



高职高专项目导向系列教材

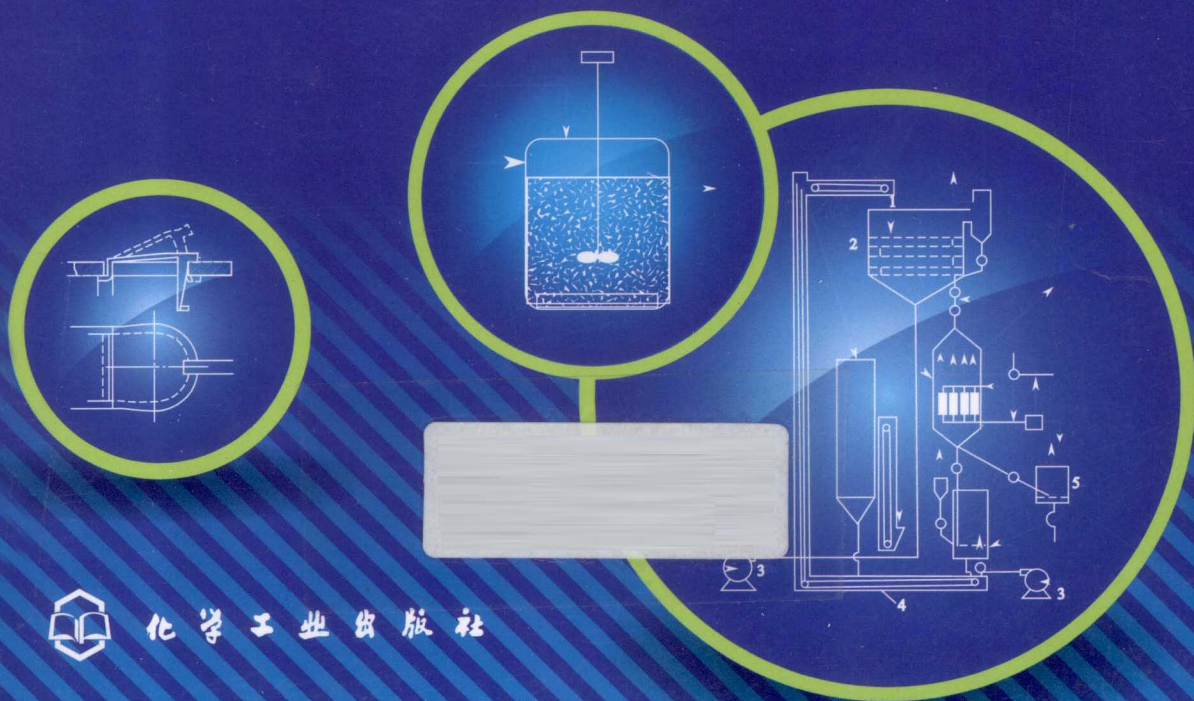
化工单元操作技术

(传质分离技术)

★ 李洪林 主编

HUAGONG

DANYUAN CAOZUO JISHU
(CHUANZHI FENLI JISHU)



化学工业出版社

高职高专项目导向系列教材

化工单元操作技术

(传质分离技术)

李洪林 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据高职高专化工技术类专业人才培养目标要求和化工总控工职业资格要求编写的。力图以化工生产的职业能力为主线,以岗位工作任务为载体,以典型的化工单元操作为对象,突出体现对学生职业技能的培养。内容包括:蒸馏操作、吸收操作、萃取操作及吸附操作四个学习情境。学习情境中的每个任务都是遵循项目化教学要求,按照“任务介绍—任务分析—任务实施—考核评价—知识链接”构建的内容体系。符合认知规律,便于指导教学。

本书适用于石油化工、应用化工、有机化工、无机化工、高分子化工或轻工、制药、生物等高职专业的教学,也可作为相关企业操作工的培训教材,以及供从事化工生产和管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作技术(传质分离技术)/李洪林主编. —北京:
化学工业出版社, 2012. 6
高职高专项目导向系列教材
ISBN 978-7-122-14549-9

I. ①化… II. ①李… III. ①化工单元操作-高等职业教育-教材②传质-化工过程-高等职业教育-教材③分离-化工过程-高等职业教育-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 127889 号

责任编辑: 窦 臻
责任校对: 边 涛

文字编辑: 向 东
装帧设计: 刘丽华

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9 3/4 字数 231 千字 2012 年 9 月北京第 1 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

编 委 会

主 任 徐继春

副主任 李晓东

秘书长 郝万新

委 员 徐继春 李晓东 郝万新 齐向阳

高金文 武海滨 刘玉梅 赵连俊

秘 书 李 想

序

辽宁石化职业技术学院是于2002年经辽宁省政府审批，辽宁省教育厅与中国石油锦州石化公司联合创办的与石化产业紧密对接的独立高职院校，2010年被确定为首批“国家骨干高职立项建设学校”。多年来，学院深入探索教育教学改革，不断创新人才培养模式。

