

普通高等教育“十一五”规划教材

水文与水资源 实验技术

席临平 杨胜科 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水文与水资源 实验技术

王世明 王世英 王世强 主编



中国水利水电出版社 CHINA WATER & ELECTRICITY PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材

水文与水资源 实验技术

席临平 杨胜科 主编

图书在版编目(CIP)数据

水文与水资源实验技术 / 席临平, 杨胜科主编. — 北京: 化学工业出版社, 2008.6
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-03040-2

I. 水… II. ①席… ②杨… III. 水文实验—高等学校—教材 IV. P331

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第077324号

责任编辑: 王淑娟

封面设计: 王文芳
文字编辑: 王淑娟

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南路13号 邮政编码100011)

印 刷: 化学工业出版社印刷厂
印 张: 11 印 数: 11 字 数: 284千字 2008年8月北京第1次印刷



化学工业出版社

网 址: <http://www.cip.com.cn>
邮 政 咨 询: 010-64518888 (传 真)

凡购买本书, 请向发行单位索取相关资料, 以便了解本书内容。

本书以实验项目为纲,较全面地介绍了水资源及相关专业实验技术与方法,内容涉及水力学、水文基础实验,饱和带、非饱和带水流运动规律模拟及参数测定,水中主要化学组分测定及数据整理,水质形成及污染作用模拟实验和溶质运移参数的测定,最后对实验中常用大型仪器原理及使用作了简要介绍。

本书为普通高等学校水文与水资源、环境科学等相关专业本科或研究生实验教学用书,也可供从事水科学和环境科学等研究的人员参考。

水文与水资源实验技术

主编 席临平 杨胜科

图书在版编目(CIP)数据

水文与水资源实验技术/席临平,杨胜科主编. —北京:化学工业出版社,2008.6
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-03040-5

I. 水… II. ①席…②杨… III. 水文实验-高等学校-教材 IV. P334

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 077354 号

责任编辑:王文峡
责任校对:王素芹

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张11 字数264千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:20.00元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编 席临平 杨胜科

编写人员 (按姓名汉语拼音排列)

段 磊 李 泉 马敏娟

席临平 杨红斌 杨胜科

前 言

实验是理论和实际的结合点,是发现问题、探索规律的好方式。同时,也是创新的基础所在。在创新能力越来越受到人们重视的今天,创新素质的培养也成为高等教育所关注的重要方面。近年来,随着教学评估、教学改革尤其是实验教学的改革在不断进行,为适应教学改革的需要,我们总结多年教学经验,并结合科研实际,在吸收和借鉴国内外成熟技术和方法的基础上编写了《水文与水资源实验技术》。本书以实验项目为纲,较全面地介绍了水资源及相关专业实验理论、技术和方法,在实验层次的安排上,包括了基础实验、综合性实验和指导性实验三个层次。基础实验以使学生掌握基本理论和基本技能为目的;综合性实验,通过优化一门或多门课程知识点以加强学生综合知识及应用能力的训练为目标;指导性实验主要安排科研和生产中常用的实验方法和参数的测定,只涉及方法和宏观范围,不涉及具体实验对象,具体对象由学生实验时自行选择,以引导学生进行探索性实验,培养学生发现问题解决问题的能力。在每章前面对该内容作一简要介绍,对实验所涉及的概念实验项目意义作了详尽介绍,以方便读者阅读和选择。

全书共分八章,第一章水力学基础实验,主要介绍水力学基本理论实验及常用参数的测定。第二章水文地质基础实验,主要介绍岩、土水理性质测定。第三章饱水带水流运动模拟实验,主要介绍地下水常用室内模拟实验方法和实验数据整理及应用。第四章介绍非饱和带水分运移参数测定。第五章介绍多孔介质中溶质运移参数测定。第六章介绍水质分析。第七章介绍水质形成与改变作用模拟实验。第八章介绍部分水与环境研究常用仪器原理及操作。

本书第一章由段磊编写,第二章由李泉(一、二、三、四)、席临平(五、六、七)编写,第三章至第八章由席临平编写,全书由席临平、杨胜科统稿。杨红斌、马敏娟编写了部分实验项目。侯丽丽、徐敏、李云良参与书中部分图的绘制。

本书的出版得到了长安大学和化学工业出版社的大力支持,王文科教授对本书的编写给予了很大的帮助,提出了很多宝贵的意见和建议,长安大学对于实验教学改革给予足够的重视并在经费上给予很大的支持,实管处领导和工作人员也为此付出了很多辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处热忱欢迎读者批评指正。

