

PIV 技术在暂冲式风洞高亚音速平面叶栅流场
测量中的应用

马昌友,侯敏杰,杨 灵,梁 俊

(中国航空工业集团公司中国燃气涡轮研究院 四川 江油 621703)

摘 要:针对 PIV 技术在暂冲式风洞高亚音速平面叶栅流场测量中遇到的示踪粒子投放问题,本研究通过采用高压雾化式粒子发生器以及安装在稳压段前的撒播器,有效地使示踪粒子均匀地与主流混合,并成功对某扩压叶栅在设计攻角下的叶栅流道及尾迹速度场进行测量,获得了进口马赫数从 0.3 至 0.73 的二维速度矢量场。为了验证 PIV 试验结果的可靠性,对叶栅流场进行了数值模拟。结果对比表明:采用 PIV 技术测得的叶栅中截面二维速度矢量场合理地反映了叶片槽道及尾迹的流动结构,与数值模拟结果较为接近;对于跨、超音速或大攻角下叶栅流场,需考虑是示踪粒子壁面污染对测量的影响。本研究提出的 PIV 测量技术可应用于基于吸附式、合成射流等流动控制技术的高亚音速叶栅流场的测量。

关 键 词:暂冲式风洞;平面叶栅;PIV 测量;试验研究;数值模拟

中图分类号:TK474.8⁺11

文献标识码:A

引 言

平面叶栅风洞在叶栅性能基础研究中占据了极为重要的地位。通过开展平面叶栅试验,了解叶型在不同状态下的气动性能,为叶型改进设计提供支撑。因此,对叶栅流场的准确测量,是至关重要的。对叶栅流场测试,通常采用总压、总温探针、多孔尾迹探针^[1]以及壁面静压等常规测试手段来获取叶栅进、出口气流马赫数以及叶片表面马赫数分布等气动参数。这种测试手段的特点是通常只能进行单点测量,探针对流场不可避免的产生干扰,无法对整个区域内的二维流场进行无扰动测量,并且得到的是平均意义下的气流参数。当叶栅槽道流场流速变化较大,并有涡存在时,常规测试手段很难实现流速的准确测量。

近年来,非接触式瞬态流场测试技术 PIV (Particle Image Velocimetry),克服了接触式单点测量设备的局限性,可以无干扰地获得叶栅槽道瞬时速度

场、涡量场等,已成为研究叶栅流场的一种先进测试手段^[2-8]。但由于 PIV 技术比较复杂,影响因素比较多,如示踪粒子的选取与播撒、激光片光与 CCD 的布局等,都会影响所测量的流场质量和真实性。目前,国内外学者开展叶栅流场 PIV 测试研究主要是在连续式低速叶栅风洞上进行^[9-12],而基于暂冲式高速平面叶栅风洞的流场 PIV 测量技术研究的文献较少。

本研究以测量某压气机叶型叶栅槽道二维速度场为例,解决了 PIV 测试系统在暂冲式高速平面叶栅风洞中的应用难题,成功获取了最高进口马赫数为 0.73 时的速度向量场。为了验证 PIV 试验结果的可靠性,对叶栅流场进行了数值模拟。结果对比表明:采用 PIV 技术测得的叶栅中截面二维速度矢量场合理地反映了叶片槽道及尾迹的流动结构,与数值模拟结果较为接近。采用本研究提出的 PIV 测量技术也可用于连续式叶栅风洞中。

1 试验件及测试系统

1.1 试验件

试验在中国燃气涡轮研究院超、跨音速平面叶栅风洞试验器上进行。设备是一座暂冲吹入大气式的超、跨音速平面叶栅吹风试验器,能进行亚、跨、超音速压气机和涡轮平面叶栅吹风试验。试验叶型为某高亚音速压气机动叶叶型。叶栅弦长 $B = 65$ mm,栅距 $T = 49.1$ mm,安装角 $\gamma = 60.65^\circ$,设计进口气流角 $\beta_1 = 45.7^\circ$,设计进口马赫数 $M_1 = 0.66$ 。叶栅试验件实物如图 1 所示,与常规叶栅设计相比,该叶栅在设计允许的条件下,提高栅距,以便激光光源最大限度的打入叶栅通道。叶栅右栅板采用了透明的航空有机玻璃材料,兼作 CCD 拍照视窗,左栅板为普通金属材料,以便于叶栅内部形成暗室,降低

