

基于 ADAMS 的静叶联调机构参数化设计

梁爽, 印雪梅, 王华

(中航工业沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)

摘要: 针对压气机静子叶片调节机构空间运动关系复杂、设计难度大的问题, 提出了 1 种以 3 维参数化仿真为核心, 进行压气机静叶联调机构方案设计的方法。基于 ADAMS 平台建立调节机构的简易模型, 利用软件参数化分析模块研究了模型中决定机构性能的关键设计变量的确定方法; 在此基础上, 以某型压气机调节机构为例, 利用参数化方法进行了该机构的方案设计。结果表明: 在方案设计阶段, 参数化分析方法可快速、有效地进行调节机构结构参数选取与优化, 使模型的运动 / 动力学仿真结果满足设计要求。

关键词: 可调静子; 联调机构; ADAMS; 参数化仿真; 方案设计; 航空发动机

中图分类号: V231.9

文献标识码: A

doi: 10.13477/j.cnki.aeroengine.2016.01.013

Parametric Design of Stator Blade Jointly Adjusting Mechanism Based on ADAMS

LIANG Shuang, YIN Xue-mei, WANG Hua

(AVIC Shenyang Engine Design and Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: Aiming at the problem of the complicated motion relationship and difficult design of the compressor stator vane adjusting mechanism, a new method to design Variable Stator Vane (VSV) mechanism was proposed by a simulation with the 3D parameterization. Based on the VSV simple model in ADAMS, the method for determining key design variables of mechanism performance was investigated using parametric analysis module. On this basis, taking the VSV mechanism of a compressor as example, the process proposed for parametric simulation was studied for VSV design. The results show that parametric methods are available and effective in the scheme design and optimization. The kinematics/dynamics simulation results meet the design requirements.

Key words: Variable Stator Vane; jointly adjusting mechanism; ADAMS; parameterization simulation; scheme design; aeroengine

0 引言

航空发动机压气机静子叶片角度调节机构的作用是根据工作状态调节静叶角度。为了减轻压气机质量和减少控制变量, 多级叶片调节机构通常设计成由 1 个主动件同时驱动多排叶片按不同角度规律调节的联调机构。目前国内对调节机构的设计研究, 文献 [1] 给出了调节机构的运动方程, 主要针对以平面运动为主的叶片调节机构, 推导时将部分空间运动近似成平面运动处理; 文献 [2] 以齐次坐标分析法为基础, 结合 Matlab 推导典型结构形式的涡轴发动机调节机构运动方程, 通过优化计算得出关键构件的结构尺寸。国外对调节机构的研究, 在公开发表的文献 [2-3] 中主要是对机构的运动学和动力学的仿真分析。

本文介绍了 1 种通过参数化仿真进行联调机构

设计的方法, 并利用 ADAMS 软件对某压气机 4 级联调机构进行方案设计, 研究了该机构中关键设计变量的确定方法。

1 典型联调结构形式

在相同工作转速下, 压气机各级静子叶片的角度是不同的, 而联调机构由同一套作动系统驱动, 所以需要设计不同的传动机构来保证各级静子叶片能够按照设计角度要求进行调节。

多级联调机构主要

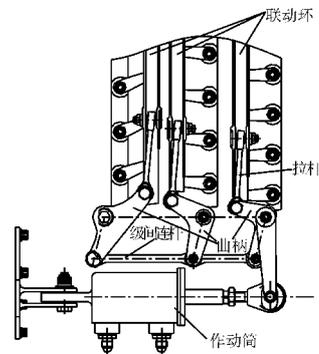


图 1 拉压杆式多级联调机构

收稿日期: 2015-01-15

基金项目: 航空动力基础科研项目资助

作者简介: 梁爽(1990), 男, 在读硕士研究生, 从事航空发动机结构设计工作; E-mail: liangsh1990@foxmail.com。

引用格式: 梁爽, 印雪梅, 王华. 基于 ADAMS 的静叶联调机构参数化设计[J]. 航空发动机, 2016, 42(1): 65-69. LIANG Shuang, YIN Xuemei, WANG Hua. Parametric design of stator blade jointly adjusting mechanism based on ADAMS[J]. Aeroengine, 2016, 42(1): 65-69.

