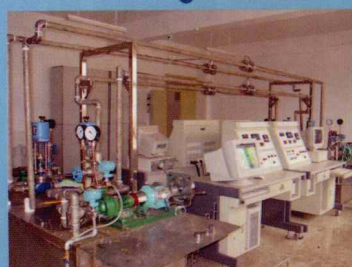


高等学校教材

化工原理实验

冯 晖
居沈贵 编
夏 毅



东南大学出版社

内 容 提 要

本书是与《化工原理》教材紧密配合的实验用书。全书取材以全国高校《化工原理》课程教学大纲为依据,内容包括化工原理实验、化工原理演示实验、实验误差分析和数据处理、测量仪表和测量方法、化工原理实验软件及附录等六个部分。

本书可作为高校本科、专科的化工原理实验教材,亦可供从事化学工程、生物化工、环境工程、制药工程、食品工程等专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/冯晖等编:—南京:东南大学出版社,
2003.9

ISBN 7-81089-334-3

I. 化... II. 冯... III. 化工原理-实验
IV. TQ02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 069910 号

化工原理实验

出版发行	东南大学出版社
社 址	南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
出 版 人	宋增民
经 销	江苏省新华书店
印 刷	南京工大印务有限公司
开 本	787 mm×1092 mm 1/16
印 张	14.25
印 数	1—5000
字 数	344 千字
版 次	2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷
定 价	18.00 元

* 东大版图书若有印装质量问题,请直接向发行科调换,电话:(025)3795801。

前 言

化工原理实验教学是化工原理课程的一个十分重要的实践性教学环节。教学的目的是使学生加深理解和巩固化工单元操作的基本原理,熟悉和掌握各单元操作设备的工作原理、特性及使用方法,熟悉和掌握常见的化工仪表(如温度、压力或压差、流量等)的工作原理和使用方法,在实验中培养学生分析和解决化工过程中工程问题的能力,加强学生的动手能力,培养和提高学生的实验技能。化工原理实验力求成为培养学生创新精神和实践能力、培养高素质复合型人才基地。

化工原理实验教材共分为六大部分:

第一部分为化工原理实验的基本要求,以便学生对照这些要求正确地进行实验。

第二部分为化工原理实验,共选择了八个实验,分别为流体流动阻力测定实验、离心泵性能特性曲线测定实验、恒压过滤常数测定实验、对流给热系数测定实验、固体流态化实验、精馏实验、吸收(解吸)实验、干燥速率曲线测定实验。每个实验介绍了实验目的、实验原理、实验装置与流程、实验操作步骤、实验数据记录与处理、实验报告书写要求和思考题,以便指导学生进行实验预习和操作。

第三部分为化工原理演示实验,共有六个实验,分别为流体的压强及其测量演示实验、流体流型(雷诺)演示实验、流体机械能分布及其转换演示实验、边界层演示实验、塔模型演示实验和流体绕流演示实验,以供学生观察有关实验现象,加深对有关原理的理解。

第四部分为实验误差分析和实验结果的数据处理,使学生明确实验误差产生的主要因素以及如何改变其中的薄弱环节,掌握数据处理的正确方法,以提高学生的实验质量。

第五部分为测量仪表和测量方法,介绍了化工实验及生产中常用的测量仪表的工作原理及使用方法,如温度、压力和压差、流量和组成等的测量及操作,还介绍了温度、压力和压差、流量和组成等测量的传感器和智能化仪表的工作原理及使用,使学生掌握化工常用仪表及自动化仪表的使用。

第六部分为化工原理实验软件,介绍了 MCGS 组态软件和化工原理实验数据处理软件,使学生对 MCGS 组态软件有初步的了解和掌握数据处理软件的使用。

最后为附录,收录了 SI 制单位换算、常用数据表和管子、管件规格及用途。

本教材适用于实验时数为 30~40 学时的化工及其他相关专业的学生使用。各专业可根据各自的教学要求选取若干实验进行实验。一般多学时的专业选做 7~8 个实验,少学时的选做 4~6 个实验。每个实验应包括实验预习、实验操作、数据处理和实验报告编写等四个环节,每个学生都须认真完成。

本书由冯晖、居沈贵、夏毅编写。其中第一、第二、第三和附录部分由冯晖编写,第四部分由夏毅编写,第五部分由居沈贵编写。在编写过程中参考了管国锋、冯晖和张若兰编写的《化工原理实验》一书,并得到了南京工业大学化学化工学院领导、管国锋教授和化工原理教研室、实验室的各位老师的大力支持和帮助,编者在此深表感谢。

