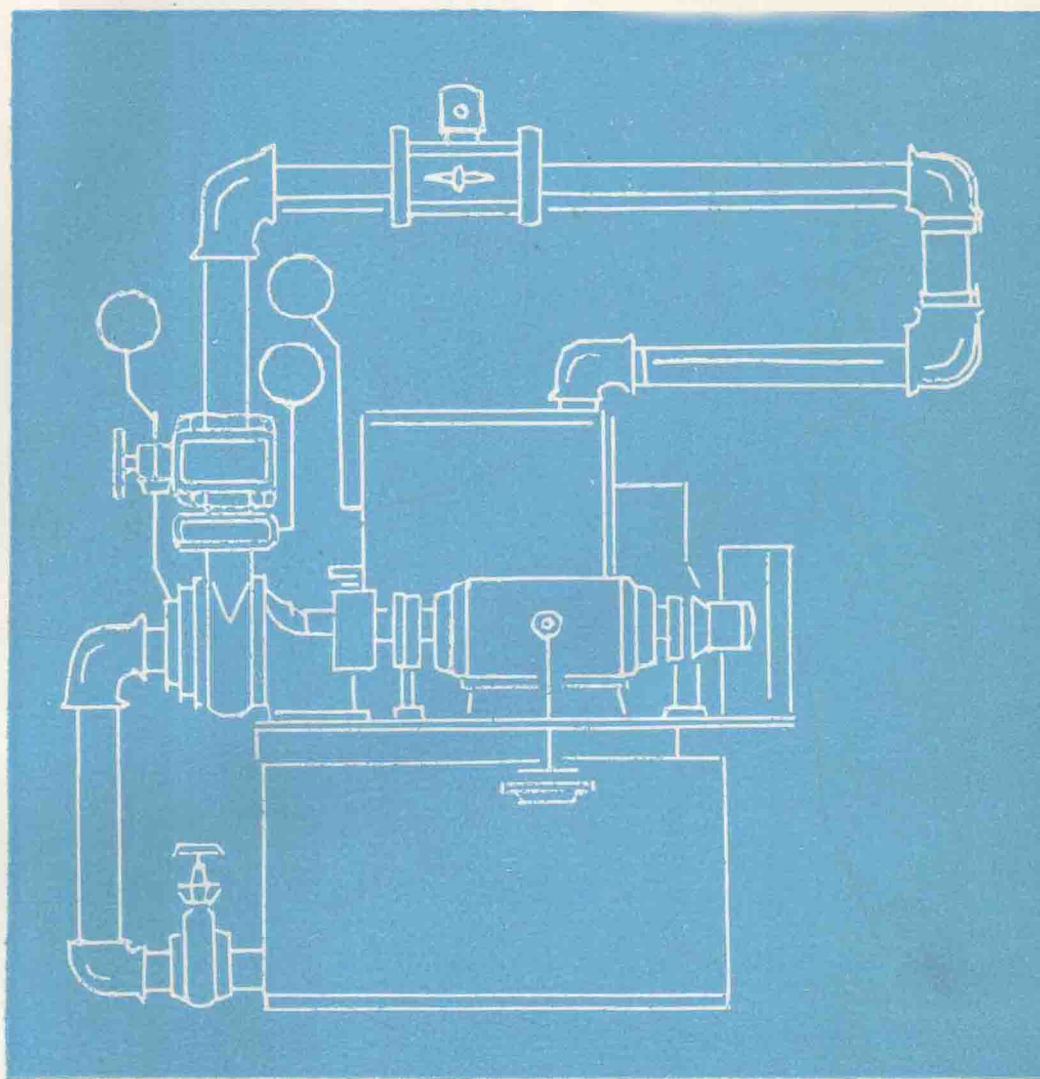


化工原理实验指导

老健正 梅慈云 编著



科学普及出版社广州分社

化工原理实验指导

老健正 梅慈云 编

附录六 温度计校正用表

江苏工业学院图书馆
藏书章

科普出版社广州分社出版

内 容 简 介

本书主要介绍流体力学、传热、吸收、精馏、干燥等方面的十三个实验内容与操作方法,介绍电除尘、边界层等七个演示实验原理和表演方法,简略介绍实验数据的处理方法和常用的压力、温度、流量测量仪表的原理及使用注意问题,此外,还介绍电子计算机在化工原理实验中的应用。

