

高等院校规划教材

流体动力实验

主编 刘少海

高等院校规划教材

流体动力实验

主 编 刘少海

副主编 罗建国 张 文

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

流体动力实验/刘少海主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2016
高等院校规划教材
ISBN 978-7-5020-5256-0

I. ①流… II. ①刘… III. ①流体动力学—实验—高等学校—
教材 IV. ①O351.26-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 056311 号

流体动力实验(高等院校规划教材)

主 编 刘少海
责任编辑 李振祥 闫 非
编 辑 田小琴
责任校对 李新荣
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京市郑庄宏伟印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm^{1/16} 印张 3^{1/2} 字数 70 千字

版 次 2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 8107 定价 24.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书主要介绍流体力学实验、液压传动实验和流体机械实验，每个实验项目包括实验目的、设备、原理、步骤等内容。

本书适合本科学生在实验教学中作指导书使用，也可供其他人员参考。



前 言

本书是根据机械设计制造及其自动化、材料成型与控制工程、采矿工程、化学工程、土木工程等专业所设置课程的教学大纲中关于实验项目及内容的要求,在原校内实验讲义的基础上修编而成。通过实验,帮助学生巩固理论知识,掌握基本的实验方法和操作技能,培养分析问题和解决问题的能力。

全书共分三章。第一章为流体力学实验,主要包括流量量测实验、伯努利方程实验等实验项目。通过这部分实验,学生可以掌握各种水力要素的量测技术,并且通过验证理论公式和测定经验系数,能够从一系列的量测数据中分析研究出水流运动各要素之间的内在规律,加深对水流运动规律的认识。第二章为液压传动实验,学生可逐步了解液压元件及其特性的测试方法,培养液压回路的设计能力。第三章为流体机械实验,通过离心式水泵性能的测试,学生能更深入了解流体机械的结构和工作原理,掌握基本测试方法。

本书第一章的第二节、第三节由王哲编写,其余节由罗建国编写;第二章由张文编写;第三章由刘少海编写。全书由刘少海统稿。

在编写过程中得到华北科技学院有关老师的帮助和支持,在此表示感谢!由于编者水平所限,书中不当之处,敬请批评指正。

编 者

2016年1月

目次

第一章 流体力学实验	1
第一节 静水压强实验	1
第二节 流量量测实验	4
第三节 流速量测实验 (毕托管测速法)	7
第四节 伯努利方程实验	10
第五节 管道局部阻力系数测定实验	12
第六节 管道沿程阻力系数测定实验	17
第七节 雷诺实验	19
第八节 绕流演示实验	23
第二章 液压传动实验	25
第一节 定量泵性能测试实验	26
第二节 溢流阀静态特性测试实验	29
第三节 差动回路性能实验	31
第四节 液压阀拆装实验	34
第三章 流体机械实验	38
第一节 离心式水泵性能测试实验	38
第二节 离心式水泵串联性能测试实验	41
第三节 离心式水泵并联性能测试实验	42
第四节 离心式水泵气蚀演示实验	44
参考文献	46

第一章 流体力学实验

本章实验项目包括静水压强实验、流量量测实验、流速量测实验、伯努利方程实验、管道局部阻力系数测定实验、管道沿程阻力系数测定实验、雷诺实验和绕流演示实验。上述实验项目涉及工程流体力学方面的教学内容。

通过本章的学习,能够掌握各水力要素的量测技术,验证理论公式,测定经验系数,从一系列的量测数据中分析研究出水流运动各要素之间的内在规律,从而加深对水流运动规律的认识。

第一节 静水压强实验

一、实验目的

(1) 通过实验进一步理解静水压强基本方程式的物理意义和几何意义,验证静止液体中不同点对于同一基准面的测压管水头为一常数,即 $z + p/\gamma = c$ 。

(2) 实测静止液体中测点 1 和测点 2 两点压强的大小,掌握静水压强的测量方法。

(3) 巩固绝对压强、相对压强、真空度的概念。

(4) 掌握从已知一种液体重度测定另一种液体重度的方法。

二、实验设备

实验设备为华北科技学院机电系自主研制的 FSP 型流体静压实验仪。FSP 型流体静压实验仪由调压筒装置、测压管组、实验密闭主水箱和水箱上液面增减压强调节装置 4 部分组成,如图 1-1 所示。

