

第二章 丝式传感器

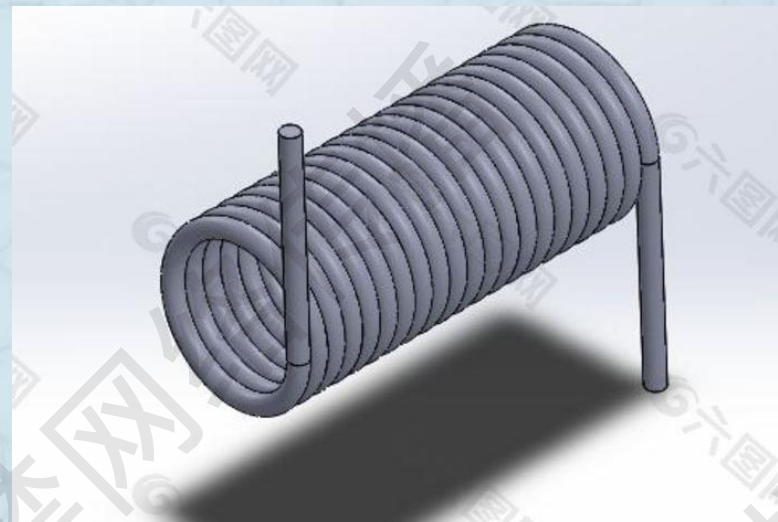
2.1 金属丝温度敏感特性

2.2 丝式热导传感器

2.3 丝式催化传感器

2.4 丝式传感器的应用

2.1 金属丝温度敏感特性



温度、湿度、
流量、风速、
风向、气体、
位置、呼吸、

2.1 金属丝温度敏感特性

金属丝电阻（电阻率）具有随温度变化的特性。

$$R=\rho L/S \quad R_t=R_0f(t) \quad \rho=\rho_0f(t)$$

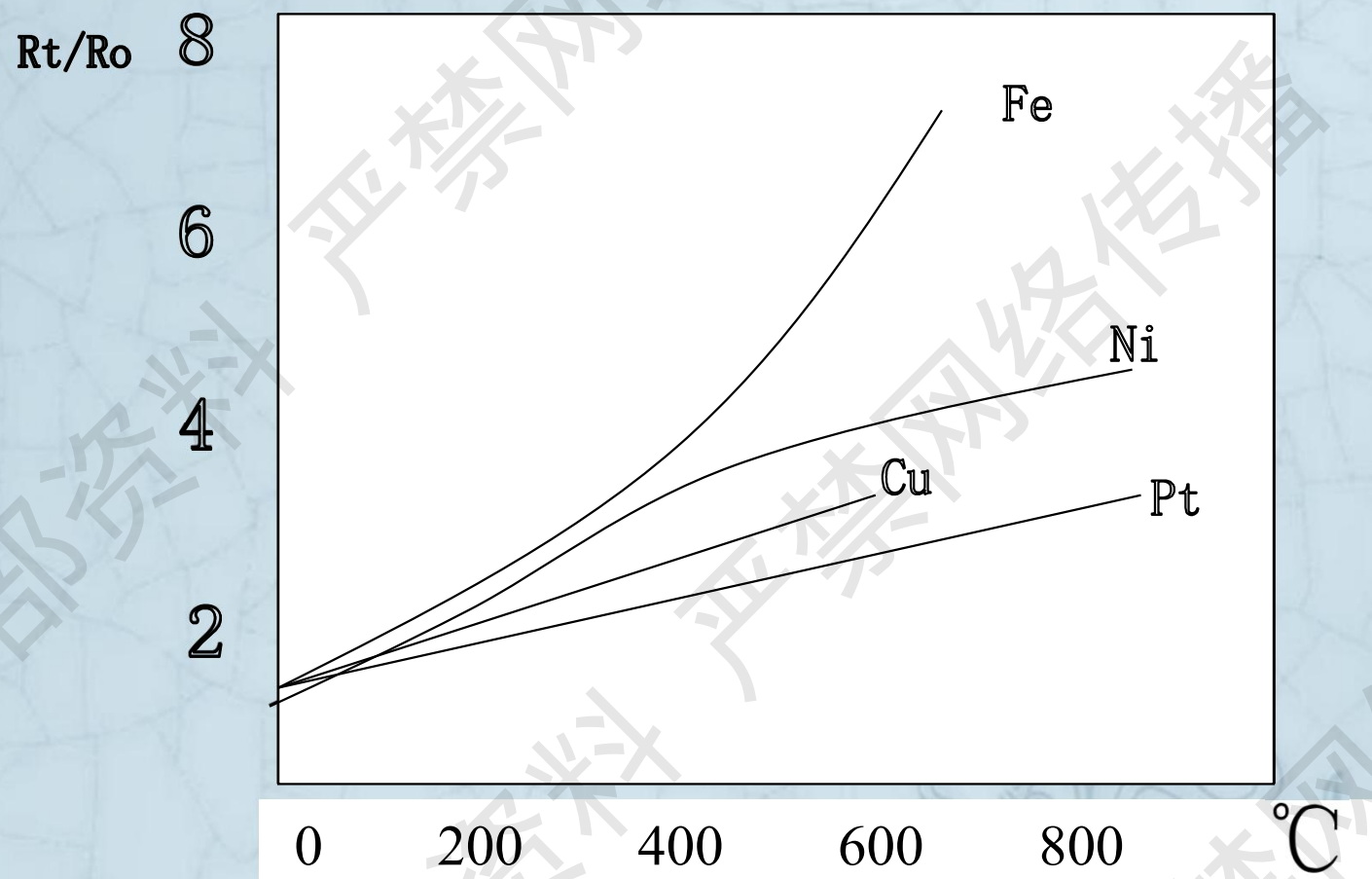
利用这一特性建立了金属丝电阻温度计的工作基础。

掌握：

能成为温度敏感元件的金属丝要求：

- 1) 在测量范围内电阻与温度关系曲线是确定的
- 2) 具有较大的电阻温度系数
- 3) 在测量范围内电阻温度系数应该不变
- 4) 金属丝材料应具有大的电阻率
- 5) 电气性能应该具有重复性

2.1 金属丝温度敏感特性



金属电阻与温度关系曲线

2.1 金属丝温度敏感特性

常见的金属电阻率及其温度系数

物质	温度℃	电阻率 $10^{-8}\Omega/\text{m}$	电阻温度系数 $\Delta R/^\circ\text{C}$
银	20	1.58	0.00380 (20℃)
铜	20	1.67	0.0040 (20℃)
金	20	2.40	0.00324 (20℃)
铝	20	2.65	0.00429 (20℃)
锌	20	5.19	0.00419 (0℃~100℃)
钴	20	6.64	0.00604 (0℃~100℃)
镍	20	6.84	0.00690 (0℃~100℃)
铁	20	9.71	0.00651 (20℃)
铂	20	10.6	0.00392 (0℃~60℃)

2.1 金属丝温度敏感特性

例如：铂的温度系数是 $0.0039/^{\circ}\text{C}$ 。它是一个百分数。在 20°C 时，一个100欧的铂电阻，当温度升高到 21°C 时，它的电阻将变为100.39欧
 $= [100 + 100 * (21 - 20) * 0.0039]$ 。