本书可供高等院校、专科学校化工类各专业教学实验参考使用,也可供化工方面的研究、设计及生产单位工程技术人员参考。

本书由袁孝鹄教授审阅。

化 工 原 理 实 验 指 导

老健正 梅慈云 编

*

科学普及出版社广州分社出版
(广州市应元路大华街兴平里三号)

华南工学院印刷厂印刷

广东省新华书店发行

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张12 字数260千字 印数 1—11,000

1985年6月第一版 1985年6月第一次印刷

统一书号: 13051·60 定价: 2.20元

实 验 守 则

1. 实验前应认真准备，弄清实验的目的、任务和实验方法，做好实验前的一切准备，以保证实验任务的顺利完成。
2. 进入实验室后，要严肃认真，不得追逐嬉笑，不得抽烟和随地吐痰。
3. 不得打赤足进入实验室，以防触电。有辫子的女同学应把辫子扎好，以防被机器轧住，造成事故。
4. 对本次实验用的仪器设备，要在明确用法，弄清流程后才准启用。凡非属本次实验用的仪器设备，一律不准随便使用，以免损坏或发生意外。
5. 注意节约水电、蒸汽及化学药品等物资、爱护仪器设备。
6. 因责任事故而损耗物资、损坏仪器等按照有关制度，根据情节轻重及本人对错误的认识程度，分别给予教育、经济赔偿或纪律处分。
7. 实验结束后，应将使用的仪器设备整理复原，检查水源、电源、汽源是否已确实关断并将场地打扫干净。

目 录

实验守则	1
绪论	1
第一章 有关从事实验的基础知识	3
(一)、从事科学实验的基本态度	3
(二)、有关从事实验的基础知识	3
(一) 怎样准备实验	3
(二) 怎样组织实验	4
(三) 实验应测取哪些数据	4
(四) 怎样读取数据、做好记录	4
(五) 实验过程要注意什么	5
(六) 怎样整理数据	5
(七) 怎样编写实验报告	6
第二章 实验内容	7
实验一、流体流动型态的观察与测定	7
实验二、氢气泡流动显示实验	8
实验三、柏努利方程实验	21
实验四、管道阻力的测定	24
实验五、流量计的校核	31
实验六、离心泵性能的测定	36
实验七、过滤实验	39
实验八、固体流化实验	43
实验九、传热实验	48
实验十、蒸发实验	55
实验十一、吸收实验	59
实验十二、精馏实验	71
实验十三、干燥实验	76
第三章 演示实验	80
(一)、水喷射真空泵演示实验	80
(二)、电除尘演示实验	80
(三)、旋风分离器演示实验	82

四、边界层仪演示实验	(84)
五、筛板塔演示实验	(85)
六、浮动喷射塔演示实验	(87)
七、浮阀塔演示实验	(88)

第四章 测量误差估计和实验结果的数据处理 (89)

一、测量误差的基本概念	(89)
(一)测量的作用和分类	(89)
(二)误差的基本概念	(89)
(三)误差的性质及其分类	(89)
二、直接测量中随机误差的估计	(90)
(一)单次直接测量的误差估计	(90)
(二)算术平均值的标准误差	(91)
三、间接测量的误差传递和合成	(93)
(一)误差传递的基本公式	(93)
(二)间接测量误差便查表	(94)
(三)标准差的传递和合成	(94)
(四)误差分析的应用	(95)
四、实验结果的数据处理	(98)
(一)有效数字的处理	(98)
(二)实验结果的数据处理	(98)
(三)实验曲线的绘制	(99)
(四)经验公式的确定	(100)

