



高等学校实验教材

高等学校“十三五”规划教材

过程工程原理实验

GUOCHENG GONGCHENG
YUANLI SHIYAN

章 茹 秦伍根 钟卓尔 主编



化学工业出版社

过程工程原理实验

GUOCHENG GONGCHENG
YUANLI SHIYAN

ISBN 978-7-122-35088-6



9 787122 350886 >

定价：36.00元



高等学校实验教材

高等学校“十三五”规划教材

过程工程原理实验

GUOCHENG GONGCHENG
YUANLI SHIYAN

章 茹 秦伍根 钟卓尔 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

完整PDF请访问

www.cip.com.cn

《过程工程原理实验》共分为7章,内容包括过程工程原理实验基础知识、实验误差分析与实验数据处理、基本物理量的测量、演示实验、基础实验、拓展实验、过程工程原理仿真实验。单元操作过程涉及雷诺实验、流体流动过程机械能的转换、流量计校核、流体管内流动阻力测定、离心泵特性曲线测定、板框过滤常数的测定、传热综合实验、填料塔吸收实验、筛板塔精馏操作及效率的测定、干燥速率曲线测定、转盘塔液-液萃取、膜分离实验等多个实验。单元操作后思考题的设置紧密联系实验内容,充分锻炼学生解决工程问题的能力。本书注重工程观点的培养,实用与理论兼顾,增强学生的创新意识。

《过程工程原理实验》可作为高等学校化学化工及相关专业的实验教材,适合用于本科化工类专业、化学类专业、应用化学专业、环境工程专业以及材料类专业的过程工程原理实验、化工原理实验、化工基础实验和化工专业实验教学;亦可作为环境、材料、生物工程、制药、食品等部门从事研究、设计与生产的工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

过程工程原理实验/章茹,秦伍根,钟卓尔主编. —北京:
化学工业出版社, 2019. 9

高等学校实验教材 高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-35088-6

I. ①过… II. ①章…②秦…③钟… III. ①化工过程-
实验-高等学校-教材 IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第183357号

责任编辑: 闫敏 江百宁

文字编辑: 向东

责任校对: 张雨彤

装帧设计: 张辉

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: 三河市航远印刷有限公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张11 $\frac{3}{4}$ 字数295千字 2019年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888

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: 36.00 元

版权所有 违者必究



前言

21 世纪化工科技的发展对化工类人才提出了更高的要求,尤其是创新能力的要求。高校的实验教学具有实践性和工程性;实验课程可以培养学生综合应用理论知识解决实际问题 and 正确表达实验结果的能力,开拓学生的实验思路,使学生掌握新的实验技术和方法,增强学生的创新意识。

《过程工程原理实验》是在借鉴了《化工原理实验》讲义的内容基础上编写而成的,该讲义是南昌大学化工原理实验室几代教师多年教学实践的总结。《过程工程原理实验》编写过程中对原来的实验内容进行了修改,广泛吸取了国内外实验教材中的优点,始终贯彻理论联系实际,注重实践环节,符合学生的认识规律及便于自学的原则。

本书以演示实验、基础实验、拓展实验、仿真实验四个层次组织教学内容,构建多模块多层次的实验教学课程系统;单元操作后思考题的设置,紧密联系实验内容,充分锻炼学生解决工程问题的能力。本书强调过程工程原理实验中的共性问题,各实验操作举例尽量采用原有实验装置中已多次验证的实例,以减少错误,因此本书更具有通用性和实用性。同时,本书注重工程观点的培养,实用与理论兼顾。

《过程工程原理实验》可作为高等学校化学化工及相关专业的实验教材,适合用于本科化工类专业、化学类专业、应用化学专业、环境工程专业以及材料类专业的过程工程原理实验、化工原理实验、化工基础实验和化工专业实验教学;亦可作为环境、材料、生物工程、制药、食品等部门从事研究、设计与生产的工程技术人员的技术参考书。

本书得到了南昌大学校级重点建设教材资助项目的支持;是在南昌大学建设江西省精品课程“过程工程原理”的过程中,对过程工程原理实验教学长期改革的成果。

本书由章茹、秦伍根、钟卓尔主编,参加编写人员还有邓燕芳、严进、曹文仲、喻国华等。

由于我们水平有限,存在的疏漏或不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

目录

第 1 章 过程工程原理实验基础知识 1

- 1.1 过程工程原理实验的教学目的和要求 1
- 1.2 过程工程原理实验的基本知识 3
- 1.3 实验室安全用电 11
- 1.4 实验规划与流程设计 13

第 2 章 实验误差分析与实验数据处理 17

- 2.1 实验误差分析 17
- 2.2 实验数据处理 27

第 3 章 基本物理量的测量 33

- 3.1 压力(差)的测量 33
- 3.2 流量与流速的测量 38
- 3.3 温度的测量 42

第 4 章 演示实验 47

- 4.1 雷诺实验 47
- 4.2 流体流动过程机械能的转换 51

第 5 章 基础实验 57

- 5.1 流量计校核 57
- 5.2 流体管内流动阻力测定 60
- 5.3 离心泵特性曲线测定 68
- 5.4 板框过滤常数的测定 73
- 5.5 传热综合实验 81
- 5.6 填料塔吸收实验 88
- 5.7 筛板塔精馏操作及效率的测定 97

