

离心压气机进口无叶段长度及范围研究

倪钰鑫, 张晓瑜, 陈杰

(南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016)

摘要:采用 NUMECA 数值软件计算研究了离心压气机无叶扩压段长度对叶片径向扩压器的影响,以及无叶扩压段长度范围选定。结果表明,在同一进口条件下,无叶扩压段越长,扩压器性能越低;无叶扩压段内气流角与进口状态、无叶段长度与进口半径尺寸变化无关,仅随气流流动距离变化而变化;无叶扩压段的长度无量纲范围为子午高度的 0.47~0.93 之间,其内流动的气流角与进口位置角度几乎一致。

关键词:离心压气机;扩压器;数值计算;无叶扩压段;气流角

中图分类号:V231.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)03-0057-03

Research on Length and Range of Vaneless Diffuser Tunnel in Centrifugal Compressor

NI Yuxin, ZHANG Xiaoyu, CHEN Jie

(College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper studies the influence of length of the vaneless diffuser in centrifugal compressor on the flow and performance of the radial vane diffuser by NUMECA Software, and selects the appropriate length of the vaneless diffuser. Results show that the performance of the vane diffuser decreases when the length becomes longer. The flow angles of the vaneless diffuser is not related to the inlet conditions and structures, only to the flowing distance. The flow angle is identical with the inlet angle of the vaneless diffuser under the normalized range between 0.47 and 0.93 in comparison with meridional height.

Keywords: centrifugal compressor; diffuser; numerical calculation; vaneless diffuser; flow angle

0 引言

高性能的离心压气机性能同时受离心叶轮和叶片扩压器影响,其在流动过程中产生的损失有 30%来自于扩压器。

针对叶片扩压器国内外已经展开了较多研究。党政^[1]分析得出叶片几何角对扩压器性能和压气机整级工况范围都有明显影响。KIM^[2]发现厚度分布对叶片性能也存在影响。夏树丹^[3]发现串联叶栅扩压器性能优于单圆弧和楔形扩压器。初雷哲^[4-5]则对扩压器叶片倾角、叶片数、分流叶片周向位置等对扩压器性能的影响展开了研究。

在离心叶轮与叶片扩压器两叶片部件之间存在径向间隙,为无叶扩压段。该段的流动对叶片扩压器内流场特征会产生较大影响,但目前该位置的研究仍然较少。ANISH^[6]得出不同流量下不同长度的扩压段有不同影响。但其采用的是整级数值研究方法,扩压器性能受离心叶轮干扰。本文使用单扩压器部件,通过不同无叶扩压段长度的扩压器模拟得出无叶段影响叶轮性能的因素,并提出适用于叶片扩压器性能无叶段长度范围。

1 计算方法

本文采用商用 CFD 计算软件 NUMECA 进行数值计

算,湍流模型选择 S-A 方程模型。

有叶扩压器计算网格为 H-O-H 型结构化网格,网格点数为 61×10^4 ,扩压器计算域结构如图 1 所示,扩压器宽度 15 mm。无叶扩压段计算域单通道如图 2 所示,网格约为 55×10^4 ,进口半径为 131 mm,出口为 171 mm。

计算域进口给定总压 101 325 Pa、总温 288 K 和进口气流角 68° ,对出口给定不同平均静压值调节进口流量。

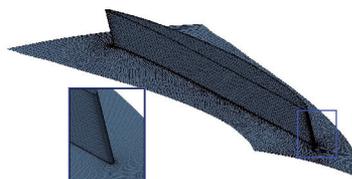


图 1 有叶扩压器计算域结构

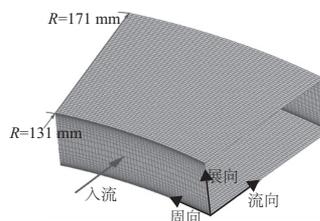


图 2 无叶扩压段计算域结构

2 结果与分析

2.1 进口扩压段长度对叶片扩压器流场的影响

选取进口扩压段长度分别为 8 mm、15 mm 和 30 mm 3 种计算方案进行分析,分别标记为方案 A、方案 B 和方案 C,各计算方案中扩压器叶片段及出口扩压段保持相同。

