

绪 论

【教学基本要求】

- 1、明确水力学课程的性质和任务。
- 2、了解液体的基本特征，理解连续介质和理想液体的概念和在水力学研究中的作用。
- 3、理解液体 5 个主要物理性质的特征和度量方法，重点掌握液体的重力特性、惯性、粘滞性，包括牛顿内摩擦定律及其适用条件。了解什么情况下需要考虑液体的可压缩性和表面张力特性。
- 4、了解质量力、表面力的定义，理解单位面积表面力（压强、切应力）和单位质量力的物理意义。
- 5、了解量纲的概念，能正确确定各种物理量的量纲。

【学 习 重 点】

- 1、连续介质和理想液体的概念。
- 2、液体的基本特征和主要物理性质，特别是液体的粘滞性和牛顿内摩擦定律及其应用条件。
- 3、作用在液体上的两种力。

【内 容 提 要 和 学 习 指 导】

1.1 水力学课程的性质和任务

水力学是水利水电工程专业重要的技术基础课，它的任务是研究以水为代表的液体的平衡和机械运动的规律，并依据这些规律来解决工程中的实际问题，为今后学习专业课程和从事专业技术工作打下良好的基础。

1.2 连续介质的概念

连续介质是水力学研究中常用的基本概念。我们在学习普通物理时都知道，世界上一切物质都是由分子构成的。从微观上而言，组成物体的分子都是离散的，其运动状态是随机的呈不均匀状态。这给运用高等数学微积分方法来分析讨论液体的运动带来了很大的困难，因为微积分运算的必要条件是连续性。从宏观上而言，我们所研究的是由液体质点组成的液体的宏观运动。液体质点是由大量分子组成的在微观上充分大而宏观上是非常小的几何点的液体微团，它呈现的运动是由组成质点的大量分子运动的平均，因而宏观运动是均匀而连续的。这样我们就可以提出下列假设：**即液体所占据的空间是由液体质点连续地无空隙地充满的，组成液体的质点运动的物理量是连续变化的连续函数。**这就是连续介质的概念。这样水力学研究的液体运动就是连续介质的连续运动，可以运用微积分来分析液体运动和建立运动方程，给水力学研究带来极大的方便。

1.3 液体的基本特征

自然界的物质有三种基本形式，即气体、液体和固体。液体是介于固体和气体之间的物质形态，因此液体既具有固体和气体的某些特征，也存在与两者不同的特征。液体的基本特征可以总结如下：**液体是一种具有流动性(易变形的)、不易被压缩的、均匀各向同性的连续介质。**

1.4 液体的主要物理性质

在水力学中，与机械运动有关的液体主要物理性质如下：

(1) 液体的惯性、质量和密度：

惯性是物体具有的反抗改变它原有运动状态的物理特性。质量是物体惯性大小的度量，常以符号 M 表示。当物体受其到它物体的作用而改变运动状态时，它反抗改变原来的运动状态而作用在其它物体上的反作用力称为惯性力，惯性力的表达式为：

$$\vec{F} = -M\vec{a} \quad (1-1)$$

密度是单位体积液体具有的质量，液体的密度常用符号 ρ 表示。请注意在国际单位制和工程单位制中质量和密度的单位是不同的，我国规定推荐使用国际单位制，但在工程中还有些地方使用工程单位制，因此物理量两种单位制的表达都应掌握。

(2) 液体的重量与容量：

地球对物体的万有引力称为重力，或称为物体具有的重量，常用符号 G 表示。单位体积液体所具有的重量称为容重，也称为重度，容重用符号 γ 表示， $\gamma = \rho g$ 。

液体的密度和容重随温度和压强的改变而变化，但这种变化很小，通常可以视作常数。水的密度为 $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ ，水的容重为 $\gamma = 9800 \text{N/m}^3$ 。

(3) 液体的粘滞性和粘滞系数：

液体的粘滞性是本章的重点，它是液体在流动中产生能量损失的主要原因，也是今后讨论液体运动基本方程的关键一项内容。

当液体流动时，液体质点之间存在着相对运动，这时质点之间会产生内摩擦力反抗它们之间的相对运动，液体的这种性质称为粘滞性，这种质点之间的内摩擦力也称为粘滞力。相邻液层之间内摩擦力的大小 F 由牛顿内摩擦力定律给出，即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-2)$$

单位面积上的内摩擦力（切应力）

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

牛顿内摩擦定律的内容叙述如下：当液体内部的液层之间存在相对运动时，相邻液层间的内摩擦力 F 的大小与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面面积 A 成正比，与液体的性质（即粘滞性）有关，而与接触面上的压力无关。

式中 μ 是表征液体粘滞性大小的动力粘滞系数，单位是 $(\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$ 。另一形式的粘滞系

数用 ν 表示，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-4)$$

称 ν 为运动粘滞系数，它的单位是（ m^2/s 或 cm^2/s ）。

粘滞系数受温度影响较大， 20°C 时水的 $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ， $\nu = 1.003 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。

牛顿内摩擦定律的另一种表达式，表示切应力 τ 与剪切变形速度 $\frac{d\theta}{d\tau}$ 的关系，即

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{d\tau} \quad (1-5)$$

需要强调的是：牛顿内摩擦定律只适用于牛顿流体和层流运动，牛顿流体是指在温度不变的情况下切应力 τ 与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比，这时粘滞系数 μ 为常数。

