

## 第十章 波动

### 第1节 《机械波的几个概念》

- 一 了解简谐波的特征.
- 二 理解描述简谐波的各物理量的意义及各量间的关系.



### 10-1 机械波的几个概念：

上一章的振动和本章波动的关系：

波动——振动的传播

振动——波动的成因

与波动有关的图像





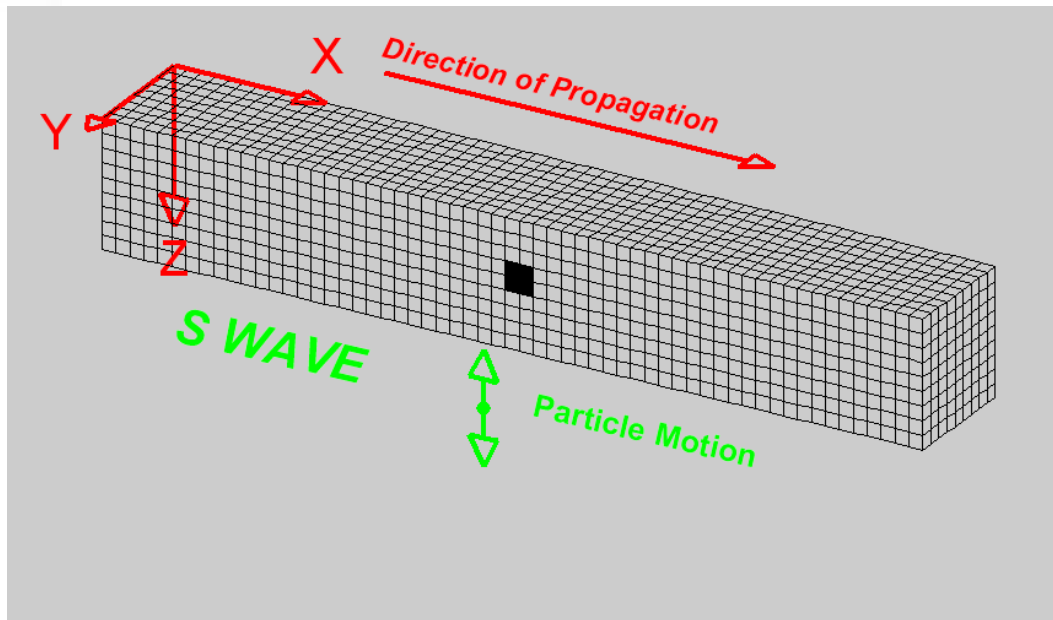
## 10-1 机械波的几个概念



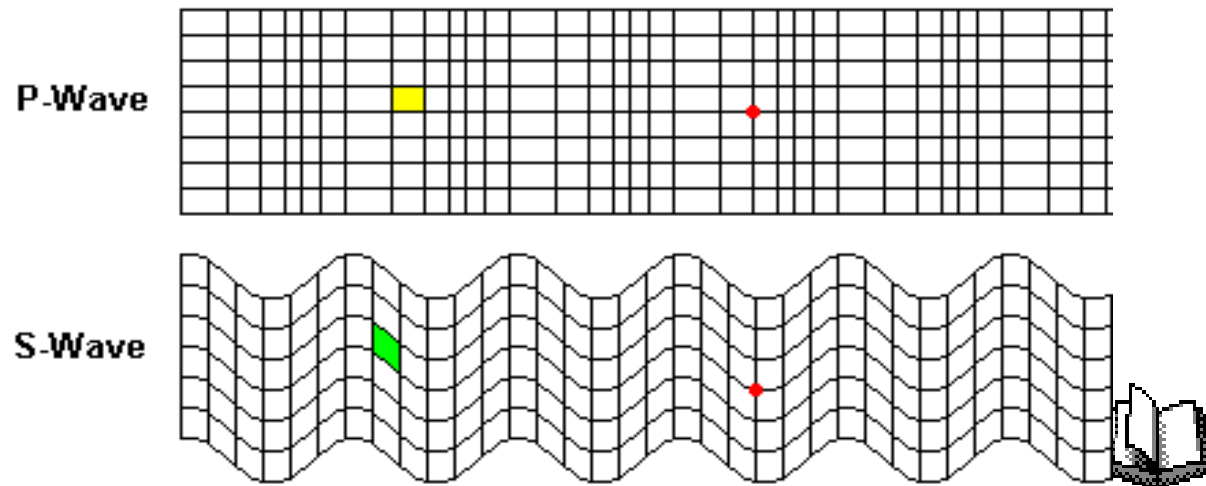
足球  
比赛  
