



教育部高职高专规划教材

单元操作实训

► 张宏丽 张志勋 阎志谦 编

02-43
3



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

单元操作实训

张宏丽 张志勋 阎志谦 编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

单元操作实训/张宏丽, 张志勋, 阎志谦编. —北京:
化学工业出版社, 2005.5
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-6580-9

I. 单… II. ①张…②张…③阎… III. 化工单元
操作-高等学校: 技术学院-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 050558 号

教育部高职高专规划教材

单元操作实训

张宏丽 张志勋 阎志谦 编

责任编辑: 于 卉 张双选

责任校对: 于志

封面设计: 于 兵

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 8 字数 168 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6580-9/G · 1706

定 价: 15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

“面向 21 世纪教育振兴行动计划”明确指出：“积极发展高等职业教育，是提高国民科技文化素质、推迟就业以及发展国民经济的迫切要求。当前我国高等职业教育要“广泛开展岗位技能培训”。加快培养大批现代化建设所需的技能型人才。技能型人才是推动技术创新和实现科技成果转化的重要力量。”

作为化工、制药专业单元操作实训教材，本书从生产实际操作出发，以岗位技能培训为主线，通过典型单元操作的实训，使学生能够基本掌握化工生产基础知识及操作方法，了解化工生产的安全常识，培养化工生产操作工人应有的良好职业习惯。

本书由河北化工医药职业技术学院张宏丽编写绪论、第三章；张志勋编写第二章中实训五、六、七、八、九、十、十一；阎志谦编写第一章、第二章中实训一、二、三、四、十二、十三；全书由张宏丽统稿；张利锋审阅书稿。

在本书编写过程中，得到河北化工医药职业技术学院领导和化工系领导的支持。本书部分章节中的图由段颖绘制。在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编者

2005 年 4 月

内 容 提 要

本书从生产实际出发，以流体流动与输送岗位、换热器岗位、精馏岗位、吸收岗位、干燥岗位技能培训为主线，加强学生动手能力的训练。书中的安全生产实训内容，可培养化工生产操作工人应有的良好职业习惯。

本书可作为《制药过程原理及设备》、《化工原理》教材的配套教材使用。

本书为高等职业院校化工、医药类专业单元操作实训教材，也可作为工人培训教材。

目 录

绪论	1
一、实训教学的目的	1
二、实训教学的要求	1
三、单元操作实训注意事项	2
四、单元操作实训守则	4
五、本书有关实测物理量单位的说明	4
第一章 单元操作实训数据的处理	5
一、实训数据的测取与记录	5
二、数据的运算	5
三、数据整理与标绘	6
四、实训结果的分析	8
第二章 单元操作实训内容	9
实训一 流体静力学演示实训	9
实训二 伯努利方程演示实训	13
实训三 雷诺演示实训	17
实训四 热边界层演示实训	20
实训五 流体流动阻力的测定	23
实训六 流量计校核实训	35
实训七 离心泵特性曲线的测定	43
实训八 气体强制对流传热系数的测定	52
实训九 换热器传热系数 K 的测定	64
实训十 精馏塔操作及塔效率的测定	71
实训十一 填料吸收塔操作	81
实训十二 板式塔冷模演示实训	92
实训十三 干燥操作实训	95
第三章 安全生产实训	101
第一节 概述	101
一、化工生产中的事故与伤害	101
二、化学工人应有的良好习惯	102
三、保证安全生产的措施	102
第二节 火灾和爆炸	103
一、燃烧和燃烧条件	103
二、爆炸和爆炸极限	103

三、火灾与爆炸的预防·····	104
四、火灾与爆炸的处置·····	106
五、灭火装置及其应用·····	106
第三节 中毒与预防·····	108
一、概述·····	108
二、急性中毒与窒息·····	109
三、防毒措施·····	110
第四节 烧伤、烫伤、冻伤和化学灼伤·····	111
一、烧伤和烫伤·····	111
二、冻伤·····	112
三、化学灼伤·····	113
第五节 其他不安全因素·····	114
一、电击伤·····	114
二、光灼伤·····	114
三、机械创伤·····	114
四、撞击伤·····	115
五、摔伤与扭伤·····	115
六、噪声·····	115
思考题·····	115
参考文献·····	119

