



普通高等教育“十二五”规划配套辅导书

水力学实验

陈艳霞 高建勇 钱波 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划配套辅导书

水力学实验

陈艳霞 高建勇 钱 波 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据西昌学院水力学实验室多年来实验教学的教学实践，以及西昌学院省级土木工程基础教学示范中心开放实验室的特点而编写的，内容既注重学科基础理论和知识的运用，又注重将学科的新概念、新方法引入实验，力求将知识的传授与实际应用能力的培养结合起来。本书内容主要包括对水力学基本原理、基本方程的操作验证类实验和对基本原理、方程的综合应用设计类实验共两大类 15 个实验，能基本满足各专业的需要。每个实验都包括实验目的、装置、原理、步骤、注意事项、数据记录、结果、思考回答问题等八项内容。

本书可以作为高等院校水利水电工程、水文与水资源工程、农业水土工程等水利类各专业水力学实验教学的教材，也可作为教师的教学参考书，对有关工程技术人员也具有很好的参考价值。

图书在版编目（C I P）数据

水力学实验 / 陈艳霞，高建勇，钱波编著. — 北京
：中国水利水电出版社，2012.3
普通高等教育“十二五”规划配套辅导书
ISBN 978-7-5084-9406-7

I. ①水… II. ①陈… ②高… ③钱… III. ①水力实
验—高等学校—教材 IV. ①TV131

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第005604号

书 名	普通高等教育“十二五”规划配套辅导书 水力学实验
作 者	陈艳霞 高建勇 钱波 编著
出版发行	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: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 4.75 印张 113 千字
版 次	2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	10.00 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

一、关于水力学课程

水力学是工科类高等院校水利水电工程、水文与水资源工程、农业水利工程等水利类专业的一门重要的技术基础课程，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。

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。课程教学的内容包括理论教学和实验教学两部分，主要任务是使学生掌握液体运动的基本概念、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，为专业课的学习、解决工程中有关的水力学问题和进行科学研究打下必要的基础。

二、关于水力学实验

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。水力学实验是揭示水流运动规律的一种重要手段，通过水力学实验可以帮助学生加深对所学理论的理解，并且通过学生独立操作、分析实验成果，培养学生的动手能力和从事科学实验研究的能力。

三、关于本书

本书是在西昌学院水力学实验室多年来实验教学的教学实践及实验指导书的基础上，广泛吸收国内外相关实验教材的优点，结合水力学实验教学的实际以及编者的自身实验工作经验编著而成的，其内容涵盖了水力学教学大纲所要求的所有实验，既注重基本理论知识的运用，又注重将学科的新概念、新方法引入实验，力求将知识的传授与实际应用能力的培养结合起来，符合学生的认知规律，便于独立操作。

本书由西昌学院陈艳霞讲师、高建勇讲师和钱波副教授编著完成，全书由陈艳霞统稿。全书内容共两章，第一章的第一、第二、第三、第五、第七节及第二章的第一、第二节，由陈艳霞编著，第一章的第四、第六、第八、第九、第十节及第二章的第三、第四节，由高建勇编著，第二章的第五节，由钱波编著。

本书在编写的过程中得到了中国水利水电出版社的关心和支持，各兄弟院校的同行也提供了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促，编者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2011年10月

目 录

前言

第一章 操作验证类实验	1
第一节 静水压强量测实验	1
第二节 恒定总流的能量方程验证实验	4
第三节 恒定总流的动量方程验证实验	9
第四节 雷诺实验	12
第五节 沿程水头损失实验	17
第六节 局部水头损失实验	23
第七节 孔口和管嘴出流实验	27
第八节 堰流实验	31
第九节 明渠水跃实验	36
第十节 达西定律验证实验	41
第二章 综合设计类实验	45
第一节 流量测定实验	45
第二节 光电流速仪测速实验	51
第三节 明渠糙率的测定实验	54
第四节 平板闸门出流实验	59
第五节 相似原理及水力模型试验	62
参考文献	68

