

## 第四章 非接触测温方法和仪表

- 感受件不需要与被测介质接触，称非接触测温方法
- 基本原理：黑体的辐射出射度与温度有单值函数关系，通过测全辐射体的辐射出射度对应出温度（辐射高温计）。
- 优点：
  - 仪表不破坏被测介质的温度场
  - 感温件不必和被测介质达到平衡，仪表滞后小。
  - 理论上仪表测温上限不受限制。感受元件不必与被测介质达到同样温度值，因此测温部件不被高温破坏。

# 第四章 非接触测温方法和仪表

## 主要内容

❖ 第一节 辐射测温的基本原理

❖ 第二节 单色辐射高温计

❖ 第三节 辐射温度计

❖ 第四节 比色高温计

❖ 第五节 红外温度计

# 非接触式温度检测仪表

原理：物体的辐射能随温度变化而变化

任何物体受热后都特有一部分的热能转变为辐射能，温度越高，则发射到周围空间的能量就越多。

辐射能以波动形式表现出来，其波长的范围极广，从短波、x光、紫外光、可见光、红外光一直到电磁波。

而在温度测量中主要是可见光和红外光，因为此类能量被接收以后，多转变为热能，使物体的温度升高，所以就称为热辐射。

# 第一节 辐射测温基本原理

## 一、黑体的光谱辐射出射度 $M_{0\lambda}$ 和辐射出射度 $M_0$

### 1 光谱辐射出射度 $M_{0\lambda}$

#### 普朗克定律

$$M_{0\lambda} = c_1 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} \quad (1)$$

第一辐射常数 $C_1 = 3.741832 \times 10^{-6} \text{W} \cdot \text{m}^2$ ;

第二辐射常数 $C_2 = 1.438786 \times 10^{-2} \text{W} \cdot \text{m}^2$ ;

### 2 辐射出射度 $M_0$

#### 斯忒藩—玻耳兹曼定律

$$M_0 = \int_0^\infty c_1 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} d\lambda = \sigma T^4 \quad (2)$$

黑体的斯忒藩-玻耳兹曼常数 $\sigma = 5.67032 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;

## 维恩公式

取两个不同波长 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ ，则在这两个特定波长上的辐射能之比为：

$$\frac{M_{0\lambda_1}}{M_{0\lambda_2}} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-5} e^{\frac{C_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} \quad (3)$$

它表明 $\varphi(T)$ 是温度 $T$ 的单一函数。

由式(1)~式(3)可求出对应的温度。

## 二、灰体的光谱辐射出射度 $M_\lambda'$ 和辐射出射度 $M'$

### 1) 比辐射率(又称黑度、发射率)

热辐射体温度在 $T$ 时所有波长范围内的辐射出射度 $M_\lambda'$ 与同温度下黑体的辐射出射度 $M_0$ 之比,

$$\varepsilon = \frac{M'}{M_0}$$

### 2) 光谱比辐射率(又称光谱黑度、光谱发射率)

热辐射体温度在 $T$ 时的单色辐射出射度 $M_\lambda'$ 与同温度、同波长时的黑体的单色辐射出射度 $M_{0\lambda}$ 之比,

$$\varepsilon_\lambda = \frac{M'_\lambda}{M_{0\lambda}}$$

### 3) 灰体

若某物体的光谱黑度 $\varepsilon_\lambda$ 不随波长的变化而变化, 则该物体称为灰体

$\varepsilon_\lambda$  和  $\varepsilon$  都是小于1的常数。

### 三、实际物体的光谱辐射出射度 $M_\lambda$ 和辐射出射度 $M$

1) 普朗克定律:

$$M_\lambda = \varepsilon_\lambda c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} = f(\lambda, T)$$

2) 斯忒藩—玻耳兹曼定律

$$M = \varepsilon \sigma T^4 = F(T)$$

3) 维恩公式

$$\frac{M_{0\lambda_1}}{M_{0\lambda_2}} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-5} e^{\frac{C_2}{T}(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1})} = \Phi(T)$$

