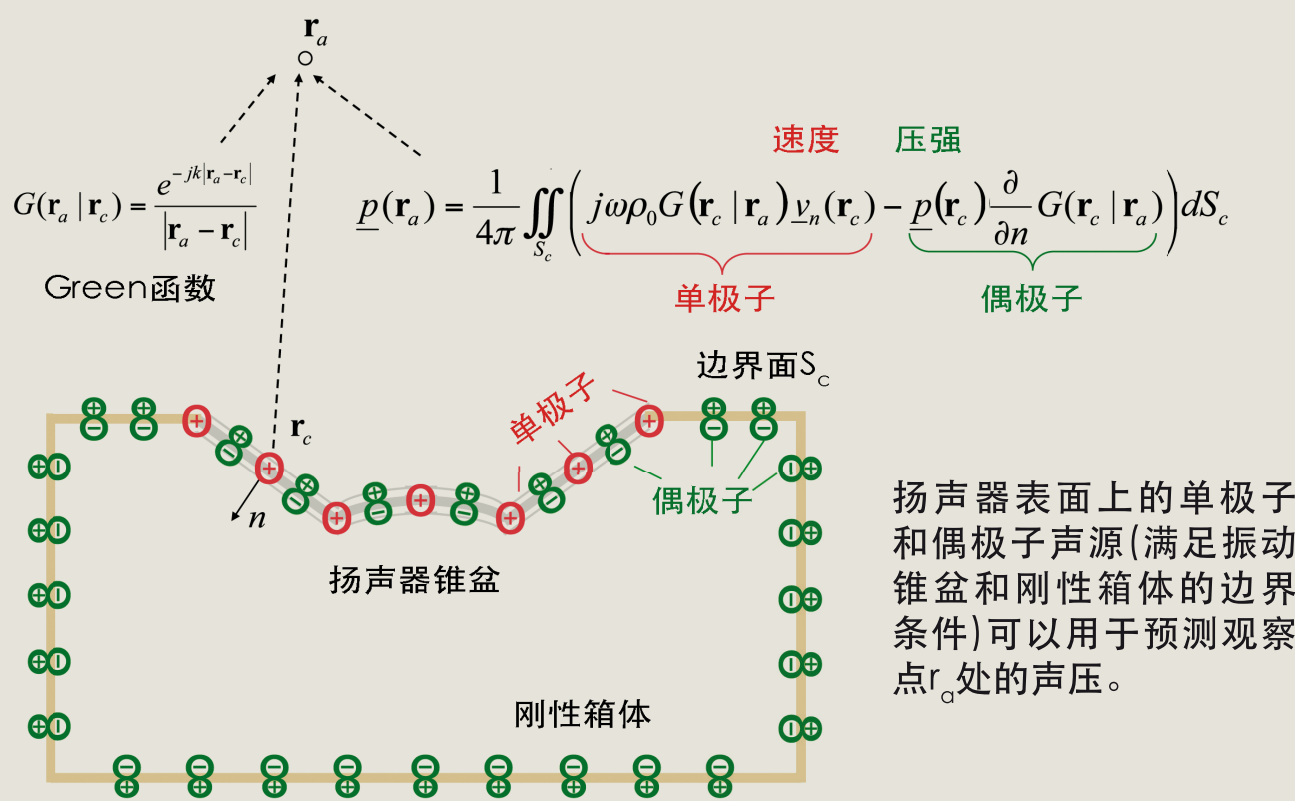


扬声器的声辐射

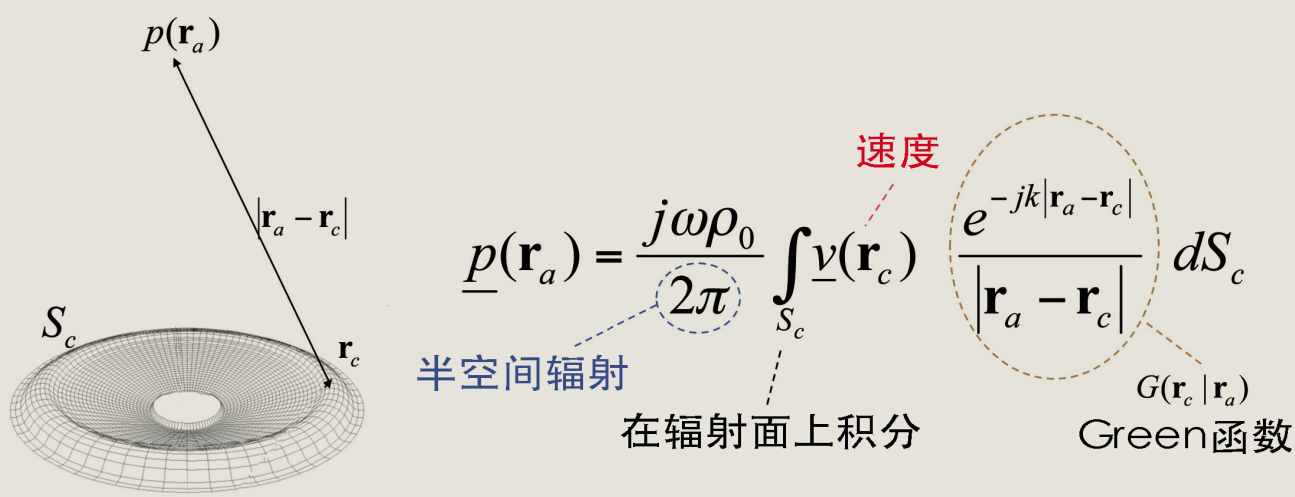
原理

边界元法

