



四川轻化工大学课程实施大纲

课程名称：化工工艺学

授课班级：化学工程与工艺 20221、20221（留）

任课教师：陈晓峰

工作部门：化学工程学院

联系方式：13890051170

四川轻化工大学 制

2025 年 2 月

《化工工艺学》课程实施大纲

基本信息

课程代码：16143002

课程名称：化工工艺学

学 分：3

总 学 时：48

学 期：第 6 学期

上课时间：2024-2025 学年第 2 学期 1-12 周周一 1~2 节，周三
3~4 节

上课地点：四川轻化工大学 N1-411

答疑时间和方式：课余/课间、电话、QQ、邮件

答疑地点：N1-123、N2S-5090、电话、QQ、邮件

授课班级：化学工程与工艺 20221、20221（留）

任课教师：陈晓峰

学 院：化学工程学院

邮 箱：2260998945@qq.com

联系电话：13890051170

目录

1. 教学理念	1
2. 课程介绍	1
2.1 课程的性质	1
2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用	1
2.3 课程的历史与文化传统	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	2
2.6 课程内容可能涉及到的伦理与道德问题	2
2.7 学习本课程的必要性	2
3. 教师简介	3
4. 先修课程	3
5. 课程目标	3
5.1 知识与技能方面	3
5.2 过程与方法方面	3
5.3 情感、态度与价值观方面	4
6. 课程内容	4
7. 课程实施	7
教学单元一	7
教学单元二	9
教学单元三	11
教学单元四	12
教学单元五	22
教学单元六	24
教学单元七	26
教学单元八	28
教学单元九	29
教学单元十	30
教学单元十一	32

教学单元十二	34
教学单元十三	35
教学单元十四	12
教学单元十五	14
教学单元十六	14
教学单元十七	15
教学单元十八	16
教学单元十九	16
教学单元二十	18
教学单元二十一	19
教学单元二十二	20
教学单元二十三	20
教学单元二十四	37
8. 课程要求	37
8.1 学生自学的要求	37
8.2 课外阅读的要求	37
8.3 课堂讨论的要求	38
8.4 课程实践的要求	38
9. 课程考核	38
9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告的要求	38
9.2 成绩的构成与评分规则说明	38
9.3 考试形式及说明	39
10. 学术诚信	39
10.1 考试违规与作弊	39
10.2 杜撰数据、信息	39
10.3 学术剽窃处理	39
11. 课堂规范	39
11.1 课堂纪律	39
11.2 课堂礼仪	39
12. 课程资源	40

12.1 教材与参考书	40
12.2 专业刊物	40
12.3 课外阅读资源	40
13. 教学合约	40
14. 教师寄语	40

1. 教学理念

围绕本专业培养应用型工程技术人才这一根本培养目标，在以培养学生的自学能力，工程实践能力和创新能力为根本的前提下，本课程遵循理论联系实际，学以致用原则，在教学过程中使学生在有限的教学中学到化工工艺学的精髓。

化工工艺学作为一门核心专业课，有其自身的特点，针对本科教学要求，在教学中结合典型工艺，完整的教授基本知识和基本理论，并在课时允许时，介绍行业中的先进技术和研究发展成果，进一步拓宽视野，丰富学习内容，为今后的学习和工作打下良好的基础。在课程实施过程中，采用多种教学方法，充分调动学生学习主动性和积极性，以期达到良好的教学效果。

2. 课程介绍

2.1 课程的性质

本课程是专业必修课，是该专业主干专业课之一。

本课程从化工生产的角度出发，运用化工过程的基本原理，阐明化工工艺的基本概念和基本理论，介绍典型化工产品或过程的工艺原理、原则流程、关键设备、工艺条件与节能降耗分析。

通过本课程学习，培养学生应用已学过的数学、自然科学和工程科学的基础理论用以表达工艺过程的能力；掌握化工过程的基本原理，典型工艺过程的方法、原理、流程及工艺条件，能够基于工程原理，培养工艺分析能力和工艺解决工程实际问题的能力；了解化工生产中的设备材质、安全生产、三废治理等问题，培养技术经济性作为工艺技术核心的工艺观念。

2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

该课程是在本专业学生学习了基础课程、专业基础课程之后开设的专业课，是要求有相关专业知识的提前下学习的一门课程。本课程的目标是培养学生的工程观点和解决工程实际问题的能力，具有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初步能力

本课程是研究和指导化工生产的学科，所以化工工艺与化学工程的发展紧密联系在一起，相互依存，相互促进。任何化工企业都离不开懂化工工艺的技术人员。由此可见

化工工艺学在化工生产中的地位和作用。

2.3 课程的历史与文化传统

现代化学工业的起源自 18 世纪开始，随着化学工业的发展而发展出化工工艺学这门学科。化工工艺学是在化学、物理和其他科学成就的基础上，研究综合利用各种原料生产化工产品的原理、方法、流程和设备的一本学科。化学工业的蓬勃发展是在 19 世纪末开始，化工工艺学也在同时得到迅猛发展，在这 100 多年的时间里，化工工艺学一直在指导化工生产，并由化工生产实践不断促进化工工艺的进步。

2.4 课程的前沿及发展趋势

化工工艺学是指研究运用各种学科的知识，经济地、先进地将各种原材料生产出化工产品的技术、过程与方法，是化工产品生产的工程技术、诀窍和艺术。

现代化工发展主要在以下几方面：开发新技术、缩短新技术新工艺工业化周期，加快产品更新升级；最充分、彻底地利用原料；大力发展绿色化工；化工过程要高效、节能、智能化；实施废物再生工程。这也是目前化工工艺研究的主要方向。

2.5 课程与经济社会发展的关系

化学工业是国家的重要经济支柱之一，化学工业的发展水平代表着一个国家的经济水平，而化工工艺学是为化学工业提供技术发展的。所以，本课程是化学工程与工艺专业学生的必修课。化工的发展需要依赖化工人才的培养，本课程是化工人才培养中必须的一门课程。

2.6 课程内容可能涉及到的伦理与道德问题

本课程需要重视的是化工生产中的技术经济性，这是化工生产的核心所在，但更要注重绿色化工的发展，化工产品在给人类带来各种便利好处的同时，对生态环境也有不利影响。在教学过程中必须强调环境保护和劳动防护在生产中的重要性，重视人与自然的和谐相处。不可为了追求经济利益而牺牲环境，给社会发展和人民健康带来不利影响。

2.7 学习本课程的必要性

(1) 培养学生工艺全局概念。之前的课程都是针对个别设备或过程的，此课程是对之前专业知识的串联。

(2) 工艺学是指导和研究化工生产的学科，是培养应用型化工技术人员必不可少的课程。

3. 教师简介

陈晓峰，讲师，博士，研究方向：高分子材料结构与性能

4. 先修课程

高等数学、普通物理、无机化学、分析化学、有机化学、物理化学、工程力学

5. 课程目标

5.1 知识与技能方面

通过这门课程的学习，使学生掌握生产化工产品的生产原理、生产方法、工艺过程、主要设备及操作；并针对工艺的实际使用情况，相关介绍工艺过程中产生的废水，废气的基本处理方法，对生产工艺的技术经济指标和能量的回收加以评价。本课程的目的是增强学生的工艺观点，经济观点，培养学生工艺分析的初步能力

课程目标 1. 能运用化工工艺的基本方法，对化工生产过程的问题进行分析比较与综合，具备化工工艺的全局观念。

课程目标 2. 通过学习典型化工生产工艺的生产方法与工艺原理、工艺流程、关键设备、工艺条件、节能降耗、安全和环保等知识，具备工艺思维方式和工程观念，能运用化工专业知识进行化工生产工艺相关复杂工程问题的比较、综合和选择。

课程目标 3. 通过对典型化工生产工艺的基本方法、基本原理、工艺流程和工艺条件的学习，能从生产基本原理出发，观察、分析、综合、归纳，认识并找到解决化工及相关领域复杂工程问题的多种方案。

课程目标 4. 通过本课程学习，具备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，并获得有效结论。具备终身学习、永攀高峰和追求真理的科学精神、报效祖国的工匠精神、环保理念、紧跟时代发展的探索精神。

5.2 过程与方法方面

本课程教学过程中，将授课、讨论、作业、实践、考核、教材与教学等各环节作为一个整体考虑，充分利用现代化教育技术手段和教学方式，形成传统教学方式与现代化教学方式相结合的多层次教学体系。

