

# 化学工程与工艺专业实验

郑旭煦 陈盛明 主编



科学出版社

# 化学工程与工艺专业实验

郑旭煦 陈盛明 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书作为化学工程与工艺专业的实验教材,依据化学工程与技术学科和化工行业发展的需要,从实验环节出发,尝试强化综合应用知识能力和创新能力的训练和培养。全书分5章,共41个实验,按照化工原理实验、化学工程与工艺实验、精细化工实验、化工研究与开发实验进行分类。化工原理实验、化学工程与工艺实验、精细化工实验讲述实验目的、实验原理、装置流程、实验步骤、数据处理等;化工研究与开发实验要求实验者根据实验目的和背景知识,设计实验方案,完成实验准备和实验操作,进行结果分析与讨论,提交实验报告。

本书可作为高等院校化学工程与工艺及相关专业的实验教材或教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

化学工程与工艺专业实验/郑旭煦,陈盛明主编. —北京:科学出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-03-039333-3

I. ①化… II. ①郑…②陈… III. ①化学工程-化学实验  
IV. ①TQ016

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第303109号

责任编辑:陈雅娟/ 责任校对:郭瑞芝  
责任印制:徐晓晨/ 封面设计:华路天然工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2014年1月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:207 000

定价:45.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

21 世纪的化学工程与工艺专业已经成为了名副其实的宽口径专业,化学工程与技术学科除了为本行业服务以外,同时还广泛应用于材料、冶金、环境、能源等学科和行业。工程实践能力的培养是本专业人才培养方案的重要内容和主要任务之一,而实验教学是培养学生工程实践能力和创新能力的重要途径,在化工教育中起着非常重要的作用。

化工专业的传统实验教材主要以验证型实验为主,并依附于某一门课程的理论教学内容,已经不适应 21 世纪高等教育和化学工业的发展。为此,根据化学工程与技术学科和化工行业发展的需要,我们编写了本书。内容包括绪论、化工原理实验、化学工程与工艺实验、精细化工实验、化工研究与开发实验五部分,共 41 个实验。通过较为系统的实验教学来培养学生的动手能力、分析解决问题的能力 and 创新思维,增强其工程实践能力,提高其就业竞争力。本书具有如下特点:

(1) 实验教学内容从基础到专业、再到研究与创新,体现知识掌握由浅入深、能力培养由低到高、思维训练由简单到复杂的逻辑递进性。

(2) 体现化工研究与生产过程的完整性,便于学生了解化工研究与生产的全貌。

(3) 突出实用性和先进性,具有巩固性、启发性、探索性、研究性和创新性。

(4) 体现专业科研新方向,拓宽学生的知识面。

本书由重庆工商大学化学化工系和重庆市化学技术市级实验教学示范中心组成的化学工程与工艺专业实验教学团队共同编写。各章节编写人员如下:第 1 章,陈盛明;实验 2.7、实验 2.8、实验 3.12,郑旭煦;实验 3.8、实验 4.3、实验 4.4、实验 4.5、实验 4.6、实验 4.7、实验 5.3,陈盛明;实验 2.1、实验 2.2、实验 4.2,李宁;实验 3.5、实验 3.11、实验 3.13、实验 4.9、实验 5.1、实验 5.2,宋应华;实验 3.7、实验 5.6,周桂林;实验 4.8、实验 5.5,魏星跃;实验 2.3、实验 2.4,周文斌;实验 2.5、实验 3.9、实验 4.1,许惠;实验 2.9、实验 3.6、实验 3.10,叶梅;实验 2.6,杨海林;实验 3.1、实验 3.2,蔡强;实验 3.4、实验 5.8,文莉;实验 4.10、实验 4.11,唐春红;实验 3.3,黄德君;实验 5.7,卓琳;实验 5.4,高媛。

全书由郑旭煦、陈盛明统稿。在本书编写过程中,得到了重庆工商大学的专项经费资助,得到了傅敏、王崇均、张桂芝、熊晓莉、彭荣、张勤等老师的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

