



教育部高职高专规划教材

单元操作实训

第二版

张宏丽 齐广辉 田莉瑛 主编
闫志谦 审

DANYUAN CAOZUO
SHIXUN



化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

单元操作实训

第二版

张宏丽 齐广辉 田莉瑛 主 编
闫志谦 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

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,对实训操作、实训实验和实训安全进行了介绍,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。本书可作为制药单元操作技术、化工单元操作课程的配套教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

单元操作实训/张宏丽,齐广辉,田莉瑛主编.—2版.—北京:
化学工业出版社,2011.10
教育部高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-12270-4

I. 单… II. ①张…②齐…③田… III. 化工单元操作-高等
职业教育-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第184400号

责任编辑:于 卉
责任校对:陈 静

文字编辑:孙凤英
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:北京市振南印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数315千字 2012年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址:<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是2005年化学工业出版社出版的教育部高职高专规划教材《单元操作实训》(张宏丽, 张志勋, 闫志谦编)的修订版。为适应高等职业教育蓬勃发展的新形势, 修订版更注重提高学生理论联系实际的能力, 培养学生工程技术观点和实际操作动手能力。

本教材在保持第一版教材特色的基础上, 修订内容如下: ①新增加了单元操作实训内容; ②更新了部分章节的内容; ③增加了自动控制的操作方法。

本教材以高职高专化工技术、制药技术、分析检测技术及化工机械技术类专业学生的培养目标为依据编写的。教材在编写过程中广泛征求了企业专家的意见, 具有较强的实用性。

教材在编写过程中, 注意贯彻“工学结合, 融教、学、做为一体。以掌握概念、强化应用、培养技能为教学重点”的原则, 突出应用能力和综合素质的培养, 反映高职高专特色。

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及第三篇安全生产实训章节; 齐广辉编写第一篇中的实训二、三章节; 田莉瑛编写第一篇中的实训五及第二篇中的实验五、六、七、八、九章节; 周坤编写第一篇中的实训一、四章节; 张志勋编写第二篇中的实验一、二、三、四章节内容。全书由张宏丽统稿。闫志谦审阅。

在本书编写过程中, 得到相关领导和同行的支持。本书部分章节中的图、表由段颖绘制。在此一并表示感谢。

由于编者水平所限, 时间仓促, 书中难免有不妥之处, 欢迎读者批评指正。

编者

2011年5月

第一版前言

“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；闫志谦编写第一章、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

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、单元操作实训岗位操作法	4
六、单元操作实验数据的处理	4
第一篇 实训操作篇	8
实训一 流体输送单元操作实训	8
流体输送——离心泵送料操作	8
流体输送——旋涡泵送料操作	18
流体输送——高位槽进料操作	25
流体输送——压缩空气送料操作	32
流体输送——真空输送抽料操作	39
实训二 传热单元操作实训	45
实训三 精馏单元操作实训	72
实训四 吸收-解吸单元操作实训	102
实训五 干燥单元操作实训	123
第二篇 实训实验篇	141
实验一 流体静力学演示实验	141
实验二 柏努利方程演示实验	143
实验三 雷诺演示实验	146
实验四 热边界层演示实验	147
实验五 流体流动阻力的测定	149
实验六 离心泵特性曲线的测定	153
实验七 换热器传热系数 K 的测定	158
实验八 精馏塔效率的测定	163
实验九 填料吸收塔体积吸收总系数的测定	170
第三篇 实训安全篇	178
第一节 概述	178
一、化工生产中的事故与伤害	178

二、化学工人应有的良好习惯·····	178
三、搞好安全生产的措施·····	179
第二节 火灾和爆炸·····	179
一、燃烧和燃烧条件·····	179
二、爆炸和爆炸极限·····	180
三、火灾与爆炸的预防·····	180
四、火灾与爆炸的处置·····	182
五、灭火装置及其应用·····	182
第三节 中毒与预防·····	184
一、概述·····	184
二、急性中毒与窒息·····	185
三、防毒措施·····	186
第四节 烧伤、烫伤、冻伤和化学灼伤·····	187
一、烧伤和烫伤·····	187
二、冻伤·····	188
三、化学灼伤·····	188
第五节 其他不安全因素·····	189
一、电击伤·····	189
二、光灼伤·····	189
三、机械创伤·····	189
四、撞击伤·····	189
五、摔伤与扭伤·····	189
六、噪声·····	190
七、思考题·····	190
参考文献 ·····	192

