医用物理学

笔记

F1

2023 年 9 月 27 日

目录

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 Δt 内流经 S_1 与 S_2 的流体体积相等，即

$$S_1v_1\Delta t = S_2v_2\Delta t$$
$$S_1v_1 = S_2v_2 = Constant$$

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

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

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

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 $p_1 - p_2 = \rho g h$，故管中流量为

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

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

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

若流体在水平均匀管道中作定常流动

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

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

若流体在开放的等粗管道中作定常流动

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

$$\therefore \rho g h_1 - \rho g h_2 = \Delta E$$

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）：

$$v_s = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta} g r^2 \tag{1.1}$$

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：$F = -\eta \Delta S \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$，其中 η 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：$R_e = \frac{\rho vr}{\eta}$，$R_e > 1500$ 作湍流，$R_e < 1000$ 作层流，$1000 < R_e < 1500$ 不稳定，会互相转变
- 泊肃叶定律：$Q = \dfrac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta l}$，其中 Δp 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：$\omega = 2\pi f$：2π 秒内往复振动的次数
- 相位：$\varphi = \omega t + \varphi_0$：
- 初相：φ_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

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-A\omega\sin(\omega t+\varphi)$$

简谐运动的加速度

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-A\omega^2\cos(\omega t+\varphi)$$

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

- 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：被传播的机械振动
- 弹性介质：任意质点离开平衡位置会受到弹性力作用. 在波源发生振动后, 因弹性力作用, 带动邻近的质点也以同样的频率振动. 如此将振动传播出去. 故机械振动只能在弹性介质中传播

横波与纵波：

- 横波：介质质点振动方向与波的传播方向垂直
- 纵波：介质质点振动方向与波的传播方向平行

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 λ: 波在介质中传播一个周期所经过的距离
- 波速 u: 波在介质中传播的速度
- 频率 ν: 波源振动的频率
- 周期 T: 波源振动一个周期所用的时间

2.5 平面简谐波

在平面波传播的过程中，若介质中各点的振动均做同频率同振幅的简谐运动，则称此波为平面简谐波。

2.5.1　平面简谐波的波函数

波函数（波动表达式）：描述波的传播过程中各点的振动状态的函数。若波源（x = 0）的振动表达式为

$$y_0 = A\cos(\omega t + \varphi)$$

P 点的振动表达式为

$$y = A\cos(\omega t + \varphi - \frac{2\pi}{\lambda}x)$$

波动表达式的一般形式

$$y = A\cos(\omega(t \mp \frac{x - x_0}{u}) + \varphi)$$

2.5.2　波函数的物理意义

$$y(x,t) = A\cos(\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi)$$

2.5.3　波的能量

波动表达式：

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

波的强度：

$$w = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}V} = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}S\mathrm{d}t} = \frac{1}{2}\rho u^2 A^2 \omega^2 \sin^2\omega(t - \frac{x}{u})$$

2.6　波的干涉与衍射

2.6.1　惠更斯原理、播的衍射

惠更斯原理：波的每一点都可以看作是次波源，次波源发出的球面波的包络面就是下一时刻的波面。播的衍射：波传播到障碍物后，障碍物后方的波面上各点都可看作是新的波源，从而产生新的波。