2007年，以于雷教授《高等职业教育工学结合人才培养模式理论与实践》报告为引领，学院正式启动工学结合教学改革，评选出10名工学结合教学改革能手，奠定了项目化教材建设的人才基础。

2008年，制定7个专业工学结合人才培养方案，确立21门工学结合改革课程，建设13门特色校本教材，完成了项目化教材建设的初步探索。

2009年，伴随辽宁省示范校建设，依托校企合作体制机制优势，多元化投资建成特色产学研实训基地，提供了项目化教材内容实施的环境保障。

2010年，以戴士弘教授《高职课程的能力本位项目化改造》报告为切入点，广大教师进一步解放思想、更新观念，全面进行项目化课程改造，确立了项目化教材建设的指导思想。

2011年，围绕国家骨干校建设，学院聘请李学锋教授对教师系统培训“基于工作过程系统化的高职课程开发理论”，校企专家共同构建工学结合课程体系，骨干校各重点建设专业分别形成了符合各自实际、突出各自特色的人才培养模式，并全面开展专业核心课程和带动课程的项目导向教材建设工作。

学院整体规划建设的“项目导向系列教材”包括骨干校5个重点建设专业（石油化工生产技术、炼油技术、化工设备维修技术、生产过程自动化技术、工业分析与检验）的专业标准与课程标准，以及52门课程的项目导向教材。该系列教材体现了当前高等职业教育先进的教育理念，具体体现在以下几点：

在整体设计上，摒弃了学科本位的学术理论中心设计，采用了社会本位的岗位工作任务流程中心设计，保证了教材的职业性；

在内容编排上，以对行业、企业、岗位的调研为基础，以对职业岗位群的责任、任务、工作流程分析为依据，以实际操作的工作任务为载体组织内容，增加了社会需要的新工艺、新技术、新规范、新理念，保证了教材的实用性；

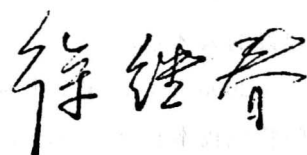
在教学实施上，以学生的能力发展为本位，以实训条件和网络课程资源为手段，融教、学、做为一体，实现了基础理论、职业素质、操作能力同步，保证了教材的有效性；

在课堂评价上，着重过程性评价，弱化终结性评价，把评价作为提升再学习效能的反馈工具，保证了教材的科学性。

目前，该系列校本教材经过校内应用已收到了满意的教学效果，并已应用到企业员工培训工作中，受到了企业工程技术人员的高度评价，希望能够正式出版。根据他们的建议及实际使用效果，学院组织任课教师、企业专家和出版社编辑，对教材内容和形式再次进行了论证、修改和完善，予以整体立项出版，既是对我院几年来教育教学改革成果的一次总结，也希望能够对兄弟院校的教学改革和行业企业的员工培训有所助益。

感谢长期以来关心和支持我院教育教学改革的各位专家与同仁，感谢全体教职员工的辛勤工作，感谢化学工业出版社的大力支持。欢迎大家对我们的教学改革和本次出版的系列教材提出宝贵意见，以便持续改进。

辽宁石化职业技术学院 院长



2012 年春于锦州

前言

《化工单元操作技术》(传质分离技术)是根据高职高专化工技术类专业人才培养目标要求和化工总控工职业资格要求编写的。本书力图以化工生产的职业能力为主线,以岗位工作任务为载体,以典型的化工单元操作为对象,强化对学生职业技能的培养。

为突出高等职业教育的基本特征和职业教育的特点,培养高等技术应用型人才,在遵循国家职业标准与生产岗位需求相结合的原则基础上,本书打破课程界限,有效整合了化工原理、化工单元操作实训、认识实习、化工制图、化工仪表与自动控制等多门课程的部分资源,并将化工总控工考核内容融合于课程教学之中,依托常规的实训装置和实训基地,使教材更加适合实现工学结合项目化教学。

本书具有如下特色:

- 所选教学情境是经过调研论证的相关企业典型单元操作;
- 突出高职特色,依据生产实际的化工单元操作岗位,操作人员必须具备的基本操作技能和知识来选择内容,主次分明;
- 依据工作过程导向重构课程内容,与以工作任务为引领的项目化教学要求相适应,体现讲、学、练一体化,突出对学生职业技能的培养;
- 工作任务典型,既承载知识又承载技能,且知识支承技能;
- 知识由简到难,技能由单一到综合,循序渐进,螺旋上升。