在本书编写过程中参阅了一些兄弟院校的教材和科技文献,并汲取了部分内

容,在此表示谢意。

本书涉及多方面的知识与技术,编写亦是不断学习、研究和探索的过程,因编者的水平有限,不妥和疏漏之处在所难免,敬请读者与同仁批评指正。

编者

2013年10月于重庆工商大学

# 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 化工专业实验的目的和要求	1
1.2 实验室的注意事项和安全条例	1
第 2 章 化工原理实验	6
实验 2.1 流体流动阻力的测定	6
实验 2.2 流体流动阻力的测定(障碍型实验)	12
实验 2.3 离心泵特性曲线的测定	13
实验 2.4 恒压过滤常数的测定	17
实验 2.5 换热器操作和传热系数的测定	23
实验 2.6 旋风除尘器操作	28
实验 2.7 筛板精馏塔的操作与塔效率的测定	32
实验 2.8 填料吸收塔的操作及吸收传质系数的测定	41
实验 2.9 干燥操作和干燥速率曲线的测定	46
第 3 章 化学工程与工艺实验	50
实验 3.1 乙醇-环己烷活度系数的测定	50
实验 3.2 三组分体系液液平衡数据的测定	56
实验 3.3 控制过程系统认识	59
实验 3.4 多釜串联返混性能测定	62
实验 3.5 一氧化碳变换反应	67
实验 3.6 微型反应实验——丁烷裂解	73
实验 3.7 催化剂的制备及其催化一氧化碳甲烷化反应	77
实验 3.8 鼓泡反应器合成甲缩醛	80
实验 3.9 反应精馏法制乙酸乙酯	84
实验 3.10 酯化反应合成邻苯二甲酸二正丁酯的反应动力学研究 (障碍型实验)	90
实验 3.11 吸附脱附实验	93
实验 3.12 超临界萃取天然产物中高附加值成分	96
实验 3.13 三元有机废液体体系的分离	101

<b>第 4 章 精细化工实验</b> .....	104
实验 4.1 碳酸钙晶须的制备 .....	104
实验 4.2 表面活性剂的合成及洗衣粉的制备 .....	108
实验 4.3 洗发香波的配制 .....	113
实验 4.4 甲基丙烯酸甲酯的精制 .....	117
实验 4.5 甲基丙烯酸甲酯本体聚合 .....	120
实验 4.6 苯乙烯自由基悬浮聚合 .....	123
实验 4.7 丙烯酸酯乳胶漆的制备及性能表征 .....	125
实验 4.8 扑炎痛的合成 .....	128
实验 4.9 黄柏中盐酸小檗碱的提取和吸附分离 .....	131
实验 4.10 复方板蓝根颗粒剂的制备 .....	135
实验 4.11 中药片剂的制备 .....	138
<b>第 5 章 化工研究与开发实验</b> .....	140
实验 5.1 碳酸二甲酯生产工艺过程开发 .....	141
实验 5.2 花生壳吸附剂的制备及其吸附废水中染料的实验研究 .....	142
实验 5.3 吸附食品油烟多孔丙烯酸酯树脂的合成及表征 .....	143
实验 5.4 纳米 $\text{TiO}_2$ 的合成及降解副品红溶液的测定 .....	144
实验 5.5 微波辐射合成肉桂酸及结构表征 .....	145
实验 5.6 固体超强酸的制备与催化性能测试 .....	146
实验 5.7 矿石中金属元素含量的测定 .....	148
实验 5.8 阳极溶出伏安法测定微量铜 .....	149
<b>参考文献</b> .....	150
<b>附录</b> .....	151
附录 1 部分实验装置照片 .....	151
附录 2 倒 U 形压差计的使用方法 .....	152
附录 3 比重计读数校正 .....	153
附录 4 转子流量计流量校正 .....	153
附录 5 SP6801T 气相色谱仪操作规程 .....	153
附录 6 露茎校正 .....	154
附录 7 $\text{HAc-H}_2\text{O-VAc}$ 三元系液液平衡溶解度数据 .....	155
附录 8 三元液液平衡的推算 .....	155
附录 9 实验 3.9 色谱分析条件 .....	157

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 化工专业实验的目的和要求

工程实践能力和创新能力的培养是化工专业教学计划的重要内容和主要任务。该专业实验教学是由化工原理实验、化学工程与工艺实验、精细化工实验、化工研究与开发实验组成的“基础实验—专业实验—学科综合实验—开放创新实验”四层次实验教学体系。化工专业实验教学的目的是培养学生掌握化学工程与工艺专业的专业实验技能与实验研究方法,其教学要求如下:

- (1) 使学生掌握专业实验的基本技术和操作技能。
- (2) 使学生学会专业主要仪器和设备的使用。
- (3) 使学生了解本专业实验研究的基本方法。
- (4) 培养学生分析问题和解决问题的能力。
- (5) 培养学生理论联系实际、实事求是的作风。
- (6) 提高学生获取知识的能力、综合应用知识解决实际问题的能力和创新能力。

## 1.2 实验室的注意事项和安全条例

### 1.2.1 实验室的注意事项

- (1) 进入实验室必须了解实验室规则及实验安全条例。
- (2) 爱护财物,未掌握仪器、设备使用方法者不得动用;若有损坏,要填写损坏单,酌情赔偿。
- (3) 实验结束后要将仪器、药品、工具等放回原处。
- (4) 保持实验台及周围环境整齐、清洁,实验台上不放与该实验无关的物品。
- (5) 实验室内不准吃东西,不准将实验室的器皿用作非实验之用,实验完成后必须洗净双手。
- (6) 实验时要严肃认真,仔细观察现象;保持实验室内安静,不得大声喧哗,不能做与实验无关的事;实验进行时不得擅自离开。
- (7) 未经教师允许不得进行实验,实验完成后必须经教师检查后才能离开。
- (8) 实验完毕离开实验室时,必须将水、电、门、窗关好,并对整个实验室进行整理。
- (9) 若发生事故,不要惊慌失措,应听从教师指挥,积极抢救。



### 1.2.2 实验室安全操作规程

虽然在以前学过的实验课中,学生已经接受过有关实验室的安全教育,但是在专业实验过程中,所使用的化学品可能是易燃、易爆、有毒、有腐蚀性的,常潜藏着发生爆炸、着火、中毒、灼伤、割伤、触电等事故的危险性;所涉及的大型仪器价格昂贵,若损坏将造成极大的损失,必须严格执行安全操作规程,加强安全措施,防止事故发生。因此,在进行化工实验特别是专业实验、研究与开发实验之前,有必要再次对学生进行安全教育。

#### 1. 安全用电常识

违章用电常可能造成仪器损坏、火灾、人身伤亡等严重事故。为保障人身安全,一定要遵守实验室安全规则。

##### 1) 防止触电

- (1) 不用潮湿的手接触电器。
- (2) 电源裸露部分应有绝缘装置(如电线接头处应裹上绝缘胶布)。
- (3) 所有电器的金属外壳都应保护接地。
- (4) 实验时,应先连接好电路后再接通电源。实验结束时,先切断电源再拆线路。

(5) 修理或安装电器时,应先切断电源。

(6) 不能用试电笔去试高压电。使用高压电源应有专门的防护措施。

(7) 若有人触电,应迅速切断电源,然后进行抢救。

##### 2) 防止引起火灾

(1) 使用的保险丝要与实验室允许的用电量相符。

(2) 电线的安全通电量应大于用电功率。

(3) 室内若有氢气、煤气等易燃易爆气体,应避免产生电火花。继电器工作和开关电闸时易产生电火花,要特别小心。电器接触点(如电插头)接触不良时,应及时修理或更换。

(4) 若遇电线起火,立即切断电源,用沙或二氧化碳、四氯化碳灭火器灭火,禁止用水或泡沫灭火器等导电液体灭火。

##### 3) 防止短路

(1) 线路中各接点应牢固,电路元件两端接头不要互相接触,以防短路。

(2) 电线、电器不要被水淋湿或浸在导电液体中,如实验室加热用的灯泡接口不要浸在水中。

##### 4) 电器仪表的安全使用

(1) 在使用前,先了解电器仪表要求使用的电源是交流电还是直流电,是三相

电还是单相电以及电压的大小(380V、220V、110V 或 6V)。须明确电器功率是否符合要求及直流电器仪表的正负极。

(2) 仪表量程应大于待测量。若待测量大小不明时,应从最大量程开始测量。

(3) 实验之前要检查线路连接是否正确。经教师检查同意后方可接通电源。

(4) 在电器仪表使用过程中,若发现有不正常声响,局部升温或嗅到绝缘漆过热产生的焦味,应立即切断电源,并报告教师进行检查。

## 2. 使用化学药品的安全防护

### 1) 防毒

防毒应注意以下几点:

