

扬声器的锥体振动

原理

累积加速度级

定义

$$p_{aa}(\mathbf{r}_a) = \frac{\rho_0 \omega}{2\pi} \int_{S_c} \left| \frac{v(\mathbf{r}_c)}{|\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_c|} \right| dS_c$$

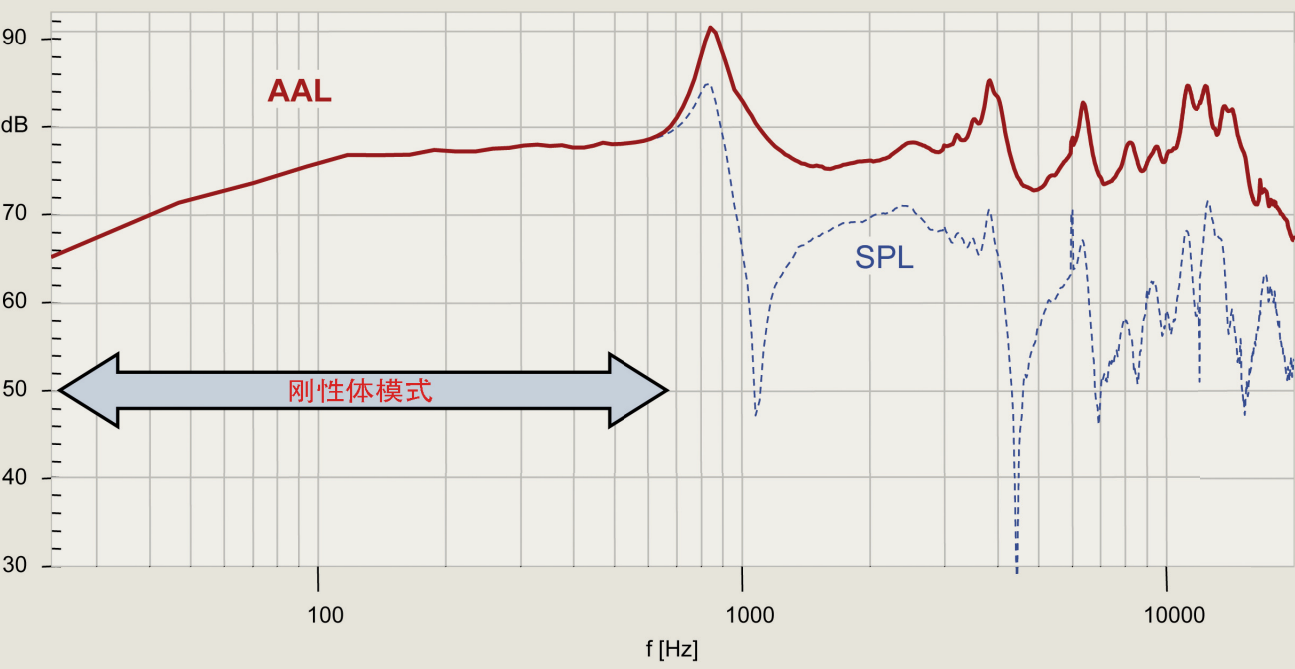
将锥形辐射体表面 S_c 上所有点 $\mathbf{r}_c$ 的加速度的绝对值对距离 $|\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_c|$ 及其它常数等进行加权后再求和，使之与远场观察点 $\mathbf{r}_a$ 的声压输出（忽略所有相位信息）相当。

$$AAL(\mathbf{r}_a) = 20 \log \left(\frac{p_{aa}(\mathbf{r}_a)}{\sqrt{2} p_0} \right) \text{ dB}$$