绪 论

单元操作实训是在原化工原理实验的基础上，打破普通教学模式，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，突出技能培训的职业教育模式中的重要教学环节。

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，了解整理实验数据的基本要求，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验数据的各种表格。
- (5) 明确实训过程中的操作要点和安全注意事项。

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各点。

(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方可取样或读取数据。所以实训条件改变后，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，不得随便拿一张纸记录。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、单位也应注明。

(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

编写实训报告的能力也是需要经受严格的训练的。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包括以下各项。

- (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、具体数值等一一写清楚。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、实验范畴，为了安全成功地完成实训，必须遵守以下注意事项和一些必须具备的最起码的安全知识。

1. 一般注意事项

- (1) 设备启动前必须认真检查

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

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如下一些最基本的安全知识。

(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，并搞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，累计多了就会中毒。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，也要用硫黄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，决不能采取用扫帚一扫或用水一冲的自欺欺人的办法。

另一类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，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，最低的也在0.6MPa以上。气瓶压力很高，以及储存的某些气体本身又是有毒或易燃易爆，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要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钢瓶重量；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，主要是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。

表 0-1 气瓶颜色标记

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
乙炔	3(液)	6	草绿色	乙炔	白色
二氧化硫	0.6(液)	1.2	白色	二氧化硫	红色
			黑色		白色

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粘到瓶阀上。

③ 气瓶直立放置要牢靠。开启气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，放尽减压阀中气体，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，连接管为右螺旋纹。

⑤ 氧气瓶阀严禁接触油脂。开关氧气瓶操作时，禁用带油污的手套和工具。

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、单元操作实训岗位操作法

岗位操作法是操作规程的实施和细化。是每个岗位操作工人借以进行生产操作的依据及指南,一经颁布实施即具有法定效力,是生产企业法规的基础材料及基本手则。单元操作实训方法以岗位操作法为依据,按照企业实际操作要求进行实训。

岗位操作法一般包括的内容如下。

(1) 本岗位的基本任务。明确本岗位所从事的生产任务,如:物料的数量、质量指标、温度、压力等。

(2) 工艺流程概述。说明本岗位的工艺流程及起止点,并绘出工艺流程简图。

(3) 所管设备。列出本岗位生产操作所使用的所有设备、仪表,标明其数量、型号、规格、材质、重量等。通常以设备一览表的形式来表示。

(4) 操作程序及步骤。列出本岗位如何开车及停车的具体操作步骤和操作要领。具体到某个阀门的开启程度;是先加料还是先升温,加料及升温具体操作步骤,升温升到多少度等,都要详细列出。

(5) 生产工艺指标。如操作温度、压力、投料量、配料比等,应一个不漏地全部列出。

(6) 仪表使用规程。列出仪表的启动程序及有关规定。

(7) 异常情况及其处理。列出本岗位通常发生的异常情况有几种,发生这些异常状况的原因分析及处理措施,措施要具体化。

(8) 巡回检查制度及交接班制度。认真填写交接班记录。

(9) 安全生产守则。按照装置及岗位特点列出本岗位安全工作的有关规定及注意事项,如不能穿带钉子的鞋上岗;戴橡皮手套进行操作等。

(10) 操作人员守则。从生产管理角度对岗位人员提出一些要求及规定。如上岗不能抽烟;不能打手机;必须按规定着装等。

六、单元操作实验数据的处理

1. 实验数据的测取与记录

(1) 实验中应测取哪些数据

① 凡是影响实验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验内容的标题名称。

② 表格中应记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，要用科学计数法表示。例如：20℃时二氧化碳的亨利系数 E ，用科学计数法表示为： $E=1.42 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。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 实验时一定要等操作稳定后，才开始读数，条件改变后，要等操作再次稳定后，再读取数。不稳定情况下所读取的实验数据，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，必须满足要求，记录数据时，必须清楚明确，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。

