

# 流量检测复习总结

- ◆ 了解流量检测的基本概念；
- ◆ 掌握节流式流量检测的工作原理、标准节流件、流量系数、流量计算等；
- ◆ 掌握电磁流量计的工作原理；
- ◆ 掌握容积式流量计的工作原理；
- ◆ 掌握超声波流量计的工作原理；
- ◆ 了解其他流量计的工作原理；

# 气体成分分析仪表

一、概述

二、热导式气体分析仪

三、红外式气体分析仪

四、色谱仪

五、氧量分析仪

# 一、概述

- 1 成分分析仪器简介
- 2 成分分析仪器的分类
- 3 成分分析仪器的组成
- 4 成分分析仪器的主要性能指标

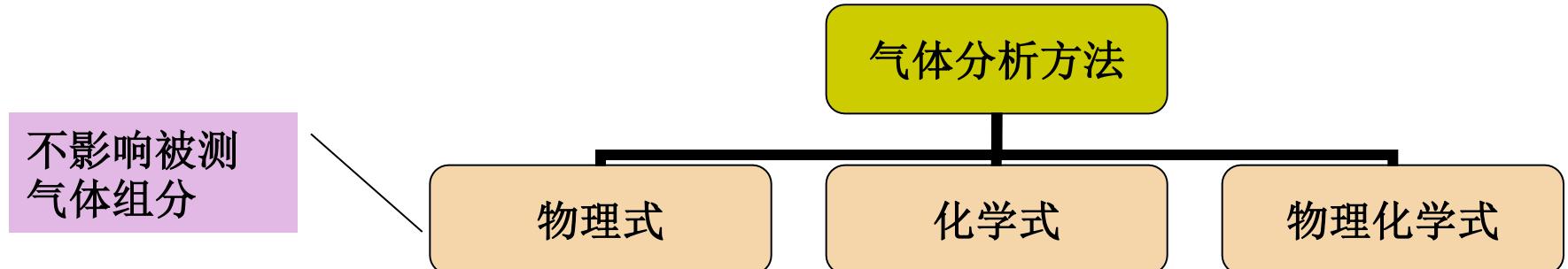
# 1 成分分析仪器简介

● 专门用来测定物质化学成分的一类仪器。

- 物质的化学成分：指一种化合物或混合物是由哪些种类的分子、原子或原子团所组成，以及这些分子、原子或原子团的含量是多少。

● 成分分析包括内容：

- 确定物质的化学组成，
- 确定物质中各种成分的相对含量



原理：

- ◆ 待测气体组分的某一化学或物理性质比其他组分的有较大差别；
- ◆ 待测气体组分在特定环境中表现出来的化学、物理性质不同；

## 2 成分分析仪器的分类

### ● 按照使用场合的不同分：

- 实验室分析仪器
- 过程分析仪器两大类。

### ● 两者的重要区别：

- 过程分析仪器对自动、连续、在线、抗干扰有特定的要求，其结构比实验室分析仪器复杂，精度通常比实验室分析仪器略低。

## 按照测量原理分类：

- (1) 电化学式分析仪器：如电导式、电量式、电位式等；
- (2) 热学式分析仪器：如热导式、热化学式、热谱式等；
- (3) 磁学式分析仪器：磁性氧量分析仪，核磁共振波谱仪等；
- (4) 光学式分析仪器：吸收式光学分析仪，发射式光学分析仪；
- (5) 射线式分析仪器：如X射线分析仪，射线分析仪，同位素分析仪等；
- (6) 色谱分析仪器：如气相色谱仪等；
- (7) 电子光学和离子光学式分析仪器：如电子探针、质谱仪、离子探针等；
- (8) 物性测量仪器：如水分计、粘度计、湿度计、密度计、电导率测量仪等。

### 3 成分分析仪器的组成



成分分析仪器的基本组成框图

# 4 成分分析仪器的主要性能指标

- 主要性能指标有：
  - 灵敏度、精度、重复性、噪声、线性范围、选择性、分辨力和响应时间等。
- 成分分析仪器的各项性能指标，除选择性和分辨力外，与其它仪器相似。
- 选择性和分辨力是表示仪器区分特性相近组分的能力，选择性一般用于单组分成分分析仪器，分辨力多用于多组分成分分析仪器，分辨力的问题比较复杂，往往不同仪器表示形式也不同。

