



普通高等教育实验实训规划教材

能源动力类

流体力学及泵与风机 实验指导书

吕玉坤 叶学民 李春曦 丁千玲 杨 阳 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

能源动力类

流体力学及泵与风机 实验指导书

编 著 吕玉坤 叶学民 李春曦
丁千玲 杨 阳
主 审 王松岭



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（能源动力类）。

本书是配合普通高等教育“流体力学”、“泵与风机”课程而编写的。全书包括伯努利方程、管道沿程损失等流体力学实验和离心式风机、离心式水泵性能等泵与风机实验共八个。按照实验目的、实验要求和实验步骤对每个实验进行了详细的讲述和指导，每个实验均有思考题，并附有实验结果记录和处理用表。

题材选择方面，在充实基本实验技能训练内容的同时，突出了综合性实验能力培养的内容。

本书为普通高等院校能源动力类本科相关专业“流体力学”、“泵与风机”等课程的配套实验教材，供实验课程选用。

图书在版编目（CIP）数据

流体力学及泵与风机实验指导书/吕玉坤等编著. —北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育实验实训规划教材. 能源动力类

ISBN 978-7-5083-7660-8

I. 流… II. 吕… III. ①流体力学-实验-高等学校-教学参考资料②泵-实验-高等学校-教学参考资料③鼓风机-实验-高等学校-教学参考资料 IV. O35-33 TH-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 096898 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 5 印张 102 千字

定价 9.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是根据高等学校热能动力类专业人才培养目标,为配合王松岭主编《普通高等教育“十一五”规划教材流体力学》、安连锁主编《普通高等教育“十一五”国家级规划教材泵与风机》而编写的。题材选择方面,在充实基本实验技能训练内容的同时,突出了综合性实验能力培养的内容。

实验内容分为两个部分,共八个实验。其中,流体力学实验内容包括:伯努利方程、雷诺、管道沿程损失等验证性实验和并联管路特性及流量分配综合性实验;泵与风机实验内容包括:离心式风机进气、离心式风机出气、离心式水泵性能等验证性实验和离心泵并联及工况调节综合性实验。

流体力学实验部分由叶学民、李春曦和吕玉坤编写,泵与风机实验部分由吕玉坤、丁千玲和杨阳编写。吕玉坤副教授承担本书的统稿工作,王松岭教授担任主审。

实验室教师杨先亮、孙冬雷、王亚瑟和靳光亚对本书提出了许多宝贵的意见,在本书即将出版之际,一并表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008年7月

目 录

前言

实验一 伯努利方程实验..... 1

实验二 雷诺实验..... 5

实验三 管道沿程损失实验..... 8

实验四 并联管路特性及流量分配实验 16

实验五 离心式风机进气实验 23

实验六 离心式风机出气实验 31

实验七 离心式水泵性能实验 39

实验八 离心泵并联及工况调节实验 47

附录 I 水的黏度与温度的关系 54

附录 II 几种工业管道的当量绝对粗糙度 55

参考文献 56

实验一 伯努利方程实验

实验类型: 验证性实验

学时: 1

适用对象: 热能与动力工程专业、建筑环境与设备工程专业、环境工程专业、测控技术与仪器专业

一、实验目的

- (1) 验证静压原理。
- (2) 掌握一种测量流速的基本方法。
- (3) 验证定常不可压缩流体总流的能量方程。
- (4) 通过实验数据的整理和分析, 进一步掌握管内流动中的能量转换特性, 分析测压管静水头线和总水头线的变化趋势。

二、实验要求

- (1) 掌握流速、流量和压强等参数的实验测量技能。
- (2) 掌握伯努利方程的理论知识及其在工程实际中的应用。

三、实验原理

在实验管路中, 沿管内水流方向取 n 个过水断面 (缓变流截面), 可列出某一断面 1 至另一断面 i ($i=2, 3, \dots, n$) 间的伯努利方程, 即

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \alpha_i \frac{v_i^2}{2g} + h_{w1-i} \quad (1-1)$$

管内流态一般为紊流, 因此, 动能修正系数取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 1$ 。

测量实验管路中的流量, 断面平均流速 v 的计算式为

$$v = \frac{q_V}{A} \quad (1-2)$$

从已设置的各断面的测压管中读出 $\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$ 值 (基准面选在标尺的零点上), 由式 (1-2)