绪 论

单元操作实训是在原化工原理实验的基础上,打破普教模式,建立以理论教学为基础,以实习教学为主导,加强动手能力的训练,促进专业教育实际化,突出技能培养的职业教育模式中的重要的教学环节。

一、实训教学的目的

- (1) 练习化工生产中的一些实际操作,掌握工程操作的一般方法和技巧。
- (2) 验证部分单元操作的理论,巩固和加强对理论的认识和理解。
- (3) 详细了解实训装置的流程、设备的构造、实训操作步骤、所需数据的测取方法、数据的整理以及预期结果等。
- (4) 训练编写实训报告的能力,了解整理实训数据的基本要求,进行规范化训练。
- (5) 培养学生“化工操作工”意识,掌握化工生产岗位的基本要求,养成化学工人应有的良好习惯。

二、实训教学的要求

1. 预习

预习是实训教学的关键环节。通过预习应达到以下要求:

- (1) 根据实训内容复习教材有关部分,明确实训的目的及原理;
- (2) 清楚地掌握实训项目的要求、实训内容、实训所依据的原理及所需测量的数据等;
- (3) 熟悉实训设备及流程,确定操作程序与所测参数项目,数据点如何分配,所测参数的单位等;
- (4) 准备好记录基本参数和实训数据的各种表格;
- (5) 明确实训过程中的操作要点和 safety 注意事项。

2. 实际操作

实际操作是实训教学的核心环节。学生只有通过操作才能了解和领会单元操作在实际生产中的应用。实际操作中应注意以下几点。

- (1) 在实训过程中,应该全神贯注、手脑并用。一方面要进行精心的操作与细心的观察;另一方面,又要注意发现问题,进行思考。对于操作过程中出现的各种现象要加以分析,对测得的数据要考虑它们是否合理。
- (2) 操作中应密切注意仪表指示数值的变动,随时调节,以保证过程的稳定性。

一定要在过程稳定后取样或读取数据。实训条件改变后,要等一段时间才能取样或读数,时间的长短视现场情况而定。

(3) 用事先准备好的原始数据表格认真记录,要保证数据可靠、清楚、记录后应及时复核,避免读错、写错,所测物理量的名称、符号、单位应注明。

(4) 实际操作完毕,操作记录数据需交教师检查后方可关机。仪表设备恢复原状,检查水、电、气是否关闭,将场地打扫干净后方可离开。

3. 实训报告

写实训报告的能力需要训练。这种训练是实训教学中的一个重要环节。实训报告的基本要求是写得简单、明白、数据完整、条理清楚、结论明确、有讨论、有分析。实训报告的主要内容如下。

① 实训地点、时间、班级、姓名、同组人等。

② 实训名称、实训目的。

③ 实训的基本原理。

④ 实训装置简介,附流程图及主要设备的类型与规格。

⑤ 实训操作要点,通过自己的实际操作,用简练语言归纳。

⑥ 给定条件和数据记录表格。

⑦ 实训数据的整理、计算举例。计算举例是列出一组数据的计算过程,每算一步都要把公式、公式中各项单位、具体数值等写清楚。实测数据小组共享,但整理数据及撰写报告,则应由每个学生独立完成。

