

普通高等教育“十一五”精品规划教材

水力学实验

SHUILIXUE SHIYAN

杨小亭 冯彩凤 李琼 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

TV131
4

普通高等教育“十一五”精品规划教材

水力学实验

SHUILIXUE SHIYAN

杨小亭 冯彩凤 李琼 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据武汉大学水力学及流体力学实验教学多年的教学实践和开放实验的特点而编写的。本书内容包括演示实验和量测实验两大部分,共计 25 个教学实验,可以作为高等工院校水利水电类、土建类、环境工程类专业及其他有关专业本科、专科的教材,也可作为教师的教学参考书。并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水力学实验/杨小亭,冯彩凤,李琼编著. —北京:中国水利水电出版社,2008

普通高等教育“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-5692-8

I. 水… II. ①杨…②冯…③李… III. 水力学—实验—高等学校—教材 IV. TV131

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 095405 号

书 名	普通高等教育“十一五”精品规划教材 水力学实验
作 者	杨小亭 冯彩凤 李琼 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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
刷 印	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 4.25 印张 101 千字
版 次	2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	7.80 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言



水力学是工科类高等院校的一门重要专业基础课程，水力学教学包括理论教学和实验教学两部分。水力学实验在水力学学科发展中占有重要的地位，是整个水力学教学不可替代的环节，其重要性在于加强学生对水流现象的感性认识，验证所学理论，培养基本的实验技能和科学研究的严谨作风。

本书是在武汉大学水力学教研室多年教学实践经验及原有讲义的基础上，广泛吸收国内外实验教材中的优点，结合武汉大学水力学实验课的具体情况以及编者自身实验工作的体会编写而成，其内容涵盖了水力学教学大纲所要求的所有实验。编写过程中始终贯彻理论联系实际，注重实践环节，结合武汉大学水力学开放实验的特点，力求符合学生的认识规律并便于学生独立操作。全书内容包括两章：第一章为演示实验，学生通过观察各种形式的水流现象，增强对流体运动现象的认识，加深对水力学基本概念、基本规律和基本理论的理解；第二章为量测实验，帮助学生掌握操作技能和测量方法，培养分析实验数据、整理实验成果以及编写实验报告的能力。

在本书的编写过程中，得到了中国水利水电出版社的关心和支持，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，水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

编者

2008年4月

目 录

前言

第一章 演示实验	1
第一节 流线演示实验	1
第二节 能量方程演示实验	2
第三节 空化机理演示实验	4
第四节 势流叠加演示实验	6
第五节 水流流态演示实验	7
第六节 紊动机理演示实验	9
第七节 脉动压强演示实验	10
第八节 虹吸管原理演示实验	12
第九节 水泵特性演示实验	14
第十节 水击现象综合演示实验	15
第十一节 流动演示实验	16
第十二节 明槽水面曲线演示实验	20
第十三节 泄水建筑物下游消能及水跃演示实验	22
第二章 量测实验	25
第一节 静水压强量测实验	25
第二节 流速量测（毕托管）实验	27
第三节 光电流速仪测速实验	31
第四节 沿程水头损失实验	33
第五节 管道局部水头损失实验	36
第六节 文丘里流量计及孔板流量计率定实验	40
第七节 动量方程验证实验	42
第八节 管流流态实验	45

第九节 明渠糙率的测定实验 48

第十节 堰流流量系数的测定实验 52

第十一节 闸下自由出流流量系数的测定实验 55

第十二节 有压渗流电拟法实验 57

参考文献 60

第一章 演示实验

第一节 流线演示实验

一、演示目的

- (1) 通过演示进一步了解流线的基本特征。
- (2) 观察液体流经不同固体边界时的流动现象。

二、演示原理

流场中液体质点的运动状态可以用迹线或流线来描述。迹线是一个液体质点在流动空间所走过的轨迹。流线是流场内反映瞬时流速方向的曲线。在同一时刻，处在流线上所有各点的液体质点的流速方向与各点的切线方向相重合。在恒定流中，流线和迹线互相重合。在流线仪中，用显示液（自来水、红墨水）通过狭缝式流道组成流场，来显示液体质点的运动状态。整个流场内的“流线谱”可形象地描绘液流的流动趋势，当这些有色线经过各种形状的固体边界时，可以清晰地反映出流线的基本特征及性质。