扩压器性能特性如图 3 所示,分别为 3 种方案叶片通道的总压恢复系数随进口马赫数变化的特性曲线,其中 Ma 指扩压器叶片进口马赫数值。从图中可以看出方案 A 的总压恢复系数最高,方案 C 最低。说明随着无叶扩压段长度的增加,叶片扩压器性能逐渐降低,流动逐渐恶化。

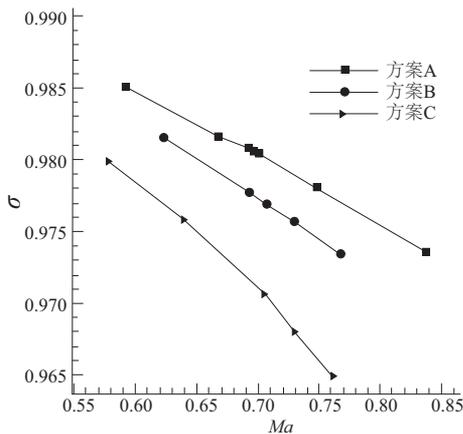


图 3 总压恢复系数特性图

2.2 无叶扩压段流动特征研究

1) 进口条件对无叶扩压段的影响

绝对速度气流角由径向速度 V_r 和周向速度 V_θ 2 个参数共同决定。

图 4 为无叶扩压段内子午流道速度与静压分布云图。从图中可知在主流区内径向速度沿程先减小后增大,周向速度则单调减小,静压单调增大。径向速度由于附面层逐渐增厚,流道面积减小使其逐渐加速。在附面层区内可知进口径向速度逐渐增大,之后逐渐减小,静压在进口处增大之后逐渐减小。这是由于数值计算给定进口总压和壁面无滑移条件,导致在进口固壁处速度很小,静压极大,形成顺压梯度,使得径向速度在此加速。因此进口无叶段长度的选择应大于该气流角减小区域的长度,来消除进口边界条件的影响。

2) 进口状态与结构尺寸对无叶扩压段影响研究

图 5 和图 6 分别为 3 种进口状态 50% 和 3% 叶高下气流角随半径变化的曲线。由图 5 可知不同状态对主流内气流角影响并不大,由图 6 可知附面层内气流角随工作状态变化趋势相同,开始时气流角变化曲线值相差不大,随着半径的增大差异不断增大。

