



流体力学基础知识

液体静力学

液体动力学

第1章 流体力学基础知识

1.2 液体静力学

1.2.1 静压力及其特性

■ 液体的静压力

- 静止液体在单位面积上所受的法向力称为静压力。
$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \Delta F / \Delta A$$
- 若在液体的面积 A 上所受的作用力 F 为均匀分布时，静压力可表示为 $p = F / A$
- 液体静压力在物理学上称为压强，工程实际应用中习惯称为压力。

■ 液体静压力的特性

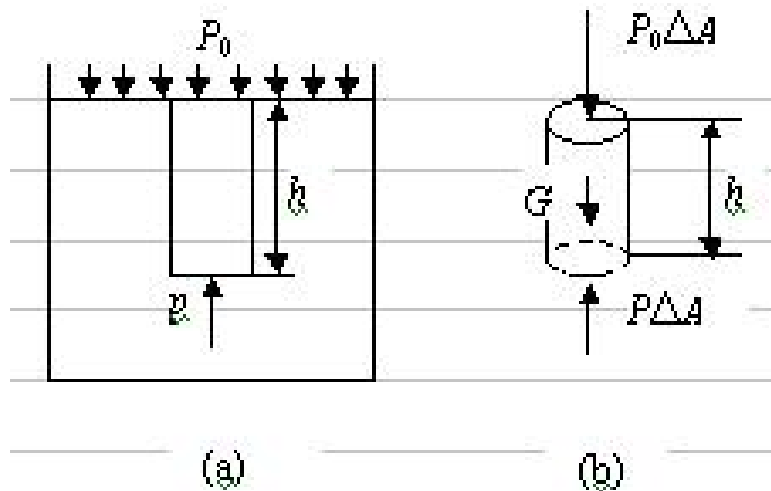
- 液体静压力垂直于承压面，方向为该面内法线方向。
- 液体任一点所受的静压力在各个方向上都相等。

第1章 流体力学基础知识

1.2 液体静力学

1.2.2 静压力基本方程式

- 静压力基本方程式 $p=p_0+\rho gh$
- 重力作用下静止液体压力分布特征：
 - 压力由两部分组成：液面压力 p_0 ，自重形成的压力 ρgh 。
 - 液体内的压力与液体深度成正比。
 - 离液面深度相同处各点的压力相等，压力相等的所有点组成等压面，重力作用下静止液体的等压面为水平面。



第1章 流体力学基础知识

1.2 液体静力学

1.2.2 静压力基本方程式

■ 压力的表示法及单位

- 绝对压力 以绝对真空为基准的压力
- 相对压力或表压力 以大气压为基准的压力
- 真空度 绝对压力不足于大气压力的那部分压力值

单位 帕 **Pa (N / m²)**

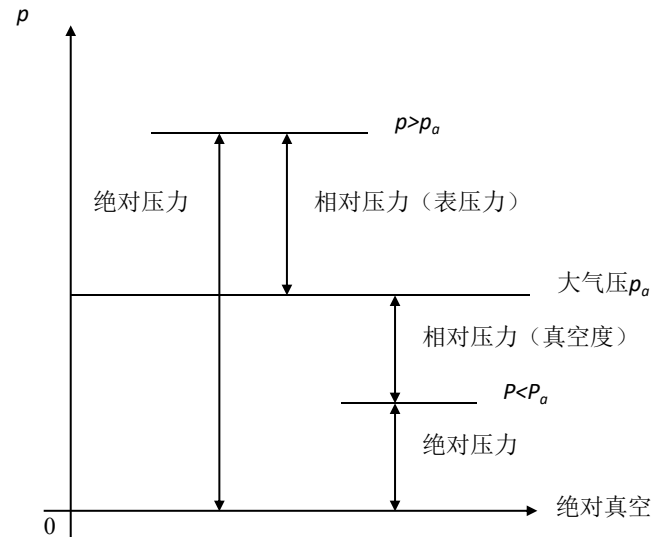


图1-4 绝对压力、相对压力和真空度

■ 静压力对固体壁面的作用力

液体和固体壁面接触时，固体壁面将受到液体静压力的作用

- 当固体壁面为平面时，液体压力在该平面的总作用力 $F = p A$ ，方向垂直于该平面。
- 当固体壁面为曲面时，液体压力在曲面某方向上的总作用力 $F = p A_x$ ， A_x 为曲面在该方向的投影面积。

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.1 基本概念

主要是研究液体流动时流速和压力的变化规律。流动液体的连续性方程、伯努利方程、动量方程是描述流动液体力学规律的三个基本方程式。

- 基本概念
- 流量连续性方程
- 伯努利方程
- 动量方程

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.1 基本概念

- **理想液体** 假设的既无粘性又不可压缩的流体称为理想流体。
- **恒定流动** 液体流动时，液体中任一点处的压力、速度和密度都不随时间而变化的流动，亦称为定常流动或非时变流动。

