

基于有限元软件 ANSYS 的扩压器强度分析

闫 峰

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 空气泄入式扩压器是液氧/煤油发动机高空模拟试验的关键设备。运用有限元软件 ANSYS 的结构静力分析方法, 对该扩压器筒体进行了强度分析, 获得了筒体的应力分布情况。分析结果符合扩压器受力情况。

关键词: ANSYS; 扩压器; 强度分析

中图分类号: V434

文献标识码: B

文章编号: (2007) 06-0038-05

Strength analysis of the diffuser by ANSYS FEM software

Yan Feng

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The air-leak diffuser is a crucial equipment for high altitude simulation test of a liquid oxygen/kerosene rocket engine. In this paper, the stresses distribution in the canister structure of the diffuser is determined by ANSYS Structural Static Analysis FEM software. The analysis results are in good accordance with those of classical material mechanics analysis.

Key words: ANSYS ; diffuser; strength analysis

1 引言

液氧/煤油火箭发动机是新型高空发动机, 它是一种无毒、无污染、火药启动的高压补燃发动机。为进行该型号发动机的高空环境模拟试验, 需设计加工用于模拟高空环境的试验装置——扩

压器。

扩压器是大型结构件, 结构强度是保证其结构可靠性最重要的指标, 因此其强度校核计算是设计中的关键工作。然而, 以往对扩压器的强度计算是基于经典材料力学和经验公式, 不仅其计算精度难以保证, 而且较大的强度裕度也造成了生产成本的提高和吊装难度的增加。本文利用大

收稿日期: 2007-04-04; 修回日期: 2007-05-28。

作者简介: 闫峰 (1978—), 男, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机试验技术。

型有限元分析软件 ANSYS9.0，对扩压器的主要部件——筒体进行静态强度分析，准确地描述出其应力场分布，为扩压器的设计加工提供了可靠的理论依据。

2 扩压器的结构

发动机高空模拟试验中，选用空气泄入式扩压器——在发动机喷管出口处与发动机相配，相对于闭式真空舱加扩压器方案，结构简单，安装方便。该扩压器冷却方式采用了夹层强迫冷却，

冷却水流向与燃气方向相反。

2.1 外形尺寸

发动机喷管外径为 950 mm，考虑到间隙调节、试验过程中产生振动等因素，取扩压器直径 $d=1300\text{mm}$ ，以便于发动机喷管与扩压器的插入对接。扩压器的长度对扩压器的性能有一定影响，一般扩压器的长径比选取大于 5 较为合适。最终选取长径比为 6，扩压器总长 7.92m，出口端面超出试车间大门 1.4m，既满足试车要求，又保证出口燃气不会对试车台造成影响。扩压器的外形结构见图 1。

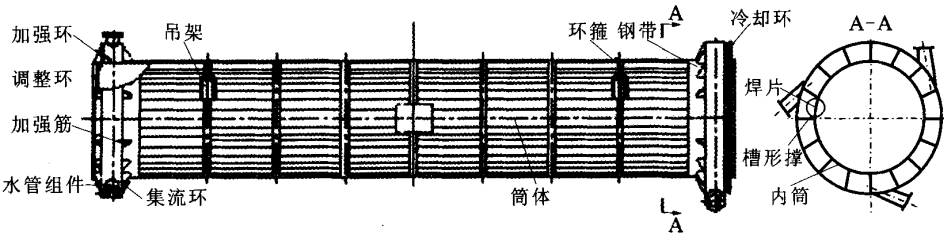


图 1 扩压器的外形结构
Fig.1 Structure of the diffuser

2.2 冷却通道形式

扩压器采用与发动机燃气流向相反的冷却水供应方式，因为燃气出口端较进口端温度要高。冷却水进口端由三根 DN150 水管沿切向与集流环焊接，冷却水进入后形成旋转水流，冷却水流动均匀，扩压器最高点与最低点流量一致。出水口与进水口按角度交错排列，以减小压头损失。扩压器出口端面由于冷却水无法达到，设计中采用外喷淋圆环加以解决。