全书共分四个学习情境,内容包括:精馏操作、吸收操作、萃取操作及吸附操作。学习情境中的每个任务都是按照“任务介绍—任务分析—任务实施—考核评价—知识链接”构建内容体系,符合认知规律,便于指导教学。其中学习情境一、学习情境二由李洪林编写;学习情境三由李洪林、张静、尤景红编写;学习情境四由王壮坤、李洪林编写;段树斌、卢中民参与了资料收集和校核。

本书适用于应用型、技能型人才培养的石油化工、应用化工、有机化工、无机化工、高分子化工或轻工、制药、生物等专业的教学,也可作为相关企业的培训教材,以及供从事化工生产和管理的工程技术人员参考。

由于作者水平所限,书中不足和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012年4月

目录

学习情境一 精馏操作

1

任务一 认识精馏基本工艺过程	1	任务四 精馏塔的平稳调控仿真操作	24
【任务介绍】	1	【任务介绍】	24
【任务分析】	1	【任务分析】	24
【任务实施】	1	【任务实施】	24
一、观察精馏装置的构成	3	一、熟记正常工况下的工艺参数	24
二、查走并叙述精馏流程	3	二、主要工艺生产指标的调整方法	25
三、分析精馏过程	3	【考核评价】	25
四、提炼并绘制精馏基本工艺流程	4	【知识链接】	25
【考核评价】	4	一、影响精馏塔的平稳运行的主要因素	25
【知识链接】	5	二、平稳操作原则	29
一、蒸馏与精馏	5	任务五 精馏塔停车与故障处理仿真操作	29
二、精馏原理	5	【任务介绍】	29
三、精馏操作基本流程	8	【任务分析】	30
四、精馏在化工生产中的应用	8	【任务实施】	30
任务二 认识板式精馏塔	9	一、正常停车	30
【任务介绍】	9	二、故障处理	31
【任务分析】	9	【考核评价】	32
【任务实施】	9	【知识链接】	32
一、观察正常运行板式精馏塔	9	一、停车一般原则	32
二、观察可拆装的板式塔	9	二、操作异常或故障的分析与处理方法	32
三、拆装塔盘	9	任务六 精馏塔实际操作	33
【考核评价】	11	【任务介绍】	33
【知识链接】	13	【任务分析】	33
一、板式塔的结构类型	13	【任务实施】	33
二、精馏塔内汽液的流动状态	17	一、下发任务单	33
三、塔内的理想流动与非理想流动	17	二、预习情况检查	33
任务三 精馏塔开车仿真操作	18	三、开车前的检查	34
【任务介绍】	18	四、正常开车	34
【任务分析】	19	五、稳定操作与参数调节	35
【任务实施】	19	六、正常停车操作	35
一、熟悉工艺过程	19	七、操作记录	35
二、冷态开车操作	20	【考核评价】	36
【考核评价】	20	【知识链接】	38
【知识链接】	21	一、工艺流程与工艺指标	38
一、影响精馏稳定操作的主要因素	21		
二、精馏塔开车一般原则	23		

二、本岗位操作的安全与防护	38
【知识拓展】	39

一、塔板数的确定方法	39
二、其他蒸馏操作	45

学习情境二 吸收操作

51

任务一 认识吸收基本工艺过程	51
【任务介绍】	51
【任务分析】	51
【任务实施】	51
一、观察吸收装置的构成	51
二、查走、叙述吸收流程	53
三、分析吸收过程	53
四、提炼并绘制吸收基本工艺流程	53
【考核评价】	53
【知识链接】	54
一、吸收原理、流程及种类	54
二、吸收在工业生产中的应用	55
三、吸收过程的气液相平衡关系	55
任务二 认识填料吸收塔	58
【任务介绍】	58
【任务分析】	58
【任务实施】	58
一、观察正常运行的填料吸收塔	58
二、观察填料塔的主要结构及塔内的气液 流动	59
【考核评价】	59
【知识链接】	60
一、填料塔特点	60
二、填料的类型及特性	60
三、填料的性能评价	63
四、填料塔的流体力学性能	63
五、填料的选择	65
任务三 吸收塔开车仿真操作	67
【任务介绍】	67
【任务分析】	67
【任务实施】	67
一、熟悉工艺过程	67
二、本单元复杂控制方案说明	68
三、冷态开车操作	68
【考核评价】	70
【知识链接】	70
一、物料衡算	70
二、操作线方程与操作线	70
三、适宜吸收剂用量的计算	71
四、吸收剂的性能	72

