



高等院校力学系列教材
Textbook Series in Mechanics for Higher Education

水力学实验

贺五洲 陈嘉范 李春华 编

He Wuzhou Chen Jiafan Li Chunhua



清华大学出版社



Springer



高等院校力学系列教材
Textbook Series in Mechanics for Higher Education

水力学实验

贺五洲 陈嘉范 李春华 编

He Wuzhou Chen Jiafan Li Chunhua



清华大学出版社
北京

 Springer

内 容 简 介

本书是在清华大学水力学实验室多年来使用的实验教材基础上改编、补充完成的,包括了20个实验及流动要素量测方法,能基本满足各专业的需要。对每一个实验都详细介绍了实验原理、实验设备、实验目的和要求、实验方法和步骤、数据记录和处理等,还提出了实验成果要求、分析思考问题及注意事项。本书可以作为水力学实验教学的教材和课程教学的辅助教材,对从事水力学和工程流体力学的教师和工程技术人员也具有很好的参考价值。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

水力学实验/贺五洲等编. —北京:清华大学出版社,2004.9

(高等院校力学系列教材)

ISBN 7-302-09339-3

I. 水… II. 贺… III. 水力实验—高等学校—教材 IV. TV131

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 088234 号

出版者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地址:北京清华大学学研大厦

邮编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:杨倩

印装者:清华大学印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:170×230 印张:7.5 字数:131千字

版次:2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

书号:ISBN 7-302-09339-3/O·396

印数:1~1500

定价:12.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前 言

一、关于水力学课程

水力学是一门重要的技术基础课,它以水为主要对象研究流体运动的规律以及流体与边界的相互作用,是高等学校许多理工科专业的必修课。

在自然界中,与流体运动关联的力学问题是很普遍的,所以水力学和流体力学在许多工程领域有着广泛的应用。水利工程、土建工程、机械工程、环境工程、热能工程、化学工程、港口、船舶与海洋工程等专业都将水力学或流体力学作为必修课之一。

水力学课程的理论性强,同时又有明确的工程应用背景。它是连接前期基础课程和后续专业课程的桥梁。课程教学的主要任务是使学生掌握水力学的基本概念、基本理论和解决水力学问题的基本方法,具备一定的实验技能,为后续课程的学习打好基础,培养分析和解决工程实际中有关水力学问题的能力。

二、关于水力学实验

1. 水力学实验在水力学学科发展及教学工作中占有重要位置。从学科发展看,水力学是一门技术科学,实验方法是促进其发展的重要研究手段。近年来,水力学与古典流体力学日益兼容渗透,理论分析、实验研究和数值计算相结合成为水力学和工程流体力学的主要研究方法。三个方面互相补充和验证,但又不能互相取代。实验方法仍是检验与深化研究成果的重要手段,现代实验技术的迅猛进展,更促进了现代水力学及工程流体力学的蓬勃发展。

2. 水力学实验是水力学课程中一个不可缺少的重要教学环节。水力学实验的教学目的是:

(1) 在实验中观察水流现象,增强感性认识,巩固理论知识的学习。

- (2) 通过量测实验验证所学水力学原理,提高理论分析的能力。
- (3) 学会量测水力要素和使用基本仪器的方法,掌握一定的实验技能,了解现代量测技术。
- (4) 培养分析实验数据、整理实验成果和编写实验报告的能力。
- (5) 培养严谨踏实的科学作风和融洽合作的共事态度。

三、关于本书

本书是在清华大学水力学实验室多年来使用的实验教材的基础上改编、补充完成的,并配有相应的 CAI 课件。它包括了 20 个实验,能基本满足各专业的需要。尽管是针对清华大学现有设备编写的,也可作为各高校水力学(工程流体力学)实验的教学用书。

编写这本书的目的是为了适应实验室建设的需要,提高实验课程的教学质量和教学效率。书中每一个实验都详细介绍了实验原理、实验设备、实验目的和要求、实验方法和步骤、数据记录和处理等,还提出了实验成果要求、分析思考问题及注意事项。CAI 课件和本书配合使用,可以作为实验课程教学的一种辅助手段,为学生的自学创造有利条件。

四、关于水力学实验的教学要求

我们在每个实验中都提到了相应的注意事项,这里提出水力学实验总的要求为:

1. 严肃认真对待课程要求选做的每一个实验。
2. 实验前预习讲义和课件,了解实验目的和要求、实验原理、实验设备、实验方法和步骤、记录数据等。
3. 开始实验前,要先对照实物了解仪器设备的使用方法,弄清实验步骤,做好实验前的准备工作。
4. 同组成员应互相配合、细心操作,仔细观察水流现象,认真进行数据量测、记录和整理,及时发现明显不合理的数据,保证量测精度。
5. 爱护仪器设备。实验完毕后,关闭水泵和电源开关,将仪器设备恢复原状。
6. 实验报告应书写工整、图表清晰、成果正确。不合要求应重新补做。

目 录

1 静水压强量测实验	1
2 平面上的静水总压力量测实验	5
3 文透里流量计及孔板流量计率定实验	10
4 恒定总流能量方程演示实验	16
5 恒定总流动量方程验证实验	21
6 流态演示与临界雷诺数量测实验	26
7 沿程水头损失量测实验	30
8 局部水头损失量测实验	35
9 圆柱绕流水电比拟实验	42
10 孔口和管嘴出流演示与量测实验	49
11 管道水击现象演示实验	53
12 达西定律实验	58
13 气体紊动射流实验	62
14 明槽水跃实验	66
15 非均匀流水面曲线演示实验	71
16 实用剖面堰与宽顶堰溢流实验	77

17 平板闸门出流实验	82
18 平板边界层实验	86
19 底流消力池实验	91
20 有压地基渗流水电比拟实验	97
附录 流动要素量测方法	102

静水压强量测实验

原理简介

1. 根据流体平衡规律,在重力场中静止液体的压强分布可表示为:

$$z + \frac{p}{\rho g} = C$$

即在连通的同种静止液体中,各点对于同一基准面的测压管水头相等。

2. 测压管的一端接大气,这样就把测管水头揭示出来了。再利用液体的平衡规律,可知连通的静止液体区域中任何一点的压强,包括测点处的压强。这就是测压管量测静水压的原理。

3. 压强水头 $\frac{p}{\rho g}$ 和位置水头 z 之间的互相转换,决定了液柱高和压差的对应关系: $\Delta p = \rho g \Delta h$ 。在压差相同的情况下,不同的液体对应不同的液柱高。用这个原理可以测定液体的密度。

实验设备

如图 1-1 所示,在全透明密封有机玻璃箱内注水,并由一乳胶管将水箱与一可升降的调压筒相连,调压筒的顶部与大气连通。水箱顶部装有排气阀 K_1 ,另从孔口 K_2 接出管子与测压排中的三个 U 形比压计中的测管 1, 3, 5 相通, U 形比压计 1-2 与水箱不连通,内装液体为油, $\rho_{\text{油}} < \rho_{\text{水}}$, U 形比压计 3-4、5-6 在测点 A 和 B(底部)与水箱接通。从开关 K_3 接出的管子插入另一容器中的染色水中。

打开 K_1 时,水箱内液体的表面压强为大气压。当 K_1 关闭时,可通过升降调压筒调节水箱内液体的表面压强,使它高于或低于大气压。

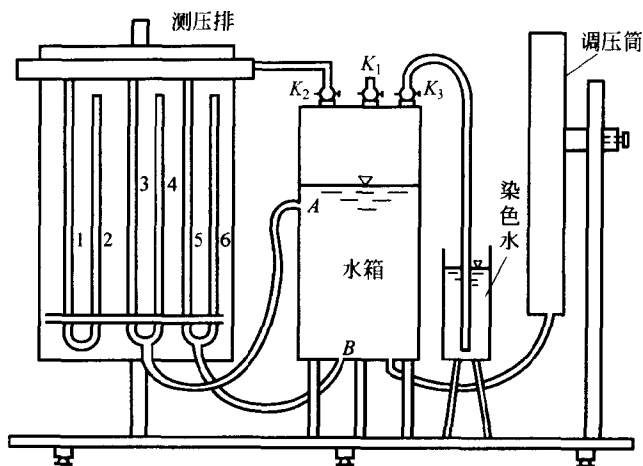


图 1-1

实验目的和要求

1. 通过实验加深对水静力学基本方程物理意义的理解。加深理解位置水头、压强水头及测管水头的概念。

2. 验证静止液体中不同点对于同一基准面的测压管水头为常数, 即 $z + \frac{p}{\rho g} = C$ 。

3. 实测静水压强, 掌握静水压强的测量方法。

4. 观察真空现象, 加深对真空压强、真空度的理解。

5. 测定油的密度。

实验步骤

1. 认真阅读实验目的和要求、实验原理和注意事项。

2. 熟悉仪器, 测记有关常数。

3. 将调压筒放置适当高度, 打开排气阀 K_1 , 使水箱内的液面与大气相通, 此时液面压强 $p_0 = p_a$ 。待水面稳定后, 观察各测管中的液面位置, 以验证等压面原理。