## 二、热导式气体分析仪

混合气体的总热导率随被测组分的含量变换

利用电桥桥臂阻值随气体热导率变化而变化的原理来测量热导率。

主要用于分析混合气体的氢气，或二氧化碳、二氧化硫。

原理结构简单、性能稳定、使用方便，非常完善成熟。

### 1、检测原理

在热传导过程中，不同的气体，由于热导率的差异使其热传导的速率也不相同。

多组分混合气体的热导率 $\lambda$ 可近似为各组分热导率的算术平均值：

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i c_i$$

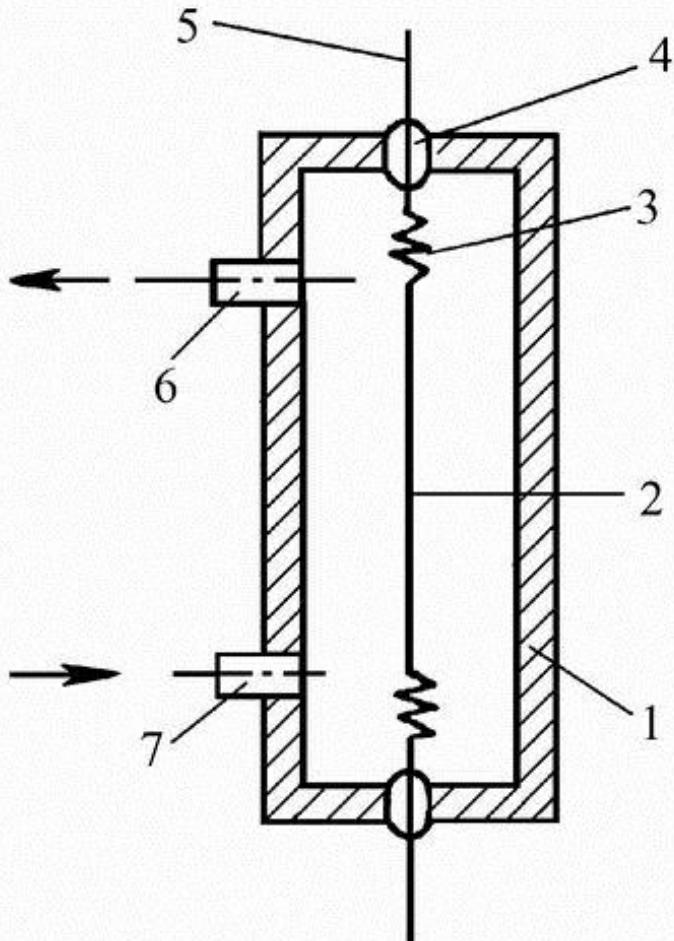
待测组分浓度 $c_1$ ,热导率 $\lambda_1$ ；混合气体其他组分热导率差别不大 $\approx \lambda_2$ ；：

$$c_1 = \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

$\lambda_1$ 与其余组分的热导率相差较大；  
其余组分的热导率十分接近。

## 2、热导式气体分析仪

传感器(热导池): 将混合气体的导热率的变化转换为电阻值的变化



热导池结构

- 1-腔体;
- 2-电阻丝;
- 3-支承架;
- 4-绝缘;
- 5-引线;
- 6-气体出口;
- 7-气体入口

$$R_n = R_0(1 + \alpha t_n)$$

产生热量:  $Q = I^2 R_n$

散热量:  $Q' = \frac{2\pi l(t_n - t_c)\lambda}{\ln(r_c/r_n)}$

热平衡时  $Q=Q'$ , 有:

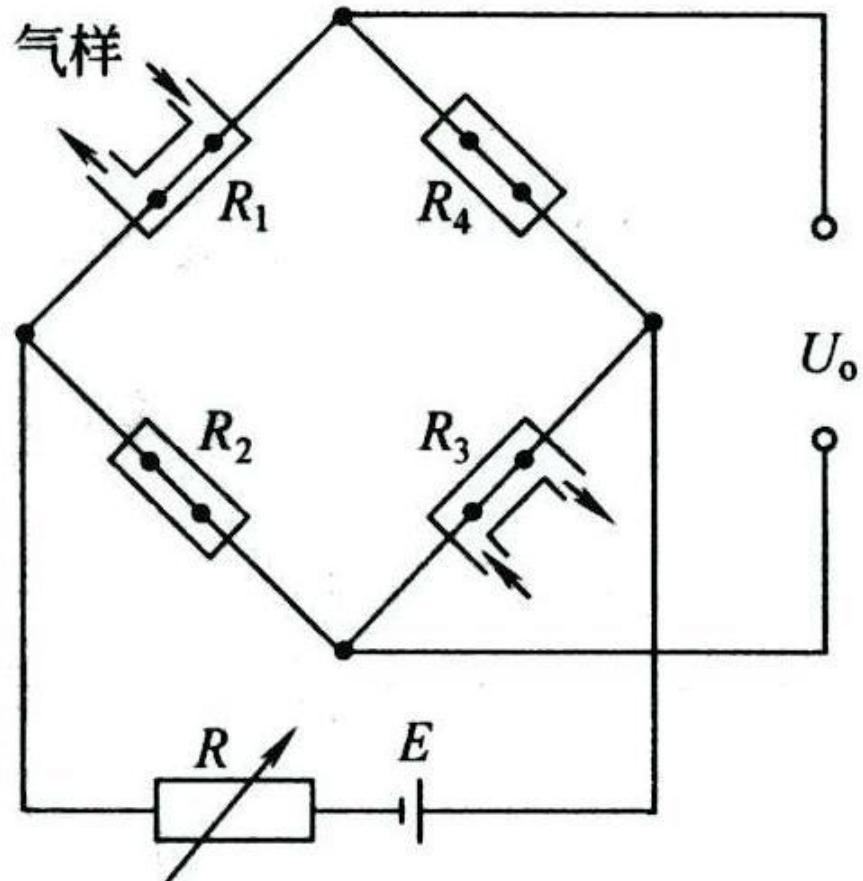
$$R_n = R_0(1 + \alpha t_c) + \frac{\ln(r_c/r_n)}{2\pi l\lambda} I^2 R_0^2 \alpha (1 + \alpha t_n)$$