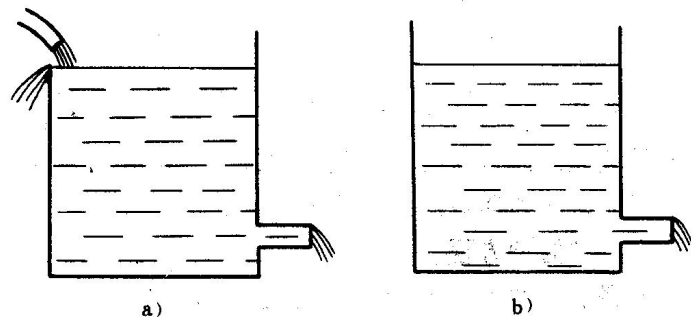


图 1-8 恒定流动和非恒定流动

- **通流截面** 垂直于流动方向的截面，也称为过流截面。
- **流量** 单位时间内流过某一通流截面的液体体积，流量以 q 表示，单位为 m^3/s 或 L/min 。
- **平均流速** 实际流体流动时，速度的分布规律很复杂。假设通流截面上各点的流速均匀分布，平均流速为 $v = q/A$ 。

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.2 流量连续性方程

流量连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的表达方式。

- 液体在管内作恒定流动，任取1、2两个通流截面，根据质量守恒定律，在单位时间内流过两个截面的液体流量相等，即：

$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$ 不考虑液体的压缩性则得

$$q = vA = \text{常量}$$

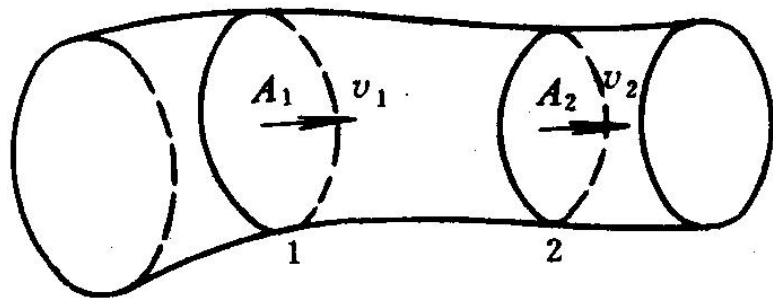


图 1-10 液流连续性方程推导用图

- 流量连续性方程说明了恒定流动中流过各截面的不可压缩流体的流量是不变的。因而流速与通流截面的面积成反比。

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.3 伯努力方程

伯努力方程是能量守恒定律在流体力学中的表达方式。

液体在管内作恒定流动，任取两个截面**1**、**2**，有：

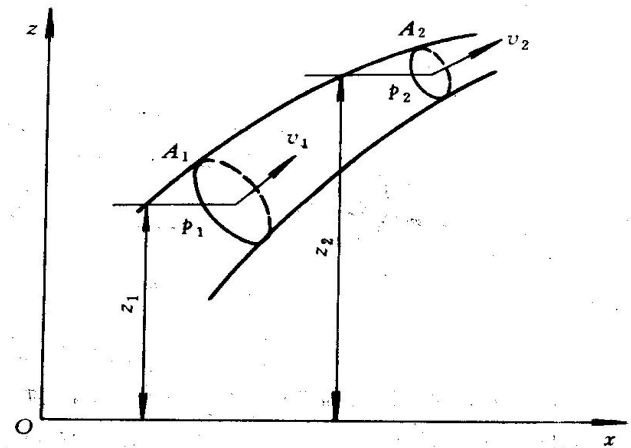


图 1-11 伯努力方程推导用图

■ 理想流体的伯努力方程

- $p_1 / \rho g + Z_1 + v_1^2 / 2g = p_2 / \rho g + Z_2 + v_2^2 / 2g$
- 在管内作稳定流动的理想流体具有压力能，势能和动能三种形式的能量，它们可以互相转换，但其总和不变，即能量守恒。