可得出断面平均流速, 再计算出断面的速度水头 $\frac{v^2}{2g}$, 即可得各断面的总水头 $\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}\right)$ 。

实验管路轴心处的流速 u 由皮托管测得, 其计算式为

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

式中 K ——皮托管的修正系数, 近似取 1.0;

Δh ——测压管和皮托管的高度差, m。

四、实验所需仪器、设备、材料 (试剂)

本实验所用仪器为自循环伯努利方程实验装置。实验台由测压管组、实验管道、潜水泵、定压水箱、计量水箱和实验桌等组成, 如图 1-1 所示。

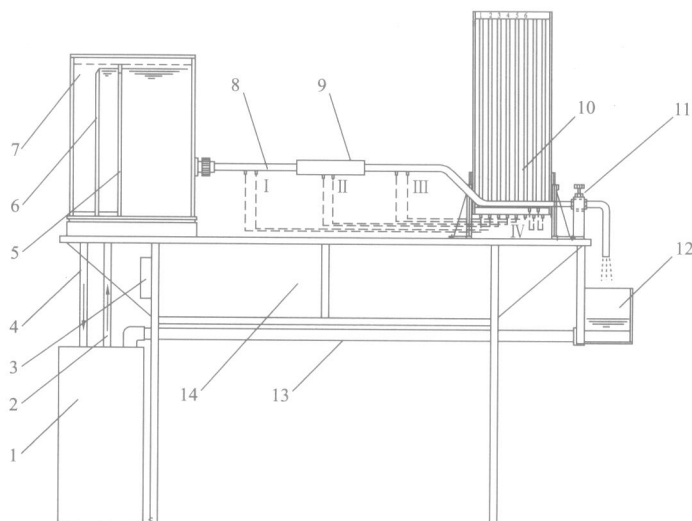


图 1-1 伯努利方程实验台

1—水箱及潜水泵；2—上水管；3—进水调节阀；4—溢流管；5—整流栅；
6—溢流板；7—定压水箱；8—实验细管；9—实验粗管；10—测压管组；
11—出水调节阀；12—计量水箱；13—回水管；14—实验桌

测压管分为普通测压管和皮托—静压管（以下简称皮托管）两种。

(1) 普通测压管，即静压管，用于测量静压强或静水头。

(2) 皮托管，用于测量皮托管对准点（本实验中为轴心处）的总压或总水头 $H' \left(= z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right)$ 。一般情况下，轴心处总水头 H' 与断面总水头 $H \left(= z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right)$ 不同。

实验中，流量采用体积法计量，流量大小由出水调节阀进行调节。

五、实验预习要求和实验条件、方法与步骤

(1) 复习教材中与伯努利方程相关的理论知识。

(2) 熟悉实验设备，分清哪些测压管是静压管，哪些是皮托管，以及两者功能的区别。

(3) 实验前的准备工作如下：①接好各测压管；②将回水管放于计量水箱的回水侧；③接通电源，启动电泵，打开进水调节阀 3，使溢流板 6 保持微溢流状态；④打开出水调节阀 11，检查各处是否有漏水现象。

注意：打开进水调节阀 3，使定压水箱 7 充水，待溢流后，在出水调节阀 11 关闭的情况下，检查所有测压管水面是否处于同一水平线。如不是，则需查明故障原因（例如，连管受阻、漏气或夹带气泡等）并加以排除，直至调平。

(4) 实验共分三个步骤。

1) 验证静压原理。根据伯努利方程，当管内水不流动时，没有流动损失，则静水头线为一平行于基准线的水平线，即在静止不可压缩均质流体中，任意测点处的单位重力作用下流体的位置水头和压强水头之和（静水头）保持不变，测点的高度与测点位置的前后无关。

启动电泵，打开进水调节阀 3 使溢流板 6 保持微溢流状态，然后关闭出水调节阀 11，观察实验管上各测压管的液柱高度是否相同。待稳定后，将各测压管数据记录在表 1-1 中。

2) 测速。实验管上四组测压管中的任一组都相当于一个动压管，可测得管内任一点的流体速度。本实验已将皮托管开口迎流布置在实验管轴心位置处，故所测值为轴心处最大速度所对应的动压。