编 者

2008年4月

目 录

第一章 水力学基础实验	1
一、静水压强实验	1
二、不可压缩液体恒定流能量方程实验	4
三、沿程水头损失系数的测定	6
四、毕托管测流速实验	9
五、雷诺实验	12
六、溢流坝顶流速分布测定实验	15
七、明槽水跃实验	16
八、堰流流量系数测定	21
九、量水槽流量的测定	24
第二章 水文地质基础实验	31
一、岩石孔隙度、给水度、持水度的测定	31
二、岩石渗透系数的实验室测定	33
三、沙土的毛细上升高度的测定——卡明斯基管观测法	36
四、黏性土的毛细上升高度的测定——卡明斯基毛细仪法	38
五、土的含水量测定	40
六、土壤容重测定	42
七、土壤颗粒分析	43
第三章 饱水带水流运动模拟实验	46
一、河间地块潜水运动模拟实验	46
二、坝基渗流的电模拟实验	52
三、潜水完整井流稳定运动模拟实验	55
四、承压完整井非稳定运动模拟实验	58
第四章 非饱和带水分运移参数测定	63
一、土壤基质势的测定	64
二、含水率剖面测定	66
三、土壤水分特征曲线测定	68

四、导水率 K 、扩散率 D 和容水率 C 的测定	73
五、土壤入渗率的测定	81
第五章 多孔介质中溶质运移参数测定	85
一、一维流场溶质纵向弥散系数测定	85
二、一维流场横向弥散系数测定	89
三、阻滞因子测定	91
四、径向一维溶质运移参数测定	94
五、多井野外弥散实验	96
六、分子扩散系数的测定	100
七、吸附参数的测定	102
八、盐类溶解速度系数测定	104
第六章 水质分析	106
一、天然水碱度的测定	106
二、氯化物的测定	108
三、钙的测定	109
四、镁的测定	110
五、硬度的测定	111
六、硫酸盐的测定	113
七、高锰酸盐指数的测定	115
八、亚硝酸盐的测定	116
九、硝酸盐的测定	117
十、氟化物的测定	119
十一、钾、钠的测定	121
十二、pH 值的测量	123
十三、溶解性固体的测定	124
十四、地下水水化学特征分析	125
第七章 水质形成与改变作用模拟实验	130
一、室内模拟实验的设计	130
二、岩石矿物的水解对地下水 pH 值的影响	132
三、溶滤实验	134
四、阳离子交换吸附实验	136
五、两水混合实验	140
六、水中有机物降解的模拟实验	141
第八章 常用仪器原理及操作	143
一、非饱和导水率测量系统	143
二、压力膜仪	145

三、TRIME-T3	146
四、TAS-990 原子吸收分光光度计	147
附录	151
附录一 水样的采集和保存.....	151
附录二 地下水质量分类标准.....	158
附录三 生活饮用水卫生标准 (GB 5749—2006)	160
附录四 地表水环境质量标准 (GB 3838—2002)	162
附录五 水的运动黏度表.....	163
附录六 水力学中常见物理量的单位和量纲表.....	164
参考文献	165

第一章 水力学基础实验

水力学是一门重要的技术基础课,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,是高等教育许多理工科专业的必修课。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、实验模拟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,但又不能相互取代。实验方法仍是检验与升华研究成果的重要手段。

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培养分析实验资料、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。

本章共包括九个实验,分别为静水压强量测实验、不可压缩液体恒定流能量方程实验、沿程水头损失量测实验、毕托管测流速实验和雷诺实验等。每一个实验都详细介绍了实验目的、实验设备与仪器、实验原理、实验方法与步骤、资料整理与结果分析和实验报告要求等,同时针对具体实验内容,还提出了思考题和注意事项,为促进学生自学创造了良好的条件。

一、静水压强实验

(一) 实验目的

(1) 通过实验掌握用测压管测量液体静水压强的基本方法,加深了解水静力学基本方程的物理意义和几何含义。

(2) 加深理解位置水头、压强水头和测压管水头的基本概念,观察静止液体中任意两点的测压管水头 $Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = C$ (常数)。