在内筒上均匀布置了 108 个冷却通道，每条通道截面积相等以保证流速和流量相等。冷却通道形式见图 2（单位 mm）。

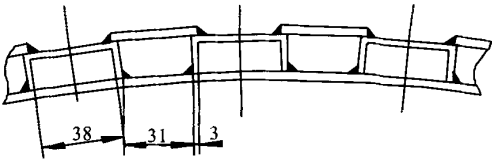


图 2 冷却通道形式
Fig.2 Shape of the cooling channel

3 扩压器有限元模型

3.1 ANSYS 软件功能

ANSYS 软件是集结构、热、流体、电磁场、声场和耦合场分析于一体的大型通用有限元分析软件。ANSYS 用户涵盖了机械、航空航天、能源、交通运输、土木建筑、水利、电子、生物医学等众多领域，并成为这些领域进行国际国内分析设计技术交流的主要平台。

一个典型的 ANSYS 分析过程可分为三个步骤：建立模型；加载并求解；查看分析结果。

3.2 建立扩压器几何模型

在有限元分析过程中，第一步是生成能够恰当描述模型几何性质的有限元模型。通常情况下需要首先建立几何模型，然后根据几何模型生成有限元模型。扩压器结构形式比较复杂，建立几何模型时若按照实际物体的几何结构来建立，不仅建模难度大而且增加了计算量，因此在保证计算

精度的前提下有必要对其结构进行简化,以便降低建模难度,节约工作时间。

扩压器为大型焊接结构件,由不锈钢板焊接而成,主要包括水管组件、调整环、筒体、吊架、冷却环、集流环和加强筋、环箍和钢带等零部件。其中筒体是我们研究的重点,因此省去一些零部件,如:冷却水进出水管、集流环、冷却环和吊架等,只建立扩压器筒体的几何模型。扩压器筒体为夹层结构,内层为不锈钢筒,外层由槽形撑和焊片焊接构成冷却通道。夹层冷却通道简化为沿圆周上均布的108个柱状通道,扩压器筒体的几何模型见图3和图4。

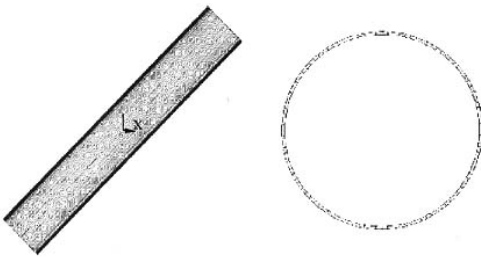


图3 扩压器筒体几何模型

Fig.3 Geometrical model of the diffuser canister



图4 夹层冷却通道几何模型

Fig.4 Geometrical model of the cooling channel

3.3 生成扩压器有限元模型

为了能长期多次使用扩压器,减小外界环境对扩压器的腐蚀,扩压器筒体采用不锈钢材料制造。设置材料参数为:

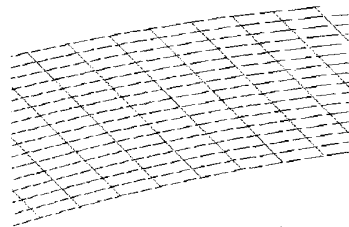
密度: 7900kg/m^3 ;

弹性模量: 202GPa ;

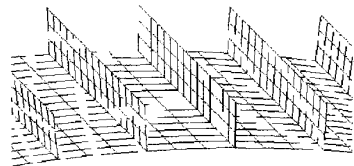
泊松比: 0.3。

在划分单元时,根据扩压器结构和几何特性选择单元类型,然后对扩压器筒体结构离散化。

因为扩压器筒体的夹层结构是由内层不锈钢筒和外层槽形撑、焊片焊接构成,可简化为板壳结构(X, Y 方向长度远大于 Z 方向长度),这样既保证了计算精度又可降低运算量,节省运算时间。若选用实体单元,虽然精度可以提高,但是将增加运算时间,所以选取了ANSYS单元库中的壳单元SHELL63。根据筒体壁厚,设定壳单元厚度为3mm。考虑到筒体结构的对称性特点,为了避免产生奇异单元,采用映射网格划分方法,共划分得到14580个单元、13824个节点。划分后的筒体有限元模型见图5。