(1) 实验前应了解所用药品的毒性及防护措施。

(2) 操作有毒气体(如  $H_2S$ 、 $Cl_2$ 、 $Br_2$ 、 $NO_2$ 、浓  $HCl$  和  $HF$  等)应在通风橱内进行。

(3) 苯、四氯化碳、乙醚、硝基苯等的蒸气会引起中毒。它们虽有特殊气味,但久嗅会使人嗅觉减弱,所以应在通风良好的情况下使用。

(4) 有些药品(如苯、汞等)能透过皮肤进入人体,应避免其与皮肤接触。

(5) 氰化物、高汞盐[ $HgCl_2$ 、 $Hg(NO_3)_2$  等]、可溶性钡盐( $BaCl_2$ )、重金属盐(如镉、铅盐)、三氧化二砷等剧毒药品应妥善保管,使用时要特别小心。

(6) 禁止在实验室内喝水、吃东西。饮食用具不要带入实验室,以防毒物污染,离开实验室及饭前要洗净双手。

### 2) 防爆

可燃气体与空气混合后,当两者比例达到爆炸极限时,受到热源(如电火花)的诱发,就会引起爆炸。一些气体的爆炸极限见表 1-1。

表 1-1 与空气相混合的某些气体的爆炸极限(20°C, 1atm)

气体	爆炸高限/% (体积分数)	爆炸低限/% (体积分数)	气体	爆炸高限/% (体积分数)	爆炸低限/% (体积分数)
氢	74.2	4.0	乙酸	—	4.1
乙烯	28.6	2.8	乙酸乙酯	11.4	2.2
乙炔	80.0	2.5	一氧化碳	74.2	12.5
苯	6.8	1.4	水煤气	72.0	7.0
乙醇	19.0	3.3	煤气	32.0	5.3
乙醚	36.5	1.9	氨	27.0	15.5
丙酮	12.8	2.6			

注:atm 为非法定单位, 1atm=1.01325×10<sup>5</sup>Pa

防爆应注意以下几点:

(1) 使用可燃性气体时,要防止气体逸出,室内通风要良好。

(2) 操作大量可燃性气体时,严禁同时使用明火,还要防止发生电火花及其他撞击火花。

(3) 叠氮铝、乙炔银、乙炔铜、高氯酸盐、过氧化物等药品受震和受热都易引起爆炸,使用要特别小心。

(4) 严禁将强氧化剂和强还原剂放在一起。

(5) 久藏的乙醚使用前应除去其中可能产生的过氧化物。

(6) 做容易引起爆炸的实验时,应有防爆措施。

### 3) 防火

防火应注意以下几点:

(1) 许多有机溶剂如乙醚、丙酮、乙醇、苯等非常容易燃烧,大量使用时室内不能有明火、电火花或静电放电。实验室内不可存放过多这类药品,用后要及时回收处理,不可倒入下水道,以免聚集引起火灾。

(2) 有些物质如磷、金属钠、钾、电石及金属氢化物等,在空气中易氧化自燃。这些物质要隔绝空气保存,使用时要特别小心。

实验室如果着火不要惊慌,应根据情况进行灭火,常用的灭火剂有水、沙、二氧化碳灭火器、四氯化碳灭火器、泡沫灭火器和干粉灭火器等,可根据起火的原因选择使用。以下几种情况不能用水灭火:

(1) 金属钠、钾、镁、铝粉、电石、过氧化钠着火,应用干沙灭火。

(2) 比水轻的易燃液体,如汽油、苯、丙酮等着火,可用泡沫灭火器。

(3) 有灼烧的金属或熔融物的地方着火时,应用干沙或干粉灭火器。

(4) 电器设备或带电系统着火,可用二氧化碳灭火器或四氯化碳灭火器。

### 4) 防灼伤

强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、冰醋酸等都会腐蚀皮肤,特别要防止溅入眼内。液氧、液氮等低温也会严重灼伤皮肤,使用时要小心。万一灼伤应及时治疗。

## 3. 高压钢瓶的使用及注意事项

### 1) 气体钢瓶的颜色标记

我国气体钢瓶常用的标记见表 1-2。

表 1-2 气体钢瓶常用标记

气体类别	瓶身颜色	标字颜色	字样
氮气	黑	黄	氮
氧气	天蓝	黑	氧
氢气	深蓝	红	氢
压缩空气	黑	白	压缩空气
二氧化碳	黑	黄	二氧化碳
氨	棕	白	氨
液氨	黄	黑	氨
氯	草绿	白	氯
乙炔	白	红	乙炔
氟氯烷	铝白	黑	氟氯烷
石油气体	灰	红	石油气
粗氩气体	黑	白	粗氩
纯氩气体	灰	绿	纯氩