第一章 操作验证类实验

第一节 静水压强量测实验

一、实验目的

1. 掌握用测压管测量静水压强的技能, 验证水静力学基本方程。
2. 能够测定另一种液体的容重, 要求掌握 U 形管和连通管的测压原理以及运用等压面概念分析问题的能力。

二、实验装置

实验装置如图 1-1-1 所示。在透明的可密封的水箱中注入适量的水, 用一乳胶管与一可升降的调压筒相连, 调压筒顶端暴露在大气中, 表面为大气压强 p_a , 水箱顶部装有排气阀, 可与大气相通, 用以控制水箱的表面压强 p_0 。最右侧为一组由 U 形管 (2~3、4~5、6~7) 和连通管 (1、2、4、6) 组成的测压管, 其中 U 形管 4~5 中所装液体为油, 其余均为水, $\gamma_{\text{油}} < \gamma_{\text{水}}$, 通过升降调压筒可调节水箱内液体的表面压强 p_0 。

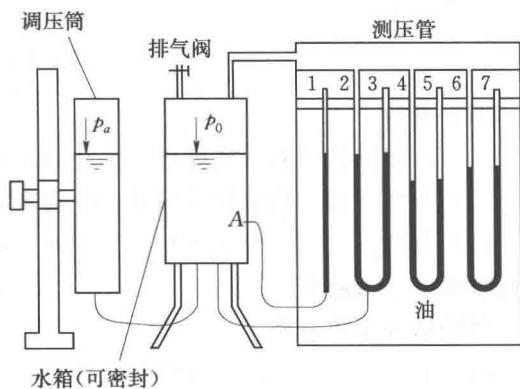


图 1-1-1 静水压强实验仪简图

三、实验原理

在重力作用下水静力学基本方程

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{const} \quad (1-1-1)$$

或

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-1-2)$$

式中: z 为被测点在基准面以上的位置高度; p 为被测点的静水压强, 用相对压强表示, 以下同; p_0 为水箱中液面的表面压强; γ 为液体容重; h 为被测点的液体深度。

本实验中, 利用调压筒的升降及排气阀的启闭, 调节水箱内液面的表面压强 p_0 , 若将调压筒提升到一定高度时, 水由调压筒流回水箱, 水箱中空气体积减小而压强增大, 待稳定后, 调压筒与水箱两液面的高差即为水箱的表面压强 $p_0 = \gamma h$, 这个水柱高度 h 也等于 $h_1 - h_2$, $h_3 - h_2$ 及 $h_7 - h_6$, 而 U 形管两液面的压差也应等于 p_0 ; 相反, 若将调压筒向下降落一定高度时, 使其水面低于水箱中的水面, 则此时 $p_0 < 0$, 待稳定后, 其压强称为真空压强。设 h_i 表示各测压管及水箱内液面标高读数, 根据静水压强

的基本方程可知：

- (1) 利用 1 号连通管中液面标高 h_1 可求得水箱中任一点 A 处压强（相对压强）：

$$p'_A = \gamma h = \gamma(h_1 - h_A) \quad (1-1-3)$$

则其绝对压强

$$p_A = p_a + p'_A = p_a + \gamma(h_1 - h_A) \quad (1-1-4)$$

- (2) 利用 U 形管 2~3 液面标高之差 Δh ，可求得水箱内液体表面压强：

$$p_0 = \gamma \Delta h = \gamma(h_3 - h_2) \quad (1-1-5)$$

- (3) 根据等压面和连通器原理，利用 U 形管 4~5 和 6~7 液面标高，由式

$$p_0 = \gamma(h_3 - h_2) = \gamma_{\text{油}}(\nabla_5 - \nabla_4) = \gamma(h_7 - h_6) \quad (1-1-6)$$

