四川轻化工大学课程实施大纲

|  |
| --- |
| **课程名称：化学反应过程** |
| **授课班级：2019级应用化学1-4班** |
| **任课教师：郑丹** |
| **工作部门：化学工程学院** |
| **联系方式：13547385094** |

**四川轻化工大学 制**

**2022年3月**

**《化学反应过程》课程实施大纲**

**基本信息**

|  |
| --- |
| 课程代码：16351010 课程名称：化学反应过程学 分：2总 学 时：48学 期：2021-2022-2上课时间：周二下午七、八节14:00-16:00；周四下午七、八节14:00-16:00上课地点：N1-408答疑时间和方式：电话，当面讲解答疑地点：第二实验楼5088授课班级：2019级应用化学1-4班任课教师：郑 丹学 院：化学工程邮 箱：zhengdan0830@163.com联系电话：13547385094 |

**目 录**

**1．教学理念……………………………………………………………1**

**2．课程介绍……………………………………………………………2**

2.1课程的性质**……………………………………………………2**

2.2课程在学科专业结构中的地位、作用**………………………3**

2.3课程的历史与文化传统**………………………………………3**

2.4课程的前沿及发展趋势**………………………………………3**

2.5课程与经济社会发展的关系**…………………………………4**

2.6学习本课程的必要性**…………………………………………4**

**3．教师简介……………………………………………………………4**

3.1教师的职称、学历**……………………………………………4**

3.2教育背景**………………………………………………………4**

3.3研究兴趣（方向）**……………………………………………4**

**4．先修课程……………………………………………………………4**

**5．课程目标……………………………………………………………5**

**6．课程内容……………………………………………………………5**

6.1课程的内容概要**………………………………………………5**

6.2教学重点、难点及学时安排**…………………………………8**

1. **课程实施……………………………………………………………10**

7.1教学单元一**……………………………………………………10**

7.2教学单元二**……………………………………………………12**

7.3教学单元三**……………………………………………………15**

7.4教学单元四**……………………………………………………18**

7.5教学单元五**……………………………………………………20**

7.6教学单元六**……………………………………………………22**

7.7教学单元七**……………………………………………………25**

7.8教学单元八**……………………………………………………28**

7.9教学单元九**……………………………………………………31**

7.10教学单元十**…………………………….…………………….33**

7.11教学单元十一**………………………………………………..35**

7.12教学单元十二**………………………………………………..37**

7.13教学单元十三**………………………………………………..39**

7.14教学单元十四**………………………………………………..41**

7.15教学单元十五**………………………………………………..43**

7.16教学单元十六**………………………………………………..45**

7.17教学单元十七**………………………………………………..47**

7.18教学单元十八**………………………………………………..50**

7.19教学单元十九**………………………………………………..52**

7.20教学单元二十**………………………………………………..54**

7.21教学单元二十一**……………………………………………..56**

7.22教学单元二十二**……………………………………………..59**

7.23教学单元二十三**……………………………………………..61**

7.24教学单元二十四**……………………………………………..63**

**8．课程考核……………………………………………………………66**

**9．学术诚信……………………………………………………………66**

**10. 课堂规范…………………………………………………..……….66**

10.1课堂纪律**……………………………………………………..66**

10.2课堂礼仪**………………………………………………..…….67**

**11．课程资源……………………………………………………………67**

11.1教材与参考书**…………………………………………...……67**

11.2网络课程资源**……………………………………………...…67**

**12．教学合约……………………………………………………………67**

1. **教学理念**

在高校所承担的人才培养、科学研究、社会服务和文化引领等诸多职能中，人才培养是其本体性的、居于核心地位的职能。人才培养目标的最终达成，离不开教师“传道、授业、解惑”任务的顺利实现。而高校教师教学行为合规与否、教学能力的高低和教学效果的好坏，则在很大程度上受其所内蕴的教学理念的深层支撑。如果高校教师拥有正确先进的教学理念，其教学实践活动就有了正确的方向和灵魂，就能引领其走向教学成功；而一旦高校教师的教学理念出现了偏差，其教学行为就有可能走向误区，从而导致教学失败。把握好高校教学理念的特点，探明高校教学理念的形成过程，对于高校教师教学行为的改善、教学能力水平的提升以及教学质量的提高，具有重要的现实意义。

化学反应工程是关于工业化学反应过程的科学，是化学工程学科的一个主要分支，属于工程科学，其研究内容主要是反应动力学和反应器的设计与分析。化学反应工程课程与数学、物理和化学等基础课密切相关，也与热力学、动力学和传递过程等存在着交叉关系，加之我校学生的基础本身较弱，使得该课程的教学难度更大，普通的授课方式很难达到预期的教学效果，必须采用科学、适当的教学方法，因材施教，以提高教学质量。

从如何有效地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。

本课程教学将坚守以下原则:

1. **坚持“方法论”的教育理念与工程意识相结合的教学思想。**在教学过程中强调“方法论”教学，提倡采用“工程分析方法”，融入化学反应工程的基本观点和工程思维方法，培养学生分析工程问题的实际能力，解决工程实践问题。在教学过后中坚持“方法论”的教育理念与工程意识相结合的教学思想。
2. **激发学生自主学习兴趣和学习的积极性。**采用**讲授法、启发法、提问法、互动法、讨论法**等教学方法。课堂上随时观察学生表情，注重彰显学生的主体地位和个性发展。课后主动了解学生听课效果和学习难点，及时调整教学进度。对于学生普遍反映“课堂能听懂，听后难做题”等现象，适当安排习题课。对学生作业中存在问题进行重点讲解，归纳解题思路和方法。师生通过教学过程的双向互动，达到“教”与“学”的最佳结合。
3. **教学手段要与时俱进。**采用传统的板书教学手段，学生很难想象，不好学，感觉这门课程枯燥无味，产生厌学情绪。为了适应现代教育技术发展的需要，满足教学手段改革的需求，我将在教学过程中，采用集文字、实物照片、动画于一体的多媒体课件，利用动画效果把抽象概念形象化，动态地展示设备结构、操作原理、物料流动情况，使教学内容更直观、生动，提高学生兴趣。
4. **考试制度不应过于死板。**我将采用期末考试和平时测验（布置大作业等）相结合等多种考核方式相结合的考试方案，不仅有效引导学生掌握课程的基本内容，而且在课程教学中加强了实践能力和创新能力的培养。
5. **课程描述**