5.8	干燥速率曲线测定	103
5.9	转盘塔液-液萃取	109

第6章 拓展实验 113

6.1	膜分离实验	113
6.2	喷雾干燥实验	119

第7章 过程工程原理仿真实验 122

7.1	精馏实验 3D 仿真实验	122
7.2	恒压过滤实验 3D 仿真实验	127
7.3	正交实验法在过滤实验中的应用实验	132
7.4	干燥速率曲线测定实验	137
7.5	离心泵串并联仿真实验	142
7.6	萃取塔实验 3D 仿真实验	148
7.7	气-气传热实验 3D 仿真实验	153
7.8	流体过程综合实验 3D 仿真实验	159
7.9	多相搅拌实验 3D 仿真实验	165
7.10	吸收(二氧化碳-水)实验 3D 仿真实验	170

附录 过程工程原理实验中常用数据表 177

附表1	乙醇-水溶液气液平衡数据(常压)	177
附表2	乙醇-水混合物的热焓量	178
附表3	10~70℃乙醇-水溶液的密度	178
附表4	乙醇-水溶液的比热容	179

参考文献 180



第1章 过程工程原理实验基础知识

1.1 过程工程原理实验的教学目的和要求

1.1.1 教学目的

过程工程原理实验是过程工程原理教学过程的一个重要组成部分,结合其自身的特点和体系,通过实验应达到如下教学目的:

① 根据过程工程原理实验目的,分析实验测定原理、设计实验流程图、选择实验装置、编写实验的具体步骤;

② 结合实验装置,对设备、管路的构成建立一个初步的认识,通过实验操作,培养学生的动手能力,掌握单元设备的操作技术;

③ 通过实验,培养学生对实验现象敏锐的观察能力,正确获取实验数据的能力,根据实验数据和实验现象,能用所学的知识归纳、分析实验结果,培养学生从事科学研究的初步能力;

④ 掌握过程工程原理实验的原理、方法和技巧,获得实验技能的基本训练;

⑤ 培养学生运用所学知识分析和解决实际问题的能力,在理论和实践相结合的过程中,巩固并加深对课堂理论教学内容的认识;

⑥ 学会实验报告的书写方法,培养书写工程文件的能力。

综上所述,过程工程原理实验教学是教学过程中一个非常重要的环节,其目的是注重对学生工程实践能力的全面培养。

1.1.2 教学要求

1.1.2.1 实验前的准备工作

(1) 充分准备,做好课前预习

课前预习的一般要求:认真阅读过程工程原理实验指导书,知道实验内容,明确所做实验的目的、任务和要求;掌握实验依据的原理、基本理论知识;根据实验流程图,构思实验

装置,熟悉实际实验装置(或流程);提出具体的实验操作步骤;思考实验应得到的结论,学习实验注意事项。

(2) 熟悉实验设备、流程,了解操作方法和测控点

全面了解实际的实验装置及所用的设备,熟悉实验流程及管件等,根据实验操作步骤,熟悉操作,了解数据测控点。

1.1.2.2 实验操作、观察与记录

(1) 严格操作,循序进行

进行过程工程原理实验时,首先要仔细检查实验装置及仪器、仪表是否完整(尤其是电路的接线及传动部件,以确保安全)。准备完毕,经指导教师允许后,方可进行操作。

实验过程要严格执行过程工程原理实验指导书中所列的操作步骤、具体操作方法和规定,循序渐进,未经指导老师允许不得随意变更操作步骤、方法和规程。

(2) 认真观察,客观记录

过程工程原理实验中要注意仔细观察所发生的实验现象,认真记录实验所测得的各项数据。

在实验前,必须学会有关测量仪表的使用方法 & 操作参数的调节。实验过程中,密切注意仪表指示值的变化,及时调节,使整个操作过程在规定的条件下进行,减少人为误差。

实验现象稳定后才能开始读数、记录数据。在刚改变条件时,不能急于测量记录。如流体流动实验,阀门开度刚改变时,流体流动不够稳定,这时测量的数据是不可靠的。

实验中如出现不正常的情况,如数据有明显误差时,应在备注栏中注明,说明产生不正常现象的原因,提出改进或应予避免的合理化建议。

1.1.2.3 实验结果处理的要求——编写完整、规范的实验报告

实验结束后,对测取的数据、观察到的实验现象和发现的问题进行分析,得出实验结论。所有这些工作应以实验报告的形式进行综合整理。实验报告作为实验文件,也是过程工程原理实验成绩评定的重要依据。

书写实验报告时应本着实事求是的态度,不能以任何理由随意更改所测得的实验数据。尊重所测数据,寻找产生误差的原因,才是从事科学实验的正确态度。

过程工程原理实验报告是以实验目的、原理和装置为基础的,依据规定和合理的操作步骤,测取正确、可靠的实验数据,最终分析、讨论得到实验结论的完整文件。实验报告的重点应放在实验数据的处理和实验结果的分析讨论方面。