可求出待求液体的容重

$$\gamma_{\text{油}} = \gamma \frac{h_7 - h_6}{h_5 - h_4} \quad (1-1-7)$$

四、实验步骤

- (1) 认真阅读实验目的要求、实验原理和注意事项。
- (2) 熟悉仪器，核对设备编号，记录有关常数。
- (3) 打开排气阀，使水箱与大气相通，则水箱表面压强 $p_0 = 0$ （相对压强），并且调压筒水面、水箱液面及连通管 1、2、4、6 表面均应齐平。观察各 U 形压差计的液面位置，以验证等压面原理。
- (4) 关闭排气阀，将调压筒向上提升至一定高度。此时水箱内液面压强 $p_0 > 0$ ，观察各测压管的液面高度变化并测记液面标高。
- (5) 继续提高调压筒，再做两次。
- (6) 打开排气阀，使之与大气相通，此时不要移动调压筒，待液面稳定后再关闭排气阀。
- (7) 将调压筒降低至某一高度，此时水箱内液面压强 $p_0 < 0$ ，观察各测压管的液面高度变化并测记标高，重复两次。
- (8) 查数据记录表是否有缺漏？是否有某组数据明显地不合理？若有此情况，应进行补正。
- (9) 将调压筒升至适当位置，打开排气阀，实验结束。

五、注意事项

- (1) 首先检查可密封水箱是否漏气，方法：关闭排气阀后，观察水箱水面是否变化，如果不变则说明排气阀完好，否则说明排气阀漏气，应采取修复措施。
- (2) 升降调压筒时，应轻拉轻放，每次调整高度不宜过大，并且在升降调压筒后，一定要用手拧紧左边的固定螺丝，以免调压筒向下滑动。
- (3) 在读取测压管液面标高时，一定要待液面稳定后再读，并注意使视线与液面最低处处于同一水平面上。
- (4) 如发现测压管中水位不断改变，说明容器或测压管漏气，此时应采取止漏措施。
- (5) 读数时，注意测压管标号和记录表中要对应。

6. 调压筒的升降为什么能改变容器的液面压强 p_0 ?
7. 当 $p_0 < 0$ 时, 哪几根测压管能测出 p_0 的大小?
8. 实验时, 水箱内的水面能不能低于 A 点? 为什么?

第二节 恒定总流的能量方程验证实验

一、实验目的

1. 观察恒定流条件下, 通过管道水流的位置势能 (位置水头)、压强势能 (压强水头) 和动能 (流速水头) 的沿程转化规律, 验证恒定总流的能量方程, 加深理解能量方程的物理意义及几何意义。

2. 学习使用测压管和总压管 (迎着来流放置在管轴处) 测水头的实验技能及绘制测压管水头线和总水头线的方法。

3. 掌握用毕托管 (包括测压管和总压管) 测流速的原理和方法。

二、实验装置

实验装置如图 1-2-1 所示, 在自循环恒定管道流上串联变截面圆管和弯管。在 A、B、C、D 四个断面上的不同位置各接出四个测压管和四个毕托管, 其中的测压管接在管壁上, 总压管迎着来流方向安置在管轴处。管中流速可用阀门来调节, 设置专用量水箱进行流量的量测。

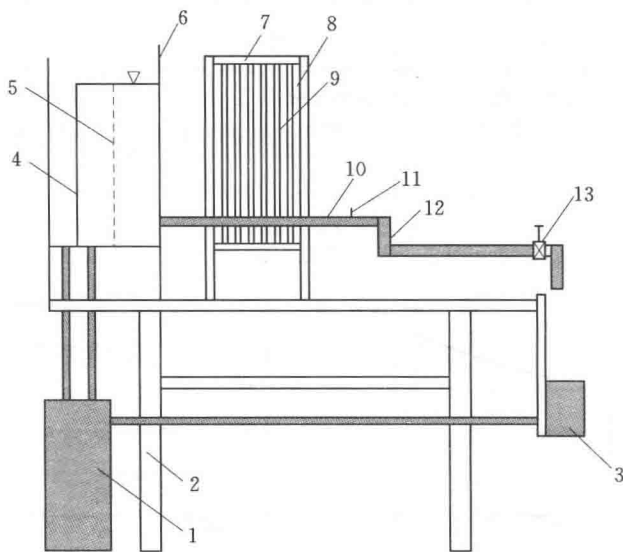


图 1-2-1 自循环能量方程实验装置简图

- 1—自循环供水器；2—实验台；3—量水箱；4—溢流板；5—稳水孔板；6—恒压水箱；
7—测压板；8—滑动测量尺；9—测压管；10—实验管道；11—测压点；
12—毕托管；13—尾阀

