

叶片前缘微小圆柱诱导涡对低压轴流风机气动性能的影响分析

陈晓飞, 黄典贵

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海市动力工程多相流动与传热重点实验室, 上海 200093)

摘 要: 为了改善轴流风机的性能, 提出了一种在轴流风机叶片前缘设置微小圆柱的流动控制方法, 并使用 CFD 软件对采用此流动控制方法的轴流风机进行了数值计算。结果表明: 叶片前缘前设置微小圆柱可在一定的工况范围内提高轴流风机的性能; 通过对比叶片前缘有、无设置微小圆柱的轴流风机流场和叶片表面的边界涡通量分布发现, 由于叶片前缘微小圆柱诱导涡的产生和发展改善了轴流风机内部流场, 使得其性能得以提高。

关 键 词: 流动分离; 边界涡量法; 叶片前缘; 微小圆柱

中图分类号: 文献标识码: A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.12.006

引 言

当轴流风机偏离设计工况运行时, 叶片表面往往会发生较大的流动分离, 从而阻塞流道, 使得轴流风机的气动性能急剧下降, 大大降低了轴流风机的运行效率^[1]。因此, 研究改善流场, 抑制叶片表面流动分离的有效措施, 对提高轴流风机运行效率和扩大其稳定工作范围具有重要的意义^[2]。

为了提高风机效率及其运行稳定性, 避免旋转失速和喘振, 采取的扩稳措施可以分为以下两类^[3]: 一类是传统的扩稳技术手段, 这种技术措施常在设计时采取, 多见于压气机设计, 如机匣处理^[4-5], 叶尖小翼和叶顶开槽等被动控制技术^[2, 6], 通过改善压气机叶片端区的二次流动, 减少流动损失, 扩大压气机稳定工况范围; 另一类是主动控制技术。例如, 叶顶吹气和边界层吹吸气等, 通过控制流动分离达到改善流场的目的^[7-8]。

二维翼型在大攻角工况下, 翼型前缘前设置微小结构(小圆柱或小平板)可以有效地抑制翼型上的流动分离, 从而提高翼型的升阻比^[9-10]。本文将此流动控制方法应用于某低压轴流风机, 采用数值计算的方法探究其对轴流风机性能的影响, 对其进行 CFD 计算结果分析, 同时结合边界涡通量法对叶片表面的流动状况进行 BVF 边界涡量流分析。

1 边界涡通量法

BVF 是边界涡量动力学理论的核心概念, 它的物理意义是单位时间内通过单位面积的涡通量。

20 世纪 80 年代中期以来, 吴介之等人首先提出了边界涡动力学理论^[11], 然后, 其通过控制机翼表面的边界涡量流 BVF 分布对翼型进行气动诊断和优化, 效果显著^[12]。其后, 徐朝晖利用 BVF 方法对高速离心泵叶片表面的流场进行诊断^[13], 验证这一理论。而张瑶等又通过这一方法对一高比转数离心泵叶轮进行诊断^[14], 根据 BVF 计算结果, 对泵进行优化设计, 优化后泵的水利性能得到了较大提高。

本文采用 BVF 方法对轴流风机叶片表面流动状况进行分析, 结合 CFD 计算结果, 探寻轴流风机内部流动机理。

2 数值模拟

2.1 翼型前缘设置微小结构的流场特性

2.1.1 NACA0012 翼型绕流场的验证及前缘设置微小结构的流场特性

为验证数值模拟的可靠性, 在 Re 为 6 000 000

收稿日期: 2016-01-15; 修订日期: 2016-04-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51536006, 51576133); 上海理工大学流动控制与仿真重点实验室基金资助项目(D15013); 上海市动力工程多相流动与传热重点实验室开放基金资助项目(13DZ2260900)