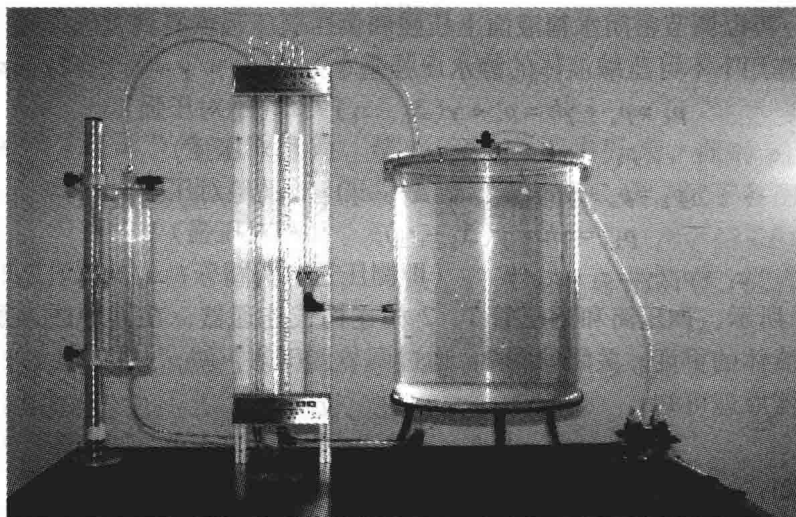


图 1-1 FSP 型流体静压实验仪

三、实验原理

如图 1-2 所示, 调压筒内压强 $p' = p_a$, 密闭主水箱内静止液体的表面压强为 p_0 , Δ_i 表示各测管标高读数, z_1 、 z_2 为测点 1 和测点 2 的位置高度 (即位置水头)。

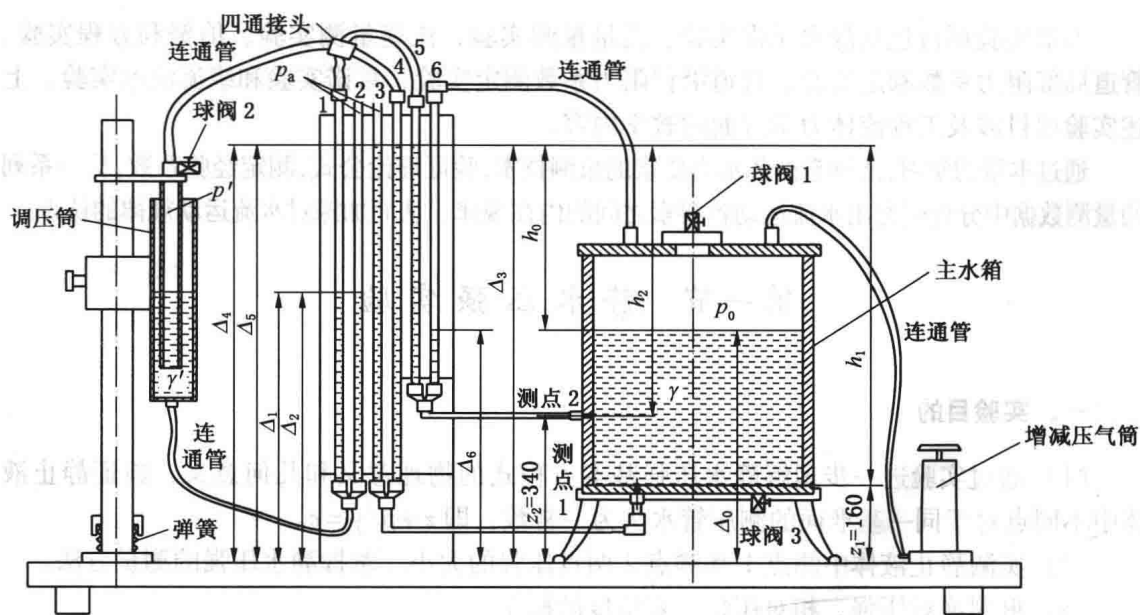


图 1-2 静水压强实验原理示意图 ($p' = p_a$)

