

四川轻化工大学课程实施大纲

课程名称：化工原理 B2

授课班级：应化 20181、应化 20182、应化 20183、
应化 20184

任课教师：马燮

工作部门：化工学院

联系方式：13990050602

四川轻化工大学 制

2020 年 9 月

《化工原理》B2 课程实施大纲

基本信息

课程代码:

课程名称: 化工原理 B2

学 分: 2.5

总 学 时: 40

学 期: 20-21 学年第 1 学期

上课时间: 周二 1、2 节、周四 1、2 节

上课地点: N1-106

答疑时间和方式: 电话、课间、QQ 群

答疑地点: 实验 2 楼 209

授课班级: 应化 20181、应化 20182、应化 20183、应化 20184

任课教师: 马燮

学 院: 化工学院

邮 箱: maxie@suse.edu.cn

联系电话: 13990050602

目 录

1. 教学理念	1
2. 课程介绍	1
3. 教师简介	2
3.1 教师的职称、学历	2
3.2 教育背景	2
3.3 研究兴趣（方向）	2
4. 先修课程	2
5. 课程目标	2
6. 课程内容	2
6.1 课程的内容概要	3
6.1.1 蒸馏	3
6.1.2 气体吸收	4
6.2 教学重点、难点	5
6.2.1 蒸馏	5
6.2.2 吸收	5
6.3 学时安排	6
6.3.1 蒸馏	6
6.3.2 吸收	6
7. 课程实施	7
7.1 教学单元一：第一章 蒸馏	7
7.1.1 教学日期	7
7.1.2 教学目标	7
7.1.3 教学内容（含重点、难点）	7
7.1.4 教学过程	8
7.1.5 教学方法	9
7.1.6 作业安排及课后反思	9
7.1.7 课前准备情况及其他相关特殊要求	10
7.2 教学单元二：第一章 蒸馏	10

7.2.1 教学日期	10
7.2.2 教学目标	10
7.2.3 教学内容（含重点、难点）	10
7.2.4 教学过程	11
7.2.5 教学方法	13
7.2.6 作业安排及课后反思	13
7.2.7 课前准备情况及其他相关特殊要求	13
7.3 教学单元三：第一章 蒸馏	14
7.3.1 教学日期	14
7.3.2 教学目标	14
7.3.3 教学内容（含重点、难点）	14
7.3.4 教学过程	15
7.3.5 教学方法	16
7.3.6 作业安排及课后反思	16
7.3.7 课前准备情况及其他相关特殊要求	16
7.4 教学单元四：第一章 蒸馏	16
7.4.1 教学日期	16
7.4.2 教学目标	16
7.4.3 教学内容（含重点、难点）	16
7.4.4 教学过程	17
7.4.5 教学方法	18
7.4.6 作业安排及课后反思	19
7.4.7 课前准备情况及其他相关特殊要求	19
7.5 教学单元一：第一章 蒸馏	19
7.5.1 教学日期	19
7.5.2 教学目标	19
7.5.3 教学内容（含重点、难点）	19
7.5.4 教学过程	20
7.5.5 教学方法	22
7.5.6 作业安排及课后反思	23

7.5.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	23
7.6 教学单元一：第一章 蒸馏.....	23
7.6.1 教学日期.....	23
7.6.2 教学目标.....	23
7.6.3 教学内容（含重点、难点）.....	23
7.6.4 教学过程.....	24
7.6.6 作业安排及课后反思.....	26
7.6.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	26
7.7 教学单元一：第一章 蒸馏.....	26
7.7.1 教学日期.....	26
7.7.2 教学目标.....	26
7.7.3 教学内容（含重点、难点）.....	26
7.7.4 教学过程.....	27
7.7.5 教学方法.....	29
7.7.6 作业安排及课后反思.....	29
7.7.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	29
7.8 教学单元一：第一章 蒸馏.....	30
7.8.1 教学日期.....	30
7.8.2 教学目标.....	30
7.8.3 教学内容（含重点、难点）.....	30
7.8.4 教学过程.....	31
7.8.5 教学方法.....	31
7.8.6 作业安排及课后反思.....	31
7.8.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	31
7.9 教学单元一：第一章 蒸馏.....	32
7.9.1 教学日期.....	32
7.9.2 教学目标.....	32
7.9.3 教学内容（含重点、难点）.....	32
7.9.4 教学过程.....	32
7.9.5 教学方法.....	33

7.9.6 作业安排及课后反思.....	33
7.9.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	33
7.10 教学单元十：期中小结与测验.....	33
7.10.1 教学日期.....	33
7.10.2 教学目标.....	33
7.10.3 教学内容（含重点、难点）.....	33
7.10.4 教学过程.....	34
7.10.5 教学方法.....	34
7.10.6 作业安排及课后反思.....	34
7.10.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	34
7.11 教学单元十一：第二章 吸收.....	34
7.11.1 教学日期.....	34
7.11.2 教学目标.....	34
7.11.3 教学内容（含重点、难点）.....	35
7.11.4 教学过程.....	35
7.11.5 教学方法.....	35
7.11.6 作业安排及课后反思.....	36
7.11.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	36
7.12 教学单元十二：第二章 吸收.....	36
7.12.1 教学日期.....	36
7.12.2 教学目标.....	36
7.12.3 教学内容（含重点、难点）.....	36
7.12.4 教学过程.....	37
7.12.5 教学方法.....	37
7.12.6 作业安排及课后反思.....	37
7.12.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	37
7.13 教学单元十三：第二章 吸收.....	38
7.13.1 教学日期.....	38
7.13.2 教学目标.....	38
7.13.3 教学内容（含重点、难点）.....	38

7.13.4 教学过程.....	38
7.13.5 教学方法.....	39
7.13.6 作业安排及课后反思.....	39
7.13.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	39
7.14 教学单元十四：第二章 吸收	40
7.14.1 教学日期	40
7.14.2 教学目标.....	40
7.14.3 教学内容（含重点、难点）	40
7.14.4 教学过程.....	40
7.14.5 教学方法.....	41
7.14.6 作业安排及课后反思.....	42
7.14.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	42
7.15 教学单元十五：第二章 吸收	42
7.15.1 教学日期	42
7.15.2 教学目标.....	42
7.15.3 教学内容（含重点、难点）	42
7.15.4 教学过程.....	42
7.15.5 教学方法.....	43
7.15.6 作业安排及课后反思.....	43
7.15.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	43
7.16 教学单元十六：第二章 吸收	44
7.16.1 教学日期	44
7.16.2 教学目标.....	44
7.16.3 教学内容（含重点、难点）	44
7.16.4 教学过程.....	44
7.16.5 教学方法.....	46
7.16.6 作业安排及课后反思.....	46
7.16.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	46
7.17 教学单元十七：第二章 吸收	46
7.17.1 教学日期	46

7.17.2 教学目标.....	46
7.17.3 教学内容（含重点、难点）.....	47
7.17.4 教学过程.....	47
7.17.5 教学方法.....	48
7.17.6 作业安排及课后反思.....	49
7.17.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	49
7.18 教学单元十八：第二章 吸收.....	49
7.18.1 教学日期.....	49
7.18.2 教学目标.....	49
7.18.3 教学内容（含重点、难点）.....	49
7.18.4 教学过程.....	50
7.18.5 教学方法.....	51
7.18.6 作业安排及课后反思.....	51
7.18.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	51
7.19 教学单元十九：第二章 吸收.....	51
7.19.1 教学日期.....	51
7.19.2 教学目标.....	51
7.19.3 教学内容（含重点、难点）.....	52
7.19.4 教学过程.....	52
7.19.5 教学方法.....	52
7.19.6 作业安排及课后反思.....	53
7.19.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	53
7.20 教学单元二十：第二章 吸收.....	53
7.20.1 教学日期.....	53
7.20.2 教学目标.....	53
7.20.3 教学内容（含重点、难点）.....	53
7.20.4 教学过程.....	54
7.20.5 教学方法.....	54
7.20.6 作业安排及课后反思.....	54
7.20.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	55

8. 课程要求	55
8.1 学生自学要求	55
8.2 课外阅读要求	55
9. 课程考核	55
9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告等的要求	55
9.2 成绩的构成与评分规则说明	56
9.3 考试形式及说明	56
10. 学术诚信	56
11. 课堂规范	56
12. 课程资源	57
12.1 教材与参考书	57
12.2 网络课程资源	57
13. 教学合约	58
14. 其他说明	58

《化工原理》B2 课程实施大纲

1. 教学理念

公平对待每一个学生。

教师向学生讲授“为什么”，远不如学生向教师提出“为什么”。

2. 课程介绍

化工原理是化工工艺类及其相近专业的一门主干课，是一门很重要的技术基础课，它在基础课和专业课之间起着承前启后、由理及工的桥梁作用，又是各种化工专业课程的基础。

化工原理这门课程经历了工艺学阶段、单元操作阶段和传递过程阶段。

1923年Walker W. H.出版了第一部以单元操作作为线索而编写的化工原理教材《Principles of Chemical Engineering》。该著作从以产品来划分的化工生产工艺中，抽象出各种单元操作，即从特殊性中总结出普遍性，是认识上的一个飞跃，对化学工程学的形成和发展起了重要的推动作用。

1960年Bird R. B.出版了第一部基于以传递过程为线索而编写的化工原理传递教材《Transport Phenomena》。教材提出三传遵循的“唯象现象”：物理量的传递速率 \propto 传递过程的推动力/阻力，是化学工程发展史的又一里程碑。