Kirchhoff-Helmholtz方程

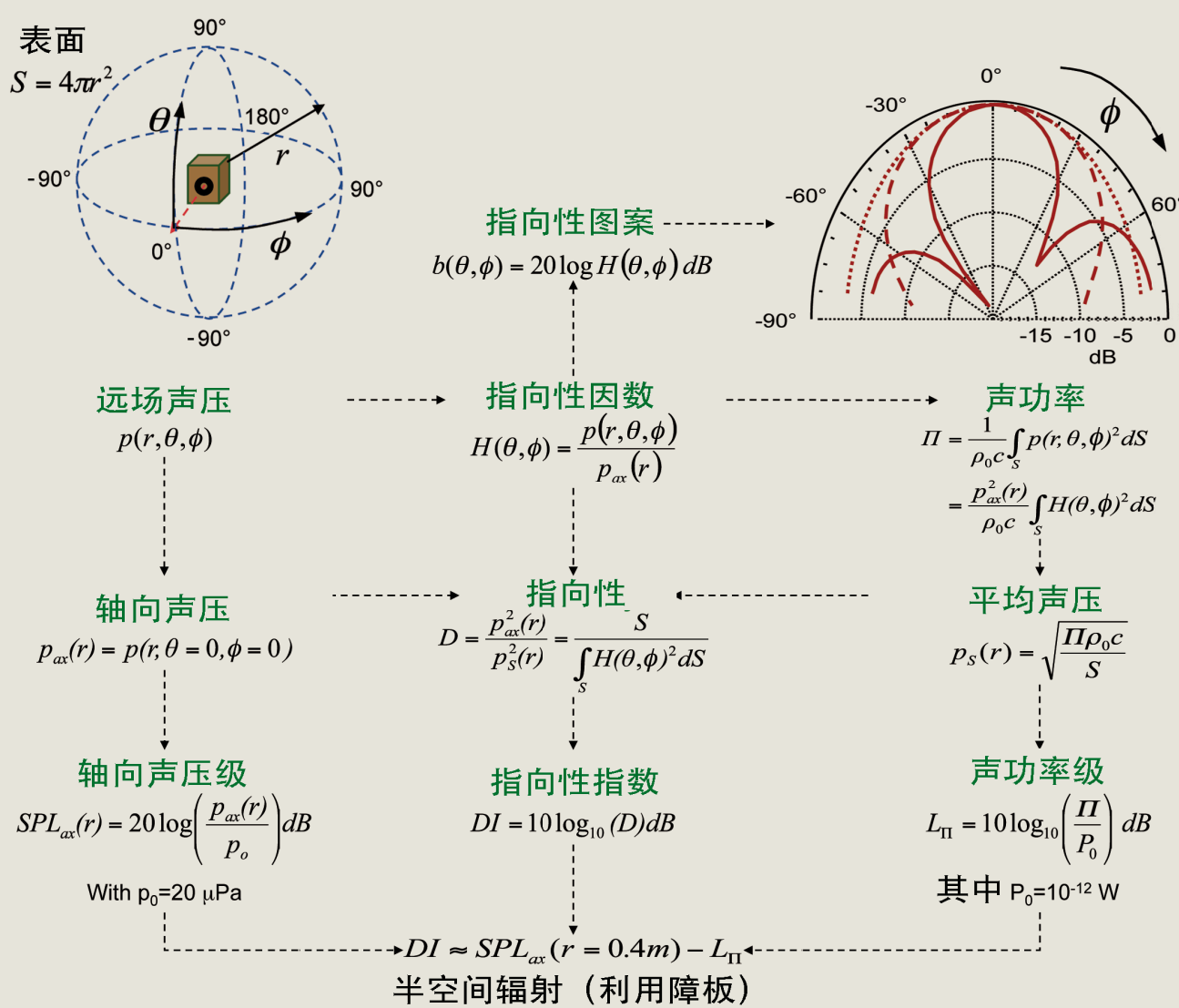


单极子声源近似

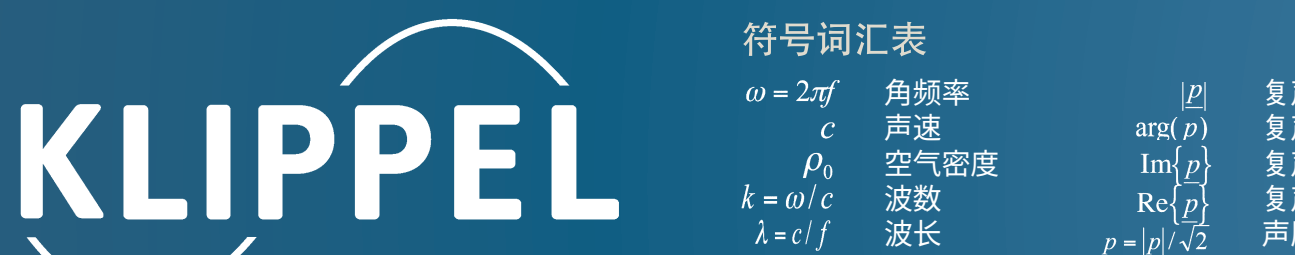
