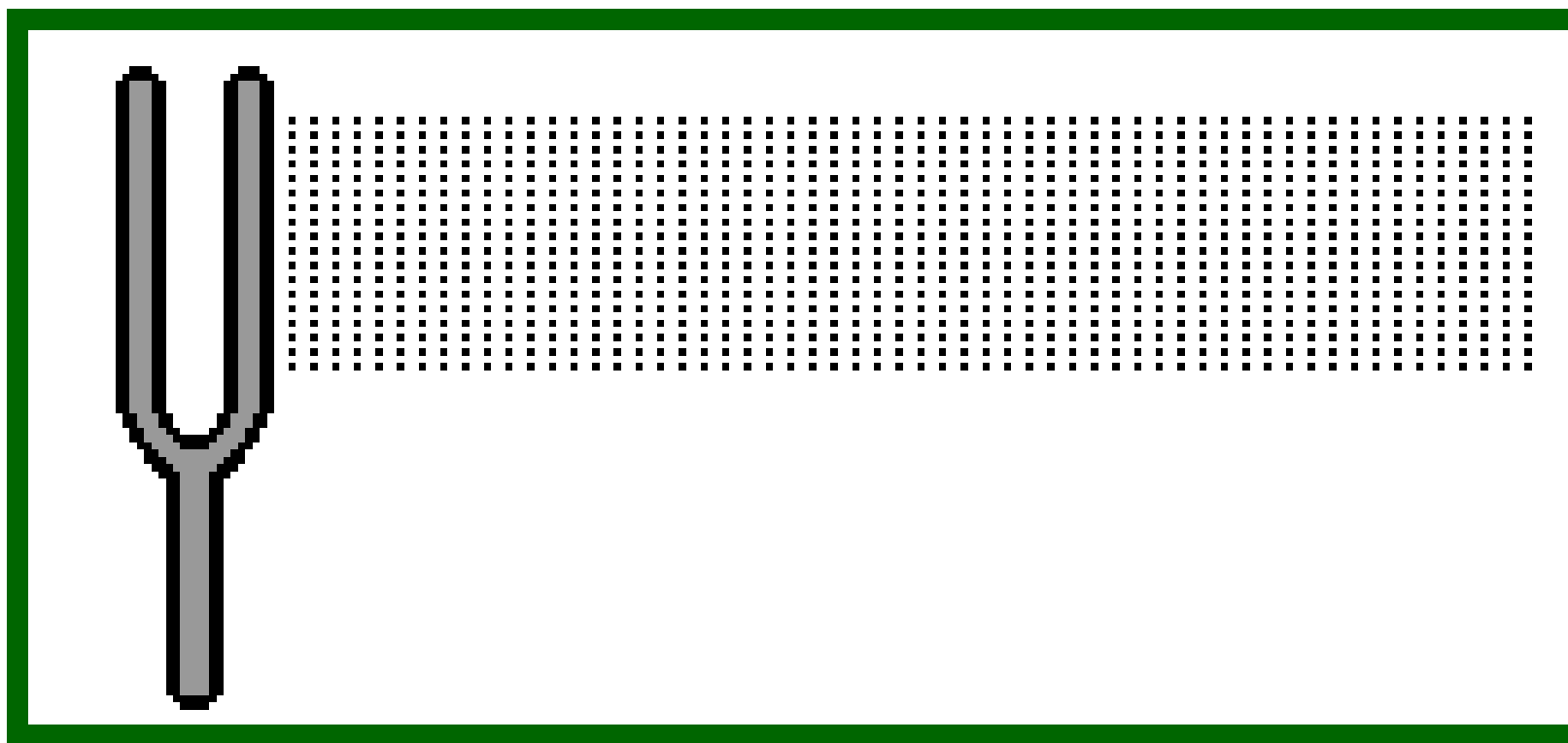


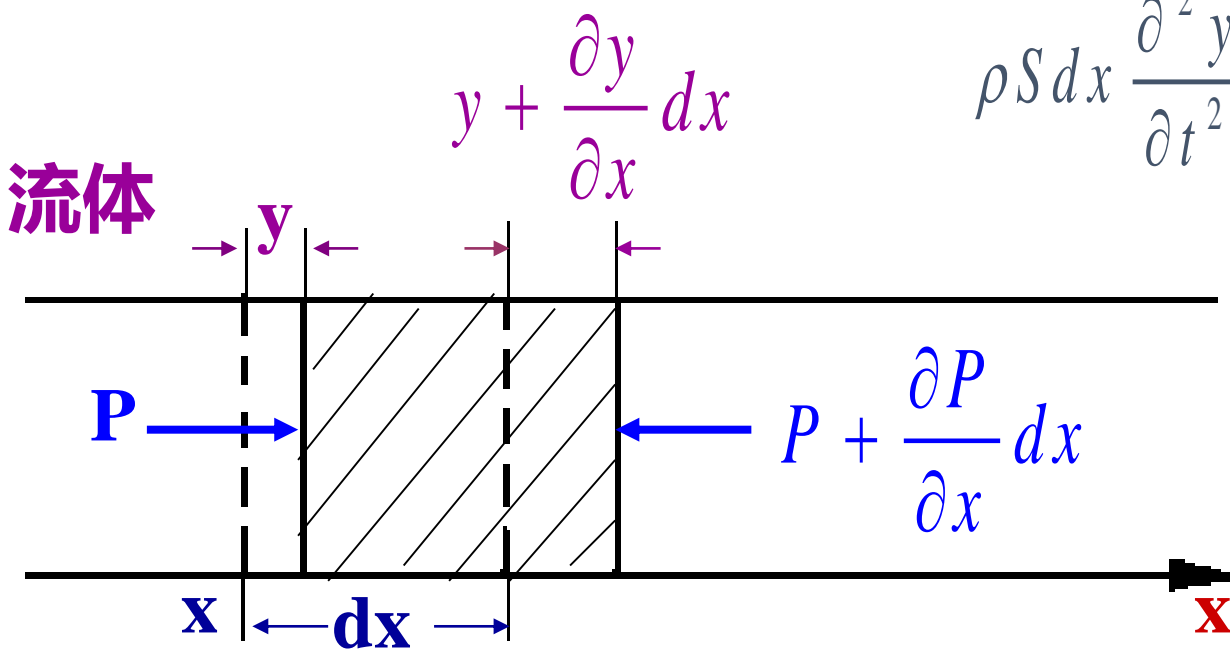
7.8 声波



对**声波** (sound wave) 要求搞清声压、声强、声级等概念。

声压 (sound pressure), ΔP

$$P = P_0 + \Delta P$$



流体

$y + \frac{\partial y}{\partial x} dx$

y

P

$P + \frac{\partial P}{\partial x} dx$

x

dx

x

平面声波沿x轴传播

$$\rho S dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = SP - S \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right)$$
$$= -S \frac{\partial P}{\partial x} dx$$
$$= -S \frac{\partial (\Delta P)}{\partial x} dx$$

即

$$\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = - \frac{\partial (\Delta P)}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{S \frac{\partial y}{\partial x} dx}{S dx} = \frac{\partial y}{\partial x}$$

$$\Delta P = -K \frac{\Delta V}{V} = -K \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\Delta P)}{\partial x} = -K \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (3)$$

(3)代入(1):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (4)$$

这就是流体中平面声波的波动方程，由此得声速为

书p. 220, (7.23)式

$$u = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (5)$$