该课程除了讲授化工产品生产的基本概念、基础知识、原料来源、处理方法和主要产品外，重点选取几个典型的生产工艺进行学习、突出本课程在实际生产、研究过程的

实用性。通过多个生产工艺实例讲授，化工产品生产常用的主要反应特性贯穿在具体工艺中加以学习，培养学生“举一反三、融会贯通”的能力。教学中注重灵活机动、精讲多练的多种方法结合，并根据需要持续不断地调整各环节教学的主、次、轻、重，调整讲授和实践练习的比例，调整课程内容顺序，达到学生更容易理解之目的。

5.3 情感、态度与价值观方面

该课程坚持学习先进的教育理论，以积极向上的情感、态度和价值观为教育方向，以转变教育思想、更新教育观念为先导，吸取国内外同行的先进经验，持续进行教学内容和课程体系深层次的改革，不断完善现有教学体系，再根据实践效果进行修订，使之更适合学生的要求，形成一套满足时代需求的课程体系。

遵循针对性、有效性原则，坚持三个“贴近”——贴近学生、贴近实际应用和贴近学科专业，使学生加深对课程理论知识的理解，并把这种领悟用来指导自己的实践，如此循环互动，使这门课程促进学生能力素质提升的作用落到实处。

6. 课程内容

第一章 绪论

- 1 化工工艺学范畴
- 2 化学工业发展状况与趋势

学时安排：2 学时

第二章 基本化工原料与初步加工

重点：石油及其加工产物。

覆盖内容：化学矿物及其加工产物，天然气及其加工产物，石油及其加工产物，煤及其加工产物，生物质及其加工产物，基本有机化工的主要产品。

学时安排：4 学时

第三章 合成氨

(1) 合成氨粗原料气的制备

难点：烃类蒸汽转化反应；转化反应平衡常数与平衡组成计算；转化反应动力学；平衡温距概念；析碳过程分析；烃类蒸汽转化的深度与转化分段；变换反应原理与平衡组成计算；平衡变换率与实际变换率基准的区别；CO 含量对变换温度以及对变换工艺流程的影响；最佳反应温度概念；T—X 图的分析；不同变换催化剂使用范围和气体组成的关系。

重点：烃类蒸汽转化反应平衡组成计算；工艺参数对平衡组成的影响；蒸汽转化催化剂和催化剂毒物影响；工艺参数对蒸汽转化反应速率的影响；析碳的危害与析碳的热力学动力学分析；蒸汽转化的转化深度与转化的分段；转化生产中工艺参数的确定；转化工艺流程；转化工段热能回收分析；一段转化炉和二段转化炉；变换反应的热力学与动力学分析；变换催化剂；CO 含量与变换温度之间的关系；变换温度的确定与 T—X 图；变换工艺流程。

（2）合成氨粗原料气的净化

难点：氧化还原法脱硫原理与脱硫催化剂选择依据的推导；改良 ADA 法的脱硫原理；ZnO 脱硫原理；脱碳中物理吸收与化学吸收的比较；脱碳两段吸收两段再生原则流程；热碳酸钾法脱碳的动力学分析；物理吸收的吸收剂循环量的计算推导。原料气最终净化方法的选择依据。

重点：脱硫方法的分类和选择；氧化还原法脱硫原理与催化剂选择依据推导；改良 ADA 法脱硫；ZnO 法脱硫；脱碳中物理吸收与化学吸收的比较；脱碳两段吸收两段再生流程；热碳酸钾法；物理吸收吸收剂循环量的计算推导；低温甲醇法脱碳；原料气最终净化方法的选择依据，甲烷化催化剂与工艺流程。

（3）氨的合成

难点：氨合成反应平衡常数与平衡组成计算；工艺参数对合成反应平衡的影响；合成催化剂；合成反应动力学；氨合成工艺参数中的反应温度确定；氨合成循环回路流程的组成和位置确定原则；各种氨合成循环回路流程的比较；氨合成塔的内部结构与各种塔型分析；合成工序能量的综合利用。

重点：氨合成反应的平衡常数与平衡组成计算；工艺参数对合成反应平衡影响，并区分可调参数与不可调参数；合成催化剂的组成与各种促进剂，催化剂毒物；合成反应机理与动力学方程式；氨合成生产中各工艺参数的确定；氨的分离方法与分离平衡组成计算方法；氨合成循环回路工艺流程的组成和位置确定原则；各种典型合成流程介绍与优缺点比较；氢氮气腐蚀条件与腐蚀原因；合成塔内部结构介绍；合成塔塔型分类；集中典型合成塔的内部结构与优缺点。合成工序的能量综合利用与节能措施；排放气的回收。学时安排：16 学时

第四章 尿素、硫酸

重点：尿素生产原理，接触法硫酸生产原理。

覆盖内容：尿素生产原理，尿素生产工艺参数与流程，接触法硫酸生产原理，工艺

参数与流程。

学时安排：4 学时

第五章 烃类热裂解

重点：热裂解过程的化学反应与反应机理；烃类管式炉裂解生产乙烯；裂解气的净化与分离；裂解气的深冷分离流程。

覆盖内容：热裂解过程的化学反应与反应机理；烃类管式炉裂解生产乙烯；裂解气的净化与分离；裂解气的深冷分离流程；裂解分离系统的能量有效利用。

学时安排：12 学时

第六章 芳烃转化

重点：芳烃转化过程的化学过程；芳烃的歧化与烷基转移；C8 芳烃的分离与异构化。

覆盖内容：芳烃的来源，供需与芳烃间的相互转化；芳烃转化过程的化学过程；芳烃的歧化与烷基转移；C8 芳烃的分离与异构化；芳烃的烷基化；芳烃的脱烷基化。

学时安排：4 学时

第七章 催化加氢与脱氢、催化氧化、羰基化

重点：催化加氢反应的一般规律；氧化过程的共同性质；羰基化的概念。

覆盖内容：催化加氢反应的一般规律；氧化过程的共同性质；羰基化的概念。

学时安排：4 学时

第八章 总复习

学时安排：2 学时

7. 课程实施

化工工艺学课程在教学实施过程中，每 2 个课时为一个教学单元，共 24 个教学单元，总计 48 个课时，以下为每个教学单元的课程实施安排表，包括教学日期、教学目标、教学内容（含重点、难点）、教学方法、教学过程、作业安排及相关阅读材料，请同学们仔细阅读。

教学单元一

上课次数	第一次	日期		课时	2
教学目标					
化工工艺学的基础知识，对化工工艺学特点与学习方法予以说明，让学生明确在本课程要学习培养的能力。					
教学内容					
(1) 化学工业发展状况与趋势； (2) 化工工艺学的范畴和作用； (3) 化工基本概念； (4) 化工原料准备					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论					
教学过程					
1. 化学工艺学的研究范畴和任务 化学工业(chemical industry): 又称化学加工工业，泛指生产过程中化学方法占主要地位的制造工业，又可以详细表述为运用化学工艺、化学工程及设备，通过各种化工单元操作，高效、节能、经济、环保和安全地将原料生产成化工产品					

的特定生产部门。

化学工艺(chemical technology): 即是化工生产技术,是指将各种原料主要经过化学反应转变为产品的方法和过程,包括实现这种转变的全部化学的和物理的措施。

化学工艺学: 是根据化学、物理和其他科学的成就,来研究综合利用各种原料生产化工产品的方法原理、操作条件、流程和设备,以创立技术上先进、经济上合理、生产上安全的化工生产工艺的学科。

化学工艺学的研究范畴: 一般包括原料的选择和预处理;生产方法的选择及方法原理;设备(反应器和其他)的作用、结构和操作;催化剂的选择和使用;其他物料的影响;操作条件的影响和选定;流程组织;生产控制;产品规格和副产物的分离与利用;能量的回收和利用;对不同工艺路线和流程的技术经济评比等问题。

化学工程(chemical engineering): 为适应化学工艺的需要,以化学、物理、数学为基础,结合化学工业和其他过程工业生产的共同规律,用以指导化工装置的放大、设计和生产操作的工程学科,称化学工程。

化学工程学: 主要研究化学工业和其他过程工业生产中所进行的化学过程和物理过程的共同规律,它的一个重要任务就是研究有关工程因素对过程和装置的效应,特别是放大中的效应。

