

§ 11-1 机械波的产生和传播

波动是振动的传播过程。

机械波：机械振动在介质中的传播过程。

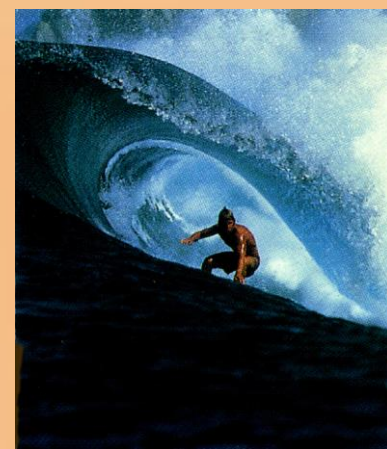
电磁波：变化的电场和变化的磁场在空间的传播过程。

1. 机械波产生的条件

波源——产生机械振动的振源

弹性介质——传播机械振动的介质

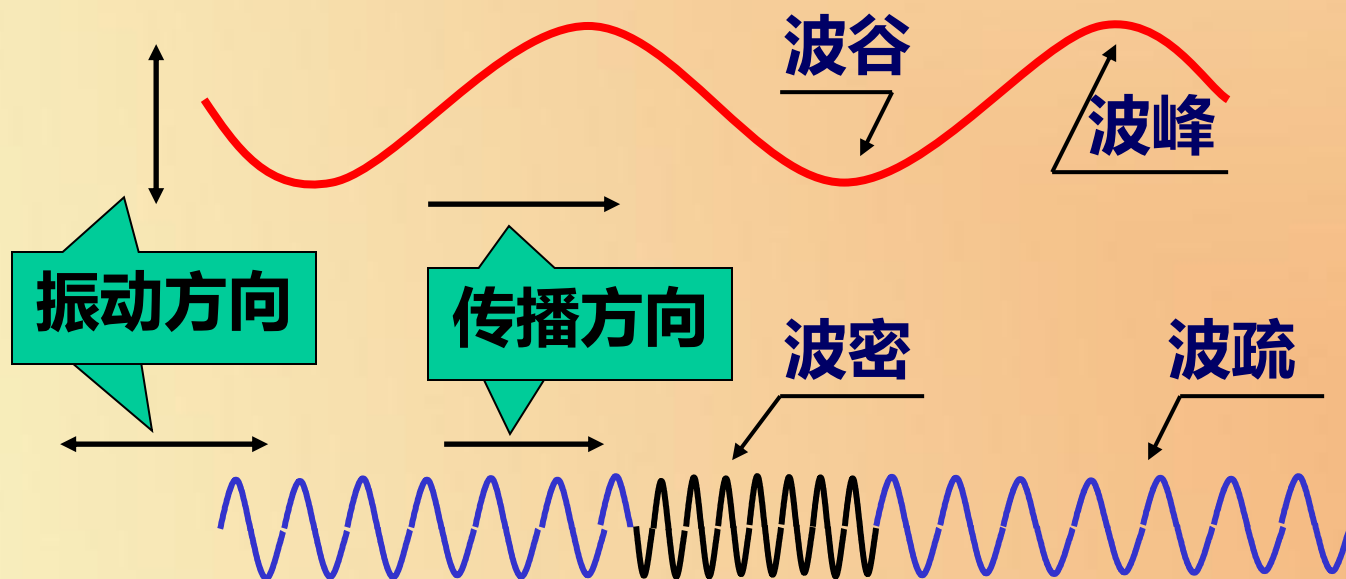
注：波动是波源的振动状态或振动能量在介质中的传播，介质的质点并不随波前进。



2. 横波和纵波

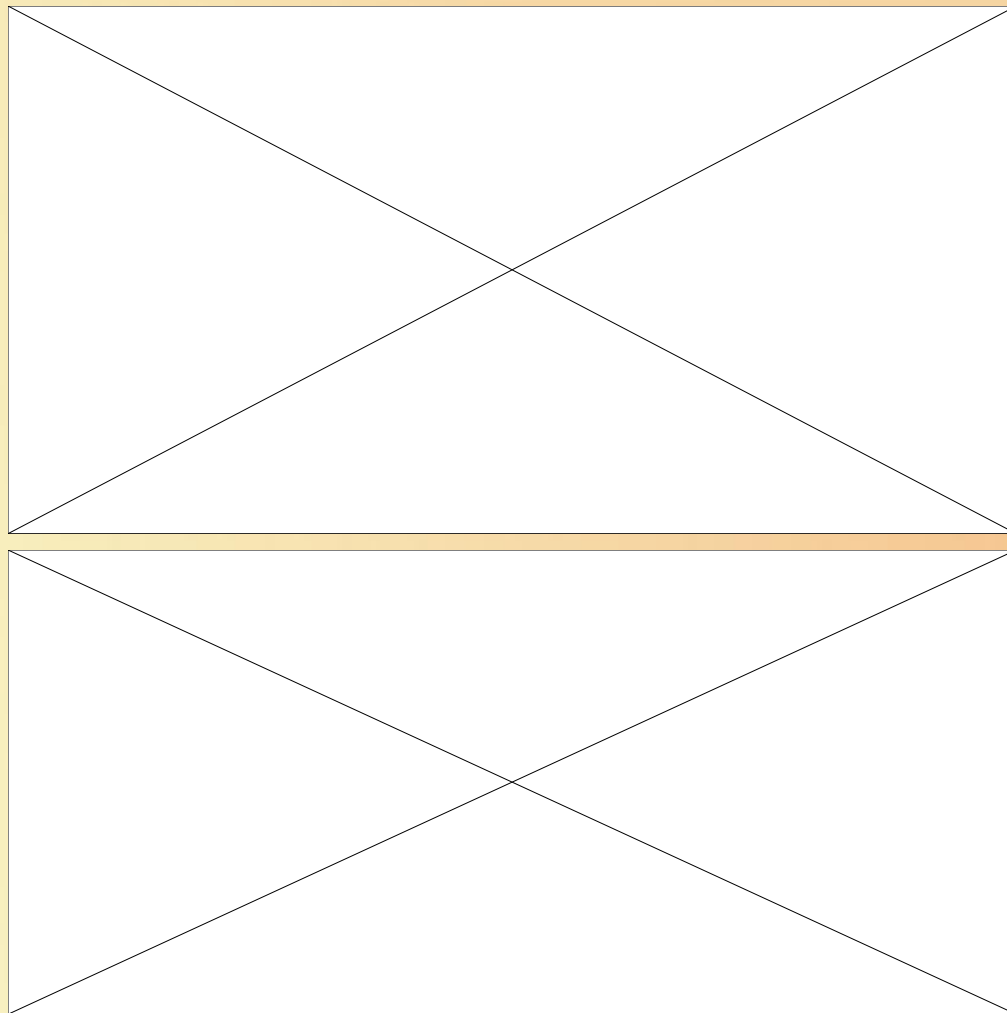
