

燃烧室新型席壁结构的壁温计算*

空军工程学院 何立明 西北工业大学 李长林**

【摘要】 建立了考虑壁面纵向导热的计算席壁壁温的七热流模型。提出了求解该模型的方法,并考虑物性参数随温度的变化等因素,据此,分别对设计状态和实验状态下的席壁火焰筒的内外壁温的分布进行了计算,并与原型气膜冷却的壁温分布及实验值进行了比较。计算结果表明,与实验值基本吻合,并表现出良好的冷却性能。其冷却空气量比原型节省 20% 左右,壁温明显低于原型,且沿轴向分布均匀,因而可望较大地提高火焰筒的使用寿命或涡轮前燃气温度。

主题词: 燃烧室衬套 壁温度 模型 计算

分类号: V235.113 TK474.9

1 引言

由于冷却技术的发展,使涡轮前燃气温度 T_3^* 有了突破性的提高,致使发动机性能得以较大地提高。但随着 T_3^* 和燃烧室温度 $T_{\text{燃}}$ 的提高,参与燃烧的空气流量随之增大,而参与掺混和冷却的空气量就相应地减少,为了得到适当的燃烧室出口温度分布,总是需要一些空气参与掺混用。这样,只有减少冷却空气用量,并更有效地使用冷却空气才行。同时,随着 $T_{\text{燃}}$ 的增大,使压气机出口温度升高,因而降低了冷却空气的潜在冷却能力。使得燃烧室壁的冷却变得更加严峻。因此,采用先进的冷却技术,以提高其冷却效果对于延长发动机的寿命是至关重要的。席壁结构的冷却特点是:壁面由宽度为 a 、厚度为 δ 的高温合金条,按一定的针法编织而成,并自然形成许多小的方冷却孔(图1)。冷却空气进入这些小孔冷却壁面,并在内壁面形成均匀气毯,对壁面实施更有效的保护。本文旨在分析该结构的换热机理的基础上,建立计算壁温的模型,并以某改型试验件为例,对其进行壁温计算,并与实验值进行了对比。

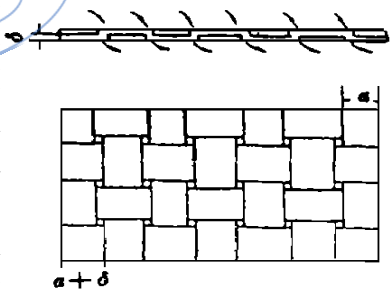


图1 席壁冷却结构示意图

2 席壁壁温计算模型及方法

2.1 席壁火焰筒壁温计算模型

燃烧室的传热如图2所示,针对本席壁火焰筒($a=3\text{mm}$, $\delta=0.6\text{mm}$)的特点,从换热机理和结构形式看比较趋近于发散壁冷却。同时为提高计算精度,在建立计算模型时,考虑壁面的

和多孔基体的几何结构。本席壁结构,实验值为: $\theta = 0.45 \sim 0.8$, $\eta = 0.35 \sim 0.7899$ 。

此外,壁面平均温度 T_w , 因火焰筒壁较薄,可认为是内外壁温的算术平均值,即

$$T_w = 0.5(T_{w1} + T_{w2}) \quad (11)$$

对第 i 微元段,将式(2)~(11)写成相应微元段的表达式,代入(1)式并整理得:

$$A_i T_{w2i-1}^{(2)} + B_i T_{w2i}^{(2)} + C_i T_{w2i+1}^{(2)} = F_i^{(1)} \quad i = 1, \cdots, n \quad (12)$$

n 元一次线性方程组(12)可写成以下矩阵形式

$$\begin{bmatrix} B_1 & C_1 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ A_2 & B_2 & C_2 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_i & B_i & C_i & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & A_{n-1} & B_{n-1} & C_{n-1} \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & A_n & B_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{w21}^{(2)} \\ T_{w22}^{(2)} \\ \cdots \\ T_{w2i}^{(2)} \\ \cdots \\ T_{w2n-1}^{(2)} \\ T_{w2n}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1^{(1)} - A_1 T_{w20}^{(1)} \\ F_2^{(1)} \\ \cdots \\ F_i^{(1)} \\ \cdots \\ F_{n-1}^{(1)} \\ F_n^{(1)} - C_n T_{w2n+1}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