化学工艺与化学工程相配合,可以解决化工过程开发、装置设计、流程组织、操作原理及方法等方面的问题;此外,解决化工生产实际中的问题也需要这两门学科的理论指导。

化学工业的发展促进了这两门学科的不断发展和完善,它们反过来能更加促进化学工业迅速发展和提高。

2.化学工业的历史、现状及其在国民经济中的作用

化学工业的历史和现状

化学工业是应人类生活和生产的需要发展起来的,化工生产的发展推动了社会的发展。

(1) 世界化学工业的发展历史和现状

发展史:

<p>1.生产生活必需品</p> <p>2.应对战争</p> <p>（2）我国的化学工业</p> <p>化学工业在国民经济中的作用</p> <p>（1）发展农业的支柱</p> <p>（2）工业革命的助手</p> <p>（3）战胜疾病的武器</p> <p>（4）改善人类生活的手段</p> <p>3.现代化学工业的特点和发展方向</p> <p>现代化学工业的特点：</p> <p>(1) 原料、生产方法和产品的多样性与复杂性</p> <p>(2) 多学科合作、生产技术密集、化学工业装备复杂、技术密集，属于高度自动化和机械化的生产部门，并进一步朝着智能化发展。</p> <p>(3) 高能耗、高风险、高投入、高利润</p> <p>化学工业发展的方向：</p> <p>21 世纪，化学工业的发展趋势是：产品结构精细化和功能化；生产装置的微型化和柔性化；生产过程绿色化和高科技化；市场经营国际化、信息化。另外，化工过程的高效、节能、智能化及废弃物的再生利用也都是未来化学工业的发展趋势。</p>
课外作业
化学工程与化工工艺之间关系

教学单元二

上课次数	第二次	日期		课时	2
教学目标					
化学工业原料资源及其加工利用					
教学内容					

<p>1.了解无机化学矿及其加工方法</p> <p>2.掌握天然气及其加工方法</p>
教学方法
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法
教学过程
<p>原料是化工产品生产的物质基础，种类繁多，用途广泛。化工原料根据物质来源可分为无机原料和有机原料两大类。</p> <p>一、无机化学矿及其加工</p> <p>我国化学矿产资源丰富，已经形成了一个比较完整的矿石加工利用工业体系，生产的化学肥料和无机化工产品品种齐全。</p> <p>提高矿石资源的综合利用，实施科学的矿床开发技术，其经济效益必将会大大提高。由于我国磷矿、硫铁矿及硼矿的储量居世界前列且产量很大。</p> <p>二、天然气及其加工利用</p> <p>天然气是埋藏在地下的古生物经过亿万年高温和高压等作用形成的可燃性的气体，是一种无色无毒、热值高、燃烧稳定、洁净环保的优质能源。</p> <p>天然气的主要成分是甲烷，另有少量乙烷、丙烷、丁烷，此外一般还含有硫化氢、二氧化碳、氮以及微量惰性气体。</p> <p>天然气的分类和组成</p> <p>埋藏在地下的可燃性气体。可单独存在，或与石油和煤伴生。</p> <p>与石油伴生的称为油田伴生气（油田气）；与煤田伴生的称为煤田伴生气（煤层气）</p> <p>1.天然气的划分：</p> <p>(1)、干气：主要成分是 CH_4，其次是 C_2H_6，C_3H_8 和 C_4H_{10}，含有少量 C_5 以上重组分，还有 CO_2、N_2、H_2S 和 NH_3 等。加压没有液体产生，天然气井和煤田伴生</p>

气属于干气。

(2)、湿气：主要成分为甲烷和乙烷等低碳烷烃，还含有轻汽油。稍加压缩就有液体汽油析出。油田伴生气属于湿气。

2.天然气用途：

(1)、干气：用于合成氨和甲醇生产。其热值高也是较好燃料。

(2)、湿气：用作热裂化制低级烯烃原料或民用燃料。

目前天然气化工用途主要用于生产合成氨的原料气、合成甲醇原料气、制备羰基合成的合成气和裂解生产有机化工原料。

课外作业

教学单元三

上课次数	第三次	日期		课时	2
教学目标					
化学工业原料资源及其加工利用					
教学内容					
煤、石油、生物质及其加工方法					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、实验演示法					
教学过程					
<p>一、煤及其加工利用</p> <p>煤是自热界中储备最丰富的化石燃料，它是由含碳与氢的多种结构的大分子有机物和少量硅、铝、钙、镁等无机矿物质组成。</p> <p>根据成煤过程时间的不同，可将煤分为泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤等。</p> <p>煤的化学加工方法：</p> <p>煤的干馏（高温和低温）、煤的气化、煤的液化（直接和间接）。煤气化是今后发展煤化工的主要途径。</p> <p>二、石油及其加工利用</p>					

油中所含的化合物大致可分为烃类、非烃类、胶质和沥青三大类。由碳和氢化合形成的烃类构成石油的主要组成部分，约占 95%-99%；含硫、氧、氮的化合物对石油产品有害，在石油中应尽量除去。

不同产地的石油中，各种烃类的结构和所占比例相差很大，但主要属于烷烃、环烷烃、芳香烃三类。

石油加工方法：

原油一般不能直接使用，需要进行一次加工和二次加工，加工后可提高其利用率。

（1）一次加工

一次加工方法主要包括常压蒸馏和减压蒸馏。蒸馏是一种利用液体混合物中各组分挥发度的差别（沸点不同）进行分离的方法，是一种没有化学反应的传质、传热物理过程，主要设备是蒸馏塔。

减压蒸馏操作是为了避免在高温下重组分的分解（裂解）。

根据目的不同，常减压蒸馏流程分为燃料型、燃料-润滑油型和燃料-化工型-润滑油型三种。

（2）二次加工（为了生产更多的燃料和化工原料，需要对各个馏分油进行二次加工）

原料经过常减压蒸馏只能切割成几个馏分，生产的燃料品种数量有限，不能满足需求，而且直接作为化工原料使用的也只是塔顶出来的气体。

常用的二次加工方法主要由催化重整、催化裂化、催化加氢裂化和烃类热裂解四种。

三、生物质及其加工利用

生物质：泛指农、林、牧、副、渔业的产品及其废弃物（壳、芯、杆、糠、渣）等，不同于化石燃料，生物质是可再生资源。

生物质不但可以直接燃烧利用，还可以通过化学或生物化学的方法转变为基础化学品或中间产物。如：①糠醛的生产，②乙醇的生产，③丙二醇的生产。

课外作业

（1）煤化学加工方法？

（2）原油一次加工与二次加工主要由哪些？

教学单元四

上课次数	第四次	日期		课时	2
教学目标					
合成氨-粗原料气的制备					
掌握蒸汽转化反应的独立反应，掌握转化反应平衡常数的求取方法与平衡组					

成计算，了解独立碳数的计算方法，掌握工艺参数温度、压力、水碳比对转化平衡组成的影响。了解转化催化剂所处工况、催化剂组成、毒物等
教学内容
1. 烃类蒸汽转化法分类和原料气组成要求 2. 烃类蒸汽转化反应 3. 独立反应数和反应常数 4. 工艺参数对转化系统平衡组成的影响 5. 转化催化剂基本情况 6. 析碳与消碳
教学方法
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学
教学过程
1. 讲授的方式指出烃类蒸汽转化制合成氨粗原料气的总体方法和气体组成要求 2. 简单复习物理化学中关于标准生成焓的定义以及独立反应数的定义，逐步讲解烃类蒸汽转化系统几十个反应中，以甲烷代表天然气，以转化和变换两个反应代表整个转化系统。 3. 根据独立反应引入平衡常数的概念，指出其意义，给出平衡常数的求取方法。 提问：为何平衡常数求取可忽略压力影响？ 4. 利用一定条件下的平衡常数值，推导转化系统平衡组成计算。计算平衡组成是在一定的工艺参数下，工艺参数的改变影响到平衡组成，由 PPT 中的具体图来说明各参数的影响。在此可设课堂讨论，让学生更深入的理解工艺参数的改变对转化反应的影响。 5. 简单介绍催化剂与析碳消碳问题，如果时间允许，引入工厂实例，结合生产来讲授。
课外作业
天然气蒸汽转化过程所需反应热如何在工业中提供？