(3) 控制液体表面压强大于零或小于零,观察真空现象。

(4) 测量未知液体容重。

(二) 实验设备与仪器

实验设备和仪器如图 1-1-1 所示。

(三) 实验原理

1. 求点压强

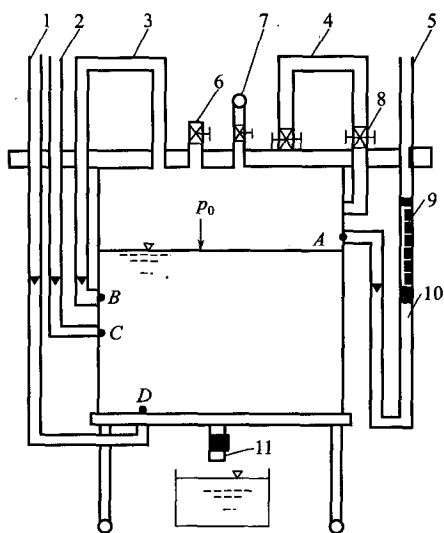


图 1-1-1 水静力学实验装置图

- 1—测压管；2—带标尺的测压管；3—连通管；
4—真空测压管；5—U形测压管；6—通气阀；
7—加压打气球；8—截止阀；9—油柱；
10—水柱；11—减压放水阀

在重力作用下，对于不可压缩的均质液体， γ 为常数，静止液体的基本方程可表示为

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

式中 z ——单位质量液体相对于基准面的位置高度或位置水头；

$\frac{p}{\gamma}$ ——单位质量液体所具有的压能或压强水头；

C ——单位质量液体所具有的势能或测压管水头。

式(1-1-1)说明，在静止液体中，任何一点的 $z + \frac{p}{\gamma}$ 是一个常数。对于静止液体内任意两点，也可表示为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$$

对于液面下任一点的静水压强

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

式中 p ——被测点的静水压强，用相对压强表示（以下同）；

p_0 ——水箱中的表面压强；

γ ——液体容重；

h ——被测点的液体深度。

式(1-1-1)说明：①在静止液体中，压强随着深度按线性规律变化。②任一点的静水压强 p 等于表面压强 p_0 与从该点到液体自由表面的单位面积上的液柱所受重力之和。

2. 测定某液体的容重

利用本装置，在不附带其他读尺的情况下测定某种液体——油的容重。

U形管中装有两种液体：一是与水箱中相同的水，二是待测容重的油。设容重分别为 γ_w 和 γ_o ，先使水箱加压使U形管中水面和水油交界面在同一水平面上（图1-1-2）。

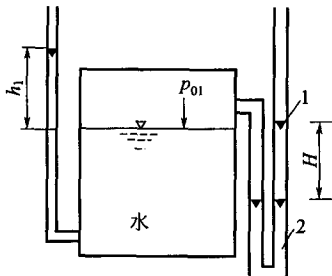


图 1-1-2

- 1—油柱；2—水柱

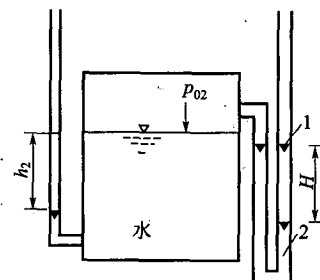


图 1-1-3

- 1—油柱；2—水柱

从测压管标尺上读出 h_1 ，有

$$p_{01} = \gamma_w h_1 = \gamma_o H \quad (1-1-3)$$

$$p_{02} = -\gamma_w h_2 = \gamma_o H - \gamma_w H \quad (1-1-4)$$
$$-\gamma_w h_2 = (\gamma_o - \gamma_w) \frac{\gamma_w h_1}{\gamma_o} \quad (1-1-5)$$

$$-\gamma_o h_2 = \gamma_o h_1 - \gamma_w h_1$$

$$\gamma_o(h_1 + h_2) = \gamma_w h_1$$

$$\gamma_o = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \gamma_w$$

(1) 记录 B 、 C 、 D 各点的标尺读数 ∇_B 、 ∇_C 、 ∇_D 。

(2) 打开通气阀, 记录水箱液面标尺读数 ∇_0 。

(3) 关闭通气阀与截止阀, 然后捏动打气球向箱内慢慢加压, 再调节打气球的放气螺母使水箱内气压 $p_0 > 0$, 且使 U 形管中水面和水油交界面平齐。这时记录测压管液面标尺读数。注意避免加压过快, 以免压力突然增加过大引起水和油从测压管中流出。