上式可简写为 $DT_{w2} = F$, 其中 D 为系数矩阵。

壁温计算方程组迭代求解, 并因 D 为三对角矩阵, 故引用追赶法求解方程组(13), 则 T_{w1} 、 T_{w2} 可求。

3 计算结果及分析

由于席壁结构是一种新型冷却结构, 作为计算壁温的准备工作, 本文对设计状态和实验状态的席壁火焰筒的流量分配和主通道、二股通道的沿程参数进行了计算。其冷却空气流量占进入火焰筒总空气流量的 26.87%, 比某火焰筒原型节省冷却空气流量 20% 左右(图 4)。

3.1 设计状态结果及分析

计算的席壁火焰筒内、外壁温度的轴向分布如图 5 所示, 其规律与文献[4, 5]类似。图 6 中还与某原型火焰筒壁温分布进行了比较^[6], 可见席壁火焰筒的最高壁温在 750~805K 之间, 比原型低 200K 左右(图 6), 且轴向分布也较原型均匀, 其温度梯度较小。图 6 还与席壁 I 型壁温分布作了对比^[4], 其最高壁温比 I 型低 100K 左右。可见本席壁火焰筒的冷却性能优于席壁 I 型, 其主要原因在于本席壁由更窄、更薄的金属条编织而成, 在壁表面形成更多更均匀的冷却孔, 增大了冷却空气与壁面的接触面积。且在内壁面形成的均匀气毯具有更好的保护特性及充分发挥冷却空气的冷却潜能, 使壁面不易出现局部过热点, 这正是本席壁结构更趋近于发散壁的实质所在。

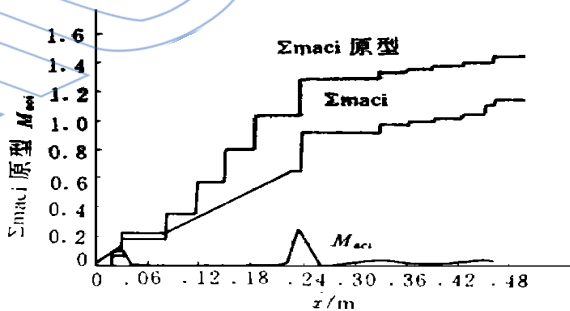


图 4 冷却空气流量沿轴向分布

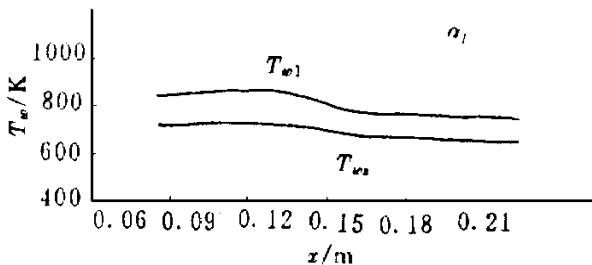


图 5 内外壁温沿轴向分布

比较各热流计算值知, Q_a 在各热流中占主要地位, 这也是本结构更趋近发散壁的原因之一。纵向导热量 K 比外壁面辐射换热量 R_2 大, 因此, 在计算壁温时纵向导热量不应忽略。

3.2 实验状态结果及分析

本文用实验状态的参数进行了壁温计算, 并与实验测得的外壁温进行了比较, 结果表明,

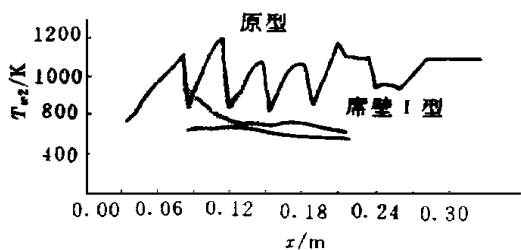


图6 壁温分布与原型的比较

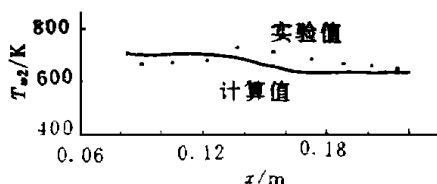


图7 实验状态的席壁外壁温的沿程分布

计算值与实验值基本吻合(图7)。

4 结 论

(1) 席壁冷却可以节省空气流量, 比原型气膜冷却所用冷却空气流量少 20% 左右。

(2) 席壁结构是一种冷却效果更好的冷却结构。在相同的设计参数和工况下, 采用席壁结构火焰筒的壁温比原采用气膜冷却的某型火焰筒壁温降低 200K 左右, 而且沿轴向温度梯度比较小, 同时冷却更均匀。从冷却机理来看, 本席壁结构更趋近于发散壁冷却。

