

王治国 编著

MSC.ACTRAN

工程声学有限元分析 理论与应用



国防工业出版社

National Defense Industry Press

MSC. ATRAN

工程声学有限元分析 理论与应用

王治国 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共分十章,围绕 MSC. ACTRAN 软件的使用介绍了声学有限元分析的基本概念和解决工程问题的基本方法,着重介绍声学有限元建模方法。

本书的布局谋篇都是从工程应用的角度展开的,作者结合自己多年的工作经验,讲述了如何将一个工程问题转化为可以用软件顺利计算的有限元模型,以满足广大工程技术人员的需要。

本书适合于从事工程声学的工程技术人员阅读,同时也可供高等院校、研究院所及企业中的声学工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

MSC. ACTRAN 工程声学有限元分析理论与应用/王治国
编著. —北京:国防工业出版社,2007. 5
ISBN 978-7-118-05054-7

I. M… II. 王… III. 工程声学—有限元分析 IV. TB5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 026675 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 261 千字

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

声音是和人类活动如影随形的一种物理现象,悦耳的音乐使人心旷神怡,刺耳的噪声使人心烦意乱。科学技术的发展,为人们的生活创造了丰富的物质财富,同时也产生了许多环境污染,噪声就是其中之一。现代人的生活、工作、休息很难摆脱人为的声学环境,也可以说无时无刻不处在一个人造的声学环境中。造成这人为声学环境的可以是家里的空调、冰箱、洗衣机,可以是汽车、飞机、轮船,也可以是工厂里的机器设备等,声学环境对人们的生活质量、工作效率、审美能力都有很大的影响,工程声学的任务就是要改善影响人类活动的声学环境,满足人类活动的需要。工程声学是研究关于产品设计、制造与操作的声学以及相关振动的问题,涉及工程系统的建模、分析、设计、开发、测试等各个方面,以产品在制造、安装和运转过程中有良好的声学性能为目的。

科学技术的研究手段有理论研究、实验研究、数值计算。随着研究问题的规模越来越大、复杂程度越来越高,数值计算的重要性越来越突出,这都是计算机软硬件技术、数值计算理论发展的结果。数值计算应用于解决声学问题,在20世纪80年代之前,主要是边界元法,但是这种方法不能满足越来越多的大规模工程问题的需要,其正在被有限元法(包括无限元)所替代。计算复杂性分析和数值实验都表明有限元法是替代边界元法计算无界声场问题的有效方法,特别是对于大型问题由于有限元矩阵是稀疏的。有限元法还可以很自然地处理声学流体和结构的耦合问题。

有限元发展到现在,它的重点已经从理论研究转移到工程应用,不再仅仅是有限元专家手中的艺术品,更应该是工程师手中的利器。

有限元应用于解决工程问题,叫 CAE(Computer Aided Engineering),数字仿真,进一步称为虚拟产品开发,这不仅仅是一个叫法上的改变,也反映了有限元应用的一个发展过程,说明有限元正在成为产品开发过程中不可缺少的技术手段之一。

有限元分析应用于解决工程问题,它的核心是建模。如何建模,应该建立一个什么样的模型,是需要首先弄清楚的问题。有限元分析是在计算机虚拟环境中建立一个和实际的物理模型有相同的力学/声学属性的数字模型,它可以代替物理模型进行数值实验,得到和物理模型一致的对外部激励的响应,所以建立的有限元模型一要保证力学/声学的完整性,二要保证计算的有效性。如何建立这样一个模型则是本书要着重讨论的内容。

MSC. ACTRAN 是由美国 MSC. SOFTWARE CORPORATION 简称 MSC 公司和比利时 FREE FIELD TECHNOLOGIES SA 简称 FFT 公司联合开发的。FFT 是一家专业的声学公司。本书围绕软件的使用,说明声学有限元分析的基本概念和解决工程问题的基本方法,达到讨论声学有限元建模的目的。

第一章从讨论虚拟产品声学设计开始,介绍了 MSC. ACTRAN 的分析功能、工程应用及其输入输出数据文件等。第二章首先概述了声学计算的发展状况,描述了声波在流动流体中的传播,讨论了有限元、无限元公式推导以及边界条件的处理。第三章描述了 MSC. ACTRAN 的单元和材料类型,单元包括声学流体有限元、无限元、结构单元等,材料包括声学流体、多孔吸声材料、粘弹性固体、压电材料等。