**2.1 课程的性质**

化学反应工程是一门工程技术学科，是化学工程与工艺专业的核心课程之一，该课程与物理化学、化工热力学、化工原理等课程紧密相关。化学反应工程是使化学反应实现工业化的一门学科，化学反应工程的研究，一方面要认识、判断各种化学反应的热力学和动力学规律；另一方面还要归纳各种物理因素对化学反应过程的影响，然后综合和总结出一些具有普遍意义的观点和概念，用以指导工业反应过程的生产和开发研究。化工动力学主要研究在工业生产条件下，化学反应进行的机理和速率，而在不同的反应器内传递过程和影响影响化学动力学的主要因素-温度和浓度的变化规律是各不相同的，所以反应工程学的另一任务就是研究反应器内这些因素的变化规律，找出最优工况和最好的反应器形式，以获得最大的经济效益。化学反应工程以工业反应过程为主要研究对象，具体研究内容涉及均相反应以及非均相反应动力学特性，以及流动、传递过程对反应的影响，讨论反应器的选型、设计计算和最优化。化学反应工程对化学产品及过程的开发和反应器的设计放大起着重要的作用。化学反应工程涉及到的数学模型较多，反应器种类繁多，难点较多。

**2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用**

作为化学工程与工艺的专业核心课程，《化学反应工程》是在物理化学、化工原理、化工热力学等课程基础上，知识与能力的综合应用与提高，课程内容具有理论应用性、工程实践性和高度综合性。作为一门专门研究化工生产中反应动力学和反应器分析设计的课程，对学生分析、解决工程问题能力的培养作用重大。

**2.3 课程的历史及文化趋势**

化学反应工程是在1957年第一届欧洲化学反应工程讨论会上正式确立的。促成该学科建立的背景是：因化学工业的发展，特别是石油化学工业的发展，生产趋于大型化，对化学反应过程的开发和反应器的可靠设计提出迫切要求；化学反应动力学和化工单元操作的理论和实践有了深厚的基础；数学模型方法和大型电子计算机的应用为反应工程理论研究提拱有效的方法和工具。

**2.4 课程的前沿及发展趋势**

反应工程所面临的重要挑战是开发一个科学的、可持续发展的技术以满足未来世界能源、环境和材料的需求。实现这个目标需要我们完善对多尺度动力学传递的理解以选择最佳的反应器，从而提高的反应器和反应过程效率。反应器技术涉及到所有可再生资源，不可再生资源以及从中提取的中间介质等原材料经化学反应转化为燃料、通用及专用化学品、建筑和通信材料、衣物纤维、化肥和药品等生活消费品的过程。对于具体化学反应类型以及相关反应器的选择，决定了过程中的能源和物质利用效率以及对环境所造成的影响。

在反应工程中应用的科学理论常常是很初步的，并没有很大的发展，例如对理想流动模型（活塞流或完全混合）的假设，颗粒尺度下球形催化剂催化效率的定量化等。反应工程一直将科学和经验结合，研究者既没有制造出一种最佳的理想反应器来最大满足化学反应。为降低新技术在大规模生产中应用的风险，应该加强研究不同尺度下反应本质。

在资源短缺，环境条件恶化的情况下，绿色化工生产变得尤为重要，提高能源利用率、降低能耗、减少废弃物的排放、高效利用副产物等是绿色化工的宗旨，这就要求设计新的反应器以实现新的分离、回收、再生工艺，实现高效的传热过程，实现原子的百分百利用。设计可持续发展的反应器、开发高效率的反应技术、科学的深层探讨反应过程本质是化学反应工程的主流方向。

**2.5 课程与经济社会发展的关系**

化学反应工程旨在培养学生能够从基础理论、工程设计和经济社会效益等多角度出发，综合考虑处理化学反应工程问题；同时可以进行反应器设计选型以及具备独立解决实际生产操作问题的能力。随着经济全球化，国际化，化学反应工程课程建设质量对化工专业创新型人才培养有很大的影响。

**2.6 学习本课程的必要性**

1、进一步加深对化学工程学科的认识；

2、有利于系统的把握化学工程学科的研究内容及研究方法；

3、有利于理解反应工程在化学工业反应过程开发中的重要作用。

1. **教师简介**

**3.1 教师的职称、学历**

任课教师：郑丹；职称：讲师；最终学历：博士研究生

**3.2 教育背景**

2007-2011年 四川大学化学工程学院 化学工程与工艺专业 工学学士；

2011-2014年 四川大学化学工程学院 化学工程专业 工学硕士；

2014-2017年 四川大学化学工程学院 化学工程专业 工学博士。

**3.3 研究方向（兴趣）**

化工传质与分离；化工多相流技术（含多相化学反应过程）；化工计算流体力学（CFD）。

1. **先修课程**

高等数学、物理化学、化工原理、化工热力学

1. **课程目标**

1、培养学生将物理化学、化工原理、化工热力学等学科知识用于化学反应工程学科的综合能力；

2、通过本课程的学习，使学生了解化学反应工程学科前沿，理解该学科理论体系，掌握研究方法；

3、通过本课程的学习，使学生初步具有实现反应过程最优化的能力以及分析、改进、开发设计反应器的能力。

**6．课程内容**

**6.1 课程的内容概要**

反应工程课程授课内容包括绪论、第一章均相单一反应动力学和理想反应器、第二章复合反应与反应器选型、第三章非理想流动反应器、第四章气固相催化反应本征动力学、第五章气固相催化反应宏观动力学，共六部分内容。各部分教学内容及教学要求如表1所示。

