

SHUILIXUE XUEXI YU JIETI ZHIDAO

丁新求 等著

水力学学习与解题指导

典型题：讲解重点难点，掌握解题技巧
考研题：剖析历年真题，提高应试能力
趣味题：调节学习情趣，启发学习灵感

实用性

层次性

趣味性



黄河水利出版社

水力学学习与解题指导

丁新求 等 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是为水利大类及土建大类读者编写的一本水力学学习辅导书籍。为更好地满足读者之需,本书在实用性、层次性和趣味性等方面,有意作了一些探索性尝试。

全书共分为九章,各章均按学习指导、公式提要、例题解析以及自测练习题四个节次编写。其中,例题解析分为奇趣题解析、典型题解析和硕士研究生入学试题解析等三个部分,自测练习题分为客观题和主观题两种题型。

本书可供水利大类和土建大类本科、专科(含自考、成教、函授、网教及电大)学生学习水力学课程之用,也可作为教学、硕士研究生入学考试、行业招聘及相关执业资格考试的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

水力学学习与解题指导/丁新求等著. —郑州:黄河水利出版社,2014.8

ISBN 978-7-5509-0902-1

I. ①水… II. ①丁… III. ①水力学—题解 IV. ①TV
13-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第203403号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:22

字数:509千字

印数:1—3 100

版次:2014年8月第1版

印次:2014年8月第1次印刷

定价:45.00元

前 言

本书是作者根据水力学课程教学工作中的点滴积累和心得,结合当前“教”、“学”活动中的存疑与需求,撰写的一本学习辅导书籍。旨在帮助读者在学习水力学时,能够较好地理解要义、消化重点、把握难点,提高分析问题和解决问题的能力。

全书共分为九章,各章均按学习指导、公式提要、例题解析和自测练习题等四个节次编写。其中,例题解析分为奇趣题解析、典型题解析和硕士研究生入学试题解析等三个部分;自测练习题分为客观题(含判断题、选择题及填空题)和主观题(含思考题、绘图题和计算及证明题)两种题型。

与其他同类书籍比较,本书主要作了如下三个方面的尝试:

(1)注重实用性。①专业实用性:本书适用对象明确,内容基本控制在水利大类及土建大类本科各专业水力学教学大纲的范围之内,尽量避免发生因通用所带来的内容庞杂,博而不精的通病;②助学实用性:为帮助读者有效把握重点和难点,提高对求解问题的辨识能力,本书对各章的重点、难点内容以及主要解题要点,进行了简明归纳与扼要总结;③应试实用性:为提高读者的解题技巧,针对学习和考试中所存在的共性问题,本书在例题解析部分选择了一些颇具代表性的典型例题、硕士研究生入学试题等,展开一题一议的点评式解题指导。在自测练习题的编写过程中,还特别注意结合了当前行业招聘及相关执业资格考试的题型特点。

(2)强调层次性。为便于层次和要求不同的读者学习和自测需要,本书力求做到言简意赅,通俗易懂。除思考题和证明题外(证明题附有证明提示),其他题型均在书后附有自测练习题参考答案,并刻意将计算及证明题分为基本题和加深题两部分,读者可依据自己的实际情况酌情取舍。

(3)体现趣味性。为提高广大读者的学习兴趣,调节学习情绪,启发学习灵感,本书尽可能避免平铺直叙的呆板模式,特别在各章的例题解析中,编入了一些与课程内容密切相关,且兼具知识性,又不失奇趣效果的奇趣题解析。

参加本书撰写工作的有:长沙理工大学丁新求(第一、三、六章),杜春艳(第二章),李梦成(第四章),张春财(第七章);云南农业大学陈丽红(第五章),卢敏(第九章);华北水利水电大学张晓雷(第八章);长沙市寸地缘水电技术咨询有限公司周乐骥承担了本书的部分插图绘制工作。全书由丁新求统稿。

