



# 四川轻化工大学课程实施大纲

课程名称：化工原理（下）

授课班级：工艺 2023 卓越

任课教师：杨虎

工作部门：化学工程学院

联系方式：18708381871

四川轻化工大学 制

2025 年 09 月

# 《化工原理》（下）课程实施大纲

## 基本信息

课程代码：

课程名称：化工原理（下）

学 分：3.5

总 学 时：56

学 期：2025-2026 学年第 1 学期

上课时间：周一第 1、2 节、周四第 1、2 节

上课地点：N1-110, N1-110

答疑时间和方式：电话、课间、QQ 群

答疑地点：行政楼 308

授课班级：工艺 2023 卓越

任课教师：杨虎

学 院：化学工程学院

邮 箱：yanghu67@163.com

联系电话：18708381871

QQ:120218158; QQ 群：432886165（化吧）

# 目 录

1. 教学理念 .....	1
2. 课程介绍 .....	2
2.1 课程的性质 .....	2
2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用 .....	2
2.3 课程的历史与传统文化 .....	2
2.4 课程的前沿及发展趋势 .....	2
2.5 课程与经济社会发展的关系 .....	3
2.6 课程内容可能涉及到的伦理与道德问题 .....	3
2.7 学习本课程的必要性 .....	3
2.8 课程资源 .....	4
3. 教师简介 .....	4
3.1 教师的职称、学历 .....	4
3.2 教育背景 .....	4
3.3 研究兴趣（方向） .....	4
4. 先修课程 .....	5
5. 课程目标 .....	5
6. 课程内容 .....	6
6.1 课程的内容概要 .....	6
6.1.1 气体吸收* .....	6
6.1.2 蒸馏 .....	7
6.1.3 蒸馏和吸收塔设备* .....	7
6.1.4 干燥 .....	8
6.2 教学重点、难点 .....	9
6.2.1 吸收 .....	9
6.2.2 蒸馏 .....	9
6.2.3 塔设备 .....	9
6.2.4 干燥 .....	9
6.3 学时安排 .....	9
6.3.1 吸收 .....	9
6.3.2 蒸馏 .....	10
6.3.3 塔设备 .....	10
6.3.4 干燥 .....	10
7. 课程实施 .....	11
7.1 教学单元一：第一章 吸收 .....	11
7.1.1 教学日期 .....	11
7.1.2 教学目标 .....	11
7.1.3 教学内容（含重点、难点） .....	11
7.1.4 教学过程 .....	12

7.1.5 教学方法 .....	12
7.1.6 作业安排及课后反思 .....	12
7.1.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	12
7.2 教学单元一：第一章 吸收 .....	13
7.2.1 教学日期 .....	13
7.2.2 教学目标 .....	13
7.2.3 教学内容（含重点、难点） .....	13
7.2.4 教学过程 .....	13
7.2.5 教学方法 .....	14
7.2.6 作业安排及课后反思 .....	14
7.2.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	14
7.3 教学单元一：第一章 吸收 .....	14
7.3.1 教学日期 .....	14
7.3.2 教学目标 .....	15
7.3.3 教学内容（含重点、难点） .....	15
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 教学单元一：第一章 吸收 .....	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 .....	18
7.4.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	18
7.5 教学单元一：第一章 吸收 .....	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 .....	19
7.5.5 教学方法 .....	20
7.5.6 作业安排及课后反思 .....	20
7.5.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	20
7.6 教学单元一：第二章 吸收 .....	20
7.6.1 教学日期 .....	20
7.6.2 教学目标 .....	21
7.6.3 教学内容（含重点、难点） .....	21
7.6.4 教学过程 .....	21
7.6.5 教学方法 .....	22
7.6.6 作业安排及课后反思 .....	23
7.6.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	23
7.7 教学单元一：第一章 吸收 .....	23

7.7.1 教学日期 .....	23
7.7.2 教学目标 .....	23
7.7.3 教学内容 (含重点、难点) .....	23
7.7.4 教学过程 .....	24
7.7.5 教学方法 .....	25
7.7.6 作业安排及课后反思 .....	25
7.7.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	25
7.8 教学单元一：第一章 吸收 .....	26
7.8.1 教学日期 .....	26
7.8.2 教学目标 .....	26
7.8.3 教学内容 (含重点、难点) .....	26
7.8.4 教学过程 .....	26
7.8.5 教学方法 .....	27
7.8.6 作业安排及课后反思 .....	28
7.8.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	28
7.9 教学单元一：第一章 吸收 .....	28
7.9.1 教学日期 .....	28
7.9.2 教学目标 .....	28
7.9.3 教学内容 (含重点、难点) .....	28
7.9.4 教学过程 .....	29
7.9.5 教学方法 .....	29
7.9.6 作业安排及课后反思 .....	29
7.9.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	29
7.10 教学单元一：第一章 吸收 .....	30
7.10.1 教学日期 .....	30
7.10.2 教学目标 .....	30
7.10.3 教学内容 (含重点、难点) .....	30
7.10.4 教学过程 .....	30
7.10.5 教学方法 .....	31
7.10.6 作业安排及课后反思 .....	31
7.10.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	31
7.11 教学单元一：第一章 吸收 .....	31
7.11.1 教学日期 .....	31
7.11.2 教学目标 .....	31
7.11.3 教学内容 (含重点、难点) .....	31
7.11.4 教学过程 .....	32
7.11.5 教学方法 .....	32
7.11.6 作业安排及课后反思 .....	32
7.11.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	32
7.12 教学单元一：第二章 蒸馏 .....	33
7.12.1 教学日期 .....	33
7.12.2 教学目标 .....	33
7.12.3 教学内容 (含重点、难点) .....	33
7.12.4 教学过程 .....	34

7.12.5 教学方法 .....	35
7.12.6 作业安排及课后反思 .....	35
7.12.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	35
7.13 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	36
7.13.1 教学日期 .....	36
7.13.2 教学目标 .....	36
7.13.3 教学内容（含重点、难点） .....	36
7.13.4 教学过程 .....	36
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 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	39
7.14.1 教学日期 .....	39
7.14.2 教学目标 .....	39
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 .....	41
7.14.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	41
7.15 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	41
7.15.1 教学日期 .....	41
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 .....	44
7.16 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	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 .....	47
7.16.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	47
7.17 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	47
7.17.1 教学日期 .....	47
7.17.2 教学目标 .....	47
7.17.3 教学内容（含重点、难点） .....	47
7.17.4 教学过程 .....	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 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	50
7.18.1 教学日期 .....	50

7.18.2 教学目标 .....	50
7.18.3 教学内容（含重点、难点） .....	50
7.18.4 教学过程 .....	50
7.18.5 教学方法 .....	52
7.18.6 作业安排及课后反思 .....	52
7.18.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	52
7.19 教学单元二：第二章 蒸馏 .....	53
7.19.1 教学日期 .....	53
7.19.2 教学目标 .....	53
7.19.3 教学内容（含重点、难点） .....	53
7.19.4 教学过程 .....	53
7.19.5 教学方法 .....	53
7.19.6 作业安排及课后反思 .....	54
7.19.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	54
7.20 教学单元二：中期小结 .....	54
7.20.1 教学日期 .....	54
7.20.2 教学目标 .....	54
7.20.3 教学内容（含重点、难点） .....	54
7.20.4 教学过程 .....	54
7.20.5 教学方法 .....	55
7.20.6 作业安排及课后反思 .....	55
7.20.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	55
7.21 教学单元三：第三章 蒸馏和吸收塔设备 .....	55
7.21.1 教学日期 .....	55
7.21.2 教学目标 .....	55
7.21.3 教学内容（含重点、难点） .....	55
7.21.4 教学过程 .....	56
7.21.5 教学方法 .....	59
7.21.6 作业安排及课后反思 .....	60
7.21.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	60
7.22 教学单元三：第三章 蒸馏和吸收塔设备 .....	60
7.22.1 教学日期 .....	60
7.22.2 教学目标 .....	60
7.22.3 教学内容（含重点、难点） .....	60
7.22.4 教学过程 .....	61
7.22.5 教学方法 .....	63
7.22.6 作业安排及课后反思 .....	63
7.22.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	63
7.23 教学单元四：第五章 干燥 .....	64
7.23.1 教学日期 .....	64
7.23.2 教学目标 .....	64
7.23.3 教学内容（含重点、难点） .....	64
7.23.4 教学过程 .....	64
7.23.5 教学方法 .....	65

7.23.6 作业安排及课后反思 .....	66
7.23.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	66
7.24 教学单元三：第三章 塔设备 .....	66
7.24.1 教学日期 .....	66
7.24.2 教学目标 .....	66
7.24.3 教学内容（含重点、难点） .....	66
7.24.4 教学过程 .....	67
7.24.5 教学方法 .....	68
7.24.6 作业安排及课后反思 .....	68
7.24.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	68
7.25 教学单元四：第四章 干燥 .....	68
7.25.1 教学日期 .....	68
7.25.2 教学目标 .....	68
7.25.3 教学内容（含重点、难点） .....	69
7.25.4 教学过程 .....	69
7.25.5 教学方法 .....	70
7.25.6 作业安排及课后反思 .....	70
7.25.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	71
7.26 教学单元四：第四章 干燥 .....	71
7.26.1 教学日期 .....	71
7.26.2 教学目标 .....	71
7.26.3 教学内容（含重点、难点） .....	71
7.26.4 教学过程 .....	72
7.26.5 教学方法 .....	73
7.26.6 作业安排及课后反思 .....	73
7.26.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	73
7.27 教学单元四：第五章 干燥 .....	74
7.27.1 教学日期 .....	74
7.27.2 教学目标 .....	74
7.27.3 教学内容（含重点、难点） .....	74
7.27.4 教学过程 .....	75
7.27.5 教学方法 .....	77
7.27.6 作业安排及课后反思 .....	77
7.27.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	77
7.28 教学单元四：第五章 干燥 .....	78
7.28.1 教学日期 .....	78
7.28.2 教学目标 .....	78
7.28.3 教学内容（含重点、难点） .....	78
7.28.4 教学过程 .....	78
7.28.5 教学方法 .....	80
7.28.6 作业安排及课后反思 .....	80
7.28.7 课前准备情况及其他相关特殊要求 .....	80
8. 课程要求 .....	80
8.1 学生自学要求 .....	80



8.2 课外阅读要求 .....	81
9. 课程考核 .....	81
9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告等的要求 .....	81
9.2 成绩的构成与评分规则说明 .....	错误！未定义书签。
9.3 考试形式及说明 .....	错误！未定义书签。
10. 学术诚信 .....	82
11. 课堂规范 .....	82
12. 课程资源 .....	82
12.1 教材与参考书 .....	82
12.2 网络课程资源 .....	83
13. 教学合约 .....	83
14. 其他说明 .....	83