教学单元五

上课次数	第五次	日期		课时	2
教学目标					
1.掌握转化深度与转化为什么要分段 2.掌握转化工艺参数的确定原则					
教学内容					
1.转化深度的概念 2.转化的分段 3.转化压力、温度、水碳比、空速的确定					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
1.复习一段转化和二段转化反应，给出转化深度的定义。从天然气原料转化率、氨合成排放气放空、吨氨天然气消耗量、吨氨能耗等多方面分析，得出天然气转化深度的要求 2.由转化深度要求可知剩余甲烷干基含量要低于 0.5%，对应的工艺参数转化温度要达到 1000℃以上，目前的金属材料难以承受如此高温，受设备限制，必须分段，并且还要考虑 N ₂ 的加入，以及 N ₂ 加入的经济成本。逐步分析说明为什么转化要分为两段进行。 3.转化工业生产的工艺参数，分别讲解压力、温度、水碳比、空间速率的确定原则，从有利有弊两方面进行分析，得出适宜的工艺条件范围。在讲解中适当抽问。					
课外作业					

教学单元六

上课次数	第六次	日期		课时	2
教学目标					
1.转化工艺流程					

2.一段转化炉与二段转化炉
教学内容
1.转化工艺流程与热能回收 2.了解一段转化炉、二段转化炉
教学方法
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学
教学过程
1.热能回收是该工序最重要的部分，就 Keollgg 流程中热能回收利用进行详细的讲解，并用数据进行相应分析。同时就转化对全厂能耗和生产成本的影响进行课堂讨论。 2.一段转化炉的炉型、炉管、对流段等进行讲解与优缺点比较，二段炉基本结构讲解。
课外作业
为什么转化炉的对流段要设置许多换热器？转化气的显热是如何回收利用的？

教学单元七

上课次数	第七次	日期		课时	2
教学目标					
1.掌握 CO 变换原理 2.掌握变换工艺参数温度的确定					
教学内容					
1.变换反应原理，热力学分析和动力学分析 2.变换催化剂，有中变催化剂、低变催化剂、耐硫变换催化剂 3.变换工艺条件，主要是变换温度					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					

- 1.从变换工序的重要作用开始，讲授变换类型与变换后 CO 之间的关系
- 2.从热力学和动力学分析变换反应，课堂讨论平衡变换率和实际变换率的不同点
变换催化剂介绍

课外作业

- 1、影响一氧化碳变换反应的平衡和速度的因素有哪些？如何影响？
- 2、为什么变换需要分段进行？段数的选定依据是什么？有哪些形式的反应器？

教学单元八

上课次数	第八次	日期		课时	2
教学目标					
1.掌握变换工艺参数温度的确定					
2.掌握不同的变换工艺流程					
教学内容					
1.变换工艺条件，主要是变换温度					
2.变换流程					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
1.变换工艺参数和流程介绍，重点讨论变换温度，用 PPT 显示 4 种生产情况下的 T—X 图，并讨论					
2.变换工艺流程					
课外作业					
无					

教学单元九

上课次数	第九次	日期		课时	2
教学目标					
1.掌握脱硫方法分类，湿法脱硫和干法脱硫的优缺点					
2.理解氧化还原法湿法脱硫的脱硫剂选择依据推导					

3.掌握脱碳原理，理解物理法与化学法
4.理解甲烷化原理
教学内容
1.脱硫方法分类，湿法脱硫与干法脱硫的适用场合 2.湿法脱硫中氧化还原法的催化剂选择推导 3.脱碳方法中物理吸收和化学吸收的比较 4.ZnO 法脱硫 5.甲烷化脱碳
教学方法
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学
教学过程
1.总体介绍粗原料气净化一章中各净化工序的作用，净化在合成氨工业的重要性 讲授硫化物种类和性质，在各种合成氨原料中的含量 2.用图表的方式显示和讲解脱硫的各种方法，与这些方法的分类，各自特点。讲解湿法脱硫和干法脱硫的优缺点和适用场合，在实际生产中如何选用脱硫方法。以举例和课堂讨论的方式进行 3.氧化还原法的催化剂选择，采用能斯特方程来进行推导 4.湿法脱硫类方法中选改良 ADA 法进行介绍，介绍其吸收原理、吸收和再生工艺参数、工艺流程 5.干法脱硫类方法选 ZnO 法进行介绍，介绍其脱硫反应原理、工艺参数和工艺流程 6.物理吸收与化学吸收是重点与难点，板书，一条条比较，条理理清。可适当引导学生复习物理化学课的相关内容 7.介绍典型的化学吸收法，热碳酸钾法，主要介绍吸收原理、吸收工艺条件、工艺流程，并对腐蚀和起泡原因进行详细分析，并介绍工业应对方法 8.物理吸收的一般性问题进行介绍，着重讲授吸收溶液循环量的计算，为方便理解，适当复习化工原理上的相关内容。 9.指出原料气最终净化的目的是脱除少量的碳氧化合物，并说明其原因。讨论可采用的方法，并介绍目前工业上采用的 3 种方法，分别说明每种方法的适用范围

和应用条件，就其中典型的应用广泛的甲烷化法进行介绍

课外作业

- 1、工业上脱硫方法有哪些？各适用于什么场合？
- 2、物理法脱碳与化学法脱碳的根本不同点是什么？两者在吸收和再生条件上有什么区别？

教学单元十

上课次数	第十次	日期		课时	2
教学目标					
1.了解合成氨反应特点 2.理解采用逸度取代压力的反应平衡常数的求取 3.掌握工艺参数对平衡氨含量的影响 4.了解氨合成催化剂的组成、毒物等					
教学内容					
1.氨合成反应是可逆放热体积缩小的反应，其平衡转化率低 2.以逸度表示的反应平衡常数的求取 3.影响平衡氨含量的工艺参数有氢氮比、温度、压力和惰性气体 4.合成催化剂的组成，促进剂分为结构型和电子型，催化剂毒物					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
1.对氢氮气的制取和净化简单总结后，进入氨合成部分的讲授。 2.列出合成反应方程式，对其特点进行介绍 3.从热力学平衡角度对氨合成进行分析。对合成平衡常数与之前的各工序涉及的平衡常数进行比较，课堂讨论合成平衡常数的不同之处，介绍求取和查阅平衡常数的方法和资料。 4.从平衡组成计算可找到影响平衡氨含量的工艺参数，从计算式得出有 4 个，即 P 、 T 、 y_i 、 r ，分别对这些影响因素进行分析，得出提高平衡氨含量的结论，是在高压、低温、低惰气含量。 5.催化剂组成介绍，氧化和还原介绍，毒物介绍，在做这些介绍时，可结合前面					

已经讲过的与此有密切联系的内容，引导学生建立全局观念。

课外作业

- 1 为什么氨合成工序的平衡组成计算与之前工序的平衡组成计算方法不同？
- 2 影响氨合成的平衡组成因素中，哪些是可调因素？

教学单元十一

上课次数	第十一次	日期		课时	2
教学目标					
1.掌握合成工艺参数的确定 2.掌握氨合成循环回路流程组成 3.了解几种典型的氨合成工艺流程 4.了解合成塔要求和塔型					
教学内容					
1.工艺参数温度、压力、空速、入口氨含量、惰性气体含量的确定 2.氨合成循环回路流程的组成 3.典型的合成工艺流程 4.排放气回收的 3 种方法 5 合成塔结构构成，内件和外筒的作用					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
1.从热力学和动力学两方面分析，结合经济性原则，讨论各个工艺参数的确定。 2.复习氨合成热力学，指出因氨含量低，为提高原料利用率，必须分氨后将氢氮气继续反应利用。由此引出分氨方法，比较两种方法的优缺点，讨论目前常采用的液氨分离法 3.重点讨论组成氨合成循环回路的构成部分，分析每部分的作用，采用课堂讨论方式加深理解 4.介绍几种典型工艺流程，分别介绍流程，并分析其优缺点 5.介绍流程时涉及的排放气包括放空气和弛放气，介绍其回收方法，比较各种方法的优缺点					

6.合成塔分类，可根据降温方式，也可根据气体流动方向来划分
课外作业
1、高压氨合成系统平衡计算特点是什么？ 2、氨合成流程中新鲜气补充在分离氨之前与分离氨后补充新鲜气为什么都可采用？各自特点如何？ 3、简述轴向和径向冷激式合成塔的特点