三、演示设备

演示设备如图 1-1 所示，它们分别显示两种特定边界条件下的流动图像。

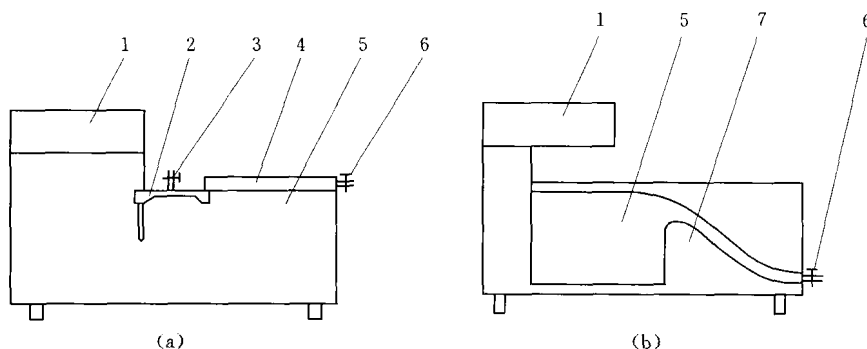


图 1-1 流线仪简图

1—盛水盒；2—闸底板；3—排气孔；4—集水箱；5—狭缝流道；6—泄水调节阀；7—实用堰

- (1) 可显示闸底板渗流场中液流的流动形态。
- (2) 可显示实用堰溢流的流动形态。

演示仪均由有机玻璃片制成狭缝式流道，其间夹有不同形状的固体边界。在演示仪的左上方有两个盛水盒，一个装无色自来水，一个装红色水，两盒的内壁各自交错开有等间距的小孔通往狭缝流道，流道尾部装有调节阀。

四、演示方法

- (1) 首先打开演示仪的排气夹和尾部的调节夹进行排气，待气排净后拧紧调节夹，并将上方的两个盛水盒装满自来水。
- (2) 将装有自来水的两个盛水盒中的任一个滴少许红墨水搅拌均匀。
- (3) 调节尾部泄水调节阀，可使显示液达到最佳的显示效果。
- (4) 待整个流场的有色线（即流线）显示后，观察分析其流动情况及特征。
- (5) 演示结束后，倒掉演示液，并将仪器冲洗干净待用。

五、思考题

- (1) 流线的形状与边界是否有关系？
- (2) 流线的曲、直和疏、密各反映了什么？

第二节 能量方程演示实验

一、实验目的

- (1) 观察恒定流情况下，有压管流所具有的位置势能（位置水头）、压强势能（压强水头）和动能（流速水头），以及在各种边界条件下能量守恒及转换的基本规律，加深对能量方程物理意义的理解。
- (2) 观察测压管水头线和总水头线沿程变化的规律，以及水头损失现象。
- (3) 观察管流中的真空现象及渐变流过水断面与急变流过水断面上的动水压强分布规律。
- (4) 观察恒定总流连续性方程中速度与管径的变化关系。

二、实验原理

实际液体在有压管道中作恒定流动时，其能量方程如下：

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

式（1-1）表明：单位重量的液体在流动过程中所具有的各种机械能（单位位能、单位压能和单位动能）是可以相互转化的。但由于实际液体存在粘性，液体运动时为克服阻力要消耗一定的能量，也就是一部分机械能转化为热能而散逸，即水头损失，因而各断面的机械能沿程减小。