作者简介: 陈晓飞(1989-), 男, 山东潍坊人, 上海理工大学硕士研究生。

通讯作者: 黄典贵(1963-), 男, 江苏南通人, 上海理工大学教授。

情况下,对 NACA0012 翼型绕流场进行了数值模拟,得到的升力系数 C_l 和阻力系数 C_d 与前人的实验结果吻合良好^[15],如图 1 所示。

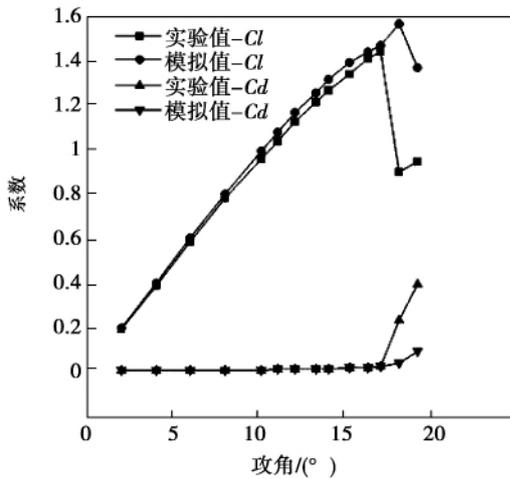


图 1 不同攻角下升阻力系数对比图

Fig. 1 Lift and drag coefficient comparison under different attack angles

陈琚在该叶片前缘设置微小圆柱^[9],发现大攻角下的流动分离被显著抑制,继而陈琚将这种方法用于垂直轴风力机,结果表明它可以在一定条件下提高风力机的气动性能。

董晓华还在叶片前缘设置微小叶片^[10],发现大攻角下抑制流动分离的效果比设置微小圆柱更好。

2.1.2 压气机叶片前缘设置微小结构的计算结果

针对压气机叶片,前缘附近设置微小平板,在来流风速为 170 m/s 时,采用速度作为进出口边界条件,翼型和微小平板的表面边界条件设为无滑移壁面。选用 Spalart - Allmaras (S - A) 湍流模型,空间采用 Roe's 三阶迎风格式,求解二维可压非定常 N - S 方程来模拟该叶片的绕流流场。

结果表明:叶片前缘设置微小平板后,叶片吸力面较大的流动分离被明显抑制,其升阻比与原始叶片相比有大幅提高,其流线对比如图 2 所示。

2.2 轴流风机叶片前缘设置微小圆柱的气动特性

2.2.1 三维模型建立

以某轴流风机为研究对象,其基本设计参数如表 1 所示。

根据设计参数,采用 Pro - E 进行 CAD 建模。该轴流风机共有 8 个叶片,如图 3 所示。微小圆柱

直径为 1.5 mm,长度与叶片高度相等,微小圆柱与叶片轴向距离为 3 mm。设计的微小圆柱与轴流风机转子叶片的相对位置如图 3 右下角所示。

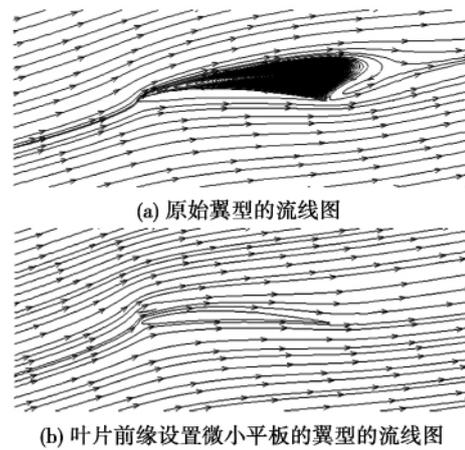


图 2 叶片前缘设置微小平板的翼型的流线对比图

Fig. 2 Streamline of airfoil with mini-plate

表 1 轴流风机的基本参数

Tab. 1 Basic parameters of axial fan

数 值	参 数
叶轮转速 / $r \cdot \text{min}^{-1}$	890
设计流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1 173
外径 / mm	300
内径 / mm	165
轮毂比	0.55
叶栅稠度 / $b \cdot t^{-1}$	1.14
叶片数	8
弦长 / b	119

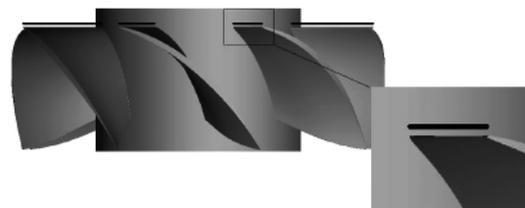


图 3 轴流风机转子设计图及单个微小圆柱与风机叶片的相对位置示意图

Fig. 3 Schematic of axial fan and the position between blade and cylinder

2.2.2 三维网格划分及数值计算

由于求解全周叶栅通道流场的计算量较大,本

文对流道模型进行简化,只取单通道模型进行计算。

为了提高网格生成质量和效率,叶轮流道区域采用专业的叶轮网格划分工具 CFX - Turbogrid 进行网格划分。图 4 所示为所采用的单通道计算网格。在主流区域采用 H 型网格,在叶片周围用 O 型网格,而在叶顶间隙中采用独立的 H 型网格。采用 CFD 计算软件,单流道计算网格约 38 万,第一层网格厚度为 10^{-5} 数量级。微小圆柱采用 IBM(浸入边界法)进行模拟。

