

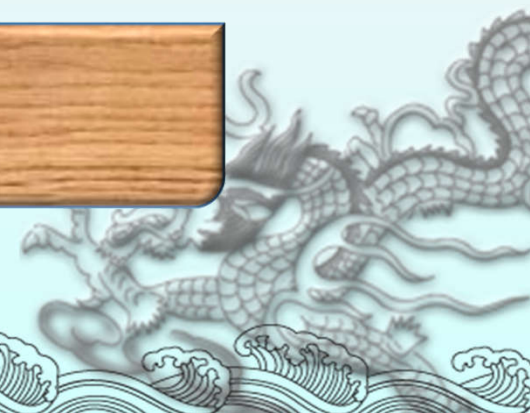
# 第九章 工业机器人的感知

第一节 工业机器人传感器概述

第二节 位置和位移传感器

第三节 机器人的视觉技术

第四节 机器人的触觉



## 【案例导入】

近些年，国家大力推动物联网建设，更是作为国家战略来发展。物联网可分为三层：感知层、网络层和应用层。感知层的作用相当于人的眼耳鼻喉和皮肤等神经末梢，它是物联网识别物体、采集信息的来源，其主要功能是识别物体，采集信息。网络层相当于人的神经中枢和大脑，负责传递和处理感知层获取的信息。应用层是物联网和用户的接口，它与行业需求结合，实现物联网的智能应用。

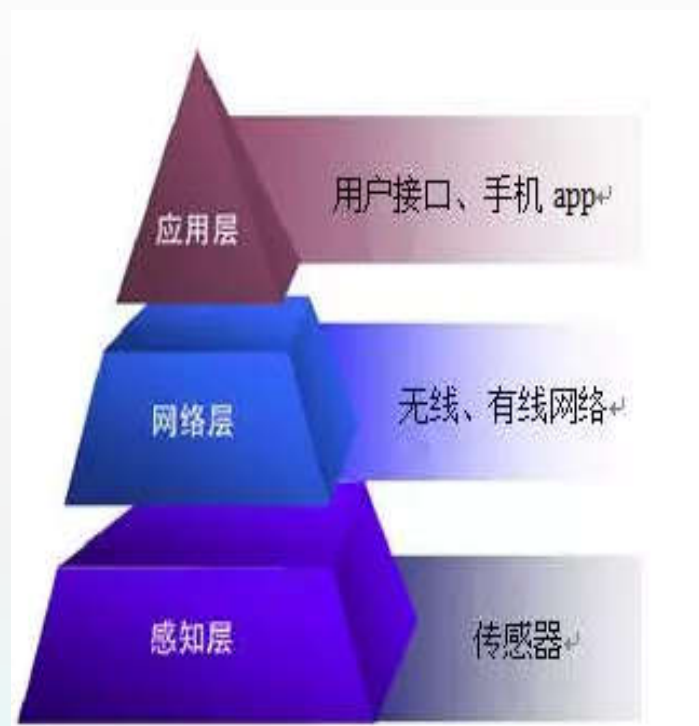


图9.1 物联网的建设

云传感器由此而生，集成了测量感知、网络传输和云端组件，如图9.2所示。它的特点是将传感组件和联网组件集成到一起，传感器采集的数据直接上传到云平台，用户直接从云平台使用数据，节省中间传输处理电路的成本。



图9.2 云传感器组成

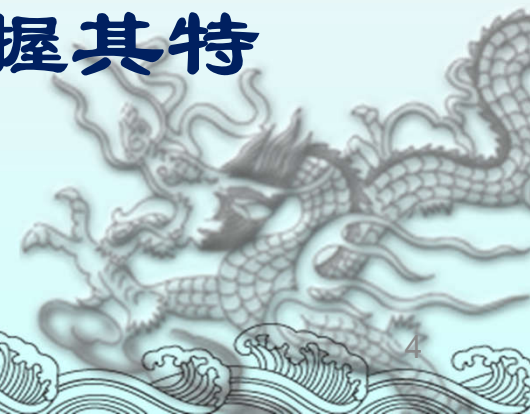


## 【教学目标】

◆掌握传感器的定义、原理、分类和性能指标；

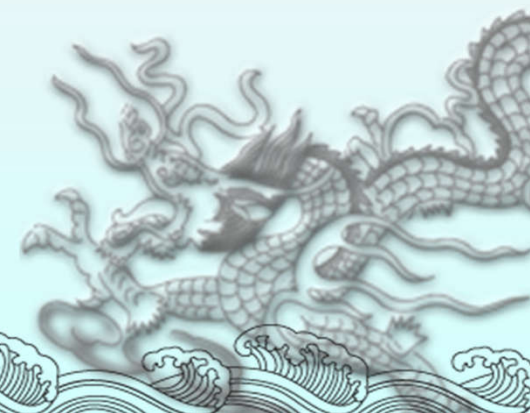
◆理解各传感器的组成、技术，做到学以致用；

◆理解位置和位移传感器、视觉和触觉传感器的工作原理，掌握其特点及使用场合。



# 第一节 工业机器人传感器概述

- 传感器的定义
- 传感器的分类
- 传感器的性能指标
- 传感器的发展动向



# 1 传感器的定义

传感器（transducer/sensor）是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，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。



图9.3 传感器工作原理

直接感受被测量，  
并输出与被测量  
成确定关系的某  
一物理量

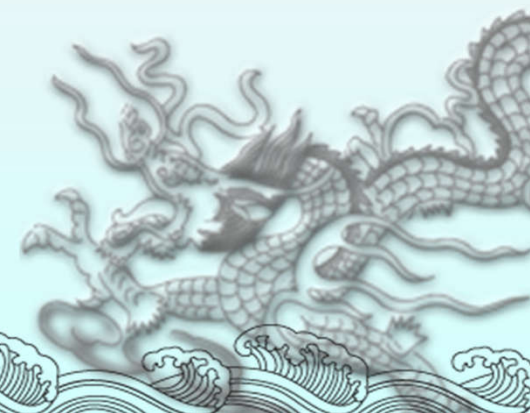
把敏感元件的输出  
转换成电路参量

把电路参量转换  
成电量

## 2 传感器的分类

1.按检测状态分类：分为内部传感器和外部传感器两种。

2.按工作原理分类：是以检测器件的工作原理命名的，如应变式、压电式、压阻式、热点式检测器件等。



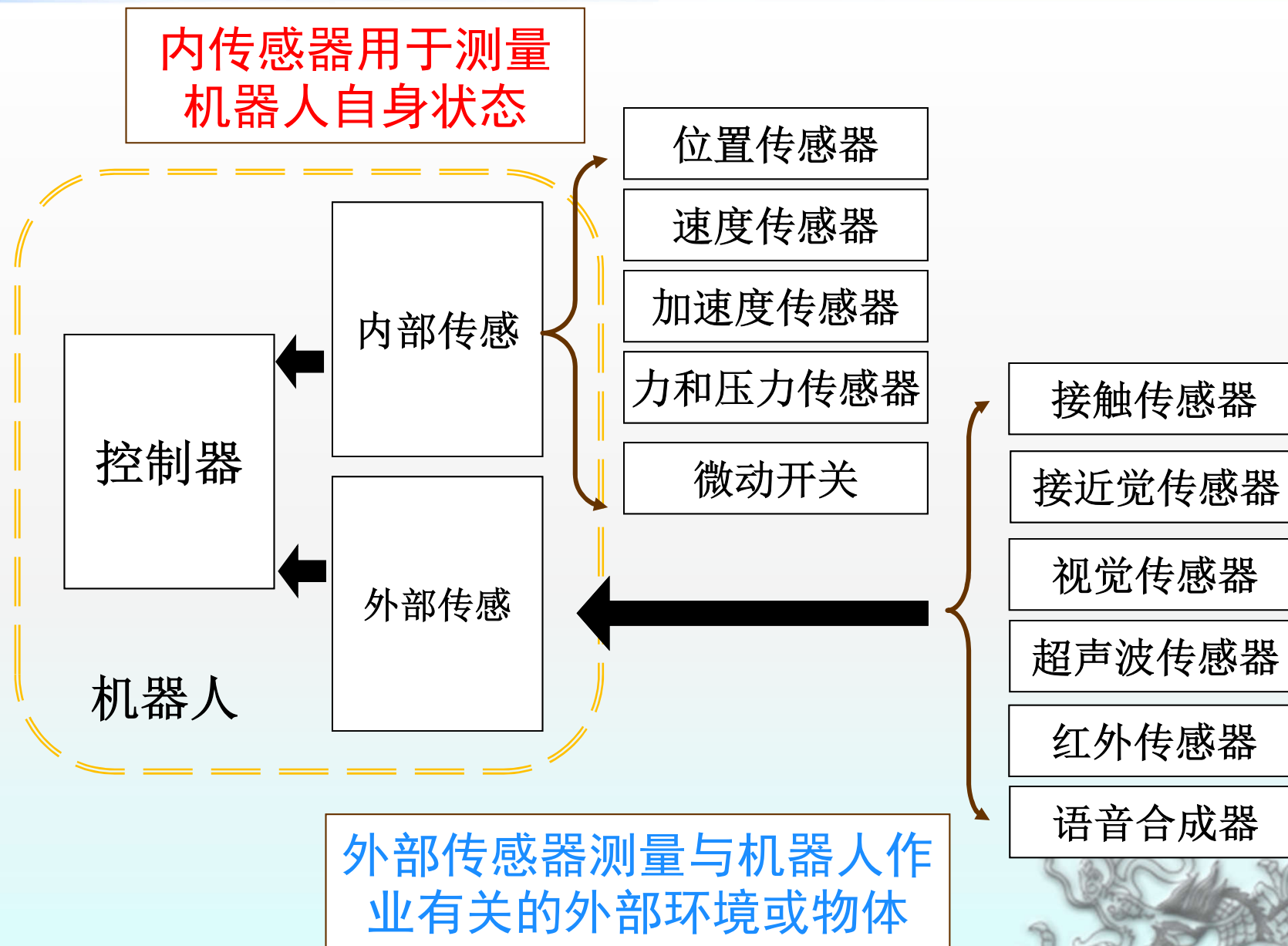


图9.4 传感器按测量状态分类示意图



表9.1 检测器件按工作原理分类

类型	工作原理	典型应用
电阻式	电阻应变片	力、压力、加速度、力矩、应变、位移、载重
	固体压阻式	压力、加速度
	电位器式	位移、力、压力
电感式	自感式	力、压力、振动、液位、厚度、位移、角位移
	互感式	改变互感（互感变压器、旋转变压器）
	电涡流式	利用电涡流现象改变线圈自感或阻抗
	压磁式	力、压力
	感应同步器	两个平面绕组的互感随位置不同而变化
磁电式	电磁感应式	速度、转速、转矩
	霍尔式	位移、力、压力、振动
	磁栅式	长度、线位移、角位移
压电式	正压电式	力、压力、加速度、粗糙度
	声表面波式	力、压力、角加速度、位移
电容式	电容式	位移、加速度、力/压力、液位、含水量、厚度
	容栅式	改变电容里或加以激励产生感应电动势
光电式	一般形式	位移、温度、转速、浑浊度
	光栅式	位移、长度、角度、角位移
	光纤式	位移、加速度、速度、水声、温度、压力
	光学编码器	线位移、角位移、转速
	固体图像式	图像、文字、符号、尺寸
	激光式	长度、位移、速度、尺寸
	红外式	温度、探伤、气体分析
热电式	热电偶	温度
	热电阻	温度
	热敏电阻	温度