在均匀流或渐变流过水断面上，其动水压强分布符合静水压强分布规律：

$$z + \frac{p}{\gamma} = c \quad (1-2)$$

但不同的过水断面上 c 值不同。

在急变流过水断面上，由于流线的曲率较大，因此惯性力亦将影响过水断面上的压强分布规律，即动水压强在急变流的过水断面上不符合静水压强分布规律。

三、实验设备

如图 1-2 所示的能量方程演示仪为自循环的水流系统，在进水管段设有进水阀、转子流量计，演示段由直管、突然扩大管、文丘里管、突然缩小管、垂直弯管和水平弯管等有机玻璃管段连接而成，在管道上沿水流方向的若干过水断面的边壁上设有测压孔，在设置测压管的过水断面上同时装有单孔毕托管，用以测量该断面中心点的总水头。在管道的出口还设有尾阀。进水阀和尾阀用来调节和控制流量。

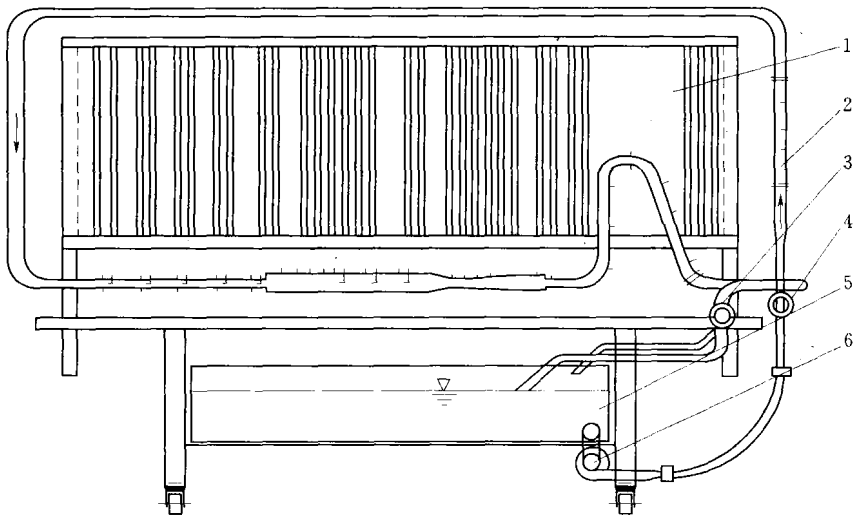


图 1-2 能量方程演示仪

1—测压牌；2—转子流量计；3—尾阀；4—进水阀；5—水箱；6—水泵

四、操作步骤和演示内容

- (1) 熟悉设备，分辨测压管和单孔毕托管。
- (2) 接通电源。
- (3) 缓缓打开进水阀，反复开关尾阀将管道及测压管中的空气排净。
- (4) 调节进水阀，固定某一流量（以 $Q=1500\text{L/h}$ 左右为宜），待水流稳定后，根据能量方程观察管道各断面上单位重量水体的位能、压能、动能和水头损失，并弄清能量守恒及位能、压能和动能的相互转化规律。
- (5) 观察测压管水头线和总水头线沿程变化的规律，并分析其原因。
- (6) 观察管道中各种局部水力现象，如突然扩大和突然缩小情况下测压管水头的变化；渐变流过水断面上各点的测压管水头相等，而急变流过水断面上各点的测压管水头不相等；垂直弯管段上的真空现象等。

