

普通高等院校流体力学实验教材

流体力学基础实验

李喜斌 李冬荔 江世媛 主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

流体力学基础实验

主 编 李喜斌 李冬荔 江世媛
副主编 张洪雨 李 刚 章军军

内 容 简 介

本书主要内容为本科生流体力学基础实验,包括流体力学实验基础知识,伯努利能量方程、雷诺实验、局部水头损失、沿程水头损失、毕托管测量流速、动量定理等基础测量项目,以及流态演示、紊动机理、水面曲线、水击等演示实验。

本书适合高等院校船舶工程学院、航空与建筑工程学院、热能与动力工程学院、核科学与技术学院、国际合作学院等相关专业的本科生流体力学实验的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学基础实验/李喜斌,李冬荔,江世媛主编.
—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2016.2
ISBN 978-7-5661-1221-7

I. ①流… II. ①李… ②李… ③江… III. ①流体力学—实验—高等学校—教材 IV. ①O35-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 028755 号

选题策划 卢尚坤
责任编辑 张玮琪
封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 10
字 数 262 千字
版 次 2016 年 2 月第 1 版
印 次 2016 年 2 月第 1 次印刷
定 价 22.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书是在浙江大学《工程流体力学实验指导书》《仪器使用说明书》的基础上,融合哈尔滨工程大学流体力学实验教学组 30 多年实验教学经验编写而成,也参考了很多院校的优秀流体力学实验专业书籍和教学成果。想避免千篇一律,实际上只是部分章节做到了。

实践证明,实验设备主装置原理图、运行流程图对学生课前预习、理解实验和实验操作都有很大的帮助,本书在这方面做了许多工作,根据实验设备的实际尺寸比例绘制了大部分实验装置原理图、插图,实验装置图清晰准确是本书的一个特色。本书内容指出实验的知识点,部分实验给出了背景资料和实验前应了解的知识及概念,对该实验内容在科研工作中的应用扩展及相关概念,因超出大纲要求,所以编写在该实验项目后的相关阅读部分。本书也有部分经典插图和内容来自网络,在此向原创表示敬意。本书适合高等院校船舶工程学院、航空与建筑工程学院、热能与动力工程学院、核科学与技术学院、国际合作学院等相关专业的流体力学实验的教学用书。

本书由李喜斌、李冬荔、江世媛、张洪雨、李刚、章军军共同编写。其中李喜斌编写第三章、第四章、第五章、第八章、第九章、第十四章,李冬荔编写第一章、第六章,江世媛编写第十五章、第十六章,张洪雨编写第十章、第十一章,李刚编写第二章、第七章,章军军编写第十二章、第十三章。

书中第一至十五章插图由李喜斌绘制或整理完成,全书由李喜斌统稿。本书在编写过程中,得到浙江大学水利实验室的大力帮助,也得到哈尔滨工程大学郭春雨老师、刘佳楠老师、王松武老师的大力支持,在此一并致谢。

由于编写时间仓促,加之水平有限,书中错误和不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月

目 录

第一章 流体力学实验基础知识	1
第一节 水平、U形管和连通器的概念及应用	1
第二节 液体压强的两个特点	4
第三节 流体的密度、重度和相对密度	5
第四节 流体的黏性及测量方法	7
第五节 表面张力现象、毛细现象、浸润和不浸润现象	9
第六节 流体压强的测量	12
第七节 流速的测量	21
第八节 液体流量的测量	23
第九节 温度的测量方法	28
第二章 流体静力学实验	31
实验方案 A	31
实验方案 B	35
第三章 伯努利能量方程实验	39
第四章 毕托管测流速实验	50
第五章 文丘里流量计实验	56
第六章 动量定理实验	61
第七章 雷诺实验	66
第八章 局部水头损失实验	71
第九章 沿程水头损失实验	78
第十章 孔口与管嘴出流实验	83
第十一章 紊动机理实验	87
第十二章 水面曲线实验	93
第十三章 堰流实验	98
第十四章 流态演示实验	102
第一节 流动显示技术及应用简介	102
第二节 流动演示实验	110
第十五章 水平型循环水槽概述	121
第十六章 实验数据处理与误差分析	125
第一节 基本概念	125
第二节 测量仪表的分类和误差	126

第三节	系统误差的消除	128
第四节	随机误差的估计	132
第五节	粗差的判别及剔除	136
第六节	间接测量误差的估计	138
第七节	实验数据处理的基本方法	140
第八节	Excel 在实验数据处理中的应用	147
参考文献		154

第一章 流体力学实验基础知识

流体是由大量的、不断做热运动而且无固定平衡位置的分子构成的液体和气体的总称。它在平衡时不能承受任何大小的剪切力,几乎没有抵抗形变的能力,并且都具有某种程度的可压缩性。