收稿日期:2013-05-22; 修订日期:2013-06-24

作者简介:马昌友(1981-),男,安徽天长人,中航工业燃气涡轮研究院高级工程师。

PIV 的测量时背景光的影响。为了尽量提高拍照面积,叶片与右栅板采用销钉方式装配,与左栅板采用叶型榫槽方式装配。叶片表面测压管和栅前及栅后的静压测压管从左栅板引出。

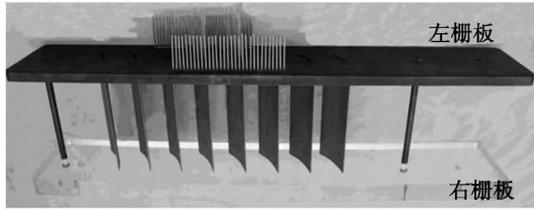


图 1 叶栅试验件实物图
Fig. 1 Picture showing the real object of the cascade test piece

1.2 PIV 测试系统

试验所使用的 PIV 系统从德国 LaVision 公司引进,该系统是由双脉冲激光器、CCD、同步控制器、图像采集和装有 Davis 软件计算机组成。激光器为双谐振脉冲式 Nd: YAG 激光器,工作频率为 15 Hz,单脉冲最大能量 360 mJ,激光波长为 532 nm,通过激光臂可以方便的将激光打入到叶栅槽道中。CCD 相机缓存 512 MB,像素 1600 × 1200,带有立体相机支架,可对 CCD 在 3 个方向上进行精确旋转,配合三维位移机构,可全方位控制 CCD 的方向和位置。试验时,Davis 软件通过同步器控制激光打光和 CCD 拍照,并进行图像处理,获得叶栅流道速度场分布。

2 试验方案

2.1 示踪粒子投放

激光测速技术离不开示踪粒子。良好的光散射性和跟随性是选取示踪粒子最基本的要求,但这两个要求互相制约:散射性随尺寸的增加而增加,而尺寸愈大的示踪粒子对流动的跟随性愈差。考虑到试验器是暂冲式的,来自气源站的高压空气需要经过净化器、干燥器和储气罐后,送至试验段,因此示踪粒子不能直接从气源站的压缩机进口吸入,研究采取在试验段上游管道中注入。

不同的示踪粒子需要选用适当的粒子发生器。研究选用德国 Lavisision 公司的型号为 Laskin PIV Part40 压力雾化式粒子发生器,使用高压气源供气,最大允许进、出口压差可达 0.6 MPa。示踪剂采用 Lavisision 公司研制的癸二酸(2-乙基己基)酯,通常

简称为 DEHS,该粒子适用于风洞、叶轮机、发动机内流等流场,粒子平均半径为 1 μm 左右,它的最直接的优点是无毒、稳定性好,可以在不同的情况下存留几个小时保持尺寸形状不变。文献 [13] 利用 PIV 开展涡轮叶片尾缘喷气研究使用了该示踪粒子,使用效果良好。

粒子发生器所需的高压气源来自于气源站储气系统。图 2 给出了气源站供气流程图。试验前,来自气源站的压缩空气先为储气系统供气充压至 0.6 MPa,将小储气罐通过闸阀与大储气罐断开;试验时小储气罐独立作为粒子发生器的气源,大储气罐作为叶栅主流气源;当小储气罐压力较低时,将闸阀打开,与大储气罐连通,气源站即可为小储气罐打压至 0.6 MPa。示踪粒子通过安装在试验器上游的调压阀与稳压箱之间的撒播器投放到主流中。调压阀后主流管道的压力一般在 200 kPa 以内,足够的压差使得示踪粒子流可以压入主流中。另外,撒播器距离试验段约 8 m,可以确保粒子在被主流输送到试验段前与主流充分混合。示踪粒子的浓度通过调压阀进行调节。