## 机器人传感器的分类及应用

眼

皮肤

耳  
鼻  
舌

传感器	检测对象	传感器装置	应用
视觉 Vision	空间形状 距离 物体位置 表面形态 光亮度 物体颜色	面阵 CCD、SSPD、TV 摄像机 激光、超声测距 PSD、线阵 CCD 面阵 CCD 光电管、光敏电阻 色敏传感器、彩色 TV 摄像机	物体识别、判断 移动控制 位置决定、控制 检查, 异常检测 判断对象有无 物料识别, 颜色选择
触觉 Haptic	接触 握力 负荷 压力大小 压力分布 力矩 滑动	微型开关、光电传感器 应变片、半导体压力元件 应变片、负载单元 导电橡胶、感压高分子元件 应变片、半导体感压元件 压阻元件、转矩传感器 光电编码器、光纤	控制速度、位置, 姿态确定 控制握力, 识别握持物体 张力控制, 指压控制 姿态、形状判别 装配力控制 控制手腕, 伺服控制双向力 修正握力, 测量重量或表面特征
接近觉	接近程度 接近距离 倾斜度	光敏元件、激光 光敏元件 超声换能器、电感式传感器	作业程序控制 路径搜索、控制, 避障 平衡, 位置控制
听觉	声音 超声	麦克风 超声波换能器	语音识别、人机对话 移动控制
嗅觉	气体成分 气体浓度	气体传感器、射线传感器	化学成分分析
味觉	味道	离子敏传感器、ph 计	化学成分分析

### 3 传感器的性能指标

1. **灵敏度**：灵敏度是指传感器的输出信号达到稳定时，输出信号变化与输入信号变化的比值。假如输出和输入呈线性关系，其灵敏度为：

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

2. **线性度**：线性度是指传感器输出信号与输入信号之间的线性程度。
3. **测量范围**：测量范围是指被测量的最大允许值和最小允许值之差。
4. **精度**：精度是指传感器的测量输出值与实际被测量值之间的误差。



5. **重复性：**重复性是指传感器在对输入信号按同一方式进行全量程连续多次测量时，相应测试结果的变化程度。

6. **分辨率：**分辨率是指传感器在整个测量范围内所能辨别的被测量的最小变化量，或者所能辨别的不同被测量的个数。

7. **响应时间：**响应时间是传感器的动态特性指标，是指传感器的输入信号变化后，其输出信号随之变化并达到一个稳定值所需要的时间。

8. **抗干扰能力：**通常抗干扰能力是通过单位时间内发生故障的概率来定义的，因此它是一个统计指标。





## 4 传感器的发展动向

机器人技术的发展大致经历了以下三个时期：

### (1) 第一代示教再现机器人

不配备任何传感器，一般采用简单的开关控制、示教再现控制和可编程序控制。工作过程中无法感知环境的改变而改善自身的性能。

### (2) 第二代感觉型机器人

配备了简单的内外部传感器，能感知自身运行的速度、位置、姿态等物理量，并以这些信息的反馈构成闭环控制，具有部分适应外部环境的能力。



### (3) 第三代智能型机器人

具有多种外部传感器组成的感觉系统，可通过对外部环境信息的获取、处理，确切地描述外部环境，自主地完成某相任务。一般地，拥有自主知识库、多信息处理系统，能根据环境的变化做出对应的决策。

一方面开发研究机器人的各种外部传感器，研究多信息处理系统（Robot Sensory System），使其具有更高的性能指标和更宽的应用范围；

另一方面研究如何将多个传感器得到的信息综合利用（Multi-sensor Integration and Fusion），发展多信息处理技术，使机器人能更准备、全面、低成本地获取环境的信息。



## 传感器发展趋势：

(1) 研发新型传感器。新型传感器是指：

- 1) 采用新原理；
- 2) 填补传感器空白；
- 3) 仿生传感器等方面。

(2) 开发新材料。新型传感器材料有：

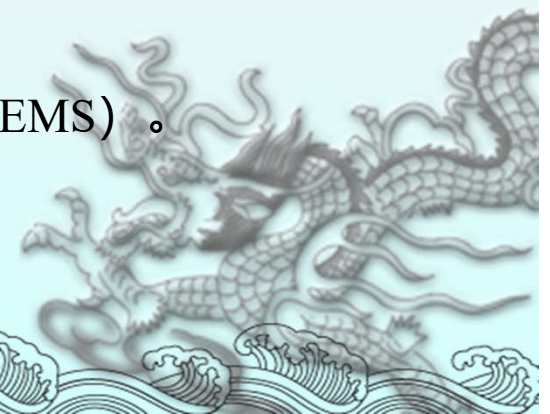
- 1) 半导体敏感材料；
- 2) 陶瓷材料；
- 3) 磁性材料；
- 4) 智能材料等。

