

文章编号: 1000-8055(2000) 03-0278

流量变化对中心进气旋转盘 平均换热的影响

罗 翔 王建宁 徐国强

(北京航空航天大学 402 教研室, 北京 100083)

摘要: 实际中心进气的气冷涡轮盘被简化成中心进气外缘加热的旋转盘模型, 以实验的方法研究了涡轮旋转盘附近冷气在非正常情况下的流动与换热特性, 主要是冷气流对盘面温度和盘面的平均努赛尔特数的影响。转盘的有效半径为 400 mm, 最大转速为 3000 r/min, 加热功率为 1000 W。实验结果表明: 盘缘区域温度随时间的变化率大于中心区域温度随时间的变化率; 流量的改变, 盘面平均努赛尔特数亦随之发生较快的改变; 某一工况下对转盘进行加热, 稳定后, 停止加热, 盘面平均努赛尔特数从一个很大的数值逐渐减小, 然后再逐渐增大。

关键词: 旋转盘; 换热; 流动

中图分类号: V 232.3

文献标识码: A

1 实验结果和分析

实验模型如图 1 所示。

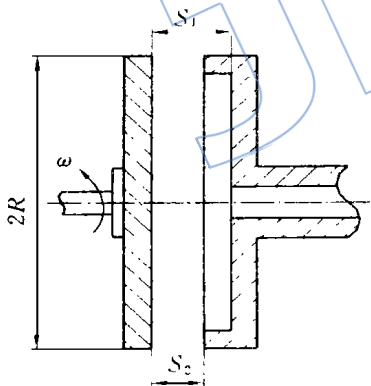


图 1 实验模型

对于第一组实验, 使转速分别维持 0 r/min, 1000 r/min, 2000 r/min 和 3000 r/min 时, 流量为 200 kg/h, 室温情况下, 突然将加热功率加到预定值并达到热稳定后, 流量在 5 秒内增加 50 kg/h, 待再次达到热稳定后, 流量再增加 50 kg/h, 直至流量达到 400 kg/h, 待最后一个流量实验热稳定后, 突然切断加热电源, 记录 10 分钟的实

验数据。在典型温度图 2(a) 中, 0 域为加热段, 流量为 200 kg/h; 1, 2, 3, 4 域的流量为 250 kg/h, 300 kg/h, 350 kg/h, 400 kg/h, 图 2(b) 为切断加热以后的温度变化情况。

从图 2(a) 中可以看出, 在转速、冷却结构等条件不变的情况下, 增大流量可以降低盘面的温度。流量增加对盘面温度的影响是全场的, 整个温度场随之降低, 并且除加热起始段和停止加热段外温度随时间的变化率各处几乎没有大的差别。

在保持转速和冷却流量不变的情况下, 切断加热热源, 温度将急剧降低。由于边缘温度较高, 与冷气的温差较大, 散失的热量较多, 温度变化最大。在轮缘附近 ($R > 187\text{mm}$) 由于转速、流动结构及出口效应的影响, 其温度甚至低于相邻的内部部分的温度。在图 2(b) 中可以看到这一现象。

该组实验的平均努赛尔特数与相对时间 ($\bar{\tau} = \tau / (R^2 / \nu)$, R 为转盘半径) 的关系, 如图 3 所示。由于实验是在不停地增加冷气流, 因此也就反映了进气雷诺数 ($Re = \rho V_0 R / \mu$, V_0 为冷气进口速度, μ 为空气的动力粘度, R 为转盘半径) 对盘面平均努赛尔特数的影响。