第五章 测量仪表和测量方法 (107)

一、概述	(107)
二、压力测量	(107)
(一)应用液柱测量压力	(107)
(二)应用弹性变形测量压力	(108)
三、流量测量	(110)
(一)节流法测流量	(110)
(二)涡轮流量计	(118)
(三)转子流量计	(122)
(四)湿式量气计	(124)
四、温度测量	(124)
(一)液体膨胀式温度计	(124)
(二)电阻温度计	(126)
(三)热电偶	(128)

(四) 接触式温度计的安装	(135)
(五) 热电偶结点与壁面接触安装的方法	(138)
五、离心泵功率的测量	(141)
(一) 马达——天平式测功器	(141)
(二) 应变电阻式转矩仪	(142)
(三) 功率表测功法	(143)
六、转速的测量	(144)
(一) 日光灯法	(144)
(二) 数字式转速计	(144)
(三) 发电机式转速表	(145)
第六章 电子计算机在化工原理实验中的应用	(146)
一、可编程序计算器和便携计算机介绍	(146)
二、物性数据和其它数据的处理	(146)
三、可编程序计算器计算程序举例	(148)
四、使用 BASIC 语言的程序	(151)
五、几种常用计算程序	(159)
参考文献	(171)
附录一、管子管件的种类、用途、管子联接方法	(172)
附录二、国际制 (SI) 单位及单位换算	(177)
(一) 国际制 (SI) 基本单位	(177)
(二) 化学工程中某些物理量的符号和国际制导出单位示例	(177)
(三) 工程制、C. G. S. 制与国际制之间的单位换算	(179)
(四) 角度、温度与浓度的单位换算	(180)
(五) 某些常数的单位	(180)
附录三、酒精溶液的物理常数 (摘录)	(182)
附录四、酒精蒸汽的密度及比容 (摘录)	(182)
附录五、酒精——水混合液在常压下汽液平衡数据	(183)
附录六、温度计检定证书样本	(183)
附录七、无机粘结剂的配方和使用	(184)

绪 论

理工科的学生在大学学习的阶段中,除了进行系统的理论学习,以掌握基础理论知识外,还必须得到必要的训练,以便培养他们运用所学到的基础理论知识,对所遇见的科技问题独立地进行进一步研究的能力。科学实验能力就是这种独立工作能力的一个重要内容。

对于大学中化工类型的专业来说,化工原理实验课应该同时起到以下所说的两种作用:一方面它是化工类型的一门重要技术基础课《化工原理》的一个教学环节,它应该与化工原理课的其他教学环节互相密切配合以使学生们比较深入地掌握化工过程的规律性和基础理论;另一方面它又是一门实验课,应该与同一专业中其他实验课配合,达到培养科学实验能力的目的。因此在进行化工原理实验课时教师和学生都应该用这两个方面的要求来检查自己的工作,主动地改进自己的工作。

化工原理课程向我们展示了一系列化工生产过程中特有的现象和规律,介绍了化工设备的特点和性能。这些内容对多数学生来说是比较生疏的,为使学生能学好这些内容,化工原理实验应该能使直接观察到某些生动的现象,直接检验某些重要的理论和规律,直接测取某些设备的性能参数。如果没有这些实验,虽然学生们也可以学习化工原理,但那就只能迫使学生们单纯“顺从地”接受书本上的陈述,单纯“听从”教师们的讲解,使学生们只能用书本的陈述和教师的讲解来作为是非正误的判别标准。这不是科学的态度,而是一种很坏的学风。它会扼杀青年学生们生动探索大胆创新的精神,会使学生们失去自己探索的要求和能力,只知盲目接受前人的见解。我们不能用这种方法培养我们的科技工作者。有些实验比较繁,从准备实验、到整理数据、写成报告书往往要费一定的时间,可能有的学生会认为费时多收获不大,因而对化工原理实验草率从事,敷衍过去,这种态度是很有害的,因为我们正是要通过这些严密的步骤,使学生认识到一个科学实验的基本过程,认识到科学实验所要求的正是这样一种踏踏实实一丝不苟的严肃态度。没有这种态度就谈不上科学实验能力。哪些不愿在科学实验上“花时间”、想取巧、对科学实验轻浮草率的人是不可能成为一个真正的科技工作者的。当然,教师们也应该考虑到学生们时间有限,不能每个实验都要求全面。

