

第四节 测温实例

主要内容

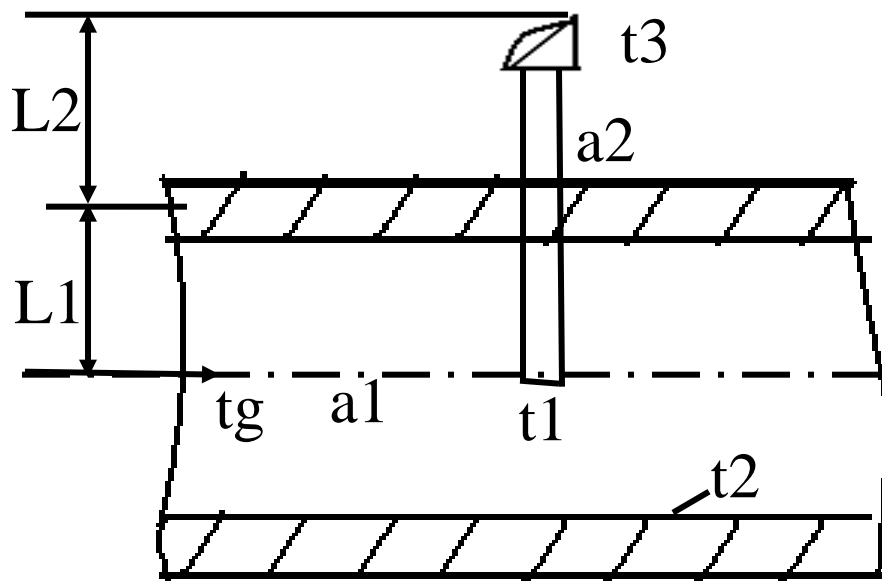
❖ 1 管内流体温度测量

❖ 2 壁面温度测量

❖ 3 高温气体温度测量

1 管内流体温度测量

一、误差产生的原因：



$t_3 < t_g$, (传导散热)

t_2 (辐射换热忽略)

如管内流过的介质是气(汽)体，测温管附近无低温冷壁，管道外敷有绝热层，管道内壁温度较高， t_g 不太高

$$t_g - t_1 = \frac{t_g - t_3}{ch(b_1 L_1) \left[1 + \frac{b_1}{b_2} th(b_1 L_1) cth(b_2 L_2) \right]}$$

1 管内流体温度测量

一、误差产生的原因：

$$t_1 - t_g = \frac{t_g - t_3}{ch(b_1 L_1) \left[1 + \frac{b_1}{b_2} th(b_1 L_1) cth(b_2 L_2) \right]}$$
$$b_1 = \sqrt{\frac{a_1 U_1}{\lambda_1 F_1}} \quad b_2 = \sqrt{\frac{a_2 U_2}{\lambda_2 F_2}}$$

式中： a_1, a_2 管内外介质对测温管之间的放热系数， λ_1, λ_2 管内外两段测温管的热导率， $\lambda_1 = \lambda_2$ ， U_1, U_2 两段测温管的截面周长， $U_1 = U_2 = \pi d_1$ ， F_1, F_2 管内外两段测温管的截面积， $F_1 = F_2$ ， L_1, L_2 管内外测温的长度