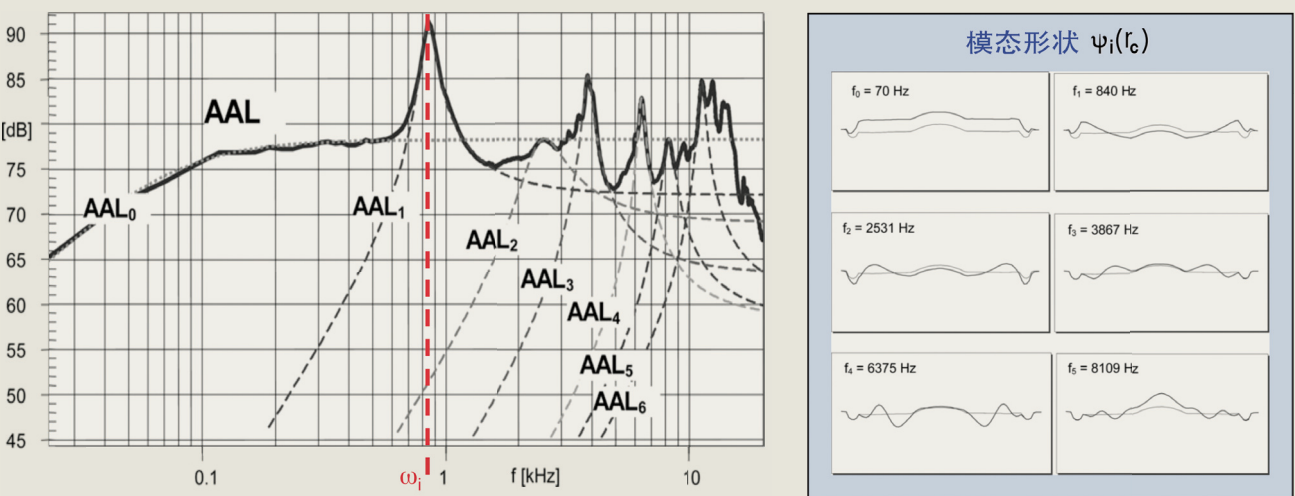
参考声压 p_0

累积加速度级 (AAL)

描述总的机械振动与观察点 $\mathbf{r}_a$ 处的声压级SPL($\mathbf{r}_a$)相当决不会小于SPL($\mathbf{r}_a$)值
预测可能的声输出
不考虑声抵消
在刚性体模式下等于SPL

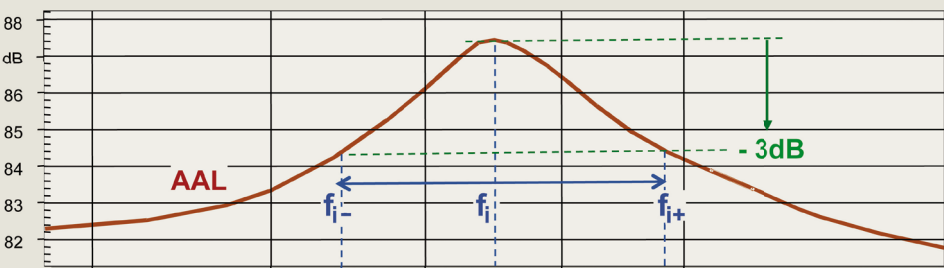


模态分析



$$\underline{a}(\mathbf{r}_c) = \sum_{i=0}^{\infty} H_i(j\omega) \psi_i(\mathbf{r}_c) \quad H_i(j\omega) = \frac{\omega^2}{1 + \eta_i j\omega/\omega_i - (\omega/\omega_i)^2}$$

辐射体表面上每个点 $\mathbf{r}_c$ 的加速度 $\underline{a}(\mathbf{r}_c)$ 都可以用一组正交模式之和来表示，而每一个模式都可以由其模态频率响应 $H_i(j\omega)$ 中的特征模态形状 $\psi_i(\mathbf{r}_c)$ 、固有频率 ω_i 及模态损耗系数 η_i 来表示。