各个实验的全过程往往都是比较费时的而各个专业的要求不同,各个学生的情况也不尽相同,对实验课的训练应留有一定的机动掌握余地。故我们把实验项目分为两类,一为基本实验项目,二为演示实验项目。对于演示实验只要求进行观察,而不必测取的数据,不必写实验报告。

如果我们对化工原理实验的要求低些,只希望通过化工原理实验来帮助学生学习化工原理课程,那么实验教材可以写得很简单,只须说明每项实验的意图、说明理论依据,介绍实验装置和实验方法,提出报告要求,使学生们看了后能照着做实验,那就够了。但是那样肯定会有很多学生不满足,他们希望能进一步培养科学实验能力,以适应建设社会主义四个现代化的需要。为此我们在实验教材中编入了一些我们认为是应该向

学生介绍的自学材料,这些自学材料中有些是为了正确进行实验所必须说明的事项,我们把它列在实验教材的第一章中,要求学生们认真按照这些要求去做,另一些是自学参考材料,我们把它列在本书的第四章中,这些材料是给学生选学的,是供学生查考用的。

因为在化学工程的实验工作中通常都要测定温度、浓度、流体的压强、流体的流速流量、转动轴的转速、转轴的功率。通过这些参数(及其变化)的测定,才能确定化工设备的性能(管路及设备的性能、传热系数、传质系数、机器和设备的效率),才能找寻某些重要过程的规律。故在本书第五章中专门介绍了一些常用的测定方法和仪表。

一项科学实验的全过程可以分成以下各互相衔接的步骤:1.明确实验任务;2.提出实验方案(包括提出实验装置,选取测试手段、提出实验方法);3.准备进行实验(校正仪表读数、确定人员分工、确定各次测定参数的控制范围、列好所需记录用的数据表格、检查实验设备);4.进行实验,做好观测和记录;5.整理数据,分析结果,提出实验报告。本来化工原理实验应该使学生们对其中每一步骤都受到训练,但由于同时学习化工原理课的学生多,为了便于进行组织化工原理实验,我们没有能放手让学生们自己独立进行这个科学实验全过程的训练,而是规定了每次实验的任务,确定了每次实验的方案,并对实验步骤、报告书要求,都作了具体的说明,使学生只能循着一条规定了路线走。从培养要求来说,这不能不承认是一个重大缺点,我们希望任课的教师和学生们都认识到这个大缺点而从多方面来共同弥补这个缺点。例如在进行某项实验之前,让学生自己来审查实验任务是否恰当,审查现有的实验装置和书中所提出的实验方案是否恰当,看看如果自己独立提出实验方案来,在某方面是否会考虑得更周全些,或会有什么考虑不到之处。或者让学生在做完某项实验之后,用批评的态度来审查已做的实验过程和已用过的实验设备,看存在哪些缺点,应该如何改进。希望优秀的学生要求自己不仅被动地按着书上的规定、按着教师的安排来进行实验,而且能运用自己已学到的基础理论知识及实验技术,对书中的任何安排或规定提出自己的见解。哪怕这种见解与众所公认的不同,哪怕这种见解并不成熟、并不全面,都应得到鼓励。因为在学术工作中这种主动的、独立的、创新的精神非常可贵,因为通过活跃的探讨,错误的可以得到纠正,片面的可以得到补充,表面的可以导向深入。如果只求省事,不开动脑筋,没有探索的要求和勇气,那就只能墨守成规、固步自封。所以同样经历一个实验过程,各人所得收获可能有很大差别。