(4) 打开通气阀, 使水箱内减压后关闭好, 然后打开放水阀, 使水箱减压到 $p_0 < 0$, 且使 U 形管中水面和油面平齐, 同样记录下测压管页面的读数 (分别记录在表 1-1-1 和表 1-1-2 中)。

条 件	次数	水箱液面 标尺读数 ∇_0/m	测压管 液面标 尺读数 ∇_C/m	$h_1 = \nabla_C - \nabla_{01}/\text{m}$	$\bar{h}_1/\text{m}$	$h_2 = \nabla_{02} - \nabla_C/\text{m}$	$\bar{h}_2/\text{m}$	$\frac{\gamma_o}{\gamma_w} = \frac{\bar{h}_1}{\bar{h}_1 + \bar{h}_2}$	$\gamma_o / (\text{N} \cdot \text{m}^{-3})$
$p_{01} > 0$ 且 U 形 管中水面和水油交 界面齐平	1								
	2								
	3								
$p_{02} < 0$ 且使 U 形管中水面和油面 齐平	1								
	2								
	3								

(5) 测量真空测压管 4 入水杯中的深度, 同时测定 B、C、D 各点的压强 (记入表 1-1-2)。

(6) 调整压力 $p_0 < 0$ 时, 记下水箱液面和测压管液面读数 (记入表 1-1-2)。

[illegible]

(五) 资料整理与结果分析

(1) 记录有关常数。

(2) 求出油的容重。

(3) 分别求出各次测量时 B 、 C 、 D 点的压强，并选择同一基准验证任意两点 (C 、 D 两点) 的 $z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数}$ 。

(4) 观察小水杯的水被吸入测压管 4 的上吸高度。

(六) 思考题

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. 相对压强与绝对压强，相对压强与真空是什么关系？

3. 实测静水压强，掌握静水压强的测量方法。

4. 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。

(七) 实验报告要求

(1) 实验目的。

(2) 实测记录。

(3) 计算数据 (应举例说明)。

(4) 写出心得体会。

(八) 注意事项

(1) 升降调压有机玻璃筒时，应轻拉轻放。

(2) 读数时，一定要待液面稳定后再读，并注意应使三点 (眼睛、尺和管中液面) 在一个水平面上。

二、不可压缩液体恒定流能量方程实验

(一) 实验目的

(1) 水流在管内作恒定流动的情况下，当管道断面改变时，观察动能与势能的变化。

(2) 测定各断面单位重量水的位置水头 (z)、压强水头 (p/γ) 和速度水头 ($v^2/2g$)，从而加深对伯努里能量方程的理解。

(二) 实验设备与仪器

实验设备如图 1-2-1 所示。主要测量仪器有量筒、秒表。

(三) 实验原理

理想不可压缩流体在重力场中沿管作恒定流动时，流体流动遵循伯努里能量方程。

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

式中 z ——位置水头；

$\frac{p}{\gamma}$ ——压强水头；

$z + \frac{p}{\gamma}$ ——测压管水头

$\frac{v^2}{2g}$ ——速度水头。

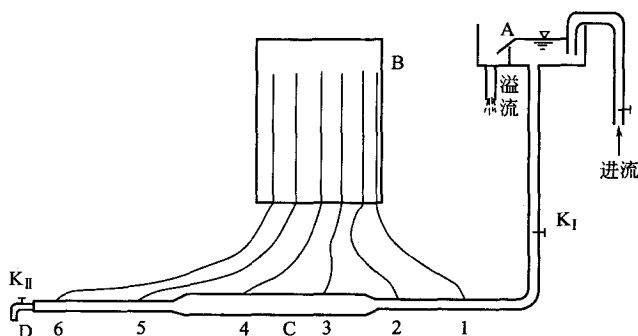


图 1-2-1 能量方程仪

A—提供恒定流动的供水箱；B—测压排；C—变截面管路；D—量水设备； K_I —进水阀； K_{II} —流量调节阀

即单位质量流体的位置能、压能和动能的总和为一常数。

实际上，流体都具有黏性，水流也不例外，它在流动过程中有能量损失。这样对于实际的黏性流体，伯努里能量方程式为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-2-2)$$

由式(1-2-2)可以看出，总机械能在相互转化的过程中有一部分由于克服流体阻力转化为水头损失。机械能中的动能和势能可以相互转化，此消彼长。能量方程的物理意义是总机械能的平均值沿流程减小，部分机械能转化为热能而损失。其几何意义是总流过水断面上的平均总水头沿流程下降。

