

# 第五章 流体波动

**章节引言** 波动是流体运动的一种重要形式，尤其是地球物理流体力学和大气动力学中的一种最重要的运动形式，例如有重力水面波等。

## 5.1 波动的基本概念

**物理定义** 波动是指扰动(各种物理量的扰动)在空间的传播，这种扰动传播具有在时间、空间上的双重周期性。例如弹簧振子的质量、温度、速度等物理量的传播。流体的波动，是流体微团由于受到力的作用，偏离平衡位置，并围绕某个平衡位置产生振动，震动在空间传播形成。

### 5.1.1 波动的数学模型

**一维水面波** 水面受到干扰后，水面发生起伏不平的变化。水面高度 $h$ 与空间 $x$ 、时间 $t$ 的函数为：

$$h(x, t) = H + h'(x, t) \text{ 水面扰动高度 且为微扰动: } \frac{|h'(x, t)|}{H} = \frac{|h(x, t) - H|}{H} \ll 1$$

扰动高度是一个波动函数正弦波的形式：有简谐振动： $\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \Rightarrow y = A \cos(\omega t - \varphi)$

一维简谐波： $y = A \cos(kx - \omega t + \varphi)$  任何物理量的扰动可以表示成波动的形式

则扰动可表示为： $h'(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \varphi_1) = A \sin(kx - \omega t + \varphi_2)$  此为 $x$ 方向,可扩展高维

实际上扰动是由许多不同频率及不同振幅的简谐波叠加形成

### 波动分类

- ① **纵波** 流体质点振动方向与传播方向一致，如声波。
- ② **横波** 振动方向与传播方向垂直，可进一步分为垂直和水平横波，如电磁波。
  - 垂直横波**：垂直方向振动，水平方向传播，如重力波
  - 水平横波**：水平方向振动，水平方向传播，如大气长波

### 5.1.2 波参数

**一般形式**  $y = A \cos(kx - \omega t + \varphi)$

- ① **振幅 $A$**  质点偏离平衡位置的最大位移，或物理量距离平衡状态的最大距离。  
可用于衡量能量大小。
- ② **周期 $T$**  完成一次全震动所需要的时间，波传播一个波长距离需要的时间。
- ③ **频率 $f$**   $f = 1/T$  单位时间内完成全震动的次数。
- ④ **波长 $L$**  波动在一个周期中传播的距离，固定时刻相邻同位相质点间距。
- ⑤ **位相 $\theta$**   $\theta = kx - \omega t + \varphi$   $\varphi$ 为初位相，位相相等的点构成等位相面(波阵面) $\theta = C$ 常数  
波阵面是平面，称平面波；波阵面为球面，称球面波
- ⑥ **波数 $k$**   $k = \frac{2\pi}{L}$  以相角 $2\pi$ 表示的单位距离内含有波长 $L$ 的波的数目。单位： $[L]^{-1}$
- ⑦ **圆频率 $\omega$**   $\omega = \frac{2\pi}{T}$  以相角 $2\pi$ 表示的单位时间内振动的次数。单位： $[T]^{-1}$
- ⑧ **相速 $c$**  波面传播的速度，就是波的传播速度。有 $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\theta=C} = \frac{\omega}{k} = c$