教学单元十二

上课次数	第十二次	日期		课时	2
教学目标					
掌握尿素的生产原理					
教学内容					
1.尿素生产基本原理 2.尿素合成的工艺条件 3.尿素合成工艺流程					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
1.尿素生产基本原理 2.尿素合成的工艺条件 3.尿素合成工艺流程					
课外作业					
无					

教学单元十三

上课次数	第十三次	日期		课时	2
教学目标					
1.掌握硫铁矿沸腾焙烧、炉气的净化及干燥原理； 2.主要工艺条件及典型工艺流程；					

3.二氧化硫催化氧化的化学平衡及动力学。
教学内容
1.接触法生产硫酸的原理 2.二氧化硫炉气的制造及净化 3.二氧化硫的催化氧化 4.三氧化硫吸收及尾气处理
教学方法
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学
教学过程
1.接触法生产硫酸的原理 2.二氧化硫炉气的制造及净化 3.二氧化硫的催化氧化 4.三氧化硫吸收及尾气处理
课外作业
无

教学单元十四

上课次数	第十四次	日期		课时	2
教学目标					
烃类热裂解过程的化学反应与反应机理					
教学内容					
1.理解烃类裂解一次反应与二次反应的区别 2.掌握各族烃类热裂解的反应规律					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法					
教学过程					

一、烃类热裂解

烃类热裂解是指以石油系（包括天然气、炼厂气、石脑油、柴油等）烃类为原料，利用石油烃在高温下不稳定、易分解的性质，在隔绝空气和高温条件下使大分子的烃类发生断裂和脱氢等反应，以制取低级烃的过程。

烃类热裂解的主要目的是生产乙烯，同时可得到丙烯、丁二烯以及苯、二甲苯等产品。

烃类热解乙烯的生产工艺主要有原料的热裂解和裂解产物的分离精制两部分组成。

一次反应是指原料烃（主要是烷烃和环烷烃）经热解生成乙烯和丙烯等低级烯烃的反应；二次反应是指一次反应的产物乙烯、丙烯等低分子烯烃进一步发生反应生成多种产物，直至最后生成焦或炭。

一次反应是希望发生的，二次反应的发生不仅多消耗原料，降低烯烃的收率，还增加各种阻力，严重时还会阻塞设备、管道，造成停工停产，对裂解操作和稳定生成都带来不利的影响，所以要设法阻止其发生。

二、各族烃类热裂解的反应规律

烷烃：正构烷烃有利于生成乙烯、丙烯。

环烷烃：易于生成芳烃。

烯烃：裂解为乙烯和丙烯等低级烯烃。

芳烃：有侧链的芳烃主要是侧链逐步断裂及脱氢，无侧链的芳烃基本上不易裂解为烯烃。

各类烃热裂解的难易顺序可归纳为：异构烷烃>正构烷烃>环烷烃（C₆>C₅）>芳烃。

课外作业

（1）烃类热裂解的主要目的？

（2）各族烃类裂解的反应规律？

教学单元十五

上课次数	第十五次	日期		课时	2
教学目标					
1.了解烃类裂解反应机理和动力学；					

2.理解裂解原料的特性参数； 3.理解烃类热裂解工艺条件。
教学内容
1.烃类裂解反应机理和动力学； 2.裂解原料的特性参数； 3.烃类热裂解工艺条件。
教学方法
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习
教学过程
<p>一、烃类热裂解的反应机理</p> <p>烃类裂解过程是一个十分复杂的反应过程，其反应机理目前有两种观点：一是分子反应机理，一是自由基反应机理。但研究表明，裂解时发生的基元反应大部分为基元反应。自由基反应，烃类裂解过程包括链引发反应、链增长反应和链终止反应三个阶段。链引发反应是自由基的产生过程；链增长反应是自由基的转变过程，在这个过程中一种自由基的消失伴随着另一种自由基的产生，反应前后均保持着自由基的存在；链终止是自由基消亡生成分子的过程。</p> <p>二、烃类裂解的反应动力学</p> <p>烃类裂解时，一次反应的反应速率基本上可作为一级反应动力学处理： 烃类裂解时的主反应可按一级反应处理。</p> <p>三、裂解原料的特性参数</p> <p>（1）组成：裂解原料油中各种烃，按其结构可以分为四大族，即链烷烃族（P）、烯烃族（O）、环烷烃族（N）、芳香族（A）。这四大族的族组成以 PONA 值（各族烃的质量百分含量）来表示。</p> <p>在管式裂解炉裂解条件下，原料越轻，乙烯收率越高。</p> <p>四、烃类裂解工艺条件</p> <p>（1）裂解温度：750-900℃</p> <p>（2）停留时间：取决于容器容积、裂解管面积、管长。</p> <p>停留时间是指裂解原料由进入裂解管到离开裂解辐射管所经过的时间，即反应原料在反应管中的停留时间。</p>

(3) 烃分压：降低裂解压力对增产乙烯的一次反应有利。工业上常采用的办法是在裂解原料气中添加稀释剂以降低烃分压。一般采用水蒸气为稀释剂。

总之，石油烃热裂解的操作条件宜采用高温、短停留时间、低烃分压，产生的裂解气要迅速离开反应区。

课外作业

(1) 裂解原料的特性参数主要有那些？

(2) 石油烃热裂解的操作条件？

教学单元十六

上课次数	第十六次	日期		课时	2
教学目标					
1.熟悉烃类的裂解过程的特点； 2.了解裂解炉的发展历程； 3.理解裂解气的急冷方法					
教学内容					
烃类裂解过程的特点 SRT 型管式炉的特点 裂解炉的优化及改进措施 裂解气的急冷方法					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论					
教学过程					
一、烃类的热裂解过程特点： ①烃类热裂解是吸热反应；②烃类热裂解需在高温下进行，反应温度一般在 750℃ 以上；③为了避免烃类热裂解过程中二次反应发生，反应停留时间很短，一般在 0.05~1s 之间；④烃热裂解反应是分子数增加的反应，烃低压有利于原料分子向产物分子的反应平衡方向移动；⑤裂解反应产物是复杂的混合物，除了裂解气和液态烃之外，尚有固体产物焦生成。 热裂解工艺要实现在短时间内将原料迅速加热到所需温度，并供给大量裂解反应					

所需的热量等要求，关于在于采用合适的裂解方法和选择先进的裂解设备。

裂解供热方式有直接供热和间接供热两类。到目前为止，间接供热的管式裂解法仍然是世界各国广泛采用的方法。

管式裂解技术的反应设备是裂解炉，它是乙烯装置的核心，又是挖掘节能潜力的关键设备。

二、烃类管式裂解炉

1、20 世纪 40 年代美国首先建立了管式裂解炉裂解乙烯的工业装置；

2、20 世纪 50 年找到了高温—短停留时间的技术措施，可以大幅提高乙烯收率；

3、60 年代初期 SRT- I 型炉（短停留时间裂解炉）

双辐射立管 实现了高温、短停留时间

4、60 年代中期 SRT- II 型炉

分叉变径炉管 降低烃分压

5、70 年代中期 SRT-III型炉

材质 炉内管排增加 提高热强度 提高生产 能力

6、80 年代 SRT-IV、V、VI型炉

多分支变径管 带内翅片 2 程 停留时间缩短 降低管内热阻 延长清焦周期

三、裂解气的急冷、急热换热器

从裂解炉出来的裂解气含有烯烃和大量蒸气，温度为 $727\sim 927^{\circ}\text{C}$ 。烯烃反应性很强，若任它们在高温下长时间停留，仍会继续发生二次反应，引起结焦、烯烃收率下降及生成经济价值不高的副产物，因此需要将裂解炉出口高温裂解气尽快冷却，以终止其裂解反应。

裂解气的急冷

急冷的方法有两种：一种是直接急冷，一种是间接急冷。

（1）直接急冷 根据冷却介质的不同，直接急冷可分为水直接急冷和油直接急冷。

（2）间接急冷 高温裂解气温度在 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 左右，在急冷降温过程中要释放出大量热，是一个可利用的热源，为此可用换热器进行间接急冷，回收部分热量发生蒸气，以提高裂解炉的热效率，降低成本。用此目的换热器称为急冷换热器。

急冷换热器

急冷换热器是裂解气和高压水经列管式换热器间接换热并使裂解气骤冷的重要设备，也是裂解装置中五大关键设备之一（裂解炉、急冷换热器、裂解气压缩机、乙烯压缩机和丙烯压缩机），它使裂解气在极短的时间（0.01~0.1S）内温度从800℃下降至露点附近。