横波：质点的振动方向和波的传播方向垂直。

纵波：质点的振动方向和波的传播方向平行。



注：在固体中可以传播横波或纵波，在液体、气体(因无剪切效应)中只能传播纵波。

纵波和横波的传播过程：



当波源作简谐振动时，介质中各个质点也作简谐振动，这时的波动称为简谐波(正弦波或余弦波)。

3. 波阵面和波射线

波阵面：在波动过程中，把振动相位相同的点连成的面(简称波面)。

波前：在任何时刻，波面有无数多个，最前方的波面即是波前。波前只有一个。

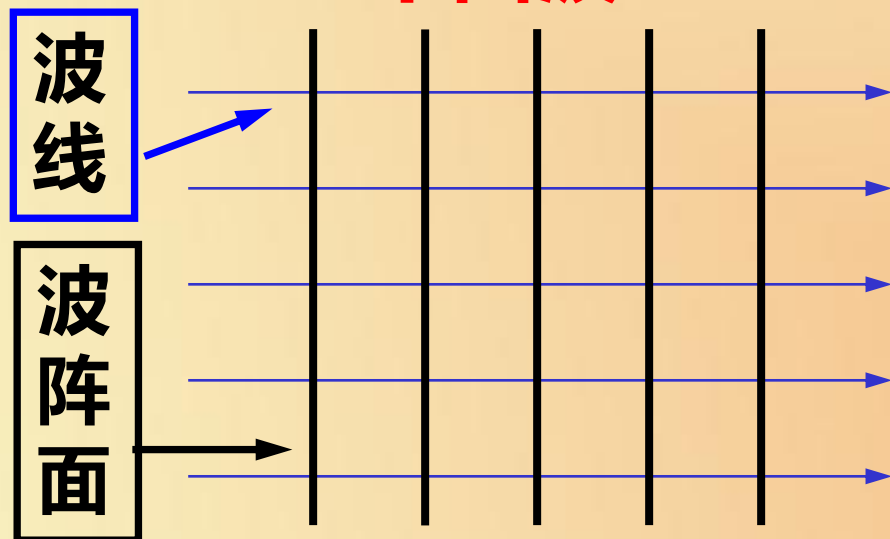
波线：沿波的传播方向作的一些带箭头的线。波线的指向表示波的传播方向。

