

417

TQ02-33
WY1

●高等学校教材

化工原理实验

伍 钦 邹华生 高桂田 编

华南理工大学出版社

·广州·

内 容 简 介

本书是适应理工科院校实验课教学改革的要求编写的,既包括常规验证性实验,如雷诺实验、柏努利方程实验等,又增加了一些演示实验,如电除尘实验、旋风分离器实验等。同时,随着计算机在实验教学领域的广泛应用,引入计算机仿真实验,如离心泵仿真实验、管道阻力仿真实验以及计算机在实验测控中的应用实验等。另外,还补充了新型传质分离技术实验,如气体膜分离实验、超临界 CO₂ 萃取实验等。书中内容新颖实用,具有较强的可操作性,适合作为高等院校化工、环境、食品、冶金等相关专业的本、专科教材及相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/伍钦,邹华生,高桂田编. —广州:华南理工大学出版社, 2001.8

ISBN 7-5623-1706-2

I. 化… II. ①伍…②邹…③高… III. 化工原理-实验-高等学校-教材
IV. TQ02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 049022 号

总发行: 华南理工大学出版社 (广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

发行电话: 020-87113487 87111048 (传真)

E-mail: scut202@scut.edu.cn <http://www2.scut.edu.cn/press>

责任编辑: 胡元

印刷者: 广州市新明光印刷有限公司印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.5 字数: 220 千

版次: 2001 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1~4000 册

定价: 17.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

化工原理实验是在修习化工原理理论课的基础上进行的一个实践性环节，要求学生运用已学过的知识验证一些结论、结果和现象等，或综合运用已学过的理论知识设计实验或进行综合性的实验，目的是训练学生理论知识的运用能力、实验操作技能、仪器仪表的使用能力、实验数据的处理和分析能力。

当前，对实验的改革呼声很高，十分强调培养学生的“知识、能力、素质”，发挥学生的“主动性”、“主体性”，让学生去创造、去设计设计型和综合型实验。然而，实验室在多大程度上向学生开放，设计型、综合型实验要求学生达到何种程度仍然是一个值得探讨的问题。

本教材的立足点是：要求学生在规定的时间内完成规定的实验，主要是验证性实验，包括雷诺实验、柏努利实验、阻力实验、离心泵实验、过滤实验、传热实验、蒸馏实验、吸收实验及干燥实验。为了增加学生的感性认识，开设了一些演示实验。随着科学技术的发展，计算机的应用越来越重要，我们开设了计算机数据采集的综合性实验：阻力及离心泵计算机自动控制及数据分析系统实验，传热实验的计算机数据采集、控制和数据分析系统，以及化工原理实验计算机仿真。在新型分离技术方面我们增加了分子蒸馏、超临界萃取、流态化干燥、喷雾干燥和气体膜分离等实验作为本科生研究性实验。此外，还专门列一章介绍常用仪器仪表，目的是在实验所涉及的范围，能够方便查阅所需要的仪器仪表。

