

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：生物工程 2018 级卓越班、
食品科学与工程 2018 级卓越班

任课教师：卫晓利

工作部门：化学工程学院

联系方式：13547417487

Email: 1900819131@qq.com

《化工原理》课程实施大纲

基本信息

课程名称: 化工原理 B2

学 分: 2.5

总 学 时: 40 学时

学 期: 2020-2021-1

上课时间: 10-17 周, 周一 7、8、9 节, 周二 3、4 节

上课地点: 临港校区 LA4-503、LA5-227

答疑时间和方式: 课前、课间或平时; 课前、课间答疑, 电话答疑, 邮件答疑或QQ 答疑

答疑地点: 临港校区 LA4-503、LA5-227

授课班级: 2018 生物工程、食品科学与工程卓越班

任课教师: 卫晓利

学 院: 化学工程学院

邮 箱: 1900809131@QQ.com

联系电话: 13547417487

1. 教学理念

众所周知,化工原理课程有着逻辑性强、公式推导多、理论知识深的特点。它和物理化学并列为化工类专业院最难学的专业基础课。在教学过程中,如何把最难的问题简单化,如何将工程理念通过理论课的教学模式传达给工科专业的学生,是我一直思考的问题。

我将以传递过程和研究方法论为主线来组织教学内容,建立“化工原理”课程教学内容新体系;适当融入本领域中一些最新的技术、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、思考以寻找出适合我校各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。

此外,化工原理课程体系应兼有“技术”与“科学”的双重特点,它不仅要担负工程技术教育任务,还应担负工程科学教育任务;课程中不仅要强调工程观点、定量运算、实验技能及设计能力,更要强调理论联系实际,强调解决工程问题的方法论,使学生能“知其然”,更能“知其所以然”;课程内容中不仅要介绍经典化工单元操作,更应跟踪当今化工乃至相关学科最新发展动态,介绍化工最新单元操作及科技前沿知识;在教学活动中不仅传授知识与技能,更应“树人、育才”。

2. 课程介绍

2.1 课程的性质

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。

化工原理的研究内容是化工生产过程中的物理操作过程及其设备。研究方法主要是理论解析和在理论指导下的实验研究。化工原理的主要任务是:培养学生运用辩证唯物主义观点和科学方法考察、分析和处理工程实际问题;培养学生的工程观点以及实验技能和设计能力。

2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

《化工原理》课是化工类所有专业都开设的一门工程性极强的技术基础课,也是我校轻化工专业重要的大类平台课。它在基础课和专业课之间起到承上启下的桥梁作用,它首次把学生带入化工生产领域真实、复杂的问题中。通过对化工单元操作的基本规律的学习,将帮助学生树立牢固的工程观点,培养解决工程实际问题的综合能力,为即将进行的专业课学习打下坚实的基础。

2.3 课程的前沿及发展趋势

自化工原理课程问世至今已有一百多年的历史,而化学工程学科成立也已有五十多年的历史了。化工原理作为化工类及相关专业高等教育的技术基础课,一直以来起着为自然科学和应用科学的塔桥作用,其地位极为重要。这门课程的目的是使学生掌握化工单元操作过程的基本理论,培养学生分析和解决工程技术问题的能力,同时在科学研究和生产实践中对设备具有操作管理、设计、强化与过程开发的本领,因此,历来受到化工类专业师生的广泛重视。进入21世纪,随着全球能源短缺而导致的能源格局的不断变化,以及生态环境的不断恶化,传统的化学和化工工业将面临严峻的挑战。在这种大形势下,传统的化工原理课程也将面临许多新的挑战。随着化学和化工工业与高新技术的不断紧密结合,化工原理的应用覆盖面也从炼油、化工、冶金、医药等传统工业扩大到了近年来发展起来的核、生化、材料与空间技术等高新技术行业。那么化工原理课程的内容设置也应做适当的调整,教师的教学手段和方法以及教师自身的业务水平也亟需提高。

很多年来,化工原理教材的内容基本没有太大的变化,对学生要求的重点内容仍然放在流体输送、传热、精馏、吸收等几大章节。尽管这两年许多化工原理教材已经新增了膜分离内容,在教材改革方面可以说前进了一步,但整体上依然没有跟上现代科学技术的发展,比如化工原理在生化技术、新材料技术的应用都没有体现。尤其是在给学生讲授的内容中,“传统”单元操作的基本理论和各种公式的推导占用了大部分时间,有的计算事例也还停留在二十世纪七、八十年代的水平上。很多教师在授课时是希望添加一些新内容,但苦于授课学时是有限的,新内容的增加必然与有限的课时产生矛盾。解决这一问题可以采用如下方法:(1) 精简课程内容。(2) 教师要注重教学方法,提高教学效率。在教学过程中要注意“四重一轻”,即重概念,重分析,重结论,重应用,轻推导。我们知道,研究

单元操作时公式特别多,因此推导公式占用的课时就很多,而公式推导达到的目的往往是使学生明白了这个公式是怎么得来的,但如何去灵活的运用这个公式去解决实际问题,却因为课堂时间太少,分析的不透彻,而成为一大难题。因此,可以适当精简推导公式的时间,把时间用在分析过程原理和实际应用上。

随着计算机应用的普及,大量的化工工程软件已经广泛地应用在设计院、企业及各种研究机构。目前,国内主要的化工流程模拟软件有美国PRO/II, Aspen Plus, Hysys, Design II, 加拿大的VMGSim。其中Aspen Plus 是大型通用流程模拟系统,全球各大化工、石化、炼油等过程工业制造企业及著名的工程公司都是 Aspen Plus 的用户, PRO/II 更多地应用在炼油工业。这些软件中几乎涉及了化工原理中的各个单元操作,可以设计流程和设备,也可以对操作过程进行分析。目前,已有不少高校的化工系已经将化工模拟软件应用在化工原理课程设计这一教学环节,如清华大学、天津大学、浙江工业大学等,如果在化工原理的课堂教学中也引入化工软件作为辅助教学工具,无疑会对培养学生的工程观念、提高学生分析和解决实际问题的能力有很大的帮助。

教学过程中,学生和老师之间的交流至关重要。但一直以来基本是大班授课,学生人数少则五六十多则一百多,而且目前学生修的课程很多,所以课下与老师交流和答疑的时间就很少。如果能建立网上交流平台,就可以不受时间和地点的限制,学生可以在这个平台上留言,提出问题,老师给出答案,及时解决每节课的重点难点及疑惑,而且老师也可以设计题目发起讨论,这样既达到了教学目的,还能满足不同程度学生的不同需要。

2.4 学习本课程的必要性

化工原理是化工类及相近专业的一门重要的技术基础课程,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,自化学工程学科形成以来,它在培养化工类高级人才中起着由理论到工程、由基础到专业的桥梁作用。

3. 教师简介

3.1 教师的职称、学历

卫晓利

四川轻化工大学, 化学工程学院, 副教授, 博士研究生

3.2 教育背景

受教育经历 (从大学本科开始, 按时间倒排序)

2006/09 – 2010/12, 中北大学, 化学与环境工程学院, 博士

2003/09 – 2006/06, 中北大学, 化学与环境工程学院, 硕士

1999/09 – 2003/06, 华北工学院, 化学工程系, 学士

4. 先修课程

本课程在高等数学、普通物理和物理化学三门先修课的基础上进行教学。对先修课程的要求如下:

1. 高等数学:熟悉微积分及微分方程等内容。
2. 普通物理:对力学、热学、电学、物态和光学等概念清楚, 内容熟悉。
3. 物理化学:对热力学、相平衡、溶液理论、分子运动理论等章节的概念清楚, 内容熟悉

5. 课程目标

- 1.掌握流体流动及传热等化工过程的基本原理和典型设备的构造及性能;
- 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、试差算法和图解算法等, 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

本课程的主要内容包括第一章传质机理及气体吸收、第二章蒸馏。各部分教学内容及教学要求如表1 所示。

表1 各章节教学内容及教学要求

章节	教学内容	教学要求
气体吸收	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，最小掖气比、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；	1、掌握吸收的基本概念和吸收过程的平衡关系与速率关系； 2、掌握低组成气体吸收的计算方法； 3、了解吸收系数的获取途径和解吸过程的概念与计算方法。
蒸馏	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	1、掌握两组分理想物系的气液平衡关系； 2、掌握精馏的原理与流程；两组分连续精馏的基本计算方法。 3、了解间歇精馏与特殊精馏过程。

	论板数的确定。	
--	---------	--

6.2 教学重点、难点

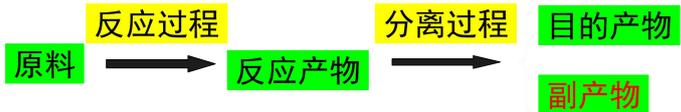
化工原理课程教学重点、难点及参考学时如表 2 所示。

表 2 教学重点、难点及参考学时

	参 考 学时	教学重点、难点
第一章 气体吸收	18	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
第二章 蒸馏	22	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。

7、课程教学实施

7.1 教学内容一

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	1/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
掌握的内容： 1、分子扩散现象 2、费克定律 3、相组成的表示方法						
本讲教学内容						
知识点： 1、传质分离过程概述 2、相组成的表示方法 3、分子扩散现象 4、费克定律 重点：分子扩散的定义，费克定律的表达式 难点：浓度梯度的意义及表示						
本讲教学过程及教学方法						
1、用 5 分钟左右的时间对课程进行简单的介绍，向学生说明考核的方式和标准、强调上课纪律等。 2、传质分离过程概述(图例讲授法) (1)分离过程在化工中的应用  <p>示例：三氯甲烷的制备。</p> (2)相际传质过程与分离						



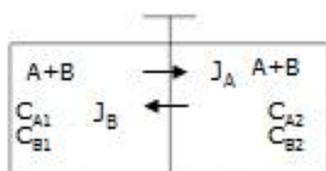
根据不同组分在各相中物性的差异，使某组分从一相向另一相转移：**相际传质过程**

示例：空气和氨分离

2、成的表示方法(讲授法)

3、分子扩散现象

先看一个实验



流体之中的物质分子，由于在流体内部各部分存在浓度差，凭借微观热运动，自发地从浓度高处向低处转移，直至其浓度在整个流体空间中分布均匀的物质传递现象

这种由于分子的无规则热运动而形成的物质传递现象—分子传质，称为分子扩散。

- ❖ 在这个过程中，扩散的快慢用单位时间内，单位面积上扩散的物质质量来衡量，称为扩散通量(速度)， $\text{kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
- ❖ 分子传质在气相、液相和固相中均能发生

4、费克定律(讲授法)

描述分子扩散过程的基本定律—费克第一定律

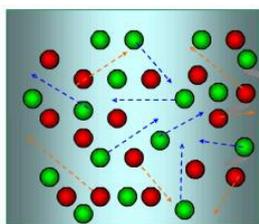
$$J_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \quad \text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad \text{及} \quad J_B = -D_{BA} \frac{dc_B}{dz}$$

D_{AB} —组分 A 在组分 B 中的扩散系数， m^2/s (物性，可以查表)

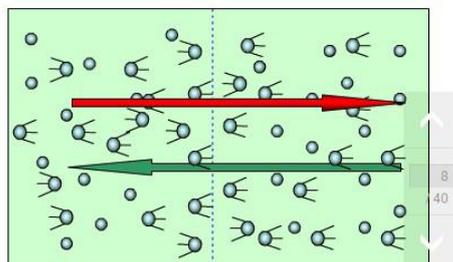
对于两组分扩散系统，当总压不太高且各处温度均匀，则单位体积内的 A、B 分子总数不随位置而变化，即： $D_{AB} = D_{BA}$

注意,

分子扩散方向, 是指传质的方向, 即浓度降低的方向。并不等于单个分子的热运动方向, 后者是杂乱无章的。



分子热运动



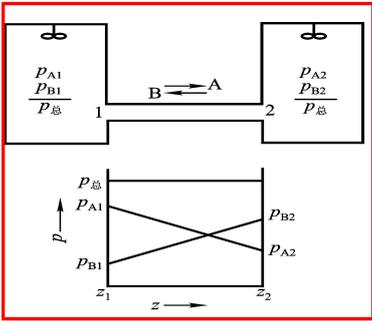
扩散方向

本讲师生互动

课堂提问: 1、分子扩散是否也存在于液相和固相中, 加深学生对分子扩散概念的理解和掌握。2、什么是速度梯度, 浓度梯度?

本讲作业: 课后思考分子扩散的方向和分子热运动的方向有和关联?