第四章介绍 MSC. ACTRAN 的前后处理器 MSC. PATRAN,描述了声学有限元分析的基本过程,特别讨论了声学分析中的载荷与边界条件、有限元建模的实质。从第五章到第十章根据不同的工程问题分别讨论了 MSC. ACTRAN 的实际应用和建模方法。

第五章介绍声的传播,首先讨论了声源的建模,再讨论了声学模

态分析、声波的散射、声在非均匀介质中传播。

第六章介绍振动结构的声辐射,结构振动时辐射声波,声波也能够作用于结构引起结构振动,声场和结构是相互作用的,本章讨论了声与结构的耦合方程,结构声辐射、声致结构振动的耦合建模,特别是不一致网格的处理方法。

第七章介绍声学处理结构,首先描述了多孔吸声材料的毕奥理论、变分原理与有限元公式,然后讨论了声学结构的建模,包括多孔材料吸声、等效导纳计算、隔声,特别说明了场网格的使用。

第八章讨论了声学分析的超单元方法,MSC. ACTRAN 结合 MSC. NASTRAN 的超单元建模可以解决大型复杂结构的声学问题,本章详细讨论了 MSC. NASTRAN 的超单元方法,包括超单元类型、减缩理论、超单元建模、外部超单元,进而讨论了 MSC. ACTRAN 与超单元耦合的声学建模,通过实例详细说明了从超单元生成到声学耦合计算整个建模过程。

第九章介绍管道传声与消声器,讨论了管道的声波传递矩阵、模拟穿孔板/管的传递导纳、有限元模型与模态解析模型的耦合、消声器的一体化建模,说明了 MSC. ACTRAN 计算流场速度的方法以及在声学分析中的应用。

第十章首先讨论了结构在随机载荷作用下动力学响应的计算方法,其次说明了对漫射声场和紊流边界层的建模,特别是引起气动噪声的紊流边界层中包含小尺度,这对受激结构的网格划分有特殊的要求。

值此不能忘记感谢 MSC 中国的同事毛力奋、姜正旭、叶虎勇、仰苑雯、汤涤军、王千、周焱莉、钱纯、陈火红,FFT 比利时的同事 Thomas Leclercq、Thaissa Van Durme-Buyse、Diego d'Udekem、Stephane Caro、Alexandra Ramonda、Alain Genard、Vincent Marchal。特别感谢国防工业出版社。

因作者知识范围、领悟能力和工程经验所限,书中难免有不足之处,欢迎读者批评指正,以共同提高,谨致谢忱。

目 录

第一章 MSC. ACTRAN 概况	1
1.1 MSC 虚拟产品声学设计	1
1.2 MSC. ACTRAN 的工程应用	2
1.2.1 工程上的声学问题	2
1.2.2 MSC. ACTRAN 的分析功能	4
1.3 MSC. ACTRAN 的数据文件	7
1.3.1 输入输出文件	7
1.3.2 输入文件数据结构	8
1.4 MSC. ACTRAN 求解序列与计算方法	10
1.4.1 求解序列	10
1.4.2 计算方法	11
第二章 声学有限元基本理论	14
2.1 声学计算概述	14
2.2 声波在流动流体中传播	15
2.2.1 流体动力学基本方程	15
2.2.2 速度势函数	16
2.2.3 声学波动方程与赫尔姆霍茨方程	17
2.2.4 声学密度与声压	18
2.3 变分公式	19
2.4 声学边界条件	21
2.4.1 运动边界	21
2.4.2 吸声边界	22
2.5 有限元公式	22
2.6 无限元公式	24

2.6.1	对流声场的赫尔姆霍茨方程及其解的多极展开式	24
2.6.2	对流声场的共轭无限元	24
2.7	流场速度的计算	26
第三章	MSC. ACTRAN 单元与材料	27
3.1	有界声场	30
3.1.1	概述	30
3.1.2	声学流体单元	30
3.1.3	薄层粘性流体单元	31
3.1.4	刚性多孔介质单元	33
3.2	无界声场	34
3.2.1	无限单元	34
3.2.2	瑞利边界元	36
3.3	结构	37
3.3.1	概述	37
3.3.2	粘弹性实体单元	37
3.3.3	粘弹性板壳单元	38
3.3.4	弹性多孔介质单元	40
3.3.5	特殊结构单元	42
3.4	压电材料	44
3.4.1	有限元方程	44
3.4.2	输入数据块	45
第四章	MSC. PATRAN 声学分析有限元建模	48
4.1	概述	48
4.2	声学有限元分析的基本过程	49
4.2.1	有限元网格	49
4.2.2	材料和单元特性	51
4.2.3	载荷与边界条件	53
4.2.4	函数	54
4.2.5	场网格与场节点	54
4.2.6	计算控制参数	55