(3) 由于席壁结构的壁温沿轴向梯度较小, 则壁面热应力很小, 该结构的编织特点, 使壁面基本呈单向应力状态。而且内、外壁温差也较小, 不易使壁面产生塑性变形、皱折和裂纹。

(4) 本文所建立的七热流计算模型是一种较实用的计算模型。通过设计状态和实验状态的计算及与实验数据的比较, 该模型较好地预测了席壁壁面的温度分布。

(5) 由计算结果知, 席壁冷却中, 冷却气流与壁体间的内部对流换热在各热流中占主要地位, 且纵向导热量比外壁面辐射换热量 R_2 要大, 故在计算壁温时不应忽视。

参 考 文 献

- 1 Lefebvre A H, Herbert M V. Heat Transfer Process in Gas Turbine Combustion Chambers. Proc. Instu. Mech. Engr., 1960, 174: 463- 478
- 2 Hobson G V. Transpiration Cooling. NIAST 81/03, 1981
- 3 Lefebvre A H. Gas Turbine Combustion. Hemisphere Publishing Corp, 1983
- 4 李威. 新型室壁结构的对流换热分析及壁温计算: [硕士论文]. 西安: 西北工业大学, 1992
- 5 傅元丁. 发散冷却火焰筒壁面温度的数值计算方法: [硕士论文]. 西安: 西北工业大学, 1986
- 6 徐国平. WP-6 发动机燃烧室壁温计算及实验研究: [学士论文]. 西安: 西北工业大学, 1991

(责任编辑 杨再荣)

condition.

Key words Interblade phase angle Blade vibration Aeroelasticity Steam turbines

WALL TEMPERATURE CALCULATION OF A NEW MAT-WALL COMBUSTOR STRUCTURE

Hei Liming

(*Air Force Engineering College, Xi'an 710089*)

Li Zhanglin

(*7th Dept., Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072*)

ABSTRACT

A seven-heat-flow model for calculating of the wall temperature of mat-wall has been established, in which internal axial heat conduction of flame tube wall is considered. A numerical method for solving the model is provided, which takes into account the effect of temperature on physical parameters. Therefore, the accuracy of the wall temperature calculation is enhanced. In order to provide required parameters for calculating the wall temperature, the calculation of axial distribution of mass flow and other flow parameters in the mat-wall structure have also been done. After that, the axial temperature distributions on the mat-wall of a single flame tube have been calculated at design and experimental conditions, and are compared with those of the prototype with air film cooling and its experimental data. It is demonstrated that the calculated results are principally consistent with experimental data and the mat-wall structure is possessed of excellent cooling performance. In comparison with the prototype, the cooling air mass is decreased by 20%, the wall temperature is obviously lowered. Furthermore, the axial wall temperature distribution is more uniform. Therefore, this structure will prolong the life of the flame tube or raise the gas temperature before the turbine.

Key words Flame tube Wall temperature Models Calculation

A MATHEMATICAL MODEL OF IMPINGING JETS ATOMIZATION AT LOW WEBER NUMBER

Shi Shaoping and Zhuang Fengchen

(*1st Dept., National University of Defense Technology, Changsha 410078*)

ABSTRACT

The characteristics of the spray produced by impinging jets atomization is theoretically analyzed. Depending on Weber number, two breakup regimes of sheet are considered with transition occurring at Weber numbers between 500 and 2000. In the low Weber number regime ($We \leq 2000$), the sheet breakup is due to Taylor cardioid waves. While in the high Weber number regimes, the sheet disintegration is caused by growth of Kelvin-Helmholtz instability waves. The model uses an analogy with the oblique impact of a liquid jet on a wall. At Weber number less than 2000, mathematical expressions to predict the sheet thickness and shape during formation of nonviscous liquid sheet are derived from mass conservation and momentum conservation equations by reference to theoretical results and empirical correlations reported in the literature. The numerical results are in good agreement with experimental data available in the literature. Predictions of the spray droplet size and distribution formed by the disintegration of the viscous liquid sheets are also obtained by use of the mathematical formulation developed for fan-spray injectors. This model can be used to estimate the size range and distribution of droplets formed by impinging jets atomization in quasi-static surroundings.

Key words Liquid drop Impinging jets atomization Mathematical models