# 《化工原理》（下）课程实施大纲

## 1. 教学理念

**教学理念：**遵循成果导向的教育理念。以学生为中心，以毕业要求为基础，促进学生能力发展。依据专业的毕业要求及其观测点，围绕综合应用自然科学的基本原理发现、分析、解决化工过程涉及的复杂工程问题的能力培养，以及安全意识、责任意识、技术经济意识、终生学习意识等展开教学，课程重点培养学生信息获取与识别能力、选择合适的模型表达单元操作、以及推演得出有效结论、单元过程与设备设计等实践能力和创新意识。在具体的教学中，以“课”为教学活动单位，针对一些热点问题引导学生思考自身责任、时间管理、目标规划、工程技术与环境等问题，结合课程教学内容向学生推送化工 707、小木虫等论坛中的相关信息，以学生能力提升为核心，遵循理论联系实际、学以致用和因材施教的原则，使学生在循序渐进的教学过程中熟悉化工过程复杂工程问题的分析、研究方法，提升学生系统思维、批判思维等方面的能力。

**教学方法：**本课程依据教学内容，采用讲授法、引导法、探究法、对比法、演示法、练习法、案例分析法等多种教学方法，调动学生的学习热情，使学生通过积极的思维、操作、演练，主动地获取知识。结合教学内容，介绍化学工程领域中与本课程相关的技术进展，化学工程技术在环境治理、材料化工、能源利用等方面的应用情况。

**教学手段：**与现代信息技术结合，采用 PPT、视频、动画结合板书的方式进行教学。以动画展示课程涉及的设备结构、工作原理，以视频介绍部分工程实验设计及其实现、实验现象，板书部分主要公式推导。

**教学要求：**本课程是一门专业基础课，突出以数学、物理等基本知识和理论分析化工过程涉及的“三传”问题。因此，需要学生理清思路，对整个学习过程进行合理的规划。除了掌握基本知识和基本理论以外，还需要理解各单元操作的基本原理以及数学、物理等基础理论在处理工程问题中的应用，从而形成科学的、系统的内容架构。在学时允许的条件下，通过了解本课程相关的最新研究成果以及研究成果的应用实例，进一步

拓展视野，深化课程认识，为今后学习与工作打下扎实的基础。

## 2. 课程介绍

### 2.1 课程的性质

化工原理是化学工程学的基础，主要研究化工过程中各种单元操作，它来自化工生产实践，又面向化工生产实践，进行化工技术和化工过程的开发、设计、生产及单元操作。课程具有显著的工程性，要解决的问题是多因素、多变量的综合性的工业实际问题。因此，分析和处理问题的观点和方法也就与理科课程不同，应首先从实际出发考虑问题。需从课程学习中得到工程设计的实际训练。

### 2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

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。

### 2.3 课程的历史与文化传统

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。

### 2.4 课程的前沿及发展趋势

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，如单元设备内的流场模拟、温度场模拟、浓度场模拟，以及过程模拟，超临界流体萃取技术；过程强化包括设备强化，如旋风分离器的改进思路、新型塔内件及填料改进思路、换热器传热强化思路、耦合技术、夹点技术、换热网络等。

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。

## 2.5 课程与经济社会发展的关系

化学工业是国民经济基础产业之一，是工业革命的助手，是发展农业的支持，为工农业生产提供重要的原料保障，与人们的衣、食、住、行密切相关。化学工业肩负着为国防生产配套高技术材料的任务，并提供常规战略物资。随着社会分工和生产社会化的不断发展，国民经济的结构也在不断变化，各国都面临着不同的机遇与挑战，提高自己国家的经济实力，提高国家的文化软实力，提高国家的综合实力等都需要和国家民族工业相联系。化学工业与国民经济有着不可分割的关系。中国如今已成为世界上第三大化学工业国家。化工产业对国民生活和国民经济的影响的研究的重要性便突显出来了。

化工原理是化学工程学科的基础，是从自然科学领域的基础课向工程科学的专业课过渡的入门课程。本课程涉及的“三传”原理以及化工单元设备与湿法冶金、能源、新材料、医药、环境治理、生产化工等行业领域。

## 2.6 课程内容可能涉及到的伦理与道德问题

结合化工原理课程的教学内容，引入技术、经济、安全、资源与环境、社会伦理等多角度分析工程技术方案的可行性与合理性，培养学生综合多要素分析工程技术方案的初步意识和遵守职业道德的意识。

## 2.7 学习本课程的必要性

化工原理课程是化学工程与工艺类及相近专业的技术基础课，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，强调理论和实际相结合，强调工程观点，它

是综合运用数学、物理、化学等基础知识分析和解决化工过程中各种单元操作问题的工程学科。

通过本课程的学习，掌握化工单元操作的基础理论、典型设备构造、设计方法，具备工程操作以及设计、组织实施工程实验等的基本能力，提高学生综合应用知识进行识别、表达、分析化工实际问题的能力。

## 2.8 课程资源

<http://emuch.net/bbs/> （小木虫）

<http://www.icourses.cn/jpk/searchCoursesbyMulti.action> （资源共享课程——华东理工、天大、南工大、北化

微信公众号：化工 707

## 3. 教师简介

### 3.1 教师的职称、学历

杨虎：研究生，工学硕士，教授，硕士生导师。长期从事化工原理、化工原理课程设计、化工过程及 CAD 课程设计、毕业设计（论文）等教学工作，获四川省教学成果奖三项，校级教学成果奖多样。

### 3.2 教育背景

1985.09-1989.06 北京化工学院化学工程系 化学工程专业 工学学士；

1998.09-2001.06 四川大学化学工程学院 化学工程专业 工学硕士；

### 3.3 研究兴趣（方向）

化工过程开发与系统集成优化、废弃物资源化利用。“含氟精细化学品”省级创新团队主要成员之一。

## 4. 先修课程

高等数学：熟悉微积分及微分方程等内容；

大学物理：对力学、热学等概念清楚，内容熟悉；

物理化学：对热力学、相平衡、溶液理论等章节的概念清楚，内容熟悉；

化工设备机械基础。

## 5. 课程目标

1、通过学习过程所涉及的动量传递、热量传递和质量传递“三传现象”的理论描述与分析，具备合理应用数学、物理学和物理化学知识描述化工单元操作问题的能力；

（支撑毕业要求 2.1）

2、通过学习过程的基本原理，如平衡关系和速率关系等，具备分析、比较、综合过程的众多影响因素，从中推断出具体工程问题的关键影响因素，预测过程的结果的能力；

（支撑毕业要求 2.3）

3、通过学习不同的单元操作所涉及的设备的选型原则、经济性判断原则，如管径的流速的选择，离心泵的选型，换热器的选型，吸收操作液气比的选择、精馏操作回流比的选择等，具备从技术经济等角度优化和选择化工单元操作参数的能力；（支撑毕业要求 3.1）

4、通过学习过程的基本原理以及典型单元设备的结构和工作原理，具备根据各单元操作在技术上和经济上的特点，并考虑安全、环境等因素，合理地选择“过程和设备”以适应指定物系的特征，经济而有效地满足工艺要求的能力；（支撑毕业要求 4.1）

5、通过学习不同的单元操作所采用的不同的研究方法，如实验研究方法（经验法）、数学模型法（半经验半理论方法）以及所采用的不同的计算方法，能够基于所处理的实际工程问题合理地选择研究方法和计算方法，并能够得出和表达结论。（支撑毕业要求 5.1）

6、通过学习质量守恒、能量守恒、设备费用和操作费用关系等，具备辩证唯物主义和历史唯物主义的世界观，能够把握历史发展趋势，认清基本国情，认识和理解社会主义核心价值观，具有人文社会科学素养。（支撑毕业要求 1.1）

## 6. 课程内容

### 6.1 课程的内容概要

#### 6.1.1 气体吸收\*

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。

## 6.1.2 蒸馏

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。
- 5、精馏装置的热量衡算；

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、平衡蒸馏与简单蒸馏的流程、特点、计算；
- 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、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；
- 5、Fenske 方程、Gilliland 关联图，捷算法。

## 6.1.3 蒸馏和吸收塔设备\*

掌握的内容：

- 1、工业上评价塔设备性能的主要指标；
- 2、板式塔和填料塔的典型结构、性能、特征和选用原则。



- 3、板式塔水力学性能、不正常操作状况、塔板结构参数的影响与选择；
- 4、填料塔水力学性能、不正常操作状况、填料特性的影响与选用；
- 5、常用塔板和填料的类型、特点及使用场合。

熟悉的内容：

- 1、板式塔水力学性能、不正常操作状况、塔板结构参数的影响与选择；
- 2、填料塔水力学性能、不正常操作状况、填料特性的影响与选用；
- 3、常用塔板和填料的类型、特点及使用场合。

了解的内容：

- 1、塔板上气液两相接触工况、塔板负荷性能图、板式塔工艺计算方法；
- 2、填料塔内气、液两相流动的相互作用、填料塔的工艺计算方法。

#### **6.1.4 干燥**

掌握的内容：

- 1、空气性质及计算、湿焓图构成及应用、干燥过程中空气状态的确定
- 2、干燥过程的物料衡算
- 3、干燥过程的热量衡算
- 4、恒定干燥条件下干燥速率与干燥时间

熟悉的内容：

- 1、物料中所含水分的性质及干燥机理；
- 2、结合水分、自由水分、临界水分的概念及相互关系；
- 3、恒速干燥与降速干燥的特点及强化途径；
- 4、干燥器的热效率及提高干燥过程经济型的途径。

了解内容：

- 1、常用干燥器的性能特点及应用场合；
- 2、各种干燥方法的基本原理、特点及应用。

## 6.2 教学重点、难点

### 6.2.1 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。

### 6.2.2 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。

### 6.2.3 塔设备

重点：板式塔与填料塔的特点，板式塔与填料塔的设计原则。

难点：塔的不正常操作显现及排除。

### 6.2.4 干燥

重点：干燥介质的性质，干燥过程的物、热衡算，干燥过程的平衡及速率关系。

难点：平衡关系；绝热饱和温度。

## 6.3 学时安排

### 6.3.1 吸收

参考学时：24 学时

章 节 名 称	学 时 分 配
2.1 气体吸收的相平衡关系	4
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
小结	2

### 6.3.2 蒸馏

参考学时：16 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	2
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	9.5
1.6 间歇精馏	0.5
1.7 恒沸精馏和萃取精馏	0.5
1.8 多组分精馏	0.5