4.2.7	计算	55
4.2.8	计算结果评价	56
4.3	声学分析中载荷与边界条件	57
4.4	有限元建模的实质	61
第五章	声的传播	63
5.1	描述声波的物理量	63
5.2	声源	65
5.2.1	声学问题	65
5.2.2	描述声源的声压分解法	66
5.2.3	描述声源的体积流速法	67
5.2.4	声源入射声场	68
5.2.5	声源的建模	70
5.3	声学模态分析	72
5.3.1	概述	72
5.3.2	模态分析建模	72
5.3.3	应用实例	74
5.4	声波的辐射和散射	75
5.4.1	概述	75
5.4.2	散射声场的建模	76
5.4.3	应用实例	76
5.5	声在非均匀介质中传播	86
5.5.1	非均匀介质中声学波动方程	87
5.5.2	介质非均匀性描述	87
5.5.3	非均匀介质特性计算	87
5.5.4	应用实例	88
第六章	振动结构的声辐射	96
6.1	声波与振动	96
6.2	声与结构的耦合方程	96
6.3	结构声辐射分析	98
6.3.1	声与结构耦合模型	98

6.3.2	非耦合 BC_MESH 模型	109
6.3.3	不一致网格的耦合	115
6.4	声致结构振动分析	118
第七章	声学处理结构	121
7.1	概述	121
7.2	多孔吸声材料	122
7.2.1	多孔材料描述	122
7.2.2	毕奥理论	123
7.2.3	变分原理	127
7.2.4	有限元公式	127
7.3	声学结构	129
7.3.1	刚性多孔材料吸声	129
7.3.2	弹性多孔材料结构	134
7.3.3	等效导纳计算与应用	138
7.3.4	隔声计算	145
第八章	声学分析的 MSC. NASTRAN 超单元应用	155
8.1	概述	155
8.2	MSC. NASTRAN 超单元	155
8.2.1	超单元建模	155
8.2.2	超单元减缩理论	160
8.2.3	外部超单元	164
8.3	声学分析与超单元	168
8.3.1	超单元模型	169
8.3.2	声学模型	169
8.3.3	模型耦合方程	169
8.4	利用超单元进行声学分析的 MSC. ACTRAN 建模	171
8.4.1	读入超单元数据	171
8.4.2	定义耦合条件	172
8.4.3	计算结果输出	173
8.5	应用实例	173

8.5.1	问题描述	173
8.5.2	超单元计算	174
8.5.3	声学分析建模与计算	175
第九章	管道传声与消声器	182
9.1	概述	182
9.2	传递矩阵与传递导纳	183
9.2.1	传递矩阵与透射损失	183
9.2.2	传递导纳	184
9.3	模态耦合	187
9.3.1	声波在柱管中传播	187
9.3.2	模态解与有限元解的耦合	189
9.3.3	模态边界条件	190
9.4	消声器计算	191
9.4.1	消声器流场速度计算	192
9.4.2	消声器管道噪声	198
9.4.3	壳体噪声	204
第十章	随机激励下结构噪声	209
10.1	结构对随机激励的动力学响应	209
10.2	漫射声场	211
10.2.1	漫射声场功率谱密度	211
10.2.2	应用实例	212
10.3	紊流边界层	220
10.3.1	CORCOS 模型	221
10.3.2	GOODY 模型	221
10.3.3	应用实例	222
参考文献		226

第一章 MSC. ACTRAN 概况

1.1 MSC 虚拟产品声学设计

声学设计是产品开发的一部分,虚拟产品声学设计是虚拟产品开发的一部分。虚拟产品开发(Virtual Product Development, VPD) 不仅是一个概念,更是一个方法。我们已经知道传统的产品开发过程是“设计、样机制造、试验、再设计”。随着计算机和数值计算技术的发展,传统的产品开发过程正在为新的产品开发过程即“设计、仿真、再设计、样机制造、验证”所替代,用数字样机代替物理样机,降低了产品开发成本,缩短了产品开发周期。新的产品开发过程中的仿真,完整的说法应该是虚拟产品开发。