(a) 外层筒体



(b) 冷却通道

图5 筒体有限元模型

Fig.5 FEM model of the diffuser canister

3.4 施加载荷和边界条件

在进行高模试验时,扩压器安装在二号台 45° 倾斜工作面上。根据扩压器安装位置和受力情况,在ANSYS有限元分析中对建立的有限元模型设定以下边界条件和载荷:

扩压器通过过渡架和三角架安装在倾斜 45° 工作面上,受到了垂直于工作面的支撑力;本身还受到竖直向下的重力作用;由于筒体内外压力差产生的压力,扩压器出水端固定可靠,因此模型在此截面设定为全约束(三个方向的平动和转动)。扩压器的载荷和边界条件见图6。

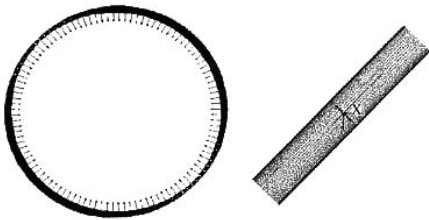


图 6 扩压器受到的载荷和边界条件
Fig.6 Load and displacement boundary conditions on diffuser canister

4 扩压器强度分析

在建立好扩压器有限元模型并正确施加边界条件和载荷后，通过 ANSYS 结构计算模块，求得扩压器筒体主应力场分布如图 7 所示。

根据材料力学第四强度理论 $\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$ 得到的扩压器筒体等效应力场分布见图 8。

图 8 所示的最小应力值为 0.507MPa，最大应力值为 19.2MPa，远远小于不锈钢材料的许用应力 $[\sigma] = 102\text{MPa}$ 。

