

高校经典教材同步辅导丛书
配套高教版·闻德荪主编

教你用更多的自信面对未来！

工程流体力学

(水力学)

(第三版·上册)

同步辅导及习题全解

主 编 苏蕊

一书两用
同步辅导+考研复习

习题超全解

名师一线经验大汇集，解题步骤超详细，方法技巧最实用

新版



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高校经典教材同步辅导丛书

工程流体力学（水力学） （第三版·上册） 同步辅导及习题全解

主 编 苏 蕊



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是与高等教育出版社出版、闻德荪主编的《工程流体力学(水力学)(第三版·上册)》一书配套的同步辅导及习题全解辅导书。本书共有八章,分别介绍绪论、流体静力学、流体运动学、理想流体动力学和平面势流、实际流体动力学基础、量纲分析和相似原理、流动阻力和能量损失、边界层理论基础和绕流运动。

本书按教材内容安排全书结构,各章均包括学习要求、知识点归纳、习题全解三部分内容。全书按教材内容,针对各章节习题给出详细解答,思路清晰,逻辑性强,循序渐进地帮助读者分析并解决问题,内容详尽,简明易懂。

本书可作为高等院校学生学习“工程流体力学(水力学)(第三版·上册)”课程的辅导教材,也可作为考研人员复习备考的辅导教材,同时可供教师备课命题作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程流体力学(水力学)(第三版·上册)同步辅导及习题全解 / 苏蕊主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2014. 4

(高校经典教材同步辅导丛书)

ISBN 978-7-5170-1848-3

I. ①工… II. ①苏… III. ①工程力学—流体力学—高等学校—教学参考资料②水力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TB126②TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第061559号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 加工编辑:孙 丹 封面设计:李 佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书
作 者	工程流体力学(水力学)(第三版·上册)同步辅导及习题全解
出版发行	主 编 苏蕊 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 10.5印张 256千字
版 次	2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	15.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

闻德荪主编的《工程流体力学(水力学)(第三版·上册)》以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。为了帮助读者更好地学习这门课程,掌握更多的知识,我们根据多年的教学经验编写了这本与此教材配套的《工程流体力学(水力学)(第三版·上册)同步辅导及习题全解》。本书旨在使广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,进而提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。考虑“工程流体力学(水力学)(第三版·上册)”这门课程的特点,我们在内容上作了以下安排:

1. **学习要求。**每章前面均对本章重点、难点进行了梳理。
2. **知识点归纳。**每章前面均对本章的知识要点进行了整理。综合众多参考资料,归纳了本章几乎所有的考点,便于读者学习与复习。
3. **习题全解。**教材中课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材的课后习题给了详细的解答。

由于时间较仓促,编者水平有限,难免书中有疏漏之处,敬请各位同行和读者给予批评、指正。

编者
2014年2月

第一章 绪论	1
学习要求	1
知识点归纳	1
习题全解	6
第二章 流体静力学	11
学习要求	11
知识点归纳	11
习题全解	13
第三章 流体动力学	37
学习要求	37
知识点归纳	37
习题全解	43
第四章 理想流体动力学和平面势流	54
学习要求	54
知识点归纳	54
习题全解	65

目录

contents

第五章 实际流体动力学基础	77
学习要求	77
知识点归纳	77
习题全解	93
第六章 量纲分析和相似原理	118
学习要求	118
知识点归纳	118
习题全解	121
第七章 流动阻力和能量损失	129
学习要求	129
知识点归纳	129
习题全解	132
第八章 边界层理论基础和绕流运动	153
学习要求	153
知识点归纳	153
习题全解	154

第一章

绪论

学习要求

1. 掌握流体的概念和主要性质。
2. 掌握作用在流体上的力的性质和计算。

知识点归纳

第一节 流体的概念

一、流体的概念

自然界的物质有三态：固体、液体、气体。

流体：是一种受任何微小剪切力都能连续变形的物质。它是气体和液体的通称。

二、连续介质假设——连续性说明(稠密性假设)

1. 假设的内容

从微观上讲，流体由分子组成，分子间有间隙，是不连续的，但流体力学是研究流体的宏观机械运动，通常不考虑流体分子的存在，而是把真实流体看成由无数连续分布的流体微团(或流体质点)所组成的连续介质，流体质点紧密接触，彼此间无任何间隙。这就是连续介质假设。

