机加结构中介机匣试验件设计及性能验证研究

Design and Performance Testing Research on Machined Structure Intermediate Casing Testpieces

司艳丽　陈雷　杨琳　于连超／中航工业沈阳发动机设计研究所

摘　要：设计了机加结构中介机匣试验件，解决了含支板复杂结构中介机匣流路面及支板型面机加难以实现的问题。进行了机加结构中介机匣性能试验，对比试验结果与理论设计数据，校核试验与设计的符合性，为准确验证中介机匣的气动设计提供设计依据。

Abstract: Through the structure design, the design of machined structure intermediate casing testpieces solves the complex with support plate complex structure intermediate casing passage and support plate cannot realize through machine tooled. After conducting machined structure intermediate casing performance test, we compare the result with theoretical design, check test and design compliance, which provides the basis for testing intermediate casing design. Furthermore, though comparing and analyzing the results of routine casting structure intermediate casing testing, we obtain the deviation the deviation between the routine casting intermediate casing testpieces test results and actual value. The result shows that: under the same passage designs state, the intermediate with machined passage has the better performance testing result and design compliance. he intermediate casing with passage of machined surface has the higher total pressure recovery coefficient than the one with casting passage by 1.5 to 2 percentage;

关键词：中介机匣；铸造质量；性能影响

Keywords: intermediate casing；casting quality；performance influence

0 引言

中介机匣是飞机发动机连接高、低压压气机的重要过渡通道和主要承力部件，其流场品质对发动机整机的工作性能产生直接影响。目前，发动机中介机匣的外廓尺寸越来越大，结构越来越复杂，通过机加方式已经难以实现加工，一般均为整体精密铸件。

国内的铸造水平较国外有一定差距，导致铸造中介机匣流路面几何尺寸和表面质量与设计值存在一定偏差。由于中介机匣尺寸大、结构复杂，部分区域为盲区，检查较困难；流路铸造偏差规律性较差，铸造质量对中介机匣性能影响尚不明确，以铸造中介机匣的试验结果来验证性能设计的准确性较差。

为此，设计了机加结构中介机匣试验件，对其吹风试验结果进行分析，为中介机匣气动设计提供参考及依据。在机加结构中介机匣试验件的设计过程中，解决了复杂结构中介机匣流路面及支板机加结构在试验件中难以实现的问题。并通过对比机加结构、铸造结构中介机匣的试验结果，得出常规铸造中介机匣试验件试验结果与设计值的偏差。

1 机加结构中介机匣试验件设计

1.1 试验件设计方案

本研究选择的中介机匣直径约1000mm，结构形式与常规大涵道比发动机相似，为流路面间支板支撑的复杂结构，如图1所示。设计机加试验件时，一方面考虑到试验台的流量和尺寸限制，另一

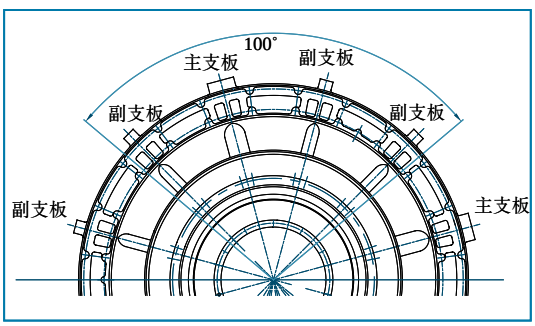

图1　内机匣前视图

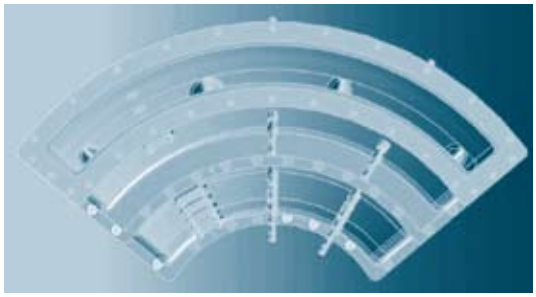

图2 内机匣试验件前视图

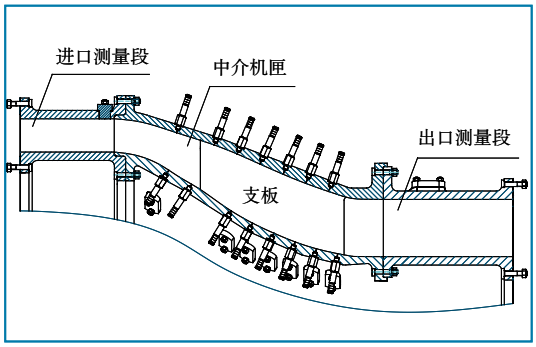

图3 试验件结构

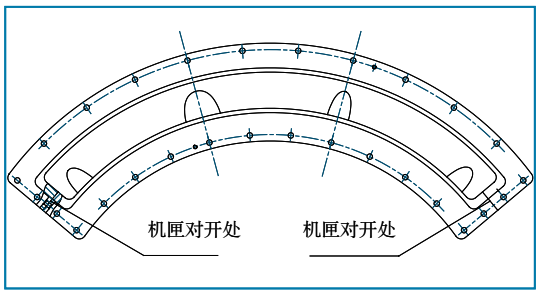

图4 机加中介机匣上下半部装配示意图(前视图)