光谱发射率 $\varepsilon_\lambda$ 和发射率 $\varepsilon$ , 其值在0-1之间, 都**不是常数**, 用**实验**的方法测定。

辐射测温主要有三种方法：

### ①全辐射法

测出物体在**整个波长范围内的**辐射能量 **$F(T)$** ，并以其发射率 $\varepsilon$ 校正后确定被测物体的温度。

### ②亮度法

测出物体在**某一波长(实际上是一个波长段 $\lambda \sim \lambda + \Delta\lambda$ )**的辐射能量 **$f(T)$** ，并以其光谱辐射率 $\varepsilon_\lambda$ 校正后确定被测物体的温度。

### ③比色法

测出物体在**两个特定波长段上**的辐射能比值 **$\Phi(T)$** ，并以其光谱辐射率 $\varepsilon_\lambda$ 校正后确定被测物体的温度。



## 第二节 单色辐射高温计

- 光学高温计
- 光电高温计

## 第二节 单色辐射高温计

### 一、光学高温计

#### 1 基本工作原理:

由普朗克定律知道，物体的光谱辐射出射率 $M_\lambda$ 与温度有关，而物体在高温下会发光，称亮度，因亮度 $L_\lambda$ 与光谱辐射出射率 $M_\lambda$ 成正比，故通过测物体亮度 $L_\lambda$ 可求物体的温度。

$$L_\lambda = cM_\lambda = c\varepsilon_\lambda M_{0\lambda} \quad c-\text{比例常数。}$$

#### 2 由亮度标注温度时需解决的问题：亮度温度

**1) 问题提出：**同样亮度 $L_\lambda$ ，由于物体 $\varepsilon_\lambda$ 不同，所以物体对应的温度是不同。因此某一亮度下仪表应对应标注何种温度？

**2) 解决办法：**仪表标注的是黑体对应的温度 $T_s$ ，即亮度温度，实际物体的真实温度要进行修正。

## 第二节 单色辐射高温计

### 一、光学高温计

#### 2 由亮度标注温度时需解决的问题：亮度温度

3)亮度温度 $T_s$ ：当物体在辐射波长为 $\lambda$ ，温度为 $T$ ，其光谱辐射亮度 $L_\lambda$ 和黑体在辐射波长为 $\lambda$ ，温度为 $T_s$ 时的光谱辐射亮度 $L_{0\lambda}$ 相等，则把 $T_s$ 称为这个物体在波长 $\lambda$ 下的亮度温度。

4)由亮度温度 $T_s$ 如何求物体的真实温度 $T$

已知物体的辐射发射率 $\varepsilon_\lambda$ ，将维恩公式代入：

$$L_\lambda = c\varepsilon_\lambda c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$
$$L_{0\lambda} = cc_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_s}}$$