主水箱液面压强 p_0 通过调节增减压气筒, 使其大于或小于大气压 p_a , 水箱通过连通管和测压管 6 相连。在水箱不同液面深度选择测点 1、测点 2, 分别和测压管组连接。测压管组中 2、3 开口通向大气, 测压管 1、4、5 通过一个四通接头和调压筒相接。通过上、下移动调压筒, 就可以改变调压筒中的压强, 进而调节测压管 1、4、5 中的压强。开启球阀 1 和球阀 2, 可以调节密闭水箱液面上压强和调压筒压强恢复到大气压强。

根据重力作用下不可压缩液体的静水压强基本方程 $z + p/\gamma = \text{常数}$ 和 $p = p_0 + \gamma h$ 可知:

$$p_1 = p_a + \gamma h = p_a + \gamma(\Delta_3 - z_1) \quad (\text{绝对压强})$$

$$p_1' = \gamma h = \gamma(\Delta_3 - z_1) \quad (\text{相对压强})$$

$$p_2 = p_a + \gamma h = p_a + \gamma(\Delta_5 - z_2) \quad (\text{绝对压强})$$

$$p_2' = \gamma h = \gamma(\Delta_5 - z_2) \quad (\text{相对压强})$$

$$z_1 + p_1/\gamma = z_2 + p_2/\gamma \quad (\text{即测压管水头相等, } \Delta_3 = \Delta_5)$$

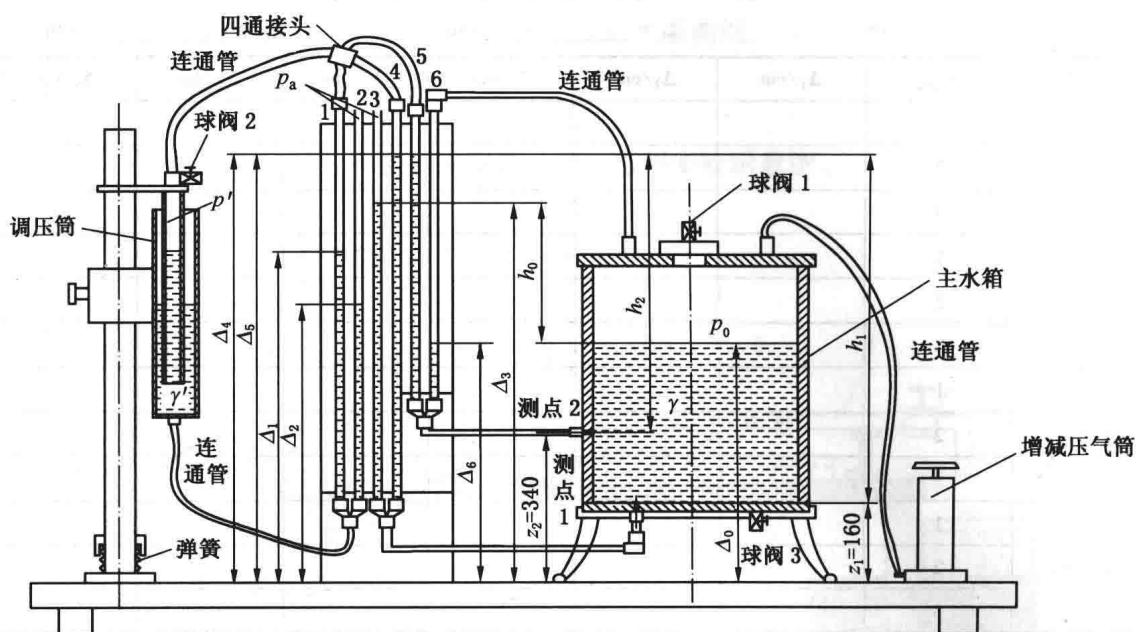
如图 1-3 所示, 调压筒和测压管 1、2 相连构成连通器, 在其中注入重度为 γ' 的液体, 可以测量液体的重度。关闭球阀 2, 通过调节调压筒, 使 $p' < p_a$ 。