不仅化工类学生在学习阶段要对化工过程或化工设备进行实验检测,在化工科技工作岗位上也常有这类实验检测的必要,例如工厂要对化工生产过程进行查定,要对化工设备的运转状态进行查定,设计工作者要实地收集设计数据,也要实验检测,化工设备制造厂也要测定本厂所生产的化工设备性能。本书虽然主要是为了化工类大学或专科在校内编写,也可以为在各岗位上的化工类科技工作人员提供参考。

第一章 有关从事实验的基础知识

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。

我们这里所说的“实事求是”就是说要使实验中所观测到的现象、数据、规律忠实地记录下来，把它们当作第一性的材料来对待。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20那该怎么办呢？那还是把20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不可靠也只能用反复多次的实验来核对，不能用“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”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，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，并使自己受到正确的训练，使自己不断提高科学实验能力。

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。

既然是如此，那么就要在实验报告中能够把实验的任务，实验观测的结果用表、用图、用公式、用文字描述和将讨论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：（1）数据是可靠的、为此对实验方案要认真考虑，要认真做实验，认真记录数据，实验前作好准备、实验时精力要集中；实验是负责的，要把实验方案如实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，因此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，我们提出如下的说明和具体要求：

（一）怎样准备实验

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, 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它事故)。

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, 操作条件如何? 设备的启动程序怎样? 如何调整?

(二) 怎样组织实验

本课程的实验一般都是几人合作的, 因此实验时必须作好组织工作, 使得既有分工, 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, 必要时还应兼任其他工作, 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)。

(三) 实验应测取哪些数据

1. 凡是影响实验结果或者数据整理过程中所必需的数据都必需测取。它包括大气条件, 设备有关尺寸, 物料性质以及操作数据等。

2. 但并不是所有数据都要直接测取的, 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, 例如水的粘度、重度等物理性质, 一般只要测出水温后即可查出, 因此不必直接测定水粘度、重度, 而应该改测水温。

(四) 怎样读取数据、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, 条理清楚而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, 要稍等待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), 而仪表通常又有滞后现象的缘故。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(研究不稳定过程中的现象时除外), 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事故。

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 正, 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于 $24.9\sim 25.1^{\circ}\text{C}$ 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°C ，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°C ，而读数时实际水温为 50.5°C ，就应该记 50.5°C ，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。

(五) 实验过程要注意什么

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，还应做好下列各事：

1. 从事操作者，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，应该立即同小组同学研究原因，是自己知识错误呢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。

(六) 怎样整理实验数据

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（见第四章中“有效数字”概念）。一个数据的精确度是由测量仪表本身的精确度所决定的，它绝不因为计算时位数增加而提高，但是任意减少位数却是不许可的，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明显，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由于流速改变后的雷诺准数的数值时，因为 $Re = \frac{du\rho}{\mu}$ ，

$$u = \frac{V}{\frac{\pi}{4}d^2}, \text{ 故 } Re = \frac{4\rho V}{\pi d\mu}, \text{ 而 } d, \rho, \mu, \text{ 在实验中均不变化, 可作常数处理, 令 } B = \frac{4\rho}{\pi d\mu},$$

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，这是可以大大提高计算速度的。

在第二章管道阻力的测定实验内容中，有详细介绍整理实验数据的例子。

(七) 怎样编写实验报告

一份好的实验报告，必须写得简单、明白、一目了然、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. 实验的理论依据。
4. 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）。
5. 实验数据，应该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记录，而是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。
6. 数据整理及计算示例，其中引用的数据要注明来源，简化公式要写出导出过程，要列出一组数据的计算过程，作为计算示例。
7. 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。
8. 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作讨论，对实验方法，实验设备有何改进建议也可写入此栏。