(3) 采用新工艺。

微细加工技术，又称微机械加工技术 (MEMS)。

(4) 面向集成化、多功能化。

(5) 面向智能化发展。





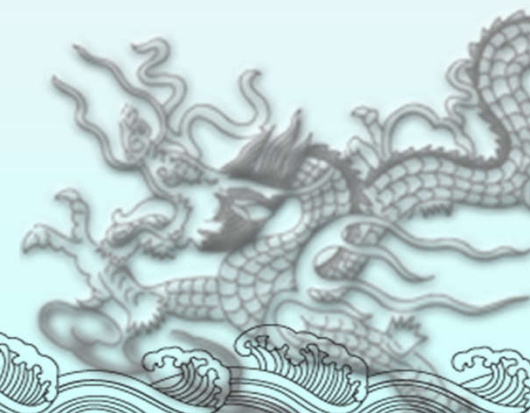
## 未来的重要设计趋势以及难题：

有限的内部空间

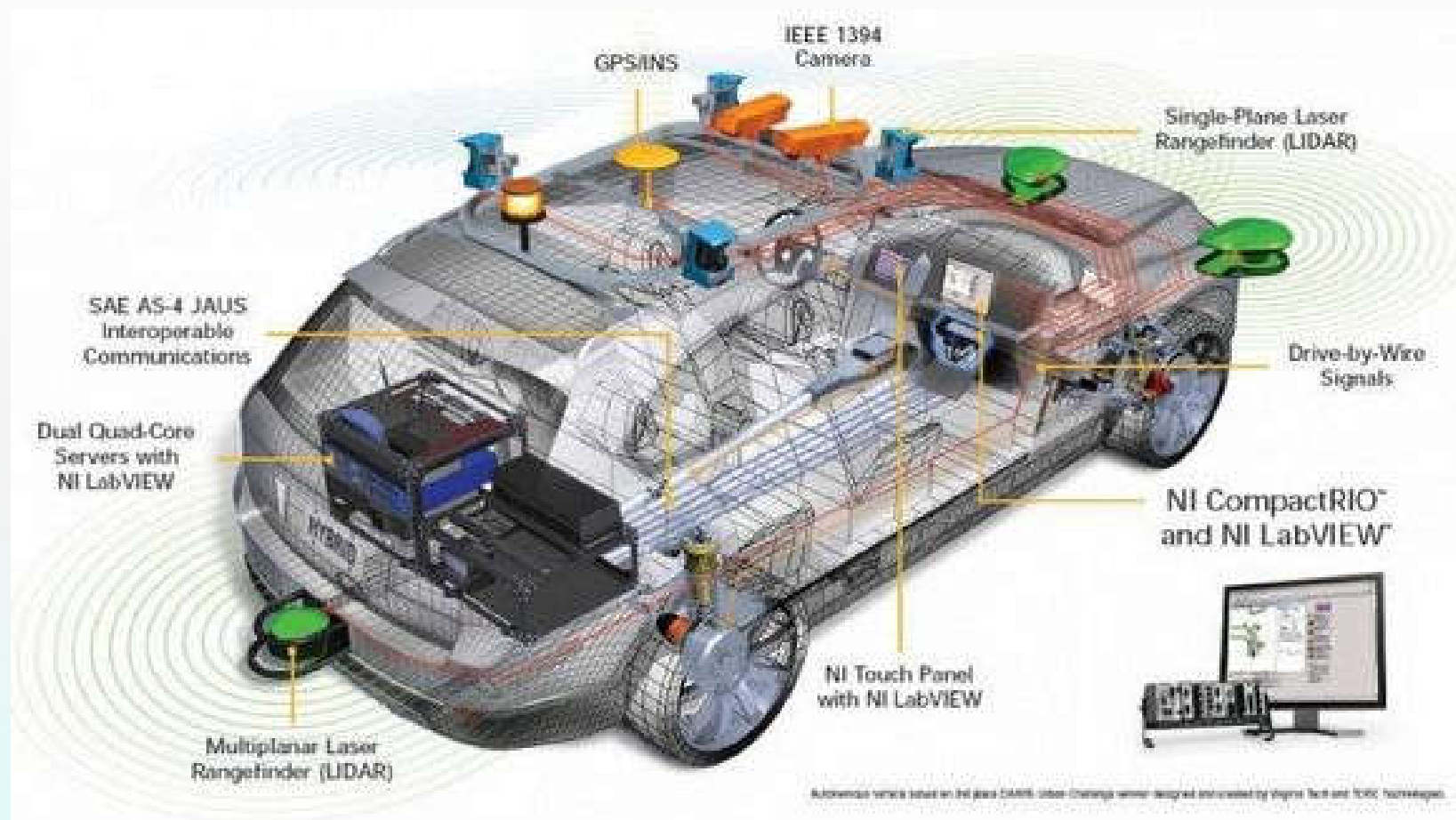
人类对机器人无限感官的需求

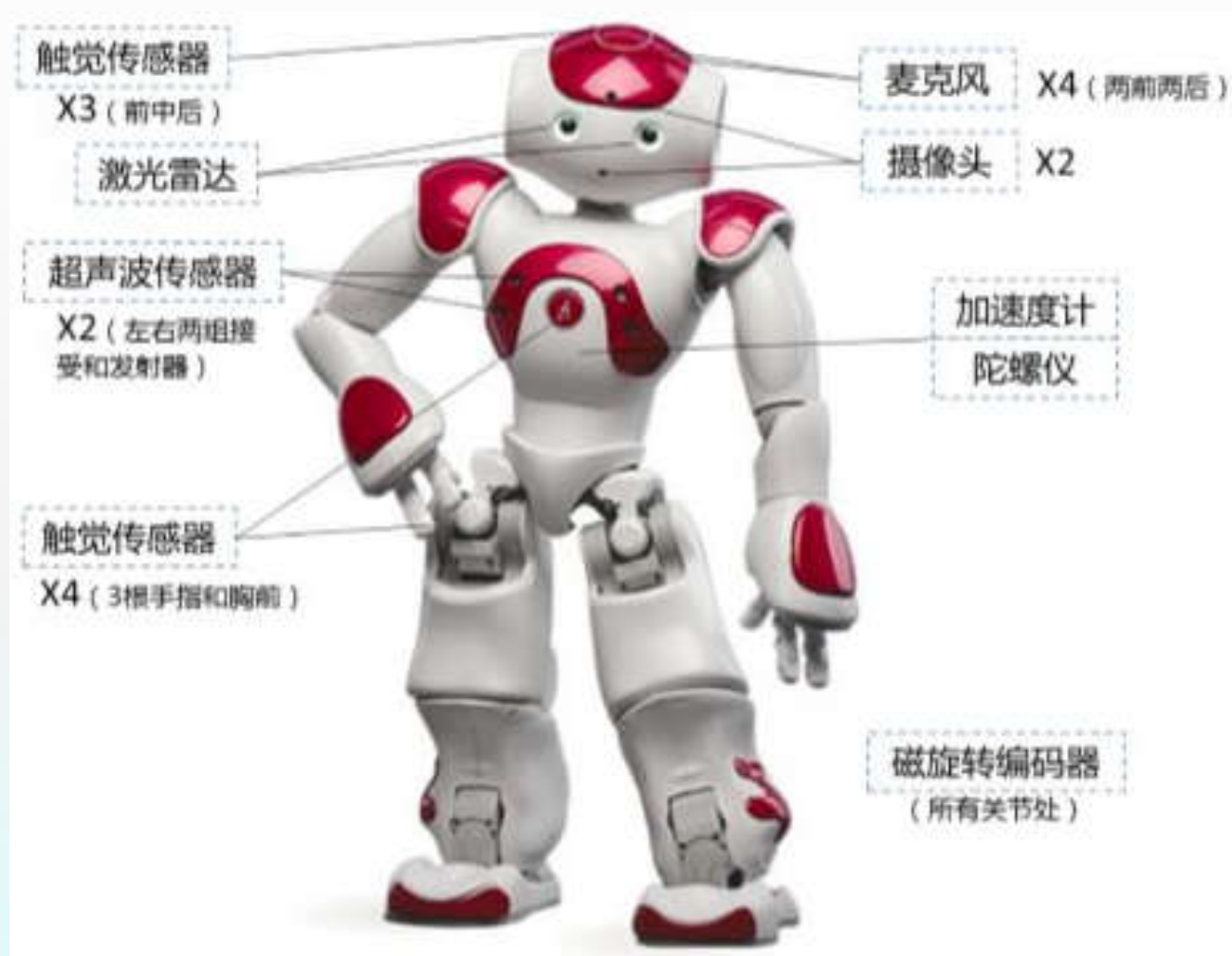


- 更薄更细！
- 多功能！



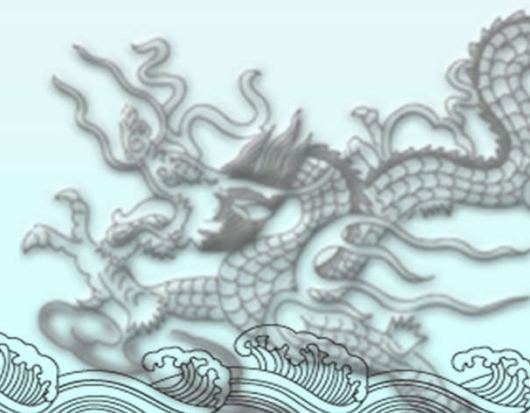






## 第二节 位置和位移传感器

- 位置传感器
- 位移传感器



# 1 位置传感器

用来检测位置，能感受被测物的位置并转换成可用输出信号。常用的位置传感器有接触式和接近式两种。

(1) 行程开关：

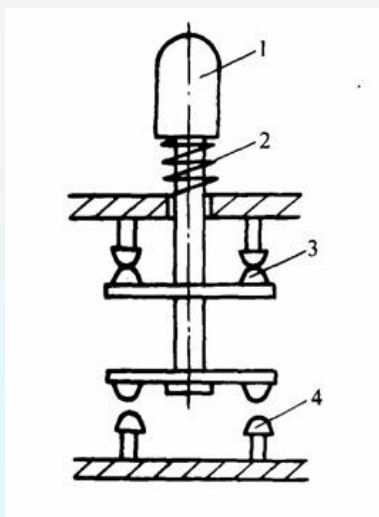


图9.5 直动式行程开关原理图



图9.6 直动式行程开关



图9.7 滚轮式行程开关



图9.8 微动式行程开关



## (2) 光电式位置传感器：

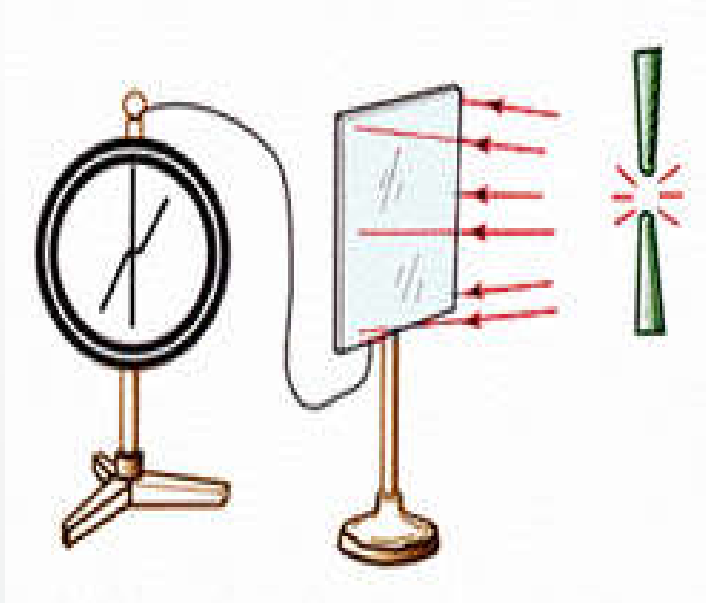


图9.10 光电效应的原理

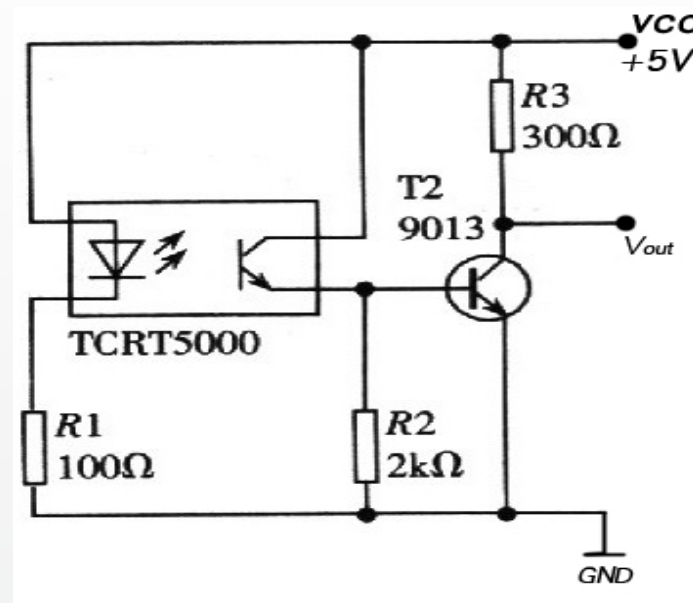


图9.11 光电式位置传感器的构成

**特点：**光电式位置传感器动作可靠，性能稳定，频率响应快，应用寿命长，抗干扰能力强等、并具有防水、防震、耐腐蚀等特点。但光学器件和电子器件价格贵，对测量的环境条件要求高，常应用环境比较好、无粉尘污染的场所。

### (3) 涡流式接近开关（电感式接近开关）

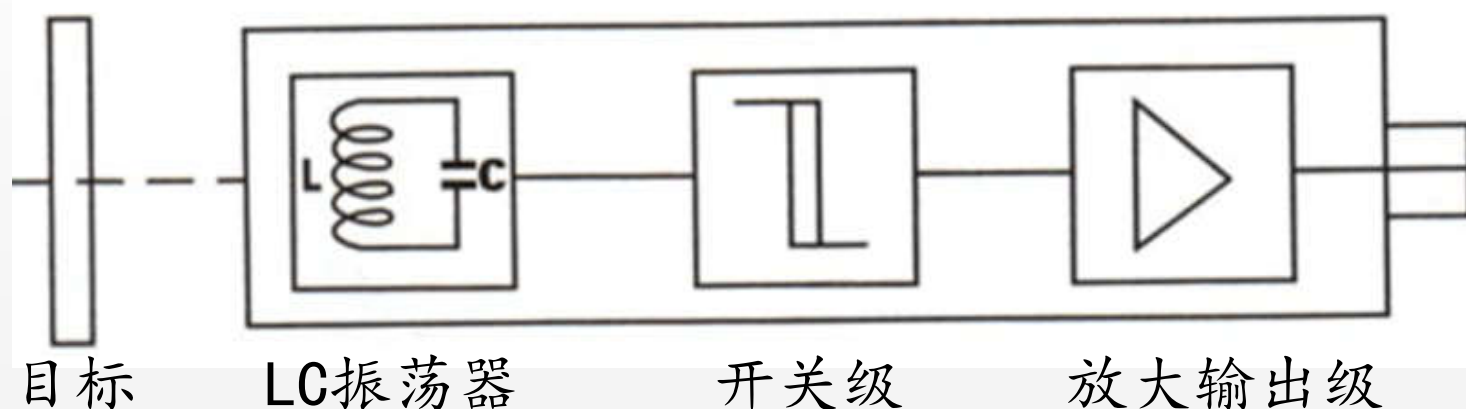


图9.12 涡流式接近开关的工作原理