4. 关闭排气阀 K_1 , 将调压筒升至某一高度。此时水箱内液面压强 $p_0 > p_a$ 。观察各测点压差计的压差变化, 并测记各测管的液面标高, 完成第一次

实验。

5. 将调压筒继续提高,再做两次实验,并测记各测管的液面标高。

6. 打开排气阀 K_1 ,待液面稳定后再关闭 K_1 (此时不要移动调压筒)。

7. 将调压筒降至某一高度,此时水箱内液面压强 $p_0 < p_a$ 。观察各测点压差计的压差变化,并测记各测管的液面标高。

8. 将调压筒继续降低,再做两次实验,并测记各测压管的液面标高。

9. 打开真空管上的开关 K_3 ,可见到容器中的染色水被吸上一个真空高度。

实验数据记录

仪器编号: _____

有关常数: A 点高程 $\nabla_A =$ _____ cm, B 点高程 $\nabla_B =$ _____ cm,

$$\rho_k = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$$

测管液面高程读数记录

工况	测次	∇_1/cm	∇_2/cm	∇_3/cm	∇_4/cm	∇_5/cm	∇_6/cm
$p_0 > p_a$	1						
	2						
	⋮						
$p_0 < p_a$	1						
	2						
	⋮						

实验结果

静水压强量测结果

工况	测次	$p_0 = \rho_k g(\nabla_6 - \nabla_5)$ /N · cm ⁻²	$p_A = \rho_k g(\nabla_6 - \nabla_A)$ /N · cm ⁻²	$p_B = \rho_k g(\nabla_6 - \nabla_B)$ /N · cm ⁻²	$\rho_{\text{油}} = \rho_k \frac{\nabla_6 - \nabla_5}{\nabla_2 - \nabla_1}$ /kg · cm ⁻³
$p_0 > p_a$	1				
	2				
	⋮				

续表

工况	测次	$p_0 = \rho_k g(\nabla_6 - \nabla_5)$ /N · cm ⁻²	$p_A = \rho_k g(\nabla_6 - \nabla_A)$ /N · cm ⁻²	$p_B = \rho_k g(\nabla_6 - \nabla_B)$ /N · cm ⁻²	$\rho_{油} = \rho_k \frac{\nabla_3 - \nabla_1}{\nabla_2 - \nabla_1}$ /kg · cm ⁻³
$p_0 < p_a$	1				
	2				
	⋮				

分析思考问题

1. 重力作用下的静止液体压强分布的基本规律是什么？从实验结果举例说明。
2. 如何利用测压管量测静止液体中任意一点的压强(包括液面压强)？
3. 相对压强与绝对压强、相对压强与真空是什么关系？
4. 表面压强 p_0 的改变,基准面 $O-O$ 线位置的改变,对 A 、 B 两点的位置水头与压强水头有什么影响？
5. 如何选取等压面？U 形比压计 1-2(装油)与 U 形比压计 3-4(装水)中位于同一水平面上的液体测点压强是否相同？
6. U 形比压计 3-4 和 U 形比压计 5-6 在量测静水压时的作用是否相同？能否省略其中的一个？
7. 如果水箱和调压筒液面也有标尺显示,能否将 U 形比压计 3-4 和 U 形比压计 5-6 都省略？
8. 试分析产生量测误差的原因,并指出在实验中应该采取哪些措施尽可能减小误差。

注意事项

1. 升降调压筒时,应轻拉轻放。
2. 在读取测管读数时,一定要等液面稳定后再读,并注意使视线与液面最低点处于同一水平面上。
3. 读数时,注意测管标号和记录表中要对应。

平面上的静水总压力测量实验

原理简介

在已知静止液体中的压强分布之后,通过求解物体表面 A 上的矢量积分 $-\iint_A p \mathbf{n} dA$ 即可得到总压力。完整的总压力求解包括其大小、方向、作用点。

一、静止液体作用在平面上的总压力

1. 这是一种比较简单情况,见图 2-1,是平行力系的合成,即

$$-\iint_A p \mathbf{n} dA = -n \iint_A p dA$$

作用力垂直于作用面,指向自己判断。

2. 静压强分布是不均匀的,沿铅垂方向呈线性分布,其平均值为作用面(平面图形)形心处的压强。总压力大小等于作用面形心 C 处的压强 p_c 乘以作用面的面积 A ,即

$$\iint_A p dA = p_c A$$

3. 如果平面上作用着均匀分布力,其合力的作用点将是作用面的形心。由于静压强分布是不均匀的,浸没在液面下越深处压强越大,所以总压力作用点 D 位于作用面形心以下。