为满足热平衡条件, 有严格要求:

$R_0$ 取15Ω左右,  $I$ 取100~200mA,

$l$ 取50~60mm,  $r_n$ 为0.01~0.03mm,

$r_c$ 为4~7mm,  $t_c$ 取50~60°C。



热导分析仪的测量电桥

$R_1$ 、 $R_3$ 测量气室；  $R_2$ 、 $R_4$ 参比气室。

为解决电源电压波动和环境温度波动，可采用双电桥变换电路。

## 热导式气体分析仪的应用

- 能够测量的气体种类很多，如 $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2$ 中的 $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$ 中的 $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ 中的 $\text{H}_2$ 等；
- 测量范围宽，待测组分含量在0%~100%测量范围内均可使用

### 三、红外式气体分析仪

当入射红外辐射的频率与分子的振动和转动频率相同时，红外辐射就会被气体分子所吸收，引起辐射衰减。

可测量CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>等气体含量，也可分析其他无机物和有机物的含量，但不能分析单原子分子和无极性的双原子气体。

#### 1、检测原理

红外线是一种电磁波，0.76~1000μm。

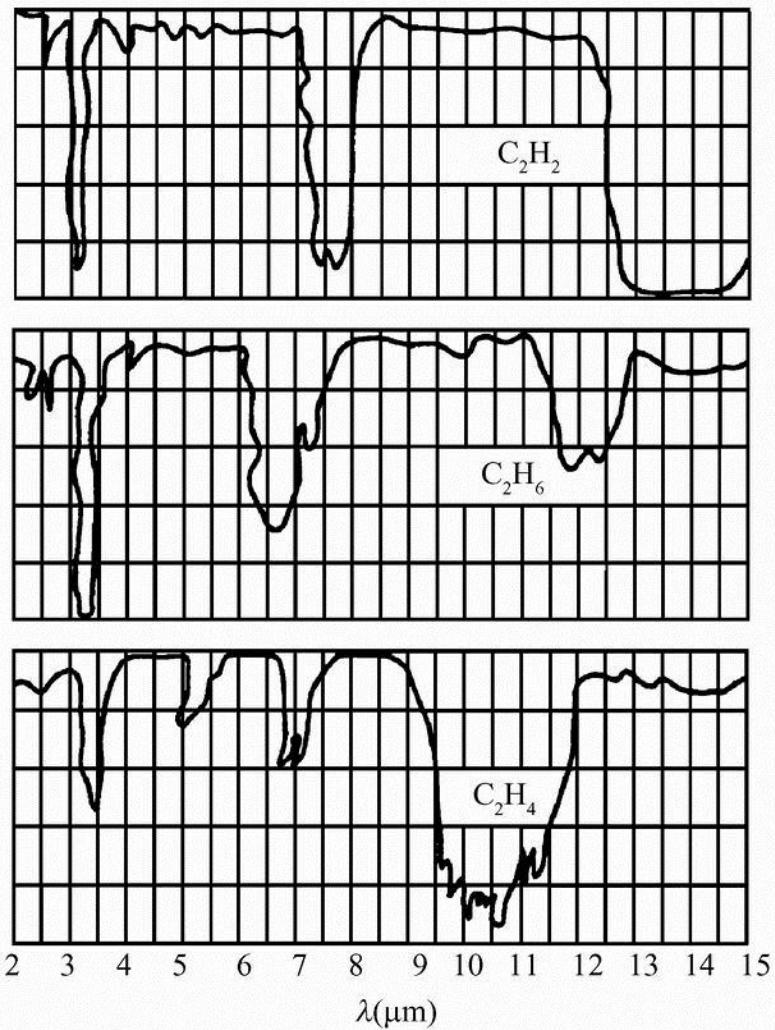
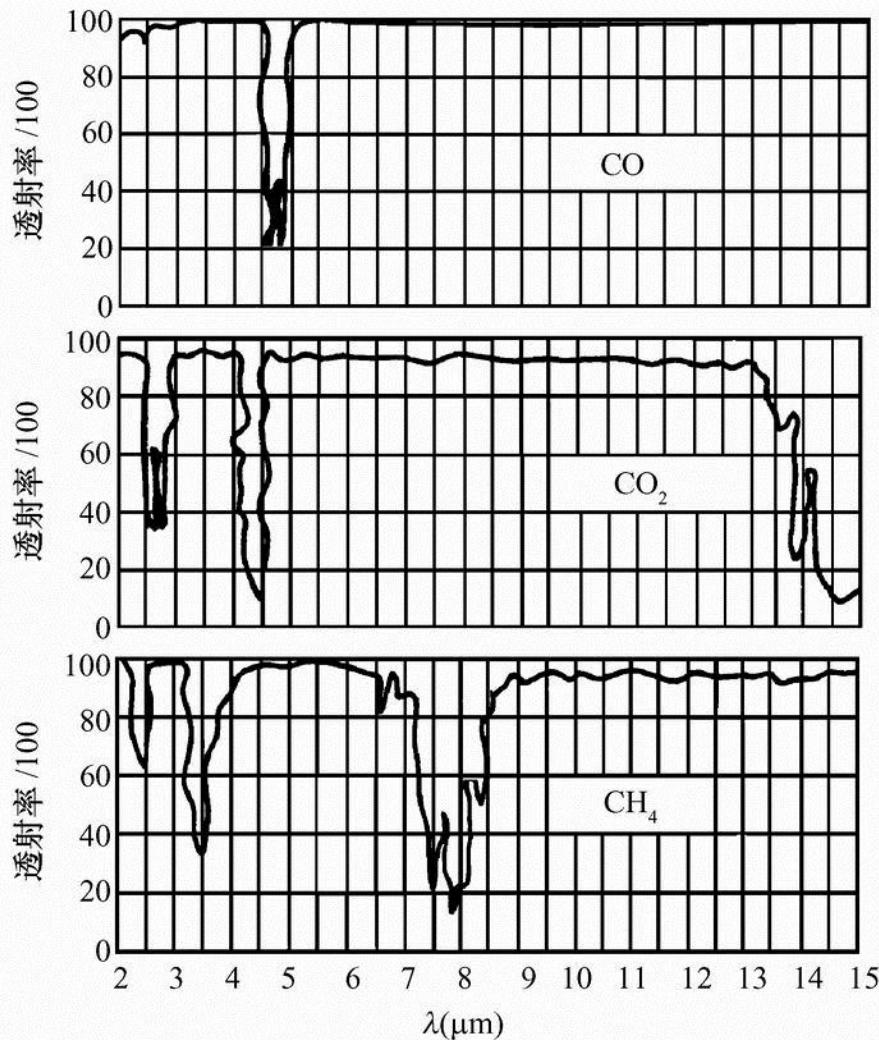
◆利用气体对红外线的波长有选择的可吸收性和热效应