(四) 实验方法与步骤

(1) 熟悉实验设备，记录各断面尺寸及测点位置。

(2) 关闭阀门 K_{II} ，慢慢开启阀门 K_I ，观察各点上的测压管水面是否在同一水平面上，否则需要排气调平。

(3) 开启阀门 K_{II} ，调节流量，稳定后 (35min) 记录各测压管读数，并用体积法测量流量 (流量要求测两次，相对误差不超过 1%)。

(4) 改变阀门 K_{II} 开度，重复实验步骤 (3)。

(五) 资料整理与结果分析 (表 1-2-1)

表 1-2-1 实验记录和计算项目

流量 $Q/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	测点位置	直径/cm	面积/ cm^2	测压管 水头 $z + \frac{p}{\gamma}$	压强水头 $\frac{p}{\gamma}$	流速 v	速度水头 $\frac{v^2}{2g}$	总水头 H	断面间能 量损失
Q_1	1								
	2								
	⋮								
Q_2	1								
	2								
	⋮								

(六) 思考题

1. 实验中哪个测压管水面下降最大？为什么？

2. 水平管上的两测点 1、2 的压差是否可以用测压管 1、2 的水柱高度差 Δh 表示？此压

差是否就是该两点间的能量损失？任何情况下，压差即代表能量损失，这句话对吗？

3. 当关闭阀门 K_{II} 时，各测压管中的水面为什么与水箱中的水面在同一高度？这个高度表示什么水头？

4. 为什么稳压水箱中要始终保持有水溢出？

(七) 实验报告要求

- (1) 实验目的要求。
- (2) 实测资料。
- (3) 计算数据。
- (4) 用方格纸绘制测压管水头线及总水头线。
- (5) 通过实验有何收获？得出哪些主要结论？

(八) 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，不要使测压管水面下降太多，以免空气倒吸入管路系统，影响实验进行。
- (2) 阀门开启后一定要待流量稳定才能读数。
- (3) 流速较大时，测压管水面有跳动现象，读数时一律取平均值。
- (4) 实验结束时，关闭阀门 K_{II} ，检查测压管水面是否仍旧保持齐平，如不齐平，表示有气泡阻塞，使实验结果不正确，要赶走气泡后重作。

三、沿程水头损失系数的测定

(一) 实验目的

- (1) 学会测定管道沿程水头损失系数 λ 的方法。
- (2) 分析圆管恒定流动的水头损失规律，验证在各种情况下沿程水头损失 h_f 与平均流速 v 的关系以及 λ 随雷诺数 Re 和相对粗糙度 $\frac{k_s}{d}$ 的变化规律。

(3) 根据紊流粗糙区的实验结果，计算实验管壁的粗糙系数 n 值及管壁相对粗糙度 k_s 值，并与莫迪图比较。

(二) 实验设备与仪器

本实验分别在直径不同的玻璃管、细铜管、粗铜管、粗铁管和人工加糙管中进行。由于不同管道中流量和水头损失的数值差别很大，故采用不同的量测方法。各组可按照所选管道，采用相应的设备及量测仪器。

本实验对于各种管道均采用比压计（或水银比压计）量测水头损失，流量的量测分别用三角堰、体积法进行。

实验设备简图如图 1-3-1 所示。

(三) 实验原理

(1) 对于通过直径不变的圆管的恒定水流，沿程水头损失为

$$h_f = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right) = \Delta h$$

即上下游量测断面的比压计读数差。沿程水头损失也常表达为

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

式中 λ ——沿程阻力系数;
 l ——两个过水断面之间的距离;
 d ——管道的直径;
 v ——圆管内平均流速。

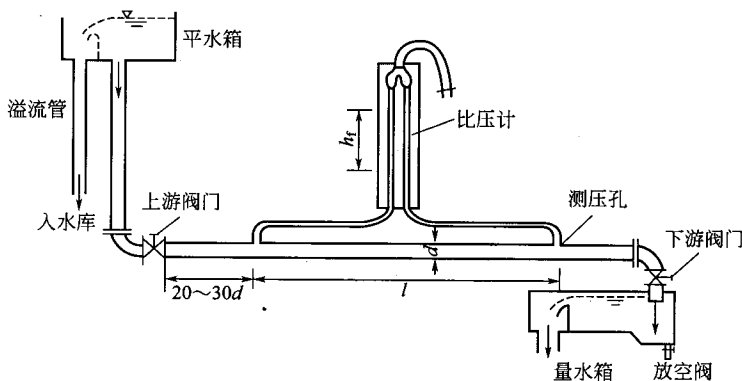


图 1-3-1 沿程水头损失量测实验简图

若在实验中测得 Δh 和断面平均流速，则可求得沿程水头损失系数

$$\lambda = \frac{\Delta h}{\frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}}$$