实验报告建议用16开（18×26厘米）活页纸，或商店出售的“万用表”编写。

$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 式，即并联电路的总电阻的倒数等于各分电阻的倒数之和，或

$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 式，即并联电路的总电阻的倒数等于各分电阻的倒数之和，或

大大小小电阻，当 R_1 远大于 R_2 时， $R_0 \approx R_2$ ，即并联电路的总电阻近似等于较小的那个电阻。

第二章 实验内容

实验一 流体流动型态的观察与测定

(一) 实验目的

1. 建立“层流和湍流两种流动型态和层流时导管中流速分布”的感性知识;
2. 确立“层流和湍流与 Re 之间有一定联系”的概念。

(二) 实验任务

1. 先作演示实验, 观察三种现象。

(1) 层流; (2) 湍流; (3) 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准数。

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

(1) 停止注水入水槽以保持液面平静(但随着槽中的水由导管流出, 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, 试验时水即由此进入玻璃管(玻璃管系供观察流体流动型态和层流时导管中流速分布之用)。槽内之水由自来水管供应, 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平稳而又恒定的液面, 多余之水由溢流管排入水槽。图中大槽为高位水槽, 试验时水即由此进入玻璃管(玻璃管系供观察流体流动型态和层流时导管中流速分布之用)。槽内之水由自来水管供应, 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平稳而又恒定的液面, 多余之水由溢流管排入水槽。

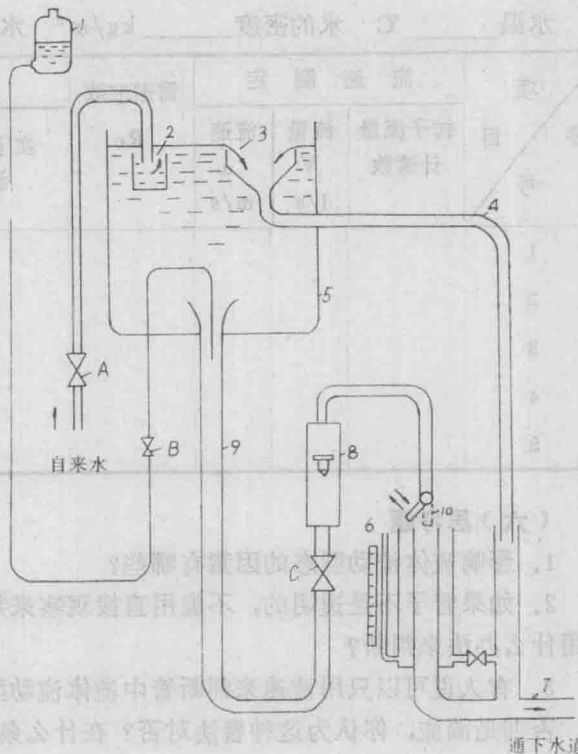


图 2—1 流体流动型态实验装置流程图

- 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—量筒; 7—排水管;
8—转子流量计; 9—玻璃管; 10—活动短导管。

试验时打开阀C, 水即由高位槽进入玻璃管, 经转子流量计后, 排向排水管(短导管虚线位置)或量筒(短导管实线位置), 可用C阀调节水量, 流量由转子流量计测出。高位墨水瓶供贮藏墨水之用, 墨水由此经阀B流入玻璃, 阀B即墨水的调节阀。需要校核转子流量计(8)时, 可拨动短导管(10)将水导入量筒(6)以计水量。

(四) 操作注意事项

在做第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, 因为如果先开进水阀进水以维持液面高度不变, 液面的平静就已被扰乱, 再要平静下来就需要很长的时间。

在开启高位槽的进水阀时, 也应注意控制进水量, 使其稍大于用水量即可(此时可以看见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, 液面波动一定严重, 必然影响实验效果。