包括以连杆的拉压力、扭转力进行传递级间驱动力形式,分别如图 1、2 所示。

从图 1 中可见,拉压杆式多级联调机构的级间连杆连接各级曲柄,构成

1 组平行四边形连杆机构。作动筒驱动其中 1 个曲柄,通过级间连杆的拉压力带动其余曲柄转动,实现叶片的角度调节。拉压杆式多级联调机构占有空间相对较小,各级静子叶片调节角度之间的关系由曲柄和摇臂的几何特征来保持。

从图 2 中可见,扭力杆多级联调机构主要是以作动筒驱动级间连杆转动,安装在级间连杆不同位置的凸耳带动拉杆,拉杆带动联动环,来调节静子叶片角度。各级静子叶片调节角度之间的关系由安装在级间连杆上的凸耳的几何特征和安装角度来保持^[4]。

本文研究的某型压气机可调静子叶片调节机构是 1 种靠级间连杆拉压力传递级间驱动的多级联调机构。

2 设计目标分析

某型压气机试验件共有 4 排静子叶片角度可调,为方便级间匹配调节和性能优化,先期设计为可调进口导叶(IGV)单独调节,后 3 级联调,结构形式如图 3 所示。

经过试验确定了优化后的 IGV 角度调节规律。在该压气机工程应用阶段,需要将单独调节的 IGV 并入 3 级联调机构,实现整体 4 级联调,各级联调规律如图 4 所示。

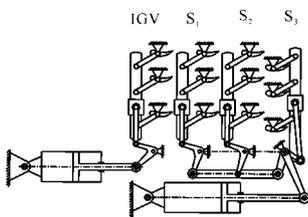


图 3 4 级可调叶片机构

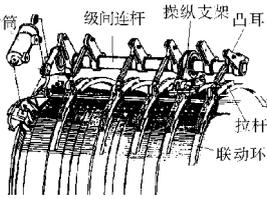


图 2 扭力杆式多级联调机构

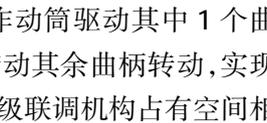


图 5 设计目标方案

与发动机轴线平行位置为 0°,正、负值分别为闭角、开角。

3 参数化设计过程

参数化包括仿真模型和仿真过程的参数化。前者对决定机构形状的基本尺寸以及决定构件相互位置关系的约束进行参数化,使整个仿真模型完全由若干个参数值来控制,从而易于模型的重建;后者在仿真过程中动态地改变参变量的数值,从而可以在满足相关约束的条件下,获得最优的参数取值。可见仿真模型参数化是仿真过程参数化的前提^[5]。