为了减少结焦，一、在增大裂解气在急冷换热器中的线速度，以避免返混使停留时间过长，造成二次反应；二是必须控制急冷换热器出口温度，要求裂解气在急冷换热器中冷却温度不低于露点，如果冷却到露点以下，在急冷换热器管壁上形成缓慢流动的液膜，既影响传热，又因停留时间过长发生二次反应而结焦。

课外作业

- （1）烃类的热裂解过程的特点？
- （2）裂解气急冷的方法？

教学单元十七

上课次数	第十七次	日期		课时	2
教学目标					
1.熟悉裂解气的预分离的作用及裂解工艺流程； 2.熟悉裂解气的组成、分离要求、分离净化方法。 3.熟悉裂解气深冷分离的流程。					
教学内容					
1.裂解气的预分离的作用及裂解工艺流程； 2.裂解气的组成、分离要求、分离净化方法。 3.裂解气深冷分离的流程。					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论					
教学过程					
一、裂解气的预分馏与裂解工艺流程 （1）裂解气的预分馏 裂解气出口温度很高（800~900℃左右），高温裂解气经急冷换热冷却，再经油急冷器进一步冷却后，温度可降至 200~300℃。将急冷后的裂解气进一步冷却至常温，并在冷却过程中分馏出裂解气中的重要组分（如燃料油、裂解汽油、					

水分等)，这个环节称裂解气的预分馏。

①裂解气的预分馏的作用

(i) 尽可能降低裂解气的温度，从而保证裂解气压缩机的正常运转，并降低裂解气压缩机的功耗。

(ii) 回收裂解气中稀释蒸气以冷凝水的形式分离回收，用以再发生稀释蒸气，从而大大减少污水排放量。

(iii) 尽可能分留出裂解气中的重要组分，减少进入压缩系统的进料负荷。

(iv) 回收裂解气的低能位热量。

②预分馏工艺过程 根据裂解原料不同而不同。

(2) 裂解工艺流程

裂解工艺流程包括原料油和预热系统、裂解和高压蒸汽系统、急冷油和燃料油系统、急冷水和稀释蒸气系统，不包括压缩、深冷分离系统。

(3) 烃类热解的副产物

烃类热裂解在预分馏阶段出来的副产物有裂解汽油和裂解燃料油两类。

①裂解汽油 烃类裂解副产的裂解气包括 C5 至沸点 204℃ 以下的所有裂解副产物，作为乙烯装置的副产品。

②裂解燃料油 烃类裂解副产的裂解燃料油是指沸点在 200℃ 以上的重要组分，其中 200~360℃ 的馏分称为裂解轻质燃料油，沸点在 360℃ 以上的馏分称为裂解重质燃料油。

二、裂解气的净化

裂解气中含有少量的 H_2S 、 CO_2 、 H_2O 、 C_2H_2 、 CO 等气体杂质。其来源主要有三个方面：一是原料带入；二是裂解反应过程中生成；三是裂解气处理过程引入。

4.4.2.1 酸性气体的脱除

裂解气中的酸性气体主要有 CO_2 、 H_2S 和其他气态硫化物。采用的方法主要有碱洗法脱除酸性气体和乙醇胺法脱除酸性气体。

4.4.2.2 脱水

裂解气的水分中带入低温分离系统会造成设备和管道堵塞。除水分在低温下结冰造成冻堵外，在加压和低温条件下水分尚可与烃类生产白色结晶的水合物，

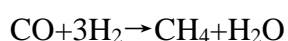
这些水合物也会在设备和管道内积累而造成堵塞现象，因而需要进行干燥脱水处理。目前广泛采用的是分子筛脱水法。

4.4.2.3 炔烃和 CO 的脱除

为了保证聚合催化剂的使用寿命，聚合级乙烯要严格限制乙炔的含量。CO 会使加氢脱炔催化剂中毒，要求 CO 含量在乙烯产品中的含量低于 $5 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 。

炔烃和 CO 的脱除方法：

①甲烷化法脱 CO，其反应如下：



②催化加氢脱炔：就是将裂解气中乙炔加氢成为乙烯或乙烷，由此到达脱除乙炔的目的。

三、裂解气的深冷分离流程

经压缩、制冷和净化过程，为裂解气深冷分离创造了条件—高压、低温、杂质含量符合分离要求。深冷分离任务就是根据裂解气中各低碳烃相对挥发度的不同，用精馏的方法逐一进行分离，最后获得纯度符合要求的乙烯和丙烯产品。

课外作业

裂解气分离主要方法？

教学单元十八

上课次数	第十八次	日期		课时	2
教学目标					
裂解气压缩与能量利用					
教学内容					
1.裂解气的压缩与制冷系统					
2.能量的有效利用					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习					
教学过程					
1.裂解气的压缩与制冷系统					
<p>深冷分离过程需要制冷剂，制冷是利用制冷剂压缩和冷凝得到制冷液体，再在不同的压力下蒸发，获得不同温度级位的冷冻过程。</p>					

多级压缩的优点：节能、降低出口温度、减少分离净化负荷。

2.急冷换热器热能的利用

3.深冷过程冷量的有效利用

4.中间冷凝器和中间再沸器

课外作业

教学单元十九

上课次数	第十九次	日期		课时	2
教学目标					
裂解气分离系统评价					
教学内容					
几种裂解气分离系统的比较					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论					
教学过程					
<p>裂解气分离方法与分离流程</p> <p>工业生产上采用的裂解气分离方法主要有油吸收精馏分离法、深冷分离法、吸附分离法、络合物分离法 4 种。</p> <p>①油吸收精馏分离法：利用裂解气中各组分在某种吸收剂中的溶解度不同，用吸收剂吸收除甲烷和氢气以外其他组分，然后用精馏方法把各组分从吸收剂中逐一分离。</p> <p>②吸附分离法：吸附分离法采用活性炭作吸附剂，在低温高压条件下将 C2 以上</p>					

馏分吸附下来，然后在高温和低压下逐个将烃类解析出来，最不易吸附的组分在吸附段上部排出。

③深冷分离法：工业上一般把冷冻温度高于 -50°C 称为浅度冷冻（简称浅冷），在 $-100\sim 50^{\circ}\text{C}$ 之间称为中度冷冻，等于或低于 -100°C 称为深度冷冻（简称为深冷）。

④络合物分离法 络合物分离法利用金属盐能与烯烃生成络合物的性质将烯烃从裂解气中分离出来。缺点是得到混合烯烃，要将混合烃分离仍需采用低温分离，故此方法没有得到推广。

课外作业

自主复习

教学单元二十

上课次数	第二十次	日期		课时	2
教学目标					
芳烃转化					
教学内容					
1. 了解芳烃的来源与生产技术 2. 掌握芳烃的烷基化、脱烷基化、烷基转移、歧化					
教学方法					
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
<p>一、芳烃的来源与生产技术</p> <p>来源：煤焦化芳烃和石油芳烃。</p> <p>1、焦化芳烃生产</p> <p>煤干馏→粗煤气→初冷、净化、冷却、洗油吸收、蒸馏脱吸→粗苯。</p> <p>2、石油芳烃生产</p> <p>石油芳烃来源于两种加工过程：其一为石油馏分的催化重整油；另一种烃裂解副产的裂解汽油。以石脑油和裂解汽油为原料生产芳烃的过程可分为反应、分离和转化三部分。</p> <p>二、裂解汽油生产芳烃</p> <p>裂解汽油中的芳烃与重整生成油中的芳烃在组成上有较大差别，从裂解汽油</p>					

中获取芳烃的工艺过程由裂解汽油预处理和裂解汽油加氢精制两部分组成。

①裂解汽油预处理

②裂解汽油加氢精制

裂解汽油中含大量的二烯烃、单烯烃，因此裂解汽油的稳定性极差，在受到热和光的作用下很易氧化并聚合生成称为胶质的胶黏物质，在加热条件下二烯烃更易聚合。这些胶质在生产芳烃的后加工过程中极易结焦和析碳。既影响过程的操作，又影响最终所得芳烃的质量。

目前普遍采用两段催化加氢精制工艺。第一段是低温液相加氢，其目的使易生胶的二烯烃转化为单烯烃，烯基芳烃转化为烷基芳烃。采用贵金属钨为主要活性组分，并以氧化铝为载体。第二段高温气相加氢，使单烯烃加氢成饱和烃，硫化物、氮化物等有害杂质加氢裂解为相应的烃和 H_2S 、 NH_3 等除去。催化剂普遍采用非贵金属钴-钼系列。