(7) 将尾阀开大或关小，观察各测压管水面连线的变化。

(8) 演示结束后，切断电源，关闭总进水阀。

五、注意事项

(1) 阀门开启一定要缓慢，并注意测压管中水位的变化，不宜过猛，以免使测压管中的压力上升过快，造成不良后果。

(2) 演示实验时，一定要将管道和测压管中的空气排净。

六、思考题

(1) 如何确定管中某点的位置水头、压强水头、流速水头、测压管水头和总水头？

(2) 总水头线和测压管水头线是否总是沿程下降？

(3) 突然扩大和突然缩小段测压管水头线是否总是上升？

(4) 文丘里管段上各断面的测压管水头变化说明了什么？

(5) 垂直管段的位置水头和压强水头有什么关系？其最大真空值如何确定？

(6) 弯管段凹凸边壁上的测压管水头有何差异？为什么？

第三节 空化机理演示实验

一、实验目的

通过观察由本仪器所演示的空化发生和演变、流道体型对空化影响及常温下水的沸腾现象，加深对空化和空蚀现象的认识。

二、实验原理

在液体流动的局部区域，或由于流速过高，或由于边界层分离，均会导致压强降低，以致降低到液体内部出现气体（或蒸汽）空泡或空穴，这种现象称为空化（也称作气穴）。空化现象发生后，液流的连续性遭到了破坏。气体空泡随液体一起向下游运动，当压强增加到一定程度时，液体会以极高的速度向空泡内运动，气泡溃灭从而引起附近固体边界的剥蚀破坏（称作空蚀或气蚀），并产生噪声，结构振动、机械效率降低等。本实验利用高速水流通过流道改变的区域时将产生压强变化的原理来演示空化现象。

三、实验设备

实验设备及各部分名称如图 1-3 所示。

四、实验步骤及演示内容

(1) 接通电源，打开阀门 10。

(2) 空化现象的演示。在流道①、流道②、流道③、流道④内观察水流运动现象，可

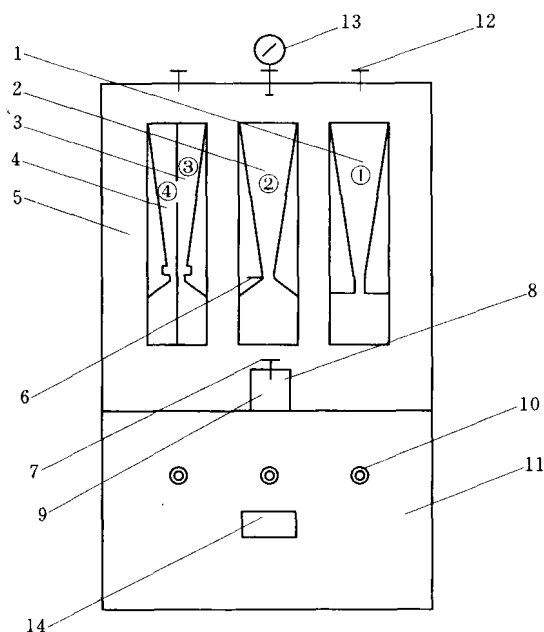


图 1-3 空化机理实验仪示意图

- 1—流道①文氏型空化显示面；2—流道②渐缩空化显示面；
3—流道③矩形闸门槽空化显示面；4—流道④流线形
闸门槽空化流动显示面；5—流道显示柜；6—测
压点；7—连接短管；8—管嘴；9—空化杯；
10—阀门①、阀门②、阀门③；11—自
循环供水箱；12—气塞；13—真
空表；14—标牌

看到在流道①、流道②的喉部和流道③的闸门槽处出现乳白色雾状空云，这就是空化现象，同时还可听到气泡溃灭的噪声。空化区的负压相当大，其真空度可由真空表 13（与流道②的喉颈处测压点相连）读出。在流道①、流道②喉颈中部所形成的带游移状空化云，为游移型空化；在喉道出口处两边形成的附着于转角两边较稳定的空化云，为附体空化；而发生于流道③中闸门槽（凹口内）旋涡区的空化云，则为旋涡型空化。

（3）空化机理。流动液体（以水为例）在标准大气压下，当温度升高至 100°C 时沸腾，水体内产生大小不一的气泡，这就是空化。而当压强小于水在此温度下的汽化压强时，水就要产生空化。先向空化杯 9 中注入半杯温水，压紧橡皮塞盖，然后与管嘴 8（杯两侧各 1 只）接通。在喉管负压作用下，空化杯内的空气被吸出。真空表读数随之增大。当真空度接近 10m 水柱时，杯中水就开始沸腾。这是常温水在低压下发生空化的现象。