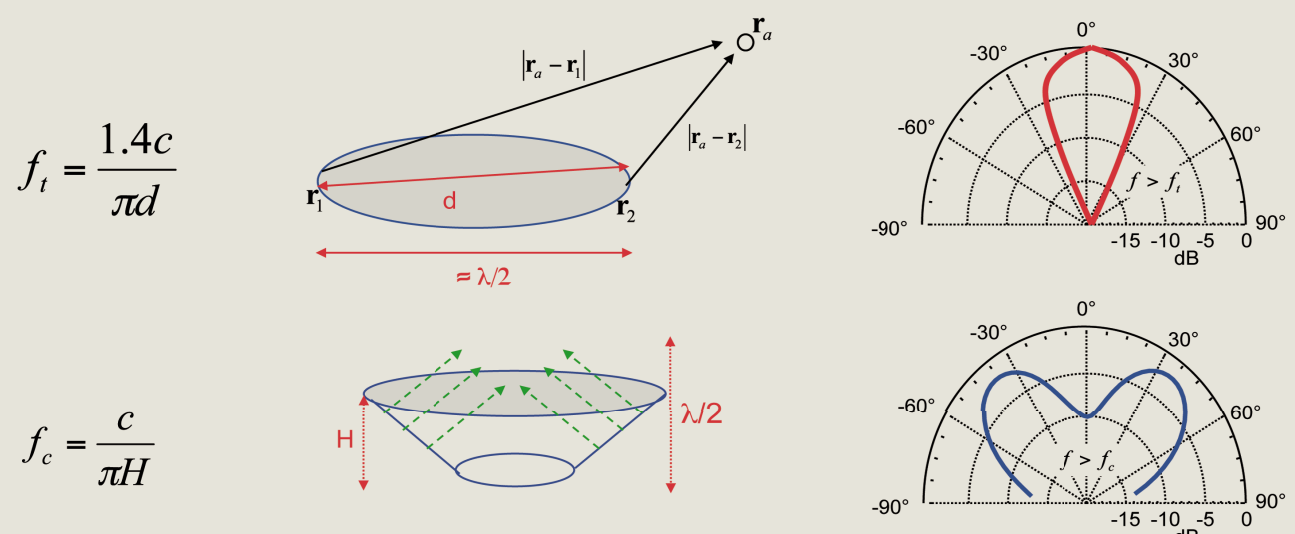
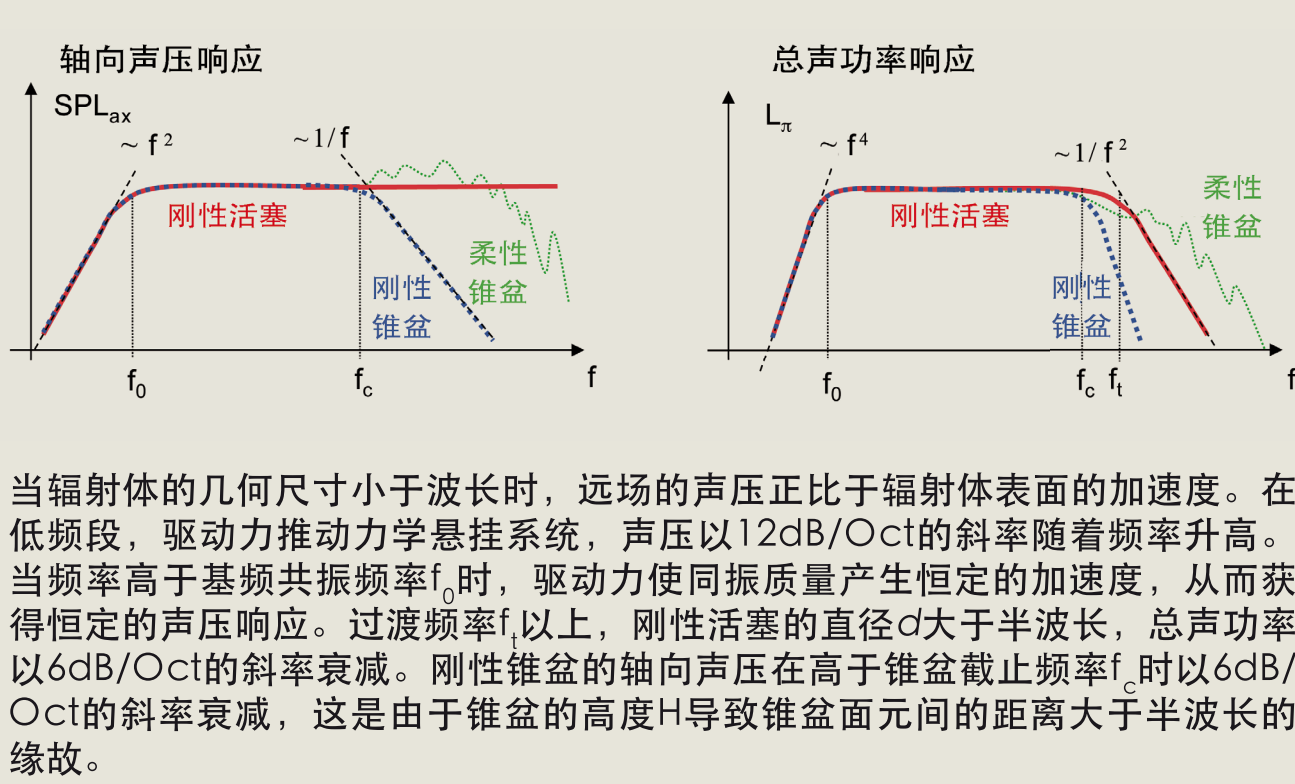