(1)式对x求偏导数，得

$$\frac{\partial^3 y}{\partial t^2 \partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 (\Delta P)}{\partial x^2} \quad (6)$$

(2)式对t求两次偏导数，得

$$\frac{\partial^2 (\Delta P)}{\partial t^2} = -K \frac{\partial^3 y}{\partial t^2 \partial x} \quad (7)$$

由(6)、(7)式得

$$\frac{\partial^2 (\Delta P)}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \frac{\partial^2 (\Delta P)}{\partial x^2} \quad (8)$$

声压 ΔP 也满足波动方程，就像振动位移y一样。当一处压强P在平衡压强 P_0 附近变化时，声压是以波的形式在流体中传播的，传播速度 $u = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ 即声速。

气体 (参考: 书p. 345, 例10.6)

等温过程

$$PV = C$$

$$VdP + PdV = 0$$

$$K_{\text{等温}} = -V \frac{dP}{dV} = P$$

$$u = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

绝热过程

$$PV^\gamma = C$$

$$V^\gamma dP + \gamma PV^{\gamma-1} dV = 0$$

$$VdP + \gamma PdV = 0$$

$$K_{\text{绝热}} = -V \frac{dP}{dV} = \gamma P$$

$$u = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

起初牛顿认为声波的传播是等温过程， $PV = \text{常量}$ ，或

$$P/\rho = \text{常量}, \quad u = \sqrt{\frac{P}{\rho}} = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}} = 298.4 \text{ m/s}$$

