



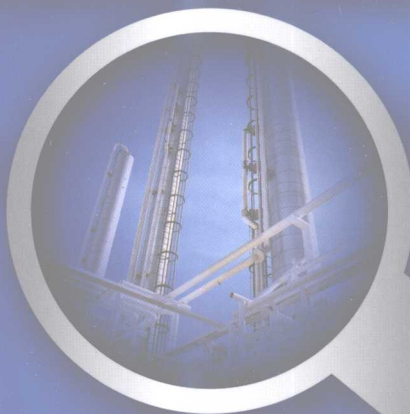
化工工人岗位培训教材

化工单元操作过程

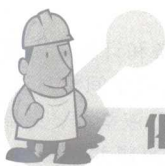
第二版

闫 晔 刘佩田 主编

HUAGONG DANYUAN CAOZUO GUOCHENG



化学工业出版社



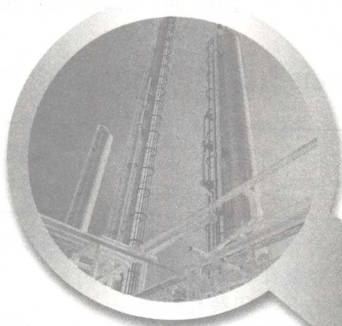
化工工人岗位培训教材

化工单元操作过程

第二版

闫 晔 刘佩田 主编

HUAGONG DANYUAN CAOZUO GUOCHENG



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据国家有关标准,结合化工企业的需要而编写的技术工人培训教材。

本书介绍了化工单元操作的基本原理、典型设备和计算,内容包括流体流动、液体输送机械、气体压缩和输送机械、流体与粒子间相对运动的过程、传热原理及传热设备、蒸发、蒸馏、吸收、干燥、液-液萃取、结晶、膜分离技术和冷冻。每章前给出了培训目标,章后给出了习题并在书后附有答案,便于培训和自学。

本书可作为化工企业技术工人的培训教材,也可供非化工专业人员和生产管理部门人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

化学单元操作过程/闫晔,刘佩田主编. —2版. —北京:
化学工业出版社,2008.7
化工工人岗位培训教材
ISBN 978-7-122-03037-5

I. 化… II. ①闫…②刘… III. 化工单元操作-技术培训-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第096702号

责任编辑:刘哲 周国庆
责任校对:陶燕华

文字编辑:张艳
装帧设计:尹琳琳

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
850mm×1168mm 1/32 印张14½ 字数408千字 2008年9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: 35.00 元

版权所有 违者必究

《化工单元操作过程》第一版于2004年9月由化学工业出版社出版发行，受到广大读者的欢迎。经过几年的使用，针对教材中的问题，我们征求了部分使用者的意见和建议，并结合企业技术工人培训的实际需求，决定对第一版进行修改补充。

本书第二版在原有常见的化工单元操作的基础上，删除了“新型分离技术”一章，将其中的“超临界萃取”放在萃取单元操作中，单独设置了“膜分离技术”单元，并增加了冷冻单元的内容，使单元操作的划分更为科学、合理。每章学习内容前增加了“本章培训目标”，使学习者明确学习目标和要求。在每章后配有大量复习思考题，题型包括判断题、选择题、填空题、问答题、计算题等，形式多样，知识点覆盖全面，便于学习者自主学习、复习，使本书在工人培训中更具使用价值。主要计量单位换算、常用物性参数、典型设备规格型号等内容则被收集在附录中，便于读者根据生产实际情况参考使用。

本书在表述方面注意语言简洁，图表清晰，物理量单位统一规范，专业术语、名词、符号符合规定。在每单元的内容修订中，考虑到对中级技术工人的理论和操作要求，重点突出了基本原理、基本计算和典型设备的操作、维护，删减了理论性较强的推导和计算以及应用较少的技术和设备，注重结论，贴近实际，具有实用价值。

本书共分13章。其中，绪论、第1章、第7章、第8章、第13章及附录由刘佩田编写，第2章、第3章、第4章由吕春莲编写，第5章、第6章、第9~12章由闫晔编写，全书由闫晔统稿。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