平面波：波面为平面

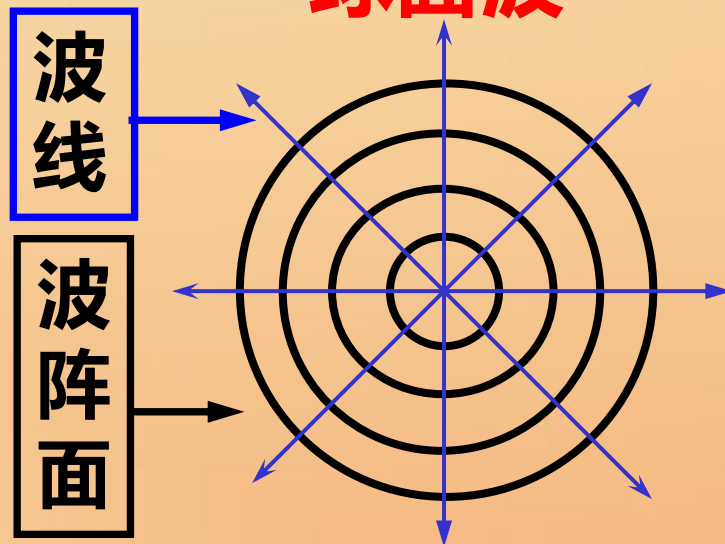
球面波：波面为球面

柱面波：波面为柱面

平面波



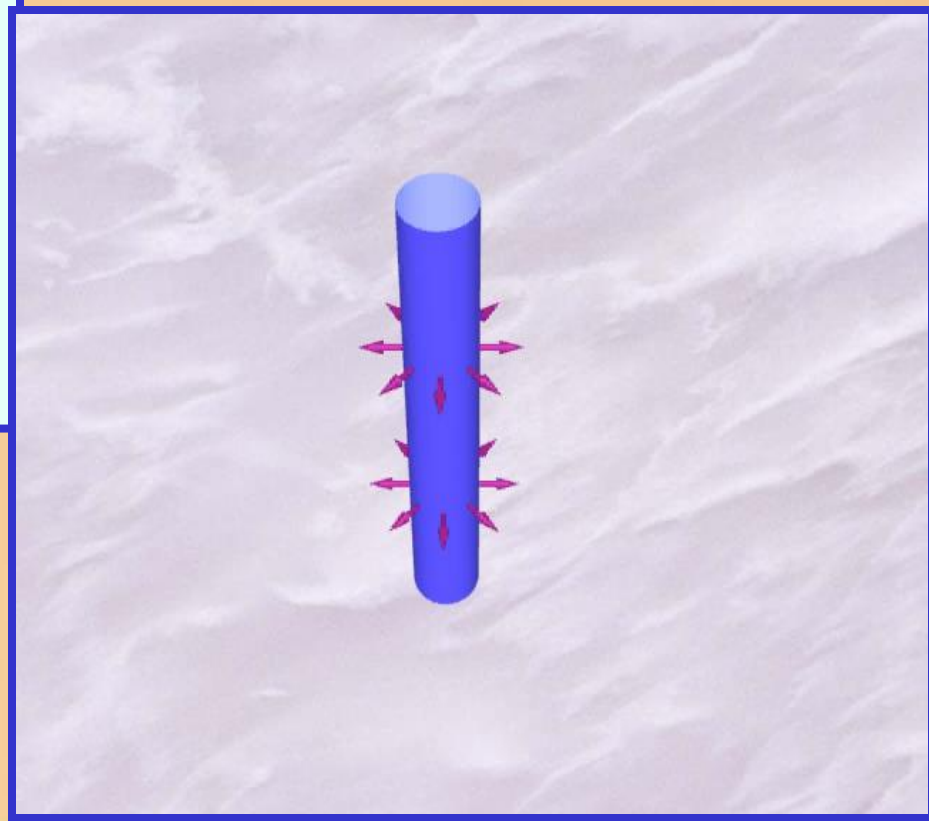
球面波



注：

- 1、在各向同性介质中传播时，波线和波阵面垂直。
- 2、在远离波源的球面波波面上的任何一个一小部份，都可视为平面波。

球面波、柱面波的形成过程：



4. 波的传播速度

波速：单位时间内一定的振动状态所传播的距离，用 v 表示，是描述振动状态在介质中传播快慢程度的物理量， 的值通常取决于介质的弹性和质量密度。

基本概念