**特点：**电感式传感器具有结构简单、响应频率高、抗干扰性能好、应用范围广的特点，但电感式传感器只能感应金属。

## 涡流式接近开关应用

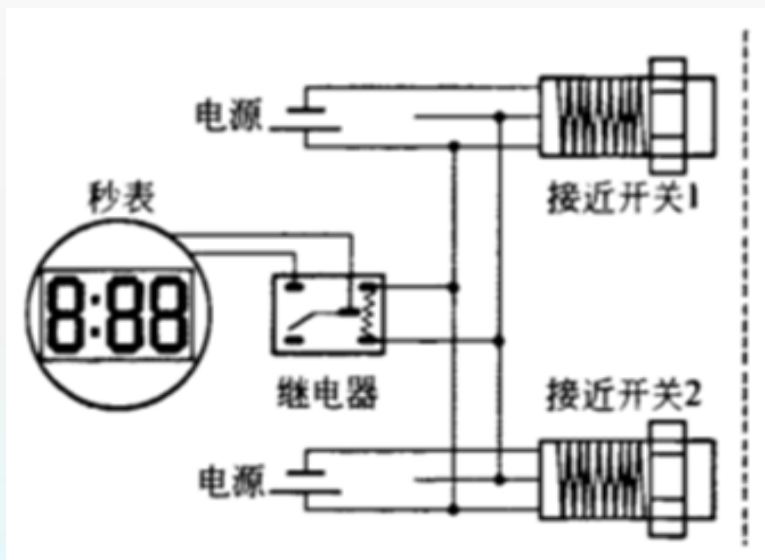


图9.13 自动开光门电路

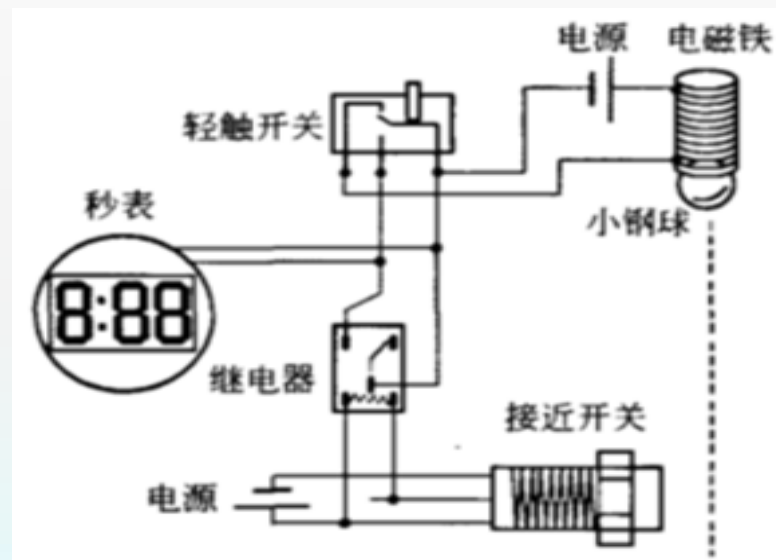


图9.14 自动计时器

## (4) 电容式接近开关

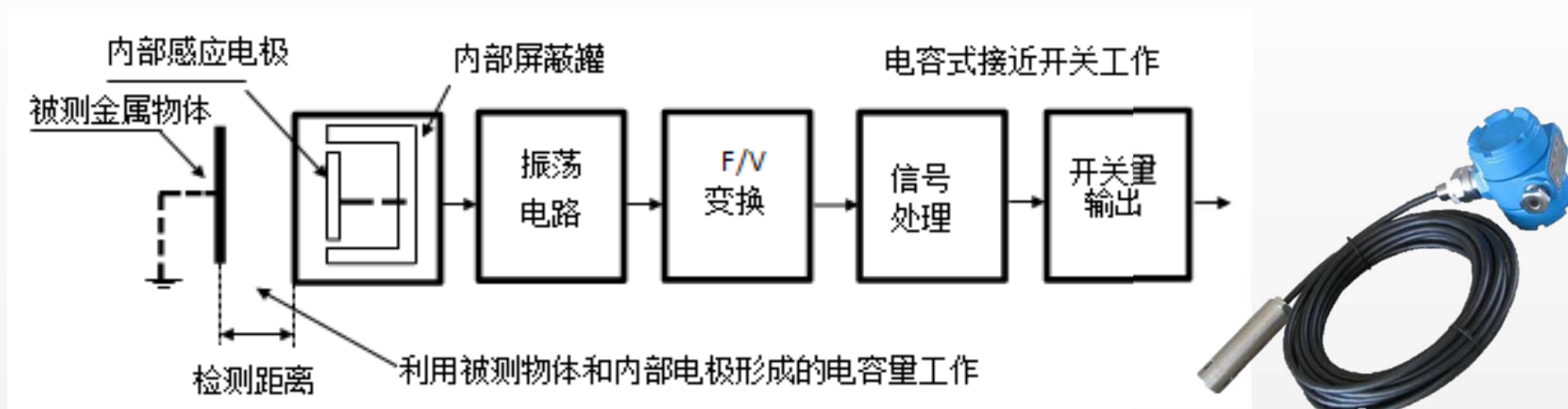


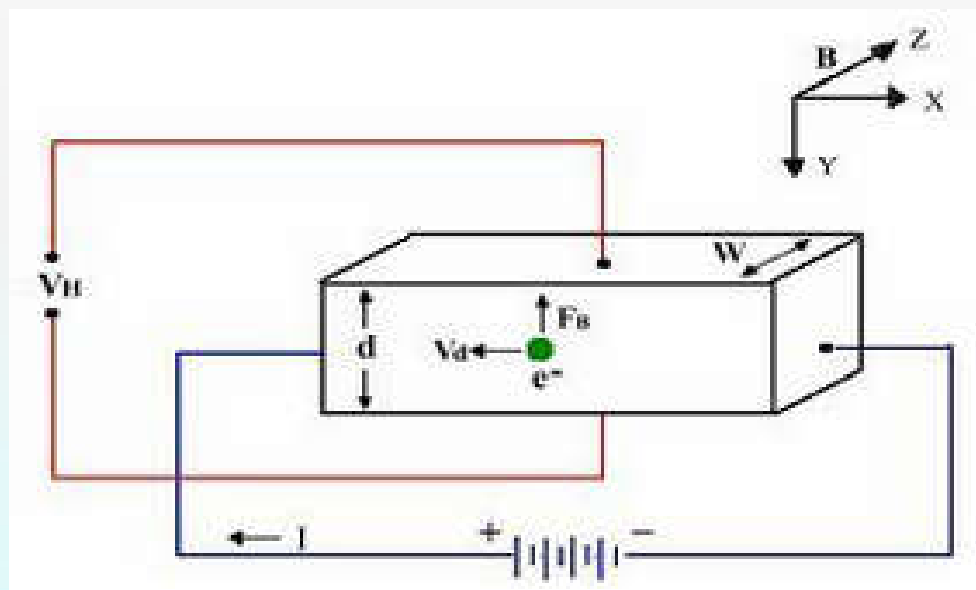
图9.15 电容式接近开关的工作原理图

**应用：**饮料、食品、医药、轻工、家电、化工、机械运行中的行程控制和限位保护，自动生产上的物位检查，食品和饮料的包装、分检，液面控制，物料的计数、测长、测数等等，可以衍生开发多种多样的二次仪器仪表和防盗报警器、水塔水位控制等日用电器。



## (5) 霍尔式接近开关

霍尔开关属于有源磁电转换器件，在霍尔效应原理的基础上，利用集成封装和组装工艺制作而成，可方便地把磁输入信号转换成实际应用中的电信号，同时又具备工业场合实际应用易操作和可靠性的要求。



霍尔效应原理示意图

$$V_H = R_H \frac{IB}{d}$$

$V_H$  电压

$R_H$  霍尔系数

$I$  电流

$B$  磁场强度

## 霍尔式接近开关工作原理

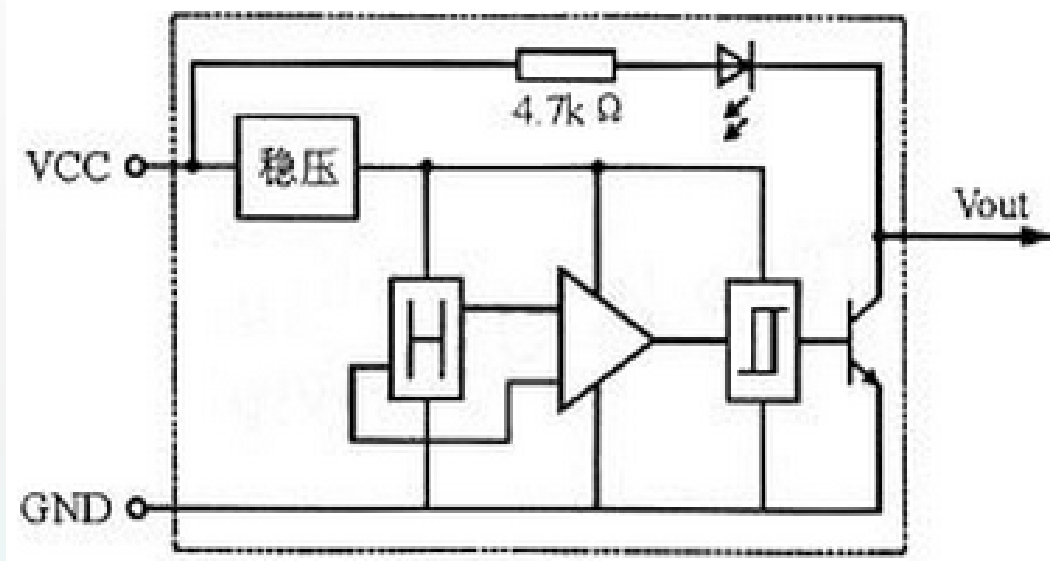


图9.17 霍尔开关内部原理图

**特点：**霍尔开关不仅具有无触点，无开关瞬态抖动，高可靠，长寿命等特点，又有很强的负载的能力和广泛的功能，特别是在恶劣的环境下，它比目前使用的电感式，电容式，光电式等接近开关具有更强的抗干扰能力。

**这种接近开关的检测对象必须是磁性物体！**

## (6) 光电编码器

这种非接触型传感器可分为绝对型和相对型。用绝对型编码器装备的机器人关节不需要校准，只要一通电，控制器就知道实际的关键位置。相对型编码器只能提供某基准点对应的位置信息，所以要获得真实位置信息以前，必须首先完成校准程序。