表1 反应工程课程的内容概要

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 章节 | 教学内容 | 教学要求 |
| 绪论 | 1.化学反应工程学科在化学工业中地位；2.化学反应工程的研究内容及研究方法。 | 1.了解化学反应工程学科的任务和范畴；2.了解化学反应工程学科的内容、分类以及研究方法。 |
| 第一章均相单一反应动力学和理想反应器 | 1.化学计量方程；2.反应程度；3.转换率；4.化学反应速率；5.反应动力学方程；6.等温恒容过程反应动力学方程及动力学方程建立的方法；7.等温变容过程的膨胀因子和膨胀率；8.间歇反应器及其特点；9.平推流反应器及其特点；10.全混流反应器及其特点。 | 1.了解化学计量方程、反应程度、转化率、活化能、阿伦尼乌斯方程等基本概念以及建立动力学方程的三种基本方法；2.理解基元反应与质量作用定律，不同级数的不可逆反应中反应时间、转化率与初始浓度之间的关系；3.掌握化学反应速率的表达、反应动力学方程、反应级数、基本反应类型、等温变容过程的膨胀因子、膨胀率及所表达的反应速率方程；4.掌握三种理想反应器的设计方程，以及根据给定任务计算反应器体积。 |
| 第二章复合反应与反应器选型 | 1.瞬时选择性、平均选择性以及收率的概念；2.复合反应（可逆、自催化、平行、连串反应）的特征；3.反应速率表达式及动力学特征；4.理想流动反应器的串并联操作；5.循环反应器特征；6.单一不可逆反应的反应器优化组合；7.复合反应（可逆、自催化、平行、连串反应）的反应器优化选型。 | 1.了解循环反应器的特征以及典型合反应在不同反应器中体积及选择性比较；2.理解可逆反应、自催化反应、平行反应、连串反应动力学方程特征；3.理解平推流反应器和全混流反应器的并联和串联；4.掌握收率、选择性概念，平行反应和连串反应中温度、浓度、活化能对选择性的影响；5.掌握复合反应的反应动力学方程的表达方法及动力学分析方法。 |
| 第三章非理想流动反应器 | 1.返混的概念及返混对反应过程的影响；2.停留时间分布的概率函数及特征值；3.停留时间分布规律的实验测定（阶跃法和脉冲法）；4.以对比时间为变量的停留时间分布；5.平推流及全混流反应器的停留时间分布规律；6.非理想流动模型（凝集流模型、多级混合槽模型、轴向扩散模型） | 1.了解返混对反应过程的影响、宏观流体、微观流体的概念；2.理解停留时间分布的概率函数及特征值，以对比时间为变量的停留时间分布；3.理解凝集流模型、多级混合槽模型、轴向扩散模型的假设及建模思想；4.掌握停留时间分布的实验测定及两种理想反应器的停留时间分布规律；5.掌握非理想流动模型反应过程问题的方法，即凝集流模型、多级混合槽模型、轴向扩散模型。 |
| 第四章气固相催化反应本征动力学 | 1.催化反应过程及特征；2.非均相催化反应速率表达；3.非均相催化反应过程；4.固体催化剂组成、结构；5.化学吸附与物理吸附；6.化学吸附速率的表达；7.兰格缪尔吸附模型；8.焦姆金吸附模型；9.弗鲁德里希吸附模型；10.表面化学反应；11.反应本征动力学；12.涉及双曲型本征动力学方程；13.幂函数型本征动力学方程及实验测定。 | 1.了解固体催化剂组成、结构以及催化反应过程的特征；2.了解物理吸附、幂函数型本征动力学方程及本征动力学方程的实验测定；3.理解非均相催化反应速率的几种表达式、焦姆金吸附模型、弗鲁德里希吸附模型；4.掌握非均相反应的七大步骤、兰格缪尔模型及双曲本征动力学方程的推理。 |
| 第五章气固相催化反应宏观动力学 | 1.宏观反应速率的定义式；2.催化剂内气体扩散；3.以颗粒为基准的有效扩散；4.球形、无限长圆柱形、圆形薄片以及任意形状催化剂等温条件下的宏观动力学方程。 | 1.了解催化剂内各种扩散以及非等温条件下的宏观动力学方程；2.理解扩散判断准则、宏观反应动力学方程的催化剂从特殊形状到任意形状、反应从一级到任意级的假设、推理和求解；3.掌握宏观反应速率以及等温条件下宏观反应动力学方程。 |

**6.2 教学重点、难点及学时安排**

反应工程课程教学重点、难点及参考学时如表2所示。

表 2 反应工程课程教学重点、难点及参考学时

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 章节 | 参考学时 | 教学重点、难点 |
| 绪论 | 2 学时 | **重点：**1.化学反应工程的研究内容和方法。**难点：**2.化学反应工程的研究方法。 |
| 第一章均相单一反应动力学和理想反应器 | 10学时 | **重点：**1.化学反应动力学方程的建立；2.理想反应器的设计方程。**难点：**1.等温恒容过程反应动力学方程及动力学方程建立的方法；2.变容系统组分浓度、摩尔分数、分压和反应速率与转化率的关系；3.间歇反应器、平推流反应器、全混流反应器设计方程。 |
| 第二章复合反应与反应器选型 | 10学时 | **重点：**1.复合反应动力学方程表达法；2.复合反应动力学特征分析；3.复合反应与反应器选型。**难点：**1.复合反应（可逆、自催化、平行、连串反应）的特征及反应速率表达；2.循环反应器特征；3.复合反应（可逆、自催化、平行、连串反应）的反应器优化选型。 |
| 第三章非理想流动反应器 | 8学时 | **重点：**1.停留时间分布的概率函数及特征值；2.停留时间分布规律的实验测定；3.解决均相反应过程问题的方法，即平推流模型、全混流模型、凝集流模型、多级混合槽模型、轴向扩散模型。**难点：**1.返混与混合的区别以及返混对反应过程的影响；2.停留时间分布规律的实验测定；3.非理想流动模型（凝集流模型、多级混合槽模型、轴向扩散模型）。 |
| 第四章气固相催化反应本征动力学 | 10学时 | **重点：**1.非均相催化反应速率的表达；2.兰格缪尔吸附模型；3.双曲型本征动力学方程。**难点：**1.双曲型本征动力学方程；2.本征动力学方程的实验测定。 |
| 第五章气固相催化反应宏观动力学 | 8学时 | **重点：**1.以颗粒为基准的有效扩散及西勒模数的物理意义；2.任意形状催化剂上等温条件下宏观反应动力学方程。**难点：**球形、无限长圆柱形、圆形薄片以及任意形状催化剂等温条件下的宏观动力学方程。 |