(五) 记录表

设备编号_____管子内径_____mm

水温_____℃ 水的密度_____kg/m³ 水的粘度_____NS/m²

项 目 序 号	流 速 测 定			雷诺准数 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						

(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 氢气泡流动显示实验

(一) 实验目的

1. 观察各种流道中流体流动型态和速度分布规律;

2. 掌握流场中速度分布的测定方法。

(二) 实验任务

1. 观察流体在圆形光滑管中滞流和湍流时的速度分布和流动状态。
2. 明渠、螺旋槽管流动状态、卡门涡街以及各种形状流道局部旋涡的观察。
3. 观察各种桥墩模型的涡流和边界层分离现象。
4. 测定圆形光滑管滞流时速度分布情况并作定量计算。

(三) 氢气泡流动显示仪的工作原理

氢气泡流动显示仪是一台可进行流体流动图案的观察和测定的仪器。氢泡法是应用电解原理，往水中的两电极通以直流电，阳极上产生氧气泡，阴极产生氢泡，因为氢泡比氧泡体积细小而数量多，所以常利用氢泡观察。在光线照射下，氢泡反射光线从而发现它的踪影，又因为氢泡随水一起流动，因而我们就看到流动图案。如果按图 2—2 所示，将丝状的阴极(m)装设在水流的垂直方向上，并且通以脉冲直流电，每当脉冲电来临时产生一系列氢气泡，显然，每列氢泡的时间间隔，就是脉冲电的时间间隔 Δt ，而氢泡漂移距离 L ，可由照片判读。根据 Δt 、 L ，即可定量计算出氢泡漂移速度（即流体流速）来。通过测定流量，计算出流体平均速度，从而测出流体在圆管中的速度分布。

(四) 设备流程

图 2—3 是氢气泡流动显示设备的流程图。水经过滤器 2 进入水泵了，以后分两路进行。一路经右阀门 4，流量计 10 到水槽 1 的左端，再经过分配器 20 均匀地流入

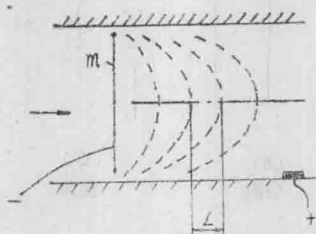


图 2—2 脉冲电压下的氢泡列

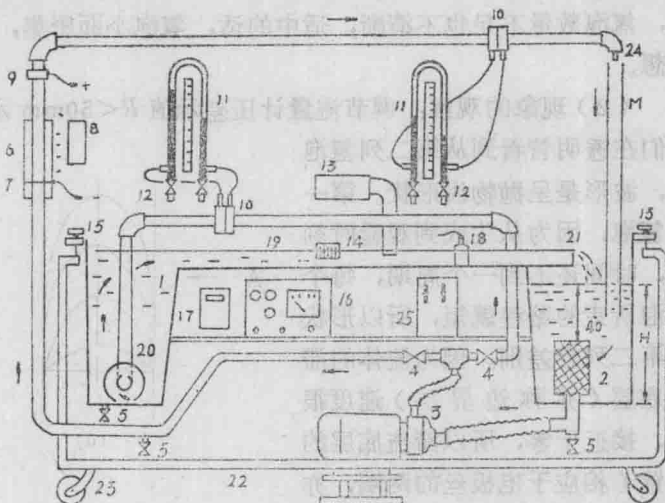


图 2—3 氢气泡流动显示设备流程图

水槽的观察段（即水槽中部），观察段内放置各种模型和渠路，由槽阴极丝 19 产生氢气泡，显示流体流动图案，以供实验观察，以后水从溢流堰流出，落入水槽右端，形成循环。利用阀门 4 可以调节水的流量，而流量则由流量计 10 计量。另一路水 流经左阀门 4 到透明管，由电极丝 7 产生氢气泡显示图象，水 流经流量计 10 计量后 回到水槽右端。因为流量不大，管子的垂直下降段 M ，如果按常规做法是充不满管子的，这就引起流量不稳定，现在是采用喷咀方法，在流量计后的水平段末端装喷咀 24，让水在喷咀后通大气，这样，垂直下降段充满与否对流量不影响。

