

# 流向微槽对涡轮叶片冷却通道内流动 及换热特性的影响分析\*

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】**在综合流向微槽表面流动及传热特性的基础上,结合涡轮叶片冷却通道内的流动和换热特性,提出了将流向微槽表面应用于涡轮叶片的冷却通道,分析研究流向微槽的影响,以期为涡轮叶片的冷却寻找更有效的技术。

**关键词:**流向微槽 叶片冷却 冷却通道 换热特性

## 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 涡轮叶片冷却通道内流动及 换热特性

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回流对流换热后,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。对涡轮叶片冷却通道内的这种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成果<sup>[1-4]</sup>。

上述涡轮叶片冷却通道内采用各种肋、条纹以及扰流柱等其作用都是使局部湍流度增加,达到强化传热的目的,但是这些肋、条纹、扰流柱等同时也会造成流动阻力增大,必然会影响对涡轮叶片的冷却效果。

## 2 流向微槽的强化传热特性

70 年代末, Walsh & Weinstein<sup>[5]</sup>研究了湍流边界层中流向微槽表面的流动及换热特性,结果表明在不增加阻力的情况下,三角形流向微槽表面有可能增大表面传热率。此后, Linderman<sup>[6]</sup>研究表明,三角形流向微槽对平板的传热性能影响很大,  $N_u$  数增加了约 36%,他认为这是流向微槽造成平板的阻力

收稿日期:1998-01-20

\*国家自然科学基金资助项目

减小、传热增强双重作用的结果。近来,Choi & Hamid<sup>[7]</sup>研究表明,在不增加阻力的情况下,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究开展得并不十分广泛,其强化传热的机理尚不很清楚,有必要开展进一步的研究。即使如此,已发现的平板上流向微槽强化传热的特性,以及流向微槽表面减阻机理的研究结果,对改善涡轮叶片冷却通道内流动及换热性能有十分重要的应用意义。

### 3 流向微槽对涡轮叶片冷却通道内流动及换热特性的影响分析

前面介绍过流向微槽表面对平板有减小阻力、强化传热的特性,如将其应用于涡轮叶片冷却通道,分析认为有如下效果:

首先,将流向微槽应用于叶片冷却通道内表面,则由上面介绍的流向微槽表面的强化传热特性,可以很容易地推出,涡轮叶片的冷却效果更好,这时流向微槽通过对冷却通道强化传热的影响而达到冷却叶片的效果。

其次,流向微槽造成冷却通道内冷却气体的流动阻力减小,结果是一方面同样时间内冷却通道内冷却气的流量增大,因此冷却气带走的热量更多;另一方面,由于流动阻力减小,在冷却通道内要保持冷却气流量不变时,则冷却气的来流压力可以减小,对于目前以压气机作为冷却气源的涡轮发动机来说,可以不必从高压级而是从较低压力级取冷却气,这对提高压气机效率,进而提高涡轮发动机效率极为重要,此时流向微槽通过对叶片冷却通道内流动的影响达到叶片冷却、提高效率的效果。

通过分析得出,涡轮叶片冷却通道上的流向微槽对冷却通道内的流动和传热特性都有很大影响,结果使冷却效果更好。

## 4 推 论

通过分析流向微槽对涡轮叶片冷却通道内的流动和换热性能的影响,推论出冷却通道内表面上具有的流向微槽一方面起到强化传热的作用,使叶片冷却通道的冷却效果更好,另一方面通过对冷却通道内冷却气的流动特性的影响,进而影响冷却通道的传热特性,达到冷却叶片、提高效率的作用。可见,在冷却通道内使用流向微槽可使涡轮叶片的冷却效果更好,而且可提高发动机的效率,这对我国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 holes, 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 Sifuber 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 M J Walsh and L M Weinstein. Drag and heat transfer characteristics of small longitudinal ribbed surfaces. AIAA, 1979, 17(7): 770
- 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