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.3 伯努力方程

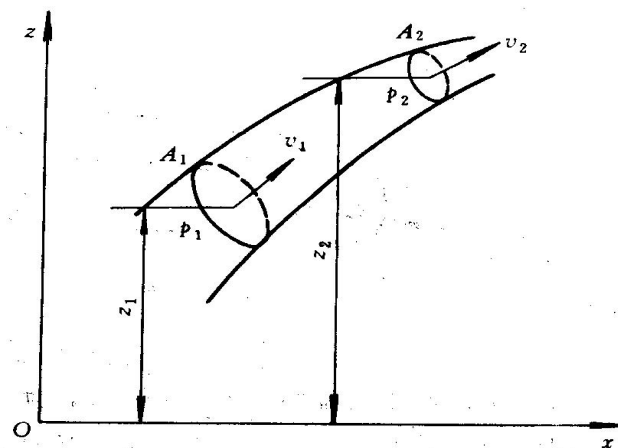


图 1-11 伯努力方程推导用图

■ 实际流体的伯努力方程

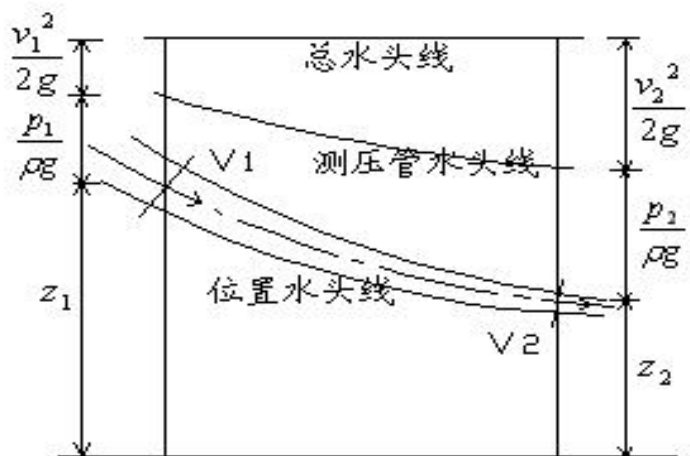
- $p_1/\rho g + Z_1 + \alpha_1 v_1^2/2g = p_2/\rho g + Z_2 + \alpha_2 v_2^2/2g + h_w$
- 实际流体存在粘性，流动时存在能量损失， h_w 为单位质量液体在两截面之间流动的能量损失。
- 用平均流速替代实际流速， α 为动能修正系数。

第1章 流体力学基础知识

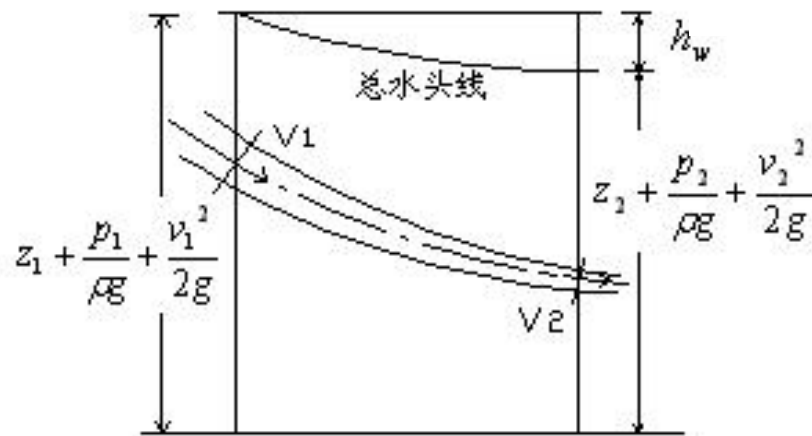
1.3 液体动力学

1.3.3 伯努力方程

几何意义：流场中任意点总水头（位置水头+压强水头+速度水头）为常数。



理想流体



实际流体

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.3 伯努力方程

流量连续性方程应用举例

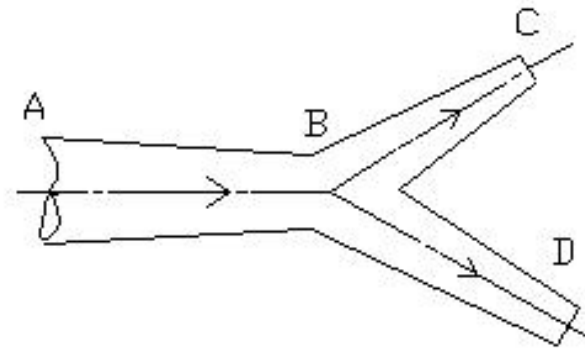
水平放置的分支管路，已知A、B、C、D处管路直径和A、C处的速度，求B、D处的速度大小。

AB段

$$Q_A = Q_B$$

$$v_A \cdot \frac{1}{4} \pi d_A^2 = v_B \cdot \frac{1}{4} \pi d_B^2$$

$$v_B = \frac{d_A^2}{d_B^2} v_A$$



BD段

$$Q_B = Q_C + Q_D$$

$$v_B \cdot \frac{1}{4} \pi d_B^2 = v_C \cdot \frac{1}{4} \pi d_C^2 + v_D \cdot \frac{1}{4} \pi d_D^2$$

$$v_D = \frac{v_B d_B^2 - v_C d_C^2}{d_D^2}$$

第1章 流体力学基础知识

1.3 液体动力学

1.3.3 伯努力方程

伯努力方程应用举例

如图示简易热水器，左端接冷水管，右端接淋浴莲蓬头。已知 $A_1=A_2/4$ 和 A_1 、 h 值，问冷水管内流量达到多少时才能抽吸热水？

解：沿冷水流动方向列 A_1 、 A_2 截面的伯努力方程

$$p_1/\rho g + v_1^2/2g = p_2/\rho g + v_2^2/2g$$

补充辅助方程 $p_1 = p_a - \rho gh$ $p_2 = p_a$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

代入得 $-h + v_1^2/2g = (v_1/4)^2/2g$

$$v_1 = (32gh/15)^{1/2}$$

$$q = v_1 A_1 = (32gh/15)^{1/2} A_1$$

