

# 有限元技术在空调器管路振动分析及设计优化中的应用

赵文龙<sup>1</sup>, 张增学<sup>2</sup>, 李立斌<sup>3</sup>

(1 广州华凌中央空调研究中心, 广东 广州 511430; 2 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642;

3 广州技术师范学院 天河学院, 广东 广州 510552)

**摘要:**应用 PTC 公司的 Pro/E 软件建立空调器管路系统的三维模型, 通过 ANSYS 软件的专用 Pro/E 接口将模型导入到 ANSYS 软件中, 在 ANSYS 软件中建立该管路的有限元分析模型, 计算出前 20 阶固有频率和振型, 并且在此基础上模拟压缩机的激励, 分析管路的振动响应特性. 通过对实例计算分析, 提出减少配管振动的优化设计方案, 证明了应用 ANSYS 软件的有限元技术进行空调管路减振的可行性.

**关键词:**有限元分析; 振动; 计算机辅助工程(CAE)

中图分类号: TH 122

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2004)03-0112-04

## Application of the finite element technique on air-conditioner pipeline vibration analysis and optimization design

ZHAO Wen-long, ZHANG Zeng-xue, LI Li-bin

(1 Guangzhou Hua Ling Central Air-Conditioning Research Center, Guangzhou 511430, China;

2 College of Engineering, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

3 Tianhe Campus, Guangzhou Technology Teachers College, Guangzhou 510552, China )

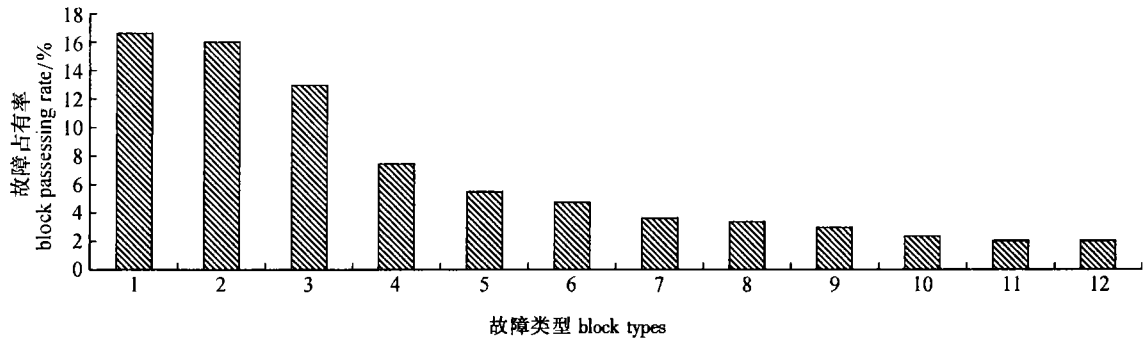
**Abstract:** Three-dimensional pattern of air-condition pipelines was established by Pro/E software, transferred to ANSYS environment, and a pipeline finite element analysis model constructed to calculate the first 20 stairs inherent frequency and vibration mode. Simulating compressor excitation and analyzing pipeline vibration response characteristics, an optimization design scheme for decreasing the matched pipelines vibration was obtained by calculation and analysis. This demonstrated that it was feasible to decrease air-condition pipelines vibration by the finite element technology of ANSYS software.

**Key words:** finite element analysis; vibration; computer aided engineering (CAE)

以往空调器管路设计都是根据经验, 通过类比、计算等传统方法进行, 过程繁杂, 准确率和精确率受到极大地限制, 而应用计算机仿真技术, 通过计算机模拟仿真试验可对设计质量进行科学分析, 将产品设计由单一的计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 转变为 CAD 与计算机辅助工程 (computer aided engineering, CAE) 的有机结合, 不仅使设计更加科学, 而且大大提高了设计效率和可靠性, 保证了产品质量.

据国内空调市场产品故障的调查数据 (图 1) 显示 (广州市华凌电器有限公司市场调研部提供的资料), 国内市场 2000 年 1 月 ~ 2001 年 7 月间产品市场故障比率排名第 1 位的是冷媒系统故障 (其他故障不在统计中), 从图 2 分析可知, 在冷媒系统故障 16.6% 中, 铜管破裂占较大比例.