根据连通器原理可知:

$$p' = p_a - \gamma'(\Delta_1 - \Delta_2) = p_a - \gamma(\Delta_4 - \Delta_3)$$

由上式可知:

$$\gamma' = \frac{\Delta_4 - \Delta_3}{\Delta_1 - \Delta_2} \gamma$$



式中 γ' ——待测液体重度;
 γ ——已知液体重度。

(1) 关闭球阀 1 和球阀 2, 并检查密封效果。球阀密封效果检查方法: 移动调压筒至某一高程位置, 这时各管液面也随之移动, 如果各管液面升降的速度越来越慢, 并最终停止在某一高程位置不再变化, 说明球阀密封好; 如果各管的液面总是不停升降, 直至各管液面与调压筒以及水箱的液面平齐, 说明水箱漏气。

五、实验数据记录及处理

表 1-1 静水压强实验数据记录表

$\Delta_0 =$ _____ cm		$z_1 =$ _____ cm		$z_2 =$ _____ cm			
工况	测次	Δ_1/cm	Δ_2/cm	Δ_3/cm	Δ_4/cm	Δ_5/cm	Δ_6/cm
$p_0 > p_a$	1						
	2						
	3						
$p_0 < p_a$	1						
	2						
	3						
$p' > p_a$	1						
	2						
	3						
$p' < p_a$	1						
	2						
	3						

表 1-2 静水压强实验数据处理表

工况	测次	$p'_0 = \gamma(\Delta_3 - \Delta_0) /$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$p'_1 = \gamma(\Delta_3 - z_1) /$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$p'_2 = \gamma(\Delta_5 - z_2) /$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$\left(z_1 + \frac{p'_1}{\gamma}\right) /$ cm	$\left(z_2 + \frac{p'_2}{\gamma}\right) /$ cm	$\gamma' = \frac{\Delta_4 - \Delta_3}{\Delta_1 - \Delta_2} \gamma /$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-3}$)
$p' > p_a$	1						
	2						
	3						
$p' < p_a$	1						
	2						
	3						

思考：

- (1) 重力作用下的静止液体压强分布的基本规律是什么？
- (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) 试分析产生测量误差的原因，并指出在实验中应该采取的尽可能减小误差的具体措施。

第二节 流量量测实验

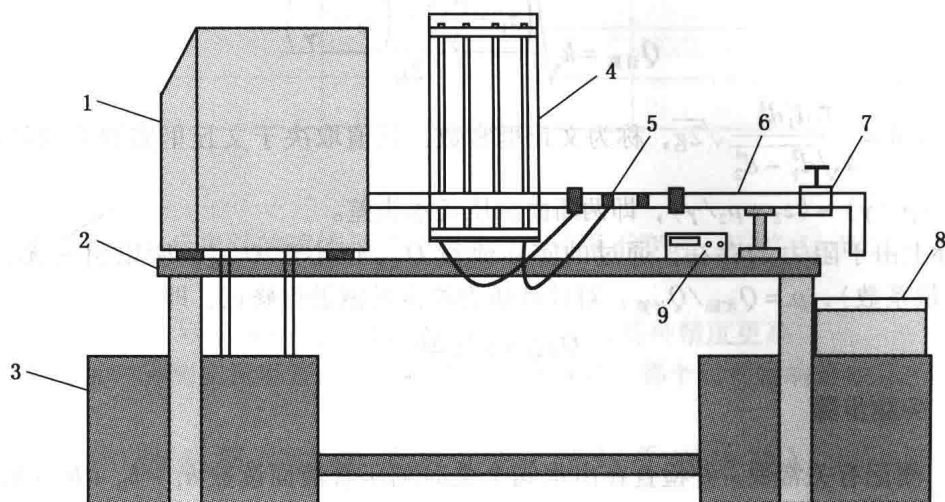
一、实验目的

- (1) 了解文丘里流量计测定原理及其结构，掌握使用文丘里流量计测定方法。

- (2) 掌握文丘里管流量系数的测定方法。
- (3) 实测并绘制文丘里流量计的压差和流量关系曲线。

二、实验设备

图 1-4 所示为一台装有文丘里流量计的自循环实验示意图。



1—恒压水箱；2—实验台；3—自循环水箱；4—复式测压计；5—文丘里实验管段；
6—文丘里实验管；7—流量调节阀；8—计量水箱；9—传感计时器

图 1-4 文丘里实验示意图

三、实验原理

文丘里流量计由收缩段、喉道、扩散段组成。当喉道断面收缩时，断面平均流速加大动能变大，势能变小，喉道的测压管与收缩段进口处测压管便产生了水流压差 Δh ，该压差与通过的流量存在一个正比关系， $Q = \mu k (\Delta h)^{1/2}$ (μ 、 k 均为系数)。因此，只需测出 Δh ，就能计算出流量 Q 。