本书承华北水利水电大学孙东坡教授审阅,并提出了许多宝贵的改进意见,特此谨致谢忱。

尽管作者穷尽其能,但终因谗才末学而难如其愿,书中舛误,还恳祈广大读者不吝斧正。

作 者
2014年3月

目 录

前 言	
第一章 水力学基础知识	(1)
第一节 学习指导	(1)
第二节 公式提要	(3)
第三节 例题解析	(5)
第四节 自测练习题	(11)
第二章 水静力学	(16)
第一节 学习指导	(16)
第二节 公式提要	(20)
第三节 例题解析	(22)
第四节 自测练习题	(35)
第三章 水动力学基本原理	(49)
第一节 学习指导	(49)
第二节 公式提要	(53)
第三节 例题解析	(55)
第四节 自测练习题	(71)
第四章 液流型态与水头损失	(84)
第一节 学习指导	(84)
第二节 公式提要	(89)
第三节 例题解析	(92)
第四节 自测练习题	(106)
第五章 有压管道流动	(114)
第一节 学习指导	(114)
第二节 公式提要	(119)
第三节 例题解析	(123)
第四节 自测练习题	(139)
第六章 恒定明渠水流	(153)
第一节 学习指导	(153)
第二节 公式提要	(160)
第三节 例题解析	(164)
第四节 自测练习题	(185)

第七章 过流建筑物的水力计算	(198)
第一节 学习指导	(198)
第二节 公式提要	(203)
第三节 例题解析	(211)
第四节 自测练习题	(237)
第八章 液体三元流动的基本原理	(247)
第一节 学习指导	(247)
第二节 公式提要	(255)
第三节 例题解析	(260)
第四节 自测练习题	(275)
第九章 渗流	(282)
第一节 学习指导	(282)
第二节 公式提要	(286)
第三节 例题解析	(288)
第四节 自测练习题	(296)
参考答案	(304)
附录	(330)

第一章 水力学基础知识

第一节 学习指导

一、重点与难点

(一) 重点

(1) 惯性、万有引力特性和黏滞性；(2) 牛顿内摩擦定律及其应用。

(二) 难点

(1) 黏滞性的物理本质及其对水流运动的影响；(2) 牛顿内摩擦定律的应用。

二、考核知识点与备考要求

(一) 考核知识点

(1) 液体的主要物理力学性质；(2) 作用于液体上的力；(3) 连续介质与理想液体模型。

(二) 备考要求

1. 液体的主要物理力学性质

(1) 熟记：①液体的质量、重量(重力)以及它们与密度和体积之间的关系式(式(1-2)、式(1-5))等；②一个标准大气压下、温度为4℃时水与水银的密度值；③牛顿内摩擦定律式(1-6)、式(1-7)及其应用条件；④动力黏度与运动黏度之间的关系式(1-8)以及它们的单位；⑤液体黏滞性的影响因素、显性条件及牛顿液体的特征。

(2) 理解：①惯性、万有引力特性、黏滞性、压缩性及表面张力特性的定义及其对水流

人物简介

艾萨克·牛顿(I. Newton)



艾萨克·牛顿(I. Newton, 1643年1月4日—1727年3月31日)，英国物理学家、数学家、天文学家、自然哲学家，也是人类历史上出现过的最伟大、最有影响的科学家之一。1687年7月5日牛顿发表了《自然哲学的数学原理》，在该书中他用数学方法阐明了宇宙中最基本的法则——三大运动定律和万有引力定律。由这四条定律所构成的统一体系，奠定了之后三个世纪中物理学界的科学观点，成为现代工程学的基础。在天文学上，牛顿通过论证开普勒行星运动定律与他的引力理论间的一致性，揭示了地面物体与天体的运动都遵循着相同的自然定律，为太阳中心说提供了强有力的理论支持。在力学上，他阐明了动量和角动量守恒的原理。在光学上，牛顿发明了反射望远镜，发展出了颜色理论。在数学上，他对微积分的研究也成果卓著。

运动的影响;②密度的定义;③黏滞性的物理本质及其对水流运动的影响;④牛顿内摩擦定律中各项符号的意义;⑤固体摩擦力与液体内摩擦力的区别。

(3)能力要求:熟练掌握牛顿内摩擦定律的应用方法。

2. 作用于液体上的力

(1)熟记:①作用于液体上力的种类,即:“两类”“四种”。两类:面积力和质量力;四种:内摩擦力、水压力、惯性力、重力。这里,内摩擦力及水压力为面积力,惯性力与重力为质量力。②单位质量力的定义和计算公式(1-14)及其在直角坐标系下的投影式(1-15)。