刚开始加热的时候, 平均努赛尔特数 $N_{u_{av}}$ 总

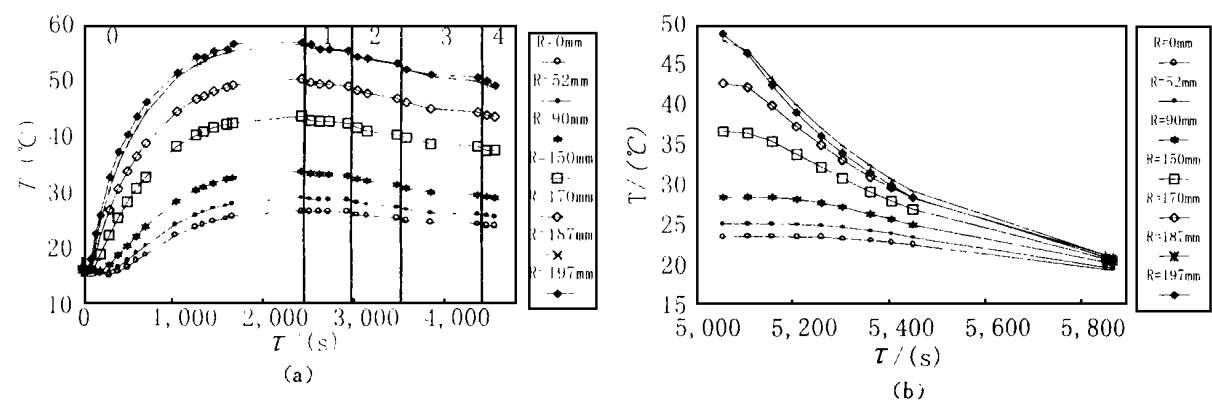


图2 盘面温度随时间的分布

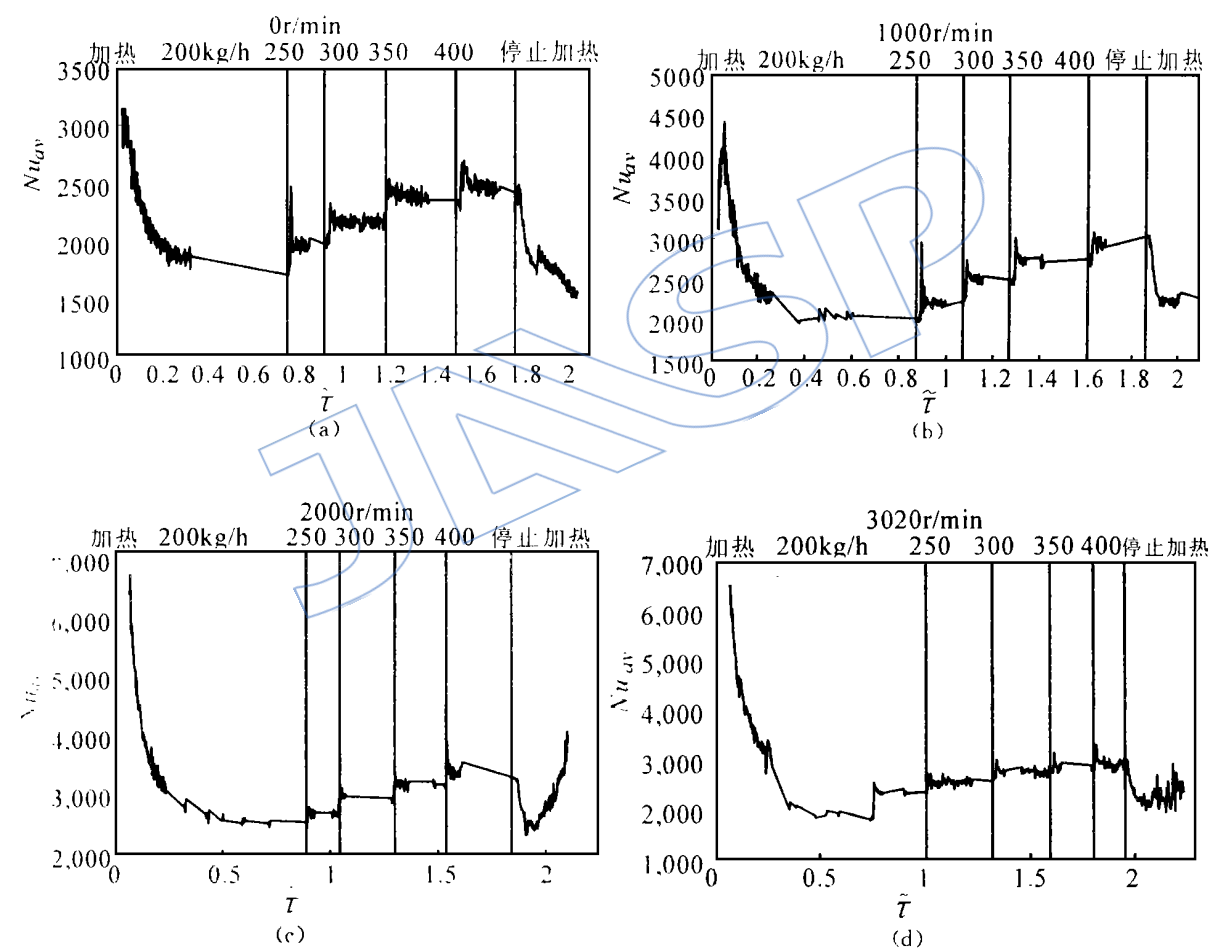


图3 盘面平均努赛尔特数随相对时间的变化

是从一个极大值逐渐变小。其主要原因是在开始加热过程中, 转盘表面的温度边界层很薄, 对流换热热阻很小, 盘面平均努赛尔特数很大, 随着加热时间的延续, 转盘表面的温度边界层逐渐变厚, 对流换热热阻逐渐增大, 转盘表面平均努赛尔特数从一个很大的数逐渐减小, 最后趋于一个稳定的值。个别工况在加热开始时盘面平均努赛尔特数出现一个最小值, 这主要是实验误差造成的。

在转速、冷却结构等条件不变的情况下, 流量的增加将使腔内径向出流的平均速度增大, 单位时间流过转盘单位表面积冷气量加大, 速度和温度边界层变薄, 换热加强。另一方面, 进气流量

的增加也将使腔内回流区涡的运动加剧,有利于换热的加强。对于中心部分,进气流量的增加提高了冷气的进气流速,加强了对该部分的冲击冷却效率。另外,流量的改变是全场和瞬时的。流量一改变,流场也很快随着改变,很快达到一个稳定状态。从这些图形可以看出,在每一次流量变化时,平均努赛尔特数 Nu_{av} 的变化总是突跃的,基本上呈阶梯状分布。

在图 3(d) 中,我们可以发现在高转速的情况下,流量的改变对平均努赛尔特数 Nu_{av} 的影响没

有低转速时的大。这主要是因为转盘的旋转也可以强化换热,在转速比较低的时候,由于旋转引起的换热强化不是很明显,此时流量的提高对强化换热十分有利。随着转盘转速的提高,转盘的切向速度与主流的平均速度相差越来越大,在转盘速度非常高时,增大冷气流量对提高冷气与盘面间的换热作用相对减小。因此,对发动机涡轮盘的冷却,其流量的大小不应单从冷却角度考虑,而应主要考虑这些冷气量能否阻止高温燃气从转静间隙的入侵。