不同气体具有不同的红外吸收光谱图。

$$I = I_0 e^{-K_\lambda d}$$

单原子分子和无极性的双原子气体不吸收红外线；  
水蒸气几乎全波段吸收

# 部分气体的红外线特征吸收峰图



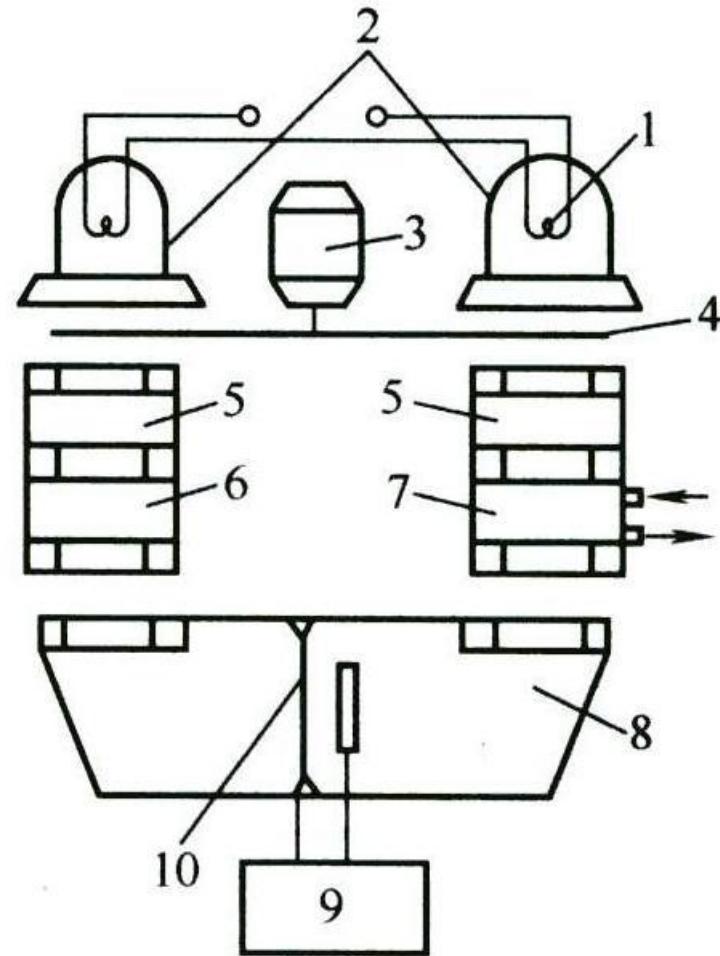
## 2、直读式红外线气体分析仪

参比室和测量室吸收红外线能量不同，两室内的气体温度变化则不同，压力变化不同，薄膜电容器的电容量变化及转换电压信号也不同。

薄膜电容器的电容变化量非常小，采用直流极化法间接测量。

红外检测器输出信号非常小，需要放大，要求稳定性、灵敏度输入阻抗、抗干扰能量很高的放大器。

工业用常量红外气体分析仪准确度等级一般为1~2.5级，时间常数<15s。使用环境要求较高（防振、防潮、防尘）。



直读式红外线气体分析仪  
工作原理

## 优点：

- ◆ 选择性好，灵敏度高，测量范围广，精度较高，常量为1~2.5级，低浓度(ppm)为2~5级，响应速度快。
- ◆ 能吸收红外线的CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、SO<sub>2</sub>等气体、液体都可以进行分析。

## 应用：

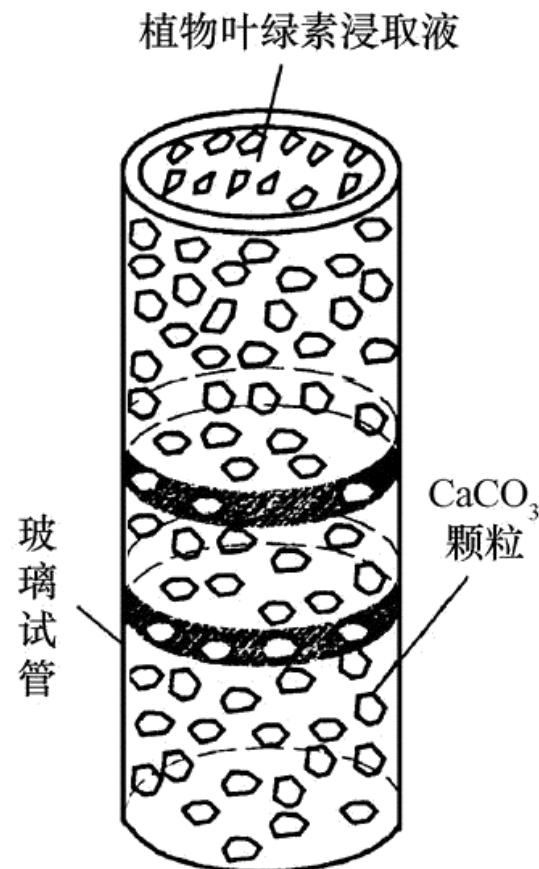
- ◆ 大气检测、大气污染、燃烧过程、石油及化工过程、热处理气体介质、煤炭及焦炭生产过程等工业生产过程中。
- ◆ 测定水中微量油分，医学中肺功能的测定，并可在水果、粮食的储藏和保管等农业生产中应用。