20世纪70年代以后，随着计算机技术的快速发展，推动了化学工程向“过程优化集成”、“分子模拟”等新阶段。

当前，课程的发展从单元操作向过程更新和过程强化两个方向发展。过程更新包括理论更新，如平衡分离分子学、膜基气体吸收理论等和技术更新，如计算机模拟计算技术、超临界流体萃取技术；过程强化包括设备强化，如新型塔内件开发、换热器传热强化等和过程集成，如精馏节能的热偶技术系统优化的夹点技术等发展。

随着科学技术的高速发展，化学工程与相邻学科相融合逐渐形成了若干新的分支与生长点，如：生物化学工程、分子化学工程、环境化学工程、能源化学工程、计算机化学工程、软化学工程、微电子化学工程等。同时，上述新兴产业与学科的发展也推动了特殊领域化学工程的进步。

化工原理是化学工程与工艺及相关专业最重要的技术基础课之一。通过这门课程的学习，要使学生系统地获得：‘三传’的基本概念；各单元操作的原理、典型设备的结构、工艺尺寸计算、设备选型与校核和工程学科的研究方法。培养学生的工程观念、分析和解决单元操作中各种问题的能力。突出课程的实践性，使学生受到利用自然科学的基本原理解决实际工程问题的初步训练，提高学生的定量运算能力、实验技能、设计能力、单元操作的分析与调节能力。

3. 教师简介

3.1 教师的职称、学历

任课教师：马燮；职称：教授；学历：硕士研究生

3.2 教育背景

1987-1991 年 四川轻化工学院（现四川理工学院）无机化工专业 工学学士；

1997-2000 年 华南理工大学化工学院 化学工程专业 工学硕士；

3.3 研究兴趣（方向）

传质与分离技术

4. 先修课程

《高等数学》、《普通物理》、《物理化学》、《计算方法》、《化工设备设计基础》

5. 课程目标

1. 掌握工程实际问题的分析处理方法及选用；
2. 通过本课程知识的系统学习，培养学生的工程观点和解决工程实际问题的能力，包括对化工单元操作进行工程计算的能力、正确运用工程图表的能力以及运用技术经济观点分析、解决工程实际问题的能力；

3. 通过学习一些处理工程问题的基本方法，如因次分析法、数学模型法、过程分解法、试差计算法和图解计算法等，使学生具备在不同场合选用不同方法处理工程问题的能力；

4. 通过对基本原理、工程计算和典型设备的讲授，培养学生从过程的基本原理出发，观察、分析、综合、归纳众多影响因素，从中找出问题的主要方面，运用所学知识解决工程问题的科学思维能力和创新思维能力；

5. 通过本课程的学习，培养学生的自学能力和独立工作能力，能根据所处理问题的需要，寻找、阅读有关手册、参考书、文献资料并理解其内容。

6. 课程内容

6.1 课程的内容概要

6.1.1 蒸馏

1、基本要求

掌握的内容：

1. 双组分理想体系的汽液平衡：拉乌尔定律、泡点方程、露点方程、汽液平衡图、挥发度与相对挥发度定义及应用、相平衡方程及应用；

2. 精馏原理与流程；

3. 精馏塔的物料衡算、操作线方程和 q 线方程及物理意义、图示及应用；

4. 双组分连续精馏塔计算及操作调节、分析：恒摩尔流假设、理论板、等板高度、汽液两相的摩尔流率、回流比选用与最小回流比、加料热状况影响及选择、全塔效率、单板效率、理论板数的确定。

熟悉的内容：

1. 平衡蒸馏与简单蒸馏的流程、特点、计算；

2. 精馏装置的热量衡算；

3. 非常见的二元连续精馏塔计算：直接蒸汽加热、多股进料与多股出料、提馏塔、塔顶采用分凝器、冷液回流；

4. Fenske 方程、Gilliland 关联图，捷算法。

了解的内容:

1. 非理想物系的汽液平衡;
2. 间歇精馏的特点、计算步骤及应用;
3. 恒沸精馏、萃取精馏的特点及应用;
4. 精馏节能技术进展。

2、主要内容:

两组分物系的汽液平衡关系, $t-x-y$ 图, $x-y$ 图, 拉乌尔定律, 泡点方程、露点方程、相对挥发度及其影响因素; 精馏原理; 双组分连续精馏塔的物质衡算, 恒摩尔流假设, 理论板的概念, 操作线方程, 进料热状况, q 的意义及计算, 最小回流比的概念及确定, 回流比对精馏过程的影响, 理论板数的确定; (图解法, 逐板计算法及简捷法); 点效率、板效率和塔效率的概念, 实际塔板数的确定; 精馏装置的热衡算; 平衡蒸馏、简单蒸馏的特点及计算, 间歇精馏的特点及计算步骤; 恒沸精馏、萃取精馏的概念; 精馏塔全塔效率及点效率的测定方法。

6.1.2 气体吸收

1、基本要求

掌握的内容:

1. 相组成的常用表示方法和换算;
2. 气体在液体中的溶解度、亨利定律表达式及相互关系、相平衡与吸收、解吸的关系;
3. 分子扩散与菲克定律、扩散系数及其影响因素、等分子反向扩散与单相扩散、漂流因子;
4. 对流传质、双膜模型要点、总传质速率方程表达式、总传质系数与膜传质系数、传质阻力分析、气膜控制与液膜控制;
5. 吸收塔的操作线方程、物理意义、图示方法及应用, 最小液气比、吸收剂用量确定;
6. 填料层高度计算、传质单元高度与传质单元数的定义与物理意义、传质单元数的计算 (平均推动力法、解吸因数法);

7. 吸收塔操作分析、设计型计算和操作型计算。

熟悉的内容：

1. 均相物系分离的分类与特征、吸收的分类、吸收剂选用的基本原则；
2. 理论板的概念，理论板数的计算；
3. 吸收与解吸的比较；
4. 传质单元数的图解积分法和梯级图解法。

了解的内容：

1. 填料塔基本结构、两相接触方式，板式塔基本结构、两相接触方式；
2. 吸收基本方程式推导；
3. 解吸、非等温吸收、高浓度吸收等特点和计算步骤。

2、主要内容：

分子扩散及对流扩散的概念，菲克定律，一维定常分子扩散速率，等分子反向扩散，单向扩散，总体流动；浓度的不同表示法及其关系，膜模型，相内传质速率式；相平衡关系，传质的方向、限度和推动力、双膜模型及传质理论简介；相际传质速率式，传质阻力，气膜控制、液膜控制；吸收操作的基本概念，典型吸收设备与流程，吸收过程的相平衡关系（溶解度曲线，亨利定律），影响平衡的主要因素；吸收过程的物料衡算，操作线方程，吸收剂的选择及用量的确定，最小溶剂用量的概念；传质单元数及传质单元高度的概念，吸收因子（解吸因子）的概念，低浓吸收填料层高度的计算（平衡线为直线及曲线两种情况）；传质系数的测定与准数关联式；高浓度吸收的特点及计算的主要方程及步骤；非等温吸收的特点及平衡关系的确定

6.2 教学重点、难点

6.2.1 蒸馏

重点：两组分的相平衡关系；两组分联系精馏的计算；影响精馏过程的主要因素。

难点：单板效率，确定回流比，间歇精馏。

6.2.2 吸收

重点：传质速率方程，低浓吸收填料层高度的计算。

难点：单向扩散；操作型问题定性分析

6.3 学时安排

6.3.1 蒸馏

参考学时：18 学时

章 节 名 称	学 时 分 配
1.1 概述	1
1.2 两组分溶液汽液平衡	1
1.3 平衡蒸馏和简单蒸馏	1
1.4 精馏原理和流程	1
1.5 两组分连续精馏的计算	12
1.6 间歇精馏	2
1.7 恒沸精馏和萃取精馏	

6.3.2 吸收

参考学时：22 学时

章 节 名 称	学 时 分 配
期中小结和测试	2
2.1 气体吸收的相平衡关系	2
2.2 传质机理与吸收速率	6
2.3 吸收塔的计算	10
2.4 吸收系数	1
2.5 脱吸及其他条件下的吸收	1

7.课程实施

7.1 教学单元一：第一章 蒸馏

7.1.1 教学日期

第二周周二的 1, 2 节

7.1.2 教学目标

- 1、蒸馏分离的原理和单元操作在工业中的应用；
- 2、双组分理想物系、非理想物系汽液平衡关系的分析和讨论；
- 3、物系的平衡关系计算及相图的分析

7.1.3 教学内容（含重点、难点）

1.1 概述

- 一、液体均相混合物分离的原理
- 二、蒸馏分离的特点
- 三、蒸馏过程的分类

1.2 双组分溶液的汽液相平衡

- 一、两组分理想物系的汽液相平衡
 - 1、相律
 - 2、两组分理想物系的汽液相平衡函数关系
拉乌尔定律
道尔顿分压定律
 - 3、理想物系汽液相平衡问题的分析和讨论
 - 4、两组分理想溶液的气液平衡相图