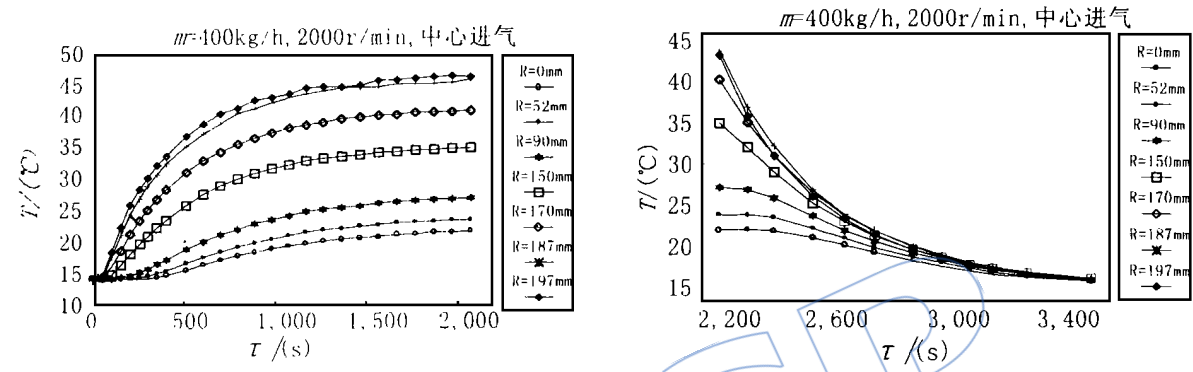


图4 盘面温度随时间的分布

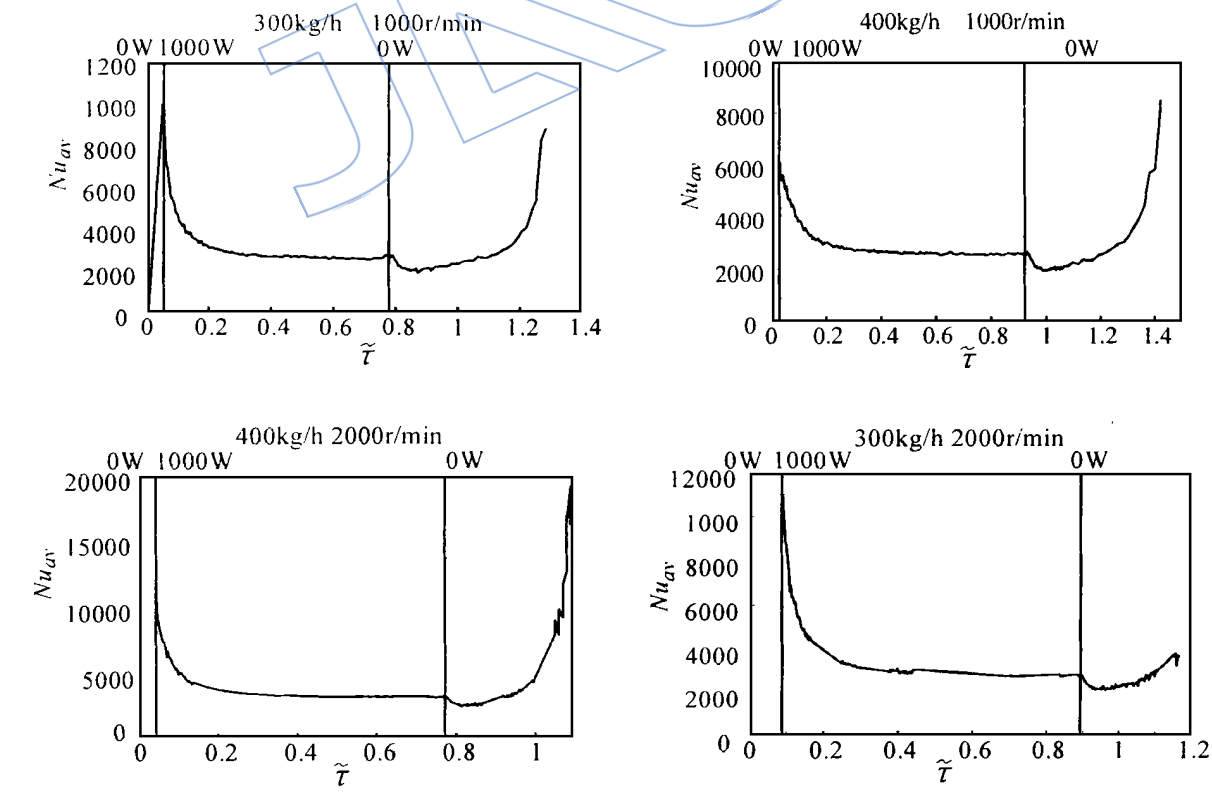


图5 盘面平均努赛尔特数随相对时间的变化

第二组实验, 流量在 300 kg/h, 400 kg/h 和转速 1000 r/min, 2000 r/min, 室温时突然将加热功率加到预定值, 热稳定后再突然将加热功率切断。其典型温度分布图见图 4。离加热边越近的地方在温度升高的过程中, 得到的热量远大于失去的热量, 因此温度上升曲线比较饱满。中心部分由于得到的热量较少, 加上该处换热强度较大, 导致温度曲线较平缓。在停止加热的时候, 整个盘的温度将急剧降低。

