

基于 HyperWorks 的某空调毛细管的响应谱分析

文 | 浙江盾安人工环境股份有限公司 张克鹏

一、概述

空调制冷系统中的毛细管属于节流装置,是压缩制冷循环中不可或缺的基本部件。其作用是降低液态制冷剂的压力和温度,调节进入蒸发器的制冷剂流量,连接于冷凝器与蒸发器之间。家用空调很多选用毛细管作为节流装置,是因为它结构简单,成本较低。一般是由一根内径 0.5mm~2mm,长度 0.5m~3m 的紫铜管构成。空调在运行过程中,由于压缩机工作过程中会产生激振现象,随即传递到与之相连的整个空调系统管路中,长期的振动会对毛细管等部件产生机械强度和疲劳损坏,作为空调系统重要部件之一,需要对毛细管进行振动方面研究,提高使用性能。

本文利用 HyperMesh 建立某空调毛细管总成的有限元模型,利用 HyperWorks 仿真平台有限元求解器 OptiStruct 对毛细管总成加固前后两种模型方案进行模态分析,对照 GJB 150.16-1986 标准规定的振动测试曲线频谱对其进行响应谱分析。根据加固前后方案的对比分析结果,判定设计方案的可靠性和合理性。

二、毛细管总成的有限元模型建立

通过 SolidWorks 建立加固前后毛细管总成的三维实体模型,如图 1 所示。为便于有限元前处理,将模型导出为 .stp 格式。

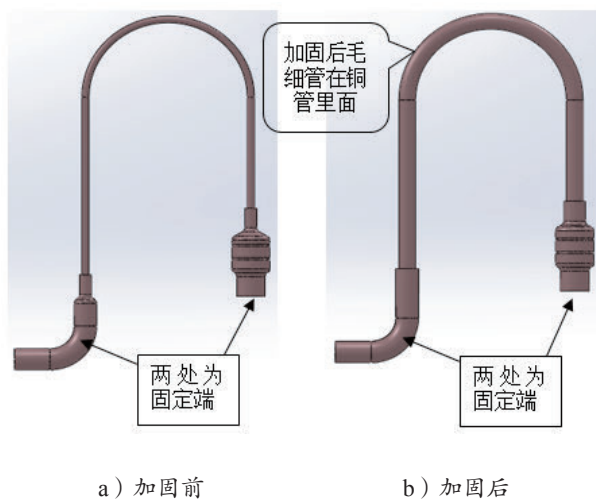


图 1 某空调毛细管加固前后模型

针对该空调毛细管总成加固前后两种模型,文章采用主流 CAE 前处理软件 HyperMesh 进行网格划分。在进行网格划分时,毛细管总成所有部件均用六面体单位,单元类型为 CHEXA,单元基本尺寸设为 0.6mm。最终毛细管加固前后有限元模型共有节点数分别为 66 708 和 69 245,单元数分别为 88 237 和 92 541,毛细管总成(原方案)有限元模型如图 2 所示,局部放大图如图 3 所示。

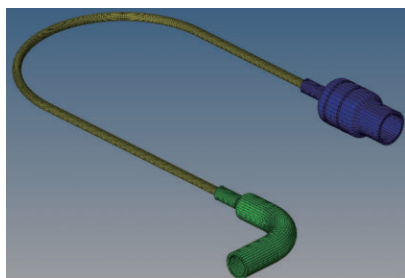


图2 毛细管总成有限元模型

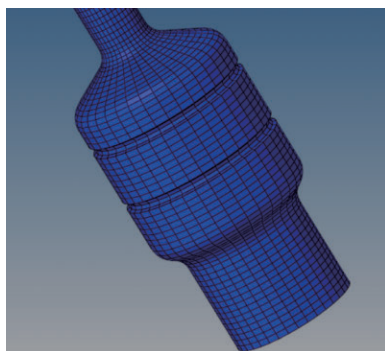


图3 毛细管总成局部有限元模型

三、毛细管总成的模态分析

模态分析用于确定结构的固有频率和振型,固有频率和振型是承受动态载荷结构设计中的重要参数。模态分析也是响应谱分析必需的前期分析过程。对毛细管总成进行模态分析,可以得到其各阶次固有频率的大小和各阶次固有频率下相应的振型。模态分析是研究结构动力特性的一种方法,是系统辨别方法在工程振动领域中的应用,是结构动态设计及设备故障诊断的重要方法。本次分析采用 OptiStruct 求解器及分块 Lanczos 方法进行求解。