（4）流道体型对空化的影响。从流道①、流道②的空化对比看出：在阀门开关相同的条件下，流道①的空化比流道②严重。从两种体型闸槽的空化看出：流道③、流道④分别设有矩形槽和下游具有斜坡的流线形槽。在同等流量下，前者空化程度大于后者。

(5) 实验结束, 打开气塞 12, 将流道内水放空, 防止流道内结垢。学期结束, 将水箱放空, 并清洗水箱。

五、注意事项

(1) 严格按照操作步骤进行实验。

(2) 空化杯中的温水不能用冷开水或蒸馏水等, 而只能用新鲜自来水, 并在每次实验前更换新鲜水, 以保证空化沸腾时的显示效果。

六、思考题

(1) 试述实际工程中所产生的空化和空蚀现象。

(2) 为什么在每次实验时空化杯中要注入新鲜自来水? 用冷开水或蒸馏水能否观察到空化沸腾现象? 为什么?

第四节 势流叠加演示实验

一、实验目的

(1) 观察液体作平行流运动的迹线和流线。

(2) 观察各种简单势流以及各种势流叠加后所形成的流动图像, 加深对势流运动的理解。

二、实验原理

在势流中, 存在平行流、点源和点汇等几种基本的流动形式。根据势流叠加原理, 可把已知的简单势流叠加起来, 得到一个比较复杂的势流。如把源和均匀流叠加可得到一个二维钝头流线体的绕流流线图形; 平行流和偶极子叠加可形成无环量圆柱绕流等。