任务四 吸收塔平稳调控仿真操作	72
【任务介绍】	72
【任务分析】	73
【任务实施】	73
一、熟悉正常工况操作参数	73
二、补充新油	73
三、D-102 排液	73
四、T-102 塔压控制	73
【考核评价】	73
【知识链接】	74
一、影响吸收稳定操作的主要因素	74
二、平稳调控原则	75
任务五 吸收塔停车操作与故障处理仿真 操作	75
【任务介绍】	75
【任务分析】	75
【任务实施】	75
一、停车操作规程	75
二、事故处理	77
【考核评价】	77
【知识链接】	78
一、停车一般原则	78
二、操作异常的分析与处理方法	78
任务六 吸收塔实际操作	78
【任务介绍】	78
【任务分析】	79
【任务实施】	79
一、下发任务单	79
二、预习情况检查	79
三、开车前的检查	79
四、正常开车	80
五、正常平稳调控	80
六、正常停车	80
七、操作记录	80
【考核评价】	80
【知识链接】	82
一、工艺指标	82
二、本岗位操作的安全与防护	83
【知识拓展】	83
一、吸收速率方程	83

二、填料层高度的计算	85
------------------	----

三、其他吸收操作	88
----------------	----

 学习情境三 萃取操作

90

任务一 认识萃取装置	90
------------------	----

【任务介绍】	90
--------------	----

【任务分析】	90
--------------	----

【任务实施】	90
--------------	----

一、观察萃取装置的构成	90
-------------------	----

二、查走、叙述萃取流程	92
-------------------	----

三、分析萃取过程	92
----------------	----

【考核评价】	92
--------------	----

【知识链接】	93
--------------	----

一、萃取原理	93
--------------	----

二、萃取流程的种类及特点	94
--------------------	----

三、萃取设备种类及特点	95
-------------------	----

四、萃取操作的特点	100
-----------------	-----

五、萃取操作的工业应用	101
-------------------	-----

任务二 萃取塔仿真操作	101
-------------------	-----

【任务介绍】	101
--------------	-----

【任务分析】	102
--------------	-----

【任务实施】	102
--------------	-----

一、熟悉工艺过程	102
----------------	-----

二、冷态开车	103
--------------	-----

三、正常运行	104
--------------	-----

四、正常停车	104
--------------	-----

五、事故处理	104
--------------	-----

【考核评价】	104
--------------	-----

【知识链接】	104
--------------	-----

一、液-液萃取相平衡	104
------------------	-----

二、萃取物料平衡	107
----------------	-----

三、萃取剂的选择原则	108
------------------	-----

四、萃取塔的开车操作原则	109
--------------------	-----

任务三 萃取塔实际操作	109
-------------------	-----

【任务介绍】	109
--------------	-----

【任务分析】	109
--------------	-----

【任务实施】	109
--------------	-----

一、下发任务单	109
---------------	-----

二、预习情况检查	110
----------------	-----

三、开车前准备	110
---------------	-----

四、开车	111
------------	-----

五、平稳运行	111
--------------	-----

六、停车	111
------------	-----

七、设备维护及检修	112
-----------------	-----

八、操作记录	112
--------------	-----

【考核评价】	112
--------------	-----

【知识链接】	113
--------------	-----

一、萃取塔的开车、停车操作原则	113
-----------------------	-----

二、影响萃取操作的主要因素	114
---------------------	-----

【知识拓展】	114
--------------	-----

一、回流萃取	114
--------------	-----

二、双溶剂萃取	115
---------------	-----

 学习情境四 吸附操作

116

任务一 认识吸附装置	116
------------------	-----

【任务介绍】	116
--------------	-----

【任务分析】	116
--------------	-----

【任务实施】	116
--------------	-----

一、观察吸附装置的构成	116
-------------------	-----

二、查走、叙述吸附流程	117
-------------------	-----

三、认识吸附塔	118
---------------	-----

四、分析吸附过程	118
----------------	-----

【考核评价】	120
--------------	-----

【知识链接】	121
--------------	-----

一、固定床吸附	122
---------------	-----

二、模拟移动床吸附	123
-----------------	-----

三、变压吸附	124
--------------	-----

四、流化床吸附	126
---------------	-----

五、搅拌槽接触吸附	127
-----------------	-----

六、移动床吸附	127
---------------	-----

任务二 吸附开车与平稳操作	128
---------------------	-----

【任务介绍】	128
--------------	-----

【任务分析】	128
--------------	-----

【任务实施】	128
--------------	-----

一、初次开车前的准备	128
------------------	-----

二、吸附装置开车操作	129
------------------	-----

【考核评价】	129
--------------	-----

【知识链接】	130
--------------	-----

一、吸附原理	130
--------------	-----

二、吸附的相平衡	130
----------------	-----

三、吸附速率	132
--------------	-----

任务三 吸附停车与故障处理	134
---------------------	-----

【任务介绍】	134
--------------	-----

【任务分析】	134
--------------	-----

学习情境一

精 馏 操 作

精馏是分离均相液体混合物非常典型的单元操作，将气体混合物冷凝或固体混合物液化后也可以采用精馏的方法分离，因此精馏不仅在石油炼制、煤化工、有机化工等化学工业中有着广泛应用，在其他工业领域也较常见，在此，拟以乙醇-水混合物分离装置作为学习情境，探讨精馏操作。