3) 观察和计算静水头和总水头沿流动方向的变化。调节出水调节阀 11 的开度，使管内流动处于小流量下，待流量稳定后，测量并记录各测压管液面读数，同时用计量水箱和秒表

测定流量，记录在表 1-1 中。

利用式 (1-2) 和式 (1-3) 计算该工况下各测点处的轴心处流速、断面平均流速和速度水头，记录在表 1-2 中。

改变出水调节阀 11 的开度，使管内流动处于大流量下，重复上述测量，并将数据记录在表 1-1 和表 1-2 中。

依据表 1-1 和表 1-2 中的数据，计算各测点处的总水头，记录在表 1-3 中。比较流量变化前后各测点处的静水头和总水头的变化情况，以及静水头和总水头沿流动方向的变化趋势。

六、思考题

- 1-1 为什么能量损失沿流动方向是逐渐增大的？
- 1-2 比较 I 和 II、II 和 III、III 和 IV 处的压强水头的相对大小。
- 1-3 测压管静水头线和总水头线沿流动方向上的变化趋势有何不同？为什么？
- 1-4 当流量增加时，在同一测点处的测压管静水头线和总水头线有何变化？为什么？

实验一附录：“伯努利方程实验”结果与数据处理用表

水箱的尺寸=_____

表 1-1 $\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)$ 和 $\left(z+\frac{p}{\rho g}+\frac{u^2}{2g}\right)$ 数值（基准面选在标尺的零点上）(mm) 实验台编号：_____号

序号	测点编号	时间 (s)	体积 (m³)	I		II		III		IV	
				静压 测点	总压 测点	静压 测点	总压 测点	静压 测点	总压 测点	静压 测点	总压 测点
流量 1											
流量 2											
管内径 (mm)											
零流量时的静水头											

表 1-2 轴心处流速和截面平均流速记录表 实验台编号：_____号

项目	测点编号	q_v (m ³ /s)	I	II	III	IV
轴心处流速 u (m/s)						
截面平均流速 v (m/s)						
速度水头 $v^2/2g$ (mm)						

表 1-3

$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$ (mm)