## 2) 气体钢瓶的使用

(1) 在钢瓶上装上配套的减压阀。检查减压阀是否关紧,方法是逆时针旋转调压手柄至螺杆松动为止。

(2) 打开钢瓶总阀门,此时高压表显示瓶内储气总压力。

(3) 慢慢地顺时针转动调压手柄,至低压表显示实验所需压力为止。

(4) 停止使用时,先关闭总阀门,待减压阀中余气逸尽后,再关闭减压阀。

## 3) 注意事项

(1) 钢瓶应存放在阴凉、干燥、远离热源的地方。可燃性气瓶应与氧气瓶分开存放。

(2) 搬运钢瓶要小心轻放,钢瓶帽要旋上。

(3) 使用时应装减压阀和压力表。可燃性气瓶(如  $H_2$ 、 $C_2H_2$ )气门螺丝为反丝;不燃性或助燃性气瓶(如  $N_2$ 、 $O_2$ )为正丝。各种压力表一般不可混用。

(4) 不要让油或易燃有机物沾染在气瓶(特别是气瓶出口和压力表)上。

(5) 开启总阀门时,不要将头或身体正对总阀门口,防止阀门或压力表损坏,瓶内气体冲出伤人。

(6) 钢瓶内气体不能全部用尽,要留下一些气体,以防止外界空气进入气体钢瓶,一般应保持表压在 0.5MPa 以上的余压。

(7) 使用中的气瓶每三年应检查一次,装腐蚀性气体的钢瓶每两年检查一次,不合格的气瓶不可继续使用。

(8) 氢气瓶应放在远离实验室的专用小屋内,用紫铜管引入实验室,并安装回火防止器。

## 第 2 章 化工原理实验

### 实验 2.1 流体流动阻力的测定

#### 一、实验目的

- (1) 掌握测定流体流经直管、管件和阀门时阻力损失的一般实验方法。
- (2) 测定直管阻力摩擦系数  $\lambda$  与雷诺数  $Re$  的关系,验证在一般湍流区内  $\lambda$  与  $Re$  的关系曲线。
- (3) 测定流体流经管件、阀门时的局部阻力系数  $\xi$ 。
- (4) 学会倒 U 形压差计和转子流量计的使用方法。
- (5) 辨识组成管路的各种管件、阀门,并了解其作用。

#### 二、实验原理

流体通过由直管、管件(如三通和弯头等)和阀门等组成的管路系统时,由于黏性剪应力和涡流应力的存在,要损失一定的机械能。流体流经直管时所造成机械能损失称为直管阻力损失。流体通过管件、阀门时因流体运动方向和速度大小改变所引起的机械能损失称为局部阻力损失。

##### 1. 直管阻力摩擦系数的测定

流体在水平等径直管中稳定流动时,阻力损失为

$$h_f = \frac{\Delta p_f}{\rho} = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad (2-1)$$

$$\lambda = \frac{2d\Delta p_f}{\rho l u^2} \quad (2-2)$$

式中: $\lambda$ ——直管阻力摩擦系数,量纲为一;

$\Delta p_f$ ——流体流经  $l$  长直管的压降,Pa;

$h_f$ ——单位质量流体流经  $l$  长直管的机械能损失,J/kg;

$l$ ——直管长度,m;

$u$ ——流体在管内流动的平均流速,m/s;

$d$ ——直管内径,m;

$\rho$ ——流体密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

滞流(层流)时

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2-3)$$

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} \quad (2-4)$$

式中:  $Re$ ——雷诺数,量纲为一;

$\mu$ ——流体黏度,  $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

湍流时  $\lambda$  是雷诺数  $Re$  和相对粗糙度  $(\epsilon/d)$  的函数,必须由实验确定。

由式(2-2)可知,欲测定  $\lambda$ ,需确定  $l, d$ ,测定  $\Delta p_f, u, \rho, \mu$  等参数。 $l, d$  为装置参数(装置参数表格中给出),  $\rho$  和  $\mu$  通过测定流体温度、查有关手册而得,  $u$  通过测定流体流量,再由管径计算得到。