编 者

2003 年 6 月 27 日

目 录

前言	1
0 化工原理实验的基本要求	1
1 化工原理实验	4
1.1 流体流动阻力测定实验	4
1.2 离心泵性能特性曲线测定实验	9
1.3 恒压过滤常数测定实验	14
1.4 对流给热系数测定实验	20
1.5 固体流态化实验	27
1.6 精馏实验	31
1.7 吸收(解吸)实验	35
1.8 干燥速率曲线的测定实验	42
2 化工原理演示实验	47
2.1 流体的压强及其测量演示实验	47
2.2 流体流型(雷诺)演示实验	48
2.3 流体机械能分布及其转换演示实验	50
2.4 边界层演示实验	52
2.5 塔模型演示实验	54
2.6 流体绕流演示实验	55
3 实验误差分析和数据处理	57
3.1 实验误差分析	57
3.1.1 误差的基本概念	57
3.1.2 误差的基本性质	59
3.2 实验结果的数据处理	66
3.2.1 有效数字的处理	66
3.2.2 实验结果的数据处理	67
4 测量仪表和测量方法	77
4.1 概述	77

4.1.1	仪表分类	77
4.1.2	测量控制过程	78
4.1.3	测量仪表的基本组成	78
4.2	压力测量	79
4.2.1	液柱式压力计	79
4.2.2	弹性式压力计	83
4.2.3	电气式压力计	83
4.2.4	使用差压计应注意的问题	86
4.3	流量测量	87
4.3.1	差压式流量计	87
4.3.2	转子流量计	90
4.3.3	涡轮流量计	91
4.3.4	湿式气体流量计	99
4.4	温度测量	100
4.4.1	膨胀式温度计	100
4.4.2	热电阻温度计	101
4.4.3	热电偶温度计	104
4.4.4	接触式温度计的安装	105
4.5	功率测量	105
4.5.1	功率表测量法	105
4.5.2	马达天平测量法	107
4.5.3	自动扭矩测量法	108
4.6	转速的测量	108
4.6.1	概述	108
4.6.2	测量方法	108
4.6.3	智能显示仪表	110
4.7	成分分析仪	111
4.7.1	气相色谱仪	111
4.7.2	奥氏分析仪	121
4.7.3	二氧化碳液相浓度的气敏电极分析法	123
4.8	电子天平	125
4.8.1	概述	125
4.8.2	结构	126
4.8.3	安装说明	126
4.8.4	操作	127
4.9	称重传感器	129
4.9.1	概述	129

4.9.2	使用和注意事项	129
4.9.3	应用	129
4.10	控制器	130
4.10.1	温度控制器	130
4.10.2	液位控制器	131
4.10.3	电动调节阀	136
4.10.4	变频器	138
4.10.5	回流比控制装置	143
4.10.6	电磁计量泵	145
4.11	智能仪表	154
4.11.1	智能仪表概述	154
4.11.2	智能仪表结构	154
4.11.3	智能仪表工作方式	154
4.11.4	AI全通用人工智能调节器	155
4.12	巡检仪	161
4.12.1	概述	161
4.12.2	仪表主要特点	161
4.12.3	仪表的工作原理	162
5	化工原理实验软件	163
5.1	化工原理 MCGS 组态软件简介	163
5.1.1	概述	163
5.1.2	化工原理 MCGS 组态软件的使用	165
5.2	化工原理实验数据处理软件 1.0 版(VB 6.0)简介	167
5.2.1	概述	167
5.2.2	数据处理软件的使用	167
5.2.3	数据处理软件的开发过程	170
附录 1	计量单位及单位换算	196
1	国际单位制的基本单位	196
2	常用物理量及单位	196
3	基本常数与单位	196
4	单位换算	197
附录 2	常用数据表	201
1	水的物理性质	201
2	水在不同温度下的粘度	201