t-x-y 图

重点：双组分溶液的汽液相平衡

难点：理想物系相平衡关系的理解和结合相图对问题的分析、讨论

7.1.4 教学过程

1.1 概述（讲授）

一、液体均相混合物分离的原理

二、蒸馏分离的特点

蒸馏——通过加热造成气液两相物系，利用物系中各组分的挥发度不同的特性以实现分离的目的。

(1) 通过蒸馏操作，可以直接获得所需要的组分（产品），因此一般蒸馏操作流程较为简单。

(2) 蒸馏分离应用较广泛，历史悠久。它不仅可分离液体混合物，而且可分离气体混合物。

(3) 在蒸馏过程中，由于要产生大量的气相或液相，因此要消耗大量的能量。能耗的高低是决定是否能采用蒸馏分离的主要因素。

三、蒸馏过程的分类

1.2 双组分溶液的汽液相平衡（讲授）

一、两组分理想物系的汽液相平衡

1、相律

相律是研究相平衡的基本规律。相律表示平衡物系中的自由度、相数及独立组分数间的关系。

$$F = C - \varphi + 2$$

2、两组分理想物系的汽液相平衡函数关系

理想物系：

所谓理想物系是指液相和气相应符合以下条件：

- (1) 液相为理想溶液，遵循拉乌尔定律。
- (2) 气相为理想气体，遵循道尔顿分压定律。

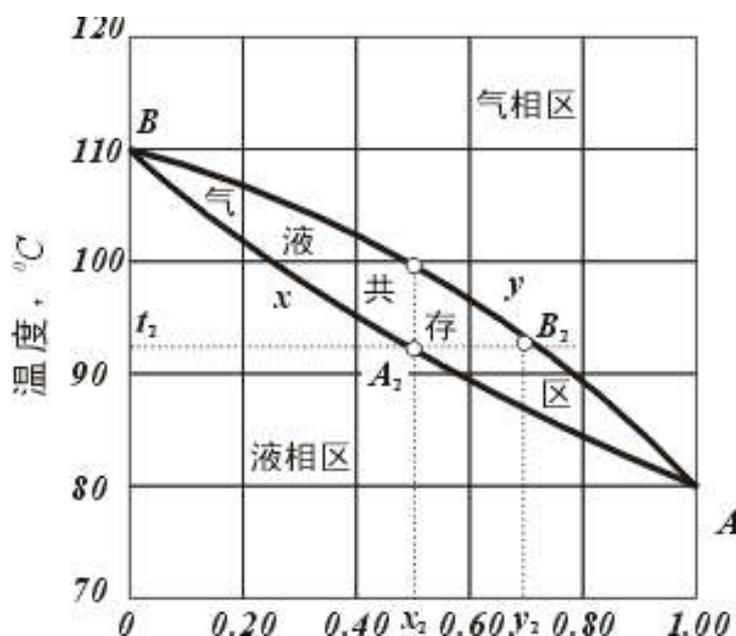
拉乌尔定律：在一定的温度下，溶液上方任意组分的蒸汽分压，等于该纯组分在同温度下的蒸汽压与该组分在溶液中的摩尔分率之乘积。

道尔顿分压定律

3、理想物系汽液相平衡问题的分析和讨论

4、两组分理想溶液的气液平衡相图

t-x-y 图



7.1.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.1.6 作业安排及课后反思

1、 P_{269} : 1;

7.1.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.2 教学单元二：第一章 蒸馏

7.2.1 教学日期

第二周周四的 1，2 节

7.2.2 教学目标

- 1、掌握两组分理想溶液的气液平衡相图
- 2、掌握相对挥发度的概念
- 3、了解平衡蒸馏过程的分析 and 计算；
- 4、了解简单蒸馏过程的分析 and 计算

7.2.3 教学内容（含重点、难点）

教学内容：

- 1、两组分理想溶液的气液平衡相图； $x-y$ 图
- 2、用相对挥发度表示的气液平衡关系

3、平衡蒸馏

4、简单蒸馏

重点：两组分的相平衡关系、平衡、简单蒸馏过程的概念及特点

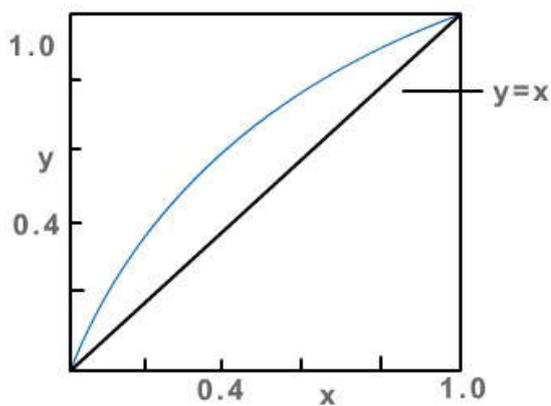
难点：简单蒸馏过程的计算

7.2.4 教学过程

复习上一讲学习内容

1、两组分理想溶液的气液平衡相图

x-y 图



2、用相对挥发度表示的气液平衡关系

(1) 挥发度

纯液体的挥发度是指该液体在一定温度下的饱和蒸气压

(2) 相对挥发度

溶液中易挥发组分的挥发度与难挥发组分的挥发度之比称为相对挥发度，用 α 表示

$$\alpha = \frac{v_A}{v_B} = \frac{p_A/x_A}{p_B/x_B}$$

对二元体系，以 y 、 x 分别表示平衡时汽液两相中轻组分的组成，以 α

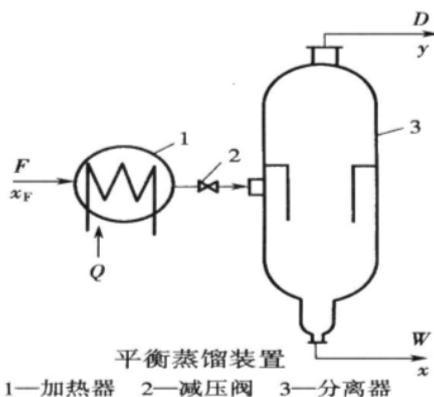
表示轻组分相对于重组分的相对挥发度。

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

相对挥发度 α 的大小描述了该二元物系进行蒸馏分离的难易程度： $\alpha > 1$ ，表示组分 A 较 B 易挥发； α 值越大，两组分的挥发度差异越大，在处于相平衡的汽液两相中的含量差别越大，用蒸馏方法越容易将其分离； α 越接近于 1，采用普通蒸馏的方式越难分离；对 α 越接近于 1 的体系则需采用特殊精馏。

3、平衡蒸馏

1)、装置及原理



2)、计算方法

A、物料衡算

范围：整个设备；基准：1h

轻组分： $Fx_F = Dy + Wx$

总物料： $F = D + W$

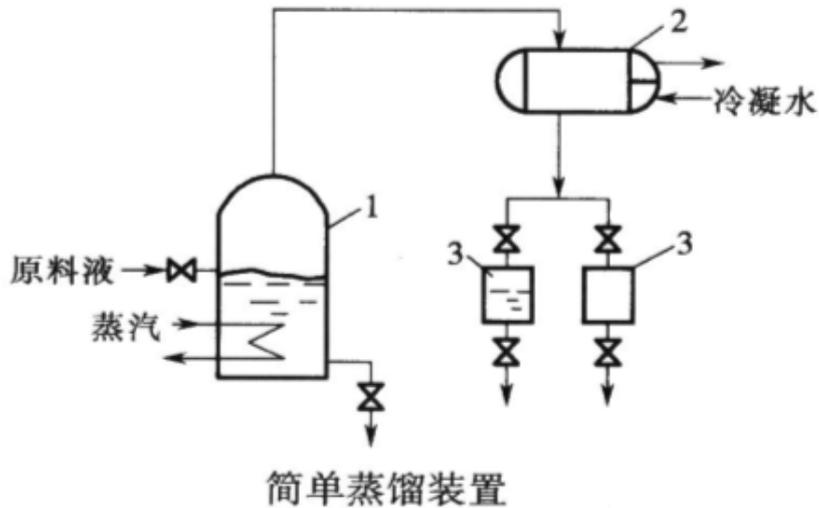
液化率： $q = W/F$

2)、热量衡算

3)、汽液平衡关系

4、简单蒸馏

1)、装置及原理



1—蒸馏釜 2—冷凝器 3—接受器

2)、计算方法

7.2.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.2.6 作业安排及课后反思

7.2.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），

化学工业出版社，北京，1999

7.3 教学单元三：第一章 蒸馏

7.3.1 教学日期

第三周周二的 1，2 节

7.3.2 教学目标

- 1、掌握精馏过程的原理及操作流程
- 2、掌握理论板的概念和及恒摩尔流假定
- 3、掌握全塔物料衡算及精馏段操作线方程和提馏段操作线方程。

7.3.3 教学内容（含重点、难点）

1、精馏过程原理

多次部分汽化和冷凝

精馏塔模型

2、精馏操作流程

连续精馏操作流程

间歇精馏操作流程

3、两组分连续精馏的计算

（1）理论板的概念及恒摩尔流假定

理论板的概

恒摩尔流假定

（2）物料衡算和操作线方程

全塔物料衡算

操作线方程——精馏段操作线方程和提馏段操作线方程

重点：精馏过程原理、物料衡算和操作线方程

难点：理论板的概念及恒摩尔流假定

7.3.4 教学过程

复习上一讲学习内容，采用提问的方式（5 分钟），5 名同学回答，教师评价记入登分册。从平衡蒸馏和简单蒸馏的特点分析，以及工业生产中高纯度分离的要求，引入精馏过程的原理，讲解精馏操作的流程，全塔物料衡算及操作线方程