1816年法国数学家拉普拉斯(P.S.M. Laplace)指出了牛顿的错误，认为声波传播很快，来不及与外界交换热量，应视作绝热过程。

利用 $u = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ 计算， $\gamma = 1.4$ ，

$$M = 0.029 \text{ Kg/mol}, \quad T = 273.15 \text{ K}, \quad R = 8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)},$$

可求得0°C干燥空气中的声速为331.0m/s，与实验测得结果(331.5 m/s)很好地符合。

平面简谐声波

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{u} \right)$$

由(2) 式得

$$\Delta P = -K \frac{\partial y}{\partial x} = -K \frac{\omega}{u} A \sin \omega \left(t - \frac{x}{u} \right) = -\rho u \omega A \sin \omega \left(t - \frac{x}{u} \right)$$

声压振幅: $p_m = \rho u A \omega$

声强

(intensity of sound)

$$I = \frac{1}{2} \rho u \omega^2 A^2$$

$$I = \frac{1}{2} \frac{p_m^2}{\rho u} = \frac{p_m^2}{2Z}$$

标准声强: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

(在1000Hz下, 这个声强人能够勉强听到)

声级

$$L = \lg \frac{I}{I_0} (\text{Bel}) = 10 \lg \frac{I}{I_0} (\text{dB})$$

(sound intensity level)

正常说话~60dB, 噪声>70dB, 炮声~120dB。

例7.10 两人轻声说话时声强级约为40分贝, 热闹市场中的声强级约为80分贝, 所以热闹市场中的声强是两人轻声谈话时的声强的_____倍。

A. 2

B. 10

C. 10^2

D. 10^4

解: $40 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0}$ $80 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0}$

