

# **第13章**

## **传感器检测技术**

# 第13章 传感器检测技术

13.1

超声检测

13.2

声表面波检测

13.3

红外检测

13.4

热核辐射检测

13.5

激光检测

13.6

微波检测



## 超声波传感器

```
graph TD; A[超声波传感器] --> B[超声波及其物理性质]; A --> C[超声波传感器]; A --> D[超声波传感器的应用];
```

超声波  
及其物理性质

超声波传感器

超声波传感器的应用

# 一、超声波及其物理性质

- 超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波，由换能晶片在电压的激励下发生振动产生的，它具有频率高、波长短、绕射现象小，特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。超声波对液体、固体的穿透本领很大，尤其是在阳光不透明的固体中，它可穿透几十米的深度。超声波碰到杂质或分界面会产生显著反射形成反射回波，碰到活动物体能产生多普勒效应。因此超声波检测广泛应用在工业、国防、生物医学等方面。

# 超声波及其物理性质

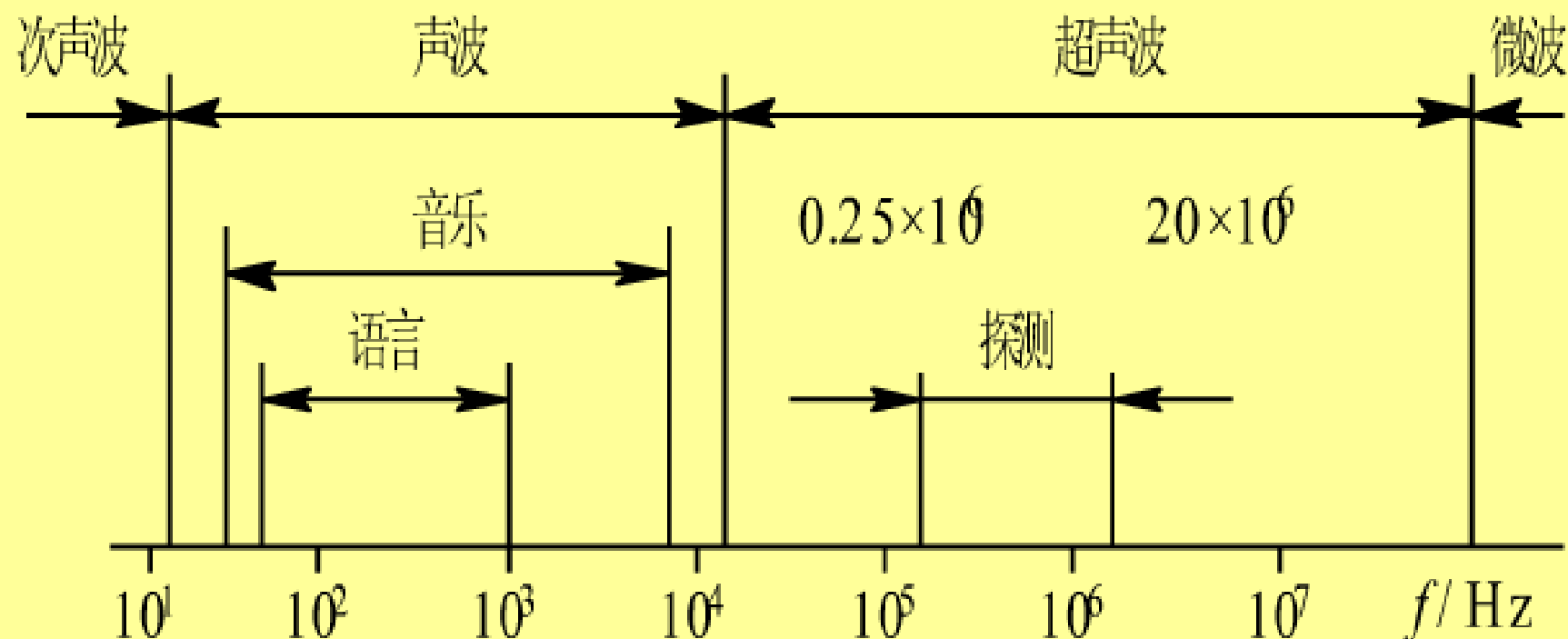
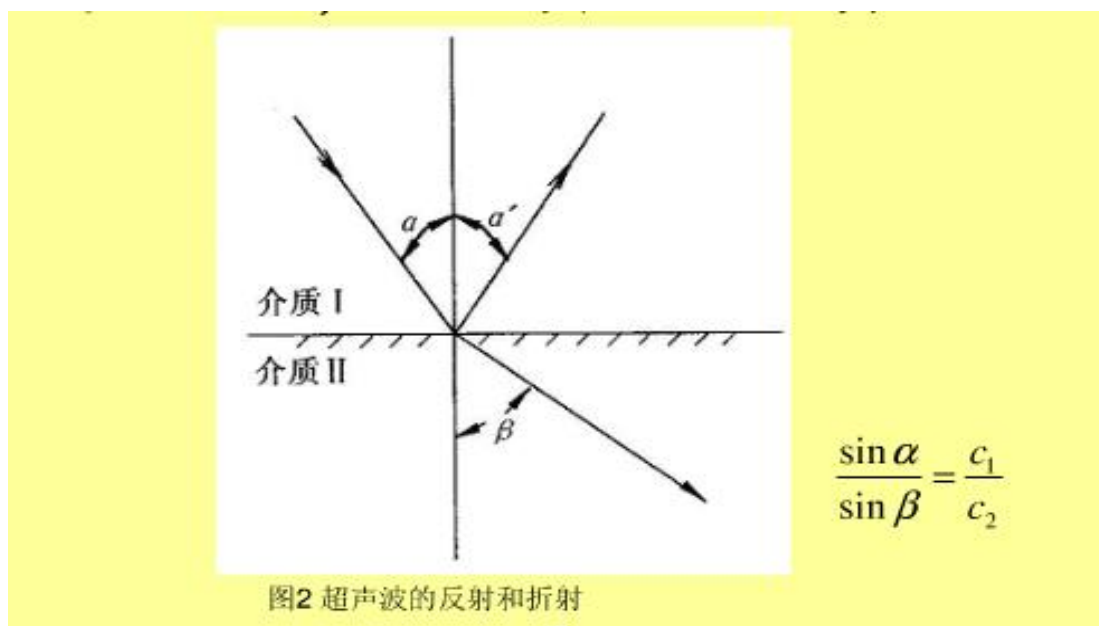


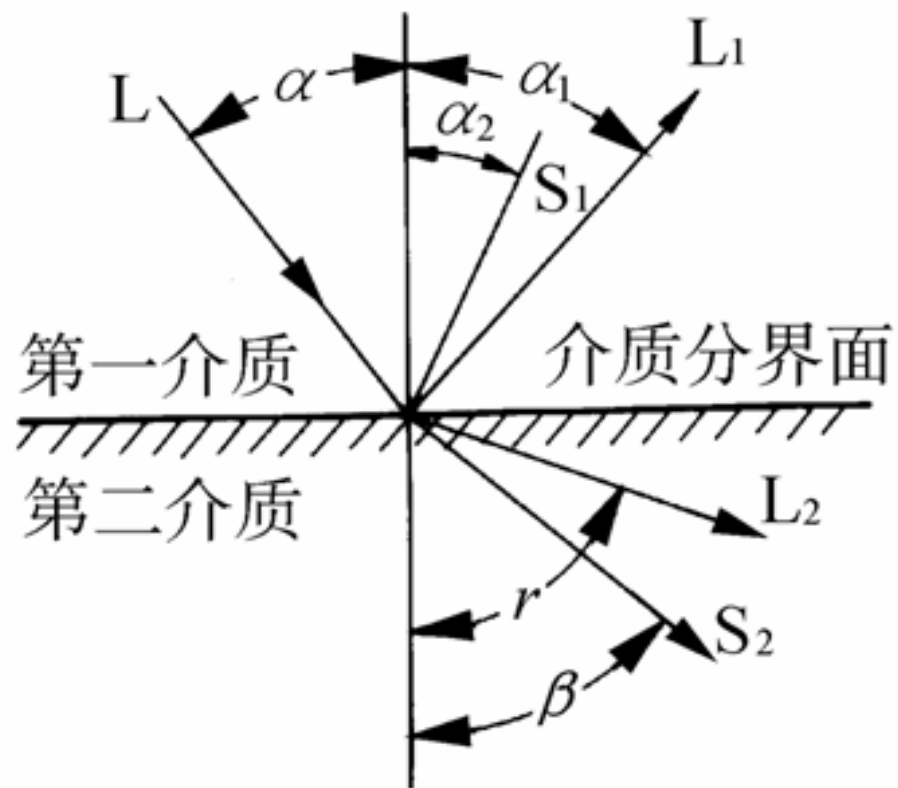
图1 声波的频率界限图

## ■ 超声波的反射和折射

声波从另一种介质传播到另一种介质，在两个介质的分界面上一部分声波被反射，另一部分透过界面，在另一种介质内部继续传播。这样的两种情况称之为声波的反射和折射。如图2所示：