若仅用单极子声源预测远场声压，Rayleigh积分比边界元法（BEM）更为快捷。Green函数则描述了因点源 $\mathbf{r}_c$ 和观察点 $\mathbf{r}_a$ 之间的距离而产生的相移及衰减。将安装在无限大障板上的扁平状辐射体近似为单极子声源还是比较精确的。

指向特性

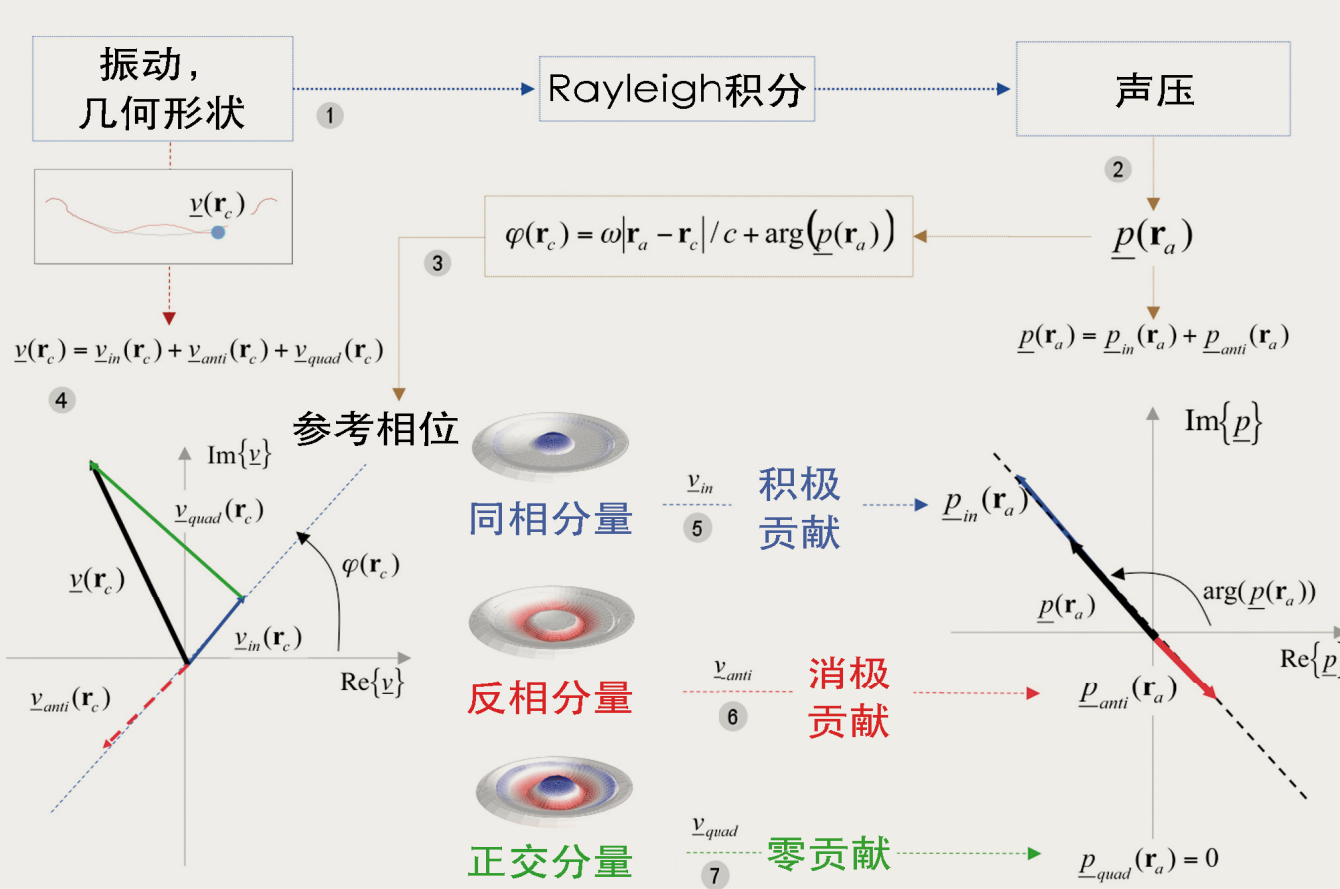


刚性辐射体带宽



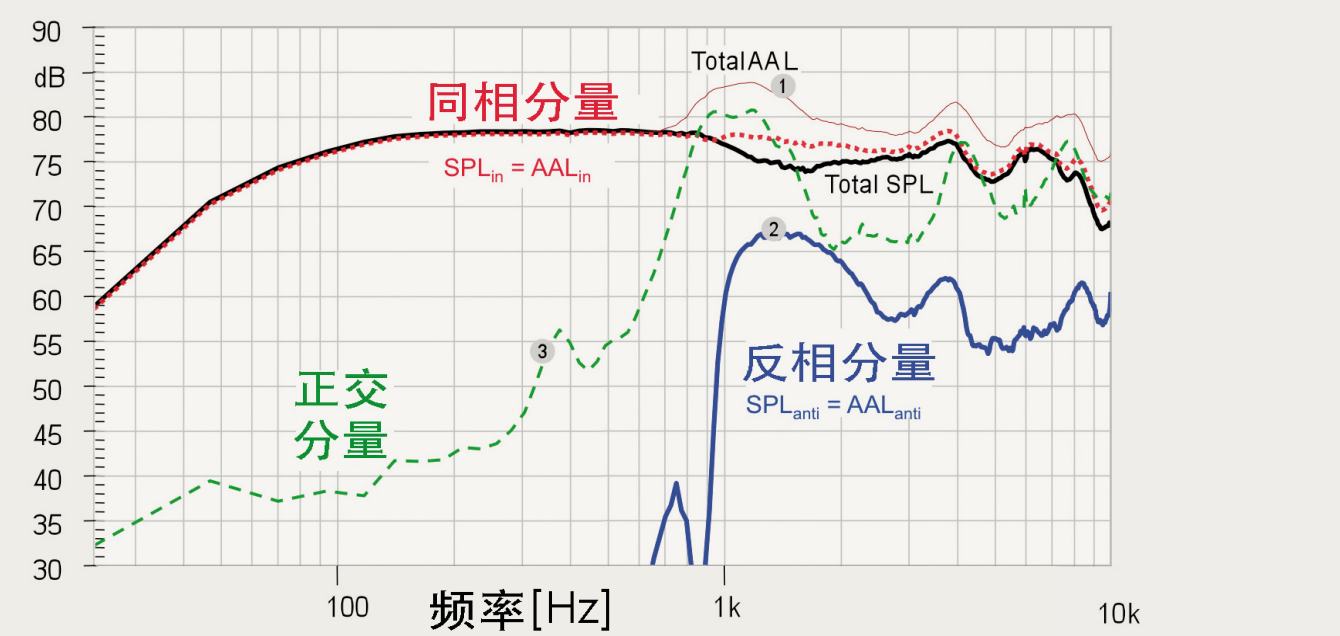
分析

与声压相关的分解



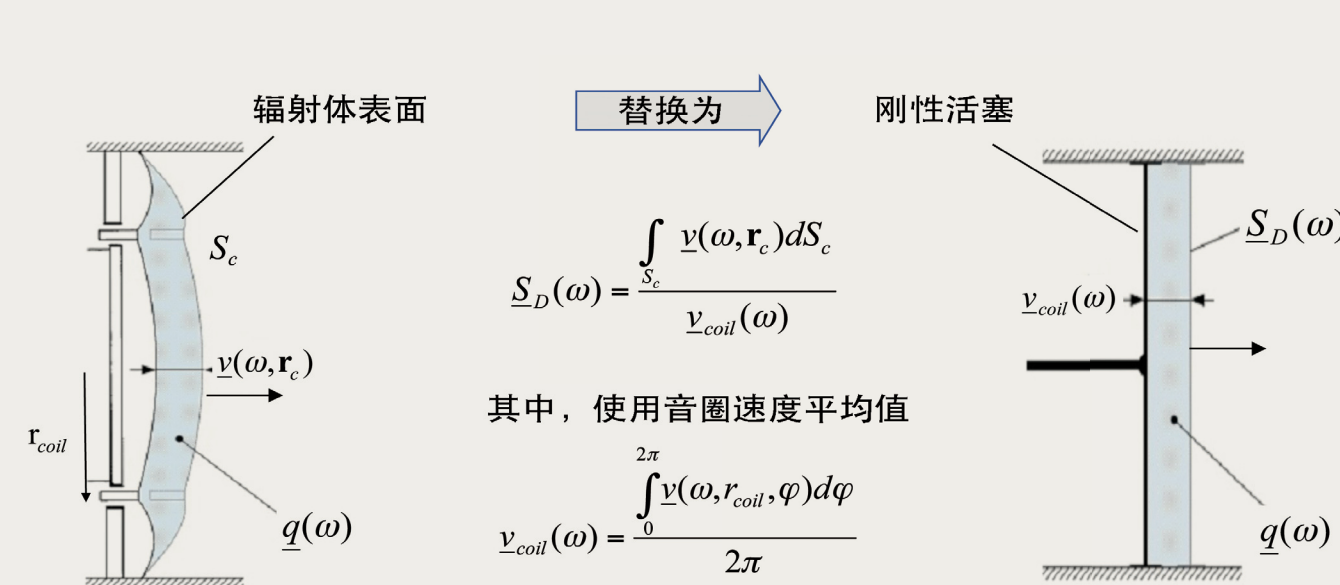
激光扫描可以获得机械振动（如：速度）的幅值和相位，以及辐射体表面上点源 $\mathbf{r}_c$ 的精确位置。Rayleigh积分用于计算在观察点 $\mathbf{r}_a$ 处的声压的幅值和相位。所得声压的相位幅角 $\arg(p(\mathbf{r}_a))$ 经变换后可作为辐射体表面上的每一个点源 $\mathbf{r}_c$ 的参考相位（考虑到两点间的距离）。总机械振动可以分解成一个同相分量（与参考相位同相）或反相分量（与参考相位反向），和一个正交分量（与参考相位成90度）。辐射体表面上所有点 $\mathbf{r}_c$ 的总的累积同相分量 $v_{in}(\mathbf{r}_c)$ 对观察点 $\mathbf{r}_a$ 处的声压产生了积极贡献 $p_{in}(\mathbf{r}_a)$ 。总的反相分量 $v_{anti}(\mathbf{r}_c)$ 对总声压有着消极贡献 $p_{anti}(\mathbf{r}_a)$ 。总的正交分量 $v_{quad}(\mathbf{r}_c)$ 描述了对于观察点 $\mathbf{r}_a$ 处的声压没有影响的振动。