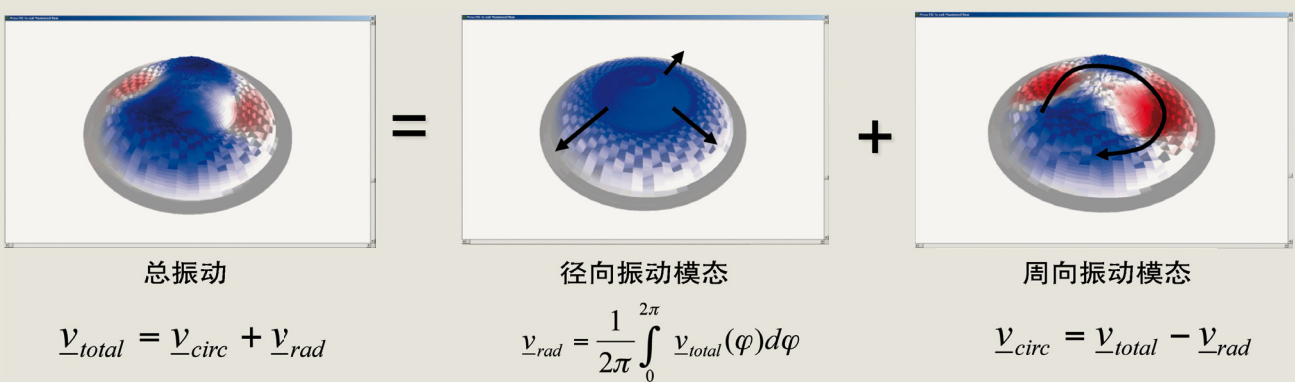


$$\eta_i = \frac{f_{i+} - f_{i-}}{f_i}$$

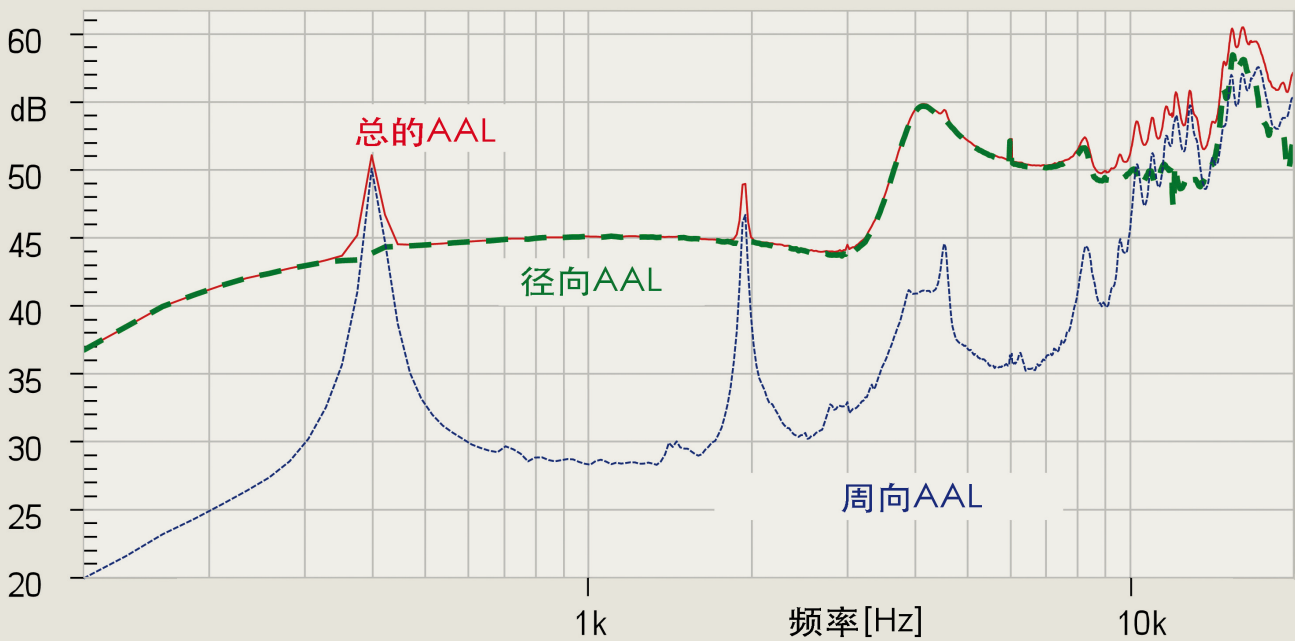
模态损耗系数

定义为模态谐振处的3dB带宽与固有频率之比