(2)理解:①表面力与质量力的定义;②单位质量力的定义及单位。

(3)能力要求:熟悉液体在静止及运动状态下,各自作用力的种类。

3. 连续介质与理想液体模型

(1)熟记:①连续介质的定义;②理想液体的定义。

(2)理解:实际液体与理想液体的区别。

(3)能力要求:明确水力学中引入连续介质及理想液体模型的意义。

三、液体的主要物理力学性质归纳

液流的物理本质主要由液体的物理力学性质所揭示。谙熟和掌握液体的主要物理力学性质,是研究液流运动和学好水力学课程的基本前提。现对液体的主要物理力学性质进行具体归纳,如表 1-1 所示。

表 1-1 液体的主要物理力学性质归纳表

特性名称	定义	特性度量指标	作用力	作用力类别	课程地位
惯性	液体反抗改变原有运动状态的特性	m, ρ	$F = -ma$	质量力	主要(重点)
万有引力特性	物体之间所具有的相互吸引的性质(水力学中,只研究地球对液体的引力)	G	$G = mg = \rho gV$	质量力	主要(重点)
黏滞性	液体在运动状态下所具有的抵抗剪切变形能力的特性	μ 或 ν	$F = \mu A \frac{du}{dy}$ 或 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$	面积力	主要(重点、难点)
压缩性与弹性	在外力作用下体积可以缩小的特性叫压缩性;当外力除去后体积又可以恢复原状的特性叫弹性	β, K	略	略	次要(水动专业重点掌握,其他专业一般了解)

续表 1-1

特性名称	定义	特性度量指标	作用力	作用力类别	课程地位
表面张力特性	由于液体表层上、下两侧分子的引力不平衡,在合引力作用下,使得表层具有能够承受微小拉力的特性	σ	略	略	次要(一般了解)

注:1. 液体的主要特征是:①容易流动;②不易压缩;③表层以下不能受拉;④静止时不能受剪(或说静止时黏滞性不显性)。

2. 由于空气浮力及物体绕地球转动时的向心力很小,通常忽略其影响。所以,应用中就将地球对物体的引力作为物体的重力(或重量)。

第二节 公式提要

一、运动液体的惯性力

$$F = -ma \quad (1-1)$$

式中: m 为质量,kg; a 为加速度, m/s^2 。

二、液体的密度与重力

1. 密度

(1) 均质液体的密度

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

(2) 非均质液体的密度

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (1-3)$$

2. 重力

$$G = mg \quad (1-4)$$

3. 重力与体积之间的关系

$$G = \rho g V \quad (1-5)$$

式中: V 为液体的体积, m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ,水力学中,一般取为 $9.8 m/s^2$ 。

三、牛顿内摩擦定律及液体的黏度

1. 牛顿内摩擦定律

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-6)$$

或

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

式中: F 为流层间的内摩擦力, N ; μ 为动力黏度或动力黏滞系数, $Pa \cdot s$ 或 $N \cdot s/m^2$; A 为两流层间的接触面积, m^2 ; τ 为黏滞切应力, N/m^2 或 Pa ; du/dy 为流速梯度, $du/dy = d\theta/dt$, $d\theta$ 为 dt 时段内的角变形, $d\theta/dt$ 为角变形率。

2. 动力黏度与运动黏度之间的关系

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-8)$$

式中: ν 为运动黏度或运动黏滞系数, m^2/s 或 cm^2/s 。

3. 水的运动黏度(经验公式)

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-9)$$

式中: t 为温度, $^{\circ}C$ 。

注:应用式(1-9)计算水的运动黏度时, ν 的单位为 cm^2/s 。

四、压缩系数与弹性系数

1. 压缩系数

$$\beta = -\frac{dV}{V dp} \quad (1-10)$$

式中: dp 为压强增量; dV 为压强变化 dp 时体积的改变量。

2. 弹性系数

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1-11)$$

以上两式中, 压缩系数 β 及弹性系数 K 的单位分别为 m^2/N 和 N/m^2 。

五、表面张力影响公式

1. 水在细玻璃管中的升高值($20^{\circ}C$ 时)

$$h = \frac{30.2}{d} \quad (1-12)$$

2. 水银在细玻璃管中的降低值($20^{\circ}C$ 时)