声压分量

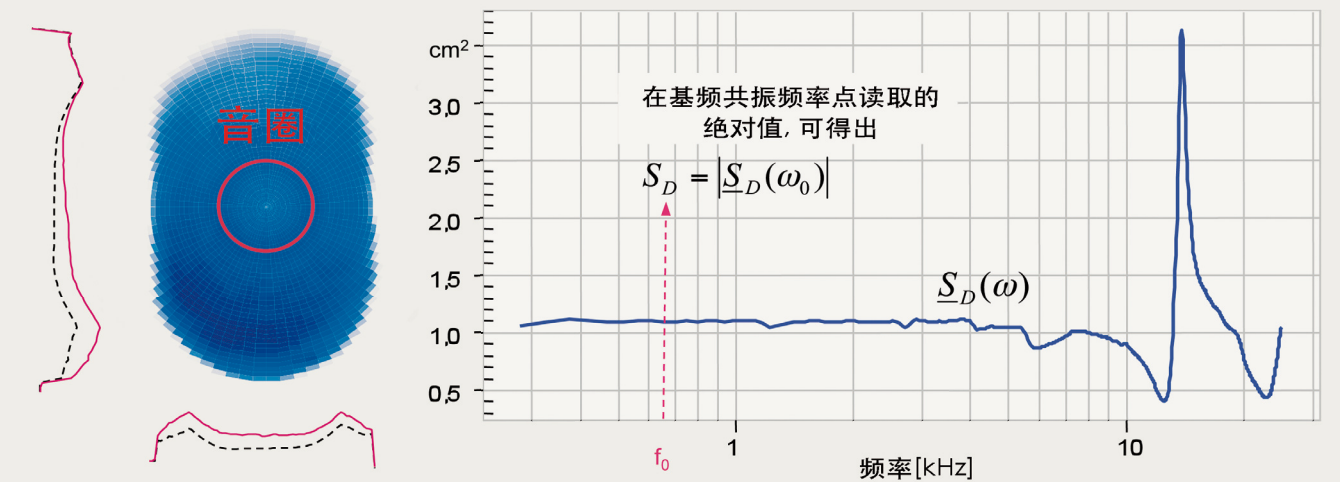


同相分量有可能大于总的声压级（SPL），但决不会超过总的累积加速度级（AAL）。在锥盆分割振动发生以前，这些曲线是重合的，因为反相分量和正交分量可以忽略。反相分量产生的 SPL_{anti} 和 AAL_{anti} 值相等，它们在分割振动出现时会快速上升，但决不会超过同相分量的 SPL_{in} 和 AAL_{in} 值。然而，同相分量和反相分量之间如果差值较小，就会在总的声压级（SPL）上形成谷（即，声抵消）。正交分量不产生声压，其 AAL_{quad} 分量却有可能超过同相分量，但决不可能大于总的累积加速度级（AAL）。图中380Hz的尖峰表示出现了摇摆模式。

有效辐射面积 S_D



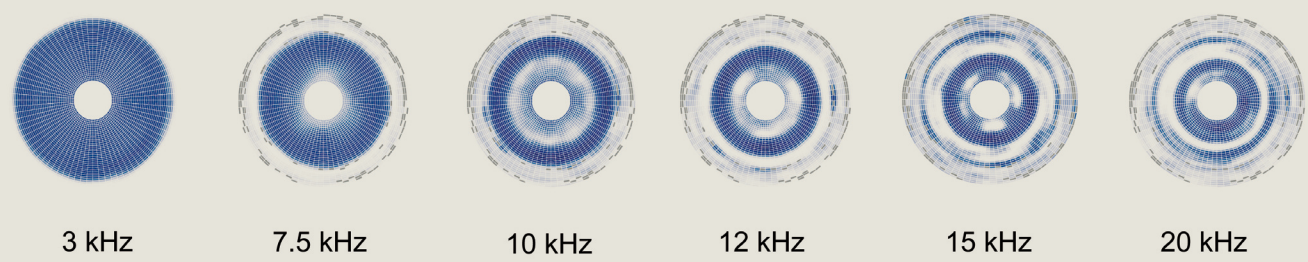
有效辐射面积 S_D 是描述刚性活塞的一个重要的集总参数，活塞表面的振动速度与音圈速度 v_{coil} 的平均值相等，并且产生与辐射体表面相同的体积速度 q 。对扫描得到的速度进行积分就可以分析摇摆模式或其它不对称的振动形式。



