



# 四川轻化工大学课程实施大纲

课程名称：现代分离技术

---

授课班级：工艺，应化 2017 级选课班

---

任课教师：杜怀明

---

工作部门：化学工程学院

---

联系方式：13541669678

---

四川轻化工大学 制

2020 年 8 月

# 《现代分离技术》课程实施大纲

## 基本信息

课程代码：03173001

课程名称：现代分离技术 (Modern Isolation Technology)

学 分：2

总 学 时：32

学 期：2020-2021-1

上课时间：6-13 周，周一，9-10 节，周四，7-8 节

上课地点：N1-208, N1-306

答疑时间和方式：课前，课后和课间

答疑地点：N1-208, 306

授课班级：工艺，应化 2017 级选课班

任课教师：杜怀明

学 院：化学工程学院

邮 箱：34749199@qq.com

联系电话：13541669678 (62214)

# 目 录

1. 教学理念.....	5
2. 课程介绍.....	6
3. 教师简介.....	9
4. 先修课程.....	10
5. 课程目标.....	10
6. 课程内容.....	11
7.课程实施.....	16
7.1 教学单元一（绪论）.....	16
7.2 教学单元二（膜和膜过程）.....	18
7.3 教学单元三（以压力为驱动力的膜过程：反渗透，纳滤）.....	19
7.4 教学单元四（以压力为驱动力的膜过程：超滤，微滤）.....	21
7.5 教学单元五（以浓度为推动力的膜过程：气体渗透、渗透汽化和膜基吸收）.....	22
7.6 教学单元六（以浓度为推动力的膜过程：气体渗透、渗透汽化和膜基吸收）.....	24
7.7 教学单元七（以电位差为推动力的膜过程：透析、电渗析和膜电解）.....	27
7.8 教学单元八（以电位差为推动力的膜过程：透析、电渗析和膜电解）.....	29
7.9 教学单元九（新型萃取技术）.....	31
7.10 教学单元十（特种精馏技术）.....	31
7.11 教学单元十一（特种精馏技术）.....	32
7.12 教学单元十二（液膜分离）.....	43
7.13 教学单元十三（泡沫分离）.....	46
7.14 教学单元十四（吸附、离子交换和色谱分离）.....	36
7.15 教学单元十五（吸附、离子交换和色谱分离）.....	40
7.16 教学单元十六（耦合分离过程）.....	43
8. 课程要求.....	50
9. 课程考核.....	51
10. 学术诚信.....	52
10.1 考试违规与作弊处理.....	52
10.2 杜撰数据、信息处理等.....	52
10.3 学术剽窃处理等.....	52

11. 课堂规范.....	52
11.1 课堂纪律.....	52
11.2 课堂礼仪.....	53
12. 课程资源.....	53
12.1 教材与参考书.....	53
12.2 专业学术著作.....	53
12.3 专业刊物.....	54
12.4 网络课程资源.....	54
13. 教学合约.....	54
13.1 教师作出师德师风承诺.....	54
13.2 阅读课程实施大纲，理解其内容.....	55
13.3 同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望.....	55
14. 其他说明.....	55

# 1. 教学理念

以人为本，把重视人，理解人，尊重人，爱护人，提升和发展人的精神贯注于教育教学的全过程、全方位。以促进每一个学生在德、智、体、美、劳等方面的全面发展与完善，造就全面发展的人才为己任。

强调知识、能力与素质在人才整体结构中的相互作用、辩证统一与和谐发展。以帮助学生会学习和强化素质为基本教育目标，旨在全面开发学生的诸种素质潜能。

加强创新教育与创业教育并促进二者的结合与融合，培养创新、创业型复合性人才成为现代教育的基本目标。

本课程实施大纲结合化学工程与工艺国家级特色专业建设以及工程教育专业认证标准，针对化学工程与工艺专业的培养目标，以化学工程与工艺专业普通高等学校本科工程教育认证为指导，按照“宽口径、重理论、强能力”的总体思路，培养和训练学生的工程意识、创新意识和专业应用能力来制定课程实施大纲，以期对培养具有较宽厚的基础理论和专门知识，能在化工、炼油、冶金、能源、轻工、医药、环保和军工等部门从事工程设计、技术开发、生产技术管理和科学研究等方面工作的应用型工程技术人才的目标作最大贡献。

## 1. 培养学生的综合素质

本课程不仅要培养本专业技术技能人才，还要培养学生“平等、民主、自由”的人文社会科学素养；培养学生创新意识、社会责任感、工程职业道德、节能意识，掌握文献资料查询及运用现代信息技术获取相关信息的基本方法，了解与本专业相关的职业和行业的生产、设计、研究与开发、环境保护和可持续发展等方面的方针、政策和法律、法规，能正确认识工程对于客观世界和社会的影响。

## 2、坚持以现代教育理念为先导，实现“学生中心、教师主体”的大学教育观

为了最大程度的帮助学生学习，教学过程中师生之间必须形成平等、民主、和谐的情感关系，师生在心理上能够互相包容，在心灵上能够互相接纳，能营造民主、和谐的课堂气氛，与学生一起平等、互动地参与课堂教学，激发学生学习

兴趣和求知欲。尊重学生的个性，理解学生的情感，包容学生的缺点和不足，善于发现每一个学生的长处和闪光点，让所有学生都成长为有用之才。教与学的相互作用，就是教师与学生的心灵沟通和碰撞。这种碰撞是点燃学生心灵的火苗，它能让学生在浓厚的学术氛围之中成长，无论学生今后选择什么样的职业，所受的教育都会赐予他们无穷的力量，这种力量会促进学生的发展，让学生的潜能浮出水面、个性得到张扬，为他们未来更有成效的生活奠定坚实的保障。

### 3、明确学生主体，改革传统授课模式

授课的目的是帮助学生真正理解掌握并应用相关知识。改变传统教学模式，内容包括：计划的理论教学、解答学生自学存在的问题、课堂提问、课堂讨论等；安排课外阅读，并鼓励学生参加与课程相关的各种竞赛、大学生创新项目和聆听与专业相关的学术报告；考核方式也多种多样，可以更科学合理的考查学生的能力。多元化的教学模式，旨在调动学生的学习兴趣，培养学生查阅文献能力、工程运用能力和创新能力等。

### 4、课程内容及时更新，始终注意把教改教研成果或学科最新发展成果引入教学

作为教师，不仅必须精心准备课程内容，还应领会本课程应培养学生的哪些能力和素质，以便设计课程。了解学生的前修课程，帮助学生理解问题，解决问题，并鼓励学生自主学习，相互讨论，合作学习。同时要积极地调动学生的学习兴趣 and 热情，启迪学生，通过对学生的引导和督促，变被动学习为主动学习。同时，要紧跟社会形势的发展变化，及时更新教学内容，将新知识、新理论和新技术以及科学研究的成果充实到教学内容中，补充工厂实际案例，提高学生学习兴趣，为学生提供符合时代需要的课程体系 and 教学内容。

## 2. 课程介绍

### 2.1 课程的性质

《现代分离技术》是化工类专业一门专业选修课程，总学时为 32 学时。

通过本课程学习，要求学生掌握现代分离技术的基本理论和常见现代分离手段和方法，培养学生具有初步分析解决化学专业问题能力。要突出理论知识的应用和实践能力的培养。为今后学习和工作以及科研打下比较牢固的基础。

学习该课程需要具备一定的物理、化学等知识如化工原理、物理化学、有机化学、仪器分析等课程做基础。

课程学习理论部分为基础，以五种具体的分离方法为载体，通过对萃取、蒸馏、色谱技术、膜分离、电化学分离等五种分离方法的具体讲解，可以使学生了解当今最先进的化学品的分离方法，掌握其理论，从而丰富其专业知识，有效地提高学生的专业素质。

通过本门课程的学习，使学生具备高素质劳动者和中高级专门人才所必需的基本知识和基本技能，初步形成解决实际问题的能力，为学习专业知识和职业技能打下基础，并注重渗透思想教育，逐步培养学生的辩证思维和创新的能力，加强学生的职业道德观念。

## 2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

现代分离技术课程是化工及相近专业的专业选修课，它是在基础课和专业基础课的基础上，注重技术及理论应用，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。

## 2.3 课程的历史与文化传统

现代分离技术是有别于传统分离技术的、伴随着高新技术产业的出现，尤其是生物科学、生物技术、材料科学的发展而逐渐发展壮大起来的更优化、更先进的分离技术，在农业生产、材料科学、生命科学、环境科学、医药卫生、食品等诸多领域发挥了越来越重要的作用，因此，逐渐发展成为一门独立的学科-分离科学。作为化工和应化学生的一门专业选修课，本课程将向学生主要介绍近年来发展较快的分离技术原理及应用，并通过查阅文献，使学生了解分离科学领域的发展前沿，丰富其专业知识，有效提高学生的专业素质。

## 2.4 课程的前沿及发展趋势

以分离技术类型为主线来组织教学内容，从技术原理到主要应用领域，建立“现代分离技术”课程教学内容新体系；适当融入化工及相关领域中一些最新技术、方法和发展动向，拓宽教学内容。

建立以学生为本，启发-讨论-总结式的教学方法，实现在教师指导下以学生为中心的学与教的互动过程，并不断归纳、思考以寻求出适合本专业学生特点的更能有效发挥学生学习过程的主动性、积极性、创造性为目标的教学方法。

突出实践性、应用性、双向互动、集基础理论、实践为一体的立体教学新理念。

灵活运用多种先进的教学方法，如采用提问式切入方法，双向互动、精讲多练方法，归纳法总结的教学方法来促进学生学习。

使用现代教育技术手段，黑板、展台和多媒体大屏幕交替使用。利用典型分离设备运行及工作录像片、动画库、课程多媒体教学课件，把过去很难描述清楚的设备结构用三维立体动画和录像的形式清晰形象地展现在学生面前，使教学内容实感性增强，授课信息量加大，给学生印象深刻，激发学习兴趣，提高教学效果。

## 2.5 课程与经济社会发展的关系

社会在发展，随时都会兴起新的工程技术。社会才是真正检验技术的地方，因此课程内容也应与时俱进、紧跟社会技术进步、将课程涉及新技术引入课程教学，尤其是针对一些新技术的应用、社会发展热点问题，在课堂上开展讨论，引导学生思考解决问题的方法，也能让学生切身体会所学知识并非空洞无物，而是能解决生活中实际问题的有用技能，激发学生的学习热情。