f — 正压力

S — 受力面积

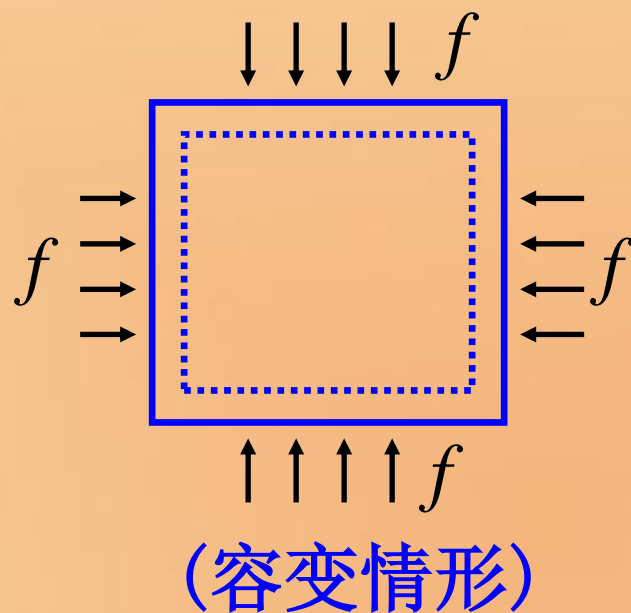
V — 受力前立方体的体积

V' — 受力后立方体的体积

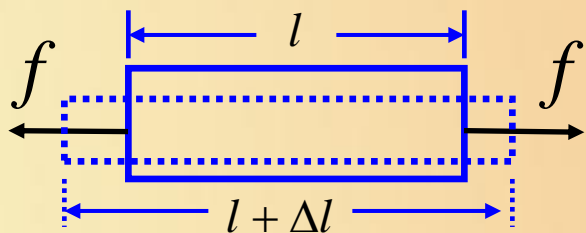
$\Delta V = V' - V$ — 体积的增量

$p = f / S$ — 应力或胁强

$\Delta V / V$ — 应变或胁变



体变模量 $B = -\frac{p}{\Delta V/V}$ (对于流体 $B = -\frac{1}{V} \frac{\partial p}{\partial V}$)