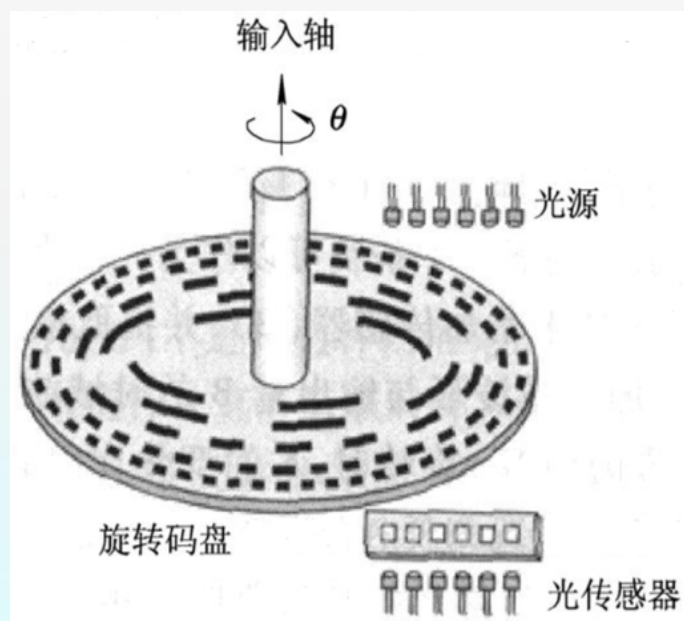


图9.18 绝对型光电编码器的编码原理图

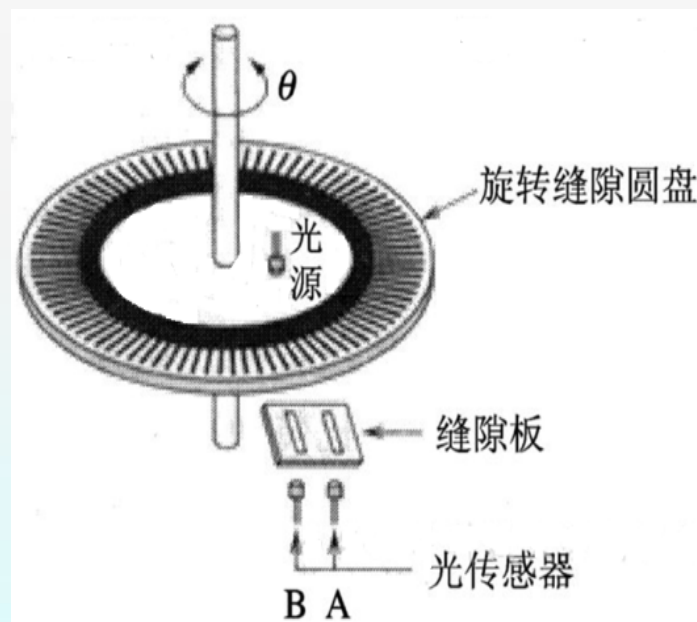


图9.19 光学式增量型旋转编码器

## 2 位移传感器

位移传感器有电位器式、直线型、旋转变压器。



图 9.20 直线型电位器

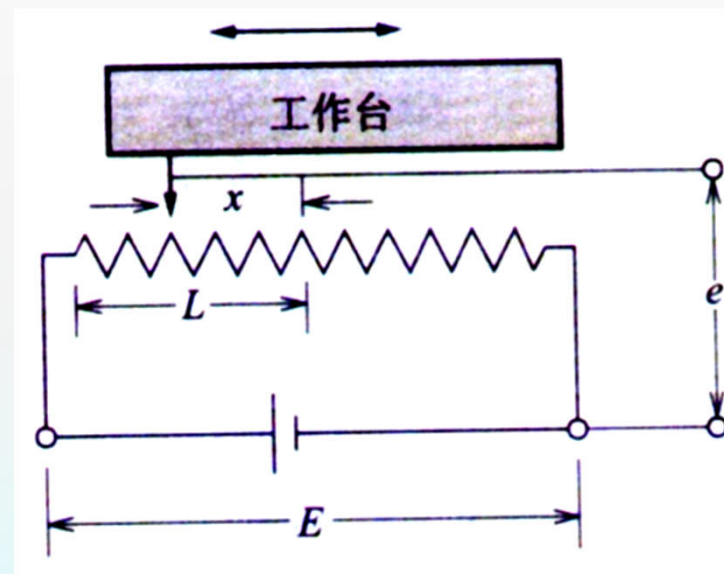


图 9.21 直线型电位器  
的工作原理图



旋转变压器：

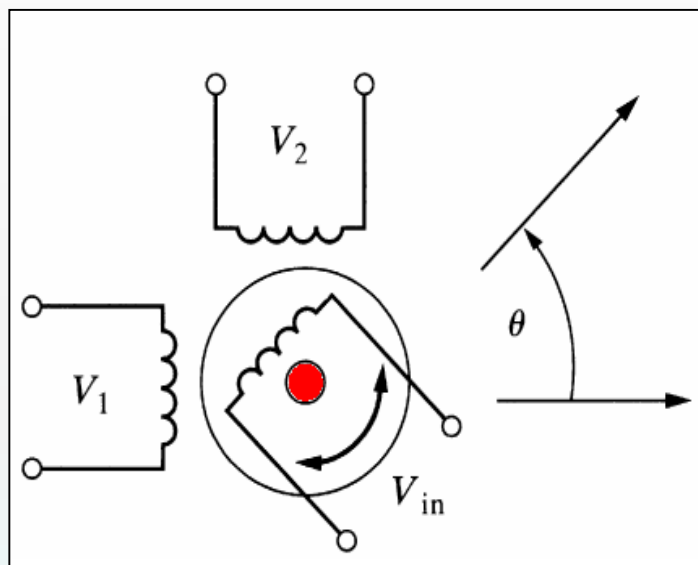


图 9.22 旋转变压器

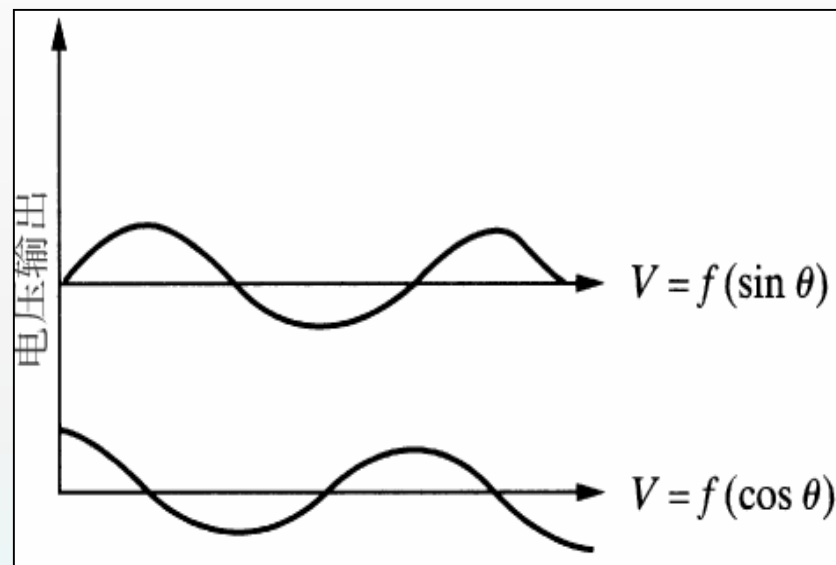
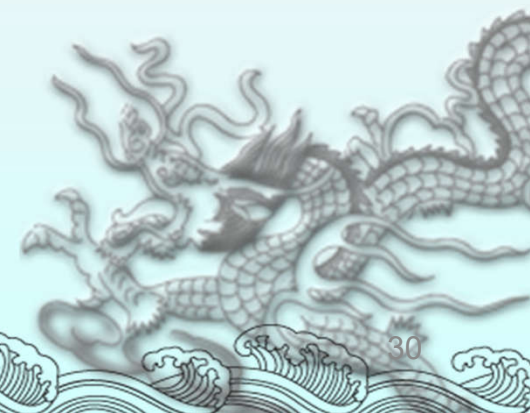


图 9.23 机械转角与电压  
输出曲线图

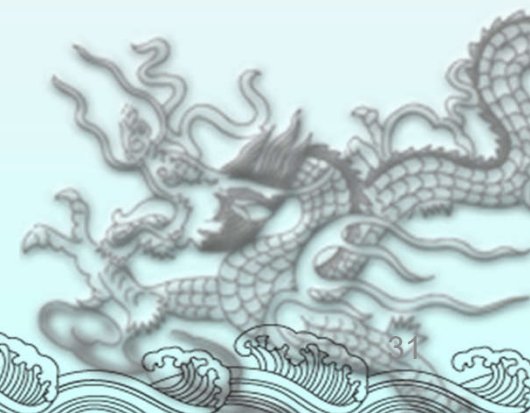
## 第三节 机器人的视觉技术

- 视觉传感器的作用
- 视觉系统的性能
- 机器人视觉系统的组成



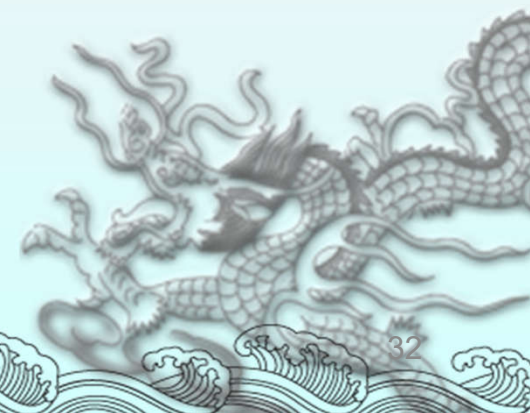
# 1 视觉传感器的作用

- (1) 进行位置的测量，如进行装配时，需要找到对象物(如螺栓、螺母等)，并测量装配对象的位置和姿势；
- (2) 进行图象识别，了解对象物特征，以同其它物体相区别(识别要搬运的各种部件，读出文字、符号等)；
- (3) 对加工零件进行检验，了解加工结果，检查部件形状和尺寸方面的缺陷。



