

透平导叶应用不同周向弯曲母线改进设计的研究

方传慧, 戴 韧, 陈康民

(上海理工大学 动力工程学院, 上海 200093)

摘 要: 应用数值计算的方法, 比较研究了某型导叶叶片不同周向弯曲对叶栅流动性能的影响, 结果包括总压损失系数、出口气流静压、马赫数沿叶高分布。计算基于时均 N-S 方程, 湍流模型为 Baldwin-Lomax 模型。结果表明, 该导叶简单的斜置叶片可以提高叶根局部的流动性能, 叶顶流动性能差, 对整个叶栅的流动性能的提高却十分有限, J 型弯曲可以兼顾叶根和叶顶流动而且弯曲母线易于计算优化。C 型弯曲叶顶流动性能较好, 但弯曲母线选择优化困难。

关 键 词: 弯曲叶片; 生成母线; 总压损失; 叶栅流动

中图分类号: TK263.3 文献标识码: A

1 引 言

叶片弯扭联合成型是汽轮机通流部分现代化改造的重要技术措施之一。叶片周向弯曲实质上是给叶轮机的气动设计增加了一个设计自由度。王仲奇教授^[1~2]提出叶片周向弯曲降低流动损失的机理在于: 叶片周向弯曲沿径向产生可变大小和方向的叶片力, 控制了沿叶高方向的静压梯度, 从而抑制径向二次流, 减弱端部的横向二次流, 加大中部负荷使叶栅的总损失下降。弯扭叶片的设计方法先后用于汽轮机叶片、燃气涡轮的技术改造, 均取得了显著成效。弯曲叶片设计的技术关键是侧型面的生成线, 冯国泰等^[3]提出了弯扭叶片的综合优化流型的成型方法。研究结果表明, 对于一定叶型、径高比以及子

午型面的叶栅, 存在一个最佳弯曲角度。

本文应用弯曲叶片的设计思想, 对某型工业汽轮机的次末级导叶进行改造设计, 研究不同周向弯曲对降低流动损失的作用, 从而得出该级导叶的最佳弯曲生成线。研究基于流动的数值模拟, 通过计算得出总压损失系数沿叶高的分布以及叶栅出口截面的平均损失系数, 比较弯曲方案的优劣。

2 周向弯曲母线的改型设计

原导叶设计采用径向等截面直叶片, 叶片展弦比 3.679, 安装角 57° , 叶顶子午扩张角 26° , 本研究在直叶片的基础上分别改型为正倾斜、J 型和 C 型。

3 数值计算方法

应用数值计算的方法, 比较流动的总压损失, 叶栅出口气流角以及静压沿叶高的分布, 网格生成与计算工作在 IGG/FINE^[5] 软件中完成。

3.1 计算格式

采用了 Navier-Stokes 方程的 Jamson 格式, 以时间推进求解定常叶栅流动, Jamson 格式是采用中心差分的有限体积法离散, 并加上二阶和四阶人工粘

收稿日期: 2002-06-18; 修订日期: 2002-10-08

作者简介: 方传慧(1978-), 女, 安徽淮南人, 上海理工大学硕士研究生。

5 结束语

经过对石门电厂 4 台引风机的改进, 振动得到了明显地减小。现在引风机运行时, 径向振动和轴向振动均在合格的范围内。

2001 年下半年, 石门电厂两台 300 MW 机组经

历了长达 153 天的高负荷连续运行, 没有因为引风机的振动问题而影响机组的运行安全或引起机组出力降低。

参考文献:

[1] 李庆宜. 通风机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.

(何静芳 编辑)

性, 采用当地时间步长, CFL 数为 3, 选择的湍流模型为 Baldwin-Lomax 模型。

3.2 计算网格

计算网格采用的是 H 型网格, 网格数 $33 \times 41 \times 129 = 174\ 537$ 。计算采用 FAS 格式三重网格, 每层网格控制残差量阶为 -3, 最大计算步长为 100 步。在细网格上推进 300 步后, 其余两层迭代次数为 100 次, 计算残差下降 3 个量阶, 计算收敛稳定, 进出口的流量误差均在 0.1% 以下。