$$\Rightarrow I_1 = 10^4 I_0$$

$$I_2 = 10^8 I_0$$

$$\Rightarrow I_2 = 10^4 I_1$$

选D。

例7.11 两声波的振幅相同，频率各为 ω_1 、 ω_2 ，则二者强度之比是_____。

A. 1:1

B. $\omega_1:\omega_2$

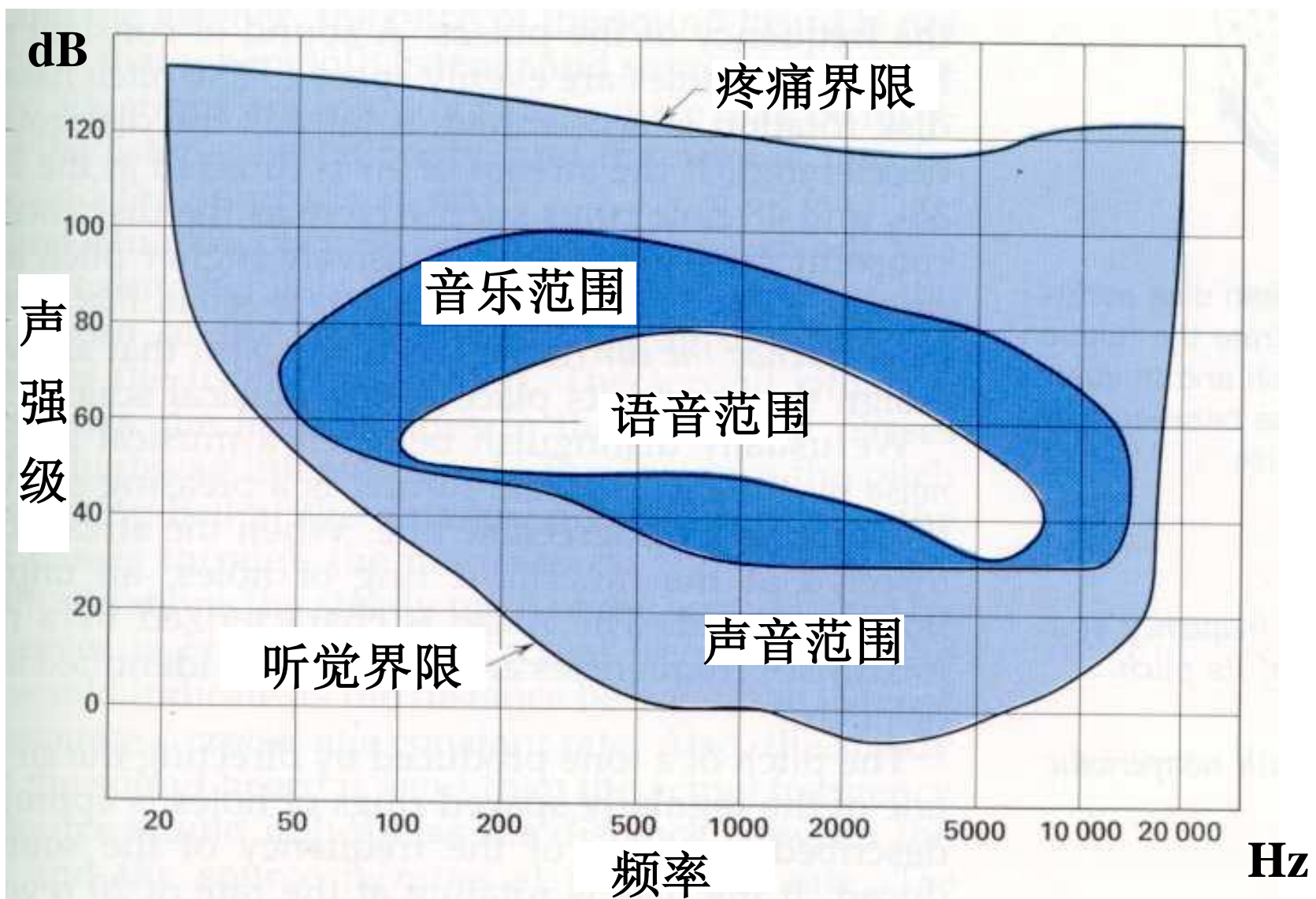
C. $\omega_1^2 : \omega_2^2$

D. $\omega_2:\omega_1$

解：

$$I = \frac{1}{2} \rho u \omega^2 A^2$$

选C。



声 阈

不同人群的发声频率

人群↵	频率范围/赫兹↵	人群↵	频率范围/赫兹↵
男低音↵	82-293↵	女低音↵	164-696↵
男中音↵	87-370↵	女中音↵	174-870↵
男高音↵	109-435↵	女高音↵	218-1044↵