网格的无关性验证结果如表 2 所示,当网格量从 38 万增加到 60 万时,风机效率误差不超过 0.5%,因此后面的计算均采用网格量为 38 万的网格。

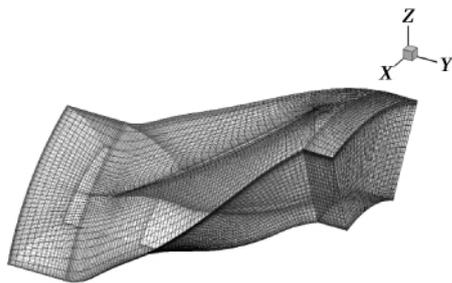


图 4 单通道模型网格

Fig. 4 Mesh of single channel

表 2 网格无关性验证

Tab. 2 Grid independence verification

网格数量/万	效率/%
20	87.06
38	86.43
60	86.93

采用三维稳态模拟方法,单通道模型入口设定总压,出口给定流量边界条件,叶片表面及该通道上、下表面的壁面条件为无滑移壁面,流道两侧给定旋转周期边界条件。

风扇内湍流模拟采用 SST(剪切应力输运)模型。该模型综合了 $k - \omega$ 模型在近壁区计算的优点和标准 $k - \epsilon$ 模型在远场计算的优点,在近壁面采用 $k - \omega$ 模型,因此适用范围较广,在叶轮机械领域有广泛应用。

2.2.3 结果及分析

(1) 性能分析

图 5 和图 6 分别给出了设置微小圆柱后的轴流风机及原始轴流风机的效率和全压系数随流量系数变化的对比。图中流量系数 $\varphi = 0.4 Q_v / \pi D u_r$; 全压系数 $\psi = 2 P_t / \rho u_r^2$, 其中 Q_v 为流量 m^3/s ; D 为风机内径 m ; u_r 为叶轮外缘圆周速度 m/s ; ρ 为流体密度 kg/m^3 ; 文中计算全压 P_t 为进出口全压差。

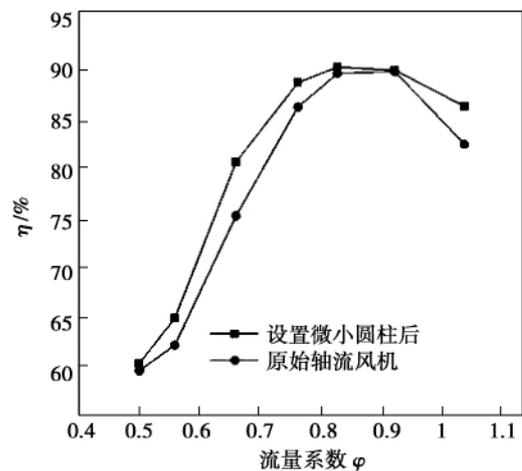


图 5 轴流风机流量系数 - 效率曲线对比

Fig. 5 Relationship between flow coefficient and efficiency of axial fan

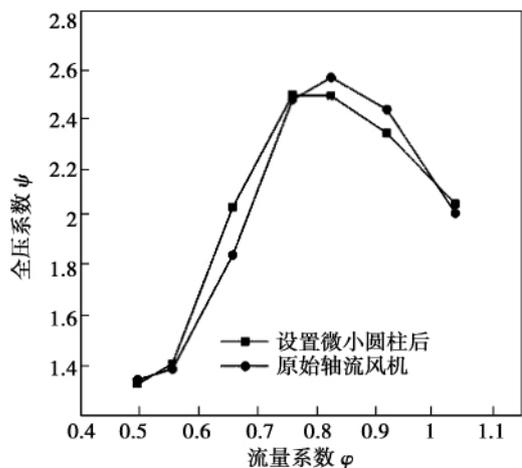


图 6 轴流风机流量系数 - 全压系数曲线对比

Fig. 6 Relationship between flow coefficient and total pressure coefficient of axial fan

原始轴流风机设计流量为 0.40 kg/s,流量系数

为 0.76。图 5 可以看出,流量系数由 0.76 减小到 0.50 时,原始轴流风机的效率下降较快;与原始轴流风机相比,叶片前缘前设置微小圆柱的轴流风机在考察的各流量工况下的效率均有所提升,在流量系数为 0.66 时,效率提升了 5.5%。由图 6 可以看出,设置微小圆柱后,小流量下全压有所提高,而大流量下全压有所降低。