**7．课程实施**

**7.1教学单元一**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 1/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解反应工程研究对象和目的；（2）了解反应工程的研究内容及方法；（3）了解反应工程在工业开发过程中的作用。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）反应工程研究对象和目的；（2）反应工程的研究内容及方法；（3）反应工程在工业开发过程中的作用。重点：（1）反应工程的研究内容、方法。难点：（1）化学反应工程的研究方法。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）介绍化学工程学科发展史**（讲授法）**（2）反应工程的研究对象、目的及内容**（启发法）**（3）反应工程学的任务及范畴**（讨论法）**（4）化学反应过程分类**（讲授法、提问法）**（5）典型的化学反应器**（讨论法、互动法、提问法）**（6）反应工程的研究方法及在工业开发过程中的作用，重点介绍数学模型法研究反应工程的步骤，并提问大型冷模实验研究中可能涉及的传递过程**（讲授法、提问法）** |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问，内容是关于反应工程基本概念及相关交叉学科的基础知识，有助于学生与以往专业课进行结合，很好的进行融会贯通。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 思考反应工程的研究对象、目的、内容及研究方法。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 绪论：P1-3。 |

**7.2教学单元二**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 2/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解化学计量方程、反应程度、转化率等基本概念；（2）掌握化学反应速率的表达。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）化学反应式与化学反应计量方程；（2）反应程度（反应进度）；（3）转换率；（4）化学反应速率。重点：（1）反应程度与转化率的性质；（2）化学反应速率的表达。难点：（1）化学反应速率的表达。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）化学反应动力学及反应器中涉及到的基本概念**（讲述法）**化学组分：任意具有确定性质的化合物或元素。反应物质：反应器内（或化学反应过程）物料的总和。反应物：参加反应的物质（反应物、产物）。伴随物：存在于系统，本身不发生化学变化的物质。溶剂、稀释剂、惰性物质、催化剂等。反应器、反应容积、反应设备：指在其中实施化学反应的设备。反应体积：指反应器中反应物质所占据的体积。反应场所（有效反应体积）：反应器中确实发生化学反应的那部分反应体积。（2）化学反应式概念**（讲述法）**化学反应进行时，反应物质遵从质量守恒定律，尽管采用质量数值是最适宜的数值量度，但反应是以化学计量关系进行的，采用摩尔数更为优越。（3）反应程度的性质**（讲述法）**时间的函数，随反应的进行而不同1、积累量，恒大于0 2、广度量 3、与反应式的写法有关**注意**：广度量：描述体系的广度性质，具有加和性，如：功。强度量：描述体系的强度性质，不具加和性，如：功率。（4）转化率的性质**（讲述法）**1、随起始态的不同选择而不同 2、与计量系数无关（与反应式的写法无关）3、广度量 4、最大值为1(100%)反应程度与转化率对照：**（对比讲述法）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 反应程度 | 转化率 |
| 对于任何一种反应物或产物 | 反应程度相同 | 转化率不一定相同 |
| 对能够达到的最大值 | 表示不够明确 | 转化率不一定相同 |
| 因次 | 有 | 无 |

（5）化学反应速率定义：单位反应体积内反应程度随时间的变化率。**（讲授法）（提问法）**摩尔数转化率：一个化学反应只有一个反应速率，就是以反应程度表示的反应速率。而rA，rB等都是以各反应物或生成物表示的该物质的消耗或生成速率。这些速率可能在数值上等于该反应的反应速率，但具有不同的意义。**（讲授法）（提问法）** |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：1、转化率与反应程度与时间有无关系？2、恒容过程以关键组分A的浓度表示的化学反应速率为？ |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后作业：教材 P36，1、2、3 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第一章 均相单一反应动力学和理想反应器：P4-7。 |