1、膜分离技术：从生活中纯净水、海水淡化等常见生活实例入手，讲解膜分离原理及应用；

2、反渗透，纳滤和微滤：水的分离纯化等级：自来水，纯净水，去离子水等；

3、透析、电渗析与膜电解：引用尿毒症的治疗、纯碱生产工艺，自贡鸿鹤化工离子膜烧碱。

## 2.6 课程内容可能涉及到的伦理与道德问题

随着技术的进步和人民生活水平的提高，目前科学技术中存在的伦理与道德问题已经引起了人们的极大关注。化工学科研究的领域十分广泛，与日常生活有着紧密联系，因此课程教学过程中应注意伦理和道德教育。

科学研究的诸多领域都涉及伦理及道德问题，如核武器与生化武器伦理、计算机与网络伦理、生命与医学伦理、生态与环境伦理、工程理论和宇宙伦理等。本课程是化工及相关学科的专业基础课，属于工程技术领域，因此主要涉及生态与环境、工程伦理两大伦理。

1、生态与环境伦理：目前，我国面临严峻的环境问题，以环境为代价换取经济效益的事件时有发生，因此，在教学过程中要注意正确引导学生理性看待这些环境问题，激发学生的学习热情去处理目前面临的这些问题，而不是抱怨。同时，作为工程技术人才，在技术设计和研究过程中，要严格按照国家有关法律、标准和规范操作，尤其是涉及环境问题，如三废的处理等，要全面考虑问题。

2、工程伦理：随着工程技术不断发展，工程技术的负面效应也日渐突出。环境污染、能源危机等一系列问题的出现，使得与工程技术联系最为密切的工程伦理问题成为工程界、哲学界和社会广泛关注的问题。工程师必须遵守工程伦理准则，在工程活动中具有社会责任感，正确的价值观、利益观和强烈的伦理道德意识，才能自觉担负起维护人类共同利益的伦理责任。工程伦理主要包括工程中的风险、安全与责任、工程价值、工程与环境等问题。作为将来的工程技术人员，要引导学生注重考虑：1) 技术层面的伦理问题；2) 非技术层面的伦理问题。

技术层面的伦理问题，主要引导学生从技术上思考从原料、过程到产品及产品残值涉及的伦理问题。如原料尽量少用或不采用对人体和环境有毒有害的物质；工艺过程尽量考虑节能、节水和减少原料消耗；产品残值的处理尽量简单可行等等。

## 2.7 学习本课程的必要性

通过本课程学习，要求学生掌握现代分离技术的基本理论和常见现代分离手段和方法，培养学生具有初步分析解决化学专业问题能力。要突出理论知识的应用和实践能力的培养。为今后学习和工作以及科研打下比较牢固的基础

# 3. 教师简介

## 3.1 教师的职称、学历

副教授，工学博士。

### 3.2 教育背景

起止时间	学校名称	专业	学位	证明人
2005.09-2008.12	四川大学	化学工程	工学博士	朱家骅
2002.09-2005.07	四川大学	化学工程	工学硕士	朱家骅
1997.09-2001.07	四川轻化工学院	化学工程与工艺	工学学士	颜杰

### 3.3 研究兴趣（方向）

无机精细化工，化工过程模拟与优化，化工过程装备开发，化工新材料。

## 4. 先修课程

化工原理，分离工程。

## 5. 课程目标

(一)培养学生具有分析、处理一般物质分离问题的初步能力

(二)掌握分离过程中涉及的热力学、动力学以及分子间的相互作用等基本理论，能够分析具体的分离方法的原理和其中出现的问题。使用这些理论

(三)了解常用的分离方法与技术的原理及应用。能够在工作中区别所使用的具体方法，并且熟悉比较前沿的分离方法与技术。

(四)具有初步的科研能力，能够查阅现代分离技术方面的文献资料，并能够通过阅读这些资料进行一些简单的科研工作。

(五)着重掌握萃取、精馏、色谱这三种分离方法，能够在实际工作中灵活运用。

(六)了解膜分离、电化学分离等常用的多种分离方法。

## 6. 课程内容

### 6.1 课程的内容概要

#### 第一章 绪论

##### 教学内容

(1) 分离技术在过程工业中的意义

主要知识点：分离技术在过程工业中的重要意义；分离技术的分类。

(2) 新型分离技术的开拓和发展

主要知识点：新型分离技术的开拓和发展；新型分离技术在化学工业、环境保护、生物技术、制药、电子、能源等领域的应用。

(3) 选择分离技术的一般规则

主要知识点：选择分离技术的一般规则；未来新型分离技术的发展趋势。

#### 第二章 膜和膜过程简介

##### 教学内容

(1) 膜的简介

主要知识点：膜的定义；分离因子和截留率；膜分离的优点。

(2) 膜材料

主要知识点：有机膜材料；无机膜材料；复合膜和杂化膜。

(3) 膜的制备

主要知识点：有机膜的制备方法；无机膜的制备方法。

(4) 膜的结构表征

主要知识点：膜的结构；孔径和孔隙率；表征膜结构的仪器；膜组件；膜过程。

#### 第三章 以压力为驱动力的膜过程

##### 教学内容

(1) 超滤

主要知识点：超滤膜过程的定义；超滤的传质过程；超滤的应用。

## (2) 反渗透

主要知识点：反渗透膜过程的定义；反渗透的传质过程；反渗透的应用。

## (3) 微滤和纳滤

主要知识点：微滤膜过程；纳滤膜过程。

# 第四章 以浓度为推动力的膜过程

## 教学内容

### (1) 透析

主要知识点：透析膜过程的定义；透析的传质过程；透析的应用。

### (2) 气体分离

主要知识点：努森扩散；气体分离的膜过程；气体分离的应用。

### (3) 渗透汽化

主要知识点：渗透汽化膜过程；渗透汽化的应用。

# 第五章 以电位差为推动力的膜过程

## 教学内容

### (1) 电渗析

主要知识点：电渗析膜过程的定义；电渗析的传质过程；电渗析的应用。

### (2) 膜电解

主要知识点：膜电解的定义；膜电解的传质；膜电解的应用。

# 第六章 特种精馏技术

## 教学内容

### (1) 膜蒸馏

主要知识点：膜蒸馏的定义；膜蒸馏的传质过程；膜蒸馏的传热的流程；膜蒸馏的设备；膜蒸馏的应用。

### (2) 分子蒸馏

主要知识点：分子蒸馏的定义；分子蒸馏的传递过程；分子蒸馏的设备和流程；分子蒸馏的应用。

# 第七章 新型萃取技术

## 教学内容

### (1) 超临界萃取

主要知识点：超临界流体；超临界萃取的热力学基础；超临界萃取的流程；超临界萃取的设备；超临界萃取的应用。

### (2) 反胶团萃取

主要知识点：生化分离过程简介；反胶团的定义；反胶团萃取的热力学基础；反胶团萃取的设备和流程；反胶团萃取的应用。

### (3) 双水相萃取

主要知识点：双水相的定义；双水相萃取的热力学基础；双水相萃取的设备和流程。

## 第八章 吸附、离子交换和色谱分离

## 教学内容

### (1) 吸附

主要知识点：常用的吸附剂；吸附平衡和等温吸附方程；吸附分离的设备和流程；吸附分离的应用。

### (2) 离子交换

主要知识点：常用的离子交换树脂；离子交换传递过程；离子交换的设备和流程；离子交换的应用。

### (3) 色谱分离

主要知识点：色谱的分类；色谱分离的传递过程；色谱分离的应用。

## 第九章 液膜分离

## 教学内容

### (1) 液膜的定义、组成、制备和稳定性

主要知识点：液膜的定义；液膜的组成；液膜的制备和稳定性。

### (2) 液膜分离的传递过程、液膜分离的流程和设备

主要知识点：液膜分离的传递过程；液膜分离的流程和设备；液膜分离的应用。

## 第十章 其他分离技术（泡沫分离）

## 教学内容

(1) 泡沫分离的定义、泡沫的形成和结构

主要知识点：泡沫分离的定义；泡沫的形成和结构；泡沫的稳定性。

(2) 泡沫分离的传递过程、泡沫分离的流程和设备

主要知识点：泡沫分离的传递过程；理想泡沫模型；泡沫分离的流程和设备。

## 第十一章 耦合与集成技术

### 教学内容

(1) 反应-分离的耦合与集成技术

主要知识点：催化膜反应器；渗透汽化膜反应器；膜生物反应器。

(2) 分离-分离的耦合与集成技术

主要知识点：膜与吸收的集成；精馏与渗透汽化的集成。

## 6.2 教学重点、难点

### 第一章 绪论

教学重点：分离技术的分类；新型分离技术在化学工业、环境保护、生物技术、制药、电子、能源等领域的应用。

教学难点：新型分离技术在化学工业、环境保护、生物技术、制药、电子、能源等领域的应用。

### 第二章 膜和膜过程简介

教学重点：膜的定义；膜材料；膜的分类；膜组件和膜过程。

教学难点：膜的结构；截留率和分离因子的计算。

### 第三章 以压力为驱动力的膜过程

教学重点：以压力为推动力的膜过程的分类；微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的孔径大小和操作压力；微滤、超滤、纳滤和反渗透设备、流程和应用。

教学难点：微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的传递过程机理。

### 第四章 以浓度为推动力的膜过程

教学重点：透析的传递过程；透析的应用；气体在孔道中的传递；努森扩散的表述；气体分离的应用。

教学难点：努森扩散的表述。

## 第五章 以电位差为推动力的膜过程

教学重点：电渗析；膜电解。

教学难点：电渗析的传质过程；膜电解的传质。

## 第六章 特种精馏技术

教学重点：膜蒸馏、分子蒸馏、反应精馏的定义。

教学难点：膜蒸馏的传质过程、膜蒸馏的传热的流程；膜蒸馏的设备；分子蒸馏的传递过程；分子蒸馏的设备和流程。

## 第七章 新型萃取技术

教学重点：超临界萃取；反胶团萃取；双水相萃取。

教学难点：各种萃取技术的热力学基础。

## 第八章 吸附、离子交换和色谱分离

教学重点：吸附、离子交换、色谱分离的基本原理。

教学难点：吸附、离子交换、色谱分离的流程。

## 第九章 液膜分离

教学重点：液膜的定义；液膜分离的传递过程；液膜分离的流程和设备。

教学难点：液膜的制备和稳定性；液膜分离的传递过程；液膜分离的流程和设备。

## 第十章 其他分离技术（泡沫分离）

教学重点：泡沫分离的定义；泡沫分离的传递过程；理想泡沫模型；泡沫分离的流程和设备。

教学难点：泡沫分离的传递过程；液膜分离的流程和设备。

## 第十一章 耦合与集成技术

教学重点：反应-分离的耦合和集成、分离-分离的集成。

教学难点：反应-分离的耦合和集成、分离-分离的集成。

### 6.3 学时安排

章序	内容	学时	备注
一	绪论	2	
二	膜和膜过程简介	2	
三	以压力为驱动力的膜过程：反渗透、纳滤、超滤和微滤	4	
四	以浓度为推动力的膜过程：气体渗透，渗透汽化和膜基吸收	4	
五	以电位差为推动力的膜过程：透析，电渗析和膜电解	4	
六	特种精馏技术	4	
七	新型萃取技术：超临界萃取和双水相萃取	2	
八	吸附、离子交换和色谱分离	4	
九	液膜分离	2	
十	其他分离技术：泡沫分离	2	
十一	耦合与集成技术	2	
合计		32	