从生产到生活,流体无处不在,对于流体的研究,从阿基米德开始,已有两千多年的历史,取得了大量的成就。今天我们既可以从宏观的角度来研究流体,也可从微观的角度来分析。而对于流体力学实验的学习,我们首先要了解流体的基本物理性质、流体力学实验测量中需要的基本知识。本章主要介绍流体力学实验中直接或间接用到的知识及实验操作性强的知识。

第一节 水平、U形管和连通器的概念及应用

一、水平及应用

静止的水,在一定的范围(工程范围)内是水平的,其主要原因是水没有固定状态,不能承受任何剪切应力,并且可以利用自身重力达到稳定的状态,这就是水平。

利用静止流体表面是水平的原理(如图 1.1 所示),常常把静止流体表面作为工程参考基准面(线),如拖曳水池用水平水槽内水水平作基准来校正拖车轨道水平情况(见图1.2),水平泡校正小尺度仪器底座水平、水平管可用来确定较大尺度范围的水平基线,还有水平仪、水平尺等都有不同应用。测量的数值都是相对的,参考基线(基准面)的选取很重要。调试好测试基线是一切准确测量的基础。

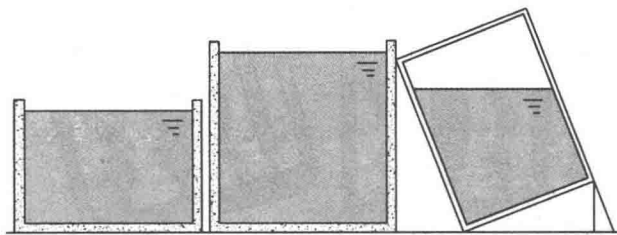


图 1.1 各容器的水面始终相平(水平)

流体力学实验室很多仪器都是选择水平面作为测量基准,实验台桌面要水平,通过实验台下方的四个调整螺栓调节每个桌角高低,桌面用水平尺多点校核水平。

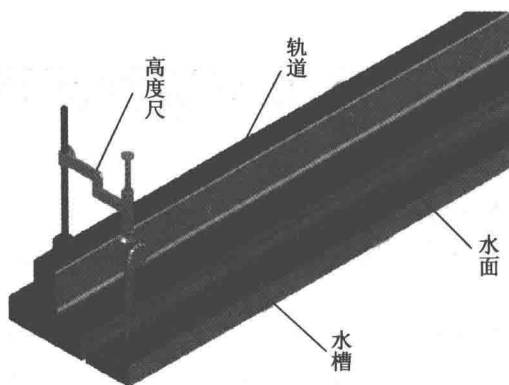


图 1.2 利用水平校正轨道水平

二、U 形管、连通器及应用

1. U 形管

图 1.3 所示是 U 形管,形状似字母“U”而得名。同一种液体放入 U 形管,只要管内液体连续静止时液面就会齐平(水平),实质是两边水柱对最低点所在截面 $D-D$ 压力相等。

2. 连通器

将两个或多个容器底部连通起来就构成连通器。连通器原理和 U 形管原理一样,它可以看作是 U 形管的变形。连通器的特点也是只有容器内装有同一种液体,连接管路内充满连续液体时各个容器中的液面才是相平(水平)的。如果容器倾斜,则各容器中的液体开始流动,由液柱高的一端向液柱低的一端流动,直到各容器中的液面相平(水平)时,即停止流动而静止,如图 1.4 所示。

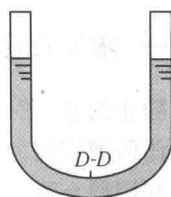


图 1.3 U 形管水面相平图

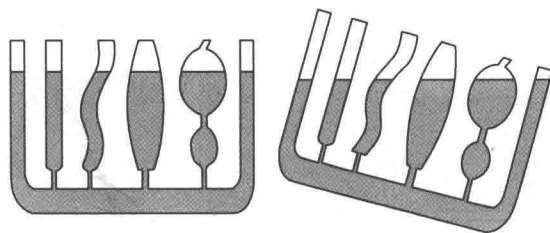


图 1.4 连通器水面相平

利用 U 形管和连通器以上性质,我们可以校验流体力学实验过程中连接管路内气体是否排净。排气是流体力学实验前非常重要的准备工作。只有管路中气体排净了,流体才能连续,测点的压力才能准确传递并反应在测压板上;否则流体不连续,测压管上测得的值不是真值。

图 1.5 所示为伯努利能量方程实验装置上半部分,组合管路上布置 19 个测点,分别和测压板上的 19 根测管用透明软管一一对应连接。图 1.5 中只画了测点 16 和测压管 16 对

应连接的情形,其他省略。这样上游水箱、实验管道、连接软管和测压管就组成了连通器(在阀门完全关闭,水面溢流的情况下),当连接测点和测压板的管道及软管充满连续的流体,所有测管1~19水面应该相平并且和上游水箱高度一致。如果不一致就说明系统内有气体,就要排气。介质连续了,测点的压力就可以在测压板上准确地反映出来,如果连接系统内有气体就会造成流体不连续,测量值不准确,具体排气方法参见具体实验项目。