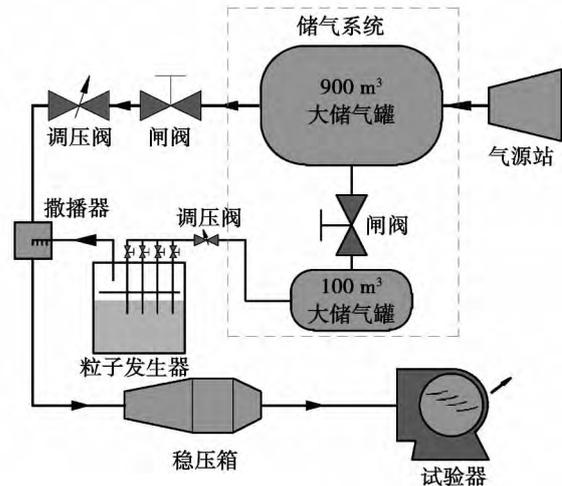


图 2 供气流程图
Fig. 2 Flow chart for showing the air supply

2.2 光路布置

激光片光在 PIV 中作为光源,照亮待测流场中的粒子,从而使 CCD 能够捕捉到粒子流动。在试验中,叶栅中截面槽道及其下游尾迹速度场作为待测区域。双腔激光器发出来的激光光束通过安装在光臂出口末端的柱面镜、聚光镜等光学组件(俗称激光头)将光束变成厚度约为 1 mm 的片光,传送到待测截面,并确保激光片光与待测截面重合。采用

单 CCD 对该流场进行二维速度场测量, CCD 拍照方向与激光片光严格垂直。

图 3 为试验时激光片光与 CCD 的布局方案。试验采用从叶栅下游即试验段出口处逆向打光, 试验段出口处安装的支架用于固定激光头, 这种打光方案同时考虑了两个问题:

(1) 叶栅出口气流速度比较大, 倘若直接吹向支架, 支架将承受较大的气动力, 影响支架稳定。试验发现, 支架安装位置避开叶栅出口气流方向, 支架受到的气动力则会显著降低至承受范围之内。

(2) 试验中叶栅出口气流含有示踪粒子、容易损伤和污染光臂的光学部件。为了保护光学部件, 在支架上设计安装了保护罩, 激光片光从保护罩上的石英玻璃透出, 但示踪粒子容易污染石英玻璃, 并在其表面上形成油膜, 导致透光度下降, 需要在每次试验暂停时及时擦拭干净。

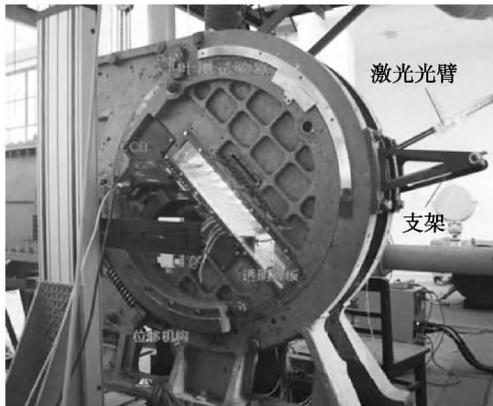


图 3 激光片光与 CCD 布局方案
Fig. 3 Laser light sheet and CCD layout version

按照上述光路布局, 由于叶片的存在, 使得靠近叶片表面区域没有速度向量。主要因素有片光被弯曲的叶片遮挡(如图 4 所示)、CCD 被叶片端面遮挡、叶片附近的粒子反光不规律或粒子浓度过低, 这些因素虽然可以通过在叶片上喷涂哑光漆、调整片光投射方向或 CCD 位置等措施最大可能的减轻近壁面问题的影响, 但不可能根本消除。计算中通过创建遮罩 Mask 方法来屏蔽该区域, 如图 5 所示。

2.3 标定

PIV 试验不仅可以定性的获得测量区域的速度分布趋势, 也可以通过标定, 得到待测区域各点的真实速度。二维 PIV 试验, 标定实际上是为了得到实际流场的两点真实距离(mm)与 CCD 采集的标定图像中相对应两点的距离(pixel)的系数(mm/pixel)。

考虑到试验叶片的存在, 使得标定板无法放置在待测位置处, 研究采用使用小钢尺代替。具体的标定方法是把钢尺放置在待测叶栅槽道里, 并调整钢尺位置, 使其刻度所在的平面与激光片光重合, 然后调节 CCD 的焦距至能清晰地看见钢尺刻度, 如图 6 所示。按照 Davis 软件的要求, 在采集到的图像中指定 2 点, 根据这两点实际距离(由钢尺刻度读取), 程序自动完成标定。