## ■ 超声波的波型及其转换



波型转换图

## ■ 超声波的衰减

声波在介质中传播时，随着传播距离的增加，能量逐渐衰减。其声压和声强的衰减规律满足以下函数关系：

$$P_x = P_0 e^{-ax}$$

$$I_x = I_0 e^{-2ax}$$



■ 其中，

$P_0$  ,  $I_0$  - 声波在  $x=0$  处的声压和声强；

$P_x$  ,  $I_x$  - 声波在  $x$  处的声压和声强；

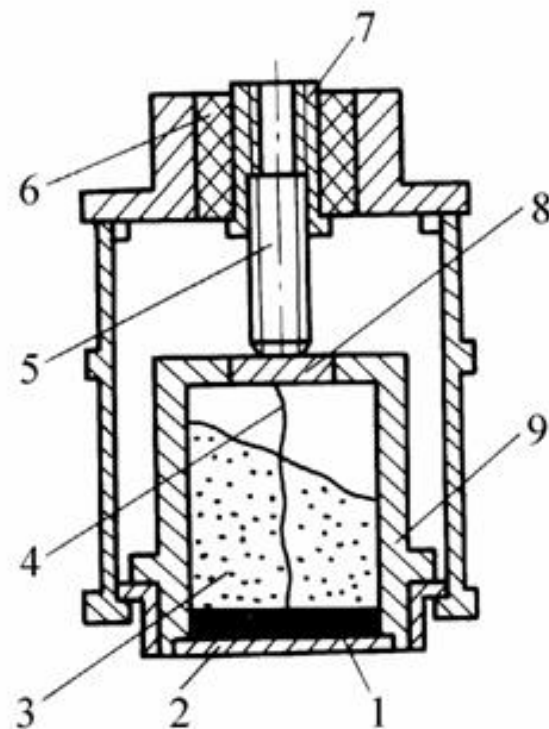
$a$  - 衰减系数。

应用：工件的厚度，球墨铸铁的球化程度，泥浆的浓度等。

# 第13章 传感器检测技术

## 二.超声波探头

超声波探头是实现声、电转换的装置，又称超声换能器或传感器。这种装置能发射超声波和接收超声回波，并转换成相应的电信号。

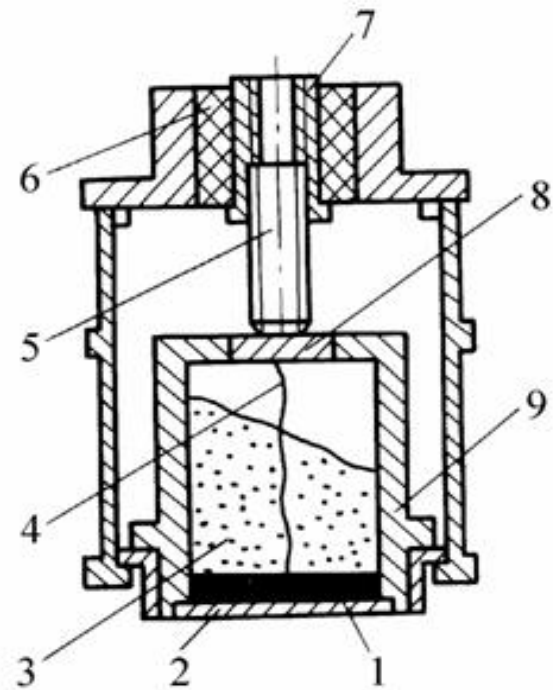


电式探头结构图探头结构图

1-压电片；2-保护膜；3-吸收块；4-接线；5-导线螺杆；6-绝缘柱；7-接触座；8-接线片；9-压电片座

## 第13章 传感器检测技术

超声波探头按其作用原理可分为压电式、磁致伸缩式、电磁式等数种，其中以压电式为最常用。图为压电式探头结构图，其核心部分为压电晶片，利用压电效应实现声、电转换。



电式探头结构图

### 三、超声波传感器概述

- 以超声波作为检测手段，必须产生超声波和接收超声波。完成这种功能的装置就是超声波传感器，习惯上称为超声换能器，或者超声探头。

超声波探头主要由压电晶片组成，既可以发射超声波，也可以接收超声波。小功率超声探头多作探测作用。它有许多不同的结构，可分直探头（纵波）、斜探头（横波）、表面波探头（表面波）、兰姆波探头（兰姆波）、双探头（一个探头反射、一个探头接收）等。

## 四、超声波传感器的性能指标

- 1、工作频率。工作频率就是压电晶片的共振频率。当加到它两端的交流电压的频率和晶片的共振频率相等时，输出的能量最大，灵敏度也最高。
- 2、工作温度。由于压电材料的居里点一般比较高，特别是诊断用超声波探头使用功率较小，所以工作温度比较低，可以长时间地工作而不失效。医疗用的超声探头的温度比较高，需要单独的制冷设备。

3、灵敏度。主要取决于制造晶片本身。机电耦合系数大，灵敏度高；反之，灵敏度低。

。



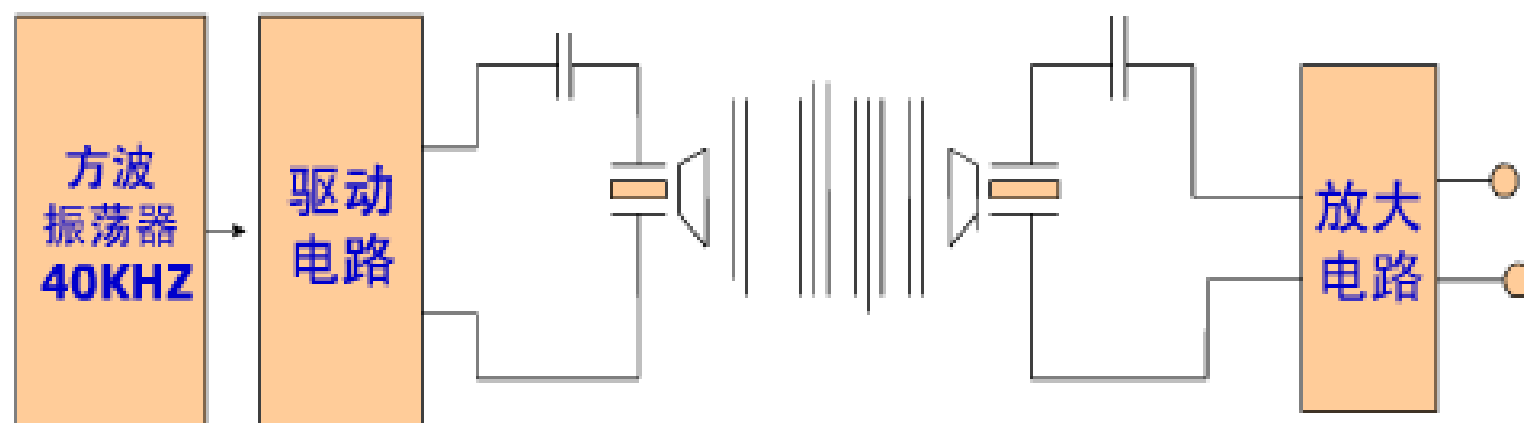
## 五、超声波传感器的工作原理

人们能听到声音是由于物体振动产生的，它的频率在20HZ-20KHZ范围内，超过20KHZ称为超声波，低于20HZ的称为次声波。常用的超声波频率为几十KHZ-几十MHZ。超声波是一种在弹性介质中的机械振荡，有两种形式：横向振荡（横波）及纵向振荡（纵波）。在工业中应用主要采用纵向振荡。超声波可以在气体、液体及固体中传播，其传播速度不同。