综上所述,轴流风机叶片前缘前设置微小圆柱可以在一定程度上提高风机的性能。

(2) 流场分析

综上所述,叶片前缘前设置微小圆柱后可有效提高轴流风机效率,其原因是由于叶片前缘微小结构产生的脱落涡对下游流场产生影响,改善了流场。

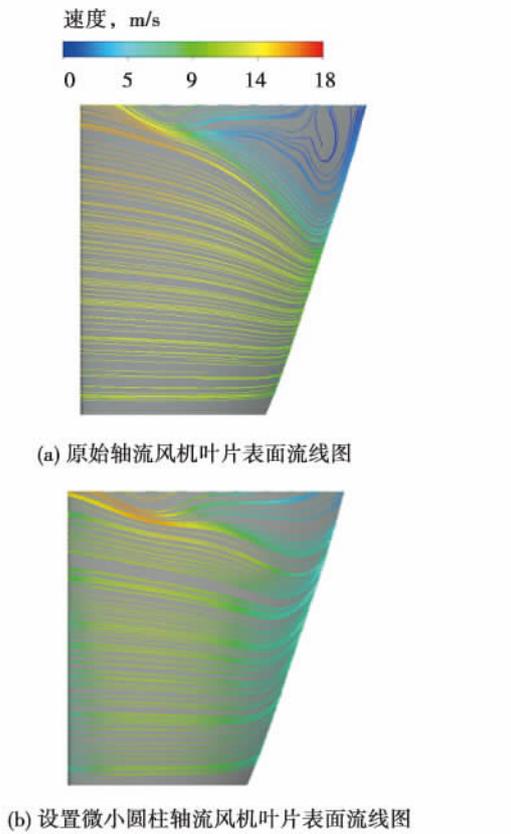


图 7 设置微小圆柱前后轴流风机叶片表面流线图(流量系数 0.66)

Fig. 7 Streamline of axial fan blade with mini-cylinder(flow coefficient at 0.66)

叶片前缘设置微小圆柱的主要目的是为了抑制小流量工况下出现的流动分离,扩大轴流风机稳定

工况范围。对于文中所选工况,流动大分离发生在小流量下,即流量系数小于 0.76 时。前缘设置微小圆柱后轴流风机与原始轴流风机相比在一定范围内改善了风机内部流场,扩大了其高效工作范围。

当流量系数为 0.66 时,加装微小圆柱的轴流风机和原始轴流风机的内部流场进行比较,如图 7 所示,对比两种轴流风机叶片表面极限流线可知,原始轴流风机叶片吸力面尾缘 65% 叶高以上位置流场出现较大的流动分离,如图 7(a) 所示,此分离泡阻塞部分流道,降低了轴流风机的效率;而当叶片前缘前设置微小圆柱以后,叶片尾缘靠近叶顶位置处的分离泡被抑制,如图 7(b) 所示,叶片表面的流线在尾缘部分比未设置微小圆柱时更加顺滑。

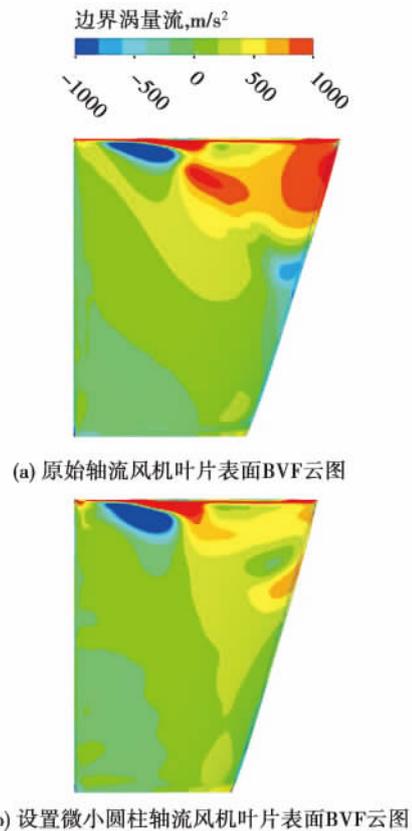


图 8 设置微小圆柱前后轴流风机叶片表面 BVF 云图(流量系数 0.66)

Fig. 8 BVF of original axial fan blade with mini-cylinder(flow coefficient at 0.66)