### 6.3.3 塔设备

参考学时：4 学时

章 节 名 称	学 时 分 配
3.1 概述	1
3.2 板式塔	1
3.3 填料塔	2

### 6.3.4 干燥

参考学时：12

章 节 名 称	学 时 分 配
5.1 湿空气的性质及湿焓图	6
5.2 干燥过程的物料衡算与热量衡算	2
5.3 固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系	2
5.4 干燥设备	2
总结	

## 7.课程实施

### 7.1 教学单元一：第一章 吸收

#### 7.1.1 教学日期

第一周周一 1、2 节

#### 7.1.2 教学目标

- 1、了解吸收过程在化工中的广泛性、吸收过程分类、气液两相的接触方式；
- 2、平衡溶解度的概念及稀溶液定律（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。

#### 7.1.3 教学内容（含重点、难点）

概 述

##### 1.1 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：平衡溶解度概念、传质过程的分析 and 讨论

难点：传质方向、传质推动力及传质过程极限

### 7.1.4 教学过程

概 述

- 1、工业吸收过程（视频）
- 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

#### 1.1 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

### 7.1.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

### 7.1.6 作业安排及课后反思

$P_{148}$ : 1, 2;

### 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、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。

## 7.2 教学单元一：第一章 吸收

### 7.2.1 教学日期

第一周周四的 1, 2 节

### 7.2.2 教学目标

- 1、掌握菲克定律
- 2、掌握等分子反向扩散

### 7.2.3 教学内容（含重点、难点）

1.2 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

### 7.2.4 教学过程

提问的方式复习上一讲内容

1.2 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， $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

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。

$$N_A = -N_B$$

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

### 7.2.5 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

$$P_{148}: 4;$$

### 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、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。

## 7.3 教学单元一：第一章 吸收

### 7.3.1 教学日期

第二周周一 1、2 节

### 7.3.2 教学目标

- 1、掌握一组分通过另一停滞组分的扩散

### 7.3.3 教学内容（含重点、难点）

- 1.2 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

### 7.3.4 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

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

- 3、液相中的稳态分子扩散（讲授）
- 4、扩散系数（讲授）

定义

单位



影响因素

获取

### 7.3.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

### 7.3.6 作业安排及课后反思

$P_{148}$ : 5;

### 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、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。

## 7.4 教学单元一：第一章 吸收

### 7.4.1 教学日期

第二周周四的 1，2 节

### 7.4.2 教学目标

- 1、掌握吸收过程的机理

### 7.4.3 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

### 7.4.4 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：

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

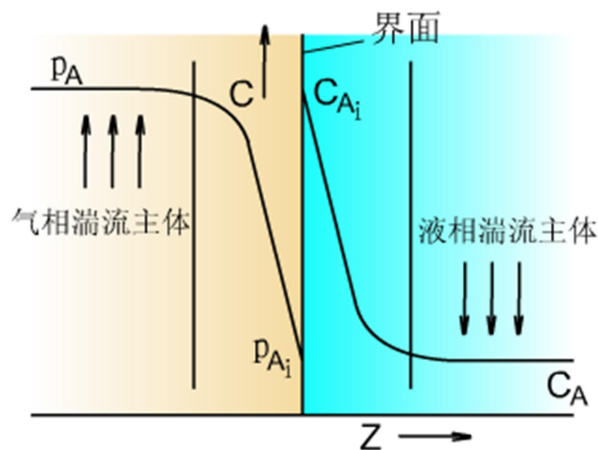
- (2) 对流传质过程分析（讲授）

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，是相际间传质的基础。

#### 6、吸收过程的机理（讲授）

**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



“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通过此二膜层；

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。

#### 7.4.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

#### 7.4.6 作业安排及课后反思

$P_{148}$ ：6、7；

#### 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、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。

## 7.5 教学单元一：第一章 吸收

### 7.5.1 教学日期

第三周周一 1、2 节

### 7.5.2 教学目标

1、掌握吸收速率方程

### 7.5.3 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

### 7.5.4 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）

$$N_A = k_G(p_A - p_{Ai})$$
$$N_A = k_y(y - y_i)$$

$N_A = k_Y(Y - Y_i)$   
(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）

### 7.5.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学，组织学生讨论

### 7.5.6 作业安排及课后反思

$P_{148}$ : 8;

### 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、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。

## 7.6 教学单元一：第二章 吸收

### 7.6.1 教学日期

第三周周四的 1，2 节

## 7.6.2 教学目标

- 1、掌握低浓度气体吸收的特点和计算

## 7.6.3 教学内容（含重点、难点）

### 1.3 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

## 7.6.4 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  $X_1$  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：

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

## 7.6.5 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。

### 7.6.6 作业安排及课后反思

$P_{148}$ : 9、10;

### 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、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。

## 7.7 教学单元一：第一章 吸收

### 7.7.1 教学日期

第四周周一 1、2 节

### 7.7.2 教学目标

- 1、掌握低浓度气体吸收的特点和计算

### 7.7.3 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



## 7.7.4 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

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

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

$$\begin{aligned}\Delta Y &= Y - Y^* = Y^* - mX - b \\ \Delta Y &= (1 - \frac{mV}{L})Y + (\frac{mV}{L}Y - mX_2 - b) \\ d\Delta Y &= (1 - \frac{mV}{L})dY \rightarrow dY = \frac{d\Delta Y}{(1 - \frac{mV}{L})} \\ N_{OG} &= \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} = \int_{\Delta Y_2}^{\Delta Y_1} \frac{d\Delta Y}{\Delta Y} = (1 - \frac{mV}{L})^{-1} \ln \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2} \\ \therefore V/L &= \frac{X_1 - X_2}{Y_1 - Y_2}, (1 - \frac{mV}{L}) = \frac{Y_1 - Y_2 - m(X_1 - X_2 + b - b)}{Y_1 - Y_2} \\ \therefore (1 - \frac{mV}{L})^{-1} &= \frac{Y_1 - Y_2}{\Delta Y_1 - \Delta Y_2} \rightarrow N_{OG} = \frac{Y_1 - Y_2}{(\Delta Y_1 - \Delta Y_2) / \ln \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}}\end{aligned}$$

(3) 脱吸因数法

$$\begin{aligned}N_{OG} &= \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - (mX + b)} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(1 - \frac{mV}{L})Y + [\frac{mV}{L}Y_2 - (mX_2 + b)]} \\ \text{令: } S &= \frac{mV}{L}, N_{OG} = \frac{1}{1 - S} \ln[(1 - S) \frac{Y_1 - Y_2^*}{Y_2 - Y_2^*} + S]\end{aligned}$$

(4) 梯级图解法:

## 7.7.5 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。

## 7.7.6 作业安排及课后反思

$P_{149}$ : 11;

## 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、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。

## 7.8 教学单元一：第一章 吸收

### 7.8.1 教学日期

第四周周四的 1, 2 节

### 7.8.2 教学目标

1、掌握低浓度气体吸收的特点和计算

### 7.8.3 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

### 7.8.4 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

1.4 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  $0.025 \text{ kmol/s}$ ，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  $0.0522 \text{ kmol}/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ 。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？

### 7.8.5 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。

### 7.8.6 作业安排及课后反思

$P_{149}$ : 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、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。

## 7.9 教学单元一：第一章 吸收

### 7.9.1 教学日期

第五周周一 1、2 节

### 7.9.2 教学目标

1、掌握吸收塔设计型计算问题的计算方法

### 7.9.3 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

#### 7.9.4 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

#### 7.9.5 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

#### 7.9.6 作业安排及课后反思

$P_{150}$ : 14;

#### 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、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。

## **7.10 教学单元一：第一章 吸收**

### **7.10.1 教学日期**

第五周周四的 1，2 节

### **7.10.2 教学目标**

1、了解吸收塔的操作型计算问题

### **7.10.3 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

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

### **7.10.4 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

### 7.10.5 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。

### 7.10.6 作业安排及课后反思

$P_{150}$ : 15;

### 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、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。

## 7.11 教学单元一：第一章 吸收

### 7.11.1 教学日期

第六周周一 1、2 节

### 7.11.2 教学目标

- 1、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

### 7.11.3 教学内容（含重点、难点）

- 1.5 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

#### **7.11.4 教学过程**

- 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）

#### **7.11.5 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。

#### **7.11.6 作业安排及课后反思**

#### **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、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

## 7.12 教学单元一：第二章 蒸馏

### 7.12.1 教学日期

第六周周四的 1, 2 节

### 7.12.2 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

### 7.12.3 教学内容（含重点、难点）

#### 2.1 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

#### 2.2 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

## 7.12.4 教学过程

### 2.1 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采用蒸馏分离的主要因素。

#### 三、蒸馏过程的分类

### 2.2 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。

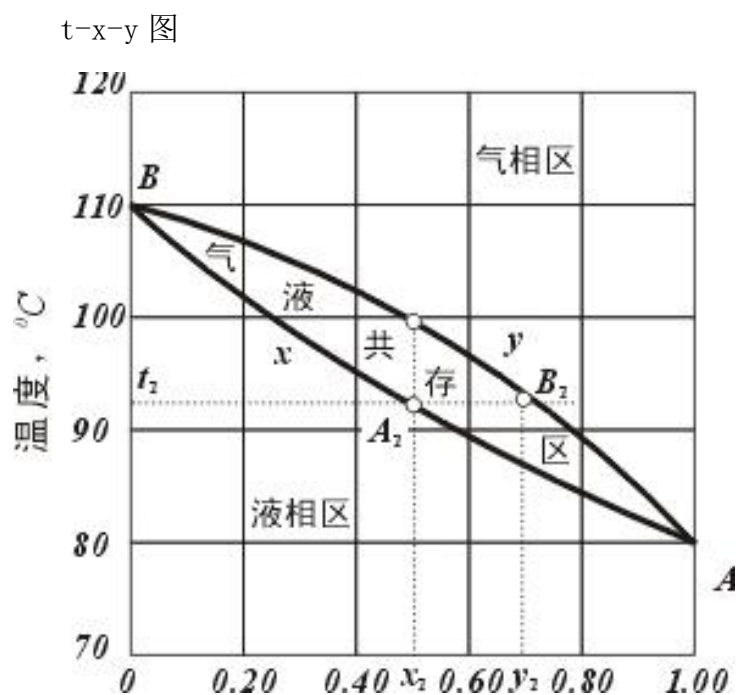
（2）气相为理想气体，遵循道尔顿分压定律。

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



### 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

$P_{73}$ : 1, 2;