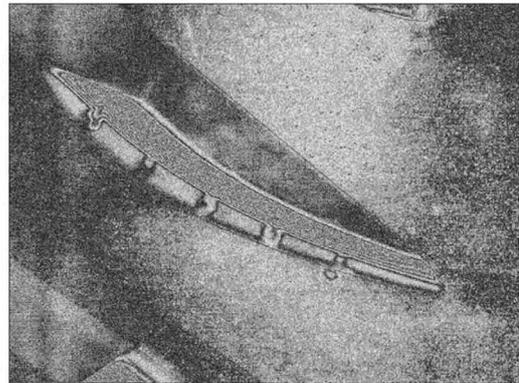


图 4 叶栅流场粒子图像
Fig. 4 Particle image of Cascade flow field



图 5 粒子图像屏蔽定义图
Fig. 5 Particle image mask definition diagram

3 数值模拟

为了验证 PIV 测量结果有效性, 采用商用 NUMECA 软件的 FINE/Turbo 模块对该叶栅进行全三维粘性流场数值模拟, 获得了该叶栅在相应状态下的流场信息。计算时使用了时间推进法求解三维雷诺平均的 N-S(RANS) 方程, 采用二阶精度的中心差分格式进行空间离散, 时间项采用四阶 Runge-Kutta 法迭代求解, 湍流模型为一方程的 S-A(Spal-

art - Allmaras) 模型。计算采用多重网格法,结合当地时间步长及隐式残差光顺等加速收敛技术。计算域的网格划分,采用了结构化网格的 HOH 型网格,计算的总网格量约 30 万,壁面处理采用了绝热无滑移条件^[14]。

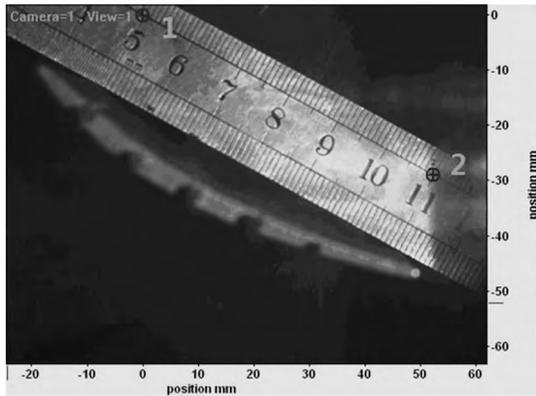


图 6 二维叶栅流场 PIV 标定方法

Fig. 6 PIV method for calibrating two dimensional flow fields in cascades

4 试验结果分析

图 7 给出了在设计进口气流角 $\beta_1 = 45.7^\circ$ 进口马赫数 M_1 分别为 0.3、0.5、0.6 和 0.73 状态下,利用 PIV 系统采集并计算粒子图像,得到的叶栅流场的速度矢量图。从图 7 中可以看出,气流在叶背处加速,且随着进口马赫数的提高,局部速度的最大值也相应增大。局部位置的速度值较大。由于叶片的存在,使得靠近叶片表面区域没有速度向量。主要因素有片光被弯曲的叶片遮挡、CCD 被叶片端面遮挡、叶片附近的粒子反光不规律或粒子浓度过低,这些因素不可能根本消除,只能最大可能的减轻近壁面问题的影响。计算中通过创建遮罩 Mask 方法来屏蔽该区域。

图 8 给出了在设计进口气流角 $\beta_1 = 45.7^\circ$ 进口马赫数 M_1 分别为 0.3、0.5、0.6 和 0.73 状态下,通过 CFD 数值模拟,得到的叶栅流场的速度矢量图。对比 PIV 测量结果和 CFD 数值模拟结果,可以看出,PIV 测得的叶栅中截面二维速度矢量场合理地反映了叶片槽道及尾迹的流动结构。从 PIV 试验和 CFD 计算结果可以看出,在设计攻角下,叶背没有发生气流分离。PIV 捕捉到了叶栅尾迹,从图中可以看到叶片尾缘处的速度向量较小。但由于本研究关注了叶栅槽道及尾迹流场的全域测量,未能捕捉

