

基于 ANSYS 的二维结构声场混合有限元模型研究

徐 立¹, 钮伟梁¹, 石 敏¹, 夏永明²

(1. 杭州市电力局, 浙江 杭州 310004; 2. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了求解复杂结构体下的声场分布, 采用 ANSYS 软件建立了声场-结构二维混合有限元模型, 给出了 ANSYS 软件中混合模型的建模方法, 通过在结构体四周设置结构体与空气耦合单元, 将结构模型因受力发生形变而产生的噪声声压耦合到空气中, 实现了混合声场模型的求解。模型求解结果表明, 该模型能很好地解决声场与结构场的耦合问题。

关键词: 声场; 结构; 有限元模型; ANSYS; 耦合

中图分类号: TH73; TM311

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)07-0119-03

Research on 2D compound sonic field finite element model of ANSYS

XV Li¹, NIU Wei-liang¹, SHI Min¹, XIA Yong-ming²

(1. Hangzhou Power Supply Bureau, Hangzhou 310004, China; 2. College of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at resolving the finite element model of the sound and structure, ANSYS software was used to set up compound model of structure and sonic field. The modeling method through ANSYS was introduced. Through the coupling elements around the structure, compounding the sound pressure produced by deformation of the structure model in the air elements, the compound sonicfield model was realized. The analysis results indicate that the model may resolve the compound problem of structure and sonic field accurately.

Key words: sonic field; structure; finite element model; ANSYS; compound

0 引 言

噪声治理分为主动式治理及被动式治理。对于被动式治理, 需要求解出噪声声场的分布, 从理论上能够预估被动式治理后的声场分布情况。这就涉及到复杂的声场-结构场的耦合求解问题。目前, 工程上多采用公式简化处理方法, 比如将声源简化成点声源, 利用公式计算治理前后场的各点声场变化情况, 从而为设计提供依据。利用公式法的优点是简单, 然而, 对于复杂的几何体形状, 公式法会存在一定的计算误差。

有限元法在计算较为复杂的几何形状上有相对的优势, 越来越多的学者采用有限元方法研究声场-结构场耦合问题^[1-3]; 部分学者采用 SYSNOISE 与 ANSYS

相结合的方式计算声场问题^[4-5]; 文献[6]单独采用 ANSYS 计算房子空间声场分布。采用有限元软件计算的问题多数是结构包围下的密闭空间声场分布问题, 或者是振动体振动下的开阔空间辐射声场分布问题。而对于振动体作用下, 且空间内存在结构体的问题用有限元软件研究的相对较少。

本研究首先给出要建模问题的理论模型, 接着详细给出 ANSYS 建模要点, 最后对理论模型相对应的实例进行计算, 求解并对比有无声屏障下的声场分布情况。

1 理论模型

声波传播遇到结构体时, 会产生反射、透射和绕射现象。一部分绕过结构体到达受声点; 一部分穿透结

构体到达受声者;一部分在结构体壁面产生反射。衡量声屏障降噪效果的指标为插入损失,即:

$$IL = f(\Delta L_d, \Delta L_t, \Delta L_r) = \Delta L_d - \Delta L_t - \Delta L_r \quad (1)$$

式中 ΔL_d —绕射声衰减, dB; ΔL_t —透射声衰减, dB; ΔL_r —反射声衰减, dB。

当声源至受声点的距离大于线声源长度的 3 倍,线生源可以看成点声源,点声源对一无限长声屏障的绕射声衰减如下:

$$\Delta L_d = \begin{cases} 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} + 5 \text{ dB}, & N > 0 \\ 5 \text{ dB}, & N = 0 \\ 5 + 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi |N|}}{\tan \sqrt{2\pi |N|}} \text{ dB}, & -0.2 < N < 0 \\ 0 \text{ dB}, & N \leq -0.2 \end{cases} \quad (2)$$

其中:

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{\lambda}{2}(A + B - D) \quad (3)$$

式中 N —菲涅尔数; λ —声波波长, m; D —声源与受声点间的直线距离, m; A —声源至声屏障顶端的距离, m; B —受声点至声屏障顶端的距离, m。