中的  
人浪



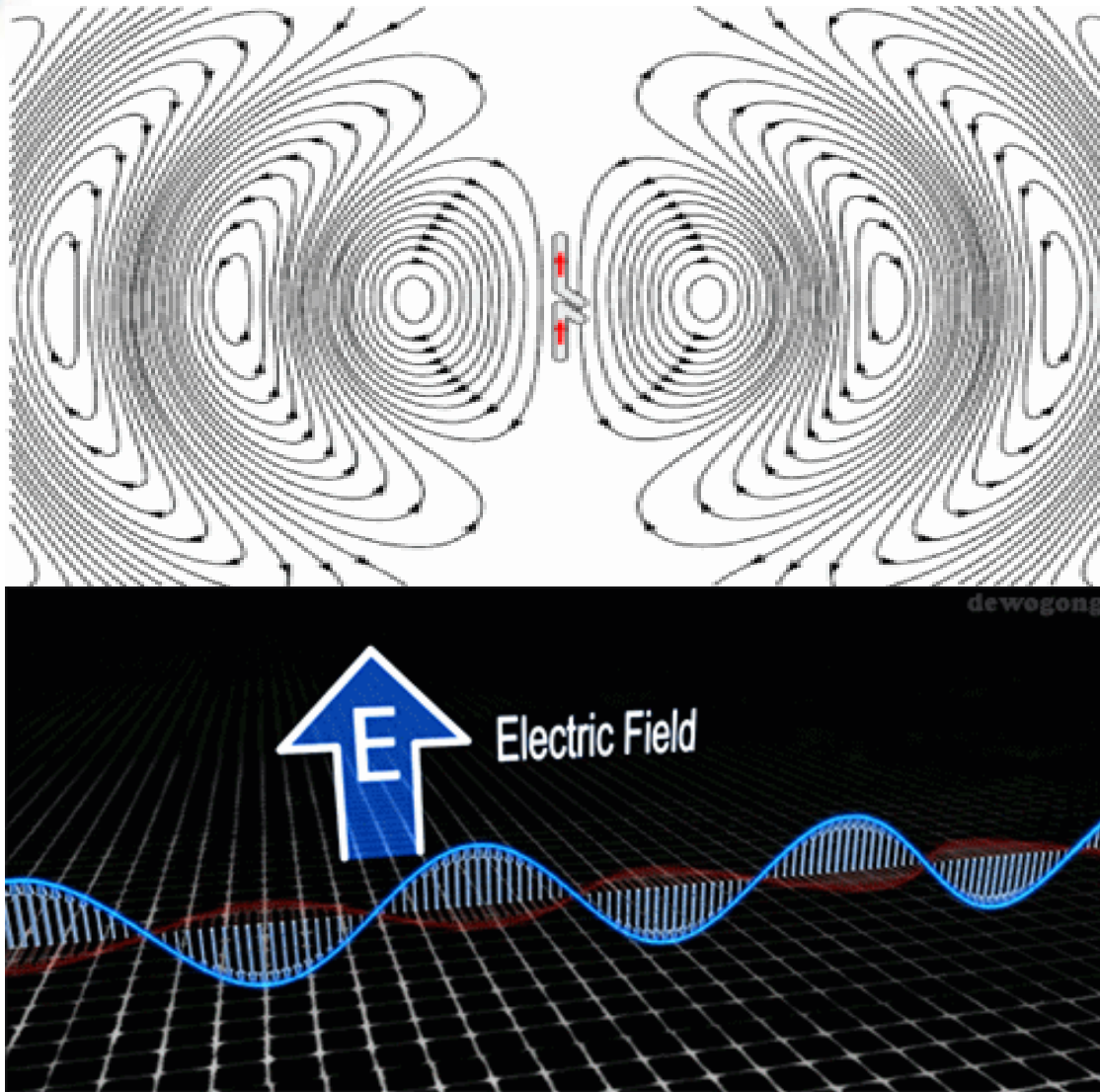
## 10-1 机械波的几个概念



### 地震波



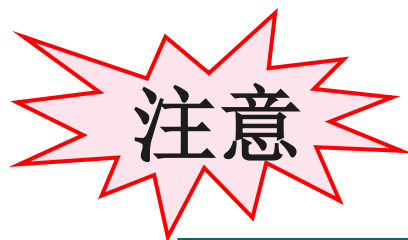
## 电 磁 波



### 一 机械波的形成

**1 波源** 作机械振动的物体  
(声带、乐器等)

**2 介质** 能传播机械振动的媒质  
(空气、水、钢铁等)



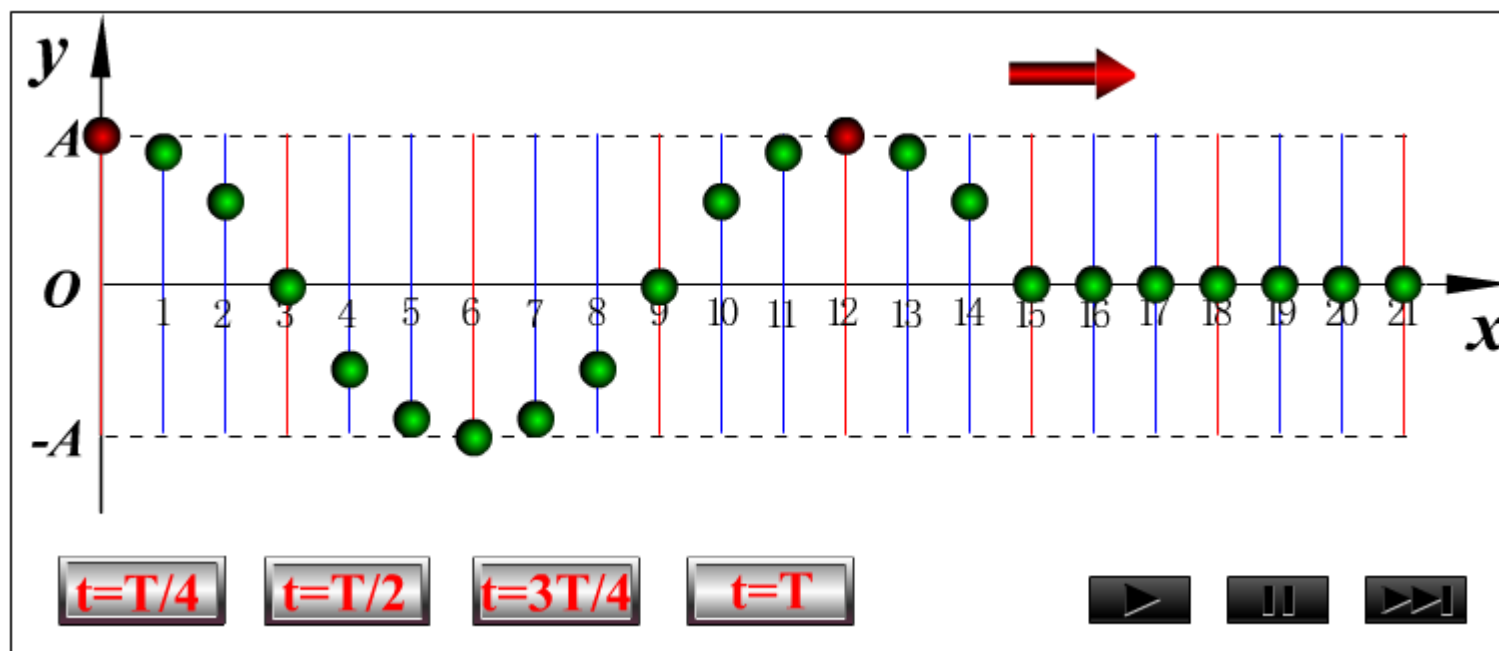