3	干空气的物理性质($p = 0.101 \text{ MPa}$)	202
4	饱和水蒸气表(以温度为准)	204
5	饱和水蒸气表(以压强为准)	205
6	常用固体材料的物理性质	206
7	某些气体溶于水的亨利系数	207
8	某些二元物系的气液平衡组成($p = 0.101 \text{ MPa}$)	207
9	乙醇溶液的物理常数(摘要)($p = 0.101 \text{ MPa}$)	209
10	乙醇蒸气的密度及比容(摘要)($p = 0.101 \text{ MPa}$)	209
11	标准筛目	210
附录3 常用管子、管件的种类		211
1	管子规格	211
2	常用管子的种类及用途	212
3	常用管件的种类及用途	213
4	常用阀门的种类及用途	214
5	管子的连接	215
6	管子、管件的图示符号	215
参考文献		217

化工原理实验要求实验者在实验完毕后提交 1 份合格的实验报告。实验报告要求能够把实验的任务和实验观测的结果用表、图、公式及文字加以描述,将讨论问题简练明确的表达出来,使阅读者能够一目了然。除此以外还必须具备:

(1)数据是可靠的。为此必须认真考虑实验方案,认真细致并实事求是地正确记录原始数据。实验前做好预习工作,实验时集中精力,认真仔细观察实验现象和记录仪表指示数,边实验边分析实验数据是否合理,以便能够及时排除实验中的干扰因素。

(2)实验记录要有校核的可能。因此要清楚说明实验的时间、地点、条件和共同参与实验的人员。

为保证做出合格的实验报告,故对实验过程中各个步骤、各个问题提出如下的说明和要求:

1. 实验前的预习工作

(1) 阅读实验讲义,弄清本次实验的目的和要求。

(2) 根据本次实验的具体任务,研究实验的理论根据和实验的具体做法,分析哪些参数需要直接测量得到,哪些参数不需要直接测量,而能够间接获得,并且要估计实验数据的变化规律。

(3) 到实验室现场了解摸索实验流程,先看主要设备的构造,测量仪表的种类和安装位置,了解它们的测量原理和使用方法,最后全面审查整个实验流程的布置是否合理,审查主要设备的结构和安装是否合适,测量仪表的量程、精度是否合适以及其所装位置是否合理。

(4) 根据实验任务和现场勘查,最后规定实验方案,确定实验操作程序。

2. 实验小组的分工和合作

化工原理实验一般都是由 2 人为一小组合作进行的,因此实验开始前必须做好组织工作,做到既分工,又合作;既能保证质量,又能获得全面训练。每个实验小组要有 1 个组长负责执行实验方案、联络和指挥,与组员讨论实验方案,以使每个组员各司其职(包括操作、读取数据、记录数据及现象观察等),而且要在适当的时候轮换工作。

3. 实验必须测取的数据

凡是影响实验结果或是数据整理过程中必需的数据都必须测取。它包括大气条件、设备有关尺寸、物料性质及操作数据等。但并不是所有数据都要直接测取,凡可以根据某一数据导出或从手册中查出的其他数据,就不必直接测定。例如水的密度、粘度、比热等物理性质,一般只要测出水温后即可查出,因而不必直接测定水的密度、粘度、比热,而只要测定水的温度就可以了。

4. 实验数据的读取及记录

(1) 实验开始前拟好记录表格,在表格中应记下各次物理量的名称、表示符号及单位。每位实验者都应有一专用实验记录本,不应随使用一张纸或实验讲义的空白处进行记录,要保证数据完整,条理清楚,避免记录错误。

(2) 实验时一定要等现象稳定后才开始读取数据,条件改变,要稍等一会才读取数据,这是因为条件的改变破坏了原来的稳定状态,重新建立稳态需要一定时间(有的实验甚至要花很长时间才能达到稳定),而仪表通常又有显示数据滞后现象的缘故。

(3) 每个数据记录后,应该立即复核,以免发生错读或错记数据的事故。

(4) 数据的记录必须反映仪表的精确度。一般要记录到仪表上最小分度以下位数。例如温度计的最小分度为 1°C ,若当时的温度读数为 20.5°C ,则不能记为 20°C ;若当时的温度读数刚好为 20°C ,那应该记录为 20.0°C 。

(5) 记录数据要以实验当时的实验读数为准。

(6) 实验中如果出现不正常情况,以及数据有明显误差时,应在备注栏中加以说明。

5. 实验过程中的注意点

有的实验者在做实验时,只读取数据,其他一概不管,这是不对的。实验过程中除了读取数据外,还应做好下列诸事:

(1) 操作者必须密切注意仪表指示值的变动,随时调节,务使整个操作过程都在规定条件下进行,尽量减少实验操作条件与规定操作条件之间的差距。操作人员要坚守岗位,不得擅自离职守。

(2) 读取数据后,应立即和前次数据相比较,也要和其他有关数据相对照,分析相互关系是否合理,数据变化趋势是否合理。如果发现不合理的情况,应该立即共同研究可能存在的原因,以便及时发现问题、解决问题。

(3) 实验过程中还应注意观察实验中产生的各种现象,特别是发现某些不正常现象时更应抓住时机,研究产生不正常现象的原因,排除障碍。

6. 实验数据的整理

(1) 数据整理时应根据有效数字的运算规则,舍弃一些没有意义的数字。一个数字的精确度是由测量仪表本身的精确度所决定的,它绝不因为计算时位数增加而提高。但是任意减少位数也是不许可的,因为这样做就降低了应有的精确度。

(2) 数据整理时,如果过程比较复杂,实验数据又多,一般以采用列表整理为宜,同时应将同一项目一次整理。这种整理方法既简洁明了,又节省时间。

(3) 计算示例。在所列表格下面要给出计算示例,即任取一系列数据进行详细的计算,以便检查。

7. 实验报告的编写

一份优秀的实验报告必须写得简洁明了,数据完整,交待清楚,结论正确,有讨论,有分析,得出的公式或曲线、图形有明确的实验条件。报告的内容一般包括:

(1) 报告的题目。

(2) 报告写作者及同实验小组人员的姓名。

(3) 实验的目的。

(4) 实验的理论依据。

(5) 实验设备说明(应包括流程示意图和主要设备、仪表的类型及规格)。

(6) 实验数据。应包括与实验结果有关的全部数据,报告中的实验数据不是指原始数据,而是指经过加工后用于计算的全部数据,至于原始记录则可作为附录附于报告后面。

(7) 数据整理及计算示例。其中引用的数据要说明来源,简化公式要写出导出过程,要

列出一列数据的计算过程作为计算示例。

(8) 实验结果。根据实验任务,明确提出本次实验的结论,用图示法、经验公式或列表法均可,但都必须注明实验条件。

(9) 分析讨论。要对本次实验结果做出评价,分析误差大小及原因,对实验中发现的问题等作必要的讨论,对实验方法、实验设备有何建议也可写入此栏。

1.1 流体流动阻力测定实验

1.1.1 实验目的

(1) 掌握流体流经直管和阀门时阻力损失的测定方法,通过实验了解流体流动中能量损失的变化规律。

(2) 测定直管摩擦系数 λ 与雷诺准数 Re 的关系,将所得的 $\lambda-Re$ 方程与经验公式比较。

(3) 测定流体流经阀门时的局部阻力系数 ξ 。

(4) 学会倒 U 形差压计、1151 差压传感器、Pt 100 温度传感器和转子流量计的使用方法。

(5) 观察组成管路的各种管件、阀门,并了解其作用。

(6) 掌握化工原理实验软件库(组态软件 MCGS 和 VB 实验数据处理软件系统)的使用。

1.1.2 基本原理

流体在管内流动时,由于粘性剪应力和涡流的存在,不可避免地要消耗一定的机械能,这种机械能的消耗包括流体流经直管的沿程阻力和因流体运动方向改变所引起的局部阻力。

1.1.2.1 沿程阻力

流体在水平等径圆管中稳定流动时,阻力损失表现为压力降低。即

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\Delta p}{\rho} \quad (1-1)$$

影响阻力损失的因素很多,尤其对湍流流体,目前尚不能完全用理论方法求解,必须通过实验研究其规律。为了减少实验工作量,使实验结果具有普遍意义,必须采用因次分析方法将各变量组合成准数关联式。根据因次分析,影响阻力损失的因素有:

(1) 流体性质:密度 ρ 、粘度 μ ;

(2) 管路的几何尺寸:管径 d 、管长 l 、管壁粗糙度 ϵ ;

(3) 流动条件:流速 u 。

可表示为:

$$\Delta p = f(d, l, \mu, \rho, u, \epsilon) \quad (1-2)$$

组合成如下的无因次式:

$$\frac{\Delta p}{\rho u^2} = \phi\left(\frac{du\rho}{\mu}, \frac{l}{d}, \frac{\epsilon}{d}\right) \quad (1-3)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \varphi\left(\frac{du\rho}{\mu}, \frac{\epsilon}{d}\right) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2} \quad (1-4)$$

$$\text{令} \quad \lambda = \varphi\left(\frac{du\rho}{\mu}, \frac{\epsilon}{d}\right) \quad (1-5)$$