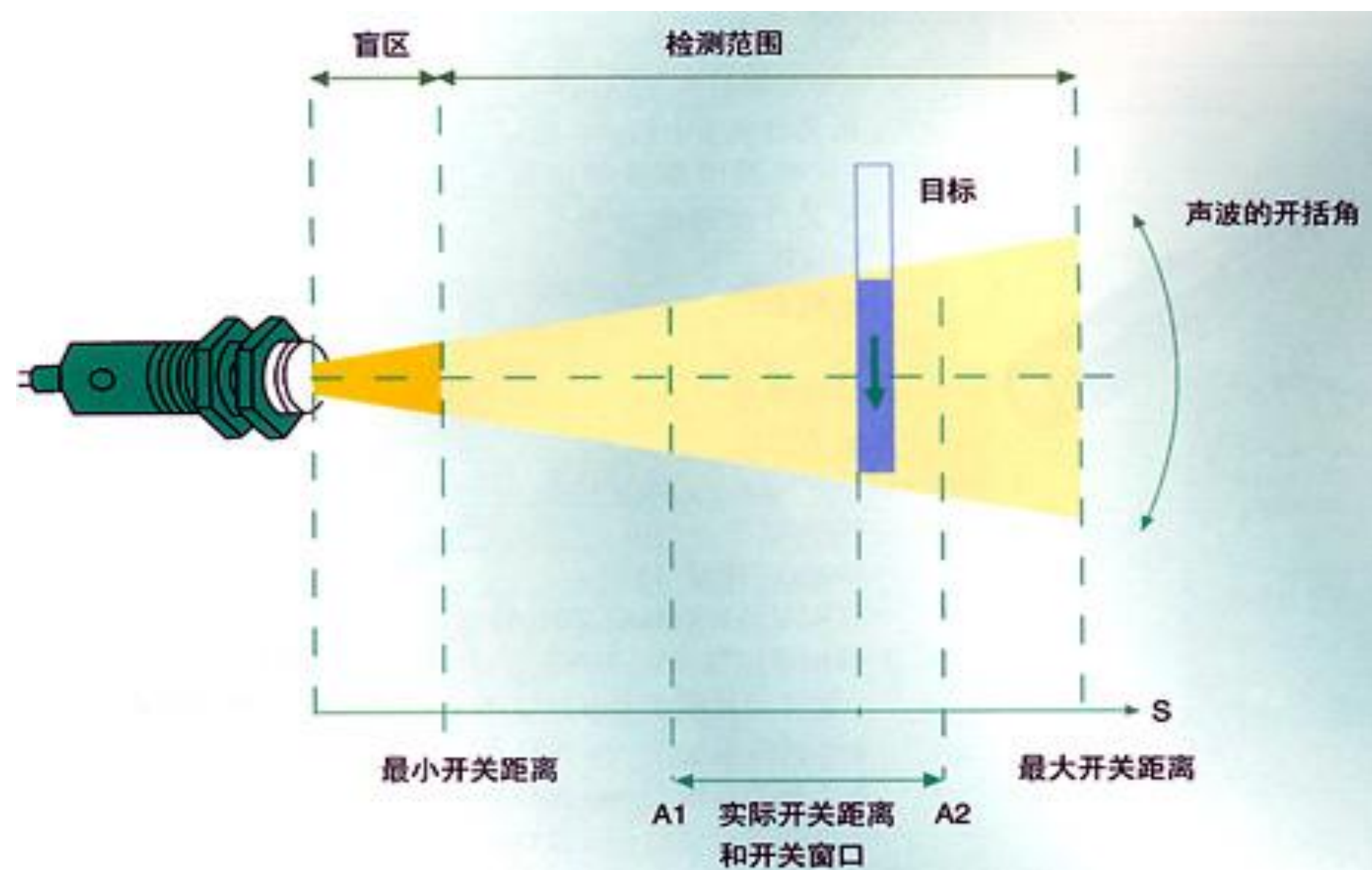
另外，它也有折射和反射现象，并且在传播过程中有衰减。在空气中传播超声波，其频率较低，一般为几十KHZ，而在固体、液体中则频率可用得较高。在空气中衰减较快，而在液体及固体中传播，衰减较小，传播较远。利用超声波的特性，可做成各种超声传感器，配上不同的电路，制成各种超声测量仪器及装置，并在通讯，医疗家电等各方面得到广泛应用。



- 常见的超声波传感器的谐振频率（中心频率）为23Khz, 40khz, 75khz, 200khz, 400khz等，谐振频率高，在相同发射功率的前提下检测距离短，但分辨力提高。



• 超声波传感器工作原理示意图



# 工作原理

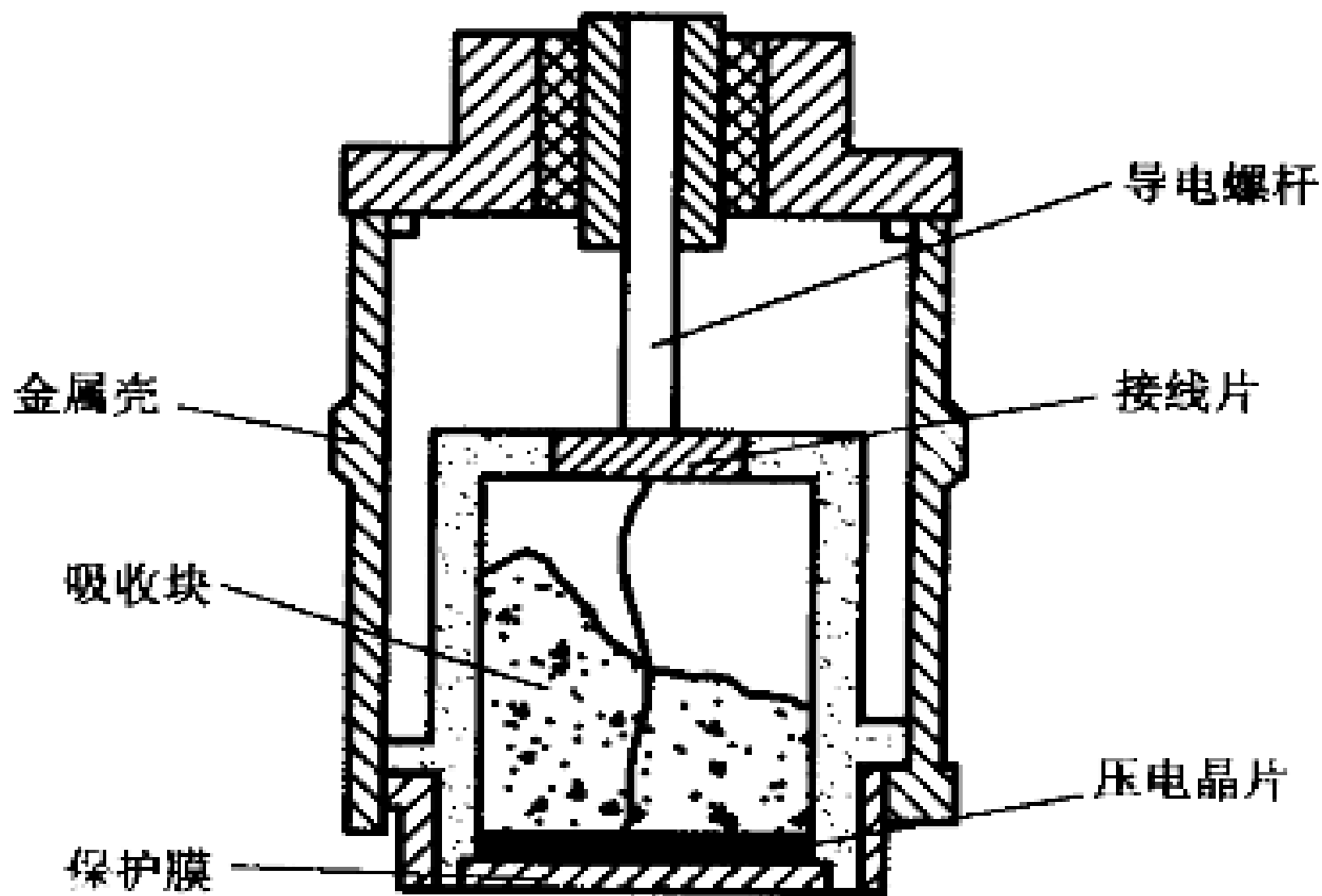
当**40KHZ**的脉冲电信号加在超声波发射器上，由压电陶瓷激励器和谐振片转换成机械振动，经锥形辐射器将超声波振动信号以疏密波的形式向外发射出去。（锥形辐射器控制超声波的发射角度）

接收器在收到由发射器传来的超声波后，使内部的谐振片谐振，通过声电转换作用将其转换成电脉冲信号，由于该脉冲的信号幅度小（微伏级）经信号放大器放大，最后驱动执行器使电路工作。

## 压电式超声波传感器

压电式超声波传感器是利用压电材料的压电效应原理来工作的。压电式超声波发生器是利用逆压电效应的原理将高频电振动转换成高频机械振动，从而产生超声波。当外加交变电压的频率等于压电材料的固有频率时会产生共振，此时产生的超声波最强。

压电式超声波接收器是利用正压电效应原理进行工作的。当超声波作用到压电晶片上时引起晶片伸缩，在晶片的两个表面上便产生极性相反的电荷，这些电荷被转换成电压经放大后送到测量电路，最后记录或显示出来。



压电式超声波传感器结构

超声波传感器利用声波介质对被检测物进行非接触式无磨损的检测。超声波传感器对透明或有色物体，金属或非金属物体，固体、液体、粉状物质均能检测。其检测性能几乎不受任何环境条件的影响，包括烟尘环境和雨天。

# 1、检测模式

超声波传感器主要采用直接反射式的检测模式。位于传感器前面的被检测物通过将发射的声波部分地发射回传感器的接收器，从而使传感器检测到被测物。还有部分超声波传感器采用对射式的检测模式。一套对射式超声波传感器包括一个发射器和一个接收器，两者之间持续保持“收听”。位于接收器和发射器之间的被检测物将会阻断接收器接收发射的声波，从而传感器将产生开关信号。