一段电阻线的电阻由**4个**因素决定：

- 1、电阻线的长度**L**；
- 2、电阻线的横截面积**S**；
- 3、材料 **ρ** ；
- 4、温度 **$f(t)$** 。

前三个因素是自身因素，第四个因素是外界因素。电阻率温度系数就是这第四个外部因素的作用大小。

2.1 金属丝温度敏感特性

掌握 金属丝电阻的温度系数：是物质的电阻率随温度而变化的物理量，其数值等于温度每升高1℃时，电阻率的增加量与原来的电阻率的比值，通常以字母 α 表示，单位为1/℃。铂0.0039，镍0.0067，铜0.0040

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$



$$R_t \approx R_0(1 + \alpha t)$$

温度=0℃，电阻= R_0

温度= t ℃，电阻= R_t

α ：电阻线性温度系数；

β ：二次项系数

采用近似线性模型，若铂电阻 $R_0=2000\Omega$ ， $t=100^\circ\text{C}$ ， $R_{tL}=2780\Omega$ ，若实测 $R_{tS}=2778\Omega$ ，非线性偏差=??? (-1‰)。

2.2 丝式热导传感器

热导装置是用于测量气体的导热系数，用于气相色谱中的检测器。热导传感器（TCD）是利用被测组分和载气的导热系数不同而响应的浓度型检测器。

20世纪二三十年代，欧美就有许多公司生产TCD的气体分析装置，用于化学工业和电厂的气体分析。气相色谱出现后，TCD开创了气相色谱检测器的时代，20世纪60年代技术成熟。

2.2 丝式热导传感器

掌握：

热导(TCD)传感器原理：

热丝具有电阻随温度变化的特性。当有一恒定直流电通过热导池时，热丝被加热。由于载气的热传导作用使热丝的一部分热量被载气带走，一部分传给池体。当热丝产生的热量与散失热量达到平衡时，热丝温度就稳定在一定数值。此时，热丝阻值也稳定在一定数值。由于参比池和测量池通入的都是纯载气，同一种载气有相同的热导率，因此两臂的电阻值相同，电桥平衡，无信号输出，记录系统记录的是一个恒值。当有试样进入检测器时，纯载气流经参比池，载气携带着组分气体流经测量池，由于载气和待测量组分二元混合气体的热导率和纯载气的热导率不同，测量池中散热情况因而发生变化，使参比池和测量池中热丝电阻值之间产生了差异，电桥失去平衡，检测器有电压信号输出，记录仪记录相应的输出电压。载气中待测组分的浓度越大，测量池中气体热导率改变就越显著，温度和电阻值改变也越显著，电压信号就越强。此时输出的电压信号与样品的浓度成正比，这是热导传感器的定量基础。

2.2 丝式热导传感器

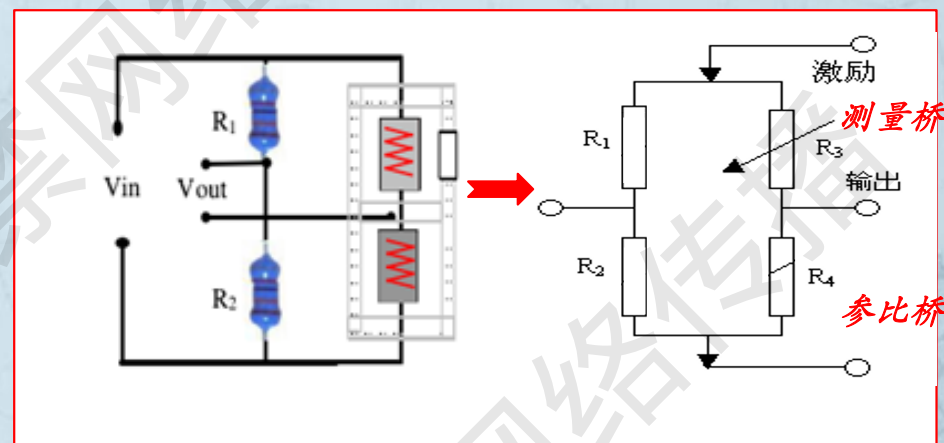
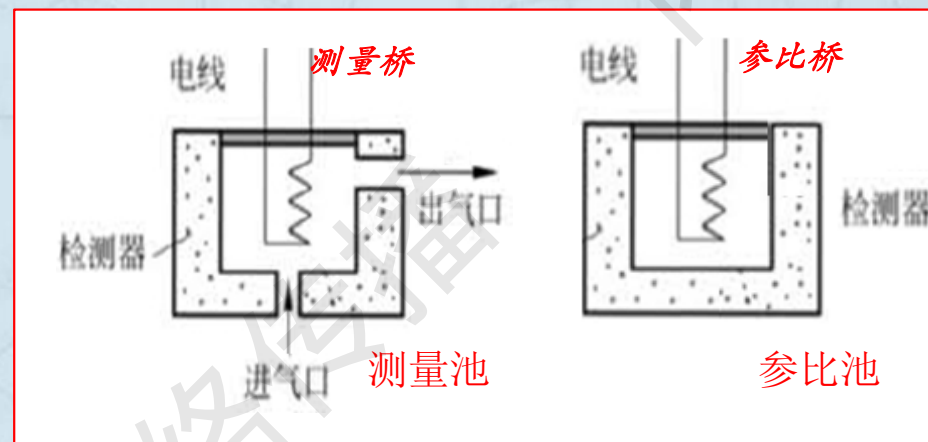
掌握

丝式热导传感器工作过程

当电流通过热丝时，由焦耳定律得到热丝被加热到一定温度，热丝电阻值增加到一定值。在未进试样时，通过热导池两个池孔-参比池和测量池都是载气。

由于载气的热传导作用，热丝温度下降，电阻减小，此时热导池的两个池孔中热丝温度下降和电阻减小的数值是有单调对应关系。

被测试样组分进入以后，载气流经参比池，而带有被测试样组分的载气流经测量池，由于被测组分与载气组成的混合气体的热导系数和载气的热导系数不同，因而测量池中热丝的散热情况会发生变化，使两个池孔中的两根热丝的电阻值之间有了差异，此差异可以利用电桥测量出来。



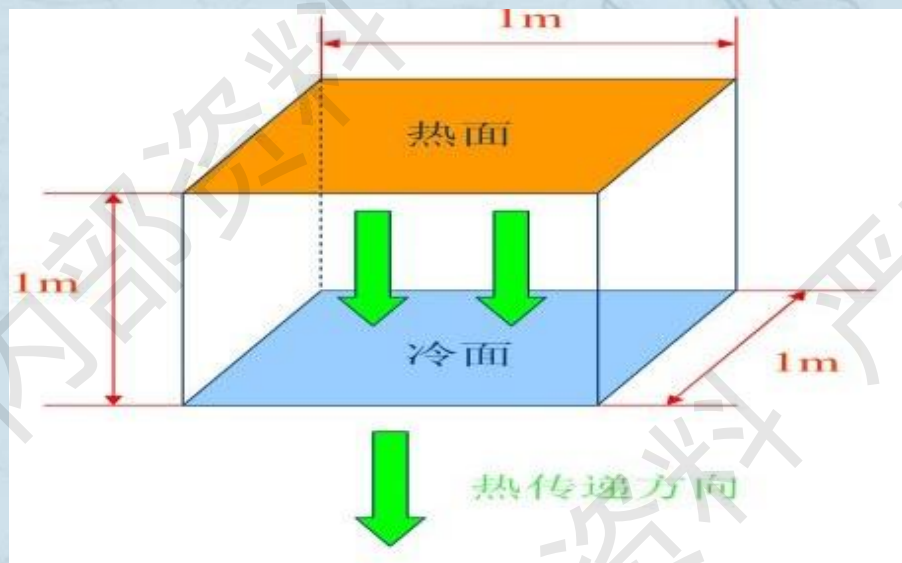
$$U = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2) \times (R_3 + R_4)} V$$