本实验采用的水泵是旋涡泵,这种泵在任何运行时间内都不允许将出口阀门全部关闭,因此,应保证阀门4至少有一个是开的。停止使用设备时不必关阀门,只关水泵电源即可。这样,下次使用旋涡泵时,起码有一个阀门是打开的。

电器盒25用以控制水泵和照明,计数器17用以计算脉冲数目,脉冲电源16供应脉冲或平稳的直流电解电源。

(五) 实验原理、实验操作与实验现象

1. 圆形光滑管滞流和湍流时,速度分布和流动状态的观察。

(1) 操作方法: 先将M—1脉冲电源的总开关扳到关的位置,然后对装置供电。插好透明管的阳极和阴极连接插头,照明灯开关转到透明管的位置,照亮透明管。打开槽流量控制阀,开动水泵,调节透明管的流量阀至流量计压差示值 R 约20mm, M—1型脉冲电源的频率粗调旋钮置第二挡,频率细调旋钮置中部,脉宽旋钮置最宽,电压置150伏。打开脉冲电源的总开关,指示灯亮,发光管闪光,此时可看到氢泡列产生。再调整频率细调,脉宽、电压、流量和光照角度(见图2—18),使氢泡图象稳定,清晰、明亮为止。

通常频率调节到氢泡列不过密也不过疏(间距约10mm),脉宽和电压配合调节:电压过高或脉宽过宽,氢泡直径过大,且呈一大片,图象不清晰;电压过低或脉宽过窄,氢泡数量不足也不清晰,适中的话,氢泡小而密集,一系列不会成片的产生是为理想。

(2) 现象的观察: 调节流量计压差示值 $R < 50\text{mm}$ 水柱,管内流动状态为滞流,我们在透明管看到从第二列氢泡起,波形是呈抛物线形状。第一列氢泡,因为从生成到观看时刻止,时间还不到一个周期,每个氢泡所走的路程就短,所以形状与第二列有差别。因为流体的滞流底层(亦称边界层)速度很低,接近于零,所以滞流底层的位置(相应于电极丝的两端,亦就是每列氢泡的两端)理论上是固定不动的,因此,愈早产生的氢泡列,最靠近管壁的地方,愈被拉长如图2—4(a)中的虚线部分。通过对图象的观察和分析,可以了解管内流动速度分布规律。

随后,我们可以慢慢加大或减少流量,可以发现滞流范围内,图形都是抛物线(脉冲频率和宽度保持不变),但流量愈大,距离 L 愈大(见图2—4(a)),流量小, L 小,这表明最大速度以及各点速度随流量而变化。

我们还可以从侧面观察(图2—4(a)中的A向),滞流时,看到的是一条线(图2—4(b)),说明氢泡所在的一层流体没有和其他层流体相混,所以滞流又称层流。最后,我们加大流量($R > 65\text{mm}$ 水柱)从侧面看氢泡混乱了(图2—4(c)),这表明湍

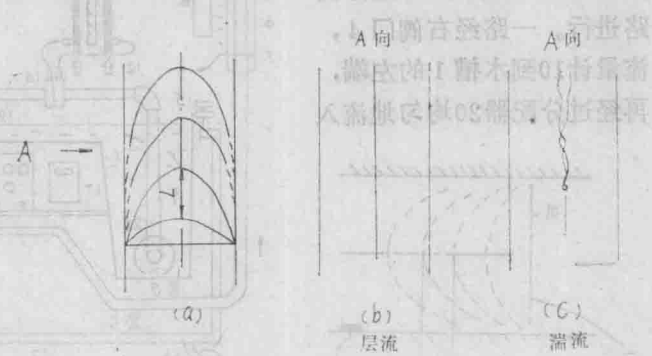


图 2—4 流体流动状态