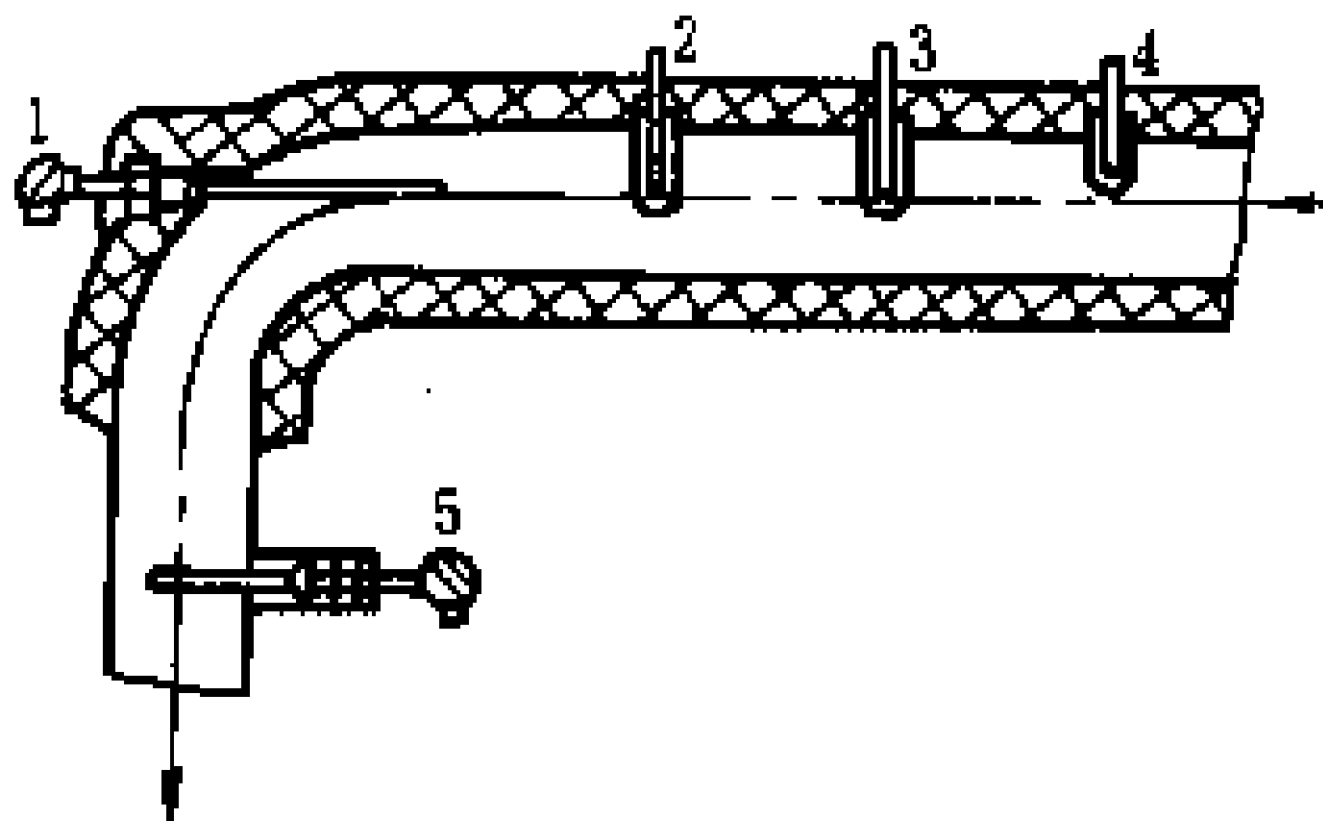
二、减少误差的方法

增加流体与传感件的换热，减少散热

- 1) 在测温管向外散热的情况下，误差不可能等于零
- 2) 感受件放在管道流体速度最高的地方，即管道中心的轴线上。 a_1 放热系数增加， b_1 增加。
- 3) 使测温管做成外形细长而壁厚很薄的形状。壁厚 δ 小，外径 d_1 小， U_1/F_1 增加使 b_1 增加。
- 4) 测温管常用导热性质不良的材料如陶瓷，不锈钢等来制造。测温材料的热导率 λ_1 小，则 b_1 增加。（但这类材料增加导热阻力，使动态测量误差增加）

二、减少误差的方法

- 5) 把露出管道外面的部分用保温材料包起来。使管道中流体与管外介质的温差 $t_g - t_3$ 减小。
- 6) L_1 增加，误差减小， L_2 减少，误差减小。



2 壁面温度测量

- 较多采用热电偶测壁面温度。因为热电偶有较宽的测温范围，较小的测量端，能测点的温度，准确度较高。
- 但热电偶也是接触式测温法，破坏了被测表面的温度场，因此产生误差。