3.3 边界条件

进口边界条件取总压为 54 331 Pa, 总温为 353 K; 出口边界给定流量 23 kg/s, 叶片表面等固体表面为无滑移边界。

4 计算结果

4.1 正倾斜导叶

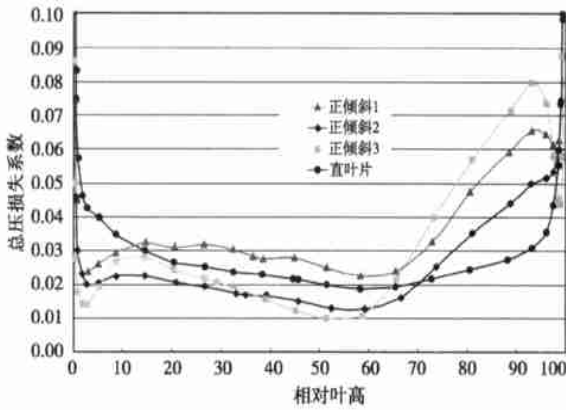


图 1 总压损失系数沿叶高分布

在图 1 中叶片分别倾斜 15° 、 20° 、 25° , 直叶片平均 C_{p1}^* 为 0.0451, 叶片正倾斜后, 沿叶高 10% 以下的叶根 C_{p1}^* 明显下降, 65% 叶高以上区域三种正倾斜叶片的 C_{p1}^* 快速增加并远大于直叶片。三种倾斜叶片的平均 C_{p1}^* 分别为 0.0451、0.0436、0.0578。

4.2 J 型弯曲导叶

采用 J 型的目的是综合利用正倾斜在叶根的作用和直叶片在叶顶较小 C_{p1}^* 的特征。在图 2 中参考正倾斜的比较结果叶根倾角选择 $+20^\circ$, 三种 J 型弯曲起始位置的相对叶高分别为 25%、50% 和 70%。J 型弯曲后叶型损失略有增加, J 型 1 和 J 型 2 的平均 C_{p1}^* 分别为 0.0479、0.0474, J 型 3 平均 C_{p1}^* 为 0.0429, 比直叶片下降了 4.88%。

4.3 C 型弯曲导叶

为了降低 J 型叶片在叶顶的损失 C_{p1}^* , 在 J 型叶片比较结果的基础上, 增加了叶顶反弯的设计, 从而形成了 C 型弯曲叶片。在图 3 中 C1、C2、C3 三种叶片的叶根倾角为 $\pm 20^\circ$, 弯曲起始点分别为相对叶高 25%、65% 和 50%, 叶顶倾角为 -10° , 弯曲起始点分别为相对叶高 75%、65% 和 50%。三种 C 型叶片平均 C_{p1}^* 分别为 0.0451、0.0438 和 0.0427, 因此说明三种 C 型叶片中, C2、C3 起到了改进的作用, C 型设计方案上下两端均弯曲自由度较大很难确定最佳改进方案。