同时,采用 BVF 法对叶片表面流场进行分析。由图 8(a) 可知,风机叶片吸力面存在两处明显的 BVF 正峰值区域,其中一处出现在叶片吸力面叶高

70%以上叶片弦向50%左右的位置,另一处出现在叶高70%以上叶片尾缘处。由轴向力矩表达式可知BVF正峰值区域的出现对叶片做功是不利的,正峰值的出现说明此处逆压梯度过大,而逆压梯度过大往往会导致流动分离。从物理机理上讲,BVF所表征的是单位时间内通过单位面积进入流体的漩涡的多少。过高的BVF峰值将带来过大的涡量生成,从而最终导致大尺度分离,所以应尽量避免^[16]。尤其是在叶片表面,过高的BVF正峰值将直接导致后继的分离。对比两种轴流风机叶片表面BVF分布,叶片前缘设置微小圆柱以后,叶片后部表面陡峭的BVF正峰值区域相比原始叶片明显减小,这是使流场得以改善的原因。

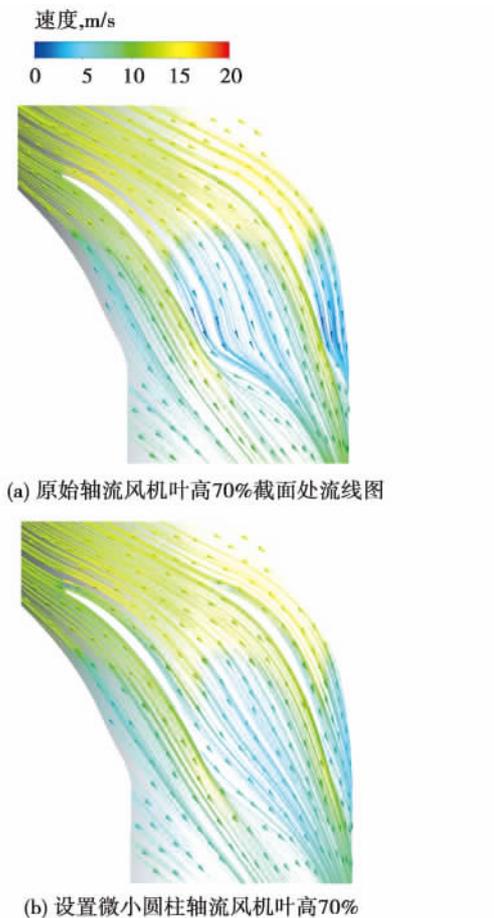
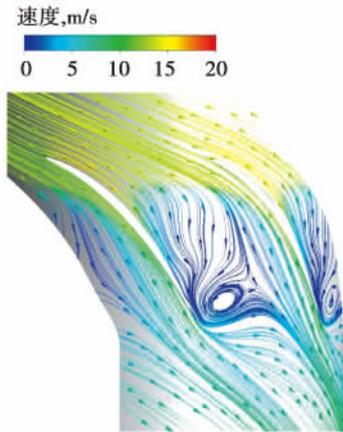


图 9 设置微小圆柱前后轴流风机叶高 70% 截面处流线图(流量系数 0.66)
Fig. 9 Streamline of axial fan blade with min-cylinder at 70% height of the blade (flow coefficient at 0.66)



(a) 原始轴流风机叶高80%截面处流线图



(b) 设置微小圆柱轴流风机叶高80%截面处流线图

图 10 设置微小圆柱前后轴流风机叶高 80% 截面处流线图(流量系数 0.66)
Fig. 10 Streamline of axial fan blade with min-cylinder at 80% height of the blade (flow coefficient at 0.66)

下面以流量系数为 0.66 时的工况为例,选取不同叶高处的流场进行分析。图 9 ~ 图 11 是不同叶高截面处两种风机的流场对比。由图 9 可知,原始轴流风机在叶高 70% 处,叶片尾缘流速下降较多,而设置微小圆柱的轴流风机叶片尾缘流速降低相对较少,但都未出现流动分离。

由图 10 可知,在叶高 80% 位置处时,原始轴流风机流道内出现一个巨大的分离泡,阻塞了轴流风机内部流道;而叶片前缘前设置微小圆柱以后,对比原始轴流风机流场,可以明显观察到此时的分离泡被抑制掉,流道内部流场改善明显。在叶高 90% 位置处时,如图 11 所示,原始轴流风机叶片吸力面从叶片前部开始就出现大的分离,整个流道流动紊乱,