三、实验设备

图 1-4 为一势流叠加实验台, 它由进水管、可视实验台、支架、颜料水瓶、红水开关, 以及源汇旋钮、进水开关、上下游水箱等组成。实验台上设置源汇孔及注红水针头。

四、实验步骤

(1) 打开进水开关, 放水入实验台, 调整下游堰板使之溢流。

(2) 上下拉动实验台上玻璃板, 排除实验台上水流气泡。

(3) 打开红水开关, 将各针头的红水注入实验台流动的清水内, 可观察平行流的流线。

(4) 打开其中一个源的旋钮放入蓝色水, 可观察二维钝头流线体的绕流流线。

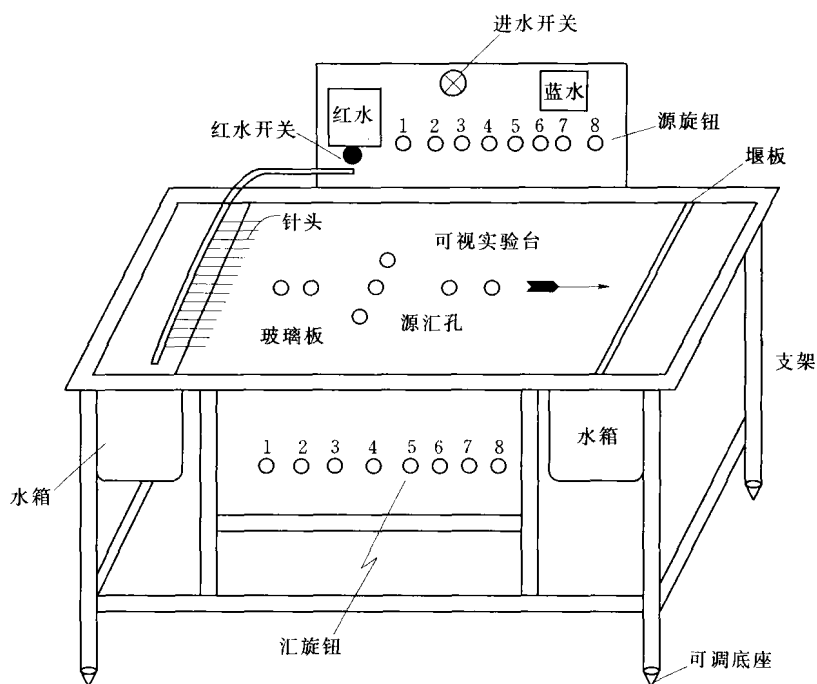


图 1-4 势流叠加实验仪

- (5) 打开一个源的旋钮、一个汇的旋钮以观察偶极子。
- (6) 同时打开两并行的源的旋钮，可叠加成一直线图。

五、注意事项

- (1) 调节阀门旋钮要慢慢地开和关。
- (2) 在放水时，调节下游堰板，使水位适中。

六、思考题

- (1) 请给出源和平行流叠加所形成的二维钝头流线体的流函数和势函数表达式。
- (2) 什么是平面势流的叠加原理？有何意义？
- (3) 简单的平面势流有哪几种？每一种的流函数和势函数的表达式是什么？
- (4) 本实验中所演示的源和汇的叠加是否是真正意义上的偶极子？为什么？

第五节 水流流态演示实验

一、演示目的

- (1) 观察层流与紊流两种流态及其过渡状态时的流动现象。
- (2) 区分两种不同流态的特征及其产生的条件。

二、演示原理

液体在运动时，存在着两种根本不同的流动状态。当雷诺数较小时，粘滞力占主导地位，各流层的液体质点有条不紊地运动，互不混杂，这种形态的流动叫做层流；当雷诺数较大时，惯性力占主导地位，各流层或各微小流束上的液体质点形成涡体，并脱离原流层，互相混掺，杂乱无章，这种形态的流动称作紊流。

三、演示设备

图 1-5 为流态演示仪，它由水箱、玻璃管及注入有色液体的部件组成，实验时，只要微微打开泄水阀及有色液小阀，即可显示出层流或紊流。

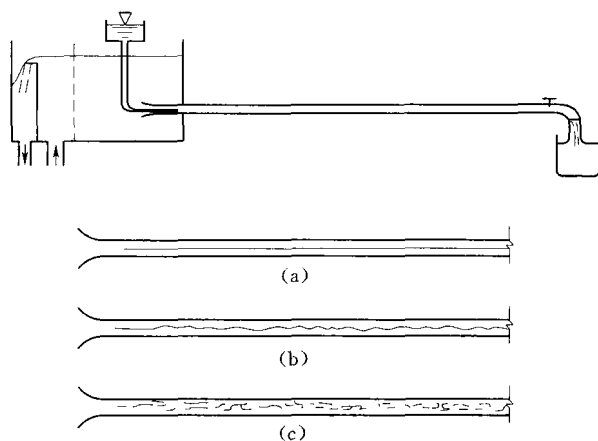


图 1-5 水流流态演示装置简图
(a) 层流；(b) 过渡状态；(c) 紊流

四、演示方法

- (1) 打开进水阀向水箱充水，使水箱水位保持恒定。
- (2) 微微打开泄水阀及有色液阀门，适当调节泄水阀，使管中的红色液体呈一条直线，不与周围的水流混杂，即层流，如图 1-5 (a) 所示。
- (3) 逐渐开大泄水阀门，则管中的红色液体呈波形线状，属于过渡状态，如图 1-5 (b) 所示。
- (4) 再继续开大泄水阀，管中有色液体由波状形变成微小涡体，并扩散到整个管内，且与周围水体掺混，即紊流，如图 1-5 (c) 所示。
- (5) 以相反程序，即泄水阀门开度从大到小，可以重现上述几种流动状态。
- (6) 演示结束，关闭进水阀及有色液阀门。

五、思考题

- (1) 水流流态与哪些因素有关？

(2) 雷诺数的物理意义是什么？为什么可以用来判别流态？

第六节 紊动机理演示实验

一、实验目的

利用本实验仪器演示紊动发生过程及异重流的流动过程，加深对水流运动结构的认识。

二、实验原理

众所周知，液体流动时，存在着两种截然不同的流态，即层流和紊流。层流向紊流转化是一个十分复杂的问题。本实验应用两种不同颜色的液体相互混合的过程来演示紊流的发生过程和异重流的流动过程。

