

过程工程流体力学

by 深夜读史记

前言

成绩组成：平时成绩占比30%，期末考试卷面70%

平时成绩：无小测，仅作业，应该交了就是满分

点名情况：从没点过名，甚至连学在浙大和钉钉群都没有(樂)

- 由于该课程大题基本都是作业原题，故该笔记仅供选择题、简答题复习参考，不涉及复杂计算
- 后附回忆卷

一、流体的力学性质

- 流体是液体和气体的总称
- 物质五种状态： 固态、液态、气态、等离子态、凝聚态
- **基本特征**(区别于固体的力学性质)：流动性、可压缩性、粘滞性、表面张力特性

流动性(易变形性)：没有一定的形状，其形状取决于盛装流体的容器形状

可压缩性：流体都有一定的可压缩性，液体可压缩性很小，而气体的可压缩性较大 (传播速度越大的流体可压缩性越小)

粘(黏)滞性：在流体的形状改变时，流体各层之间也存在一定的运动阻力(粘滞性表现——内摩擦力)

表面张力特性：因气液界面两侧分子引力不平衡存在于液体表面的拉伸力，液体表面总表现为收缩趋势

- 流体力学中研究得最多的流体是水和空气。它的主要基础是牛顿运动定律和质量守恒定律
- **流体质点**(如何定义一个基本流体单元):该单元容纳有足够的流体分子，但单元几何尺度相对于流动系统的尺度又很小
- **流体连续介质模型：**质量分布连续、流体运动连续、流体内应力连续
- **流动性：**流体受到剪切应力作用发生连续不断的变形
- 流体在微小剪切力作用下就会连续不断变形，直到剪切应力消失为止；故存在剪切应力是流体处于运动状态的充分必要条件，受切应力作用处于连续变形状态的流体称为运动流体
- **内摩擦力:**流体上下两部分接触面上必然存在一对大小相等、方向相反的力
机理：分子内聚力机理和分子动量交换机理

- 润湿：液体与固体接触时，能在固体表面四散扩张
- **毛细现象**：液体表面张力及液固润湿效应所确定的界面现象，如细玻璃管插入水或水银，管内外会出现明显液面差
- **牛顿流体**：满足牛顿剪切定律的流体，如空气和水
- 非牛顿流体最大特点：黏度与自身运动相关
- 弹性模数随压力升高而增大，即压力越高越难压缩
- **牛顿剪切定律**—— $\tau = \mu \frac{du}{dy}$
内摩擦力的定量描述：流体层之间单位面积的内摩擦力与流体变形速率(速度梯度)成正比
- (动力)黏度：表征流体粘滞性，液体黏度随温度升高而减小，气体黏度随温度升高而增加。压力影响可忽略不计
- $n=1$ 牛顿流体
- $n<1$ 假塑性流体(剪切变稀流体)
- $n>1$ 胀塑性流体(剪切增稠流体)

二、流体流动的基本概念

- 流场：流体所占据的空间
- 分类

根据流动的时间变化特性：稳态流动、非稳态流动；

根据流动的空间变化特性：一维、二维、三维流动；

根据流动的内部流动结构：层流流动、湍流流动；

根据流动中流体密度变化：可压缩流体流动、不可压缩流体流动；

- **稳态流动**：流场内流动参数不随时间变化的流动
- 不可压缩流动：流动过程中流体密度可视为不变的流动
- 描述流体运动的两种方法
拉格朗日法：追踪流体质点的运动
欧拉法：把流体运动表示为空间坐标与时间的函数
- **质点导数**：流体质点物理量对时间的变化率。拉格朗日法中，质点导数是物理量对时间的偏导数；欧拉法中，需考虑时间和空间变化，速度的质点导数即加速度。
- **迹线**：流体质点的运动轨迹曲线(同一质点不同时刻)
- **流线**：流场中流体质点构成的流体线，线上各点速度沿切线方向(同一时刻不同质点)
- 流线不能相交，形状随时间变化(稳态流动则形状确定)
- 稳态条件下，流线与迹线重合
- **流管**：流线构成的管状曲面；流管表面不可能有流体穿过，稳态时形状固定
- **微元流体团基本变形**：平移、转动、剪切变形、体积膨胀
- 有旋流动： $w \neq 0$