由此可知,对于同一个无叶扩压段,进口工作状态的改变,主流内气流角变化规律基本相同,气流角变化不受进口工作状态改变的影响。

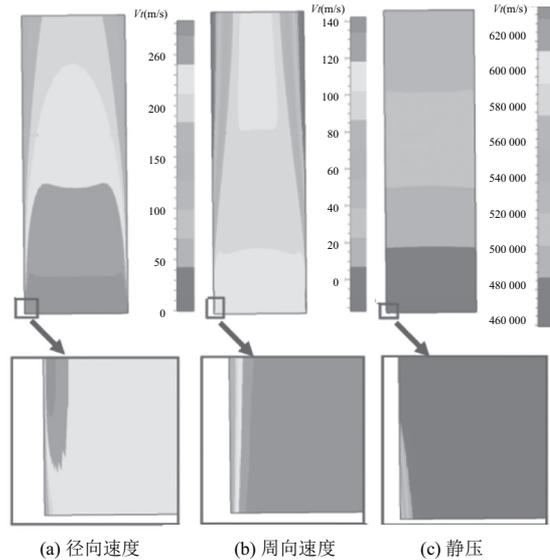


图 4 子午流道速度与静压分布云图

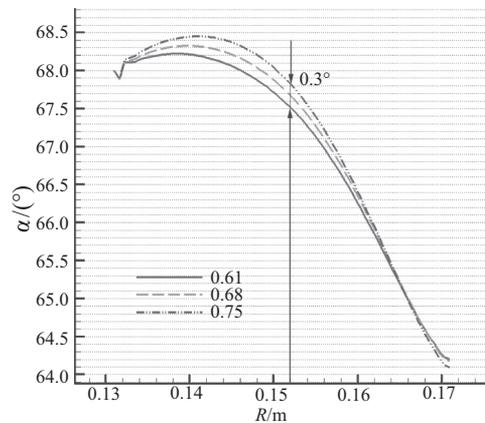


图 5 50%叶高下主流气流角分布曲线

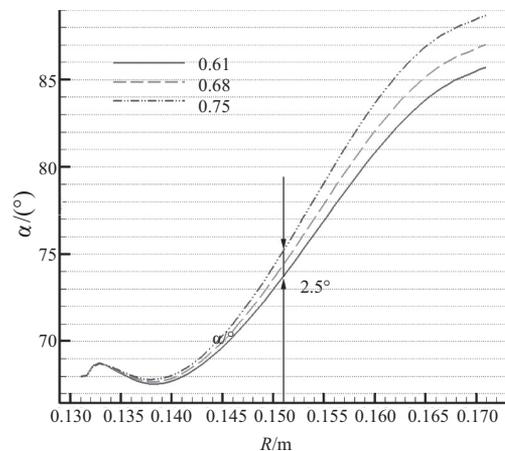


图 6 3%叶高下附面层气流角分布曲线

图 7 和图 8 分别为不同进口半径的无叶延伸段主流和附面层内气流角沿流向变化曲线,图例表示进口半径与出口半径值。从图 7 可知,在流动上游一定距离内气流角分布曲线完全重合,气流角在距进口 0.01 m 时开始逐渐下降,同时 3 种方案开始出现差别,但差异很小。从图 8 可知,在气流角沿程先增大,后减小,再逐步增大。上游流

动一定距离内 3 种方案气流角变化曲线基本重合,随着流向气流角不断增大。

取不同流道长度分别为 28 mm 和 40 mm 的方案,保证出口半径相同但进口半径不同进行对比。图 9 为两种方案的主流内气流角变化曲线,从图中可知两者在距进口一定距离内曲线重合,但是气流角减小过程中开始出现差距,但差值仍然很小,大约 1°。

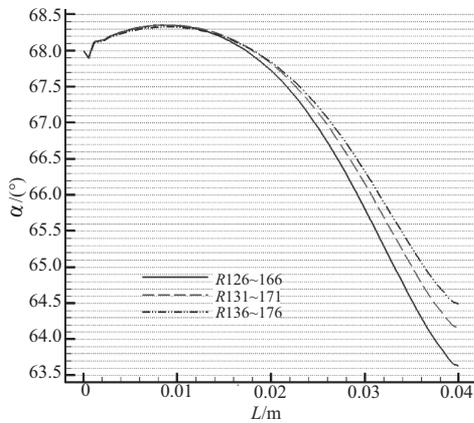


图 7 主流气流角沿流向分布曲线

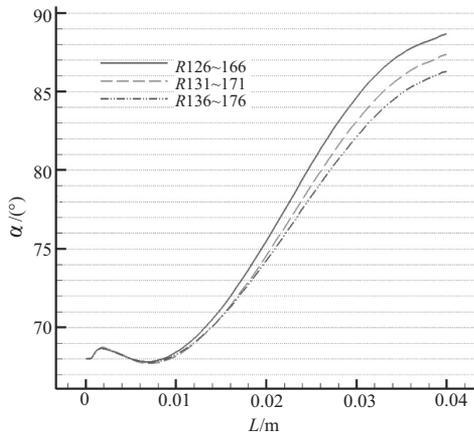


图 8 附面层气流角沿流向分布曲线

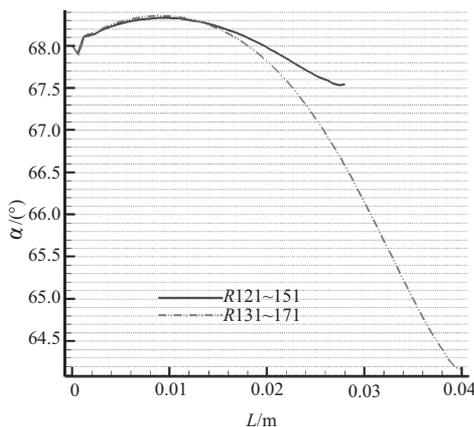


图 9 两种方案的主流气流角分布曲线

综上,不同进口半径时,不论无叶扩压段长度是否相同,气流角的变化规律都一致,不受进出口半径尺寸和进口流动状态的影响。

2.3 无叶段长度确定准则

由 2.1 小节可知进口延伸段长度的选取需要保证进口延伸段的出口处气流角与进口差别不大且分布较为均匀。由 2.2 小节可知其仅随气流流动距离发生变化。

图 10 和图 11 分别为主流内和附面层内气流角随半径的变化曲线。由图 10 可知在通道长度为 14 mm 以内,主流气流角与设计值 68° 上下相差在 ±0.5° 范围内,可认为主流气流角保持不变。由图 11 可知选取附面层气流角差别 < 2° 以内,此时通道长度为 14 mm。由 2.2 节 1) 可知边界条件对气流角的影响主要集中在附面层内,且当气流角开始增加时说明流动已流出边界条件的影响区域,由此可知图 11 中气流角开始增大时通道长度为 7 mm。综上,无叶扩压段长度的选取应在 7~14 mm 内,扩压段长度采用本文中保持不变的等值高度进行无量纲化,则无叶段无量纲长度为 0.47~0.93。