## 2、检测范围和声波发射角

超声波传感器的检测范围取决于其使用的波长和频率。波长越长，频率越小，检测距离越大，如具有毫米级波长的紧凑型传感器的检测范围为300~500mm波长大于5mm的传感器检测范围可达8m。



### 3、传感器调节

几乎所有的超声波传感器都能对开关输出的近点和远点或是测量范围进行调节。在设定范围外的物体可以被检测到，但是不会触发输出状态的改变。一些传感器具有不同的调节参数，如传感器的响应时间、回波损失性能，以及传感器与泵设备连接使用时对工作方向的设定调节等。

## 4、检测条件

超声波传感器特别适合在“空气”这种介质中工作。这种传感器也能在其它气体介质中工作，但需要进行灵敏度的调节。

## 5、盲区

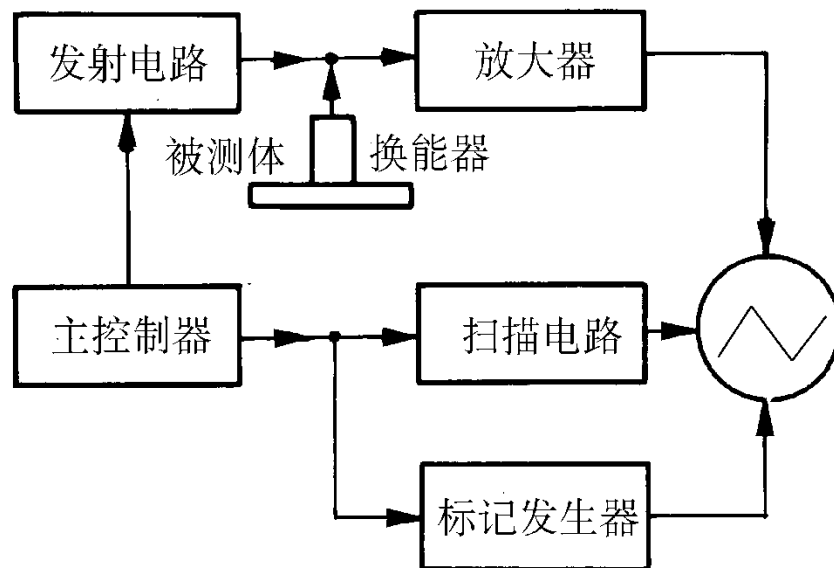
直接反射式超声波传感器不能可靠检测位于超声波换能器前段的部分物体。由此，超声波换能器与检测范围起点之间的区域被称为盲区。传感器在这个区域内必须保持不被阻挡。

# 第13章 传感器检测技术

## 五、超声波检测技术的应用

### 1. 超声波测厚度

超声波检测厚度的方法有**共振法**、**干涉法**、**脉冲回波法**等。图11.5所示为脉冲回波法检测厚度的工作原理

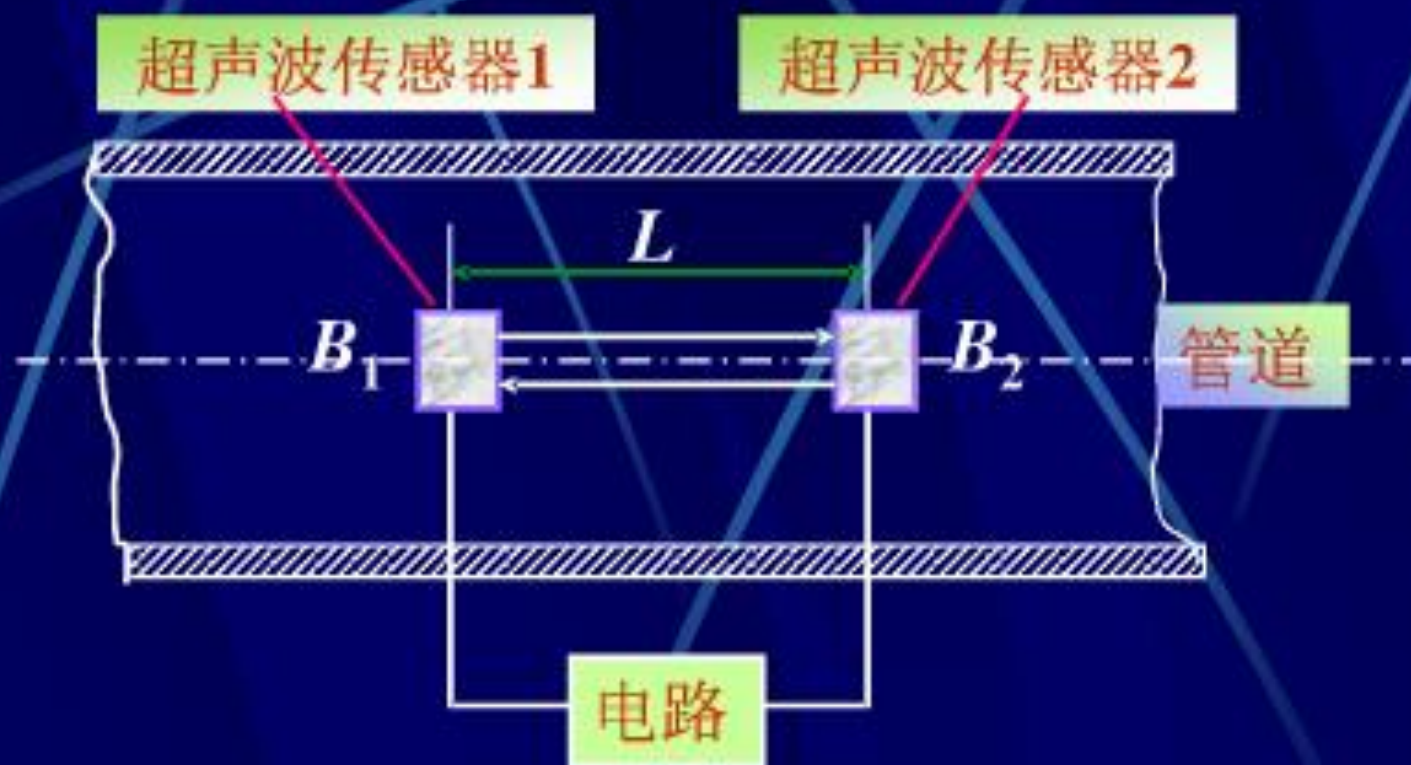


声波测厚工作原理图

## 2、超声波传感器测流量

超声波流量传感器的测定方法是多样的，目前应用较广的主要是超声波传播速度变化法。

超声波在流体中传播时，在静止液体和流动流体中的传播速度是不同的，利用这一特点可以求出流体的速度，再根据管道流体的截面积，便可知道流体的流量



超声波测流量原理图

如果在流体中设置两个超声波传感器，它们既可以发射超声波又可以接收超声波，一个装在上游，一个装在下游，其距离为 $L$ ，如图所示。如设顺流方向的传播时间为 $t_1$ ，逆流方向的传播时间为 $t_2$ ，流体静止时的超声波传播速度为 $c$ ，流体流动速度为 $v$ ，则

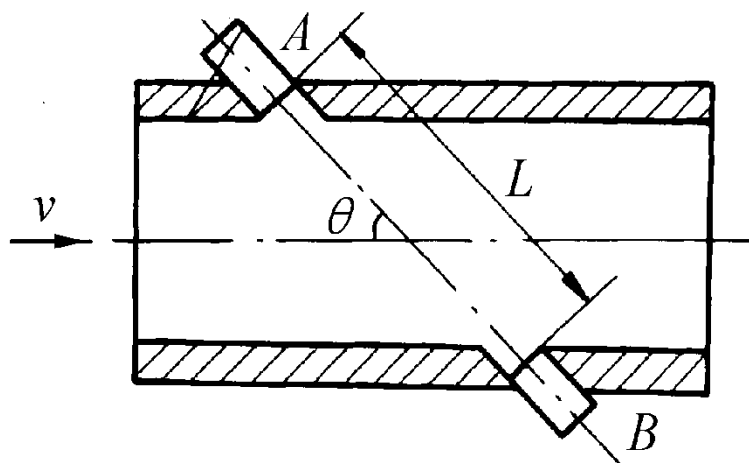
$$t_1 = \frac{L}{c + v} \qquad t_2 = \frac{L}{c - v}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2Lv}{c^2 - v^2}$$

