

模拟涡轮旋转叶片冷却通道换热的初步实验研究

南京航空学院 王宝官 丁小江

随着先进的动力装置向高推重比发展, 涡轮前燃气的进口温度也越来越高, 不但导向叶片需要高技术的冷却, 转子叶片也必须进行相应的冷却。但是, 以往的冷却研究大部分都建立在静止叶片的基础上, 而对转子叶片却研究甚少。事实上, 只有对旋转冷却通道换热进行系统的研究, 才有可能对整个冷却系统作更精确更有效的设计。为此, 旋转冷却系统的研究正成为越来越重要的课题。

国外, 早在五十年代, 鲍罗 (Barua) 等人就开始对旋转通道的流场、压力场、温度场进行了理论研究^[1]。目前, 以第列斯 (Morris) 为首的许多学者, 对不同通道截面和不同转速下的旋转效应对换热特性的影响, 进行了大量的实验研究^[2,3,4]。

为了对旋转冷却系统的换热进行全面的研究, 首先, 必须进行设备研制。本文设备可模拟三种流动模型: 即气流方向平行于旋转轴方向; 气流方向垂直于旋转轴且向外流或向内流。转轴在进行设备可引性验证中和实验方法的探讨中, 我们仅对平行于旋转轴的模型 (图1) 进行了换热试验研究和数据整理, 作为本课题研究的第一步。并把带转情况下和不带转情况下的 Nu 数之比对旋转雷诺数的关系绘成图线, 以便突出旋转对换热的影响。

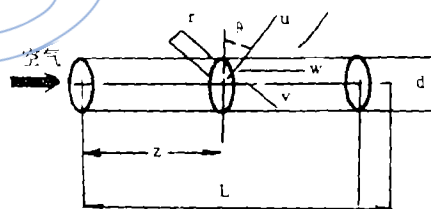


图1 旋转管流模型

实验时, 旋转 Nu 数可用测取热流和气流及管壁温度而推算出来, 即: $Nu = hd/\lambda$, $h = Q/\pi dL(T - T_w)$, $[w/m^2K]$ 旋转角速度的测取可用来计算旋转雷诺数, 即 $Je = \Omega d^2/\mu$ 。与此同时, 实验结果可与静态管内流动的换热相比较。静态时的努谢尔特准则为:

$$Nu_{\infty} = h_{\infty}d/\lambda$$

一、实验设备及其测试

如图2所示, 整个装置分为旋转部分、供气部分、测量及信号输出部分等。

旋转部分 旋转件通过主轴和轴承支撑在支座上, 两块铝盘航承力又支撑实验件。共有三个实验管 A、B、C。具体尺寸见表一。与 A、B、C 管相对称的为配重管, 以达转动平衡之目的。整个旋转件由 JZTY41-4 电磁调速电机通过皮带输带动, 由 ZT 控制器实现无级调速。转速

范围为 $n=0\sim 1200$ 转/分。

供气部分 管内冷气由压气机经稳压箱、浮子流量计、压力表后, 经11道篦齿密封引气管进入旋转件, 由主轴内部作为引气通道进入 B、A、C 实验管, 中间用禁气腔起管轴间的“隔离”作用, 给每个实验段造成一个独立的进口段。本实验雷诺数范围为 $Re=10^4\sim 10^5$ 。

测量部分 实验管采用电加热法, 并埋有十五对热电偶, 沿管轴方向不均匀分布, 中间稀两头密, 以能严密观察两端的温度变化。管外包石棉层, 以防止向外散热。所有热偶信号均用端面接触式刷环引电器引出, 并接 PF3 数字积分电压表采集。

设备调试 目的在于检查设备安装质量、平衡性能及能否满足实验要求。内容包括: 1) 检查密封性; 2) 检查振动情况; 3) 调节引电器与旋转件连接, 减小同心度误差; 4) 校正电机与控制器转速一致性。在安装过程中必须进行静平衡, 有条件应进行引动平衡, 确保平稳性。