任务一 认识精馏基本工艺过程



【任务介绍】

要想操控精馏生产装置，必须具备相关的知识和技能。认识精馏基本工艺过程，又是最应首先具备的基本能力，是其他能力具备的前提和基础。本任务具体目标如下。

知识目标：

- (1) 掌握精馏原理；
- (2) 熟悉精馏分类；
- (3) 了解精馏在化工生产中的应用。

技能目标：

- (1) 认识精馏流程中的主要设备的名称、作用；
- (2) 能够正确绘制和叙述连续精馏基本流程。

素质目标：

培养知识应用能力、分析能力、自学能力、与人合作能力、遵守纪律意识等。



【任务分析】

分离均相液体混合物的方法有很多，精馏是其方法之一，由于该分离方法能将混合液近乎完全分离，因此应用最为广泛。究其根源，是精馏原理决定了此法的分离特点，也是精馏原理决定了精馏流程设置。因此，要在理解精馏原理的基础上认识精馏基本流程，并通过绘制、识读、查走流程，强化对精馏基本工艺过程的记忆和理解。



【任务实施】

将学生分成小组，每组 6~8 人，以小组为单位开展如下活动。

通过对运行的精馏塔进料、出料取样，分析检测后，会发现塔顶出料中乙醇含量大大提高了。由此引发学生思考，借助资料、自主学习、展开小组讨论。在老师引导下，从精馏分离原理、精馏基本工艺流程等方面寻找答案。