一、热电偶导热误差

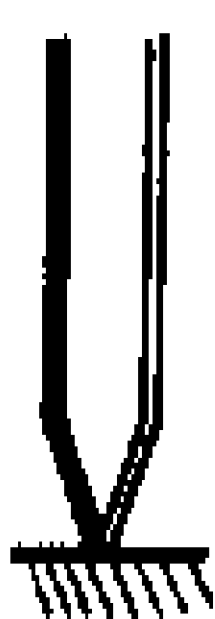
二、热电偶的接点的导热误差



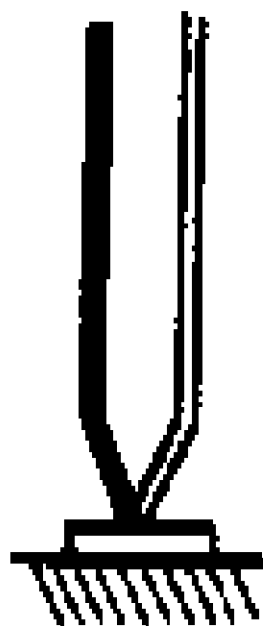
一、热电偶导热误差

1 热电偶与被测表面的接触方式：

- a) **点接触**，热电偶的热端直接与被测表面接触
- b) **面接触**，热电偶的热端与导热性能良好的铜片焊接在一起，金属片与被测面接触
- c) **等温线接触**，热电偶的热端与被测表面直接接触，热电极从热端引出时沿表面等温敷设一段距离（约**50**倍热电极直径）后引出，热电极与表面用绝缘材料隔开。
- d) **分立接触**。两热电极分别与被测表面接触，通过被测表面构成回路



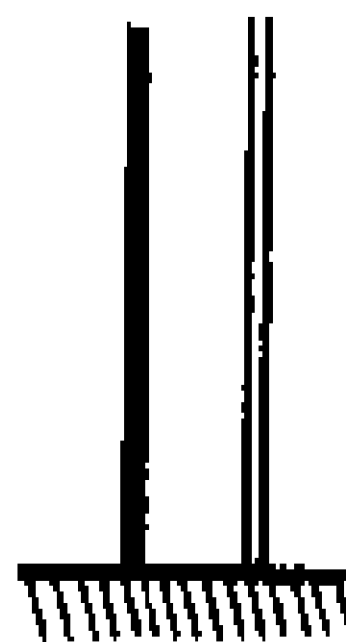
(a)



(b)



(c)



(d)

一、热电偶导热误差

2 四种接触方式的导热误差

- (1) 将热量集中在一点散失，d) 将热量分散在两点上，b) 散失的热量由金属片和接触表面一起分摊。
- (2) 故在相同外界条件下，a) 的导热误差最大，d) 次之，b) 较小，c) 的两热电极的散热量虽然也集中在较小的区域，但由于热电极已与被测表面等温敷设一段距离后才引出，散热量主要由等温敷设段供给的，热端的温度梯度比另外三种小的多，所以测量误差最小。

一、热电偶导热误差

3 误差还与被测表面的导热能力有关。

如被测固体壁面材料为玻璃、陶瓷等导热性差的物质，采用**1**) 误差大，采用**2**) 误差小，因为金属片的导热性能好。当金属片有较大的面积时，导走相同的热量所需的温差会大大减小，热电偶的温度不会降太多。

4 热电偶直径粗，散热损失大，热端温度改变大，直径细，热端温度改变小。

5 壁面上方气流速度增大热端温度改变大。

6 测量管壁厚度增大，测量误差小。热电极导出的热量，很快由管壁的其它部分补充了。



二、热电偶的接点的导热误差

热电偶固定在被测表面的三种方法

球型焊，交叉焊（重叠焊），平行焊

(1)球形焊：将热电偶球形热端的两热电极与被测表面焊在一起。

- 缺点：一个点上有两个热电极同时导热，有较大的导热误差
- 减小此误差的方法：热电极要细，焊点尽量小，必要时可把焊点压平。

二、热电偶的接点的导热误差

(2) 交叉焊（重叠焊）：导热性好的热电极与被测表面焊在一起，然后将导热性差的热电极交叉叠焊在焊点表面上，再次焊接。

- 两热电极交叉处的温度为指示温度 t_2 ， t_2 和表面温度 t_1 有差值。
- 如将导热性能较好的热电极紧靠在被测表面，可使 t_2 比较接近 t_1 。交叉焊的导热误差比球形焊小。