波是运动状态的传播，介质的质点并不随波传播。





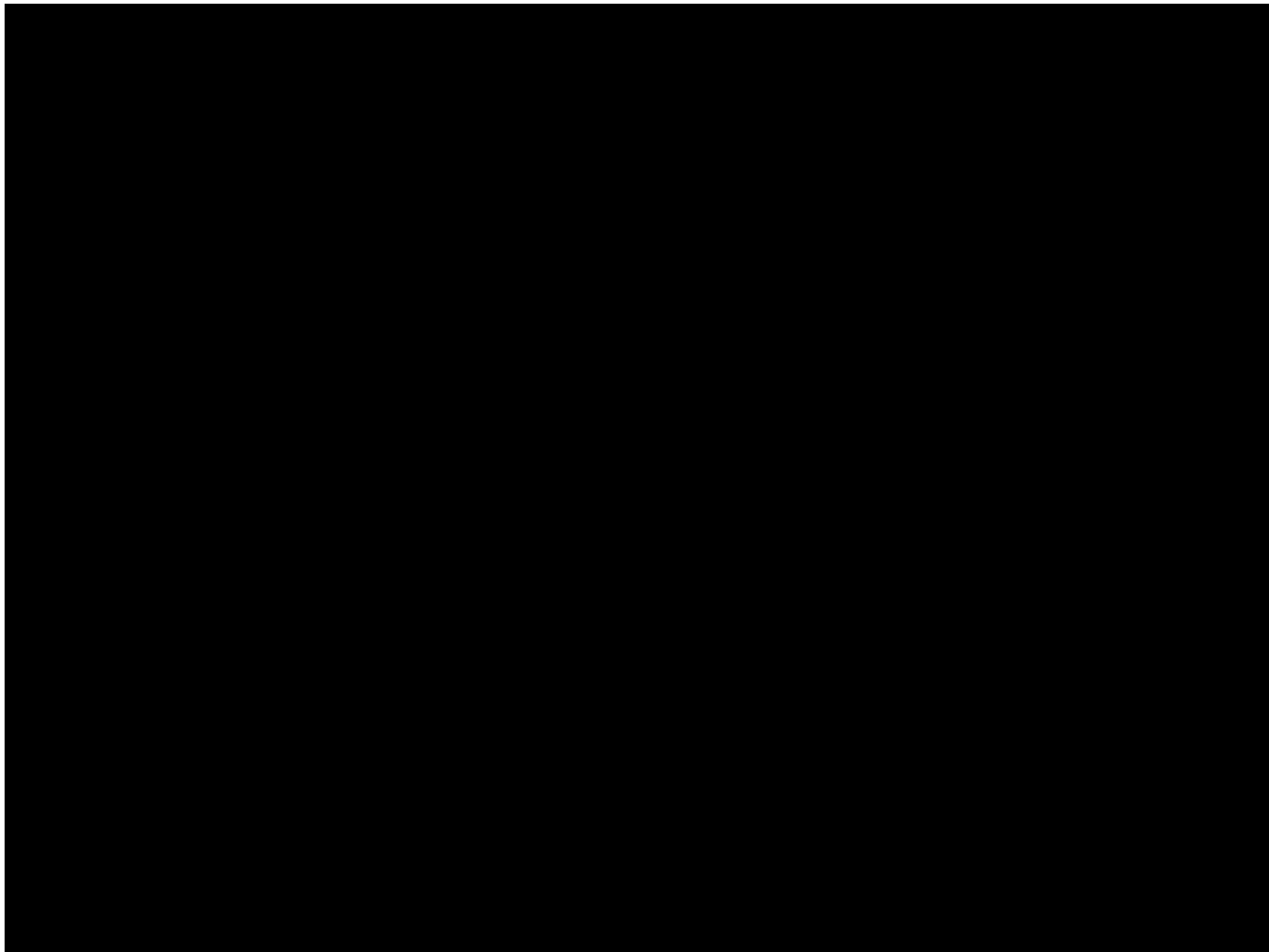
## 二 横波与纵波

### 1 横波





# 10-1 机械波的几个概念





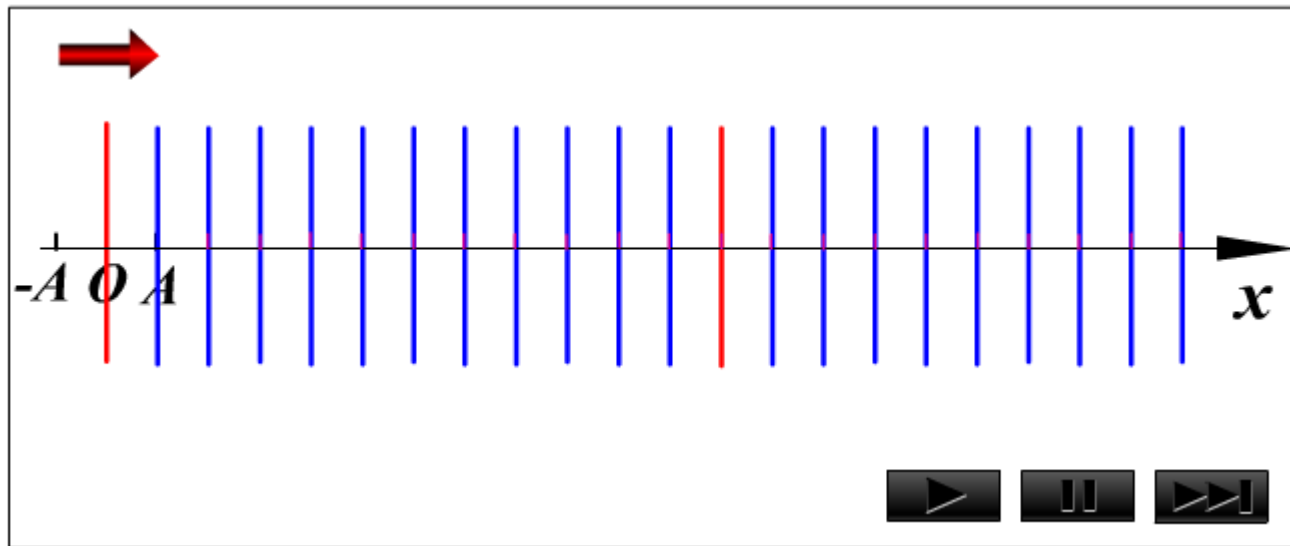
**特点：** 波传播方向上各点的振动方向与波传播方向垂直

### 2 纵波（又称疏密波）

例如： 弹簧波、 声波



## 纵波



特点：质点的振动方向与波传播方向一致



### 3 复杂波

例如：地震波