堵塞严重;当叶片前缘设置微小圆柱以后,轴流风机内部流场有所改善,使流道内部阻塞区变小。

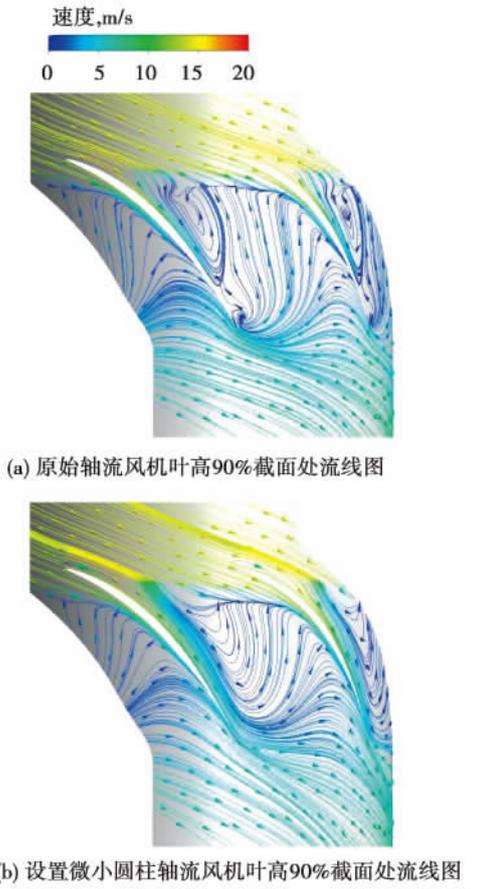


图 11 设置微小圆柱前后轴流风机叶高 90% 截面处流线图(流量系数 0.66)

Fig. 11 Streamline of axial fan blade with min-cylinder at 90% height of the blade (flow coefficient at 0.66)

3 结 论

为了改善轴流风机的性能,本文提出了一种在轴流风机叶片前缘前设置微小圆柱的流动控制方法,并通过数值的方法对比研究了安装微小圆柱前、后的轴流风机性能和流场特征,得到以下结论:

(1) 与原始轴流风机相比,叶片前缘前设置微小圆柱的轴流风机在考察的各流量工况下的效率均有所提升,在小流量工况下,效率提高较大,而大流量工况时,效率提升较少;

(2) 叶片前缘前设置微小圆柱的轴流风机,从流场结构来看,由于微小圆柱产生的脱落涡影响,使得近叶顶附近流道内分离区明显减小,同时从叶片表面 BVF 云图来看,叶片表面的边界涡通量正峰值区域也明显减少,轴流风机叶片流道内的流动分离受到了有效抑制;

(3) 叶片前缘前设置的微小结构,其结构形式、几何尺寸和相对位置均对轴流风机的性能产生影响,这有待后继工作进一步的理论研究与实验验证。

参考文献:

[1] 张才华,顾超华,郑水英.减小进口气流角对高压轴流风机性能的影响[J].轻工机械,2014(4):31-35.
ZHANG Cai-hua, GU Chao-hua, ZHENG Shui-ying. Effects of decreasing inlet flow angle on performances of high-pressure axial-flow fans [J]. Light Industry Machinery, 2014(4):31-35.

[2] 叶学民,李鹏敏,李春曦.叶顶开槽对轴流风机性能影响的数值研究[J].中国电机工程学报,2015(3):652-659.
YE Xue-min, LI Peng-min, LI Chun-xi. Numerical investigation of grooved blade tips effect on the performance of an axial flow fan [J]. Proceedings of the CSEE, 2015(3):652-659.

[3] 蒋康涛.低速轴流压气机旋转失速的数值模拟研究[D].北京:中国科学院研究生院(工程热物理研究所),2004.
JIANG Kang-tao. Numerical investigation on rotating stall in a low-speed axial compressor [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Engineering Institute of Thermal Physics), 2004.

[4] RABE D C, HAH C. Application of casing circumferential grooves for improved stall margin in a transonic axial compressor//ASME Turbo Expo 2002: Power for Land, Sea, and Air[C]. USA: American Society of Mechanical Engineers, 2002: 1141-1153.

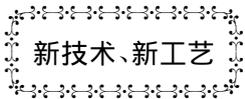
[5] CROOK A J, GREITZER E M, TAN C S, et al. Numerical simulation of compressor endwall and casing treatment flow phenomena [J]. Journal of Turbomachinery, 1993, 115(3): 501-512.

[6] 韩少冰,钟兢军.具有叶尖小翼的压气机叶栅间隙流动分析[J].工程热物理学报,2012(9):1492-1496.
HAN Shao-Bing, ZHONG Jing-Jun. Blade tip clearance flow analysis of a compressor cascade with tip winglet [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2012(9):1492-1496.

[7] 戴丽萍,张辉,康顺.叶顶吹气对低速轴流压气机间隙流动影响的数值研究[J].航空动力学报,2010(12):2643-2649.