1、精馏过程原理

多次部分汽化和冷凝

精馏塔模型

2、精馏操作流程

连续精馏操作流程

间歇精馏操作流程

3、两组分连续精馏的计算

（1）理论板的概念及恒摩尔流假定

理论板的概

恒摩尔流假定

（2）物料衡算和操作线方程

全塔物料衡算

操作线方程——精馏段操作线方程和提馏段操作线方程

7.3.5 教学方法

采用多媒体与板书、幻灯相结合教学

7.3.6 作业安排及课后反思

1、 P_{270} : 3

7.3.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.4 教学单元四：第一章 蒸馏

7.4.1 教学日期

第三周周四的 1，2 节

7.4.2 教学目标

1、掌握精馏塔的进料热状况

7.4.3 教学内容（含重点、难点）

1、掌握精馏塔的进料热状况

2、掌握进料热状况参数的概念

3、掌握进料热状况对操作线方程的影响

重点：进料热状况分析和讨论、塔板上的物料衡算

难点：进料热状况对操作线方程的影响

7.4.4 教学过程

复习上一讲学习内容，采用提问的方式（5分钟）

1、精馏塔的进料热状况

由于不同进料热状况的影响，使从进料板上升蒸气量及下降液体量发生变化，对于冷液进料的情况，提馏段内回流液体流量包括三部分：

- 精馏段的回流液体量 L
- 原料液流量 F
- 为将原料液加热到板上温度，一部分上升蒸气冷凝而成的液体

总物料衡算

$$F + L + V' = L' + V$$

热量衡算

$$FI_F + LI_L + V'I_{V'} = L'I_{L'} + VI_V$$

2、进料热状况参数

加料热状态参数 q 的定义：

$$q = \frac{I_V - I_F}{I_V - I_L} \approx \frac{\text{将1kmol进料变为饱和蒸气所需的热量}}{\text{原料液的千摩尔气化潜热}}$$

q 的物理意义可以是进料液与饱和液的汽化热之比，也可以是每摩尔进

料为提馏段带入液体的千摩尔数

实际生产中，精馏塔的进料可能有五种不同的热状态

A 状况——低于泡点的过冷液进料

B 状况——泡点液体进料

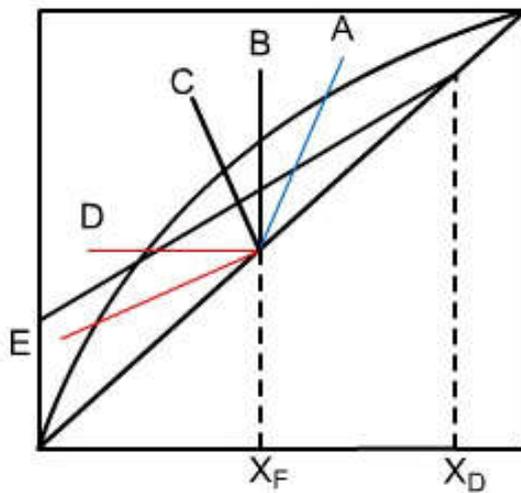
C 状况——汽-液混合物进料

D 状况——露点蒸汽进料

E 状况——高于露点的过热蒸汽进料

3、进料热状况对操作线方程的影响

进料线方程——精馏段操作线与提馏段操作线的交点轨迹方程。



7.4.5 教学方法

采用多媒体与板书、幻灯相结合教学课堂上与学生共同探讨，启发学生的求新思维。

7.4.6 作业安排及课后反思

1、 P_{270} : 4; P_{74} : 5

7.4.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.5 教学单元一：第一章 蒸馏

7.5.1 教学日期

第四周周二的 1, 2 节

7.5.2 教学目标

- 1、掌握逐板法及图解法求理论板层数
- 2、掌握适宜的进料位置

7.5.3 教学内容（含重点、难点）

- 1、逐板计算法求理论板层数
- 2、图解法求理论板层数
- 3、适宜的进料位置

重点：理论板层数的计算。

难点：适宜的进料位置。

7.5.4 教学过程

复习上一讲学习内容，采用提问的方式。

加料热状态对操作线交点的影响

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

q 线的作法：

(1) 在对角线上作 e 点 ($y=x=x_F$)；

(2) 过 e 点作斜率 $q/(q-1)$ 的直线。

进料焓值(温度)增加， q 值减小，则 q 线与精馏操作线的交点(相应加料热状态下两操作线的交点)沿着精馏操作线朝 x 、 y 减小的方向移动。
从塔设备的角度，这意味着加料板位置下移。

1、逐板算法求理论板层数

依据：

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y'_{m+1} = \frac{L'}{L'-W}x'_m - \frac{Wx_W}{L'-W}$$

例、二元混合液中轻组分的摩尔分率 $x_F=0.25$ ，采用精馏操作进行分离，要求 x_D 不小于 0.98、 x_W 不大于 0.0885。操作条件下的相对挥发度为 2.47，

操作条件为回流比为 5、泡点回流、泡点进料，求所需理论板层数。

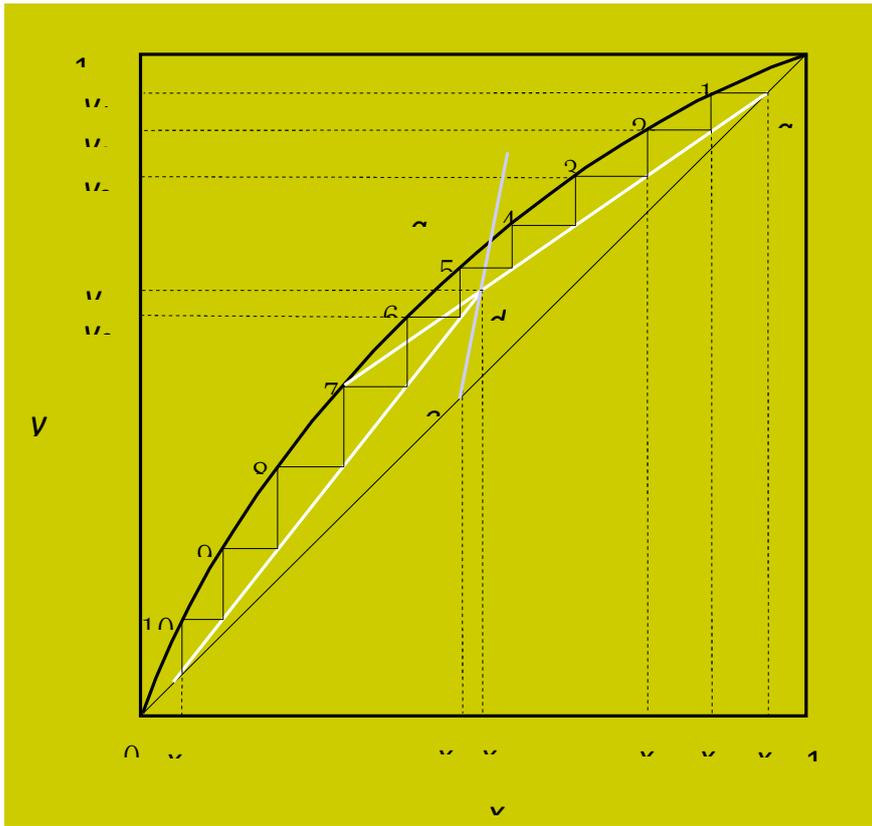
2、图解法求理论板层数

通常采用直角梯级图解法，其实质仍然是以平衡关系与操作关系为依据，将两者绘在图上，便可图解得出达到指定分离任务所需的理论塔板数及加料板位置。

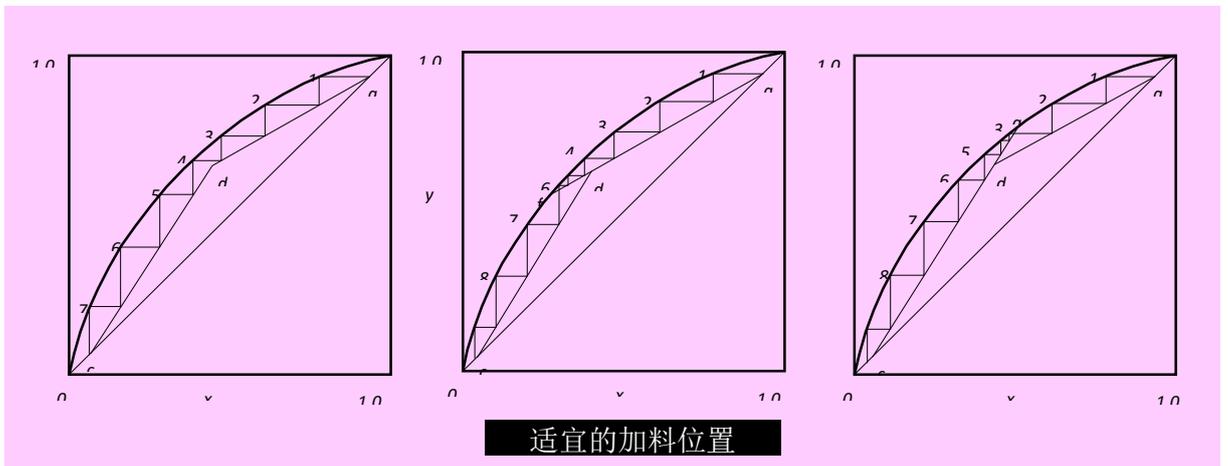
依据： R 、 q ，进料及产品组成。

步骤：

1. 作 $y-x$ 图中的平衡线及对角线；
2. 由点 (x_D, x_D) 和截距 $x_D/(R+1)$ 作精馏段操作线；
3. 由点 (x_F, x_F) 和斜率 $q/(q-1)$ 作 q 线，与精馏段操作线的交点为 (x_q, y_q) 。
4. 由点 (x_q, y_q) 和 (x_W, x_W) 作提馏段操作线
5. 从 a 点开始，在平衡线与精馏段操作线之间作直角梯级；6. 当梯级跨过两操作线交点（ d 点）时，则改在平衡线与提馏操作线之间作梯级，直至某梯级的垂直线达到小于 x_W 为止；7. 每个梯级代表一块理论板。梯级总数即为所需理论板数（含再沸器）。



3、适宜的进料位置。



7.5.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够

做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.5.6 作业安排及课后反思

1、 P_{290} : 6, 7;