- 流体流动的推动力：重力流动、压差流动、摩擦流动
摩擦流动沿流动方向无压力差
- 流场结构——雷诺实验
- **层流**：流体层间犹如平行滑动的流动。横向只有分子热运动，且热运动尺度 \ll 流体质点尺度，故质点运动轨迹规则平稳，瞬时速度具有确定值
- **湍流**：流场内部充满不同尺度涡旋的流动。横向主要是流体微团随机脉动，（也有分子热运动）且脉动尺度 \gg 流体质点尺度，故流体质点相互掺混、运动紊乱不规则
- 雷诺数 Re ：层流流动 $< 2300 <$ 过渡流 $< 4000 <$ 湍流流动
- 不可压缩流动：
液体： $\rho = \text{const}$
气体： $Ma < 0.3$

三、流体静力学

- **质量力**：质量力场（重力场、惯性力场）对流体的作用力
质量力作用于流体整个体积——也称为非接触力，体积力，远程力
质量力与流体质量的分布和质量力场的分布有关
- 表面力：流体表面受到的作用力——属于接触力，近程力
- 压力表示方法：绝对压力、表压力、真空度
当绝对压力 $>$ 大气压力时，表压力=绝对压力-大气压力
当绝对压力 $<$ 大气压力时，真空度=大气压力-绝对压力
- 真实流体不能承受拉应力，故： $\sigma n = (-p + \Delta\sigma n) < 0$ ，即流体表面的(法向)正应力总是指向流体表面
- 对于理想或静止流体，流体表面仅有正应力，且正应力 $= -p$
- 静止流体表面仅有正应力，且该正应力大小等于流体静压力 p ，方向指向流体表面，静压力的大小与表面取向无关，仅是空间和时间的函数。
- **静止流场基本特性**：

质量力 f 垂直于等压面

沿 f 方向， p 的变化率最大

两种流体的分界面是等压面(分界面上压力不变)

正压流场中等压面与等密度面重合

- 正压流场中密度与压力一一对应，故正压流场的等压面必然是等密度面
- 静止流体中，两种流体的分界面是等压面
- U形管测压时，因指示剂密度大于气体密度，U形管只能正向布置
- 浮力——浸没物体表面流体静压力在竖直方向的合力
- 浸没物体表面流体静压力的合力在竖直方向，合力大小为物体所排开的流体重量——阿基米德浮力定律
- 浮力矩——浸没物体表面流体静压力的合力矩

- **浮力中心**就是物体浸没部分体积的形状中心(形心)。
浮体稳定性:由浮力中心(浸没物体形心)与物体重心之间的相对位置确定

四、流体流动的守恒原理

- 系统:质量确定不变的物质集合(边界形状不断改变)
控制体:有确定位置和形状的流场空间(边界形状不变, 内部质量可变)
- 耗散: 机械能退化为热能称为耗散。
- 贮存能:内能、动能、位能
- 迁移能: 热量和功量
- **粘性耗散**: 流体流动过程中因粘性导致的机械能退化, 有两种机理:
摩擦耗散:运动流体克服层间摩擦产生的机械能损失→沿程阻力损失机理
涡流耗散:局部涡流区的涡旋摩擦产生的机械能损失→局部阻力损失机理
- 局部阻力损失: 流道几何形状突变局部区域内流体速度大小与方向突变产生的附加机械能损失, 其本质是局部区产生的大量涡旋使机械能损耗增加。
- 局部阻力损失的涡流耗散机理决定了其主要部分产生于流道突变截面位置下游区域, 该区域通常因流动分离有大量涡旋存在。
- **突缩管压力降**包括: ①局部阻力损失产生的压降(不可逆), ②流通面积缩小、流体压力能转换为动能产生压降(可逆);
或: 突缩管压降一部分损失于涡流耗散(不可逆), 另一部分转换为动能(可逆)
- **伯努利方程条件**: 无热量传递、无轴功输出、流体不可压缩、稳态流动、理想流体

五、流体流动模型及微分方程

- 质量守恒微分方程: 连续性方程
动量守恒微分方程: 流体运动微分方程
- N-S方程——粘性流体流动动量守恒的数学表达, 有较普遍的适应性
只适用于牛顿流体, 且原则上只适用于层流流动
包括4 个方程, 涉及4 个流动参数: v_x, v_y, v_z, p ,
- **流动相似原理**:

几何相似: 模型系统边界形状与原型相似(对应边成同一比例)

运动相似——几何相似的两流动系统中对应空间点的流线形状相似

动力相似——两个几何相似、运动相似的流动系统中, 对应空间点相同

性质作用力 F 的方向相同、大小成一定比例(两个流场中任意对应点 C_f 都保持一致)

• 相似数

雷诺数 Re : 表征流动问题中粘性力作用的影响

欧拉数 Eu : 表征流动问题中压(差)力作用的影响

弗鲁德数Fr：表征流动问题中重力作用的影响

斯特哈尔准数St：表征流动问题中时间变化的影响

• 相似准数

马赫数Ma：表征气体可压缩流动问题中气体可压缩性相对影响

韦伯数We：表征流动问题中界面张力影响

毛细管数Ca：表征两相流体过程中界面张力与黏性力相对影响

- 量纲与单位：量纲是物理量量度的属性，单位是量度的数量。
一个物理量的单位可有多种，但其量纲是不变的
- 量纲和谐原理：物理公式各加和项量纲必相同，等式两边量纲必相同。

1. 流动相似原理

- **几何相似**：模型与原型边界形状相似，对应边成同一比例，用长度比尺 C_l 衡量，实际中部分情况难以完全满足。
 - **运动相似**：两流动系统对应空间点流线形状相似，速度、加速度相互平行且比值为常数，运动相似时速度比尺 C_V 、时间比尺 C_t 和长度比尺 C_l 满足特定关系，几何相似是运动相似的必要条件。
 - **动力相似**：两个几何、运动相似的系统中，对应空间点相同性质作用力方向相同、大小成比例，用作用力比尺 C_f 表示，流动相似还需边界条件和初始条件相似。
2. **连续性方程**：基于微元流体质量守恒推导，在直角坐标系中为 $\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ ，其展开形式与 ρ 的质点导数和 v 的散度相关。不可压缩流体的连续性方程为 $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$ ，表示流体体积应变速率为0，即体积不变。柱坐标和球坐标中也有相应表达式。

历年卷(24整理)

选择

- 静止流体中粘性力(内摩擦力)为0
- 润湿:接触角较小(液体在固体表面接触角小于 90°)、液体在固体表面铺展、固液间附着力大于液体内聚力
应用：刷油漆、墨水浸透纸张
- NS方程中项：**纳维 - 斯托克斯 (NS) 方程**：其一般形式为 $\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{f}$
- 机械能：动能、重力势能、压力(强)能