描述了所用材料的属性（与几何尺寸无关）
与频率和温度有关

轴向对称分解

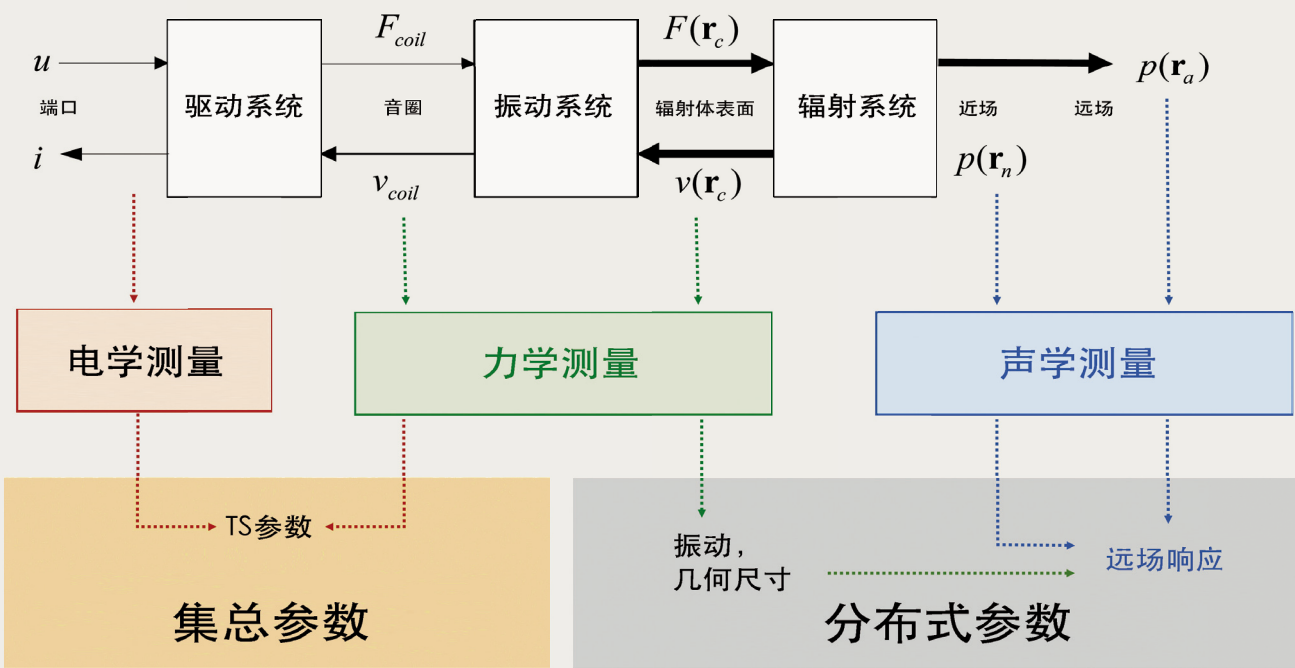


若辐射体是圆形的，则径向传播的模式可以通过计算圆周上所有振动的平均值得到。周向分量就是总振动减去径向分量。两种分量都可以独立地进行动画演示，并可以通过SPL和AAL定量地进行评估。