声音绕过结构体示意图如图 1 所示。

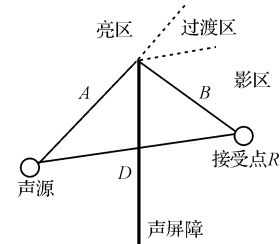


图 1 声音绕过结构体示意图

当结构体的材料及厚度较大时,可忽略透射声影响,即 $\Delta L_t \approx 0$ 。

反射降低量取决于结构体、受声点及声源的高度,周围界面与声屏障之间的距离,受声点至结构体的距离以及结构体内侧和周围界面的吸声降噪系数,若吸声降噪系数大于 0.5,可认为 $\Delta L_r \leq 1$ dB。

2 有限元模型

建立 ANSYS 声场-结构体混合模型步骤包括绘制实体模型、定义材料及单元类型、剖分网格、施加载荷、求解以及结果显示。

利用 ANSYS 中的 RECTNG 以及 CYL4 等 APDL 绘图形命令可绘制实体模型^[7-8]。在实体模型最外部绘制一个圆,代表无限远边界,圆的圆心在

ANSYS 要求无限远边界圆的半径距离发声材料体的最小距离为 0.2λ (λ 为求解频率波长)。

模型中的材料包括两种:第 1 种为结构材料,需要用命令 MP 分别定义材料的弹性模量(EX)、密度(DENS)、泊松比(NUXY)以及吸声系数(MU);第 2 种为声音材料,需要用命令 MP 分别定义声速(SONC)以及空气密度(DENS)。APDL 命令如下:

```
MP,EX,1,2.068e11
MP,DENS,1,7929
MP,NUXY,1,0.3
MP,SONC,2,340
MP,DENS,2,1.225
```

模型中的单元类型包括 4 种:第 1 种是结构材料单元 PLANE42;第 2 种是具备位移自由度 UX 与 UY 的二维声场单元 FLUID29,该单元包围在结构体的四周,起结构体与空气单元耦合的作用,定义结构材料单元 PLANE42 四周的声场单元;第 3 种是无限大声场边缘单元 FLUID129,实常数中定义无限大声场边缘半径,该半径等于实体模型中最外部绘制圆的半径;第 4 种是不具备自由度 UX 与 UY 的声场单元 FLUID29,定义模型中的空气单元。定义单元类型的命令为 ET,定义实常数的命令式 R,单元类型分布如图 2 所示。

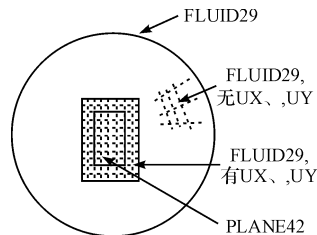


图 2 有限元模型单元类型分布示意图

在本研究中,模型中的网格采用 AMESH 命令,第 2 种单元类型的网格层数一层即可,其他层可根据模型的具体尺寸进行剖分。

模型中施加载荷采用 f 命令,在结构体材料上的具体 NODE 节点施加指定方向和大小的作用力。

3 实例计算

在本研究中,笔者运用实例分析了一个结构体圆环在 Y 方向周期作用且方向相反的两个作用力 F_1 与 F_2 下的声场分布情况。计算模型包括两种:①无屏障;②有屏障结构,除了屏障外,两个模型其余参数不变。模型结构尺寸如图 3 所示,几何参数如表 1 所示,计算参数如表 2 所示,其中弹性模量是圆环属性,ANSYS 需要已知弹性模量参数计算圆环结构形变,模型中圆环材料与屏障材料相同。

在 100 Hz 作用力下,以圆环原点为圆心,以圆环

圆心到屏障表面距离的一半为半径的圆周上的声压分布图如图4所示(图中角度单位为度)。从图中可以看出,没有屏障情况下,作用力在Y方向上声压比在X方向上的大,且相对于坐标轴对称;在屏障存在情况下,屏障的反射作用增加了屏障与圆环之间的声压。500 Hz 作用力下,以圆环原点为圆心,半径等于0.063 7 m圆周上的声压分布图如图5所示。从图中可以看出,由于屏障的存在,屏障后的声压急剧变小^[9-10]。