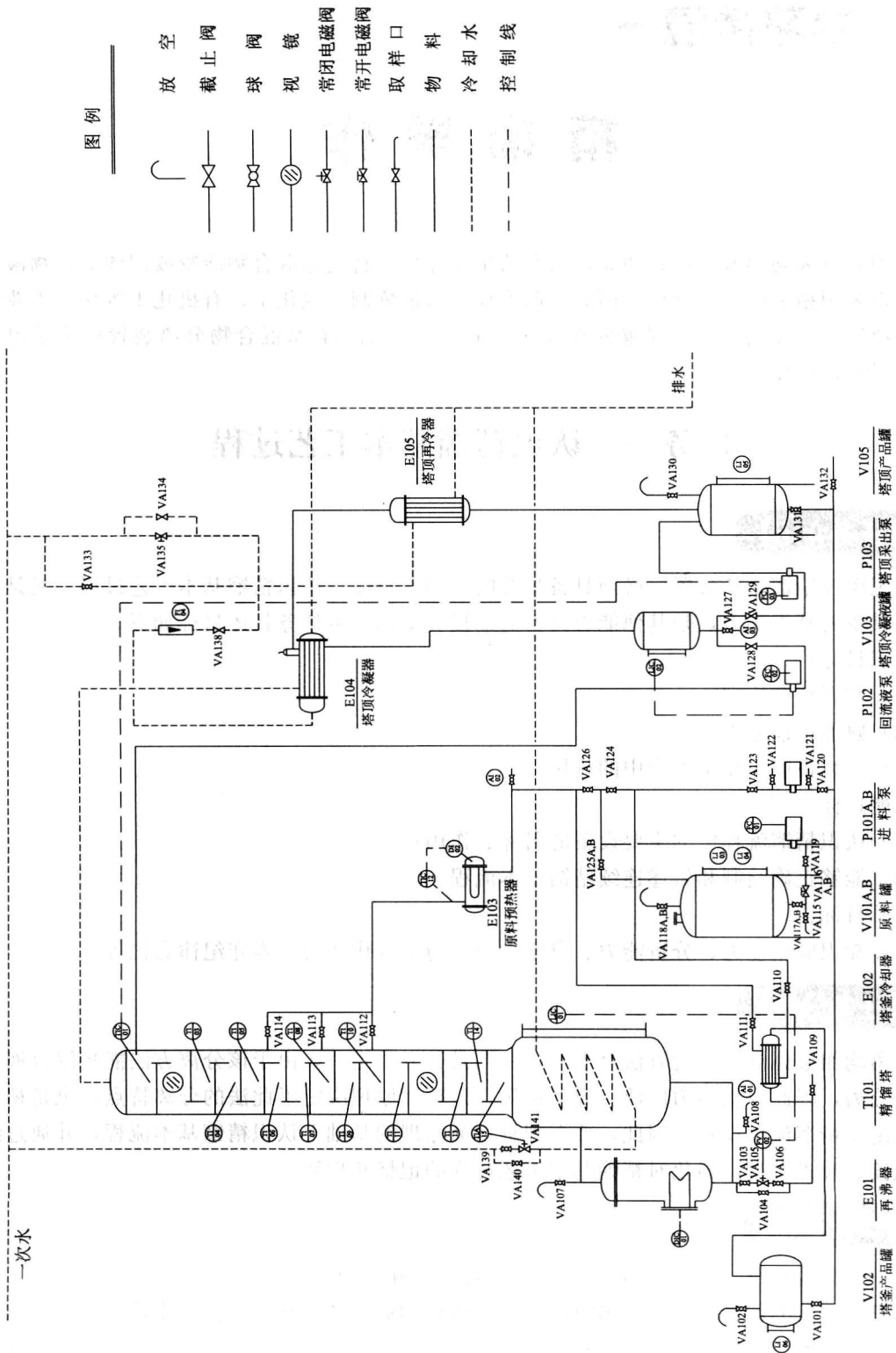


图 1-1 乙醇-水混合物分离的精馏工艺流程

一、观察精馏装置的构成

图 1-1 为乙醇和水的混合物分离的精馏工艺流程。通过观察与之对应的实际装置,认识精馏塔、再沸器、冷凝器、预热器、进料泵、回流泵、储罐及管路阀门、仪表等主要设备及器件。

二、查走并叙述精馏流程

混合液由原料储罐 V101A (或 B) 经进料泵 P101A (或 B), 再经原料预热器 E103, 打入精馏塔 T101。釜液经再沸器 E101 加热汽化上升, 与塔内下降的液体在塔板的作用下充分接触, 进行传热、传质。由于经多层塔板作用, 塔顶蒸出的即是乙醇含量较高的气体, 再经塔顶冷凝器 E104 冷凝成液体后打入塔顶冷凝液罐 V103, 一部分作为产品经塔顶产品泵 P103 打入塔顶产品罐 V105, 另一部分经回流液泵 P102 打到塔顶返回塔内。塔釜未汽化的液体为近乎纯水, 打到塔釜产品罐 V102 中。

三、分析精馏过程

依据精馏原理, 分析精馏分离混合物的过程。

1. 多次部分汽化和多次部分冷凝

如图 1-2 所示, 若将组成为 y_1 的气相混合物进行部分冷凝, 则可得到气相组成为 y_2 与液相组成为 x'_2 的平衡两相, 且 $y_2 > y_1$; 若将组成为 y_2 的气相混合物进行部分冷凝, 则可得到气相组成为 y_3 与液相组成为 x'_3 的平衡两相, 且 $y_3 > y_2 > y_1$ 。可见, 气体混合物经多次部分冷凝, 所得气相中易挥发组分含量就越高, 最后可得到几乎纯态的易挥发组分。

同理, 若将组成为 x_1 的液体加热, 使之部分汽化, 可得到气相组成为 y'_2 与液相组成为 x_2 的平衡液两相, 且 $x_2 < x_1$, 若将组成为 x_2 的液体进行部分汽化, 则可得到气相组成为 y'_3 与液相组成为 x_3 的平衡两相, 且 $x_3 < x_2 < x_1$ 。可见, 液体混合物经多次部分汽化, 所得到液相中易挥发组分的含量就越低, 最后可得到几乎纯态的难挥发组分。

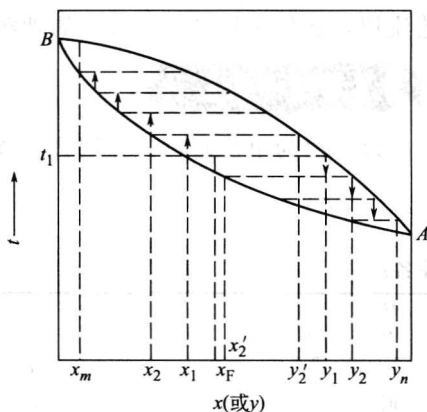


图 1-2 多次部分汽化和多次部分冷凝示意图

2. 混合物在每层塔板上的分离

图 1-3 为板式塔中任意第 n 块塔板的操作情况。如原料液为双组分混合物, 下降液体来自第 $n-1$ 块板, 其易挥发组分的浓度为 x_{n-1} , 温度为 t_{n-1} 。上升蒸汽来自第 $n+1$ 块板, 其易挥发组分的浓度为 y_{n+1} , 温度为 t_{n+1} 。当汽液两相在第 n 块板上相遇时, $t_{n+1} > t_{n-1}$, 因而上升蒸汽与下降液体必然发生热量交换, 蒸汽放出热量, 自身发生部分冷凝, 而液体萃取热量, 自身发生部分汽化。由于上升蒸汽与下降液体的浓度互相不平衡, 如图 1-4 所示, 液相部分汽化时易挥发组分向汽相扩散, 汽相部分冷凝时难挥发组分向液相扩散。结果下降液体中易挥发组分浓度降低, 难挥发组分浓度升高; 上升蒸汽中易挥发组分浓度升高, 难挥发组分浓度下降。