2. 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，这样就需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，亦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对待。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：

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

故

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

计算时先求出 B 值，依次代入 q_V ，即可求出相应的 Re 值。

3. 数据整理与标绘

由实验测取的大量数据，必须进行进一步的处理，以便使人们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三种。

(1) 列表法 将实验数据列成表格以表示各变量间的关系。这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。实验数据表可分为原始数据表、中间运算表和最终结果表。

(2) 图示法 将实验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验数据整理中, 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 $y = kax$ 的数据, 经两边取对数可变为 $\lg y = ax \lg k$, 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, 要反映出实验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, 而使图形占满坐标纸, 匀称居中, 避免图形偏于一侧。同一幅面上, 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)。标出实验点后, 用曲线板、直尺或三角板画出尽可能接近各实验点的曲线或直线, 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。

a. 标在对数坐标轴上的值是真值, 而不是对数值。

b. 对数坐标原点从 1 开始, 而不是零。

c. 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。

d. 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。

e. 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。

f. 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验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准数关系式。经验公式或准数关系式表示的关键是如何确定公式中的常数和系数。经验公式或准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准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，用到时请参考有关书籍。

4. 实验结果的分析

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。通过分析实验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，培养科学实验能力；提高计算与分析问题的能力。

第一篇 实训操作篇

实训一 流体输送单元操作实训

○ 流体输送——离心泵送料操作

一、实训目的

1. 熟悉离心泵送料操作流程中各种常用管件、阀件的基本结构及作用。
2. 掌握离心泵输送设备的结构及工作原理。
3. 了解各类测量仪表的作用及名称。
4. 掌握流体的离心泵输送的原理及操作技能。
5. 学会操作过程常见异常现象的判别及处理方法。

二、基本原理

化工生产中，将液体物料进行输送是经常性的操作。液体由低处送往高处，由低压设备送往高压设备需对液体做功，以提高液体的能量。为液体输送提供能量的机械称为泵，即利用流体输送泵将流体输送到目的地。离心泵具有流量均匀、容易调节、操作方便等优点，在生产中应用最为广泛。

1. 离心泵的主要构造

离心泵的主要部件为叶轮、泵壳和轴封装置。

(1) 叶轮 是泵的主要部件，其作用是将电动机的机械能传给液体，使液体的静压能和动能均有所提高。叶轮通常由 6~8 片的后弯叶片组成。

按其机械结构可分为三种：开式、半闭式、闭式。

按其吸液方式的不同可分为单吸式和双吸式两种。

(2) 泵壳 泵壳是一个截面逐渐扩大的状似蜗牛壳形的通道，称蜗壳。特点：①泵壳为汇集和导出液体的通道；②将叶轮抛出液体动能转化为静压能；③有利于减少能耗。

(3) 轴封装置 分填料密封和机械密封。填料密封主要是靠填料压盖压紧填料，迫使填料产生变形达到密封；机械密封（端面密封）主要是靠动环与静环端面间的紧密贴合来实现的。

2. 离心泵的工作原理

由于离心力的作用，泵的进出口产生压力差，从而使流体流动。

启动前，向泵内灌满被输送的液体（灌泵）。启动后叶轮带动叶片间的液体高速旋转，液体在离心力的作用下，从沿叶片抛向叶轮的周边，获得能量进入泵壳内，液体的流速逐渐降低而压强逐渐增大，以较高的压强从泵的排出口排出，输送到所需场所。