### 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、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

## 7.13 教学单元二：第二章 蒸馏

### 7.13.1 教学日期

第七周周一 1、2 节

### 7.13.2 教学目标

- 1、两组分理想溶液的气液平衡相图  
 $x$ - $y$  图
- 2、相对挥发度
- 3、平衡蒸馏过程的分析和计算；
- 4、简单蒸馏过程的分析和计算

### 7.13.3 教学内容（含重点、难点）

- 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

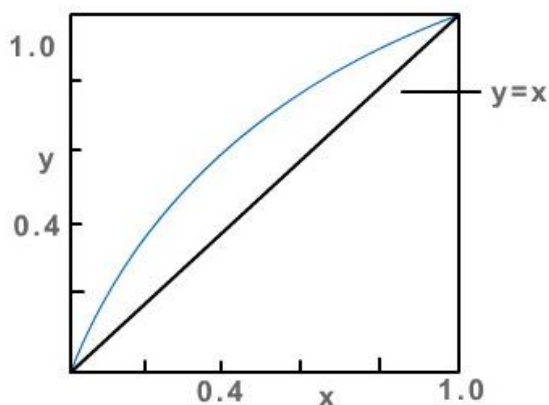
重点：两组分的相平衡关系、平衡、简单蒸馏过程的概念及特点

难点：简单蒸馏过程的计算

### 7.13.4 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

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

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 $\alpha$ 表示

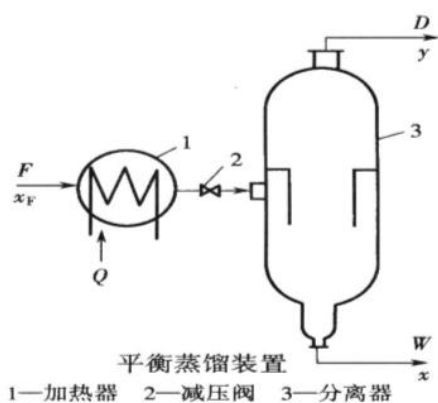
对二元体系，以  $y$ 、 $x$  分别表示平衡时汽液两相中轻组分的组成，以 $\alpha$ 表示轻组分相对于重组分的相对挥发度。

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

相对挥发度  $\alpha$  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； $\alpha$  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； $\alpha$  越接近于 1，采用普通蒸馏的方式越难分离；对  $\alpha$  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：  $F = D + W$

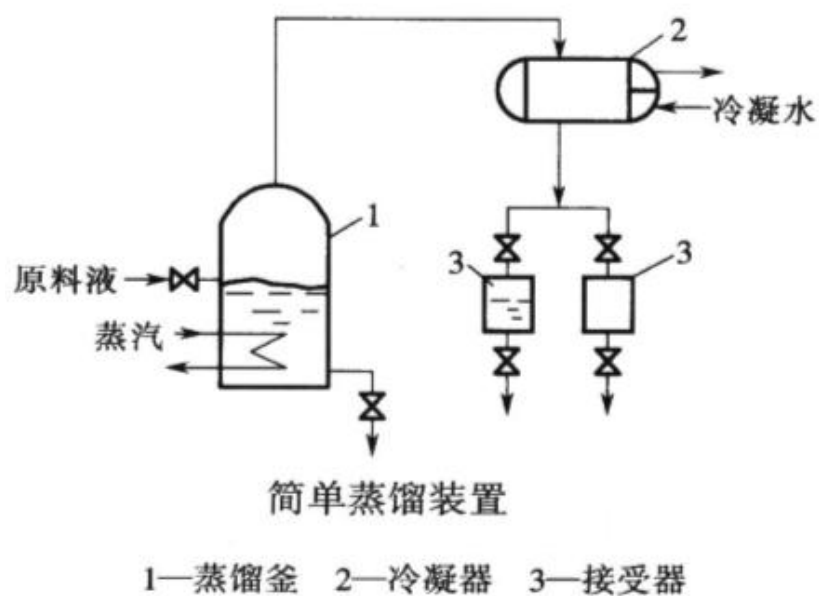
液化率：  $q = W/F$

## 2)、热量衡算

## 3)、汽液平衡关系

## 4、简单蒸馏

### 1)、装置及原理



## 2)、计算方法

### 7.13.5 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。

### 7.13.6 作业安排及课后反思

$P_{73}$ : 4;

### 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、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

## 7.14 教学单元二：第二章 蒸馏

### 7.14.1 教学日期

第七周周四的 1，2 节

### 7.14.2 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。



### 7.14.3 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

理论板的概念

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

### 7.14.4 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

### 7.14.5 教学方法

采用多媒体与板书、幻灯相结合教学

### 7.14.6 作业安排及课后反思

1、 $P_{73}$ : 5

### 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、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

## 7.15 教学单元二：第二章 蒸馏

### 7.15.1 教学日期

第八周周一 1、2 节

## 7.15.2 教学目标

- 1、掌握精馏塔的进料热状况

## 7.15.3 教学内容（含重点、难点）

- 1、精馏塔的进料热状况
- 2、进料热状况参数
- 3、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

## 7.15.4 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

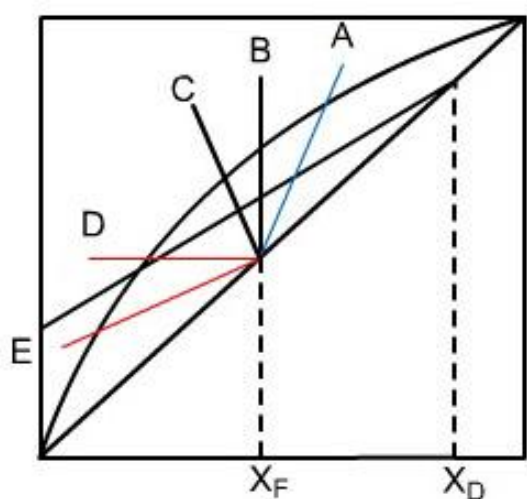
C 状况——汽-液混合物进料

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。



### 7.15.5 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。

### 7.15.6 作业安排及课后反思

1、 $P_{73}$ : 6;  $P_{74}$ : 7

### 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、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

## 7.16 教学单元二：第二章 蒸馏

### 7.16.1 教学日期

第八周周四的 1，2 节

### 7.16.2 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

### 7.16.3 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。

### 7.16.4 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、逐板计算法求理论板层数

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

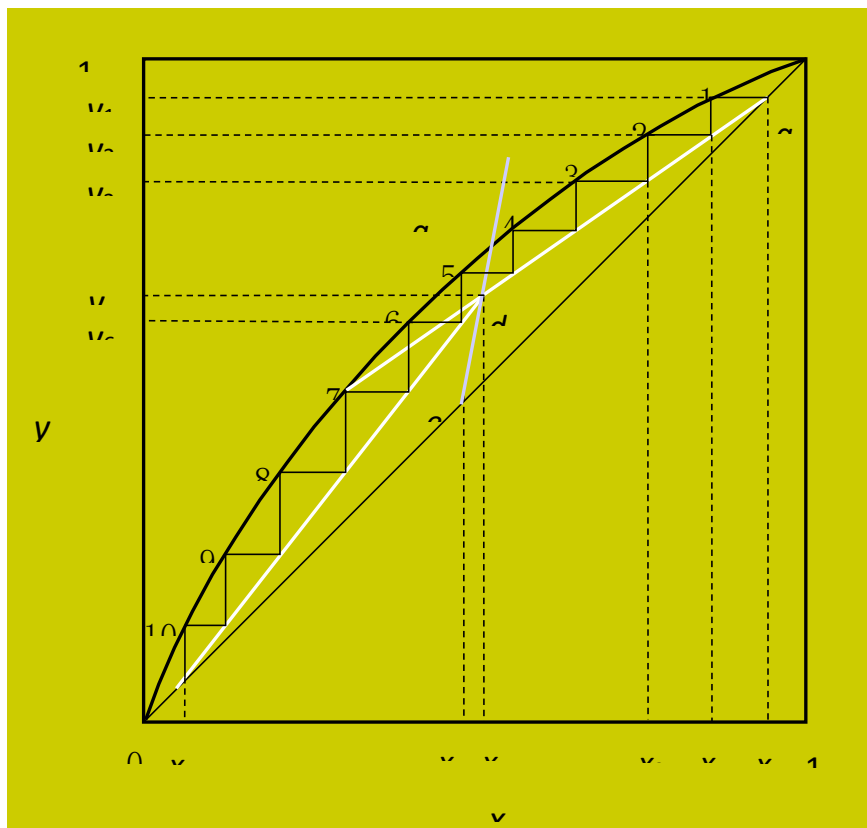
通常采用直角梯级图解法, 其实质仍然是以平衡关系与操作关系为依据, 将两者绘在图上, 便可图解得出达到指定分离任务所须的理论塔板数及加料板位置。

依据:  $R$ 、 $q$ , 进料及产品组成。

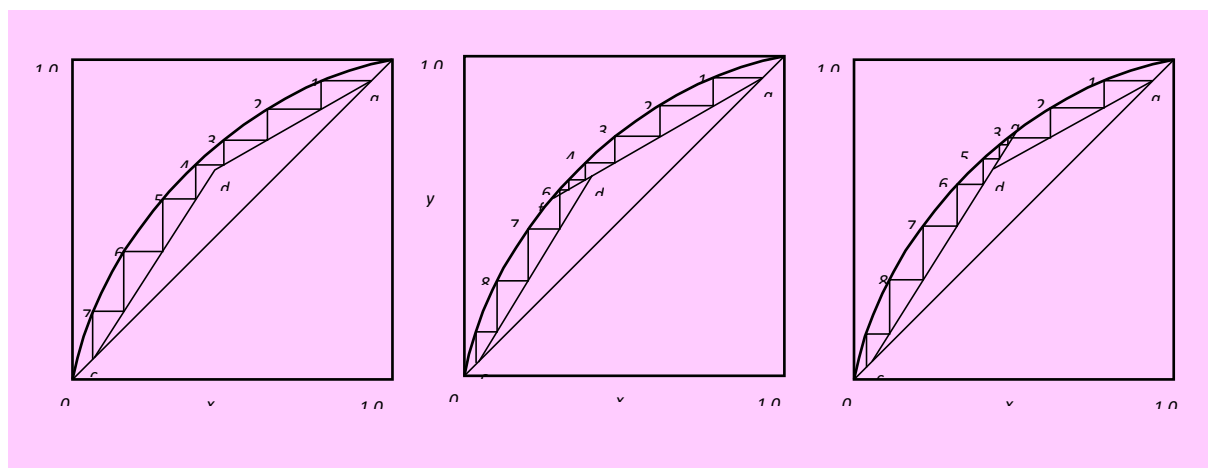
步骤:

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段操作线之间作梯级, 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。



适宜的加料位置

### 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

$P_{74}$ : 8, 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、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