为适应市场经济发展和行业发展对职工教育培训的需要，积极配合化工企业技术工人进行职业技能鉴定及培训，提高工人理论知识水平和操作技能，根据国家有关部门职业技能鉴定标准，结合化工企业技术工人的现状，化学工业出版社组织了一套《化工工人岗位培训教材》，包括《化学基础》、《化工工艺基础》、《机械基础》、《化工安全技术基础》、《化工单元操作过程》、《化工电气》、《化工仪表》和《化工分析》。

本书为《化工单元操作过程》。全书针对化工各个单元的操作，分别介绍了其基本原理、典型设备和计算方法。在编写过程中，我们多次学习讨论了《化工特有工种职业技能鉴定规范》（讨论稿）和最新化工特有职业技能鉴定的有关精神，对其内容范围和深浅程度有了充分的理解，在写作上兼顾高级技术工人在操作技能上的差别及其在基本技术理论知识上的共性，并考虑成人学习的特点，注重理论联系实际，紧紧围绕化工生产的实际和检修维护的特点，由浅入深、由易到难地提出问题、分析问题、解决问题，列举了生产和计算实例。

本书在文字表述方面注意做到用语通俗易懂、图表清晰、术语、名词及符号符合新规定。在内容方面删减了部分目前化工企业生产中已淘汰的工艺、设备等方面的内容，增加了近年来在化工企业生产中采用的新标准、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。

本教材的绪论、第1章、第7章、第8章由北京市化工学校刘佩田编写；第2章、第3章、第4章由北京市化工学校吕春莲编写；第5章、第6章、第9章、第10章、第11章、第12章由北京市化工学校闫晔编写。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2004年5月

绪论

本章培训目标	1
0.1 化工单元操作及研究对象	2
0.2 化工单元操作过程中的基本规律	3
0.3 单位制及单位换算	5
复习思考题	6

第 1 章 流体流动 7

本章培训目标	7
1.1 流体静力学	8
1.1.1 流体的密度	8
1.1.2 流体压强	10
1.1.3 流体平衡时的规律——流体静力学基本方程式	12
1.2 流体流动	16
1.2.1 流量和流速	16
1.2.2 流体稳定流动时的物料衡算——连续性方程	17
1.2.3 流体稳定流动时的能量衡算——伯努利方程式	19
1.3 流体流动的阻力	27
1.3.1 产生流体阻力的原因及影响因素	27
1.3.2 流体流动阻力	30
1.4 化工管路	31
1.4.1 管子的种类	31
1.4.2 常用管件与阀门	33
1.4.3 管路的连接方式	35
1.4.4 管路布置和安装原则	35
1.4.5 管路常见故障及处理	37
复习思考题	37

第 2 章 液体输送机械 45

本章培训目标	45
--------	----

2.1 离心泵	46
2.1.1 离心泵的工作原理及主要构件	46
2.1.2 离心泵性能参数和离心泵的特性曲线	50
2.1.3 离心泵的调节	55
2.1.4 离心泵安装高度	56
2.1.5 离心泵的型号	59
2.1.6 离心泵的运行与维护	61
2.1.7 离心泵常见设备故障及处理措施	62
2.1.8 离心泵常见操作事故与防范措施	63
2.2 往复泵	64
2.2.1 往复泵的工作原理	64
2.2.2 往复泵的分类和结构特点	64
2.2.3 往复泵的主要性能	65
2.2.4 往复泵的运转和调节	66
2.3 其他类型泵	68
2.3.1 旋涡泵	68
2.3.2 螺杆泵	70
2.3.3 齿轮泵	70
复习思考题	71
第 3 章 气体压缩和输送机械	77
本章培训目标	77
3.1 离心通风机	78
3.1.1 通风机的类型	78
3.1.2 离心通风机的构造和工作原理	79
3.1.3 离心通风机的性能、型号	79
3.2 鼓风机	81
3.2.1 离心鼓风机的工作原理、主要构造和型号	81
3.2.2 罗茨鼓风机	81
3.3 压缩机	82
3.3.1 离心压缩机	82
3.3.2 往复压缩机	85