- 皮托管是一种测量流体流速的仪器。它利用了伯努利方程。皮托管有一个迎流孔（正对来流方向）和若干测压孔（一般分布在侧面）。迎流孔测得的是总压 p_0 ，它等于流体的静压 p 与动压 $\frac{1}{2}\rho v^2$ 之和，即 $p_0 = p + \frac{1}{2}\rho v^2$ 。通过测量总压 p_0 和静压 p ，两者差值 $\Delta p = p_0 - p = \frac{1}{2}\rho v^2$ ，从而可解出流速 $v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$
- 雷诺数： $Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{\text{惯性力}}{\text{粘性力}}$
欧拉数： $Eu = \frac{p}{\rho v^2} = \frac{\text{压力}}{\text{惯性力}}$
佛鲁德数： $Fr = \frac{v^2}{gL} = \frac{\text{惯性力}}{\text{重力}}$
斯特哈尔数： $St = \frac{L}{vt} = \frac{\text{局部加速度}}{\text{对流加速度}}$
- **基本物理量**：在国际单位制（SI）中，有七个基本物理量，分别是长度（ L ）、质量（ m ）、时间（ t ）、电流（ I ）、热力学温度（ T ）、物质的量（ n ）、发光强度（ I_v ）
- **浮力中心**：简称浮心，是指浸在流体中的物体所受浮力的作用点。对于均质、规则形状的物体，浮心与物体的几何中心重合；对于非均质或不规则形状物体，浮心位置需通过积分计算确定，计算依据是使物体所受浮力对任意轴的力矩和为零。
- **理想流体**：是一种假设的无粘性（ $\mu = 0$ ）、不可压缩（ ρ 为常数）的流体。实际流体都具有粘性且或多或少可压缩，但在一些情况下，如分析流体流动的初步特性、推导一些基本方程（如伯努利方程）时，将流体视为理想流体可使问题简化。
- **湍流和层流**：
 - **层流**：是流体的一种流动状态，在层流中，流体分层流动，各层之间互不干扰，层与层之间的流体只作相对滑动，流体质点的运动轨迹是有规则的光滑曲线。一般在流速较小、粘性较大、管径较小等情况下易出现层流，其流动较稳定。
 - **湍流**：当流速增大到一定程度，流体的流动状态会转变为湍流。湍流中流体质点的运动杂乱无章，有强烈的混合和涡旋，流速、压力等物理量随时间和空间剧烈脉动。湍流的能量损失比层流大，其流动更复杂，研究难度也更高。
- 弗劳德数（Fr） $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$ ，它描述的是惯性力与重力的关系。从力的量级分析，惯性力量级为 $\rho v^2 L^2$ ，重力量级为 $\rho g L^3$
- **基本量纲**：在国际单位制对应的量纲体系中，基本量纲有长度量纲 $[L]$ 、质量量纲 $[M]$ 、时间量纲 $[T]$ 、电流量纲 $[I]$ 、热力学温度量纲 $[\Theta]$ 、物质的量量纲 $[N]$ 、发光强度量纲 $[J]$
- 可压缩流体是指流体的密度会随压力、温度等状态参数变化而发生显著变化的流体。一般来说，气体在大多数情况下可视为可压缩流体，例如在高速气流（如飞机飞行时周围的气流，当马赫数 $M > 0.3$ 时，气体密度变化不可忽略，马赫数 $M = \frac{v}{c}$ ， v 是流速， c 是声速）、气体的膨胀压缩过程等中，气体密度变化明显，需按可压缩流体处理。
- 在流场中，通过任意封闭曲线（不是流线）上各点作流线，这些流线所围成的管状区域称为流管。
- 流管内的流体不会流出流管，流管外的流体也不会流入流管，因为流线不能相交，流体质点只能沿流线运动。
- 纳维 - 斯托克斯方程 $\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{f}$ 。它包含惯性力项 $\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right)$ 、压力梯度力项 $-\nabla p$ 、粘性力项 $\mu \nabla^2 \vec{v}$ 、质量力项 $\rho \vec{f}$

简答

- **微分流体团变形**基本类型：平移、转动、剪切变形、体积膨胀
- **迹线**：流体质点的运动轨迹曲线(同一质点不同时刻)
流线：流场中流体质点构成的流体线，线上各点速度沿切线方向(同一时刻不同质点)
流线不能相交，形状随时间变化(稳态流动则形状确定)
稳态条件下，流线与迹线重合
- **雷诺数** $Re = \frac{\rho u L}{\mu}$ ，反映了惯性力与粘性力的比值，当 Re 较小时，粘性力起主导作用，流体流动呈现层流状态，流体质点的运动较为规则，各层之间互不干扰；当 Re 较大时，惯性力起主导作用，流体流动趋于湍流状态，流体质点运动杂乱无章，存在明显的涡旋和混掺
- **马赫数** $Ma = \frac{u}{c}$ ，反映了流体的流动速度与当地声速的相对大小关系。当 $Ma < 1$ 时，为亚声速流动，此时流体的压缩性影响较小；当 $Ma = 1$ 时，为声速流动；当 $Ma > 1$ 时，为超声速流动
- **流体守恒**：质量守恒、动量守恒、能量守恒
- 在直管段中，沿程阻力是由于流体的粘性以及流体与管壁之间的摩擦等因素产生的
沿程阻力系数反映了沿程阻力大小与流动状态（雷诺数）以及管壁粗糙情况等因素的关系，其数值大小直接影响着沿程阻力损失的计算
- 当流体流过管件（如弯头、阀门、三通等）、变截面管等局部装置时，由于流动方向或流速大小突然改变，会产生局部阻力
局部阻力系数表征了各种局部装置对流体流动造成的阻碍程度，其值大小反映了局部阻力损失的相对大小