液体被抛出，在叶轮中心处形成低压区，液体在静压差作用下，吸入叶轮中心，完成离心泵的吸液过程。叶片不断转动，液体不断被吸入、排出形成连续流动。

启动泵时，泵内没充满液体，空气流入，叶轮旋转产生的离心力不够，而不能输送液体。这种现象称为“气缚”，表示离心泵无自吸能力，启动前要灌泵。

3. 离心泵的流量调节和运转

(1) 流量调节

① 改变管路特性曲线 改变离心泵流量最简单的方法就是利用泵出口阀门的开度来控制,其实质是改变管路特性曲线的位置来改变泵的工作点。

② 改变离心泵特性曲线 根据比例定律和切割定律,改变泵的转速、改变泵结构(如切削叶轮外径法等)两种方法都能改变离心泵的特性曲线,从而达到调节流量(同时改变压头)的目的。但是对于已经工作的泵,改变泵结构的方法不太方便,并且由于改变了泵的结构,降低了泵的通用性,尽管它在某些时候调节流量经济方便,在生产中也很少采用。这里仅分析改变离心泵的转速调节流量的方法。当改变泵转速调节流量从 Q_1 下降到 Q_2 时,泵的转速(或电机转速)从 n_1 下降到 n_2 ,转速为 n_2 下泵的特性曲线与管路特性曲线重新相交,交点为通过调速调节流量后新的工作点。此调节方法调节效果明显、快捷、安全可靠,可以延长泵使用寿命,节约电能,另外降低转速运行还能有效地降低离心泵的汽蚀余量,使泵远离汽蚀区,减小离心泵发生汽蚀的可能性。缺点是改变泵的转速需要通过变频技术来改变原动机(通常是电动机)的转速,原理复杂,投资较大,且流量调节范围小。

③ 泵的串、并联调节方式 当单台离心泵不能满足输送任务时,可以采用离心泵的并联或串联操作。用两台相同型号的离心泵并联,虽然压头变化不大,但加大了总的输送流量,并联泵的总效率与单台泵的效率相同;离心泵串联时总的压头增大,流量变化不大,串联泵的总效率与单台泵效率相同。

(2) 运转 ①离心泵启动前必须先灌泵。②为避免电机超载和加大电负荷,泵启动前先将排出管道上的阀门关闭,待电机运转正常后,再逐渐打开排出管道上的阀门。③泵运转时要定期检查和维修保养,以防出现液体泄漏和泵轴发热等情况。④泵停止工作前,要先关闭排出管道上的阀门再停电机,以免管路内液体倒流,使叶轮受到冲击而被损坏。若长期停泵不用,应放尽泵和管道内的液体,拆泵擦净后涂油防锈。

4. 转子流量计

又称浮子流量计,是变面积式流量计的一种,在一根由下向上扩大的垂直锥管中,圆形横截面的浮子的重力是由液体动力承受的,浮子可以在锥管内自由地上升和下降。

转子流量计由两个部件组成:一件是从下向上逐渐扩大的锥形管;另一件是置于锥形管中且可以沿管的中心线上下自由移动的转子。当测量流体的流量时,被测流体从锥形管下端流入,流体的流动冲击着转子,并对它产生一个作用力(这个力的大小随流量大小而变化);当流量足够大时,所产生的作用力将转子托起,并使之升高。同时,被测流体流经转子与锥形管壁间的环形断面,从上端流出。当被测流体流动时对转子的作用力正好等于转子在流体中的重量时(称为显示重量),转子受力处于平衡状态而停留在某一高度。分析表明:转子在锥形管中的位置高度,与所通过的流量有着相互对应的关系。因此,观测转子在锥形管中的位置高度,就可以求得相应的流量值。

5. 阀门

(1) 截止阀,也叫截门,是使用最广泛的一种阀门,它之所以广受欢迎,是由于开闭过程中密封面之间摩擦力小,比较耐用,开启高度不大,制造容易,维修方便,不仅适用于中低压,而且适用于高压。