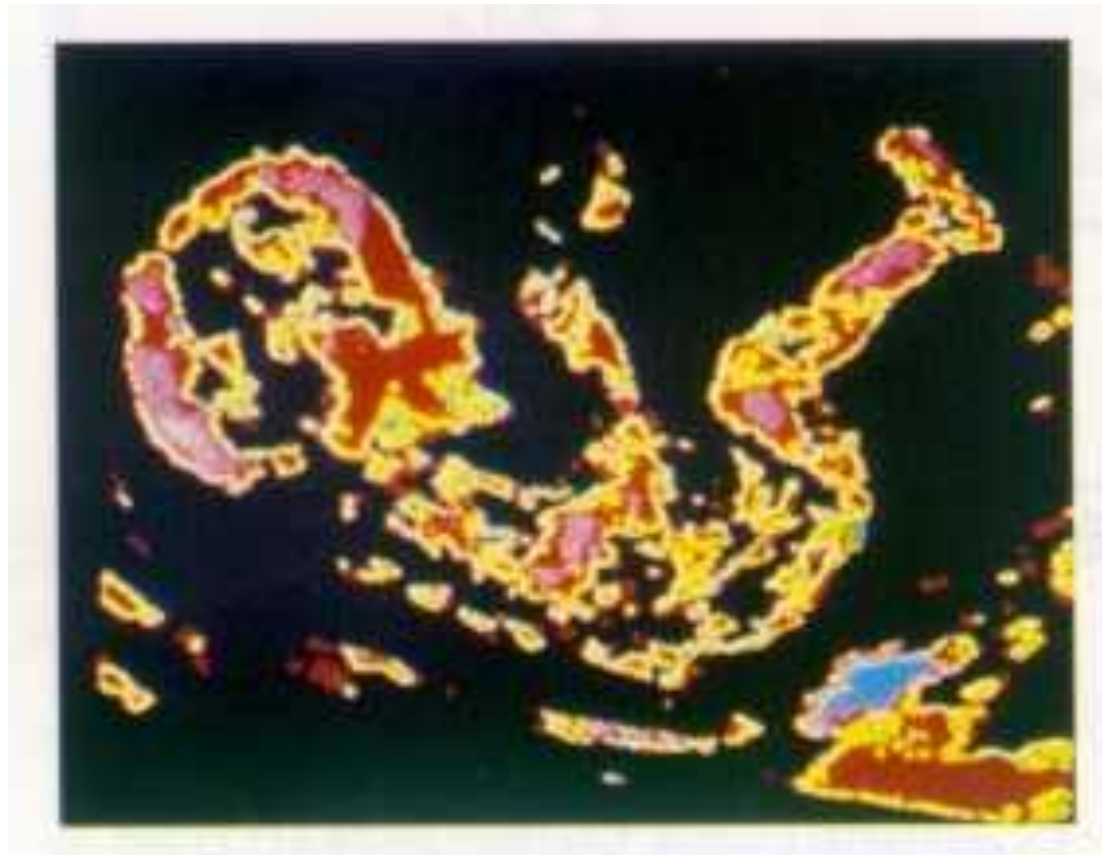
常遇声音的声强级

声 源	声 强 级 (分贝)	响 度	声 源	声强级 (分贝)	响 度
	120			60	
喷 气 飞 机		震 耳	住 宅(闹时)		正 常
	110		办公室(平均)	50	
锅 炉 工 厂			交 谈(平均)		
	100		无 线 电(轻)	40	
市 声(闹时)		极 响	住 宅(静)		轻
工 厂(较响)	90		办公室(静)	30	
卡 车			礼 堂(平均)		
警 笛	80		交 谈(轻)	20	
办公室(乱时)		响	树 叶 微 动		极 轻
市 声(平均)	70		细 语	10	
无 线 电(平均)			隔 声 房 间		
工 厂(平均)	60		闻 声 房 间	0	

超声波

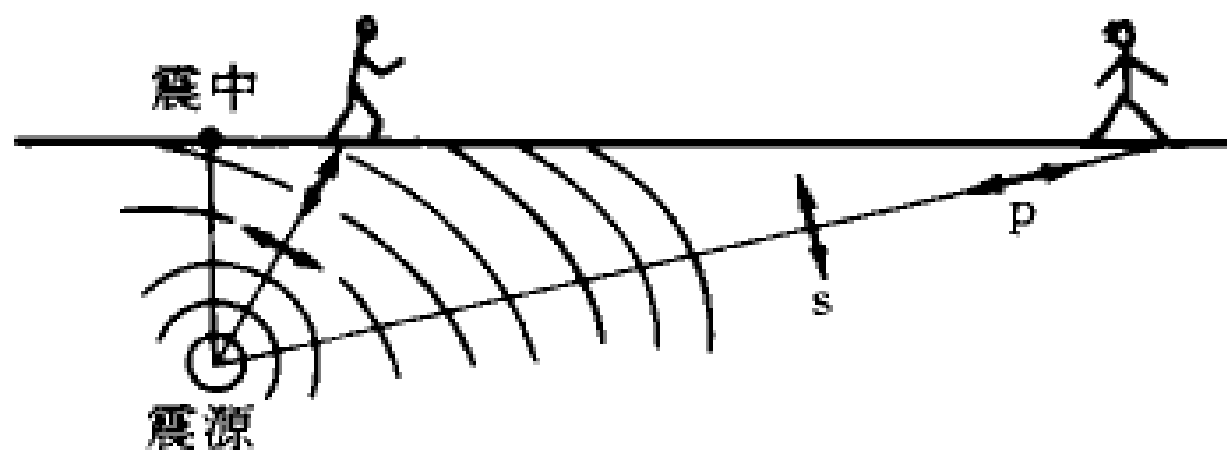
$\nu > 20000\text{Hz}$ 的声波

胎儿的超
声波影象
(假彩色)



7.9 地震波

唐山市于 1976 年发生大地震. 当地幸存者对最初震感的描述, 有说“先是上下颠簸, 接着横向筛摇”; 又有说“先是横向摇晃, 接着又来上下颠簸”. 两种感受均为实情. 原来震源同时激发纵波和横波, 记作 p 波和 s 波, 两者传播速度不同, 纵波相速大于横波相速, $v_p > v_s$. 在震中距近区域, 直达纵波震动方向几乎垂直地面, 而在震中距远区域, 首先到达的纵震动其主要成分沿水平方向.



7.10 *水波



小小的蜻蜓轻触水面，即见波澜壮阔。