## 7.课程实施

### 7.1 教学单元一（绪论）

#### 7.1.1 教学日期

第五周一，1-2 节

#### 7.1.2 教学目标

1. 掌握选择分离技术的一般规则；
2. 了解分离技术在过程工业中的意义；了解新型分离技术的开拓和发展。

#### 7.1.3 教学内容（含重点、难点）

## 1. 教学内容

### (1) 分离技术在过程工业中的意义

主要知识点：分离技术在过程工业中的重要意义；分离技术的分类。

### (2) 新型分离技术的开拓和发展

主要知识点：新型分离技术的开拓和发展；新型分离技术在化学工业、环境保护、生物技术、制药、电子、能源等领域的应用。

### (3) 选择分离技术的一般规则

主要知识点：选择分离技术的一般规则；未来新型分离技术的发展趋势。

## 2. 重点和难点

教学重点是分离技术的分类；新型分离技术在化学工业、环境保护、生物技术、制药、电子、能源等领域的应用。

教学难点是新型分离技术在化学工业、环境保护、生物技术、制药、电子、能源等领域的应用。

### 7.1.4 教学过程

(1) 举例说明分离技术的地位及作用，开发分离技术的重要性和必要性：磷酸净化为电子级和食品级，单晶片作为芯片材料等。

(2) 分离过程的分类：均相与非均相。非均相分离在化工原理课程已讲解，这里重点讲解均相物系分离，根据分离原理的不同，分为传质分离和反应分离。

(3) 分离技术进展：总趋势：节能降耗。由于科技进步，技术从实验室到应用时间越来越短。

①膜分离技术：目前人类掌握的最节能的分离技术；

②基于传统分离方法的新型分离技术：技术进步绝非一蹴而就，有个过程，其中已有技术的发展、推广和耦合也是分离技术进步主要方面，如超临界萃取，即为超临界条件下的萃取；双水相萃取等；

③耦合与集成技术：多个传统技术的集成，如反应精馏、热泵精馏等。

### 7.1.5 教学方法

本节主要采用讲授法、提问法和举例法。

### 7.1.6 作业安排及课后反思

课后思考：分离方法的分离及针对具体体系分离方法选择的原则。

### 7.1.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

分离方法的重要性，分离技术进展及前沿。

### 7.1.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第一章绪论部分。

## 7.2 教学单元二（膜和膜过程）

### 7.2.1 教学日期

第五周五，1-2 节

### 7.2.2 教学目标

1. 掌握膜的定义、膜的分类；掌握膜组件和膜过程；
2. 了解膜的制备方法、膜的结构；了解截留率和分离因子的计算。

### 7.2.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）膜的简介

主要知识点：膜的定义；分离因子和截留率；膜分离的优点。

##### （2）膜材料

主要知识点：有机膜材料；无机膜材料；复合膜和杂化膜。

##### （3）膜的制备

主要知识点：有机膜的制备方法；无机膜的制备方法。

##### （4）膜的结构表征

主要知识点：膜的结构；孔径和孔隙率；表征膜结构的仪器；膜组件；膜过程。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是膜的定义；膜材料；膜的分类；膜组件和膜过程。

教学难点是膜的结构；截留率和分离因子的计算。

### 7.2.4 教学过程

膜组件是膜分离过程的装置和设备。膜组件的型式：

- 1) 中空纤维式；
- 2) 管式；
- 3) 卷式；
- 4) 板框式

从不同型式的优缺点、主要应用范围介绍。

膜组件的种类：1) 折叠式组件；2) 管式膜组件；3) 板框式膜组件；4) 螺旋卷式膜组件；5) 毛细管式膜组件

对比介绍不同膜组件的几何结构、适用范围、操作条件等。

### 7.2.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.2.6 作业安排及课后反思

思考：膜组件的有何特征？

### 7.2.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

了解日常生活中的膜分离过程。

### 7.2.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第三章膜组件部分。

## 7.3 教学单元三（以压力为驱动力的膜过程：反渗透，纳滤）

### 7.3.1 教学日期

第六周一，1-2 节

### 7.3.2 教学目标

1.掌握以压力为推动力的膜过程的分类；掌握微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的孔径大小和操作压力；

2.了解微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的传递过程；了解膜污染及其防治；

3.了解微滤、超滤、纳滤和反渗透设备、流程和应用。

### 7.3.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）超滤

主要知识点：超滤膜过程的定义；超滤的传质过程；超滤的应用。

##### （2）反渗透

主要知识点：反渗透膜过程的定义；反渗透的传质过程；反渗透的应用。

##### （3）微滤和纳滤

主要知识点：微滤膜过程；纳滤膜过程。

## 2. 教学重点和难点

教学重点是以压力为推动力的膜过程的分类；微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的孔径大小和操作压力；微滤、超滤、纳滤和反渗透设备、流程和应用。

教学难点是微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的传递过程机理。

### 7.3.4 教学过程

过程要进行一定就需要推动力，如温差是传热推动力，浓度差是传质推动力。反渗透、纳滤、超滤和微滤是以压力差为推动力的膜分离过程。

反渗透、纳滤、超滤和微滤四种分离技术的使用范围及操作条件等。主要从分离粒径强调不同方法的主要应用；

反渗透：定义，在高于渗透压差的推动力下，使溶剂透过半透膜，达到脱盐的目的。重点：溶剂从低浓度到高浓度。

$$\text{渗透压的计算： } \pi = RT \sum_{i=1}^n c_i$$

反渗透传质模型及机理：

- 1) 优先吸附-毛细孔流动机理；
- 2) Kedem-Katchalsky 不可逆热力学模型；
- 3) 溶解-扩散模型；

反渗透操作参数

- 1) 膜通量及其计算；
- 2) 反渗透截留率。

反渗透工艺流程：1) 级、段的定义及划分；

- 2) 过程回收率与溶质损失率的关系。

纳滤：分离特性与反渗透类似，又称低压反渗透，膜一般带负电荷，对 200 以上的有机物有分离作用。

$$\text{纳滤恒容脱盐： } \frac{V_p}{V_0} = -\frac{1}{D} \ln(1 - D_t)$$

讲解例题 3-3：恒容脱盐的应用。

### 7.3.5 教学方法

本节主要采用讲授法、提问法和举例法。

### 7.3.6 作业安排及课后反思

课后思考：以压力为推动力的分离过程，不同过程间的本质区别是什么？

### 7.3.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第三章反渗透和纳滤。

### 7.3.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第三章反渗透、纳滤部分。

## 7.4 教学单元四（以压力为驱动力的膜过程：超滤，微滤）

### 7.4.1 教学日期

第六周五，1-2 节

### 7.4.2 教学目标

- 1.掌握以压力为推动力的膜过程的分类；掌握微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的孔径大小和操作压力；
- 2.了解微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的传递过程；了解膜污染及其防治；
- 3.了解微滤、超滤、纳滤和反渗透设备、流程和应用。

### 7.4.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）超滤

主要知识点：超滤膜过程的定义；超滤的传质过程；超滤的应用。

##### （2）反渗透

主要知识点：反渗透膜过程的定义；反渗透的传质过程；反渗透的应用。

##### （3）微滤和纳滤

主要知识点：微滤膜过程；纳滤膜过程。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是以压力为推动力的膜过程的分类；微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的孔径大小和操作压力；微滤、超滤、纳滤和反渗透设备、流程和应用。

教学难点是微滤、超滤、纳滤和反渗透膜的传递过程机理。

#### 7.4.4 教学过程

超滤：截留大于膜孔直径的分子，膜的物化性质对分离影响很小。

超滤传质模型：

1) 位阻-微孔模型： $L_p = (r_p^2 / 8\mu)(A_k / \Delta x)$

2) 渗透压阻力模型： $J_w = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu(R_m + R_c)}$

3) 浓差极化边界层与凝胶层阻力模型。

超滤工艺流程

体积浓缩比： $VCR = V_0 / V_R$

洗滤工艺：被超滤混合溶液加入溶剂，增加总渗透量的同时，带走在溶液中的小分子溶质。可采用并流或逆流多级洗滤工艺。

浓缩工艺：分为间歇式和连续式。

微滤：即微孔过滤，一般用于分离直径在  $10 \mu\text{m}$  以下的微粒。微滤与传统过滤非常相似，可用传统过滤数学模型描述。

#### 7.4.5 教学方法

本节主要采用讲授法、提问法和举例法。

#### 7.4.6 作业安排及课后反思

课后思考：分离压差的计算及影响因素。

#### 7.4.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习，化工原理非均相物系分离部分和本课程第三章超滤和微滤。

#### 7.4.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第三章超滤和微滤部分。

### 7.5 教学单元五（以浓度为推动力的膜过程：气体渗透、渗透汽化和膜基吸收）

#### 7.5.1 教学日期

第七周一，1-2 节

## 7.5.2 教学目标

1. 了解渗透的传递过程；了解渗透的应用；了解气体在孔道中的传递；了解努森扩散的表述；了解渗透汽化膜过程简介。
2. 掌握气体分离的应用。

## 7.5.3 教学内容（含重点、难点）

### 1. 教学内容

#### （1）气体渗透

主要知识点：气体渗透膜过程的定义；渗透的传质过程；渗透的应用。

#### （2）气体分离

主要知识点：努森扩散；气体分离的膜过程；气体分离的应用。

#### （3）渗透汽化

主要知识点：渗透汽化膜过程；渗透汽化的应用。

### 2. 教学重点和难点

教学重点是气体渗透的传递过程；气体渗透的应用；气体在孔道中的传递；努森扩散的表述；气体分离的应用。

教学难点是努森扩散的表述。

## 7.5.4 教学过程

以浓度差为推动力的分离过程，用于分离气体混合物，即利用气体在膜内溶解、扩散性质的不同，实现组分分离。

气体在膜内的传递机理：

1) 多孔膜内的气体扩散：膜为多孔，气体渗透通量可用菲克定律描述：

$$J_i = \frac{D_M}{RTl_m}(p_h - p_l)$$

$$Kn = \lambda / d_p$$

$Kn \leq 0.01$ ：膜孔远大于气体分子平均自由程，可用 Hagen-Poiseuille 定律求通量，式（4-3）；

$Kn \gg 1.0$ ：气体平均自由程大于膜孔径，呈努森扩散，式（4-4）；

$Kn$  介于以上两种流动之间：二者贡献均需考虑，按（4-5）计算。

2) 非多孔膜内的扩散：膜无孔，气体在膜内通过溶解和扩散传递，其

传递过程包括三步，图 4-4.