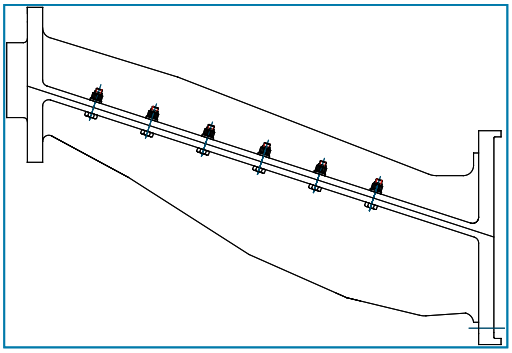

图5 机加中介机匣上下半部装配示意图(侧视图)

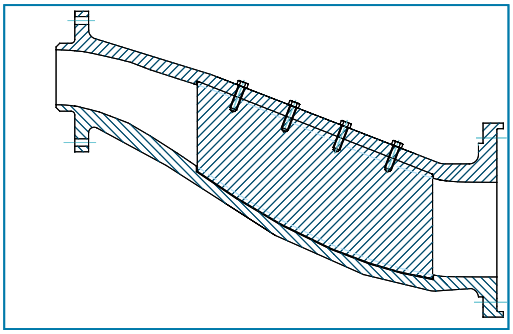

图6 机加中介机匣支板装配示意图

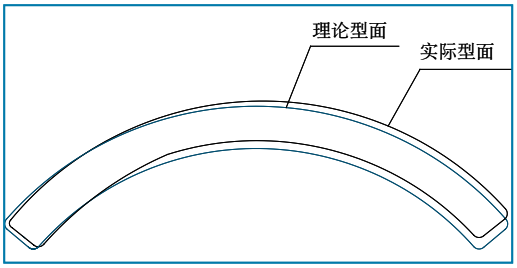

图7 铸造试验件进口测量段进口尺寸

方面为便于测量主支板后的流动参数,选择100°扇型段范围来加工试验件。如图1两条蓝色线的上半部分所示,主支板与副支板所形成的通道位于试验件中间位置,边缘的两个副支板与侧壁面之间留出5°以使试验气流从侧壁边界层泄漏出去,减小对主流的影响。试验件结构如图2所示。

1.2 试验件结构

机加结构中介机匣吹风试验件由进口测量段、中介机匣、出口测量段组成,如图3所示。中介机匣流路间有一块主支板(厚支板)和两块副支板(薄支板)。在进口测量段、中介机匣、出口测量段设计有供测试用的安装台和测试孔。试验件前端接试验台进气段,后端接试验台排气段,测试用气流从进口测量段进入,经中介机匣从出口测量段排出。

为了实现机加结构中介机匣流路面和支板型面的机械加工,与铸造试验件不同,机加试验件在设计上进行了一些改进。

1)进口测量段、出口测量段流路面均为机加表面。

2)为了能够实现中介机匣流路面和支板型面的机械加工,并使流路公差满足设计要求,将中介机匣从侧面分为上下半部对开机匣分别进行加工,加工完成后采用螺栓连接的方式将上下半部对开机匣组合成完整的中介机匣,如图4、图5所示。

3)主副支板单独机械加工,在中介机匣上下半部支板位置处加工支板安装槽,加工完成后的支板安装在槽内,通过螺钉与中介机匣上半部连接,如图6所示。

1.3 试验件实物流路尺寸检查

使用中介机匣进口流路1:1样板对机加试验件中介机匣进口流路尺寸进行检查,检查表明进口流路尺寸无明显偏差。说明机加试验件基本满足设计要求,流路尺寸可以代表性能设计水平。