1、材料设定

毛细管总成的材料为 TP2Y 紫铜,计算中用到的材料属性如表 1 所列。

2、约束边界条件

毛细管总成两端分别安装固定在整个空调系统的过滤器和节后管之间,如图 4 黄色虚线框所示,约束两端节点的 1~6 自由度。

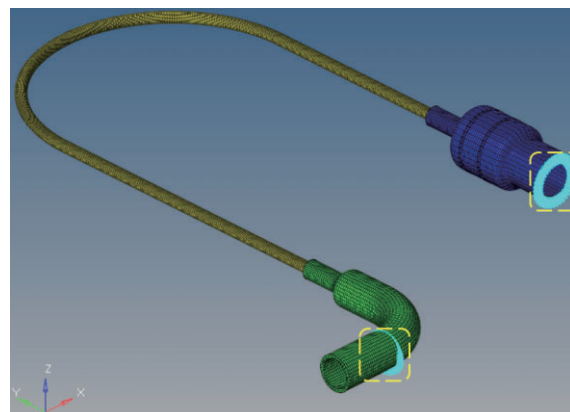


图4 毛细管总成两端约束示意图

3、模态分析

文章利用 HyperWorks 平台 OptiStruct 求解器进行模态求解,提取毛细管总成前 10 阶次固有频率,使之与压缩机激励频率进行对比,该机型压缩机激励频率为 50Hz。毛细管总成固定前后方案的模态频率值如表 2 所列。

表 2 毛细管总成 1 ~ 10 阶次的固有频率

阶次	频率 /Hz (固定前)	频率 /Hz (固定后)
1	127.18	132.31
2	236.46	248.95
3	348.91	273.78
4	747.39	365.44
5	762.74	476.85
6	1 277.64	723.82
7	1 295.98	193.26
8	1 946.94	818.10
9	1 958.03	1 230.01
10	2 544.67	1 323.09

图 5 为固定前毛细管总成第 1~5 阶次阵型图,毛细管固定后方案的阵型与固定前类似,只是频率数值不一样。

毛细管总成与空调管路部件前后相连,从模态分析结果来看,固定前后毛细管的各阶次频率都在 100Hz 以上,远大于压缩机激励频率 50Hz,且各阶次频率也都不在相关倍数频率之上,所以毛细管总成不会发生与压缩机的共振。模态分析可以对系统共振频率进行分析和判断。

表 1 毛细管总成材料属性

材料名称	杨氏模量	泊松比	密度	屈服强度	抗拉极限
TP2Y	127Gpa	0.33	8 900kg/m ³	250Mpa	315Mpa

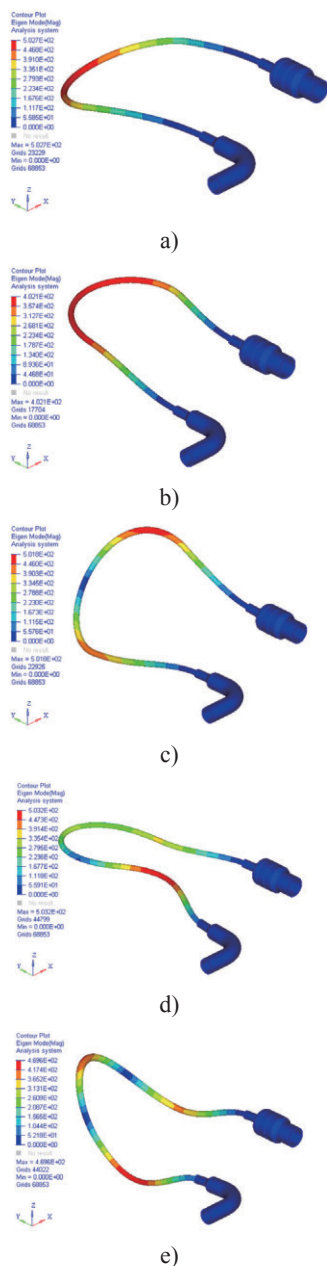


图5 固定前毛细管总成前5阶振型云图

- a) 第1阶振型云图 b) 第2阶振型云图
c) 第3阶振型云图 (振幅比/无量纲) d) 第4阶振型云图
e) 第5阶振型云图

四、毛细管的响应谱分析

响应谱分析(RSA)是一种用于估计结构在瞬态历程中最大响应的分析技术,可以通过响应谱分析得到结构的最大位移、最大应力和最大力。响应谱分析技术结合了给定动载的响应谱和模态分析结果。响应谱描述的是单自由度系统在

给定动载的最大响应和自然频率之间的关系。它可以用于计算每一阶模态下的结构最大模态响应,然后用一些方法组合这些模态最大响应值来估计结构响应的峰值。相对于传统的瞬态分析,RSA是一种简单而且计算代价较低的峰值响应近似方法。主要计算量在于获得足够的模态阶数,以表达输入激励和结果响应的完整频率段,响应谱通常在设计规范中给定。本次分析采用 OptiStruct 求解器进行求解分析。

1、载荷边界条件

毛细管加固前后的振动试验曲线按照 GJB 150.16-1986 中图 A8 的 W 曲线频谱进行加载,如图 6 所示。其中振动频率范围为 5Hz~500Hz~5Hz,其中扫描一次的时间为 15min,X、Y、Z 轴三个方向各扫描两次,峰值 4.2g。