$$h = \frac{10.8}{d} \quad (1-13)$$

式中: d 为细玻璃管的直径, mm ; h 为由毛细管现象所产生的细玻璃管中液面的升高(或降低)值, mm 。

六、单位质量力及其在空间直角坐标系上的投影

1. 单位质量力

$$f = \frac{F}{m} \quad (1-14)$$

式中: f 为单位质量力, m/s^2 ; F 为作用于液体上的总质量力; m 为液体的质量。

2. 单位质量力在空间直角坐标系上的投影

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{F_x}{m} \\ Y &= \frac{F_y}{m} \\ Z &= \frac{F_z}{m} \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式中: X 、 Y 、 Z 分别为单位质量力 f 在 x 、 y 、 z 坐标轴上的投影。

第三节 例题解析

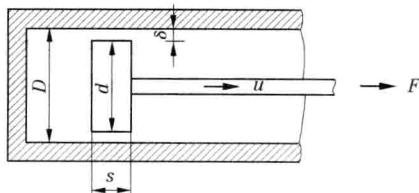
一、奇趣题解析

【例 1-1】 硬币“水上漂”的奥秘。 在一杯水里,轻轻地 把一枚硬币水平放置在水面上,硬币浮在水面上而不沉于杯底,并且在硬币下面的水面上形成一个明显的凹面。试问这种硬币“水上漂”的现象,是由“表面张力”的作用所引起还是由“浮力”的作用所引起的呢? 试分析说明原因。

解析: 这种硬币“水上漂”的现象,是由“表面张力”的作用所引起,而不是由“浮力”的作用所引起的。因为当硬币“漂”在水面上时,在硬币下面的水面上形成了一个明显的凹面,表明“漂”在水面上的硬币不但没有破坏杯中水的“表面张力层”,而且还被表面张力层所“兜”着。可见,硬币“水上漂”的原因,就是由于“表面张力”的作用所致。正因为硬币“漂”在水面上时,表明“张力层”未被破坏,硬币所排开的水体体积也为零,根据“阿基米德原理”,该硬币在杯中所受水的“浮力”也就必然等于零。显然,硬币“水上漂”的现象,并非“浮力”的作用所致,而是被表面张力层“托”在水面上。当然,若放置硬币时不小心破坏了表面张力层,硬币还是会沉入水中的。

二、典型题解析

【例 1-2】 一活塞油缸如例 1-2 图所示。已知油缸内径 $D = 14 \text{ cm}$, 活塞直径 $d = 13.4 \text{ cm}$, 活塞长度 $s = 16 \text{ cm}$, 当拉动活塞的力 $F = 7.5 \text{ N}$ 时, 活塞的移动速度 $u = 0.5 \text{ m/s}$, 若油缸内润滑油的密度为 860 kg/m^3 , 试求润滑油的运动黏度 ν 。



例 1-2 图

解: 活塞侧表面与润滑油的接触面积:

$$A = \pi ds = 3.14 \times 0.134 \times 0.16 = 0.067 (\text{m}^2)$$

活塞与油缸缸筒之间的同心环形间隙:

$$\delta = \frac{1}{2}(D - d) = \frac{1}{2} \times (0.14 - 0.134) = 0.003 (\text{m})$$

由于油缸与活塞侧表面之间的油层厚度 δ 较小,可认为油层作层流运动,流速近似呈线性分布,则由牛顿内摩擦定律,有

$$F = \mu A \frac{du}{dy} = \mu A \frac{u}{\delta}$$

得油缸中润滑油的动力黏度

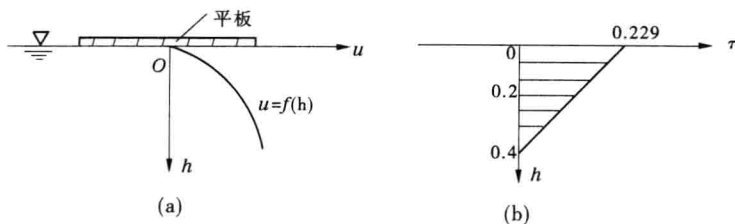
$$\mu = \frac{F\delta}{uA} = \frac{7.5 \times 0.003}{0.5 \times 0.067} = 0.672 (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$$