## 四、色谱仪

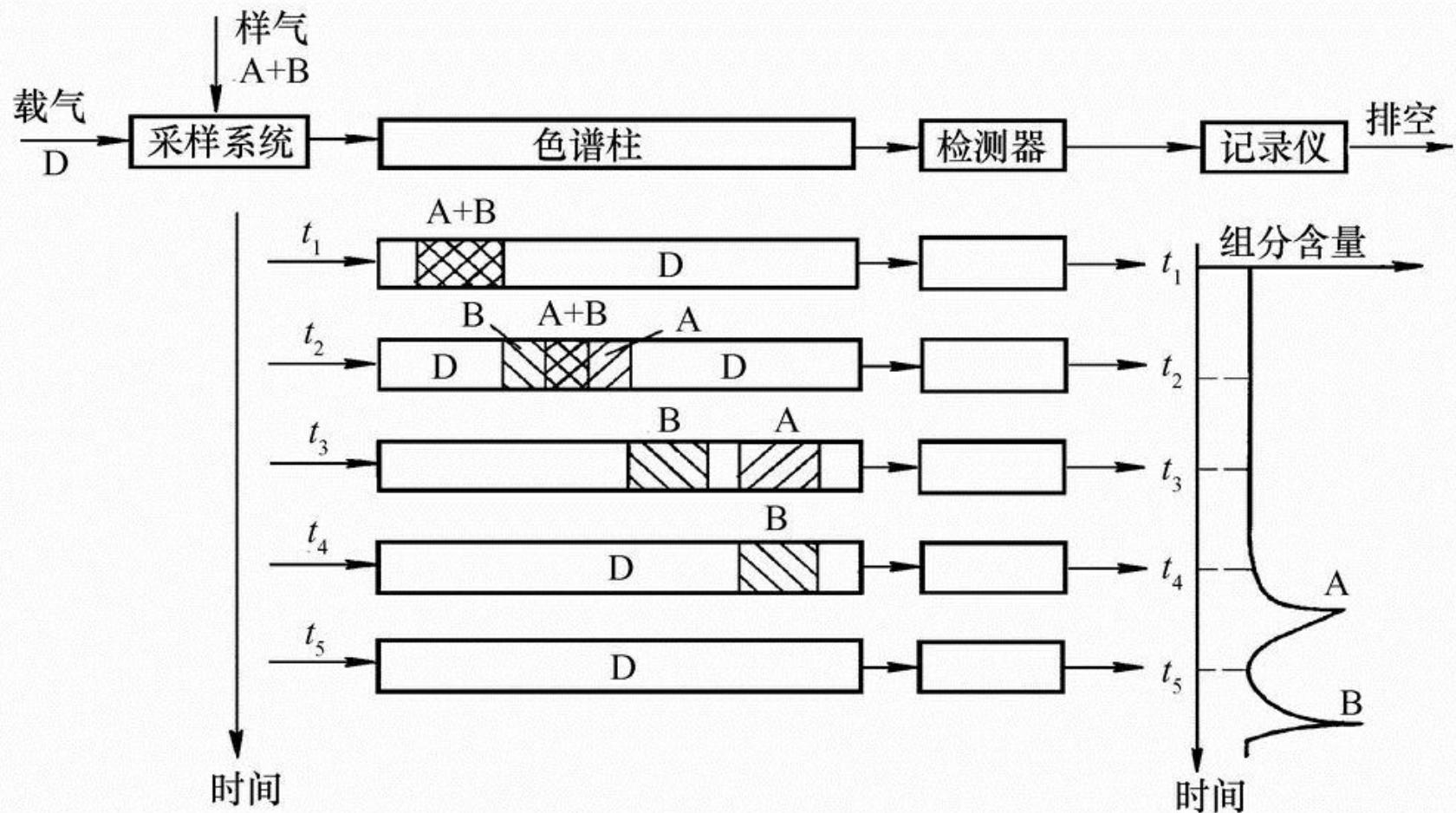
能鉴定混合物的组分及各组分含量。

色谱法亦称色层法或层析法，它本是一种混合物分离技术。“色谱”这一术语二十世纪初俄国植物学家茨维特(**M.Tswett**)引用的，研究植物叶绿素的组成。

在试验中，分离所用的玻璃试管称为色谱柱，冲洗剂石油醚称为流动相，吸附剂 $\text{CaCO}_3$ 称为固定相。



# 色谱分析过程示意图



# 色谱法分类

- 流动相可为气体和液体。
- 固定相也可以是固体或者液体。

色谱法又可分为：

气-液色谱法

气-固色谱法

液-液色谱法

液-固色谱法

气相色谱法是一种以气体为流动相，采用柱色谱的物理分离分析技术。

# 五、氧量分析仪

可以测量混合气体中氧气的体积百分含量

应用：燃烧过程分析、工业产品质量分析、  
易燃易爆环境氧量监测以及农业生产

测量烟气中含氧量的仪表称为氧量计，火电厂中使用的氧量计主要有热磁式氧量计和氧化锆氧量计两种。

- 1 热磁式氧量计
- 2 氧化锆氧量计

- 燃煤锅炉燃烧质量的好坏，直接关系到电厂燃料消耗率的高低，锅炉烟气中氧量自动分析就是为了连续监督燃烧质量，以便及时控制燃料和空气的比例，使燃烧保持在较好的状态下进行。
- 为了使燃料达到完全燃烧，同时又不过多地增加排烟量和降低燃烧温度，首先要控制燃料与空气的比例，使过剩空气系数 $\alpha$ 保持在一定范围内。由于氧含量与 $\alpha$ 之间有单值关系，而且关系受到燃料品种的影响较小；另外，由于氧量计的反应比二氧化碳表快，所以目前电厂中采用氧量计。