采用 ADAMS 软件进行压气机静叶联调机构参数化方案设计,基本流程如图 6 所示。

采用 ADAMS 软件进行压气机静叶联调机构参数化方案设计,基本流程如图 6 所示。

3.1 设计方案建模

在 ADAMS 软件环境下建立机构的分析模型,建模过程如下。

(1)分析机构模型设计变量,目标是找出能够完整描述整个机构模型的结构参数,建立设计变量和模型对象的对应关系。本算例设计变量及其物理含义对照见表 1。

(2)创建关键位置点。

在模型中创建机构的关键位置点,以便确定机构中各构件的装配位置关系,有利于模型在参数化求解过程中快速重建。

(3)创建模型构件。ADAMS 软件提供了连杆、圆柱、矩形体等基本几何体,对照机构模型可以用基本几何体快速创建整个机构的简易模型,如图

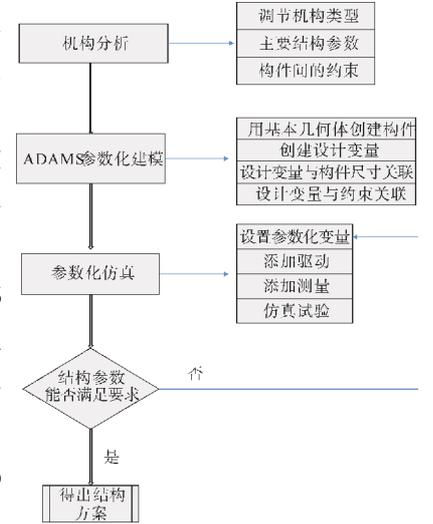


图 6 参数化设计流程

表 1 设计变量物理含义

设计变量	物理含义
DV_1	曲柄从动臂长度
DV_2	曲柄从动臂与主动臂夹角
DV_3	拉杆长度
DV_4	摇臂长度
DV_5	联动环中心半径
DV_6	曲柄主动臂长度

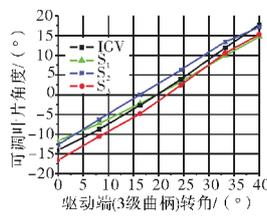


图 4 4 级联调规律

在新 4 级联调机构中,沿用原 3 级联调的驱动范围 0°~40°,第 1~3 级机构不需改变,只需重新设计要并入的 IGV 调节机构。本方案设计旨在 3 级曲柄处驱动转角 0°~40°范围内实现 IGV 角度 -14.2°~17.5°的调节规律,其结构方案如图 5 所示。定义摇臂

7 所示。

(4) 添加运动副约束。对机构进行参数化仿真的前提是要对该机构进行详细梳理分析,明确构件间的约束关系,模型中的运动副约束包括旋转副、球铰副、圆柱副和固定副。机构中各构件的约束类型见表 2。

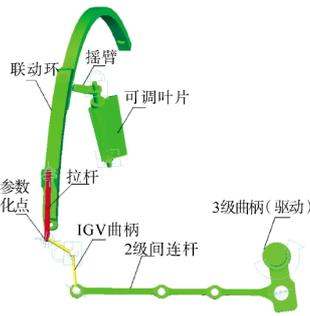


图 7 联调机构参数化设计模型

表 2 模型构件约束类型

约束	I 零件	J 零件	约束类型
1	大地	驱动曲柄	旋转副
2	驱动曲柄	级间连杆	旋转副
3	级间连杆	级曲柄	圆柱副
4	大地	级曲柄	旋转副
5	级曲柄	级拉杆	球铰副
6	级拉杆	联动环	球铰副
7	联动环	大地	圆柱副
8	联动环	摇臂销轴	圆柱副
9	摇臂销轴	摇臂	固定副
10	摇臂	叶片	固定副
11	叶片	大地	旋转副

(5) 添加驱动。将仿真驱动设置在模型 3 级曲柄的旋转运动副上。按照设计目标,给定其驱动角度范围为 $0^\circ \sim 40^\circ$ 。

3.2 模型的参数化

结合机构模型对表 1 列出的设计变量进行分析,摇臂长度和联动环半径等结构参数很大程度上受到压气机自身结构(外径、级间距等尺寸)的约束;与其相比,拉杆的长度以及曲柄从动臂的长度和角度受到的约束较弱,可以优先作为本次设计的参数化变量。

上述 3 个参数可以反映在拉杆和 IGV 曲柄连接点的位置坐标上,于是将曲柄与拉杆的连接点(图 4)位置坐标参数化,创建 3 个设计变量(DV_X, DV_Y, DV_Z)来表示该参数化点的坐标,并以原 IGV 单独调节时的结构位置坐标为初值,给定 3 个设计变量 ± 3 mm 取值范围。下一步将通过静叶联调机构模型的运动仿真试验,得出能够满足目标调节规律的静叶联调机构设计变量取值。

3.3 仿真试验设计

进入 ADAMS 软件的试验设计 (Design of Experiments) 环境下设置参数如图 8 所示。本次设计 2 个目标函数,分别是可调叶片的最大开、闭角,变量的取值精度表示设计变量在给定的取值范围内均匀取 20 个值。本算例有 3 个设计变量,则共有 20^3 种数据组合进行试验,可根据需要选取更高的数据密度以获得更高的计算精确度^[6]。参数设置完毕,点击 Start 按钮,程序自动开始仿真试验。