到尾迹区的细微结构。

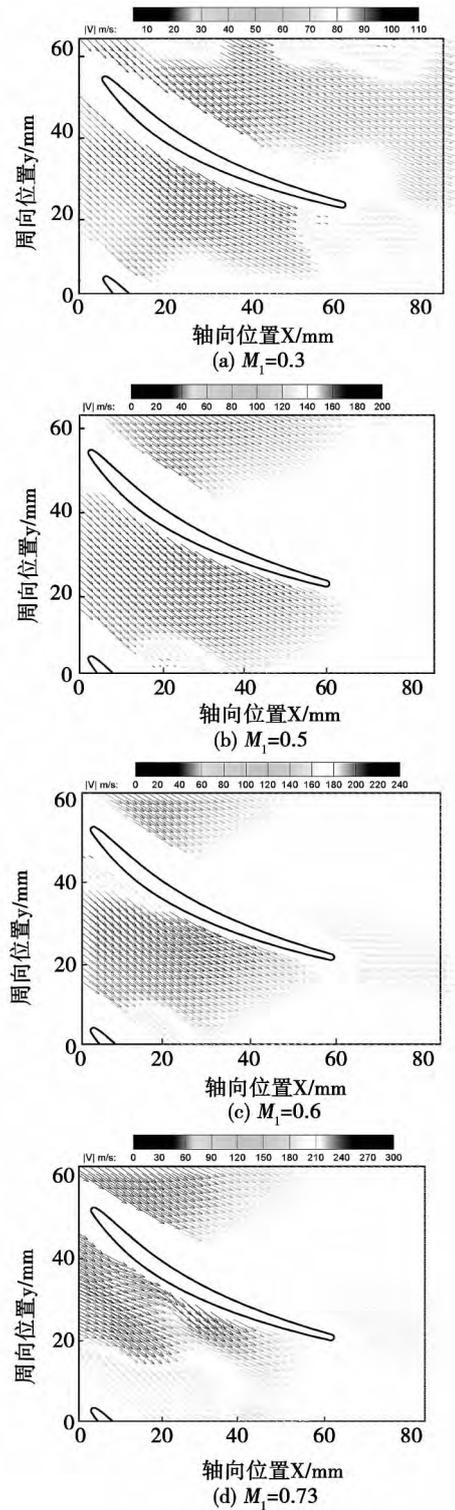


图 7 设计攻角不同进口马赫数叶栅槽道二维速度矢量场(PIV 测量结果)

Fig. 7 2 - D velocity vector field in the passage of the cascade at the design attack angle and various Mach numbers at the inlet (PIV measurement results)

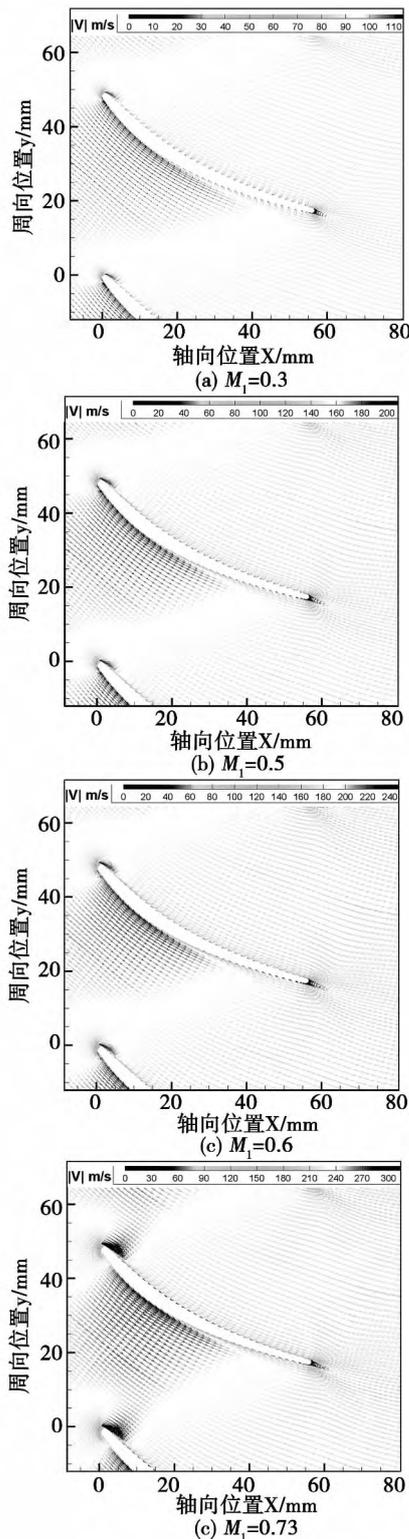


图 8 设计攻角不同进口马赫数叶栅槽道二维速度矢量场 (CFD 计算结果)