扬声器测量

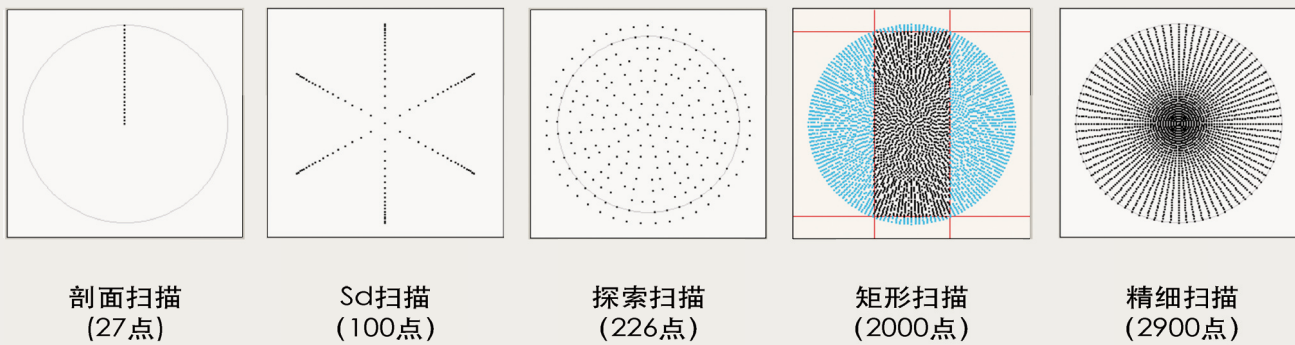
小信号特性评估



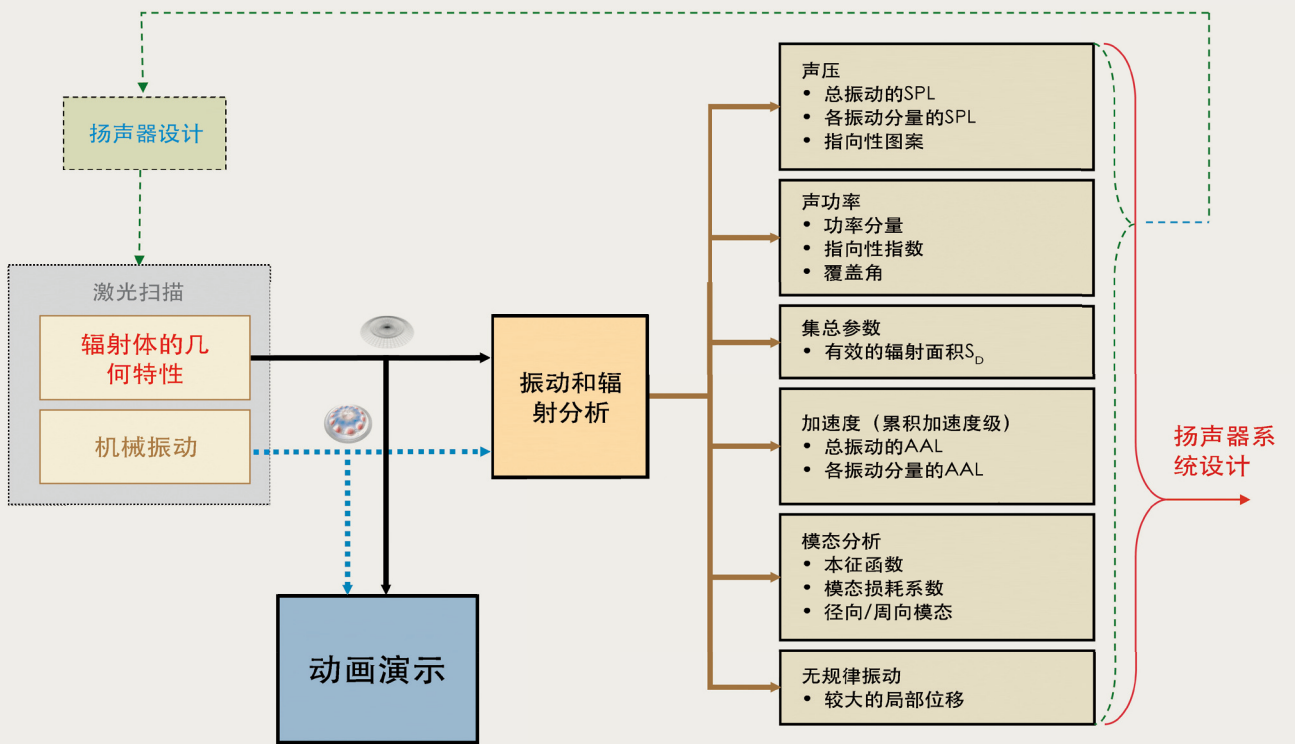
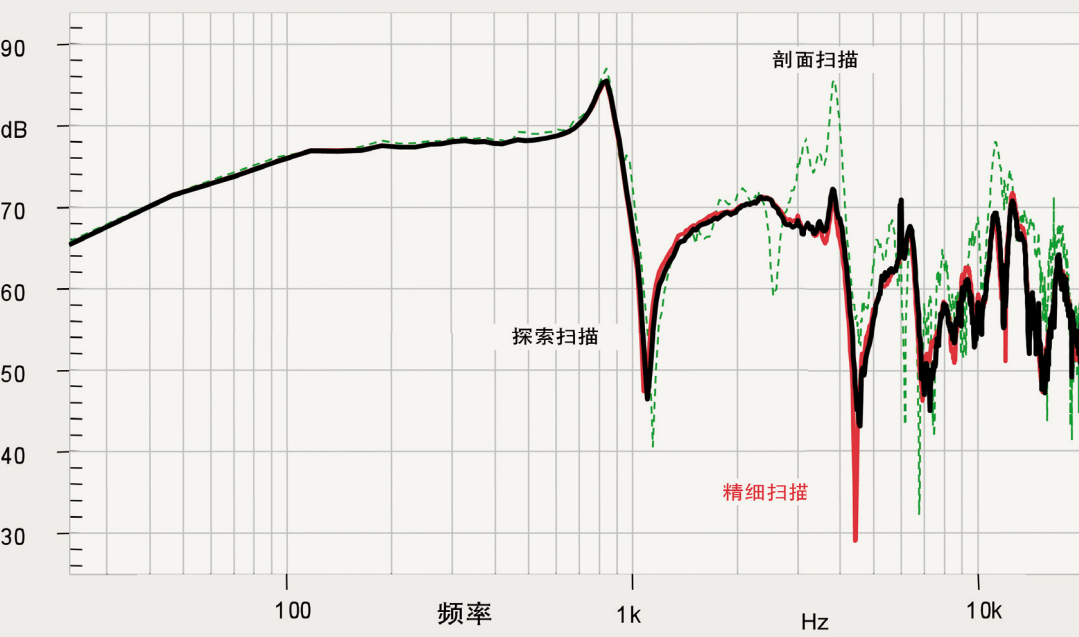
分布式扬声器参数

