

测量燃烧室内温度时的热辐射修正

西北工业大学 陆新鑫 谢菲尔德大学 彼·怀特

我们在进行某一环形燃烧室扇形试验件的试验研究时,用热电偶测量了燃烧室内的温度分布。一般来说,热电偶不能获得与热燃气同样的温度,这是因为热电偶和周围环境有着辐射能量的交换。通常是热电偶节点向冷的壁面辐射能量。在稳态时,燃气通过对流传热向热电偶节点提供能量来平衡这一损失。这就是说,热电偶节点测得的温度较燃气的真实温度要低,这一温差就是由辐射热损失造成的。下面介绍对此热辐射损失进行修正的一个简化方法。

在热燃气流中,热电偶节点的输入和输出能量应该相等。这时热电偶节点和燃气间的温度存在差别,就是要设法修正的温度误差。下面用有关的传热现象来分析这种平衡:(图1)

(1) 由热燃气向热电偶节点的对流传热

$$q_1 = hA_b (T_f - T_b) \quad (1)$$

(2) 由热电偶向周围环境(和反向)的辐射传热

$$q_2 = \sigma A_b (T_b^4 - \alpha T_w^4) \quad (2)$$

(3) 沿热电偶丝的导热传热

$$q_3 = d(kA_0 dT/dx)/dx \quad (3)$$

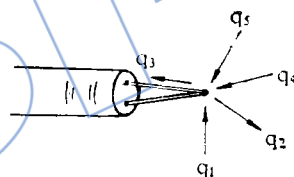


图1 热电偶节点的传热关系

(4) 至于热电偶节点表面化学反应对热电偶节点的传热 q_4 ,在低温时可以忽略,在高温下使用时,可在热节点上涂一层薄的二氧化硅来保护,以阻止在节点的金属表面进行催化反应。因此, q_4 仍可以略而不计;

(5) 由燃气流向热电偶节点的辐射传热 q_5 ,对于清洁的燃气可以忽略,但燃气中有悬浮粒子(例如烟尘)时,则不能忽略,应计入粒子辐射的能量。由于我们试验工作状态的燃料——空气比 $f = 0.014$,所以可以认为是清洁的燃气而忽略这一项。

假设周围壁面对于热电偶节点的辐射是呈黑色的,并处于恒定的温度。否则,确切的几何形状和壁面的温度分布必需加以考虑。对于热电偶节点的稳态方程可以写成

$$d(kA_0 dT/dx) dx + hA_b (T_f - T_b) - \sigma A_b (T_b^4 - \alpha T_w^4) = 0 \quad (4)$$

如果沿着热电偶丝的热传导量相对来说比较小,而不考虑则上述方程(4)中的第一项为0。又由于壁面温度和热电偶节点温度相比较小, $T_w^4 \ll T_b^4$,因而 αT_w^4 这一项也可以略去。方程(4)可写成

$$h(T_f - T_b) = \sigma \epsilon T_b^4 \quad (5)$$

对于圆柱形物体的传热,有如下关系^[1]。

$$Nu = hD_b/\lambda \approx 2.0 \quad (6)$$

这里的 λ 和 ε 都不是常数,而是温度的函数,为了数学上的简化,根据文献〔8〕取为

$$\lambda \approx \lambda_{\text{空气}} = 6.13 \times 10^{-5} T_f + 3.01 \times 10^{-2} (\text{W/m} \cdot \text{K}) \quad (7)$$

上式在 $770\text{K} \ll T_f \ll 2070\text{K}$ 范围内适用。

根据文献〔4〕取

$$\varepsilon \approx \varepsilon_{\text{铂丝}} = 9.63 \times 10^{-5} T_b + 0.05 \quad (8)$$

上式在 $500\text{K} \ll T_b \ll 1700\text{K}$ 范围内适用。

把(6)、(7)和(8)式代入(5)式,重新整理后可得燃气温度 T_f 的两次方程:

$$12.26 \times 10^{-5} T_f^2 + (6.02 \times 10^{-2} - 12.26 \times 10^{-5} T_b) T_f - (6.02 \times 10^{-2} T_b + D_b \sigma (9.63 \times 10^{-5} T_b + 0.05) T_b^4) = 0 \quad (9)$$