## 7.17 教学单元二：第二章 蒸馏

### 7.17.1 教学日期

第九周周一 1、2 节

### 7.17.2 教学目标

- 1、回流比在极限状态下的问题分析和参数计算；
- 2、加热状况的影响和确定；
- 3、双组分其它类型精馏的分析和过程计算。

### 7.17.3 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。

### 7.17.4 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

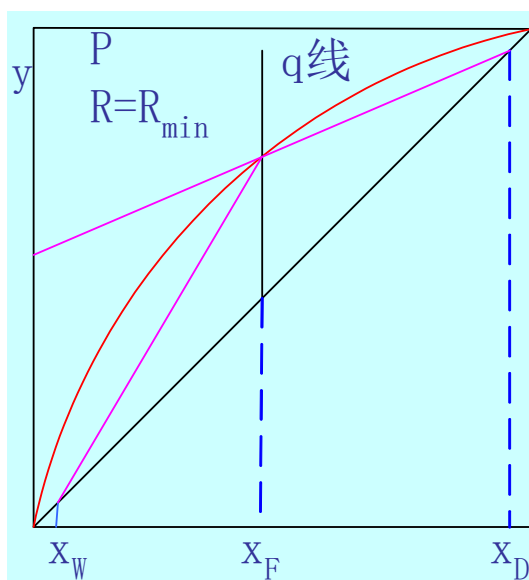
#### 1、全回流和最少理论板层数

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。

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

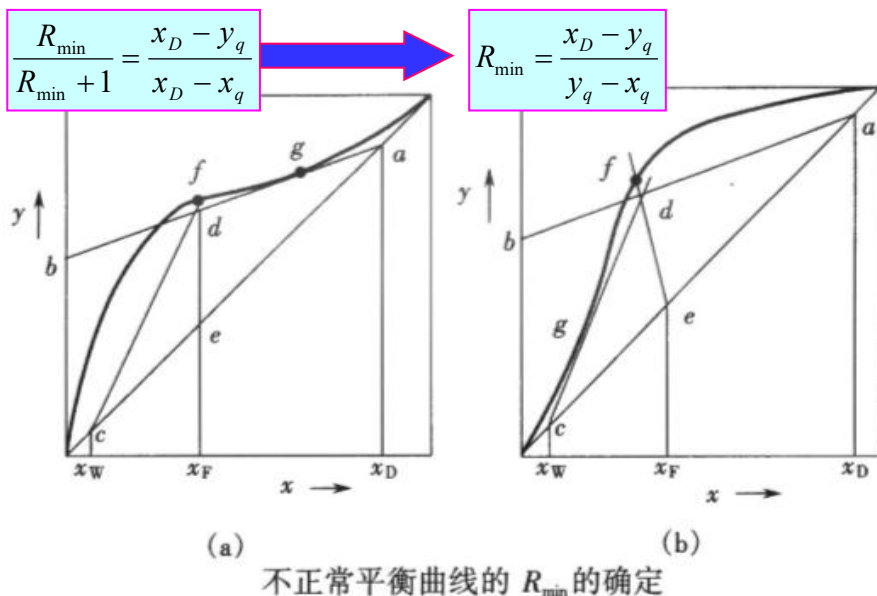
#### 2、最小回流比



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：



### 3、适宜回流比的选择

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

## 7.17.6 作业安排及课后反思

$P_{74}$ : 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、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

## 7.18 教学单元二：第二章 蒸馏

### 7.18.1 教学日期

第九周周一 1、2 节

### 7.18.2 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

### 7.18.3 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

### 7.18.4 教学过程

复习上一讲学习内容

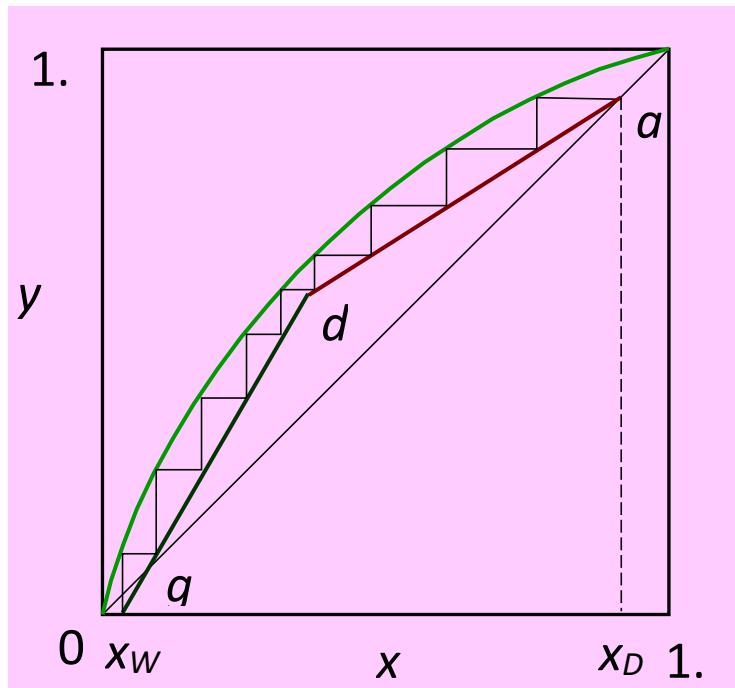
## 1、理论板数的简捷求法

### 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

### 7.18.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合

### 7.18.6 作业安排及课后反思

1、 $P_{73}$ : 11;

### 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、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

## **7.19 教学单元二：第二章 蒸馏**

### **7.19.1 教学日期**

第十周周一 1、2 节

### **7.19.2 教学目标**

了解间歇精馏、恒沸精馏、萃取精馏过程的特点

### **7.19.3 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

### **7.19.4 教学过程**

以工程实例讲解几种特殊蒸馏方式的操作特点

### **7.19.5 教学方法**

采用多媒体与板书相结合

### 7.19.6 作业安排及课后反思

$P_{73}$ : 14;

### 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、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

## 7.20 教学单元二：中期小结

### 7.20.1 教学日期

第十周周四的 1，2 节

### 7.20.2 教学目标

复习蒸馏和吸收相关知识

### 7.20.3 教学内容（含重点、难点）

教学过程过半，让学生做一些与蒸馏和吸收的练习，帮助学生复习相关知识

### 7.20.4 教学过程

布置一些练习，让学生先讨论，然后评讲

### 7.20.5 教学方法

采用多媒体与板书相结合教学

### 7.20.6 作业安排及课后反思

1、 $P_{73}$ : 1, 2;

### 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、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

## 7.21 教学单元三：第三章 蒸馏和吸收塔设备

### 7.21.1 教学日期

第十一周周一 1、2 节

### 7.21.2 教学目标

- 1、了解板式塔的结构；
- 2、了解板式塔的塔板类型及特点
- 3、了解板式塔的流体力学特性及操作特性

### 7.21.3 教学内容（含重点、难点）

3-1 概述



- 一、气液传质设备的分类：
- 二、气液传质设备的基本功能：
- 三、性能评价指标：

### 3-2 板式塔

#### 一、塔板的分类及主要特点

- 1. 按塔内气、液流动方式分类
- 2. 按塔板结构[分类](#)

#### 二、板式塔的流体力学性能

- 1、塔板上气液两相的接触状态
- 2、气体通过塔板的压降
- 3、塔板上的液面落差
- 4、塔板上的异常操作现象
- 5、塔板的负荷性能图
- 6. 板式塔的操作分析

#### 三、板式塔的工艺设计简介

## 7.21.4 教学过程

### 3-1 概述（讲授）

#### 一、气液传质设备的分类：

气液传质设备的种类很多，按接触方式可分为连续（微分）接触式（[填料塔](#)）和逐级接触式（[板式塔](#)）两大类，在吸收和蒸馏操作中应用极广。

#### 二、气液传质设备的基本功能：

提供气液传质场所：形成气液两相充分接触的相界面，使质、热的传递快速有效地进行，

有效分离气液两相：接触混合与传质后的气、液两相能及时分开，互不夹带等。

#### 三、性能评价指标：

通量

分离效率

适应能力

### 3-2 板式塔（讲授）

在圆柱形壳体内按一定间距水平设置若干层塔板，液体靠重力作用自上而下流经各层板后从塔底排出，各层塔板上保持有一定厚度的流动液层；气体则在压强差的推动下，自塔底向上依次穿过各塔板上的液层上升至塔顶排出。气、液在塔内逐板接触进行质、热交换，故两相的组成沿塔高呈阶跃式变化。

#### 一、塔板的分类及主要特点

##### 1. 按塔内气、液流动方式分类

##### 2. 按塔板结构[分类](#)

（1）泡罩塔板

（2）筛板

（3）浮阀塔板

（4）喷射型塔板

#### 二、板式塔的流体力学性能

##### 1. 塔板上气液两相的接触状态

（1）鼓泡接触状态 当气速较低时，气体以鼓泡形式通过液层。由于气泡的数量不多，形成的气液混合物基本上以液体为主，气液两相接触的面积不大，传质效率很低。

（2）蜂窝状接触状态 随着气速的增加，气泡的数量不断增加。当气泡的形成速度大于气泡的浮升速度时，气泡在液层中累积。气泡之间相互碰撞，形成各种多面体的大气泡，板上为以气体为主的气液混合物。由于气泡不易破裂，表面得不到更新，所以此种状态不利于传热和传质。

（3）泡沫接触状态 当气速继续增加，气泡数量急剧增加，气泡不断发生碰撞和破裂，此时板上液体大部分以液膜的形式存在于气泡之间，形成一些直径较小，扰动十分剧烈的动态泡沫，在板上只能看到较薄的一层液体。由于泡沫接触状态的表面积大，并不断更新，为两相传热与传质提供了良好的条件，是一种较好的接触状态。

（4）喷射接触状态 当气速继续增加，由于气体动能很大，把板上的液体向上喷成大小不等的液滴，直径较大的液滴受重力作用又落回到板上，直径较小的液滴被气体带走，形成液沫夹带。此时塔板上的气体为连续相，液体为分散相，两相传质的面积是液滴的外表面。由于液滴回到塔板上又被分散，这种液滴的反复形成和聚集，使传质面积大大增加，而且表面不断更新，有利于传质与传热进行，也是一种较好的接触状态。