双臂电桥？单臂电桥？

2.2 丝式热导传感器

对于多组分气体，由于组分含量不同，混合气体导热能力将会发生变化。根据混合气体导热能力的差异，就可以实现气体组分的含量分析。

λ 导热系数是指在稳定传热条件下，1m厚的材料，两侧表面的温差为1℃，在1秒钟的时间内，通过1平方米面积传递的热量，单位为瓦 / 米.度 ($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$)。表征材料热传导能力大小的物理量



2.2 丝式热导传感器

- 对于不同的介质，导热系数的大小是不同的。
- 固体和液体的导热系数较大，气体的导热系数较小。
- 气体的导热系数通常与温度有关。
- 当温度升高时，分子运动加剧，导热系数随之增大。
- 导热系数与温度的关系可近似写成

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t)$$

β - 介质导热系数的温度系数。

2.2 丝式热导传感器

气体种类

0°C时的λ
导热系数 W/(m•°C)

氮气

0.0228

氧气

0.0240

甲烷

0.0300

氢气

0.1630

丙烷

0.0148

氩气

0.0173

一氧化碳

0.0226

二氧化碳

0.0137

2.2 丝式热导传感器

掌握

混合气体的导热系数

混合气体的导热系数 λ_m 由所含组分气体 λ_i 的导热系数共同决定。对于彼此之间无相互作用的多组分气体，其导热系数可近似地认为是各组分导热系数按组成含量的加权平均值，即

$$\lambda_m = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i$$

根据混合气体导热系数与各组分导热系数之间的关系，就可以实现多组分气体的含量分析。

2.2 丝式热导传感器



热导式传感器检测双组分气体的含量时：

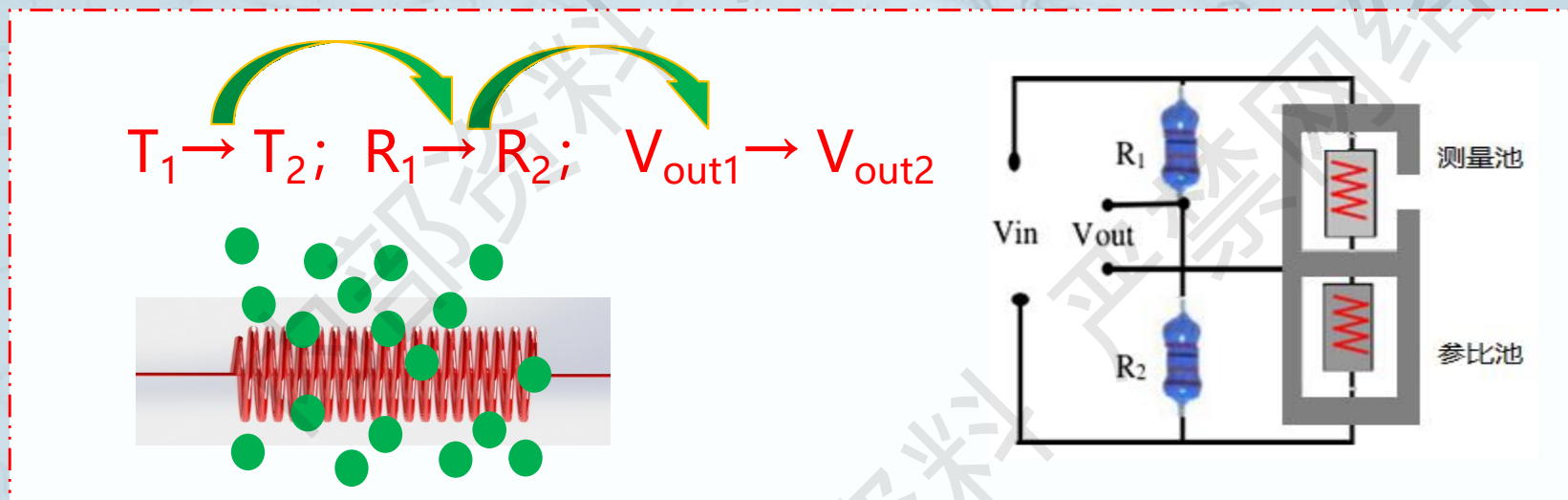
$$\lambda_m = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2$$

由于 $C_1 + C_2 = 100\%$

$$\lambda_m = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 (1 - C_1)$$

$$C_1 = \frac{\lambda_m - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

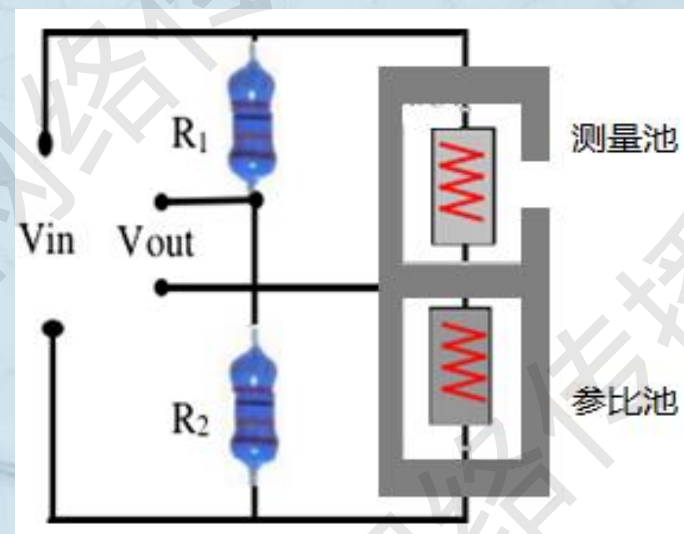
只要测出混合气体的导热系数，就可以根据两组分的导热系数求得待测组分 C_1 的含量。 $V_{out} \rightarrow R \rightarrow T \rightarrow \lambda_m \rightarrow C_1$