7.2 教学内容二

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/60	专业必修	2/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、等分子反方向扩散及速率计算 2、一组分通过另一停滞组分的扩散 3、漂流因数对分子扩散的影响 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、等分子反方向扩散 2、一组分通过另一停滞组分的扩散 3、液体中的稳态分子扩散 <p>重点: 分子扩散的定义, 费克定律的表达式</p> <p>难点: 总体流动现象</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<p>复习上次课内容 (导入法)</p> <p>引导学生回归上次课所学的关于分子扩散的概念及描述分子扩散的菲克定律, 并进行提问。</p> <p>1. 等分子反方向扩散(讲授法+演示法)</p>						
						
<p>设由 A、B 两组分组成的二元混合物中, 组分 A、B 进行反方向扩散, 若二者扩散的 通量相等, 则称为等分子反方向扩散。如蒸馏操作</p> <p>对于等分子反方向扩散: $N_A = -N_B$</p>						

扩散速率为:
$$N_A = J_A = \frac{D}{RT\Delta z} (p_{A1} - p_{A2})$$

2、一组分通过另一停滞组分的扩散(讲授法)

设由 A、B 两组分组成的二元混合物中, 组分 A 为扩散组分, 组分 B 为不扩散组分(称为停滞组分), 组分 A 通过停滞组分 B 进行扩散, 如气体吸收。

总体流动现象

示例: 用水吸收空气中的氨

设由 A、B 组成的二元气体混合物, 其中 A 为溶质, 可溶解于液体中, 而 B 不能在液体中溶解。这样, 组分 A 可以通过气液相界面进入液相, 而组分 B 不能进入液相。由于 A 分子不断通过相界面进入液相, 在相界面的气相一侧会留下“空穴”。根据流体连续性原则, 混合气体会自动地向界面递补, 这样就发生了 A、B 两种分子并行向相界面递补的运动, 这种递补运动就形成了混合物的总体流动。

对于组分 A 通过停滞组 B 的扩散: $N_B = 0$

扩散速率为:

$$N_A = \frac{D_{AB} p_{\text{总}}}{RT\Delta z p_{BM}} (p_{A1} - p_{A2})$$

$$\frac{p_{\text{总}}}{p_{BM}} = \frac{p_{\text{总}}}{p_{BM}} > 1$$

讨论:

漂流因数: 反映了总体流动对传质速率的影响

$p_{\text{总}} / p_{BM}$ 增大 $\sim N_A$ 增大 \sim 总体流动影响增大

$p_{\text{总}} / p_{BM} = 1$ $N_A = J_A$ 无总体流动

3、液体中的稳态分子扩散 (讲授法)

课堂提问: 1、两种稳态分子扩散的速率哪个大? 原因是什么? 加深学生对漂流因数概念的理解和掌握。

本讲作业: 教材 P148, 4

7.3 教学内容三

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	3/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容：</p> <p>1、涡流扩散及对流传质的定义</p> <p>2、双膜模型</p>						
本讲教学内容						
<p>1、扩散系数</p> <p>2、涡流扩散现象</p> <p>3、对流传质</p> <p>4、气体吸收概述</p> <p>重点：对流传质</p> <p>难点：对流传质机理</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<p>复习上节课知识点（提问法+导入法）</p> <p>气体分子扩散的有那些？扩散速率的计算公式是什么？引入扩散系数的学习。</p> <p>1、扩散系数（讲授法+引导学生自学法）</p> <p>通常，扩散系数与系统的温度、压力、浓度以及物质的性质有关</p> <p>估算气体扩散系数经验公式(福勒公式)</p> $D_{AB} = \frac{1.013 \times 10^{-5} T^{1.75} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{1/2}}{p_{\text{总}} [(\Sigma v_A)^{1/3} + (\Sigma v_B)^{1/3}]^2}$ <p>估算气体扩散系数经验公式(威尔基公式)</p> $D'_{AB} = 7.4 \times 10^{-15} (\Phi M_B)^{1/2} \frac{T}{\mu_B V_{bA}^{0.6}}$ <p>2、对流传质（案例法、提问法讲授法）</p> <p>以蔗糖在水中的溶解过程为例，引入涡流扩散的概念。</p> <p>由于流体质点的湍动和旋涡而形成的物质传递现象—涡流扩散</p> <p>描述涡流扩散通量的方程为</p>						

$$J_A^e = -\varepsilon_M \frac{dc_A}{dz}$$

运动流体与固体表面之间，或两个有限互溶的运动流体之间的质量传递过程—对流传质。

对流传质的机理（图例法+讲授法）

描述对流传质的基本方程—对流传质速率方程

$$N_A = k_L (c_{Ai} - c_{Af})$$

3、气体吸收概述（案例法、提问法、讲授法）

(1)气体吸收的原理

以水吸收氨气为例，提问水为什么能够吸收氨气，为什么不能吸收氧气？引入气体吸收的原理及分离对象。

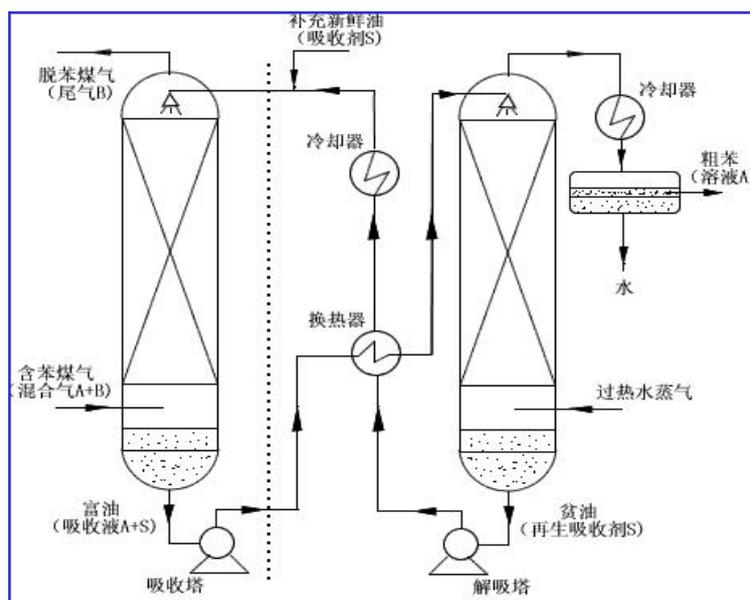
分离物系：气体混合物

形成两相体系的方法：引入一液相（吸收剂）

传质原理： 各组分在吸收剂中溶解度不同

(2)气体吸收的流程：（图例讲授法）

以从苯煤气中分离苯为例，介绍气体吸收的流程。



具有吸收剂再生的连续吸收流程

4、气体吸收的分类及应用 (举例讲授法)

❖ 净化或精制气体

示例：合成氨工艺中合成气中的净化脱碳。

❖ 制取某种气体的液态产品

示例：用水吸收氯化氢气体制取盐酸

❖ 回收混合气体中所需的组分

示例：用洗油处理焦炉气以回收芳烃。

❖ 工业废气的治理

示例：废气中含有 SO_2 、 H_2S 等有害气的脱除。

5、吸收剂的选择 (举例讲授法)

吸收剂选择的原则

❖ 溶解度，吸收剂对溶质组分的溶解度要大。

❖ 选择性，吸收剂应对溶质组分有较大溶解度，而对混合气体中的其它组分溶解度甚微。

❖ 挥发度，吸收剂的蒸汽压要低，即挥发度要小。

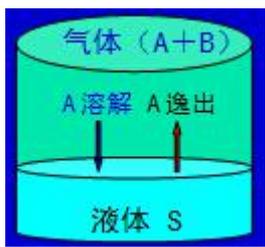
❖ 黏度，吸收剂在操作温度下的黏度要低。

❖ 其它，无毒、无腐蚀、不易燃易爆、不发泡、冰点低、价廉易得，且化学性质稳定。

课堂提问：涡流扩散有没有分子扩散的存在？通过吸收可否直接得到产品？

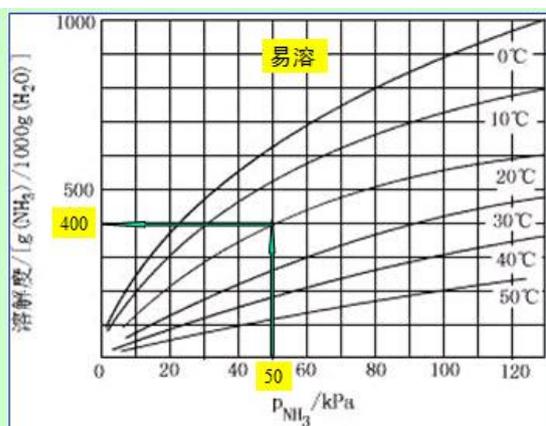
本讲作业：反思吸收的原理。

7.4 教学内容四

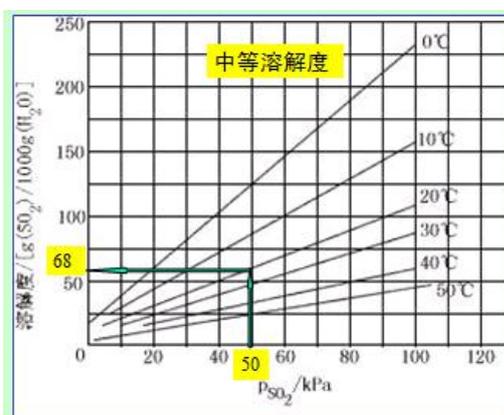
学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	4/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
掌握的内容： 1、亨利定律的表达式 2、相平衡关系在吸收中的应用						
本讲教学内容						
知识点： 1、气体在液体中的溶解度 2、亨利定律的表达式 3、各系数的换算关系 4、相平衡关系在吸收中的应用 重点：相平衡关系在吸收中的应用 难点：气体吸收的原理						
本讲教学过程及教学方法						
1、吸收过程的相平衡关系 溶解度曲线 (图例讲授法) <div style="text-align: center;">  </div> 在一定温度和压力下，令某气体混合物 (A+B) 与液体 S 接触。 达平衡状态时： 液相组成 x_A —— 气体在液体中的溶解度 气相分压 p_A^* $p_A^* = f(x_A)$ 平衡方程						

$p_A^* \sim x_A$ 曲线 溶解度曲线

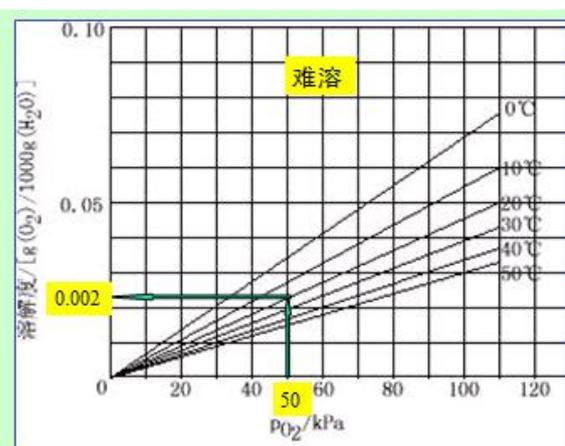
以氨气、二氧化硫、氧气在水中的溶解度曲线为例。



氨在水中的溶解度



二氧化硫在水中的溶解度



氧在水中的溶解度

2、温度和压力对气体溶解度的影响 (讲授法)

对同一溶质, 在相同的气相分压下, 溶解度随温度的升高而减小

对同一溶质, 在相同的温度下, 溶解度随气相分压的升高而增大

注意: 加压和降温有利于吸收操作

减压和升温有利于解吸操作

3、亨利定律 (讲授法)

亨利定律的四种表达式

对于低组成吸收

$$p^* = \frac{c}{H} \quad p^* = Ex \quad y^* = mx \quad Y^* = mX$$

注意:

E — 亨利系数, kPa

易溶气体 E 小, 难溶气体 E 大

H — 溶解度系数, kmol/(m³·kPa)

易溶气体 H 大, 难溶气体 H 小

m — 相平衡常数

易溶气体 m 小, 难溶气体 m 大

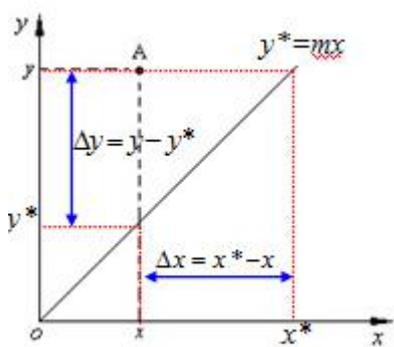
4、相平衡关系在吸收中的应用(图例讲解法)

(1)判断传质进行的方向

(2)确定传质的推动力

以气相表示的传质推动力: $\Delta y = y - y^*$

以液相表示的传质推动力: $\Delta x = x^* - x$



(3)指明传质进行的极限

对于逆流吸收塔 $Y_{2\min} \geq Y_2^* = mX_2$

气相出口最低组成

$$X_{1\max} \leq X_1^* = \frac{Y_1}{m}$$

课堂提问: 1.温度和压力对吸收过程的平衡关系有何影响?

2.亨利定律为何具有不同的表达形式 ?

3.亨利定律的适用条件是什么 ?

4.相平衡关系在吸收过程中有何作用?

