

# 表面具有流向微槽叶片的传热性能分析<sup>\*</sup>

闻 洁

赵桂林

(北京航空航天大学 402 教研室) (中国科学院力学研究所)

**【摘要】**在综合考虑了流向微槽表面强化传热特性和流向微槽表面减阻机理研究结果的基础上,分析了表面具有流向微槽的叶片的传热性能,提出了与已有的叶片冷却技术完全不同的、全新的叶片冷却技术——叶片外部冷却技术。

**关键词:**流向微槽 叶片 传热性能

## 0 前 言

涡轮叶片的先进有效冷却技术一直是航空发动机设计中的关键问题。由于发动机效率的提高一般通过提高推重比来实现,而发动机推重比的提高则主要依靠大幅度提高涡轮前燃气温度来实现,这使得涡轮叶片在越来越高的温度环境下工作,要保证涡轮叶片在高温下可靠工作,主要依赖于叶片的冷却技术,因此,寻找先进有效的冷却技术对航空发动机的设计具有十分重要的意义。

## 1 叶片内部冷却技术

目前,涡轮发动机工作叶片一般采用的是冲击——对流——肋和扰流柱对流换热复合冷却方式。冷却气体由榫头底部的进气孔进入叶片内腔,然后分成两股进入叶身,一股冷气在叶片后半部进行对流换热后,经由横向肋和交错排列的扰流柱构成的通道,从叶片尾缘处的出气缝流入燃气通道;另一股冷气在叶片前半部进行回流对流换热后,经冲击缝流出冲击冷却叶片的前缘,最后经叶片前缘和鳃区的气膜孔流入燃气通道对叶片进

行气膜冷却。这种冷却方式我们称之为叶片内部冷却方式。

对叶片内部冷却方式国内外研究者进行了广泛深入的研究,得到了许多有应用价值的研究结果<sup>[1~4]</sup>。但是为了进一步提高发动机的效率,迫切要求探讨研究更新的叶片冷却技术。

## 2 流向微槽表面的传热特性

文献[5]分析了流向微槽表面对叶片叶栅气动性能的影响。认为,与常规的光滑叶片相比,叶片表面具有流向微槽可以改善叶栅通道内的流动状况,减小叶栅损失,提高叶栅效率。

为了分析表面具有流向微槽叶片的传热性能,这里首先简单介绍一下流向微槽表面传热性能的一些研究结果。Linderman<sup>[6]</sup>的研究表明,三角形流向微槽对平板的传热性能影响很大, $N_u$ 数增加了36%,他认为这是流向微槽造成平板的阻力减小、传热增强双重作用的结果。近来,Choi & Hamid<sup>[7]</sup>研究表明,在阻力不增大的情况下,具有三角形流向微槽的平板的传热性能增加了约30%。

目前,关于流向微槽表面传热性能的研

收稿日期:1998-01-20

\*国家自然科学基金资助项目

究开展得并不十分广泛,其强化传热的机理尚不很清楚,一些研究者正在进行深入细致的研究工作。虽然如此,根据已有的平板上流向微槽强化传热的研究结果,结合流向微槽表面减阻机理的研究结果,分析认为流向微槽对涡轮叶片的传热性能有特殊的影响,这一影响对高温环境下工作的涡轮叶片的冷却有十分重要的应用意义。

### 3 表面具有流向微槽叶片的传热性能分析

前面介绍的流向微槽表面强化传热的研究结果都是针对加热的平板得到的,不能直接用于处于高温流体中的涡轮叶片的冷却研究,需要从不同的方向分析。

首先,已介绍过流向微槽对加热的平板造成强化传热的结果,即造成热量从高温的平板向低温环境传输的更多。那么,反过来是否可以由此推断在高温环境下,流向微槽会抑制热量向低温平板的传输,从而达到冷却平板的效果,此时流向微槽起到了抑制热量传输的作用。

其次,从流向微槽表面减阻机理来看,流向微槽是通过改变近壁的湍流结构,减小近壁湍流度来达到减阻效果的<sup>[8]</sup>。由此分析,将表面具有流向微槽的涡轮叶片放置在高温流体中,由于流向微槽减小了近壁湍流度,从而减少热量的传递,其结果是减少热量从高温流体向涡轮叶片的传输,达到冷却涡轮叶片的效果,此时流向微槽起到了隔热作用。

根据上述分析,认为与常规的光滑叶片相比,表面具有流向微槽的涡轮叶片在高温环境下能保持较低的温度,从而达到涡轮叶片冷却的效果。这一涡轮叶片的冷却方法与已有的叶片内部冷却技术有根本的不同,将其称之为叶片的外部冷却技术,对这一冷却

技术的研究可望为涡轮叶片的冷却提供一种新技术。

## 4 推 论

根据流向微槽表面强化传热的特性,结合流向微槽表面减阻机理的研究结果,针对涡轮叶片冷却的需要,分析了表面具有流向微槽的涡轮叶片的传热性能,提出了一种全新的涡轮叶片冷却技术——叶片外部冷却技术。考虑到已有的叶片内部冷却技术,将两种冷却技术同时使用,可使涡轮叶片的冷却效果更好,在更高温度环境下可靠工作,这对我国新型涡轮叶片的设计和新型高效发动机的研制具有十分重要的意义。

### 参 考 文 献

- 1 V Krisnamoorthy, B R Pai and G S Sreenath. Heat transfer study of a turbine blade cooling passage with ribs. Pin fans and lateral ejection, ISABE, 1991
- 2 E J Cunha. Turbulent flow and heat transfer in gas turbine blade cooling passage. 37th int. gas turbine and aeroengine congress and exposition, 1992
- 3 B V Johnson, J H Wagner, G D Siferber and F C Yeh. Heat transfer in rotating serpentine passages with trips skewed to the flow, 37th int. gas turbine and aeroengine congress and exposition, 1992
- 4 陶 智,丁水汀,徐国强,韩树军. 气膜叶片前缘内冲击冷却的共轭计算. 航空动力学报, 1996, 11
- 5 赵桂林,闻 洁. 非光滑叶片叶栅的气动性能. 1997年工程热物理年会热机气动热力学文章(972063)
- 6 A M Linderman. Turbulent reynolds analogy factors for nonplanar surface microgeometries. J. of spacecraft and rockets. 1985, 22(5): 581
- 7 K S Choi and S Hamid. Heat transfer study of riblets. in: recent developments in turbulent management, 1991
- 8 K S Choi. Near-wall structure of a turbulent boundary layer with riblets. J. of fluid mech.. 1989, 208: 417 ~ 458