则式 (1-1) 变为:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho} = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad (1-6)$$

式中, λ 称为摩擦系数。层流 (滞流) 时, $\lambda = 64/Re$; 湍流时 λ 是雷诺准数 Re 和相对粗糙度 ϵ 的函数, 需由实验确定。

1.1.2.2 局部阻力

局部阻力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, 因局部阻力造成的损失, 相当于流体流过与其具有相当管径长度的直管阻力损失, 这个直管长度称为当量长度, 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, 如管路中直管长度为 l , 各种局部阻力的当量长度之和为 $\sum l_e$, 则流体在管路中流动时的总阻力损失 $\sum h_f$ 为

$$\sum h_f = \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2} \quad (1-7)$$

(2) 阻力系数法

流体通过某一管件或阀门时的阻力损失用流体在管路中的动能系数来表示, 这种计算局部阻力的方法, 称为阻力系数法。

即

$$h'_f = \xi \frac{u^2}{2} \quad (1-8)$$

式中: ξ —— 局部阻力系数, 无因次;

u —— 在小截面管中流体的平均流速, m/s。

由于管件两侧距测压孔间的直管长度很短, 引起的摩擦阻力与局部阻力相比, 可以忽略不计。因此 h'_f 值可应用伯努利方程由压差计读数求取。

1.1.3 实验装置与流程

1.1.3.1 实验装置

实验装置如图 1-1 所示, 主要由高位槽, 不同管径、材质的管子, 各种阀门和管件、转子流量计等组成。第一根为不锈钢光滑管; 第二根为镀锌铁管, 分别用于光滑管和粗糙管湍流流体流动阻力的测定; 第三根为不锈钢管, 装有待测闸阀, 用于局部阻力的测定。

本实验的介质为水, 由高位水塔供给 (其位头约为 25 m), 经实验装置后的水通过地下管道流入泵房内水池, 再用泵送至高位水塔循环使用。

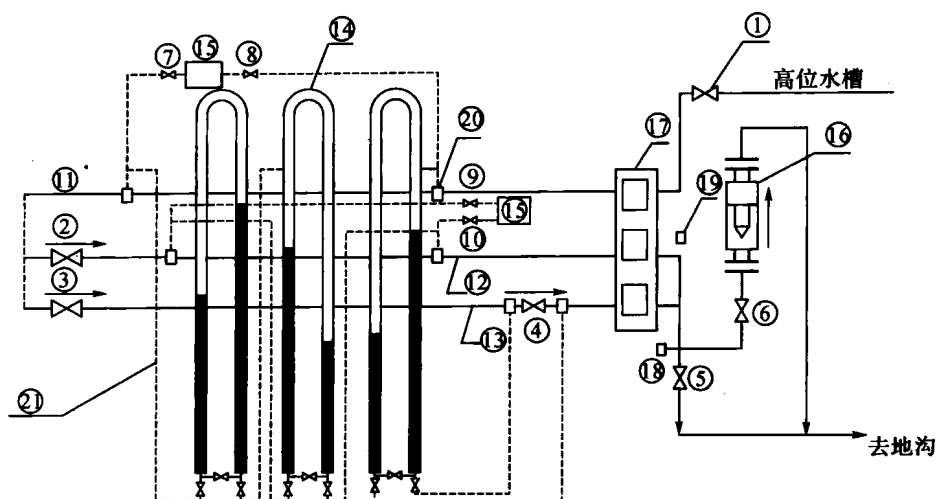


图 1-1 流体流动阻力测定实验装置图

① 进水阀 ②、③、⑤ 球阀 ④ 闸阀 ⑥ 流量调节阀 ⑦、⑧、⑨、⑩ 考克
 ⑪ 光滑管 ⑫ 粗糙管 ⑬ 不锈钢管 ⑭ 倒 U 形差压计 (3 个) ⑮ 1151 差压传感器
 ⑯ 转子流量计 ⑰ 仪表箱 ⑱ Pt 100 温度传感器 ⑲ 温度计 ⑳ 均压环 ㉑ 测压导管