7.5.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.6 教学单元一：第一章 蒸馏

7.6.1 教学日期

第四周周四的 1, 2 节

7.6.2 教学目标

1、掌握回流比在极限状态下的问题分析和参数计算；

7.6.3 教学内容（含重点、难点）

回流比的影响及其选择

1、全回流和最少理论板层数

2、最小回流比

3、适宜回流比的选择

重点：回流比的影响及其选择。

难点：回流比的影响及其选择。

7.6.4 教学过程

采用提问的方式复习上一讲学习内容。

回流比的影响及其选择

1、全回流和最少理论板层数

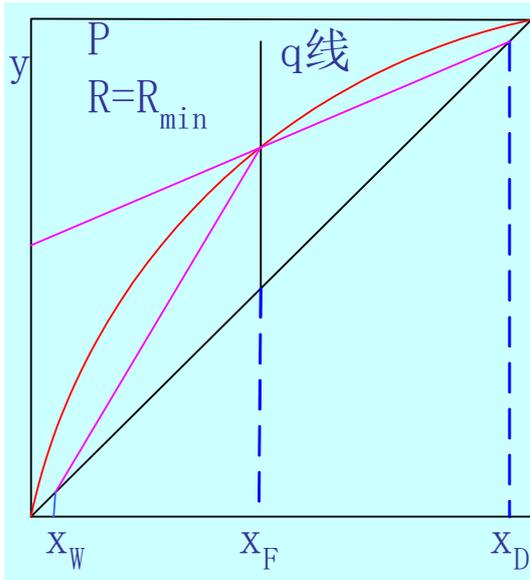
全回流

全回流时操作线和平衡线的距离为最远，达到相同的分离程度所需的理论板数最少，以 N_{min} 表示。

$$N_{\min} = \frac{\log \left[\left(\frac{x_D}{1-x_D} \right) \left(\frac{1-x_W}{x_W} \right) \right]}{\log \alpha_m}$$

2、最小回流比

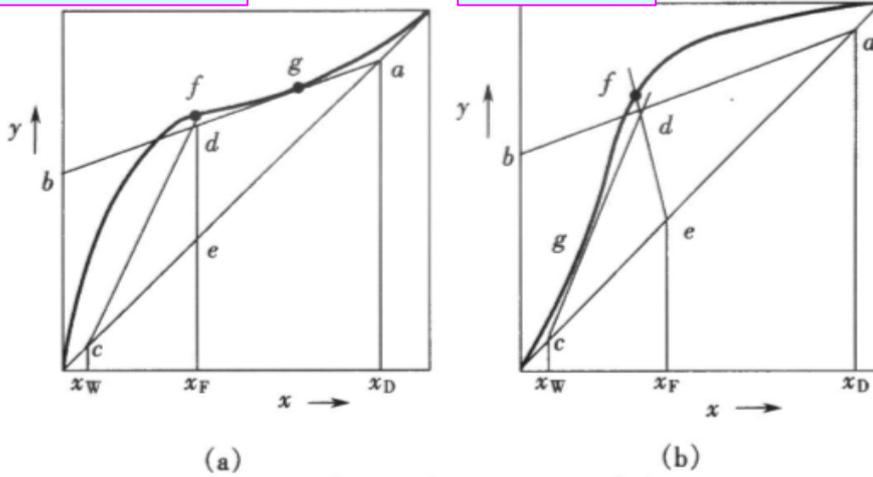
对于一定的条件，减少 R ，精馏段操作线截距增大，该操作线向平衡线移动，精馏段操作线与 q 线的交点 d （即两操作线交点）向平衡线靠近。这意味着，随回流比减小，提馏段也向平衡线移动。因此，达到指定分离程度所需理论板数增多。



最小回流比的求法

对理想物系、或具有一般正负偏差的实际体系，其最小回流比时对应的挟点为两操作线的交点（且在平衡线上），设两操作线与平衡线交点的坐标为 (x_q, y_q) ，此时精馏段操作线的斜率为：

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{x_D - y_q}{x_D - x_q} \quad \rightarrow \quad R_{\min} = \frac{x_D - y_q}{y_q - x_q}$$



(a) (b)
不正常平衡曲线的 R_{\min} 的确定

3、适宜回流比的选择

$$R_{opt} = (1.2 - 2)R_{min}$$

7.6.6 作业安排及课后反思

1、 P_{270} : 8;

7.6.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料:

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.7 教学单元一：第一章 蒸馏

7.7.1 教学日期

第五周周二的 1, 2 节

7.7.2 教学目标

- 1、了解理论板数的简捷求法
- 2、了解直接蒸汽加热情况、提馏塔、多侧线塔、塔顶设分凝器的精馏的计算方法

7.7.3 教学内容（含重点、难点）

- 1、理论板数的简捷求法
吉利兰图

2、直接蒸汽加热情况下理论板层数的求法

3、提馏塔理论板层数的求法

4、多侧线塔

5、塔顶设分凝器的精馏

6、塔高和塔径的计算

理论板的概念

单板效率

全塔效率

塔高

7、塔径计算

重点：理论板层数的求法。

难点：理论板层数的求法

7.7.4 教学过程

复习上一讲学习内容

1、理论板数的简捷求法

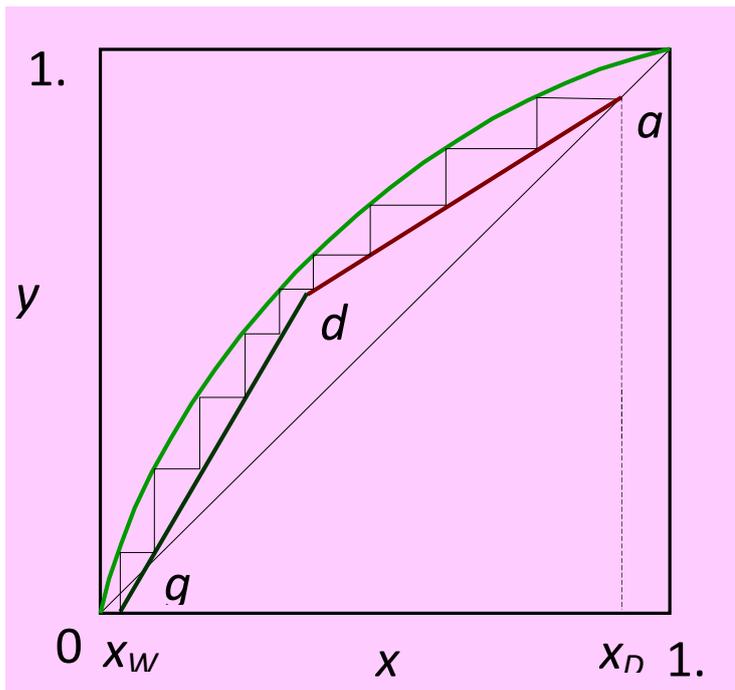
吉利兰图

具体实例讲解几种情况下理论板层数的求法。

2、直接蒸汽加热情况下理论板层数的求法

直接蒸汽加热：分离水为重组分的物料时可将加热蒸汽直接通入塔釜

加热



直接加热精馏所需的理论板数较间接精馏稍有增加。这是因为直接加热蒸汽的稀释作用，使得塔内物料分离任务增加，当达到相同的馏出液组成及回收率时就需更多的塔板。

3、提馏塔理论板层数的求法

亦称回收塔，是只有提馏段的精馏塔。一般用于回收稀溶液中的轻组分而对馏出液浓度要求不高，或不用精馏段亦可满足馏出液要求的情况。从稀氨水中回收氨即为一例。

4、多侧线塔

对不同浓度的料液要在同一塔内同时进行分离的情况，一般不将料液混为一股后加入塔内，而是按各股料液的浓度及热状态分别确定相应的加料位置。

原因：任何混合后的再分离都将引入不必要的能量消耗。

5、塔顶设分凝器的精馏

采用全凝器的原因：保持一定过冷度，以免蒸气未凝而积累，引起塔

压升高。

采用分凝器的原因：节省高品位冷剂的用量。如果塔顶蒸气中含少量或一定量较轻的组分，一般冷剂难以将其冷凝，提高冷剂品位又不经济。为此，塔顶则设部分冷凝器，将未凝的部分轻组分气体采出，然后，再用高品位冷剂将其冷凝作产品送出。

分凝器的作用：在分凝中存在蒸气的部分冷凝，相当一平衡级，故也相当一个理论板。

塔内理论板数：塔内总理论板数等于 $(N-2)$ 。

6、塔高和塔径的计算

理论板的概念

单板效率

全塔效率

塔高

7、塔径计算

7.7.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合

7.7.6 作业安排及课后反思

1、 P_{270} ：9、10；

7.7.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.8 教学单元一：第一章 蒸馏

7.8.1 教学日期

第五周周四的 1，2 节

7.8.2 教学目标

1、掌握双组分精馏的设计型计算

7.8.3 教学内容（含重点、难点）

1、双组分精馏的设计型计算

平衡线为直线式理论板数的解析计算

物料衡算、相平衡关系构建理论板数计算关联式

2、双组分精馏的操作型计算

精馏过程的操作型计算

操作型计算的命题；

回流比增加对精馏结果的影响；

进料组成变动后问题的分析和讨论

3、精馏塔的温度分布和灵敏板

精馏塔内温度的分布

灵敏板的概念及在问题分析中的作用

重点：精馏操作型计算

难点：利用物料衡算、相平衡分析解决精馏塔操作型计算问题

7.8.4 教学过程

以具体实例和课堂练习的方式讲解几种情况下理论板层数的求法。

7.8.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合

7.8.6 作业安排及课后反思

1、 P_{270} : 12;