- 由于  $c \gg v$ ，从上式便可得到流体的速度，即

$$v = \frac{c^2}{2L} \Delta t$$

在实际应用中，超声波传感器安装在管道的外部，从管道的外面透过管壁发射和接收超声波，而不会给管道内流动的流体带来影响，如图所示。此时超声波的传播时间将由下式确定：



$$t_1 = \frac{L}{c + v \cos \theta}$$

$$t_2 = \frac{L}{c - v \cos \theta}$$



于是 
$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2Lv \cos \theta}{c^2 - v^2 \cos^2 \theta}$$

$$v \approx \frac{c^2}{2L \cos \theta} \Delta t$$

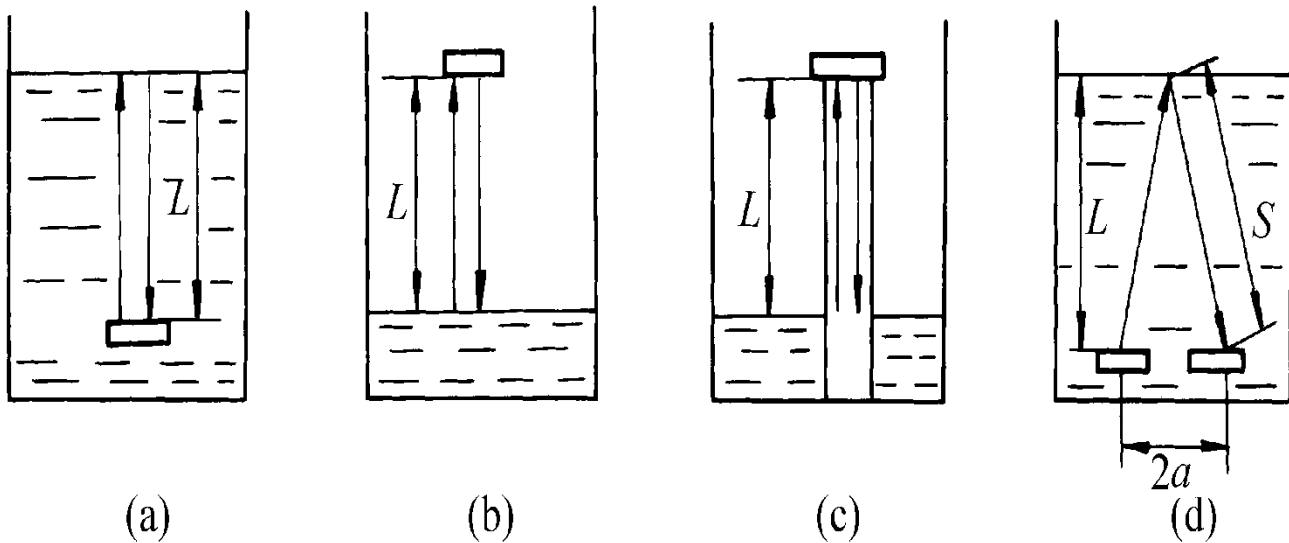
注意：

1. 该测量方法取决于 $\Delta t$ 的精度；
2. 注意 $c$ 并不是常数，而是温度的函数。

超声波流量传感器具有不阻碍流体流动的特点，可测的流体种类多，不论是非导电的流体，高粘度的流体，还是浆状流体，只要能传输超声波的液体都可以进行测量。超声波流量计可对自来水，工业用水，农业用水等进行测量。还适用于下水道，农业灌渠，河流等流速的测量。

### 3、液位测量

通过测量发射和接收信号之间的时间差测距离。



冲回波式超声液位测量

## 4、超声波探伤

- (1) 穿透法探伤：根据超声波穿透工件后能量的变化来判断工件内部质量。
- (2) 反射法探伤：根据超声波在工件中反射情况的不同来探测工件内部是否有缺陷。

超声波传感器还可以用来测厚度（距离），医学上也有广泛应用。

## 超声波传感器注意事项

- 为确保可靠性及使用寿命，不应再户外或高约定温度的地方使用。由于超声波传感器以空气作为传输介质，不应在强制通风机之类的设备旁使用。同时也不能在真空区，防爆区和蒸汽区域使用。传感器表面的水滴会缩短检出距离。细粉末和面纱之类的材料在吸收声音时无法被检出。

## 超声波传感器存在的问题

超声波传感器应用起来原理简单，也很方便，成本也很低。但是目前的超声波传感器都有一些缺点，比如，反射问题，噪音，交叉问题。

解决的方法可以通过对每个传感器发出的信号进行编码。让每个超声波传感器只听自己的声音。

## 第三节 红外检测

3.1 红外辐射

3.2 红外探测器

3.3 红外传感器的应用



红外技术是在最近几十年中发展起来的一门新兴技术。它已在科研、国防和工农业生产等领域获得了广泛的应用。红外传感器按其应用可分为以下几方面: ① 红外辐射计, 用于辐射和光谱辐射测量; ② 搜索和跟踪系统, 用于搜索和跟踪红外目标, 确定其空间位置并对它的运动进行跟踪; ③ 热成像系统, 可产生整个目标红外辐射的分布图像, 如红外图像仪、多光谱扫描仪等; ④ 红外测距和通信系统; ⑤ 混合系统, 是指以上各类系统中的两个或多个的组合。



### 3.1 红外辐射

红外辐射俗称红外线，它是一种不可见光， 由于是位于可见光中红色光以外的光线， 故称红外线。它的波长范围大致在 $0.76\sim 1000\ \mu\text{m}$ ， 工程上又把红外线所占据的波段分为四部分， 即近红外、中红外、 远红外和极远红外。

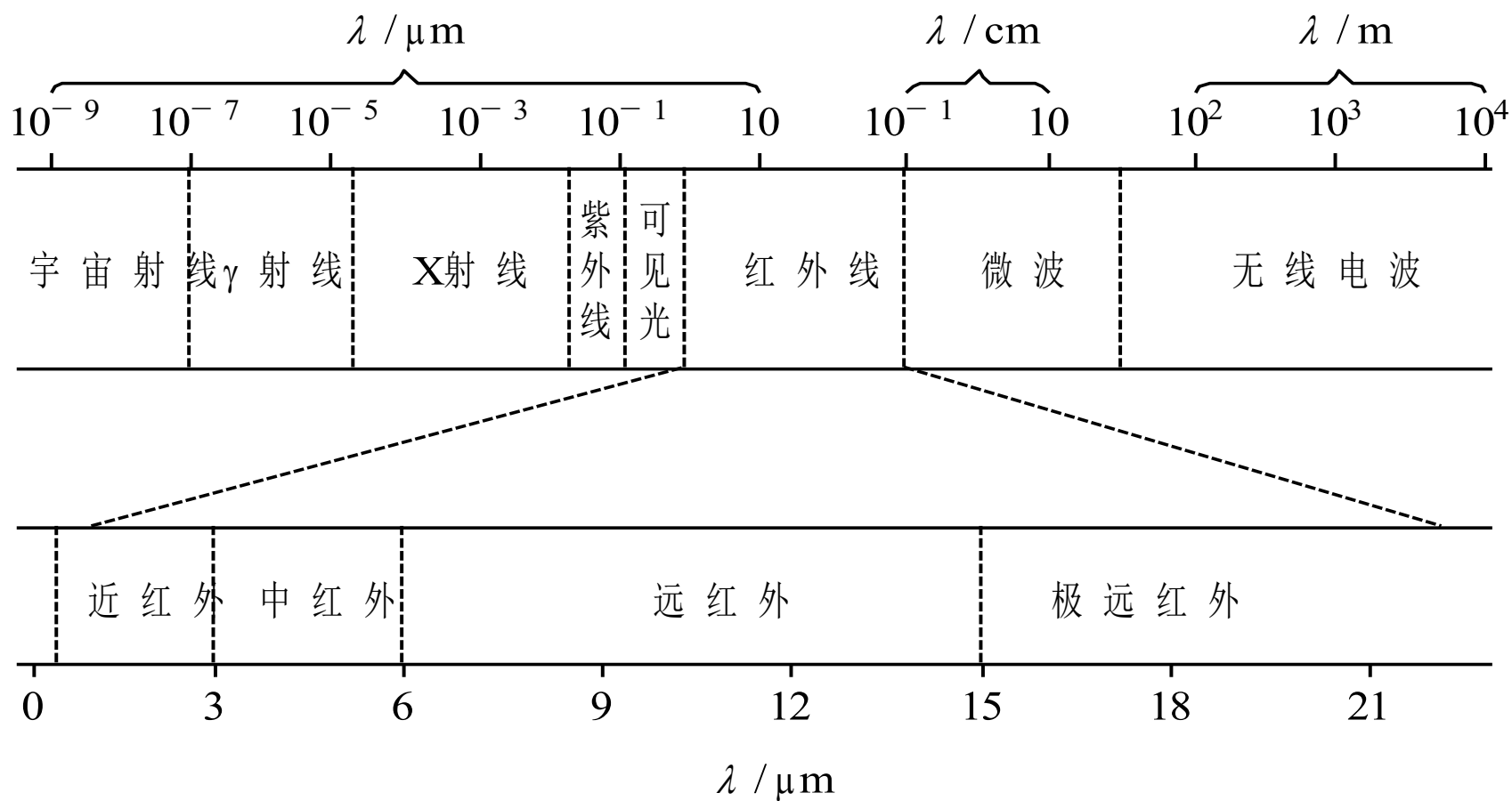


图10-1 电磁波谱图

红外辐射的物理本质是热辐射，一个炽热物体向外辐射的能量大部分是通过红外线辐射出来的。物体的温度越高，辐射出来的红外线越多，辐射的能量就越强。而且，红外线被物体吸收时，可以显著地转变为热能。

