

风扇 / 增压级单元体装配平衡工艺分析

Analysis of Fan/Compressor Assembly and Balance Process

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 杜立峰 贾朝波 王娜 范顺昌

[摘要] 大涵道比涡扇发动机风扇 / 增压级单元体是具有特殊结构的转静子组合件,其装配平衡技术是发动机的核心技术也是工艺技术难点。对此需要在传统工艺技术的基础上进一步研究和创新,研究一套适用于该类结构单元体的装配平衡工艺技术并完成典型单元体的应用,从而解决同类发动机风扇 / 增压级单元体装配平衡技术难题,同时为发动机装配平衡工艺技术研究积累经验。

关键词: 风扇 / 增压级 平衡 装配 工艺

[ABSTRACT] High bypass ratio turbofan aeroengine fan/compressor module is a compositor of the rotor and the stator with special structure. Its assembly balance is the engine core technology which is also the difficulty of process technology. It is necessary to take a further research and innovation to get an assembly balance process technology project adapted to the module of the structure and finish the application on typical modules based on the traditional process technology. The assembly balance technology difficulty of the fan/compressor of the same structure can be solved and experiences of aeroengine assembly balance process technology can also be accumulated.

Keywords: Fan/compressor Balance Assembly Process

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.03.044

航空发动机振动故障是发动机主要故障之一,其中转子离心力过大是导致发动机振动的主要因素,因此转子动平衡工艺是转子加工装配中最重要的工艺过程,转子动平衡工作是保证其正常运转的必要工作^[1]。转子的自身结构对平衡工艺有着决定性的影响,传统的发动机转子结构及相应的平衡工艺渐渐不适应新型发动机平衡工艺的需求,大涵道比涡扇发动机风扇 / 增压级单元体是基于现代发动机结构和性能的需求而设计的,需要通过研究和分析实现其动平衡工艺过程。

1 结构分析

大涵道比涡扇发动机风扇 / 增压级单元体组合件是压气机单元的重要部分,单元体结构非传统的以轴颈

为支承方式的支承结构,转子为风扇级和增加级组合转子,增压级含四级转子叶片,转子鼓筒以转子止口定位、悬臂支承的结构,静子机匣为5段(含三级静子叶片)环形、具有弧面流道机匣结构,转、静子叶片相错装配形成完整的风扇 / 增压机压气机结构,单元体的静子机匣与转子分别为独立支撑,转子前后均无轴颈作为支承点,通过转子止口连接后部分转子,静子机匣通过后止口连接后部静子,转子、静子之间无直接连接部位。

风扇 / 增压级单元体组合件装配平衡工艺过程需要交错进行,转子组件需要带静子组件的方式进行动平衡,无轴颈转子与含三级静子叶片的静子机匣形成装配平衡单元体,这需要根据结构设计合理装配平衡工艺技术,攻克传统装配平衡工艺技术无法解决的技术难题,为同类结构单元体平衡技术提供参考,并通过典型单元体组件的实际应用验证该装配平衡技术方案的可行性和实用性。

2 研究内容

为满足该单元体的装配平衡要求,需要实现以下工作:(1)实现单元体的装配(转静子组件结构);(2)实现单元体的动平衡,并满足动平衡设计要求;(3)实现风扇增压级单元体最终交付状态(带风扇叶片及进气罩的无轴颈转静子结构单元体状态)。

3 技术分析

3.1 技术难点

(1)装配状态复杂。装配时就要考虑环形的静子机匣的装配及定位方式,不能单纯的从一个方向进行装配,而要采用前后装配止口定心的方式实现,结合论证方案与实际结构,设计合理工艺方法来实现其部件装配;(2)平衡的状态难以确定。无支承位置,无法实现平衡机上的支承和定位及转子的驱动和平衡;(3)平衡时转静子的轴、径向定位,无法保证装配、平衡、翻转、运输过程中的游离状态的转静子定位定心。