图 1-5 所示为文丘里流量计结构示意图。

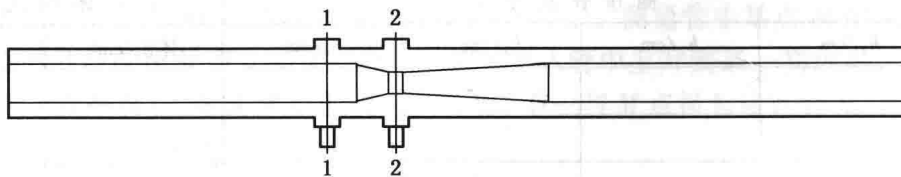


图 1-5 文丘里流量计结构示意图

在文丘里流量计上取截面 1-1、2-2，列伯努利方程令 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ ，不计水头损失可

得

$$z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g$$

由连续性方程 $v_1A_1 = v_2A_2$ 可得

$$v_1d_1^2 = v_2d_2^2$$

由上述两式可得

$$Q_{\text{计算}} = k\sqrt{\frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{2g}}$$

其中, $k = \frac{\pi d_1^2 d_2^2}{4\sqrt{d_1^2 - d_2^2}}\sqrt{2g}$, 称为文丘里常数, 其值取决于文丘里实验管的结构尺寸。

$\Delta h = (z_1 + p_1/\gamma) - (z_2 + p_2/\gamma)$, 即两断面测压管水头差。

实际上由于阻力的存在, 通过的实际流量 $Q_{\text{实际}}$ 恒小于 $Q_{\text{计算}}$, 所以引入无因次数 μ (称为流量系数), $\mu = Q_{\text{实际}}/Q_{\text{计算}}$, 对计算所得的流量值进行修正, 即

$$Q_{\text{实际}} = \mu k (\Delta h)^{1/2}$$

四、实验步骤

(1) 测记有关常数, 并检查在出水阀全关时测压管液面读数 $h_1 - h_2 + h_3 - h_4$ 是否为 0, 不为 0 时, 旋开测压计气阀, 使 1 号、2 号、3 号、4 号测压管高度相同, 然后同时关闭气阀。

(2) 打开流量调节阀, 使测压管最高和最低液面在滑尺范围内差值最大, 待水流稳定后, 读取各测压管液面读数 $h_1 - h_2 + h_3 - h_4$, 用计量水箱和传感计时器测实际流量。

(3) 逐渐关小流量调节阀 (以其中一根测压管的水位变化 0.5 ~ 1 cm 为宜), 按上述步骤重复 5 ~ 6 次, 每次缓慢调节阀门。

(4) 将实验数据记录在流量量测实验数据表中。

五、实验数据记录及处理

流量量测实验数据记录表见表 1-3, 数据处理表见表 1-4。

表 1-3 流量量测实验数据记录表

$d_1 =$ ____ cm $d_2 =$ ____ cm 传感器测点高度 $H =$ ____ cm 计量水箱底面积 $S =$ ____ cm²

测序	测 压 管 高 度				体 积 法	
	h_1/cm	h_2/cm	h_3/cm	h_4/cm	体积/cm ³	时间/s
1						
2						
3						
4						
5						
6						

表 1-4 流量量测实验数据处理表

测 序	$Q_{\text{实际}}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$\Delta h/\text{cm}$	系数 k	$Q_{\text{计算}}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	流量系数 μ
1					
2					
3					
4					
5					
6					

思考:

- (1) 假如通过文丘里管的液体是理想流体, 当流量不变时, 压差 Δh 比通过实际液体大还是小? 为什么?
- (2) 为什么 $Q_{\text{实际}}$ 与 $Q_{\text{计算}}$ 不相等? 两种测流量的方法哪种精度更高?
- (3) 本实验中影响文丘里管流量系数的因素有哪些? 哪个因素影响最敏感?