式中 λ ——沿程水头损失系数;
 l ——上下游量测断面之间的管段长度;
 d ——管道直径;
 v ——断面平均流速。

(2) 不同流动形态及流区的水流，其沿程水头损失与断面平均流速的关系是不同的。层流流动中的沿程水头损失与断面平均流速的 1 次方成正比。紊流流动中的沿程水头损失与断面平均流速的 1.75~2.0 次方成正比。

(3) 沿程水头损失系数 λ 是相对粗糙度 $\frac{k_s}{d}$ 与雷诺 Re 的函数， k_s 为管壁当量粗糙度， $Re = \frac{vd}{\nu}$ (其中 ν 为水的运动黏滞系数)。

(4) 圆管层流流动

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

(5) 光滑圆管紊流流动可取

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{1/4}} (Re < 105)$$

可见在层流流动和紊流光滑区，沿程水头损失系数 λ 只取决于雷诺数。

(6) 粗糙圆管紊流流动

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d/2}{k_s} + 1.74\right)^2}$$

沿程水头损失系数 λ 完全由粗糙度决定，与雷诺数无关，此时沿程水头损失与断面平均

流速的平方成正比,所以紊流粗糙区通常也叫做“阻力平方区”。

(7) 在紊流光滑区和紊流粗糙区之间存在过渡区,此时沿程水头损失系数 λ 与雷诺数和粗糙度都有关。

(8) 粗糙系数 n 可按下列公式进行计算。

$$n = \sqrt{\frac{\lambda}{8g}} R^{\frac{1}{4}}$$

式中 R ——管道的水力半径,圆管的水力半径 $R=d/4$,该式适用于紊流粗糙区。

(四) 实验方法与步骤

(1) 预习实验指导书,认真阅读实验目的和要求、实验原理和注意事项。

(2) 查阅用测压管测压强和用体积法或三角堰法量测流量的原理和步骤。

(3) 开启上下游阀门排气,检查下游阀门全关时,各个测压管水面是否处于同一水平面上。如不平,则需排气调平。

(4) 核对设备编号,记录所有设备的断面管径、量测段长度、三角堰零点读数等数据。

(5) 开启下游阀门,流量应先放到最大,待水流恒定后,观察测管水头的变化。量测流量及相应的水头损失,登录到数据表格上。

(6) 减小阀门开度,重复上述步骤,并按序登录数据。流量的调整逐步由大到小,每改变一次流量需要等待1~2min,待水流恒定后再进行量测。水流的紊动使比压计的水面有波动,应记录水面的时均值。

(7) 检查数据记录表是否有缺漏?是否有某组资料明显地不合理?若有此情况,进行补正。为了提高实验精度,便于分析整理,实验点尽可能多一些。要求改变流量不少于15次。

(8) 在实验开始和结束时分别量测水温,加以平均作为实验水温。

(五) 资料整理与结果分析 (表 1-3-1)

仪器编号:

有关常数: $d =$ cm, $l =$ cm, 三角堰零点读数 $\nabla_0 =$ cm,

表 1-3-1 结果分析

水温 $t =$ °C, 运动黏滞系数 $\nu =$ cm²/s

测次	比压计读数			三角堰法		体积法		计 算			
	h_1/cm	h_2/cm	h_f/cm	测针读数 ∇/cm	堰上水头 H/cm	体积 V $/\text{cm}^3$	时间 t/s	流量 Q $/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	流速 v $/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	雷诺数 Re	λ
1											
2											
$\vdots$											

(六) 思考题

1. 如将实验管安装成倾斜的,比压计中的读数差是不是沿程水头损失 h_f 值?

2. 如果用气流代替水流进行实验,是否能得出同样的结果?为什么?实验的量测方法相应要有哪些改变?

3. 体积法、三角堰法测流量各适用于什么情况?量测如何进行?用三角堰测流量要注意哪些问题才能确保量测精度?

4. 为了得到管道的沿程水头损失系数 λ ,在实验中需要量测沿程水头损失 h_f 、管径 d 、管段长度、流量 Q 等,其中哪一个的精度对 λ 的影响最大?量测时应注意什么?