图 5 是在不同的冷气流量和转速下, 盘面的平均努赛尔特数 N_{uav} 在加热和关闭加热的情况下随相对时间的变化而变化。在开始加热时, 平均努赛尔特数从很大一个值开始降低。其原因已在前面做出解释。

由于加热边在转盘的轮缘, 对于整个盘面来说, 散热量的大部分是在转盘的外缘区域, 当取消加热时, 由于供给转盘的热量减小到零, 从转盘表面散出的热量主要是转盘内的蓄热, 而此时盘面的温度除边缘有一定幅度的减小外, 其余区域的温度随时间的变化很缓慢, 盘面平均壁温(按面积加权平均)减小的不是很大, 因此刚开始时, 平均努赛尔特数 N_{uav} 有一定的降低。随着时间的继续延长, 盘内的蓄热逐渐减小, 转盘温度总体降低, 高。另外, 在这几幅图中, 盘面的平均温度越来越低, 逐渐接近冷气温度, 平均努赛尔特数随着时间的延续又开始升也可以看出冷气流量和转速对盘面的平均努赛尔特数 N_{uav} 的影响。冷气流量和转速的提高都能在一定程度上提高平均努赛尔特数

的大小。

2 结 论

通过用实验的方法对中心进气旋转盘非定常流动与换热的研究, 得到以下主要结论:

- (1) 工况改变时, 盘缘区域温度随时间的变化率大于中心区域温度随时间的变化率。
- (2) 流量突然改变时, 盘面温度需要很常时间才能稳定。
- (3) 在流动结构稳定后, 开始对转盘进行加热, 盘面平均努赛尔特数从一个很大的数值逐渐减小, 最后趋近一个定值。在流动结构和换热稳定的情况下, 突然切断加热电源, 盘面对流换热的平均努赛尔特数先减小, 然后再逐渐增大。
- (4) 流量的改变, 盘面平均努赛尔特数亦随之发生较快的改变, 系统达到热稳定时间小于转速改变时达到的热稳定时间。

参 考 文 献

- 1 Owen J M, Haynes C M, Bayley F J. Heat Transfer from an Air-Cooled Rotating Disk. Proc. Roy. Soc., London, 1974, A336
- 2 徐国强, 曹玉璋, 邱绪光. 中心进气的旋转盘平均换热特性研究[J]. 航空动力学报, 1994, 9(1): 27-30
- 3 徐国强, 丁水汀, 邱绪光, 曹玉璋. 具有中心进气外缘加热旋转盘的局部换热特性研究[J]. 航空动力学报, 1995, 10(3): 229-232

(责任编辑 杨再荣)

Transient Heat Transfer Characteristics of Shrouded Rotating Disk with Unsteady Centric Air Inflow

Luo Xiang, Wang Jianning, Xu Guoqiang

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The transient heat transfer characteristics of a shrouded rotating disk were investigated experimentally as the mass flow rate was changed. The disk diameter was 400 mm and its maximum rotating speed was up to 300 r/min. The disk was heated at rim to simulate the heat conduction from turbine blades. One side of disk was cooled by air and another side was adiabatic. The temperatures of cooling side and heating side were measured synchronously at different time interval. The variation of averaged Nusselt number with non-dimensionalized time was obtained. It was found that the averaged Nusselt number enlarged with the increase of inlet mass flow rate, but reached its steady state value rapidly after the change of mass flow rate.

Key words: rotating disk; heat transfer; flow