**7.3教学单元三**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 3/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解活化能、阿伦尼乌斯关系；（2）理解基元反应；（3）掌握化学反应动力学方程以及不可逆反应动力学积分式。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）化学反应动力学方程；（2）阿伦尼乌斯关系；（3）不可逆反应动力学积分式。重点：（1）阿伦尼乌斯关系;（2）不可逆反应动力学积分式。难点：（1）反应动力学方程。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**1、反应程度定义及特点？2、转化率定义式及特点？3、化学反应速率的表达式？（2）化学反应动力学方程**（讲授法）****定义：**定量描述反应速率和影响反应速率的因素之间关系的关系式称为反应动力学方程。影响因素：大量实验表明，均相反应的速率是反应物系组成、温度和压力的函数。而反应压力通常可由反应物系的组成和温度通过状态方程来确定，不是独立变量。所以主要考虑反应物系组成和温度对反应速率的影响。**引导**学生思考影响均相化学反应速率的因素。（反应物系组成、温度、压力）**（启发法）。注意**：化学反应动力学方程有多种形式，对于均相反应，方程多数可以写为（或可以近似写为，至少在一定浓度范围之内可以写为）幂函数形式，反应速率与反应物浓度的某一方次呈正比。**（讲授法）（互动法）**对于体系中只进行一个不可逆反应的过程。kc为以浓度表示的反应速率常数，随反应级数的不同有不同的因次。一般，kc是温度的函数，在一般工业精度上，符合阿累尼乌斯关系。**（讲授法）（启发法）****引导**学生回忆物理化学讲的化学反应动力学中kc用什么关系式表达？（阿伦尼乌斯关系）**（启发法）**（3）反应级数的含义与范围**注意：**m，n－分别为A和B组分的反应级数，m+n为此反应的总级数。如果反应级数与反应组份的化学计量系数相同，即m=a并且n=b，此反应可能是基元反应。基元反应的总级数一般为1或2，极个别有3，没有大于3级的基元反应。对于非基元反应，m，n多数为实验测得的经验值，可以是整数，小数，甚至是负数。**引导**学生明白级数的基本性质。**（启发法）**（4）常见的简单级数不可逆反应动力学积分式**（讲授法）** |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：1、反应程度定义式及特点？2、转化率定义式及特点？3、恒容过程以关键组分A的浓度表示的化学反应速率的表达式？4、幂函数形式表达化学反应动力学方程：1、m是否一定等于a，n是否一定等于b？2、什么条件下，m一定等于a，n一定等于b？3、什么是基元反应？基元反应满足什么定律使得m=a，n=b？引导学生思考：1、影响均相化学反应速率的因素；2、回忆物理化学讲的化学反应动力学中kc用什么关系式表达；3、化学反应速率对温度的敏感程度； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后作业：教材 P36，13 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第一章 复合反应与反应器选型：P7-8 |

**7.4教学单元四**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 4/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解建立动力学方程的方法；（2）掌握反应动力学方程。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）积分法建立动力学方程。重点：（1）积分法建立动力学方程。**难点：**（1）积分法建立动力学方程。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**1、影响反应速率的主要因素？2、级数和活化能分别代表谁对反应速率的影响？3、化学反应速率动力学公式的基本表达式？（2）建立化学反应动力学方程涉及问题**（提问法）（讨论法）**如何通过实验数据建立反应动力学方程？ 如何用最少的数据得到尽可能准确的结果？**引导**学生自己了解动力学基本推导过程。**（启发法）** ※1 恒温实验：确定反应级数和速率常数；※2 变温实验：确定活化能和指前因子。对于一些相对简单的动力学关系，如简单级数反应，在等温条件下，回归可以由简单计算手工进行。**（讲授法）**采用一元拟线性回归求得指前因子（或频率因子）和活化能（3）积分法**（讲授法）（互动法）**※1 假定动力学方程形式，得到关系kt=f(ci) ※2 由测定t时刻浓度值得t~f(ci)※3 做图，t~f(ci)过园点时，假定成立，否则重新假定动力学形式※4 利用变温实验数据求活化能E和指前因子k0。 |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：1、影响反应速率的主要因素？2、级数和活化能分别代表谁对反应速率的影响？3、化学反应速率动力学公式的基本表达式？ |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 积分法作图规律。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第一章 均相单一反应动力学：P9-12 |

**7.5教学单元五**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 5/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| 理解反应持续时间、停留时间、平均停留时间、空间时间、空速、标准空速 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）反应器开发任务；（2）所涉及的时间概念（反应持续时间、停留时间、平均停留时间、空间时间、空速、标准空速）；（3）反应器分类。**重点：**（1）所涉及的时间概念（反应持续时间、停留时间、平均停留时间、空间时间、空速、标准空速）。**难点：**（1）停留时间、平均停留时间、空间时间、空速的概念理解。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）****引导**学生回忆积分法和微分法建立动力学方程的步骤。（2）反应器开发任务**（讲授法）**1、反应器选型—基于反应动力学特性进行2、操作方式与操作条件的确立—结合动力学与反应器两个方面进行3、反应器几何尺寸设计—基于生产任务进行均相—反应物和产物都在同一相中理想—并不存在的，从流动角度看理想化的反应器。主要讨论三种理想反应器：间歇反应器、全混流反应器和平推流反应器（3）所涉及的时间概念**（讲授法）（讨论法）**反应持续时间tr：在间歇反应器中反应达到一定转化率所需时间（不包括辅助时间）。停留时间t：连续流动反应器中流体微元从反应器入口到反应器出口所经历的时间。平均停留时间：连续流动反应器中各流体微元从反应器入口到反应器出口所经历时间的平均值。空间时间τ：反应器有效容积VR与流体入口条件下的体积流率V0之比，τ= VR/V0。空间速度（空速）Sv[时间－1]：单位时间内投入到反应器中的物料体积（指入口条件下）与反应器有效容积或催化剂体积之比。Sv = V0/VR标准空速定义为 VNO/VR，其中VNO为流体在标准状况下的体积流率。（4）反应器分类**（讲授法）（启发法）** |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：几类时间概念彼此间的区别？ |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 三大类理想反应器的初步认识。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第一章 均相单一反应动力学：P13-16 |

**7.6教学单元六**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 6/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）掌握间歇反应器的设计方程；（2）掌握平推流反应器的设计方程；（3）掌握全混流反应器设计方程。（4）掌握膨胀因子和膨胀率 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）间歇反应器（BR）特点及设计方程；（2）平推流反应器（PFR）特点及设计方程；（3）全混流反应器（CSTR）特点及设计方程；（4）膨胀因子和膨胀率的基本概念；（5）本章小结。**重点：**（1）间歇反应器特点及设计方程；（2）平推流反应器特点及设计方程；（3）全混流反应器（CSTR）特点及设计方程。**难点：**（1）间歇反应器设计方程；（2）平推流反应器设计方程；（3）全混流反应器设计方程。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**返混与混合的区别？（2）间歇反应器特点及设计方程**（讲授法）（提问法）（互动法）**介绍间歇反应器，并说明间歇反应器的特点，通过物料衡算推导间歇反应器的设计方程：**引导**学生思考对于恒容反应，间歇反应器的设计方程：**（启发法）**（3）平推流反应器（PFR）特点及设计方程**（讲授法）（提问法）（互动法）**介绍平推流反应器，并说明平推流反应器的特点。通过物料衡算推导平推流反应器设计方程：**引导**学生思考对于恒容反应下平推流反应器的设计方程：**（启发法）**（4）全混流反应器（CSTR）特点及设计方程**（讲授法）（提问法）（互动法）**介绍全混流反应器，并说明全混流反应器的特点。通过物料衡算推导间歇反应器的设计方程：**引导**学生思考对于恒容反应下全混流反应器的设计方程**（启发法）**（5）膨胀因子和膨胀率的基本概念**（讲授法）** 膨胀率定义：表征变容程度的另一参数。 |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：1、对于恒容反应，间歇反应器的设计方程；2、对于恒容反应，平推流反应器的设计方程。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后作业：教材 P37，7、14 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第一章 均相单一反应动力学：P16-18，P28 |