流体微团(或流体质点)：基本单位。

宏观上足够小(无穷小)，以至于可以将其看成一个几何上没有维度的点。

微观上足够大(无穷大)，它里面包含着许许多多的分子，其行为已经表现出大量分子的统计学性质。

2. 引入意义:第一个根本性的假设

将真实流体看成为连续介质,意味着流体的一切宏观物理量,如密度、压力、速度等,都可作为时间和空间位置的连续函数,使我们有可能用数学分析来讨论和解决流体力学中的问题。

3. 假设的局限性

对稀薄气体不能适用必须考虑为不连续流体。

流体在各种不同水力现象中的表现取决于内因(流体本身的物理性质)和外因(作用在流体上的力)

第二节 流体的主要物理性质

一、密度和重度

1. 密度:单位体积流体的质量, ρ (density)

均质:
$$\rho = \frac{M}{V}$$

非均质:
$$\rho(x, y, z) = \rho(\bar{r})$$

$$\rho = \frac{dM}{dV} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V}$$

M ——流体质量(kg)

V ——流体体积(m^3)

单位:千克 / 米³ (kg/m^3)

水的密度: $1000\text{kg}/\text{m}^3 = 1\text{g}/\text{cm}^3$

2. 重度:单位体积流体的重量, γ (specific weight)

均质:
$$\gamma = \frac{G}{V}$$

非均质:
$$\gamma = \frac{dG}{dV} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V}$$

单位:牛顿 / 米³ (N/m^3)

二、粘性(viscosity): μ

粘性是流体所特有的性质,自然界中的任何流体都具有粘性,只是有大有小。

定义:流体微团发生相对运动时所产生的抵抗变形、阻碍流动的性质。

1. 产生粘性的原因

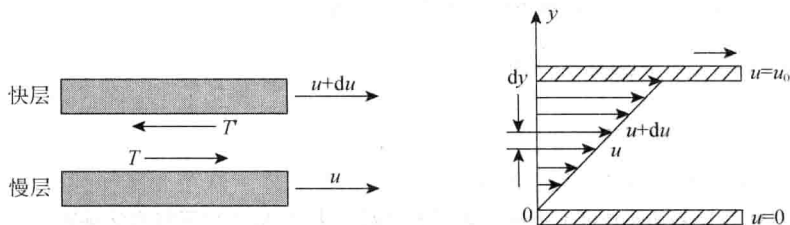
- (1) 流体内聚力。
- (2) 动量交换。
- (3) 流体分子和固体壁面之间的附着力。

2. 产生条件:流体发生相对运动

3. 产生的实质: 微观分子作用的宏观表现

4. 内摩擦力的计算 —— 牛顿内摩擦定律 (Newton's law of internal friction)

怎样确定流体运动时的粘滞力呢? 它与哪些因素有关? 牛顿经过大量实验研究, 于 1686 年提出了确定流体内摩擦力的所谓“牛顿内摩擦定律”。



速度分布规律图

如上图, A、B 为长宽都是足够大的平板, 互相平行, 设 B 板以 u_0 速度运动, A 板不动。由于粘性流体将粘附于它所接触的表面 (流体的边界无滑移条件), $u_{\text{上}} = u_0$, $u_{\text{下}} = 0$ 。

(1) 两平板间流体流层: 速度自上而下递减, 按直线分布。

(2) 取出两层

快层: $u + du$

慢层: u

相邻流层发生相对运动时:

T : 快层对慢层产生一个切力 T , 使慢层加速, 方向与流向相同。

T' : 慢层对快层有一个反作用力 T' , 使快层减速, 方向与流向相反, 这种阻止运动的力称为阻力。

(3) T 与 T' : 大小相等、方向相反的一对力, 分别作用在两个流体层的接触面上, 这对力是在流体内部产生的, 叫内摩擦力。

(4) 牛顿内摩擦定律的内容

流体相对运动时, 层间内摩擦力 T 的大小与接触面积、速度梯度成正比, 与流体种类及温度有关, 而与接触面上的压力无关, 即:

$$T = \pm \mu A \frac{du}{dy}$$

T ——内摩擦力, 单位: 牛顿 (N)。

μ ——动力粘性系数, 与流体性质、温度有关。

A ——接触面积。

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度 Velocity gradient。

(5) 粘性切应力 τ : 单位面积上的内摩擦力

$$\tau = \frac{T}{A} = \pm \mu \frac{du}{dy}$$

单位: N/m^2

(6) 公式说明

①“ $\pm$ ”是为使 T 、 τ 永远为正值而设

当 $\frac{du}{dy} > 0$ 时, T, τ 取“+”号;

