

文章编号: 1000-8055(2003) 04-0485-03

低泄漏高寿命刷式封严的实验研究

郭霖, 康宁

(北京航空航天大学 汽车系, 北京 100083)

摘要: 以相似理论为依据, 通过空气动力学的实验方法探索新型低泄漏高寿命 3 层片式刷式封严结构。以空气泄漏量作为评价指标, 确定新型刷式封严结构的密封性并对其进行改进。实验结果表明: 改进的 3 层片状刷式封严结构的密封泄漏特性优于简单的片状刷封结构; 随着 3 层片状刷封进出口压差的增大, 泄漏量也随之增大。

关键词: 航空、航天推进系统; 密封; 密封漏泄; 空气动力学实验

中图分类号: TB42

文献标识码: A

Experimental Study of Low Leakage and High Endurance Brush Seals

GUO Lin, KANG Ning

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: On the basis of the similarity theory, a new style of brush seals with low leakage and high endurance was studied experimentally in this paper. The brush seal structure was evaluated according to the measured experimental results. The results showed that: the leakage of the new brush seals was smaller than that of the old brush seals; the leakage difference between the two brush seals became larger with the increase of the pressure difference.

Key words: aerospace propulsion system; sealing; seal leakage; aerodynamic experiment

1 引言

流路密封在发动机中起着非常重要的作用, 如何为内流系统提供准确高效的冷却, 最大限度地降低空气和燃气的泄漏, 已越来越受到研究人员的重视。

在过去的几十年中, 航空发动机的封严主要采用萼齿结构。萼齿封严性能随运行时间的恶化和结构故障在现代高循环参数的发动机中屡屡发生, 封严的性能恶化不但直接损害了发动机的性能, 还会引起转速失配、加速性下降、失速等现象。刷式封严是目前发展的先进封严装置, 国内外系

统测试表明其泄漏量基本上比普通的齿封严减少 20%~50%, 因而日益成为现代先进发动机竞相采用的新技术之一。现有的刷式封严装置中, 一般采用合金材料制成的耐磨刷丝。此结构由于刷丝的刚度较小, 因而承压能力较低, 在前后压差超过一定值后, 刷丝会向低压端弯折, 从而增加了密封泄漏, 进而影响整个发动机的性能。为了改善这种情况, 用片状刷丝代替丝状刷丝的封严结构已经提出并予以讨论。FLOWER^[1]等提出用薄金属片代替刷丝, 整个刷封由很多金属片沿周向压紧组成。这样做成的片状刷封首先制作上比刷丝简单, 而且重要的是它在整个压力差范围内的泄漏特性

收稿日期: 2002-10-09; 修订日期: 2003-01-13

基金项目: 航空基金资助项目(00C51084)

作者简介: 郭霖(1980-), 女, 湖北武汉人, 北京航空航天大学汽车系, 学士。

基本是线性的,避免了丝式封严在高压差下由于刷丝变形而造成的泄漏量急剧恶化。刘江虹^[2]对丝式和片式刷封的实验研究也得出了上面的结论,并且还显示出片状刷封的使用寿命远好于丝式刷封。但它与丝式相比较的一个显著缺点是泄漏量偏大。造成这个现象的原因是流体通过丝式刷封时要通过一系列的收缩扩张通道,因而其流阻远低于丝式刷封。

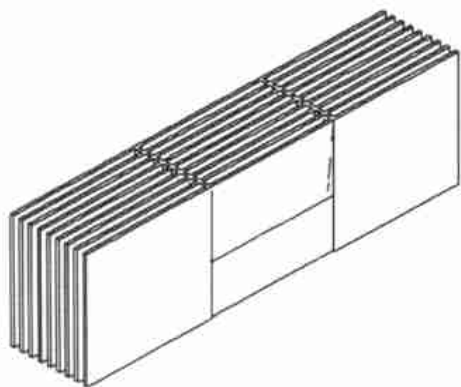


图 1 新型片式刷封示意图

Fig. 1 Sketch of new slice brush seal

为克服上述丝式和片式刷封的缺点,本文将简单的单通道片状刷式封严结构,改为新式的 3 层片状结构(见图 1),前后两层保持原样,而中间层发生一定的偏转,与前后两层形成一定的角度,从而增加流动阻力,减小片状刷式封严的泄漏量。通过实验的方法,得出泄漏空气沿轴向压力的分布,设计出较好的片状刷式封严的结构形式。

2 实验模型

本文研究的片状刷式封严结构直径为 300 mm,沿转子轴向分布有 3 层刷片。第 1、3 层刷片与径向成 80°角,中间一层与径向成 75°角。封严金属刷片的厚度为 0.1 mm(即沿周向方向),金属片的径向高度为 2 mm。当着眼于局部通道时,由于金属片的厚度和高度比轴的半径小很多,所以可以采取简化的处理方法,即可不考虑金属片沿转轴周向的曲率变化,近似地把金属片看成排列在一平面上。因此,在柱坐标下研究的整圈刷封模型,可简化在直角坐标下研究任两个刷片间隙中通过的泄漏量。