## 2 视觉系统的性能

- ◆ 环境安排
- ◆ 实时性
- ◆ 高可靠性
- ◆ 通用性





### 3 机器人视觉系统的组成

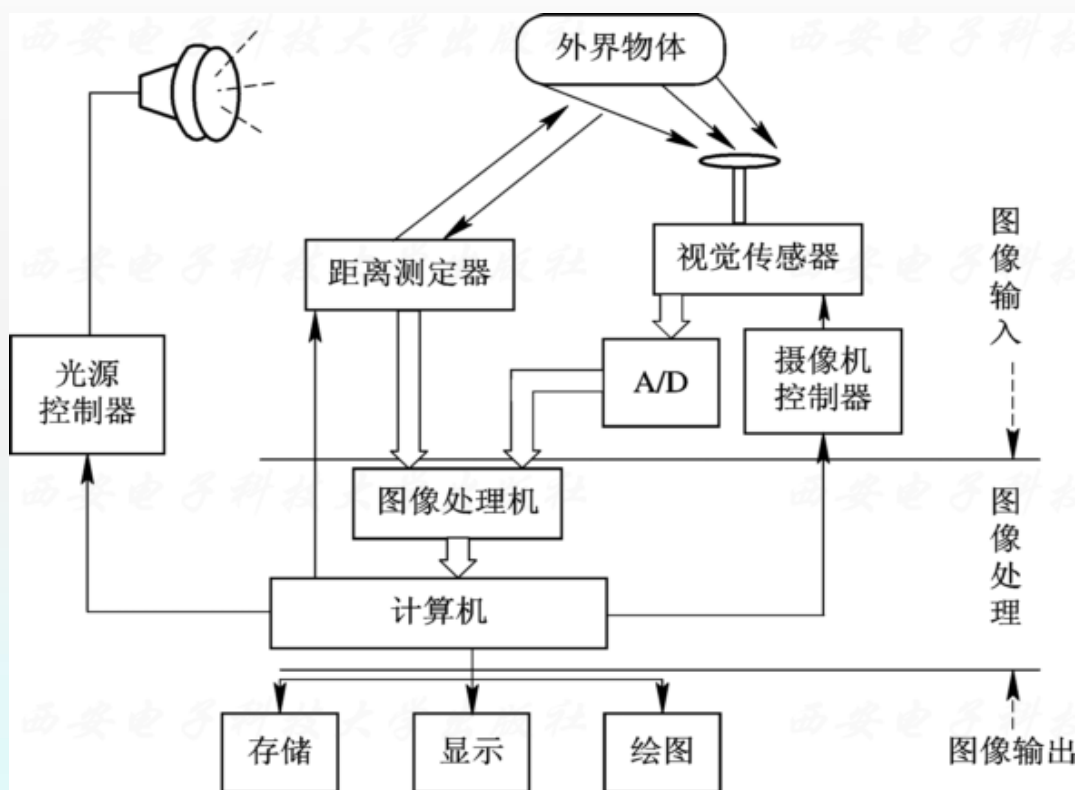


图 9.24 视觉系统的硬件组成

视觉系统可以分为：

1. 图像输入（获取）
2. 图像处理
3. 图像理解
4. 图像存储
5. 图像输出

- 视觉传感器

将景物的光信号转换成电信号的器件。

- 摄像机和光源控制

取景部分应当根据具体情况自动调节光圈的焦点，以便得到容易处理得图像。

- 计算机

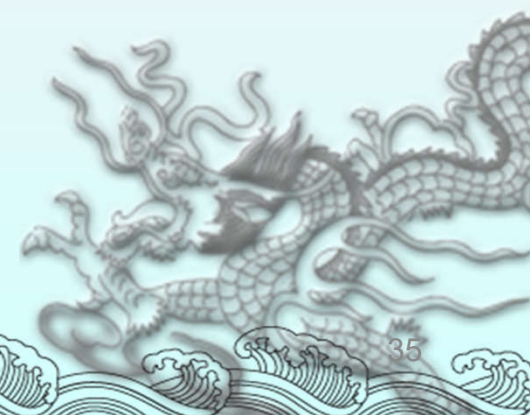
得到的图像信息要由计算机存储和处理，然后根据各种目的输出处理后的结果。

- 图像处理机

一般计算机都是串行运算的，要处理二维图像很费时间。在要求较高的场合，需要设置一种专用的图像处理机，以缩短计算时间。

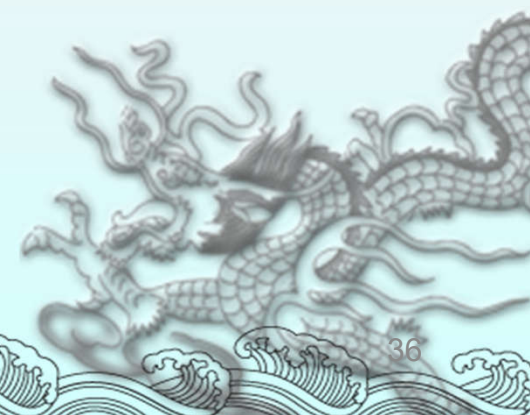
## 第四节 机器人的触觉

- 触觉传感器的一般要求
- 触觉传感器开关
- 压阻式触觉传感器
- 压电式触觉传感器
- 光电式触觉传感器



# 1 触觉传感器的一般要求

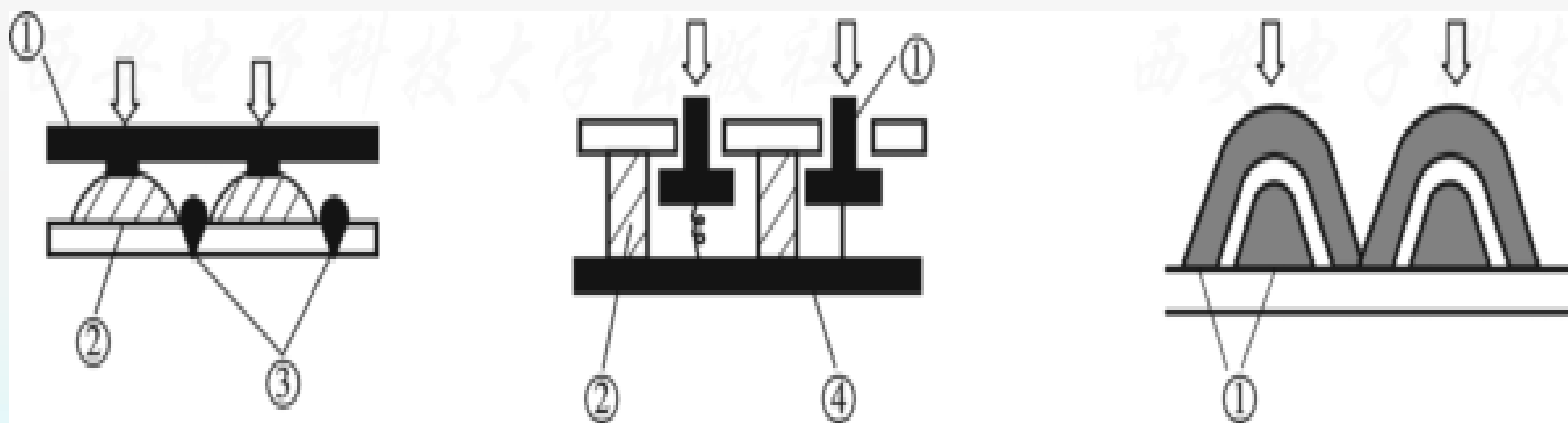
- ①传感器有很好的顺应性，并且耐磨；
- ②空间分辨率为1~2mm，这种分辨率接近人指的分辨率（指上皮肤敏感分离两点的距离为1mm）；
- ③每个指尖有50~200个触觉单元（即 $5 \times 10$ ， $10 \times 20$ 阵列单元数）；
- ④触点的力灵敏度小于0.05N，最好能达到0.01N左右；
- ⑤输出动态范围最好能达到1000:1；
- ⑥传感器的稳定性、重复性好，无滞后；
- ⑦输出信号单值，线性度良好；
- ⑧输出频响100Hz—1kHz。





## 2 触觉传感器开关

用于检测物体是否存在的一种最简单的触觉制动器件。



① —柔软的电极； ② —柔软的绝缘体； ③ —电极； ④ —电极板

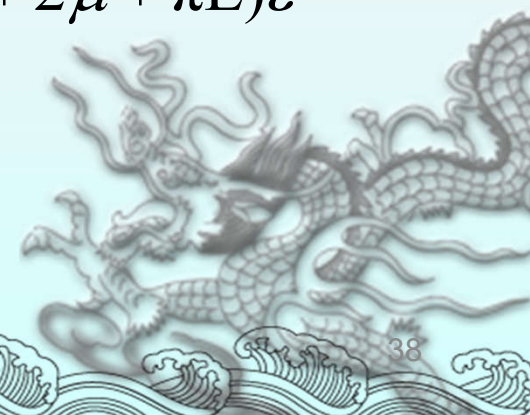
图9.26 矩阵式接触觉传感器

### 3 压阻式触觉传感器

压阻式触觉传感器是利用半导体材料的压阻效应和集成电路技术制成的传感器。半导体材料在受到力的作用后，电阻率发生变化，通过测量电路就可得到正比于力变化的电信号输出。压阻式传感器的结构形式较多，但工艺复杂。优点是灵敏度高、体积小、耗电少、动态响应好、精度高、测量范围宽、有正负两种符号的应力效应，易于微型化和集成化；缺点是受温度影响较大。

电阻相对变  
化式

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu)\varepsilon + \frac{\Delta\rho}{\rho} = (1 + 2\mu + \pi E)\varepsilon$$



## 4 压电式触觉传感器

压电式传感器用于测量力和能变换为力的非电物理量。它的优点是频带宽、灵敏度高、信噪比高、结构简单、工作可靠和重量轻等。缺点是某些压电材料需要防潮措施，而且输出的直流响应差，需要采用高输入阻抗电路或电荷放大器来克服这一缺陷。