另外，为方便现有实验仪器的继续使用，暂保留一些非法定计量单位。

本书供本科生作为化工原理实验的配套教材，也可作为相关专业的专科生实验教材；同时，还可为相关的实验室工作人员和设计人员提供参考。

本书主要参考了老健正、梅慈云教授编著的《化工原理实验指导》，同时也参考了其他院校的有关教材。

本书是在钟理教授的倡议下编写，并得到梅慈云教授的关心和支持。

本书各章执笔者：前言、附录伍钦，第一章李小莹、钟燕嫦，第二章伍

钦、邹华生、李小莹、钟燕嫦，第三章伍钦，第四章高桂田，第五章邹华生、李小莹、吕扬效，第六章伍钦，全书由伍钦统稿。

本书由梅慈云教授审稿。

编者

2001年3月

目 录

第一章 实验基础知识	(1)
第二章 化工原理实验	(8)
实验一 雷诺实验.....	(8)
实验二 柏努利方程实验	(10)
实验三 管道阻力的测定	(13)
实验四 离心泵性能的测定	(16)
实验五 阻力、泵实验的计算机自动控制及数据分析系统	(18)
实验六 过滤实验	(26)
实验七 强制对流下空气传热膜系数的测定	(28)
实验八 传热实验的计算机数据采集及控制	(33)
实验九 精馏实验	(37)
实验十 吸收实验	(43)
实验十一 干燥实验	(53)
第三章 演示实验	(58)
实验一 电除尘演示实验	(58)
实验二 旋风分离器演示实验	(60)
实验三 边界层仪演示实验	(61)
实验四 筛板塔演示实验	(62)
实验五 浮动喷射塔演示实验	(63)
实验六 浮阀塔演示实验	(64)
第四章 化工原理实验计算机仿真	(66)
实验一 离心泵仿真实验	(67)
实验二 管道阻力仿真实验	(70)
实验三 传热仿真实验	(73)
实验四 流体流动型态仿真实验	(76)
实验五 柏努利方程演示实验	(79)
实验六 吸收仿真实验	(80)
实验七 干燥仿真实验	(84)
实验八 精馏仿真实验	(87)
第五章 新型传质分离技术实验	(91)
实验一 气体膜分离实验	(91)
实验二 超临界 CO ₂ 萃取实验	(95)

实验三	分子蒸馏实验	(100)
实验四	喷雾干燥实验	(105)
实验五	流态化干燥实验	(109)
第六章	常用仪器仪表	(113)
第一节	压力计	(113)
第二节	流量计	(116)
第三节	温度计	(129)
附录		(139)
附录一	管子、管件的种类、用途及其联接方法	(139)
附录二	酒精-水体系的物理常数	(143)
附录三	氨-水体系的物理常数	(145)
参考文献		(146)

第一章 实验基础知识

一、从事科学实验的基本态度

进行化工原理实验或进行任何其他的科学实验，实验人员首先要具有一种最基本的态度——实事求是的态度。

这里所说的“实事求是”就是说要把实验中所观测到的现象、数据、规律忠实地记录下来，把它们当作第一手材料来对待。科学推理要以实验观测为依据，科学理论要用实验观测来检验，因此记录下来的应该是实际观测到的情况，而不能在任何理由下加以编造、修改或歪曲。例如某个参数根据理论计算其值应该是 100，而在实验中测到只是 90，那该怎么办呢？还是应把 90 的值记录下来，然后再去找原因，而不能用任何其他数字来搪塞。

实验中直接观察到的现象和数字，当然也可能不够准确，也可能有错误，但是某次实验是不是可靠只能通过反复多次的实验来核对，不能以“与书本上已有的陈述不符”或“与依据某种理论的计算结果不符”为由就来修改记录或取消某次记录。对待实验观测必须严肃认真，决不能随便记录某个数字，更不能随便更改某个数字。

我们特别强调这一点，因为只有具备了这种最基本的态度，其实验工作才可能为自己、为别人提供有意义的材料，因为只有具备了这种基本态度，才可能充分理解化工原理实验的实验守则，才能理解为什么要对实验工作提出如下的那么多项要求，才能积极主动地根据这些要求来工作，并得到正确的训练，使自己不断提高科学实验技能。

二、有关从事实验的基础知识

实验的各个步骤都是为了一个初步目的，即提出一个有某种实用意义或参考意义的实验报告，因此我们所进行的训练、所介绍的实验基础知识也都要从这一点来掌握、来要求。

既然如此，那就要在实验报告中把实验任务、实验观测的结果用表、图、公式、文字描述出来，并将讨论结果简练、明确地表达出来，不能含糊，要使阅读者一目了然。除此以外还必须做到：①数据是可靠的，对实验方案要认真考虑，认真做实验，认真记录数据，实验前做好准备，实验时精力要集中；实验是负责的，要将实验方案如实解释说明以供阅读者进行审查，看实验方案是否合理。②实验记录要有校核的可能，要清楚说明实验的时间、地点、条件和同时做实验的人员。为了保证能做出合格的报告，对实验过程中各个步骤、各个问题，提出如下的说明和具体要求：

1. 准备实验

(1) 阅读实验指导书，弄清本实验的目的与要求。

(2) 根据本次实验的具体任务，研究实验的做法及其理论根据，分析应该测取哪些数据，并估计实验数据的变化规律。

(3) 到现场观看设备流程、主要设备的构造、仪表种类和安装位置，审查这种设备是否合适，了解它们的启动和使用方法（但不要擅自启动，以免损坏仪表设备或发生其他事故）。