二、热电偶的接点的导热误差

(3) 平行焊：将两热电极分别平行焊在被测表面上，在两焊点之间保持一段距离（对等温导体表面一般约为**1—5**）。

—适用于等温表面温度测量。

—平行焊两电极分两点焊在固定体表面，没有交叉点离开壁面的问题，故没有接点导热误差。

- **测温相对误差：球形焊最大，交叉焊次之，平行焊最小**



3 高温气体温度测量

测量锅炉的烟气温度，测温管会向附近的低温受热面辐射散热，造成的测量误差。

一、降低沿测温管传导散热采取的措施：

- 选择合适的安装位置，确保烟气扫过测温管装在烟道内的整个部分。
- 提高测温管装设地点的烟气内壁的壁温，如也让烟气流过。
- 测温管装设部位外壁要敷较厚的绝缘层，使沿测温管的散热量减小。

采取上述措施后，可认为沿测温管传导散热而造成的误差接近零。

二、降低测温管辐射误差

测量误差主要有测温管辐射给管壁造成的，称为热辐射误差。（例子中过热器后烟气的温度的误差可达**-243 °C**）

1. 热辐射误差的数学描述

$$T_1 - T_g = -\frac{C_1}{a_1} (T_1^4 - T_2^4)$$

式中： $C_1 = \sigma \varepsilon_T$ 为辐射散热系数， σ 为全辐射体的斯忒藩—波耳兹曼常数，等于 **5.67032×10^{-8}** ， ε_T 为测温表面的总辐射发射率， a_1 为管内介质和测温管之间的放热系数， T_2 为管壁的热力学温度。

二、降低测温管辐射误差

2 误差大小的举例

1) 热辐射产生的误差很大:

如测量过热器后烟气的温度，温度计读数为 **500°C** ，附近冷表面平均温度为 **400°C** ，烟气对测温管的对流放热系数是 **$29.1\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$** ，测温表面的辐射散热系数是 **$4.65 \times 10^{-8}\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$** ，利用上式算得烟气的温度，误差达 **$-243^{\circ}\text{C}$** 。