Fig. 8 2-D velocity vector field in the passage of the cascade at the design attack angle and various Mach numbers at the inlet (CFD calculation results)

另外,从图 7 可以看出,图中局部小区域的速度矢量与图 8 相应位置存在较大差异,这是因为该位置处的叶栅栅板受到液体示踪剂的污染,并不断聚集,导致该区域的粒子图像没能合理反映出叶栅中截面的流动结构。因此,今后开展叶栅流场测量,特别是在较高马赫数或大攻角下,需考虑壁面污染对测量的影响。

5 结 论

本研究基于粒子图像速度仪 (PIV) 系统,发展了适用于暂冲式平面叶栅流场测量的 PIV 技术,对某扩压叶栅在设计攻角下的进行了叶栅槽道及尾迹速度场的测量,获得了不同进口马赫数的二维速度矢量场。

(1) 与三维 CFD 计算结果的对比分析表明:采用 PIV 技术测得的叶栅中截面二维速度矢量场合理地反映了叶片槽道及尾迹的流动结构,与数值模拟结果较为接近。这说明 PIV 测量方法时可以应用于平面叶栅试验器上开展叶栅槽道及尾迹流场测量的。

(2) 试验结果表明,本研究针对暂冲式风洞及叶栅试验器的特点,提出的示踪粒子的选取与投放、CCD 与片光光路布局与标定是可行的,也适用于连续式叶栅风洞。

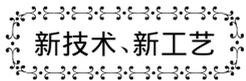
此次试验成功获取了亚音速叶栅槽道速度场,虽只是在零攻角开展的,但其试验方法可应用于基于吸附式、合成射流等流动控制技术的高速高负荷大攻角叶栅流场的测量。

参考文献:

- [1] 陈武,侯安平,郑新前.在大分离区内使用三孔探针测试的探索[J].流体力学实验与测量,2003,17(3):84-87.92.
CHEN Wu, HOU An-ping, ZHENG Xin-qian. Exploratory study of the use of a three-hole probe in a separation zone with a large area [J]. Hydrodynamics Test and Measurement, 2003, 17(3): 84-87.92.
- [2] 弓志强,陆亚钧,葛敬东.环形扩压叶栅流动非定常控制方法的 PIV 研究[J].航空动力学报,2006,21(3):455-460.
GONG Zhi-qiang, LU Ya-jun, GE Jing-dong. Investigation of the unsteady flow control method for annular diffusion cascades by using the PIV technology [J]. Journal of Aerospace Power, 2006, 21(3): 455-460.
- [3] 杨文滨,王鹤寿,李军.涡轮叶栅流场的 PIV 测量实例[J].电子测量技术,2008,31(9):83-86.
YANG Wen-bin, WANG He-shou, LI Jun. Example of measuring a