3.2 技术原理

装配技术依据发动机装配技术原理,对单元体结构进行系统分析,基于合理、可靠、准确、安全等多方面的考虑,研究及设计装配工艺过程。平衡技术依据平衡基础理论,并结合现有平衡工艺方法的各种类型和优缺点,

进一步针对性的提出创新方案,形成一整套系统可行的平衡技术方案。装配与平衡的工艺过程的有机结合,提出装配平衡一体化技术方案。

3.3 工艺方案

针对单元体结构特点,预采取适应该结构的装配方法和动平衡方法:由于单元体结构轴向位置较短,装配过程采用托架式垂直装配方案,避免水平装配需要设计较大水平定位工装,托架式垂直装配利于手工操作,利用零件自重调整装配顺序和装配快慢,装配时将转子、静子、平衡工装、转静子定心工装依据一定顺序装配实现装配过程^[2];动平衡利用专用平衡芯轴将转子支承方式转化为常规支承平衡转子,支承两端均为工艺滚动轴承作为支点,减少支点误差影响,静子机匣通过专用工装保证与转子间的轴径向定位状态,为消除平衡芯轴不平衡量,除在芯轴制造过程中增加平衡工序外,采用平衡机自带的转位平衡方式,利用平衡机自身转位补偿功能消除平衡芯轴不平衡量,实现转子平衡工艺过程^[2]。

制定了具体的装配平衡一体化的工艺技术方案,即采用垂直装配方式,双向装配的技术方案;动平衡采用联轴节平衡方案,增加辅助支承结构,实现转静子定位定心。主要工艺过程如下:a.实现转子四级叶片装配及调整;b.实现五段环形静子机匣在转子组件上的装配;c.实现无轴颈转子装配过程中的轴、径向定位;d.实现带静子机匣的转子组件的定位和支撑及翻转;e.实现带静子机匣的转子组件的平衡;f.实现转静子组件平衡后的风扇叶片装配;g.实现风扇/增压级维修单元体的整体状态和运输。

装配工艺技术方案设计为双向垂直装配方式,具体研制内容如下:a.设计转静子装配方案,装配定位、轴径向定心;b.设计双向装配,吊装轴径向及后后面定心方案;c.设计平衡工装装配、连接、调整方案;d.设计各辅助工装、设备协调衔接方案。

总体设计多用途装配车技术方案,装配过程为双向垂直实现,基准为多用途装配车,装配车一车四用,合并了转子装配、静子装配、平衡前装配、单元体装配运输四项功能的实现,并通过随车的多功能附件来保证装配过程中技术要求的实现。

3.4 技术关键

(1)采用多功能芯轴结合框架式平衡、辅助机匣装配平衡等技术,自主开发了装配平衡工艺方法,实现了无轴颈转静子单元体双向垂直装配及平衡^[3]。(2)采用自行研制的多功能芯轴、双套前后平衡及装配工艺机匣及多用途装配车等工装设备,实现了装配、平衡、翻转及运输时转静子定位、定心要求。

设计用装配平衡辅助芯轴,通过采用一个辅助芯轴

增加支承位置,确定装配定心及平衡定心,设计和采用的多功能芯轴作为装配支承(轴向、径向定位定心)以及动平衡(支承与动平衡)^[4]用,并保证方案的可行性、操作的合理性及安全性;

设计双套前后工艺机匣,分离并固化了装配和动平衡过程,保证转静子的轴径向定位;设计和采用装配及平衡工艺机匣保证装配及翻转时转静子定位、定心,使装配及平衡工艺的实现和衔接过程中满足了设计参数的测量和调整。

3.5 主要装配工艺流程

工艺流程图见图1。(1)平衡芯轴的装配。装配平衡芯轴至增压级鼓筒内并连接好螺栓,平衡芯轴为辅助支承及动平衡用的多功能芯轴;(2)跳动检查。在平衡机上检查相关跳动,验证装配情况;(3)装配前装配工艺机匣。将前装配工艺机匣装至装配车上,并装配带芯轴的转子组件装配,前装配工艺机匣为装配翻转及定位定心用;(4)装配静子、转子叶片及后装配工艺机匣。将转静子按相应的装配顺序装配完成后,装配后装配工艺机匣,后装配工艺机匣为径向定心用,防止转静子刮碰,前、后装配工艺机匣为转静子装配及组件翻转专用;