本讲作业: 教材 P148, 1、2、3

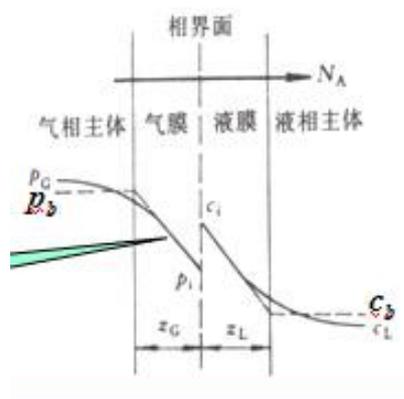
7.5 教学内容五

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	5/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容：</p> <p>1、双模模型要点</p> <p>1、膜吸收速率方程</p> <p>2、总吸收速率方程</p>						
本讲教学内容						
<p>1、吸收过程的机理</p> <p>2、膜吸收速率方程</p> <p>3、总吸收速率方程</p> <p>重点：1、气膜控制、液膜控制 2、气/液相总吸收速率方程式</p> <p>难点：1、界面组成的确定</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<p>复习上次课内容并进行提问</p> <p>1、吸收过程的机理</p> <p>吸收相际间的对流传质过程(图例讲授法)</p> <p>吸收过程：溶质 A 从气相转移到液相的过程（相际间的传质）</p> <div data-bbox="236 1438 603 1778" data-label="Diagram"> </div> <p>(1) 组分 A 从气相主体扩散到相界面</p> <p>(2) 在相界面上组分 A 由气相转入液相</p> <p>(3) 组分 A 由相界面转入液相主体</p>						

2、吸收过程的传质机理模型(图例+讲授法)

(1)双膜(停滞膜)模型 惠特曼(Whiteman) 于 1923 年提出, 最早提出的一种传质模型。

双膜模型示意图如下图所示:



[播放动画 32: 双膜模型](#)

停滞膜模型的要点:

- ① 当气液两相相互接触时, 在气液两相间存在着稳定的相界面, 界面的两侧各有一个很薄的停滞膜—气膜和液膜, 溶质 A 经过两膜层的传质方式为分子扩散。
- ② 在气液相界面处, 气液两相处于平衡状态, 无 传质阻力。
- ③ 在气膜、液膜以外的气、液两相主体中, 由于流体强烈湍动, 各处浓度均匀一致, 无传质阻力。

依据双膜模型, 组分 A 通过气膜、液膜的扩散通量方程分别为

$$N_A = \frac{D_{AB} p_{\text{总}}}{RT z_G p_{BM}} (p_{Ab} - p_{Ai}), \quad N_A = \frac{D'_{AB} c_{\text{总}}}{z_L c_{BM}} (c_{Ai} - c_{Ab})$$

停滞膜模型的模型参数: 气膜厚度 z_G 、液膜厚度 z_L

(2)溶质渗透模型

(3)表面更新模型

3、膜吸收速率方程 (讲授法)

气膜吸收速率方程

液膜吸收速率方程

界面组成的确定

4、总吸收速率方程(讲授法)

①以 $(p-p^*)$ 表示的总吸收速率方程 $N_A = K_G(p-p^*)$

$$\text{气相总吸收阻力} \frac{1}{K_G} = \frac{1}{Hk_L} + \frac{1}{k_G}$$

讨论: 对于易溶气体, H 值很大, $\frac{1}{Hk_L} \ll \frac{1}{k_G}$, $\frac{1}{K_G} \approx \frac{1}{k_G}$

液膜阻力 \ll 气膜阻力

因此, 气膜阻力控制整个吸收过程的速率, 即气膜控制

示例: 水吸收氨

②以 $(c^* - c)$ 表示的总吸收速率方程 $N_A = K_L(c^* - c)$

液相总吸收阻力 $\frac{1}{K_G} = \frac{1}{Hk_L} + \frac{1}{k_G}$

讨论:

对于难溶气体, H 值很小

$$\frac{H}{k_G} \ll \frac{1}{k_L}, \frac{1}{K_L} \approx \frac{1}{k_L}$$

气膜阻力 \ll 液膜阻力

制整个吸收过程的速率, 即液膜控制

示例: 水吸收氧气

③以 $(y - y^*)$ 表示的总吸收速率方程 $N_A = K_y(y - y^*)$

④以 $(x^* - x)$ 表示的总吸收速率方程 $N_A = K_x(x^* - x)$

⑤以 $(Y - Y^*)$ 表示的总吸收速率方程 $N_A = K_Y(Y - Y^*)$

⑥以 $(X^* - X)$ 表示的总吸收速率方程 $N_A = K_X(X^* - X)$

注意: ①各种吸收速率方程式是等效的。采用任何吸收速率方程式均可计算吸收过程速率

②各吸收速率方程式中的吸收系数与吸收推动力的正确搭配及其单位的一致性。

③在使用与总吸收系数相对应的吸收速率方程式时, 在整个过程所涉及的浓度范围内, 平衡关系须为直线。

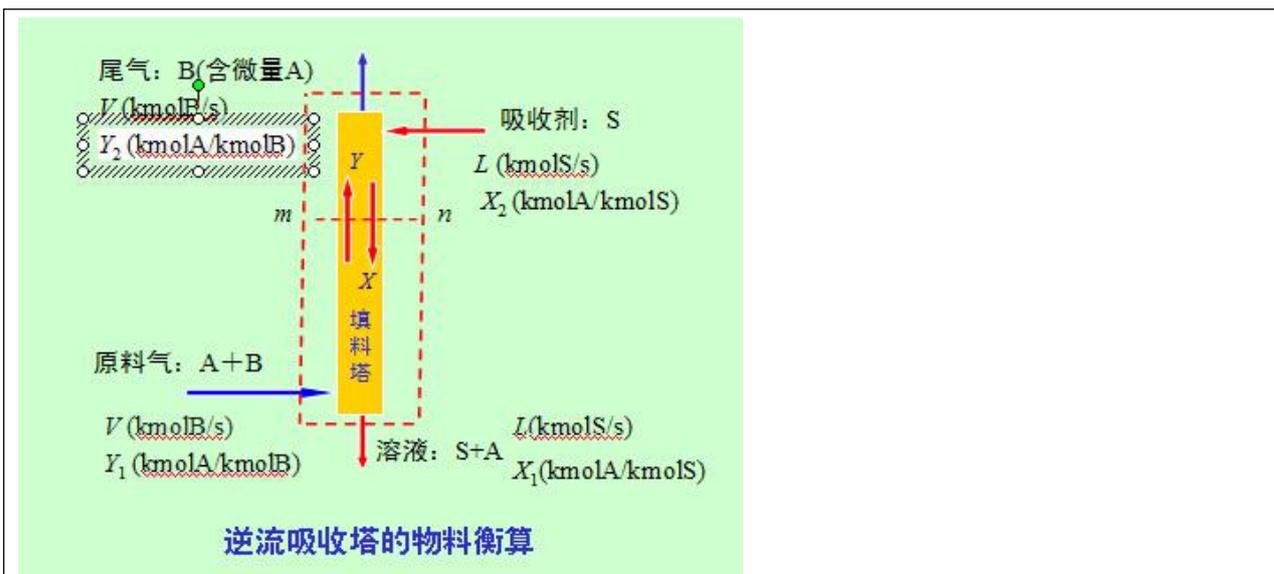
④各吸收速率方程式都是以气液组成保持不变为前提的, 因此只适合于描述稳态操作的吸收塔内任一横截面上的速率关系, 而不能直接用来描述全塔的吸收速率。在塔内不同横截面上的气液组成各不相同, 其吸收速率也不相同。

课堂提问: 亨利定律有几种表达形式? 任何吸收系数的单位是否相同, 是什么?

本讲作业: 教材 P149, 7、8

7.6 教学内容六

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	6/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
掌握的内容： 1、低组成气体吸收的计算 2、最小液气比						
本讲教学内容						
1、全塔物料衡算 2、操作线方程与操作线 3、最小液气比 4、适宜的液气比 重点：1、操作线方程与操作线 2、最小液气比 难点：1、液气比对设备费用的影响						
本讲教学过程及教学方法						
1、 物料衡算与操作线方程(讲授法) ①全塔物料衡算 在吸收塔的两端面间，对溶质 A 作物料衡算 $VY_1 + LX_2 = VY_2 + LX$ $V(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2)$ 吸收率： $\varphi_A = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1}$ 气体出塔时的组成 Y_2 : $Y_2 = Y_1(1 - \varphi_A)$						



②操作线方程与操作线(图例讲授法)

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 $m-n$ 截面与塔底端面之间对组分 A 进行衡算，可得

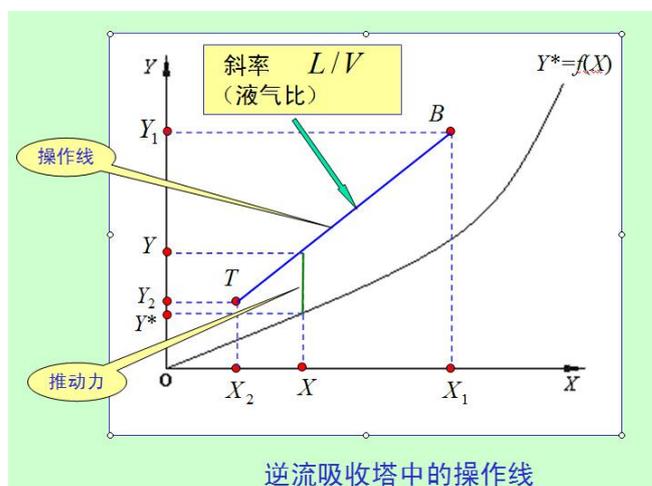
$$VY + LX_1 = VY_1 + LX$$

整理得：逆流吸收塔操作线方程

$$Y = \frac{L}{V} X + \left(Y_1 - \frac{L}{V} X_1 \right)$$

同理，在 $m-n$ 截面与塔顶端面之间作组分 A 的衡算，得

$$Y = \frac{L}{V} X + \left(Y_2 - \frac{L}{V} X_2 \right) \quad \text{逆流吸收塔操作线方程}$$



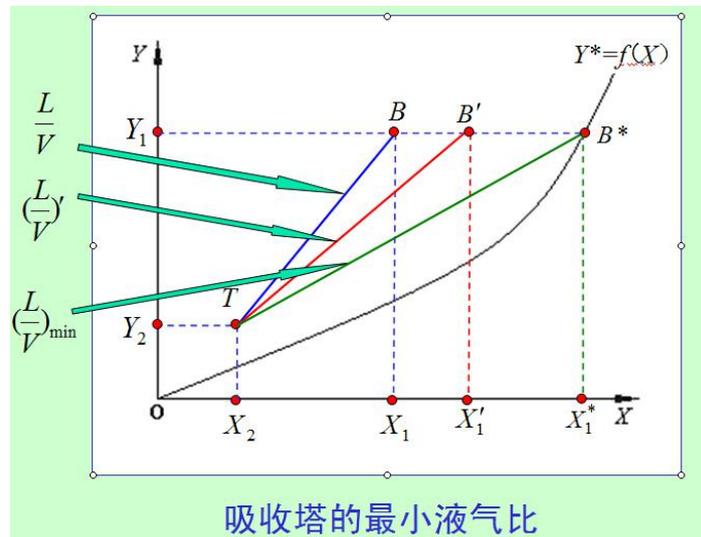
操作线方程为直线 $\left\{ \begin{array}{l} \text{斜率} \\ \text{过点} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} B(X_1, Y_1) \\ T(X_2, Y_2) \end{array} \right.$

2、吸收剂用量的确定 (图例讲授法)

①最小液气比

在吸收塔的计算中,通常气体处理量是已知的,而吸收剂的用量需通过工艺计算来确定。在气量一定的情况下,确定吸收剂的用量也即确定液气比 L/V 。

液气比 L/V 的确定方法是,先求出吸收过程的最小液气比 $(L/V)_{\min}$,然后再根据工程经验,确定适宜(操作)液气比。



$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1^* - X_2} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1/m - X_2}$$

最小液气比可用图解法求得：

最小液气比

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1^* - X_2} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1/m - X_2}$$

最小溶剂用量

$$L_{\min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1^* - X_2} V$$

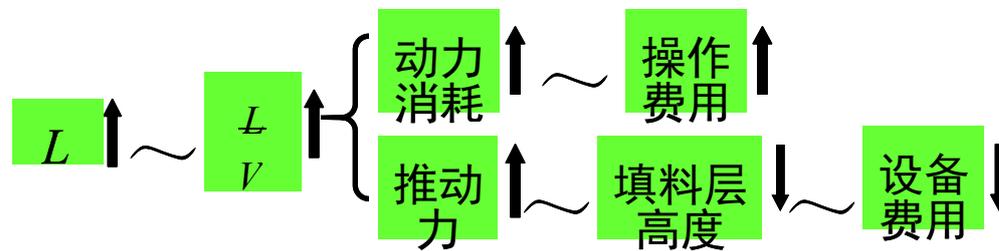
纯溶剂吸收

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{m(Y_1 - Y_2)}{Y_1} = m\varphi_A$$

②适宜的液气比 (讨论提问法)

讨论分析:

处理量 V 一定



根据生产实践经验

适宜液气比: $\frac{L}{V} = (1.1 \sim 2.0) \left(\frac{L}{V}\right)_{\min}$

适宜溶剂用量: $L = (1.1 \sim 2.0) L_{\min}$

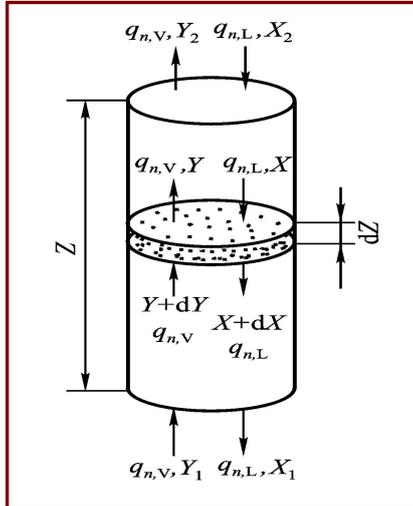
课堂提问: 1、什么是物料衡算? 2、处理量一定, 改变 L 会对吸收的操作费用产生何种影响?