第三节 流速量测实验(毕托管测速法)

一、实验目的

- (1) 了解毕托管结构及其工作原理。
- (2) 掌握毕托管测速的基本技能。
- (3) 验证毕托管测速的正确性。

二、实验设备

如图 1-6 所示, 在 A、B、C、D 的 4 个断面管壁上的不同位置各接出 4 个毕托管, 其中的测压管接在管壁上, 总压管迎着来流方向放置在管轴轴心处。管中流速可用尾阀来调节, 设置专用计量水箱进行流量的量测。

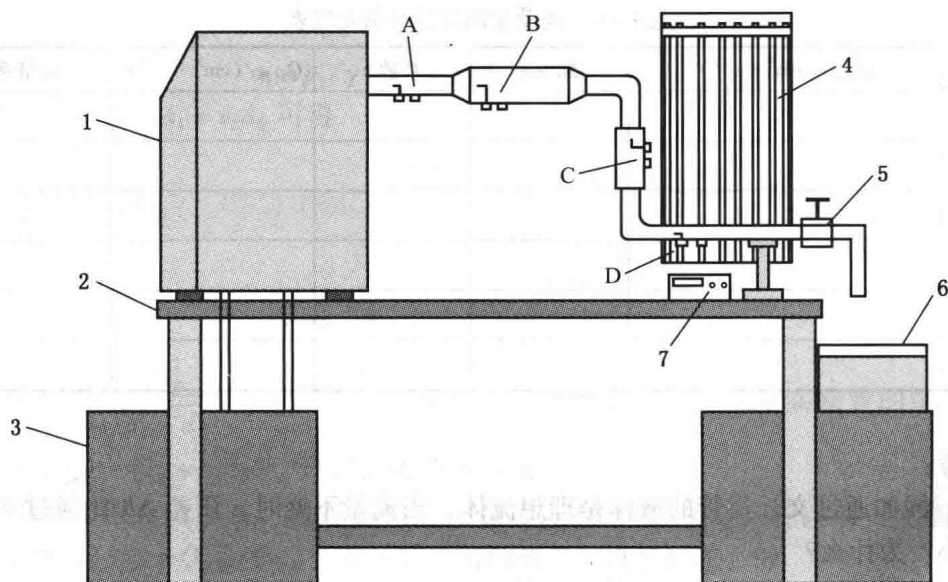
三、实验原理

毕托管是将流体动能转化为压能, 从而通过测压计测定流体运动速度的仪器。最简单的毕托管就是一根弯成 90° 的开口细管, 如图 1-7 所示。测量管中某点 M 的流速时, 就将弯管一端的开口放在 M 点, 并正对流向, 流体进入管中上升到某一高度后, 速度变为零 (M 点称为停滞点)。在过 M 点的同一流线上, 有一与 M 点极为接近的 M_0 点, 其流速为 u , 根据伯努利方程可得

$$z_{M_0} + \frac{p_{M_0}}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = z_M + H = z_M + \frac{p_M}{\gamma} + h$$