# 1 热磁式氧量计

## 1) 工作原理

热磁式氧量计利用烟气组分中氧气的磁化率特别高这一物理特性来测定烟气中含氧量。

工作原理是氧流经一个有加热元件的气室，并且位于磁场中。当加热元件附近的氧被加热时，氧气的顺磁性变小，使较冷的氧被强烈地吸入磁场中，将热氧置换出来，形成连续的气流，称“磁风”。

在一定的气样压力、温度和流量下，通过测量磁风大小就可测得气样中氧气含量。

## 2) 不足

火电厂对锅炉烟气含氧量的监测和控制，都要求氧量计具有准确、稳定、响应迅速和经久耐用等基本性能。

热磁式氧量计虽然具有结构简单、便于制造和调整等优点，但由于其反应速度慢、测量误差大、容易发生测量环室堵塞和热敏元件腐蚀严重等缺点，使热磁式氧量计在火电厂的应用日渐减少，逐渐被氧化锆氧量计所取代。

## 2 氧化锆氧量计

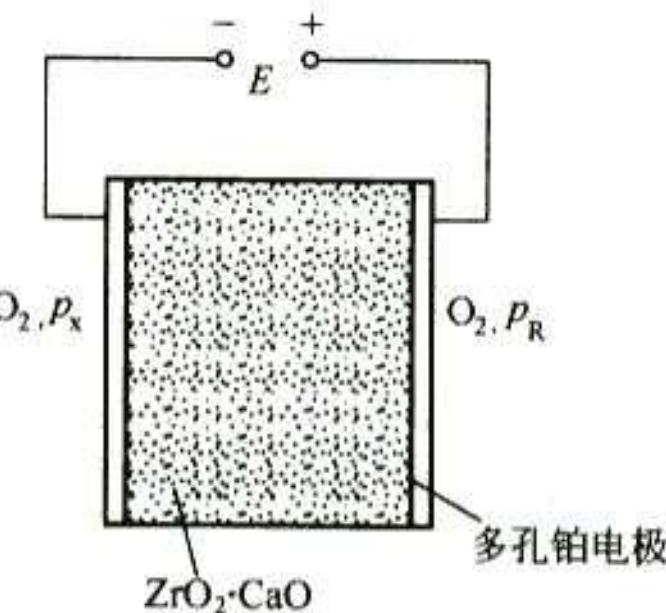
氧化锆 ( $\text{ZrO}_2$ ) 测氧仪表

结构简单、性能稳定、反应迅速、测量范围宽、安装维修方便

### 1) 工作原理

当两表面有氧的浓度差异时，会因  
氧离子空穴的移动产生电动势，该  
电动势称为浓差电势。

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{p_R}{p_x}$$



氧化锆浓差电池原理

当参比气体应为干燥清洁无油的空气(含氧20.8%)时，被测气体的氧百分含量可由下式求得

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{20.8}{x} = 0.04961T \lg \frac{20.8}{x} \quad mV$$