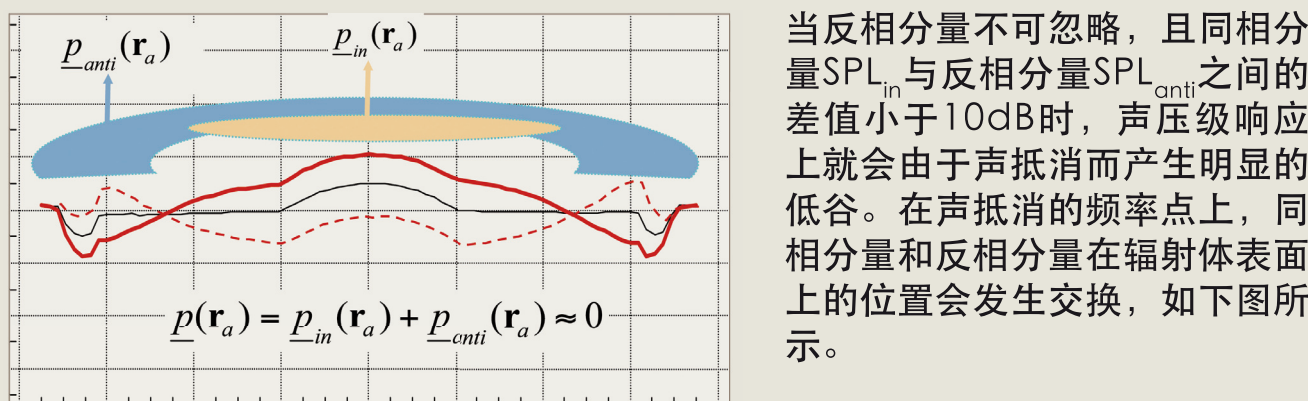
诊断

逐渐收缩的辐射面积？

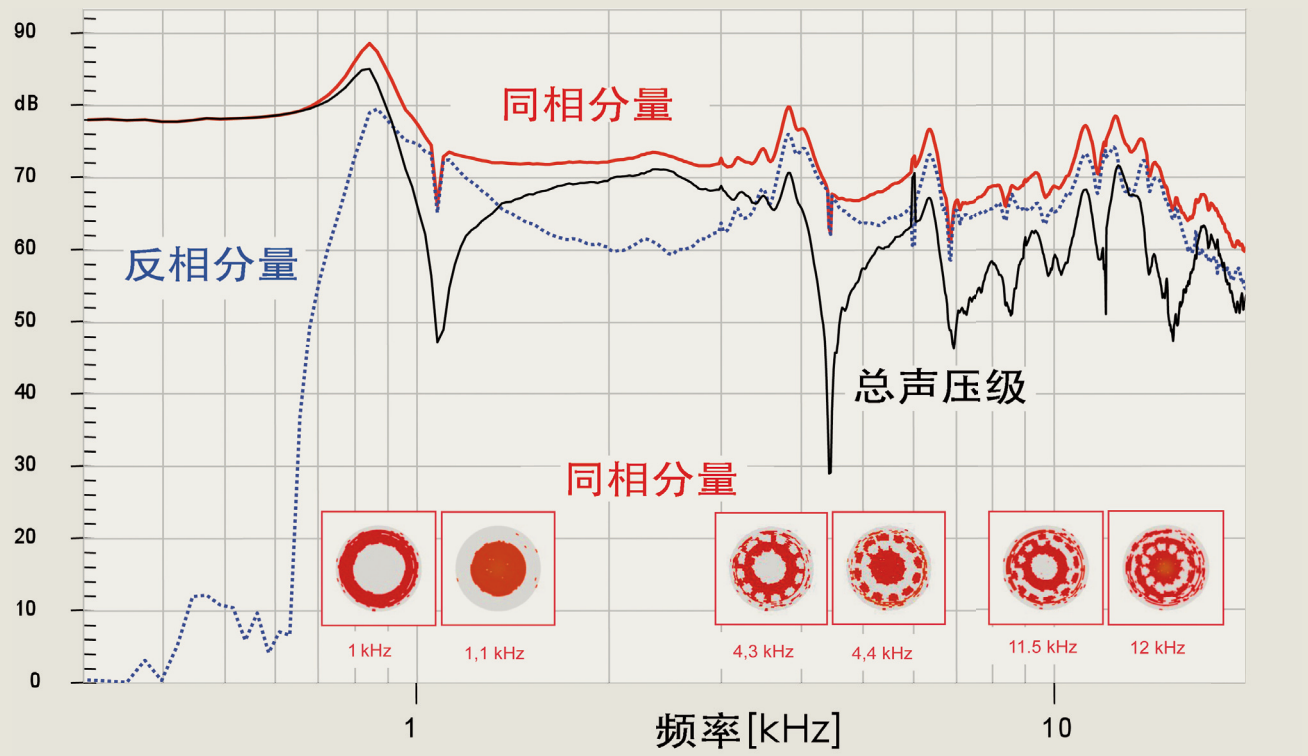
锥形辐射体外围的弯曲刚度较低，将会产生首个反相和正交分量。同相分量始终位于锥盆的中心，锥盆有效辐射面积将随频率的升高而逐渐减小。因此，有着柔性锥盆的低音单元在高频段的指向性指数要比刚性锥盆的更小。