⑧ 实训结果分析与讨论。实训报告的编写要求为笔迹端正、清楚、整齐。文字通顺、叙述简明、扼要。

三、单元操作实训注意事项

单元操作实训属于工程操作、实训范畴,为了安全成功地完成实训,应具备最起码的安全知识。并注意以下事项。

1. 一般注意事项

(1) 设备启动前必须认真检查下列项目。

① 泵、风机、电机等转动设备,用手使其转动,从感觉及声响上判别有无异常;检查润滑油位是否正常。

② 设备上各阀门的开关状态;设备上的仪表开关状态。

③ 应有的安全措施,如防护罩等。

(2) 仪器仪表使用前必须做到以下两点。

① 熟悉原理与操作步骤。

② 分清量程范围,掌握正确的读数方法。

(3) 操作过程中注意分工配合、严守自己的岗位,精心操作。

(4) 操作过程中设备或仪表发生问题应立即停车,并报告指导教师。

(5) 单元操作过程中要特别注意安全,进入实训场地后要搞清楚总电闸的位置和灭火器材的安放地点。

2. 安全注意事项

为了确保设备和人身的安全。从事单元操作的操作者必须具备以下基本的安全知识。

(1) 化学药品和气体

在单元操作中接触化学药品时，一定要了解该药品的性能。如毒性、易燃性和易爆性等，并清楚其使用方法和防护措施。

在单元操作中，往往被人们忽视的毒物是压差计中的水银。如果操作不慎，压差计中的水银会容易被冲洒出来。水银是一种累积性的毒物，进入人体中不易被排除，累计到一定量就会中毒。操作中一旦水银被冲洒出来，一定要尽可能地将它收集起来。实在无法收集的细粒，也要用硫磺粉或氯化铁溶液覆盖。因为细粒水银蒸发面积大，易于蒸发汽化，决不能采取用扫帚扫或用水冲的自欺欺人的办法。

特别需要引起注意的就是各种高压气体。单元操作中所用的气体种类较多，一类是具有刺激性的气体，如氨、二氧化硫等，这类气体的泄漏容易被发觉；另一类是无色无味，但有毒性或易燃、易爆的气体。如一氧化碳等，不仅易中毒，在室温下空气中的爆炸范围为12%~74%。当气体和空气的混合物在爆炸范围内，只要有火花等诱发因素存在，就会立即爆炸。因此，使用有毒或易燃易爆气体时，系统一定要严密不漏，尾气要导出室外，并注意室内通风。

(2) 高压钢瓶（气瓶）

高压钢瓶是一种储存各种压缩气体或液化气的高压容器。钢瓶一般容积为40~60L，最高工作压力为15MPa，最低为0.6MPa以上。气瓶压力很高，储存的某些气体本身又具有毒性或易燃易爆。因此，使用气瓶一定要掌握其构造特点和一般安全知识，以确保安全。

气瓶主要由筒体和瓶阀构成。其他附件有保护瓶阀的安全帽、开启瓶阀的手轮、防止在运输过程中免受震动的橡胶圈。在使用时瓶阀出口还应连接减压阀和压力表。

高压钢瓶是按国家标准制造，并经有关部门严格检验方可使用。各种钢瓶使用过程中，还必须定期送有关部门进行水压试验。经过检验合格的钢瓶，在瓶肩上应用钢印打上下列资料：①制造厂家；②制造日期；③钢瓶型号和编号；④钢瓶质量；⑤钢瓶容积；⑥工作压力；⑦水压试验压力；⑧水压试验日期和下次送检日期。钢瓶的表面都涂有带颜色的油漆，其目的不仅是为了防锈，而且能从颜色上迅速辨别钢瓶中所储气体的种类，以免混淆。单元操作实训中常用钢瓶的颜色及其标志见表0-1。

为了确保安全，在使用气瓶时，一定要注意以下几点。

① 在气瓶运输、保存和使用时，应远离热源，并避免在日光下暴晒。

② 气瓶搬运时应装上防震垫圈，旋紧安全帽，以保护开关阀，防止其意外转动和减少碰撞。因为进出气体的瓶阀大都是用铜合金制成，比较脆弱，如果撞断阀门而引起爆炸是十分危险的。套上安全帽还可以防止灰尘或油脂沾到瓶阀上。