当 $\frac{du}{dy} = 0$ 时, $T, \tau = 0$;

当 $\frac{du}{dy} < 0$ 时, T, τ 取“-”号(拖下板、 y 轴向下、管流)。

② 符合 $\tau = \pm \mu \frac{du}{dy}$ 的流体 —— 牛顿流体

不符合 $\tau = \pm \mu \frac{du}{dy}$ 的流体 —— 非牛顿流体

③ 公式适用条件: 牛顿流体做层流运动。

5. 粘性系数(粘度)coefficient of viscosity: 表征流体粘性大小, 通常用实验方法确定

(1) 动力粘度 μ : coefficient of dynamic viscosity

① 定义: 由公式 $\tau = \frac{T}{A} = \pm \mu \frac{du}{dy}$ 得

$$\mu = \pm \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}$$

② 物理意义: 表示速度梯度为 1 时, 单位面积上的摩擦力的大小。

③ 国际单位: 牛顿·秒 / 米² 或 Pa·s。

1 Pa·s = 1000 mPa·s (在程序中常用 mPa·s)

注意: 水的粘度数量级 1 mPa·s。

(2) 运动粘度 ν : coefficient of kinematic viscosity

① 定义: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, 在方程中经常出现。

② 国际单位: 米² / 秒。

6. 理想流体与实际流体

(1) 理想流体: 假想没有粘性的流体 $\mu = 0$, 能量损失 = 0。

(2) 实际流体: 又称为粘性流体, 即真实流体 $\mu \neq 0$, 能量损失 $\neq 0$ 。

流体在运动中因克服摩擦力必然要做功, 所以粘性也是流体中发生机械能量损失的根源。

三、压缩性和膨胀性

1. 压缩性(Compressibility)

一般用压缩系数或体积模量来表示流体体积随压强的变化, 分别用符号 k 与 K 进行标记。

压缩系数的定义: 当流体的温度保持不变时, 单位压强变化所引起的单位流体体积变化量。压缩系数由下式确定:

$$k = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$$

式中 k 为压缩系数, 单位为 1/Pa;

V 为压强为 P 时流体的体积, 单位为 m³。

从上述方程可以看出,当压强的增量相同时,流体的 k 值越大,其体积变化率也越高,也越易压缩,反之亦然。因此, k 是流体压缩性的度量。

压缩系数的倒数称为体积模量,用 K 表示:

$$K = \frac{1}{k} = -V \frac{dp}{dV}$$

在工程实际中,常用体积模量衡量流体压缩性。 K 值大的流体其压缩性就小,其单位与压强的单位相同,即 Pa 。

2. 膨胀性(Expansibility)

流体体积随温度变化的属性通常用体膨胀系数来表示。

当压强保持不变时,温度升高一个单位引起的体积变化率称为体膨胀系数,以 α_v 表示,其大小为

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}$$

式中 α_v 为流体的体膨胀系数,单位 $1/\text{K}$;

V 为温度为 T 时流体的体积。

四、表面张力 σ

1. 定义:使液体表面处于拉伸状态的力为表面张力

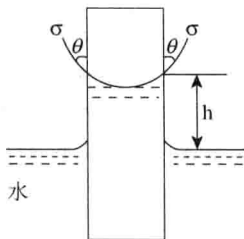
2. 表面张力系数 σ :单位长度上的表面张力

3. 表面张力的产生:液、气接触自由表面

4. 表面张力产生的原因:由于内聚力的不同而导致(分子受力不平衡)

在气液自由表面上,由于液体分子的内聚力明显很大,因此在液体表面的分子有向液体内部收缩的倾向,使得自由表面有一拉紧作用的力产生,即表面张力。在液固交界面上,也会产生附着力。液体内部聚力的大小决定其是否产生湿润管壁。

水与玻璃管相互作用计算及分析:



管壁圆周上总表面张力在垂直方向上的分力:

$$\pi \cdot D \cdot \sigma \cdot \cos\theta \quad (1)$$

上升液柱重:

$$\gamma \cdot \frac{\pi}{4} D^2 h \quad (2)$$

令

$$\pi D \sigma \cos\theta = \gamma \frac{\pi}{4} D^2 h$$

可得毛细管内液柱上升高度

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\gamma D} \quad (3)$$

其中: θ 为液面与壁面的接触角。

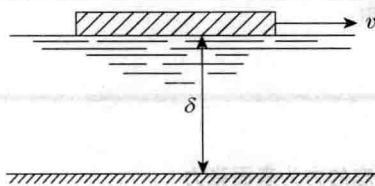
γ 为液体的重度, N/m^2 。

D 为毛细管内径, m 。

σ 为表面张力, N/m 。

习题全解

- 1-1** 一平板在油面上作水平运动,如图所示。已知平板运动速度 $v = 1\text{m/s}$,板与固定边界的距离 $\delta = 1\text{mm}$,油的粘度 $\mu = 0.098\ 07\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。试求作用在平板单位面积上的粘性切力。

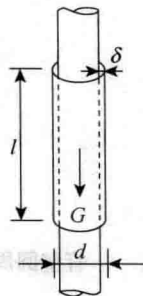


题 1-1 图

解题过程

$$\begin{aligned} \tau &= \mu \frac{du}{dy} \\ \tau &= \mu \frac{v - 0}{\delta} \\ &= 0.09807 \times \frac{1}{10^{-3}} \\ &= 98.07\text{N/m}^2 = 98.07\text{Pa} \end{aligned}$$

- 1-2** 设有一铅垂圆柱形套管套在一铅垂立柱上,管心铅垂轴线与柱心铅垂轴线重合,两者之间间隙充以某种液体(油),如图所示。立柱固定,套管在自重的作用下,沿铅垂方向向下作等速直线运动(间隙中的液体运动速度呈直线分布)。已知套管长度 $l = 0.2\text{m}$,重量 $G = 1.96\text{N}$,内径 $d = 0.05\text{m}$,套管与立柱径向间隙 $\delta = 0.001\ 6\text{m}$,液体的粘度 $\mu = 9.8\text{Pa} \cdot \text{s}$,试求圆柱形套管下移速度 v (空气阻力很小,可略去不计)。



题 1-2 图

解题过程 由题意得 $l = 0.2\text{m}$, $G = 1.96\text{N}$, $d = 0.05\text{m}$, $\delta = 0.001\ 6\text{m}$,

$$\mu = 9.8\text{Pa} \cdot \text{s}$$

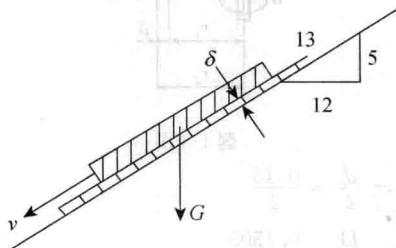
$\therefore$ 等速运动

$$\therefore G - F_s = 0$$

$$F_s = 1.96\text{N}$$

$$\begin{aligned}
 F_s &= \mu A \frac{v}{h} = \mu A \frac{v}{\delta} \\
 &= 9.8 \times A \times \frac{v}{h} = 9.8A \frac{v}{\delta} \\
 A &= l\pi d = \pi dl = 0.05 \times \pi \times 0.2 = 0.001\pi \text{ m}^2 \\
 v &= \frac{F_s h}{\mu A} = \frac{F_s \delta}{\mu A} = \frac{1.96 \times 0.0016}{9.8 \times 0.001\pi} = 0.0102 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

1-3 一底面面积为 $40\text{cm} \times 45\text{cm}$ 、高为 1cm 的平板,质量为 5kg ,沿着涂有润滑油的斜面向下作等速运动,如图所示。已知平板运动速度 $v = 1\text{m/s}$,油层厚度 $\delta = 1\text{mm}$,由平板所带动的油层的运动速度呈直线分布。试求润滑油的粘度 μ 值。



题 1-3 图

解题过程 由题意得

$$A = 0.45 \times 0.4 = 0.18 (\text{m}^2)$$

$$G = 0.5 \text{ kg}$$

$$\delta = 0.01 \text{ mm}$$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