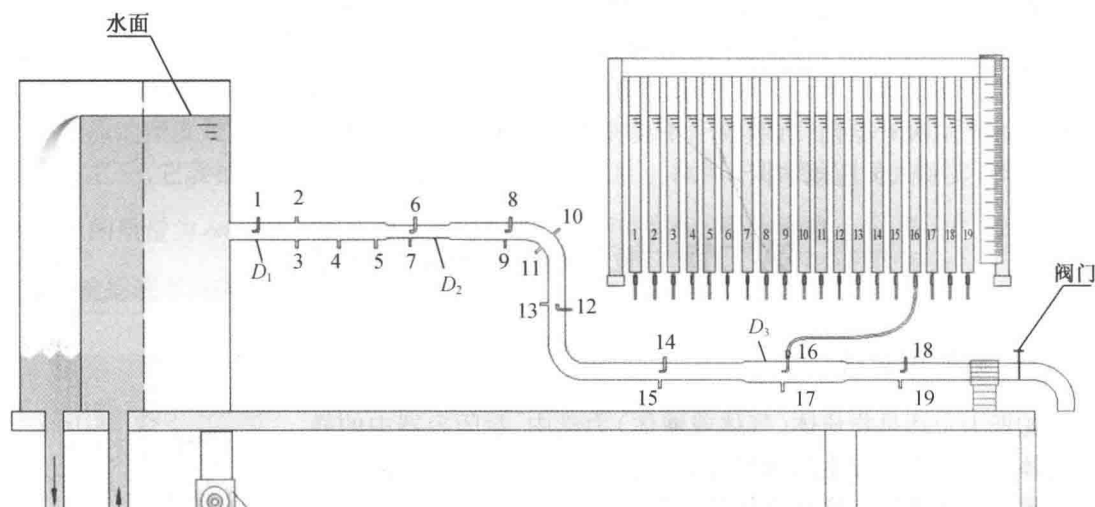


图 1.5 阀门关闭设备各部分构成变形连通器水面齐平

如用橡皮管将两根玻璃管连通起来,容器内装同一种液体,将其中一根管固定,使另一根管升高、降低或倾斜,可看到两根管里的液面在静止时总保持相平,这就是工程上常用的水平管,常常用来确定较大尺寸上的水平基准线或其他方面应用的等高线。

3. 连通器其他方面的应用

连通器在工农业生产中大量应用,下面举几个例子。液位指示管,也是测压管,在被测量液位(压力)容器上开个小孔,焊接或胶粘一段小管子,用软胶管连接到玻璃管上,如图 1.6 所示。这样玻璃管和被测压力容器就构成了连通器,容器内压力或液位就可以在玻璃管上显示出来。

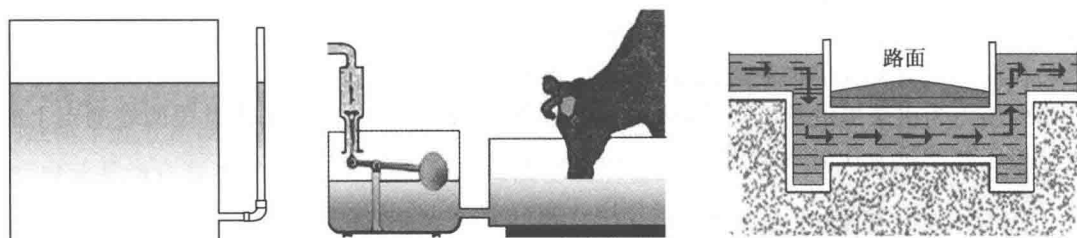


图 1.6 连通器其他方面的应用

三、虹吸现象

虹吸现象是液态分子间引力与位差能造成的。即利用水柱压力差,使水上升再流到低处。由于管口水面承受不同的大气压力,水会由压力大的一边流向压力小的一边,直到两边的大气压力相等,容器内的水面变成相等高度,水就会停止流动,如图 1.7 所示。利用虹吸现象很快就可将容器内的水抽出。流体力学实验室经常会遇到给设备加水或狭小区域放水的情况,利用虹吸管就会非常方便。注意虹吸开始前,虹吸管子中要充满连续的水。这是一项实用技巧,实验人员应该掌握。

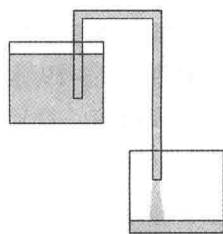


图 1.7 虹吸现象

第二节 液体压强的两个特点

一、帕斯卡定律

帕斯卡定律是指流体(气体或液体)力学中,封闭容器中的静止流体的某一部分发生的压强变化,将毫无损失地传递至流体的各个部分和容器壁。这是流体静力学的一条定律,它指出了不可压缩静止流体中任一点受外力产生压力增值后,此压力增值瞬间传至静止流体各点。