具体的实验报告可参照下列文件格式撰写。

① 实验目的:指出实验所要达到的目的。

② 实验原理:简述实验所依据的测定原理和所涉及的理论基础。

③ 实验装置:画出实际的实验装置流程图,标出主要设备和检测仪表、设备的类型和规格。

④ 实验步骤:结合实验操作过程,简述操作方法、步骤等。

⑤ 实验数据处理:用表格的形式整理实测数据,依据实验原理完成数据的计算处理,计算步骤要全面清晰。进行类型相同的多组数据的处理时,可以用一组数据处理的全过程为例进行整理,其他数据的处理、计算过程如果类似,整理过程可以省略,只将计算结果列于表中。

⑥ 实验结果及讨论、分析:给出所做实验的结果;讨论实验结果与理论值的一致性,

分析产生误差的原因；回答实验指导书中关于实验的问题；针对产生误差的原因，提出合理化建议。

1.2 过程工程原理实验的基本知识

过程工程原理实验一般以 3~4 人为一组，因此实验操作时要求实验小组的成员各司其职（包括单元操作、读取数据、安全防范等），并且在适当的时候轮换岗位，做到既有分工又相互配合地完成实验。

1.2.1 过程工程原理典型单元操作知识

过程工程原理中的设备单元操作是化工生产中共有的操作，同一单元操作用于不同的化工生产及化工科学研究实验过程，其控制原理一般是相同的。下面简要介绍过程工程原理实验中较为常见的离心泵、精馏塔、吸收塔、萃取塔及干燥单元操作过程中的相关基本知识。

1.2.1.1 离心泵的基本操作知识

（1）离心泵的启停

离心泵启动前要进行盘车，即用手转动泵轴，检查确认泵轴旋转灵活后方可启动泵，以防止泵轴被卡住，造成泵电机的超负荷运转，发生电机烧毁或其他事故。要向泵体内灌满待输送的液体，使泵体内空气排净，以防止气缚现象的发生，使泵无法正常运转。启动泵时电动机的电流是正常运转的 5~7 倍，为避免烧毁电机，应使启动泵时轴功率消耗最小，因此离心泵启动前应关闭泵出口阀，使泵在最低负荷状态下启动。

离心泵启动后，应立即查看泵的出口压力表是否有压力，若无出口压力，应立即停泵，重新灌泵，排净泵体内的空气后再次启动；若有出口压力，应缓慢打开泵的出口阀调至所需要的流量。

离心泵停车时，应先缓慢关闭泵的出口阀，再停电机，以免高压液体的倒流冲击而损坏泵。

（2）离心泵的流量调节

离心泵在正常运行中常常因需求量的改变而要改变泵的输送流量，因此需要对泵的流量进行调节，常用的调节方法如下。

① 调节泵出口阀的开度。调节泵出口阀的开度实际上是通过改变管路流体的流动阻力，从而改变流量。当调大泵出口阀的开度时，管路的局部阻力减小，流量增大；当调小泵出口阀的开度时，管路的局部阻力增大，流量减小，达到调节流量的目的。这种调节流量的方法快捷简便，流量连续可调，应用广泛，其缺点是减小阀门开度时，有部分能量因克服阀门的局部阻力而额外消耗，在调节幅度较大时，使离心泵处于低效区工作，因此操作不经济。

实验时应特别注意，不能用减小泵入口阀开度的方法来调节流量，这种方法极有可能使离心泵发生汽蚀现象，破坏泵的正常运行。

② 改变泵的叶轮转速。从离心泵的特性可知，转速增大流量增大，转速减小流量减小，因而改变泵的叶轮转速就可以起到调节流量的作用。这种调节方法不增加管路阻力，因此没有额外的能量消耗，经济性好。缺点是需要装配变频（变速）装置才能改变转速，设备费用投入大，通常用于流量较高、调节幅度较大的实验。

③ 改变泵叶轮的直径。改变泵叶轮的直径可以改变泵的特性曲线，由离心泵的切割定律可知，流量通常与叶轮直径成正比关系，但更换叶轮很不方便，故生产上很少采用。

1.2.1.2 精馏塔的操作控制知识

维持精馏塔正常稳定的操作方法是控制三个平衡,即物料平衡、气液平衡、热量平衡。该过程实际是控制塔内气、液相负荷的大小,以保证塔内良好的传热传质,获得合格产品。但塔内气、液相负荷是无法直接控制的,生产或实验过程中主要通过控制压力、温度、进料量、回流比等条件来实现。

(1) 精馏塔压力的控制

精馏塔压力的控制是精馏操作的基础,塔的操作压力一经确定,就应保持恒定。操作压力的改变将会使塔内气液相平衡关系发生变化。影响塔压力变化的因素很多,在操作中应根据具体情况进行控制。