若上升蒸汽与下降液体在第 n 块板上接触时间足够长, 两者温度将相等, 都等于 t_n , 汽液两相组成 y_n 与 x_n 相互平衡, 称此塔板为理论塔板。实际上, 塔板上的汽液两相接触时间有限, 气液两相组成只能趋于平衡。

由以上分析可知, 汽液相通过一层塔板, 同时发生一次部分汽化和一次部分冷凝。通过

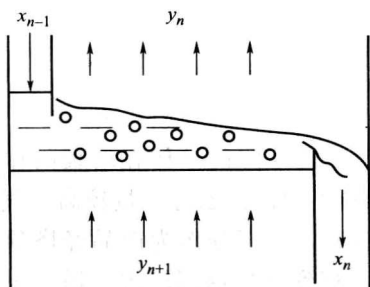


图 1-3 塔板上的传质分析

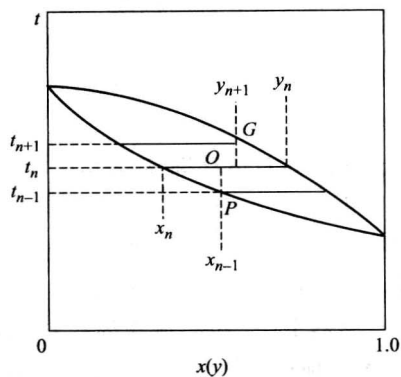


图 1-4 精馏过程的 $t-x(y)$ 示意图

多层塔板，即同时进行了多次部分汽化和多次部分冷凝，最后，在塔顶得到的汽相为较纯的易挥发组分，在塔底得到的液相为较纯的难挥发组分，从而达到所要求的分离程度。

四、提炼并绘制精馏基本工艺流程

在对精馏过程有了基本了解后，对实际精馏装置进行简化提炼，绘制并叙述精馏基本工艺流程，强化对精馏工艺过程的理解。

【考核评价】

以小组为单位研讨，并回答考核评价表中的问题。

考核评价表

姓名： 学号： 组别： 班级：

任务名称	任务一 认识精馏基本工艺过程		
上课时间	年 月 日 第 周 第 节	上课地点	
1. 用 $t-x(y)$ 图阐述精馏塔内任一塔板是怎样实现分离的。			
2. 画出精馏基本工艺流程图。			
考核结果			

依据表 1-1 中考核标准，对学生进行考核。

表 1-1 考核标准

考核内容	考核方式	考核标准			
1. 精馏原理	1. 用 $t-x(y)$ 图阐述精馏塔内任一塔板是怎样实现分离的	很好	较好	一般	较差
		100 分	80 分	60 分	40 分
2. 精馏基本流程	2. 画出精馏基本工艺流程图	以图 1-1 为标准,全对为 100 分,每错一处扣 10 分			

【知识链接】

一、蒸馏与精馏

蒸馏是分离液体均相混合物最早实现工业化的典型单元操作。它是通过加热造成汽液两相体系，利用混合物中各组分挥发性不同而达到分离的目的。

液体均具有挥发而成为蒸汽的能力，但不同液体在一定温度下的挥发能力各不相同。例如：一定温度下，乙醇比水挥发得快。如果在一定压力下，对乙醇和水混合液进行加热，使之部分汽化，因乙醇的沸点低，易于汽化，故在产生的蒸汽中，乙醇的含量将高于原混合液中乙醇的含量。若将汽化的蒸汽全部冷凝，便可获得乙醇含量高于原混合液的产品，使乙醇和水得到某种程度的分离。

混合物中挥发能力高的组分称为易挥发组分或轻组分，把挥发能力低的组分称为难挥发组分或重组分。

在同一个塔设备内将混合物多次地进行蒸馏，使混合物分离成近乎单一组分的过程又叫精馏。精馏操作是蒸馏操作的方法之一，工业蒸馏过程有多种分类方法，见表 1-2。本学习情境主要讨论双组分连续常压精馏操作过程。

表 1-2 蒸馏操作的分类

分 类		特点及应用
按蒸馏方式分类	平衡蒸馏	平衡蒸馏和简单蒸馏,只能达到有限程度的提浓而不可能满足高纯度的分离要求。常用于混合物中各组分的挥发能力(或沸点)相差较大,对分离要求又不高的场合
	简单蒸馏	
	精馏	精馏是借助回流技术来实现高纯度和高回收率的分离操作
	特殊精馏	特殊精馏适用于普通精馏难以分离或无法分离的物系
按操作压力分类	加压精馏 常压精馏 真空精馏	常压下为气态(如空气)或常压下沸点为室温的混合物,常采用加压蒸馏;对于常压下沸点较高(一般高于 150℃)或高温下易发生分解、聚合等变质现象的热敏性物料宜采用真空蒸馏,以降低操作温度
按被分离混合物中组分的数目分类	两组分精馏 多组分精馏	工业生产中,绝大多数为多组分精馏,多组分精馏过程更复杂
按操作流程分类	间歇精馏 连续精馏	间歇操作是不稳定操作,主要应用于小规模、多品种或某些有特殊要求的场合,工业中以连续精馏为主