利用三角测量原理的激光扫描仪可以高精度地测得辐射体表面的振动及几何尺寸。相关的力学分布式参数对于评估力学特性、预测声压输出，以及针对特定场合选择最佳扬声器单元都是很重要的数据。

扫描网格优选

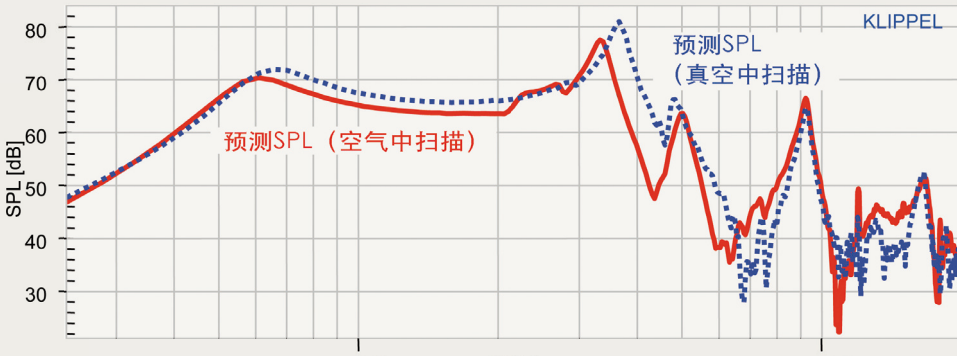


探索扫描可以高精度地预测声压输出。精细扫描可以高解析度地展现局部位移或其它无规律的振动。剖面扫描仅能探测轴对称振动，且声压预测的准确度可能受到周向模态的影响（如下图 3.8KHz出现的差异）。矩形扫描对于电视机用扬声器或微型类扬声器更为高效。



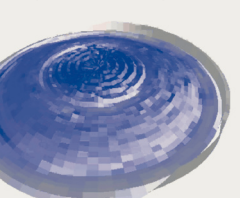
从激光扫描得到的结果可以导出力学和声学特性，这有益于特定场合中最佳扬声器的选择，结构改善和新设计方案的确定。

测量空气负载的影响

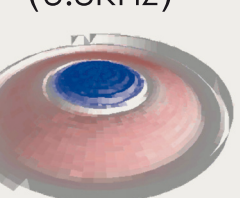


分别在空气中和真空中扫描振动辐射体
对比有无空气负载时的两种机械振动 (AAL)
预测两种振动图形的声压输出 (SPL)

真空中扫描 (3.8KHz)



空气中扫描 (3.8KHz)