$$\text{渗透通量: } J_i = D_i H_i \frac{p^0 - p^L}{l_m}$$

影响气体渗透性的因素:

- 1) 气体分子的动力学直径与体积;
- 2) 膜材料对膜分离性能的影响;
- 3) 操作压力与温度的影响: 温度对溶解度的影响:

$$H = H_0 \exp(\Delta H_H / RT)$$

- 4) 溶剂型气体分子的影响。

例题 4-3 讲解。

气体分离的计算:

- 1) 气体膜分离流程: 全混流、逆流、并流和错流。
- 2) 单级气体渗透计算:

$$\text{局部分离因子: } \alpha_{A/B} = \alpha = \alpha_{A/B}^* \left[ \frac{x_{R_A}(\alpha - 1) + 1 - r\alpha}{x_{R_A}(\alpha - 1) + 1 - r} \right]$$

$$\frac{y_A}{1 - y_A} = \alpha_{A/B}^* \left[ \frac{x_A - r y_A}{(1 - x_A) - r(1 - y_A)} \right]$$

### 7.5.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.5.6 作业安排及课后反思

思考: 以浓度为推动力和以压差为推动力分离的异同点。

### 7.5.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第四章气体渗透、渗透汽化和膜基吸收。

### 7.5.8 参考资料 (具体到哪一章节或页码)

《新型分离技术》，陈欢林主编，第四章气体渗透、渗透汽化和膜基吸收部分。

## 7.6 教学单元六 (以浓度为推动力的膜过程: 气体渗透、渗

## 透汽化和膜基吸收)

### 7.6.1 教学日期

第七周五, 1-2 节

### 7.6.2 教学目标

1. 了解渗透的传递过程; 了解渗透的应用; 了解气体在孔道中的传递; 了解努森扩散的表述; 了解渗透汽化膜过程简介。

2. 掌握气体分离的应用。

### 7.6.3 教学内容 (含重点、难点)

#### 1. 教学内容

##### (1) 气体渗透

主要知识点: 气体渗透膜过程的定义; 渗透的传质过程; 渗透的应用。

##### (2) 气体分离

主要知识点: 努森扩散; 气体分离的膜过程; 气体分离的应用。

##### (3) 渗透汽化

主要知识点: 渗透汽化膜过程; 渗透汽化的应用。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是气体渗透的传递过程; 气体渗透的应用; 气体在孔道中的传递; 努森扩散的表述; 气体分离的应用。

教学难点是努森扩散的表述。

### 7.6.4 教学过程

#### 渗透汽化和蒸汽渗透

定义, 渗透汽化 (per-vaporation): 先渗透后汽化, 即混合物中某组分先选择性透过膜, 在膜的下游汽化。优选含量少的组分透过膜, 以降低能耗。

蒸汽渗透 (vapor permeation): 先汽化后渗透, 即气相进料, 以蒸汽形式透过膜。

渗透通量:  $J_A = Q_A(p_A^0 x_A \gamma_A - f_A p_2 y_A)$

分离因子, 表示组分的分离难易程度:  $\frac{Q_A \gamma_A p_A^0}{Q_B \gamma_B p_B^0} = \frac{y_A(1-x_A)}{x_A(1-y_A)} = \alpha$

影响工艺设计的主要因素：

- 1) 复合膜材料特性与分离体系；
- 2) 料液浓度；
- 3) 操作温度和压力的影响： $J = J_0 \exp(-E_p / RT)$

膜基吸收：通过膜实现气液接触，又称膜接触器，膜提供气液接触场所，即利用膜的大比表面积，可用于吸收或汽提。

特点：所有膜表面均能有效接触气体；两相流量可单独改变，不会产生液泛、滴漏或泡沫等。

膜基吸收的传质：

- 1) 气体充满膜孔的传质：
- 2) 液体充满膜孔的传质：
- 3) 同时解吸-吸收的传质：
- 4) 膜基化学吸收。

膜基吸收设计参数：

- 1) 管程传质系数；
- 2) 壳程传质系数； $Sh = \alpha Re^{0.6} Sc^{0.33}$
- 3) 穿透压； $\Delta p_{cr} = \frac{2\gamma \cos \theta}{r_p}$

### 7.6.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.6.6 作业安排及课后反思

比较：气体分离和溶液分离的异同。

### 7.6.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第四章气体渗透、渗透汽化和膜基吸收。

### 7.6.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第四章气体渗透、渗透汽化和膜基吸收部分。

## 7.7 教学单元七（以电位差为推动力的膜过程：透析、电渗析和膜电解）

### 7.7.1 教学日期

第八周一，1-2 节

### 7.7.2 教学目标

1. 掌握电渗析膜过程的定义；掌握膜电解的定义；
2. 了解膜电解的传质。

### 7.7.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）电渗析

主要知识点：电渗析膜过程的定义；电渗析的传质过程；电渗析的应用。

##### （2）膜电解

主要知识点：膜电解的定义；膜电解的传质；膜电解的应用。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是电渗析；膜电解。

教学难点是电渗析的传质过程；膜电解的传质。

### 7.7.4 教学过程

电渗析和膜电解都是以电位差为推动力的膜过程，适用于带电离子或分子的分。不带电组分不适用。

膜分为阴离子膜和阳离子膜。膜电解在电极上有反应，常伴有气体产生。

透析是典型的以浓度差为推动力的膜过程，主要用于从含大分子组分的混合物中脱除盐和其他低分子小物质。

透析是溶质依靠在膜两侧液体中的浓度差与膜的孔径大小，从膜的进料侧通过透析膜流向透析液侧的过程。

电渗析：是指在直流电场作用下，溶液中的荷电离子选择性定向迁移透过离子交换膜并除去的一种膜分离技术。

电渗析与反渗透：电渗析为溶液中离子透过膜除去，反渗透为溶剂透过膜分离，以盐水为例，前者是盐透过膜，后者是水透过膜。

迁移方向：阳离子在电场作用下向阴极迁移，穿过带负电荷的阳离子交换膜，而被带正电荷的阴离子交换膜挡住，此称为反离子迁移。即膜以其能通过的离子的性质命名。

两个基本条件：1) 直流电场，使正负离子分别向两极定向移动；2) 膜的选择性透过，使离子实现反迁移。

#### 电渗析过程原理

电渗析是指在直流电场的作用下，溶液中的荷电离子选择性地定向迁移透过离子交换膜并得以去除的一种膜分离技术。

#### 电渗析基本理论

1) Sollner 双电层理论：异性电荷相吸；膜中固定离子越多，吸引力越强，选择性越好；在电场作用下，溶液中的阳离子作定向连续迁移通过带负电的阳膜。

2) Gibbs-Donnan 膜平衡理论：膜上  $c_R^-$  趋向 0，则式 5-13 右边接近 1，膜无选择性；当膜上  $c_R^-$  趋向无穷大，也即膜上的同名离子很少，则膜的选择性趋向 100%；当被处理溶液中的  $c_{Cl^-} \gg$  膜上  $c_R^-$ ，即溶液中的  $c_{Cl^-}$  很大，膜内  $c_R^-$  很小，膜的选择性下降。

电渗析过程中的传递现象：以盐水电渗析为例：

- 1) 反离子迁移；
- 2) 同名离子迁移；
- 3) 电解质渗析；
- 4) 水的渗透；
- 5) 水的分解；
- 6) 水的电渗析；
- 7) 压差渗漏。

### 7.7.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.7.6 作业安排及课后反思

### 7.7.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第五章，透析、电渗析和膜电解。

### 7.7.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第五章气体透析、电渗析和膜电解部分。

## 7.8 教学单元八（以电位差为推动力的膜过程：透析、电渗析和膜电解）

### 7.8.1 教学日期

第八周五，1-2 节

### 7.8.2 教学目标

1. 掌握电渗析膜过程的定义；掌握膜电解的定义；
2. 了解膜电解的传质。

### 7.8.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）电渗析

主要知识点：电渗析膜过程的定义；电渗析的传质过程；电渗析的应用。

##### （2）膜电解

主要知识点：膜电解的定义；膜电解的传质；膜电解的应用。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是电渗析；膜电解。

教学难点是电渗析的传质过程；膜电解的传质。

### 7.8.4 教学过程

膜电解——利用阳离子交换膜将电解槽的阳极和阴极隔开，进行食盐水电解制取氯气和烧碱，或其他无机盐电解还原的一种膜技术，具有能耗低、无污染、产品纯度高、操作方便、投资省等优点。

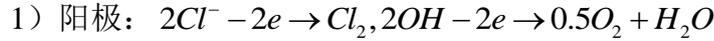
离子电解膜主要用于氯碱工业中制备氢氧化钠。

膜的差异主要在于膜的含水率，含水率高的导电性大。

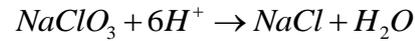
- 1) Du Pont 公司的 Nafion 膜；

- 2) 日本旭硝子公司的 Flemion 膜;
- 3) 日本旭化成公司的 Aciplex 膜。

膜电解槽化学反应:



3) 阳极室内溶液发生的反应: 溶解氯会与从阴极室反渗透过来的烧碱反应;



物料衡算:

- 1) 电解槽中的钠离子平衡;
- 2) 电解槽中的氯离子平衡;
- 3) 阳极室中氢氧根离子的平衡;
- 4) 阳极室内氯气的平衡;
- 5) 氧气的平衡;
- 6) 阴极室内氢氧根的平衡。

$$\text{电解定律: } m = \frac{M_B Q}{nF} = \frac{M_B Itk}{nF} \quad (5-90)$$

$$\text{电解槽电压: } V = V_0 + V_m + \eta_{\text{阳}} + \eta_{\text{阴}} + IR_{\text{液}} + IR_{\text{金}}$$

理论分解电压指的是电解质开始分解时所必需的最低电压。

$$V_0 = \frac{Q}{nF} + T \frac{dE}{dT}$$

### 7.8.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.8.6 作业安排及课后反思

P132-133:5-1,5-8.