实验台编号: _____ 号

测点编号		I	II	III	IV
q_v (m ³ /s)					
流量 1					
流量 2					

绘制两种不同流量下的总水头线 $E-E$ 和测压管静水头线 $p-p$ (轴向尺寸见图 1-2, 总水头线和测压管静水头线绘在图 1-2 上)。

- 提示: (1) $p-p$ 线按表 1-1 数据绘制;
- (2) $E-E$ 线按表 1-3 数据绘制。

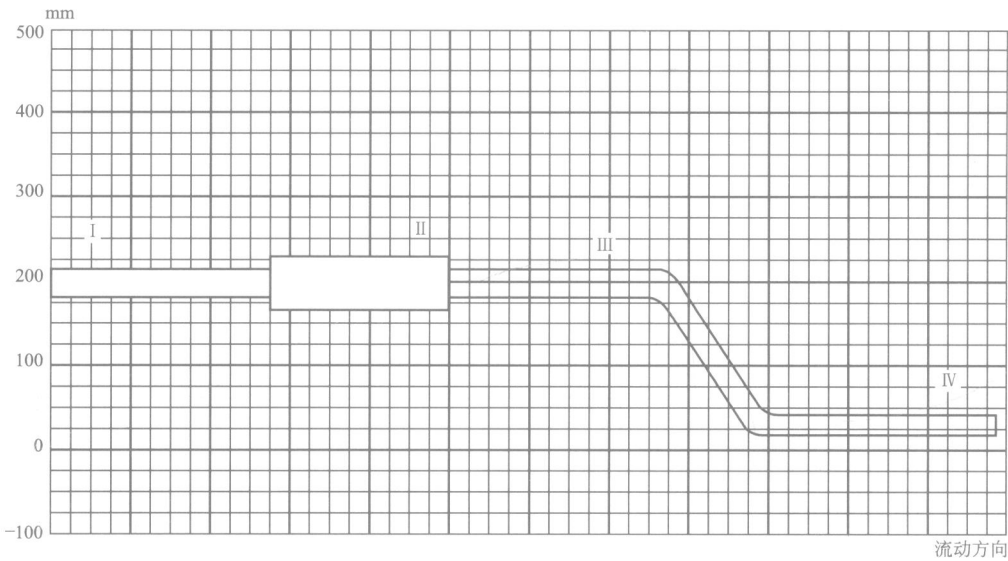


图 1-2 静水头和总水头沿流动方向的变化

实验二 雷 诺 实 验

实验类型: 验证性实验

学 时: 1

适用对象: 热能与动力工程专业、建筑环境与设备工程专业、环境工程专业、测控技术与仪器专业

一、实验目的

- (1) 观察流体在不同流态(层流和紊流)时流体质点的运动规律。
- (2) 观察流体由层流变紊流、紊流变层流时的水力特征。
- (3) 测定下临界雷诺数, 掌握圆管流态的判别准则。
- (4) 学习应用无量纲参数进行实验研究的方法, 了解其实用意义。

二、实验要求

- (1) 观察层流和紊流两种流态。
- (2) 测量、记录实验数据, 计算下临界雷诺数。

三、实验原理

流体流动存在层流和紊流两种不同的状态, 二者的阻力性质也不相同。

本实验采用图 2-1 所

示的自循环雷诺实验装置。在实验过程中, 保持水箱 9 中的水位恒定, 即总水头不变。当出水调节阀 11 开度较小时, 开启有色水管 5 的阀门, 此时有色水与自来水同步在管路中沿轴线方向流动, 有色水呈一条水平直线, 其流体质点没有垂直于主流方向上的横向运动, 即有色水流束没有与周围液体掺混, 此时流动处于层流状态。当出水调节阀 11 逐渐开大时, 管路中的有色水

流束开始振荡, 不再与管道轴线平行, 此时流动呈过渡状态。当出水调节阀 11 开度继续增大时, 有色水流束开始破裂, 呈现不规则的状态, 并发生横向掺混, 遍及整个管道, 即有色水在流动过程中完全扩散, 已完全分不清有色水流束了, 此时流动呈紊流状态。

流体的运动状态可根据有色水散开与否作定性判别, 而定量判别可依据雷诺数 Re 的大小来判定。经典雷诺实验得到的下临界值为 2320, 工业上可依据雷诺数是否大于 2000 来判

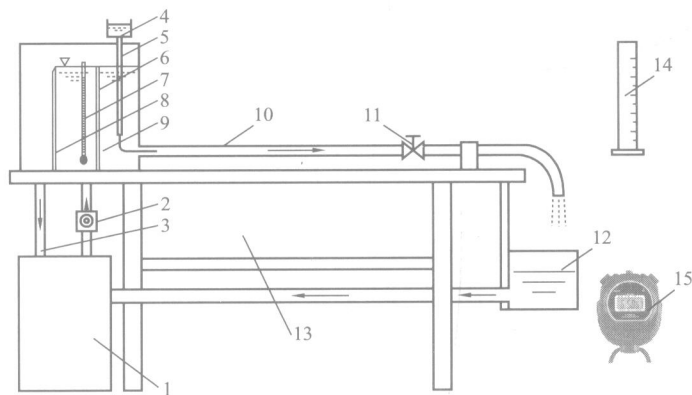


图 2-1 自循环雷诺实验装置

- 1—自循环供水器; 2—进水调节阀; 3—溢流管; 4—有色水盒; 5—有色水管;
6—整流栅; 7—温度计; 8—溢流板; 9—恒压水箱; 10—实验管道;
11—出水调节阀; 12—计量水箱; 13—实验桌; 14—量筒; 15—秒表

定流动是否处于紊流状态。雷诺数 Re 的定义式可作如下变化, 即

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu} = \frac{4 q_V}{\pi d \nu} = K q_V \quad (2-1)$$

式中 K ——常数, $K = \frac{4}{\pi d \nu}$;

ρ ——液体密度, kg/m^3 ;

v ——液体在管道中的平均流速, m/s ;

d ——管道内径, m ;

μ ——液体的动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

ν ——液体的运动黏度, m^2/s ;

q_V ——体积流量, m^3/s 。

四、实验所需仪器、设备、材料 (试剂)