制冷系统管路断裂的主要原因是管路的振动应力过大<sup>[1,2]</sup>. 据以往经验, 制冷系统管路的振动主要是压缩机排气管和回气管的振动, 这 2 根管由于受



1 冷媒系统故障 Coolant system breakdown; 2 电路板故障 circuit board block; 3 噪声故障 buzz block; 4 热敏电阻故障 thermal resistor block; 5 风扇电机故障 electric fan machinery block; 6 漏水故障 water leak block; 7 压缩机故障 compressor block; 8 塑料件故障 plastic component block; 9 气液阀故障 gas fluid valve block; 10 遥控器故障 telecontrol utensil block; 11 变压器故障 transformer block; 12 电容器故障 capacitor block

图 1 国内空调市场 2000-01-01 ~ 2001-07-10 产品故障比率排名前 12 位的故障问题

Fig. 1 The foremost 20 production malfunction rate of air-conditioner on domestic market from 2000-01-01 to 2001-07-10

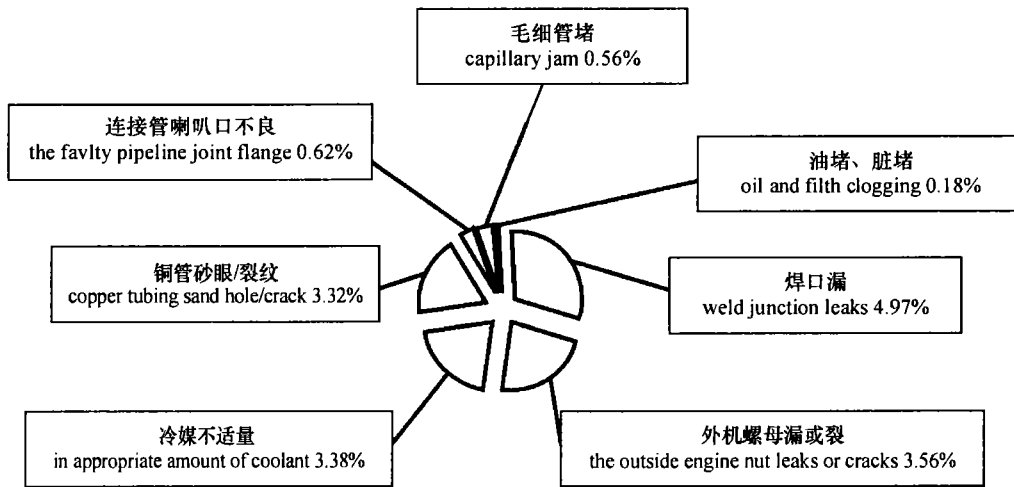


图 2 冷媒系统故障饼图

Fig. 2 The pie chart of fault-rate in cooling system

到压缩机的激振和冷媒的流动而处于受迫振动状态,长期疲劳就会导致管路断裂<sup>[3,4]</sup>。此外,管路的振动产生明显的振动噪声。当压缩机给予的外力方向和振动速度的方向一致时,外力对管路系统作正功,系统的能量增加,振动噪声急剧增大,而且该部分噪声会通过制冷管路由侧板传至箱外,形成箱体的共鸣声。因此应优化制冷系统管路设计,尽量消除制冷管路的振动,以减少应力和降低噪声。

### 1 制冷系统管路分析

制冷系统管路三维几何模型在 Pro/E 环境下建立<sup>[5]</sup>,如图 3 所示,模型通过 ANSYS 软件的 Pro/E 专用接口导入到 ANSYS 环境中,并通过定义单元类型、定义材料特性、定义单元实常数、划分网格等完成有限元分析模型的建立。其中,模型的单元数为 13 499,节点数为 15 025<sup>[6]</sup>。

#### 1.1 模态分析

分析空调管路的振动特性,确定其固有动力特

性,包括频率及其相对应振型,以避免管路结构出现与压缩机工作频率相接近的固有频率。

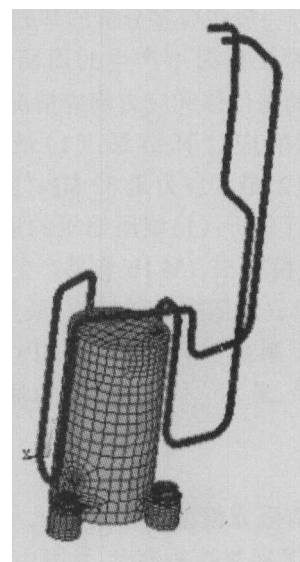


图 3 有限元模型

Fig. 3 Finite element model

管路系统的主要固有频率和相对振型见表1。

表1 原始模型、模型1、模型2前20阶模态分析

Tab. 1 Preceding 20 stairs mode analysis result of original model, model 1 and model 2