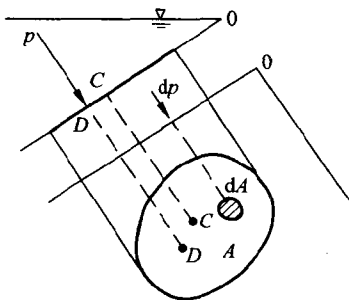


图 2-1

二、矩形平面上的静水总压力

1. 这是一种更加简便的情况,如图 2-2 所示,只要画出压强分布图就可

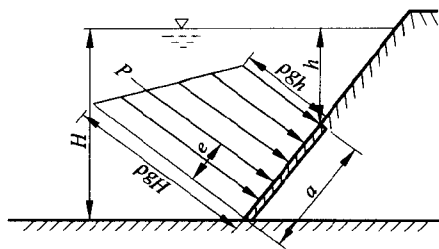


图 2-2

以求出总压力的大小和作用点。单位厚度作用面上总压力的大小等于压强分布图的面积，总压力的作用线过压强分布图的形心。

2. 如压强为梯形分布，则总压力大小为

$$P = \frac{1}{2} \rho g (h + H) ab$$

合力作用点距底的距离为

$$e = \frac{a}{3} \cdot \frac{2h + H}{h + H}$$

其中， h, H 分别为梯形压强分布图上下底的压强水头； a, b 是作用面的长度和宽度。如压强为三角形分布，则 $h=0$ ，总压力大小为

$$P = \frac{1}{2} \rho g Hab$$

合力作用点距底的距离为

$$e = \frac{a}{3}$$

3. 又若作用面是铅垂放置的，见图 2-3，则 $a=H-h$ ，总压力大小为

$$P = \frac{1}{2} \rho g (H^2 - h^2) b$$

合力作用点距底的距离为

$$e = \frac{H-h}{3} \cdot \frac{2h+H}{h+H}$$

压强为三角形分布时， $h=0$ ，总压力大小为

$$P = \frac{1}{2} \rho g H^2 b$$

合力作用点距底的距离为

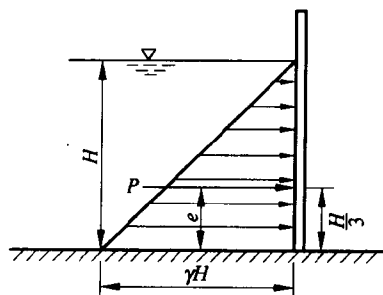


图 2-3

$$e = \frac{H}{3}$$

实验设备

实验设备及各部分名称见图 2-4。一个扇形体连接在杠杆上,再以支点连接的方式放置在容器顶部,杠杆上还装有平衡锤和天平盘,用于调节杠杆的平衡和测量。容器中放水后,扇形体浸没在水中,由于支点位于扇形体圆弧面的中心线上,除了矩形端面上的静水压力之外,其他各侧面上的静水压力对支点的力矩都为零。利用天平测出力矩,可推算矩形面上的静水总压力。

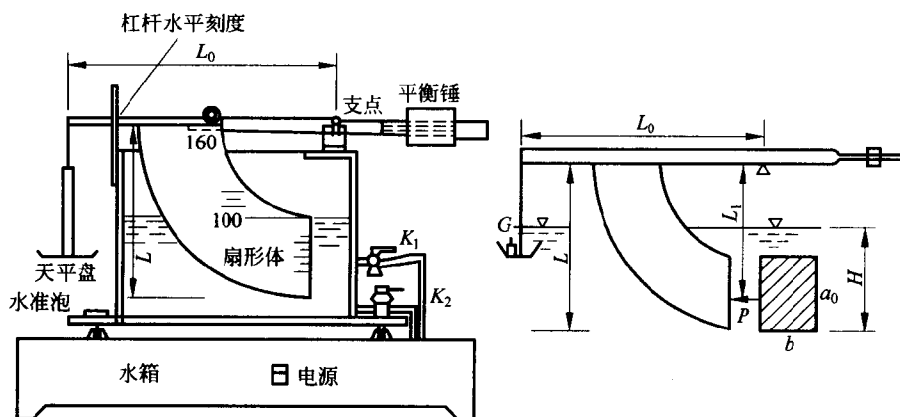


图 2-4

实验目的和要求

1. 测定矩形平面上的静水总压力。
2. 验证静水压力理论的正确性。

实验步骤

1. 认真阅读实验目的和要求、实验原理和注意事项。
2. 熟悉仪器,记录有关常数。
3. 用底脚螺丝调平,使水准泡居中。
4. 调平衡锤使杠杆处于水平状态,此时扇形体的矩形端面处于铅垂