- 2、气体通过塔板的压降
- 3、塔板上的液面落差
- 4、塔板上的异常操作现象

严重漏液

为保证塔的正常操作，漏液量应不大于液体流量的 10%。漏液量达到 10% 的气体速度称为漏液速度，它是板式塔操作气速的下限。

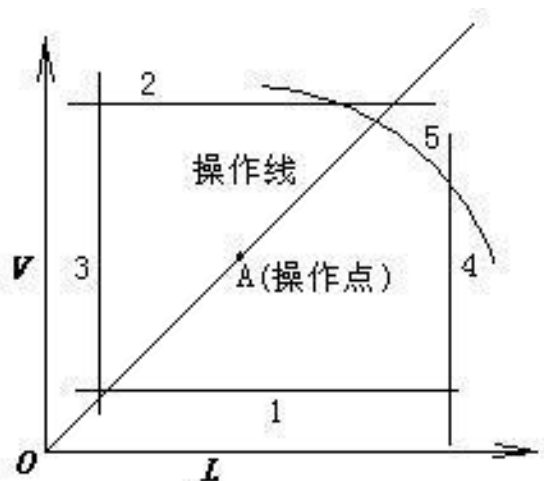
夹带液泛——过量雾沫夹带造成的液泛-淹塔

溢流液泛——降液管液位过高造成的淹塔

- 5、塔板的负荷性能图

负荷性能图由以下五条线组成：

(1) 漏液线 图中线 1 为漏液线，又称气相负荷下限线。当操作的气相负荷低于此线时，将发生严重的漏液现象。此时的漏液量大于液体流量的 10%。塔板的适宜操作区应在该线以上。



塔板的负荷性能图

(2) 雾沫夹带线：图中线 2 为雾沫夹带线，又称气相负荷上限线。如操作的气液相负荷超过此线时，表明雾沫夹带现象严重，此时雾沫夹带量  $e > 10.1 \text{ kg (液) / kg (气)}$ 。塔板的适宜操作区应在该线以下。

(3) 液相负荷下限线图中线 3 为液相负荷下限线。若操作的液相负荷低于此线时，表明液体流量过低，板上液流不能均匀分布，气液接触不良，易产生干吹、偏流等现象，导致塔板效率的下降。塔板的适宜操作区应在该线以右。

(4) 液相负荷上限线：图中线 4 为液相负荷上限线。若操作的液相负荷高于此线

时，表明液体流量过大，此时液体在降液管内停留时间过短，进入降液管内的气泡来不及与液相分离而被带入下层塔板，造成气相返混，使塔板效率下降。塔板的适宜操作区应在该线以左。

(5) 液泛线图中线 5 为液泛线。若操作的气液负荷超过此线时，塔内将发生液泛现象，使塔不能正常操作。塔板的适宜操作区在该线以下。

## 6. 板式塔的操作分析

五条线所包围的区域称为

塔板的适宜操作区。

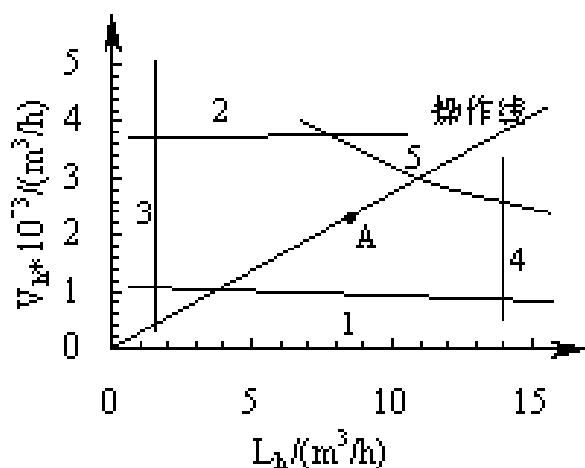
操作点——A

操作线——OA

操作弹性—— $V_{\max}/V_{\min}$

【例 3-1】如图所示为某塔板的负荷性能图，A 点为操作点。试根据该图

- (1) 确定塔板的气、液负荷；
- (2) 判断塔板的操作上、下限各为什么控制；
- (3) 计算塔板的操作弹性。



## 三、板式塔的工艺设计简介

### 7.21.5 教学方法

通过典型例题的练习，帮助学生掌握相关知识

### 7.21.6 作业安排及课后反思

### 7.21.7 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

## 7.22 教学单元三：第三章 蒸馏和吸收塔设备

### 7.22.1 教学日期

第十一周周四的 1，2 节

### 7.22.2 教学目标

- 1、了解填料塔的结构、填料类型及结构特点
- 2、了解填料塔的流体力学特性及操作特性。

### 7.22.3 教学内容（含重点、难点）

3-3 填料塔

一、填料塔的结构与特点

二、填料

1、填料特性：

2、填料类型

（1）、散装填料

(2)、规整填料

3、填料选择

三、填料塔的流体力学性能与操作特性

1、填料塔的流体力学性能

2、填料塔的操作特性

四、填料塔的计算

1、塔径

2、填料层的有效高度

五、填料塔的内件

## 7.22.4 教学过程

复习上一讲内容

3-3 填料塔

一、填料塔的结构与特点

塔体：一般取为圆筒形，可由金属、塑料或陶瓷制成，金属筒体内壁常衬以防腐材料。

填料：大致可分为散装填料和规整填料两大类，是传热和传质的场所。

塔内件：包括填料支承与压紧装置、液体与气体分布器、液体再分布器以及气体除沫器等。

操作原理：在圆柱形壳体内装填一定高度的填料，液体经塔顶喷淋装置均匀分布于填料层顶部上，依靠重力作用沿填料表面自上而下流经填料层后自塔底排出；气体则在压强差推动下穿过填料层的空隙，由塔的一端流向另一端。气液在填料表面接触进行质、热交换，两相的组成沿塔高连续变化。

二、填料

填料是填料塔的核心，是气液两相接触进行质、热传递的场所。

在填料塔内，气体由填料间的空隙流过，液体在填料表面形成液膜并沿填料间的空隙而下流，气、液两相间的传质过程在湿润的填料表面上进行。因此。填料塔的生产能力和传质速率均与填料特性密切相关。

1、填料特性：

**比表面积  $\sigma$** ：单位体积填料层所具有的表面积 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )。被液体润湿的填料表面就是气液两相的接触面。大的  $\sigma$  和良好的润湿性能有利于传质速率的提高。对同种填料，填料尺寸越小， $\sigma$  越大，但气体流动的阻力也要增加。

**空隙率  $\varepsilon$** ：单位体积填料层所具有的空隙体积 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )。代表的是气液两相流动的通道， $\varepsilon$  大，气、液通过的能力大，气体流动的阻力小。 $\varepsilon = 0.45 \sim 0.95$ 。

**填料因子  $\phi$** ：将  $\sigma$  与  $\varepsilon$  组合成  $\sigma / \varepsilon^3$  的形式称为干填料因子 ( $1/\text{m}$ )。填料因子表示填料的流体的流体力学性能。当填料被喷淋的液体润湿后，填料表面覆盖了一层液膜， $\sigma$  与  $\varepsilon$  均发生相应的变化，此时， $\sigma / \varepsilon^3$  称为湿填料因子，以  $\phi$  表示。 $\phi$  值越小，流动阻力越小。

## 2、填料类型

### (1)、散装填料

散装填料是一个个具有一定几何形状和尺寸的颗粒体，一般以随机的方式堆积在塔内，又称为乱堆填料或颗粒填料，散装填料根据结构特点不同，可分为：

拉西环填料

鲍尔环 (Pall ring) 填料

阶梯环填料

弧鞍形 (Berl saddle)