③氢炔芳构化与重芳烃轻质化

三、芳烃馏分的分离

不论是从裂解汽油还是从重整汽油得到的含芳烃馏分都是由芳烃和非芳烃构成的混合物，同碳数的芳烃和非芳烃沸点非常接近，有的还形成共沸物，用一般的精馏方法难以将它们分离。通常采用溶剂萃取法和萃取蒸馏法。

①溶剂萃取

溶剂萃取分离是利用一种或一种以上的溶剂（萃取剂）对芳烃和非芳烃选择溶剂分离出芳烃。芳烃萃取过程在塔式设备中连续进行，原料从塔的中部加入，溶剂从塔的上部加入，溶剂自上而下流动，与原料逆流接触，实现萃取分离的目的。

②萃取蒸馏

萃取蒸馏是利用极性溶剂与烃类混合时能降低烃类蒸气压，使混合物处沸点提高的原理设计的工艺过程，此种效应对芳烃的影响最大，对环烷烃的影响次之，对烷烃的影响最小，这样有利于芳烃和非芳烃的分离。

四、芳烃的转化

不同来源的各种芳烃馏分组成不同，能得到的各种芳烃的产量也不同。因此，如仅从这些来源获得各种芳烃，必然会发生供需不平衡的矛盾。开发了芳烃的转

化工艺，可根据市场需求调节各种芳烃的产量。

已开发成功并在工业上广泛应用的芳烃转化反应主要有 C8 芳烃的异构化、甲苯的歧化和 C9 芳烃烷基的转移、芳烃的烷基化、烷基芳烃的脱烷基化等。

课外作业

- (1) 芳烃的主要来源？
- (2) 芳烃的转化反应主要有那些？

教学单元二十一

上课次数	第二十一次	日期		课时	2
教学目标					
掌握 C8 芳烃单体的分离					
教学内容					
1.C8 芳烃单体的分离 2.C8 芳烃的异构化					
教学方法					
学生讲授、教师分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
<p>一、C8 芳烃的分离</p> <p>C8 芳烃的组成</p> <p>由于 C8 芳烃各异构体的沸点很接近，难于采用一般精馏的方法进行分离。尤其是对二甲苯和间二甲苯的分离更为困难。</p> <p>C8 芳烃单体的分离</p> <p>邻二甲苯和乙苯的分离</p> <p>(1) 邻二甲苯的分离</p> <p>C8 芳烃中邻二甲苯的沸点最高，与关键组分间二甲苯的沸点相差 5.3℃，可以用精馏法分离，产品纯度为 98%-99.6%。</p> <p>(2) 乙苯的分离</p> <p>C8 芳烃中乙苯的沸点最低，与关键组分对二甲苯的沸点仅差 2.2℃，可以用精馏法分离，但较困难。工业上采用三塔串连可得到纯度在 99.6%以上的乙苯。</p>					

其他方法有络合萃取法如日本三菱瓦斯化学公司的 Pomex 法以及吸附法如美国 UOP 公司的 Ebex 法。

对、间二甲苯的分离

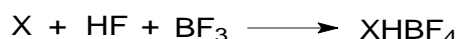
由于对二甲苯与间二甲苯的沸点只有 0.75°C ，难于采用精馏方法进行分离。目前工业上分离对二甲苯的方法主要有：深冷结晶分离法、络合萃取分离法和吸附分离法三种。

A、深冷结晶分离法

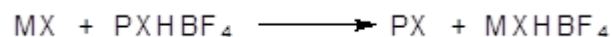
该法 50 年代已工业化，技术较成熟。C8 芳烃深度冷却至 $-60\sim-75^{\circ}\text{C}$ 时，熔点最高的对二甲苯首先被结晶出来。在对二甲苯结晶过程中，晶体内不可避免地包含一部分 C8 芳烃混合物，影响了对二甲苯的纯度，为提高对二甲苯纯度，工业上多采用二段结晶工艺。第一阶段结晶，对二甲苯纯度约为 $85\%\sim90\%$ ，但可以得到最大的对二甲苯回收率；第二阶段是将第一阶段分出的对二甲苯进行重结晶，得到对二甲苯的纯度可达 $99.2\%\sim99.5\%$ 。

B、络合萃取分离法

利用一些化合物与二甲苯异构体形成络合物的特性可以达到分离各异构体的目的。络合分离法中最成功的工业实例是日本三菱瓦斯化学公司发展的 MGCC 法。此法是有效分离间二甲苯的唯一工业化方法，同时也使其他 C8 芳烃分离过程大为简化。C8 芳烃四个异构体与 HF 共存于一个系统时，形成两个互相分离的液层：上层为烃层，下层为 HF 层。当加入 BF_3 后，发生下列反应而生成在 HF 中溶解度大的络合物。



式中 X 代表二甲苯。由于间二甲苯碱度最大，所形成的 MXHBF_4 络合物的稳定性最大，故在系统中能发生如下置换反应。



式中 MX、PX、OX 分别代表间、对、邻二甲苯。络合物置换的结果， $\text{HF}-\text{BF}_3$ 层中的间二甲苯浓度越来越高，烃层中的间二甲苯浓度越来越低，从而达到选择分离的目的。

该法的特点是将二甲苯中含量 $40\%\sim50\%$ 的间二甲苯首先除去，使乙苯浓度提高，这不仅可以降低乙苯分离塔的塔径、回流比和操作费用，而且还可以提

高单程收率。其主要缺点是 HF 有毒，且有强腐蚀性。

C、吸附分离法

吸附分离是利用固体吸附剂吸附二甲苯各异构体的能力不同进行的一种分离方法。吸附分离首先由美国 UOP 公司解决了三个关键问题而实现了工业化。一是研制成功一种对各种二甲苯异构体有较高选择性吸附的固体吸附剂；二是研制成功以 24 通道旋转阀进行切换操作的模拟移动床技术；三是选到一种与对二甲苯有相同吸附亲和力的脱附剂。吸附分离比结晶分离有较多的优点，工艺过程简单，单程回收率达 98%，生产成本较低，已取代深冷分离，成为一种广泛采用的二甲苯分离技术。

二、芳烃生产技术的发展方向

芳烃在化工原料中占有十分重要的地位，其生产技术受到广泛重视。芳烃生产技术的发展主要有以下几个方面：

- 1、扩大芳烃的来源。继续提高催化重整和乙烯裂解技术，增产更多的芳烃，大力发展芳烃其他来源。
- 2、工艺革新，提高技术水平。研发更好的催化剂。催化剂的选择性能提高反应的选择性，大大减少甚至能消除生产装置的物料内循环，能降低费用。
- 3、产品新用途促进产品的结构调整，二甲苯是生产聚酯的重要原料，增加二甲苯的用途，对芳烃生产的产品构成、加工流程和生产工艺都产生深远的影响。
- 4、化学工程技术发挥重要的作用。化工工程技术的发展对生产芳烃组化化合物的影响十分重大。
- 5、新老技术共同开发。

课外作业

对二甲苯和间二甲苯的分离方法主要有那些？

教学单元二十二

上课次数	第二十二次	日期		课时	2
教学目标					
了解催化加氢与脱氢					
教学内容					

1. 催化加氢的应用与反应类型； 2. 氢的性质与来源； 3. 催化加氢反应的一般规律； 4. 烃类催化脱氢反应的化学
教学方法
课堂讲授、实例分析、课堂讨论、启发式教学
教学过程
<p>催化加氢反应分为多相催化加氢和均相催化加氢两种，相比之下，多相催化加氢的选择性较低，反应方向不易控制，而均相催化加氢采用可溶性催化剂，选择性较高，反应条件温和。</p> <p>催化加氢除了合成有机产品外，还用于许多化工产品的精制过程：</p> <p>1、裂解气乙烯和丙烯的精制</p> <p>从烃类裂解气分离得到的乙烯和丙烯中含有少量乙炔、丙炔和丙二烯等有害杂质，可利用催化加氢方法，使炔烃和二烯烃进行选择加氢，转化为相应的烯烃而除去。</p> <p>2、裂解汽油的加氢精制（芳烃转化章节中讲过）</p> <p>3、精制氢气</p> <p>氢的来源</p> <p>电解法，烃类转化，副产氢气</p> <p>利用催化脱氢反应，可将低级烷烃、烯烃及烷基芳烃转化为相应的烯烃、二烯烃及烯基芳烃，这些都是高分子材料的重要单体</p>
课外作业
加氢反应和脱氢反应对催化剂有什么要求？