大题

- 黏性系数(1-8、1-10)
- 层流(2-8)
- 压力计(3-5)
- 动量守恒(4-5)
- 相似(8-9)

一些补充(源自其他学校的流体力学期末)

1. 重力是典型的质量力，压力、摩擦阻力、表面张力都属于表面力
2. 粘性流体测压管水头线的沿程变化是沿程下降
3. 在圆管紊流过渡区，沿程摩阻系数 λ 既与雷诺数 Re 有关，又与管壁相对粗糙 $\frac{k_s}{d}$ 有关。
4. H, d 相等时， $1.32Q$ (小孔口流量) = Q_n (管嘴流量)。
5. 牛顿内摩擦定律：当流体作层流运动时，相邻流体层间的内摩擦力（切应力） τ 与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比，与流体的粘性（动力粘度 μ ）有关，表达式为 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ 。它反映了粘性流体流动时

内摩擦力的变化规律，是分析粘性流体运动的重要基础。

6. 等压面：在平衡流体中，压强相等的各点所组成的面。其特性是等压面与质量力（如重力等）垂直。
7. 液体的粘度随温度升高而减小
液体分子间内聚力是产生粘度的主要原因，温度升高，分子间距离增大，内聚力减小，粘度随之减小。
8. 液体静力学方程： $p = p_0 + \rho gh$
9. 过流断面与流线正交
10. 雷诺实验表明，层流状态下沿程水头损失 h_f 与流速 v 的一次方成正比，即 $h_f \propto v$ 。
11. 圆管层流中，过流断面上流速分布是以管中心线为对称轴的抛物线分布，管中心流速最大，壁面处流速为零。
12. 静止流体不能承受切应力，且处于拉伸状态时会流动，所以静止流体中只存在压应力。
13. 对于压力输水管模型实验，模型流量与原型流量之比为 $\frac{1}{8}$ 。
14. 欧拉数 $Eu = \frac{p}{\rho v^2}$ （ p 为压力， ρ 为流体密度， v 为流速），反映压力与惯性力之比。
- 15.

- **沿程损失**：在等直径的直管段中，由于流体的粘性，流体各质点间、流体与管壁间的摩擦作用而产生的能量损失，称为沿程损失，常用 h_f 表示。它与管段长度、管径、流速、流体粘度等因素有关，一般通过达西公式 $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$ （ λ 为沿程阻力系数， l 为管段长度， d 为管径， v 为断面平均流速， g 为重力加速度）计算。
- **局部损失**：流体流经管道中的弯头、阀门、突然扩大或缩小等局部阻碍处，由于流速大小、方向或分布发生急剧变化，导致流体内部产生强烈的漩涡、碰撞等，从而引起的能量损失，称为局部损失，常用 h_j 表示。通常根据局部阻力系数 ζ ，利用公式 $h_j = \zeta \frac{v^2}{2g}$ 计算。

16.

- **总流伯努利方程**： $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$ 。
- **各项物理意义**：
 - z ：位置水头，是过流断面上单位重量流体相对于基准面所具有的位能，反映了流体位置高度所具有的能量。
 - $\frac{p}{\rho g}$ ：压强水头，是过流断面上单位重量流体相对于基准面所具有的压能，反映了流体压强所具有的能量。
 - $\frac{\alpha v^2}{2g}$ ：流速水头，是过流断面上单位重量流体所具有的动能， α 为动能修正系数，一般取1。
 - h_{w1-2} ：两断面间单位重量流体的能量损失，即从断面1到断面2过程中，由于粘性等因素造成的机械能损耗。

17.

- **有旋流动**：也称涡旋流动，是指流体质点在运动过程中绕自身轴做旋转运动的流动。判断依据是流体质点的旋转角速度 $\omega \neq 0$ 。例如，龙卷风内部的空气流动就是典型的有旋流动。
- **无旋流动**：流体质点在运动过程中不绕自身轴旋转，即流体质点的旋转角速度 $\omega = 0$ 的流动。在无旋流动中，流体微团只有平移和变形运动，没有旋转运动。比如，在均匀来流绕过圆柱体的远前方区域，流动可近似看作无旋流动。

18. 用能量方程解释闷热无风夏天，火车允许时，风会从两侧车窗徐徐吹进

以火车外空气为研究对象，取火车外远处和火车车窗附近两个断面。火车运行时，车窗附近空气流速 v_2 大于火车外远处空气流速 v_1 （可视为 $v_1 \approx 0$ ）。