它的闭合原理是,依靠阀杆压力,使阀瓣密封面与阀座密封面紧密贴合,阻止介质流通。

截止阀只许介质单向流动,安装时有方向性。它的结构长度大于闸阀,同时流体阻力大,长期运行时,密封可靠性不强。截止阀分为三类:直通式、直角式及直流式斜截止阀。

(2) 球阀的工作原理是靠旋转阀来使阀门畅通或闭塞。球阀开关轻便,体积小,可以做成很大口径,密封可靠,结构简单,维修方便,密封面与球面常在闭合状态,不易被介质冲刷,在各行业得到广泛的应用。球阀分两类:一是浮动球式;二是固定球式。

三、实训装置

1. 流程

本装置由水罐、反应釜、真空罐、离心泵、转子流量计和一套控制仪表组成。流程如图 1-1 所示(仪表控制柜未画出)。

物料(水)储存于水罐,离心泵启动后,物料经离心泵获得足够机械能,流经过滤阀、离心泵、转子流量计输送至反应釜内。操作完毕,物料放回至水罐。

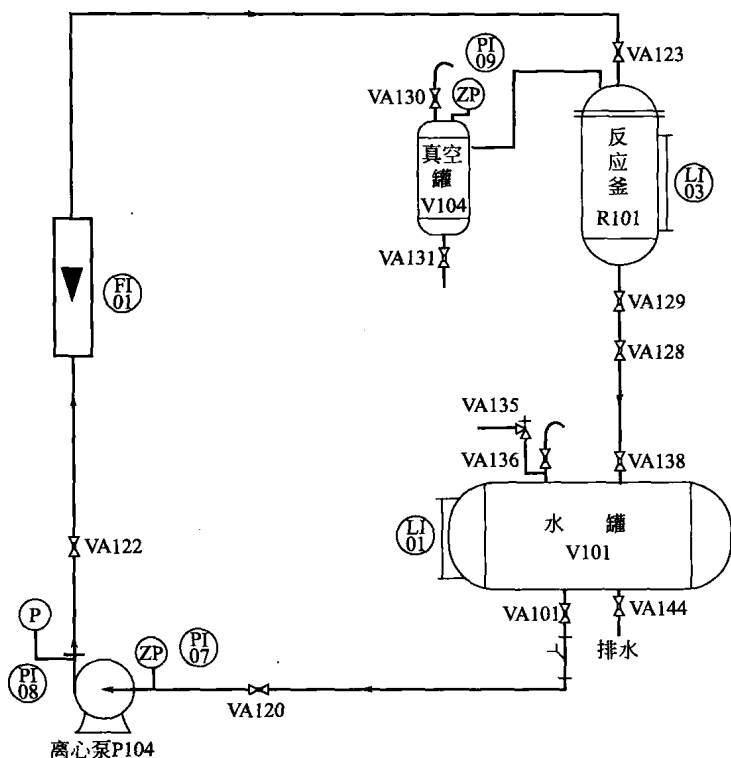


图 1-1 4# 离心泵输送流程

2. 主要设备

本流体输送装置主要有如下设备。

- (1) 水罐 储存原料, 材质不锈钢, $\phi 800\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 。
- (2) 反应釜 反应容器(输送目的地), 材质不锈钢, $\phi 500\text{mm} \times 700\text{mm}$ 。
- (3) 真空罐 缓冲罐, 维持压力稳定, 材质不锈钢, $\phi 350\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。
- (4) 离心泵 输送原料, 型号: WB70/055, 流量 $1.2 \sim 7.2\text{m}^3/\text{h}$, 扬程 $19 \sim 14\text{m}$, 功率 550W 。
- (5) 离心泵 输送原料, 型号: YLG40-16, 流量 $110\text{L}/\text{min}$, 扬程 16m , 功率 750W 。
- (6) 转子流量计 测定流量, 型号 LZB-40, 量程 $0 \sim 1600\text{L}/\text{h}$ 。
- (7) 压力表、真空表 测定压力, 精度为 1.6, 量程分别为 0.4 (或 0.6) MPa ; 0.1MPa 。
- (8) 压力传感器 测量压力、测量液位, 型号 CYB100B, 量程 $0 \sim 10\text{kPa}$, 精度 0.3 级。
- (9) 控制面板, 如图 1-2 所示。