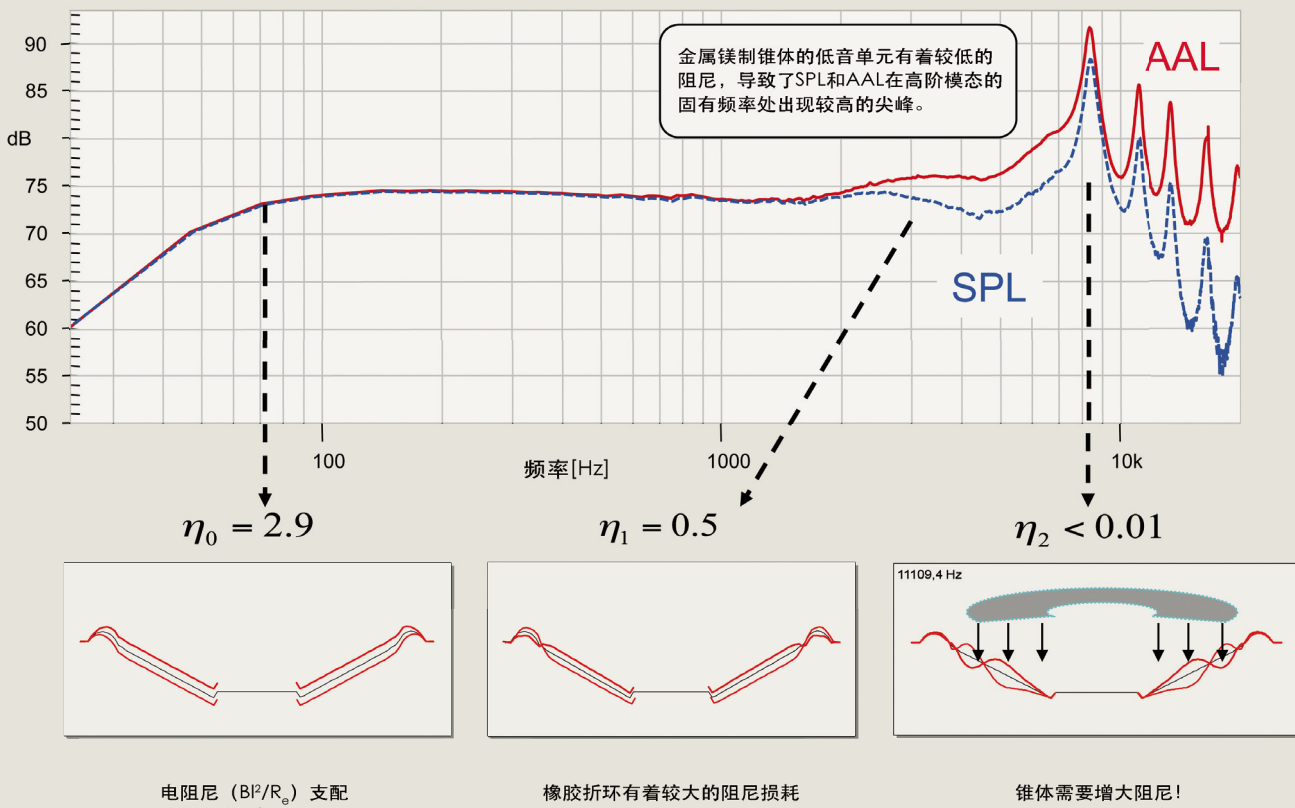
诊断

辐射体表面的振动是否足够？

保证高频段的累积加速度级 (AAL) 足够大，因为高阶模态会产生声压输出。要获得平滑的SPL响应的先决条件就是模态密度足够大，且每个模态都有最佳的损耗系数。所选材料的杨氏模量较低、锥体的厚度减小、辐射体外侧区域的曲率减小等都会增加弯曲模态的数量。

什么原因造成频率响应上的尖峰？

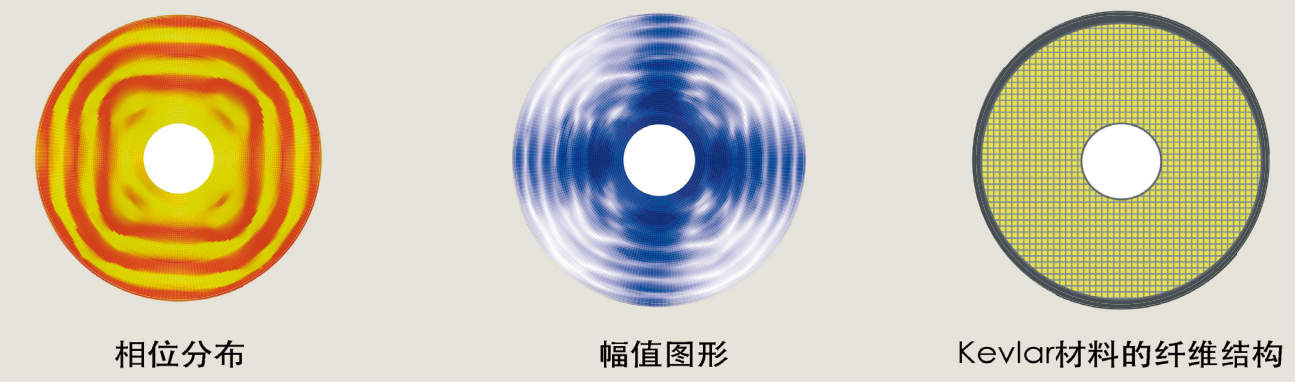
累积加速度级 (AAL) 响应上的较大值与SPL响应上突出的尖峰相对应，这是由于模态谐振时的阻尼不够所致。通过读取AAL响应上关键固有频率点的3dB带宽可以确定模态损耗系数。