根据能量方程 $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$ ，火车内外高度差可忽略，即 $z_1 \approx z_2$ ，能量损失 h_{w1-2} 相对较小也可忽略， $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ 。

则 $\frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$ ，变形可得 $p_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$ ，这表明火车外远处压强 p_1 大于车窗附近压强 p_2 。

在闷热无风夏天，车内外温度相近，空气密度 ρ 变化不大，存在压强差就会使风从压强高的火车外（两侧车窗处）吹进车内。

19. 力学相似包括几何相似、动力相似和运动相似

20. 流体力学三大力学模型：连续介质模型；理想流体模型；不可压缩流体模型

21. 10米水柱等于0.1MPA

22. 流体静压强方向必然沿着作用面的内法线方向

- **解析**：流体静压强的特性之一就是其方向沿着作用面的内法线方向。因为流体不能承受拉力，且处于静止状态时，压强只能垂直指向作用面。

23. 对于圆管中的流动，一般认为临界雷诺数 $Re_k = 2000$ ，当 $Re < 2000$ 时，流动为层流；当 $Re > 2000$ 时，流动易向紊流转变。

24. 静压是流体的真实压强，动压是由于流体运动产生的压强 $\frac{\rho v^2}{2}$ ，位压与位置高度有关，三者之和为总压 p_t

25. 静止液体中同一点各方向的压强数值相等

26. 已知雷诺数之比 $Re_1 : Re_2 = 1 : 4$ ，则管径之比 $\frac{d_1}{d_2} = \frac{Re_1}{Re_2} = \frac{1}{4}$ 的反比，即 $d_1 : d_2 = 4 : 1$ 。

27. 与牛顿内摩擦定律有关的因素是流体的粘度、切应力与角变形率

28. 理想液体的特征是无粘性

29. 动量方程式中，流速和作用力都有方向

30. 质量力 $F = mg$ （ m 为质量， g 为重力加速度），单位质量力 $f = \frac{F}{m} = g$ ，重力加速度 g 的量纲是 LT^{-2} 。

31. 无量纲量是指没有量纲的量。对于 $\frac{lv}{g}$ ， l 的量纲是 L ， v 的量纲是 LT^{-1} ， g 的量纲是 LT^{-2} ， $\frac{lv}{g}$ 的量纲为 $\frac{L \times LT^{-1}}{LT^{-2}} = 1$ ，是无量纲量； $\frac{v}{\sqrt{g}}$ 量纲为 $L^{\frac{1}{2}}T^{-\frac{1}{2}}$ ； $\frac{l}{gv}$ 量纲为 $L^{-1}T^3$ ； $\frac{v^2}{gl}$ 量纲为1，但相比之下 $\frac{lv}{g}$ 是正确的无量纲组合

32.

- **几何相似**：指模型和原型的对应线性尺寸成比例，即对应角度相等，对应长度之比为一常数。例如，模型与原型的管道直径、长度等对应尺寸都按相同比例缩放。这是流动相似的基础，保证了两者外形相似。
- **运动相似**：模型和原型对应点的流速方向相同，大小成比例，且对应点的加速度方向相同，大小成比例。意味着两者的流线形状相似，流体质点的运动轨迹相似，且速度和加速度的比例关系保持一致。
- **动力相似**：模型和原型对应点所受的同名力方向相同，大小成比例。主要的同名力包括重力、粘性力、压力等。例如，在重力相似的情况下，模型和原型重力加速度相同，且对应点的重力大小成比例。动力相似是保证流动相似的关键，只有动力相似，才能使模型和原型的流动状态在力学本质上相同。