两者的亮度相等，故：

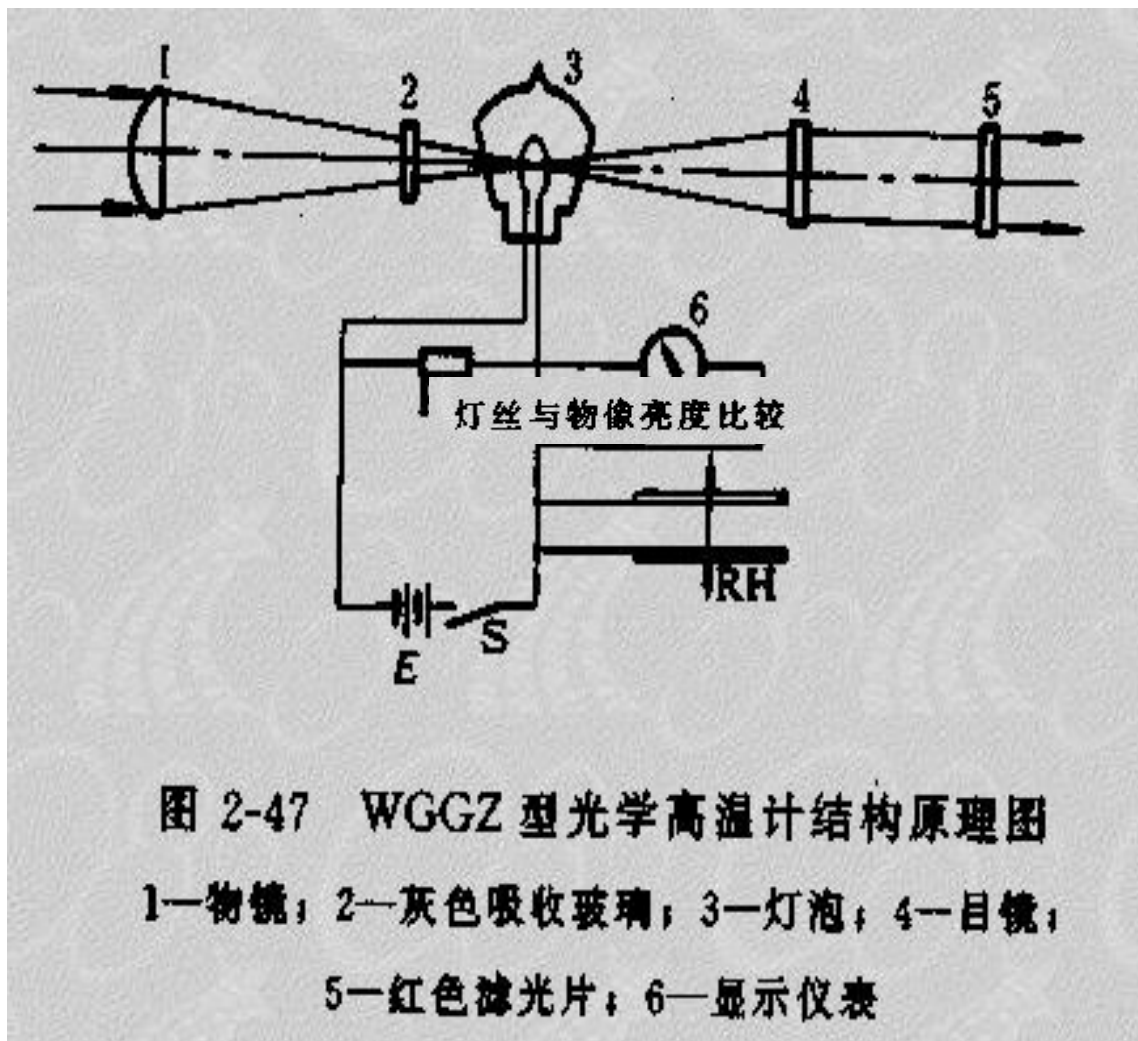
$$\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{c_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_\lambda}$$

注：  $0 < \varepsilon_\lambda < 1$ ，测得的亮度温度总是低于真实温度， $\varepsilon_\lambda$ 越小，亮度温度与真实温度的差别越大。

## 第二节 单色辐射高温计

### 二、光学高温计的结构和工作原理

#### 1 结构



## 第二节 单色辐射高温计

### 二、光学高温计的结构和工作原理

#### 2 工作原理



由于人眼是感受件，只能看到可见光，这限制了被测物体的温度不能低于**700℃**

(a) 灯丝亮度低；(b) 灯丝亮度偏高；  
(c) 灯丝和物象亮度一致（灯丝隐灭）

### 三、使用光学高温计时的注意事项

#### (1) 减少 $\epsilon_\lambda$ 的影响:

光谱发射率 $\epsilon_\lambda$ 不是常数，给测量带来误差。尽量创造全辐射体的辐射条件。

#### (2) 由于中间介质的影响：光学高温计不要距离被测物体太远，一般应在**1—2m**之内比较合适。

#### (3) 光学高温计不宜测反射光很强的物体，容易造成大误差

#### (4) 光学高温计的测量准确度比热电偶、热电阻低，并不能测物体内部温度。



## 第二节 单色辐射高温计

### 四、光电高温计

- 1 光学高温计的问题：测量时要手动平衡亮度；人判定平衡点，平衡点还可能因人而异；故它不是连续性测量仪表，应用受限制。
- 2 其工作原理：**光电器件代替人眼**，作为仪表的感件感受辐射源的亮度变化，并转换成与亮度成比例的电信号。