本讲作业: 教材 P149, 9、10

7.7 教学内容七

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	7/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
掌握的内容： <ol style="list-style-type: none"> 1、吸收塔径的计算 2、吸收塔有效高度的计算 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、塔径的计算 2、传质单元数法基本计算公式 3、传质单元高度与传质单元数 4、传质单元数的求法 重点：1、传质单元数的求法 2、传质单元高度与传质单元数 难点：1、数值积分法求传质单元数						
本讲教学过程及教学方法						
<ol style="list-style-type: none"> 1、塔径的计算（提问+讲授法） <p>提问学生流体力学中，流体流经圆形管道时流量和速率之间的关系式是什么？导出吸收塔直接的计算公式。</p> <p>工业上的吸收塔通常为圆柱形，故吸收塔的直径可根据圆形管道内的流量公式计算：</p> $D = \sqrt{\frac{4q_{V,V}}{\pi u}}$ <p>注意：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 计算塔径时，一般应以塔底的气量为依据。 ➤ 计算塔径时，采用操作状态下的数据。 ➤ 计算塔径时，采用操作状态下的数据。 2、吸收塔有效高度的计算(图例讲授法) <ol style="list-style-type: none"> (1)传质单元数法 <ol style="list-style-type: none"> ①基本计算公式 						

填料塔为连续接触式设备，随着吸收的进行，沿填料层高度气液两相的组成均不断变化，塔内各截面上的吸收速率并不相同。为解决填料层高度的计算问题，需要对微元填料层进行物料衡算。微元填料层的物料衡算示意图如下：



在微元填料层内对组分 A 作物料衡算结合吸收速率方程式 可得填料层高度基本计算公式：

$$dq_{n,G_A} = -q_{n,V} dY = -q_{n,L} dX$$

$$dq_{n,G_A} = N_A dA = N_A (a\Omega dZ)$$

a —— 填料有效比表面积 m^2/m^3

填料有效比表面积 $a <$ 填料润湿比表面积 $a_w <$ 填料总比表面积 a_t

由吸收速率方程式

$$N_A = K_Y(Y - Y^*) = K_X(X^* - X)$$

整理可得

$$-\frac{dY}{Y - Y^*} = \frac{K_Y a \Omega}{q_{n,V}} dZ \quad -\frac{dX}{X^* - X} = \frac{K_X a \Omega}{q_{n,L}} dZ$$

在全塔范围内积分得填料层高度基本计算公式：

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

② 传质单元高度与传质单元数 $\left[\frac{V}{K_Y a \Omega} \right] = \left[\frac{(\text{kmol/s})}{(\text{kmol/m}^2\text{s})(\text{m}^2/\text{m}^3)(\text{m}^2)} \right] = [\text{m}]$

比较：换热器的换热管长度基本计算公式： $L = \frac{W_c c_{pc}}{n\pi dK} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{T-t}$ $L = H_c (NTU)_c$

分析:

$$\left. \begin{aligned} \text{令气相总传质单元高度: } H_{OG} &= \frac{q_{n,V}}{K_Y a \Omega} \\ \text{气相总传质单元数: } N_{OG} &= \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} \end{aligned} \right\} Z = H_{OG} N_{OG}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{液相总传质单元高度: } H_{OL} &= \frac{q_{n,L}}{K_X a \Omega} \\ \text{液相总传质单元数: } N_{OL} &= \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{X^* - X} \end{aligned} \right\} Z = H_{OL} N_{OL}$$

填料的有效比表面积 a 很难确定, 通常将 $K_Y a$ 及 $K_X a$ 作为一体

$K_Y a$ ——气相总体积吸收系数

$K_X a$ ——液相总体积吸收系数

讨论:

H_{OG} 是反映吸收速率大小因数, H_{OG} 越小, 吸收速率越大

N_{OG} 是反映吸收分离难易程度的因数, N_{OG} 越大, 吸收分离的难度越大。

课堂提问: 如何求传质单元数? H_{OG} 一定, N_{OG} 增大? 塔高将发生怎样的变化?

本讲作业: 反思 H_{OG} 、 N_{OG} 大小对吸收塔高级吸收速率的影响。

7.8 教学内容八

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	8/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <p>1、脱吸因数法求传质单元数</p> <p>2、对数平均推动力法</p>						
本讲教学内容						
<p>1、传质单元数的求法</p> <p>(1) 解析法</p> <p>① 脱吸因数法</p> <p>② 对数平均推动力法</p> <p>重点: 脱吸因数法、对数平均推动力法</p> <p>难点: 数值积分法求传质单元数</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<p>1、传质单元数的求法 (讲授法)</p> <p>(1) 解析法</p> <p>① 脱吸因数法</p> <p>设平衡关系为</p> $Y^* = mX + b$ <p>由操作线方程, 可得</p> $N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[(1-S) \frac{Y_1 - Y_2^*}{Y_2 - Y_2^*} + S \right]$ $X = X_2 + \frac{q_{n,V}}{q_{n,L}} (Y - Y_2)$ <p>由 $N_{OG} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*}$</p> $S = \frac{mq_{n,V}}{q_{n,L}}$ <p>代入得</p> $N_{OG} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - m \left[\frac{q_{n,V}}{q_{n,L}} (Y - Y_2) + X_2 \right] - b}$						

令 $S = \frac{mq_{n,V}}{q_{n,L}}$ 脱吸因数为平衡线斜率与操作线斜率的比值。

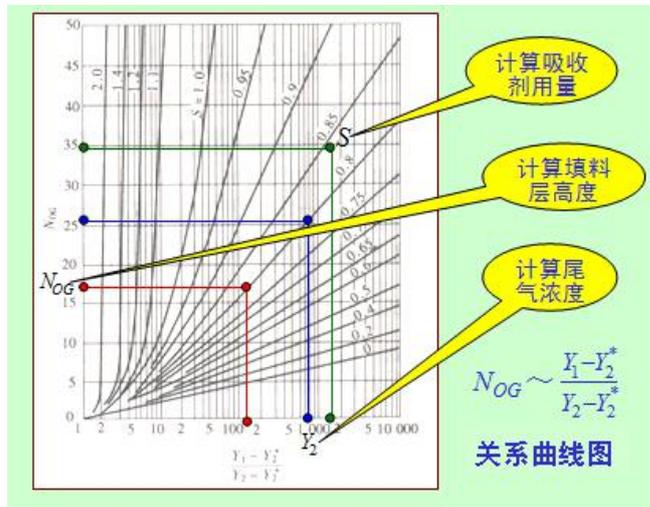
$$\text{则: } N_{OG} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(1-S)Y + (SY_2 - Y_2^*)}$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[(1-S) \frac{Y_1 - Y_2^*}{Y_2 - Y_2^*} + S \right]$$

同理：可导出

$$\text{吸收因数: } A = \frac{q_{n,L}}{mq_{n,V}} \quad N_{OL} = \frac{1}{1-A} \ln \left[(1-A) \frac{Y_1 - Y_2^*}{Y_1 - Y_1^*} + A \right]$$

适用条件：平衡
关系为直线



② 对数平均推动力法 (讲授法)

由于

$$S = m \left(\frac{q_{n,V}}{q_{n,L}} \right) = \frac{Y_1^* - Y_2^*}{X_1 - X_2} \left(\frac{X_1 - X_2}{Y_1 - Y_2} \right) = \frac{Y_1^* - Y_2^*}{Y_1 - Y_2}$$

$$\text{所以 } 1-S = \frac{(Y_1 - Y_1^*) - (Y_2 - Y_2^*)}{Y_1 - Y_2} = \frac{\Delta Y_1 - \Delta Y_2}{Y_1 - Y_2}$$

$$\text{可导出: } N_{OG} = \frac{Y_1 - Y_2}{\Delta Y_1 - \Delta Y_2} \ln \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}$$

$$\text{令: } \Delta Y_m = \frac{\Delta Y_1 - \Delta Y_2}{\ln \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}} = \frac{(Y_1 - Y_1^*) - (Y_2 - Y_2^*)}{\ln \frac{Y_1 - Y_1^*}{Y_2 - Y_2^*}}$$

$$\text{则: } N_{OG} = \frac{Y_1 - Y_2}{\Delta Y_m}$$

$$\text{同理: } N_{OL} = \frac{X_1 - X_2}{\Delta X_m}$$

$$\Delta X_m = \frac{\Delta X_1 - \Delta X_2}{\ln \frac{\Delta X_1}{\Delta X_2}} = \frac{(X_1^* - X_1) - (X_2^* - X_2)}{\ln \frac{X_1^* - X_1}{X_2^* - X_2}}$$

适用条件：衡关系为直线

(2) 数值积分法 (自学)

2、等板高度法求吸收塔高(讲授法)

设完成指定分离任务所需理论级为 N_T ，则所需的填料层高度可按下式计算：

$$Z = N_T \cdot HETP$$

填料层等板高度的意义：分离效果与一个理论级的作用相当的填料层高度。

课堂提问： 处理量一定，改变 L 会对吸收的操作费用产生何种影响？

本讲作业： 教材 P149-150，11、14、15

7.9 教学内容九

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	9/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
掌握的内容： 1、等板高度法 2、吸收系数的经验公式						
本讲教学内容						
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：吸收系数的经验公式 难点：吸收系数的经验公式						
本讲教学过程及教学方法						
1、吸收系数的获取途径（讲授法） (1)吸收系数的测定 (2)吸收系数的计算 (3)吸收系数的准数关联式 ①施伍德(Sherwood)数 ②施密特(Schmidt)数 ③雷诺(Reynolds)数 ④伽利略(Gallilio)数 ⑤彼克列(Peclet)数						
课堂提问： 处理量一定,改变 L 会对吸收的操作费用产生何种影响？						
本讲作业： 反思实验测定吸收系数的方法与步骤。						

7.10 教学内容十

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	10/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、蒸馏过程的原理 2、蒸馏过程的分类 3、泡点方程 2、露点方程 3、气液平衡方程的应用 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、蒸馏原理、特点、应用、分类 2、温度-组成图 3、气—液相组成图 <p>重点: t-x-y 图的构成</p> <p>难点: 压力对温度组成图的影响</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<ol style="list-style-type: none"> 1、概述 <p>(1)蒸馏过程的原理 (提问法+图例法+讲授法)</p> <p>以采用蒸馏实验分离丙酮-水为例, 提问学生此实验可以进行的原理是什么? 再以分离水-乙醇、苯-甲苯为例进行讲解从而总结蒸馏的分离的原理。</p>						
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; padding-right: 10px;">丙酮与水的分离</div>  </div>						

蒸馏分离的对象为均相的液体混合物 (对比过滤、沉降、萃取分离方法)

原理图下图所示:



(2) 蒸馏过程的应用(案例法)

① 液体混合物分离

- ❖ 混合芳烃蒸馏可得到苯、甲苯及二甲苯等。

② 气体混合物分离

- ❖ 空气液化蒸馏可得到纯态的液氧和液氮等。

③ 固体混合物分离

- ❖ 固体脂肪酸加热融化后用蒸馏方法分离。

(3) 蒸馏分离的特点(讲授法)

- ❖ 通过蒸馏分离可以直接获得所需要的产品
- ❖ 通过蒸馏分离可以直接获得所需要的产品
- ❖ 蒸馏过程适用于各种浓度混合物的分离
- ❖ 蒸馏操作耗能较大, 节能是个值得重视的问题

(4) 蒸馏过程的分类

按蒸馏操作方式分类:

按操作压力分类

蒸馏

- 简单蒸馏
- 平衡蒸馏
- 精馏
- 特殊精馏

蒸馏

- 常压蒸馏
- 加压蒸馏
- 减压蒸馏

按蒸馏操作流程分类

按物系中组分数目分类

蒸馏

- 间歇蒸馏
- 连续蒸馏

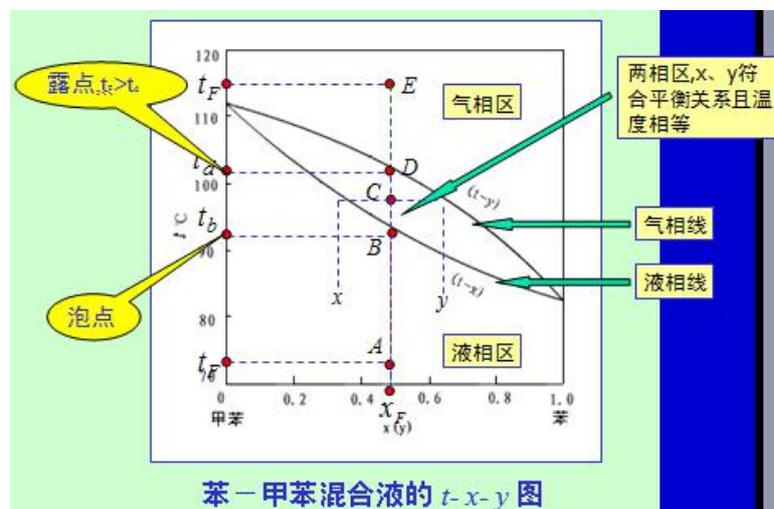
蒸馏

- 两组分蒸馏
- 多组分蒸馏

2、两组分理想物系的气液平衡(图例法+讲授法)