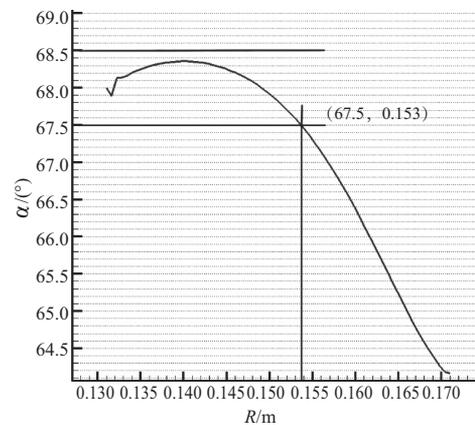


图 10 主流气流角随半径变化的曲线

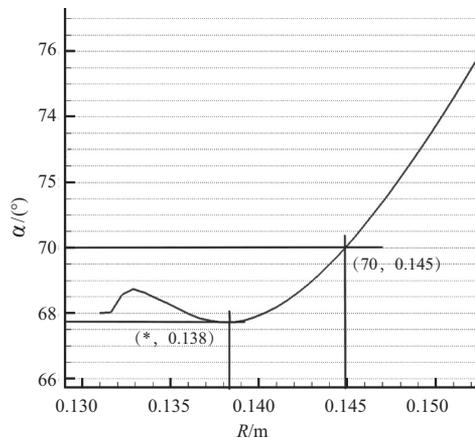


图 11 附面层气流角随半径变化的曲线

3 结语

本文采用 NUMECA 数值软件计算研究了无叶扩压段长度对叶片扩压器流场的影响,并根据气流角变化确定了其长度范围,研究发现:

(下转第 82 页)

- on delmia quest simulation in an automotive production system [J]. *Procedia Computer Science*, 2017, 105:191-196.
- [3] 周三玲. 基于 Witness 的生产线建模仿真与优化[J]. *物流工程与管理*, 2018, 40(11):121-122, 76.
- [4] 刘顺涛, 钟衡, 隗成. 基于 Delmia/Quest 的飞机装配线参数化仿真研究[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2018(11):130-133.
- [5] 郑顺水. 生产线仿真技术研究[J]. *兵工自动化*, 2004, 23(4):22-23.
- [6] 徐林伟, 何洪, 孙丹. 钢轧生产线物流仿真建模研究[J]. *冶金经济与管理*, 2018(4):28-31.
- [7] 王晓达. 基于 Flexsim 的 W 公司生产线生产排序仿真研究[J]. *山东工业技术*, 2018(23):105.
- [8] MAHMOUD Heshmat, MAHMOUD El Sharief, MOHAMED El Sebaie. Simulation modelling and analysis of a production line [J]. *International Journal of Simulation & Process Modelling*, 2017, 12(3/4):369-376.
- [9] 郝建豹, 许焕彬, 林炳南. 基于 RobotStudio 的多机器人柔性制造生产线虚拟仿真设计[J]. *机床与液压*, 2018, 46(11):54-57, 81.
- [10] 屈琦, 贾晓亮, 郑植元, 等. 飞机部件装配生产线仿真研究[J]. *航空制造技术*, 2017(4):54-59.
- [11] 王福吉, 贾振元, 王林平, 等. 生产线的设备规划布局设计与加工仿真的实现[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2007(9):96-99.