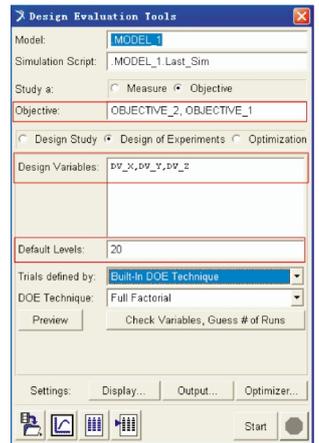


图 8 参数化试验设计

4 设计结果

程序完成 20^3 次试验后,进入软件后处理模块 PostProcessor 提取试验结果,并从中筛选接近设计目标的试验结果,见表 3。

表 3 试验结果节选

试验次	目标 1 (开角)/(°)	目标 2 (闭角)/(°)
379	-14.1702	17.6838
410	-14.0668	17.525
500	-14.1671	17.4338
1279	-14.1698	17.7107
1340	-14.0999	17.5208
2270	-14.133	17.5168
2389	-14.4	17.5213
3200	-14.1859	17.5028
3400	-14.1668	17.4601
4308	-14.1663	17.4864
5179	-14.1693	17.7376
设计要求	-14.2	-17.5

以调节角度设计要求与试验结果差值的最小平方和为目标,从结果中选取最优的试验次,即第 3200 次试验(开角 14.1859° , 闭角 17.5028°)可以满足设计要求。读取第 3200 次试验对应的设计变量值 DV_X, DV_Y, DV_Z 作为本次方案设计的结构参数,并进行运动仿真加以验证,得到设计结果数据与设计要求的对比,如图 9 所示。从图中可见,设计数据与设计要求的

最大偏差在 0.6° 之内,作为初步的方案设计,认为结果可以满足设计要求,对于未能完全吻合的点可以在详细设计时进一步微调优化。

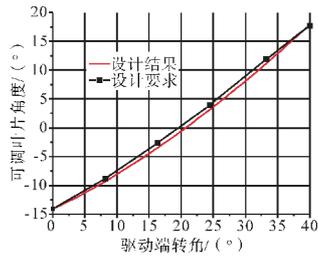


图9 设计结果对比

该算例确定了参数化

设计点的位置坐标,并且满足了设计要求,通过参数化点的位置坐标可以得到拉杆长度、曲柄从动臂长度、曲柄从动臂与主动臂夹角 3 个关键结构参数取值,从而确定 IGV 并入后 3 级联调机构后的结构尺寸方案,达到 4 级联调的方案设计目标。

5 结论

(1)应用 3 维参数化方法开展机构方案设计,与解析计算法相比,可以快速确定机构的关键尺寸参数,能够很好地满足设计要求;保证了结构尺寸的精确设计,缩短研制周期。

(2)进行结构方案设计的同时完成联调机构运动轨迹仿真及干涉分析,保证设计方案的可行性,提高了设计效率。

(3)仿真样机通过简单的设计参数修改,可满足不同的气动规律变化,其设计思想可应用于其他型号可调静子机构的设计。

(4)本文采用理想的刚体模型,没有考虑摇臂、联动环等构件的变形,相对于实际情况有一定误差。考虑计算资源和时间的限制,刚性模型可以在初始设计时采用,设计基本定型时再用柔性模型进行更精确地仿真验证。

参考文献:

- [1] 钱笃元. 航空发动机设计手册:压气机[M]. 北京:航空工业出版社, 2000:303-311.
QIAN DUYUAN. Aircraft engine design manual:compressor[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2000:303-311. (in Chinese)
- [2] Michael Hensges. Simulation and optimization of an adjustable inlet guide vane for industrial turbo compressors [R]. ASME 2008-GT-50242.
- [3] Dave Riesland. Aircraft engine analysis using ADAMS [C]// European ADAMS User Conference, New York: Mechanical Dynamics Inc, 2000: 1-7.
- [4] 孙汝谋. 高效节能发动机文集:第 3 册,风扇、压气机设计与试验[M]. 北京:航空工业出版社,1991:186-196.