三、实验原理

1. 恒定总流的能量方程

理想液体恒定总流的能量方程 (伯努利方程):

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{const} \quad (1-2-1)$$

能量方程各项都具有长度量纲，几何上可用某个高度来表示，常称作水头。实际液体在有压管道中作恒定流动时，由于液体黏性的存在，实际液体流动过程中为克服液体之间及液体与管壁之间的摩擦阻力要消耗一定的能量，即存在水头损失，用 h_w 表示，因而各断面机械能会沿程减小。假设液体从 1~1 断面流到 2~2 断面，则其能量方程如下：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \quad (1-2-2)$$

2. 能量方程的物理意义

能量方程的物理意义是：对于不可压缩理想液体的恒定流动，单位重量液体的总水头（位置水头、压强水头和速度水头之和）或总机械能（位置势能、压强势能和动能之和）沿流线保持不变，即三种形式的能量（或水头）相互转换，但总机械能（水头）守恒。

实际液体的总水头线，由于存在水头损失，沿程必定是一条下降的曲线（直线或曲线）；而测压管水头线则沿流可以下降也可以上升。

3. 毕托管测流速

毕托管由测压管和总压管组成，如图 1-2-2 所示，测压管开口方向与流速垂直，总压管开口方向迎着流速，当需要测某点流速时，只需要测出该点总水头和测管水头之差得到速度水头，即可利用能量方程求得流速：

$$u = \sqrt{2g\Delta h} \quad (1-2-3)$$

实际中应用毕托管测流速时，由于毕托管自身的构造，毕托管对水流的干扰，以及流动过程中的水头损失等因素，必须对该流速公式进行修正，即加上毕托管修正系数 φ ，即

$$u = \varphi \sqrt{2g\Delta h} \quad (1-2-4)$$

φ 值取为 0.98~1.0，通常取决于毕托管的构造、尺寸、表面光滑度等因素，由生产厂家给出。

四、实验步骤

(1) 认真阅读实验目的要求、实验原理和注意事项。

(2) 熟悉实验设备，核对设备编号，记录有关常数，分清各测压管与各测压点，毕托管测点的对应关系。

(3) 打开供水开关，使水箱充水，待水箱溢流后，关闭泄水阀门 3，检查测压管和总压管的水面是否齐平，若不平则须进行排气调平（开关几次排去气泡）。

(4) 打开阀门 3，待水流稳定后，测记各测压管液面读数，记录到数据记录表的相应位置。

(5) 关闭量水箱下方的排水阀门，用秒表和量水箱测量流量，并记录到数据记录表的相应位置。

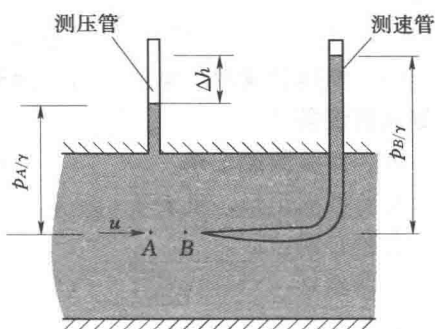


图 1-2-2 毕托管

(6) 调节阀门 3 的开度，待水流稳定后，重复上述步骤 (3) ~ (4)，并按序记录数据。本实验要求做 4 次以上。

(7) 检查数据记录表是否有缺漏？是否有某个数据明显地不合理？若有此情况，应进行补正。

(8) 实验结束，按步骤 (3) 校核各测压管水面是否处于同一水平面上，然后关闭电源开关，拔掉电源插头。

五、注意事项

- (1) 每次开大和关小阀门 3 时要缓慢，不要来回开关，以免损坏阀门。
- (2) 由于水流紊动原因，测压管液面有微小波动，当流速较大时，波动也比较大，因此每次改变流量时须待水流稳定后再读数，且读其波动范围的平均值。
- (3) 读数时，注意测压管标号和记录表中要对应。
- (4) 测压管读数、掌握阀门、测量流量以及做记录的同学要相互配合，并注意爱护秒表等仪器设备。