例如,本实验采用转子流量计测流量  $V(\text{m}^3/\text{h})$ 。

$$u = \frac{V}{9 \times 10^2 \pi d^2} \quad (\text{m/s}) \quad (2-5)$$

$\Delta p_f$  可用 U 形、倒 U 形、测压直管等液柱压差计测定,或采用压差变送器和二次仪表显示。

(1) 当采用倒 U 形液柱压差计时

$$\Delta p_f = \rho g R \quad (2-6)$$

式中:  $R$ ——水柱高度,  $\text{m}$ 。

(2) 当采用 U 形液柱压差计时

$$\Delta p_f = (\rho_0 - \rho) g R \quad (2-7)$$

式中:  $R$ ——液柱高度,  $\text{m}$ ;

$\rho_0$ ——指示液密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

根据实验装置结构参数  $l, d$ , 指示液密度  $\rho_0$ , 流体温度  $t_0$  (查流体物性  $\rho, \mu$ ), 实验时测定的流量  $V$ , 液柱压差计的读数  $R$ , 通过式(2-5)、式(2-6)或式(2-7)、式(2-4)和式(2-2)求取  $Re$  和  $\lambda$ , 再将  $Re$  和  $\lambda$  标绘在双对数坐标图上。

## 2. 局部阻力系数的测定

局部阻力损失通常有两种表示方法,即当量长度法和阻力系数法。

### 1) 当量长度法

流体流过某管件或阀门时造成的机械能损失看作与某一长度为  $l_e$  的同直径的管道所产生的机械能损失相当,此折合的管道长度称为当量长度,用符号  $l_e$  表示。这样,就可以用直管阻力的公式来计算局部阻力损失,而且在管路计算时可将管路中的直管长度与管件、阀门的当量长度合并在一起计算,则流体在管路中流动

时的总机械能损失  $\sum h_f$  为

$$\sum h_f = \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2} \quad (2-8)$$

## 2) 阻力系数法

流体通过某一管件或阀门时的机械能损失表示为流体在小管径内流动时平均动能的某一倍数,局部阻力的这种计算方法称为阻力系数法,即

$$h_f' = \xi \frac{u^2}{2} = \frac{\Delta p_f'}{\rho} \quad (2-9)$$

故

$$\xi = \frac{2\Delta p_f'}{\rho u^2} \quad (2-10)$$

式中: $\xi$ ——局部阻力系数,量纲为一;

$\Delta p_f'$ ——局部阻力压降,Pa(所测得的压降可/应扣除两测压口间直管段的压降,直管段的压降由直管阻力实验结果求取);

$\rho$ ——流体密度,kg/m<sup>3</sup>;

$u$ ——流体在小截面管中的平均流速,m/s。

待测的管件和阀门由现场指定。本实验采用阻力系数法表示管件或阀门的局部阻力损失。

根据连接管件或阀门两端管径中小管的直径  $d$ 、指示液密度  $\rho_0$ 、流体温度  $t_0$  (查流体物性  $\rho, \mu$ ) 以及实验时测定的流量  $V$ 、液柱压差计的读数  $R$ ,通过式(2-5)、式(2-6)或式(2-7)、式(2-10)求取管件或阀门的局部阻力系数  $\xi$ 。

## 三、实验装置

实验装置如图 2-1 所示。

实验装置由水箱、离心泵、不同管径和材质的水管、各种阀门和管件、玻璃转子流量计和倒 U 形压差计等组成。管路部分有三段并联的长直管,分别用于测定局部阻力系数、光滑管直管阻力系数和粗糙管直管阻力系数。测定局部阻力部分使用不锈钢管,其上装有待测管件(闸阀);光滑管直管阻力的测定同样使用内壁光滑的不锈钢管,而粗糙管直管阻力的测定对象为管道内壁较粗糙的镀锌管。