- flow field inside the cascade of a turbine by using the PIV technology [J]. Electronic Measurement Technology, 2008, 31(9): 83-86.
- [4] Öguz Uzol, Xue Feng Zhang. Investigation of unsteady wake-separated boundary layer interaction using particle-image-velocimetry [J]. ASME Paper, GT2007-28099, 2007.
- [5] Henner Schropp, Udo Stark, Horst Saathoff. Breakdown of the tip clearance vortex in a rotor equivalent cascade and in a single-stage low-speed compressor [J]. ASME Paper, GT2008-50195, 2008.
- [6] Jonathon Pluim, Curtis Memory, Jeffrey Bons, and Jen-Ping Chen. Designing a high fidelity wake simulator for research using linear cascades [J]. ASME Paper, GT 2009-59276, 2009.
- [7] Olga Alhaj, Joerg R. Seume. Optical investigation of profile losses in a linear turbine cascade [J]. ASME Paper, GT2010-23166, 2010.
- [8] Philipp Schaefer, Christian Cierpka, Hans-Jürgen Rehder, Ingo Röehle. Wavelet analysis of vortical structures in turbomachinery applied to PIV data [J]. ASME Paper, GT2011-45462, 2011.
- [9] Jordi Esteveordal, Matthew D. Langford, et al. PIV investigation of the flow field in a transonic compressor cascade with a moving shock wave [R]. AIAA Paper, 2007-5064, 2007.
- [10] Chase Nessler, Christopher Marks. PIV Investigation of Periodic Unsteady Wakes over a Highly Loaded LPT Blade [R]. AIAA Paper, 2009-5107, 2009.
- [11] 刘波, 项效镨, 南向谊, 等. 附面层抽吸对叶栅表面分离流动控制的实验研究. 推进技术, 2009, 30(6): 703-708.
LIU Bo, XIANG Xiao-rong, NAN Xiang-yi, et al. Experimental investigation of the flow separation on the surface of a cascade blade controlled by pumping the boundary layers [J]. Propulsion Technology, 2009, 30(6): 703-708.
- [12] 孙卫亮, 宋彦萍, 谷君, 等. 大攻角平面压气机叶栅内的 PIV 应用 [J]. 节能技术, 2006, 24(4): 291-293.
SUN Wei-liang, SONG Yan-ping, GU Jun, et al. Applications of the PIV technology in plane cascades of a compressor with a large attack angle [J]. Energy Conservation Technology, 2006, 24(4): 291-293.
- [13] Experimental investigations on cooling air ejection at a straight turbine cascade using PIV and q1s [R]. ASME Paper, GT2011-45296, 2011.
- [14] 王志强, 胡骏. 多级轴流压气机转子通道流场的 PIV 测量 [J]. 航空动力学报, 2012, 27(1): 152-159.
WANG Zhi-qiang, HU Jun. PIV technology-based measurement of the flow field inside the flow passage of the rotor of a multi-stage compressor [J]. Journal of Aerospace Power, 2012, 27(1): 152-159.

(孙显辉 编辑)



新技术、新工艺

GE 推出 5.6 MWGE38 船用燃气轮机

据《Gas Turbine World》2013 年年度手册报道,设计用来驱动“K”型 CH-53 重型直升机的先进涡轴发动机—GE38 正在研制用来驱动 5 000 kW 级船用发电机组。

如同航空发动机设计所预期,该发动机十分紧凑和重量轻,最大直径 690 mm 并且核心发动机长度 1 460 mm,干重小于 590 kg。

该发动机配备 1 个轴流-离心式压气机和 1 个 2 级轴流式燃气发生器涡轮(组成第 1 个轴)以及 1 个气动连接的自由动力涡轮(组成第 2 个轴),构成双轴发动机。

压气机前部的轴流部分为 5 级承受整体轮盘,以便异物的吸入并减少腐蚀。燃室压气机的材料和涂层能够防止在盐/沙环境中的腐蚀。

单环燃烧室头部配备多个燃料喷嘴,空气冷却的火焰筒和过渡段。多燃料包括馏出油、船用柴油、煤油或喷气式发动机燃料。

燃气发生器涡轮的 2 级采用空气冷却,并且静叶和动叶都采用单晶叶型。

三级动力涡轮气动连接到燃气发生器。在所有级上都使用带冠动叶片,以便减少振动和叶顶泄漏损失,从而得到更好的效率并延长部件的寿命。

GE 声称,与目前用于美国、欧洲和亚洲各国海军各级舰船的相应发电机比较,GE38 燃气轮机发电机组可以提供更大的输出功率,估计可节省 15% 的燃料。

(吉桂明 摘译)

versity ,Dalian ,China ,Post Code: 116026) ,LI Li-li ,PAN Ruo-chi (Shenyang Engine Designing Research Institute ,China Aviation Industry Group Corporation ,Shenyang ,China ,Post Code: 110015) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(2) . - 127 - 132

To conduct an experimental study of the last-stage sector-shaped cascade of a compressor ,designed were controllable guide blades to simulate the speed and direction of the air flow at the inlet of the cascade. On this basis ,the numerical simulation and test method were used to conduct a study of the aerodynamic characteristics of the blades and the law governing the distribution of the parameters of the air flow at the outlet of the guided blades was analyzed at various turning angles. It has been found that the numerical simulation results are in a relatively good agreement with the test ones. With the guided blades being designed rationally ,the sector-shaped cascade test can replace the compressor stage test to study the performance and flow field configuration of the stator. During the test ,the influence of the guide blade clearances forced the boundary layer to become thick and when the rotating angle was 0 , +2 and +4 degrees respectively ,the location of the maximal Mach number at the outlet was eventually elevated to 25% of the blade height towards the pitch diameter while that was located at 15% of the blade height when a numerical simulation was conducted due to an insufficient consideration of the change in the boundary layer. **Key words:** sector-shaped cascade ,adjustable guide blade ,test ,numerical simulation ,compressor