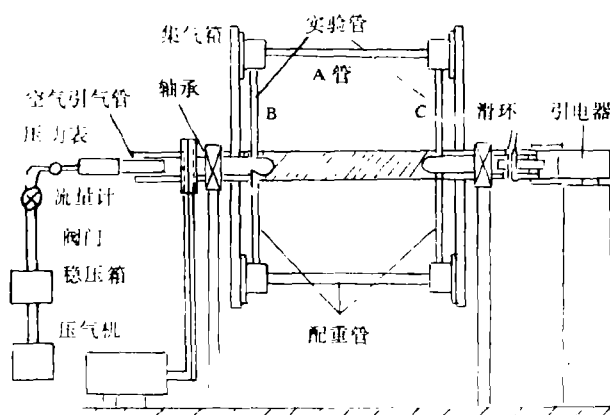


图2 实验装置简图

二、实验结果及初步分析

本实验是对气流流动方向与旋转轴方向相平行的 A 管而言, 实验参数及实验结果分别反映在表1及图3~6中。

表1 基本几何参数和实验参数

	L (mm)	l (mm)	d (mm)	H (mm)	l/d	H/d	Re	Je
A	340	280	9.72	210	28.8	21.6	$10^4\sim 10^5$	0~800
B	190	154	9.72	105	15.8	10.8	$10^4\sim 10^5$	0~800
C	190	154	9.72	105	15.8	10.8	$10^4\sim 10^5$	0~800

图3. 是 $Re=6.4\times 10^4$ 时, 不同转速下圆管壁温的轴向分布图。由图可见, 壁温随着转速的升高而下降, 这说明旋转效应增强了对流换热。 T_w 为静止时的壁温, T_e 为200~1000转/分范围的壁温, 阴影部分表示变化范围, T_f 为冷流温度。同时, 在 $z/l=0.85$ 处, 壁温开始下降, 这是端部散热所致, 故试验段的长径比直接影响实验结果。

图4. 是反映旋转雷诺数 $Je=0$ 和 691 (即 $n=0$ 和 1000 转/分) 时局部努谢尔特数的变化规律, 基本与静态管流时的规律相一致, 只不过相应的偏高而已。由图可见, 旋转的 Nu 比静态时 Nu 高20%左右。

图5. 表示两种不同雷诺数, 在不同转速下的 Nu 的变化情况。

图6. 是反映平均努谢尔特数随旋转雷诺数的变化规律, $\overline{Nu}$ 随着 Je 的增大而升高, 并且随着 Re 的增大而曲线斜率也增大, 充分看出旋转效应。

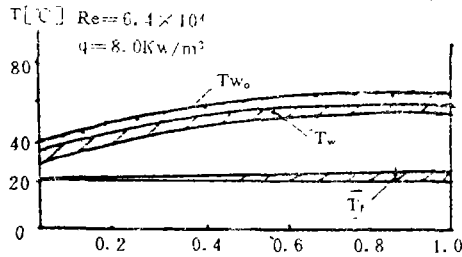


图3 壁温轴向分布图

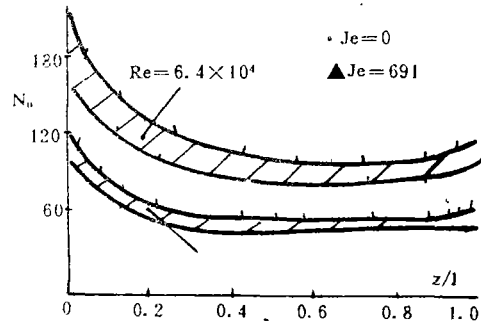
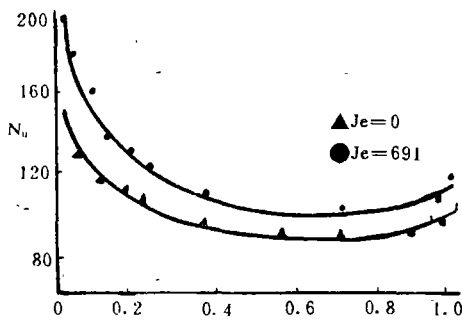
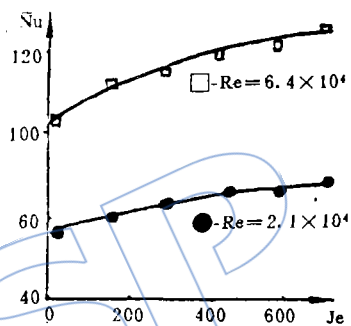
图4 Nu 随 z/L 的变化曲线