帕斯卡是在大量观察、实验的基础上,才发现了帕斯卡定律的。在帕斯卡做过的大量实验中,最著名的是他用一个木酒桶,顶端开一个孔,孔中插接一根很长的铁管,将接插口密封好。实验的时候,酒桶中先装满水,然后慢慢地往铁管里注几杯水,当管子中的水柱高达几米的时候,就见木桶突然破裂,水从裂缝中向四面八方喷出(见图 1.8)。帕斯卡定律的发现,为流体静力学的建立奠定了基础,为大型水压机等工程机械的发明提供了理论根据。



图 1.8 一杯水压破水桶实验

在动量定理实验中,带活塞套的测压管水柱对活塞套中心点的压强也同样传递到活塞上面,大小相等,都是 ρgh_c , 其中 h_c 是测压管水位高度,数值为测管液面到活塞中心的距离。这一点预习动量定理实验时要注意。

在沿程损失实验中也会遇到这个问题,排净管路中气体,完全关闭流量阀门,这时密闭管路内压力为水泵提供的压力,管内各点都相等,我们会看见连接在测量段两端测点上的压力表压差读数为 0,比压计都显示为同样压力。

二、用水柱高表达点的压力

流体力学最关心的问题之一是流场内的压力分布和速度分布,具体体现为流场中任意一点的速度和压力的测量问题。这可以用毕托管和测压管来测量,毕托管是一种约定,用来测量点的速度与压力。这是因为毕托管尺寸相对流场来说很小,点的定义来自数学,就是点没有大小,线由点组成没有宽窄,点没有大小,即没有面积,就无法用压强单位来表达,所以用水柱高来表达点的压力(压强)是非常恰当的。

第三节 流体的密度、重度和相对密度

在流体力学实验数据处理过程中,液体的密度、重度和相对密度这几个概念极易混淆,有必要在实验之前预习来清晰它们概念。

一、流体的密度 ρ

1. 流体的密度 ρ 定义

物质的密度是单位体积物质的质量。流体的密度是单位体积流体的质量,是流体重要的属性之一,它表征流体在空间某点质量的密集程度。流体中围绕某点的体积为 δV , 对应该体积的质量为 δm , 则比值 $\frac{\delta m}{\delta V}$ 为某点体积 δV 的流体微团的平均密度。令 $\delta V \rightarrow 0$, 取该比值极限, 就是该点液体的密度, 即

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

式中, ρ 表示流体单位体积内所具有的质量, 单位为 kg/m^3 。

如果液体是均匀的, 则该液体密度就是

$$\rho = \frac{\delta m}{\delta V} = \frac{m}{V}, \text{ 即 } \rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

式中 m ——流体质量, kg ;

V ——对应流体体积, m^3 。

2. 液体密度的测量

液体密度的测量工具, 都是很成熟的工业产品, 实验室常用的有振动式密度计和浮子式密度计。

(1) 振动式密度计

将定量液体放入振动试管, 机器会保温并维持温度, 根据振动频率和标定值比较得出液体密度。

(2) 浮子密度计

浮子密度计是根据阿基米德定律和物体浮在液面上平衡的条件制成的, 是测定液体密度的一种仪器。它用一根密闭的玻璃管, 一端粗细均匀, 内壁贴有刻度纸, 另一头稍膨大呈泡状, 泡里装有小铅粒或水银, 使玻璃管能在被检测的液体中竖直地浸入到足够的深度, 并能稳定地浮在液体中, 也就是当它受到任何摇动时, 能自动地恢复成垂直的静止位置。当密度计浮在液体中时, 其本身的重力跟它排开的液体的重力相等。于是在不同的液体中浸入不同的深度, 所受到的压力不同, 密度计就是利用这一关系刻度的标尺, 通过标定数值对比就可以求出该种液体密度。浮子密度计造价低廉, 使用简单被广泛使用, 如图 1.9 所示。

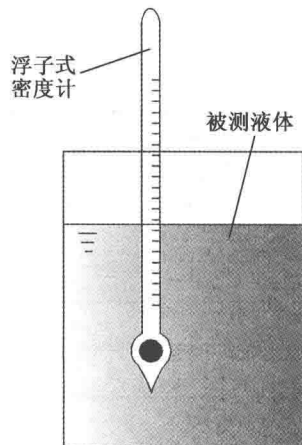


图 1.9 密度计测液体密度

(3) 流体的重度

在地球重力场中的所有物体都具有质量,单位流体中流体的质量称为流体的重度或容重。它是描述流体质量在空间中分布的物理量,一般用 γ 表示。

$$\text{对于非均匀流体某点的重度} \quad \gamma = \lim_{\delta V \rightarrow 0} \frac{\delta G}{\delta V} \quad (1-3)$$