矩鞍形 (Intalox saddle) 填料

金属环矩鞍填料

球形填料

### (2)、规整填料

## 3、填料选择

## 三、填料塔的流体力学性能与操作特性

### 1、填料塔的流体力学性能

填料层的持液量

气体通过填料层的压力降

### 2、填料塔的操作特性

1) 填料塔的气液分布

2) 液泛

3) 填料的润湿性能和液体喷淋密度

#### 四、填料塔的计算

1、塔径

2、填料层的有效高度

#### 五、填料塔的内件

1、填料支出装置

2、填料压紧装置

3、液体分布装置

4、液体收集及再分布装置

### 7.22.5 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。

### 7.22.6 作业安排及课后反思

认识塔设备，查新。

### 7.22.7 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



## **7.23 教学单元四：第四章 干燥**

### **7.23.1 教学日期**

第十二周周一 1、2 节

### **7.23.2 教学目标**

- 1、了解固体物料去湿方法和对流干燥过程的特点；
- 2、掌握湿空气各种性质的计算方法。

### **7.23.3 教学内容（含重点、难点）**

概述

- 一、常用的除湿方法
- 二、干燥方法的分类：
- 三、对流干燥过程原理

5-1 湿空气的性质及湿焓图

- 一、湿空气的性质
  - 1、湿度
  - 2、相对湿度
  - 3、比容
  - 4、比热容
  - 5、焓

重点：对流干燥过程的原理和干燥介质的性质。

难点：对流干燥过程的原理

### **7.23.4 教学过程**

概述（讲授）

- 一、常用的除湿方法（讲授）

机械除湿：即通过压榨、过滤和离心分离等方法去湿。

吸附除湿：即用固体吸附剂，如  $\text{CaCl}_2$ 、硅胶等吸去物料中所含的水分。

供热干燥：指利用热能，使湿物料中的湿分气化而除去的方法。

## 二、干燥方法的分类：（讲授）

根据操作压强：常压干燥、真空干燥

根据操作方式：连续干燥、间歇干燥

根据加热方式可分为传导干燥、对流干燥、辐射干燥和介电加热干燥。

## 三、对流干燥过程原理（讲授）

干燥是热、质同时传递的过程

干燥介质：用来传递热量（载热体）和湿份（载湿体）的介质。

注意：只要物料表面的湿份分压高于气体中湿份分压，干燥即可进行，与气体的温度无关。

气体预热并不是干燥的充要条件，其目的在于加快湿份汽化和物料干燥的速度，达到一定的生产能力。

对流干燥

干燥过程进行的必要条件——

湿物料表面水汽压强大于干燥介质中水汽分压；

## 5-1 湿空气的性质及湿焓图（讲授）

### 一、湿空气的性质

1、湿度

2、相对湿度

3、比容

4、比热容

5、焓

## 7.23.5 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。

### 7.23.6 作业安排及课后反思

p296:1

### 7.23.7 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

## 7.24 教学单元三：第四章 干燥

### 7.24.1 教学日期

第十二周周四的 1，2 节

### 7.24.2 教学目标

- 1、掌握湿空气各种性质的计算方法。
- 2、掌握湿焓图的使用

### 7.24.3 教学内容（含重点、难点）

5-1 湿空气的性质及湿焓图

一、湿空气的性质

6、干球温度  $t$  和湿球温度  $t_w$

7、绝热饱和和冷却温度  $t_{as}$

8、露点  $t_d$

## 二、湿空气的 $H-I$ 图

重点：湿空气的性质及湿焓图。

难点：湿焓图的应用。

### 7.24.4 教学过程

#### 5-1 湿空气的性质及湿焓图（讲授）

##### 一、湿空气的性质

6、干球温度  $t$  和湿球温度  $t_w$

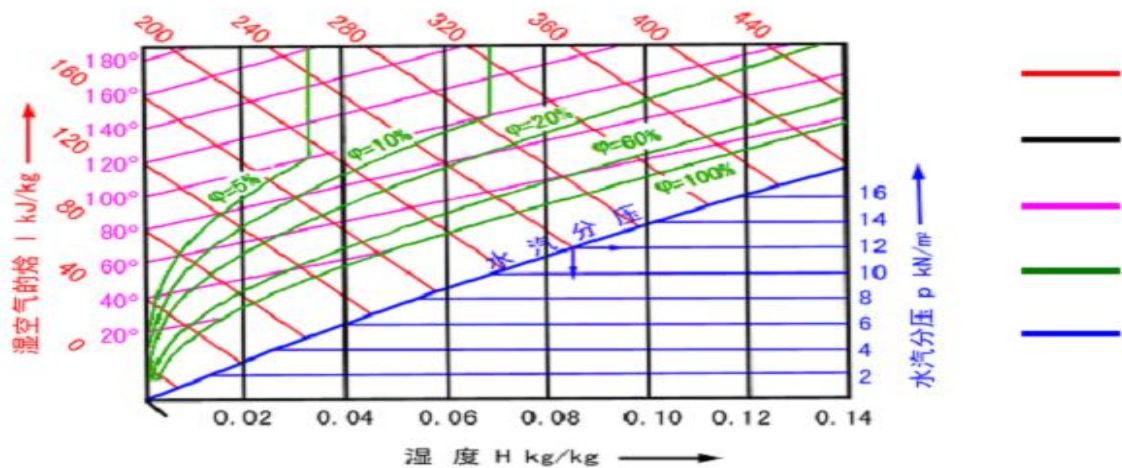
7、绝热饱和冷却温度  $t_{as}$

8、露点  $t_d$

##### 例题

例 1.  $N_2$  与苯蒸汽体系。在系统总压为 102.4kPa、温度为 293K 时，系统中苯蒸汽的分压为 7.32kPa。现拟采用加压冷却的方法回收混合气体中的苯，问须将混合气体加压至多少压强，并同时冷却到 283K，才能回收 75%的苯？

##### 二、湿空气的 $H-I$ 图（讲授）



1. 由  $t$ 、 $H$  查取湿空气的性质（讨论）
2. 由  $t$ 、 $t_d$  查湿空气的性质
3. 由  $t$ 、 $t_{as}$  查湿空气的性质
4. 由  $t$ 、 $\phi$  查湿空气的性质
5. 湿空气被加热的状态变化过程（讨论）

6. 湿空气被冷却的状态变化过程
7. 湿空气绝热增湿的状态变化过程（讨论）
8. 湿空气混合的状态变化过程

### 7.24.5 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。

### 7.24.6 作业安排及课后反思

$P_{297}$ : 2, 3;

### 7.24.7 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

## 7.25 教学单元四：第四章 干燥

### 7.25.1 教学日期

第十三周周一 1、2 节

### 7.25.2 教学目标

- 1、掌握干燥过程的物料衡算和热量衡算

### 7.25.3 教学内容（含重点、难点）

#### 5-2 干燥过程的物料衡算和热量衡算

干燥过程是热、质同时传递的过程。进行干燥计算，必须解决干燥中湿物料去除的水分量及所需的热空气量。

一、湿物料的性质

二、干燥系统的物料衡算

$$\begin{aligned} Q_P + Q_D &= L(I_2 - I_0) + G_c(I'_2 - I'_1) + Q_L \\ I_2 &= (C_g + H_2 C_v) t_2 + r_0 H_2, \quad I'_2 = (C_s + X_2 C_w) \theta_2 \\ I_1 &= (C_g + H_1 C_v) t_1 + r_0 H_1, \quad I'_1 = (C_s + X_1 C_w) \theta_1 \end{aligned}$$

三、干燥系统的热量衡算

重点：干燥过程的物料衡算和热量衡算。

难点：干燥过程的热量衡算。

### 7.25.4 教学过程

复习上一讲内容（提问）

#### 4-2 干燥过程的物料衡算和热量衡算

干燥过程是热、质同时传递的过程。进行干燥计算，必须解决干燥中湿物料去除的水分量及所需的热空气量。

一、湿物料的性质（讲授）

1、湿基含水量  $w$

$$w = \frac{\text{水分质量}}{\text{湿物料的总质量}} \times 100\%$$

2、干基含水量  $X$

单位质量的绝干物料中所含水分的质量。

$$X = \frac{\text{水分质量}}{\text{湿物料中绝干物料的质量}} \times 100\%$$

二、干燥系统的物料衡算（讲授）

基准：单位时间(s or h)；

控制体（衡算范围）：干燥器

1、水分蒸发量

2、空气消耗量

3、干燥产品流量

三、干燥系统的热量衡算（讲授）

$Q_p$ ：预热器向气体提供的热量，kW；

$Q_d$ ：向干燥器补充的热量，kW；

$Q_l$ ：干燥器的散热损失，kW。

1、热量衡算的基本方程（讲授）

（1）、预热器消耗的热量

预热器传给干燥介质的热量为：

$$Q_p = L(I_1 - I_0)$$

（2）、向干燥器补充的热量

$$LI_1 + G_c I_1' + Q_D = LI_2 + G_c I_2' + Q_L$$

$$\begin{aligned} Q_p + Q_D &= L(I_2 - I_0) + G_c(I_2' - I_1') + Q_L \\ I_2 &= (C_g + H_2 C_v) t_2 + r_0 H_2, \quad I_2' = (C_s + X_2 C_w) \theta_2 \\ I_1 &= (C_g + H_1 C_v) t_2 + r_0 H_1, \quad I_1' = (C_s + X_1 C_w) \theta_2 \end{aligned}$$

（3）、干燥系统的总热量衡算

## 7.25.5 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。

## 7.25.6 作业安排及课后反思

$P_{296}$ : 4;

### 7.25.7 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

## 7.26 教学单元四：第四章 干燥

### 7.26.1 教学日期

第十三周周四的 1，2 节

### 7.26.2 教学目标

- 1、掌握干燥过程的物料衡算和热量衡算

### 7.26.3 教学内容（含重点、难点）

- 三、干燥系统的热量衡算
- 2、干燥系统的热效率
- 3、干燥介质通过干燥器时的状态变化
  - （1）、理想干燥过程
  - （2）、非理想干燥过程
  - （3）、操作线

重点：干燥过程的热量衡算

难点：干燥介质通过干燥器时的状态变化



## 7.26.4 教学过程

复习上一讲内容（提问）

三、干燥系统的热量衡算（讲授）

2、干燥系统的热效率

热效率越高表示干燥器热利用率越好。 $t_2 \downarrow$ 或 $H_2 \uparrow$ 可以提高热效率。但 $H_2 \uparrow$ 使推动力减小； $t_2$ 过低，则可能使干燥产品返潮、在系统后面的设备中析出湿分，因此：

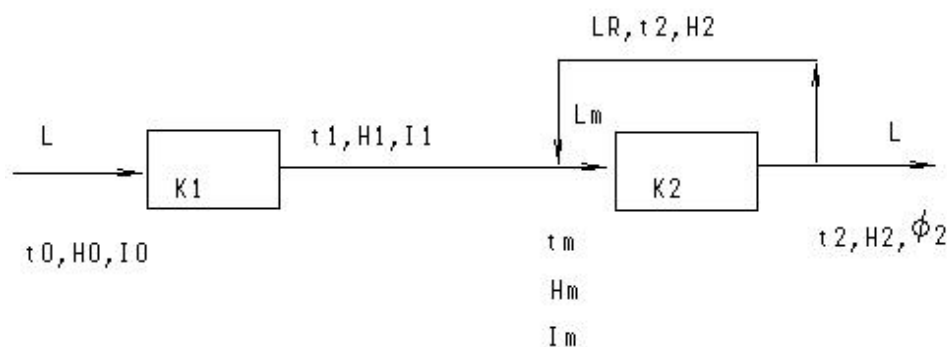
$$t_2 = t_{as} + 20 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

提高热效率的措施：对设备进行保温，使热损失减小；利用废气预热冷物料或冷介质；使部分废气循环。

例 2. 常压下拟用温度为  $20^\circ\text{C}$ 、湿度为  $0.008\text{kg 水/kg 干气}$  的空气干燥某种湿物料。空气在预热器中被加热到  $90^\circ\text{C}$  后送入干燥室，离开时的温度为  $45^\circ\text{C}$ 、湿度为  $0.022\text{kg 水/kg 干气}$ 。现要求每小时将  $1200\text{kg}$  的湿物料由含水率  $3\%$ （湿基）干燥至  $0.2\%$ （湿基），已知物料进、出口温度分别为  $20^\circ\text{C}$  和  $60^\circ\text{C}$ ，在此温度范围内，绝干物料的比热为  $3.5\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ，水的平均比热为  $4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。干燥设备热损失可按预热器中加热量的  $5\%$  计算。试求：

- 1) 新鲜空气用量， $\text{kg/h}$ ；
- 2) 预热器的加热量  $Q_P$ ， $\text{kW}$ ；
- 3) 干燥室内补充的热量  $Q_d$ ， $\text{kW}$ ；
- 4) 热效率 $\eta$ 。

例 3: 某干燥系统如附图所示。（预热器 K1, 干燥器 K2），干燥器的操作压强为  $80\text{kPa}$ ，出口气体的温度为  $59^\circ\text{C}$ ，相对湿度  $72\%$ ，将部分出口气体送回干燥器入口与新鲜空气相混合，使进入干燥器的气体温度不超过  $92^\circ\text{C}$ ，相对湿度为  $11\%$ ，已知新鲜空气的质量流量为  $0.49\text{kg/s}$ ，温度为  $18^\circ\text{C}$ ，湿度为  $0.0054\text{kg 水/kg 绝干气}$ ，试求：（1）空气的循环量  $L_R$  为多少  $\text{kg 绝干气/s}$ ；（2）新鲜空气经预热后的温度  $t_1^\circ\text{C}$ ，（3）预热器需提供的热量  $Q_{\text{kw}}$ 。（水的饱和蒸汽压，在  $59^\circ\text{C}$  时为  $19.013 \text{ kPa}$ ，在  $92^\circ\text{C}$  时为  $75.598\text{kPa}$ ）。



### 3、干燥介质通过干燥器时的状态变化

#### (1)、理想干燥过程

在干燥器内，若 1) 设备无热损失， $Q_L=0$ ；2) 不补充热量， $Q_D=0$ ；3) 物料足够湿润，温度保持为干燥介质的湿球温度  $t_w$ ，即  $\theta_1=\theta_2=t_w$ ；4) 被汽化的湿分带入的热量可以忽略不计，则： $I_1=I_2$ 。