六、实验数据记录

实验数据记录，见表 1-2-1。

实验日期：_____ 实验者：_____

仪器编号：_____

有关常数：量水箱长_____cm，宽_____cm

四个断面的管径： d_A = _____cm， d_B = _____cm， d_C = _____cm， d_D = _____cm

表 1-2-1 实验数据记录表

测次	A 断面		B 断面		C 断面		D 断面		量 水 箱		
	测压管 (cm)	总压管 (cm)	测压管 (cm)	总压管 (cm)	测压管 (cm)	总压管 (cm)	测压管 (cm)	总压管 (cm)	初水位 (cm)	末水位 (cm)	时间 T (s)
1											
2											
3											
4											

七、实验结果

1. 整理实验结果，并进行有关计算，完成实验计算表 1-2-2。

表 1-2-2 实验计算表

测 次	量水箱 (断面积 A = _____ cm^2)		
	水位差 (cm)	体积 V (cm^3)	流量 Q (m^3/s)
1			
2			
3			
4			

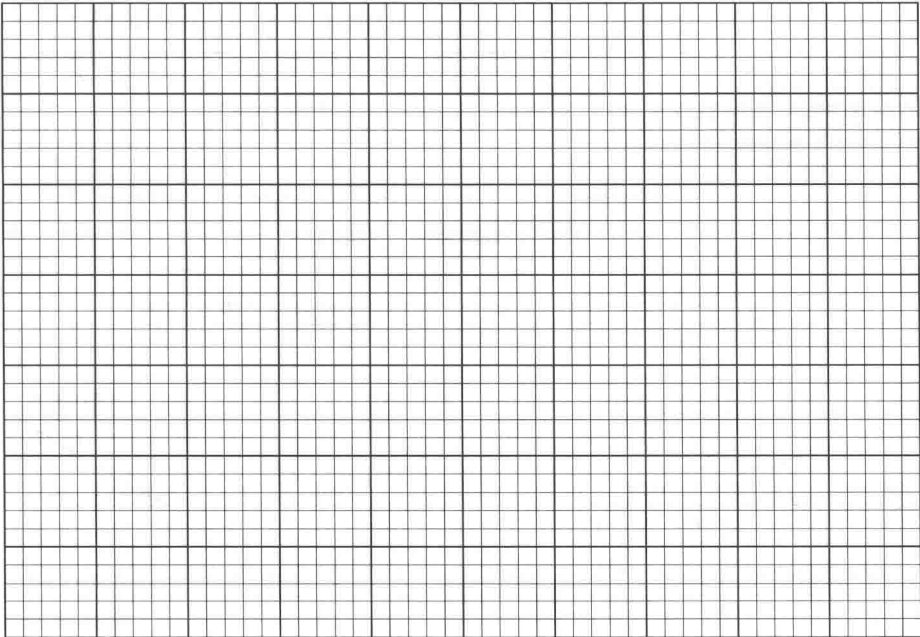
续表

测 次	A 断面 (断面面积 $A_A =$ _____ cm^2)			B 断面 (断面面积 $A_B =$ _____ cm^2)		
	压差 ΔH (cm)	毕托管测流速 (cm/s)	断面平均流速 (cm/s)	压差 ΔH (cm)	毕托管测流速 (cm/s)	断面平均流速 (cm/s)
1						
2						
3						
4						