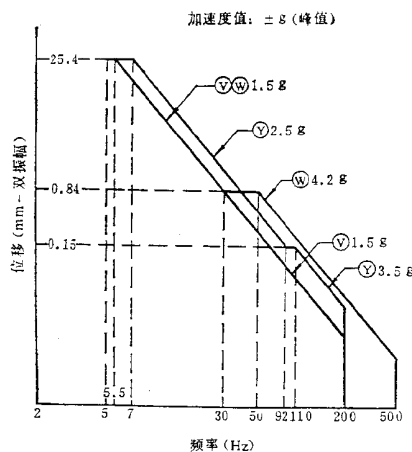
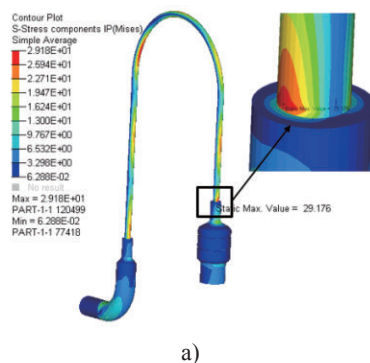


图6 毛细管总成固定前后振动试验曲线

2、响应谱分析

毛细管总成在受到振动加速度载荷时,因毛细管与过滤器和节后管均为金属件,且都是刚性连接,振动测试过程中,受破坏的风险较大。图 7~9 为加固前后毛细管总成在图 6 振动激励下的应力云图。



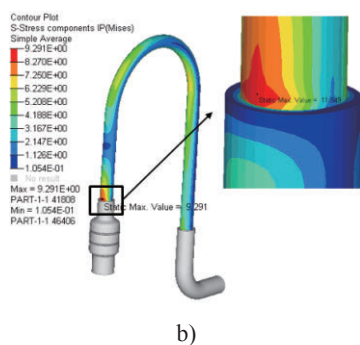


图7 加固前后X向振动响应(应力/MPa)

a) 加固前毛细管总成应力云图 b) 加固后毛细管总成应力云图

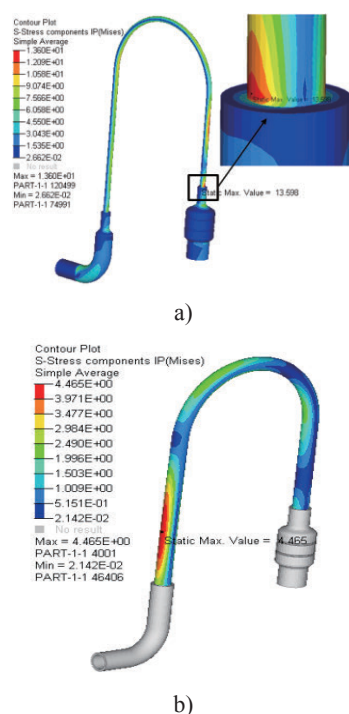


图8 加固前后Y向振动响应(应力/MPa)

a) 加固前毛细管总成应力云图 b) 加固后毛细管总成应力云图

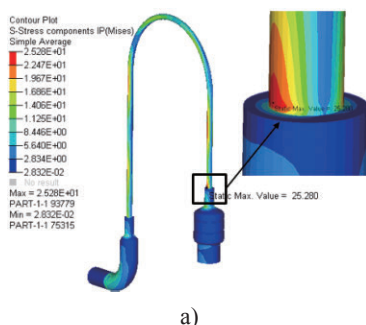
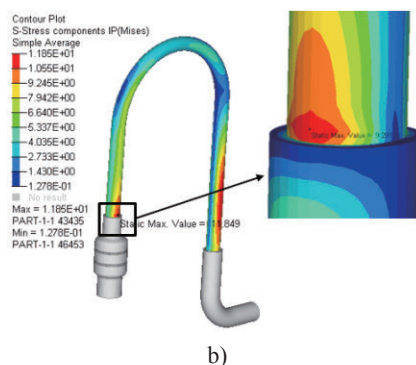


图9 加固前后Z向振动响应(应力/MPa)

a) 加固前毛细管总成应力云图 b) 加固后毛细管总成应力云图

从计算分析结果来看,加固前施加X向振动时,毛细管上最大应力为29.2MPa,在毛细管与过滤器连接处,加固后施加X向振动时,套管上最大应力为9.3MPa,在套管与过滤器连接处。加固前施加Y向振动时,毛细管上最大应力为13.6MPa,在毛细管与过滤器连接处,加固后施加Y向振动时,套管上最大应力为4.5MPa,在套管直管处。加固前施加Z向振动时,毛细管上最大应力为25.3MPa,在毛细管与过滤器连接处,加固后施加Z向振动时,套管上最大应力为11.8MPa,在套管与过滤器连接处。加固前后具体最大应力对比情况如表3所列,加固后各方向振动时毛细管上的最大应力均有所改善。

表3 毛细管总成各向最大应力

方案	最大应力 (Mpa)		
	X向振动	Y向振动	Z向振动
加固前	29.2	13.6	25.3
加固后	9.3	4.5	11.8

五、结论

文章以某空调毛细管总成为研究对象,运用SolidWorks建立了几何模型,利用HyperMesh建立有限元模型,在此基础上,用OptiStruct求解器进行模态分析和响应谱分析。分析表明,毛细管总成加固前后两种方案固有频率未与压缩机激励频率存在共振。对两种方案根据GJB 150.16-1986振动试验曲线进行响应谱分析,最大应力均为超过材料屈服强度,加固方案各方向最大应力均有所改善。