二、精馏原理

(一) 精馏的汽液相平衡

精馏过程属于汽液相间的相际传质过程，汽液相间的平衡关系，是指导精馏操作的重要

理论。

1. 双组分物系的汽液相平衡图

用相图来表达汽液相平衡关系比较直观、清晰,而且影响精馏的因素可在相图上直接反映出来,对于双组分精馏过程的分析和计算非常方便。精馏中常用的相图有以下两种。

(1) 沸点-组成图 沸点-组成图即 $t-x(y)$ 图,数据通常由实验测得。以苯-甲苯混合液为例,在常压下,其 $t-x(y)$ 图如图 1-5 所示,以温度 t 为纵坐标,液相组成 x_A 和汽相组成 y_A 为横坐标 (x, y 均指易挥发组分的摩尔分数)。图中有两条曲线,下曲线表示平衡时液相组成与温度的关系,称为液相线,上曲线表示平衡时汽相组成与温度的关系,称为汽相线。两条曲线将整个 $t-x(y)$ 图分成三个区域,液相线以下代表尚未沸腾的液体,称为液相区。汽相线以上代表过热蒸汽区。被两曲线包围的部分为汽液共存区。

在恒定总压下,组成为 x ,温度为 t_1 (图中的点 A) 的混合液升温至 t_2 (点 J) 时,溶液开始沸腾,产生第一个气泡,相应的温度 t_2 称为泡点,产生的第一个气泡组成为 y_1 (点 C)。同样,组成为 y 、温度为 t_4 (点 B) 的过热蒸汽冷却至温度 t_3 (点 H) 时,混合气体开始冷凝产生第一滴液滴,相应的温度 t_3 称为露点,凝结出第一个液滴的组成为 x_1 (点 Q)。F、E 两点为纯苯和纯甲苯的沸点。

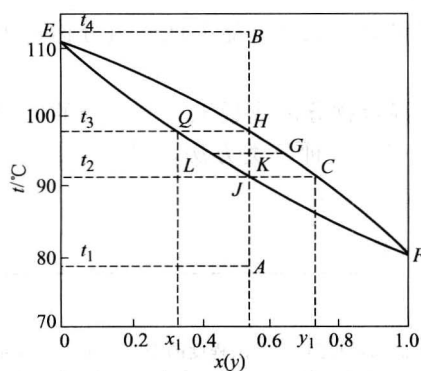


图 1-5 苯-甲苯物系的 $t-x(y)$ 图

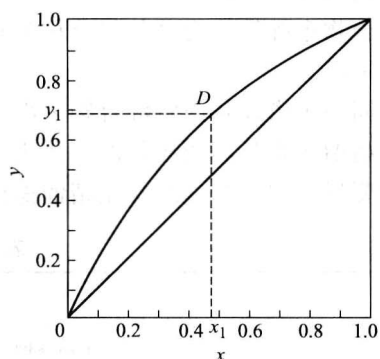


图 1-6 苯-甲苯物系的 $y-x$ 图

应用 $t-x(y)$ 图,可以求取任一沸点的汽液相平衡组成。当某混合物系的总组成与温度位于点 K 时,则此物系被分成互成平衡的汽液两相,其液相和汽相组分别用 L、G 两点表示。两相的量由杠杆规则确定。

操作中,根据塔顶、塔底温度,确定产品的组成,判定是否合乎质量要求;反之,则可以根据塔顶、塔底产品的组成,判定温度是否合适。

(2) 汽液相平衡图 汽液相平衡图又称 $y-x$ 图。在两组分精馏的图解计算中,应用一定总压下的 $y-x$ 图非常方便快捷。

$y-x$ 图表示在恒定的外压下,蒸汽组成 y 和与之相平衡的液相组成 x 之间的关系。图 1-6 是 101.3 kPa 的总压下,苯-甲苯混合物系的 $y-x$ 图,它表示不同温度下互成平衡的汽液两相组成 y 与 x 的关系。图中任意点 D 表示组成为 x_1 的液相与组成为 y_1 的汽相互平衡。图中对角线 $y=x$,为辅助线。两相达到平衡时,汽相中易挥发组分的浓度大于液相中易挥发组分的浓度,即 $y>x$,故平衡线位于对角线的上方。平衡线离对角线越远,说明互成平衡的汽液两相浓度差别越大,溶液就越容易分离。常见两组分物系常压下的平衡数据,可从