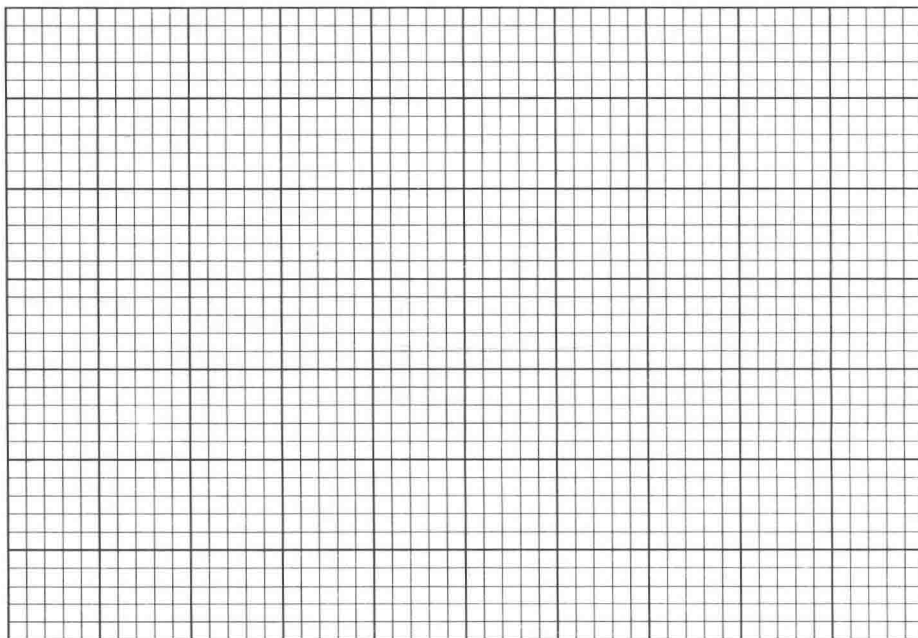
测 次	C 断面 (断面面积 $A_C =$ _____ cm^2)			D 断面 (断面面积 $A_D =$ _____ cm^2)		
	压差 ΔH (cm)	毕托管测流速 (cm/s)	断面平均流速 (cm/s)	压差 ΔH (cm)	毕托管测流速 (cm/s)	断面平均流速 (cm/s)
1						
2						
3						
4						