2.2 丝式热导传感器

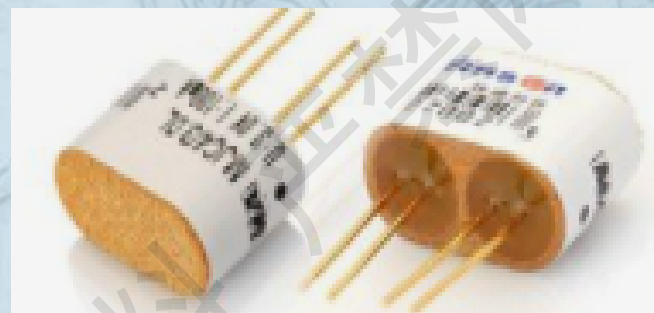
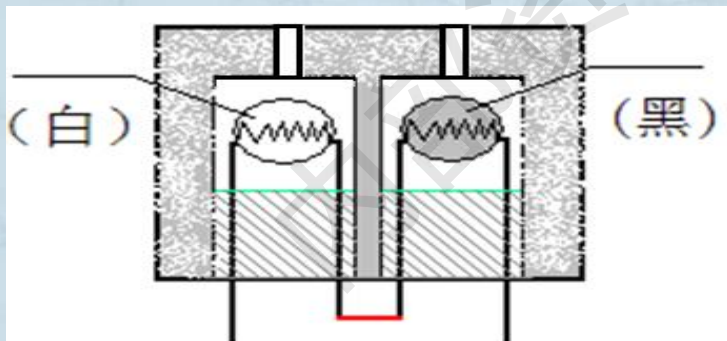
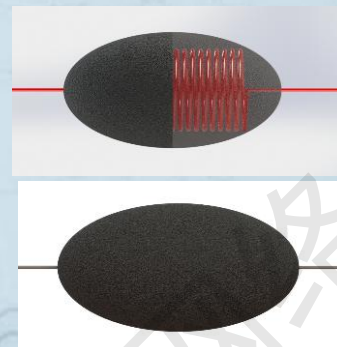
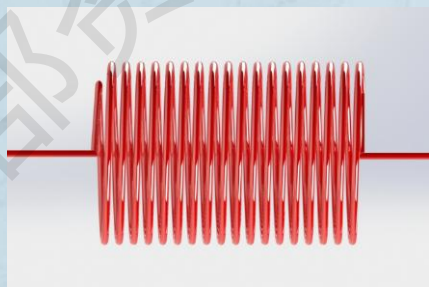
影响热导传感器灵敏度的因素

- 桥路工作电流的影响
- 热导池体温度的影响
- 载气的影响
- 热丝元件阻值的影响

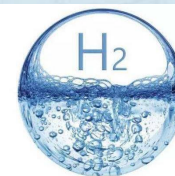


2.3 热丝催化气体传感器

被测可燃性气体到达传感器表面与吸附氧发生剧烈的燃烧反应，放出大量的热，导致热丝（一般为铂金属丝）电阻发生变化，通过检测热丝电阻的变化实现对气体的检测。



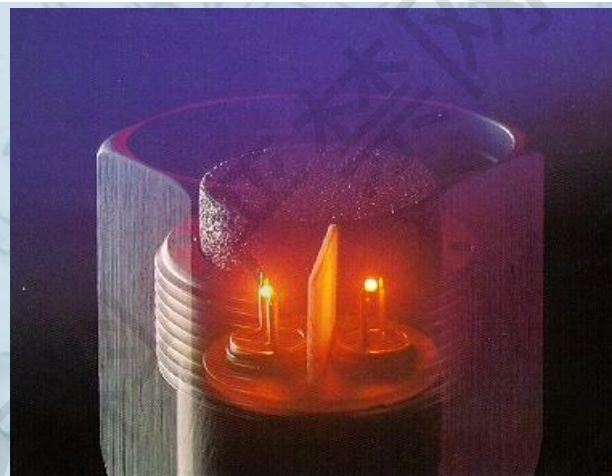
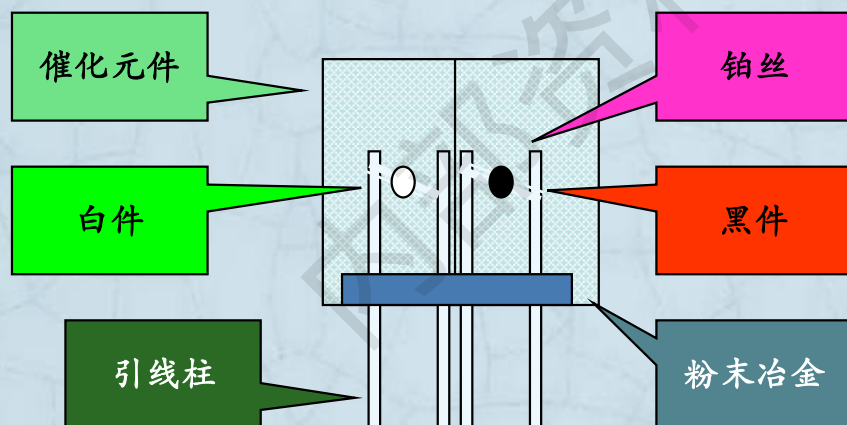
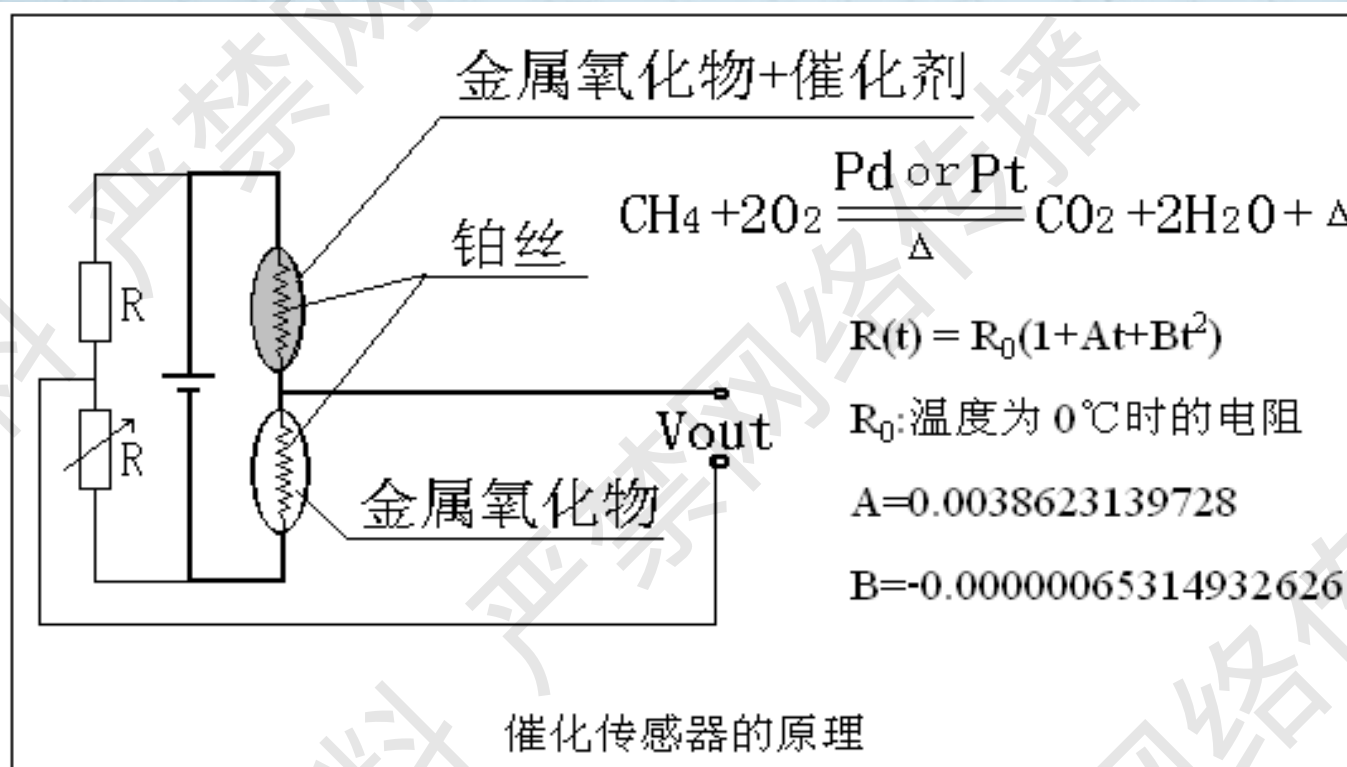
2.3 热丝催化气体传感器



H2???