特点：复杂波可分解为横波和纵波的合成

### 简谐波

特点：波源及介质中各点均作简谐振动

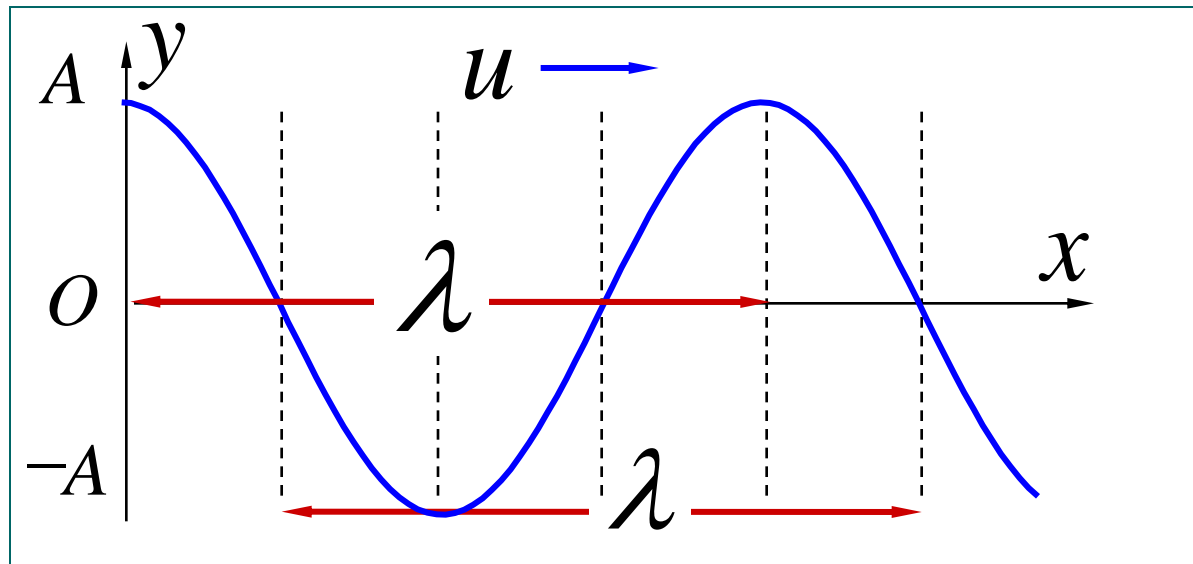
（本章研究对象）



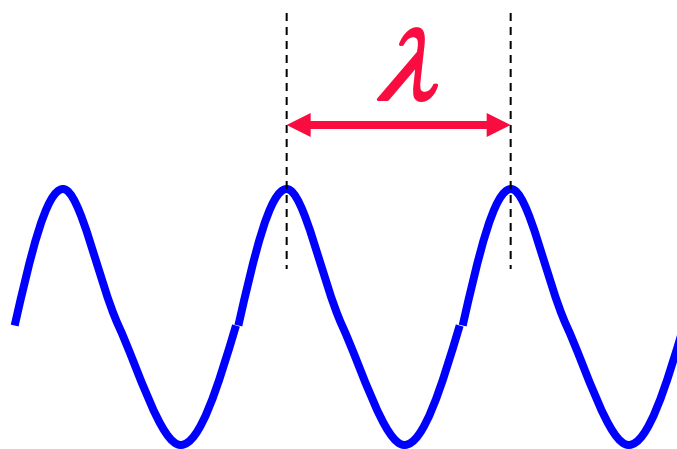
## 三 波长 波的周期和频率 波速

### 1 波长 $\lambda$

波传播方向上相邻两振动状态完全相同的质点间的距离（一完整波的长度）。



**横波：** 相邻 波峰——波峰      波谷——波谷



**纵波：** 相邻 波疏——波疏      波密——波密





## 2 周期 $T$

波传过一波长所需的时间，或一完整波通过波线上某点所需的时间。

$$T = \lambda / u$$

## 3 频率 $\nu$

单位时间内波向前传播的完整波的数目。（1s内向前传播了几个波长）



## 4 波速 $u$

波在介质中传播的速度

例如，声波在空气中  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

水 中  $1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

钢铁中  $5000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

决定于介质的弹性（弹性模量）和惯性（密度）



### 四个物理量的联系

$$\nu = 1/T \qquad u = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu \qquad \lambda = \frac{u}{\nu} = T u$$