(4) 根据实验任务及现场设备情况或实验室可能提供的其他条件，最后确定应该测取的数据。

(5) 拟定实验方案，决定先做什么，后做什么，弄清操作条件、设备的启动程序以及如何调整。

2. 组织实验

本课程的实验一般都是几个人合作完成，因此实验时必须做好组织工作，既有分工，又有合作，既能保证实验质量，又能获得全面训练。每个实验小组要有一个组长，组长负责实验方案的执行、联络和指挥。实验方案应该在组内讨论，使得人人知晓，每个组员都应各有专责（包括操作、读取数据及现象观察等），而且要在适当时间进行轮换（操作要求较高的实验可以不在实验中轮换，而在演习时加以训练）。

3. 测取实验数据

(1) 凡是影响实验结果或在数据整理过程中所必需的数据都要测取，包括大气条件、设备有关尺寸、物料性质以及操作数据等。

(2) 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，不必直接测定。例如水的粘度、密度等物理性质，一般只要测出水温后即可查出，因此不必直接测定水的粘度、密度，而应该改测水温。

4. 读取数据、做好记录

(1) 事先必须拟好记录表格（只负责记某一项数据的，也要列出完整的记录表格），在表格中应记下各项物理量的名称、表示符号和单位。每个学生都应有一个实验记录本，不应随便拿一张纸就记录，要保证数据完整、条理清楚，避免张冠李戴的错误。

(2) 实验时一定要在现象稳定后才开始读数据，条件改变后，要稍等一会儿才能读取数据，这是因为稳定需要一定时间（有的实验甚至要很长时间才能达到稳定），而仪表通常又存在滞后现象的缘故。不要条件一改变就测数据，引用这种数据做报告，结论是不可靠的。

(3) 同一条件下至少要读取两次数据，而且只有当两次读数相接近时才能改变操作条件，以便在另一条件下进行观测。

(4) 每个数据记录后，应该立即复核，以免发生读错或写错数字等现象。

(5) 数据记录必须真实地反映仪表的精确度，一般要记录至仪表上最小分度以下一位数。例如温度计的最小分度为 1°C ，如果当时温度读数为 24.6°C ，这时就不能记为 25°C ，如果刚好是 25°C 整，则应记为 25.0°C ，而不能记为 25°C ，因为这里有一个精确度的问题。一般记录数据中末位都是估计数字，如果记录为 25°C ，它表示当时温度可能是 24°C ，也可能是 26°C ，或者说它的误差是 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，而 25.0°C 则表示当时温度是介乎 $24.9 \sim 25.1^{\circ}\text{C}$ 之间，它的误差是 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。但是，用上述温度计时也不能记为

24.58℃，因为它超出了所用温度计的精确度。

(6) 记录数据要以当时的实际读数为准，例如规定的水温为 50.0℃，而读数时实际水温为 50.5℃，就应该记 50.5℃。如果数据稳定不变，也应照常记录，不得空下不记；如果漏记了数据，应该留出相应空格。

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

5. 实验过程注意事项

有的学生在做实验时，只管读取数据，其他一概不管，这是不对的。实验过程中除了读取数据外，还应做好下列工作：

(1) 进行操作者，必须密切注意仪表指示值的变动，随时调节，务必使整个操作过程都在规定条件下进行，尽量减小实验操作条件和规定操作条件之间的差距。操作人员不要擅离岗位。

(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。如果发现不合理的情况，应立即同小组成员查找原因，明确是自己知识错误，还是测定的数据有问题，以便及时发现问题，解决问题。

(3) 实验过程中还应注意观察过程现象，特别是发现某些不正常现象时更应抓紧时机，研究产生不正常现象的原因。

6. 整理实验数据

(1) 同一条件下，如有几次比较稳定但稍有波动的数据，应先取其平均值，然后加以整理。不必先逐个整理后取平均值，以节省时间。

(2) 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。一个数据的精确度是由测量仪表本身的精确度所决定的，它绝不会因为计算时位数增加而提高。但是，任意减少位数却是不允许的，因为它降低了应有的精确度。

(3) 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法为宜，同时应将同一项目一次整理。这种整理方法不仅过程简单明了，而且节省时间。

(4) 要求以一次数据为例子，把各项计算过程列出，以便检查。

(5) 数据整理时还可以采用常数归纳法，将计算公式中的常数归纳，作为一个常数看待。例如计算固定管路中流速改变后的雷诺数的数值时，因为 $Re = \frac{du\rho}{\mu}$ ， $u = \frac{V}{\frac{\pi}{4}d^2}$ ，

故 $Re = \frac{4\rho V}{\pi d\mu}$ ，而 d 、 ρ 、 μ 在实验中均不变化，可作常数处理，令 $B = \frac{4\rho}{\pi d\mu}$ ，则 $Re = BV$ ，计算时先求出 B 值，依次代入 V 值，即可求出相应的 Re 值，这样可以大大提高计算速度。