7.8.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.9 教学单元一：第一章 蒸馏

7.9.1 教学日期

第六周周二的 1, 2 节

7.9.2 教学目标

了解间歇精馏、恒沸精馏、萃取精馏过程的特点

7.9.3 教学内容（含重点、难点）

1、间歇精馏过程的特点

间歇精馏过程的分析和讨论

2、保持流出液组成恒定的间歇精馏

理论塔板数的确定和精馏时间

3、保持流出液组成恒定的间歇精馏

1、回流比保持恒定时间歇精馏过程的分析；

2、回流比保持恒定时间歇精馏过程的计算

4、恒沸精馏

双组分、三组分恒沸精馏及恒沸精馏挟带剂的选择

5、萃取精馏

流程分析、操作特点、萃取剂的选择及与恒沸精馏的比较

本章小结

7.9.4 教学过程

以工程实例讲解几种特殊蒸馏方式的操作特点

7.9.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

7.9.6 作业安排及课后反思

1、 P_{73} : 1, 2;

7.9.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992

2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.10 教学单元十：期中小结与测验

7.10.1 教学日期

第六周周四的 1, 2 节

7.10.2 教学目标

复习吸收相关知识，考察吸收掌握情况。

7.10.3 教学内容（含重点、难点）

教学过程过半，让学生做一些与吸收有关的练习，帮助学生复习相关知识

7.10.4 教学过程

布置一些练习，让学生先做，然后评讲

7.10.5 教学方法

通过典型例题的练习，帮助学生掌握相关知识。

7.10.6 作业安排及课后反思

7.10.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

- 1、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（下册），大连理工大学出版社，大连，1992
- 2、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999

7.11 教学单元十一：第二章 吸收

7.11.1 教学日期

第七周周二的 1, 2 节

7.11.2 教学目标

- 1、了解吸收过程在化工中的应用、吸收过程分类、气液两相的接触方式；
- 2、溶解度的概念及亨利定律；
- 3、吸收质量传递的方向、传质推动力分析及传质极限分析。

7.11.3 教学内容（含重点、难点）

概述

2.1 气体吸收的相平衡关系

1、气体的溶解度

2、亨利定律

3、相平衡与吸收过程的关系

重点：溶解度概念、传质过程的分析讨论

难点：传质方向、传质推动力及传质过程极限

7.11.4 教学过程

概述

1、工业吸收过程

2、溶剂的选择

3、物理吸收和化学吸收

4、吸收操作的经济性及吸收过程中气、液两相的接触方式

2.1 气体吸收的相平衡关系

1、气体的溶解度

2、亨利定律

3、相平衡与吸收过程的关系

(1)、吸收过程的传质方向

(2)、吸收过程的传质极限分析

(3)、吸收过程的传质推动力分析

7.11.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

7.11.6 作业安排及课后反思

- 1、 P_{1323} : 1;

7.11.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

- 1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。
- 2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。
- 3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.12 教学单元十二：第二章 吸收

7.12.1 教学日期

第七周周四的 1, 2 节

7.12.2 教学目标

- 1、掌握菲克定律
- 2、掌握等分子反向扩散

7.12.3 教学内容（含重点、难点）

2.2 传质机理与吸收速率

- 1、分子扩散与菲克定律
- 2、气相中的稳态分子扩散——等分子反向扩散

重点：费克定律和分子传质问题的求解方法

难点：分子传质问题的求解方法

7.12.4 教学过程

提问的方式复习上一讲内容

2.2 传质机理与吸收速率（讲授）

1、分子扩散与菲克定律（讲授）

分子扩散——在一相内部有浓度差异的条件下，由于分子的无规则热运动而造成的物质传递现象。

机理

扩散通量 J_A ：单位面积上单位时间内扩散传递的物质质量， $kmol/(m^2 \cdot s)$

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$$

2、气相中的稳态分子扩散——等分子反向扩散（讲授）

传质速率 N_A （又称传质通量）——在任一固定的空间位置上，单位时间通过单位面积的 A 物质质量。

$$N_A = -N_B$$

$$N_B = \frac{D}{RTZ} (p_{B1} - p_{B2})$$

7.12.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.12.6 作业安排及课后反思

1、 P_{323} ：3；

7.12.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大

学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.13 教学单元十三：第二章 吸收

7.13.1 教学日期

第八周周二的1, 2节

7.13.2 教学目标

1、掌握一组分通过另一停滞组分的扩散

7.13.3 教学内容（含重点、难点）

2.2 传质机理与吸收速率

2、气相中的稳态分子扩散——一组分通过另一停滞组分的扩散

3、液相中的稳态分子扩散

4、扩散系数

重点：分子传质问题的求解方法

难点：分子传质问题的求解方法

7.13.4 教学过程

提问的方式复习上一讲内容

2、气相中的稳态分子扩散——一组分通过另一停滞组分的扩散（讲授）

机理

由于界面处惰性组分B的反扩散，无液相分子通过界面向气相补充，导致截面处气相总浓度下降，即总压下降，使得气体与界面之间产生微小的压差，从而产生混合气主体向界面递补的运动，这种递补运动称之为总体流动。

$$N_A = \frac{D}{RTz} \frac{P}{p_{Bm}} (p_{A1} - p_{A2}) \quad p_{Bm} = \frac{p_{B2} - p_{B1}}{\ln\left(\frac{p_{B2}}{p_{B1}}\right)}$$

漂流因子

3、液相中的稳态分子扩散（讲授）

$$N_A = \frac{D}{Z} \frac{C}{C_{Bm}} (C_{A1} - C_{A2})$$

4、扩散系数（讲授）

定义

单位

影响因素

获取

7.13.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

7.13.6 作业安排及课后反思

1、 P_{323} : 2;

7.13.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.14 教学单元十四：第二章 吸收

7.14.1 教学日期

第八周周四的 1, 2 节

7.14.2 教学目标

1、掌握吸收过程的机理

7.14.3 教学内容（含重点、难点）

5、对流传质

(1) 涡流扩散

(2) 对流传质过程分析

6、吸收过程的机理

(1) 双膜理论

(2) 溶质渗透理论

(3) 表面更新理论

重点：双膜理论

难点：吸收过程的机理

7.14.4 教学过程

提问的方式复习上一讲内容

5、对流传质（讲授）

(1) 涡流扩散

定义：依靠流体质点的湍动和旋涡来传递物质的现象称为涡流扩散。

原因：在湍流中，流体质点的脉动和旋涡将引起各部位的流体质点的碰撞与混合，实现物质从高浓度向低浓度传递。

表达式：

$$J = -(D + D_E) \frac{dc_A}{dz}$$

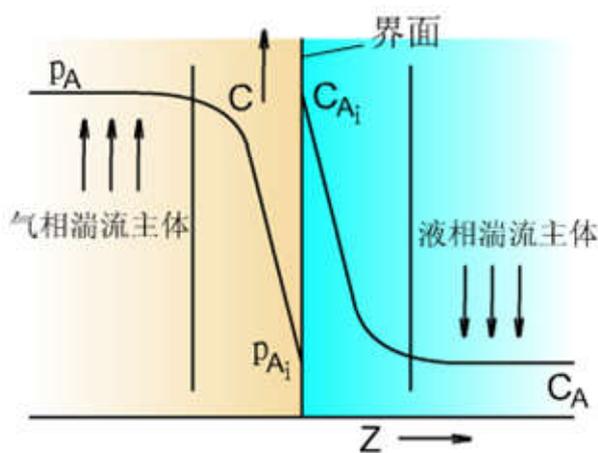
(2) 对流传质过程分析（讲授）

对流传质通常指运动流体与界面（固体壁面或流体界面）间由于涡流或脉动作用所造成的质量传递，是相间传质的基础。

对流传质方程： $N_A = k_L(C_1 - C_2) = k_G(p_1 - p_2) = \dots\dots$

传质系数

6、吸收过程的机理（讲授）



“双膜”理论的基本论点：

第一，相互接触的气、液两相流体间存在稳定的相界面，界面两侧各有一个很薄的停滞膜，吸收质以分子扩散方式穿过此二膜层；

第二，相界面处，气、液两相达到平衡；

第三，两个停滞膜以外的气、液两相主体中，由于流体充分湍动，物质组成均匀。

7.14.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

7.14.6 作业安排及课后反思

7.14.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.15 教学单元十五：第二章 吸收

7.15.1 教学日期

第九周周二的1，2节

7.15.2 教学目标

1、掌握吸收速率方程

7.15.3 教学内容（含重点、难点）

7、吸收速率方程

(1) 气膜吸收速率方程

(2) 液膜吸收速率方程

(3) 界面组成

(4) 总吸收系数及其相应的吸收速率方程式

(5) 小结

7.15.4 教学过程

提问的方式复习上一讲内容

7、吸收速率方程（讲授）

（1）气膜吸收速率方程（讲授）

$$N_A = k_G(p_A - p_{A_i})$$

$$N_A = k_y(y - y_i)$$

$$N_A = k_Y(Y - Y_i)$$

（2）液膜吸收速率方程（讲授）

$$N_A = k_X(X_i - X)$$

$$N_A = k_L(c_i - c)$$

$$N_A = k_x(x_i - x)$$

（3）界面组成（讲授）

在以上各膜吸收速率方程式中，都含有界面浓度。因此，要使用膜吸收速率方程式，就必须解决如何确定界面浓度的问题。由双膜理论的要点可知，界面处的气液组成符合平衡关系。且在稳态下，气、液两膜中的传质速率相等。