**7.7教学单元七**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 7/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解单一不可逆反应过程平推流与全混流反应器比较；（2）理解平推流反应器和全混流反应器的并联和串联。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）单一不可逆反应过程平推流与全混流反应器比较；（2）理想流动反应器的组合；（3）根据不同化学反应优化反应器组合。**重点**：（1）理想流动反应器的组合；（2）根据不同化学反应优化反应器组合。**难点：**（1）根据不同化学反应优化反应器组合。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**返混与混合的区别？（2）复合反应**（讲授法）**复合反应定义：反应系统中同时发生两个或两个以上化学反应时，称该反应系统为复合反应过程（3）单一不可逆反应过程与反应器**（讲授法）（互动法）（提问法）**（3）理想流动反应器的组合**（讲授法）**PFR 和 CSTR 的并联特性PFR 和 CSTR 的串联特性（4）根据不同化学反应优化反应器组合**（互动法）（提问法）****引导**学生思考对于上述不同类型的反应选择 PFR 和 CSTR 或组合 PFR 和 CSTR，可使设备费用最小。**（启发法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：对于不同类型的反应选择PFR和CSTR或组合PFR和CSTR，可使设备费用最小。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：比较对于单一不可逆(n级)反应，PFR、CSTR以及多个CSTR串联的空时大小？ |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第二章 复合反应与反应器选型：P41-47 |

**7.8教学单元八**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 8/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）理解自催化反应和可逆反应特性；（2）了解循环反应器的特征。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）循环反应器及其特点；（2）自催化反应特性与反应器选型；（3）可逆反应特性与反应器选型。**重点：**（1）循环反应器的特点；（2）自催化反应特性；（3）可逆反应的反应器选型。**难点：**（1）自催化反应的反应器选型；（2）可逆放热反应的反应器选型。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**返混与混合的区别？（2）循环反应器及其特点**（讲授法）**基本假定：1、反应器内为活塞流；2、管线内不发生化学反应；3、整个体系定常态操作。定义循环比为：循环量与产品量之比。**引导**学生回忆《化工原理》精馏单元操作中回流比的概念，对比记忆循环反应器循环比的定义。**（启发法）**（3）自催化反应特性与反应器选型**（讲授法和引导法）**过程实质：反应产物对反应起到催化作用，产物可以加快反应进行。k2远大于k1。多出现在生化反应中；反应起始时，只有A，没有P，第二个反应无法进行，一旦体系中有了P，反应速率大大加快，直到A的减少使反应速率下降。**（讨论法）**低转化率时：CSTR优于PFR；高转化率时：PFR优于CSTR，但必须有产物P的存在，否则用PFR是不适宜的，可采用循环反应器。 |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：1、n级单一不可逆反应在PFR和CSR中性能比较？引导学生思考：2、回忆《化工原理》精馏单元操作中回流比的概念，对比记忆循环反应器循环比的定义；3、在低转化率和高转化率条件下反应器组合问题； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第二章 复合反应与反应器选型：P50-52 |

**7.9教学单元九**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 9/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| 可逆反应特性与反应器选型 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）可逆反应特性与反应器选型。**重点：**（1）可逆反应特性与反应器选型。**难点：**（1）可逆吸热反应与反应器选型；（2）可逆放热反应的反应器选型。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**对于自催化反应，若选用平推流反应器且进料中只有反应物 A，反应器出口 A 的转化率为？为什么？（2）可逆反应特性与反应器选型**（讲授法和引导法）**可逆吸热反应：反应速率总是随反应的进行而下降，为尽可能在较高浓度下反应，应选用平推流反应器（PFR、适宜高温）可逆放热反应：存在最佳反应温度，希望反应沿最佳温度曲线进行，在不同转化率下有不同最佳温度，因此多选用全混流反应器组合或多段换热式操作方式（CSTR、PFR多段、最佳温度） 平衡温度计算**引导**学生思考对于可逆放热反应条件下反应速率与温度及转换率之间的关系，引出可逆放热反应中存在最佳温度，同时讨论从浓度和温度角度说明选什么反应器更优。**（启发法）** |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：1、对于可逆吸热反应条件下反应速率与温度及转换率之间的关系，并讨论从浓度和温度角度说明选什么反应器更优；2、对于可逆放热反应条件下反应速率与温度及转换率之间的关系，并讨论从浓度和温度角度说明选什么反应器更优。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第二章 复合反应与反应器选型：P52-56 |

**7.10教学单元十**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 10/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）理解平行反应动力学方程特征；（2）掌握收率、选择性概念，平行反应中温度、浓度、活化能对选择性的影响。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）平行反应特性与反应器选型。**重点：**（1）平行反应特性与反应器选型。**难点：**（1）平行反应的反应器选型。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**归纳不可逆反应、可逆吸热反应和可逆放热反应的 x-T 图（2）平行反应特性与反应器选型**（讲授法和引导法）**平行反应：反应物同时进行两个或两个以上的反应。**引导**学生讨论浓度、温度对瞬时选择性的影响以及反应器的选型。**（启发法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：对于平行反应，浓度、温度对瞬时选择性的影响以及反应器的选型； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第二章 复合反应与反应器选型：P56-61 |