$$\text{对于均匀流体的重度} \quad \gamma = \frac{G}{V} \quad (1-4)$$

式中 γ ——流体的重度, N/m^3 ;
 $\delta G, G$ ——流体的质量, N ;
 $\delta V, V$ ——流体的体积, m^3 。

(4) 密度与重度的关系

因为

$$G = mg, \gamma = \frac{G}{V}, \rho = \frac{m}{V}$$

所以

$$G = \gamma \cdot V, m = \rho \cdot V$$

将 $G = \gamma \cdot V, m = \rho \cdot V$ 代入 $G = mg$ 得到流体的密度与重度之间的关系为

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-5)$$

式中, g 表示重力加速度。

根据上边测得的液体密度,液体的重度测定可以通过测定的密度进行换算 $\gamma = \rho \cdot g$ 。

2. 流体的相对密度

流体力学实验数据换算中还会用到相对密度的概念。不应混淆重度与相对密度的概念,相对密度是指某流体的质量与同体积 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水的质量比值,它是一个无量纲数,用符号 δ 表示,它也等于某流体的密度或重度与 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时水的密度或重度的比值。

$$\delta = \frac{\gamma_f}{\gamma_w} = \frac{\rho_f}{\rho_w} \quad (1-6)$$

水的相对密度为 1.00,水银的相对密度为 13.6,几种常见的流体的密度和重度见表 1.1。

表 1.1 几种常见液体的密度与重度值

流体	温度/ $^{\circ}\text{C}$	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)
蒸馏水	4	1 000	9 806
海水	15	1 020 ~ 1 030	10 000 ~ 10 100
石油	15	880 ~ 890	8 630 ~ 8 730
酒精	15	790 ~ 800	7 750 ~ 7 840
水银	0	13 600	133 400
空气	0	1.293	12.68
氧气	0	1.429	14.02

第四节 流体的黏性及测量方法

一、流体的易流性

通常我们把能流动的物质称为流体,流体在力学性能上与固体主要区别在于它们对于外力的抵抗能力是不同的,具体体现在以下两点:

(1) 流体不能承受拉力,因此流体内部不存在抵抗拉伸变形的拉应力;

(2) 静止时,流体在微观平衡状态下不能承受剪切力,任何微小的剪切力都会导致流体连续变形、平衡破坏、产生流动。

流体的这两个特点就是流体的易流性。

二、流体的黏滞性

流体的黏性并不是很好理解的,下边通过两个例子来说明流体黏性的表现。实际上几乎所有流体都是有黏性的。黏性流体流经固体壁面时,紧贴固体壁面的流体质点黏附于固体壁面,它们与固面的相对速度等于零,这与理想流体大不相同。既然流体质点要黏附于固体壁面上,受固体壁面的影响,在固体壁面和流体的主流之间必定要有一个由固体壁面的速度过渡到主流速度的流速变化的区域。由此可见,在同样的通道中流动的理想流体和黏性流体,它们沿截面的速度分布是完全不同的。对于流速分布不均匀的黏性流体,在流动的垂直方向上必然出现速度梯度,在相对运动着的流层之间必有相互作用,产生摩擦阻力,也就是存在切向应力。要克服流层间阻力,维持黏性流体的流动,就要消耗机械能,消耗的这部分机械能转化为热能而随流体带走。这就是流体的黏滞性,也叫黏性。黏性是流体抵抗剪切形变的一种固有物理属性。

图 1.10 为工程中常见的水管层流时流速分布图,其中图 1.10(a) 氢气泡法照片,图 1.10(b) 为绘制的流速抛物线分布图。之所以拿层流举例,是因为层流时黏性阻力占比例大,紊流时阻力成分相对复杂。用毕托管也可测得流体在该断面的流速分布,绘成图也是一样规律。流体沿管道直径方向分成很多流层,各层的流速不同。管轴心处的流速最大,向着管壁圆周逐渐减小,直至管壁处的流速小至几乎为零,从氢气泡法照片可以清晰地看到。这就是流体黏性的外在表象。