（4）总吸收系数及其相应的吸收速率方程式（讲授）

$$N_A = K_G(p - p^*) = K_L(c^* - c) = K_y(y - y^*) = K_x(x^* - x) = K_Y(Y - Y^*) = K_X(X^* - X)$$

（5）小结（组织学生讨论总结）

7.15.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，组织学生讨论

7.15.6 作业安排及课后反思

1、 P_{148} : 8;

7.15.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.16 教学单元十六：第二章 吸收

7.16.1 教学日期

第九周周四的 1, 2 节

7.16.2 教学目标

1、掌握低浓度气体吸收的特点和计算

7.16.3 教学内容（含重点、难点）

2.3 吸收塔的计算

1、吸收塔物料衡算

2、操作线方程

3、吸收剂用量的确定

重点：低浓度气体吸收的计算

难点：低浓度气体吸收的计算

7.16.4 教学过程

复习上一讲内容

计算依据：物系的相平衡关系和传质速率（讲授）

1、吸收塔物料衡算（讲授）

目的：计算给定吸收任务下所需的吸收剂用量 L 或吸收剂出口浓度 X_1 。

$$VY_1 + LX_2 = VY_2 + LX_1$$

$$G_A = V(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2)$$

进塔气量 V 和组成 Y_1 是吸收任务规定的，进塔吸收剂温度和组成 X_2 一般由工艺条件所确定，出塔气体组成 Y_2 则由任务给定的吸收率求出

吸收率：混合气体中溶质 A 被吸收的百分率，也称回收率

$$\varphi_A = \frac{V(Y_1 - Y_2)}{VY_1} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1}$$

$$Y_2 = Y_1(1 - \varphi_A)$$

2、操作线方程与操作线（讲授）

解决任一截面气液两相浓度之间的关系

吸收塔内任一横截面上，气液组成 Y 与 X 之间的关系称为操作关系，描述该关系的方程即为操作线方程。在稳态操作的情况下，操作线方程可通过对组分 A 进行物料衡算获得。在 m - n 截面与塔底端面之间对组分 A 进行衡算，可得

$$Y = (L/V)X + (Y_1 - (L/V)X_1)$$

同理，在 m - n 截面与塔顶端面之间作组分 A 的衡算，得

$$Y = (L/V)X + (Y_2 - (L/V)X_2)$$

上两式均称为吸收操作线方程，代表逆流操作时塔内任一截面上的气、液两相组成 Y 和 X 之间的关系。

(L/V) 称为吸收塔操作的液气比

1、吸收剂用量的确定（讲授）

吸收剂出塔浓度 X_2 与吸收剂用量 L 是相互制约的

操作线斜率 L/V 称为液气比，它反映了单位气体处理量的溶剂消耗量的大小。如图所示，在 Y_1 、 Y_2 及 X_2 已知的情况下，操作线的端点 B 已固定，另一端点 A 则可在 $Y=Y_1$ 的水平线上移动。A 点的横坐标将取决于操作线的斜率 L/V ，若 V 值一定，则取决于吸收剂用量 L 的大小。

在 V 值一定的情况下，吸收剂用量 L 减小，操作线斜率也将变小，点 A 便沿水平线 $Y=Y_1$ 向右移动，其结果是使出塔吸收液的组成增大，但此时吸收推动力也相应减小。当吸收剂用量减小到恰使点 B 移至水平线 $Y=Y_1$ 与平衡线 OC 的交点时，即塔底流出液组成与刚进塔的混合气组成达到平衡。这是理论上吸收液所能达到的最高组成，但此时吸收过程的推动力已变为零，因而需要无限大的相际接触面积，即吸收塔需要无限高的填料层。这在工程上是不能实现的，只能用来表示一种极限的情况。此种状况下吸收操作线的斜率称为最小液气比，相应的吸收剂用量即为最小吸收剂用量，以 L_{\min} 表示

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_{1\max} - X_2}$$

最小液气比的计算式：

$$L_{\min} = V \frac{Y_1 - Y_2}{X_{1,\max} - X_2}$$

7.16.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.16.6 作业安排及课后反思

1、 P_{323} ：4、9；

7.16.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.17 教学单元十七：第二章 吸收

7.17.1 教学日期

第十周周二的1，2节

7.17.2 教学目标

1、掌握低浓度气体吸收的特点和计算

7.17.3 教学内容（含重点、难点）

- 1、适宜的液气比
- 2、塔径的计算
- 3、填料层高度的计算

重点：低浓度气体吸收的计算

难点：低浓度气体吸收的计算

7.17.4 教学过程

复习上一讲内容

1. 适宜的液气比（讲授）

选取的 $L/V \uparrow$ ，操作线斜率 \uparrow ，操作线与平衡线的距离 \uparrow ，塔内传质推动力 \uparrow ，完成一定分离任务所需塔高 \downarrow ；

$L/V \uparrow$ ，吸收剂用量 \uparrow ，吸收剂出塔浓度 $X_I \downarrow$ ，循环和再生费用 \uparrow ；

若 $L/V \downarrow$ ，吸收剂出塔浓度 $X_I \uparrow$ ，塔内传质推动力 \downarrow ，完成相同任务所需塔高 \uparrow ，设备费用 \uparrow 。

$$L/V = (1.1 \sim 2.0) (L/V)_{\min}$$

2、塔径的计算（讲授）

操作流速(u)：按空塔截面积计算的操作状态下混合气体(A+B)的线速度(m/s)。常以塔的气体入口端计算。

根据所选设备、气液两相的流量和性质 $\rightarrow u_F$ （恰好发生液泛的操作流速，也是保持塔正常操作的气体空塔流速上限） \rightarrow 取 $u = (0.5 \sim 0.8) u_F$ 确定操作流速。

3、填料层高度的计算（讲授）

传质速率模型法 吸收速率方程 \rightarrow 填料层高度 Z

理论级模型法 理论板（级） 等板高度 $\rightarrow Z = HETP \times NT$

(1)、填料层高度的基本计算式

$$Z = \frac{V}{K_Y a \Omega} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} \quad Z = \frac{L}{K_X a \Omega} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{X^* - X}$$

(2)、传质单元高度与传质单元数

$$\left[\frac{V}{K_Y a \Omega} \right] = \frac{\left[\frac{\text{kmol/s}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right]}{\left[\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right] \left[\text{m}^2 \right]} = [m], \left[\frac{L}{K_X a \Omega} \right] = \frac{\left[\frac{\text{kmol/s}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right]}{\left[\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right] \left[\text{m}^2 \right]} = [m]$$

$$\text{令: } H_{OG} = \frac{V}{K_Y a \Omega}, H_{OL} = \frac{L}{K_X a \Omega}$$

(3)、传质单元数的计算

传质单元数的求解：图解积分数值积分）法、近似图解法、对数平均浓度差法(推动力法)、吸收因数法。

(1)图解积分与数值积分法

(2)对数平均推动力法

$$\Delta Y = Y - Y^* = Y^* - mX - b$$

$$\Delta Y = \left(1 - \frac{mV}{L}\right)Y + \left(\frac{mV}{L}Y - mX_2 - b\right)$$

$$d\Delta Y = \left(1 - \frac{mV}{L}\right)dY \rightarrow dY = \frac{d\Delta Y}{\left(1 - \frac{mV}{L}\right)}$$

$$N_{OG} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} = \int_{\Delta Y_2}^{\Delta Y_1} \frac{d\Delta Y}{\Delta Y} = \left(1 - \frac{mV}{L}\right)^{-1} \ln \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}$$

$$\because \frac{V}{L} = \frac{X_1 - X_2}{Y_1 - Y_2}, \left(1 - \frac{mV}{L}\right) = \frac{Y_1 - Y_2 - m(X_1 - X_2 + b - b)}{Y_1 - Y_2}$$

$$\therefore \left(1 - \frac{mV}{L}\right)^{-1} = \frac{Y_1 - Y_2}{\Delta Y_1 - \Delta Y_2} \rightarrow N_{OG} = \frac{Y_1 - Y_2}{(\Delta Y_1 - \Delta Y_2) / \ln \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}}$$

(3)脱吸因数法

$$N_{OG} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - (mX + b)} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{\left(1 - \frac{mV}{L}\right)Y + \left[\frac{mV}{L}Y_2 - (mX_2 + b)\right]}$$

$$\text{令: } S = \frac{mV}{L}, N_{OG} = \frac{1}{1 - S} \ln \left[(1 - S) \frac{Y_1 - Y_2^*}{Y_2 - Y_2^*} + S \right]$$

(4)梯级图解法:

7. 17. 5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.17.6 作业安排及课后反思

- 1、 P_{1323} : 10;

7.17.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

- 1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。
- 2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。
- 3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.18 教学单元十八：第二章 吸收

7.18.1 教学日期

第十周周四的 1, 2 节

7.18.2 教学目标

- 1、掌握低浓度气体吸收的特点和计算

7.18.3 教学内容（含重点、难点）

1. 理论板层数的计算

2.4 吸收系数

1、吸收系数的测定

2、吸收系数的经验公式

3、吸收系数的准数关联式

重点：低浓度气体吸收的计算

难点：理论板层数的计算

7.18.4 教学过程

复习上一讲内容

5. 理论板层数的计算（讲授）

理论板：传热阻力和传质阻力均为零

特点：离开两相处于平衡状态

填料塔： $Z=NT \times HETP$ ；

板式塔： $H=(NT/ET-1) \times HT$ 。

(1) 图解法

(2) 解析法

2.4 吸收系数（讲授）

一般来说，传质过程的影响因素较传热过程复杂得多，吸收系数不仅与物性、设备类型、填料的形状和规格等有关，而且还与塔内流体的流动状况、操作条件密切相关。因此，迄今尚无通用的计算公式和方法。目前，在进行吸收设备的计算时，获取吸收系数的途径有三条：一是实验测定；二是选用适当的经验公式进行计算；三是选用适当的准数关联式进行计算。