复习思考题	91
-------------	----

第 4 章 流体与粒子间相对运动的过程

95

本章培训目标	95
--------------	----

4.1 沉降	96
--------------	----

4.1.1 重力沉降	96
------------------	----

4.1.2 离心沉降	104
------------------	-----

4.2 过滤	107
--------------	-----

4.2.1 过滤操作的基本概念	107
-----------------------	-----

4.2.2 过滤机的构造和操作	110
-----------------------	-----

4.2.3 离心过滤	118
------------------	-----

4.3 气体的其他净制设备	123
---------------------	-----

4.3.1 袋滤器	123
-----------------	-----

4.3.2 湿式除尘器	124
-------------------	-----

4.3.3 静电除尘	125
------------------	-----

复习思考题	126
-------------	-----

第 5 章 传热原理及传热设备

131

本章培训目标	131
--------------	-----

5.1 概述	132
--------------	-----

5.1.1 传热在化工生产中的应用	132
-------------------------	-----

5.1.2 传热的基本方式	132
---------------------	-----

5.1.3 稳定传热和非稳定传热	133
------------------------	-----

5.1.4 载热体及其选择	133
---------------------	-----

5.2 热传导	134
---------------	-----

5.2.1 热传导基本规律	135
---------------------	-----

5.2.2 热导率	135
-----------------	-----

5.2.3 多层平壁的热传导	137
----------------------	-----

5.3 对流传热	138
----------------	-----

5.3.1 对流传热过程分析	138
----------------------	-----

5.3.2 对流传热速率方程	139
----------------------	-----

5.3.3 对流传热膜系数的经验公式	140
--------------------------	-----

5.4 传热基本方程式和传热过程的计算	144
5.4.1 传热基本方程式 (总传热速率方程式)	145
5.4.2 传热过程的热量衡算	145
5.4.3 平均温度差的计算	147
5.4.4 总传热系数 K	151
5.4.5 强化传热的措施	154
5.5 换热器	156
5.5.1 工业换热方式	156
5.5.2 间壁式换热器	157
5.5.3 换热器的基本操作	163
5.5.4 常用换热器常见故障与其处理方法	166
复习思考题	166
第 6 章 蒸发	173
本章培训目标	173
6.1 概述	174
6.1.1 蒸发及蒸发流程	174
6.1.2 蒸发操作的分类	174
6.1.3 蒸发操作的特点	175
6.2 单效蒸发计算	176
6.2.1 溶剂的蒸发量 W	176
6.2.2 加热蒸汽消耗量 D	176
6.2.3 蒸发器的传热面积 A	178
6.3 蒸发设备	181
6.3.1 蒸发器结构	181
6.3.2 蒸发辅助设备	186
6.4 蒸发设备的运行与操作	188
6.4.1 蒸发器生产强度的影响因素	188
6.4.2 蒸发操作的经济性	189
6.4.3 蒸发系统日常运行操作与维护	194
6.4.4 蒸发系统常见操作事故与防止	196
复习思考题	196