水流量采用装在测试装置尾部的转子流量计来测量,直管段和闸阀的阻力分别用各自的倒 U 形差压计或 1151 差压传感器和数显仪表测得。倒 U 形差压计的使用方法见 4.2.1 节。

1.1.3.2 装置结构尺寸

装置结构尺寸如表 1-1 所示。

表 1-1 流体流动阻力测定装置结构尺寸

名 称	材 质	管内径/m				测试段长度/m
		装 置 号				
		(1)	(2)	(3)	(4)	
光滑管	不锈钢管	32.06	32.05	32.20	32.10	2.0
粗糙管	镀锌铁管	36.69	36.68	36.67	36.63	
局部阻力	不锈钢管	26.65	28.60	28.61	28.62	—

1.1.4 实验步骤及注意事项

1.1.4.1 实验步骤

- (1) 熟悉实验装置系统。
- (2) 打开进水阀①,水来自带溢流装置的高位槽。
- (3) 打开阀②、③、④、⑤、⑥排尽管道中的空气,然后关阀⑤、⑥。
- (4) 在管道内水静止(零流量)时,按 4.2.1.1 4) 的倒 U 形差压计的使用方法,将三个倒 U 形差压计调节到测量压差正常状态。
- (5) 打开考克⑦、⑧、⑨、⑩排尽 1151 差压传感器的测压导管内的气泡,然后关闭考克。

打开 1151 差压传感器数据测量仪电源,记录零点数值(或校零、校零由指导教师完成)。

(6) 关闭阀②,打开阀⑥并调节流量使转子流量计的流量示值(转子最大截面处对应的刻度值)分别为 2,3,4,⋯,10 m³/h,测得每个流量(8~9 个点)下对应的光滑管和粗糙管的阻力(压差 mmH₂O,1 mmH₂O=9.807 Pa),分别记下倒 U 形差压计和 1151 差压传感器测量仪表的读数。

注意:调节好流量后,需等一段时间,待水流稳定后才能读数,测完后关闭⑥。

(7) 关闭阀②,打开阀③,测得闸阀全开时的局部阻力。(流量设定为 2,3,4 m³/h,测三个点对应的压差,以求得平均的阻力系数)。

(8) 实验结束后打开系统排水阀⑤,排尽水,以防锈和冬天防冻。

1.1.4.2 注意事项

开启、关闭管道上的各阀门及倒 U 形差压计上的阀门时,一定要缓慢开关,切忌用力过猛过大,防止测量仪表因突然受压、减压而受损。

1.1.5 实验报告

(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公式,即可确定该管的相对粗糙度和绝对粗糙度。

(2) 根据光滑管实验结果,在双对数坐标纸上标绘出 $\lambda-Re$ 曲线,并对照柏拉修斯方程,计算其误差。

(3) 根据局部阻力实验结果,求出闸阀全开时的平均 ξ 值。

(4) 对实验结果进行分析讨论。

1.1.6 思考题

(1) 在对装置做排气工作时,是否一定要关闭流程尾部的流量调节阀?为什么?

(2) 如何检验测试系统内的空气是否已经被排除干净?

(3) 以水做介质所测得的 $\lambda-Re$ 关系能否适用于其他流体?如何应用?

(4) 在不同设备上(包括不同管径),不同水温下测定的 $\lambda-Re$ 数据能否关联在同一条曲线上?

(5) 如果测压口、孔边缘有毛刺或安装不垂直,对静压的测量有何影响?

1.1.7 实验数据记录及数据处理结果示例

表 1-2 流体流动阻力测定实验数据示例

实验装置:3# 管长 $l = 2\text{ m}$ 水温:15℃

实验序号	流量/(m ³ /h)	光滑管压差/mmH ₂ O 管径 $d = 0.032\ 20\text{ m}$	粗糙管压差/mmH ₂ O 管径 $d = 0.036\ 67\text{ m}$	闸阀(全开)阻力/mmH ₂ O 管径 $d = 0.028\ 61\text{ m}$
1	1.5	35	22	
2	2	57	38	11.5
3	2.5	85	54	18.0

续表 1-2

实验序号	流量/(m ³ /h)	光滑管压差/mmH ₂ O 管径 $d = 0.032\ 20\ \text{m}$	粗糙管压差/mmH ₂ O 管径 $d = 0.036\ 67\ \text{m}$	闸阀(全开)阻力/mmH ₂ O 管径 $d = 0.028\ 61\ \text{m}$
4	3	117	73	26.0
5	3.5	160	96	
6	4	202	125	
7	4.5	246	157	
8	5	298	196	
9	5.5	352	229	
10	6	420	273	