则油缸中润滑油的运动黏度

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.672}{860} = 7.81 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{s})$$

由上例可见,由于在应用牛顿内摩擦定律时,要求液流为作层流(层流概念详见第四章)运动的牛顿液体。所以,在水力学中,类似于例题中这种液层厚度 δ 较薄的情形,解题时通常都视为分层流动,且其流速分布也往往近似按线性分布考虑。

【例 1-3】 一漂于水面的极薄平板如例 1-3(a) 图所示,板面附近沿板法线方向的水流流速分布 $u = 200h - 250h^2$ ($0 \leq h \leq 0.4 \text{ m}$), $\mu = 1.145 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, 试求:(1) $h = 0$, $h = 0.2 \text{ m}$, $h = 0.4 \text{ m}$ 处的切应力;(2) 绘制沿平板法线方向的切应力分布图。



例 1-3 图

解: 1. 求已知水深处的切应力

由式(1-7)得:
$$\tau = \mu \frac{du}{dh} = \mu(200 - 500h)$$

因此

$$\tau_0 = 1.145 \times 10^{-3} \times 200 = 0.229 (\text{N}/\text{m}^2)$$

$$\tau_{0.2} = 1.145 \times 10^{-3} \times (200 - 500 \times 0.2) = 0.115 (\text{N}/\text{m}^2)$$

$$\tau_{0.4} = 1.145 \times 10^{-3} \times (200 - 500 \times 0.4) = 0$$

2. 绘制切应力分布图

由 $\tau = \mu(200 - 500h)$ 知,切应力沿水深呈线性变化,据此绘制沿平板法线方向的切应力分布图,如例 1-3(b) 图所示。

【例 1-4】 某水电站引水管,管长 $l = 180 \text{ m}$,管径 $d = 0.4 \text{ m}$,压强为 $1200 \text{ kN}/\text{m}^2$,水

的体积弹性系数 $K = 1.96 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$, 求当尾部阀门突然关闭、管中压强剧增至 5000 kN/m^2 时水的体积。

解: 关阀门前水的原体积:

$$V_1 = \frac{\pi}{4} d^2 l = 0.785 \times 0.4^2 \times 180 = 22.61 (\text{m}^3)$$

阀门突关, 由式(1-10)得水体的体积压缩值:

$$dV = -\beta V_1 dp = -\frac{1}{K} V_1 dp = -\frac{22.61}{1.96 \times 10^6} \times (5000 - 1200) = -0.04 (\text{m}^3)$$

所以, 当压强剧增至 5000 kN/m^2 时水的体积为

$$V_2 = V_1 + dV = 22.61 - 0.04 = 22.57 (\text{m}^3)$$

在例 1-4 中, 压强增值 $5000 - 1200 = 3800 \text{ (kN/m}^2)$, 约等于 39 个大气压, 但水体的体积缩小值仅为 0.04 m^3 , 足见水是不易压缩的。

【例 1-5】 如例 1-5 图所示为一半径 r_0 的圆柱形盛水容器, 以等角速度 $\omega = 2.0 \text{ rad/s}$ 绕 z 轴旋转, 试求: (1) 作用于 $x=0.2 \text{ m}, y=-0.3 \text{ m}$ 的水面点 M 上的单位质量力; (2) 作用于 M 点的单位质量力在各坐标轴上的投影。

解: 1. 求作用于半径 r 处 M 点的单位质量力 f

作用于 M 点的质量力有离心惯性力和重力两种, 根据式(1-14)计算。

(1) 离心惯性力 F 引起的单位质量力:

$$f_1 = \frac{F}{m} = \frac{m\omega^2 r}{m} = \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} = 2.0^2 \times \sqrt{0.2^2 + (-0.3)^2} = 1.44 (\text{m/s}^2)$$

(2) 重力 G 引起的单位质量力:

$$f_2 = \frac{G}{m} = \frac{mg}{m} = g = 9.8 (\text{m/s}^2)$$

所以, 合质量力 R 所引起的作用于 M 点的单位质量力

$$f = \frac{R}{m} = \sqrt{f_1^2 + f_2^2} = \sqrt{1.44^2 + 9.8^2} = 9.905 (\text{m/s}^2)$$