虚拟产品开发,是在计算机虚拟环境中模拟产品的使用、模拟产品的制造过程,最终给出最优的产品设计,保证产品有良好的可制造性和使用性能。MSC 公司作为业界最大的公司和领导者,引领数字仿真技术的发展方向,最早提出 VPD 的理念,能够提供满足不同客户需要的完整的 VPD 解决方案包括软件和服务,广泛而成功地应用于航空航天、汽车、造船、铁道、兵器、钢铁、土建、电子电器、生物医疗、通用机械等领域。

随着社会的发展,人们生活质量的提高,对产品声学品质的要求越来越高,声学品质差的产品将遭到市场的淘汰。过去通常是根据产品的功能要求制定技术指标,进行产品设计,如果最后产品的噪声大,达不到声学方面的规范要求,再采取补救措施。这种方法一是不容易从根本上解决问题,二是周期长、成本高,在竞争激烈的市场上处于劣势,所以必须一开始就把声学指标作为产品设计的技术指标之一。MSC 把虚拟产品声学设计融合在虚拟产品开发中,从产品概念设计开始就把产品的声学要求和其他技术要求一起综合考虑。当然,对于音响类产品来说其声学品质指标是首要的技术指标。MSC. ACTRAN、MSC. NASTRAN、MSC. PATRAN、MSC. SimXpert 是组成 MSC 虚拟产品声学设计解决方案的核心产品。

虚拟产品开发的提出标志着计算机数字仿真的发展进入到一个新的阶段,仿真要流程化,规范化。有限元分析应用于产品开发,早期是零星的或辅助的。技

术的发展使我们有可能,且市场的竞争使我们必须越来越多地采用数字仿真,把产品开发过程尽可能地在计算机虚拟环境中完成。从而使仿真的规模越来越大,复杂程度越来越高。产生的仿真数据可谓海量,需要对仿真数据有效管理,从中获取有用的知识,这成为企业知识管理的重要内容之一。仿真工作量的增加,必然需要大量的人从事这项工作。流水线是工业生产的有效模式,仿真同样也可以,首先把产品开发过程中的仿真规范化、流程化,降低对仿真人员的要求,从而就有更多的人可以承担这项工作。所以,虚拟产品开发应该是,根据一定的技术规范,按照标准的流程,在计算机数字环境中完成产品开发过程,同时对仿真数据进行有效地管理和利用。MSC. SimManager 正是帮助企业实现仿真数据管理、仿真流程管理、产品开发项目管理的大型工具软件。

1.2 MSC. ACTRAN 的工程应用

1.2.1 工程上的声学问题

1. 什么是声学

声学是以声为研究对象,研究声的产生、传播、接收和效应,包括对声的再处理和开发利用。声是一种波动,是振动在弹性介质中的传播过程,是一种弹性波。可听声的频率范围是 20Hz ~ 20000Hz, 低于 20Hz 的声波是次声波,高于 20000Hz 的声波是超声波。

2. 声的产生

声波是机械波,它的传播过程是能量的传播过程,所以能够以机械波的形式辐射能量的源,都可以是声源,具体形式有机、电、磁、热、流等。它们向周围介质传播能量,引起周围介质质点振动,振动质点又引起相应周围的介质质点振动,这样振动就在介质中传播开来。

根据引起介质质点振动的振源的不同,可以把声分为不同的类型,例如机械声和气动声等。机械声是指机械结构振动产生的声,例如撞钟的声音,是由于钟振动引起的。对机械声的研究,包括结构振动激发声,声引起振动,声和振动结构的相互作用。

气动声则指流体流动或物体在流体中运动引起流体振动产生的声,例如风中的电线,电线本身没有产生声,是气流在电线周围产生涡动引起的声。对于气动声,则是研究声和流动流体的相互作用,包括涡动噪声、射流噪声、激波噪声、旋转噪声。