位置。

5. 打开进水阀门 K_1 , 放水进入水箱, 待水流上升到一定的高度, 关闭 K_1 。

6. 加砝码到水平盘上, 使杠杆恢复到水平状态。如不行, 则再加水或放水直至平衡为止。

7. 测记砝码重量 G , 记录水位的刻度数。

8. 根据公式, 计算受力面积和静水总压力作用点至底部距离及作用点至支点的垂直距离 L_1 。

9. 根据力矩平衡公式, 求出静水总压力 P 。

10. 重复步骤 4~8, 水位读数在 100mm 以下(三角形压强分布)做 4 次, 以上(梯形压强分布)做 4 次, 共做 8 次。

实验数据记录

仪器编号: _____

有关常数: 天平臂距离 $L_0 =$ _____ cm, 扇形体垂直距离(扇形半径) $L =$ _____ cm, 扇形体宽 $b =$ _____ cm, 矩形端面高 $a_0 =$ _____ cm,
 $\rho = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$

测量记录表格

压强分布 形式	测次	水位读数 H/cm	水位读数/cm	砝码质量 m/g
			$h = \begin{cases} 0 & H < a_0 \\ H - a_0 & H \geq a_0 \end{cases}$	
三角形分布	1			
	2			
	$\vdots$			
梯形分布	1			
	2			
	$\vdots$			

实验结果

实验结果表格

压强分布形式	测次	作用点距底部距离 $e = \frac{H-h}{3} \cdot \frac{2h+H}{h+H}$ /cm	作用力距支点垂直距离 $L_1 = L - e$ /cm	实测力矩 $M_0 = mgL_0$ /N · cm	实测静水总压力 $P_{\text{实测}} = \frac{M_0}{L_1}$ /N	理论静水总压力 $P_{\text{理论}} = \frac{1}{2} \rho g (H^2 - h^2) b$ /N	相对值 $\frac{P_{\text{实测}}}{P_{\text{理论}}}$
三角形分布	1						
	2						
	⋮						
梯形分布	1						
	2						
	⋮						

分析思考问题

1. 试问作用在液面下平面图形上绝对压强的压力中心和相对压强的压力中心哪个在液面下更深的地方？为什么？
2. 分析产生量测误差的原因。指出在实验仪器的设计、制作和使用中哪些问题是最关键的。

注意事项

1. 测读砝码时，仔细观察砝码所注克数。
2. 加水或放水，要仔细观察杠杆所处的状态。
3. 砝码要每套专用，不要混用。

文透里流量计及孔板流量计 率定实验

原理简介

1. 文透里管是一种常用的量测有压管道流量的装置,见图 3-1,属压差式流量计。它包括“收缩段”、“喉道”和“扩散段”三部分,安装在需要测定流量的管道上。在收缩段进口断面 1-1 和喉道断面 2-2 上设测压孔,并接上比压计,通过量测两个断面的测管水头差 Δh ,就可计算管道的理论流量 Q ,再经修正得到实际流量。

2. 如图 3-2,在管道上设置孔板,在流动未经孔板收缩的上游断面 1-1 和经孔板收缩的下游断面 2-2 上设测压孔,并接上比压计,通过量测两个断面的测管水头差 Δh ,可计算管道的理论流量 Q ,再经修正得到实际流量。孔板流量计也属压差式流量计,其特点是结构简单。

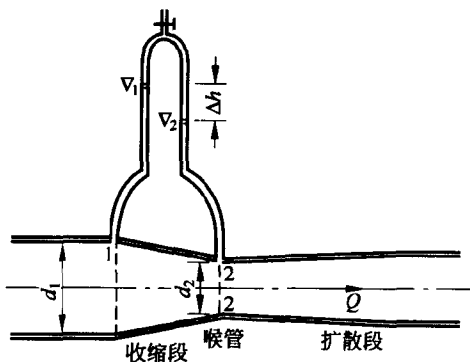


图 3-1

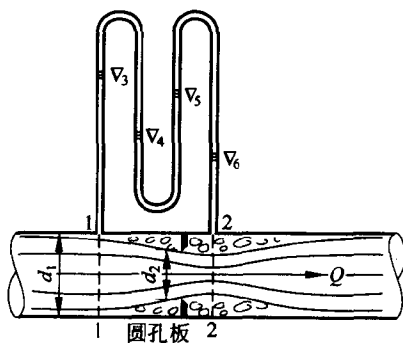


图 3-2