$\therefore$ 等速运动

$\therefore$

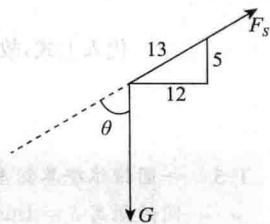
$$G \cos \theta - F_s = 0$$

$$\cos \theta = \frac{5}{13}$$

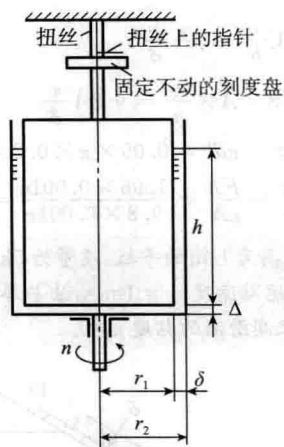
$$F_s = 5 \times \frac{5}{13} = \frac{25}{13} \text{ N}$$

$$F_s = \mu \cdot A \cdot \frac{v}{\delta}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{F_s A \delta}{v} \\
 &= \frac{\frac{25}{13} \times 0.18 \times 0.01}{1} \\
 &= 0.1047 \text{ Pa} \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$



1-4 设粘度测定仪如图 1-4 所示。已知内圆筒外直径 $d = 0.15\text{m}$, 外圆筒内直径 $D = 0.1505\text{m}$, 内圆筒沉入外圆筒所盛液体(油)的深度 $h = 0.25\text{m}$, 外圆筒等转速 $n = 90\text{r/min}$ 。测得转动扭矩 $M = 2.93\text{N} \cdot \text{m}$ 。内圆筒底部比圆筒侧壁所受的阻力小得多, 可以略去不计。试求液体(油)的粘度 μ 值。



题 1-4 图

解题过程

$$r_1 = \frac{d}{2} = \frac{0.15}{2}$$

$$r_2 = \frac{D}{2} = \frac{0.1505}{2}$$

$$h = 0.25 \text{ m}$$

$$n = 90 \text{ r/min}$$

$$M = 2.94 \text{ N/m}$$

$$\sigma = r_2 - r_1 = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

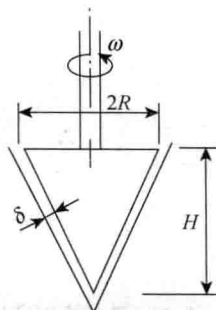
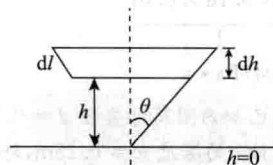
由于底部力矩 M_2 忽略 $M_1 = (2\pi r_1 h) \tau_1 \cdot r_1 = \frac{\pi^2 r_1^2 r_2 h n}{15 \sigma} \mu$

代入上式, 故 $M_1 = \frac{\pi r_1^2 r_2 h n}{15 \sigma} \mu = 2.94 \text{ N} \cdot \text{m}$

$$\mu = \frac{M_1 \times 15 \times \sigma}{\pi r_1^2 r_2 h n} = 0.1173 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

1-5 一圆锥体绕其铅垂中心轴作等速旋转, 如图所示。已知锥体与固定壁间的距离 $\delta = 1 \text{ mm}$, 全部为润滑油 ($\mu = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$) 所充满, 锥体底部半径 $R = 0.3 \text{ m}$, 高 $H = 0.5 \text{ m}$ 。当旋转角速度 $\omega = 16 \text{ rad/s}$, 试求所需的转动力矩 M 。

解题过程 如图



题 1-5 图

取微元体

$$\text{微元面积: } dA = 2\pi r dl = 2\pi r \frac{dh}{\cos\theta}$$

$$\text{切应力: } \tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\omega r - 0}{\delta}$$

$$\text{阻力: } dT = \tau dA$$

$$\text{阻力矩: } dM = dT \cdot r$$

$$r = \tan\theta h$$

$$M = \int dM = \int r dT = \int r \tau dA$$

$$M = \int dM = \int r dT = \int r \tau dA$$

$$= \int_0^H r \tau \cdot 2\pi r \frac{1}{\cos\theta} dh$$

$$= \mu \frac{\omega}{\delta} 2\pi \cdot \frac{1}{\cos\theta} \int_0^H r^3 dh$$

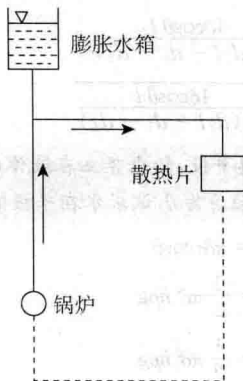
$$= \mu \frac{\omega}{\delta} \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{\cos\theta} \tan^3\theta \int_0^H h^3 dh$$