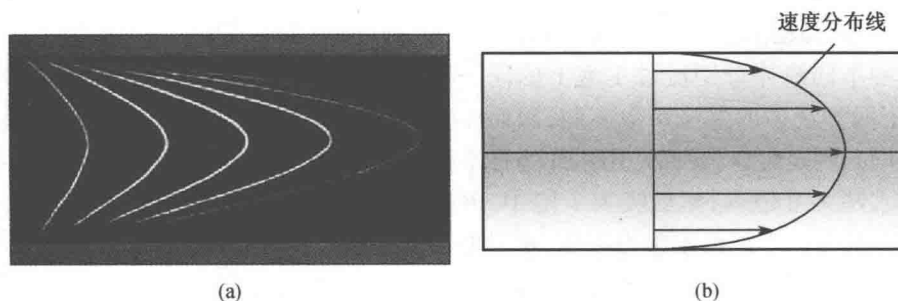


图 1.10 因黏性层流时管道呈现的流速分布图

(a) 氢气泡法照片;(b) 绘制的流速抛物线分布图

图 1.11 为两块相互平行的平板,中间充满着流体。让上板以速度 v 沿水平运动,而下板保持静止不动。由于黏性力作用,与上板接触的流体将以速度 v 运动,而与下板接触的流体则静止不动,中间流体则由上板的速度 v 逐渐变化至下板的零,这与管道中的流速分布是一致的。各流层之间都有相对运动,因而必定产生切向阻力,即内摩擦阻力。要维持这种运动,必须在上板施加与内摩擦阻力大小相等方向相反的切向力。这一切都是因为流体具有黏性造成的。图 1.11(a)是氢气气泡法照片,图 1.11(b)是毕托管测得速度分布图。

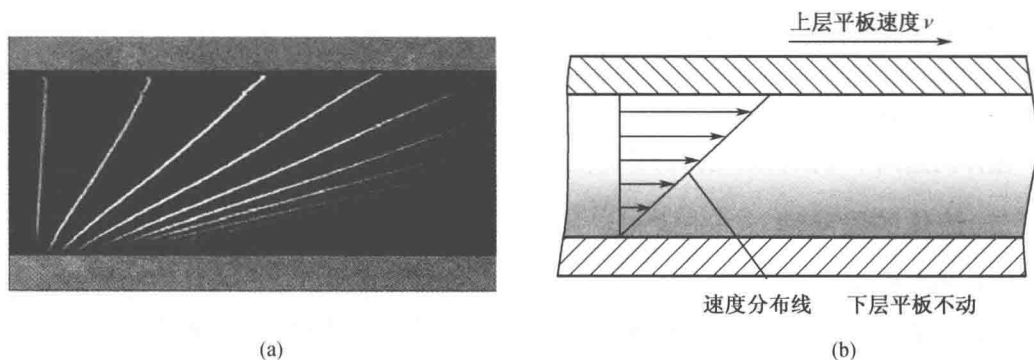


图 1.11 流体黏性实验示意图
(a) 氢气气泡法照片; (b) 毕托管测得速度分布图

三、流体黏性测量方法

1. 仪器测定方法

测定黏度的仪器叫黏度计,用黏度计测定液体黏度很方便。黏度仪种类繁多,按原理分常用的有毛细管式黏度计、旋转式黏度计和振动式黏度计等。

(1) 毛细管式黏度计

样品容器内充满待测样品,温度保持恒温水域,通过记录待测液流至指定刻度线的时间来衡量黏度大小。时间越长则样品黏度越大。

(2) 奥氏毛细管黏度计介绍

奥氏毛细管黏度计是带有两个球泡的 U 形玻璃管, I 泡上、下放各有一刻痕 a 和 b ,其下方为一段毛细管,如图 1.12 所示。使用时,使体积相等的两种不同液体分别流过 I 泡下的同一毛细管,由于两种液体的黏滞系数不同,因而流完的时间不同。测定时,一般都是用水作为标准液体。先将水注入 II 泡内,然后吸入 I 泡中,并使水面达到刻痕 a 以上。由于重力作用,水经毛细管流入 II 泡,当水面从刻痕 a 降到刻痕 b 时,记下其间经历的时间 t_1 ,然后在 II 泡内换以相同体积的待测液体,用相同的方法测出相应的时间 t_2 ,根据事先标定数据表求出第二种液体黏度。

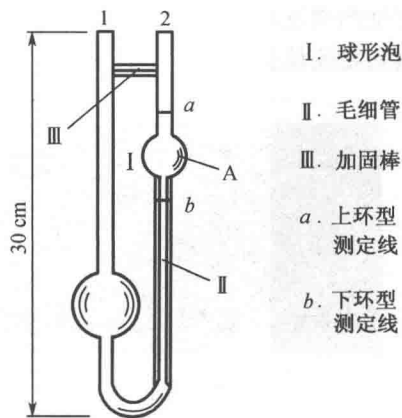


图 1.12 奥氏毛细管黏度计

奥氏黏度计制作容易,操作简便,具有较高的测量精度,特别适用于黏滞系数小的液体,如水、汽油、酒精、血浆或血清等的研究。

(3) 旋转式黏度计

它也是一种广泛应用的黏度计。使用时,仪器中注满待测液,保持恒温,开动电机带动测力机构旋转,需要的力矩越大,则样品黏度越大。力矩值通过电容转化为电信号,由仪表显示出来,即可读取黏度。