掌握：

工作原理



2.3 热丝催化气体传感器

催化剂的解离原理：

吸附：反应物分子吸附在催化剂表面上，反应物分子的电荷分布和分子结构被改变，使其易于发生化学反应。

活化：反应物被催化剂吸附后，通过提供电子、拆解化学键或引发分子之间的电荷转移等方式，使反应物吸附的能量减小，从而激励分子发生化学反应。

反应：在催化剂的表面上形成中间体并进行反应，也就是催化剂促进反应物发生化学变化，从而转化为所需的产物。

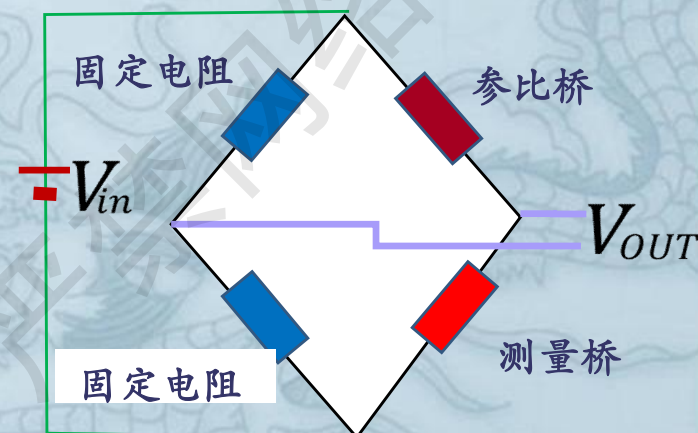
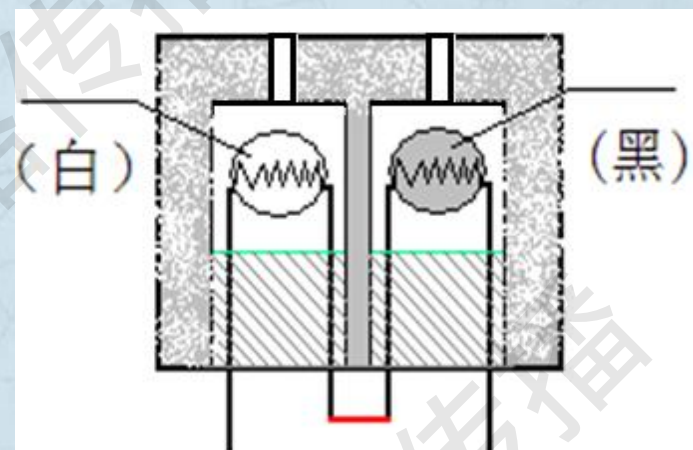
解离：产物离开催化剂表面，以便催化剂再次吸附新的反应物分子。解离过程使得催化剂能够持续发挥作用，促进更多的反应进行。通过这四个步骤，催化剂有效地降低了化学反应的活化能，使得反应在相对不苛刻的环境下也能进行，从而显著改变了反应速率。

2.3 热丝催化气体传感器

掌握

丝式催化传感器工作过程

- 将一定量的工作电流通过Pt 丝，同时将两只元件加热到催化剂的起燃温度 $300\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 当载体催化元件在充足的氧气条件下遇到 CH_4 时，就会在元件表面发生无焰燃烧，温度上升，而补偿元件不发生反应，温度不变。
- 利用电桥输出值与敏感元件阻值变化量 ΔR 成正比的关系，放大输出电压信号后即可推动显示部件进行报警，达到检测 CH_4 浓度的目的。



2.3 热丝催化气体传感器

敏感元件:

- 载体外涂覆或浸渍上Pt-Pd催化剂，载体由白色变成活性棕黑色，烧结后称为敏感元件，俗称黑元件

补偿元件:

- 载体外涂覆或浸渍上 Pt - Pd 催化剂，载体由白色变成活性棕黑色，烧结后称为敏感元件，再次涂覆铅离子盐溶液，烧结后称为补偿元件，俗称白元件

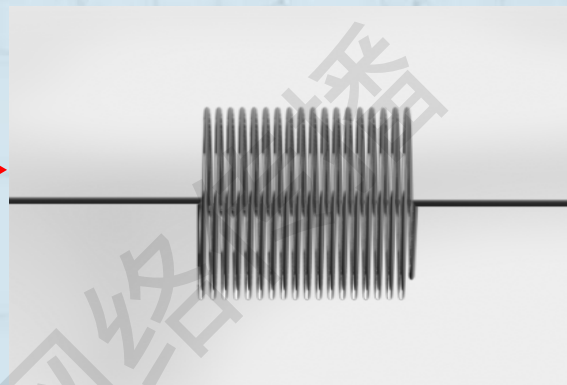
敏感元件+补偿元件=催化气体传感器

- 阻值相近的黑白元件选配连接后和补偿电阻一起构成惠斯登电桥，装上元件帽，经过灌封处理成为实用的可燃气体传感头。

2.3 热丝催化气体传感器

2、制造

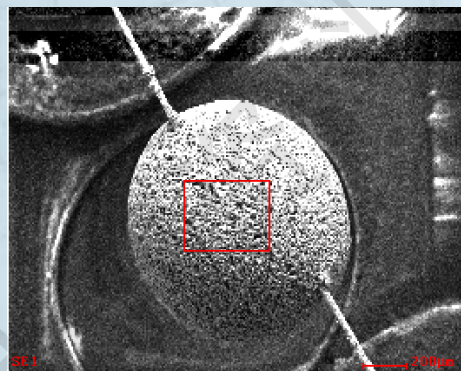
绕丝



点焊



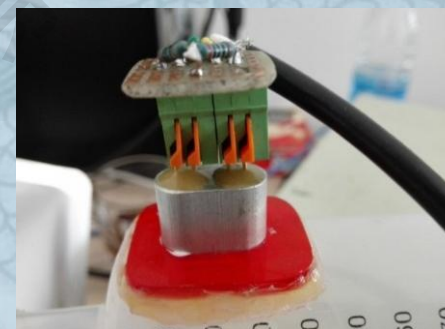
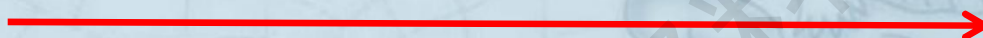
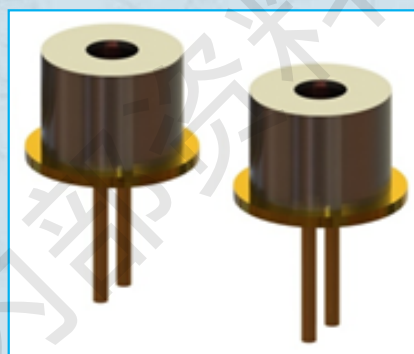
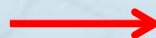
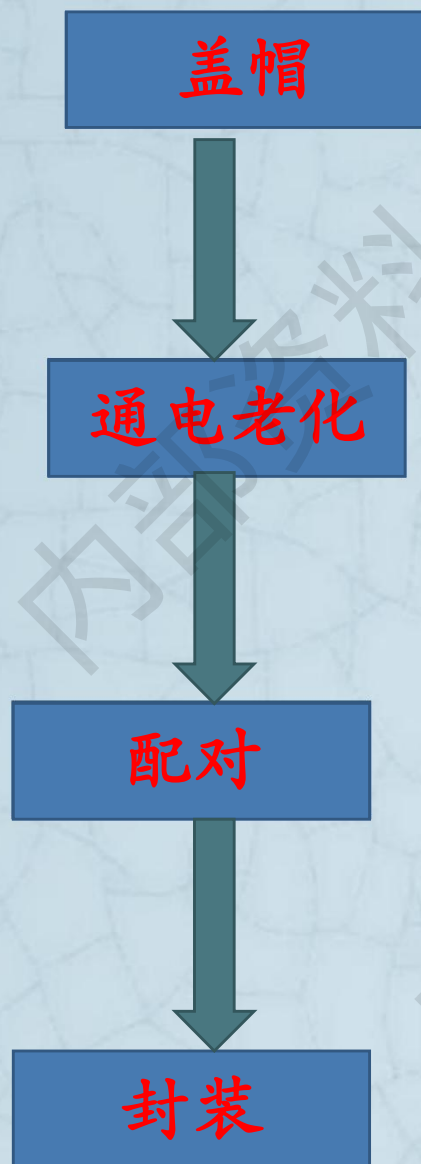
点浆粉