### 7.8.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第五章, 透析、电渗析和膜电解。

### 7.8.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第五章气体透析、电渗析和膜电解部分。

## 7.9 教学单元九（特种精馏技术）

### 7.9.1 教学日期

第九周五，1-2 节

### 7.9.2 教学目标

1. 掌握膜蒸馏、分子蒸馏、反应精馏的定义；
2. 了解膜蒸馏的传质过程；了解分子蒸馏的传递过程。

### 7.9.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）膜蒸馏

主要知识点：膜蒸馏的定义；膜蒸馏的传质过程；膜蒸馏的传热的流程；膜蒸馏的设备；膜蒸馏的应用。

##### （2）分子蒸馏

主要知识点：分子蒸馏的定义；分子蒸馏的传递过程；分子蒸馏的设备和流程；分子蒸馏的应用。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是膜蒸馏、分子蒸馏、反应精馏的定义。

教学难点是膜蒸馏的传质过程、膜蒸馏的传热的流程；膜蒸馏的设备；分子蒸馏的传递过程；分子蒸馏的设备和流程。

### 7.9.4 教学过程

被分离的二元混合物中加入第三组分，该组分能与原溶液中一个或两个形成最低恒沸物，恒沸物从塔顶蒸出，纯组分从塔底排出的蒸馏过程称为恒沸精馏。加入的第三组分称为恒沸剂或夹带剂。

萃取精馏：加入第三组分，增大原组分间的相对挥发度，使精馏过程仍能进行。加入的第三组分称为萃取剂，萃取剂沸点较高，一般从塔底排出。

#### 溶剂选择原则

- 1) 尤厄尔分类法选择原则：有机物极性一般为：水 > 二醇 > 醇 > 酯 >

酮>醛>醚>烃

类型 I: 能形成三维强氢键网络的液体;

类型 II: 同时含有活性氢原子和其它供电原子;

类型 III: 仅含供电原子的水溶性液体;

类型 IV: 仅含活性氢原子且微溶于水的液体;

类型 V: 没有形成氢键能力, 基本不溶于水的液体。

2) 同系物或结构相似性选择;

3) 萃取或共沸剂所需一般特性: 共沸剂至少能与一个组分形成共沸, 且为最低共沸。

萃取和共沸的共性: 显著改变关键组分的气液平衡关系; 化学稳定性好, 易于分离和再生; 能与原组分互溶; 无毒、无腐蚀、廉价易得。

$$\text{萃取精馏分离因子: } \alpha_{s_n} = \frac{K_s}{K_n} = \frac{y_s/x_s}{(1-y_s)/(1-x_s)}$$

萃取精馏计算: 加入萃取剂只是改变原组分间相对挥发度, 其计算可按拟二元萃取精馏计算, 简捷算法仍然适用。例 6-4。

### 7.9.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.9.6 作业安排及课后反思

思考: 特殊精馏与普通精馏的异同。

### 7.9.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第六章特殊精馏技术。

### 7.9.8 参考资料 (具体到哪一章节或页码)

《新型分离技术》, 陈欢林主编, 第六章特殊精馏技术部分。

## 7.10 教学单元十 (特种精馏技术)

### 7.10.1 教学日期

第十周一, 1-2 节

### 7.10.2 教学目标

1. 掌握膜蒸馏、分子蒸馏、反应精馏的定义;

2.了解膜蒸馏的传质过程；了解分子蒸馏的传递过程。

### 7.10.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）膜蒸馏

主要知识点：膜蒸馏的定义；膜蒸馏的传质过程；膜蒸馏的传热的流程；膜蒸馏的设备；膜蒸馏的应用。

##### （2）分子蒸馏

主要知识点：分子蒸馏的定义；分子蒸馏的传递过程；分子蒸馏的设备和流程；分子蒸馏的应用。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是膜蒸馏、分子蒸馏、反应精馏的定义。

教学难点是膜蒸馏的传质过程、膜蒸馏的传热的流程；膜蒸馏的设备；分子蒸馏的传递过程；分子蒸馏的设备和流程。

### 7.10.4 教学过程

分子蒸馏：又称短程蒸馏，是在高真空下进行的一种蒸馏过程，其蒸发面与冷凝面的间距小于或等于被分离物蒸汽分子的平均自由程，由蒸发面逸出的分子无碰撞地传递到冷凝面，故传质速率高。

分子蒸馏的优势和特点：蒸馏温度低、受热时间短、分离程度高等。

分子蒸馏原理：

1) 热量传递：热量通过加热面传递到液膜层内，液相内的扩散是控制分子蒸馏速率的主要原因；

2) 在高真空、远低于沸点的温度下，分子从液体表面蒸发；

3) 基于抽真空，蒸发分子向冷面喷射；

4) 分子自由程大于蒸发面-冷凝面距离的分子在冷凝面上冷凝；

5) 未蒸发的重组分和返回加热面的少量轻组分回到加热器底部。

分子蒸馏基本原理

1) 分子平均自由程： $\lambda = 8.589 \frac{\eta_L}{p} \sqrt{\frac{T}{M}}$ ，重分子平均自由程小。

2) 分子蒸发速率:  $J = p^0 x \sqrt{\frac{1}{2\pi MRT}} = 1.384 \times 10^2 p^0 x \sqrt{\frac{M'}{T}}$

3) 蒸发温度: 蒸发温度随分子量线性增加;

4) 分离因子:  $\alpha_M = \alpha \sqrt{M_2 / M_1}$

### 7.10.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.10.6 作业安排及课后反思

思考: 特殊精馏的应用。

### 7.10.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

复习《分离工程》多组分精馏简捷算法部分。

### 7.10.8 参考资料 (具体到哪一章节或页码)

《新型分离技术》, 陈欢林主编, 第六章特殊精馏技术部分。

## 7.11 教学单元十一 (新型萃取技术)

### 7.11.1 教学日期

第九周一, 1-2 节

### 7.11.2 教学目标

1. 了解新型萃取技术的分类; 了解超临界流体萃取热力学; 了解超临界流体萃取的设备和流程; 了解超临界流体萃取的应用; 了解反胶团萃取蛋白质的推动力; 了解反胶团萃取的工艺流程; 了解双水相形成的热力学基础; 了解双水相萃取的应用。

2. 掌握超临界流体的性质; 掌握反胶团的定义; 掌握双水相萃取的原理。

### 7.11.3 教学内容 (含重点、难点)

#### 1. 教学内容

##### (1) 超临界萃取

主要知识点: 超临界流体; 超临界萃取的热力学基础; 超临界萃取的流程; 超临界萃取的设备; 超临界萃取的应用。

##### (2) 反胶团萃取

主要知识点：生化分离过程简介；反胶团的定义；反胶团萃取的热力学基础；反胶团萃取的设备和流程；反胶团萃取的应用。

### (3) 双水相萃取

主要知识点：双水相的定义；双水相萃取的热力学基础；双水相萃取的设备和流程。

## 2. 教学重点和难点

教学重点是超临界萃取；反胶团萃取；双水相萃取。

教学难点是各种萃取技术的热力学基础。

## 7.11.4 教学过程

### 1. 超临界流体萃取

定义：利用超临界条件下的流体作为萃取剂，从液体或固体中萃取出特定组分。

超临界流体萃取介于精馏和液体萃取之间。

特点：萃取剂在常压和室温下为气体，萃取后易于萃余相和萃取组分分离；在较低温度下操作，特别适合于天然物质的分离；可通过调节压力、温度和引入夹带剂等调节溶解能力，并可通过调节温度和压力把萃取组分引入到希望的产品中。

超临界流体的性质

1) 超临界流体的 p-V-T 性质：临界温度之上不会液化，但密度随压力增加；

2) 超临界流体相图：图 7-4；

超临界流体的相平衡

1) 超临界流体的溶解能力：与流体种类密切相关；

2) 溶解增强因子： $E = y_2 p / p_2^s$

3) 相界平衡计算状态方程：

超临界流体传递性质

1) 超临界流体的黏度：

2) 超临界流体的扩散系数：

3) 夹带剂对溶解度的影响

超临界流体萃取典型流程：等温、等压、吸附法。

1) 变压萃取分离（等温）：通过改变压力调整溶解度，实现分离；

2) 变温萃取分离（等压）：利用温度改变溶解度。

3) 吸附萃取法：利用超临界流体的强吸附能力实现分离。

## 2. 双水相萃取

定义：浓度不同形成不互溶的两个水相。

1) 双水相系统：可形成双水相的物质，表 7-7.

2) 双水相组成的定量关系：杠杆规则。

双水相系统作用力

1) 静电作用；

2) 疏水作用；

3) 界面张力作用。

### 7.11.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

### 7.11.6 作业安排及课后反思

思考：超临界流体用作萃取剂有哪些优点？

### 7.11.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第七章，新型萃取分离技术。

### 7.11.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第七章新型萃取分离技术部分。

## 7.12 教学单元十二（吸附、离子交换和色谱分离）

### 7.12.1 教学日期

第十一周五，1-2 节

### 7.12.2 教学目标

1. 掌握吸附、离子交换、色谱分离的基本原理；

2. 了解吸附、离子交换、色谱分离的流程和应用。

### 7.12.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

### (1) 吸附

主要知识点：常用的吸附剂；吸附平衡和等温吸附方程；吸附分离的设备和流程；吸附分离的应用。

### (2) 离子交换

主要知识点：常用的离子交换树脂；离子交换传递过程；离子交换的设备和流程；离子交换的应用。

### (3) 色谱分离

主要知识点：色谱的分类；色谱分离的传递过程；色谱分离的应用。

## 2. 教学重点和难点

教学重点是吸附、离子交换、色谱分离的基本原理。

教学难点是吸附、离子交换、色谱分离的流程。

## 7.12.4 教学过程

### 1. 吸附分离

用固体吸附剂处理气体或液体混合物，将其中所含的一种或几种组分吸附在固体表面上，从而实现混合物的组分分离。常用的传统吸附剂有活性炭、活性白土、硅藻土、硅胶、活性氧化铝、分子筛、合成树脂等。吸附在工业上的主要用途有：气体和液体的深度干燥；食品、药品等的脱色、脱臭；异构体分离；空气分离；废水和废气处理等。

吸附剂的特征：多孔、比表面大。

常用吸附剂：活性炭、沸石分子筛、离子交换树脂等。

分离机理：1) 筛分机理；2) 分子极性强弱；3) 与吸附剂表面基团相互亲和；4) 立体和机构作用识别；5) 吸附剂表面的疏水性作用等等。

按流体与吸附剂分子间的作用力，分为物理吸附和化学吸附。

1) 纯组分气相吸附平衡：五类等温吸附

A、Langmuir 等温吸附方程：
$$q = q_m \frac{Kp}{1 + Kp}$$

B、Langmuir-Freundlich 等温吸附方程：
$$q = kq^{1/n}$$

C、Toch 和 Unilan 等温吸附方程：
$$q = \frac{mp}{(b + p^t)^{1/t}}$$

2) 混合气体吸附平衡: 假定组分间无相互作用, 则可用扩展的 Langmuir 等温吸附方程:

$$q_i = q_{mi} \frac{K_i p_i}{1 + \sum_j K_j p_j}$$

3) 溶液吸附平衡

- A、同族有机物, 分子量越大, 吸附量越大;
- B、分子量相同的有机物, 芳香族比脂肪族类易吸附;
- C、直链比侧链化合物易吸附;
- D、溶解度越小, 疏水性越强, 越易吸附;
- E、置换位置不同的异构体化合物, 吸附性能有差异。