而以往铸造结构中介机匣进口流路尺寸较设计值偏差较大,如图7所示,铸件流路面粗糙度大于12.5 ,且流路及支板表面存在凹凸不平现象。

2 测试项目

试验的主要目的是通过测试数据,计算中介机匣的总压恢复系数。

$$\text{总压恢复系数 } \sigma=\frac{P^*_{out}}{P^*_{in}} \tag{1}$$

$$\text{总压 } P^*=P\left(1+\frac{K-1}{2}Ma^2\right)^{\frac{K}{K-1}} \tag{2}$$

其中K=1.4。

根据性能计算需要,选择中介机

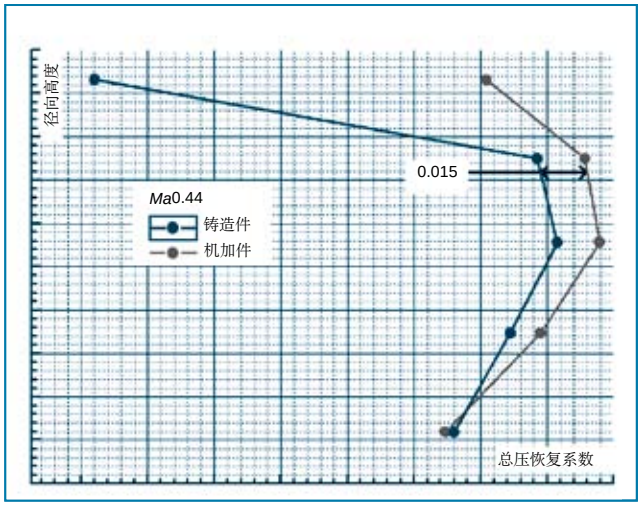

图8 铸造件与机加件马赫数0.44总压恢复系数径向分布对比

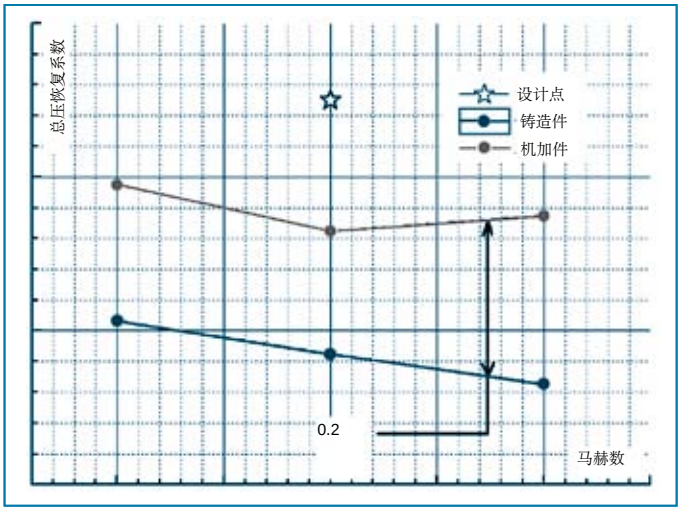

图9 各马赫数状态铸造件与机加件中介机匣总压恢复系数

匣进口马赫数分别为0.40、0.42、0.44、0.46、0.48、0.50等六个状态，进行以下项目的测试。

1）测定中介机匣进口截面的总压分布、静压分布。

2）测定中介机匣出口截面的总压分布、静压分布。

3 结果分析

1）出口总压径向分布

图8为机加中介机匣试验件和铸造中介机匣试验件在马赫数0.44下测量的总压恢复系数径向分布对比，可以发现机加件出口尖部、中部总压恢复系数明显好于铸造件。

2）各状态中介机匣总压恢复系数

图9给出机加件和铸造件各马赫数状态下中介机匣的总压恢复系数，对周向测量值进行了加权平均（厚支板占1/3，薄支板占2/3）。机加试验件的总压恢复系数比铸造试验件的高出约2个百分点，这反映了试验件加工质量对性能的影响。造成这种影响的原因可从图8中看出，尖部测点的总压恢复系数非常低，这是由于铸造件尺寸精度低导致的发动机性能损失。

4 结论

研究表明，流路设计值相同的条件下，流路为机加面的中介机匣性能试验结果与设计值的符合性较好。

流路面为铸造面的中介机匣较流路面为机加面的中介机匣总压恢复系数低1.5～2个百分点。 AST

参考文献

[1] 向宏辉，张良，陆庆飞，叶巍，赵桓，任飞. 进气条件对压气机中介机匣流场影响的试验研究[J]. 燃气涡轮试验与研究，2011，(4):19-23.

[2] 孙琪，王晓良. 某型发动机中介机匣1/6扇形段内壁附面层测量[J].航空发动机，1998，(1):19-24.

[3] 徐金梅. 大型薄壁机匣加工工艺研究[J]. 中国新技术新产品，2012，(18):124.

[4] 闫海，张以都，王宝昆，仲岑弘.关于机匣类部件铸造毛坯变形的数值分析[J].军民两用技术与产品，2009，(4):43-45.

[5] 董本涵，高鹏飞，王举. 机匣安装边结构研究[J]. 实验力学，1996，(4):31-38.

[6] 张体信，甘敬林，马文科，田文正. 铸钛机匣在涡喷发动机上的应用[J]. 航空制造工程，1996，(8):22-31.

[7] Vimala Narayanan,S.Kishore Kumar,S.C.Kaushal.Flow Prediction in The Intermediate Casing of Compressors[J]. AIAA-2001-3619

[8]Bendsøe, M.P.; Sigmund, O.:Topology Optimization–Theory, Methods and Applications, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2003.

[9]Goldenblat, I. I.; Kopnov, V. A.:Strength of Glass-Reinforced Plastics in the Complex Stress State[J],Mekhanika Polimerov, 1965，1(2):70-78.

[10] Markus Kober, Thomas Klauke, Olaf Lenk. Topology Optimized Intermediate Casing of Aero Engine and Comparative Evaluation of Titanium and Composite Architecture in Terms of Load Capacity and Weight Reduction [J]. GT2008-50644.

作者简介

司艳丽，工程师，主要从事航空发动机压气机结构设计与研究。