在正常操作中,若进料量、塔釜温度及塔顶冷凝器的冷凝剂量都不变化,则塔压力随采出量的变化而发生变化。采出量大,塔压力下降,采出量小,塔压力升高,因此稳定采出量可使塔压力稳定。当釜温、进料量以及塔顶采出量都不变化时,塔压力却升高,可能是冷凝器的冷凝剂量不足或冷凝剂温度升高引起的,应增大冷凝剂量,有时也可加大塔顶采出量或降低釜温以保证不超压。如果塔釜温度突然升高,塔内上升蒸汽量增大,导致塔压力升高,这种情况应迅速减少塔釜加热量及增大塔顶冷凝器的冷凝剂量或加大采出量,及时调节它的温度至正常。如果是塔釜温度突然降低,则情况相反,处理方法也相反。

(2) 精馏塔温度的控制

精馏塔的温度与气、液相的组成有着对应的关系。在精馏过程中,塔的操作压力恒定时,稳定塔顶的温度至关重要,可保证塔顶馏出液产品的组成。塔顶温度主要受进料量、进料组成、操作压力、塔顶冷凝器的冷凝剂量、回流温度、塔釜温度等因素影响。因此,控制塔顶温度应根据影响因素而作出对应的调节。若塔顶温度随塔釜温度改变时,应着重调节塔釜温度使塔顶温度恢复正常;若是因塔顶冷凝器的冷凝效果差、回流温度高而导致塔顶温度升高的,应增大塔顶冷凝器冷凝剂量以降低回流温度,从而达到控制塔顶温度的目的;若精馏段灵敏板的温度升高,塔顶产品轻组分浓度下降,此时应适当增大回流比,使其温度降至规定值,从而保证塔顶产品质量;若提馏段灵敏板的温度下降,塔底产品轻组分的浓度增大,应适当增大再沸器加热量,使塔釜温度上升至规定值。有时塔釜温度会随着塔的进料量或回流量的改变而改变,因此在改变进料量或回流量的同时应注意维持塔釜的正常温度。

(3) 精馏塔进料量的控制

在实验过程中不能随意改变进料量,进料量的改变会使塔内气、液相负荷发生变化,影响塔的物料平衡以及塔效率。进料量增大,上升气体的速度接近液泛速度时,传质效果最好,超过液泛速度将会破坏塔的正常操作。若进料量超过塔釜和冷凝器的负荷范围,将引起气液平衡组成的变化,造成塔顶、塔釜产品质量不合格。进料量减小,气速降低,对传质不利,严重时造成漏液,分离效果不好。因此,进料量应保持稳定状态。工艺要求改变时,应缓慢调节进料阀,同时维持全塔的总物料平衡,否则当进料量大于出料量时会引起淹塔,当进料量小于出料量时会出现塔釜蒸干现象。

(4) 回流比的控制

回流量与塔顶采出量之比称为回流比,回流比是影响精馏过程分离效果的重要因素,它是控制产品质量的主要手段。在精馏过程中产品的质量和产量的要求是相互矛盾的。在塔板数和进料状态等参数一定的情况下,增大回流比可提高塔顶产品轻组分的纯度,但在再沸器负荷一定的情况下,会使塔顶产量降低。回流比过大,将会造成塔内循环量过大,甚至破坏塔的正常操作;回流比过小,塔内气液两相接触不充分,分离效果差。因此,回流比是一个

既能满足生产要求,又能维持塔内正常操作的重要参数。回流比一经确定,就应保持相对稳定。

(5) 精馏塔的采出量

① 塔顶采出量。进料量一定,在冷凝器负荷不变的情况下降低塔顶产品的采出量,可使回流量及塔压差增大,塔顶产品纯度提高,但产量减少。塔顶采出量增加,造成回流量减少,因此精馏塔的操作压力降低,重组分被带到塔顶,致使塔顶产品不合格。

② 塔底采出量。正常操作中,塔底采出量应符合塔的总物料衡算公式,若采出量太小,造成塔釜液位逐渐升高,直至充满整个加热釜的空间,使塔釜液体难以汽化,此时将会影响塔底产品的质量。若采出量太大,致使塔釜液位过低,则上升蒸汽量减少,使板上传质条件变差,板效率下降。可见,塔底采出量应以控制塔釜内液面高度一定并维持恒定为原则。