烧结



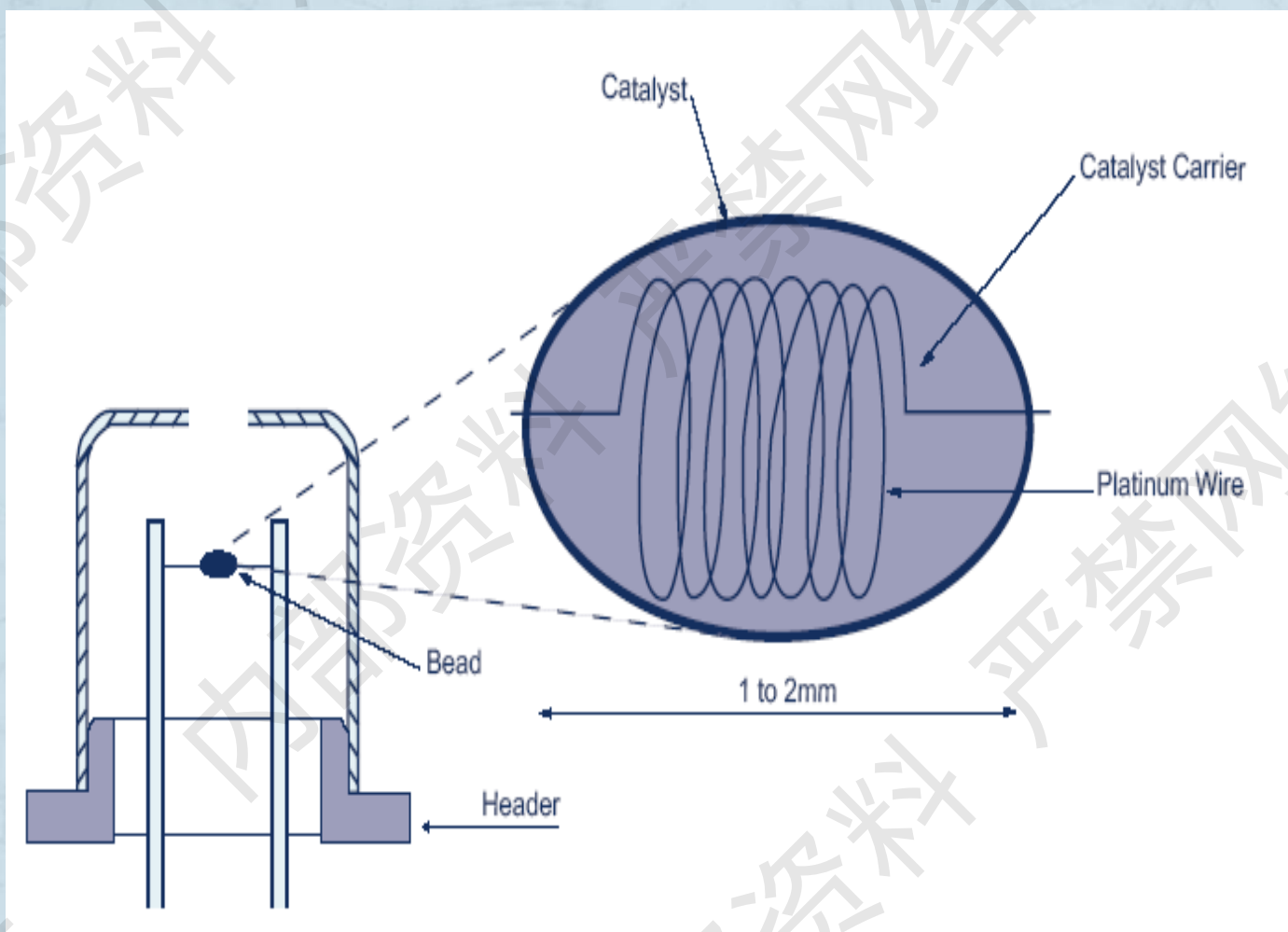
2.3 热丝催化气体传感器



2.3 热丝催化气体传感器

热丝材料及结构设计

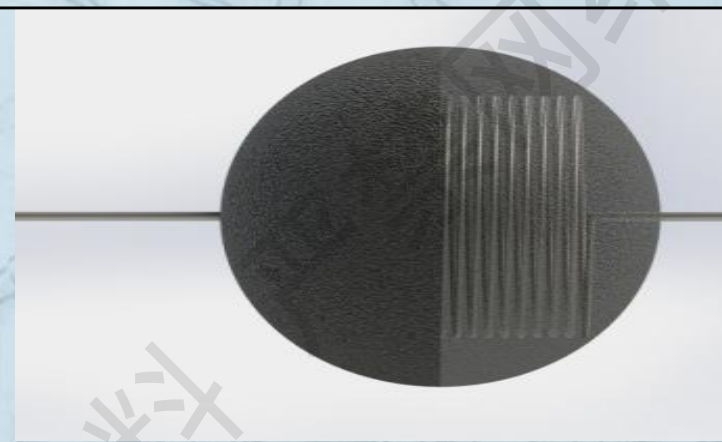
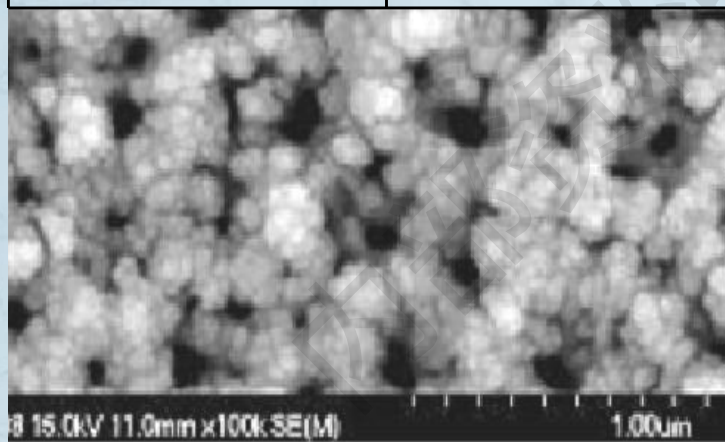
以 Φ 0.02 ~ 0.04 mm 铂丝, 螺旋圈为骨架