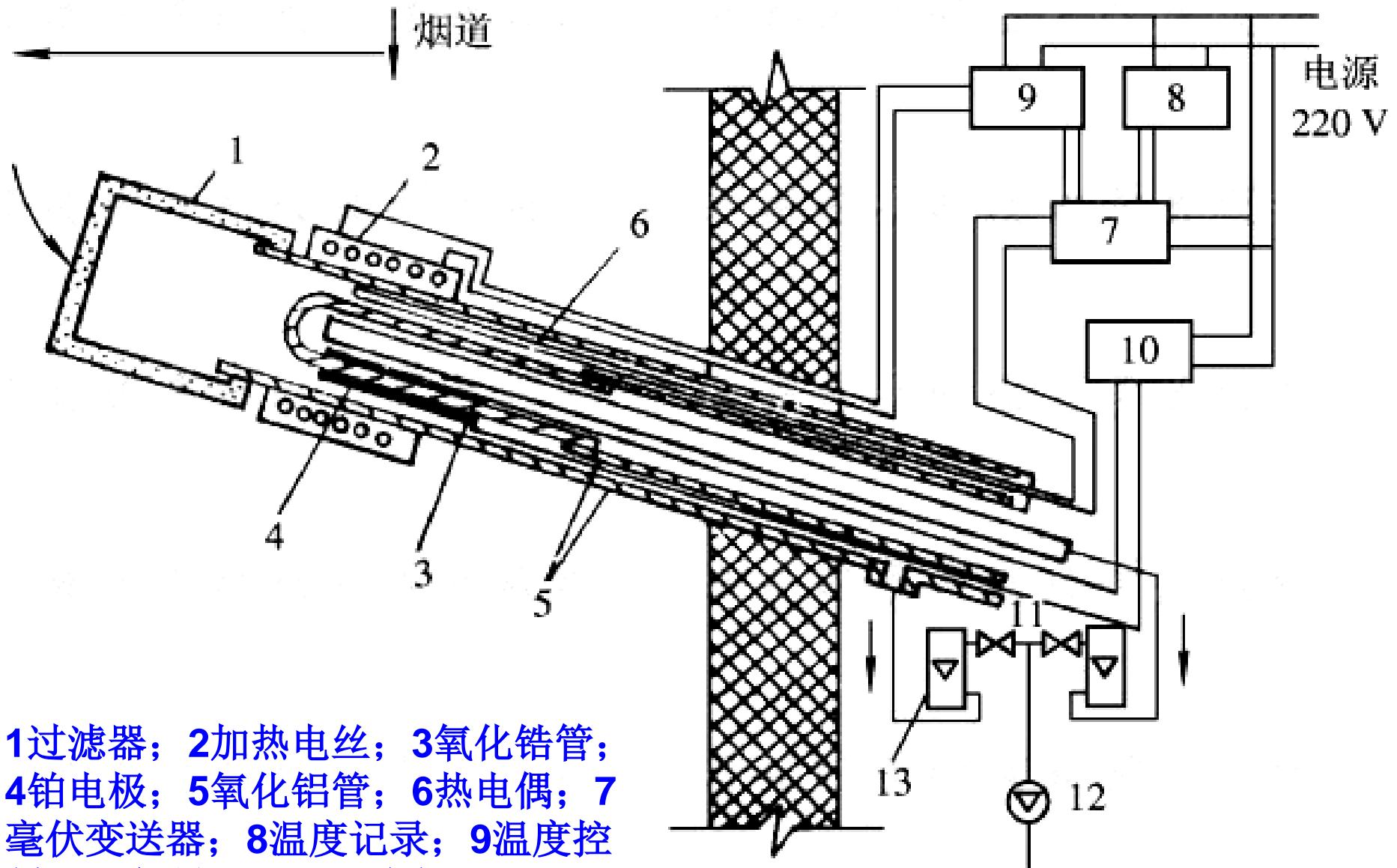
将产生一个成对数关系mV输出（被测气体氧含量高时，输出电压低（比如，氧含量为20.8%时，电压为0mV）；反之电压高（比如，氧含量为2.08%时，约为50mV）。

这个mV电压通过电子变送器转换为4—20mA的电流，  
使用氧化锆氧量计时必须注意的方面。

## 2) 测量系统

目前，用氧化锆式氧量计来测量烟气中含氧量的测量系统形式很多，大致可分为抽出式和直插式两类。

- 抽出式带有抽气和净化系统，能除去杂质和SO<sub>2</sub>等有害气体，对保护氧化锆管有利。氧化锆管处于800℃的定温电炉中工作，准确性较高，但系统复杂，并失去了反应快的特点。
- 直插式是将氧化锆管直接插入烟道高温部分，如下图所示。直插式的特点是反应迅速，响应时间约为1 s左右，加装过滤器后大约在3 s左右。迟延小、反应快的内置式氧化锆氧量计是电厂中普遍采用的氧量仪表。



**1过滤器； 2加热电丝； 3氧化锆管；  
4铂电极； 5氧化铝管； 6热电偶； 7毫伏变送器； 8温度记录； 9温度控制； 10氧量计； 11平衡阀； 12电磁泵； 13节流阀**

目前，氧化锆材料存在的问题是：

- ◆ 在高温下膨胀而易出现裂纹或使铂电极脱落；
- ◆ 在氧化锆管表面有尘粒等污染时往往会造成较大的测量误差，甚至使铂电极中毒，所以使用过程中要经常清理。



2001/2002氧化锆测氧探头

测氧范围扩展 $10^{-30}$ —100%。



2011型氧气变送器

### 3) 应用

氧化锆氧量计实际使用中应注意的方面。

**例1：**已知氧化锆氧量计测得烟温为**800°C**时的氧电动势为**16.04mV**，试求：该时的烟气含氧量为多少？设参比气体含氧量为 $\phi_2=20.8\%$ 。

例2：某氧化锆氧量分析仪在实际使用一段时间后发现指示值始终在最大位置（21%），你认为可能是什么原因引起的？

气体成分分析仪表与其他参数检测仪表有较大区别：

需要专门的  
取样系统

直接安装到  
被测对象中

取样系统常包括过滤、分离、恒温（压）以及稳流等装置，使进入检测器的被测气体满足所需求。

被测气体在进入检测器前可能还需进行**预处理**，除去干扰成分。

气体成分分析仪还有如下特点：

- ①测量滞后较大；
- ②需要恒温系统或温度补偿装置；
- ③准确度等级不够高。

# 成分检测复习总结

- ◆ 了解成分检测的基本概念；
- ◆ 了解热导式、热磁式的工作原理；
- ◆ 掌握氧化锆氧量计的工作原理、使用注意事项、  
氧量计算