3. 声的传播

声波可以在流体例如空气、水中传播,也可以在固体中传播。例如把耳朵贴

在钢轨上可以听到远处火车开动的声音。如果波的传播方向和质点振动方向垂直,则是横波;如果方向相同则是纵波。声波在流体中传播是纵波,在固体中传播有纵波也有横波。

存在声波的空间称为声场。声场中的介质可以是均匀的也可以是不均匀的,例如密度、温度随着空间位置的变化而变化,在不均匀介质中声速是有梯度的,会改变声波的传播方向。在日常生活中人们都有这样的感觉,声音在晚上往往比白天传得远些,这是因为白天靠近地面的空气温度高、声速大;晚上则相反。即沿高度方向声速呈梯度分布,声在传播时路径朝声速低的方向弯曲,发生折射,白天在地面附近形成声影区,于是出现上述的现象。在大气层中,不仅温度会使声波发生折射,风速也会,这就是为什么声音顺风往往比逆风传播得远些,可见流体流动影响声波的传播。

声场的介质可以是单一的也可以是多种的。声波在不同介质的界面上会发生反射和折射。房屋窗子采用中空的双层玻璃隔声就是利用的这个原理。声场中不同介质会相互作用,例如船体振动结构和水的耦合作用,对声的产生和传播都有影响。

如果声场区域是有限的,而且声波在边界上会有反射,这样的声场是有界声场,否则是自由声场,也称为无界声场。经过特殊处理的消声室,尽管区域是有限的,但是声波在边界上没有反射,这样的声场是自由声场。

如果声波在传播过程中遇到障碍物,障碍物的大小和声波波长差不多,则会发生衍射。衍射是声波绕过障碍物发生传播方向改变的现象。衍射使人们有未见其人先闻其声的感受。如果障碍物的尺寸比声波波长小,则会发生散射。散射把入射声波的部分能量重新分配在多个方向上。在声源和接收器之间放置小障碍物,由于散射的原因会产生泛音回响现象。声在传播过程中还会发生干涉和衰减等。

4. 基本原理

声波在固体中传播遵从弹性动力学的基本原理,在流体中传播遵从流体动力学的基本原理,它们都可以从基本原理推导出形式相同的波动方程。

通常在推导波动方程时,假设声波是小振幅的,这样得到的是线性波动方程,是线性声学。工程上大多数问题都属于这一类问题。

如果声波是大振幅的或有限振幅的,会得到非线性的波动方程,是非线性声学。声学中的非线性问题主要是大振幅声波、冲击波、声辐射压力、声冲流、声空化等,还有声学材料的非线性也属于非线性问题。

5. 工程上需要解决的声学问题

声学环境对人们的生活质量、工作效率、审美能力有很大的影响。工程上声

学问题很多,对人们的日常活动影响最大的无疑是噪声。噪声是不需要的声音,包括家里冰箱、洗衣机的声音,在休息时别人看电视的声音以及汽车、飞机和工厂里机器等产生的声音。

声音是和人们的感受密切相关的一种现象。为了营造良好的声学环境,减振降噪不再仅仅是简单地消除噪声,还应有声学品质的要求。例如良好的汽车 NVH(Noise Vibration Harshness)性能要求乘坐舒适,车内没有噪声,同时汽车的内饰不能影响车内音响的效果,甚至高级轿车的消费者对车关门的声音也有特殊要求——要有厚重感。

解决声学问题要根据具体要求和实施条件,可以从声的产生、传播和接收多个方面来考虑。首先要弄清楚声源产生声的机理和规律,弄清楚激励和声波传播的路径。例如结构振动辐射声,引起结构振动的激励的大小和频率,结构的动态特性和声辐射效率,都直接影响所产生声的声压大小和频率分布。结构中受激励作用部件可以直接向周围空气辐射声波,也可以沿着结构传播引起其他部件振动再向周围空气辐射声波。在结构中传播的声称为结构声。在空气中传播的声称为空气声。声波在传播过程中能够作用于结构,激发结构振动,也就是说结构声和空气声可以相互转化。阻尼材料能够消耗能量,工程上常用来减振降噪,这是被动措施。压电材料能够产生主动阻尼,用于噪声与振动的主动控制。产品开发中的声学问题,多从声源和声的传播路径来解决,例如控制汽车车内噪声,要对作为激励的发动机进行减振、隔振,要使车内空腔的声模态频率避开车体结构共振频率、发动机工作频率等,还要利用汽车内饰材料吸声降噪。

1.2.2 MSC. ACTRAN 的分析功能

MSC. ACTRAN 是新一代的计算声学工具,是功能完善的声学仿真软件。基于有限元/无限元方法,在统一的技术体系下,MSC. ACTRAN 提供了丰富的单元库、材料库、边界条件、解决问题方案、求解器和前后处理接口。MSC. ACTRAN 被成功地应用于解决工程上的声学、振动声学和气动声学问题。