SUN Rumou. Energy efficient engine:3th album, fan, compressor design and test[M]. Beijing:Aviation Industry Press, 1991:186-196. (in Chinese)

- [5] Chang K H, Joo S H. Design parameterization and tool integration for CAD based mechanism optimization [J]. Advances in Engineering Software, 2006, 37 (12): 779-796.
- [6] 唐庆如,孔萌. CFM56-7B 发动机 VSV 结构损伤分析[J]. 航空维修与工程, 2011(4):31-33.
TANG Qingru, KONG Meng. Analysis of CFM56-7B VSV structural damage[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2011(4):31-33. (in Chinese)
- [7] 杨伟,徐伟. ADAMS 参数化分析在高压压气机调节机构设计中的初步应用[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2012, 25(4):20-24.
YANG Wei, XU Wei. Preliminary application of parameterized analysis based on ADAMS in VSV's adjusting mechanism design of high pressure compressor [J]. Gas Turbine Experiment and Research, 2012, 25 (4):20-24. (in Chinese)
- [8] 赵武云,刘艳妍,吴建民,等. ADAMS 基础与应用实例教程[M]. 北京:清华大学出版社,2012:181-184.
ZHAO Wuyun, LIU Yanyan, WU Jianmin, et al. Foundation and application examples of ADAMS [M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2012:181-184. (in Chinese)
- [9] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京:机械工业出版社,2002:154-172.
ZHENG Jianrong. Technology gateway and improvement of ADAMS virtual prototype[M]. Beijing:China Machine Press, 2002:154-172. (in Chinese)
- [10] 杨勇刚,张力. 几种摇臂与联动环连接结构对比分析[J]. 航空发动机, 2012, 38(6):34-37.
YANG Yonggang, ZHANG Li. Contrast analysis of several rocker and drive ring connecting structure [J]. Aeroengine, 2012, 38(6):34-37. (in Chinese)
- [11] 熊劲松,侯安平,袁巍,等. 可调叶片的发展趋势及其气动问题的探讨[J]. 航空动力学报, 2008, 23(1):112-116.
XIONG Jinsong, HOU Anping, YUAN Wei, et al. Some discuss on technology trend and aerodynamics problem of adjustable blade [J]. Journal of Aerospace Power, 2008, 23(1):112-116. (in Chinese)
- [12] 夏存江. CFM56-3 发动机可变几何控制系统对发动机性能的影响[J]. 航空发动机, 2008, 34(3):42-45.
XIA Cunjiang. Effect of CFM56-3 engine variable geometry control system on aeroengine performance [J]. Aeroengine, 2008, 34 (3): 42-45. (in Chinese)
- [13] 孙伟,李朝峰,刘杰,等. 面向复杂机构设计的参数化仿真技术研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2008, 29 (9):1318-1321.
SUN Wei, LI Chaofeng, LIU Jie, et al. Study on parameterized simulation process for complicated mechanism design [J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2008, 29 (9):1318-1321. (in Chinese)

- [14] 张晓宁, 赵雷, 杨勇刚. 联调机构虚拟样机运动学动力学仿真[J]. 航空发动机, 2014, 40(4): 56-60.
ZHANG Xiaoning, ZHAO Lei, YANG Yonggang. Kinematics and dynamics simulation of jointly adjusting mechanism based on virtual prototype technology [J]. Aeroengine, 2014, 40(4): 56-60. (in Chinese)
- [15] 蒋宇红. 鼓风机导叶开度调节机构的缺陷及改进 [J]. 化工装备技术, 2013, 34(2): 36-40.
JIANG Yuhong. Defects and improvement of opening regulating mechanism of blower guide vane [J]. Chemical Equipment Technology, 2013, 34(2): 36-40. (in Chinese)
- [16] 蔺越国, 程家林, 冯振宇, 等. 飞机起落架缓冲支柱参数化模型及优化分析[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2732-2735.
LIN Yueguo, CHENG Jialin, FENG Zhenyu, et al. Parameter modeling and optimization analysis for landing gear absorber [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(10): 2732-2735. (in Chinese)

(编辑: 肖磊)