图5 不同雷诺数时旋转对换热的影响

图6 Nu 随 Je 的变化曲线

综上所述, 由于旋转所产生的离心力和哥氏力, 导致内冷通道对流换热的增强, 对流换热系数随着转速的增大而升高。同时, 气流的雷诺数大小对旋转效应的敏感度也不同, 高雷诺数时旋转影响大于低雷诺数的情况。

旋转部件内冷系统换热的研究在我国尚处初级阶段, 通过本文介绍, 希望能引起更多的重视, 促进这项复杂而有价值的研究发展和深化。

参 考 文 献

- [1] S. N. Barua, "Secondary Flow in A Rotating Straight Pipe", Proc. Roy. Soc. London. Series A Vol. 277, 1954.
- [2] W. D. Morris, T. Ayhan, "Observations on the Influence of Rotating on Heat Transfer in the Coolant Channels of Gas Turbine Rotor Blades", Proc Inst. Mech. Eng., 193, No. 21 1971.
- [3] W. D. Morris, "Heat Transfer and Fluid Flow in Rotating Coolant Channel", John Wiley & Sons Ltd. 1982.
- [4] "Heat And Mass Transfer in Rotating Machinery," Edited by Dorryl E. Metzger, Nain H Afgan 1984.
- [5] J. F. Humphreys W. D. Morris H Barrow, "Convection Heat Transfer In the Entry Region of A Tube which Revolves About An Axis Parallel to Itself" Inst. J. Heat and Mass Transfer Vol. 10 1967.

EFFECT OF GEOMETRIC PARAMETERS ON INTERNAL PERFORMANCE OF CONVERGENT-DIVERGENT NOZZLE

Zhao Jingyun (Gas Turbine Establishment)

ABSTRACT The effect of geometric parameters on internal performance of convergent-divergent nozzle has been investigated experimentally. The relationships of thrust coefficient and wall static pressure distribution to area ratio, divergent angle, convergent angle and throat radius of curvature are presented in this paper.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON ATOMIZATION OF COAL-WATER SLURRY AND EROSION OF ATOMIZER

Cao Minghua (Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

H. W. Glaser (University Essen)

ABSTRACT An internal-mix atomizer has been specially designed for coal-water slurry. The relationships between its slurry spray characteristics and operating parameters have been studied experimentally. High levels of atomization were achieved by the internal-mix atomizer. The protective layer formed by the rotating flow at high speed in the internal-mix atomizer provides a useful means of protection against erosion, corrosion and deposition.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON FUEL SPRAY ATOMISING CHARACTERISTICS OF EVAPORATING PIPE ATOMIZER

Sun Yuezhong (China Civil Aviation Tianjin Training Center)

ABSTRACT This paper summarizes the test research on the atomizing characteristics of the evaporating pipe atomizer. Among all the factors which affect the fuel atomization, the atomizing air speed is the most important, but the fuel-air-ratio and geometrical parameters have certain effects on it as well. The distance of the fuel atomization shortens with the increase of the atomizing air speed.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON HEAT TRANSFER IN ROTATING COOLANT CHANNELS

Wang Baoguan and Ding Xiaojiang

(Nanjing Aeronautical Institute)

ABSTRACT This paper deals with a facility and an experimental technique for researching the heat transfer of coolant channels in the rotating turbine blade, and presents the preliminary results of the convective coefficient of the flow parallel to the axis in the rotating conditions. The results show that the effect of rotating on heat transfer is highly enhanced by centrifugal and Coriolis forces. In the conditions of the present tests ($Re = 6.4 \times 10^4$, $n = 1000 \text{ rpm}$), the Nusselt number in the rotating state is about 20 percent higher than that in the stationary case.