其中热电偶节点的直径 $D_b = 0.76\text{mm}$ (测得)。

对于试验数据进行热辐射修正时,有一个编制好的BASIC程序。当测得 T_b 时,立刻可以在微机上显示出 T_f 的值。 T_f 与 T_b 的关系如图2所示。由于 T_f 与 T_b 之间的差别是四次方的关系,因而,在更高温度下,对热辐射的修正显得更为重要。

图3绘出了燃烧室扇形件内部的修正后的温度分布(用 $\times$ 表示)。为了对照,图中也点出了由气体分析数据计算所得的温度(用 $\circ$ 表示),可以说两者是基本符合的。

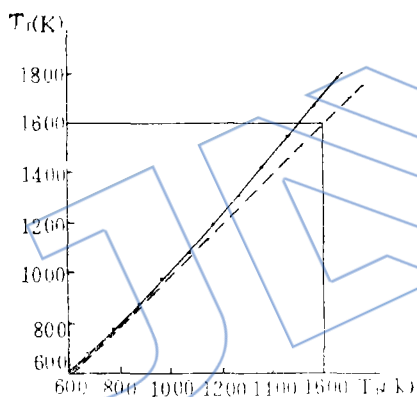


图2 修正后的燃气温度 T_f 与节点温度 T_b 的关系
(铂铑-铂热电偶, 节点直径 $D_b \approx 0.76\text{mm}$)

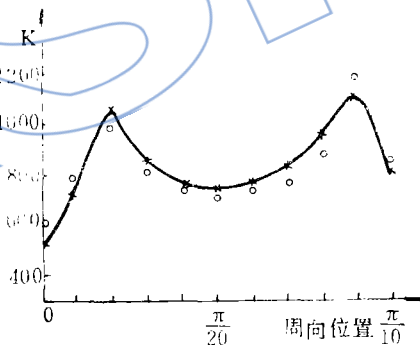


图3 离喷嘴120mm截面上扇形件内部的温度分布
 $\times$ ——修正值 $\circ$ ——根据气体分析计算值

参 考 文 献

- 〔1〕 Holman, J. P., "Heat Transfer", Mc Graw Hill, 1981.
- 〔2〕 Prior, D. S., Ph. D. Thesis, "Pollutant minimization by blue flame staged combustion", Sheffield University, 1976.
- 〔3〕 Perry, R. H., "Chemical Engineers Handbook", McGraw Hill, 1950.
- 〔4〕 McAdams, W. H., "Heat Transmission", McGraw Hill.
- 〔5〕 Jackson, T. A., "Evaluation of Fuel Character Effects on F101 Engine Combustion System", AD A077860, 1979.

(责任编辑 王华芳)

ferential equations can be discretized with finite difference schemes and solved with iterative method. But their convergence solution can be attained only with good estimates of initial conditions. Instead of empirical estimate of the initial conditions, an approach to specify the initial conditions is presented, based on the mathematical simulation of the forced ignition. In the result, the initial conditions can be determined computationally by setting a catalytic boundary in the combustion zone.

RADIATION CORRECTION OF MEASURING TEMPERATURE IN COMBUSTOR

Lu Xinli

(*Northwestern Polytechnical University*)

P. Wild

(*Sheffield University*)

Abstract

In tests of combustor heat loss arises from radiation in measuring temperature with a thermocouple. Therefore, it is necessary to make a correction for it. An approach to neglect some minor factors and to simplify some coefficients in the energy balance equation is recommended in this paper. A simplified calculation method is thus deduced for this correction. The temperatures corrected by this method quite agree with the temperatures calculated from gas analysis data.

A FORMULA FOR AVERAGE CONVECTIVE COEFFICIENT IN LAMINAR BOUNDARY LAYER OVER A PLATE WITH UNHEATED LEADING EDGE

Wang Baoguan

(*Nanjing Aeronautical Institute*)

Abstract

A dimensionless expression for average convective coefficient in laminar boundary layer over a flat plate with unheated leading edge is derived. By approximate integration, it is transformed into the following formula:

$$\overline{Nu}_L = 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} [1 - (x_0/L)^{3/4}]^{2/3}$$