由于 $z_{M_0} = z_M$, 且 M_0 与 M 非常接近, 则可认为 $p_{M_0} = p_M$, 因此可得到

$$u = \sqrt{2gh}$$



1—恒压水箱；2—实验台；3—自循环水箱；4—测压管组；5—流量调节阀；6—计量水箱；7—传感计时器

图 1-6 毕托管测速实验管组示意图

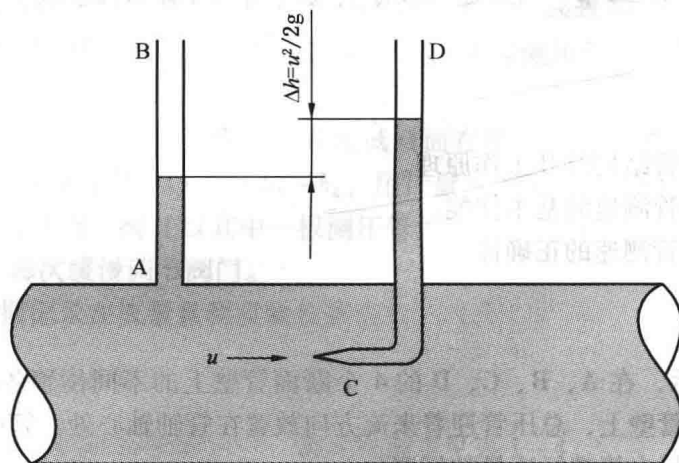


图 1-7 毕托管测流速原理简图

这表明， M_0 点的流体动能 $\frac{u^2}{2g}$ 转化为停滞点 M 的流体压能 h 。但由于实际流体具有黏性，能量转换时会有损失，所以对上式进行修正后可得

$$u = c\sqrt{2gh}$$

式中 c ——毕托管的流速系数，一般条件下 $c = 0.97 \sim 0.999$ ，如果毕托管制作精密，且头部及尾柄对流动扰动不大时， c 可近似取 1。

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。查阅用测压管量测压强、毕托

管测流速的原理和步骤。

(2) 对照实物了解仪器设备的使用方法和操作步骤，做好准备工作后启动抽水机，打开进水开关给水箱充水，并保持溢流状态，使水位恒定。

(3) 检查下游阀门全关时，各个测压管和总压管的液面是否处于同一水平面上。如不处于同一水平面，则需排气调平。

(4) 核对设备编号。记录有关常数。

(5) 开启下游阀门，待水流恒定后再进行数据的量测，并记录到数据记录表的相应位置。

(6) 改变阀门开度，待水流恒定后重复上述步骤，并按序记录数据。本实验要求做2个流量。

(7) 根据验证方法验证毕托管所测流速是否准确。

验证毕托管法测量点流速正确的方法：

(1) 根据所测的体积 V 、时间 t ，得到流量 Q 。已知管径 d ，求出平均流速 $v=4Q/\pi d^2$ 。

(2) 根据雷诺数 R_e 的值判断管道中流体的流态。层流时，轴心处的点流速 $u=2v$ ；对于一般紊流， $4000 < R_e < 10^5$ 时，平均流速 $v \approx 0.8u$ 。

五、实验数据记录及处理

毕托管测流速实验数据记录表见表1-5，数据处理表见表1-6。

表1-5 毕托管测流速实验数据记录表

开度	断面序号	体积 V/cm^3	时间 t/s	测压管水头 h_1/cm	总压管水头 h_2/cm
1	A				
	B				
	C				
	D				
2	A				
	B				
	C				
	D				

表1-6 毕托管测流速实验数据处理表

开度	断面序号	流量 $Q/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	雷诺数 R_e	平均流速 $v/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	点流速 $u/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
1	A				
	B				
	C				
	D				

开度	断面序号	流量 $Q/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	雷诺数 Re	平均流速 $v/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	点流速 $u/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
2	A				
	B				
	C				
	D				

思考：

- (1) 利用测压管测量点压强时,为什么要排气?怎样检验排气干净与否?
- (2) 为什么测压管开口方向应与流速垂直,而总压管(测速管)开口方向则应迎着流速方向?

第四节 伯努利方程实验

一、实验目的

- (1) 验证总流的伯努利方程。
- (2) 观察恒定流条件下, 通过有压管道水流的位置势能、压强势能和动能的沿程转化规律, 加深理解能量方程的物理意义及几何意义。
- (3) 掌握流速、流量、压强等要素的测量技能及绘制水头线的方法。