2.3 热丝催化气体传感器

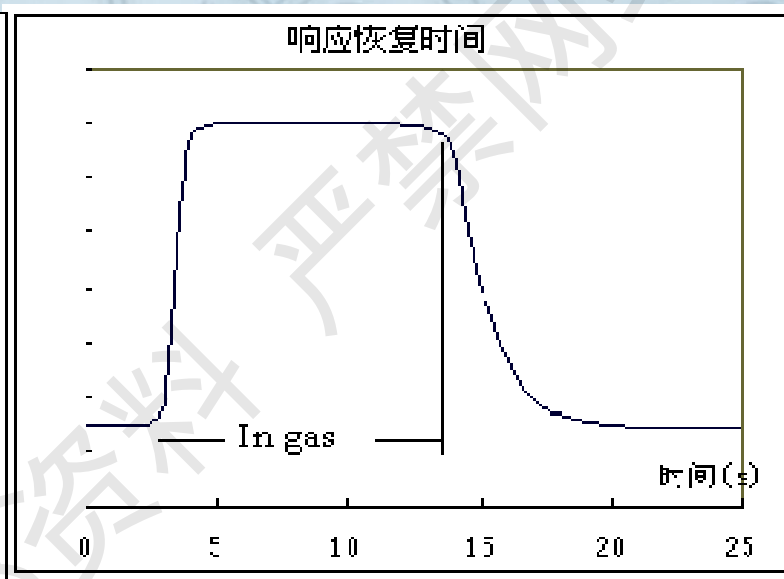
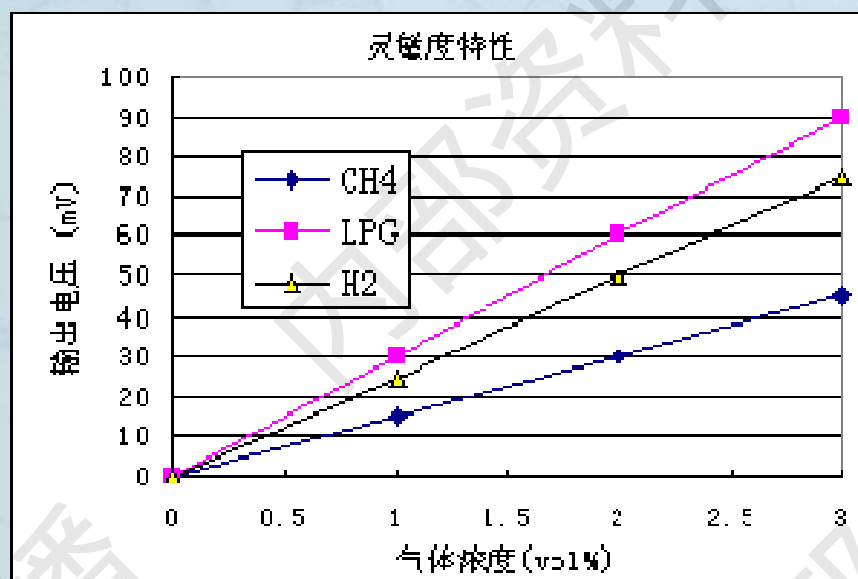
载体材料+催化剂:

材料名称	绝缘性	比表面积	密度	耐热度	催化活性
纳米碳	好	大	低	500°C	低
纳米 $\gamma-Al_2O_3$	好	大	低	900°C	高
纳米 $\alpha-Al_2O_3$	好	小	低	2000°C	低
催化剂	氯铂酸-----Pt				
催化剂	氯钯酸-----Pd				



2.3 热丝催化气体传感器

催化气体传感器防爆封装结构



2.3 热丝催化气体传感器

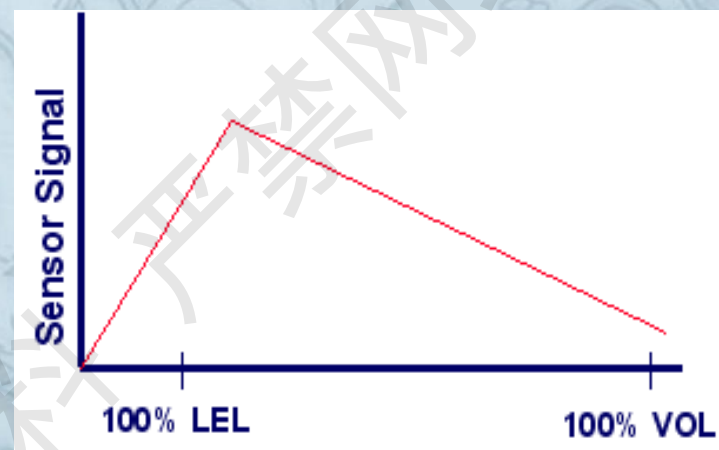
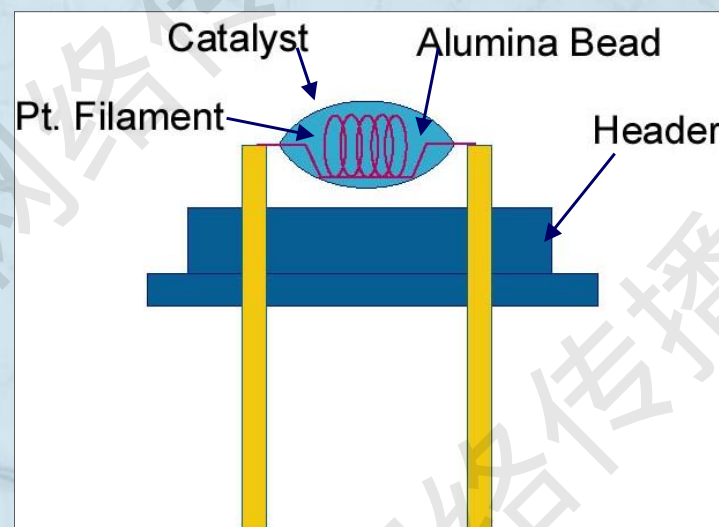
催化气体传感器与热导传感器的区别

- (1) 催化气体传感器可实现环境温、湿度自补偿；
热导传感器只能实现环境温度自补偿；
- (2) 催化气体传感器的铂电阻丝外部烧结金属氧化物并涂覆催化剂；
热传导传感器裸露在外；
- (3) 催化气体传感器通过催化燃烧放热使铂电阻丝的阻值增加
热导传感器通过热传导使铂电阻丝的阻值降低；
- (4) 催化传感器气体检测浓度范围0-爆炸极限，精度高
热导传感器气体浓度检测范围0-100%，精度低。