水的流量使用玻璃转子流量计测量,管路和管件的阻力采用均压环和引压管将压力传递给倒 U 形压差计直接显示压差。

装置参数见表 2-1。由于管子的材质存在批次的差异,可能会产生管径的不同,所以表 2-1 中的管内径只能作参考。

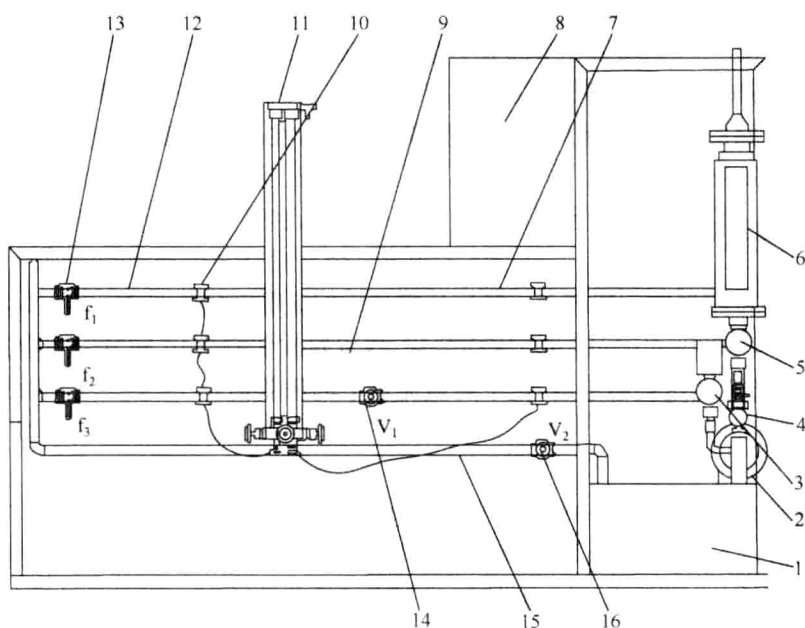


图 2-1 实验装置示意图

1. 水箱; 2. 离心泵; 3. 进口压力表; 4. 双金属温度计; 5. 出口压力表; 6. 玻璃转子流量计; 7. 局部阻力管; 8. 电气控制柜; 9. 光滑管; 10. 均压环; 11. 倒 U 形压差计; 12. 粗糙管; 13. 管路选择球阀  
 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ; 14. 局部管上的闸阀  $V_1$ ; 15. 引压管; 16. 出口流量调节闸阀  $V_2$

表 2-1 装置参数

名称	材质	管路号	管内径/mm	测量段长度/cm
局部阻力	闸阀	1A	20.0	95
光滑管	不锈钢管	1B	20.0	100
粗糙管	镀锌铁管	1C	21.0	100

#### 四、实验步骤

##### 1. 泵启动

清理水箱中的杂质,然后给水箱注水。通过灌泵漏斗给离心泵灌水,直到排出泵内气体。然后关闭出口阀  $V_2$ ,关闭灌泵系统的两个阀门(一个在灌泵漏斗处,另一个在双金属温度计处),打开总电源,启动水泵,打开仪表开关,待电机转动平稳后,把出口阀  $V_2$  缓缓开到最大。



## 2. 实验管路选择

先后选择实验管路,把对应的进口阀  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  打开( $f_1$  是粗糙管路的阀门, $f_2$  是光滑管路的阀门, $f_3$  是局部阻力管路的阀门),在出口阀最大开度下,保持全流量流动 3~5min。

## 3. 流量调节

调节出口流量调节阀  $V_2$ ,然后分别开启相应管路的的选择阀  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ,调节流量,使流量在 1000~4000L/h 范围内变化,建议每次实验变化 500L/h 左右。每次改变流量,待流动达到稳定后,记下对应流量下的压差值。

## 4. 计算

装置确定时,根据  $\Delta p$  和  $u$  的实验测定值,可计算  $\lambda$  和  $\xi$ 。在等温条件下,雷诺数  $Re = \frac{du\rho}{\mu} = Au$ 。其中  $A$  为常数,因此只要调节管路流量,即可得到一系列  $\lambda-Re$  的实验点,从而绘出  $\lambda-Re$  曲线。

## 5. 实验结束

停泵前先将出口阀关闭,关闭仪表开关,关闭水泵,最后关闭电源,清理装置。

## 五、实验数据记录

实验数据记录见表 2-2。

表 2-2 实验记录表格

实验日期: \_\_\_\_\_; 实验人员: \_\_\_\_\_; 学号: \_\_\_\_\_; 温度: \_\_\_\_\_; 装置号: \_\_\_\_\_; 直管基本参数: 光滑管径 \_\_\_\_\_, 粗糙管径 \_\_\_\_\_, 局部阻力管径 \_\_\_\_\_。

序号	流量 /(L/h)	光滑管压差/cm		流量 /(L/h)	粗糙管压差/cm		流量 /(L/h)	局部阻力管压差/cm	
		左	右		左	右		左	右
1									
2									
3									
⋮									

## 六、实验报告中实验结果部分的要求

(1) 根据粗糙管实验结果,在双对数坐标纸上标绘出  $\lambda-Re$  曲线,对照化工原理教材上有关曲线图,即可估算出该管的相对粗糙度和绝对粗糙度。