(4) 振动式黏度计

由于处于流体内的物体振动时会受到流体的阻碍作用,此作用大小与黏度有关,固可在流体中放弹片,通过测此弹片的机械振动振幅来求得黏度。

第五节 表面张力现象、毛细现象、浸润和不浸润现象

一、表面张力现象

我们先来看一下表面张力的现象,一根棉线拴在铁丝环中间,略松弛一些,并把它放到肥皂水中,拿出来后环上会出现一层肥皂薄膜。我们用针刺破肥皂膜的一侧,则棉线会被拉向另一侧,如图 1.13 所示。水蚊子能轻松漂浮于水面之上,主要原因是水蚊子的重力小于水面提供的张力,如图 1.14 所示。液体表面这种收缩趋势是由液体表面张力造成的,下面我们分析一下表面张力。

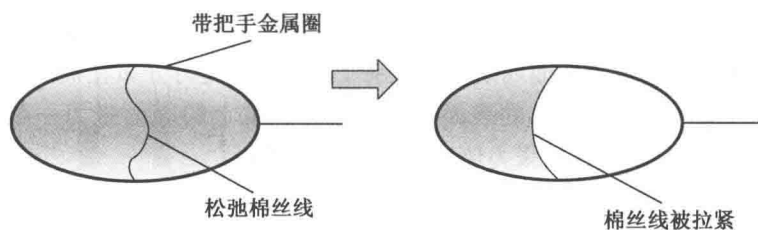


图 1.13 表面张力拉紧棉丝线

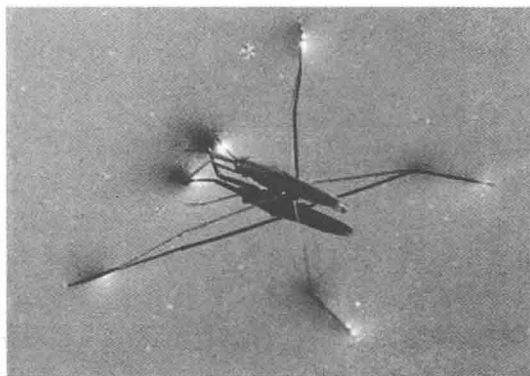
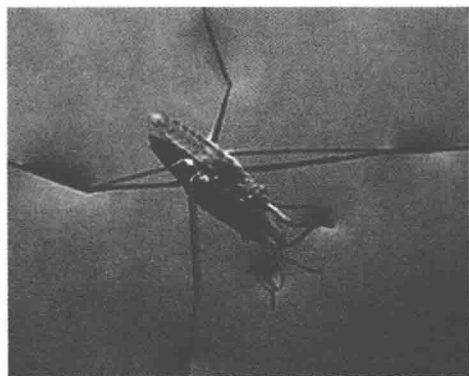


图 1.14 水蚊子依靠表面张力支撑自身重力

按照分子引力理论,分子间的引力与其距离的平方成反比,超过吸引力作用半径 r (约为 $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ m}$),则引力变得很小,可忽略不计。以 r 为半径的空间球域称作分子作用球。液体内部每个分子均受分子作用球内同种分子的作用完全处于平衡状态,但在与空气接触的液体表面部分,在液面下距离小于 r 的薄层内的分子,其分子作用球内有液体和空气两种分子,气体分子引力远小于液体分子引力,可忽略不计,则在此层的分子会受到一个不平衡的分子合力。此力垂直于液面而指向液体内部,在此不平衡分子合力作用下,薄层内的分子都力图向液体内部收缩。如果没有容器限制和重力的影响,则微小液滴表层就像蒙在液滴上的弹性薄膜一样,紧紧向中心收缩,最后会缩成最小表面积的球形。

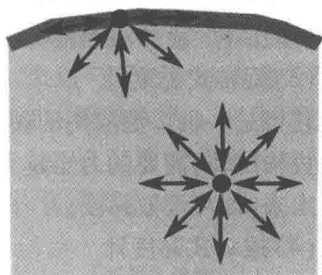


图 1.15 表面张力成因分析图之一

再来比较液体内的分子 A 和液面分子 B 的受力情况。以分子力的有效力程为半径,作以分子 A 为中心的球面(见图 1.16),则所有对分子 A 有作用的分子都在球面之内。选取一段较长的时间 T (是分子两次碰撞之间的平均时间),由于对称,在这段时间内,各个分子对 A 的作用力的合力等于零。以分子 B 为中心的球面中的一部分在液体当中,另一部分在液面之外,这部分分子密度远小于液体部分的分子密度。如果忽略这部分分子对 B 的作用,则由于对称,CC'和DD'之间所有分子作用力的合力等于零;对 B 有效的作用力是由球面内 DD'以下的全体分子产生的向下合力。由于处在边界内的每一个分子都受到指向液体内部的合力,所以这些分子都有向液体内部下降的趋势,同时分子与分子之间还有侧面吸引力,即有尽量收缩表面的趋势。如果将液滴剖开,取上半球台为分离体(见图 1.17),因为球面向球心收拢,则在球台剖面周线上存在张力,它连续均匀分布在周线上,方向与液体的球形表面相切,这种力就是液体的表面张力。单位长度上的表面张力一般用 σ 表示,它表示表面周线单位长度上的表面张力值, σ 的单位是 N/m 。