红外光的本质与可见光或电磁波性质一样。

红外辐射和所有电磁波一样，是以波的形式在空间直线传播的。它在大气中传播时，大气层对不同波长的红外线存在不同的吸收带，**红外线气体分析器就是利用该特性工作的**，空气中对称的双原子气体，如 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$ 等不吸收红外线。而红外线在通过大气层时，**有三个波段透过率高**，它们是 $2\sim 2.6\mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\mu\text{m}$ ，统称它们为“大气窗口”。这三个波段对红外探测技术特别重要，**因此红外探测器一般都工作在这三个波段（大气窗口）之内。**

## 3.2 红外探测器 ■

将入射的红外辐射信号转变成电信号输出的器件。红外辐射是波长介于可见光与微波之间的电磁波，人眼察觉不到。要察觉这种辐射的存在并测量其强弱，必须把它转变成可以察觉和测量的其他物理量。

一般说来，红外辐射照射物体所引起的任何效应，只要效果可以测量而且足够灵敏，均可用来度量红外辐射的强弱。现代红外探测器所利用的主要是红外热效应和光电效应。这些效应的输出大都是电量，或者可用适当的方法转变成电量。一个红外探测器至少有一个对红外辐射产生敏感效应的物体，称为响应元。此外，还包括响应元的支架、密封外壳和透红外辐射的窗口。有时还包括致冷部件、光学部件和电子部件等。

红外传感器组成：光学系统、 探测器、信号调理电路及显示单元。

红外探测器是红外传感器的核心：利用红外辐射与物质相互作用所呈现的物理效应来探测红外辐射。

红外探测器，常见的有两大类：热探测器和光子探测器。

## 1) 热探测器

**热探测器的工作机理：**利用红外辐射的热效应，探测器的敏感元件吸收辐射能后引起温度升高，进而使某些有关物理参数发生相应变化，通过测量物理参数的变化来确定探测器所吸收的红外辐射。

**缺点：**热探测器的**探测率**比光子探测器的峰值探测率低，响应时间长。

**优点：**响应波段宽， 响应范围可扩展到整个红外区域，可以在常温下工作，使用方便， 应用相当广泛。



热探测器主要有四类：热释电型、热敏电阻型、热电阻型和气体型。其中，热释电型探测器在热探测器中探测率最高，频率响应最宽，所以这种探测器倍受重视。

热释电型红外探测器是根据热释电效应制成的。

热释电效应晶体受热产生温度变化时，其原子排列将发生变化，晶体自然极化，在其两表面产生电荷的现象称。

用此效应制成的“铁电体”，其极化强度与温度有关。当红外辐射照射到已经极化的铁电体薄片表面上时引起薄片温度升高，使其极化强度降低，表面电荷减少，这相当于释放一部分电荷，所以叫做热释电型传感器。如果将负载电阻与铁电体薄片相连，则负载电阻上便产生一个电信号输出。输出信号的强弱就可以反映出入射的红外辐射的强弱，热释电型红外传感器的电压响应率正比于入射光辐射率变化的速率。

## 2) 光子探测器

光子探测器的工作机理：利用入射光辐射的光子流与探测器材料中的电子互相作用，从而改变电子的能量状态，引起各种电学现象——这种现象称为光子效应。

根据所产生的不同电学现象，光子探测器有内光电和外光电探测器两种，后者又分为光电导、光生伏特和光磁电探测器等三种。

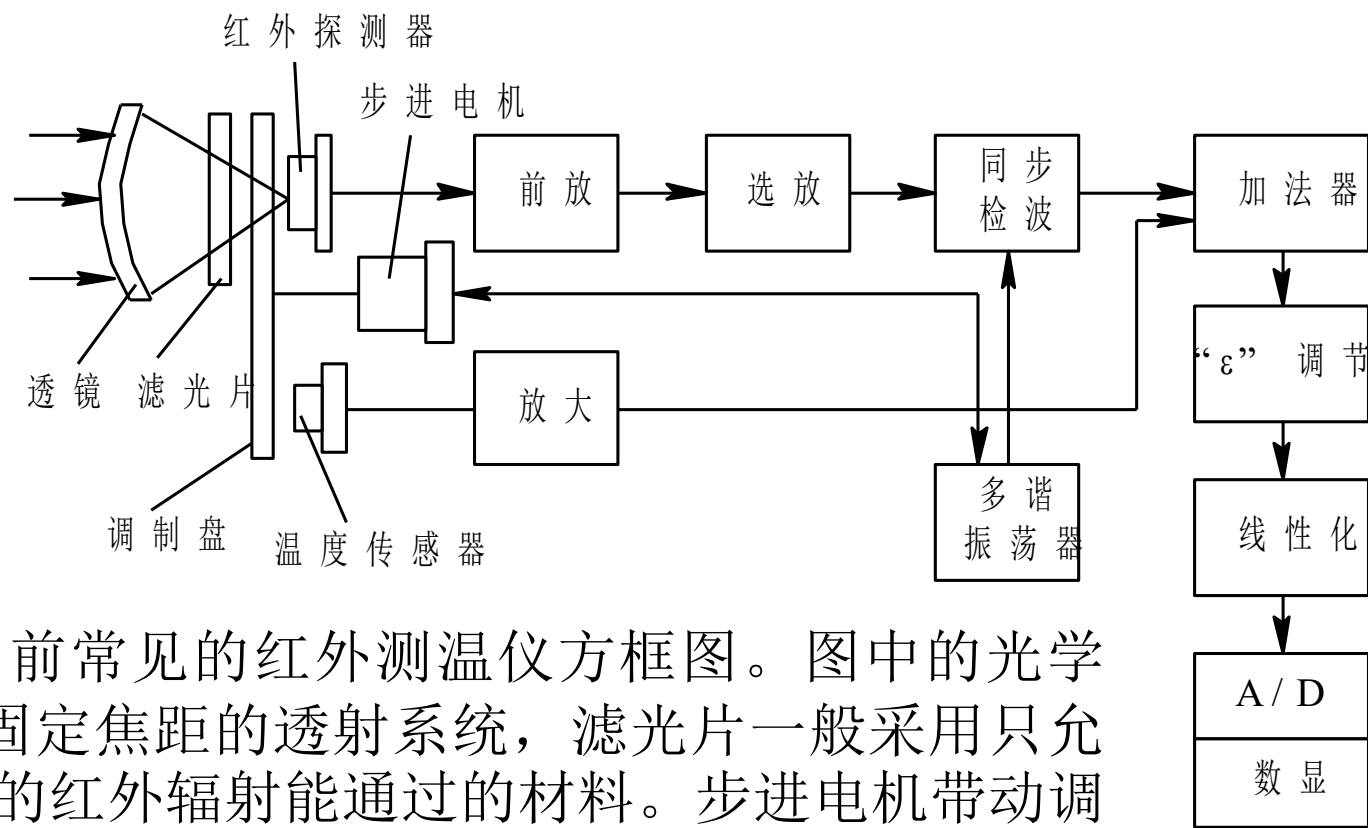
特点：灵敏度高，响应速度快，具有较高的响应频率，

缺点：探测波段较窄，一般需在低温下工作。

### 3.3 红外传感器的应用 ■

#### 1. 红外测温仪

红外测温仪是利用热辐射体在红外波段的辐射通量来测量温度的。当物体的温度低于 $1000^{\circ}\text{C}$ 时，它向外辐射的不再是可见光而是红外光了，可用红外探测器检测其温度。如采用分离出所需波段的滤光片，可使红外测温仪工作在任意红外波段。



右图是目前常见的红外测温仪方框图。图中的光学系统是一个固定焦距的透射系统，滤光片一般采用只允许 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 的红外辐射能通过的材料。步进电机带动调制盘转动，将被测的红外辐射调制成交变的红外辐射线。红外探测器一般为热释电探测器，透镜的焦点落在其光敏面上。被测目标的红外辐射通过透镜聚焦在红外探测器上，红外探测器将红外辐射变换为电信号输出。

红外测温仪的电路比较复杂，包括前置放大、选频放大、温度补偿、线性化、发射率（ $\epsilon$ ）调节等。目前已有一种带单片机的智能红外测温器，利用单片机与软件的功能，大大简化了硬件电路，提高了仪表的稳定性、可靠性和准确性。