7. 编写实验报告

一份好的实验报告，必须写得简单明白、一目了然，这就要求数据完整，交待清楚，结论明确，有讨论，有分析，得出的公式或线图有明确的使用条件。报告的格式虽然不必强求一致，但一般应包括下列各项：

- (1) 报告的题目 (要简明确切)。
- (2) 写报告人及共同测定人员的姓名。
- (3) 实验任务。
- (4) 实验原理。
- (5) 实验设备说明 (包括流程示意图和主要设备、仪表的类型及规格)。
- (6) 实验数据记录 (包括原始数据记录表格和整理后的数据记录表格)。
- (7) 数据整理及计算示例, 引用其中一组数据 (要注明来源), 要列出这组数据的计算过程, 作为计算示例。
- (8) 实验结果, 要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, 但都要注明实验条件。
- (9) 分析讨论, 要对实验结果作出估计, 分析误差大小及原因, 对实验中发现的问题应进行讨论, 对实验方法、实验设备有何改进建议也可写入此栏。
- (10) 回答思考题。

三、实验误差分析及数据处理

由于种种原因, 测量实验所得数值和真值之间, 总存在一定的差异 (即使是非常精密的仪器, 也只能测出真值的近似值), 这种差异在数值上表现为误差。对测量误差进行估计和分析, 对评判实验结果和设计方案具有重要的意义, 是我们应该熟练掌握的内容。

(一) 测量误差的基本概念

1. 真值与平均值

任何一个被测量对象的物理量总具有一定的客观真实值——真值, 但真值一般不能直接测出。实验科学给真值下了这样一个定义: 无限多次的观察值的平均值, 称为真值。由于实验观测的次数是有限的, 因此有限次数观测值的平均值只能接近于真值, 称为最佳值。实际工作中, 一般取高一级的仪器的示值作为真值。

2. 绝对误差与相对误差

①绝对误差: 用测量值 x 减去真值 A , 所得余量 Δx 为绝对误差。记为

$$\Delta x = x - A \quad (1-1)$$

②相对误差: 衡量某一测量值的准确度的高低, 应该用相对误差 δ 来表示。记为

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

3. 误差的性质及其分类

①系统误差: 系统误差是指在测量或实验过程中未发觉或未确认的因子所引起的误差。这些因子影响的结果永远朝一个方向偏移, 其大小及符号在同一组实验测量中完全相同, 在条件改变时, 按某一确定规律变化。例如水银温度计的零位变动偏高了 0.2°C , 用这支温度计进行多次测量, 每次都会偏高 0.2°C 。

②随机误差 (或称偶然误差): 随机误差是指在相同条件下测量同一量时, 误差的绝对值时大时小, 其符号时正时负, 没有确定的规律, 也不可预测, 但具有抵偿性的误

差。如果对某一量作多次的精度测量，还会发现随机误差完全服从统计规律，误差的大小或正负的出现完全由概率决定。因此，随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋近于零。所以，多次测量的算术平均值将更接近于真值。

③ 过失误差（或称粗差）：粗差往往是由于操作错误引起的，常表现为误差特别大。由于这是人为产生，只要精心操作便可避免，故这类误差在数据处理时应予以剔除。

（二）实验数据整理

1. 有效数字的概念

在测量和实验的数据处理中，应该用几位数字来表示测量和实验结果，这是一个很重要的问题。那种认为小数点后面的数字越多越准确或者是运算结果保留的位数越多越准确的想法是错误的。测量值所取的位数，应正确反映所用的仪器和测量的方法可能达到的精度。

记录测量数值时，一般只应也只能保留一位估计数字。例如，微压计的读数为 125.7mmHg^* ，前三位数字125是准确知道的，0.7是估计读出的。为了能清楚地表示出数据的准确度和方便运算，可将读取的数据写成指数的形式。在第一位有效数字后加小数点，而其数值数量级则由10的幂次方来确定。比如刚才读的 125.7mmHg ，可记为 $(1.257 \times 10^2)\text{mmHg}$ ，它表示其有效安全数字为四位。这时，即使有效安全数字末位为零，也要记取。例如，微压计读数恰为 $125.0\text{mmH}_2\text{O}^*$ ，可记为 $(1.250 \times 10^2)\text{mmH}_2\text{O}$ 。