三、实验设备

实验仪器设备如图 1-6 所示。

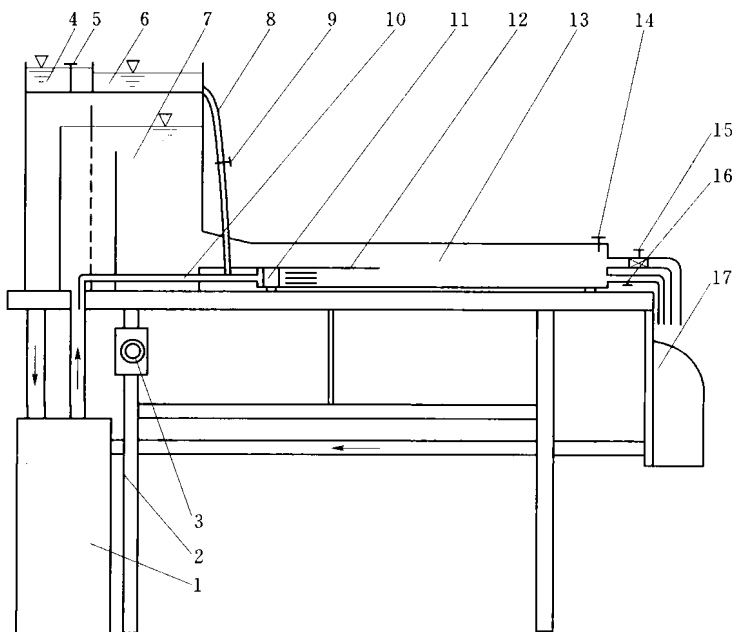


图 1-6 紊动机理实验仪结构示意图

- 1—自循环供水器；2—实验台；3—可控硅无级调速器；4—消色用丙种溶液容器；
5，9—调节阀；6—染色用甲种溶液容器；7—恒压水箱；8—染色液输液管；
10—取水管；11—混合器；12—上下层隔板；13—剪切流道显示面；14—排
气阀；15—出水调节阀；16—分流管与调节阀；17—回水漏头

四、实验步骤及演示内容

(1) 插上水泵电机电源、灯光电源。先关闭阀 5、阀 9、阀 15、阀 16，打开调速器，水泵启动，流量最大。调节调速器旋钮，让流量减小，使得水箱水位不高于恒压水箱 7 之中间隔板的顶高。此时仅由取水管 10 单独向流道 13 供水，使水体缓慢地充满下层流道，排除隔板下方滞留的气泡。如果一次操作不能排净气泡，则应反复操作。排净气泡后开大供水流量，并操作阀 14 与阀 15，排除流道上的气泡。

(2) 加注染色药水。调节阀 9，向混合器 11 加注甲种溶液，与水混合即呈紫红色。

(3) 加注消色药水。调节阀 5，滴下丙种溶液，以保持工作水体处于无色透明状态。

(4) 紊动发生演示。①上下层界面呈平稳直线演示。将阀 16 全开，下层红色水流从此流出。调节阀 15，使上层无色水流流速与下层流速相接近。若界面直线不稳，可适当减小下层流速 u_2 ，方法是减小阀 16 开度，减小下层水流流速大小，并适当关小阀 15 使上下层流速相近。②波动形成与发展演示。调节阀 15，适当增大上层流速 u_1 ，界面有明显的速度差，于是开始发生微小波动。继续增大阀 15 的开度，则波动演示更加明显。③波动转变为旋涡紊动演示。将阀 15 开到足够大时，波动失稳，波峰翻转，旋涡形成，界面消失，涡体的旋转运动，使得上下层液体质点发生混掺，紊动发生。