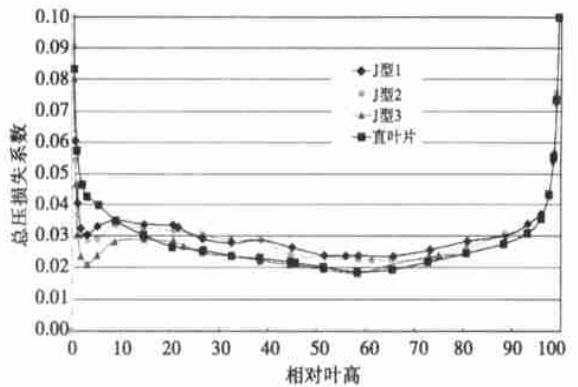


图 2 总压损失系数沿叶高分布

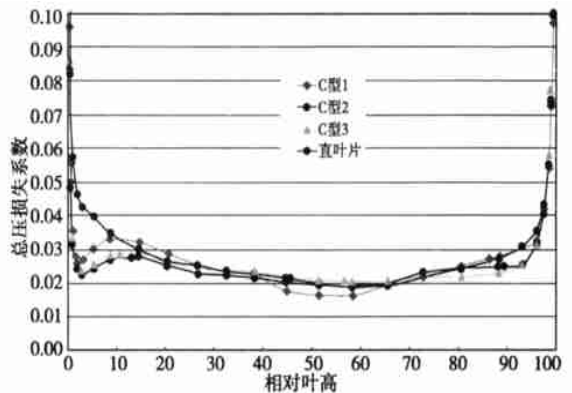


图 3 总压损失系数沿叶高分布

4.4 三种改进方案的比较

分别从以上各个改型方案中选一种做代表比较三种改型方案。叶根都倾斜 $+20^\circ$, C 型的叶顶 -10° 。从总压损失分布可见在叶高 70% 以下, 正倾斜降低 C_{p1}^* 效果最好, 而在 85% 叶高以上 C 型效果明显。综合整个叶高 C_{p1}^* 的质量流量平均值正倾斜叶片为 0.0436, J 型叶片为 0.0429, C 型叶片为 0.0427。

在图 4 中改型后叶栅出口静压也发生了相应的

变化, 三种改型叶片的径向压差都相应的降低, 并分别形成了类似于 C 型压力分布。在图 5 中可见直叶片的叶根出口气流略有少量的超音速 $M > 1$, 改型后马赫数的分布有了改善, 三种改型叶片的马赫数整体有所下降, 在本例中都降到了亚音速流动。

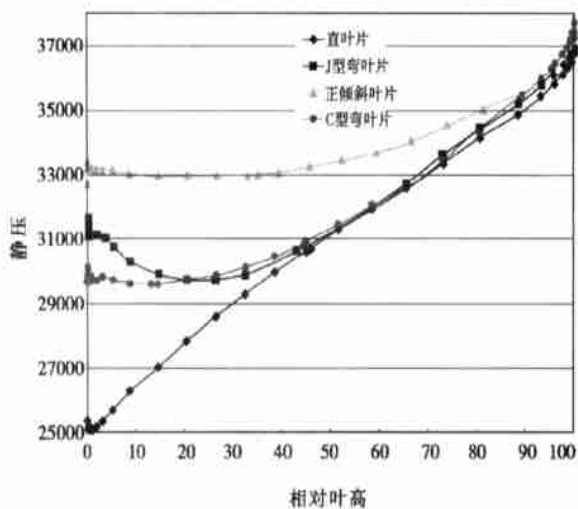


图 4 静压沿叶高分布

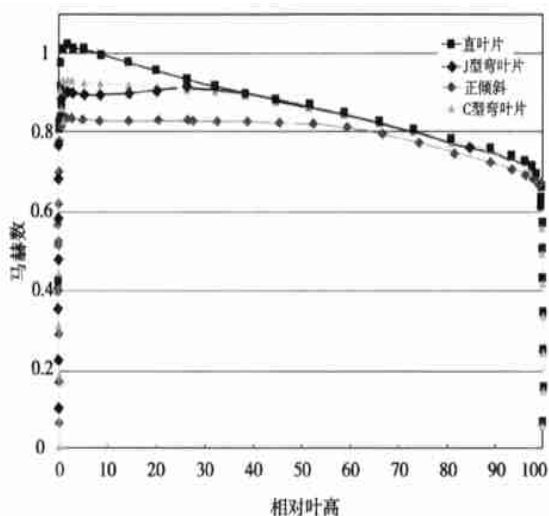


图 5 马赫数沿叶高分布

5 结 论

从以上计算结果的比较表明:

(1) 适当叶片的周向弯曲可以减少叶栅内的端部流动损失, 但叶片的型损有所增加, 精心设计的弯曲母线是获得综合性能提高的关键。

(2) J型弯曲可以较好的兼顾叶根和叶顶, 结构比 C 型相对简单, 而且效果与未经优化的 C 型相当, J型最佳弯曲母线可以通过若干方案的计算比较确定, 而 C 型弯曲设计自由度多, 最佳弯曲母线方案难以优化。

(3) 导叶周向弯曲后, 叶根的流动参数发生变化, 应用时应考虑到其后动叶的匹配。

由于本文篇幅所限, 关于不同周向弯曲导叶内部流动的结构对比分析将在后续研究论文中逐步提出。

参考文献:

- [1] 王仲奇, 郑 严. 叶轮机械弯扭叶片的研究现状与发展趋势 [J]. 中国工程科学学报, 2000, 2(6): 40—48.
- [2] WANG ZHONGQI. Three-dimensional theory and design method of bowed twisted blade and its application to turbomachines turbomachinery blade design system[R], VKI LS, 1999—02.
- [3] 冯国泰, 苏杰先, 王仲奇. 获得综合优化流型的叶片成型方法和设计方法[J]. 工程热物理学报, 1991, 12(2): 156—159.
- [4] 钟兢军, 苏杰先, 王仲奇. 压气机叶栅中应用弯曲叶片的研究 [J]. 航空动力学报, 1998 13(1): 7—12.
- [5] Numerica Mechanics Applications International; Igg/ Fine user manual version4.1 [Z]. 2000.
- [6] 王仲奇. 透平机械三元流动计算及其数学和气动学基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [7] 王乃宁, 张志刚. 汽轮机热力设计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.

(何静芳 编辑)

欢 迎 投 稿, 欢 迎 订 阅 !

透平导叶应用不同周向弯曲母线改进设计的研究 = **A Study of the Improved Design of Turbine Guide Vanes by Using Different Circumferential Curved Generatrices** [刊, 汉] / FANG Chuan-hui, DAI Ren, CHEN Kang-ming (Power Engineering Institute under the Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3) . — 288 ~ 290

By using a numerical calculation method compared and studied is the influence of different circumferential curving of guide vanes on cascade flow performance. The study involves the distribution of total pressure loss factor, outlet gas-flow static pressure and Mach number along the blade height. Calculations are based on time-average Navier-Stokes equations with a turbulence model being of Baldwin-Lomax type. The results of the study indicate that the positively leaned blade of the guide vanes can improve blade-root local flow performance, but offers a poor blade-tip flow performance, thus resulting in a very limited enhancement of the flow performance of the cascade as a whole. J type curvature is conducive to improving both the blade-root and blade-tip flows. Moreover, the curved generatrix lends itself easily to calculation optimization. C type curved blade offers a relatively good blade-tip flow performance, but it is difficult to select an optimization for a curved generatrix. **Key words:** curved blade, generatrix, total pressure loss, cascade flow

沸腾表面凹坑的尺度分布特征 = **Size Distribution Characteristics of Cavities on a Pool Boiling Surface** [刊, 汉] / WANG An-liang, YANG Chun-xin (Department of Flying Vehicle Design and Applied Mechanics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, China, Post Code: 100083), WU Yu-ting (Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3) . — 291 ~ 296

The presence of a gas (or steam) cavity on a boiling surface constitutes a key factor for the formation of an activation nucleus. Based on a classical fractal surface similar to Sierpinski carpet the authors have successfully constructed a series of surfaces with different size distribution of cavities. The results of a study indicate that the cavity size distribution dimension and surface shape fractal dimension are two concepts with different connotations. The size distribution characteristics of a mechanical surface cavity (or convex point) conform to a fractal theory. An analysis of the measured results of activated nucleus has shown that both the activated nucleus size distribution and cavity size distribution on a surface have fractal characteristics. **Key words:** pool boiling cavity, activated nucleus, fractal dimension

空气侧换热器结霜时传热与阻力特性研究 = **An Investigation of Heat Transfer and Resistance Characteristics in Case of Frost Formation at an Airside Heat Exchanger** [刊, 汉] / YAO Yang, JIANG Yi-qiang, MA Zui-liang, et al (Municipal Environmental Engineering Institute under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3) . — 297 ~ 300

On the basis of conservation of mass, momentum and energy and with the use of a distribution parameter method a dynamic mathematical model was set up for an airside heat exchanger during frost formation. This model has coupled a frosting sub-model with a heat exchanger sub-model. The model was used to analyze the time-dependent variation of frost thickness under different temperatures and relative wetness values as well as the impact of frosting on airside heat-exchanger heat transfer and resistance. The results of the analysis indicate that frosting condition will change under different operating conditions. Under a given temperature the greater the relative wetness, the more serious is the frost formation and the shorter is the time interval for frost thawing. At a given relative wetness the frosting at an operating condition of 0°C is more serious than at that of -4°C . With an increase in frosting quantity there will be a decrease in heat transfer rate and a gradual decrease in airflow rate. Meanwhile, there is a drastic increase in resistance. **Key words:** air source heat pump unit, frosting, heat transfer and resistance, distribution parameter