本实验采用图 2-1 所示的自循环雷诺实验装置。体积流量采用量桶和秒表进行测量。

供水流量由进水调节阀 2 进行调节, 使恒压水箱 9 始终保持微溢流状态, 以提高实验管道进口前水体的稳定度。本恒压水箱设有多道稳水孔板, 可使稳水时间缩短至 3~5min。有色水经有色水管 5 注入实验管道 10。

为防止自循环对水体的污染, 有色指示水采用自行消色的专用色水。

五、实验预习要求和实验条件、方法与步骤

(1) 复习教材中与雷诺实验及雷诺数定义相关的理论知识。

(2) 按如下步骤进行实验

打开进水调节阀 2 使水箱 9 充水至溢流水位, 待稳定后, 微启出水调节阀 11; 打开有色水管 5 的阀门, 将有色水注入实验管内, 此时有色水流呈现一水平直线, 通过有色水质点的运动观察管内水流的层流状态; 逐步开大出水调节阀 11, 通过有色水直线的变化观察流动状态从层流转变到紊流的水力特征, 待管中出现充分发展的紊流后, 再逐步关小出水调节阀 11, 观察流动状态从紊流转化为层流的水力特征。

(3) 测定下临界雷诺数的步骤如下所述。

1) 将出水调节阀 11 打开, 使管内流动呈充分发展的紊流状态, 再逐步关小出水调节阀 11, 使流量减小。当流量调节到使有色水在整个管道中刚刚呈现出一稳定直线时, 即流动处于下临界状态。

2) 用体积法测定下临界状态时的流量。

3) 记录水箱中的温度计指示的水温, 依据公式计算水的运动黏度。

4) 根据所测流量计算下临界雷诺数, 并与公认值 (2000~2320) 比较, 若偏离过大, 分析原因, 并重新测定。

5) 重新打开出水调节阀 11, 使流动处于充分发展的紊流状态, 按照上述步骤重复测量两次, 记录在表 2-1 中。

注意事项: ①每调节出水调节阀一次, 均需等待几分钟, 以使流动处于稳定状态; ②在关小出水调节阀的过程中, 只许逐渐关小, 不允许反向调节; ③随出水流量的减小, 应适当调小进水调节阀 2, 以减小溢流引发的扰动。

(4) 测定上临界雷诺数的步骤: 逐渐开启出水调节阀 11, 使管道中的水流由层流过渡到

紊流，当有色水线刚开始散开时，即流动处于上临界状态，测定上临界雷诺数 1~2 次，记录在表 2-2 中。

六、思考题

- 2-1 流态判据为何采用无量纲参数 Re ，而不采用临界流速？
- 2-2 为何认为上临界雷诺数无实际意义，而采用下临界雷诺数作为层流与紊流的判据？
- 2-3 实测下临界雷诺数 Re_{dcr} 与公认值偏离多少？原因何在？
- 2-4 为什么在测定下临界雷诺数调小流量的过程中，不允许出水调节阀反向调节？

实验二附录：“雷诺实验”结果与数据处理用表

1. 记录、计算有关常数

管径 $d=$ m，水温 $t=$ $^{\circ}\text{C}$

动力黏度 $\mu=\frac{\mu_0}{1+0.0337t+0.000221t^2}=$ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

式中 μ_0 —— 0°C 时水的动力黏度， $\mu_0=1.792\times10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

计算常数 $K=\frac{4}{\pi d\nu}=$ (s/m^3)

式中 ν ——水的运动黏度， $\nu=\frac{\mu}{\rho}$ ， m^2/s 。

2. 整理、记录计算表

表 2-1

下临界雷诺数的测定

实验台编号：_____号

实验 次序	有色水线 形态	水体积 $V(\times10^{-6}\text{m}^3)$	时间 $t(\text{s})$	流量 $q_V(\times10^{-6}\text{m}^3/\text{s})$	雷诺数 Re	阀门开度 增(↑)或减(↓)	备注

实测的下临界雷诺数(平均值) $\overline{Re}_{\text{dcr}}=$

注 颜色水形态指稳定直线、稳定略弯曲、直线摆动、直线抖动、断续、完全散开等。

表 2-2

上临界雷诺数的测定

实验台编号：_____号

实验 次序	有色水线 形态	水体积 $V(\times10^{-6}\text{m}^3)$	时间 $t(\text{s})$	流量 $q_V(\times10^{-6}\text{m}^3/\text{s})$	雷诺数 Re	阀门开度 增(↑)或减(↓)	备注