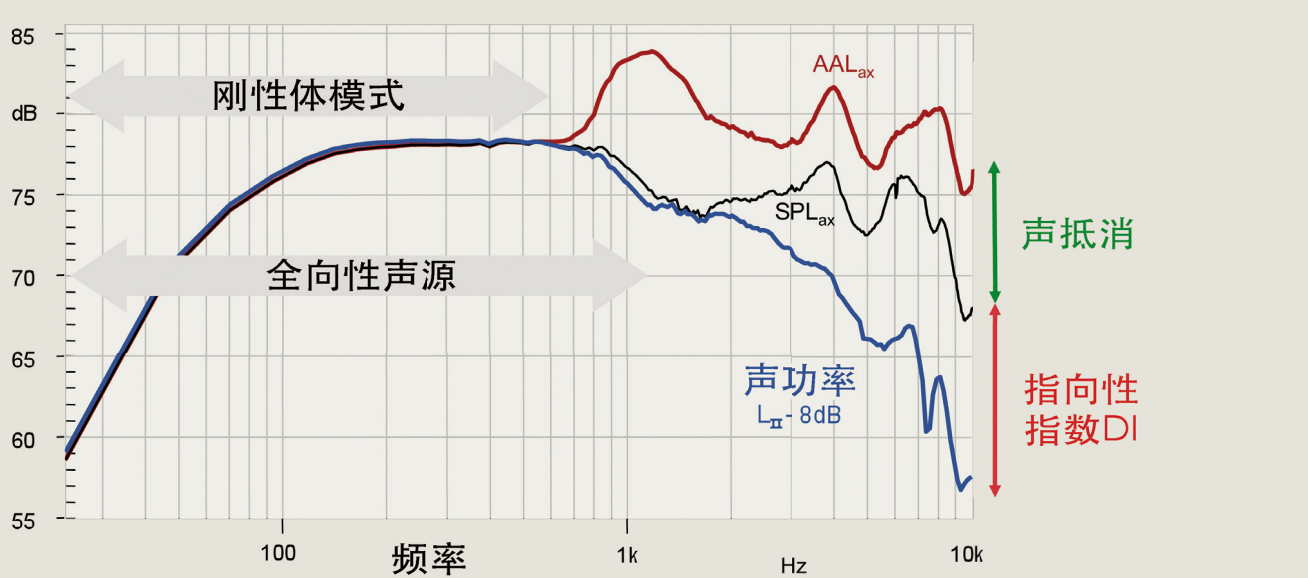
声抵消？



当反相分量不可忽略，且同相分量 SPL_{in} 与反相分量 SPL_{anti} 之间的差值小于10dB时，声压级响应上就会由于声抵消而产生明显的低谷。在声抵消的频率点上，同相分量和反相分量在辐射体表面上的位置会发生交换，如下图所示。



期望的指向性

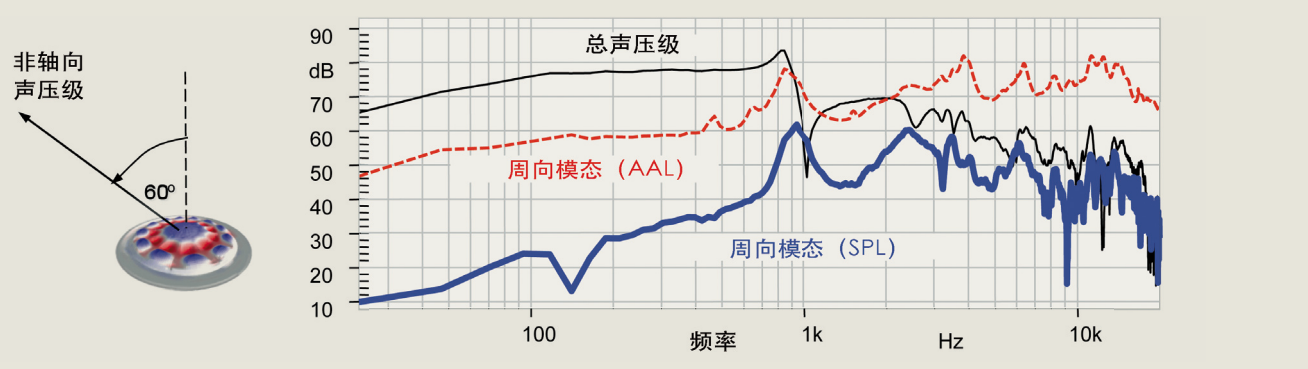


三条曲线揭示出最为重要的辐射特性：在锥盆的几何尺寸比声波波长小得多且还未出现分割振动时，轴向累积加速度级 AAL_{ax} 、轴向声压级 SPL_{ax} 、以及声功率 L_{Π} 有着相同的曲线形状。 AAL_{ax} 与 SPL_{ax} 的差异描述了声抵消； SPL_{ax} 和声功率 L_{Π} 的差值则对应着指向性指数。

周向模态的贡献



周向模态的AAL值较高，产生的轴向SPL较小，但对于非轴向SPL和高频段的总声功率的贡献却很大。



参考文献

- W. Klippel, J. Schlechter, „Distributed Mechanical Parameters of Loudspeakers Part 1: Measurements“, Journal of Audio Eng. Soc. Vol. 57, No. 7/8, 2009 July/August, page 500 – 511
- W. Klippel, J. Schlechter, „Distributed Mechanical Parameters of Loudspeakers Part 2: Diagnostics“, Journal of Audio Eng. Soc. Vol. 57, No. 9, 2009, page 696 – 708
- F. J. M. Frankort, „Vibration Patterns and Radiation Behavior of Loudspeaker Cones“, J. Audio Eng. Soc. vol. 26, pp. 609–622 (1978 September)
- A. Krüger and A. Leeuwestein, „Calculation of the Sound Radiation of a Nonrigid Loudspeaker Diaphragm Using the Finite Element Method“, J. Audio Eng. Soc., vol. 36, pp. 539–551 (1988 July/August)
- W. Klippel, J. Schlechter, „Dynamical Measurement of the Effective Radiation Area S_D “, Journal of Audio Eng. Soc.
- L. Kinsler, et. AL, „Fundamentals of Acoustics, John Wiley & Sons, Inc. 2000
- L. Beranek, Acoustics (Acoustical Society of America, New York, 1996)