计算结果:

表 1-3 流体流动阻力测定实验示例结果

实验次数	流量/(m ³ /h)	$Re_{\text{光滑管}}$	$\lambda_{\text{光滑管exp}}$	$Re_{\text{粗糙管}}$	$\lambda_{\text{粗糙管exp}}$	$\lambda_{\text{粗糙管cal}}$
1	1.5	1.46×10^4	0.0273	1.29×10^4	0.0318	0.0303
2	2	1.95×10^4	0.0250	1.73×10^4	0.0309	0.0286
3	2.5	2.44×10^4	0.0239	2.16×10^4	0.0281	0.0274
4	3	2.93×10^4	0.0228	2.59×10^4	0.0264	0.0266
5	3.5	3.42×10^4	0.0229	3.02×10^4	0.0255	0.0260
6	4	3.90×10^4	0.0222	3.45×10^4	0.0254	0.0255
7	4.5	4.39×10^4	0.0213	3.88×10^4	0.0252	0.0251
8	5	4.88×10^4	0.0209	4.31×10^4	0.0255	0.0248
9	5.5	5.37×10^4	0.0204	4.75×10^4	0.0246	0.0245
10	6	5.86×10^4	0.0205	5.18×10^4	0.0247	0.0243

图形:

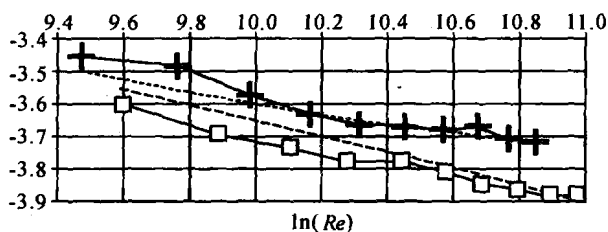


图 1-2 实验处理结果

+ 粗糙管实验值 ---- 粗糙管理论值
 -□- 光滑管实验值 ---- 光滑管理论值

闸阀(全开)阻力系数(理论上) = 0.5

1.2 离心泵性能特性曲线测定实验

1.2.1 实验目的

- (1) 了解离心泵结构与特性,学会离心泵的操作。
- (2) 测定恒定转速条件下离心泵的有效扬程(H)、轴功率(N)以及总效率(η)与有效流量(V)之间的曲线关系。
- (3) 测定改变转速条件下离心泵的有效扬程(H)、轴功率(N)以及总效率(η)与有效流量(V)之间的曲线关系。
- (4) 测定串联、并联条件下离心泵的有效扬程(H)、轴功率(N)以及总效率(η)与有效流量(V)之间的曲线关系。
- (5) 掌握离心泵流量调节的方法(阀门、转速和泵组合方式)和涡轮流量传感器及智能流量积算仪的工作原理和使用方法。
- (6) 学会轴功率的两种测量方法:马达天平法和自动扭矩法。
- (7) 了解电动调节阀、压力传感器和变频器的的工作原理和使用方法。
- (8) 学会化工原理实验软件库(组态软件 MCGS 和 VB 实验数据处理软件系统)的使用。

1.2.2 基本原理

离心泵的特性曲线是选择和使用离心泵的重要依据之一,其特性曲线是在恒定转速下扬程 H 、轴功率 N 及效率 η 与流量 V 之间的关系曲线,它是流体在泵内流动规律的外部表现形式。由于泵内部流动情况复杂,不能用数学方法计算这一特性曲线,只能依靠实验测定。

1.2.2.1 流量 V 的测定与计算

采用涡轮流量计测量流量,智能流量积算仪显示流量值 $V \text{ m}^3/\text{h}$ 。

1.2.2.2 扬程 H 的测定与计算

在泵进、出口取截面列伯努利方程:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_2 - Z_1 + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \quad (1-9)$$

式中: p_1, p_2 —— 分别为泵进、出口的压强, N/m^2 ;

ρ —— 液体密度, kg/m^3 ;

u_1, u_2 —— 分别为泵进、出口的流速, m/s ;

g —— 重力加速度, m/s^2 。

当泵进、出口管径一样,且压力表和真空表安装在同一高度,上式简化为:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} \quad (1-10)$$