阶数 module	原始模型 original model		模型1 model 1	模型2 model 2
	f / Hz	振型 vibration mode	f / Hz	f / Hz
1	12.189	压缩机摆动	12.215	16.742
2	12.424	压缩机摆动	12.670	16.970
3	22.155	排气管摆动	22.751	24.622
4	29.814	压缩机转动	30.186	39.760
5	31.585	排气管摆动	31.887	40.857
6	33.439	压缩机摆动	36.209	76.005
7	36.129	压缩机摆动	41.697	86.205
8	37.933	排气管摆动	59.392	96.619
9	51.154	回气管摆动	78.244	121.990
10	59.383	回气管摆动	84.007	130.290
11	70.490	排气管摆动	110.270	166.710
12	76.634	回气管摆动	125.940	200.030
13	83.950	回气管摆动	151.370	202.530
14	110.270	排气管摆动	167.570	242.300
15	150.500	排气管扭动	220.770	267.360
16	151.390	回气管摆动	223.050	294.440
17	177.880	排气管扭动	247.860	301.910
18	194.640	消音器摆动	267.590	310.210
19	220.770	排气管扭动	299.470	328.380
20	245.580	排气管摆动	314.350	350.640

## 1.2 谐响应分析

谐响应是指结构在周期持续载荷作用下产生的持续周期(谐)响应。在空调的制冷系统里,压缩机受到旋转不平衡离心力的作用,该离心力随转子的转动呈现周期性的变化,导致空调器管路系统产生谐响应。谐响应分析一般在模态分析的基础上进行,可研究压缩机在正常工作时所产生的周期激励下,管路系统各节点的动态位移和应力响应情况。

原始模型谐响应计算结果:(1)最大位移是1.607 mm(图4);(2)最大应力是32 MPa(图5)。

根据结果进行分析:(1)该压缩机的运转频率是47 Hz,因此第9阶模态51.154 Hz容易产生共振,应优化管路避开该频率;(2)依据工作经验,最大位移和最大应力一般分别控制在0.8 mm和18 MPa以下,根据谐响应的计算结果,最大位移和最大应力都偏高。