(1) $t-x-y$ 图

在恒定的总压下，溶液的平衡温度随组成而变，将平衡温度与液（气）相的组成关系标绘成曲线图，该曲线图即为温度—组成图。



$t-x-y$ 图的构成：

该图常用以分析蒸馏的原理——两线三区。

①.图中有上、下两条曲线：

上曲线：平衡时汽相组成与温度的关系，称为汽相线（露点曲线）；

下曲线：平衡时液相组成与温度的关系，称为液相线（泡点曲线）；

②.两曲线将图分成三个区域：

液相线以下代表尚未沸腾的液体，称为冷液区；

汽相线以上代表过热蒸汽区；

被两曲线包围部分表示汽液共存，称为汽液共存区。

注意：

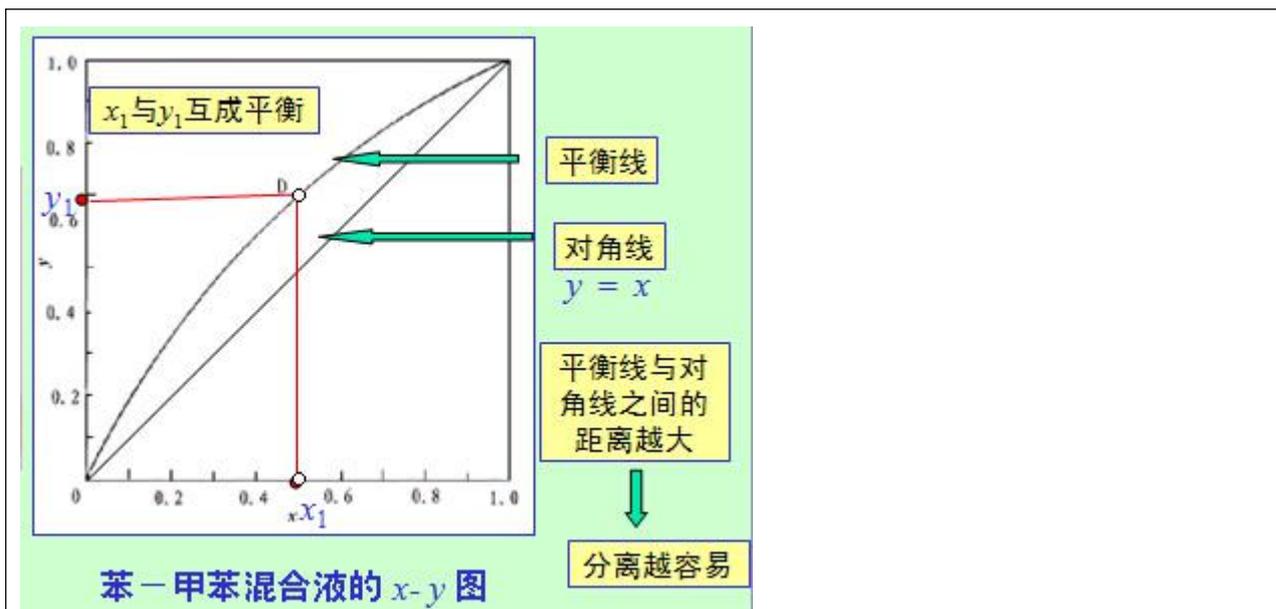
①气、液两相成平衡状态时，气、液两相的温度相同，但气相 y 组成大于液相组成 x 。

②若气、液两相组成相同，则气相露点温度总是大于液相的泡点温度。

③与总压有关。

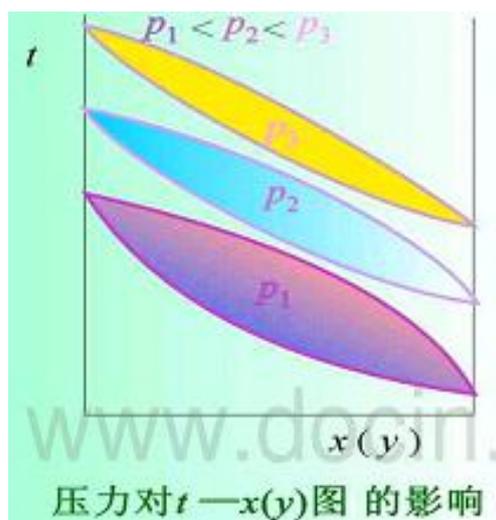
(2) $x-y$ 图

$x-y$ 图代表在总压一定下，液相组成和与之成平衡的汽相组成的关系



平衡线与对角线之间的距离越大分离越容易

压力对温度组成图的影响: P 越大, t 越大, a 越小, 对分离不利



课堂提问: 如何绘制 x - y 图? 有哪些方法?

x - y 图和 t - x - y 图有何关系?

本讲作业: 反思压力对温度组成图的影响

7.11 教学内容十一

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	11/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、泡点方程 2、露点方程 3、平衡蒸馏装置 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、泡点方程 2、露点方程 3、气液平衡方程 4、气液平衡方程的应用 5、平衡蒸馏的物料衡算 <p>重点: 平衡蒸馏的物料衡算</p> <p>难点: 气液平衡方程的应用</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<ol style="list-style-type: none"> 1、复习上次课所学内容(提问法和导入法) <p>复习上次课所学的相图, 提问学生相图中气液相组成 x、y 的如何获得? 从而引出泡点方程和露点方程。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2、气液平衡关系式(讲授法) <ol style="list-style-type: none"> (1)、泡点方程 <p>拉乌尔定律</p> <p>当理想溶液气液两相呈平衡时, 溶液上方组分的分压与溶液中该组分的摩尔分数成正比。</p> $p_A = p_A^* x_A$ <p>注意:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 某组分液体的饱和蒸汽压只是温度的函数, 随温度升高而增大, 纯组分液体的 P 与 						

t 的关系通常用安托因方程表示。

- 液体的饱和蒸汽压是表示液体挥发能力的一个属性。液体的挥发能力越大，其蒸汽压越大，液体混合物中各组分在汽相中的蒸气分压比其在纯态下的饱和蒸汽压要小。

泡点方程：反映气液平衡时液相组成与平衡温度间的关系

有拉乌尔定律推导出 $x_A = \frac{p_{\text{总}} - p_B^*}{p_A^* - p_B^*}$

$$p_A^*(p_B^*) = f(t)$$

安托因方程：可用来求不同温度下的饱和蒸汽压

$$\lg p^0 = A - \frac{B}{t + C}$$

气液平衡时液相组成与平衡温度间的关系

(2)以平衡常数表示的气液平衡方程

平衡的气相遵循道尔顿分压定律

$$y_A = \frac{p_A}{p_{\text{总}}} \quad y_A = \frac{p_A^*}{p_{\text{总}}} x_A$$

令 $k_A = \frac{p_A^*}{p_{\text{总}}}$ (平衡常数)

$$y_A = k_A x_A \quad (\text{平衡常数随温度变化而变化})$$

露点方程：气液平衡时气相组成与平衡温度间的关系

将 $y_A = k_A x_A$ 带入泡点方程即可得到

$$y_A = \frac{p_A^*}{p_{\text{总}}} \frac{p_{\text{总}} - p_B^*}{p_A^* - p_B^*}$$

(3)以相对挥发度表示的气液平衡方程

挥发度、相对挥发度

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

对于理想物系，有

$$\alpha = \frac{p_A^*}{p_B^*}$$

以相对挥发度表示的气液平衡方程

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

讨论:

蒸馏操作 $\alpha > 1$, α 值愈大, 分离愈容易

若 $\alpha = 1$, 不能用普通蒸馏方法分离。

(4) 气液平衡方程的应用(讲授法)

计算泡点温度

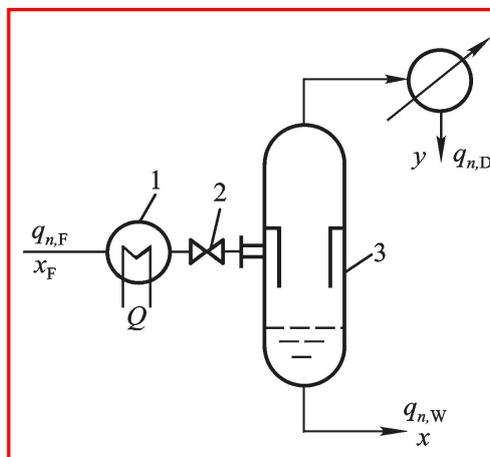
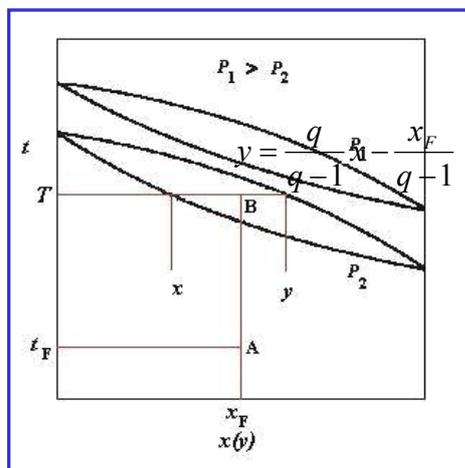
计算露点温度

计算气液平衡组成

3、双组分非理想物系的气液平衡(引导学生自学)

4、平衡蒸馏装置(图例讲授法)

平衡蒸馏为单级蒸馏操作, 即闪蒸。 右图为平衡蒸馏装置简图

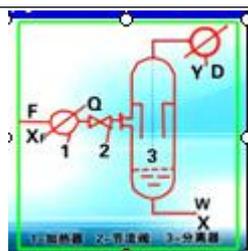


特点: ① 连续操作; ② 组成和温度恒定不变; ③ 分离程度不高。

5、平衡蒸馏过程的计算(图例讲授法)

蒸馏过程的方程式: 物料衡算、热量衡算、平衡关系方程式

(1) 物料衡算: 对连续定态过程做物料衡算可得



总物料衡算: $F = D + W$

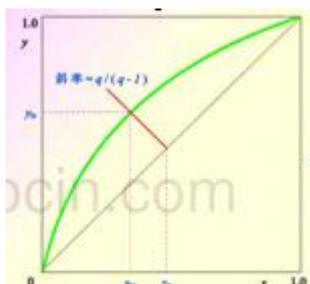
易挥发组分物料衡算: $Fx_F = Dy + Wx$

设液相产物占总加料量的分率为 $q = W / F$ (液化率)

整理得: $y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$ (直线方程)

平衡蒸馏中气液相组成的关系式

注意: 在平衡蒸馏中, 气液组成关系同时满足平衡方程与物料衡算方程



图解法解平衡蒸馏问题图上图所示

(2) 热量衡算(讲授法)

加热炉的热流量为 Q , 对加热器作热量衡算, 忽略热损失, 得

$$Q = Fc_p(t - t_F) \quad \text{显热}$$

对减压阀和分离器作热量衡算, 忽略热损失, 得

$$Fc_p(t - t_e) = (1 - q)rF \quad \text{显热转化成汽化潜热}$$

可求料液加热温度

$$t = t_e + (1 - q) \frac{r}{c_p}$$

课堂提问:

1. 挥发度与相对挥发度有何不同?

2.何为泡点和露点, 如何进行计算?

本讲作业: P73, 1、3

课外资料: 气液平衡数据获取途径

1.由安托尼方程求取

$$\lg p_i^* = A_i - \frac{B_i}{t + C_i}$$

2.由手册查得

权威的气液平衡数据手册

Gmehling J, et al.

《Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection

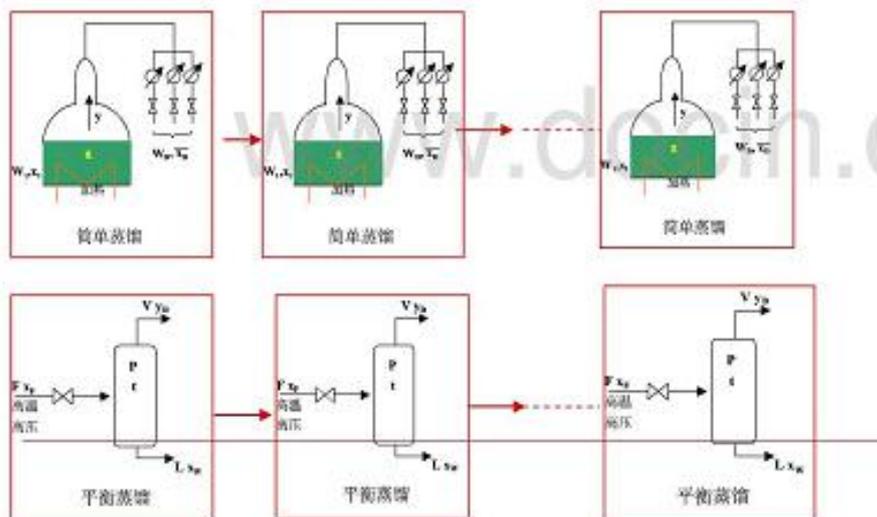
3.由实验测定

7.12 教学内容十二

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	12/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、简单蒸馏过程的计算 2、精馏原理 3、理论板假设 4、恒摩尔流的假定掌握的内容： 5、全塔物料衡算 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、精馏原理 2、连续精馏操作流程 3、间歇精馏操作流程 4、理论板的假定 5、恒摩尔流的假定 6、全塔物料衡算 <p>重点：1、全塔物料衡算</p> <p style="padding-left: 2em;">2、理论板的假定</p> <p style="padding-left: 2em;">3、恒摩尔流的假定</p> <p>难点：精馏原理</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<ol style="list-style-type: none"> 1、复习上次课内容（导入法+提问法） <p>从普通蒸馏的优缺点引出研究学习精馏操作的而必要性。</p> <p>简单蒸馏及平衡蒸馏只能使液体混合物得到有限的分离，远远不能满足工业的需求。</p> <p>如何利用两组分挥发度的差异实现连续的高纯度的分离？</p> <p>(1) 多次重复蒸馏</p> <p>反复进行多次部分汽化部分冷凝可以实现高纯度的分离，从理论上说，可以用多次重</p>						