2) 被测介质温度越高，此误差越达。实际上，公式中各参数不好确定，无法用上述方法修正误差。

二、降低热辐射误差

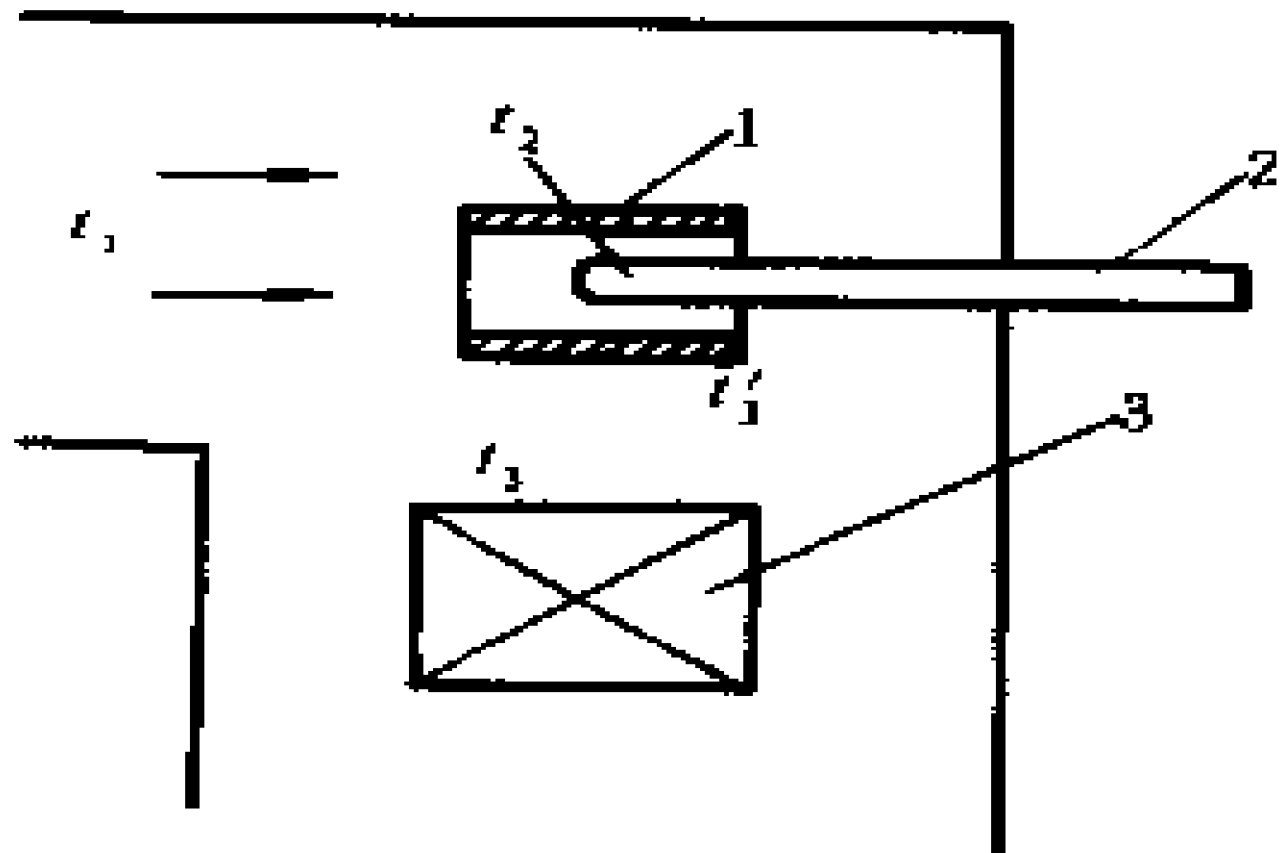
3 采取的措施

1. 热辐射误差与四次方差成正比，因此减少 T_1, T_2 之间的差别，

(1) 如加隔离罩，把测温管和冷的管壁隔离开。

原因：a 烟气直接流过并加热隔离罩的内外壁，隔离罩承担了对冷壁面辐射的任务。

b 另外隔离罩的壁面温度比冷壁面高得多，测温管和隔离罩的直接的温度差减小了。



二、降低热辐射误差

3 采取的措施

1. 减少 T_1, T_2 之间的差别。如采用隔离罩

(2) 采用隔离罩的注意事项:

由于测量误差为: $T_g - T = \frac{C_1}{a_1} (T^4 - T_3^4)$

隔离罩内壁要做得特别光亮, 以减小 C_1

(3) 加隔离罩的效果: 上例误差可减小到 -10°C

二、降低热辐射误差

3 采取的措施

- 应指出，装设隔离罩的困难：
 - 装设隔离罩后要保证气流顺利流过测温管
 - 隔离罩使用过程中会被污染加大表面粗糙度，使表面发射率增加，误差逐渐加大

2. 减小 C_1 ，即减小测温管的总辐射发射率 ε_T （ $C_1 = \sigma \varepsilon_T$, σ 为常量）

不同测温材料 ε_T 不同。陶瓷保护套管的大，耐热合金的较小，因高温下多用陶瓷保护套管，所以误差较大。

在短时间测温，可直接把铂铑—铂热电极裸露使用

二、降低热辐射误差

3 采取的措施

3. 采用双热电偶测温（粗细不同的两对热电偶），用计算方法消除辐射误差。

4. 增加气流和测温管之间的对流放热系数 α_1 。
将测量元件放在中心轴线上