## 2 改进模型

改动管路的有限元模型1和模型2,如图6和图7所示,主要改变了回气管的管形,见图中A处,并用同样方法进行模态分析,分析结果见表1。

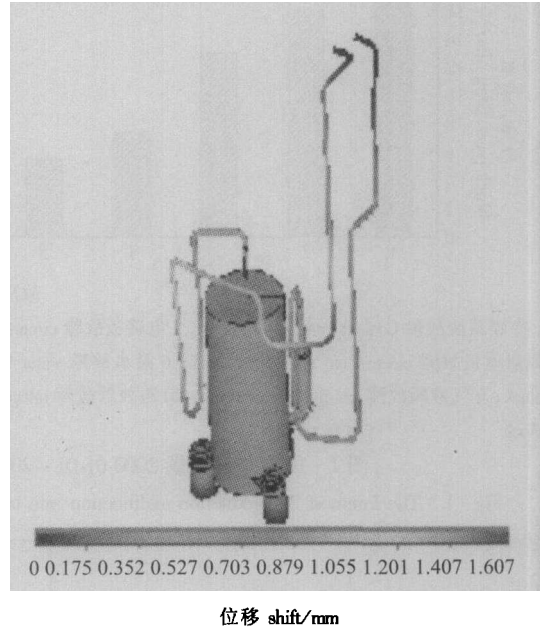


图4 谐响应原始模型位移响应分布云图

Fig. 4 Distribution cloud chart of resonance response shift of original model

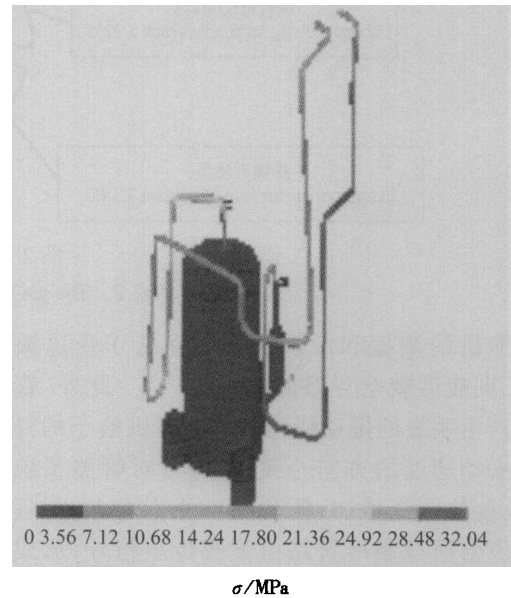


图5 原始模型应力谐响应分布云图

Fig. 5 Distribution cloud chart of resonance response stress of original model

分析优化结果:(1)模态分析结果显示,模型2的模式分布最好,没有出现与压缩机运转频率47 Hz接近的固有频率;(2)谐响应计算结果显示(表2),模型2的最大位移0.846 mm和最大应力10.548 MPa最小;(3)实测的噪声值显示,按模型2做的样机实测值最小,与计算结果吻合。

选用模型2的空调器管路较好。

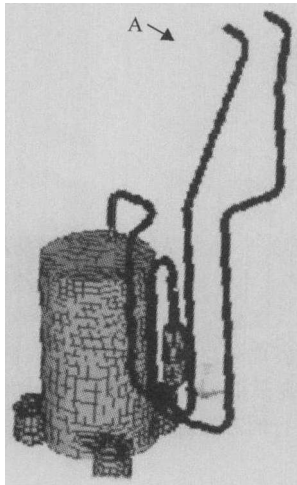


图6 有限元模型1

Fig. 6 Finite element model 1

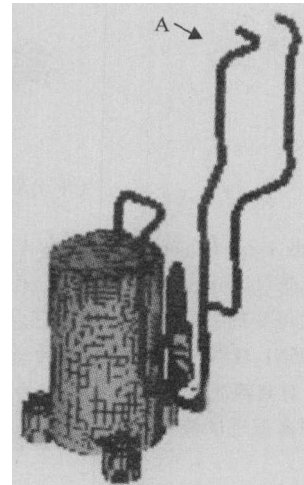


图7 有限元模型2

Fig. 7 Finite element model 2

表2 谐响应计算结果比较

Tab. 2 Comparison of resonance response

	最大位移 the largest test bit shift / mm	$\sigma_{\max}$ / MPa	噪声级 noise level/dB
原始模型 original model	1.607 000	32.039	52.0
模型1 model 1	0.890 627	14.557	44.3
模型2 model 2	0.846 476	10.548	42.0

### 3 结论

(1)针对压缩机与管路等结构组成的制冷系统,建立振动分析的力学模型和有限元模型,在此模型上进行模态分析和谐响应分析,计算结果与实际情况相符.表明利用通用有限分析软件对空调器的管路系统进行动力学计算分析是可行的.

(2)管路的固有动力特性(固有频率和振型)对管路的动态响应情况有很大影响,在设计管路时,应尽量避免管路系统的固有频率在压缩机工作频率或其倍频上,从而避免共振的发生.

(3)利用CAE技术,缩短了实验的周期,能提高产品开发速度和设计质量.

### 参考文献:

- [1] 岳孝方,陈汝东.制冷技术与应用[M].上海:同济大学出版社,1992.52-67.
- [2] 陈培烈.应用CAE技术进行空调管路的振动分析[J].计算机辅助设计与制造,2002,(1):17-18.
- [3] 童宗鹏,王国治.窗式空调器振动噪声源的分析与控制研究[J].华东船舶工业学院学报,2002,16(2):64-67.
- [4] 张天兴.螺杆空调冷水机组的振动分析及其消除[J].郑州工业大学学报,1998,19(9):170-172.
- [5] 林清安.Pro/ENGINEER零件设计[M].北京:北京大学出版社,2002.58-64.
- [6] 龚曙光.ANSYS工程应用实例解析[M].北京:机械工业出版社,2003.84-90.

【责任编辑 李晓卉】