

一篇文章入门计算声学

原创 www.cae-sim.com [多物理场仿真技术](#)



声学是一门发展较早的学科，计算声学也是CAE的一个重要分支；计算声学主要用于研究声环境与声疲劳等噪声问题。根据不同的分类方式，噪声可分为振动噪声与气动/流动噪声，或者中低频噪声与高频噪声。对应的研究方法主要有边界元法、有限元法、统计能量法。本文介绍一下计算声学的相关入门知识。

说到声音，就要提到波动。

我们知道声音是一种机械波，机械振动在介质中的传播称为机械波（mechanical wave）。机械波与电磁波既有相似之处又有不同之处，机械波由机械振动产生，电磁波由电磁振荡产生；机械波的传播需要特定的介质，在不同介质中的传播速度也不同，在真空中根本不能传播，而电磁波（例如光波）可以在真空中传播；机械波可以是横波和纵波，但电磁波只能是横波；机械波与电磁波的许多物理性质，如：折射、反射等是一致的，描述它们的物理量也是相同的。常见的机械波有：水波、声波、地震波。

声波的常用物理量：

振幅

表示质点离开平衡位置的距离，反映从波形波峰到波谷的压力变化，以及波所携带的能量多少。高振幅波形的声音较大；低振幅波形的声音较安静。

周期

描述单一、重复的压力变化序列。从零压力，到高压，再到低压，最后恢复为零，这一时间的持续视为一个周期。如波峰到下一个波峰，波谷到下一个波谷均为一个周期。

频率

声波的频率是指波列中质点在单位时间内振动的次数。以赫兹（Hz）为单位测量，描述每秒周期数。例如，440 Hz 波形每秒有 440 个周期。频率越高，音乐音调越高。

相位

表示周期中的波形位置，以度为单位测量，共 360° 。零度为起点，随后 90° 为高压点， 180° 为中间点， 270° 为低压点， 360° 为终点。相位也可以弧度为单位。弧度是角的国际单位，符号为rad。

波长

表示具有相同相位度的两个点之间的距离，也是波在一个时间周期内传播的距离。以英寸或厘米等长度单位测量。波长随频率的增加而减少。

声压

设振动物体的小体积单元受扰动后压强由P变为P1，则两者之差就称为声压。声压的大小反应了声波的强弱，声压的单位是Pa（帕），通常人们说话近距离产生的声压在0.05-0.1Pa之间。

声功率 (Sound Power)

声源在单位时间内辐射出的能量称为声功率

声强 (Sound Intensity)

在垂直于传播方向的单位面积上通过的平均声能量流，声强具有方向。

由于声压或者声强的绝对值范围非常大，一般用对数来度量声压，声强和声功率。计算方法为取数值和标准值的比值，然后取对数乘以20或者10。

声压级 (Sound Pressure Level)

声强级 (Sound Intensity Level)

声功率级 (Sound Power Level)

波阵面的衍射

声音的波阵面和声线是沿着直线传播的，除了受到阻碍，障碍物能够让最初直线传播的声音改变方向，这种现象被称为衍射，衍射一次来自于拉丁语Diffringere，意思是破裂成一片一片。

声波的折射

类似于光线，由于声波传播速度不同，会造成传播方向改变，声波的折射的成都取决于介质对声音速度的影响。

三维声波动方程可以由连续性方程，动量方程以及欧拉方程推导出，相比完全麦克斯韦和NS方程，波动方程形式相对简单。

边界条件：

计算声学的边界条件一般有三种：

- 1.声质点速度边界条件；
- 2.声压边界条件；
- 3.混合边界条件，又叫阻抗边界条件。

这三种边界条件是声场中最基本的边界条件，实际中很多新的边界条件由这三种边界条件推导而来。

介绍几种常用的计算声学方法：

1. 有限元方法；

有限元的基函数变量取声压。声场的有限元方法在解决封闭有限区间非常有效，但是对于半封闭或者不封闭的区域，由于网格划分量过大，无法求解，类似于电磁边界，声场中也提出理想匹配层，自动匹配层，理想吸收边界等边界设置。声场的单刚矩阵，多刚矩阵组装，求解方程组和结构类似，不再多描述。

2. 边界元方法；

边界元在求解内不封闭，超大规模问题上有极大的优势，有限元不可能无限制的划分三维空间网格，比如大尺寸的飞机火箭等物体划分体网格数量巨大。利用边界元方法只要提取结构面网格就能完成计算。对于最终形成的满秩矩阵，快速多级也能应对，提高求解效率，满足工程需求。

3. 声线法

声线法是利用经典射线声学理论，也就是当声波的波长与声散射体的尺寸相比十分小，可以忽略衍射，把声波看成类似于光线的声线，声场强弱看成是声线的疏密。声线法主要用来求解大型几何声学问题。

4. 统计能量法

统计能量法通常用于解决模态密集的高频振动声学问题。

在实际工程的多物理场分析中，声场耦合最常见的是声振耦合，比如NVH。

主流声学软件中，Virtual. Lab Acoustic（原Sysnoise）以边界元为主，近年追加了振动噪声的有限元解算器；Actran以有限元/无限元为基础，提供振动/气动噪声的综合方案，对于气

动/流动噪声、声振耦合、隔声降噪与声疲劳等问题独擅胜场；VA-One以统计能量法为基础，适用于系统级高频振动噪声问题。

除Actran等声环境与声疲劳分析软件之外，众多专用软件也异彩纷呈，诸如建筑声学与电声分析软件EASE、环境噪声分析软件Cadna/A等，均各显其能。EASE适用于大尺度建筑物内部声场分布计算以及音响设备电声品质的预测；Cadna/A适用于城市或区域环境噪声的预测、评估和控制方案设计。声场测量软件就更多了。

计算声学虽然也是多物理场分析中的一部分，计算声学软件能够辅助声场的设计分析，但实际环境的复杂性，以及声场波动特性比如干涉，衍射等使其精准的定性分析有相当的难度，在实际应用中，更多的还是依赖规范，测试试验等手段。