(5) 异重流实验。实验时在甲种溶液中加入一定比例的食盐或白糖来提高下层液体的密度，即可用来研究异重流的稳定性。

(6) 实验完毕，关机，切断电源。

五、注意事项

(1) 严格按照操作步骤进行操作。

(2) 实验时，流入水中的甲种溶液一定要适当，否则，演示效果不好。

(3) 隔板下方的气泡要排净。如一次排不净，则应反复操作，直到排净为止。

六、思考题

(1) 紊流产生的两个必不可少的条件是什么？

(2) 液体运动的流态与哪些因素有关？

(3) 试叙述实际工程中所遇到的异重流运动现象。

第七节 脉动压强演示实验

一、实验目的

(1) 通过演示，了解流场中各点的压强等水力要素在空间上和时间上均作随机变化，但从统计平均的意义上讲这种随机变化又可表示为时间和空间的确定性函数。

(2) 加深对公式 $p_i = \overline{p_i} + p'_i$; $u_i = \overline{u_i} + u'_i$ ($i=1, 2, 3$) 的理解。

二、实验原理

紊流中充满着许多大小不等的涡体，这些涡体除了随总流的运动趋势朝某一方向运动外，同时还在各个方向上有不规则的运动。液流的各质点的运动随着这些涡体的运行、旋转、震荡，以及互相掺混使流场内各点的流速、压强等水力要素的大小在空间上和时间上均叠加有随机性质的脉动值，也就是在液流中某一点的流速、压强等物理量的数值并不是一个常数，而是表现为以某一常数为中心随时间变化而不断地跳动，这种跳动称作脉动。

取水流中某一固定空间点来观察，该点沿 x 方向的瞬时压强随时间的变化可通过压力传感器转换成随时间变化的电压值并显示在计算机屏幕上，从图 1-7 中可以看出：某一空间点的瞬时流速 u_x 可视为由时均流速 $\bar{u}_x$ 与脉动流速 u'_x 两部分构成，即 $u_x = \bar{u}_x + u'_x$ 。其中 u'_x 是以 $\bar{u}_x$ 线为基准，在该线的上方时为正，在下方时为负，其值随时间而变，故称为脉动流速。显然，在足够长的时间中 u'_x 的时间平均值 $\overline{u'_x} = 0$ 。同样，瞬时流速 p 可由时均压强 $\bar{p}$ 和脉动压强 p' 构成，即 $p_x = \bar{p}_x + p'_x$ ； $\bar{p}' = 0$ 。

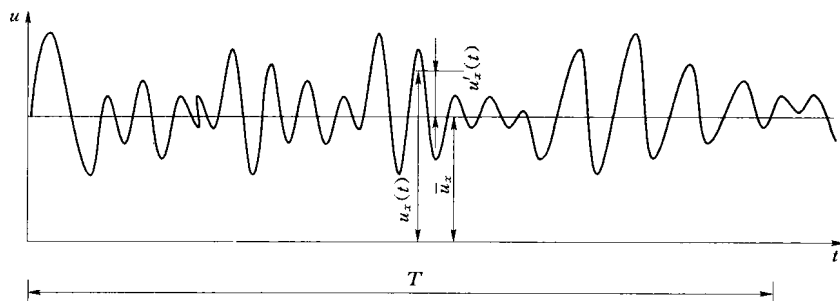


图 1-7 瞬时流速随时间的分布示意图

三、实验设备

演示仪器设备硬件框图如图 1-8 所示。由毕托管、差压传感器、压力传感器、放大器、稳压电源、A/D 数据采集卡和计算机组成。

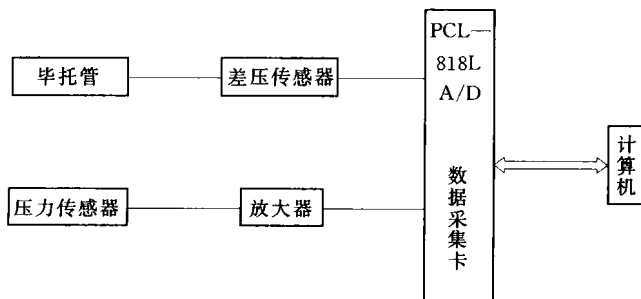


图 1-8 实验设备框图