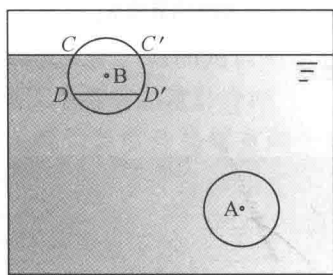


图 1.16 表面张力成因分析图之二

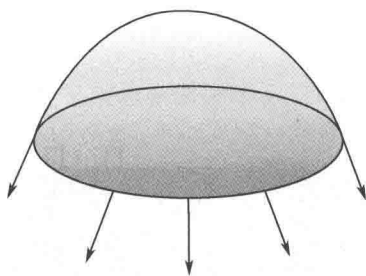


图 1.17 表面张力成因分析图之三

球形液滴现象:玻璃板上的水银滴基本上呈球形,这是因为水银滴外表面薄层内所有的分子都处在高势能状态。计算表明,如使分子总势能为极小,则表面必定呈圆球形。如果设法消除重力的影响,例如把液滴放在相对密度相同又与液滴不起化学反应的另一种液体中,或在真空中自由下落,或在失重的人造卫星与火箭的环境中,则液滴将呈现理想的球形。球面形的肥皂泡,荷叶上的球形露珠都是例证,如图 1.18 所示。

二、毛细现象

液体分子间的吸引力称为内聚力,液体与固体分子间的吸引力称为附着力。当液体与固体壁面接触时,若液体内聚力小于固体间的附着力,液体将润湿、附着壁面,沿壁面向外伸展;若液体内聚力大于与固体间的附着力,液体将不润湿壁面,而是自身抱成一团。液体与固体壁面接触时的这种性质,可以用来解释毛细管中液面的上升或下降现象。



图 1.18 荷叶上的圆形露珠

如图 1.19、图 1.20 所示,将细玻璃管分别插入水和汞中。因为水的内聚力小于玻璃壁面的附着力,水润湿玻璃管壁面并沿壁面伸展,致使水面向上弯曲,表面张力把管内液面向上拉高 h , 见图 1.19; 而汞的内聚力大于玻璃壁面的附着力, 所以不润湿玻璃内壁面, 并沿内壁面收缩, 致使汞面向下弯曲, 表面张力把管内液面向下拉低 h , 见图 1.20。这种在细管中液面上升或下降的现象称为毛细现象, 而能发生毛细现象的细管子称为毛细管。

实验中测压管读数最易受毛细现象影响, 管径越粗影响越小, 但太粗不利于安装和布置, 流体实验室中测压玻璃管内直径一般为 8 mm, 基本克服了毛细现象的影响(一般书中认为玻璃管径大于 10 mm 就可以忽略毛细现象)。但管内液面还是有不平现象, 读数时, 测单点水头要注意平视取管内液面最低点, 测压差时要取液面最低点或取各测管液面对应一致的位置。

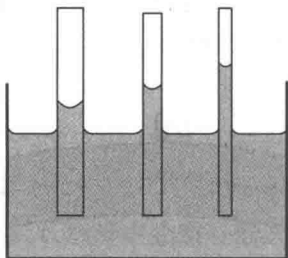


图 1.19 水的毛细现象

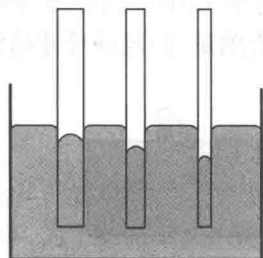


图 1.20 水银的毛细现象

三、不浸润和浸润

表面张力决定了液体和固体面接触时, 会出现两种现象: 不浸润和浸润。水银掉到玻璃上, 是呈现出球形, 也就是说, 水银与玻璃的接触面具有收缩趋势, 这种现象为不浸润。而水滴掉到玻璃上, 是慢慢地沿玻璃散开, 接触面有扩大趋势, 这种现象为浸润。水银虽然不能浸润玻璃, 但是用稀硫酸把锌板擦干净后, 再在板上滴水银, 我们将会看到, 水银慢慢地沿锌板散开, 而不再呈球形。所以说, 同一种液体能够浸润某些固体, 而不能浸润另一些固体。水银能浸润锌, 而不能浸润玻璃; 水能浸润玻璃, 而不能浸润石蜡。

浸润和不浸润两种现象, 决定了液体与固体器壁接触处形成两种不同形状: 凹形和凸形。硬币放入盛满水的水杯中的实验, 硬币不沉没实际上利用了水具有很大的表面张力的性质和不浸润现象。我们事先把硬币表面涂上一层油, 硬币就可以轻易放在水面上而不会