

# 医用物理学

## 笔记

F1

2023 年 9 月 25 日

# 目录

<b>第一章 流体力学与血液流变学简介</b>	<b>1</b>
1.1 流体运动的描述 . . . . .	1
1.1.1 描述流体运动的方法 . . . . .	1
1.1.2 速度场与定常流动 . . . . .	1
1.1.3 流线与流管 . . . . .	2
1.2 理想流体与连续性方程 . . . . .	2
1.2.1 理想流体 . . . . .	2
1.2.2 连续性方程 . . . . .	2
1.3 伯努利方程 . . . . .	2
1.3.1 理想流体的伯努利方程 . . . . .	2
1.3.2 伯努利方程的应用 . . . . .	3
1.4 黏滞流体的运动 . . . . .	3
1.4.1 黏滞流体的伯努利方程 . . . . .	3
1.5 物体在流体中的运动 . . . . .	4
1.5.1 物体在理想流体中的运动 . . . . .	4
1.5.2 物体在黏滞流体中的运动与斯托克斯定律 . . . . .	4
<b>第二章 震动与波、声波、超声波</b>	<b>6</b>
2.1 简谐运动 . . . . .	6

目 录	II
2.1.1 弹簧振子 . . . . .	6
2.1.2 描述简谐运动的物理量 . . . . .	6
2.1.3 简谐运动的速度和加速度 . . . . .	7
2.1.4 简谐运动的旋转矢量表示法 . . . . .	7
2.1.5 简谐运动的能量 . . . . .	7
2.2 简谐运动的合成 . . . . .	8
2.2.1 两个同方向同频率的简谐运动合成 . . . . .	8
2.2.2 两个同方向不同频率的简谐运动合成 . . . . .	8
2.2.3 相互垂直的简谐运动的合成 . . . . .	8
2.3 阻尼振动、受迫振动和共振 . . . . .	8
2.3.1 阻尼振动 . . . . .	8
2.3.2 受迫振动和共振 . . . . .	9
2.4 机械波 . . . . .	9
2.4.1 机械波产生的条件 . . . . .	9
2.4.2 波动的描述 . . . . .	10

# 第一章 流体力学与血液流变学简介

流体：没有固定形状，具有流动特征的物质.

## 1.1 流体运动的描述

### 1.1.1 描述流体运动的方法

- 拉格朗日法：跟踪流体中的一点，描述其运动
- 欧拉法

### 1.1.2 速度场与定常流动

- 速度场：流体中每一点的速度， $v = (x, y, z, t)$
- 定常流动：速度场不随时间变化， $v = (x, y, z)$

### 1.1.3 流线与流管

- 流线：流体运动方向的切线
- 流管：流线的集合（流线不会相交）

## 1.2 理想流体与连续性方程

### 1.2.1 理想流体

理想流体：无黏滞性，不可压缩。

### 1.2.2 连续性方程

理想流体作定常流动时，流管形状不变，且流管内流体不可压缩，故在任意时间间隔  $\Delta t$  内流经  $S_1$  与  $S_2$  的流体体积相等，即

$$S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = Constant$$

## 1.3 伯努利方程

### 1.3.1 理想流体的伯努利方程

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + p = Constant$$

### 1.3.2 伯努利方程的应用

#### 水平管中压强与流速的关系

对于水平管，伯努利方程简化为

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = Constant$$

因此，压强与流速成反比。文丘里流量计：对于水中 1 和 2 两截面处，有

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 &= \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 \\ v_1 S_1 &= v_2 S_2\end{aligned}$$

联立上式得截面 1 处的流速为

$$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

又因为  $p_1 - p_2 = \rho gh$ ，故管中流量为

$$Q = v_1 S_1 = S_1 S_2 \sqrt{\frac{2\rho gh}{S_1^2 - S_2^2}}$$

## 1.4 黏滞流体的运动

### 1.4.1 黏滞流体的伯努利方程

流体克服黏滞力做功，机械能不断损失并转化为热能，故伯努利方程变为

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = Constant - \frac{1}{2}\rho v_{损}^2$$

若流体在水平均匀管道中作定常流动

$$\therefore h_1 = h_2, v_1 = v_2$$

$$\therefore p_1 = p_2 + \Delta E, p_1 > p_2$$

若流体在开放的等粗管道中作定常流动

$$\because p_1 = p_2 = p_0, v_1 = v_2$$

$$\therefore \rho gh_1 - \rho gh_2 = \Delta E$$

## 1.5 物体在流体中的运动

### 1.5.1 物体在理想流体中的运动

设  $h_1 = h_2$ ，由伯努利方程得

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$$

升力：物体获得相对流速方向垂直（横向）且向流速增大一侧的动力。

### 1.5.2 物体在黏滞流体中的运动与斯托克斯定律

图示小球所受力

$$G = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g, f = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_2 g$$

固体在黏滞流体中作匀速运动还会受到黏滞阻力，若物体运动速度很小，则

$$f = 6\pi r \eta v$$

沉降速度（终极速度）：

$$v_s = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta} gr^2 \quad (1.1)$$