如果是非直接测量值，即必须通过中间运算才得到结果的数据，可按有效数字的运算规则进行运算。

（1）加法运算：在各数中，以小数位数最少的数为准，其余各数均凑成比该数多一位。

$$\begin{aligned} \text{例如：} & 60.4 + 2.02 + 0.222 + 0.0467 \\ & \rightarrow 60.4 + 2.02 + 0.22 + 0.05 = 62.69 \end{aligned}$$

（2）减法运算：当相减的数差得较远时，有效数字的处理与加法相同。但如果相减的数非常接近，这样相减则失去若干有效数字。因此，除了保留应该保留的有效数字外，应对计算方法或测量方法加以改进，使之不出现两个相接近的数相减的情况。

（3）除法运算：在各数中，以有效数字位数最少的数为准，其余各数及积（或商）均凑成比该数多一位。

$$\begin{aligned} \text{例如：} & 603.21 \times 0.32 \div 4.011 \\ & \rightarrow 603 \times 0.32 \div 4.01 = 48.1 \end{aligned}$$

（4）计算平均值：若为四个或超过四个数相平均，则平均值的有效数字位数可增加一位。

（5）乘方及开方运算：运算结果比原数据多保留一位有效数字。

$$\text{例如：} 25^2 = 625, \sqrt{4.8} = 2.19$$

* $1\text{mmHg} = 133.32\text{Pa}$, $1\text{mmH}_2\text{O} = 9.81\text{Pa}$, 下同。

(6) 对数运算：取对数前后的有效数字位数应相等。

例如： $\lg 2.345 = 0.3701$ ， $\lg 2.3456 = 0.37025$

2. 实验数据的处理

化工原理实验测量多数是间接测量，实验数据一般处理的程序是：首先将直接测量结果按前后顺序列出表格，然后计算中间结果、间接测量结果及其误差；然后将这些结果列成表格；最后按实验要求将结果用图形表示出来，或者用经验公式表示。

(1) 实验曲线的绘制

实验数据图形表示法的优点是直观清晰，便于比较，容易看出数据中的极值点、转折点、周期性、变化率以及其他特性。实验曲线也有助于我们找出它的数学模型。

根据数据作图，通常要考虑如下问题。

①坐标系的选择：化工专业常用的坐标有直角坐标、对数坐标和半对数坐标等，根据数的关系或预测的函数形式进行选择。如是线性函数，采用直角坐标；如是幂函数，采用对数坐标以使图形线性化；指数函数则采用半对数坐标；若自变量或者因变量中的一个最小值与最大值之间数量级相差太大时，亦可以选用半对数坐标。

例如对于函数 $y = ae^{bx}$ ，可用 y 为对数分度、 x 为直线分度的半对数坐标，因为

$$\ln y = \ln a + bx$$

而对于抛物线 $y = ax^b$ 应采用双对数坐标，如图 1-1 所示，因为：

$$\lg y = \lg a + b \lg x \quad (1-3)$$

式 (1-3) 是一条直线式。

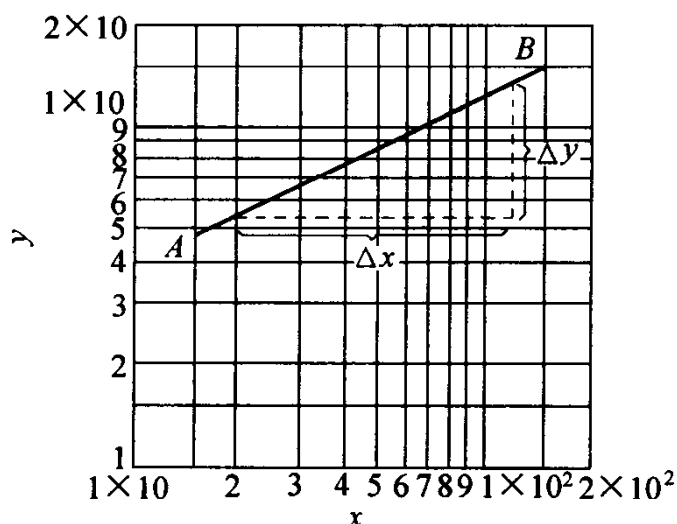


图 1-1 双对数坐标系

应该清楚地看到，在对数坐标上，标出的数值为真数，原点应该是 1 而不是 0，又由于 1、10、100 等的常用对数分别为 0、1、2 等，所以在坐标纸上，每一数量级的距离是相等的。由于是真数标值，所以求取直线的斜率时，不能直接用标度数值计算，而应该用它的对数。设斜率为 K ，则

$$K = \frac{\lg y_2 - \lg y_1}{\lg x_2 - \lg x_1}$$

②坐标的分度：坐标的分度应与实验数据的有效数字大体相符，最适合的分度是使

实验曲线坐标读数和实验数据具有同样的有效数字位数。其次，横、纵坐标之间的比例不一定取得一致，应根据具体情况选择，使实验曲线的坡度介于 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间，这样的曲线坐标读数准确度较高。