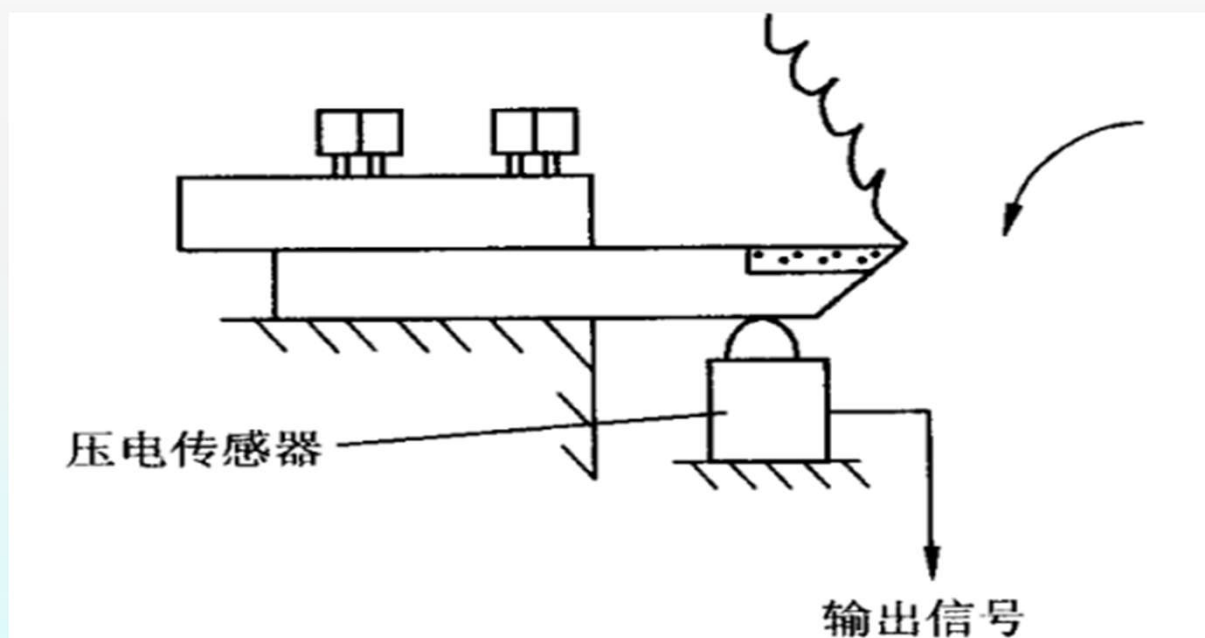


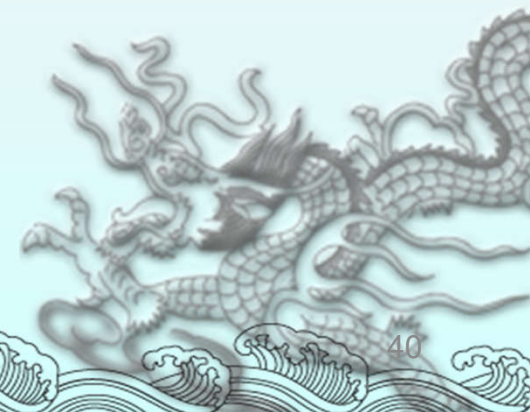
图9.27 压电式触觉传感器

## 5 光电式触觉传感器

光电式传感器是将光通量转换为电量的一种传感器，光电式传感器的基础是光电转换元件的光电效应。由于光电测量方法灵活多样，可测参数众多，具有非接触，高精度，高可靠性和反应快等特点，使得光电传感器在检测和控制领域获得了广泛的应用。

外光电效应是指，在光线作用下物体内的电子逸出物体表面向外发射的物理现象。光子是以量子化“粒子”的形式对可见光波段内电磁波的描述。光子具有能量 $h\nu$ ， $h$ 为普朗克常数， $\nu$ 为光频。光子通量则相应于光强。外光电效应由爱因斯坦光电效应方程描述：

$$Ek = h\nu - w$$

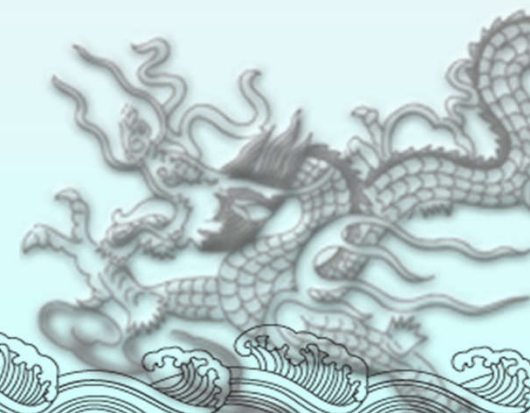




# 【综合实例分析】

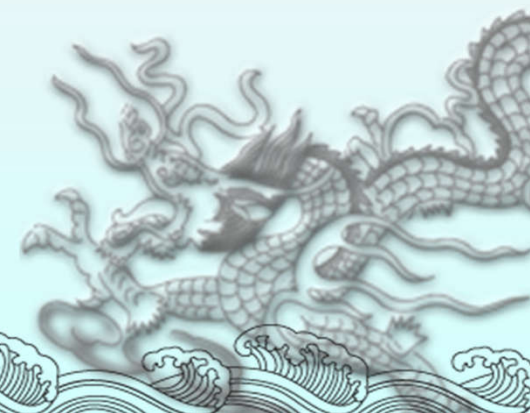
## 电子秤的制作

- 1 制作要求
- 2 称重传感器
- 3 整体设计框架及原理图
- 4 各部分电路设计
- 5 电路调试



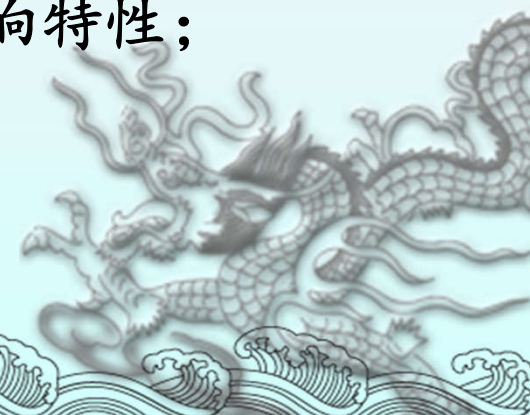
# 1 制作要求

- (1) 利用电阻应变式传感器制作一个电子称，  
测量范围为2kg，其分辨力为1克，测量精度  
0.5%，RD  $\pm$  1字；
- (2) 利用数码管显示测量值。



## 2 称重传感器

称重传感器是由非电量（质量或重量）转换成电量的转换元件，它是把支承力变换成电的或其它形式的适合于计量求值的信号所用的一种辅助手段。按照称重传感器的结构型式不同，可以分直接位移传感器（电容式、电感式、电位计式、振弦式、空腔谐振器式等）和应变传感器（电阻应变式、声表面谐振式）或是利用磁弹性、压电和压阻等物理效应的传感器。对称重传感器的基本要求是：输出电量与输入重量保持单值对应，并有良好的线性关系；有较高的灵敏度；对被称物体的状态的影响要小；能在较差的工作条件下工作；有较好的频响特性；稳定可靠。