#### (2)、非理想干燥过程

#### (3)、操作线

## 7.26.5 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。

## 7.26.6 作业安排及课后反思

$P_{297}$ : 6;

## 7.26.7 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

## **7.27 教学单元四：第四章 干燥**

### **7.27.1 教学日期**

第十四周周一 1、2 节

### **7.27.2 教学目标**

### **7.27.3 教学内容（含重点、难点）**

5-3 固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系

一、物料中的水分

1、平衡水分与自由水分

2、结合水分与非结合水分

3、物料的吸湿性

二、干燥时间的计算

1、恒定干燥条件下的干燥实验和干燥时间

（1）、干燥曲线：物料湿含量  $X$  与干燥时间  $t$  的关系曲线。

2. 干燥速率曲线

① 恒速干燥段：物料表面湿润， $X > X_c$ ，汽化的是非结合水分。

② 降速干燥段： $X < X_c$

重点：固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系。

难点：固体物料在干燥过程中的平衡关系。

## 7.27.4 教学过程

复习上一讲内容（提问）

5-3 固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系（讲授）

物料的去湿过程经历了两步：首先是水分从物料内部迁移至表面，然后再由表面汽化而进入空气主体。故干燥速率不仅取决于空气的性质及干燥操作条件，而且还与物料中所含水分的性质有关。

一、物料中的水分

1、平衡水分与自由水分

平衡水分：低于平衡湿含量  $X^*$  的水分。是不可除水分。

自由水分：高于平衡湿含量  $X^*$  的水分。是可除水分。

干燥过程：当湿物料与不饱和气体接触时， $X$  向  $X^*$  接近，干燥过程的极限为  $X^*$ 。物料的  $X^*$  与湿气体的状态有关，气体的温度和湿度不同，物料的  $X^*$  不同。欲使物料减湿至绝干，必须与绝干气体接触。

2、结合水分与非结合水分

非结合水分：具有和独立存在的水相同的蒸汽压和汽化能力

结合水分：与物料分子间有较强力，汽化能力  $<$  独立存在的水，蒸汽压或汽化能力与水分和物料结合力的强弱有关。

3、物料的吸湿性

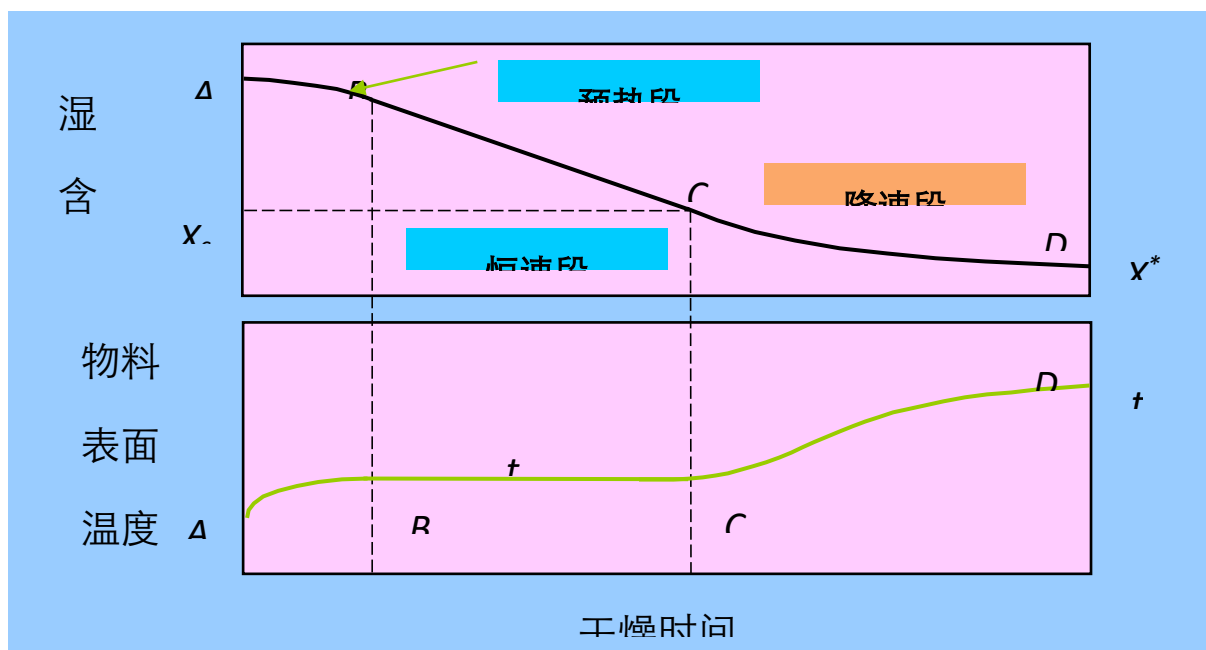
二、干燥时间的计算

按空气状态参数的变化情况，可将干燥过程分为：恒定干燥操作和非恒定干燥操作两大类。

1、恒定干燥条件下的干燥实验和干燥时间

(1) . 干燥曲线：物料湿含量  $X$  与干燥时间  $t$  的关系曲线。

恒定干燥条件：干燥介质的温度、湿度、流速、与湿物料的接触方式均保持不变。



## 2. 干燥速率曲线

干燥速率  $U$ : 在单位时间内、单位面积上汽化的湿分量 ( $\text{kg 湿分}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )。微分形式为通常情况下,

以临界湿含量  $X_c$  为界, 可将干燥过程只分为恒速干燥和降速干燥两个阶段。

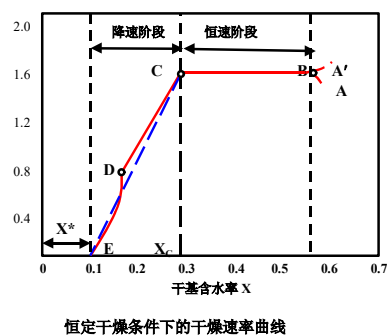
① 恒速干燥段: 物料表面湿润,  $X > X_c$ , 汽化的是非结合水分。

② 降速干燥段:  $X < X_c$

- 物料实际汽化表面变小 (出现干区), 第一降速段;
- 汽化表面内移, 第二降速段;
- 平衡蒸汽压下降 (各种形式的结合水);
- 固体内部水分扩散速度极慢 (非多孔介质)。

降速段干燥速率取决于湿份与物料的结合方式, 以及物料的结构, 物料外部的干燥条件对其影响不大。

$X_c$  决定两个干燥段的相对长短, 是确定干燥时间和干燥器尺寸的基础数据, 对制定干燥方案和优化干燥过程也十分重要。



### 7.27.5 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。

### 7.27.6 作业安排及课后反思

1、 $P_{297}$ : 5;

### 7.27.7 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

## 7.28 教学单元四：第四章 干燥

### 7.28.1 教学日期

第十四周周四的 1, 2 节

### 7.28.2 教学目标

- 1、掌握固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系

### 7.28.3 教学内容（含重点、难点）

5-3 固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系

2、恒定干燥条件下干燥时间的计算

5-4 干燥设备

总结

重点：恒定干燥条件下干燥时间的计算

难点：恒定干燥条件下干燥时间的计算。

### 7.28.4 教学过程

5-3 固体物料在干燥过程中的平衡关系与速率关系

2、恒定干燥条件下干燥时间的计算


在给定的干燥条件下，将物料干燥至指定的湿含量，需要一定的干燥时间。物料在干燥器中的停留时间应大于或等于该干燥时间，并由此确定干燥器的尺寸。

恒速段的干燥时间

物料初始湿含量  $X_1$  和临界湿含量  $X_c$ ，恒速干燥时间为：

$$\tau = \int_0^{\tau_1} d\tau = -\frac{G'}{U_c S} \int_{X_1}^{X_c} dX = \frac{G'(X_1 - X_c)}{U_c S}$$

$$U_c = \frac{\alpha(t - t_w)}{r_{t_w}}$$



$$\tau_1 = \frac{G'(X_1 - X_c)}{U_c S}$$

降速段的干燥时间可以从物料干燥曲线上直接读取。计算上通常是采用图解法或解析法。

(1) 图解积分法

(2) 解析法

例 4：某湿物料经过 5.5h 恒定干燥后，含水量由  $X_1 = 0.35\text{kg/kg}$  绝干料降至  $X_2 = 0.10\text{kg/kg}$  绝干物料，若物料的临界含水量  $X_c = 0.15\text{kg/kg}$  绝干料、平衡含水量  $X^* = 0.04\text{kg/kg}$  绝干料。假设在降速阶段中干燥速率与物料的自由含水量  $(X - X^*)$  成正比。若在相同的干燥条件下，要求将物料含水量由  $X_1 = 0.35\text{kg/kg}$  绝干料降至  $X_2' = 0.05\text{kg/kg}$  绝干物料，试求所需的干燥时间。

#### 5-4 干燥设备

干燥器：实现物料干燥过程的机械设备。

按加热方式可将干燥器分为：

(1) 对流干燥器，如：洞道式干燥器、转筒干燥器、气流干燥器、流化床干燥器、喷雾干燥器等；

(2) 传导干燥器，如：滚筒式干燥器、耙式干燥器、间接加热干燥器等；

(3) 辐射干燥器，如：红外线干燥器；

(4) 介电加热干燥器，如：微波干燥器。

干燥器的选型应考虑以下因素：

(1) 保证物料的干燥质量，干燥均匀，不发生变质，保持晶形完整，不发生龟裂变形；

(2) 干燥速率快，干燥时间短，单位体积干燥器汽化水分量大，能做到小设备大生产；



- (3) 能量消耗低，热效率高，动力消耗低；
- (4) 干燥工艺简单，设备投资小，操作稳定，控制灵活，劳动条件好，污染环境小。

总结

### 7.28.5 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。

### 7.28.6 作业安排及课后反思

- 1、 $P_{298}$ : 9;

### 7.28.7 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

## 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、独立课后作业，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

**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。采用学习通进行签到，签到（满 10 次计满分）占网络课程成绩的 10%。

### 9.2 平时成绩

平时成绩由作业成绩（含半期考试）和网络学习成及构成，平时成绩=作业成绩（期中考试按两次作业计入平时成绩）\*60%+网络学习成绩（网络考试 50 分+视频学习 40 分+签到 10 分）\*40%。

**作业成绩：**按 100 分计算时；作业按 5 级制，即 A、B、C、D、E 计算。平时作业成绩取应交作业的平均值，不交作业，则该次作业的成绩为 0。补（迟）交作业降低一个等级。

表 1 等级分数与百分制分数换算

等级	A	B	C	D	E
100 制分值	95	85	75	65	50

### 9.3 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, 具体比例由教研室统一确定。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。

## 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，将按四川轻化工大学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。