注意

周期或频率只决定于波源的振动

波速只决定于介质的性质



**例1** 在室温下，已知空气中的声速  $u_1$  为  $340 \text{ m s}^{-1}$ ，水中的声速  $u_2$  为  $1\,450 \text{ m s}^{-1}$ ，求频率为  $200 \text{ Hz}$  和  $2\,000 \text{ Hz}$  的声波在空气中和水中的波长各为多少？

**解** 由  $\lambda = u/v$ ，频率为  $200 \text{ Hz}$  和  $2\,000 \text{ Hz}$  的声波在空气中的波长

$$\lambda_1 = \frac{u_1}{v_1} = \frac{340}{200} \text{ m} = 1.7 \text{ m}$$



$$\lambda_2 = \frac{u_1}{v_2} = 0.17 \text{ m}$$

在水中的波长

$$\lambda'_1 = \frac{u_2}{v_1} = \frac{1\,450}{200} \text{ m} = 7.25 \text{ m}$$

$$\lambda'_2 = \frac{u_2}{v_2} = 0.725 \text{ m}$$







**例2** 假如声波在空气中的传播过程可看作绝热过程.

**(1)** 若视空气为理想气体, 试证声速  $u$  与压强  $p$  的关系为  $u = \sqrt{\gamma p / \rho}$  , 与温度  $T$  的关系为  $u = \sqrt{\gamma RT / M}$  . 式中  $\gamma = C_p / C_V$  为气体的摩尔热容之比,  $\rho$  为密度,  $R$  为摩尔气体常数,  $M$  为摩尔质量.

**(2)** 求  $0^{\circ}\text{C}$  和  $20^{\circ}\text{C}$  时, 空气中的声速.  
(空气的  $\gamma = 1.4, M = 2.89 \times 10^{-2} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  )



已知:绝热过程, 证  $u = \sqrt{\gamma p / \rho}$ ,  $u = \sqrt{\gamma RT / M}$   
求  $0^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  时的声速

**解 (1)** 气体中纵波波速为  $u = \sqrt{K/\rho}$   
式中体积模量  $K$  被定义为压强增量  $dp$  与体积应变  $(dV/V)$  的比, 即

$$K = -V \frac{dp}{dV}$$

负号表示压强增大 (减小) 时体积缩小 (增大)



由理想气体绝热方程  $pV^\gamma = \text{常量}$

取微分，得  $\gamma p V^{\gamma-1} dV + V^\gamma dp = 0$

$$\frac{dp}{dV} = -\frac{\gamma p}{V} \longrightarrow K = \gamma p \longrightarrow u = \sqrt{\gamma p / \rho}$$

$$\text{又 } \rho = \frac{Mp}{RT} \longrightarrow u = \sqrt{\gamma RT / M}$$



## (2) 0°C时空气中声速

$$u = \sqrt{\frac{1.4 \times 8.31 \times 273}{2.89 \times 10^{-2}}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 331 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

## 20°C时声速

$$u = \sqrt{\frac{1.4 \times 8.31 \times 293}{2.89 \times 10^{-2}}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



### 四 波线 波面 波前

#### 1 波射线（波线）

波的传播方向

#### 2 波阵面（波前）

振动相位相同的点组成的面称为波阵面

任一时刻  $t$  波源最初振动状态在各方向上传到的点的轨迹. 波前是最前面的波阵面





### 性质

- (1) 同一波阵面上各点振动状态相同.
- (2) 波阵面的推进即为波的传播.
- (3) 各向同性介质中，波线垂直于波阵面.



分类 (1) 平面波

(2) 球面波