红外测温仪的光学系统可以是透射式，也可以是反射式。反射式光学系统多采用凹面玻璃反射镜，并在镜的表面镀金、铝、镍或铬等对红外辐射反射率很高的金属材料。

## 2. 红外线气体分析仪

- 红外线一般指波长从 $0.76\mu\text{m}$ 至 $1000\mu\text{m}$ 范围内的电磁辐射。在红外线气体分析仪器中实际使用的红外线波长大约在 $1\sim 50\mu\text{m}$ 。
- 红外线气体分析仪是利用不同气体对红外波长的电磁波能量具有特殊吸收特性的原理而进行气体成分和含量分析的仪器。
- 吸收：红外线通过某些物质时，其中一些频率的光强度大为减弱甚至消失。

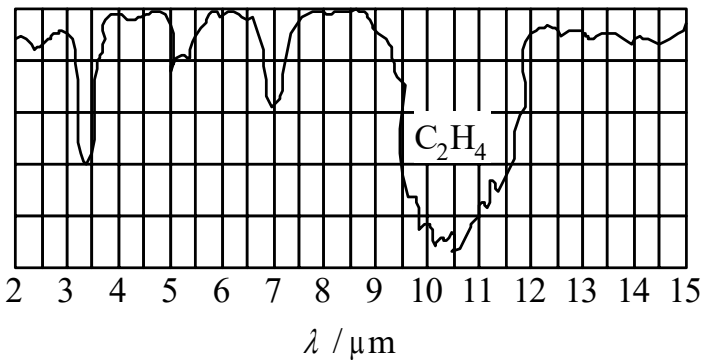
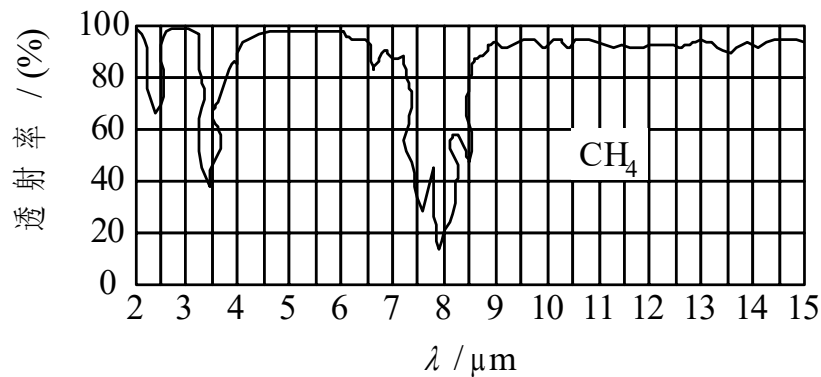
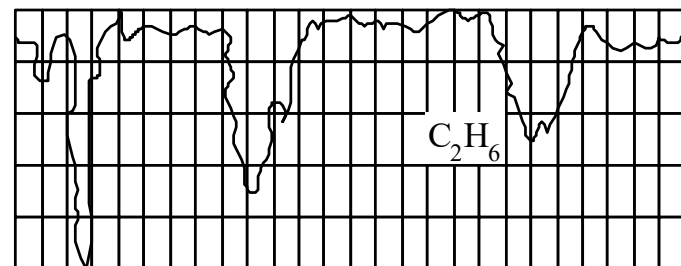
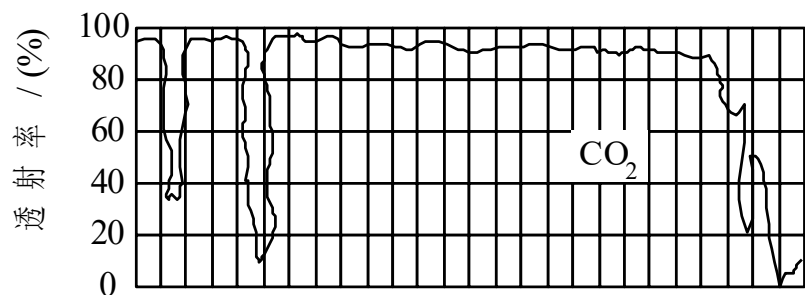
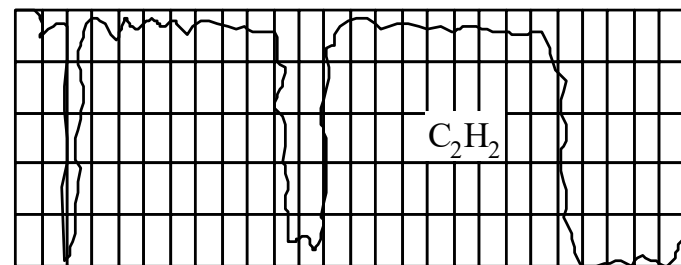
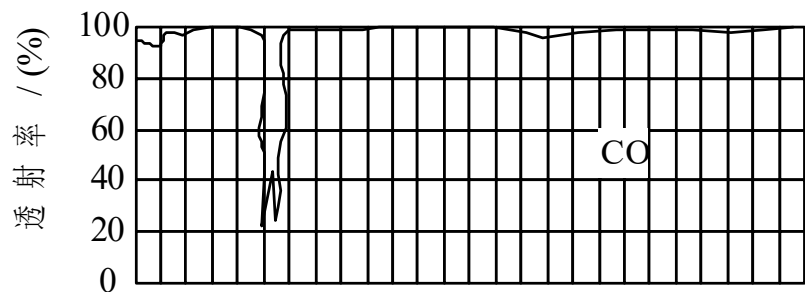
## 知识回顾：

- 光辐射的能量转移到物质的分子或原子中去，这样某些频率的光能减少，而物质的分子或原子则由最低能级 $E_0$ （基态）跃进到较高能级 $E_1$ （激发态）。
- 原子、分子或离子具有不连续的、数目有限的能级。
- 因此，物质仅能吸收与两个能级之差 $E_1-E_0$ 相同或为其整数倍的能量，即

$$E_1 - E_2 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

各种原子或分子所具有的能级数目和能级间的能量差不同，所以它们对光辐射的吸收情况也各不相同，从而形成不同的**特征吸收峰**。大部分的有机和无机气体在红外波段内都有其**特征吸收峰**，有的气体还有两个或多个特征吸收峰。





部分气体的红外线特征吸收峰图

工业红外线气体分析仪主要用于测量混合气体中某种组分的浓度，它的种类很多。

从物理特性上可分：分光式及非分光式；

从测量方法上可分：直读式和补偿式；

从光学结构上可分：单光束及双光束。

非分光直读式双光束红外线分析仪优点：

灵敏度高、响应速度快、结构简单，在生产中广泛应用。

## 红外线气体分析仪的工作原理

- 用人工的方法制造一个包括被测气体特征吸收峰波长在内的连续光谱辐射源，让这个光谱通过固定长度的含有被测气体的混合组分，在混合组分的气体层中，被测气体的浓度不同，吸收固定波长红外线的能量也不相同，继而转换成的热量也不同。
- 在一个特制的红外检测器中，再将热量转换成温度或压力，测量这个温度和压力，就可以准确地测量被分析气体的浓度。