1、吸收系数的测定（讲授）

2、吸收系数的经验公式（讲授）

吸收系数的经验公式是根据特定系统及一定条件下的实验数据整理而来，因而运用范围较窄

某些体积吸收系数经验公式如下。

1、用水吸收氨： $k_G a = 6.07 \times 10^{-4} G^{0.9} W^{0.39}$

式中： $k_G a$ —— 气膜体积吸收传质系数， $\text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ ；

G —— 气相空塔质量流速， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；

W —— 液相空塔质量流速， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；

适用条件：1) 在填料塔中用水吸收氨；

2) 直径为 12.5mm 的陶瓷环行填料。

3、吸收系数的准数关联式（讲授）

课堂练习

在一逆流操作的吸收塔中用清水吸收氨-空气混合气体中的氨，混合气体流量为

0.025kmol/s, 混合气入塔含氨摩尔分数为 0.02, 出塔气体中含氨为 0.001。总压为 101.3kpa, 温度为 293k, 在操作浓度范围内, 系统的平衡方程为 $Y^* = 1.2X$, 总体积传质系数为 0.0522kmol/(s.m³)。若塔径为 1m, 实际液气比为最小液气比的 1.2 倍, 所需塔高为多少?

7.18.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学, 重点的内容采用每节课小结的方式, 将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来, 便于记笔记的同学能够做一定的记录, 同时可以给学生一个整体的概念, 课下复习时也有章可寻。

7.18.6 作业安排及课后反思

1、 P_{323} : 12;

7.18.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容, 参考资料:

1、姚玉英, 陈常贵, 柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》, 天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册, 化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》, 化学工业出版社。

7.19 教学单元十九: 第二章 吸收

7.19.1 教学日期

第十一周周二的 1, 2 节

7.19.2 教学目标

1、掌握吸收塔设计型计算问题的计算方法

7.19.3 教学内容（含重点、难点）

吸收塔的设计型计算

1、吸收塔的操作型计算问题和设计型计算问题分析

2、设计型计算问题的命题

(1)流向选择

(2)吸收剂进口含量的选择及其最高允许含量问题的提出及分析讨论(3)吸收及用量的选择和最小液气比

(4)解析塔的最小液气比分析和讨论

(5)塔内返混现象的分析和讨论

(6)吸收剂的循环问题及分析

重点：吸收塔的设计型计算问题

难点：设计型计算问题的研究方法和计算

7.19.4 教学过程

复习上一讲内容

1、吸收塔的操作型计算问题和设计型计算问题分析（讲授）

2、设计型计算问题的命题（例题或讨论）

(1)流向选择

(2)吸收剂进口含量的选择及其最高允许含量问题的提出及分析讨论(3)吸收及用量的选择和最小液气比

(4)解析塔的最小液气比分析和讨论

(5)塔内返混现象的分析和讨论

(6)吸收剂的循环问题及分析

7.19.5 教学方法

对于设计性的问题我们采用老师布置任务，学生课堂即时练习的方法

7.19.6 作业安排及课后反思

1、 P_{323} : 13;

7.19.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

7.20 教学单元二十：第二章 吸收

7.20.1 教学日期

第十一周周四的 1，2 节

7.20.2 教学目标

- 1、了解吸收塔的操作型计算问题
- 2、了解什么是脱吸、高浓度气体吸收、非等温吸收、多组分吸收、化学吸收

7.20.3 教学内容（含重点、难点）

2、操作型计算问题的计算方法

(1)气、液两相出口含量的分析、讨论及计算方法；

(2)吸收剂用量及其出口含量问题的分析和计算

3、吸收塔的操作和调节

问题的提出及调节的原则、方法和途径分析

2.5 其它条件下的吸收和脱吸

1、脱吸

2、高浓度气体吸收

3、非等温吸收

4、多组分吸收

5、化学吸收

重点：吸收塔的操作型计算问题

难点：吸收塔的操作型计算问题

7.20.4 教学过程

复习上一讲内容

2、操作型计算问题的计算方法（举例）

(1)气、液两相出口含量的分析、讨论及计算方法；

(2)吸收剂用量及其出口含量问题的分析和计算

3、吸收塔的操作和调节（举例）

问题的提出及调节的原则、方法和途径分析

1、脱吸（讲授）

2、高浓度气体吸收（讲授）

3、非等温吸收（讲授）

4、多组分吸收（讲授）

5、化学吸收（讲授）

总结复习

7.20.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，重点的内容采用每节课小结的方式，将该课需要重点掌握的突出在多媒体上显示出来，便于记笔记的同学能够做一定的记录，同时可以给学生一个整体的概念，课下复习时也有章可寻。

7.20.6 作业安排及课后反思

1、 P_{323} ：14；

7. 20.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习相关内容，参考资料：

1、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著《化工原理学习指南—问题与习题解析》，天津大学出版社。

2、谭天恩、麦本熙、丁惠华编《化工原理》下册，化工出版社。

3、姚玉英 主编《化工原理例题与习题》，化学工业出版社。

8. 课程要求

8.1 学生自学要求

1、课前预习

2、上课时做好笔记，以备后续复习查阅

3、课后复习

4、认真对待课后作业，每次作业都是对所学知识的检验，不仅检验了运用知识的能力，更在很大程度上强化记忆，让自己能对所学知识有系统的认识。

8.2 课外阅读要求

课后可根据自己的兴趣适当的阅读与本课程相关的书籍、论著以及资料等。

9. 课程考核

9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告等的要求

出勤：学生应遵守《四川理工学院学生管理条例》中关于出勤的相关政策规定。本课程将采用倒扣分的形式，即对无故缺席的同学（包括课后补假的同学），每缺席 1 次平时成绩扣 5 分，直至扣完。如确因有事需要请假，请在授课前提交请假条。

迟到与早退：上课铃后进入教室的同学算迟到，下课铃前擅自离开教室的同学算早退。5 次无故迟到 10 分钟及 10 分钟以内的同学算缺席 1 次，1 次无故迟到 10 分钟及 10 分钟以上的同学算缺席 1 次；1 次无故早退的同学算缺席 1 次。

9.2 成绩的构成与评分规则说明

成绩构成及评分规则按《化工原理》教学大纲规定执行，即按平时成绩 30~40%和卷面成绩 70~60%评定课程成绩。该门课程对教学要求相同、进度相同的班级进行统一考试，统一阅卷和评定成绩。

9.3 考试形式及说明

该门课程统一闭卷考试，对教学要求相同、进度相同的班级进行统一考试。

10. 学术诚信

考试作弊、协助他人作弊、杜撰数据信息、抄袭（包括抄袭他人作业、抄袭教辅资料答案）、学术剽窃等皆视为违反学术诚信，学术诚信问题零容忍，学生抄袭或其他欺诈行为一经证实，将按四川理工学院相关的管理规范要求执行。

11. 课堂规范

- 1、准时上下课，不得迟到和早退。
- 2、上课期间禁止使用手机
- 3、上课时学生要衣着整齐，专心听讲，认真记笔记
- 4、教师提问学生时，学生必须起立回答，学生遇问题需问教师时，应举手示意，经教师同意后起立发问。
- 5、上课期间，无关人员一律不得进出教室，或在课堂内逗留。
- 6、教室内必须保持整齐洁净
- 7、在教学楼内应保持安静，不得在走廊和教室内高声喧哗以及做有碍上课和自习的活动。
- 8、同学之间要互相谦让，互相照顾，不得抢占座位。
- 9、自觉爱护教室内的物品。

12. 课程资源

12.1 教材与参考书

本课程使用教材：

夏清，贾绍义主编，《化工原理》（下册）（第2版），天津大学出版社，天津，2011

参考书：

- 1、姚玉英主编，《化工原理》（上、下册）（新版），天津大学出版社，天津，1998
- 2、赵汝溥，管国锋，《化工原理》，化学工业出版社，北京，1995
- 3、大连理工大学化工原理教研室编，《化工原理》（上、下册），大连理工大学出版社，大连，1992
- 4、陈敏恒，丛德滋，方图南等编，《化工原理》（下册）（第二版），化学工业出版社，北京，1999
- 5、朱家骅，叶世超编，《化工原理》（下册），科学技术出版社，北京，2002
- 6、Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott. Unit Operations of Chemical Engineering (Sixth Edition)，化学工业出版社，北京，2003
- 7、姚玉英，《化工原理例题与习题》（第三版），化学工业出版社，北京，2003
- 8、柴成敬，王军，陈常贵等编，《化工原理课程学习指导》，天津大学出版社，天津，2003
- 9、匡国柱编，《化工原理学习指导》，大连理工大学出版社，大连，2002
- 10、谭天恩，麦本熙，丁惠华编，《化工原理》（下册），化学工业出版社，北京，2010
- 11、姚玉英，陈常贵，柴诚敬编著，《化工原理学习指南——问题与习题解析》，天津大学出版社，天津，2010。

12.2 网络课程资源

- 1、大连理工大学化工原理及实验精品课程：<http://hgyl.dlut.edu.cn/>
- 2、南京工业大学化工原理精品课程：<http://jpkc-jy.njtech.edu.cn/huagong/index.asp>

13. 教学合约

13.1 我已经认真阅读了《化工原理》（下册）课程实施大纲，并理解其内容。

13.2 我同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望

14. 其他说明

如果同学们有对本课程实施的意见和建议，欢迎大家提出。