复蒸馏的方法来达到所需求的分离纯度。但是，完成同样的分离任务，普通蒸馏能耗大、设备投资大、产能小！如下图所示，

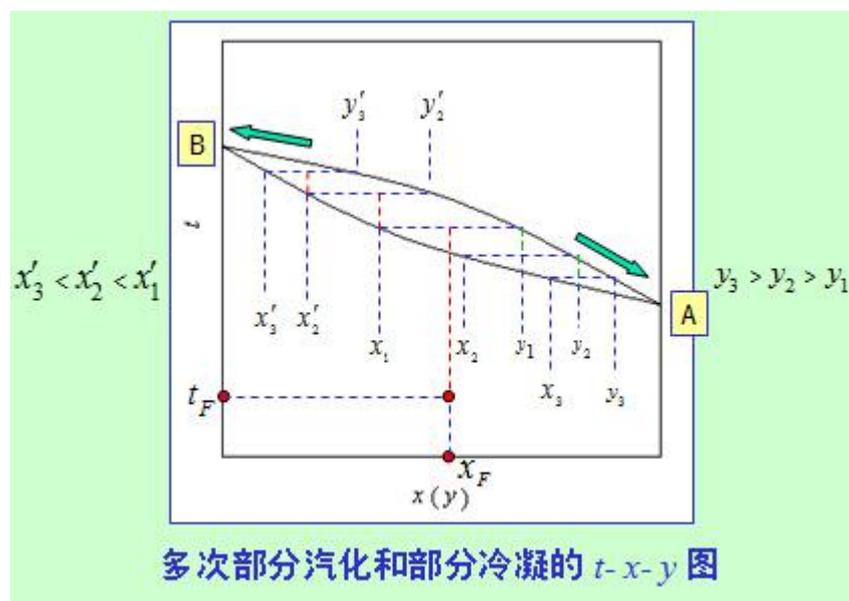
(2)精馏。利用回流手段，经过多次平衡级过程，是物系实现高纯度的分离的操作。



比较：

平衡蒸馏、简单蒸馏——单级过程，进行一次部分汽化——液体混合物的初步分离
 精馏——多级过程，进行多次部分汽化和部分冷凝——实现液体混合物的完全分离

2、精馏原理（图例讲授法）



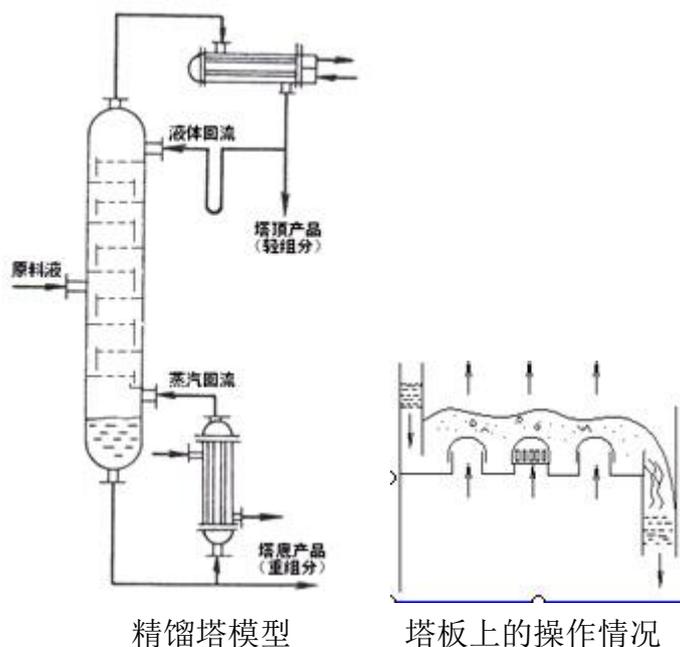
(1)板式塔内进行的精馏过程

上述的多次部分汽化和部分凝过程是在精馏塔内进行的。

精馏塔 板式塔——塔内装有若干层塔板

填料塔——塔内装有一定高度的填料层

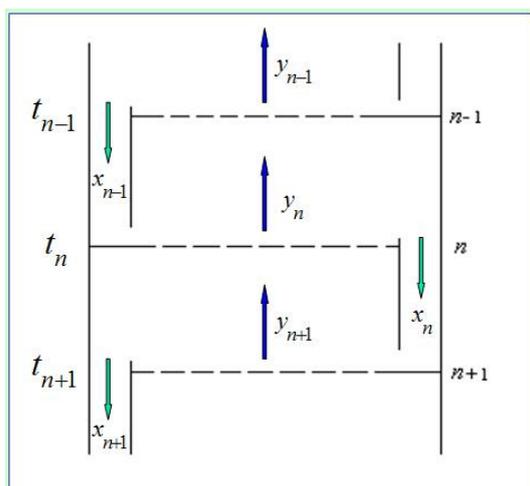
本章主要学习板式塔的计算



精馏塔模型

塔板上的操作情况

(2)塔板操作分析如下图所示:



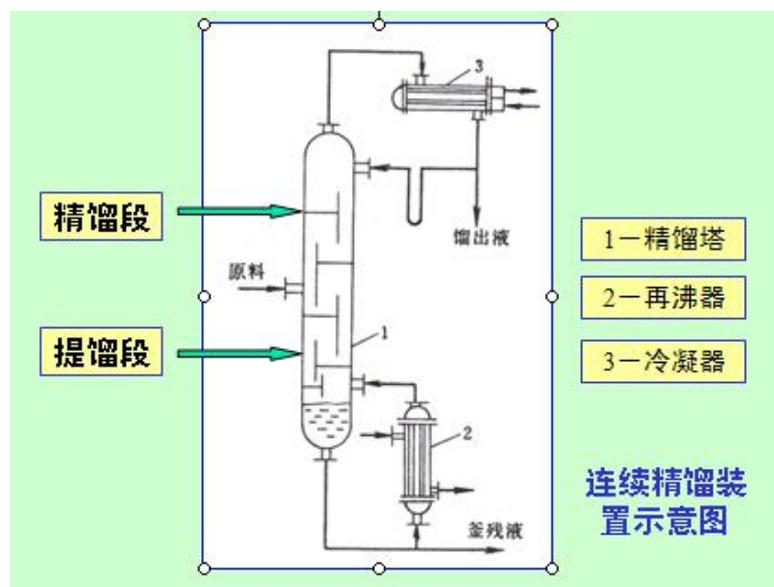
注意: $t_{n-1} < t_n < t_{n+1}$ 、 $y_{n-1} > y_n > y_{n+1}$ 、 $x_{n+1} < x_n < x_{n-1}$

3、精馏操作流程

(1)连续精馏操作流程 (图例讲授法)

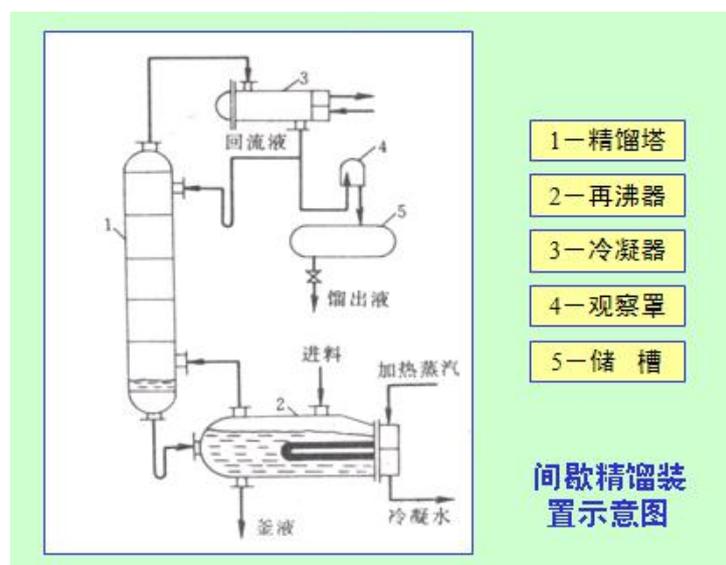
化工生产以连续精馏为主。操作时, 原料液连续地加入精馏塔内, 连续地从再沸器取

出部分液体作为塔底产品（称为釜残液）；部分液体被汽化，产生上升蒸汽，依次通过各层塔板。塔顶蒸气进入冷凝器被全部冷凝，将部分冷凝液用泵（或借重力作用）送回塔顶作为回流液体，其余部分作为塔顶产品（称为馏出液）采出。



(2)、间歇精馏操作流程（图例讲授法）

与连续精馏不同之处是：原料液一次加入精馏釜中，因而间歇精馏塔只有精馏段而无提馏段。在精馏过程中，精馏釜的釜液组成不断变化，在塔底上升蒸气量和塔顶回流液量恒定的条件下，馏出液的组成也逐渐降低。当釜液达到规定组成后，精馏操作即被停止。



4、两组分连续精馏的计算（讲授法）

精馏过程的计算包括：

计算类型:

操作型计算、设计型计算。

计算依据:

- ▲ 物料衡算;
- ▲ 热量衡算;
- ▲ 相平衡关系;
- ▲ 归一方程。

计算项目:

塔顶 (或塔底) 产量和浓度

塔内物流量

确定操作条件:

回流比、进料热状况等

塔板数或填料层高度

进料位置

塔径

再沸器、冷凝器的热负荷

(1) 计算的基本假定

① 理论板的假定

理论板的概念

- ❖ 离开该板的气液两相互成平衡;
- ❖ 塔板上各处的液相组成均匀一致。

理论板提出的意义

用作衡量实际板分离效率的依据和标准。通常,在工塔板上各处的液相组成均匀一致。程设计中,先求得理论板层数,再用塔板效率予以校正,即可求得实际塔板层数。

② 恒摩尔流的假定

恒摩尔气流

精馏段

$V_1 = V_2 = \dots = V_n = V = \text{常数}$ —— 精馏段中上升气体摩尔流量

提馏段

$V'_1 = V'_2 = \dots = V'_m = V' = \text{常数}$ —— 提馏段中上升气体摩尔流量

注意: 两段上升的气相摩尔流量不一定相等。

恒摩尔液流

精馏段 $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L = \text{常数}$ —— 精馏段中下降液体摩尔流量

提馏段 $L'_1 = L'_2 = \dots = L'_m = L' = \text{常数}$ —— 提馏段中下降液体摩尔流量

恒摩尔流动的假定成立的条件

- ❖ 混合物中各组分的摩尔汽化潜热相等;

❖ 塔设备保温良好，热损失可以忽略。

恒摩尔流动虽是一项简化假设，但某些物系能基本上符合上述条件，因此，可将这些系统在精馏塔内的气液两相视为恒摩尔流动。后面介绍的精馏计算均是以恒摩尔流为前提的。

5、两组分连续精馏的计算

精馏塔各股物料(包括进料、塔顶产品和塔底产品)的流量、组成之间的关系可通过全塔物料衡算来确定。

(1)全塔物料衡算

总物料衡算： $F = D + W$

易挥发组分衡算： $Fx_F = Dx_D + Wx$

馏出液采出率： $\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_W}{x_D - x_W}$

易挥发组分回收率 $\eta_A = \frac{Dx_D}{Fx_F} \times 100\%$

难挥发组分回收率 (提问法)

$\eta_B = \frac{W(1-x_W)}{F(1-x_F)} \times 100\%$

课堂提问：精馏原理是什么，精馏与简单蒸馏有何不同？

本讲作业：

反思 1. 精馏原理是什么，精馏与简单蒸馏有何不同？

2. 塔顶液体回流和塔底上升蒸汽流的作用如何？

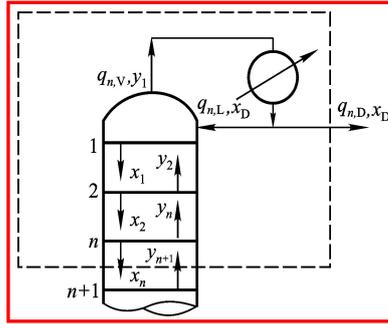
3. 为什么说理论板是一种假定，理论板的引入 在精馏计算中有何重要意义？

4. 恒摩尔流假定的内容如何？

7.13 教学内容十三

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	13/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、精馏塔操作线方程 2、五种进料热状况 3、进料热状况参数 q 值的取值及意义 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、复习上次课内容 2、精馏段操作线方程 3、提馏段操作线方程 4、五种进料热状况 5、进料热状况参数 q 值的取值及意义 <p>重点: 1、精馏段操作线方程 2、提馏段操作线方程 3、五种进料热状况</p> <p>难点: 提馏段气液相流量的确定, 进料热状况参数 q 值的取值及意义</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<p>以提问的方式复习上次课所学知识, 并采用导入方式引出本次课所学内容, 强调本次课内容的重要性。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、精馏段操作线方程 (图例讲授法) <p>在精馏段中, 任意塔板 (n 板) 下降的液相组成 x_n 与由其下一层塔板 ($n+1$ 板) 上升的气相组成 y_{n+1} 之间的关系称之为操作关系, 描述该关系的方程称为精馏段操作线方程。</p> <p>总物料衡算: $V = L + D$</p> <p>易挥发组分衡算: $Vy_{n+1} = Lx_n + Dx_D$</p> <p>令回流比: $R = \frac{L}{D}$</p>						

化解后得精馏段操作线方程: $y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{1}{R+1}$



精馏段的物料衡算示意图

根据恒摩尔流假定, L 为定值, 且在稳态操作时, D 及 x_D 为定值, 故 R 也是常量。精馏段操作线方程为一直线方程。

斜率: $\frac{R}{R+1}$ 截距: $\frac{x_D}{R+1}$

2、提馏段操作线方程 (图例讲授法)

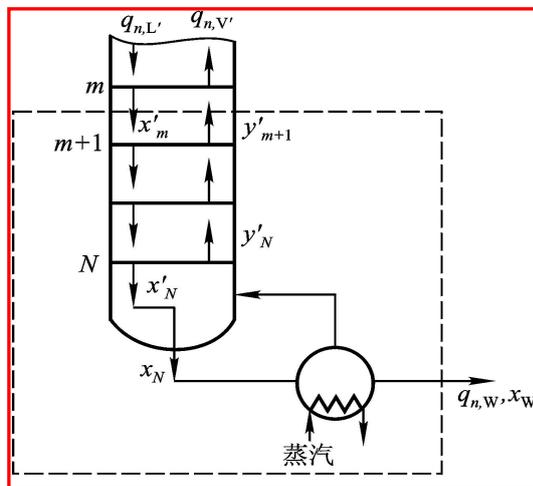
在提馏段中, 任意塔板 (m 板) 下降的液相组成 x'_m 与由其下一层塔板 ($m+1$ 板) 上升的气相组成之间 y'_{m+1} 的关系称之为操作关系, 描述它们之间关系的方程称为提馏段操作线方程。

