



航空换热器封头结构优化的数值研究*

Numerical Study on Structure Optimization for Aircraft Heat Exchanger Head

薛涛 郑文远 胡文超 / 南京机电液压工程研究中心航空机电系统综合航空科技重点实验室

摘要:运用大型有限元软件ANSYS对航空换热器封头强度进行研究,找出换热器封头受力的薄弱点及主要失效因素,在此基础上确定对换热器封头结构的优化方案,并对其进行有限元分析,得出提高换热器封头可靠性的有效措施,为换热器的设计提供理论依据和技术支持。

关键词: 换热器; 封头; 可靠性; ANSYS

Keywords: heat exchanger; head; reliability; ANSYS

0 引言

随着航空工业的发展,未来飞机对系统和部件的要求也将越来越高。换热器作为飞机的重要附件,其性能及可靠性的高低,对整个系统有着直接影响。现阶段,航空热交换器绝大部分都采用铝制板翅式结构,这种结构具有传热效率高、结构紧凑、轻巧而牢固、适应性好的特点。在飞机系统工作的过程中,换热器封头要承受系统开关过程中压力突然变化而引起的应力突变和系统工作时的工作压力。在实际使用过程中,许多外场返修的产品也是因流体压力的变化引起封头的损坏。当产品因封头非焊接原因损坏时,首先想到采用增加封头厚度的方法避免损害,但这种方式会导致产品超重,无法满足飞机附件的设计要求。因此必须对封头受力情况进行分析,寻求更好的方案改进封头,以防止产品工作过程中产生应力集中的情况。本文采用ANSYS软件对换热器封头进行模拟计算并优化设计方案。

1 结构静力学分析基本过程

ANSYS Workbench软件中的结构静力分析是用来计算在固定不变的载荷作用下结构的响应,即由于稳态外载引起的系统或部件的位移、应力和应变。同时,结构静力分析还可以计算固定不变的惯性载荷以及可以近似等价于静力作用的、随时间变化的载荷对结构的影响。通过静力分析,设计人员可以校核结构的刚度和强度是否满足设计要求。

在结构静力分析过程中,一般都假定载荷和响应固定不变,或假定载荷和结构的响应随时间的变化非常缓慢。静力分析所施加的载荷包括外部载荷、稳态的惯性力、位移载荷和温度载荷等。ANSYS进行结构线性静力分析主要包括三个步骤:建立有限元模型;施加载荷和边界条件,进行求解;结果评价和分析。

2 大型飞机冷凝器封头结构静力分析

首先,对一台安装于大型飞机环

控系统的冷凝器(如图1所示)进行仿真计算,该冷凝器尺寸相对较大,封头形状较为特殊。为了满足产品的性能和安装空间的要求,该产品利用普通的经验公式很难对其进行较为准确的计算,因此需通过ANSYS软件对其进行强度校核。本文只对冷边出口尺寸较大封头进行分析计算。

冷凝器冷边出口封头管接嘴直径为180mm,壁厚1mm,内腔最大工作压力为140kPa。改进前冷边出口封头的结构和网格划分见图2,网格节点数为85056个。冷边出口封头尺寸较大,而且厚度只有1mm,封头四个侧面均趋近于平面,承压效果较差,因此需对冷边出口封头进行分析计算。对冷边出口封头内腔施加140 kPa的压力,封头上端和底面施加全约束,计算结果见图3至图5。

结果显示,冷边出口封头的最大应力为156.34MPa,最大变形量为0.99379mm,最小安全系数为1.791。虽然冷边出口封头的最大应力值同时小于 $\sigma_{0.2}=157\text{MPa}$ 和 $\sigma_b=295\text{MPa}$,在工作状态下不会产生塑性变形或损坏,但其非常接近屈服强度 $\sigma_{0.2}$,且冷边出口最大