### 3 整体设计框架及原理图

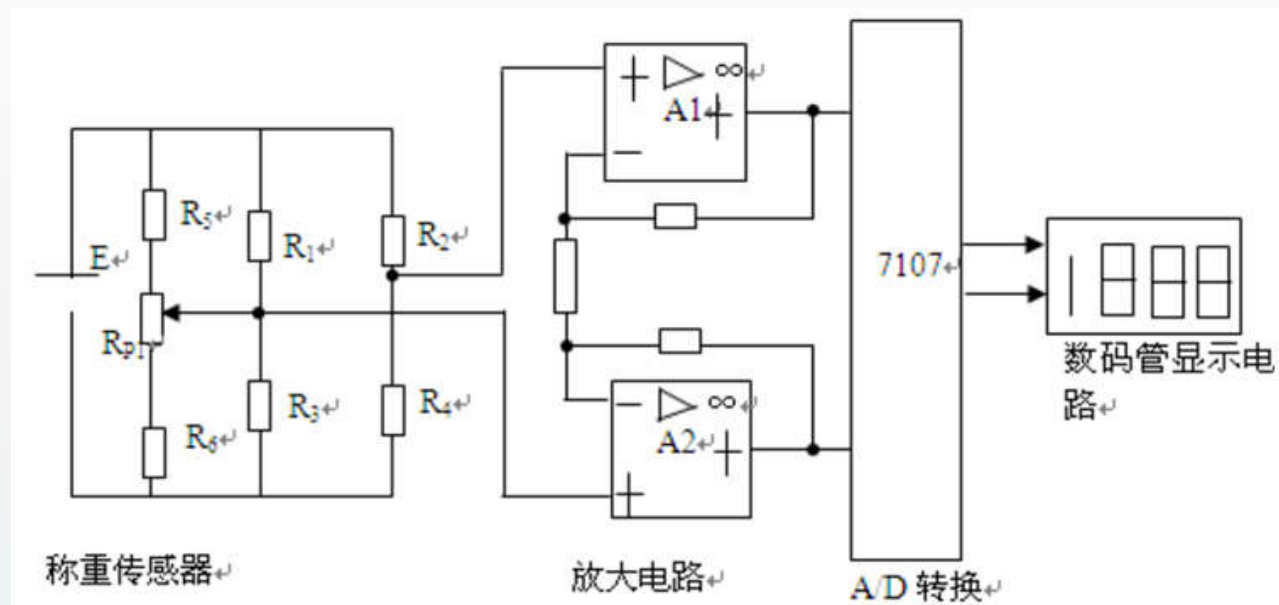


图9.28 电子秤的电路原理图



## 4 各部分电路设计

(1) 电阻应变式传感器的测量电路

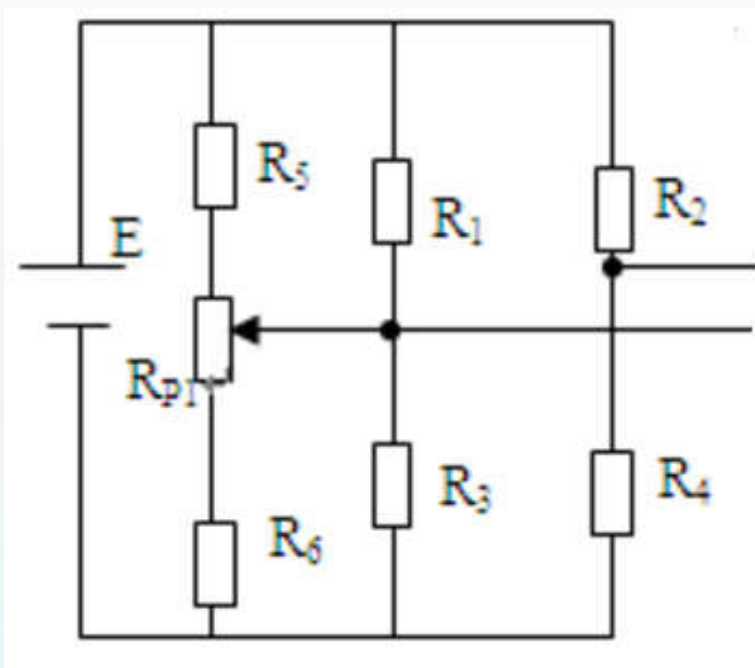


图9.29 桥式测量电路

(2) 放大电路

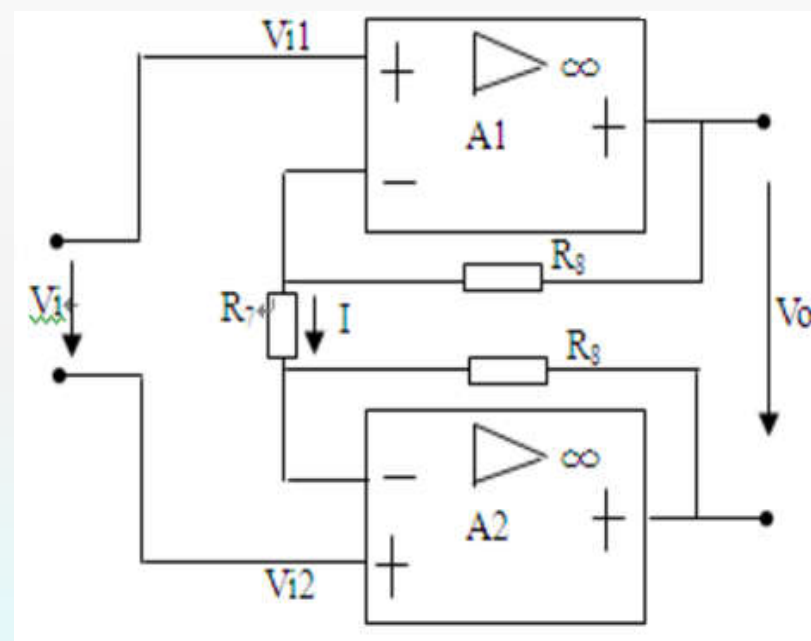


图9.30 差动放大器

### (3) A/D转换电路

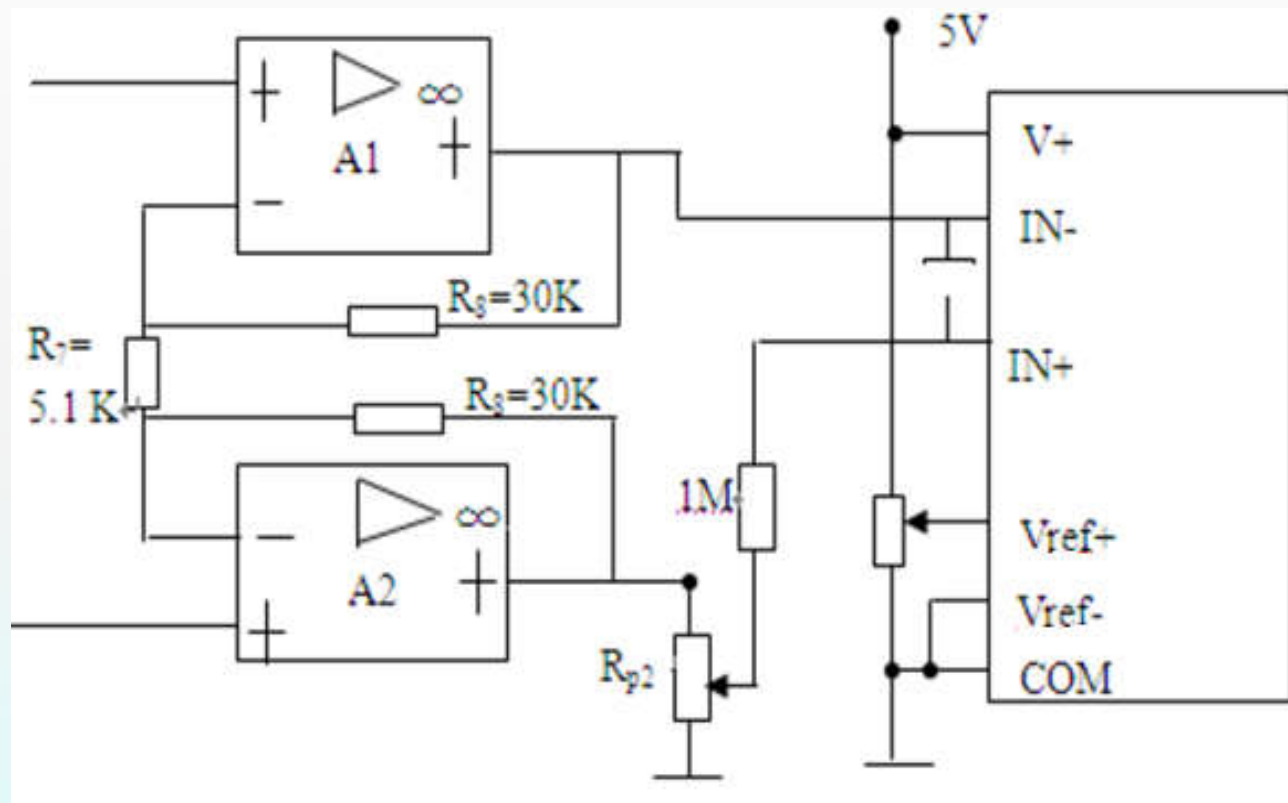


图9.31 桥式测量电路

#### (4) 显示电路

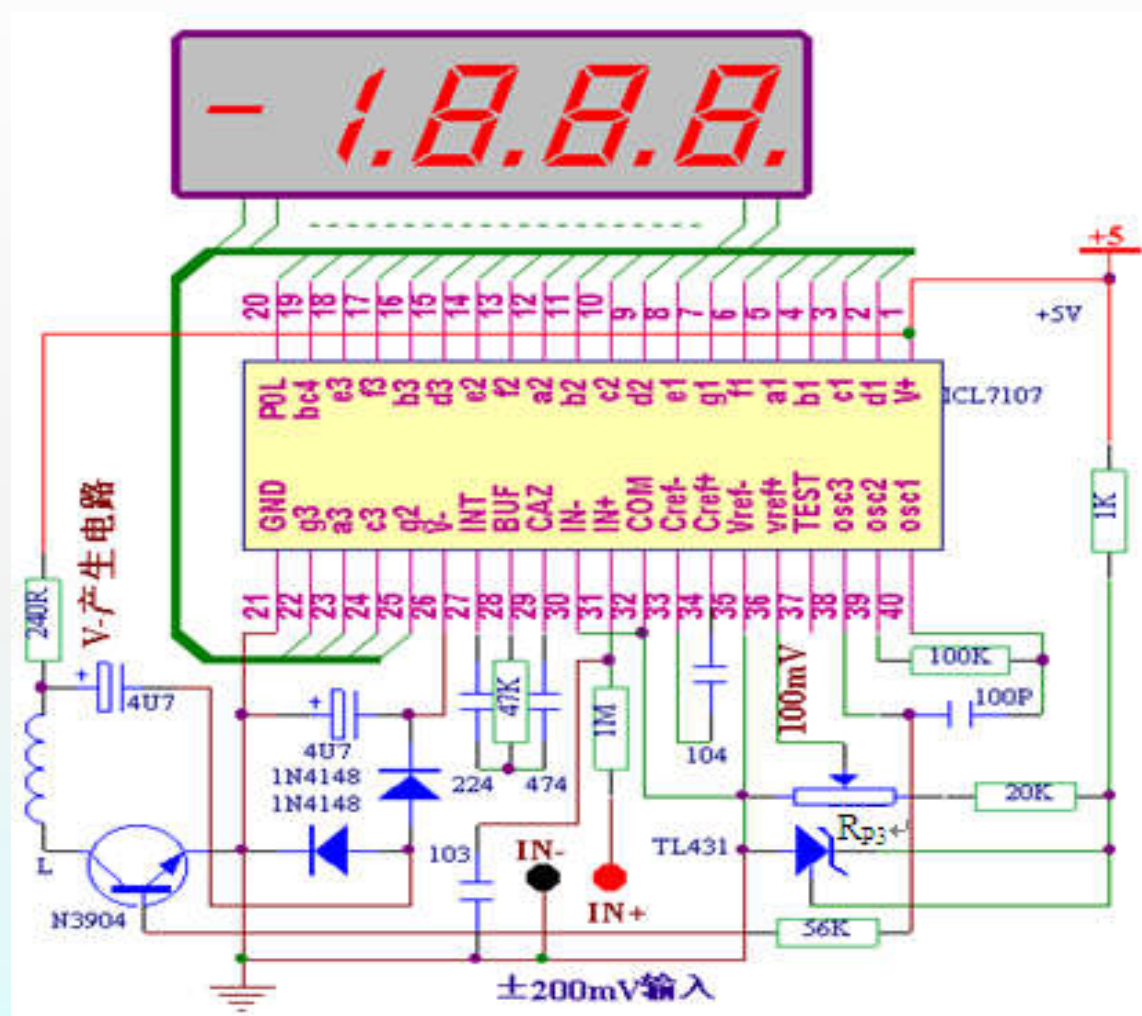


图9.32 电子秤显示电路

## 5 电路调试

(1) 首先在秤体自然下垂已无负载时调整RP1，使显示器准确显示零。

(2) 再调整Rp2，使秤体承担满量程重量（本电路选满量程为2千克）时显示满量程值。（调节Rp2衰减比）。

(3) 然后在秤钩下悬挂1千克的标准砝码，观察显示器是否显示1.000，如有偏差，可调整RP3值，使之准确显示1.000。

(4) 重新进行2、3步骤，使之均满足要求为止。

(5) 最后测量RP2、RP3电阻值，并用固定精密电阻予以代替。RP1可引出表外调整。测量前先调整RP1，使显示器回零。