何处施加阻尼？

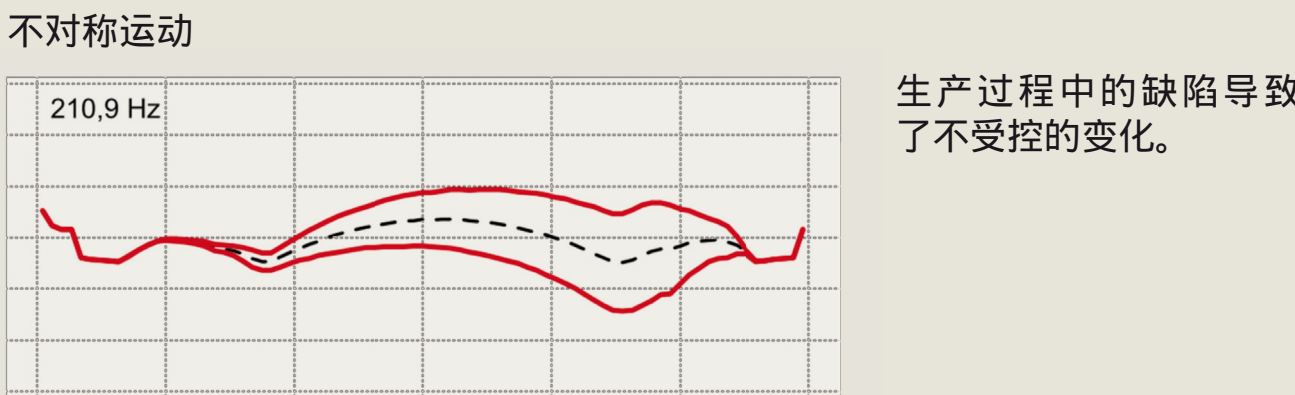
观察关键谐振处的模态形状，此处其模态损耗系数非常小。在机械振动幅值较高的地方增加材料的阻尼。金属镁制材料的锥体使得第一个分割振动模态提高到了8KHz(见上例图)。单元在全音频频带工作还需增加其它阻尼。

不可预测的材料属性？



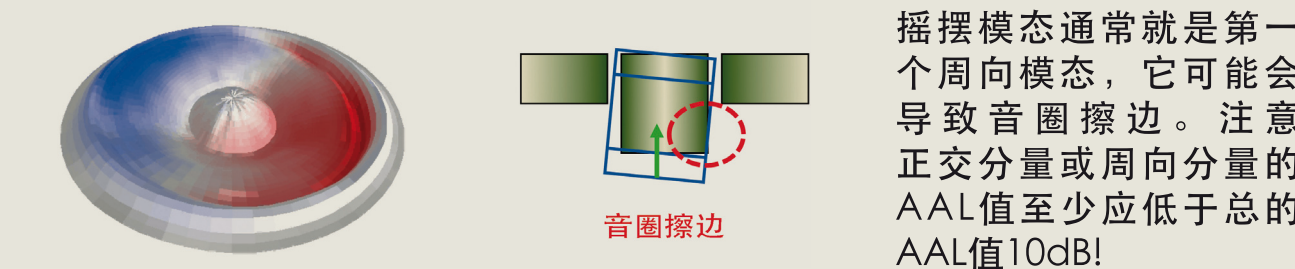
扫描到的振动图形揭示出辐射体所用材料的各向异性、不均匀性以及其它特殊的属性。上图实例给出的是一个采用Kevlar锥体的中频扬声器单元的振动图形。Kevlar锥体的编织结构抑制了影响扬声器指向性图案的对角线方向的振动。

不对称振动



生产过程中的缺陷导致了不受控的变化。

摇摆模式剧烈吗？



摇摆模式通常就是第一个周向模态，它可能会导致音圈擦边。注意正交分量或周向分量的AAL值至少应低于总的AAL值10dB!

什么原因引起非线性失真？