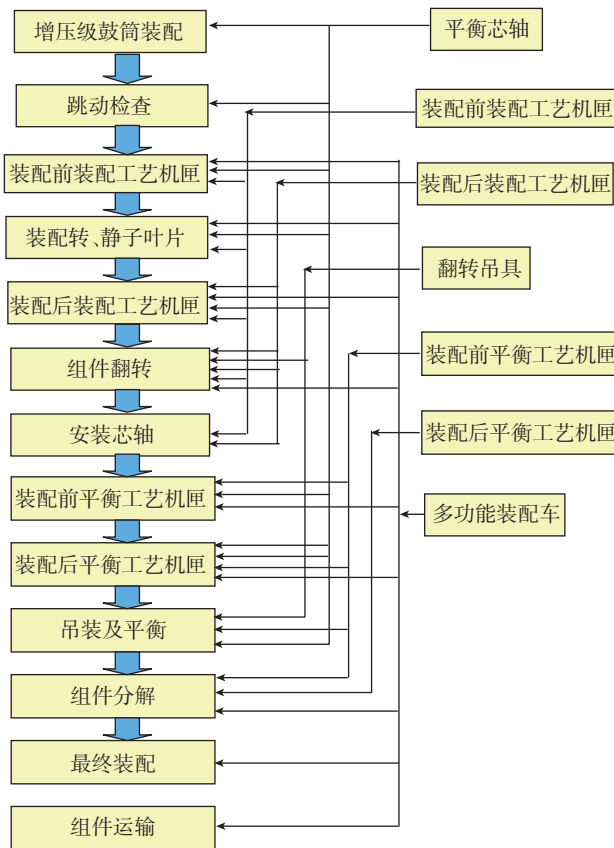


图1 风扇/增压级组件装配平衡工艺流程图

Fig.1 Process flow diagram of fan/compressor's assembling and balancing

(下转第 50 页)

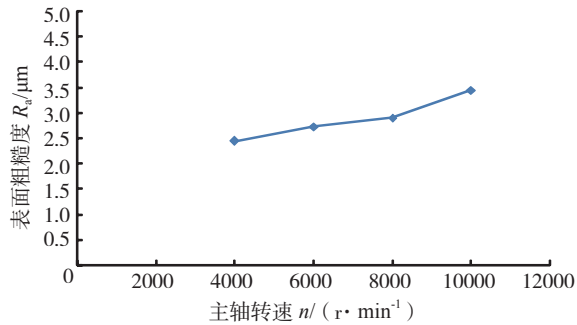


图10 主轴转速对表面粗糙度的影响

Fig.10 Effect of spindle speed on surface roughness

性,与传统铣床夹具相比,零件的加工精度和加工质量有了明显的提高。

(2)影响表面粗糙度的因素主次关系是:铣削深度 > 每齿进给量 > 铣削宽度 > 主轴转速,其中铣削宽度、主轴转速对表面粗糙度的影响可以忽略。

(3)随着铣削深度、每齿进给量、主轴转速的增加,表面粗糙度增大;随着铣削宽度的增加,表面粗糙度减小,当铣削宽度增加到一定数值时,表面粗糙度增大。

参考文献

[1] 陈建. 铝锂合金的性能特点及其在飞机中的应用研究. 民用飞机设计与研究, 2010(1):39-41.

[2] 毛大恒, 韩德夫, 周亚军, 等. 2197 铝锂合金的化学铣切工艺. 机械工程材料, 2011(5):77-79.

[3] 毛大恒, 张灿, 周亚军, 等. 2197 铝锂合金化学铣切工艺的探讨. 材料保护, 2010(10): 33-35.

[4] 易慧芝, 邓飞跃, 张忠亭. 2197 铝锂合金化学铣切工艺研究. 表面技术, 2010(4): 73-76.