(6) 精馏塔操作状况的判断

① 塔板上气、液接触情况。

a. 气液鼓泡接触状态:上升蒸汽的流速较慢,气液接触面积不大。

b. 泡沫接触状态:风速连续增加,气泡数量急剧增加,同时不断碰撞和破裂,板上液体大部分以膜的形式存在于气泡之间,形成一些直径较小、搅动十分剧烈的动态泡沫,是一种较好的塔板工作状态。

c. 气液蜂窝状接触状态:风速增加,上升的气泡在液层中积累,形成以气体为主的类似蜂窝状泡结构的气泡泡沫混合物,这种状态对传热、传质不利。

d. 喷射接触状态:风速连续增加,将板上的液体破碎,并向上喷成大小不等的液滴,直径较大的液滴落回塔板上,直径较小者会被气体带走形成液沫夹带。

② 塔板上的不正常现象。

a. 严重的漏液现象:气相负荷过小,塔内风速过低,大量液体从塔板开孔处垂落,使精馏过程中气液两相不能充分混合,严重漏液会使塔板上不能建立起液层而无法正常工作。

b. 严重的雾沫夹带现象:在一定的液体流量下,塔内气体上升速度增至某一定值时,塔板上某些液体被上升的调整气流带至上层塔板,这种现象称为雾沫夹带。风速越大,雾沫夹带越严重,塔板上液层越厚,严重时将会发生夹带液泛。雾沫夹带是一种与液体主流方向相反流动的返混现象,会降低板效率,破坏塔的正常操作。

c. 液泛现象。

夹带液泛:塔内上升风速很大时,液体被上升气体夹带到上一层塔板,流量猛增,使塔板间充满气液混合物,最终使整个塔内都充满液体。

溢流液泛:受降液管通过能力的限制,导致液体不能通过降液管往下流,而积累在塔板上,引起溢流液泛,破坏塔的正常操作。

1.2.1.3 吸收塔的操作控制知识

吸收操作以净化气体为目的时,主要的控制指标为吸收后的尾气浓度;当吸收液为产品时,主要控制指标为出塔溶液的浓度。吸收操作过程的主要控制因素有压力、温度、气流速度、吸收剂用量、吸收剂中吸收质的浓度。

(1) 压力的控制

提高吸收系统的压力,可以增大吸收推动力,提高吸收率。但压力过高,会增大动力消耗,对设备的承受强度要求高,设备投资及生产费用加大,因此能在常压下进行吸收操作的不用高压操作。实际操作压力主要由原料气组成及工艺要求决定。

(2) 温度的控制

吸收塔的操作温度对吸收速率影响很大, 升高操作温度, 容易造成尾气中的溶质浓度升高, 吸收率下降; 降低操作温度, 可增大气体溶解度, 加快吸收速率, 提高吸收率。但若温度过低, 吸收剂黏度增大, 吸收塔内流体流动性能状况变差, 增加输送能耗, 影响正常操作。因此, 操作中应维持已选定的最佳操作温度。对于有明显热效应的吸收过程, 通常塔内或塔外设有中间冷却装置, 此时应根据具体情况控制塔的操作温度在适宜状态。

(3) 气流速度的控制

气流速度的大小直接影响吸收过程。气流速度小, 气体湍动不充分, 吸收传质系数小, 不利于吸收; 气流速度大, 使气、液膜变薄, 减少气体向液体扩散的阻力, 有利于气体的吸收, 同时也提高了单位时间内吸收塔的生产效率。但气流速度过大时, 会造成气液接触不良、雾沫夹带甚至液泛等不良现象, 不利于吸收。因此, 要选择一个最佳的气流速度, 从而保证吸收操作高效稳定的进行。

(4) 吸收剂用量的控制

吸收剂用量过小, 塔内喷淋密度较小时, 填料表面不能完全湿润, 气、液两相接触不充分, 使传质面积下降, 吸收效果差, 尾气中溶质的浓度增加; 吸收剂用量过大, 塔内喷淋密度过大, 流体阻力增大, 甚至会引起液泛。因此, 需要控制适宜的吸收剂用量使塔内喷淋密度在最佳状态, 从而保证填料表面润湿充分和良好的气、液接触。

(5) 吸收剂中吸收质浓度的控制

对于吸收剂循环的吸收过程, 若吸收剂中溶质浓度增加, 会引起吸收推动力减小, 尾气中溶质的浓度增加, 严重时甚至达不到分离要求。降低吸收剂中溶质的浓度, 可增大吸收推动力, 在吸收剂用量足够的情况下, 尾气中溶质的浓度降低。因此, 入塔吸收剂的浓度增加时, 要对解吸系统进行调整, 以保证解吸后循环使用的吸收剂符合工艺要求。

(6) 吸收系统的拦液和液泛

吸收系统设计时已经考虑了引起液泛的主要原因, 因此按正常操作一般不会发生液泛, 但当操作负荷大幅度波动, 液层起泡, 气体夹带的雾沫过多时, 就会形成拦液甚至液泛。操作中判断液泛的方法通常是观察塔的液位, 操作中液体循环量正常而塔内液位下降、气体流量没变而塔的压差增大是可能要发生液泛的前兆。防止拦液和液泛发生的措施是严格控制工艺参数, 保持系统操作平衡, 尽量减轻负荷波动次数, 发现问题要及时处理。

1.2.1.4 萃取过程的操作控制知识

萃取实验中主要控制的参数包括总流量、温度、搅拌强度、相界面高度等。

(1) 总流量的控制

总流量即为轻、重两相流量的总和, 控制总流量其实是控制萃取设备的生产能力, 设备最大处理量一般在试运行已经测定, 但实验过程中原料液的组成可能发生变化, 因此要根据情况对两相流量作适当的调整控制。流量调整前应先调出液泛状态, 确定液泛状态的总流量, 然后在低于液泛状态的总流量下进行流量调整控制。