(2) 经验公式的确定

经验公式法又称数学模型法，它直观地描述了过程或现象的自变量和因变量之间的关系，也是一种重要的方法，尤其在广泛应用计算机的今天。

通常多采用图形比较法，即将实验数据绘成实验曲线，并与典型曲线相对比，看实验曲线与哪种函数曲线相似，就取哪种函数为经验公式的类型。

(3) 经验公式中待定系数的确定

凡可以在普通坐标系上把数据标绘成直线或经过适当变换后在对数坐标系上可化为直线时，均可以采用直线图解法求常数（求斜率或求截距后根据相互关系计算出来）。

除直线图解法外，还有分组平均法、最小二乘法等。直线图解法最简单，但精度较差；最小二乘法计算复杂，但精度较高。所以，如果使用电子计算机计算，采用最小二乘法可以达到又快又好的效果。

第二章 化工原理实验

实验一 雷诺实验

一、实验目的

- (1) 建立“层流和湍流两种流动型态和层流时管路中流速分布”的感性知识；
- (2) 确立“层流、湍流与 Re 之间有一定联系”的概念。

二、实验任务

- (1) 先作演示实验，观察以下三种现象：

层流、湍流、层流时流速分布曲线的形成。

(2) 维持高位槽液面稳定的情况下，测定不同流动型态的雷诺数。

(3) 测取管中水流从层流转变为湍流时 Re 的临界值，比较和分析下面两种情况的实验结果：

① 停止向水槽注水以保持液面平静（但随着槽中的水由管路流出，液面高度稍有下降）。

② 保持水槽液面高度不变（在水槽排水的同时不断注水入槽，在此情况下，液面有扰动）。

三、实验装置

实验装置如图 2-1 所示，图中大槽为高位水槽，试验时水由此进入玻璃管（玻璃管系供观察流体流动型态和层流时管路中流速分布之用）。槽中水由自来水管供应，水量由阀 A 控制，槽内设有进水稳流装置及溢流箱，用以维持