二、实验装置

流体力学综合实验台伯努利方程实验组件示意图与毕托管测速实验管组示意图相似,如图 1-6 所示,在自循环恒定管道流上串联变截面圆管 A、B、C、D。

伯努利实验管件结构参数 (单位: mm), 如图 1-8 所示。

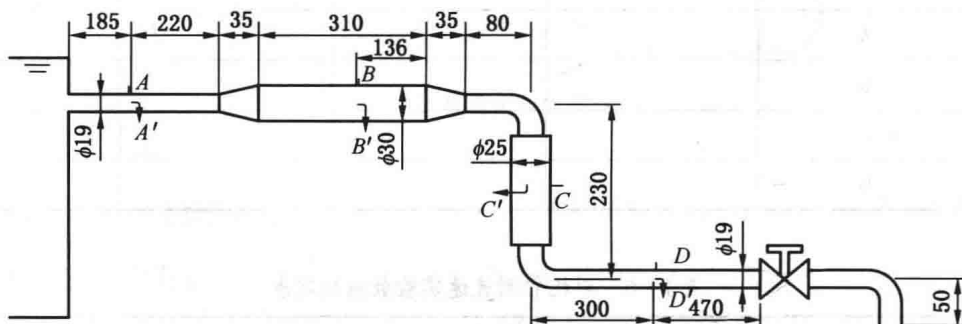


图 1-8 伯努利实验管件结构参数图

三、实验原理

在实验管路中沿管内水流流动方向取 n 个过水断面。可以列出进口断面 $1 \sim i$ 的能量

方程为

$$z_1 + p_1/\gamma + \alpha_1 v_1^2/2g = z_i + p_i/\gamma + \alpha_i v_i^2/2g + h_{1-i} \quad (i=1, 2, 3, 4, 5, \dots, n)$$

取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 1$ ，选取实验桌面作为基准面，从已设置的各断面的测压管中读取 $z_i + p_i/\gamma$ 的值，测出通过管路的流量，即可计算出断面平均流速 v_i 及 $v_i^2/2g$ ，从而得到各断面测压管水头和总水头，绘制较大流量下测压管水头和总水头线，如图 1-9 所示。

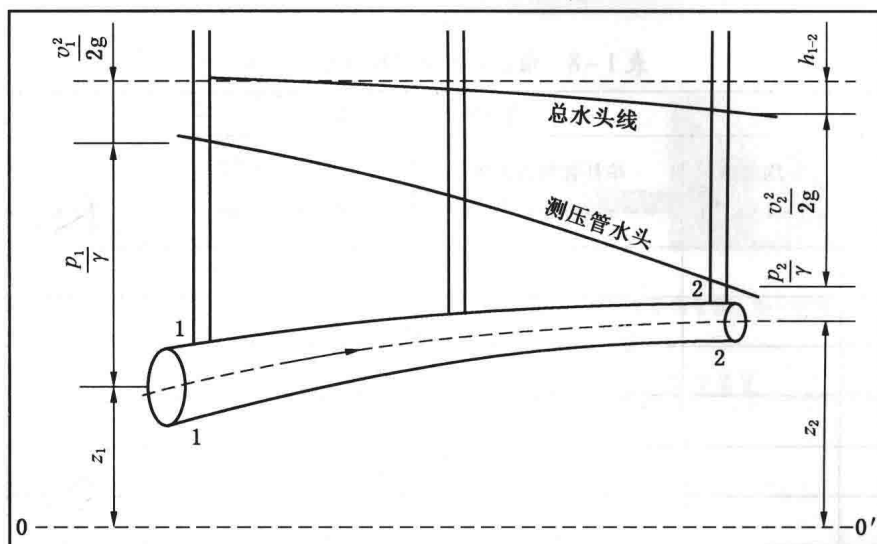


图 1-9 测压管水头和总水头线图

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。查阅用测压管量测压强、毕托管测流速的原理和步骤。

(2) 对照实物了解仪器设备的使用方法和操作步骤，做好准备工作后，启动抽水机，打开进水开关，给水箱充水，并保持溢流状态，使水位恒定。

(3) 检查下游阀门全关时，各个测压管和总压管的液面是否处于同一水平面上。如不处于同一水平面，则需排气调平。

(4) 核对设备编号。记录有关常数。

(5) 开启下游阀门，待水流恒定后再进行数据的量测，并记录到数据记录表的相应位置。

(6) 改变阀门开度，待水流恒定后重复上述步骤，并按序记录数据。本实验要求做 2 个流量。

(7) 检查数据记录表是否有缺漏？是否有数据明显不合理？若有此情况，请进行补正。

(8) 根据量测数据绘出水头线。

五、实验数据记录及处理

伯努利方程实验数据记录表见表 1-7，数据处理表见表 1-8。