收稿日期:2019-03-13

(上接第 52 页)

4 结语

1) 采用化学镀镍的方式对 Al_2O_3 陶瓷进行表面金属化预处理, 成功得到致密均匀、形态为胞状突起的化学镀镍层, EDS 分析表明化学镀镍层为 Ni-P 非晶与微晶的混合物。

2) 在不同温度下采用 6061 铝合金烧结封接 $Al_2O_3(N)$ 陶瓷, 接头紧密无缺陷, 烧结铝合金较为致密, 6061 铝合金和 Al_2O_3 陶瓷结合处过渡自然, 无裂纹、孔洞等微观缺陷, 二者紧密结合。烧结铝合金一侧表面整体呈现粗糙度较大, 接头界面分层明显。接头中 Al 与 Ni 原子发生扩散生成 Ni-Al 金属间化合物, 接头界面结构为 6061 铝合金/ Al_3Ni/Al_3Ni_2 /化学镀镍层/ Al_2O_3 陶瓷。

3) 随着烧结温度的升高, $Al_2O_3(N)$ 陶瓷/6061 铝合金烧结接头强度也随之升高, 最大可达 15.4 MPa, 且进行陶瓷表面化学镀镍后, 6061 铝合金烧结封接 $Al_2O_3(N)$ 陶瓷接头强度大于直接封接 Al_2O_3 陶瓷接头强度, 接头断裂于镍铝扩散反应区。

参考文献:

- [1] 闫学增, 林文松, 方宁象, 等. 金属封装陶瓷复合材料制备方

法的研究进展[J]. *轻工机械*, 2015, 33(6):102-105, 110.

- [2] 张笑, 吕令涛, 杨建锋, 等. 封接工艺对陶瓷-金属接头组织和力学性能的影响[J]. *稀有金属材料与工程*, 2013, 42(1):145-148.
- [3] 宋启良, 胡振峰, 杜晓坤, 等. 非金属表面化学镀覆的研究现状[J]. *电镀与涂饰*, 2019, 38(3):125-131.
- [4] 任重, 杨磊, 梁田, 等. 钎镍铜合金在陶瓷-金属封接中的应用[J]. *真空电子技术*, 2017, (5):43-45.
- [5] HOU L, LI B C, WU R Z, et al. Microstructure and mechanical properties at elevated temperature of Mg-Al-Ni alloys prepared through powder metallurgy [J]. *Journal of Materials Science & Technology*, 2017(9):947-953.
- [6] 牛丽娜, 杜少勋, 张磊, 等. 国产 WCu 热沉与氧化铝陶瓷匹配封接研究[J]. *河北省科学院学报*, 2018, 35(1):46-51.
- [7] M.B. Uday, M.N. Ahmad Fauzi, H. Zuhailawati, et al. Effect of welding speed on mechanical strength of friction welded joint of YSZ-alumina composite and 6061 aluminum alloy [J]. *Materials Science & Engineering A*, 2011, 528(13):4753-4760.
- [8] 王义峰. 氧化铝与镍铝合金表面生长晶须及钎焊接头组织与性能[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

收稿日期:2019-08-23

(上接第 59 页)

1) 无叶扩压段长度对叶片扩压器流场产生很大影响。无叶段越长, 气流流入叶片时气流角变化越大, 叶片扩压器性能越低。

2) 无叶扩压段内气流角变化在主流区内先增大后减小, 在附面层区内受边界条件影响先减小后增大。但气流角变化不受进口马赫数和结构尺寸影响。

3) 无叶扩压段长度适应范围选定在进口附面层受边界条件影响范围之外, 且主流气流角与进口相差不大的区域, 无量纲长度范围为 0.47~0.93。

参考文献:

- [1] 党政, 席光, 王尚锦. 叶片安装角对动/静叶排内部非定常流动的影响[J]. *工程热物理学报*, 2002(3):319-322.
- [2] KIM H W, PARK J I, RYU S H, et al. The performance evaluation of variations of diffuser geometry of the centrifugal compressor

in a marine engine (70 MW) turbocharger [C] // ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea and Air. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2008:447-454.

- [3] 夏树丹, 张霞妹, 刘志远. 三种离心叶轮超声扩压器性能对比分析[J]. *航空科学技术*, 2018, 29(4):9-17.
- [4] 初雷哲, 杜建一, 汤华. 计及几何参数变化的离心压气机特性分析[J]. *工程热物理学报*, 2006, 27(3):405-407.
- [5] 初雷哲, 杜建一, 黄典贵, 等. 离心压气机叶片前缘几何形状对性能的影响[J]. *工程热物理学报*, 2008, V29(5):767-769.
- [6] ANISH S, SITARAM N. Computational investigation of impeller-diffuser interaction in a centrifugal compressor with different types of diffusers [J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 2009, 223(2):167-178.

收稿日期:2019-02-26