对于静止液体，液体质点之间没有相对运动，因而也就不存在粘滞性。

(4) 液体的压缩性：

液体受到的外界压力变化而引起液体体积改变的特性称为液体的压缩性。液体压缩性的大小，可用体积压缩系数 β 或体积弹性系数 K 表示，即

$$\beta = -\frac{\frac{dV}{V}}{dp} = \frac{1}{K} \quad (1-6)$$

液体的压缩性很小，除了在水击等压强发生急剧变化的水力过程中要考虑液体的可压缩性，一般情况下都忽略水的可压缩性，也就是把水当作不可压缩液体来处理。

(5) 液体的表面张力特性：

表面张力是仅在液体自由表面上存在的局部水力现象，它使液体表面有尽量缩小的趋势。对体积小的液体，表面缩小趋于球体状，如荷叶上的水珠等。表面张力的大小用表面张力系数 σ 度量，它表示液体自由面上单位长度所受到拉力的大小，单位为（ N/m ）。一般情况下，表面张力对液体运动的影响可以忽略不计。但在特殊情况下，如细玻璃管内的毛细现象使水柱升高或汞柱降低，对液位和压强量测造成误差，有自由表面和较大曲率的小流量运动和微小水滴的形成球状，这些情况下表面张力的影响必须考虑。

(6) 汽化压强：

汽化压强是指液体汽化和凝结达到平衡时液面的压强。汽化压强随液体的种类和温度的不同而改变。水利工程中的空化现象与液体的汽化压强有关，需要注意。

综上所述，液体的各种物理特性，它们各自不同程度地影响着液体的运动，其中惯性、重力和粘滞性对液体运动有重要的影响，而液体的可压缩性、表面张力和汽化压强只有在一些特殊问题中才需要考虑，请注意区分。

特别需要强调的是：粘滞性对液体的影响十分重要而且极其复杂，它使得研究和分析液体的运动规律变得非常困难。为了简化问题，便于从理论上研究和分析液体的运动，在水力学引入了“理想液体”的概念。

1.5 理想液体

“理想液体”是为了简化对液体运动的研究而引进的一种假设，即认为这是一种完全没有粘滞性的液体。这样，先按理想液体分析研究液体的运动，从理论上求得其运动规律，借以揭示实际液体运动的规律和趋势。再根据实际液体的具体情况考虑粘滞性的影响，对理想液体的运动规律进行修正，就可以得到实际液体的运动规律。需要注意的是，理想液体是一种实际上并不存在的假想的液体，引进理想液体仅是水力学研究的一种简化方法。

1.6 量纲和单位

量纲用来表示物理量的性质和种类，单位是度量物理量的基准量，两者有着十分密切的关系。量纲是单位的抽象和概括，单位是量纲的具体表示。

量纲分为基本量纲和导出量纲，单位也分为基本单位和导出单位。基本量都是独立的，不能相互组合导出其它基本量，而导出量都可以用基本量的组合来表示。如：水力学中，质量[M]、长度[L]、时间[T]构成一组基本量纲，这三个物理量的基本单位千克(kg)、米(m)、秒(s)组成的单位制称为国际单位制。

某一个物理量 N 的量纲可以表示成基本量纲的单项指数乘积形式，即

$$[N]=[L]^x \cdot [M]^y \cdot [T]^z \quad (1-7)$$

式中：[L]、[M]、[T]是基本量纲，x、y、z 是各基本量纲的指数，这些指数可以是正数、负数或者零。

对于每一个物理量，我们既要搞清楚它的量纲并能表示成(1—7)式的形式，也要能确定其在不同单位制下的单位。

1.7 作用在液体上的两种力

液体无论处于平衡或运动状态，都受到各种力的作用。作用在液体上的力包括重力、惯性力、粘滞力、压力、表面张力等，按力的作用方式可以分为质量力（重力、惯性力）和表面力（粘滞力、压力、表面张力）两类，这种分类是为了便于进行液体运动受力分析，进而可以导出液体平衡或运动状态下的基本关系式。

请理解单位质量力（ $\vec{f} = X\vec{i} + Y\vec{j} + Z\vec{k}$ ）和单位面积表面力（压强 p 和切应力 τ ）的含义及相应的单位与量纲。

1.8 水力学的研究法

水力学是一门实践性很强的学科，它的理论都是生产实践和实验研究的总结，并在解决实际工程问题过程中经受检验、得到修正和进一步完善。因此我们在学习本课程的过程中，既要重视对本课程理论体系的理解，搞清基本方程和公式的来历、应用条件、使用范围，更要能正确运用所学的理论知识解实际工程问题，掌握理论分析、实验研究和数学模拟紧密结合的水力学研究方法。

【思考题】

1-1 液体的基本特征是什么？它与气体、固体有什么区别？

- 1-2 为什么要引进连续介质的假设？为什么可以把液体当作连续介质？
- 1-3 液体的主要物理特性是什么？研究液体运动一般主要考虑哪些物理性质？什么情况下要考虑液体的可压缩性和表面张力特性？
- 1-4 液体内摩擦力的大小与哪些因素有关？叙述牛顿内摩擦定律的内容、表达式和使用条件。
- 1-5 理想液体与实际液体有什么区别？为什么要引入理想液体的概念？
- 1-6 作用在液体上的力有哪几种？如何定义？
- 1-7 单位质量力怎样定义的？它的量纲和单位是什么？