* 基金项目:航空科学基金(2009ZC09003)项目资助。



图1 大型飞机冷凝器

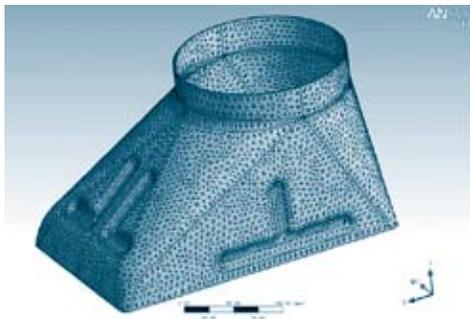


图2 改进前冷边出口封头网格

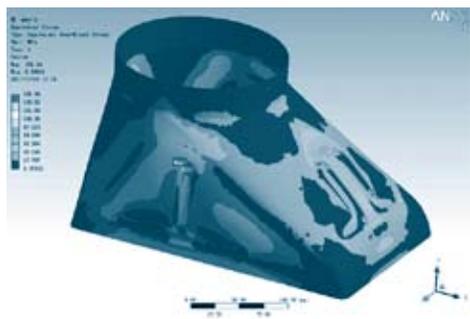


图3 改进前冷边出口封头应力云图

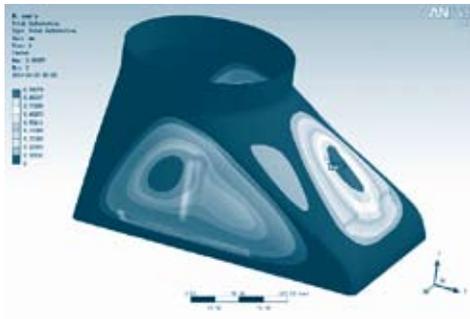


图4 改进前冷边出口封头位移云图

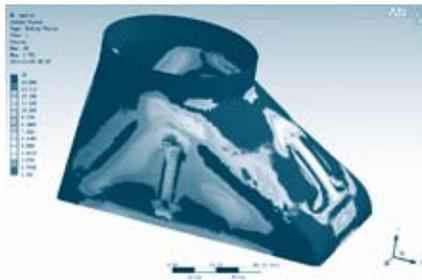


图5 改进前冷边出口封头安全系数云图

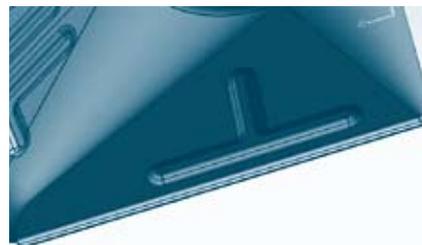


图6 翻边后冷边出口封头

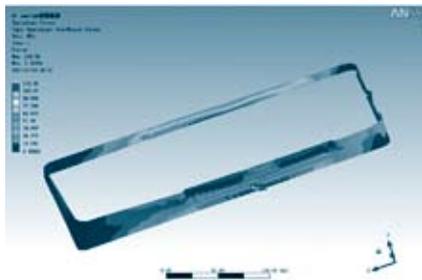


图7 翻边前冷边出口封头应力云图

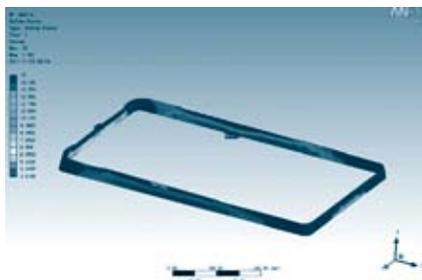


图8 翻边前冷边出口封头位移云图

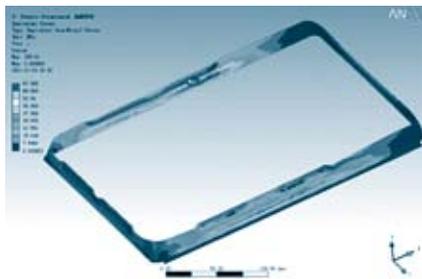


图9 翻边后冷边出口封头应力云图

变形量也接近于1mm。因此在工作状态下,冷边出口封头会产生轻微的鼓包现象,这将直接影响封头下端的焊缝强度,使焊缝产生疲劳断裂。因此需对焊缝处进行改进,以保证焊缝质量。

为此,对封头做了改进,在封头底边焊缝处增加翻边处理,如图6所示。经过计算,翻边前后焊缝处局部云图如图7至图10。由图可知,翻边前冷边出口封头焊缝处的最大应力值为77.422 MPa,改进后为67.565 MPa,最大应力值有所降低;安全系数由3.6166提高到了4.1441。而应力集中点已经从焊缝处转移到弯边处,有效保护了焊缝强度,避免了焊缝由于封头鼓包而产生的疲劳断裂。

3 防冰管嘴的结构静力分析

以典型板翅式换热器为例进行分析,其封头形式为环控系统常用结构,该板翅式换热器是某型飞机的高压除水环境控制系统中的冷凝器,其作用是利用涡轮出口的低温空气对来自回热器的热空气进行降温、使水蒸汽冷凝成游离水后进入水分离器排出。产品主要由热边进出口封头、冷边进出口封头、芯体、支架、防冰管嘴等组成,如图11所示。防冰管嘴位于热边进口封头上,在产品使用过程中出现了焊缝开裂现象,如图12所示。通过金相分析可知,焊缝裂纹属于疲劳裂纹。为了尽量避免此类故障现象,需要对防冰管嘴结构进行改进。