当溶液浓度比较低时, 将 Langmuir 方程和 Freundlich 方程的压力用浓度代替, 仍适用。

吸附传质机理: 4 步

- 1) 吸附质从主体流通过分子与对流扩散传递到吸附剂外表面;
- 2) 吸附质通过孔扩散从吸附剂外表面传递到微孔内表面;
- 3) 吸附质沿孔表面的表面扩散;
- 4) 吸附质被吸附在空表面。

化学吸附是吸附质与吸附剂之间有键形成, 一般第四步比较慢, 为控制步骤; 对物理吸附, 吸附通常由扩散控制。

A、颗粒外表面的传递机理: 即固定床吸附

对于单个颗粒:

$$\text{传热: } Nu = 2 + 0.6 Re^{0.5} Pr^{0.33}, \quad \text{传质: } Sh_i = 2 + 0.60 Sc_i^{0.5} Re^{0.5}$$

$$\text{修正: } Sh_i = \frac{k_c D_p}{D_i} = 2 + 1.1 \left( \frac{D_p G}{\mu} \right)^{0.6} \left( \frac{\mu}{\rho D_i} \right)^{1/3}$$

$$Nu = \frac{h D_p}{k} = 2 + 1.1 \left( \frac{D_p G}{\mu} \right)^{0.6} \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3}$$

B、颗粒内部的传质: 吸附质在微孔内的扩散一般为分子扩散, 可用菲克第一定律描述:

$$(N_i)_a = \frac{n_i}{A} = -(D_i)_a \frac{dc_i}{dx}$$

### C、扩散系数的经验式

液相分子扩散系数： $D_{AB} = \mu V_m / 131.5\eta$

大孔吸附剂颗粒内扩散系数  $D_p$ ：式 8-21, 8-22.

#### 吸附分离特性参数

1) 穿透曲线：一般为 S 形，一般选择进料浓度的 5-10% 为穿透点。

2) 优惠与非优惠吸附线：

3) 传质区理论长度：

A、当床层长度为 L 时，透过时间可用式 8-28 计算；

B、传质区高度  $L_a$ ：可由式 8-29 计算。

4) 残余吸附量  $q_R$ ：残余吸附量是指经再生后吸附剂中残余吸附负荷。

由于反复再生，吸附量减少，原因可能有：

A、吸附剂表面为碳沉积叠合物或一些化合物覆盖；

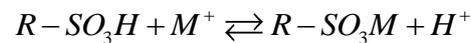
B、加热过程是吸附剂还原为半熔融状态，堵塞微孔；

C、化学反应将结晶部分破坏。

5) 床层高度与直径。

## 2. 离子交换

离子交换法制备纯水。离子交换树脂是有机高分子聚合物，由交换剂本体和交换基团两部分组成。例如：聚苯乙烯磺酸型强酸性阳离子交换树脂就是苯乙烯和一定量的二乙烯苯的共聚物，经过浓硫酸处理，在共聚物的苯环上引入磺酸基（ $-SO_3H$ ）而成，其中的  $H^+$  可以和溶液中的金属离子进行交换：



1) 离子交换平衡及选择性系数：

对于稀溶液，离子交换具有以下规律：二价离子对树脂的亲合力大于一价离子；同价离子的亲合力与其水合离子半径成反比。

A、1-1 价离子交换平衡；

B、1-2 价离子交换平衡。

2) 选择性系数相关工程参数估算

A、离子交换出水泄露量计算；

B、树脂极限工作交换容量计算；

C、树脂再生度极限值计算。

离子交换过程设计

1) 离子交换树脂用量估算:  $V_r = c_0 \zeta u t_s / (1 + \zeta) Q$

2) 离子交换柱长度确定:  $L_B = LES + LUB$

$$LUB = \frac{t_s - t_b}{t_s} L_e, \quad LES = \frac{4c_F Q_F t_b}{q_F \rho_b \pi D^2}$$

3) 离子交换循环量计算。

### 7.12.5 教学方法

本节主要采用讲授法、对比法和举例法。

### 7.12.6 作业安排及课后反思

思考: 吸附、离子交换和色谱分离的应用领域及特点。

### 7.12.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习, 第八章吸附、离子交换与色谱分离。

### 7.12.8 参考资料(具体到哪一章节或页码)

《新型分离技术》, 陈欢林主编, 第八章吸附、离子交换与色谱分离部分。

## 7.13 教学单元十三(吸附、离子交换和色谱分离)

### 7.13.1 教学日期

第十二周一, 1-2 节

### 7.13.2 教学目标

1. 掌握吸附、离子交换、色谱分离的基本原理;
2. 了解吸附、离子交换、色谱分离的流程和应用。

### 7.13.3 教学内容(含重点、难点)

#### 1. 教学内容

##### (1) 吸附

主要知识点: 常用的吸附剂; 吸附平衡和等温吸附方程; 吸附分离的设备和流程; 吸附分离的应用。

## (2) 离子交换

主要知识点：常用的离子交换树脂；离子交换传递过程；离子交换的设备和流程；离子交换的应用。

## (3) 色谱分离

主要知识点：色谱的分类；色谱分离的传递过程；色谱分离的应用。

## 2. 教学重点和难点

教学重点是吸附、离子交换、色谱分离的基本原理。

教学难点是吸附、离子交换、色谱分离的流程。

## 7.13.4 教学过程

### 3. 色谱分离

色谱（层析）是一类分离技术的总称。在色谱分离中，被分离物质的分子在两相（固定相和流动相）之间分配，亲固定相的分子在系统中移动较慢，而亲流动相的分子则随流动相较快地流出系统，从而实现了不同物质之间的分离。固定相通常都是固体，流动相（也称为洗脱相）则可以是气体或液体。如流动相是液体（通常是水相缓冲液），称为液相色谱。

常见的色谱分离方法是柱色谱（柱层析）。在柱色谱中，将固定相装填在一根管子（称之为色谱柱）中，流动相则泵送进入色谱柱。被分离的样品被加到色谱柱的上游，随着流动相向下游移动，依固定相对不同组分分子的吸附能力从弱到强，样品中的不同组分在色谱柱中的移动速度由快到慢，在色谱柱的下游按其流出顺序分别加以收集，即可实现对样品中不同组分的分离。

色谱中最常用的吸附剂是微孔氧化铝和微孔硅胶，其次是活性炭、氧化镁和碳酸盐。

1) 亲和色谱：亲和分离过程，用于分离与之特异结合物质的分子称为配基，常将配基偶联在载体上。可分为特异性配基和通用性配基。

由于生物分子直径较大，亲和吸附过程会受到分子空间效益的影响，常在膜与亲和配基之间连接一个“手臂”。

2) 手性色谱：用于光学对映异构体的分离。

流动相需满足的条件：

1) 选择系数接近 1，以便流动相和待分离组分间可进行可逆的吸附交

换；

2) 易与被分离组分分离。

A、吸附色谱：利用流动相中溶质各组分分别与吸附剂固相之间的相平衡关系的差异，使各组分在固定相内的保留能力不同而达到分离；

B、离子交换色谱：包括高效离子交换色谱、离子排斥色谱和离子流动色谱三种。

C、(正)反相色谱：即离子对色谱，是通过在流动相中加入合适的、与进料离子相反电荷的离子，使其余进料缔合成中性离子对化合物，以增大其保留值而达到良好的分离效果。

D、凝胶色谱：基于溶质分子的大小及其在色谱柱内的迁移速率差异来达到分离的一种技术。

E、亲和(膜)色谱：利用偶联于载体上的亲和配基对特定大分子的亲和作用达到大分子的分离和纯化。

色谱分离基本参数

1) 分配系数和分离因子： $K_{di} = c_{ri} / c_{li}$  ,  $\alpha = \frac{K_{da}}{K_{db}} = \frac{t_a - t_n}{t_b - t_n}$

2) 标准偏差和理论板数： $N = \left(\frac{t}{\sigma t}\right)^2 = \left(\frac{1}{\sigma}\right)^2$

3) 色谱分离度： $R_s = \frac{t_{R2} - t_{R1}}{(W_1 + W_2)/2} = \frac{t_{R2} - t_{R1}}{4\sigma_{21}}$