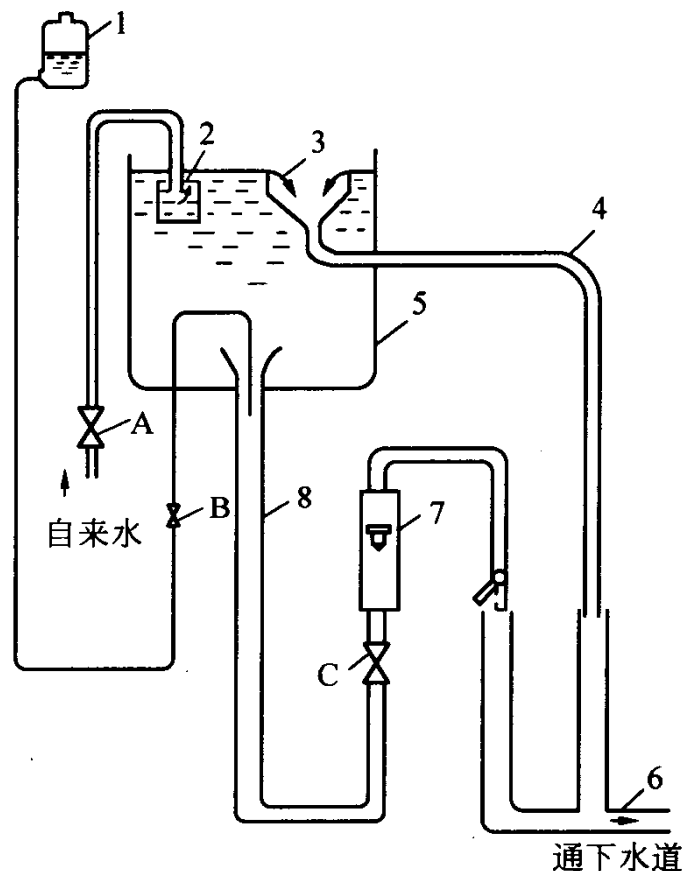


图 2-1 流体流动型态实验装置流程图
1—高位墨水瓶；2—进水稳流装置；3—溢流箱；
4—溢流管；5—高位水槽；6—排水管；
7—转子流量计；8—玻璃管

平稳而又恒定的液面，多余水由溢流管排入下水道。

四、实验操作

该实验需要特别注意的是，避免其他因素对流体流动时流态的干扰。

实验时打开阀 C，水即由高位槽进入玻璃管，经转子流量计后，排向排水管，可用阀 C 调节水量，控制流体的流动型态。流量由转子流量计测取。

高位墨水瓶供贮存墨水用，墨水由此经阀 B 流入玻璃管，阀 B 是墨水的调节阀，用以调节所观察流线的粗细。实验时调节它以便获得最佳的观察效果。

在完成第 3 项实验任务时，最好先观测液面平静时的 Re 临界值，然后再开高位水槽的进水阀，以便在维持液面高度不变的条件下观察，因为为了维持液位高度不变而先开进水阀进水，液面的平静被扰乱，再要平静下来需要很长的时间。

在开启高位槽的进水阀时，应注意控制进水量，使其稍大于用水量即可（此时可以看到溢流管有少许水量溢下）。否则，如果进水量太大，溢流量太多，在大量溢流的干扰下，液面波动严重，必然影响实验效果。

五、实验记录

设备编号_____，管子内径_____ mm，

水温_____℃，水的密度_____ kg/m^3 ，水的粘度_____ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

项 目 序 号	流速测定			雷诺数 Re	流动型态	
	转子流量 计读数	流量 V (L/s)	流速 u (m/s)		实际观察到的 流动型态	根据 Re 作 出的判断
1						
2						
3						
4						
5						
6						

六、思考题

(1) 影响流体流动型态的因素有哪些？

(2) 如果管子不是透明的，不能用直接观察来判断管中的流体流动型态，你认为可以用什么办法来判断？

(3) 有人说可以只用流速来判断管中流体流动型态，流速低于某一具体数值时是层流，否则是湍流，你认为这种看法对否？在什么条件下可以由流速的数值来判断流动型态？

实验二 柏努利方程实验

一、实验目的

通过实验加深对流体流动中各种能量、压头的概念及各种能量之间相互转换关系的理解，在此基础上掌握柏努利方程。

二、实验任务

- (1) 测量几种情况下的压头，并作分析比较。
- (2) 测定管中水的平均流速和不同管径处的点速度，并作比较。

三、实验装置

实验设备（见图 2-2）由玻璃管、测压管、活动测压头、水槽、水泵等组成。活动测压头的小管端部封闭，管身开有小孔，小孔轴心线与玻璃管中心线垂直，并与测压管相通，转动活动测压头就可以分别测量动压头、静压头。

该实验管路分成四段，由管径大小不同的两种规格的玻璃管组成。管段内径分别为 24 mm 和 13 mm。第四段的位置比第三段低 5 cm，准确的数值标注在设备上，阀 A 供调节流量之用。