教学单元二十三

上课次数	第二十三次	日期		课时	2
教学目标					
催化氧化					
羰化反应					
教学内容					

1. 氧化过程的共同性质； 2. 均相催化氧化； 3. 非均相催化氧化； 4. 羰化的概念； 5. 烯炔氢甲酰化反应
教学方法
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学
教学过程
<p>一、催化氧化在有机化工中的重要地位</p> <p>主要化学品中 50% 以上和氧化反应有关</p> <p>含氧：醇、醛、酮、酸、酯、酸酐、环氧化物、过氧化物等</p> <p>不含氧：丁烯氧化脱氢制丁二烯</p> <p style="padding-left: 40px;">丙烯氨氧化制丙烯腈</p> <p style="padding-left: 40px;">乙烯氧氯化制二氯乙烷</p> <p>二、氧化过程的一些共同特点</p> <p>（一）氧化剂</p> <p>规模大</p> <p style="padding-left: 40px;">空气</p> <p style="padding-left: 40px;">纯氧</p> <p>规模小</p> <p style="padding-left: 40px;">过氧化氢</p> <p style="padding-left: 40px;">其它过氧化物</p> <p style="padding-left: 40px;">反应生成的烃类过氧化物或过氧酸</p> <p>（二）强放热反应</p> <p style="padding-left: 40px;">热量的转移</p> <p>（三）热力学都有利</p> <p>（四）多种氧化途径</p> <p>三、均相催化氧化</p> <p>四、非均相催化氧化</p>

五、不饱和化合物的羰化反应 六、甲醇的羰化反应 甲醇羰化合成醋酸——孟山都法
课外作业
1、比较非均相催化氧化和均相催化氧化的特点？

教学单元二十四

上课次数	第二十四次	日期		课时	2
教学目标					
课程总复习					
教学内容					
课程总复习					
教学方法					
教师讲授、分析、课堂讨论、启发式教学					
教学过程					
课外作业					
无					

8. 课程要求

8.1 学生自学的要求

同学们在自学的过程中，除了需要课前充分预习，课后复习相关知识以外，还需要有意识的对照每一章节的基本要求，多看例题、多做习题，认真的完成课后作业，做完习题后总结一下每道题的解题思路，以便今后遇到类似题目时能够举一反三、触类旁通。

8.2 课外阅读的要求

同学们在课外阅读过程中，以教材为主，以参考用书为辅进行自学总结，有意识找出各章节之间的联系，抓住各章节的重点、难点和关键点，从而理解、强化并掌握所学

的知识，巩固课堂上所学的知识，对课堂上没有讲到的知识也可以阅读，遇到问题在课外时间师生共同探讨。

8.3 课堂讨论的要求

课堂上当老师提问时，同学们应积极开动脑筋，活跃思维，应用所学知识分析问题、解决问题。当老师提出课堂讨论时，你们要充分发挥自己的主观能动性，积极参与讨论，主动的去探究并获取知识，并将讨论过的内容进行归纳、总结、提高，把握其中的重点、难点，并撰写出讨论报告或论文，从而加强对相关知识的理解与掌握。

8.4 课程实践的要求

同学们在学习化工工艺学理论课的过程中，应该有意识的联系实验课程与生产实践，建立“立足基础知识→发展创新思维能力→面向科研实践”的三层次进阶型的化工工艺学学习模式。在基础性实验的时候训练自己的基本操作，正确使用仪器；认真观察、准确记录实验现象和科学处理实验数据；初步具有查阅手册、工具书及其他信息源的能力，树立实事求是的科学态度、勤俭节约的优良作风。大家还应注意发展创新创造思维能力，构建化工工艺学新型实验方案，建立新的理论模型，并将其应用于科研实践中。

9. 课程考核

9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告的要求

在上课期间，要求同学们不能无故迟到、早退或缺课，不能来上课必须要向老师请假，老师将进行不定期点名，出勤情况将计入平时成绩，如缺课次数超过 3 次的同学将直接取消期末考试资格。

老师布置的作业主要有课堂作业、课后习题、讨论报告、论文等形式，同学们必须按时按量完成作业，要求作业做在作业本上，用钢笔、签字笔书写清楚，专业语言和符号要求书写准确、规范，尽可能要抄题，报告和论文可以用电脑打印，老师将至少批改作业的 1/3，每次登记作业及报告情况，作为期末计算平时成绩的依据，作业成绩不及格者，取消期末考试资格。

9.2 成绩的构成与评分规则说明

根据化工工艺学概论的大纲要求，该门课程是考试课，百分制，由 40%的平时成绩和 60%的卷面成绩构成。平时成绩与卷面成绩均以 100 分为满分，各自得分乘以比例后相加即是该课程最终成绩。

平时成绩由课堂表现、平时作业、半期考试三部分构成，总分 100，半期考试按一次平时作业计分，各次作业取平均值得平时成绩，缺席一次则平时成绩扣 5 分，缺席三次取消期末考试资格。

9.3 考试形式及说明

由于本课程特点，期末考试采用开卷方式进行。同时要求同学们遵守学校的关于考试纪律的相关规定。半期考试方式可采用大作业，或小论文，或试卷考试等方式视情况来进行

10. 学术诚信

10.1 考试违规与作弊

考试过程中，同学们不得有旁窥、相互抄袭或查阅与考试相关的资料等违规、作弊行为，一发现有考试违规或作弊行为者，本门课程不合格，并按照学校相关规定处理。

10.2 杜撰数据、信息

同学们在撰写讨论报告或论文时，不得杜撰数据或信息，弄虚作假，如有此情况者报告、论文不合格。

10.3 学术剽窃处理

在完成习题作业时，同学之间可以相互讨论完成作业，但是不得相互抄袭；在撰写讨论报告或论文时，可以引用相关文献，但是不能剽窃。如有此情况者，一经发现均视为不合格，并按照学校相关规定处理。

11. 课堂规范

11.1 课堂纪律

同学在课堂上应尊重老师，认真听讲，注意力集中，独立思考，做好笔记，积极参与师生互动、课堂讨论，不得做与课堂无关的事情，严禁扰乱课堂秩序，课堂上不得乱讲话、搞小动作、交头接耳、玩手机等。

11.2 课堂礼仪

老师和同学们在上课期间仪表要端庄，衣着打扮要得体，言谈举止要礼貌。上课的铃声一响，学生应端坐在教室里，恭候老师上课，当教师宣布上课时，全班应迅速肃立，

向老师问好，待老师答礼后，方可坐下。在课堂上，同学们要认真听讲，做好笔记。当老师提问时，应该先举手，待老师点到你的名字时才可站起来回答，发言时，身体要立正，态度要落落大方，声音要清晰响亮，并且应当使用普通话。听到下课铃响时，若老师还未宣布下课，同学们应当安心听讲，不要忙着收拾书本，待老师宣布下课后，大家方可离开。

12. 课程资源

12.1 教材与参考书

教材：

《化工工艺学》（第二版），徐绍平等，大连理工大学出版社。

主要参考用书为：

- 1、《化学工艺学》（第二版），米镇涛，化学工业出版社；
- 2、《基本有机化工工艺学》（修订版），吴指南，化学工业出版社；
- 3、《无机化工工艺学》（第三版），陈五平主编，化学工业出版社。

12.2 专业刊物

12.3 课外阅读资源

13. 教学合约

在化工工艺学的教学中，我将切实按照本课程实施大纲的内容实施教学过程。请同学们在本门课程开课期间仔细阅读本课程实施大纲，理解教师的教学理念，对化工工艺学的课程性质、课程目标、课程内容、教学安排、课程要求、课程考核方式等方面有一个全方面的了解。请各位同学在学习过程中严格执行课程实施大纲中阐述的课堂规范，保持良好的课堂纪律及礼仪，遵守学术诚信规定。

14. 教师寄语

亲爱的同学们，人生的化学反应，时刻在进行，奋斗是条件，反应物是痛苦，当然其中还有催化剂，只有不断加热，才会反应成功！祝愿大家学懂、学好化工工艺学，能够熟练的应用化工工艺学的相关理论分析问题、解决问题。