4) 容量因子：描述色谱柱内的溶质迁移速率： $k' = \frac{K}{\phi} = \frac{K}{V_M/V_S}$

5) 理论板当量高度： $HETP = L/N$

### 7.13.5 教学方法

本节主要采用讲授法、对比法和举例法。

### 7.13.6 作业安排及课后反思

思考：吸附、离子交换和色谱分离的应用领域及特点。

### 7.13.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习，第八章吸附、离子交换与色谱分离。

### 7.13.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第八章吸附、离子交换与色谱分离部分。

## 7.14 教学单元十四（液膜分离）

### 7.14.1 教学日期

第十周五，1-2 节

### 7.14.2 教学目标

1. 掌握液膜的定义；
2. 了解液膜的组成、液膜的制备和稳定性、液膜的制备和稳定性、液膜分离的传递过程、液膜分离的流程和设备。

### 7.14.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

（1）液膜的定义、组成、制备和稳定性

主要知识点：液膜的定义；液膜的组成；液膜的制备和稳定性。液膜分离的传递过程；液膜分离的流程和设备；液膜分离的应用。

（2）液膜分离的传递过程、液膜分离的流程和设备

主要知识点：

#### 2. 教学重点和难点

教学重点是液膜的定义；液膜分离的传递过程；液膜分离的流程和设备。

教学难点是液膜的制备和稳定性；液膜分离的传递过程；液膜分离的流程和设备。

### 7.14.4 教学过程

什么是液膜？——液膜是悬浮在液体中很薄的一层乳液微粒，可以是水也可以是有机溶剂。

什么是液膜分离？——将第三种液体展成膜状以分隔开两个液相，由于膜的选择性透过性，可使原料液中某些组分透过液膜进入接受液，实现组分分离。

液膜主要有以下几部分组成：

1、膜溶剂：是成膜的基本物质，一般为水或有机溶剂；根据液膜的稳定性和对溶质的溶解性选择。

2、表面活性剂：含油亲水基和疏水基，可定向排列固定水油分界面；可明显降低液体的表面张力或两相的界面张力，直接影响液膜的稳定性、渗透速率、分离效率等。

3、膜增强添加剂：根据膜的特殊需要添加；用于增加膜的稳定性。

4、流动载体：可选择性迁移制定溶剂或离子；常为某种萃取剂。

### 膜的分类

从形状上：分为支撑型液膜和球形液膜，球形液膜包括液滴膜和乳状膜。

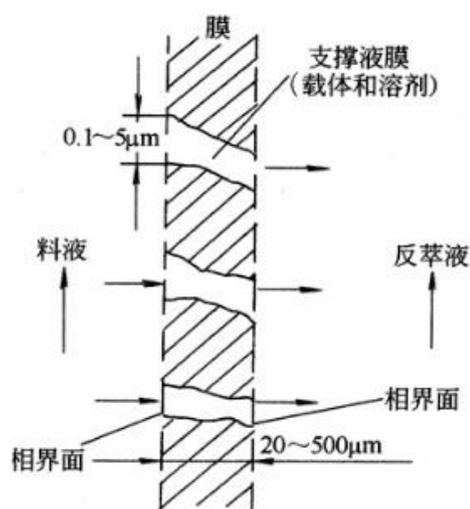
### 支撑液膜

1) 制作：将多孔支撑体浸在有机溶液中，溶液充满微孔形成液膜；

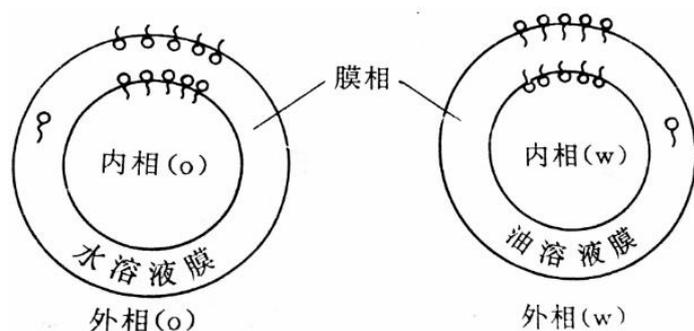
2) 多孔支撑体材料：聚砷、聚四氟乙烯、聚丙烯和醋酸纤维等；

3) 特性：膜传质面积小，稳定性差，支撑液体易流失；

4) 应用：物质萃取。

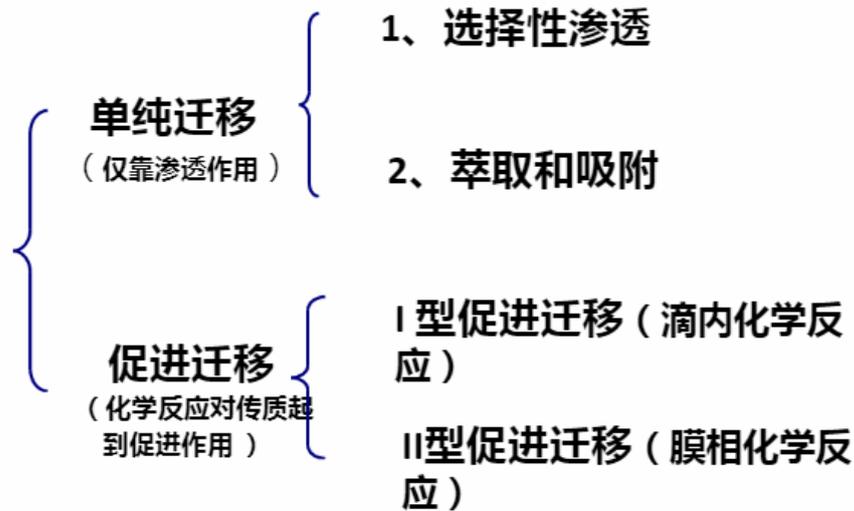


球形液膜：1) 液滴膜 (1-5mm)



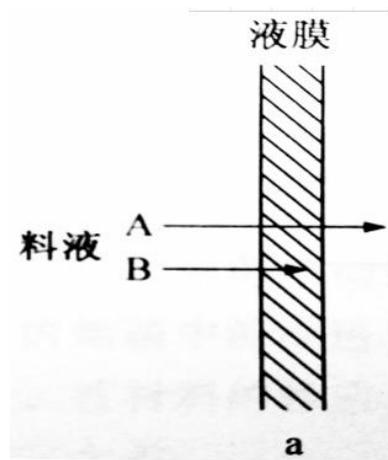
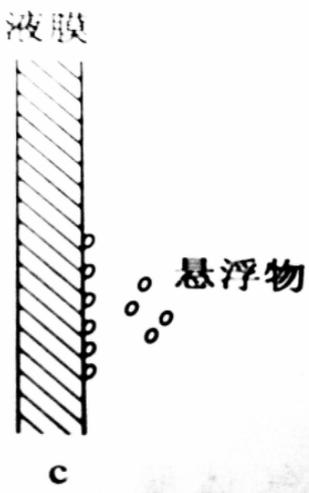
2) 乳液膜：1-100 μ m

### 液膜分离机理



选择性渗透：膜内不含流动载体，内外两侧均不含有与待分离物质发生化学反应的试剂。

利用原料中组分在液膜中的溶解度和扩散系数的不同而导致透过膜的速率不同来实现分离。



萃取和吸附：液膜分离

过程具有萃取和吸附的性质，它能把有机化合物萃取和吸附到液膜上。

液膜分离举例：含酚废水处理、废水中重金属离子的回收。

#### 7.14.5 教学方法

本节主要采用讲授法、比较法和举例法。

#### 7.14.6 作业安排及课后反思

思考：液膜分离的优点及应用领域。

#### 7.14.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第九章，液膜分离。

#### 7.14.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第九章液膜分离技术部分。

### 7.15 教学单元十五（泡沫分离）

#### 7.15.1 教学日期

第十一周一，1-2 节

#### 7.15.2 教学目标

1. 掌握泡沫分离的定义；
2. 了解泡沫的形成和结构、泡沫的稳定性、泡沫分离的传递过程、理想泡沫模型、泡沫分离的流程和设备。

#### 7.15.3 教学内容（含重点、难点）

##### 1. 教学内容

（1）泡沫分离的定义、泡沫的形成和结构

主要知识点：泡沫分离的定义；泡沫的形成和结构；泡沫的稳定性。

（2）泡沫分离的传递过程、泡沫分离的流程和设备

主要知识点：泡沫分离的传递过程；理想泡沫模型；泡沫分离的流程和设备。

##### 2. 教学重点和难点

教学重点是泡沫分离的定义；泡沫分离的传递过程；理想泡沫模型；泡沫分离的流程和设备。

教学难点是泡沫分离的传递过程；液膜分离的流程和设备。

#### 7.15.4 教学过程

定义：根据表面吸附的原理，利用通气鼓泡在液相中形成的气泡为载体，对液相中的溶质或颗粒进行分离，因此又称泡沫吸附分离，也称泡沫分级或鼓泡分级。

卡格等将其分为有泡沫分离和无泡沫分离两种。

1) 有泡沫分离

A、泡沫分馏：用于分离溶解的物质；

B、泡沫浮选：用于分离不溶解的物质。

根据分离对象分类：矿物浮选、粗颗粒浮选和微粒浮选、粒子浮选和分子浮选、沉淀浮选、吸附胶体浮选。

2) 无泡沫分离：用鼓泡进行分离，但不一定形成泡沫。

A、鼓泡分馏：从塔设备底部通气鼓泡，表面活性物质被气泡富集并上升至塔顶，和液相主体分离，使溶质得到浓缩，液相主体被净化。

B、溶媒浮选：在溶液顶部置有一种与其不相溶的溶剂，用它来萃取或富集有塔底鼓出的气泡所吸附的表面活性物质。

泡沫分离的基本原理

两个必要条件：1) 所需分离溶质应为表面活性物质，或能与表面活性剂相结合的物质，他们都可吸附在气液界面上。

2) 富集质在分离过程中籍泡沫与原料液分离并在塔顶富集。

分离作用主要取决于组分在气液界面上吸附的选择性和程度，其本质是各种物质在溶液中表面活性的差异。

1.吸附方程及螯合平衡：

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \frac{d\sigma}{d \ln c}$$

溶液表面张力与溶液中表面活性剂浓度的关系：

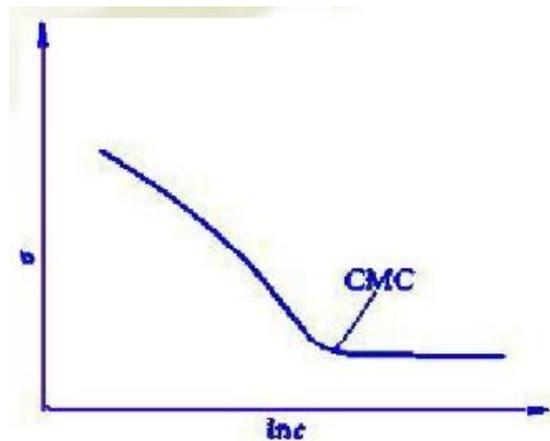
2.泡沫的性质：

- 1) 组分的化学性质和浓度；
- 2) 温度；
- 3) 气泡大小。

评价泡沫分离的指标

- 1) 分配因子：吸附溶质在气泡表面的浓度与在主体溶液中平衡浓度之比；
- 2) 脱除率：原料液中金属离子的浓度除以它在残液中的浓度，用于表示残液的脱除程度；
- 3) 增浓比：泡沫中被吸附物质浓度除以主体溶液浓度，用以表示塔顶产品的增浓程度；
- 4) 体积比：原料液的体积除以泡沫的体积。

间歇式泡沫分离过程：样品溶液置于塔底部，从塔底连续鼓入空气，在塔顶连续



排出泡沫液。

连续式泡沫分离过程：

破沫器：破沫可采用静止法、离心分离、声波、超声波、震动加热等方法。

影响泡沫分离的因素：

- A、待分离物质的种类；
- B、溶液的 pH 值；
- C、表面活性剂浓度 ‘
- D、温度；
- E、气流速度；
- F、离子强度；
- G、泡沫性质、层高、排沫方式、搅拌。

泡沫分离的优点：

- 1) 能在很低的浓度 (ppm 范围) 下有效地除去表面活性物质；
- 2) 可以出去同样浓度的非表面活性物质如金属离子等，但必须加入某种表面活性剂 (作为捕集剂) 和该富集质络合或螯合后，才能分离；
- 3) 当全塔都具有稳定的泡沫时，可利用回流尽可能增加单塔分离能力；
- 4) 可直接用于处理含有细胞碎片的料液；
- 5) 设备和操作简单，能耗低；

局限性：

- 1) 对高浓度的溶液分离效率较低；
- 2) 当用于回收非表面活性剂时，需加入高分子的表面活性剂，消耗量大，同时伴随有二次回收问题；
- 3) 在实际操作中，塔内返混现象经常发生，影响分离效果。

