

对《建筑物理》教材中图 11-7 的讨论

蔡 彪

(基础课部)

摘 要 通过模拟计算和分析,指出国内大多数建筑学专业采用的教材《建筑物理》的图 11-7 会给读者造成对切向简正波和斜向简正波的不正确印象。

关键词 切向简正方式;斜向简正方式

分类号 TU112

西安冶金建筑学院、清华大学等四校编写的教材《建筑物理》的建筑声学部分的图 11-7^[1]是不妥当的。图中所称的矩形房间的切向共振(一般称为切向简正波或切向简正方式)、斜向共振(即斜向简正波或斜向简正方式)的图示,容易给读者造成错误的认识(本文图 1 就是该教材的图 11-7)。

分析如下:

设长、宽、高分别为 L_x, L_y, L_z 的矩形房间的内壁都是刚性的。刚性壁面上法向速度为零,即声压 p 的法向导数为零(取一个墙角为坐标原点),则波动方程

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

的特解为

$$p = p_m \cos \left(\frac{\pi n_x x}{L_x} \right) \cos \left(\frac{\pi n_y y}{L_y} \right) \cos \left(\frac{\pi n_z z}{L_z} \right) e^{i\omega(n_x, n_y, n_z)t},$$

式中 n_x, n_y, n_z 为正整数或零(但不能三者同时为零),由 (n_x, n_y, n_z) 的不同组合(简正方式),对应一系列简正频率

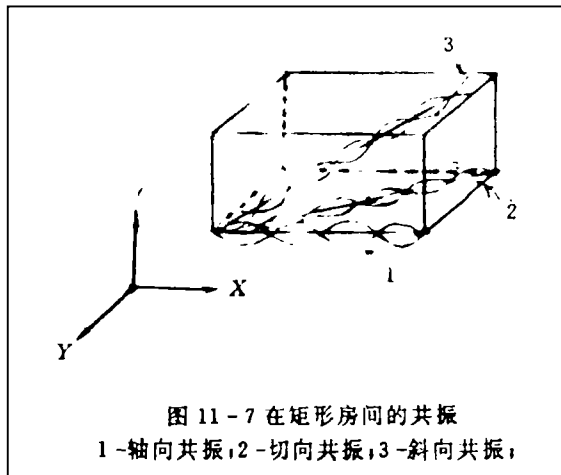


图 11-7 在矩形房间的共振
1-轴向共振,2-切向共振,3-斜向共振;

图 1 《建筑物理》教材中的图 11-7

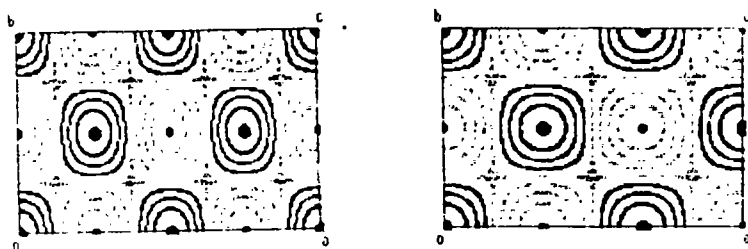
收稿日期:1994-11-10.

蔡彪,男,1937年生,副教授.

$$f_{(n_x, n_y, n_z)} = \frac{\omega_{(n_x, n_y, n_z)}}{2\pi} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2}.$$

当 $n_y = n_z = 0, n_x \neq 0$ 时, 对应一系列 x 轴向简正波; 当 $n_x = 0, n_z \neq 0, n_y \neq 0$, 对应一系列 xoy 平面的切向简正波; n_x, n_y, n_z 均不为零的叫斜向简正波.

我们用计算机绘出了 xoy 平面的切向简正方式的驻波图(图 2), 设 $L_x = 7\text{m}, L_y = 5\text{m}$.