(2) 温度的控制

温度对大多数萃取体系都有影响, 这些体系都是通过温度对萃取剂和原料液的物理性质(溶解度、黏度、密度、界面张力)产生影响。但温度过高, 会增加萃取相的挥发损失, 因此操作温度应适当控制。

(3) 搅拌强度的控制

萃取过程中承受着原料液组分、操作温度的变化, 特别是界面絮凝物的积累, 常常会影响

响混合相和分相的特性，这就需要调整搅拌强度。搅拌强度与转速和叶轮直径（脉冲频率）成正比。搅拌强度越大，两相混合越好，传质效率越高。但相的分相则与此相反，因此在研究实验中要根据不同的萃取体系，通过控制搅拌器的转速来调整适宜的搅拌强度。

（4）相界面高度的控制

相界面的位置直接影响两相的分相和夹带，相界面的位置最好位于重相入口和轻相出口之间，相界面的高度可以通过界面位置来控制。

（5）液泛现象

萃取塔运行中若操作不当，会发生分散相被连续相带出塔设备外的情况，或者分散相液端凝聚成一段液柱并把连续相隔断，这种现象称为液泛。刚开始发生液泛的点称为液泛点，这时分散相、连续相的流速为液泛流速。液泛是萃取塔操作时容易发生的一种不正常的操作现象。

液泛的产生不仅与两相流体的物理性质（如黏度、密度、表面张力等）有关，而且与塔的类型、内部结构有关。对一特定的萃取塔操作时，当两相流体选定后，液泛由流速（流量）或振动脉冲频率和幅度的变化引起，即流速过大或振动频率过快时容易发生液泛。

1.2.1.5 干燥过程的调节控制知识

对于一个特定的干燥过程，干燥器和干燥介质已选定，同时湿物料的含水量、水分性质、温度及要求的干燥质量也一定。此时能调节的参数只有干燥介质的流量、进出干燥器的温度以及出干燥器时的湿度参数。这些参数相互关联、相互影响，当规定其中的任意两个参数时，另外两个参数也就确定了，即在对流干燥操作中，只有两个参数可以作为自变量而加以调节。在实际操作中，通常调节的参数是进入干燥器的干燥介质的温度和流量。

（1）干燥介质的进口温度和流量的调节

为了强化干燥过程，提高经济效益，在物料允许的最高温度范围内，干燥介质预热后的温度应尽可能提高一些。同一物料在不同类型的干燥器中干燥时允许的介质进口温度不同。如在干燥器中，由于物料在不断翻动，表面更新快，干燥过程均匀、速率快、时间短，此时介质的进口温度可较高。而在厢式干燥器中，由于物料处于静止状态，加热空气只与物料表面直接接触，容易使物料过热，应控制介质的进口温度不能太高。

增加空气的流量可以增大干燥过程的推动力，提高干燥速率，但空气流量的增加，会造成热损失增加，热利用率下降，使动力消耗增加；而且气速的增加，还会造成产品回收的负荷增加。生产中，要综合考虑温度和流量的影响，合理选择。

（2）干燥介质出口温度和湿度的影响及控制

当干燥介质的出口温度提高时，废气带走的热量增大，热损失增大；如果介质的出口温度太低，废气中含有相当多的水汽，这些水汽可能在出口处或后面的设备中达到露点，析出水滴，破坏干燥的正常操作，导致干燥产品的返潮和设备受腐蚀。

离开干燥器时，干燥介质的相对湿度增加，会导致一定的干燥介质带走的水汽量增加，但相对湿度增加，会导致过程推动力降低，完成相同干燥任务所需的时间增加或干燥器尺寸增大，最终使总的费用增大。因此，必须根据具体情况全面考虑。

对于一台干燥设备，干燥介质的最佳出口温度和湿度应通过实验来确定，在生产上或实验中控制干燥介质的出口温度和湿度主要通过调节介质的预热温度和流量来实现。例如，同样的干燥处理量，提高介质的预热温度或加大介质的流量，都可使介质的出口温度上升，相对湿度下降。在设有废气循环的干燥装置中，将循环废气与新鲜空气混合进入预热器加热后，再送入干燥器，以提高传热和传质系数，减少损失，提高热能的利用率。但废气的循环

利用会使进入干燥器的湿度增大,干燥过程中的传质推动力下降。因此,在进行废气循环操作时,应在保证产品质量和产量的前提下,适当调节废气循环比。

1.2.2 实验测定、记录和整理数据知识

(1) 实验测取的数据

凡是影响实验结果或是整理数据时必需的参数都应测取,包括大气条件、设备的有关尺寸、物理性质及操作数据等。凡可以根据某一数据导出或能从手册中查得的数据就不必直接测定。例如水的密度、黏度、比热容等物理性质,一般只要测出水温后即可查出,因此不必直接测定这些性质,只需测定水温就可以了。