- 1) 有限单元库
 - 二维、三维、轴对称单元;
 - 线性和二阶单元;
 - 三角形、四边形;
 - 四面体、五面体、六面体;
 - 无自锁的实体壳单元;
 - 无自锁的加强筋单元;

点对点、点对地的弹簧单元；

集中质量单元；

注：允许单元网格的不一致划分。

2) 无限单元库

用于声辐射、传播、散射等；

共轭无限元；

径向插值阶数达到很高(大于 50) 计算都是稳定的；

周向插值为线性和二次；

基单元包括线单元、三角形、四边形单元。

3) 材料模型

声学流体；

考虑粘性热效损失的声学流体；

可压缩或不可压缩的粘弹性材料；

刚性多孔材料；

弹性多孔材料；

压电材料。

4) 边界条件

结构边界条件：位移、集中力、分布力、压力；

声学边界条件：声压、加速度、速度、导纳沿有限或无限边界、密闭面、声波导管模式，声源包括点声源、线声源、平面波声源、分布的体积声源；

特殊边界条件：漫射声场、紊流边界层、电势或电荷；

注：所有的边界条件都可以通过用户子程序定义。

5) 求解问题

振动结构的声波辐射；

刚性或弹性结构的声波散射；

局部、非局部活性材料的声波吸收；

进气排气系统的声波传递矩阵计算；

声波在非均匀流动流体中传播；

声波在非等温介质或非均匀介质中传播；

简单和多层隔声结构的声波透射；

叠层阻尼结构动力学分析；

压电材料与结构主动控制；

室内声场分析；

模态分析(包括结构和声场)；

瞬态响应分析;

频率响应分析;

减缩矩阵和超单元计算(与 MSC. NASTRAN 集成);

紊流宽带噪声(ACTRAN/LA);

涡轮机械有调噪声(ACTRAN/TM)。

6) 求解器

直接法: 变带宽矩阵 SKYLINE 求解器、稀疏矩阵 SPARSE 求解器、KRYLOV 求解器、SuperLU 求解器。

迭代法: CG-ILU 求解器。

其中 KRYLOV 求解器是 MSC. ACTRAN 独有的一个快速的频率响应计算求解器, 可以用于有阻尼或无阻尼系统, 计算频率范围和分辨力都没有限制, 它的计算速度比稀疏矩阵求解器快 50 倍以上, 计算精度满足用户设定的要求。SuperLU 求解器是一个并行计算求解器, 支持共享内存和分布式内存并行计算。CG-ILU 求解器, 对于大规模的声辐射问题, 是一个有效的求解器, 计算速度快, 需求内存少。

7) 前后处理接口

前处理器: PATRAN, I-DEAS, HYPERMESH, NAS2ACT(把 MSC. NASTRAN 输入文件转换为 ACTRAN 输入文件的转换器)。

输出结果: MSC. NASTRAN OUTPUT2 文件, MSC. NASTRAN punch 文件, PATRAN nod 文件, FEMVIEW 结果文件, I-DEAS 通用文件, 用户自定义格式。

MSC. ACTRAN 在一个模型中可以包含所有类型的单元和材料模型, 能够模拟各种声学环境。模型中不同区域的网格划分可以是不一致的。这样一是方便建模, 二是各区域可以按照各自的要求划分最优的网格。MSC. ACTRAN 可以利用超单元和 MSC. NASTRAN 一起建立声学流体和结构的耦合模型, 完成大型复杂结构的声辐射分析。

8) 声辐射

MSC. ACTRAN 能够计算复杂声源的声辐射。对于振动结构, MSC. ACTRAN 可以独立完成结构的建模, 也可以是由 MSC. NASTRAN 建模并生成超单元输出给 MSC. ACTRAN, 或者是由 MSC. NASTRAN 计算结构的振动响应并输出给 MSC. ACTRAN 作为声学计算的激励。

MSC. ACTRAN 的共轭无限单元库在模拟声辐射问题方面有很高的精度和灵活性。MSC. ACTRAN 的无限单元是基于椭球坐标系中解的多极展开式而构造的, 它们能够适应复杂几何形状(即有限元/无限元的界面可以非常接近声