**7.11教学单元十一**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 11/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）理解连串反应动力学方程特征；（2）掌握收率、选择性概念，连串反应中温度、浓度、活化能对选择性的影响。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：1. 连串反应特性与反应器选型；

（2）本章小结。**重点：**（1）连串反应特性与反应器选型。**难点：**（1）连串反应的反应器选型。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**讨论平行反应中浓度、温度对瞬时选择性的影响（2）连串反应特性与反应器选型**（讲授法和引导法）**平行反应：指反应产物能进一步生成其它副产物的过程。（a）随反应时间的延长，A浓度呈指数规律下降，S浓度连续上升，中间物P浓度先升后降，存在极大值；（b）中间产物P的浓度极大值受k1和k2的支配（c）措施：为多获得P，应增加k1/k2的值，降低S的浓度**引导**学生讨论浓度、温度对瞬时选择性的影响以及反应器的选型。**（启发法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：对于连串反应，浓度、温度对瞬时选择性的影响以及反应器的选型； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第二章 复合反应与反应器选型：P61-65 |

**7.12教学单元十二**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 12/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解返混对反应过程的影响；（2）理解停留时间分布的概率函数及特征值。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）理想反应器与实际反应器；（2）返混对反应过程的影响；（3）流体停留时间分布的定量描述。**重点：**（1）返混对反应过程的影响以及理想反应器的返混程度；（2）流体停留时间分布的定量描述。**难点：**（1）流体停留时间分布的定量描述。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）基本概念**（讲授法）**年龄：物料（质点）从进入反应器开始，目前已经在反应器内逗留的时间（仍旧未离开反应器）。停留时间：物料（质点）从进入反应器开始，到离开反应器为止，在反应器中总共逗留的时间。这个时间也就是质点的寿命。混合、返混及其区别停留时间分别为t1和t2物料混合的反应速率不等于两者反应速率的平均值，即：（2）按返混程度对反应器分类**（讲授法）（讨论法）**完全不返混反应器（PFR）；完全返混反应器（CSTR）；部分返混反应器（3）流体在反应器内的停留时间分布**（讲授法）**1、停留时间分布函数2、停留时间分布密度函数3、平均停留时间（数学期望）1. 离散度（方差）

 |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：理想反应器与实际反应器的区别与联系； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 混合、返混及其区别，返混对反应过程的影响。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第三章 非理想流动反应器：P72-75。 |

**7.13教学单元十三**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 13/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| 理解以对比时间为变量的停留时间分布。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）理解以对比时间为变量的停留时间分布。**重点：**（1）理解以对比时间为变量的停留时间分布。**难点：**（1）理解以对比时间为变量的停留时间分布。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**停留时间分布函数 F(t)与停留时间密度函数 E(t)区别？（2）以对比时间作自变量的停留时间分布的定量描述**（讲授法）**（3）以对比时间为自变量表示的停留时间分布规律**（对比讲授法）**（4）两种停留时间分布规律之间的相互关系**（对比讲授法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：以对比时间为自变量表示的停留时间分布规律与前者表达的区别； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 以对比时间为自变量表示的停留时间分布规律特点。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第三章 非理想流动反应器：P80。 |

**7.14教学单元十四**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 14/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）掌握阶跃法实验测定停留时间分布；（2）掌握脉冲法实验测定停留时间分布。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）阶跃法实验测定停留时间分布规律；（2）脉冲法实验测定停留时间分布规律。**重点：**（1）阶跃法实验测定停留时间分布规律；（2）脉冲法实验测定停留时间分布规律。**难点**：（1）阶跃法实验测定停留时间分布规律；（2）脉冲法实验测定停留时间分布规律。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**对比时间为自变量表示的停留时间分布规律及两种停留时间分布规律之间的相互关系？（2）停留时间（RTD）的实验测定**（讲授法）**回忆：雷诺数与流体流动类型的相互关系（红墨水实验）停留时间实验测定。目的：判定反应器内流体的流动状态。 方法：示踪应答技术（激励－响应）（3）阶跃法**（讲授法）**在t = 0时刻加入一定浓度的示踪剂并保持下去。（4）脉冲法**（讲授法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：两种示踪剂方法的区别； |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后作业：教材 P97，1、2 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第三章 非理想流动反应器：P75-79。 |

**7.15教学单元十五**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 15/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）平推流反应器的停留时间分布规律；（2）全混流反应器的停留时间分布规律。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）平推流反应器的停留时间分布规律；（2）全混流反应器的停留时间分布规律。**重点：**（1）平推流反应器的停留时间分布规律；（2）全混流反应器的停留时间分布规律。**难点**：（1）平推流反应器的停留时间分布规律；（2）全混流反应器的停留时间分布规律。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**两种示踪剂方法的区别？（2）激励过程的数学描述：**（讲授法）**（3）PFR和CSTR停留时间分布规律的对比**（对比讲授法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：两种反应器激励与响应过程的物理描述基本过程 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第三章 非理想流动反应器：P80-82。 |