(2) 实验数据的读取及记录

① 根据实验目的要求,在实验前做好数据记录表格,在表格中应标明各项物理量的名称、表示符号及单位。

② 待实验现象稳定后开始读取数据,若改变条件,应使体系稳定一段时间后再读取数据,以防止出现仪表滞后而导致读数不准的情况。

③ 每个数据记录后,应该立即复核,以免发生读错或写错数据的情况。

④ 数据的记录必须反映仪表的精度,一般要记录到仪表最小分度以下一位数。

⑤ 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。

(3) 实验数据的整理

① 原始记录的数据只可进行整理,绝不可修改。不正确数据可以进行注明后不计入结果。

② 同一实验点的几个有波动的数据可先取其平均值,然后进行整理。

③ 采用列表法整理数据清晰明了,便于比较。在表格之后应附计算示例以说明各项之间的关系。

④ 实验结果可用列表、绘制曲线或图形、书写方程式的形式表达。

1.2.3 过程工程原理实验危险药品安全使用知识

为了确保设备和人身安全,从事过程工程原理实验的人员必须具备以下危险品安全知识。实验室常用的危险品必须进行合理分类存放。对不同的危险药品,在为扑救火灾而选择灭火剂时,必须针对药品的性质进行选用,否则不仅不能取得预期效果,反而会引起其他危险。过程工程原理的精馏实验可能会用到乙醇、苯、甲苯等药品,吸收实验可能会用到丙酮、氨气等药品,拓展实验的萃取精馏、催化反应精馏也会用到不少化学药品,其中也包含危险药品,这些危险药品大致可分为下列几种类型。

(1) 易燃品

过程工程原理精馏实验及反应精馏中会涉及有机溶液加热,其蒸气在空气中的含量达到一定浓度时,就能与空气(实际上是氧气)构成爆炸性的混合气体。这种混合气体若遇到明火会发生闪燃爆炸。在实验中如果认真严格地按照安全规程操作,是不会有危险的。因为构成爆炸应具备两个条件,即可燃物在空气中的浓度在爆炸极限范围内和有点火源存在。因此防止爆炸的方法就是使可燃物在空气中的浓度在爆炸极限以外。故在实验过程中必须保证精馏装置严密、不漏气,保证实验室通风良好。在进行精馏易燃液体、有机物品时,加料量绝不允许超过容器的 $2/3$ 。在加热和操作的过程中,操作人员不得离岗,不允许在无操作人员监视下加热。禁止在室内使用有明火和敞开式的电热设备,也不能加热过快,致使液体急剧

汽化,冲出容器,也不能让室内有产生火花的必要条件存在。总之,只要严格掌握和遵守有关安全操作规程就不会发生事故。

(2) 有毒品

在过程工程原理实验中,往往被人们忽视的有毒物质是压差计中的水银,如果操作不慎,压差计中的水银可能被冲洒出来。水银是一种累积性的有毒物质,水银进入人体不易被排出,累积多了就会中毒。因此,一方面装置中应尽量避免采用水银;另一方面要谨慎操作,开关阀门要缓慢,防止冲走压差计中的水银,操作过程要小心,不要碰破压差计。一旦水银冲洒出来,一定要尽可能地将它收集起来,无法收集的细粒,也要用硫黄粉和氯化铁溶液覆盖。因为细粒水银蒸发面积大,易于蒸发汽化,不易采用扫帚扫或用水冲的办法消除。

(3) 易制毒化学品

过程工程原理吸收实验中可能用到的丙酮、精馏实验中可能用到的甲苯等都属于受管制的三类药品。这些易制毒化学品应按规定实行分类管理。使用、贮存易制毒化学品的单位必须建立、健全易制毒化学品的安全管理制度。单位负责人负责制定易制毒化学品的安全使用操作规程,明确安全使用注意事项,并督促相关人员严格按照规定操作。教学负责人、项目负责人对本组的易制毒化学品的使用安全负直接责任。落实保管责任制,责任到人,实行两人管理。管理人员需报公安部门备案,管理人员的调动需经部门主管批准,做好交接工作,并进行备案。

1.2.4 过程工程原理实验室高压钢瓶的使用知识

在过程工程原理实验中,另一类需要引起特别注意的物品就是装在高压钢瓶内的各种高压气体。过程工程原理实验中所用的高压气体种类较多,一类是具有刺激性气味的气体,如吸收实验中的氨、二氧化硫等,这类气体的泄漏一般容易被发觉;另一类是无色无味,但有毒或易燃易爆的气体,如常作为色谱载气的氢气,室温下在空气中的爆炸范围为4%~75.2%(体积分数)。因此使用有毒或易燃易爆气体时,系统一定要严密不漏气,尾气要导出室外,并注意室内通风。

高压钢瓶(又称气瓶)是一种贮存各种压缩气体或液化气体的高压容器。钢瓶的容积一般为40~60L,最高工作压力为15MPa,最低的也在0.6MPa以上。瓶内压力很高,贮存的气体可能有毒或易燃易爆,故使用气瓶时一定要掌握气瓶的构造特点和安全知识,以确保安全。