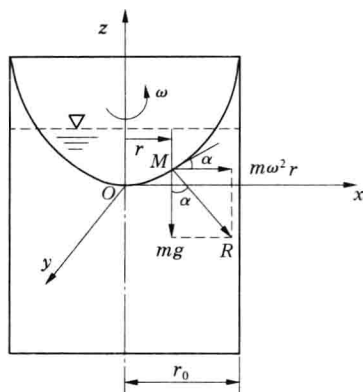
2. 求作用于 M 点的单位质量力在各坐标轴上的投影

由式(1-15)得, 单位质量力在 x, y, z 轴上的投影分别为

$$X = \frac{F_x}{m} = f_1 \cos \alpha = \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \omega^2 x = 2.0^2 \times 0.2 = 0.8 (\text{m/s}^2)$$

$$Y = \frac{F_y}{m} = f_1 \sin \alpha = \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \omega^2 y = 2.0^2 \times (-0.3) = -1.2 (\text{m/s}^2)$$

$$Z = \frac{F_z}{m} = -f_2 = \frac{-G}{m} = \frac{-mg}{m} = -g = -9.8 (\text{m/s}^2)$$



例 1-5 图

应该注意的是:单位质量力 f 在某坐标轴上的投影,并不等于 f 沿同一坐标轴的分力(分力与投影的关系在《理论力学》中通常被表达为: $f_x = Xi$, $f_y = Yj$ 和 $f_z = Zk$),因为分力是矢量,而力在坐标轴上的投影则是标量。如上例中,单位质量力 f 沿 y 轴的分力 $f_y = 1.2 \text{ m/s}^2$,而其在 y 轴上的投影 $Y = -1.2 \text{ m/s}^2$; f 沿 z 轴的分力为 $f_z = 9.8 \text{ m/s}^2$,但其在 z 轴上的投影 $Z = -9.8 \text{ m/s}^2$ 。

三、硕士研究生入学试题解析

(一) 分析说明题

【例 1-6】 (某校 2011 年硕士研究生入学试题)“因为均质液体的密度 ρ 和体积 V 均随液体的温度和压强的变化而变化,所以由 $m = \rho V$ 可知,即使是在宏观、低速的情况下,液体的质量 m 也是随液体的温度和压强的变化而变化的”,这种说法对否? 试分析说明其理由。

解析:这种说法不对。注意到密度 ρ 与体积 V 是成反比的,即当 V 增大时 ρ 减小,在一个确定的封闭体系中,对于任何液体(或其他物质),尽管温度和压强的变化,会导致 ρ 、 V ,甚至是物质的原有形态或结构的改变,但根据质量守恒定律,其乘积 ρV 应是不会改变的,即: $m = \rho V = C$ (常数)。也就是说,在宏观、低速的情况下,任何物质的质量 m 都是守恒的。

【例 1-7】 (某校 2010 年硕士研究生入学试题)一长方形平底小木船,在一水平牵引力的作用下,于长直的矩形断面玻璃水槽中行驶,假设装载重物前后小船的行驶速度不变,且若小船带动水的速度均近似呈线性分布。根据牛顿内摩擦定律,液体的内摩擦力与接触面上的正压力无关,所以有人说:“小船装载重物前后,底板上所受的内摩擦力是不变的”。要求:(1)试判断以上说法对否? 并说明原因;(2)试分析说明小船所受的内摩擦力与载重量之间的关系。

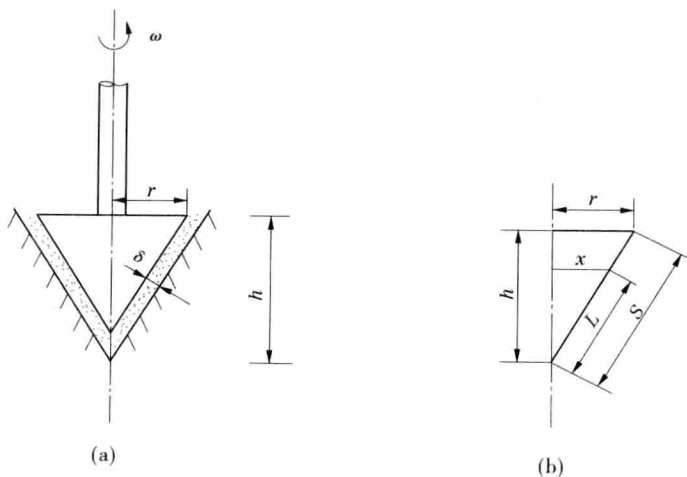
解析:(1)这种说法不对。因为装载重物后小船下沉,“吃”水深度增加,导致小船底板距槽底的距离较空载时减小,流速梯度较空载时增大,根据牛顿内摩擦定律,液体的内摩擦力与流速梯度成正比,所以装载重物后小船底板上所受的内摩擦力较空载时大。