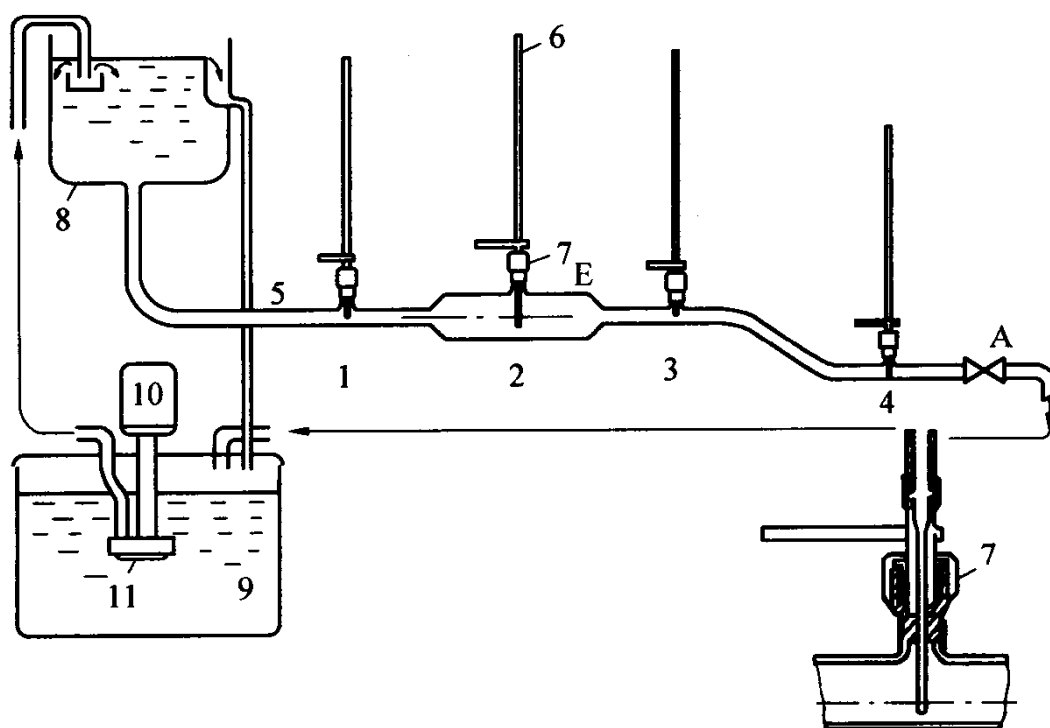


图 2-2 ZB-1 型柏努利方程实验装置流程图

- 1, 3, 4—玻璃管（内径约为 13mm）；2—玻璃管（内径约为 24mm）；5—溢流管；
6—测压管；7—活动测压头；8—高位槽；9—水槽；10—电动机；11—水泵

四、基本概念

(1) 流动的流体具有位能、动能、压力能，它们可以相互转换。粘度为零的理想流体，因为不存在摩擦损失，因此在同一管路的任何截面上，尽管三种机械能彼此不一定相等，但这三种机械能的总和是相等的。

(2) 实际流体因为存在内摩擦，流动过程中总有一部分机械能因摩擦和碰撞，使部分能量转化为热能。转化为热能的机械能不能恢复的，因而被损失掉。所以对实际流体来说，两个截面上的机械能的总和是不相等的，两者的差额就是流体在这两个截面之间因摩擦和碰撞损失了的机械能。因此，在进行机械能的衡算时，必须将这部分损失的机械能加到下游的截面上去，流体在两截面上的机械能总和才相等。

(3) 上述几种机械能都可以用测压管中的一段液体柱的高度来表示。在流体力学中，把表示各种机械能的流体柱高度称之为“压头”。表示位能的，称为位压头 $H_{位}$ ；表示动能的，称为动压头（或速度压头） $H_{动}$ ；表示压力能的，称为静压头（或压强压头） $H_{静}$ ；损失的机械能称为损失压头（或摩擦压头） $H_{损}$ 。

(4) 当测压管上的小孔（即测压孔的中心线）与水流方向垂直时，测压管内液位高度（从测压孔算起）即为静压头，它反映测压点处液体压强的大小。测压孔处液体的位压头则由测压孔的几何高度决定。

(5) 当测压孔转为正对水流方向时，测压管内液位将因此上升，所增加的液位高度，即为测压孔处液体的动压头，它反映出该点水流动能的大小。这时测压管内液位总高度则为静压头与动压头之和。

(6) 任何两个截面上，位压头、动压头、静压头三者总和的差值即为损失压头，它表示液体流经这两个截面之间时机械能的损失。

五、实验操作

(1) 关闭阀 A，旋转测压管，观察并记录不同情况下各测压管中的液位高度 H 。

(2) 开动循环水泵，将阀 A 开至一定大小，将测压孔转到正对水流方向，观察并记录各测压管的液位高度 H' 。

(3) 不改变测压孔位置，继续开大阀 A，观察测压管液位变化，并记录各测压管液位高度 H'' 。

(4) 不改变阀 A 开度，将测压孔旋转至与水流方向垂直，观察液位变化，并记录各测压管的液位高度 H''' 。

(5) 调节阀 A 至一定开度，用量筒、秒表测定这时的体积流量（测两次，取平均值）。在不改变阀 A 开度的情况下，将 2、3 点处的测压孔先后转到正对水流方向和垂直水流方向，分别记录 2、3 点的 H'' 和 H''' 值。

六、实验记录

设备编号 _____ 管径 d_1 _____ mm
水 温 _____ $^{\circ}\text{C}$ 管径 d_2 _____ mm