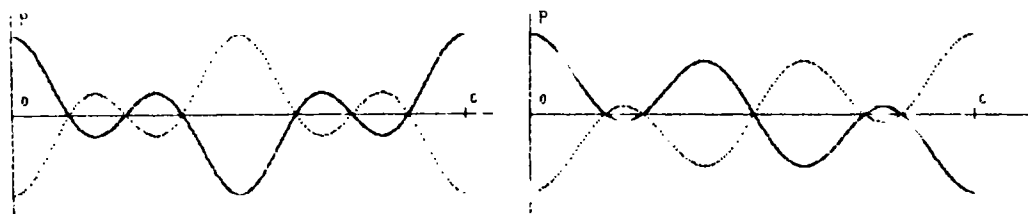
(a) $n_x=4, n_y=2, n_z=0$

(b) $n_x=3, n_y=2, n_z=0$

图 2 切向简正方式的声压振幅的等值线图

图 2 中 o 取作坐标原点, oa 沿 x 方向, ob 沿 y 方向, $oacb$ 为 xoy 平面或与之平行的平面. 各等值线由外向里, $\frac{p}{p_m}$ 的值分别为 0.25、0.50、0.75、1.0, 直线为波节(为了作图方便, 均取有一定偏差 Δp), 深色等值线和浅色等值线反相.

图 1 中的切向简正波曲线, 应是图 2 中 oc 连线上声压振幅的分布(原书图 11-7 是表示位移振幅分布, 只需将相位错开 $\frac{\pi}{2}$, 即波腹和波节位置对调, 便是声压振幅图; 实际上原书图 11-6 也是声压振幅图, 这符合一般习惯). 图 3 是我们算出的 oc 连线上声压振幅的分布曲线.



(a) $n_x=4, n_y=2, n_z=0$

(b) $n_x=3, n_y=2, n_z=0$

图 3 oc 连线上声压振幅的分布

为此, 我们可以看出图 1 中切向简正波曲线有三个问题:

(1) oc 一线的声压振幅的分布曲线, 除 $n_x = n_y$ 的情况外, 均不是图 1 所示形状. 例如 $n_x = 4, n_y = 2$, 如图 3(a) 所示; $n_x = 3, n_y = 2$, 如图 3(b) 所示.

(2) 图 1 中所示的切向简正波曲线, 给人们一个错误印象, 似乎在 xoy 平面的对角线上, 也可以分成某个半波长的整数倍. 实际上, 在 $f_{(n_x, n_y, 0)}$ 的所有值中, 一般并无此值, 其对应的 $\lambda_{(n_x, n_y, 0)}$ 使得 $oc = n \cdot \lambda_{(n_x, n_y, 0)} / 2$ (n 为正整数). 而 x 轴可分成某个半波长的整数倍, 有相应的轴向简正波的 $\lambda_{(n_x, 0, 0)}$, 使得

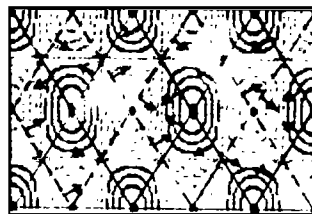
$$\overline{oa} = n \cdot \frac{\lambda_{(n_x, 0, 0)}}{2}.$$

对于 y 轴、 z 轴也是这样。

(3) 矩形房间的简正驻波可以看成四组沿一定方向传播的平面简谐波的相干迭加而得。这四组平面波的传播方向的一例如图 4 所示。其传播方向一般情况下并不沿对角线方向(除非 $n_x=n_y, n_z=0$, 且 $\overline{oa}=\overline{ob}$)。图 4 中两相邻波阵面的距离为对应的简正波长 $\lambda_{(n_x, n_y, 0)}$ 的一半。而图 1 容易造成读者的错觉, 以为切向简正波是沿平面的对角线方向传播的。

对于斜向波, 只需将上述二维论述扩大到三维就可以了。可以发现, 图 1 中的斜向简正波的图示, 同样有上述类似的问题。

本来, 教材作者画出图 1, 是想给读者关于切向简正波、斜向简正波的一般印象, 但从以上分析可以看出, 这种画法, 却给读者一个不正确的印象, 所以这个图是不妥当的。



$$n_x=5, n_y=2, n_z=0$$

图 4 矩形房间的简正驻波可以看成由四组沿一定方向传播的平面简谐波相干迭加而得

参 考 文 献

- 1 西安冶金学院等四校. 建筑物理(第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1987, 230
- 2 杜功焕等. 声学基础(下). 上海: 上海科学技术出版社, 1981, 182~188
- 3 马大猷等. 声学手册. 北京: 科学出版社, 1981, 491~493

A Discussion for Figure 11-7 in “Architectural Physics”

Cai Biao

Abstract Figure 11-7 in “Architectural Physics” which easily make students misunderstand in two-dimensional normal mode and three-dimensional normal mode is discussed by simulated calculation and analyses.

Key words Two-dimensional normal mode; Three-dimensional normal mode