- DAI Li-ping ,ZHANG Hui ,KANG Shun. Numerical simulation of the effect of blade tip blowing on a low speed axial compressor tip clearance flow[J]. Journal of Aerospace Power ,2010 (12) :2643 - 2649.
- [8] 周 杨,邹正平,刘火星,等. 边界层吹吸气对高负荷扩压叶栅性能的影响[J]. 推进技术, 2007 (6) :647 - 652.
ZHOU Yang ,ZOU Zheng-Ping ,LIU Huo-Xing ,et al. Effects of co-flow jets in boundary layer on highly-loaded compressor cascade performance[J]. Journal of Propulsion Technology ,2007 (6) :647 - 652.
- [9] 陈 珺,孙晓晶,黄典贵. 一种叶片前缘前带微小圆柱的垂直轴风力机[J]. 工程热物理学报, 2015 (1) :75 - 78.
CHEN Jun ,SUN Xiao-Jing ,Huang Dian-Gui. A new type of vertical-axis wind turbine equipped with the blades having micro-cylinders installed in front of their leading-edges [J]. Journal of Engineering Thermophysics ,2015 (1) :75 - 78.
- [10] 董晓华,孙晓晶. 翼型前缘微小平板的流动控制方法和数值模拟[J]. 上海大学学报, 2015, 21 (3) :364 - 369.
DONG Xiao-hua ,SUN Xiao-jing. Numerical study of flow separation control by setting small plate in front of leading edge of an airfoil [J]. Journal of Shanghai University ,2015 ,21 (3) :364 - 369.
- [11] WU J Z ,WU J M. Boundary vorticity dynamics since Lighthill's 1963 article: Review and development[J]. Theoretical and Computational Fluid Dynamics ,1998 (10) :459 - 474.
- [12] WU J Z ,ROACH R L ,LO C F ,et al. Aerodynamic diagnostics and design based on boundary vorticity dynamics[J]. Paper No. AIAA - 99 - 3103 ,1999 ,1 :33 - 46.
- [13] 徐朝晖. 高速离心泵内全流道三维流动及其流体诱发压力脉动研究[D]. 北京:清华大学, 2004.
XU Zhao-Hui. The analysis of three-dimensional flow in high-speed pump and research of its fluid-induced pressure fluctuation [D]. Beijing:Tsinghua University, 2004.
- [14] 张 瑶,罗先武,丁 华,等. 基于 BVF 流场诊断的高比转速离心泵叶轮优化[J]. 工程热物理学报, 2010, 31 (5) :765 - 768.
ZHANG Yao ,LUO Xian-wu ,DING Hua ,et al. Design optimization of the impeller for a high specific-speed pump based on BVF diagnosis[J]. Journal of Engineering Thermophysics ,2010 ,31 (5) :765 - 768.
- [15] LADSON C L. Effects of independent variation of mach and Reynolds numbers on the low-speed aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil section[M]. USA:NASA TM 4074 ,1988.
- [16] 吴 宏,李秋实,郭 明,等. 跨声风扇转子的 BVF 气动优化方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2007 (1) :14 - 18
WU Hong ,LI Qiu-shi ,GUO Ming ,et al. Aerodynamic optimization method of transonic fan rotor based on BVF [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics ,2007 (1) :14 - 18

(单丽华 编辑)



在 GT13D 公用电站装置上试验的第二代干式低 NO_x EV 预混燃烧器

《Gas Turbine World》2014 年 11 ~ 12 月刊报道,最初的干式低 NO_x EV 预混燃烧器在 GT11N 燃气轮机上在部分高负荷输出功率及 30% 负荷下进行了运行试验。

试验表明,使用该燃烧器能使 NO_x 的排放浓度降低到小于 10 mg/kg。

改进的干式低 NO_x EV 预混燃烧器最近在为公用电站服务的 GT13D 燃气轮机装置上进行了试验。试验进一步证实了第二代干式低排放 EV 预混燃烧器能有效地减少 NO_x 排放。

(吉桂明 摘译)

els. The dynamic simulation results indicate that the gas turbine dynamic model can accurately simulate the dynamic performance and be applied to the design of corresponding control systems of gas turbines. **Key words:** gas turbine ,simulation model ,high precision ,dynamic model

颗粒直径对向心透平冲蚀磨损的影响 = Effect of Particle Diameter on Erosion Wear Performance of Radial Flow Turbine [刊 汉] DUAN Zhi-qiang ,LI Xue-min (School of Energy and Power Engineering ,Huazhong University of Science and Technology ,Wuhan ,China ,Post Code : 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(12). - 25 ~30