此信号经电子放大器放大后被测量，其大小对应被测物体的温度。光电高温计时自动连续测温仪表。



3 缺点：光学元件互换性很差，更换元件时，整个仪表要进行重新调整和分度。

#### 4 优点

(1) 无  $700^{\circ}\text{C}$  的下限。因光电器件可感受可见光，红外光波长

(2) 分辨率高，光学高温计最高为  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，而光电高温计可达  $0.01\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ ；

(3) 精确度高，由于采用性能良好的单色器

(4) 可连续自动测量，响应快。

# 光学高温计 光电高温计

测 $f(T)$

采用人眼或光电元件为敏感元件，感受辐射源的亮度变化，并根据物体亮度与温度的关系确定温度的高低。

使用时需注意：

◆对测量距离有要求

◆温度计显示值 $T_s$ ，被测物体的实际温度 $T$ 应为：

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_s} + \frac{\lambda}{C_2} \ln \varepsilon_\lambda$$

仪器机构复杂，接受的能量较小。

但抗环境干扰的能力较强，有利于提高测量的稳定性。

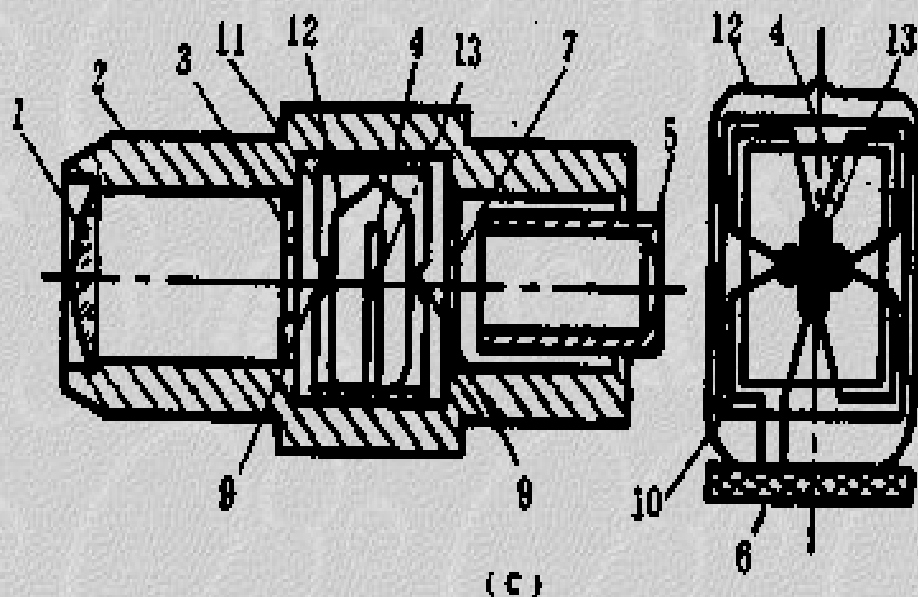
### 第三节 辐射温度计

#### 一、基本工作原理

根据全辐射定律制成的温度计，即全部波长的辐射能 $M_0$ ， $\longrightarrow$  温度 $T$ 。

#### 二、辐射温度计的结构和原理

热电堆的作用？



1—物镜；2—外壳；3—光栏；4—热电堆；5—目镜；6—输出端子；7—保护玻璃；  
8—反射镜；9—小孔；10—云母片；11—铜壳；12—玻璃泡；13—铂黑片

被测物体的辐射能经物镜聚焦在铂箔上，使铂箔温度升高，由热电堆测其温度输出热电势信号。热电堆由几支同样的热电偶同向串联，其目的是增加输出的热电势，提高灵敏度。

# 三 辐射温度

## 第三节 辐射温度计

- 1) **问题：**由于物体的 $\varepsilon$ 的不同，同一辐射出射度 **$M$** ，在不同物体对应不同温度，所以**显示仪表上标注的是仪表是辐射温度**（绝对黑体对应的温度）
- 2) 辐射温度：被测物体真实温度为 $T$ ，其对应的辐射出射度 **$M$** ，绝对黑体在温度 $T_p$ 时的辐射出射度 **$M_0$** ， **$M=M_0$** ，温度 $T_p$ 称为“辐射温度”
- 3) **辐射温度低于被测物体的实际温度。**