气瓶主要由筒体和瓶阀构成,其他附件还有保护瓶阀的安全帽、开启瓶阀的手轮以及使运输过程减少震动的橡胶圈。在使用时瓶阀的出口还要连接减压阀和压力表。标准高压气瓶是按国家标准制造的,经有关部门严格检验后方可使用。各种气瓶使用过程中,还必须定期送有关部门进行水压试验。经过检验合格的气瓶,在瓶肩上应用钢印打上下列资料:制造厂家、制造日期、气瓶的型号和编号、气瓶的重量、气瓶的容积和工作压力、水压试验压力、水压试验日期和下次试验日期。

各类气瓶的表面都应涂上一定颜色的油漆,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贮存气体的种类,以免混淆。如氧气瓶为浅蓝色,氢气瓶为暗绿色,氮气、压缩空气、二氧化碳、二氧化硫等钢瓶为黑色,氨气瓶为棕色,氯气瓶为黄色,氯气瓶为草绿色,乙炔瓶为白色。

为了确保安全,在使用气瓶时,一定要注意以下几点。

① 当气瓶受到明火或阳光等热辐射作用时,气体因受热而膨胀,使瓶内压力增大,当

压力超过工作压力时,就有可能发生爆炸。因此,在钢瓶运输、保存和使用时,应远离热源(明火、暖气、炉子等),并避免长期在日光下暴晒,尤其在夏天更应注意。

② 气瓶即使在温度不高的情况下受到猛烈撞击,或不小心将其碰倒跌落,都有可能引起爆炸。因此,钢瓶在运输过程中,要轻搬轻放,避免跌落撞击,使用时要固定牢靠,防止碰倒。更不允许用铁锤、扳手等金属器具敲打钢瓶。

③ 瓶阀是钢瓶中的关键部件,必须保护好,否则将会发生事故。

a. 若瓶内存放的是氧气、氢气、二氧化碳和二氧化硫等气体,瓶阀应用铜和钢制成。若瓶内存放的是氨气,则瓶阀必须用钢制成,以防腐蚀。

b. 使用钢瓶时,必须用专用的减压阀和压力表。尤其是氢气和氧气的减压阀不能互换,为了防止氢气和氧气两类气体的减压阀混用造成事故,氢气表和氧气表的表盘上都注明有氢气表和氧气表的字样。在氢气及其他可燃气体的瓶阀中,连接减压阀的连接管为左旋螺纹,而在氧气等不可燃烧气体瓶阀中,连接管为右旋螺纹。

c. 氧气瓶阀严禁接触油脂。高压氧气与油脂相遇,会引起燃烧,甚至会发生爆炸。因此切莫用带油污的手和扳手开关氧气瓶。

d. 要注意保护瓶阀。开关瓶阀时一定要搞清楚方向,缓慢转动,旋转方向错误和用力过猛会使螺纹受损,可能导致冲脱,造成重大事故。关闭瓶阀时,注意使气瓶不漏气即可,不要关得过紧。气瓶用完和搬运时,一定要盖上保护瓶阀的安全帽。

e. 瓶阀发生故障时,应立即报告指导教师,严禁擅自拆卸瓶阀上的任何零件。

④ 当钢瓶安装好减压阀和连接管后,每次使用前都要在瓶阀附近用肥皂水检查,确认不漏气才能使用。对于有毒或易燃易爆气体的气瓶,除了应保证严密不漏外,最好单独放置在远离过程工程原理实验室的小屋里。

⑤ 钢瓶中的气体不要全部用尽。一般钢瓶使用到压力为 0.5MPa 时,应停止使用。因为压力过低会给充气带来不安全因素,当钢瓶内的压力与外界大气压力相同时,会造成空气的进入。危险气体在充气时极易因为上述原因发生爆炸事故,这类事故已经发生过多次。

⑥ 输送易燃易爆气体时,流速不能过快,在输出管路上应采取防静电措施。

⑦ 气瓶必须严格按期检验。

1.2.5 过程工程原理实验室消防安全知识

实验操作人员必须了解消防知识。实验室内应准备一定数量的消防器材,实验人员应熟悉消防器材的存放位置和使用方法,绝不允许将消防器材移作他用。实验室常用的消防器材包括以下几种。

(1) 火沙箱

易燃液体和其他不能用水灭火的危险品着火时可用沙子来扑灭。它能隔绝空气并起降温作用,达到灭火的目的。但沙中不能混有可燃性杂物,并且要干燥。潮湿的沙子遇火后因水分蒸发,易使燃着的液体飞溅。沙箱中存沙有限,实验室内又不能存放过多沙箱,故这种灭火工具只能扑灭局部小规模的火源。对于大面积火源,因沙量少而作用不大。此外可用其他不燃性固体粉末灭火。

(2) 石棉布、毛毡或湿布

这些器材适合迅速扑灭火源区域不大的火灾,也是扑灭衣服着火的常用方法。这种灭火方法的原理是通过隔绝空气达到灭火目的。