PIV 技术在暂冲式风洞高亚音速平面叶栅流场测量中的应用 = **Applications of the PIV (Particle Image Velocimetry) Technology in Measurement of the Flow Field of a High Subsonic Plane Cascade in a Shock Wind Tunnel** [刊 ,汉] MA Chang-you ,HOU Min-jie ,YANG Ling ,LIANG Jun (China Gas Turbine Research Institute ,China Aviation Industry Group Corporation ,Jiangyou ,China ,Post Code: 621703) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(2) . - 133 - 138

In the light of such a problem of the PIV technology encountered in measuring the flow field of a highly subsonic plane cascade in a shock type wind tunnel as tracer particle placement ,by using a high pressure atomization type particle generator and a spreader installed before the pressure stabilizer section ,the authors had effectively forced the tracer particles uniformly blended with the main stream and successfully measured the velocity fields in the flow passages and the wake of a diffusion cascade at the design attack angle with two-dimensional velocity vector fields being obtained in a range of Mach number at the inlet from 0.3 to 0.73. To verify the reliability of the PIV test results ,the flow field of the cascade was numerically simulated. A comparison of the results shows that the two-dimensional velocity vector fields measured in the mid-section of the cascade by using the PIV technology can rationally reflect the flow configuration in the flow passages and the wake of the blades and are relatively close to the numerical simulation results. For the flow fields in a trans-sonic or supersonic cascade at a large attack angle ,it is necessa-

ry to take account of the influence of the pollution to the wall surfaces caused by the tracer particles on the measurements. On this basis ,the PIV technology put forward by the authors can be applied for measurement of the flow fields in a high subsonic cascade based on the absorption type and composite jet flow etc. flow control technologies.

Key words: shock type wind tunnel ,plane cascade ,PIV measurement ,experimental study ,numerical simulation

介质阻挡放电辅助甲烷蒸汽重整的实验研究 = **Experimental Study of the Dielectric Barrier Discharge-aided Steam Reforming of Methane** [刊 ,汉] ZHENG Hong-tao ,LIU Qian ,CHEN Xi ,ZHANG Zhi-bo (College of Power and Energy Engineering ,Harbin Engineering University ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(2) . -139 -144

With a great number of experiments performed by making use of an dielectric barrier discharge (DBD) -aided methane steam reforming test rig and based on the test data thus obtained ,systematically analyzed was a law governing the influence of the steam/methane molar ratio (S/C) ,reactant residence time ,wall surface temperature and input power etc. on the methane conversion rate ,effective carbon recovery rate and product selectivity etc. indexes and investigated was the correlation of various influencing factors at temperatures from 350 °C to 500 °C . It has been found that the residence time has a most remarkable influence on various indexes. At different wall surface temperatures , with an increase of the residence time ,the product selectivity will change with a turning point ,declining from about 60% to around 20% . Different from the influence of the residence time ,various indexes for evaluating the reforming characteristics will all assume a slow growth tendency with an increase of the input power or S/C . Whether or not the temperature will affect the steam reforming of methane aided by the plasma is relevant to the residence time and input power etc. parameters. Only when the residence time is longer than 0. 59 seconds ,will the influence of the temperature on the reforming reaction become relatively small. In addition ,when the input power is also greater than 80 W ,the temperature will no longer affect the reforming reaction. **Key words:** dielectric barrier discharge ,steam reforming of methane ,wall surface temperature ,gas turbine ,chemical recuperator ,experimental study

应用热力学分析方法与 AHP—熵值法对 ORC 的工质比较及优化 = **Comparison and Optimization of the Working Media for Organic Rankine Cycles by Using the Thermodynamic Analytic Method and AHP-Entropy Value Method** [刊 ,汉] ZHANG Xin-ming ,WANG De-hua ,HONG Guang ,YU Bing-xian (Education Ministry Key Laboratory on Low Grade Energy Utilization Technologies and Systems ,Chongqing University ,Chongqing , China ,Post Code: 400030) ,HONG Guang (Urban Construction Research Institute ,Beijing ,China ,Post Code: 100120) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(2) . -145 -150

With four organic working media being chosen to serve as the cyclic working medium ,namely R245fa ,R123 ,R600