对防冰管嘴原结构进行结构静力分析,热边进口封头承受1173kPa的内压,对封头气流的进口及出口表面施加全约束,图13和

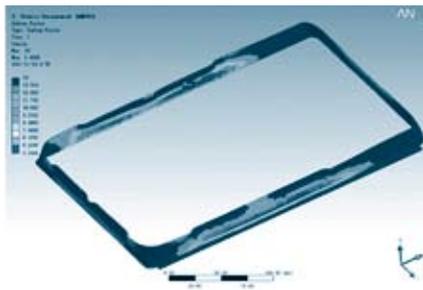


图10 翻边后冷边出口封头位移云图

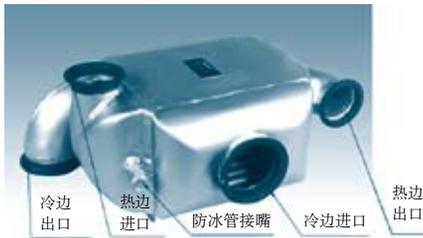


图11 冷凝器图片

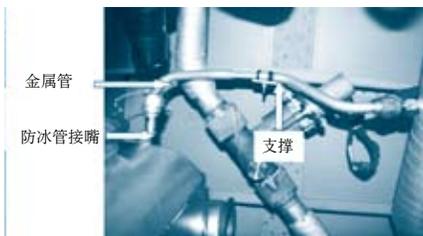


图12 防冰管接嘴与封头原连接形貌

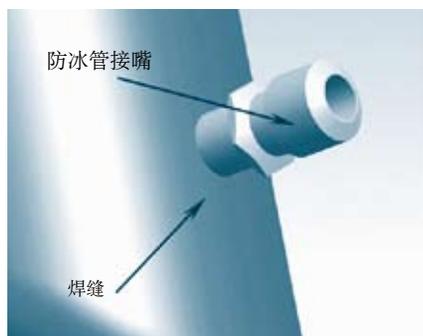


图13 防冰管接嘴与封头原连接形式

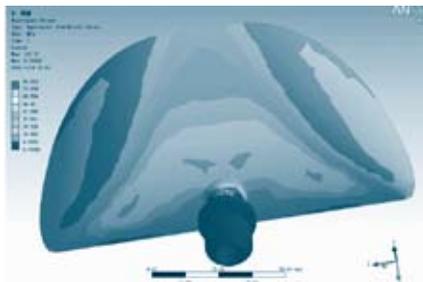


图14 改进前防冰管嘴应力云图



图15 防冰管接嘴与封头改进后连接形式



图16 改进后防冰管嘴应力云图

图14分别为防冰管嘴原貌和承压有限元分析结果。

由图可知,防冰管嘴焊缝处最大应力值为84.5 MPa,位于防冰管嘴与封头间的焊缝处,此值小于 $\sigma_{0.2}=157$ MPa,在工作压力1173 kPa下不会断裂。通过对防冰管嘴的安装方式和工作环境分析可知,防冰管嘴安装为悬臂结构,其振动尤为剧烈,在剧烈振动的影响下防冰管嘴与封头连接的焊缝会产生较大应力,在此应力的长期作用下会造成焊缝的应力疲劳开裂。

针对以上分析,对产品进行了如下改进措施。为避免防冰管嘴焊接应力集中问题,改变防冰管嘴整体结构,增大防冰管嘴与封头的连接长度,减小焊缝处的应力集中,具体方案如图15所示,计算后其应力云图如图16所示。

通过对防冰管嘴改进前后结构比较,改进后防冰管嘴与封头焊缝长度更长,焊缝处的最大应力值为69MPa,应力集中明显降低,此连接方式改变了

焊缝位置,可以有效分散工作时焊缝处的应力集中,从而避免焊缝开裂。

4 结论

1) 采用ANSYS软件对两种换热器封头进行了静力学分析,通过这种方法可直观地看到封头结构的应力场分布,发现结构的薄弱环节并提出了改进方向,减少开发和试验的费用,同时,对于一般军用飞机上的换热器封头的结构设计也具有一定的指导意义。

2) 通过对大型飞机换热器封头的数值模拟可以发现,封头结构是影响产品可靠性的主要因素。封头没有改进时,封头会有鼓包现象,而且频繁的鼓包现象会直接导致焊缝处疲劳断裂,最小安全系数出现在封头两侧焊缝附近。而翻边后的结构使应力集中点远离焊缝,保证了焊缝的安全,改进后的封头完全能够满足设计要求。

3) 较细的悬臂接口应与封头做成整体并局部结构加厚,改进型封头不仅提高了产品的可靠性,而且此种形式加工简单,对于航空换热器的工程应用,具有重要的实用意义。 **AST**

参考文献

- [1] 周幅彦,凌祥,徐善东. 板翅式换热器封头强度的有限元分析[J]. 化工机械, 2003(3):147-151.
- [2] 陶伟明,杨娅君,郭乙木. 内压作用下压力容器封头局部屈曲分析[J]. 机械工程学报, 2004(7): 186-190.
- [3] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社, 2007-10.

作者简介

薛涛, 硕士, 工程师, 主要从事人机与环境工程研究工作。