表 0-1 钢瓶颜色标记

气体种类	工作压力 /MPa	水压试验压力 /MPa	钢瓶颜色	文 字	文字颜色
氧	15	22.5	浅蓝色	氧	黑色
氢	15	22.5	暗绿色	氢	红色
氮	15	22.5	黑色	氮	黄色
氨	15	22.5	棕色	氨	白色
压缩空气	15	22.5	黑色	压缩空气	白色
二氧化碳	12.5(液)	19	黑色	二氧化碳	黄色
氯	3(液)	6	黄色	氯	黑色
氟	3(液)	6	草绿色	氟	白色
乙炔	3(液)	6	白色	乙炔	红色
二氧化硫	0.6(液)	1.2	黑色	二氧化硫	白色

③ 气瓶直立放置要牢靠。开启阀门时应站在气压表的一侧，不准将头或身体对准气瓶阀，以防万一阀门或气压表冲出伤人。开启钢瓶阀门时要缓慢，应先检查减压阀螺杆是否松动。关气时应先关闭钢瓶阀门，放净减压阀中气体，再松开减压阀螺杆。

④ 钢瓶必须用专用的减压阀和压力表。氢及其他可燃气体的瓶阀，连接减压阀的连接管为左螺旋纹；而氧等不可燃气体瓶阀，连接管为右旋螺纹。

⑤ 氧气瓶阀严禁接触油脂。开关氧气瓶操作时，禁用戴油污的手套和工具。

⑥ 钢瓶中气体不要全部用净。剩余压力最少不能小于 0.05MPa，以供检查。

四、单元操作实训守则

(1) 进入实训工作室后不得大声喧哗。必须以严肃认真的态度进行实训工作，遵守实训工作室的各项规章制度。

(2) 实训前充分预习有关实训内容，做好实训的准备工作。

(3) 爱护仪器和实训设备、工具。节约水、电、油、药品等。

(4) 注意安全，按章操作，避免发生一切事故。

(5) 开始实训操作前，首先对仪表和实训设备进行了解和检查，看其是否正常。有问题应立即报告指导教师，以便得到妥善处理，严禁擅自处理。在实训过程中，仪器和实训设备、工具如有损坏，应立即报告并填写报告单。

(6) 注意保持实训环境的整洁。实训完毕后，应进行必要的清理和清洁卫生工作，将实训设备、工具复原。

五、本书有关实测物理量单位的说明

为了读数和测量的方便，本书一些物理量采用了制外单位。这些制外单位与 SI 制换算关系如下：

$$1\text{mmHg}=133.3\text{Pa}, 1\text{mmH}_2\text{O}=9.807\text{Pa}, 1\text{kgf}=9.807\text{N}$$

第一章 单元操作实训数据的处理

一、实训数据的测取与记录

1. 实训中应测取的数据

(1) 凡是影响实训结果或者数据整理过程所必需的数据，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。

(2) 有些数据不必直接测取，可以从测取某一数据导出，或从手册查取。例如测出水温后，可查出水的黏度和密度等数据。

2. 测取和记录数据应注意的问题

(1) 事先必须拟好记录表格，表格要有简明扼要而又符合实训内容的标题名称。

(2) 表格中应录下各项物理量的名称、符号及单位。化工数据中，有的数据数量级很大或很小，要用科学记数法表示。例如：20℃时二氧化碳的亨利系数 E ，用科学记数法表示为： $E=1.42 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。当列表时，项目名称写为： $E \times 10^{-8}$ ，项目名称与其单位之间，一律用斜线“/”隔开，记作： $E \times 10^{-8} / \text{Pa}$ ；表中数字写为：1.42。

(3) 实训时一定要等操作条件稳定后，才开始读数，条件改变后，要等操作条件再次稳定后，再读取数。不稳定情况下所读取的实训数据，是不可靠的。

(4) 读取数据应力求准确，但数据的读数不要超过仪器的精确度。一般要记录至仪表上最小分度以下一位数。例如温度计最小刻度为 1℃，读出某一温度应为 25.3℃，若温度恰好在 25℃，也应写为 25.0℃，有效数字为三位。