33. 减小管中流动阻力的办法

- **减小管壁粗糙度**：管壁粗糙会增加流体与管壁间的摩擦阻力，采用光滑的管材，如不锈钢管、塑料管等，或对管道内壁进行打磨、涂层处理，降低管壁粗糙度，可减小沿程阻力。
- **优化管道布置**：减少不必要的弯头、阀门等局部阻碍，因为这些会引起流速分布改变、产生漩涡等，导致局部阻力增大。尽量采用直线管道，合理布置管道走向，避免管道急剧转弯和突然扩大、缩小。
- **降低流速**：根据沿程阻力和局部阻力公式，流速是影响阻力的的重要因素。在满足流量需求的前提下，适当降低流速，可使沿程阻力和局部阻力都减小。但需综合考虑流量要求和管道尺寸等因素，避免因流速过低造成其他问题。
- **采用合理的管径**：在流量一定时，选择合适的管径，使流速处于较为合理的范围，可降低流动阻力。管径过大可能造成投资浪费，管径过小则会使流速过高，阻力增大。

34. **流管**：在流场中，通过任意封闭曲线（不是流线）上各点作流线，这些流线组成的管状表面称为流管。流管内的流体不会流出流管，流管外的流体也不会流入流管，流管类似于一个无形的管道约束着流体的流动。

35. **等压面定义**：在平衡流体中，压强相等的各点所组成的面。例如，在静止的液体中，同一水平面上的各点压强相等，这个水平面就是等压面。

• 满足等压面的三个条件：

- **流体处于平衡状态**：只有在平衡流体中，才存在等压面的概念。如果流体处于运动状态，由于惯性力等因素的影响，压强分布较为复杂，一般不存在简单的等压面。
- **同种流体**：不同种流体，由于密度不同，即使在同一水平面上，压强也可能不同，所以等压面只存在于同种流体中。
- **连续介质**：流体必须是连续的，不能存在间断或空隙。若流体中存在气泡、缝隙等不连续情况，会破坏压强的连续性，无法形成等压面。

2025春回忆卷

一、选择题 15*2 (有一个或两个是对的) —— 乱序版

1. 不可压缩流体
2. 关于流体哪项是错的
3. 哪个不是基本量纲
4. 静止流体哪个力为0
5. 哪项不是机械能
6. 哪项不是流场
7. 哪项不是NS方程的项
8. 皮托管测速
9. 动力黏度
10. 流管
11. 浮力
12. 局部阻力损失
13. 模型实验
14. 哪项不是表面力

二、简答题 5*4

1. 牛顿流体与非牛顿流体，列举两种非牛顿流体（两种类型，非具体流体）
2. 微分流体团基本变形类型
3. 无旋流动判定依据
4. 有哪些流体守恒方程（仅列举方程名称，不需要写出表达式）
5. 四个相似准数的表达式

三、计算题 5*10

- 作业 1-13 ----- 求拉力
作业2-13 ----- 求 $C_p C_f C_d$
例3-3 ----- 大坝
作业4-21 ----- 求 h_f 等
作业8-? ----- 根据相似求 v 和 F

碎碎念

- 感觉小题还是考了一些PPT以外的概念，还有非常奇怪的表述以及小知识点，比如ns方程的项，我记的版本是惯性力项、压力项、粘性力项和外力项，结果题目给的是动力项、源项、拓展项、差分项什么的。当然也可能是我没听课吧，复盘了一下ppt确实有，确实没听课

- 简答题都挺常规的，好好复习应该都能拿满
 - but，大题跟去年考的没一道重合，我当时注意到**去年考的都是作业题前10道**，so只复习了前10道(当时想着万变不离其宗，这门课的重点肯定不会变嘛，甚至有几题的数据都背下来了)结果成了小丑，**今年考的都是10以后的题号**，考向跟去年大不相同:牛顿剪切定律没考、流线迹线方程没考、复式测压计没考，输麻了(还好前面基本都对了)
- 综上：大题还是不能偷懒，得把**作业题全搞明白**才行

"后人哀之而不鉴之，亦使后人而复哀后人也"

- 附一个当时没事押的简答题清单(几乎全面覆盖了本次考试的五道题)

1. 流体基本特征 (力学性质)
2. 如何定义基本流体单元
3. 连续介质模型
4. 毛细现象
5. 牛顿流体和牛顿剪切定律

6. 流场性质
7. 压力表示3种方法
8. 伯努利方程条件
9. 几个守恒

10. 流体流动分类
11. 流线迹线
12. 微元流体团基本变形
13. 层流 湍流

14. 相似数相似准数
15. 沿程、局部阻力系数
16. 流动相似原理
17. 七个基本量纲
18. NS方程项
19. 流管概念
20. 突缩管压力降