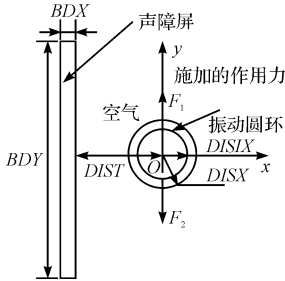


图3 实例模型

表1 实例模型尺寸

参数	BDY/m	BDX/m	DIST/m	DISX/m	DISIX/m
数值	0.05	0.01	0.04	0.025	0.019 65

表2 有限元模型中的计算参数

参数	声速 / (m/s)	空气密度 / (kg/m ³)	弹性模量 / Pa	屏障密度 / (kg/m ³)	泊松比	作用力 / N
数值	340	1.225	2.068 × 10 ¹¹	7 929	0.3	1 000.00

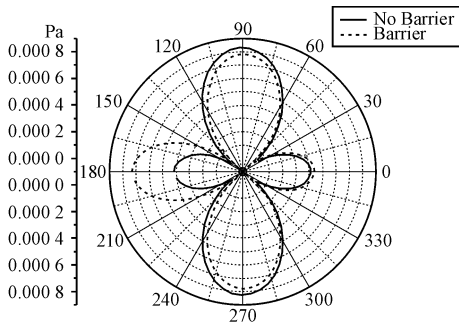


图4 100 Hz 作用力下声压分布图

下的分布情况,例如复杂形状的声屏障的设计等。研究表明,在该模型的建立中至少需要定义2种材料及4种单元类型,利用圆模拟无穷大边界,通过不同的单元类型将声场和结构场结合成一个模型,从而解决声场—结构混合场问题。

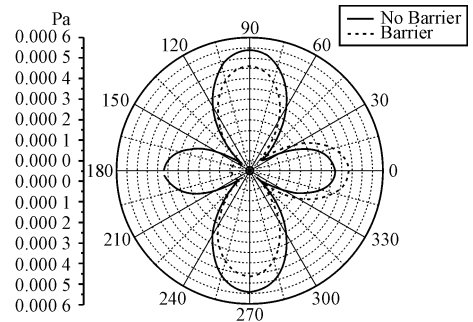


图5 500 Hz 作用力下声压分布图

参考文献 (References) :

- [1] 黄兹思,蒋伟康,朱蓓丽,等. 压缩机消声器特性的数值分析与实验研究[J]. 振动工程学报,2004,17(4):399-402.
- [2] 张辉东,周颖. 大型水电站厂房结构流固耦合振动特性研究[J]. 水力发电学报,2007,26(5):134-137.
- [3] 张军,兆文忠,张维英. 声场-结构耦合系统声压约束下板重量优化设计研究[J]. 应力力学学报,2006,23(4):568-571.
- [4] 方华,王天灵,李盛成,等. 柴油机油底辐射声场的仿真研究[J]. 噪声与振动,2007,27(5):115-118.
- [5] 宋雷鸣,孙守光,张新华. 用有限元法分析铁路客车车室内空气的声学特性[J]. 噪声与振动控制,2005,25(2):21-22.
- [6] 李婧,朱晓天. 声学小房间的比例及形状研究[J]. 建筑与环境,2007,1(2):128-130.
- [7] 王奇芳,张云电. 高能聚焦超声波清洗声学系统的有限元分析[J]. 机电工程,2007,24(1):15-18.
- [8] 阿荣其其格,刘文芝. 风力机叶片有限元建模的两种方法[J]. 机械,2009,36(1):48-50.
- [9] 石峰. 基于ANSYS软件的注塑机定模板的设计与优化[J]. 轻工机械,2008(4):13-16.
- [10] 童鲁海,周赵凤. 基于ANSYS/LS-DYNA软件的刀剪双面磨削过程数值分析[J]. 轻工机械,2009(1):39-41.

[编辑:张翔]

4 结束语

本研究利用ANSYS建立了声场-结构场混合有限元模型,为研究声场的分布提供了一种行之有效的方法。基于该模型笔者进一步研究了声场在复杂结构体