(5) 对待数据的态度要实事求是，如实记录。当然，经过分析对于显然不可靠的部分数据舍去也是可以的。

(6) 测取数据时，必须满足条件要求，记录数据时，必须清楚准确，以免事后缺少数据和辨别不清，以致无法进行下一步的计算和整理。

二、数据的运算

(1) 在数据计算过程中应注意有效数字和单位换算。一般在计算过程中所得数据位数很多，已超过有效数字的位数，要将多余的位数舍去，其运算规则如下：

① 在加减运算中，各数所保留的小数点后的位数，与各数中小数点后的位数最少的相一致。例如：将 13.65，0.0082，1.632 三个数相加，应写为

$$13.65 + 0.01 + 1.63 = 15.29$$

② 在乘除运算中，各数所保留的位数，以原来各数中有效数字位数最少的那个数为基准，所得结果的有效数字位数，应与原来各数中有效数字位数最少的那个数相

同。例如：将 0.0121, 25.64, 1.05782 三个数相乘，应写为

$$0.0121 \times 25.6 \times 1.06 = 0.328$$

③ 在对数计算中，所取对数位数与真数有效数字位数相同。

$$\lg 55.0 = 1.74$$

$$\ln 55.0 = 4.01$$

(2) 数据运算中常采用常数归纳法，即计算公式中的许多常数归纳为一个常数。

例如：计算固定管路中，由于流量改变而导致雷诺数的改变。因为：

$$Re = \frac{du\rho}{\mu}, \mu = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

式中 Re ——雷诺数；

d ——管径，m；

u ——流体的平均流速，m/s；

ρ ——流体的密度，kg/m³；

μ ——流体的黏度，Pa·s；

q_v ——流体的流量，m³/s。

故

$$Re = \frac{4\rho q_v}{\pi d \mu} = B \cdot q_v$$

计算时先求出 B 值，依次代入 q_v ，即可求出相应的 Re 值。

三、数据整理与标绘

由实训测取的大量数据，必须进行进一步的处理，以便能清楚地观察到各变量之间的定量关系，进一步分析现象，得出规律，指导生产与设计。目前，常选用的方法有列表法、图示法和方程表示法 3 种。

1. 列表法

将实训数据列成表格以表示各变量间的关系。通常是整理数据的第一步，为标绘曲线图或整理成方程式打下基础。通常是列出自变量和因变量的相应数值。每一表格都应有表的名称。表头栏目应写明所测物理量名称、符号、单位。自变量选择时最好能使其数值依次等量递增。实训数据表可分为原始数据表、中间运算表和最终结果表。如实训一附表所示。

2. 图示法

将实训数据标绘在坐标纸上绘成曲线，直观而清晰地表达出各变量的相互关系，还可以根据曲线得出相应的方程式；在不知数学表达式的情况下某些精确的图形还可用于进行图解积分和微分。图示法在化学工程实训数据整理中，具有特殊重要的地位，下面介绍正确作图的一些基本准则。

(1) 图纸的选择。化学工程中常用的坐标为直角坐标、单对数坐标、双对数坐标。绘图时要根据变量间的函数关系，选定一种坐标纸，以使变量间呈简明的规律。

对于符合方程 $y = ax + b$ 的数据，直接在直角坐标纸上绘制即可，可画出一条

直线。

对于符合方程 $y=kx^a$ 的数据，经两边取对数可变为 $\lg y = a \lg k$ ，在单对数坐标纸上绘图，可画出一条直线。

对于符合方程 $y=ax^m$ 的数据，经两边取对数可变为 $\lg y = \lg a + m \lg x$ ，在双对数坐标纸上，可画出一条直线。

(2) 坐标分度的选择。常选横轴为自变量，纵轴为因变量，在两轴侧要标明变量名称、符号和单位。坐标分度的选择，要反映出实训数据的有效数字位数，即与被标的数值精度一致，并要求方便读取。分度坐标不一定从零开始，而应使图形占满坐标纸，匀称居中，避免图形偏于一侧。同一坐标纸上，可以有几种不同单位的纵轴分度。不同纵轴分度，应使曲线不至于交叉重叠。