(2)分析说明小船所受的内摩擦力与载重量之间的关系:由以上分析已知,小船所承载的重物越重(正压力越大),其底板上所承受的内摩擦力增值 F_1 也会越大,但这并不意味着小船底板上所承受的内摩擦力与正压力有关,而是因为载重量(正压力)的增加而导致船体附近流速梯度的增加。另外,小船所载的重物增加,两侧表面上所承受的内摩擦力 F_2 也会随之增加,这是因为载重量的增加,而导致小船两侧与水的接触面积(摩擦面积)增加所致。

综上所述可见,小船所受的内摩擦力随其载重量的增减而增减,内摩擦力与载重量之间形成了明显的因果关系,但牛顿内摩擦定律表明,它们之间并不直接构成数学意义上的函数关系。如果要恰如其分地来表达这种关系,那内摩擦力与载重量之间就是一种看似无关却有关的关系。

(二) 计算及证明题

【例 1-8】 (某校 2011 年硕士研究生入学试题) 如例 1-8(a) 图所示的圆锥体绕其中心轴做等角速度旋转, 已知角速度 $\omega = 14 \text{ rad/s}$, 距离 $\delta = 2 \text{ mm}$ 的间隙中充满动力黏度 $\mu = 0.115 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 的润滑油, 图示 $h = 0.6 \text{ m}$, $r = 0.4 \text{ m}$ 。求作用于圆锥体的阻力距。



例 1-8 图

解: 设圆锥体表面的母线长度为 S , 由例 1-8(b) 图得

$$S = \sqrt{r^2 + h^2} = \sqrt{0.4^2 + 0.6^2} = 0.721 \text{ (m)}$$

且
得

$$\frac{r}{S} = \frac{0.4}{0.721} = \frac{x}{L}$$

$$L = 1.8x$$

当半径为 x , 母线长度为 L 时, 相应的圆锥侧表面积

$$A = \pi x L = 1.8\pi x^2$$

得

$$dA = 2\pi(1.8x)dx = 11.3x dx$$

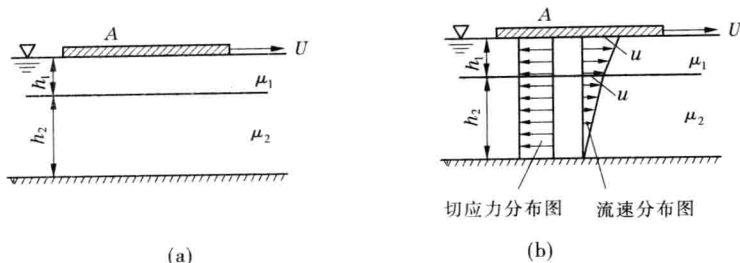
依题意, 作用于圆锥体的阻力距

$$\begin{aligned} M &= \int_A \mu \frac{x\omega}{\delta} x dA = \int_0^r \mu \frac{x^2\omega}{\delta} (11.3x dx) = 11.3\mu \frac{\omega}{\delta} \int_0^r x^3 dx \\ &= 11.3 \times 0.115 \times \frac{14}{0.002} \times \int_0^{0.4} x^3 dx \\ &= 9096.5 \times \left[\frac{x^4}{4} \right]_0^{0.4} = 58.22 \text{ (N} \cdot \text{m)} \end{aligned}$$