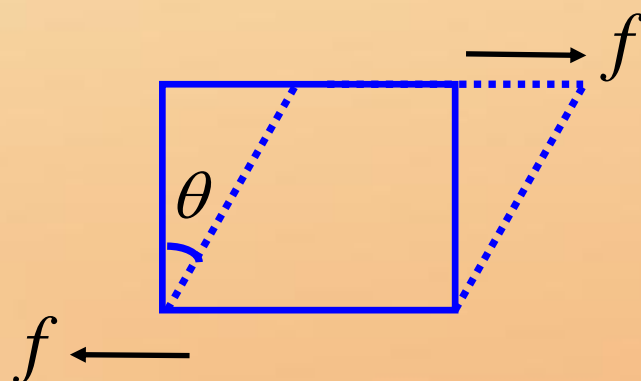
(长变情形)

S — 横截面积

$\Delta l/l$ — 应变或胁变

$\sigma = f/S$ — 应力或胁强

杨氏模量 $Y = -\frac{f/S}{\Delta l/l}$



(切变情形)

f — 切向力

S — 柱体底面积

切变模量 $G = -\frac{f/S}{\theta}$

流体中传播声速 $u = \sqrt{B/\rho}$

对于理想气体，有 $u = \sqrt{\gamma RT/M}$, T 分别为理想气体的摩尔质量，比热容比，普适气体常数，热力学温度。

液体的表面可出现有重力和表面张力所引起的表面波，其速度计算式为：

$$u = \sqrt{\left(\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi T}{\rho\lambda} \right) \text{th} \frac{2\pi h}{\lambda}}$$

| | | |
|----------------|---------------|-------------|
| h — 液体深度 | T — 表面张力系数 | g — 重力加速度 |
| λ — 波长 | ρ — 液体密度 | th — 双曲正切函数 |

浅水波($h \ll \lambda$) $u = \sqrt{gh}$

深水波($h \gg \lambda$) $u = \sqrt{g\lambda/2\pi}$

固体介质中的横波和纵波声速表达式:

横波 $u = \sqrt{G/\rho}$ 纵波 $u = \sqrt{Y/\rho}$

柔软细索和弦线中横波的传播速度:

横波 $u = \sqrt{F/\mu}$

F — 细索或弦线中张力

μ — 细索或弦线单位长度的质量

5. 波长和频率

波长：在同一条波线上，相差为 2π 的质点间的距离。

周期：传播一个波长距离所用的时间。

频率：周期的倒数。

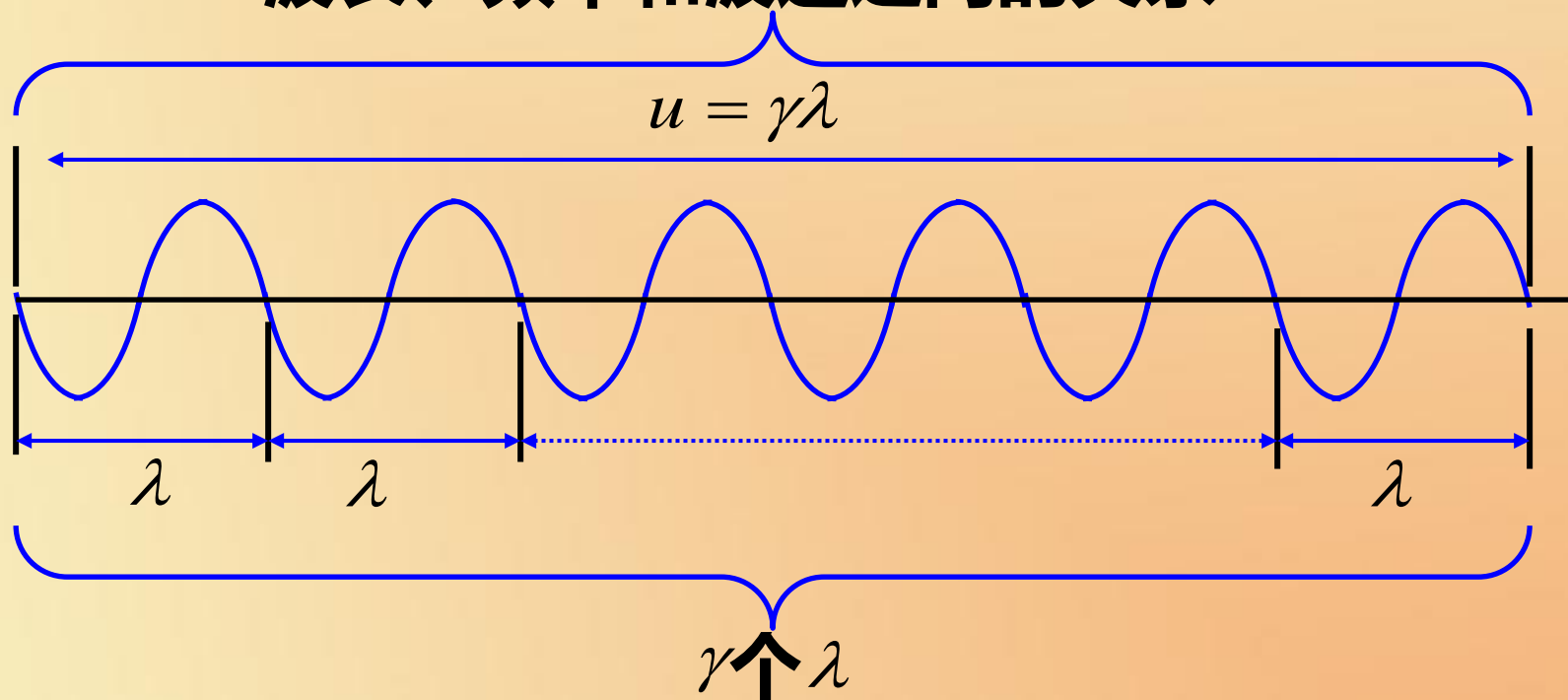
频率和周期只决定于波源，和介质种类无关。

波速、周期和波长之间存在如下关系：

$$u = \frac{\lambda}{T} = \gamma \lambda$$

| | | | |
|-----|-----|-----------|-----|
| u | —波速 | λ | —波长 |
| T | —周期 | γ | —频率 |

波长、频率和波速之间的关系



当波长远大于介质分子间的距离时，宏观上介质可视为是连续的；若波长小到分子间距尺度时，介质不再具备连续性，此时不能传播弹性波。

弹性波在介质中传播时存在一个**频率上限**。

例11-1 频率为3000Hz的声波，以1560m/s的传播速度沿一波线传播，经过波线上的A点后，再经13cm而传至B点。求(1) B点的振动比A点落后的时间。(2) 波在A、B两点振动时的相位差是多少？(3) 设波源作简谐振动，振幅为1mm，求振动速度的幅值，是否与波的传播速度相等？

解 (1) 波的周期 $T = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{3000} \text{ s}$

波长 $\lambda = \frac{u}{\gamma} = \frac{1.56 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{3000 \text{ s}^{-1}} = 0.52 \text{ m} = 52 \text{ cm}$

B点比A点落后的时间为

$$\frac{0.13 \text{ m}}{1.56 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = \frac{1}{12000} \text{ s} \quad \text{即} \quad \frac{T}{4}。$$

(2) A、B 两点相差 $\frac{13}{52} = \frac{\lambda}{4}$ ，B 点比 A 点落后的相差为

$$\frac{\lambda}{4} \times 2\pi = \frac{\pi}{2}$$

(3) 振幅 $A=1\text{mm}$ ，则振动速度的幅值为

$$\begin{aligned} v_m &= A\omega = 0.1\text{cm} \times 3000\text{s}^{-1} \times 2\pi \\ &= 1.88 \times 10^3 \text{ cm/s} = 18.8\text{m/s} \end{aligned}$$

振动速度是交变的，其幅值为 18.8m/s ，远小于波速。