In order to investigate the influence of particle diameter on erosion performance of radial flow turbine delivering solid-gas two-phase flow medium ,the impinging velocity ,impact angle and other parameters between solid particle and the surface of flow-passing parts were evaluated numerically. According to simulation results ,the particles with small diameters were distributed relatively homogeneously in the flow path of volute and blade ,and almost had no collision with the surface of flow-passing parts ,so the erosion wear of flow-passing parts was relatively weak. By contrary ,the solid particles with large diameters tended to pass into the flow pass of the impeller in the tail of the volute in the flow pass of the impeller ,and the particle was apt to move forward to the pressure surface and impacted the pressure surface of the blade. With the increase of particle diameter ,the particle would impact the pressure surface with a larger angle and velocity ,and there are multiple collisions with the pressure surface ,resulting exacerbated erosion wear of the middle of the pressure surface near the shroud and the suction surface near the exit. **Key words:** radial flow turbine ,erosive wear ,solid-gas two-phase flow ,motion trajectory ,numerical simulation

叶片前缘微小圆柱诱导涡对低压轴流风机气动性能的影响分析 = Influences of Vortex Caused by the Micro-cylinder in the Blade Leading Edge on the Aerodynamic Performance of Low-pressure Axial Fan [刊 ,汉] CHEN Xiao-Fei ,HUANG Dian-Gui (School of Energy and Power Engineering ,University of Shanghai for Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code : 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(12). - 31 ~37

In order to improve the performance of axial fan ,this paper presented a flow control method by installing a micro-cylinder in the leading edge of the axial fan blade ,and investigated the corresponding performance by using CFD. The results show that the micro-cylinder can improve the fan performance within a certain range of operating conditions. By comparing the flow field and the distribution of the boundary vorticity flux between the axial fans with and without the micro-cylinder ,the improvement of the axial fan performance was analyzed. **Key words:** flow separation ,

boundary vorticity flux ,blade leading edge ,micro-cylinder

轮毂组合抽吸对旋转冲压压缩转子性能的影响 = **Effects of Hub Combined Boundary Layer Suction on the Performance of a Ram-rotor** [刊 ,汉] HAN Ji-ang ,XUE Jia-qi ,ZHONG Jing-jun ,GUAN Jian (Marine Engineering College ,Dalian Maritime University ,Dalian 116026 ,China) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(12). - 38 ~47

In order to improve the flow structure of the ram-rotor passage and the aerodynamic performance of ram-rotor ,Fluent software was used to simulate the overall performance and flow characteristics of the ram-rotor ,and the influence of suction flow rate on performance of ram-rotor was discussed. The results show that: three schemes of combined suction on hub can improve the flow field of ram-rotor ,and the efficiency or pressure ratio. In Case 2 ,the loading capacity of the ram-rotor is improved significantly ,and the pressure ratio increases by 5.2% . In Case 3 ,the boundary layer separation of the ram-rotor passage is controlled effectively ,and the efficiency increases by 1.1% almost without changing pressure ratio. The influence of suction flow rate on performance of the ram-rotor is not evident. **Key words**:ram-rotor ,combined boundary layer suction ,performance ,numerical simulation

热电联产集中供热方案的分析对比 = **Analysis and Comparison of Cogeneration Heating Schemes** [刊 ,汉] ZHAO Chong ,LUO Xiang-long ,CHEN Ying ,SONG Meng-jie ,WANG Chao (School of Material and Energy ,Guangdong University of Technology ,Guangzhou ,Guangdong ,China ,Post Code: 510006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(12). - 48 ~55

District heating is the current trend in the field of heating. In order to improve the energy efficiency of heating system ,and reduce heating costs ,this paper put forward four kinds of nature gas district heating schemes based on the different heating modes of existing power plant. The four cogeneration heating schemes were modeled and simulated using Cycle-Tempo. The efficiencies of energy and exergy of each system were analyzed. The main factors influencing the efficiencies of energy and exergy were discussed from the interior of each system. Then this paper established the heating economic model for each scheme and analyzed the main factors affecting the economy. Finally , the influence of the nature gas price ,the power price ,the heating load and the heating distance on the cogeneration heating systems were discussed. **Key words**:cogeneration heating ,simulation ,thermodynamic ,economic ,comparison

火电厂 WFGD 中石膏旋流器节能降耗分析——中心棒的影响 = **Energy Saving of Gypsum Cyclone of Wet Flue Gas Desulfurization in Power Plant by Central Solid Rod** [刊 ,汉] YANG Yang (School of Power Engi-