总物料衡算: $L' = V' + W$

易挥发组分衡算: $L'x'_m = V'y'_{m+1} + Wx_W$

整理得提馏段操作线方程:

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



提馏段的物料衡算示意图

根据恒摩尔流假定, L' 为定值, 且在稳态操作时, W 及 x_w 为定值。提馏段操作线方程为一直线方程。

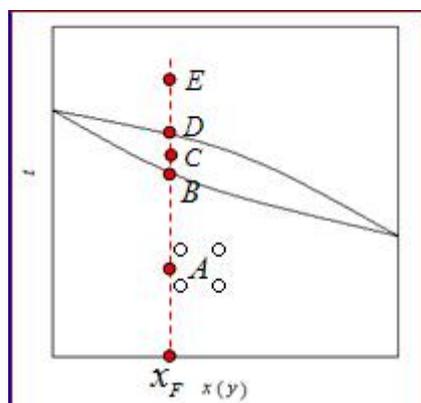
斜率: $\frac{L'}{L' - W}$

截距: $-\frac{Wx_w}{L' - W}$

3、精馏塔的进料状况(图例讲授法)

◆ 精馏塔五种进料热状况

- 冷液进料: $t_F < t_b$ 、 $L' > L + F$ 、 $V' > V$
- 饱和液体 (泡点) 进料: $t_F = t_b$ 、 $L' = L + F$ 、 $V' = V$
- 气液混合物进料: $t_b < t_F < t_d$ 、 $L < L' < L + F$ 、 $V' < V$
- 饱和蒸气 (露点) 进料: $t_F = t_d$ 、 $L' = L$ 、 $V' = V - F$
- 过热蒸气进料: $t_F > t_d$ 、 $L' < L$ 、 $V > V' + F$

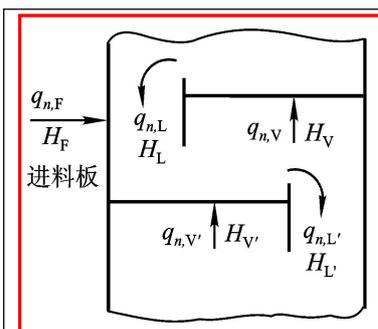


2. 进料热状况参数

(1) 进料热状况参数定义

为了定量地分析进料量及其热状况对于精馏操作的影响, 现引入进料热状况参数的概念。

对进料板的物料衡算和热量衡算



$$q = \frac{H_V - H_F}{H_V - H_L} = \frac{\text{将1kmol进料变为饱和蒸气所需热量}}{\text{原料液的kmol汽化潜热}}$$

$$L' = L + qF$$

$$V' = V + (q-1)F$$

(2) 进料热状况参数对提馏段操作线方程的影响

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

(3) 进料热状况参数的计算

对于冷液进料，设进料温度为 t_F 、泡点温度为 t_b

$$q = \frac{H_V - H_F}{H_V - H_L} = \frac{\bar{c}_p(t_b - t_F) + \bar{r}}{\bar{r}}$$

讨论： 五种进料热状况 q 的取值，（提问学生）

冷液进料	$q > 1$
泡点进料	$q = 1$
气液混合物进料	$0 < q < 1$
气液混合物进料	$q = 0$
过热蒸气进料	$q < 0$

课堂提问： 1、塔顶液体回流和塔底上升蒸汽流的作用如何？

2. 塔顶液体回流和塔底上升蒸汽流的作用如何？

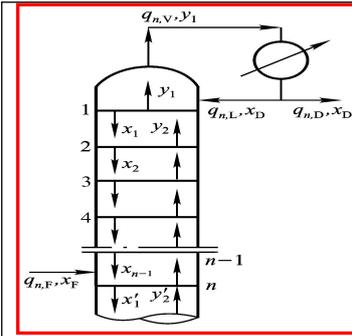
3. 进料热状况参数有何物理意义？

4. q 线方程或进料方程是如何获得的？

本讲作业： 教材 P73, 5, 教材 P74, 6、7。

7.14 教学内容十四

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	14/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、逐板计算法 2、梯级图解法 3、进料热状况对理论板层数的影响 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、复习上次课内容 2、逐板计算法 3、操作线的作法及 q 线方程 4、梯级图解法求理论板层数 5、适宜的进料位置 6、进料热状况对理论板层数的影响 <p>重点: 1、五种进料热状况</p> <p style="padding-left: 2em;">2、进料热状况参数对提馏段操作线方程的影响</p> <p>难点: 1、适宜的进料位置</p> <p style="padding-left: 2em;">2、进料热状况对理论板层数的影响</p>						
本讲教学过程及教学方法						
<p>理论板层数的计算</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、逐板计算法 (图例讲授法) <p>逐板计算法通常从塔顶开始, 计算过程中依次使用平衡方程和操作线方程, 逐板进行计算, 直至满足分离要求为止。</p>						



逐板计算法示意图

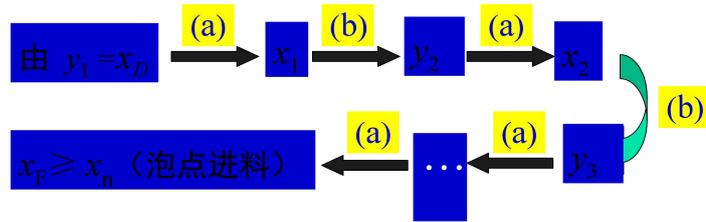
a、
$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

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

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

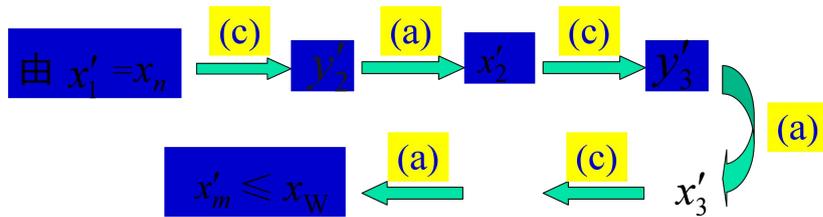
➤ 逐板计算法步骤:

塔顶采用全凝器 $y_1 = x_D$



可得: 进料板 N_F : 第 n 层

精馏段理论板层数: $n-1$ (进料板算在提馏段)



可得: 提馏段理论板层数: $m-1$ (不包括再沸器)

总理论板层数 NT : $n + m - 2$ (不包括再沸器)

2、梯级图解法 (动画演示+讲授法)

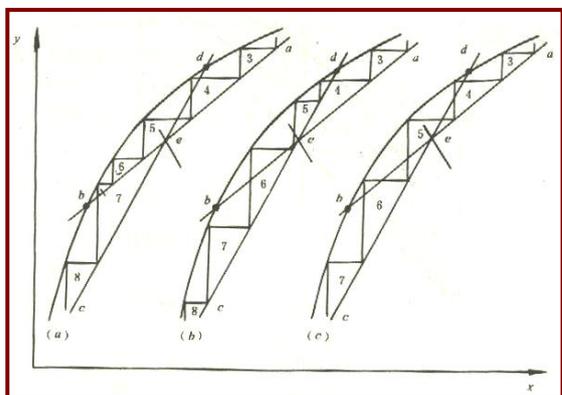
(1)操作线的作法

用图解法求理论板层数时, 需先在 $x-y$ 图上作出精馏段和提馏段的操作线。作图时, 先找出操作线与对角线的交点, 然后根据已知条件求出操作线的斜率 (或截距), 即可作

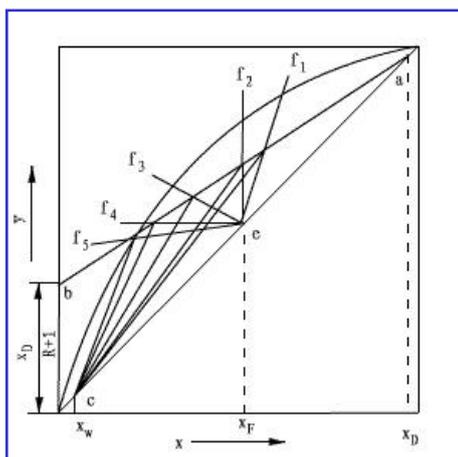
线构成的阶梯,当阶梯跨过两操作线的交点 d 时,改在提馏段操作线与平衡线之间绘阶梯,直至阶梯的垂线达到或跨过点 c 为止。

(3)适宜的进料位置 (图例讲授法)

进料位置对应于两操作线交点 d 所在的梯级,这一位置即为适宜的进料位置。



(4)进料热状况对 q 线的影响



讨论: q 值越大,进料温度越低,平衡线与操作线距离越远,所需的理论板层数越少

课堂提问: 1.进料热状况参数有何物理意义?

2. q 线方程或进料方程是如何获得的?

3.进料量对理论板层数有无影响,为什么?

4.在分离任务一定时,进料热状况对所需的理论板层数有何影响?

本讲作业: 教材 P74, 8.

7.15 教学内容十五

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	15/3	2020-2021/1
本讲教学目标						
<p>掌握的内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、全回流及最小理论板 2、最小回流比的概念及求法 3、适宜回流比的选择 4、回流比与理论板层数的关系 5、塔板效率 6、塔有效高度的计算 						
本讲教学内容						
<ol style="list-style-type: none"> 1、复习上次课内容 2、全回流的的概念 3、最少理论板层数 4、回流比与理论板层数的关系 5、最小回流比的概念及求法 6、适宜回流比的选择 7、吉利兰(Gilliland)关联图 8、塔板效率及塔高及计算 <p>重点:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、回流比与理论板层数的关系 2、最小回流比的概念及求法 3、塔板效率及塔高及计算 <p>难点: .1、芬斯克方程式</p> <p>2、进料热状况对理论板层数的影响</p>						
本讲教学过程及教学方法						
回流比的影响及其选择						

1、全回流和最少理论板层数 (动画演示+讲授法)

(1)全回流的概念

若上升至塔顶的蒸气经全凝器冷凝后，冷凝液全部回流到塔内，该回流方式称为全回流。

$$R = \frac{L}{D} = \frac{L}{0} = \infty$$

注意：全回流操作时不向塔内进料，也不从塔内取出产品，全塔无精馏段和提馏段之区分，两段的操作线合二为一，操作线与对角线重合，操作线方程为：

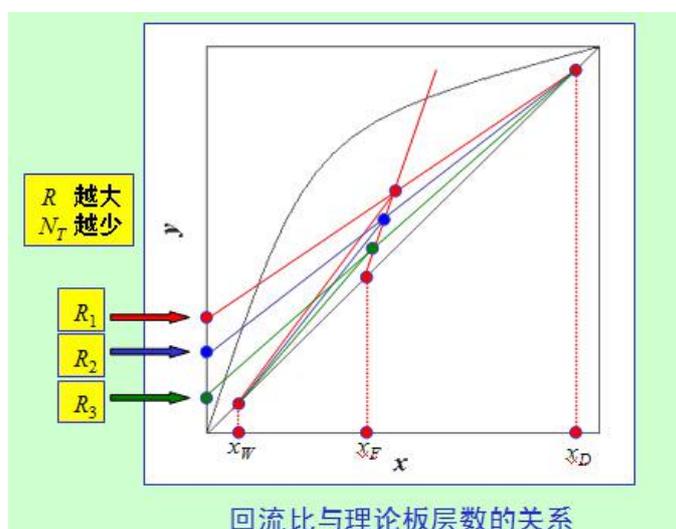
$$y_{n+1} = x_n$$

全回流的应用

- ❖ 精馏的开工阶段

(2)最少理论板层数

回流比愈大，完成一定的分离任务所需的理论板层数愈少。当回流比为无限大，两操作线与对角线重合，此时，操作线距平衡线最远，气液两相间的传质推动力最大，因此所需理论板层数最少，以 N_{\min} 表示。



芬斯克方程式：
$$N_{\min} = \frac{\lg\left[\left(\frac{x_D}{1-x_D}\right)\left(\frac{1-x_W}{x_W}\right)\right]}{\lg \alpha_m} - 1$$

注意：

- ❖ 求得的最小理论板层数不含再沸器
- ❖ 为全塔平均相对挥发度

$$\alpha_m = \sqrt{\alpha_D \alpha_W}$$

2. 最小回流比 (动画演示+讲授法)