2.1 特征量的选取

特征长度: $R_0 = \frac{4ab}{2b} = 2a$

特征速度: $u_0 = \frac{\Delta p}{\rho_0}$ 作为刷封模型的参考速度;

特征压力: $\Delta p = p_{in} - p_{out}$

进出口压差,刷封模型的参考压力;

其中, a 为相邻刷片之间的间隙, b 为刷片的高度, p_{in} 为进口压强, p_{out} 为出口压强, ρ_0 为进口气体密度。

2.2 相似原理分析和无量纲化

在相似理论指导下,对刷式封严性能进行实验研究,由无因次化后的 N-S 方程得改型的雷诺

数: $Re = R_0 \frac{\Delta p}{\rho_0 u_0}$, 它的大小反映了刷封模型中流体流动的惯性力与粘性力的相对大小。相似准则对于实验的指导作用在于: $Re_{实验} = Re_{原型}$

在同等温度水平下, ν_0 , ρ_0 的变化不大,可以看作常数, ν_0 为进口气体运动粘性系数。

因此保证: $Re_{实验} \Delta p_{实验} = Re_{原型} \Delta p_{原型}$, 为确定刷封的实验条件。

3 实验件的设计

真正 3 层刷片封严的 1, 3 层与径向有一定的角度,但在本次实验中,为了便于实验件的加工与安装, 1, 3 两层设计成直刷片、中间层是与 1, 3 层成 5°角的斜刷片。因此设计的思路是: 设计为 3 层箱体结构, 即每层刷片设计在一个框架中, 即是 3 个小的箱体结构。这 3 个小的箱体结构又共同装在一个大的箱体中。气流的进口设计为喇叭口, 为渐扩管形式, 见图 2。渐扩管的大头由螺纹连接在大箱体上, 小头接外部直径 24 mm 长 50 mm 的直管, 同样由螺纹连接, 供接气管。在直管壁上开一个直径 1.5 mm 的孔, 将一节长 5 cm 左右的铜管接在直管壁外, 将水排管套在铜管上, 水排管在此处是用来测出该处管壁静压。实验结构见图 3。

为了便于实验件的加工、安装、运行, 通过实验研究新型片式刷封的结构形式, 新式刷片模型比图 1 的真实尺寸放大了 40 倍, 每层刷片沿轴向长度 40 mm, 径向高度 80 mm, 刷片厚 4 mm, 每两层刷片之间间隙和每两片刷片之间间隙都为 2 mm, 第 2 层与 1, 3 层夹角 5°。

将大箱体中全体摆放贯通整个箱体的直刷片, 即为简单片式刷封结构, 刷片轴向长度为 124 mm, 其它尺寸同 3 层刷封的尺寸。



图 2 实验件

Fig. 2 Experimental pieces

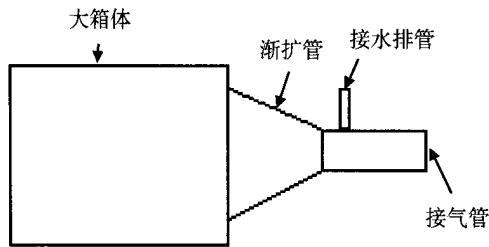


图 3 实验结构示意图

Fig. 3 Sketch of experimental structure

4 实验结果

对简单单通道式模型和 3 层新式模型都进行了实验。实验时, 接进气管, 调节进气阀, 以调节流量, 这些流量即刷封模型的泄漏量。同时, 用水排管测量进口管壁 b 处静压与外界大气压(即出口处)的压差。

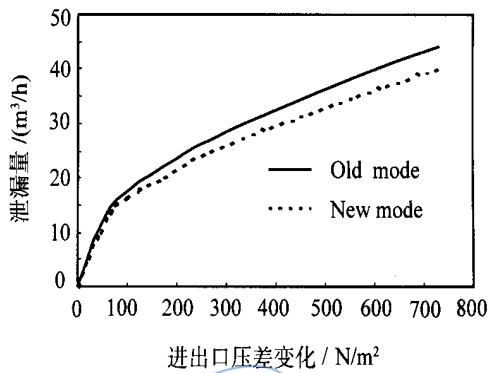


图 4 新旧模型的泄漏量随进出口压差的变化情况

Fig. 4 The leakage of new brush seal and old brush seal

图 4 给出了两种模型泄漏量随进出口压差的变化情况。由图可知, 随着压差的增大, 泄漏量增大; 新型刷封模型的泄漏量要小于简单片式刷封模型, 减小了 10% 左右, 说明新型刷封结构优于简单片式结构。

5 结 论

本课题对新型低泄漏高寿命片状刷式封严的流动进行了实验研究, 根据实验结果得出以下结论: 随着 3 层刷片封严进出口压差的增加, 泄漏量随之增加; 简单的单层直刷片封严的泄漏量比改进后的新式 3 层刷片封严的泄漏量大, 即改进后的刷封密封好。

参考文献:

[1] Flower R. Brush Seal Development System[R]. AIAA 90-2143.

[2] 刘江虹. 刷式封严流动与传热的实验研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1999.