2. 根据量测数据在如下方格纸上绘制不同流量下的测压管水头线和总水头线，观察其变化趋势及位置水头与压强水头之间的关系。

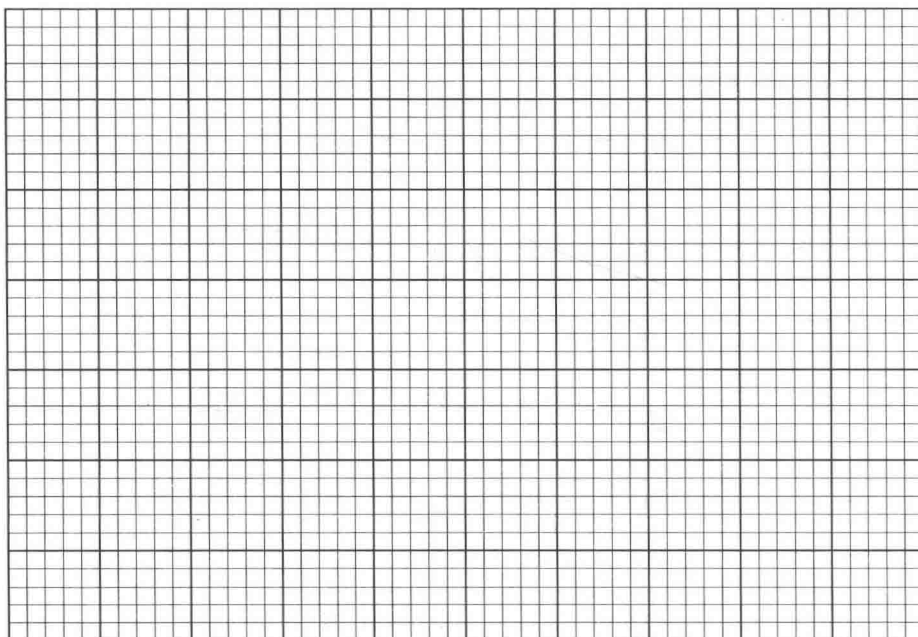
(1) 流量 Q_1 。



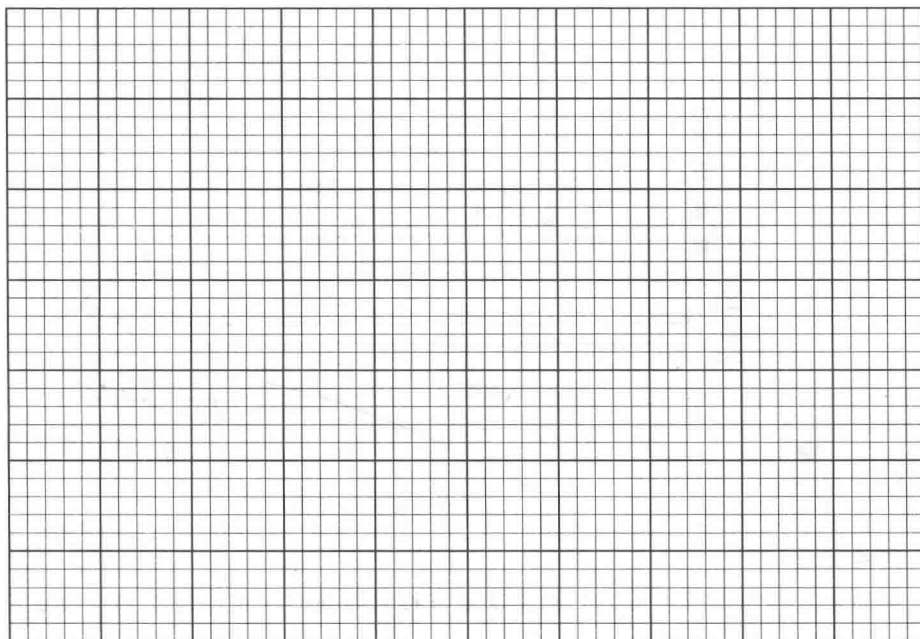
(2) 流量 Q_2 。



(3) 流量 Q_3 。



(4) 流量 Q_4 。



3. 对实验结果进行分析讨论，阅读思考题，作简要回答。

八、思考回答问题

1. 为什么测压管和总压管的开口方向不一致，一个与流速垂直；另一个则迎着流速方向？
2. 毕托管测流速和断面平均流速相等吗？为什么？
3. 测压管水头线和总水头线的变化趋势有何不同？为什么？
4. 实验所测的总水头是否断面的总水头？总水头线沿程上升还是下降还是不变？为什么？
5. 流量增加，测压管水头线有何变化？为什么？
6. 为什么在实验中要反复强调保持水流恒定的重要性？

第三节 恒定总流的动量方程验证实验

一、实验目的

1. 学习用天平根据力矩原理测定管嘴射流对平板所施加的作用力，同时用动量方程理论公式计算该作用力大小，并进行比较，以验证不可压缩流体恒定流的动量方程，进一步理解动量方程的物理意义。