[5] 刘维伟, 李锋, 姚倡锋, 等. GH4169 高速铣削参数对表面粗糙度影响研究. 航空制造技术, 2012(12): 87-90.

[6] 姚倡锋, 武导侠, 靳淇超, 等. TB6 钛合金高速铣削表面粗糙度与表面形貌研究. 航空制造技术, 2012(21): 90-93.

[7] Ammula S C, Guo Y B, Barkey M E. A finite element analysis based compliance method coupled with wet etching to determine residual stress in high speed milling//American Society of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division, MED. Orlando, FL, United states: 2005:1257-1265.

[8] Guo Y B, Ammula S C, Barkey M E. A wet etching method coupled with finite element analysis-based compliance function to determine residual stress in high-speed milling. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 2006,128(3): 792-801.

[9] Tang Z T, Liu Z Q, Wan Y, et al. Study on residual stresses in milling aluminium alloy 7050-T7451. Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge: New Manufacturing Techniques and their Role in Improving Enterprise Performance, 2008:169-178.

[10] Ammula S C. Surface Integrity of Al 7050-T7451 and Al 6061-T651 Induced By High Speed Milling. SAE Document, 2005-01-3346.

[11] 沈则亮. 真空吸附铣削夹具的设计及其应用. 机床与液压, 2011,39(16):43-44.

(责编 谷雨)

(上接第 45 页)

(5)组件翻转及安装芯轴轴向定位。将组件翻转前将装配车上安装芯轴并调整好位置后进行轴向定位,保证分解装配工艺机匣时的轴向径向位置;(6)换装前平衡工艺机匣。前平衡工艺机匣为平衡以及轴、径向定心用的多用途机匣,与芯轴及后平衡工艺机匣组合用;(7)换装后平衡工艺机匣。换装后平衡工艺机匣并将后支点工艺轴承装配至相应位置,组件完成平衡工装的装配;(8)吊装翻转并进行组件平衡。将组件装配用翻转吊具吊装至平衡机上,并用传动轴连接驱动;(9)组件分解。组件按装配方式分解完成至前后装配工艺机匣定位状态;(10)组件分解及其他装配。采用多功能装配车,撤去芯轴以及外部承力支架,装配止口定位环后为单元体组件装配机构,车架中心更换为另外一组轴径向定位芯棒;(11)完成单元体装配。最终以组件状态完成单元体装配,组件装配车也为组件运输车。

该设计方案采用装配定位、定心以及平衡定位、定心工装,并将相关的装配运输车多功能集成,最终以单元体完整状态交付,为下一工序做好吊装运输准备。

4 结论

该装配平衡技术基于大涵道比涡扇发动机风扇/增压级组件结构特点,依托装配、平衡技术基础,提出装配平衡一体化的设计理念,形成无轴颈转子带静子机匣动平衡的技术创新点,技术难度大,其主要技术特点为:(1)采用垂直装配技术结合双向装配方案;设计了多功能芯轴结合框架式平衡工艺技术方案,突破了无轴颈风扇/增压级转静子单元体装配平衡的技术关键;采用辅助机匣结合静子机匣的联合设计方式解决了框架式平衡的技术难题。(2)多功能芯轴、双套前后工艺机匣及用途装配车技术方案满足了装配、平衡、翻转及运输时转静子定位、定心要求,使装配平衡实现合理衔接。

该项工艺技术成熟,可广泛应用于该类型的风扇/增压级组件动平衡工艺中,对进一步提高国内装配平衡技术能力提供技术经验,并为将来进一步拓展和应用提供技术依据。

参考文献

[1] 韩志斌. 动平衡转子的分类及其应用. 上海汽轮机, 2000(9):38-39.

[2] 哈托·施奈德. 平衡技术理论与实践. 达姆斯塔特: 机械工业出版社, 1981:53-60.

[3] 于文怀, 宋宝玉, 高鸽, 等. 装配试车技术. 北京: 科学出版社, 2002:81-8.

[4] 陈炳贻. 航空发动机平衡技术发展. 推进技术, 1998,1(4):105-109.

(责编 一帆)