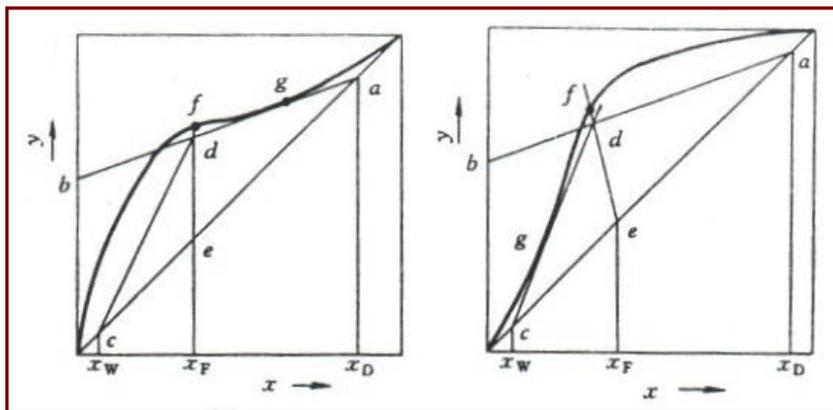
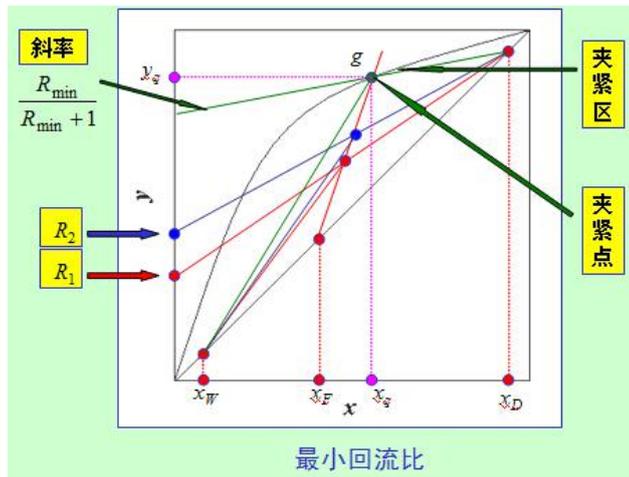
(1) 最小回流比的概念

对于一定分离任务, 减小操作回流比, 两操作线向平衡线靠近, 所需理论板层数增多。当回流比减小到某一数值, 两操作线的交点 d 落到平衡线上, 此时, 若在平衡线与操作线之间绘阶梯, 将需要无穷多阶梯才能到达点 d , 相应的回流比即为最小回流比, 以 R_{\min} 表示。

(2) 最小回流比的求法

① 作图法

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



非正常平衡曲线最小回流比的求法

② 解析法

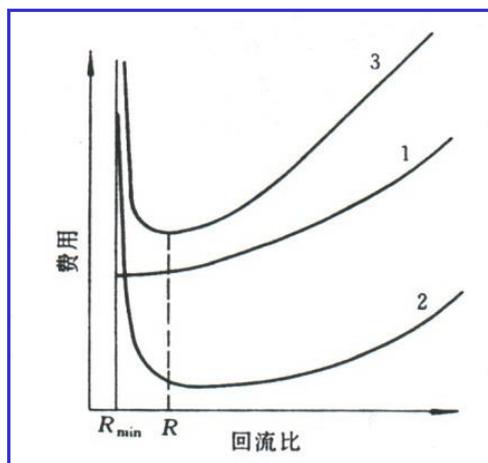
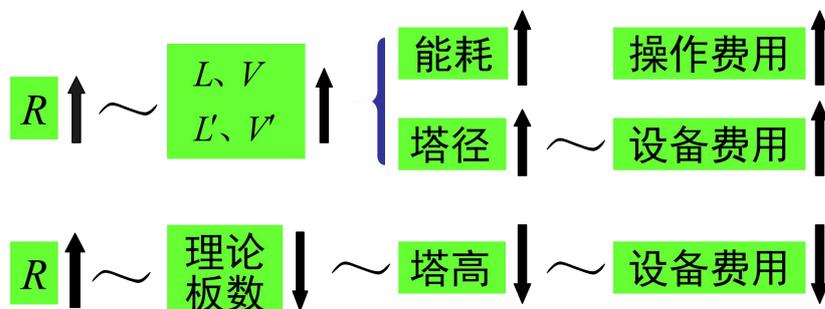
泡点进料

$$x_q = x_F$$

$$R_{\min} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[\frac{x_D}{x_F} - \frac{\alpha(1-x_D)}{1-x_F} \right]$$

3、适宜回流比的选择 (分析讨论、提问、引导法)

分离任务一定



适宜回流比的选择示意图

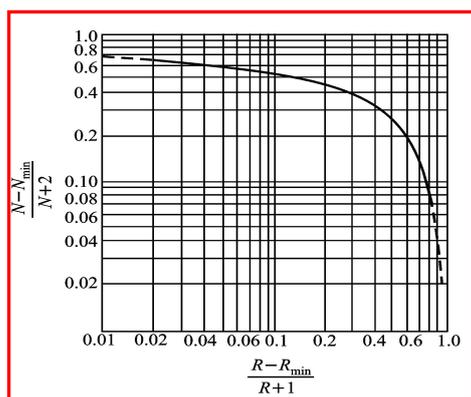
其中：1—操作费用、2—设备费用、3—总费用

因此，选择适宜的回流比需进行经济权衡，根据生产实践经验，取

$$R = (1.1 \sim 2.0)R_{\min}$$

4、吉利兰(Gilliland)关联 (图例讲授法)

精馏塔理论板层数除了可用前述的逐板计算法和图解法求算外，还可用简捷法计算。通常采用的简捷法为吉利兰关联图。



吉利兰关联图

简捷法求理论板层数的步骤

- ❖ 先按设计条件求出最小回流比 R_{min} ，并选择操作回流比 R 。
- ❖ 计算全回流下的最少理论板层数 N_{min} 。
- ❖ 利用吉利兰关联图，计算全塔理论板层数 N 。
- ❖ 用精馏段的最小理论板层数 N_{min1} 代替全塔的 N_{min} ，确定适宜的进料板位置。

由芬斯克方程式

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

$$N_{min1} = \frac{\lg\left[\left(\frac{x_D}{1-x_D}\right)\left(\frac{1-x_F}{x_F}\right)\right]}{\lg \alpha_{m1}} - 1$$

α_{m1} 为精馏段平均相对挥发度： $\alpha_{m1} = \sqrt{\alpha_D \alpha_F}$

2、塔有效高度的计算

(1)基本计算公式

板式塔有效高度是指安装塔板部分的高度，其计算方法是，先通过板效率将理论板层数换算为实际板层数，再选择合适的板间距计算板式塔的有效高度。

$$Z = (N_p - 1)H_T$$

(2)塔板效率

塔板效率反映了实际塔板的汽液两相传质的完善程度。

①全塔效率

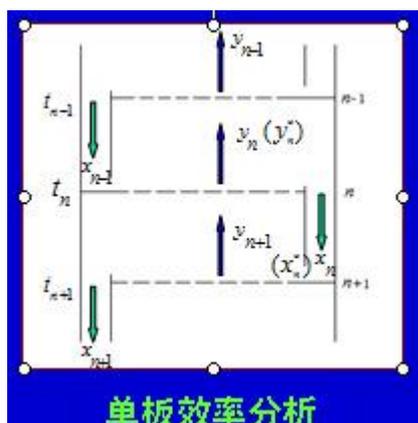
$$E_T = \frac{N_T}{N_p} \times 100\%$$

②单板效率

单板效率又称默弗里 (Murphree) 效率, 它是以混合物经过实际板的组成变化与经过理论板的组成变化之比来表示的, 单板效率即可用汽相组成表示, 也可用液相组成表示, 分别称为汽相单板效率和液相单板效率。

气相单板效率
$$E_{MV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$$

液相单板效率
$$E_{ML} = \frac{x_{n-1} - x_n}{x_{n-1} - x_n^*}$$



3、板式塔直径的计算

基本计算公式:
$$D = \sqrt{\frac{4V_s}{\pi u}}$$

提示: ①精馏段与提馏段分别计算, 相差不大取较大者作为塔径, 相差较大采用变径塔。

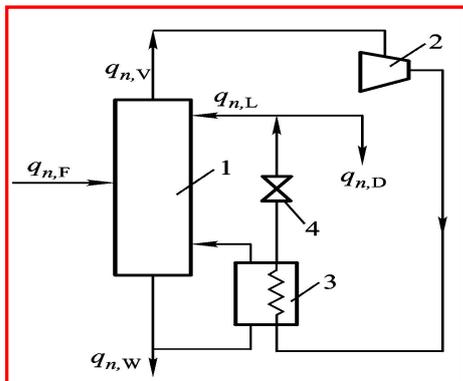
②计算塔径后应进行圆整。

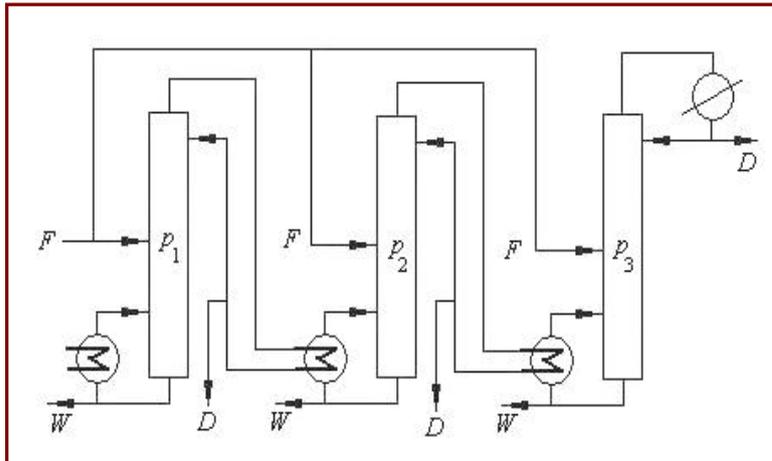
课堂提问: 1、吉利兰(Gilliland)关联图求理论板的步骤是什么?

2、如何求提馏段的上升蒸汽流量和液相流量? 总板效率和单板效率的定义和计算方法如何?

本讲作业: 教材 P74, 10、11, P75, 15、17

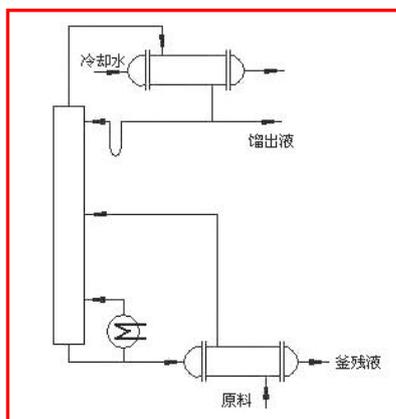
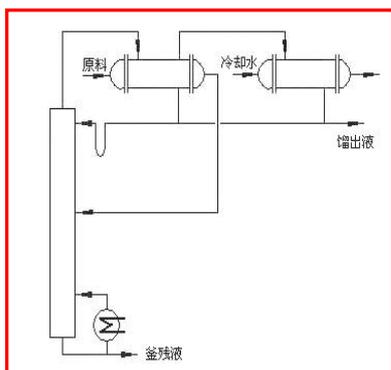
7.16 教学内容十六

学院	教师姓名	课程名称	学分/学时	课程性质	课次/学时	学期/学年
化学工程学院	卫晓利	化工原理 B2	2.5/40	专业必修	16/2	2020-2021/1
本讲教学目标						
掌握的内容： 1、精馏过程的节能途径 2、间歇精馏特点						
本讲教学内容						
1、复习上次课内容 2 精馏过程的节能途径 3、间歇精馏特点与操作方式 4、总复习 重点：1、精馏过程的节能途径 难点：.1、间歇精馏计算						
本讲教学过程及教学方法						
1、精馏过程的节能途径（图例讲授法） 减小操作回流比 降低塔釜操作温度 热泵精馏 						
多效精馏						



原料预热

- ❖ 用塔顶蒸气预热原料
- ❖ 用塔顶蒸气预热原料



2、间歇精馏(讲授法)

(1)间歇精馏的特点与操作方式

非稳态操作过程、只有精馏段、操作灵活、适应性强

(2)间歇精馏特点与操作方式

(3)间歇精馏的应用场合

(4)间歇精馏计算

3、总复习。

课堂提问：影响精馏操作有哪些主要因素？

本讲作业：1.课后自学馏出液组成恒定的间歇精馏有何特点，其理论板层数如何确定？2.回流比恒定的间歇精馏有何特点，其理论板层数如何确定？

8. 学生课程学习要求

我将根据自己多年来的学习经验总结与同学们交流分享如何学好《化工原理》这门专业核心课,希望能给同学们的学习提供一些启发。

(1) 预习

预习可以是自己能快速有效的跟上老师的教学思路,事先完成对教科书及其他相关资料的阅读,才能更好的理解老师所讲所做,才能在课堂中提出问题并有效解决问题。

(2) 课堂学习

上课时做好笔记,以备后续复习查阅们注意重点记下教科书中未出现而老师却一再强调的内容及知识点,积极参与课堂提问及课堂讨论,这是对所学知识加深理解的重要途径。

(3) 课后复习

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和总结能力。

9、课程考核方式及评分规程

本门功课采取平时成绩+考试卷面成绩综合评分的形式,课程实行闭卷考试的形式,依据四川理工学院相关规定进行,具体成绩计算方式如下:

- 1、平时成绩 (40%): 出勤 (迟到, 早退, 缺席等)、作业、期中考试成绩三部分组成。
- 2、卷面成绩 (60%): 以试卷分数的 60%记入总成绩 (补考成绩另算)。

10、考试诚信规定

考试违规与作弊依据学校相关规定。

11、课堂规范

- 1、课堂纪律: 依据四川理工相关规定。
- 2、课堂礼仪: 依据四川理工相关规定。

12. 课程资源

- 1、教材与参考书: 以教师提供的参考书为准
- 2、专业学术专著: 教师提供相关资源, 学生根据自己实际情况自由选择参阅。

- 3、专业刊物：教师提供相关资源，学生根据自己实际情况自由选择参阅。
- 4、网络课程资源：教师提供相关资源，学生根据自己实际情况自由选择参阅。
- 5、课外阅读资源：教师提供相关资源，学生根据自己实际情况自由选择参阅。

13、学术合作备忘录（契约）

- 1、阅读课程实施大纲，理解其内容。
- 2、同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望。