第 7 章 蒸馏 201

本章培训目标 201

7.1 气液相平衡关系 203

7.1.1 双组分理想溶液的气液相平衡关系 203

7.1.2 挥发度和相对挥发度 207

7.2 简单蒸馏和精馏的原理及流程 209

7.2.1 简单蒸馏的原理及流程 209

7.2.2 精馏原理及精馏流程 210

7.3 双组分连续精馏过程的基本计算 214

7.3.1 物料衡算及操作线方程 214

7.3.2 进料状况对操作线的影响 218

7.3.3 回流比的影响 221

7.3.4 连续精馏装置的热量衡算 222

7.4 精馏塔 224

7.4.1 工业上对塔设备的要求 224

7.4.2 板式塔的构造 224

7.5 精馏塔的操作 230

7.5.1 气、液相负荷对精馏操作的影响 230

7.5.2 精馏塔的操作控制 232

7.5.3 精馏系统常见的设备故障及处理 235

7.5.4 精馏塔常见操作故障与处理 235

复习思考题 237

第 8 章 吸收 247

本章培训目标 247

8.1 概述 248

8.1.1 吸收操作的目的 248

8.1.2 对吸收剂的基本要求 249

8.1.3 吸收操作的特点 249

8.1.4 吸收操作的分类 249

8.1.5 吸收的基本流程 250

8.2 吸收过程的相平衡关系	253
8.2.1 气相和液相组成的表示法	253
8.2.2 气体在液体中的溶解度	255
8.2.3 相平衡关系	256
8.2.4 相平衡关系在吸收操作中的应用	259
8.2.5 传质的基本方式	260
8.2.6 吸收机理——双膜理论	260
8.3 吸收塔物料衡算	262
8.3.1 吸收塔物料衡算与操作线方程	262
8.3.2 吸收剂的用量	264
8.4 解吸	266
8.5 填料塔	267
8.5.1 填料塔的基本结构	267
8.5.2 主要塔内件介绍	267
8.5.3 吸收塔操作的主要控制因素	273
8.5.4 吸收系统常见设备故障与处理	275
8.5.5 吸收系统常见操作事故与防止	277
复习思考题	279

第 9 章 干燥

本章培训目标	285
9.1 概述	286
9.1.1 干燥过程的分类	286
9.1.2 对流干燥过程	287
9.2 湿空气的性质和湿物料的性质	289
9.2.1 湿空气的状态参数	289
9.2.2 湿物料的性质	293
9.3 干燥速率与干燥过程物料衡算	296
9.3.1 干燥速率及其影响因素	296
9.3.2 干燥过程物料衡算	299
9.4 干燥设备及其操作	302
9.4.1 干燥的操作方式介绍	302

9.4.2 常用干燥器的结构和特点	304
9.4.3 常用干燥器的使用与维护	311
9.4.4 干燥过程的节能	313
复习思考题	314

第 10 章 液-液萃取

本章培训目标	319
10.1 液-液萃取过程	320
10.1.1 萃取基本原理	320
10.1.2 液-液相平衡	321
10.1.3 萃取剂的选择	322
10.2 萃取流程	323
10.2.1 单级萃取流程	323
10.2.2 多级萃取流程	324
10.2.3 微分接触式逆流萃取	325
10.3 萃取设备	325
10.3.1 萃取设备分类	325
10.3.2 常用萃取设备	326
10.3.3 影响萃取操作的主要因素	330
10.4 超临界萃取	332
10.4.1 超临界萃取的基本原理	332
10.4.2 超临界萃取的典型流程	334
10.4.3 超临界萃取的特点	335
复习思考题	336

第 11 章 结晶

本章培训目标	339
11.1 结晶过程的基本原理	340
11.1.1 溶解与结晶	340
11.1.2 溶解度曲线	341
11.1.3 过饱和曲线	342
11.2 结晶过程的物料衡算	343

11.3 结晶过程的操作与控制	345
11.3.1 结晶生成过程	345
11.3.2 结晶操作的影响因素	346
11.3.3 结晶过程的操作控制	347
11.4 结晶设备	348
11.4.1 工业上采用的结晶方法	349
11.4.2 常用结晶设备	349
复习思考题	353

第 12 章 膜分离技术 357

本章培训目标	357
12.1 概述	358
12.1.1 膜分离技术的特点及应用	358
12.1.2 膜分离过程操作方式	359
12.1.3 常用的膜分离方法	360
12.2 膜和膜组件	362
12.2.1 膜及膜材料	362
12.2.2 膜分离组件	364
12.3 膜分离过程的应用	367
12.3.1 超滤和微滤	367
12.3.2 反渗透	368
12.3.3 电渗析	371
12.3.4 气体膜分离过程	372
12.4 膜分离过程中的问题及处理	373
12.4.1 压密作用	373
12.4.2 水解作用	374
12.4.3 浓差极化	374
12.4.4 膜污染的防治	374
复习思考题	376

第 13 章 冷冻 381

本章培训目标	381
--------	-----

13.1 蒸气压缩式冷冻的基本原理	383
13.1.1 冷冻循环	383
13.1.2 冷冻系数	385
13.1.3 冷冻操作条件的选定	386
13.1.4 冷冻能力	387
13.2 多级压缩蒸气冷冻机	388
13.2.1 采用多级压缩蒸气式制冷的原因	388
13.2.2 两级压缩蒸气冷冻机	389
13.2.3 复叠式冷冻机	391
13.3 冷冻剂与载冷体	392
13.3.1 冷冻剂	392
13.3.2 载冷剂	394
13.3.3 润滑油	395
13.4 压缩蒸气冷冻机的主要设备	397
13.4.1 压缩机	397
13.4.2 冷凝器	398
13.4.3 蒸发器	399
13.4.4 节流器	401
13.5 制冷系统的安全技术	402
13.5.1 安全装置	402
13.5.2 安全操作	403
复习思考题	405
附录	409
参考答案	437
参考文献	442

