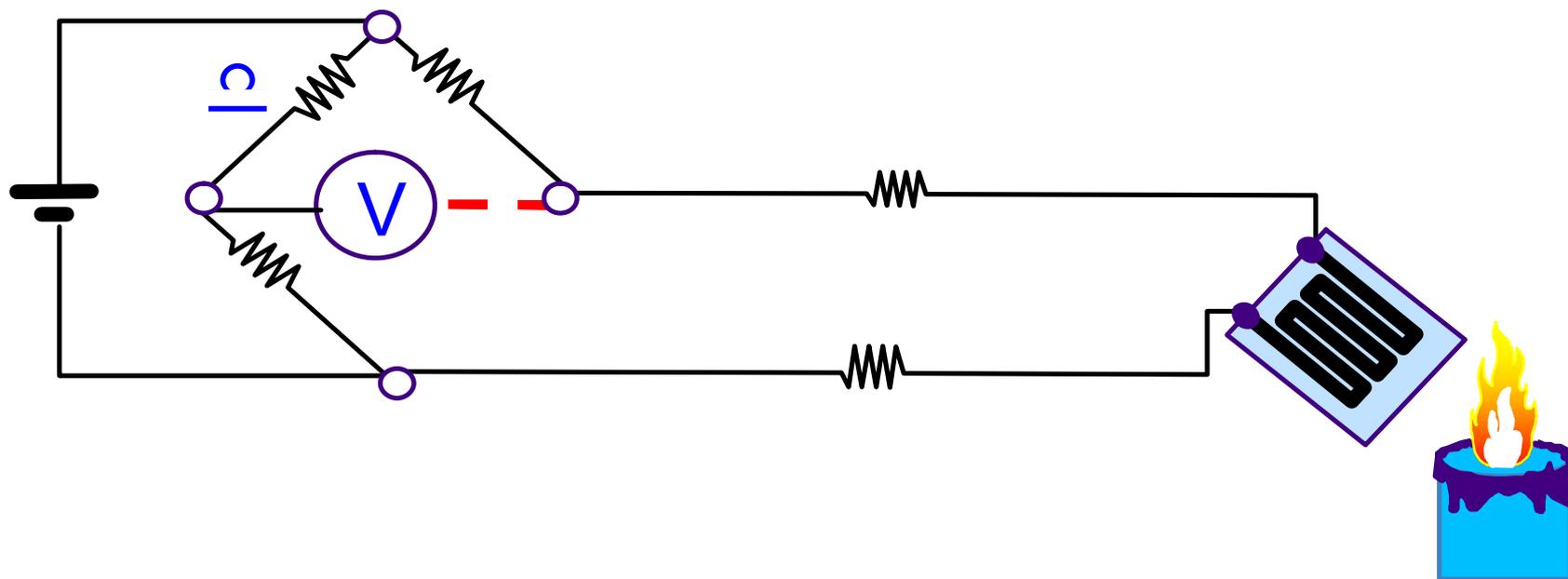
电阻应变片



第1章 测量的基础知识

说明：

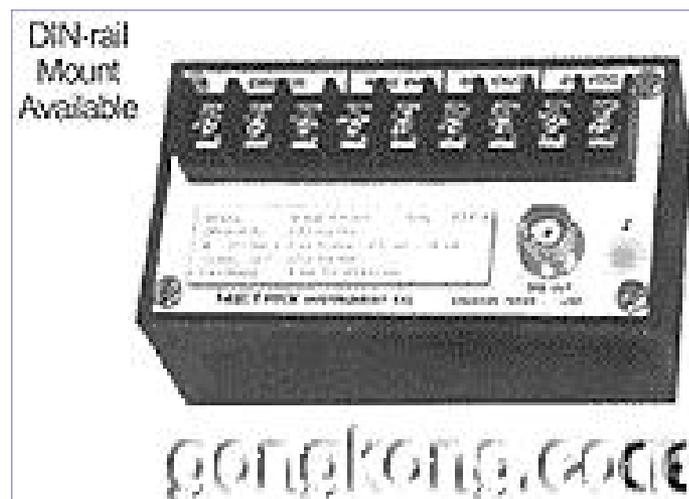
并不是所有的传感器都包括敏感元件和传感元件两部分。如图示热敏电阻。



2) 中间变换与调理电路（二次仪表）

定义：将传感器输出的微弱信号进行放大、滤波、变换等调理后输出给记录仪器的装置。

- ① 直流放大器
- ② 滤波器
- ③ 应变仪
- ④ 电荷放大器

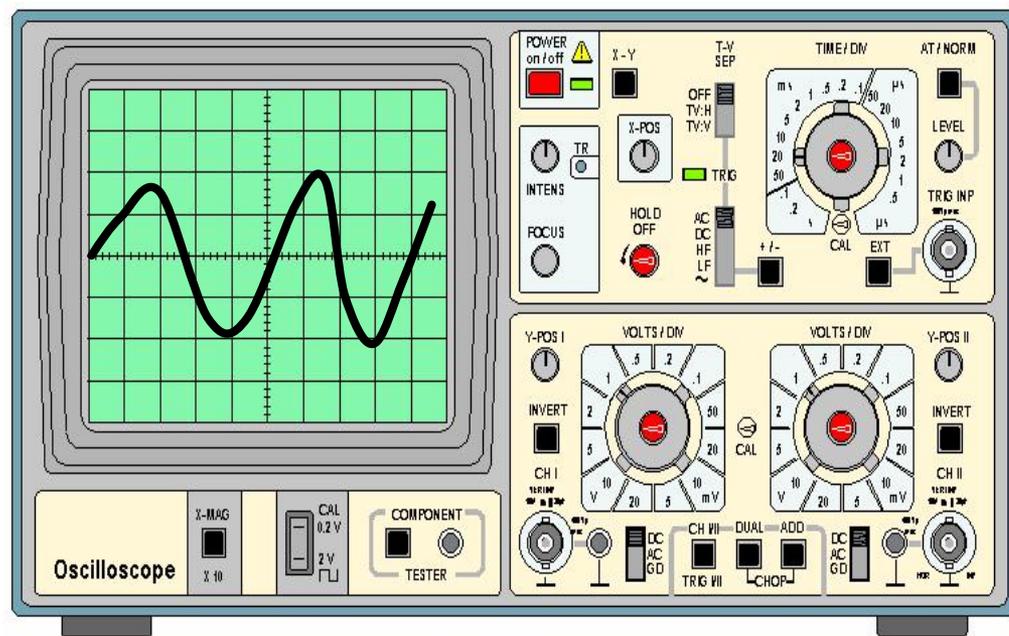


第1章 测量的基础知识

3) 显示记录设备（三次仪表）

▲作用：把中间变换与测量电路送来的电压或电流信号不失真地显示和记录出来。如：

- ①显示器；
- ②存储示波器；
- ③电压表；
- ④磁带记录仪；
- ⑤数字式瞬态
- ⑥波形存储器





操作员1

操作员2

工程师站

历史站

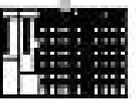
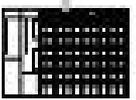
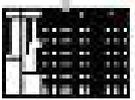


光缆或屏蔽双绞线以太网

预处理间

深度处理间

排放



水质在线监测仪

压力变送器

阀门定位器

变频器

流量计

现场总线