$$\varepsilon \sigma T^4 = \sigma T_p^4$$

$\varepsilon$ 为被测物体发射率

$$T = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}}$$

# 全辐射高温计      测 $F(T)$

使用时需注意：

①温度计和被测物体之间的距离是有限制的

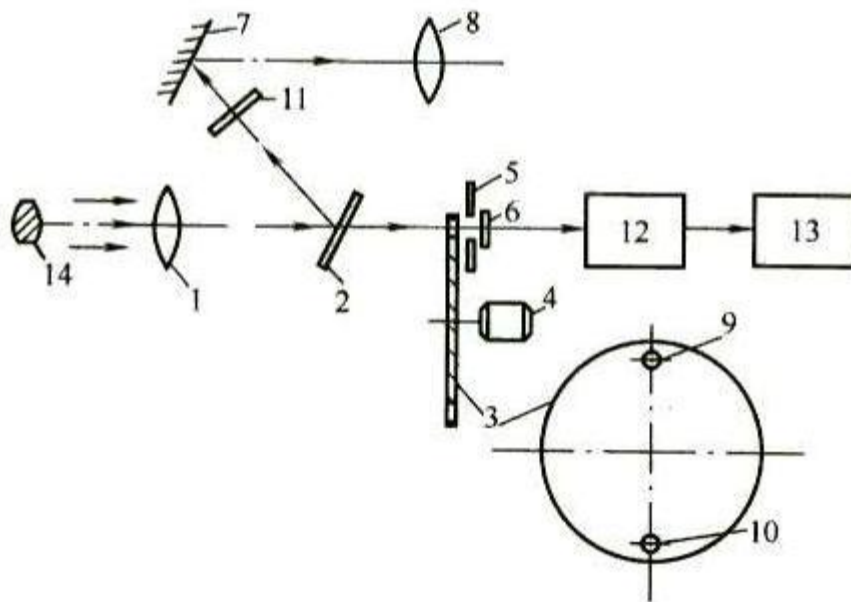
②温度计的显示温度 $T_p$ ，被测物体的实际温度 $T$ 应为：

$$T = T_p \sqrt[4]{1/\varepsilon}$$

接受的辐射能量大，有利于提高仪表灵敏度；  
仪表结构较简单，使用方便。

易受环境的干扰，对测量距离有较高要求。

## 第四节 比色高温计 测 $\Phi(T)$



温度计显示值 $T_c$ ，被测物体的实际温度 $T$ 应为：

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_c} + \frac{\ln \frac{\varepsilon_{\lambda_1}}{\varepsilon_{\lambda_2}}}{C_2 \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}$$

测量结果基本不受物体辐射率的影响

结构比较复杂，仪表设计和制造要求较高

# 温度测量复习总结

- ◆ 了解温度的基本概念，如温标、温标转换、水的三相点等；
- ◆ 掌握热电效应、热电势，掌握热电偶三大定律；
- ◆ 掌握热电偶测温原理：常用热电偶型号、分度表、热电特性、补偿导线、热电偶冷端补偿方法；
- ◆ 掌握热电偶测温计算问题；
- ◆ 掌握金属热电阻测温原理、常用热电阻型号、三线制连接法
- ◆ 了解半导体热电阻测温原理；
- ◆ 掌握辐射式高温计测温原理及各种高温计的指示温度与真实温度之间的关系；
- ◆ 掌握热电偶测温 and 热电阻测温的优缺点；
- ◆ 掌握接触式测温和非接触式测温的优缺点。