绪 论



本章培训目标

1. 熟知化工单元操作及研究对象。
2. 熟知常用的化工单元操作及遵循的基本规律。
3. 能进行常用物理量单位的换算；会查附录，逐步学会各种工程图表的使用方法。

0.1 化工单元操作及研究对象

用化工方法对原料进行加工处理成为产品的过程称为化工过程。化工过程千差万别，化工产品千千万万，但化工过程可以分为两类：一类是以化学反应为核心的化学反应过程，通常在化学反应器中进行；另一类是不进行化学反应的过程，不改变物料的化学性质，只改变其物理性质，这一类物理过程称为化工单元操作。化工单元操作具有如下特点：①它们都是物理过程，这些操作过程只改变物料的状态或其物理性质，并不改变其化学性质。②它们是化工生产中共有的操作。化工过程虽然差别很大，但它们都是由若干单元操作有机地组合而成的。③某一单元操作用于不同的化工生产过程，其原理是相同的，进行该单元操作的设备往往是通用的。

化工单元操作的研究对象就是化工生产中共通的部分，即化工单元操作的基本规律、基本计算、操作原理、典型设备的构造和操作等，本书的内容是讨论常用的一些单元操作。单元操作按其所遵循的规律分为如下四类。

(1) 流体动力传递过程

包括遵循流体流动规律的单元操作，如流体的输送、沉降、过滤、离心分离、固体流态化等。也称为动量传递过程。

(2) 热量传递过程

研究传热的基本规律及遵循传热基本规律的单元操作，如加热、冷却、蒸发等。也简称传热。

(3) 质量传递过程

研究质量传递过程的基本规律及遵循质量传递基本规律的单元操作，如蒸馏、吸收、萃取、膜分离等。也简称传质。

(4) 热力过程

遵循热力学定律的单元操作，如冷冻等。

化工单元操作的分类并不是绝对的，有些单元操作如干燥、结晶等同时遵循传热和传质的基本规律。

0.2 化工单元操作过程中的基本规律

单元操作的操作过程尽管比较复杂,但过程中遵循的是物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率四个规律。下面扼要介绍这几个规律。

(1) 物料衡算

物料衡算的依据是质量守恒定律。化工过程中,向过程输入物料质量必等于从该过程输出物料质量和积累于该过程中物料质量之和。

$$\text{输入物质质量} = \text{输出物质质量} + \text{累积物质质量}$$

对于连续操作过程,各物料质量不随时间变化,即处于稳定操作状态时,过程中无物料累积,此时物料衡算关系为:

$$\text{输入物质质量} = \text{输出物质质量}$$

物料衡算可以由过程的已知量求出未知量。进行物料衡算的步骤如下:

- ① 根据过程要求画出示意图,用箭头在图上标出物料的流向,将已知和所求标注在箭头旁边;
- ② 划定衡算范围,其边界要与待求的物流相交,这样所列的衡算式才包括所求的未知量;
- ③ 确定衡算基准,一般以时间、单位进料量或排除量及设备的单位体积等为基准;
- ④ 列出衡算式并求解。

【例 0-1】 连续操作的精馏塔将 15000kg/h 含苯 40% 和甲苯 60% 的混合液分离成为含苯 97% 的馏出液和含甲苯 98% 的残液(以上均为质量分数)。求馏出液和残液的流量。

解 如图虚线范围为精馏塔物料衡算范围,因连续操作,以每小时为衡算基准,列出衡算式求解。

$$\text{全塔总物料衡算式} \quad 15000 = D + W \quad \text{①}$$

$$\text{苯组分物料衡算式} \quad 15000 \times 40\% = D \times 97\% + W \times 2\% \quad \text{②}$$

联立方程①、②求解得

$$\text{馏出液} \quad D = 6000 \text{ kg/h}$$