### 3. 红外遥测



# 第13章 传感器检测技术

## 第四节 核辐射检测

### 一.核辐射检测的物理基础

#### 1. 同位素

原子序数相同, 但原子质量数不同的元素, 称作同位数。当没有外因作用时同位数的原子核会自动在衰变中放出射线。其衰减规律为

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\lambda t}$$

式中  $\alpha$ 、 $\alpha_0$ ——分别为初始时与经过时间 $t$ 秒后的原子核数；

$\lambda$ ——衰变常数（不同放射性同位数有不同的 $\lambda$ 值。

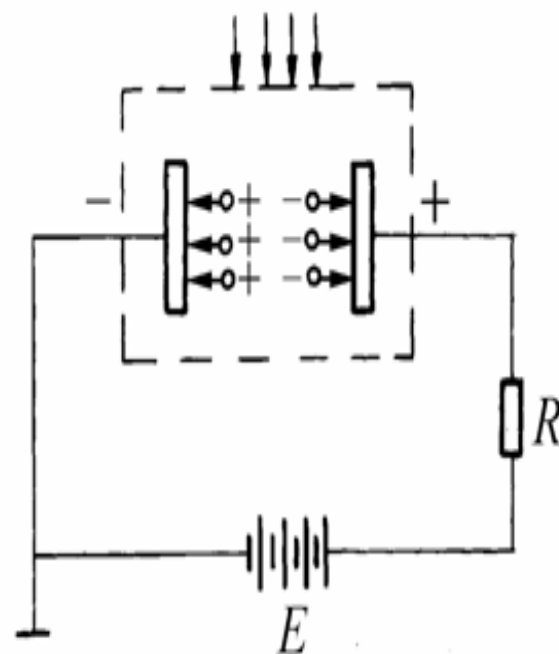
上式表明放射性同位数的原子核数按指数规律随时间减少，其衰变速度用半衰期表示。

# 第13章 传感器检测技术

## 二.核辐射传感器

### 1. 电离室

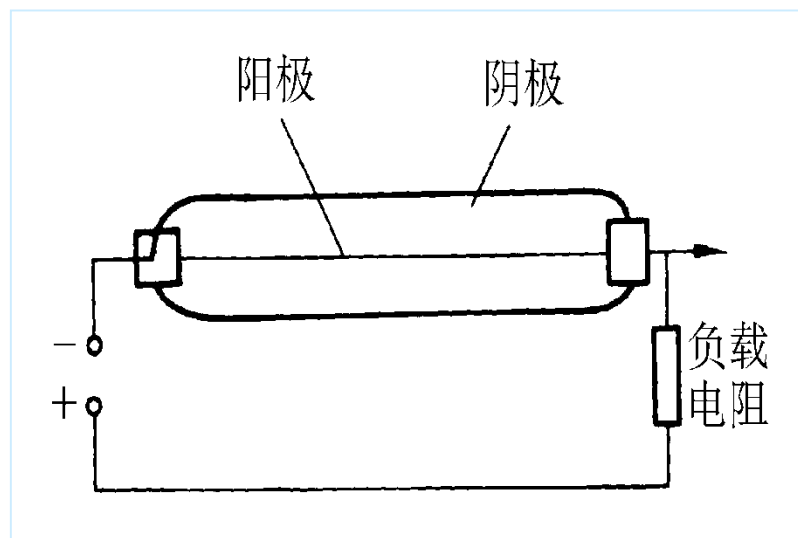
右图为电离室示意图。电离室两侧设有二块平行极板，对其加上极化电压 $E$ 使二极板间形成电场。当有粒子或射线射向二极板间空气时，空气分子被电离成正、负离子。带电离子在电场作用下形成电离电流，并在外接电阻 $R$ 上形成压降。测量此压降值即可得核辐射的强度。电离室主要用于探测 $\alpha$ 、 $\beta$ 粒子，它具有坚固、稳定、成本低、寿命长等优点，但输出电流很小。



为电离室示意图

## 第13章 传感器检测技术

### 2. 气体放电计数管(盖格计数管)

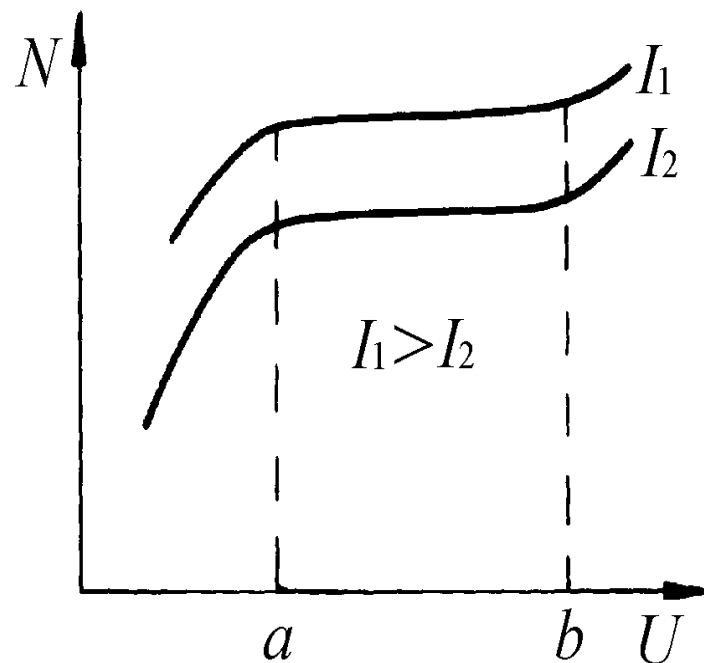


气体放电计数管示意图

正离子鞘到达阴极时得到一定的动能，能从阴极打出次级电子。由于此时阳极附近的电场已恢复，次级电子又能再一次产生正离子鞘和电压脉冲，从而形成连续放电。若在计数管内加入少量有机分子蒸汽或卤族气体，可以避免正离子鞘在阴极产生次级电子，而使放电自动停止。

## 第13章 近代检测技术

气体放电计数管的特性曲线如图所示。图中 $I_1$ 、 $I_2$ 代表入射的核辐射强度， $I_1 > I_2$ 。由图可见，在相同外电压 $U$ 时不同辐射强度将得到不同的脉冲数 $N$ 。气体放电计数管常用于探测 $\beta$ 粒子和 $\gamma$ 射线。



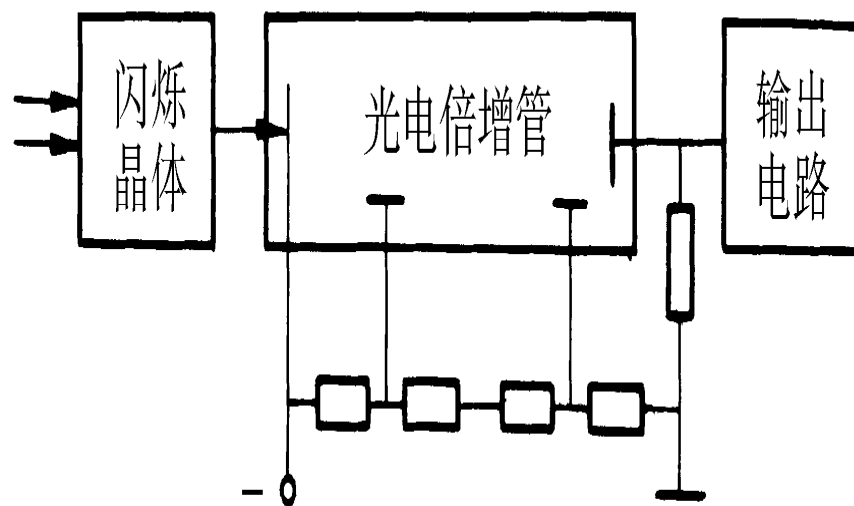
气体放电计数管特性曲线



## 第13章 传感器检测技术

### 3. 闪烁计数器

当核辐射进入闪烁晶体时，晶体原子受激发光，透过晶体射到光电倍增管的光阴极上，根据光电效应在光阴极上产生的光电子在光电倍增管中倍增，在阳极上形成电流脉冲，即可用仪器指示或记录。



闪烁计数器示意图

# 第13章 传感器检测技术

## 三.辐射检测技术的应用

1. 核辐射在线测厚仪

2. 核辐射物位计

3. 核辐射流量计

4. 核辐射探伤

# 第13章 传感器检测技术

## 第五节 激光(Laser)检测

### 一.激光检测的物理基础

#### 激光的形成条件:

- (1)具有能形成粒子数反转状态的工作物质——增益介质;
- (2)具有供给能量的激励源;
- (3)具有提供反复进行受激辐射场所的光学谐振腔。

#### 激光的特性:

- (1)方向性强, 亮度高
- (2)单色性好
- (3)相干性好

# 第13章 传感器检测技术

## 二.激光检测技术的应用

激光技术用于检测工作主要是利用激光的优异特性，将它作为光源，配以相应的光电元件来实现的。它具有精度高、测量范围大、检测时间短、非接触式等优点，常用于测量长度、位移、速度、振动等参数。下面介绍几种应用实例。

**1.激光测距**

**2.激光测流速**

**3.激光测长**

**4.激光测车速**

# 第13章 传感器检测技术

## 第六节 微波(Microwave)检测

### 一.微波检测的基本知识

#### 1. 微波的性质与特点

- (1) 定向辐射的装置容易制造；
- (2) 遇到各种障碍物易于反射；
- (3) 绕射能力较差；
- (4) 传输特性良好，传输过程中受烟、火焰、灰尘、强光等的影响很小；
- (5) 介质对微波的吸收与介质的介电常数成比例，水对微波的吸收作用最强。

## 2. 微波振荡器与微波天线

- 微波振荡器是产生微波的装置。由于微波很短，频率很高(300MHz~300GHz)，要求振荡回路具有非常微小的电容和电感，故不能用普通电子管和晶体管构成微波振荡器。构成微波振荡器的器件有速调管、磁控管或某些固体元件。小型微波振荡器也可以采用体效应管。
- 由微波振荡器产生的震荡信号需要用波导管(波长在10cm以上可用同轴线)传输，并通过天线发射出去。为了使发射的微波具有尖锐的方向性，天线具有特殊的结构。常用的天线有喇叭形天线、抛物面天线、介质天线和隙缝天线等。

# 第13章 传感器检测技术

## 二.微波传感器

### 1. 反射式传感器

这种传感器通过检测被测物反射回来的微波功率或经过的时间间隔来表达被测物的位置、厚度等参数。

### 2. 遮断式传感器

这种传感器通过检测接收天线接收到的微波功率大小，来判断发射天线与接收天线间有无被测物或被测物的位置与含水量等参数

## 三.微波检测技术的应用

1. 微波液位计

2. 微波物位计



**本章结束**