【例 1-9】 (某校 2012 年硕士研究生入学试题) 如例 1-9(a) 图所示的液面上有一面积为 A 的平板, 在液面上以速度 U 作水平移动, 平板下的液体分别为 h_1 和 h_2 两层, 其动力黏度分别为 μ_1 和 μ_2 ($\mu_1 > \mu_2$), 设平板下的液流为层流, 若两液层的流速均近似为线性分布, 要求: (1) 推证作用于平板上的内摩擦力:

$$F = \frac{\mu_1 \mu_2 h_1 U A}{h_1 (\mu_1 h_2 + \mu_2 h_1)}$$

(2) 绘制平板下液体的流速分布图和切应力分布图。



例 1-9 图

解: 1. 推证作用于平板上的内摩擦力 F 计算式

证: 设两液层分界面上的流速为 u , 切应力为 τ , 依题意, 由牛顿内摩擦定律, 则有上层液体的切应力:

$$\tau_1 = \mu_1 \frac{U - u}{h_1} \quad (1)$$

下层液体的切应力:

$$\tau_2 = \mu_2 \frac{u}{h_2} \quad (2)$$

因为在两液层的分界面上

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau$$

由式①、式②得

$$u = \frac{\mu_1 h_2 U}{\mu_1 h_2 + \mu_2 h_1} \quad (3)$$

又因为

$$\tau = \tau_1 = \mu_1 \frac{U - u}{h_1} \quad (4)$$

将式③代入式④, 并由 $F = \tau A$, 即得作用于平板上的内摩擦力

$$F = \frac{\mu_1 \mu_2 h_1 U A}{h_1 (\mu_1 h_2 + \mu_2 h_1)}$$

证毕。

2. 绘制平板下液体的流速分布图和切应力分布图

由已知平板与液面接触处的流速为 U , 两液层分界面上的流速为 u , 且 $\mu_1 > \mu_2$ 及流速为线性分布, 当题给的其他几何及物理量为已知时, 可绘制流速分布图及切应力分布图如例 1-9(b) 图所示。

上例表明, 当假设两液层的流速近似为线性分布, 且液流为层流运动时, 尽管两液层的黏滞性不同 ($\mu_1 > \mu_2$), 流速梯度也不相等, 但两液层各流层上的切应力是相等的 ($\tau = C$ (常数))。但应该指出的是, 上述结果与实际情况并不相符, 因为在后续的学习中我们将会看到, 实际液体作层流运动时, 无论是明渠水流还是压力管流, 其过水断面上的流速分布均呈抛物线型分布 (见第四章), 所以从理论上说, 实际液流运动时其过水断面上的切

应力分布应为线性分布。也就是说,实际液流过水断面上的切应力不可能等于常数($\tau \neq C$)。

第四节 自测练习题

题型一 客观题

一、判断题(对记“○”,错记“×”)

- 1-1 水力学是研究液体在平衡或机械运动状态下力学规律的一门科学。()
- 1-2 液体的密度是一个常数。()
- 1-3 实际液体都是连续体。()
- 1-4 牛顿液体内摩擦力的大小与作用面上的压强大小无关。()
- 1-5 牛顿内摩擦定律表明,液体的切应力与液体的剪切变形速度成正比。()
- 1-6 只要是牛顿流体,都能够运用牛顿内摩擦定律计算其内摩擦力。()
- 1-7 液体的黏度越大,其黏滞性就越大。()
- 1-8 液体压缩系数的大小仅与液体的性质有关。()
- 1-9 理想液体就是黏滞性很小的液体。()
- 1-10 X 并不是单位质量力在 x 轴向的分力。()

二、选择题

(一) 单选题

- 1-1 水力学是研究液体处于()的一门科学。
A. 平衡或机械运动状态下的力学规律
B. 机械运动状态下的力学规律及其工程应用
C. 平衡状态下的力学规律及其工程应用
D. 平衡或机械运动状态下的力学规律及其工程应用
- 1-2 当液体的性质一定时,其密度会随()的变化而变化。
A. 温度和压强 B. 温度和体积 C. 质量和体积 D. 重量和压强
- 1-3 下列关于重力加速度的说法中,正确的是()。
A. 重力加速度是一个常数
B. 重力加速度会随纬度和高度的变化而变化
C. 重力加速度会随物体重量的大小而变化
D. 重力加速度会随物体质量的大小而变化
- 1-4 下列关于物体重力的说法中,正确的是()。
A. 重力就是地球对该物体的万有引力
B. 物体的重力与其随地球转动时的向心力及空气对它的浮力有关