$$= \frac{2\pi\mu\omega\tan^3\theta H^4}{4\delta\cos\theta}$$

$$= \frac{\pi \times 0.1 \times 1.6 \times 0.5^4 \times 0.6^3}{10^{-3} \times 0.857 \times 2}$$

$$= 39.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1-6 一采暖系统如图所示。考虑到水温升高会引起水的体积膨胀,为防止管道及暖气片胀裂,特在系数顶部设置一个膨胀水箱,使水的体积有自由膨胀的余地。若系统内水的总体积 $V = 8 \text{ m}^3$,加热前后温差 $t = 50^\circ\text{C}$,水的体胀系数 $\alpha_v = 0.0005 \text{ K}^{-1}$,试求膨胀水箱的最小容积 $V_{\min}$ 。



题 1-6 图

解题过程

$$\alpha_v = \frac{\alpha v / v}{dT}$$

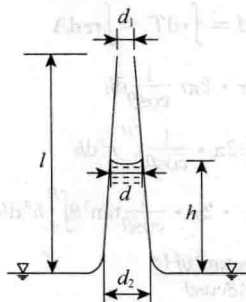
$$\alpha_v dT = \alpha v / v$$

$$u v d T = \alpha v$$

$$\int_0^{50} u v d T = \Delta v \quad \text{水箱体积}$$

$$\begin{aligned} V_{\min} &= 8 \times 50 \times 0.0005 \text{ m}^3 \\ &= 0.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

1-7 设渐变管径、两端开口的玻璃毛细管竖立在水中,如图所示。已知上端管径 $d_1 = 0.1 \text{ cm}$, 下端管径 $d_2 = 0.3 \text{ cm}$, 管长 $l = 20 \text{ cm}$, 试求在毛细管内上升高度 h 的表达式。已知水的密度为 ρ , 表面张力系数为 σ , 接触角为 θ 。



题 1-7 图

解题过程 $\because$ 渐变管径内水面升高 h , 等于从管内水面处的管径为直径的等径圆管中的水面升高, 与中间管段的形状无关

$$d = d_2 + \frac{d_1 - d_2}{l} h$$

$$h = \frac{2\delta \cos \theta}{\rho g d} = \frac{4\delta \cos \theta}{\rho g \left(d_2 + \frac{d_1 - d_2}{l} h \right)}$$

$$h^2 = \frac{4\delta \cos \theta l}{\rho g (d_2 l + d_1 - d_2)}$$

$$h = \sqrt{\frac{4\delta \cos \theta l}{\rho g (d_2 l + d_1 - d_2)}}$$

1-8 设有两块相距缝隙很小的玻璃平板, 铅垂竖立在液体(水)中。已知缝隙间距为 δ , 液体的密度为 ρ , 表面张力系数为 σ , 接触角为 θ , 试求水在平板缝隙内上升高度 h 的表达式。

解题过程

$$\pi \delta \sigma \cos \theta = \pi \delta \sigma \cos \theta$$

$$\pi \delta \sigma \cos \theta = \frac{1}{2} \pi \delta^2 h \rho g$$

$$\pi \delta \sigma \cos \theta = \frac{1}{2} \pi \delta^2 h \rho g$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho \delta g}$$

第二章

流体静力学

学习要求

1. 掌握流体静压强特性和流体平衡微分方程及流体静力学基本方程。
2. 掌握液体的相对平衡性质。
3. 掌握作用在平面上和曲面上的液体总压力计算。

知识点归纳

1. 作用于流体的力

质量力和表面力。最常见的质量力是重力和惯性力，表面力常分为垂直于表面的压力和平行于表面的切力。

2. 流体静压强的两个特性：

- (1) 只能是压应力，方向垂直并指向作用面。
- (2) 同一点静压强大小各向相等，与作用面方位无关。

注意：动压强与静压强的不同（实际流体、理想流体）；理想流体动压强规律分布；实际流体动压强 $p = (p_x + p_y + p_z)/3$ 。

3. 压强的表示方法

- (1) 根据压强计算基准面的不同，压强可分为绝对压强、相对压强和真空值。
- (2) 由于计量方法不同，从而可用液柱高和大气压表示压强大小。

4. 等压面的概念

质量力垂直于等压面，只有重力作用下的静止流体的等压面为水平面应满足的条件是相互连通的同一种连续介质。

5. 流体平衡微分方程

$$\begin{cases} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases}$$