2. 了解天平式动量方程实验仪原理、构造，进一步启发与培养创造性思维的能力。

二、实验装置

实验装置为动量原理实验仪，如图 1-3-1 所示。

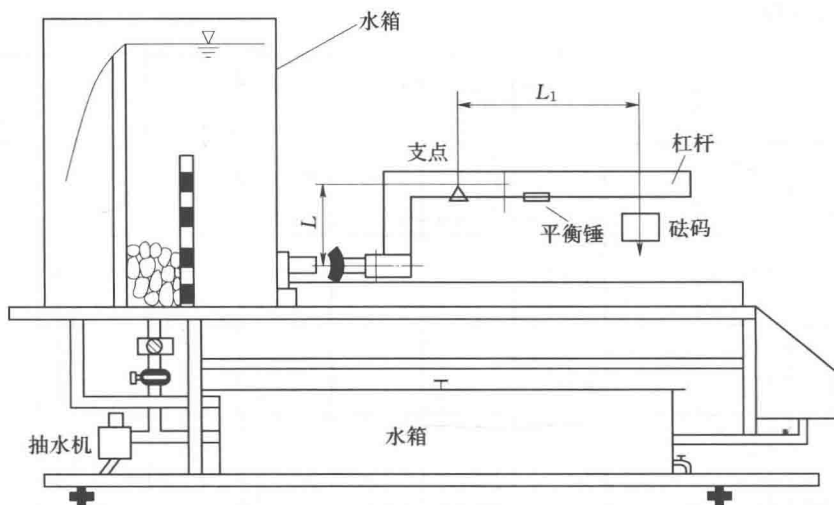


图 1-3-1 动量原理实验仪简图

三、实验原理

(1) 由动量方程原理求射流力。利用动量方程求射流对平板的冲击力，恒定总流动量方程为：

$$\Sigma F = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \quad (1-3-1)$$

取隔离体，列 x 方向的动量方程即为：

$$F_x = -\rho Q (0 - \beta_1 v_1) = \rho Q \beta_1 v_1 \quad (1-3-2)$$

式中： F_x 为射流对平板的冲击力； β_1 为动量修正系数，通常取为 1.0； Q 为射流流量， m^3/s 。

(2) 用天平求射流力。如图 1-3-2 所示，用天平根据力矩平衡原理求射流对平板的冲击力，力矩平衡方程：

$$FL = GL_1 \quad (1-3-3)$$

可得射流力：

$$F = \frac{GL_1}{L} \quad (1-3-4)$$

式中： F 为射流作用力； L 为射流力的力臂； G 为砝码的重量； L_1 为砝码的力臂。

上述两种方法所求出的射流对平板的冲击力应该一致，即 $F = F_x$ 。

实验中，在平衡状态下，只要测得流量 Q 和砝码的力臂 L_1 ，由给定的砝码的重量 G 、管嘴直径 d 和射流力的力臂 L ，代入上式，便可验证动量方程即上述两个力是否相等，还可率定射流的动量修正系数 β_1 值。

四、实验步骤

(1) 认真阅读实验目的要求、实验原理和注意事项。

(2) 熟悉实验装置，核对仪器编号，记录量水箱尺寸、管嘴直径及射流作用力的力臂等有关常数。

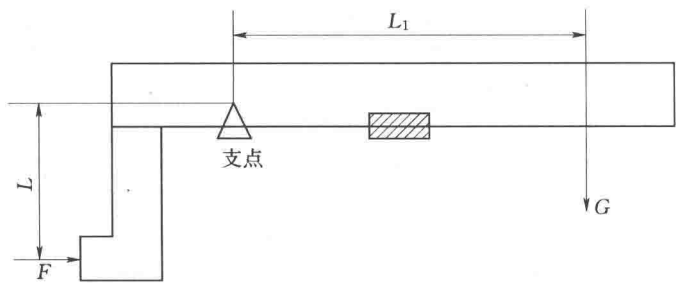


图 1-3-2 力矩平衡原理示意图

(3) 调节天平的平衡锤位置，使天平处于平衡状态（杠杆支点上的气泡居中）。

(4) 启动抽水机，使水箱充满水保持溢流状态，此时，水流从管嘴射出并冲击平板的中心，天平发生倾斜。向天平托盘中加砝码，使天平重新处于平衡状态，达到力矩平衡，记录砝码的质量和力臂 L_1 。用体积法测量流量 Q 并记入表格。

(5) 取下砝码，改变流量大小，重复上述步骤（4），重新测量，并做相应记录。

(6) 实验结束，取下砝码，关闭抽水机，将水箱中水排空，关闭电源开关，拔掉电源插头。

五、注意事项

- (1) 在溢流板有溢流时方能进行实验。
- (2) 喷嘴要与平板中心对准。
- (3) 开启阀门时要缓慢，防止水冲到平板上面。
- (4) 每次体积法测流量之前，将量水箱的阀门打开，使水排入最底下的循环水箱。
- (5) 天平测力和测量流量的同学要相互配合，并注意爱护秒表等仪器设备。

六、实验数据记录

实验数据记录，见表 1-3-1。

实验日期：_____ 实验者：_____

仪器编号：_____

有关常数：量水箱长_____cm，宽_____cm

管嘴直径 $d=$ _____cm；射流作用力的力臂 $L=$ _____cm

表 1-3-1 实验数据记录表

测 次	砝码重量 G ($\times 10^{-5} \text{ N}$)	力臂 L_1 (cm)	量 水 箱		
			初水位 (cm)	末水位 (cm)	时间 T (s)
1					
2					
3					

七、实验结果

1. 整理实验结果，并进行有关计算，完成实验计算表 1-3-2。