实测的上临界雷诺数(平均值) $\overline{Re}_{\text{ucr}}=$

注 颜色水形态指稳定直线、稳定略弯曲、直线摆动、直线抖动、断续、完全散开等。

实验三 管道沿程损失实验

实验类型: 验证性实验

学时: 2

适用对象: 热能与动力工程专业、建筑环境与设备工程专业、环境工程专业、测控技术与仪器专业

一、实验目的

- (1) 通过实验理解和掌握管道沿程损失的计算方法。
- (2) 了解沿程损失的影响因素。

二、实验要求

- (1) 掌握管道沿程损失系数与雷诺数和管壁相对粗糙度间的定性、定量关系。
- (2) 学会用三角堰测量流量的方法和波纹管差压计的使用方法。

三、实验原理

1. 沿程损失的表达式

流体沿等直径管道流动时, 将产生沿程损失 h_f , h_f 与管长 L 、管内径 d 、管壁当量粗糙度 Δ 、平均流速 v 、流体密度 ρ 、动力黏度 μ 及流态间存在一个复杂的函数关系。

根据相似原理分析, h_f 可表示为

$$h_f = f\left(Re, \frac{\Delta}{d}\right) \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{令 } \lambda = f\left(Re, \frac{\Delta}{d}\right)$$

$$\text{则 } h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (3-1)$$

式中 λ ——沿程损失系数。

2. 沿程损失的测量原理

沿程损失 h_f 由实验方法求得。在水平实验管道的两个测点处, 取 I—I 和 II—II 两个缓变流截面, 以管道中心线为基准面, 则管内不可压缩定常流动在两缓变流面间的伯努利方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (3-2)$$

由于管道水平放置, 故式 (3-2) 中, $z_1 = z_2$; 同时因实验管道为等直径圆管, 所以有

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

因此, 式 (3-2) 可改写为

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \quad (3-3)$$

式中 $p_1 - p_2$ ——两缓变流截面间的压强差, Pa, 由波纹管差压计测得。

实验管道内的平均流速 v 由三角堰所测流量及管道内径计算求得, 即

$$v = \frac{4q_V}{\pi d^2} \quad (3-4)$$

实验管道两测点间的长度 L 和管道内径 d 均已知, 因此, 可求出该管道在某一工况下的沿程损失系数为

$$\lambda = \frac{2gdh_f}{Lv^2} \quad (3-5)$$

通过调节实验管道上流量调节阀的开度可改变管道内流体的平均流速 v , 从而可测得不同 Re 数下的沿程损失系数。

3. 沿程损失的变化规律

沿程损失 h_f 服从以下四种不同的变化规律。

(1) 层流区。沿程损失 h_f 与平均流速成一次方关系, λ 可按式(3-6)计算:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, Re < 2300 \quad (3-6)$$

(2) 紊流水力光滑管区。沿程损失 h_f 与平均流速的 1.75 次方成正比, λ 可按经验公式(3-7)计算:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}, 4000 < Re < 10^5 \quad (3-7)$$

$$\lambda = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}}, 10^5 < Re < 3 \times 10^6 \quad (3-8)$$

(3) 紊流水力粗糙管过渡区。沿程损失 h_f 与平均流速的 1.75~2 次方成正比, λ 可按经验公式(3-9)计算:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3.7d}\right), 26.98\left(\frac{d}{\Delta}\right)^{8/7} < Re < 4160\left(\frac{d}{2\Delta}\right)^{0.85} \quad (3-9)$$

式中 Δ ——绝对粗糙度。

(4) 紊流水力粗糙管区(平方阻力区)。沿程损失 h_f 与平均流速的平方成正比, λ 可按经验公式(3-10)计算:

$$\lambda = \frac{1}{4\left[\lg\left(3.7\frac{d}{\Delta}\right)\right]^2}$$

或
$$\lambda = \frac{1}{\left(2\lg\frac{d}{2\Delta} + 1.74\right)^2}, Re > 4160\left(\frac{d}{2\Delta}\right)^{0.85} \quad (3-10)$$