(3) 若在同一张坐标纸上，同时标绘几组测量值或计算数据，应选用不同符号加以区分（如使用 *、·、×、○等）。标出实训点后，用曲线板、直尺或三角板画出尽可能接近各实训点的曲线或直线，曲线应光滑均匀，若有偏离线上的点，应使其均匀地分布在线的两侧。

(4) 使用对数坐标应注意以下几个问题。

① 标在对数坐标轴上的值是真值，而不是对数值。

② 对数坐标原点从 1 开始，而不是 0。

③ 由于 0.01、0.1、1、10、100 等数的对数分别为 -2、-1、0、1、2 等，所以在对数坐标纸上每一数量级的距离是相等的，但在同一数量级内的刻度并不是等分的。

④ 选用对数坐标系时，应严格遵循图纸标明的坐标系，不能随意将其旋转及缩放使用。

⑤ 双对数坐标纸上直线的斜率，需要用对数值来求算，或者直接用尺子在坐标纸上量取线段长度求取。即

$$\text{斜率} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\lg y_2 - \lg y_1}{\lg x_2 - \lg x_1}$$

式中 Δy 与 Δx 的数值，为用尺子测量而得的线段的数值。

⑥ 在双对数坐标系上，直线与 $x=1$ 处的纵轴相交点的 y 值，即为方程： $y=ax^m$ 中的系数值 a 。若所绘制的直线在图面上不能与 $x=1$ 处的纵轴相交，则可在直线上任意取一组数据 x 和 y 代入原方程 $y=ax^m$ 中，通过计算求得系数值 a 。

3. 方程表示法

化学工程中通常需将实训数据或计算结果用数学方程或经验公式的形式表示出来。经验公式通常表示成无量纲的数群或特征数关系式。经验公式或特征数关系式表示的关键是如何确定公式中的常数和系数。经验公式或特征数关系式中的常数和系数的求法很多，最常用的是图解法和最小二乘法。

图解法即将数据在适当的坐标纸上标绘出直线后，根据直线的斜率或截距很容易求得经验公式或特征数关系式中的常数和系数。

最小二乘法由于本书涉及不到，在此不做介绍，用时可参考有关书籍。

四、实训结果的分析

数据整理后，即显示出一定的特性和变化规律，应该对它进行分析，使理论知识得到进一步的理解和巩固。通过分析实训结果应掌握单元操作的基本操作方法和技巧。通过对结果的分析应具备处理常见故障的能力；增强工程观念，培养科学实训能力；提高计算与分析问题的能力。

第二章 单元操作实训内容

实训一 流体静力学演示实训

一、实训目的

- (1) 掌握 U 形管压差计的使用方法, 计算有限容器内气体的压强。
- (2) 掌握多管式压差计的使用方法, 并利用多管式压差计计算有限容器内气体的压强。
- (3) 掌握密度未知的液体, 其密度的测定方法, 并测定其密度。
- (4) 根据流体静力学有关知识, 对不同位置 (图 2-1 中大水箱、小水桶, 管 9、管 10、管 13、管 14) 的液面其高度是否相同进行判断。
- (5) 通过对 U 形管压差计的使用, 进一步明确流体力学中压强的单位。

二、基本原理

由静力学基本方程式知, 在静止的、连续的、同一种流体内部, 在同一水平面上各点具有相同的压强。实训装置如图 2-1 所示。

(1) 当大水箱顶部的小考克打开时, 则大水箱液面上方的空气与大气相通, 此时大水箱的液面与小水桶的液面高度相同。且两液面上方的压强均为大气压强。

(2) 当大水箱顶部的小考克关闭时, 则大水箱液面上方的空气与外界大气隔离开。大水箱液面上方的压强大小随小水桶的升降而发生变化, 通过装置上的压差计能够反映出来。

(3) 大水箱液面上方空气压强 p 的测定 (小考克关闭)。压强用相对压强表示, 单位为 Pa。

① 用 U 形管压差计时:

$$p = \rho gh = \rho_1 g(Z_{11} - Z_{12}) = \rho_1 gh_6 \quad (2-1)$$

式中 p ——液面上方空气表压强, Pa;

ρ ——指示液密度, kg/m^3 ;