在对扩压器整体应力场分析的基础上，对扩压器的冷却通道进行细部的比较分析，夹层冷却通道的应力分布见图 9。

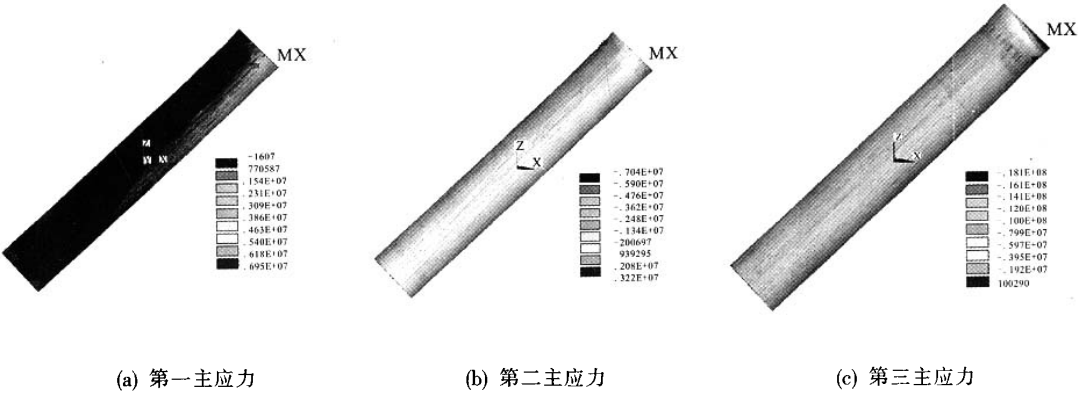


图 7 扩压器筒体主应力场
Fig.7 Principal stress field of the diffuser canister

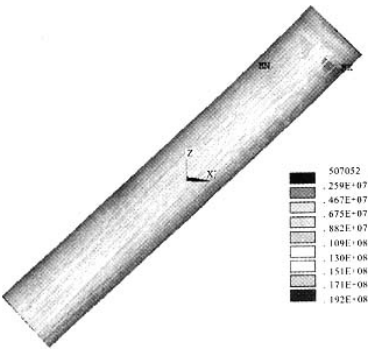


图 8 扩压器筒体等效应力场
Fig.8 Von mises stress field of the diffuser canister

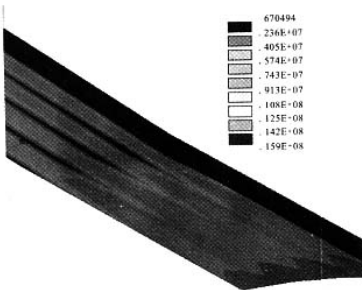


图 9 夹层冷却通道的应力分布
Fig.9 Stress distribution of the cooling channel

从冷却通道的应力场可以看出——冷却通道内的应力分布有以下特点:

(1) 在沿扩压器横截面上, 各冷却通道的应力分布具有对称性, 这与扩压器几何形状的对称性相吻合。

(2) 在沿扩压器轴向上, 应力在扩压器出水端附近最大, 这一特点符合扩压器的受力情况, 与经典材料力学分析得到的结论一致。

(3) 单个冷却通道内, 应力在槽形撑与内筒交界处达到最大, 应力值最大为 19.2MPa, 此处也是扩压器整体上的应力最大值点。

5 结束语

在进行发动机的高模试验时, 扩压器所承受的力学环境十分恶劣, 而扩压器能否在这种环境下安全可靠地工作, 是关系到发动机高模试验成败的重要问题。扩压器作为大型结构件, 结构强

度是保证其结构可靠性最重要的指标。

本文利用大型有限元分析软件 ANSYS9.0, 对扩压器筒体结构, 建立了较为合理可行的有限元计算模型, 选取壳单元 SHELL63, 采用映射网格划分方法, 通过静态强度分析, 准确形象地描述出扩压器筒体的应力分布情况。

扩压器筒体的应力场分布符合其受力情况, 与经典材料力学分析得到的结论一致。对于筒体结构中应力集中的位置, 采取了增加加强筋的办法来提高结构强度, 经过实际使用效果很好。在发动机高模试验时, 高温高速燃气对扩压器结构有很大影响, 因此扩压器结构在高温高速燃气下的结构强度分析是今后研究的重点之一。

参考文献:

- [1] 任重. ANSYS 实用分析教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.

(编辑: 王建喜)

(上接第 16 页)

4 结束语

利用数据挖掘可以挖掘液体火箭发动机的故障, 贝叶斯分类是数据挖掘的重要分支。介绍了贝叶斯分类中重要的两种分类器: 朴素贝叶斯分类器和 TAN 分类器, 并利用这两种方法对某型液体火箭发动机的试车数据和基于数学模型建立的仿真数据进行故障分类, 取得了很好的效果。很好地对比和验证了两种分类方法的分类精度。TAN 分类器是一种很好的分类器, 但是, 当数据库中的数据量十分庞大时, TAN 分类器的使用就受到了限制。在实际应用大规模数据库的时候, 贝叶斯分类器还有很多待究的问题。给出有效实用的贝叶斯网络分类器结构学习方法与算法是进一步研究的目标。

参考文献:

- [1] 韩家伟. 数据挖掘: 概念与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 陈琴. 贝叶斯数据挖掘技术及其在反垃圾邮件中的应用[D]. 南宁: 广西大学, 2004.
- [3] 张剑飞. 贝叶斯网络学习方法和算法研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2005.
- [4] 周颜军, 王双成, 王辉. 基于贝叶斯网络的分类器研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2003, 35(2): 21-27.
- [5] 李京浩, 胡小平, 韩泉东. 液体火箭发动机故障的数值型关联规则挖掘[J]. 火箭推进, 2007, 33(2): 7-11.
- [6] 韩泉东, 胡小平, 李舟军. 决策树和支持向量机方法在液体火箭发动机故障诊断中的应用[J]. 计算机科学, 2006, 33(8): 275-277.

(编辑: 马 杰)