用此公式可求得

- 液体黏滞系数
- 球体半径

## 本章小结

- 连续性方程：流量  $Q = Sv$ ，连续性方程  $Sv = Constant$
- 理想流体的伯努利方程：  $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = Constant$   
适用条件：**理想流体，定常流动，同一流管**  
伯努利方程应用说明：
  - 正确地选取截面, 包含所求量
  - 方程正确简化: 对于**等粗管道**,  $p_1 + \rho gh_1 = p_2 + \rho gh_2$ ; 对于**水平管道**,  $p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$
  - 找出隐条件: 大管小孔, 大处  $v$  不计; 与空气接触,  $p = p_0$
- 牛顿黏滞定律：  $F = -\eta S \frac{dv}{dx}$ ，其中  $\eta$  为黏滞系数，单位为  $Pa \cdot s$   
说明：
  1. 黏度取决于流体性质
  2. 液体的黏度大于气体
  3. 与温度的关系：对液体  $t \uparrow \eta \downarrow$ ，对气体  $t \uparrow \eta \uparrow$
- 层流与湍流：  
雷诺数：  $Re = \frac{\rho vr}{\eta}$ ，  $Re > 1500$  作湍流，  $Re < 1000$  作层流，  $1000 < Re < 1500$  不稳定，会互相转变
- 泊肃叶定律：  $Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta l}$ ，其中  $\Delta p$  为压差，  $l$  为管长
- 黏滞流体的伯努利方程：  $p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \Delta E$
- 斯托克斯定律：  $f = 6\pi\eta vr$   
可推导出沉降速度：  $v_s = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta} gr^2$



## 第二章 震动与波、声波、超声波

研究对象：物体的周期性运动及其运动规律。

振动：周期性运动；波动：振动的传播。

### 2.1 简谐运动

#### 2.1.1 弹簧振子

机械振动的原因：物体所受回复力和物体所具有的惯性。回复力：始终指向平衡位置

#### 2.1.2 描述简谐运动的物理量

- 振幅： $A$ ：振动的幅度
- 角频率： $\omega = 2\pi f$ ： $2\pi$  秒内往复振动的次数
- 相位： $\varphi = \omega t + \varphi_0$ ：
- 初相： $\varphi_0$ ： $t = 0$  时刻的相位

- 周期:  $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$ : 振动一次所用时间
- 频率:  $\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ : 单位时间内振动的次数

### 2.1.3 简谐运动的速度和加速度

简谐运动表达式

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

简谐运动的速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

简谐运动的加速度

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi)$$

而  $v_m = \omega A$ ,  $v_m$  称为速度幅故简谐运动的加速度可表示为

$$a = -\omega^2 x$$

对于弹簧系统, 由牛顿第二定律

$$F = ma = -m\omega^2 x$$

又胡克定律

$$F = -kx$$

### 2.1.4 简谐运动的旋转矢量表示法

### 2.1.5 简谐运动的能量

- 振子势能:  $E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$

- 振子动能:  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 =$

## 2.2 简谐运动的合成

### 2.2.1 两个同方向同频率的简谐运动合成

一个质点参与两个在同一直线上频率相同的简谐运动，其合运动仍为简谐运动，其振幅为两个简谐运动振幅的矢量和。

### 2.2.2 两个同方向不同频率的简谐运动合成

### 2.2.3 相互垂直的简谐运动的合成

同频率相互垂直的简谐运动的合成

振动轨迹是椭圆。

## 2.3 阻尼振动、受迫振动和共振

### 2.3.1 阻尼振动

定义：振动系统受到的阻力与速度成正比，且方向相反。

- 欠阻尼:  $\beta < \omega_0, x = Ae^{-\beta t} \cos(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}t + \varphi)$
- 过阻尼:  $\beta > \omega_0, x = Ae^{-\beta t} \cosh(\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}t + \varphi)$

- 临界阻尼:  $\beta = \omega_0, x = Ae^{-\beta t}(\varphi_1 + \varphi_2 t)$

### 2.3.2 受迫振动和共振

受迫振动: 系统在周期性的外力作用下的振动。

共振: 外力频率等于系统固有频率时, 振幅达到最大的现象。

## 2.4 机械波

波动的种类:

- 机械波: 机械振动在弹性介质中的传播过程
- 电磁波: 交变电磁场在空间中的传播过程
- 物质波: 微观粒子的运动, 具有波粒二象性

波的共同特征: 具有一定的传播速度, 且伴有能量的传播, 能产生反射、折射、干涉、衍射等现象。

### 2.4.1 机械波产生的条件

- 波源
- 弹性介质
- 有周期性的振动

### 2.4.2 波动的描述

- 波线：从波源沿各传播方向作垂线，所有垂线的轨迹
- 波前：波源振动后，波传播到的最前面的一层波面
- 波面：所有振动相位相同的点连成的面

描波动的物理量：

- 波长  $\lambda$ ：波在介质中传播一个周期所经过的距离
- 波速  $v$ ：波在介质中传播的速度
- 频率  $\nu$ ：波源振动的频率
- 周期  $T$ ：波源振动一个周期所用的时间