根据雷诺数 Re 及管壁相对粗糙度, 用上述四个区域的经验公式计算出不同流动状态下的沿程损失系数 λ , 并与实验测得的沿程损失系数进行比较, 若偏差太大, 试分析原因。

四、实验所需仪器、设备、材料(试剂)

1. 实验用水循环系统

本实验用水为一循环系统, 装置如图 3-1 所示。

在图 3-1 所示的实验室地下, 有一个容积为 150m^3 的地下水库, 由水源泵组 5 将水库中的水经上水管 2 打入五楼恒位水箱 1 保持恒定水位。恒位水箱中的水, 一部分经供水管 3 供实验系统使用, 经过实验管道 4 和流量测量水箱 6 后流回到地下水库; 另一部分则通过溢流管 7 进入地下水库, 形成一个水循环系统。

2. 沿程损失实验装置

该实验装置由实验管路、三角堰流量测量水箱及波纹管差压计等设备组成,如图3-2所示。该装置中的实验段分别为 $\phi 50$ 的镀锌钢管和 $\phi 20$ 黄铜管,两测点间长度 $L=6\text{m}$ 。

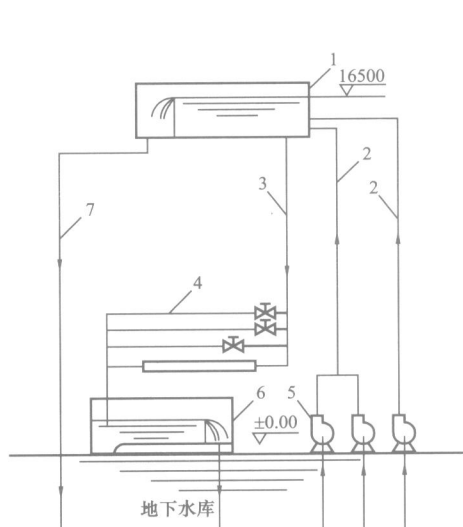


图 3-1 实验用水循环系统图

1—高位恒位水箱；2—上水管；3—供水管；
4—实验管路；5—水源泵组；6—三角堰；7—溢流管

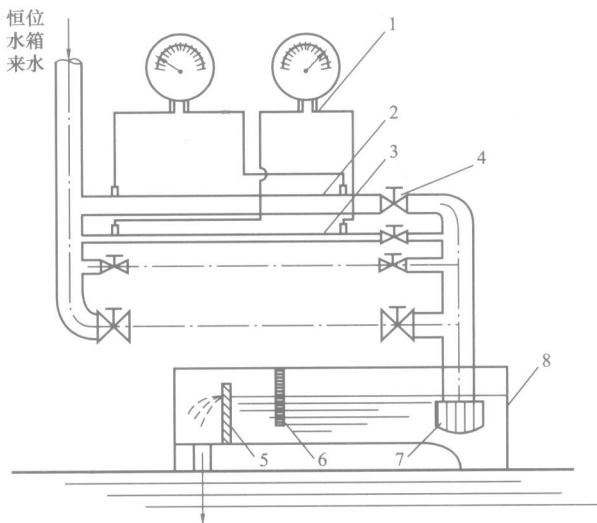


图 3-2 沿程阻力实验装置示意图

1—波纹管差压计；2— $\phi 50$ 实验管段；3— $\phi 20$ 实验管段；
4—流量调节阀；5—三角堰；6—标尺；
7—喷头；8—三角堰测量水箱

图3-3所示为三角堰流量计,该三角堰为直角堰,即 $\frac{\theta}{2}=45^\circ$ 。三角堰流量水箱外侧装有连通玻璃管和标尺,连通玻璃管内的水位指示三角堰中的水位,水位变化高度可从标尺上读出,即 $\Delta H=H-H_0$ (m),称为堰顶淹没深。其中 H 为某一测量工况下的连通玻璃管标尺读数,单位为mm; H_0 为堰顶水位起始值(图3-3),对于1号实验台 $H_0=153\text{mm}$,2号实验台 $H_0=156\text{mm}$ 。体积流量 q_V 的计算式为