2.3 热丝催化气体传感器

热丝催化传感器缺点

- ◆ 催化元件功耗较高；
- ◆ 需要较频繁的标定；
- ◆ 需要在充足的氧气环境中工作（二值性）；
- ◆ 元件寿命相对较短



2.3 热丝催化气体传感器

掌握：

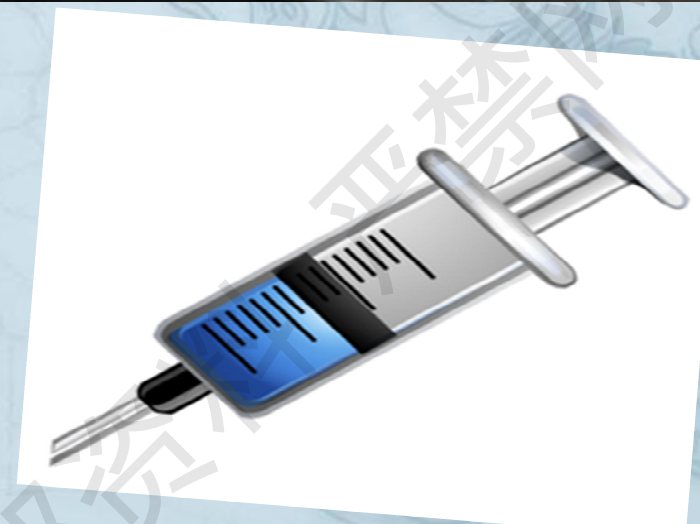
动态气体校准



2.3 热丝催化气体传感器

掌握：

静态气体校准

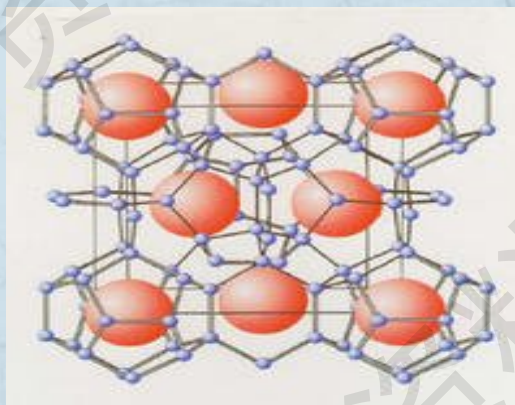


2.4 气体传感器的应用

(1) 海底可燃冰检测应用

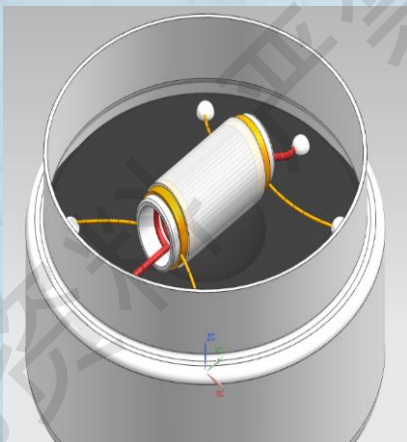
全球能源供应紧张与人口迅速增长的矛盾日益突出的情况下，开发海洋能源是历史发展必然需求，海底油气资源勘探已成为沿海国家的重要经济活动内容，开发海洋可燃冰原位探测技术具有现实意义。

快响应、全量程传感器集成设计；多功能敏感芯片制造；变氧浓度、大压力、高湿环境下、油气（甲烷）气体智能识别技术。



2.4 气体传感器的应用

半导体气体传感器可燃冰检测80ppb-1000ppm



催化气体传感器可燃冰检测200ppm-40000ppm

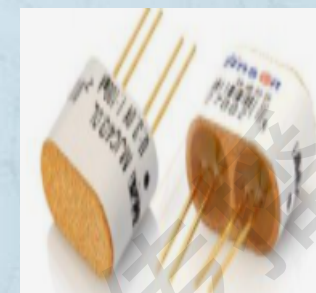
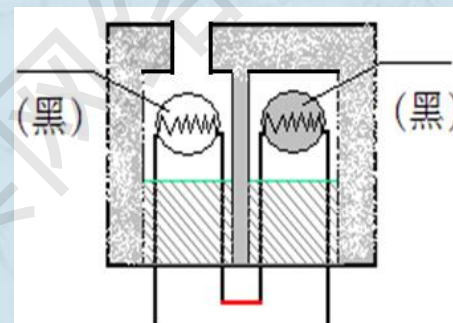
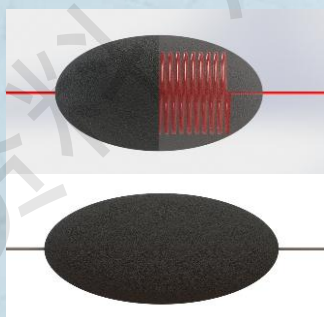
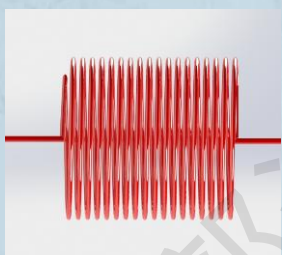


2.4 气体传感器的应用

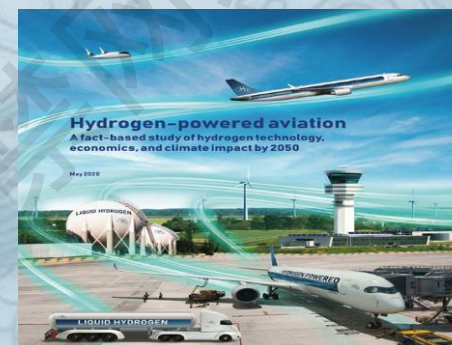
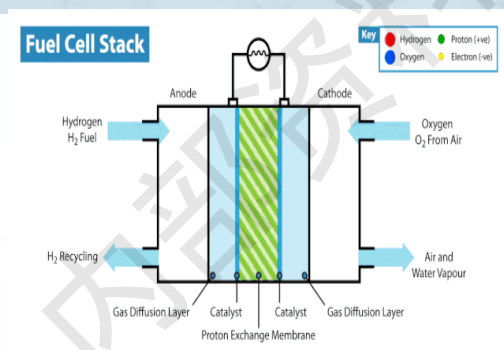
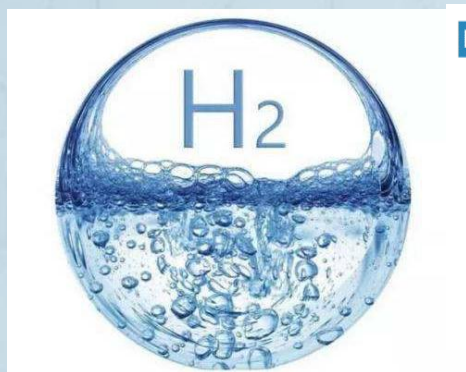
(2) 氢检测应用

测量范围：0~100%

参考气：N₂+O₂



欧洲计划 2035 年实现
氢能源客机商业化



氢气安全检测仪器

2.4 气体传感器的应用

(3) 瓦斯传感器



2.4 气体传感器的应用

(4) 气相色谱仪



指用气体作为流动相的色谱分析仪器。样品在气化室气化后被惰性气体即载气带入色谱柱内，并在色谱柱内运动分开流出。组分流出色谱柱后进入检测器被测定，常用的检测器有**氢火焰检测器(FID)**、**火焰光度检测器(FPD)**、**热导检测器(TCD)**等。**热导 (TCD)检测器**是一种通用的非破坏性浓度型检测器，是实际应用最多的气相色谱检测器之一，利用不平衡电桥输出电位进行气体浓度检测。

特点：性能稳定，灵敏度适宜，线性范围宽，对各种能作色谱的物质都有响应，最适合作微量分析(ppm级)。适于其他检测器无法检测的氧、氮、一氧化碳、二氧化碳等气体。