泡沫分离应用举例：选矿、废水处理 (重金属废水)。

### 7.15.5 教学方法

本节主要采用讲授法、下定义和举例法。

### 7.15.6 作业安排及课后反思

思考：泡沫分离的应用。

### 7.15.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习，第十章，其他分离技术：泡沫分离技术。

### 7.15.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第十章泡沫分离技术部分。

## 7.16 教学单元十六（耦合分离过程）

### 7.16.1 教学日期

第十二周五，1-2 节

### 7.16.2 教学目标

了解反应-分离的耦合和集成、分离-分离的集成。

### 7.16.3 教学内容（含重点、难点）

#### 1. 教学内容

##### （1）反应-分离的耦合与集成技术

主要知识点：催化膜反应器；渗透汽化膜反应器；膜生物反应器。

##### （2）分离-分离的耦合与集成技术

主要知识点：膜与吸收的集成；精馏与渗透汽化的集成。

#### 2. 教学重点和难点

教学重点和难点：反应-分离的耦合和集成、分离-分离的集成。

### 7.16.4 教学过程

#### 1. 反应-分离耦合

即膜反应器，包括催化膜反应器、渗透汽化膜反应器、膜生物反应器三种。

1) 催化膜反应器：将反应和膜分离结合。

2) 渗透汽化膜反应器：包括移出目标产物和去除杂质两种。

3) 膜生物反应器：包括酶膜生物反应器、膜发酵器和膜动植物细胞培养三类。

#### 2. 分离-分离集成

1) 膜与吸收-汽提集成；

2) 精馏-渗透汽化集成。

### 7.16.5 教学方法

本节主要采用讲授法和举例法。

### 7.16.6 作业安排及课后反思

思考：其他耦合集成技术。

### 7.16.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第十一章，耦合与集成技术。

### 7.16.8 参考资料（具体到哪一章节或页码）

《新型分离技术》，陈欢林主编，第十一章耦合与集成技术部分。

## 8. 课程要求

我将根据自己多年来的学习经验总结与同学们交流和分享如何学好《现代分离技术》这门专业选修课，希望能给同学们的学习提供一些启发。

### 8.1 学生自学要求

由于学时有限，教学过程中部分内容进度较快，需学生自学。

### 8.2 课外阅读要求

课后根据自己的兴趣适当阅读与本课程相关的书籍、著作及资料等。这不仅能激发学习兴趣，还可以拓展知识面。

### 8.3 课堂讨论要求

上课时做好毕节，以备后续复习查阅。积极参与课堂讨论和提问。

### 8.4 课程实践要求

课后及时复习是很有必要的，这不仅可以巩固所学知识，还可以加深对所学知识的理解以及很好的锻炼自己对知识的概括能力和总结能力。

课后复习遇到问题时，多问几个为什么，尽量依靠自己的能力解决这些问题。在解决问题的过程中学会到包括查阅资料、利用各种软件在内的各种知识。同时

也可在保持自己意见的情况下与同学进行讨论。学会使用集体的力量解决问题，当然，也可以及时与老师讨论解决问题。

认真对待课堂及课后作业与思考，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认识。

## 9. 课程考核

### 9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告等的要求

**出勤：**本课程的学习中，选课同学应该主动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。本课程将采用扣分的形式，即对无故缺席的同学（包括课后补假条的同学），每缺席 1 次平时成绩扣 5 分，直至扣完。此外，本课程允许每位同学无理由请假 3 次，但需在课前提交假条。

**迟到与早退：**上课铃后进入教室的听雪算迟到，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 分钟以上的同学算缺席 1 次；1 次无故早退的同学算缺席 1 次。

**作业、报告：**根据教学要求，须按时保质保量完成作业或报告。

### 9.2 成绩的构成与评分规则说明

根据课程教学大纲要求，课程总成绩=40%平时成绩+60%期末测试成绩。

平时成绩主要由出勤、课堂发言和课后作业组成。出勤不加分，仅扣分，具体扣分细节见 9.1 节出勤考核方式；课堂发言主要采用课堂随机抽问的方式，老师根据问题难度及回答情况给出等级分数。

### 9.3 考试形式及说明

通常情况下，本课程期末测试为开卷，题型主要包括选择、填空和简答题。如果该课程总成绩不及格（即课程总评成绩 $<60$ 分），将有且仅有一次补考机会，如果补考仍不及格，则需重修本课程。

## 10. 学术诚信

### 10.1 考试违规与作弊处理

考试违规与作弊按《四川理工学院学生考试违纪和作弊处理办法》处理。

### 10.2 杜撰数据、信息处理等

杜撰数据和信息处理，对于涉及的实验数据和处理，一经查实，该实验计零分。

### 10.3 学术剽窃处理等

实验报告和作业等，若有学术剽窃行为被查实，本次作业或报告计零分，并勒令重做。

## 11. 课堂规范

### 11.1 课堂纪律

教学过程中应遵守必要的课堂纪律，请同学尽量做到以下几点：

(1) 按时上课下课，不得迟到早退。上课期间禁止使用手机，迟到的同学应从后门进入教室并不得影响其他同学。

(2) 上课时学生衣着要整齐得体，专心听讲，认真做笔记，禁止随意交谈或阅读与上课无关的报纸或书籍。

(3) 上课期间不玩手机，请关闭手机，或将手机调至振动模式；

(4) 上课期间请不要说话或大声喧哗，干扰其他同学听课与思考；

(5) 迟到的同学请安静地找座位坐下，并认真听讲；

(6) 若在课堂期间有私事需要处理，请安静离开，到教室外解决后安静地回到座位上。

## 11.2 课堂礼仪

- (1) 请注意服装礼仪，无故穿拖鞋、背心的同学请不要进入教室；
- (2) 课堂讲授过程中若需表达自己的观点前，请举手示意，得到允许后用普通话发言，同学发言时认真听，不得嘲笑发言的同学；
- (3) 课堂提问过程中请不要随意提醒或帮答，若想阐述自己的观点，需在答题同学言毕后，举手示意，得到允许后发言；
- (4) 课堂讨论过程中请注意聆听别人的观点，发表自己观点时不许涉及人身攻击。
- (5) 不私下讲话，不做小动作，不能在课堂上吃东西、嚼口香糖、喝水或扇扇子。

## 12. 课程资源

### 12.1 教材与参考书

**教材：**陈欢林主编，《新型分离技术》，化学工业出版社，2008.

#### 参考书

1. 《现代分离方法与技术》. 丁明玉主编. 化学工业出版社；
2. 《现代分离技术》(尹芳华主编. 化学工业出版社；
3. 《现代分离纯化与分析技术》. 高素莲，周宁国主编. 中国科学技术出版社；
4. 《分子蒸馏技术》. 杨村，于宏奇，冯武文主编. 化学工业出版社；
5. 《膜分离技术》. 刘茉娥主编. 化学工业出版社；
6. 《超临界流体技术》. 朱自强主编. 化学工业出版社。

### 12.2 专业学术著作

除指定的参考书外，本专业学术著作众多，同学们可在网上广泛阅读。

- (1) <http://emuch.net/bbs> 小木虫论坛
- (2) <http://bbs.hcbbs.com> 海川化工论坛

(3) 四川理工学院图书馆的超星数字图书

## 12.3 专业刊物

化工学报，化学工程，高校化学工程学报，化工进展和现代化工等。

## 12.4 网络课程资源

- (1) <http://emuch.net/bbs> 小木虫论坛
- (2) <http://bbs.hcbbs.com> 海川化工论坛
- (3) 四川理工学院图书馆的超星数字图书

# 13. 教学合约

## 13.1 教师作出师德师风承诺

作为一名光荣的人民教师，担负着教书育人的重任，为了认真履行教师职责，严格遵守《高等学校教师职业道德规范》，形成自己良好的师德师风，争做一名师德高尚的教育工作者，为了提高自身的思想道德素质，做学生健康成长的引路人，以高尚的情操感染人，以渊博的知识教育人，以科学的方法引导人，以良好的形象影响人。我以捍卫教师尊严为己任，向学校、家长和社会郑重承诺：

一、爱国守法。热爱祖国，热爱人民，拥护中国共产党领导，拥护中国特色社会主义制度。遵守宪法和法律法规，贯彻党和国家教育方针，依法履行教师职责，维护社会稳定和校园和谐。不得有损害国家利益和不利于学生健康成长的言行。

二、敬业爱生。忠诚人民教育事业，树立崇高职业理想，以人才培养、科学研究、社会服务和文化传承创新为己任。恪尽职守，甘于奉献。终身学习，刻苦钻研。真心关爱学生，严格要求学生，公正对待学生，做学生良师益友。不得损害学生和学校的合法权益。

三、教书育人。坚持育人为本，立德树人。遵循教育规律，实施素质教育。注重学思结合，知行合一，因材施教，不断提高教育质量。严慈相济，教学相长，

诲人不倦。尊重学生个性，促进学生全面发展。不拒绝学生的合理要求。不得从事影响教育教学工作的兼职。

四、严谨治学。弘扬科学精神，勇于探索，追求真理，修正错误，精益求精。实事求是，发扬民主，团结合作，协同创新。秉持学术良知，恪守学术规范。尊重他人劳动和学术成果，维护学术自由和学术尊严。诚实守信，力戒浮躁。坚决抵制学术失范和学术不端行为。

五、服务社会。勇担社会责任，为国家富强、民族振兴和人类进步服务。传播优秀文化，普及科学知识。热心公益，服务大众。主动参与社会实践，自觉承担社会义务，积极提供专业服务。坚决反对滥用学术资源和学术影响。

六、为人师表。学为人师，行为示范。淡泊名利，志存高远。树立优良学风教风，以高尚师德、人格魅力和学识风范教育感染学生。模范遵守社会公德，维护社会正义，引领社会风尚。言行雅正，举止文明。自尊自律，清廉从教，以身作则。自觉抵制有损教师职业声誉的行为。

以上各条，特向全校师生和社会作出公开承诺，如有违反，本人愿接受学校的批评、警告以及主管部门处分等处罚措施，欢迎学生、家长、学校和社会等各方面积极配合，共同监督。

## 13.2 阅读课程实施大纲，理解其内容

本课程实施大纲是对课程的教学内容、教学实施方案、师资情况、教学方法及其他与本课程相关的内容说明。请各位同学务必在课前认真阅读本大纲，并做好课前准备。

## 13.3 同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望

本课程实施大纲由任课老师指定，教师对大纲中阐述的标准和期望能很好地理解和执行。同时，希望上课同学也能将本大纲的要求贯穿本课程。

# 14. 其他说明

如果同学们对本课程实施有意见和建议，欢迎大家提出，我会在今后的教学

过程中不断的完善课程实施大纲，以便更进一步的提高教育质量。

进度安排可能会根据实际授课情况有所调整。