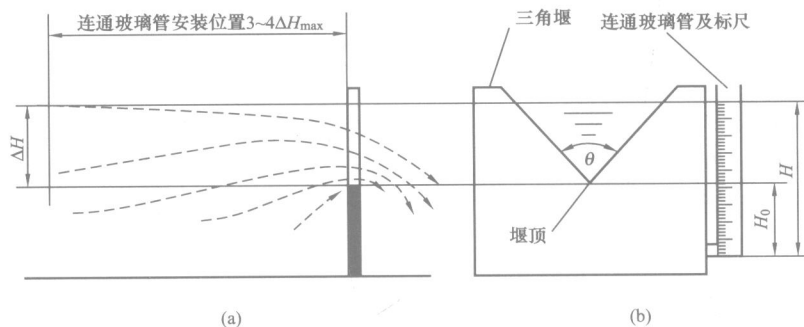


图 3-3 三角堰流量计示意图

(a) 侧视图；(b) 主视图

$$q_V = 1.4 \Delta H^{5/2} \tan \frac{\theta}{2} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3-11)$$

五、实验预习要求、实验条件、方法及步骤

(1) 实验前复习教材中与沿程损失相关的理论知识。

(2) 实验步骤及注意事项。

本实验涉及高位恒位水箱、水源泵、地下水库及各种管道。实验系统较为庞大,因此,实验时必须注意按步骤进行。

(1) 启动水源泵,向五楼高位恒位水箱供水,等溢流水返回地下水库时,稳定 5min 后再进行实验。

(2) 黄铜管沿程损失实验步骤。

1) 实验时,通过调节阀的开来改变流量,实验顺序规定流量由小到大,共进行 15 个工况点的测量。记好黄铜管上的调节阀手轮的初始位置,每次开启调节阀手轮 1/2 周,开启时必须缓慢。

2) 调节阀开启后,当有流体经过堰顶时,待三角堰流量水箱液面稳定后,读出连通管标尺读数和差压计读数,记录在表 3-1a 中,作为第一个工况点。依次记录其他工况点,方法同上。

3) 待所有工况点测量完毕后,记录下水温,关闭流量调节阀,使连通管标尺读数接近 H_0 后,准备下一组实验。

(3) 镀锌管沿程损失实验的步骤及注意事项。

该实验的方法和步骤与黄铜管沿程损失实验相同,共测量 15 个工况点,并将实验数据记录在表 3-1b 中。

实验中应注意以下事项:

1) 水源泵启动时,首先检查电机、开关柜和水泵是否处于备用状态,若处于备用状态,方可启动。

2) 实验中要保持水流恒定,不可随意改变调节阀的阀门开度。

3) 由于水流的脉动作用,压差计读数略有波动,读数时可取其平均值。

4) 实验时,要确保差压计及连接胶管中没有气泡,以免造成测量误差。发现有气泡时,应将差压计上的排气阀阀门慢慢打开,将管内气体排除。

(4) 依据表 3-1a 和表 3-1b 进行实验数据处理,记录在表 3-2a、表 3-2b 和表 3-3 中,并将 $\lambda = f\left(Re, \frac{\Delta}{d}\right)$ 曲线绘制在双对数坐标纸(图 3-4)上。

六、思考题

3-1 由实验结果分析流体处于何种流态:层流还是紊流?若为紊流流态,又处在哪种流动区域?

3-2 为什么采用双对数坐标绘制 $\lambda-Re$ 曲线?

实验三附录：“管道沿程损失实验”结果与数据处理用表

1. 实验原始数据记录表

表 3-1a (黄铜管)

实验原始数据记录

水堰初始水位 H_0 : _____ mm

差压计满量程: _____ kPa

实验台编号: _____ 号

工况点	差压值 (kPa)	标尺读数 H (mm)	堰顶淹深 $\Delta H = H - H_0$ (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

按水温为 _____ $^{\circ}\text{C}$ 查得水的运动黏度 $\nu =$ _____ m^2/s

表 3-1b (镀锌管)

实验原始数据记录

水堰初始水位 H_0 : _____ mm

差压计满量程: _____ kPa

实验台编号: _____ 号

工况点	差压值 (kPa)	标尺读数 H (mm)	堰顶淹深 $\Delta H = H - H_0$ (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

按水温为 _____ $^{\circ}\text{C}$ 查得水的运动黏度 $\nu =$ _____ m^2/s