**7.16教学单元十六**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 16/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| 理解凝集流模型、多级混合槽模型、轴向扩散模型的假设及建模思想 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）非理想流动模型（凝集流模型）；（2）非理想流动模型（多级混合槽模型）；（3）非理想流动模型（轴向扩散模型）；（4）本章小结。**重点：**（1）非理想模型与理想模型的区别。**难点：**（1）轴向扩散模型。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**PFR和CSTR停留时间分布规律。（2）凝集流模型**（讲授法）**基础物理模型：间歇反应器基本假定：1、流体以流体团的方式流过反应器，且彼此之间不发生混合；2、每个流体团相当于一个小间歇反应器；3、由于返混的作用，每个流体团在反应器内的停留时间不同，达到的转化率因而不同，在反应器出口处的宏观转化率，就是各不同停留时间的流体团达到的转化率的平均值。（3）多级混合槽模型**（讲授法）**基础物理模型：全混流反应器基本假定：1、反应器是由若干大小相等的全混流反应器串联而成；2、各全混流反应器之间不存在返混，输送管道内不发生化学反应；3、定常态操作。（4）轴向扩散模型**（讲授法）**基础物理模型：平推流反应器基本假定：1、主体流动为平推流，但叠加一涡流扩散；2、涡流扩散遵循费克扩散定律且在整个反应器内扩散系数为常数；3、定常态操作。（5）本章小结**（归纳法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：三种非理想模型与理想模型间的区别？ |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第三章 非理想流动反应器”部分；P83-89。 |

**7.17教学单元十七**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 17/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解非均相催化反应；（2）掌握非均相催化反应的“七步骤”，“三过程”。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）非均相催化反应过程基本特征；（2）非均相催化反应速率表达。**重点：**（1）非均相催化反应过程基本特征；（2）非均相催化反应速率表达。**难点：**（1）非均相催化反应过程。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）催化反应过程的特征**（提问法）**1、催化剂改变反应历程和反应速率2、催化剂的存在不改变反应过程的热力学平衡特性；3、催化剂等速加快/减小可逆反应的正逆反应速率4、催化剂对反应过程的选择性至关重要5、如果希望催化剂充分发挥作用，应当尽可能增加反应物与催化剂的接触（2）非均相催化反应速率表达**（讲授法）（讨论法）****引导**学生回忆均相单一反应速率表达，引出非均相催化反应速率表达。（3）非均相催化反应过程**（讲授法）（互动法）**动画演示并讲授非均相催化反应过程的七个步骤：① 外扩散：反应组分由物流主体至催化剂外表面；② 内扩散：反应组分由催化剂外表面至催化剂内表面；③ 吸附：反应组分在催化剂活性中心上吸附；④ 表面化学反应：在催化剂表面进行化学反应；⑤ 脱附：反应产物在催化剂表面解吸；⑥ 内扩散：反应产物由催化剂内表面至催化剂外表面；⑦ 外扩散：反应产物由催化剂外表面至物流主体。①和⑦为外扩散过程；②和⑥为内扩散过程；③、④和⑤为化学动力学过程。 |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：回忆均相单一反应速率表达，引出非均相催化反应速率表达。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：非均相催化反应过程七步骤，三过程具体机理。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第四章 气固催化反应本征动力学”部分；P 99-102。 |

**7.18教学单元十八**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 18/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解固体催化剂组成；（2）掌握固体催化剂的基本特征参数。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）固体催化剂组成；（2）固体催化剂的基本特征参数。**重点：**（1）固体催化剂组成；（2）固体催化剂的基本特征参数。**难点：**（1）固体催化剂的基本特征参数。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**非均相催化反应过程的七个步骤？（2）催化剂的组成和组分选择**（讲授法）（讨论法）**1、良好的催化活性（尤指低温活性）　2、良好的选择性 　3、较长的实用寿命  4、适宜的物理织构结构（Sg、Vg、孔径分布、活性组分分布、形状、尺寸） 　5、较强的抗毒能力 　6、较高的机械强度（不易磨损破碎）**引导**学生总结催化剂的几大工业特点。**（启发法）**（3）固体催化剂的组成**（讲授法）**固体催化剂由三部分组成，活性组分、助剂和载体；三者不能截然分开。（4）固体催化剂的主要结构特征参数**（讲授法）（讨论法）**1、比表面积:Sg（m2/g）－单位质量催化剂所具有的表面积，BET法测定。一般为5~1000 m2/g 2、孔体积（孔容积）:Vg（m3/g）－单位质量催化剂所具有的微孔体积 3、固体密度（真密度）－不含微孔时的密度 4、颗粒密度（假密度） 5、颗粒孔隙率－微孔所占总体积的分率 6、孔径分布测定: 压汞法－测大孔（即 r > 100~200 Å) 氮吸附法－测微孔（即 10~200 Å） |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：**引导**学生总结催化剂的几大工业特点。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：催化剂组成及其各功能。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第四章 气固催化反应本征动力学：P103-107。 |

**7.19教学单元十九**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 19/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| 了解物理吸附与化学吸附； |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）物理吸附；（2）化学吸附。**重点：**（1）化学吸附的特点。**难点：**（1）化学吸附的特点。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**固体催化剂的组成及其各部分功能？（2）物理吸附特点**（讲授法）（讨论法）**1、依靠范德华力（分子间引力），无明显选择性；2、多层吸附；3、吸附热大致与被吸附组分的冷凝潜热相当 2~20 kJ/mol（0.5~5 kcal/mol）4、吸附与脱附能快速达到平衡（可逆），吸附量随温度升高而降低（3）化学吸附特点**（讲授法）（讨论法）**1、由固体表面与吸附分子间的化学键力所致，形成吸附化学键，产生表面活化络合物 ；2、多为单分子层吸附，吸附满后不再吸附（即吸附量有上限） ；3、吸附热与化学反应热相当（同一数量级）21~418 kJ/mol（5~100 kcal/mol） 4、随温度升高，吸附量增加 （4）两种吸附之间的关系**（对比讲授法）****注意**：高温下以化学吸附为主；低温下以物理吸附为主 |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：**引导**学生总结两种吸附方式的区别及各自特点。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：两种吸附方式的吸附力。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第四章 气固催化反应本征动力学：P 109。 |

**7.20教学单元二十**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 20/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| 1. 化学吸附速率表达式、化学脱附速率表达式；

（2）掌握兰格缪尔模型、理解焦姆金吸附模型、弗鲁德里希吸附模型。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）吸附与脱附过程描述、理想吸附模型（兰格缪尔模型）；（2）真实吸附模型（焦姆金模型、弗鲁德里希模型）。**重点：**1. 兰格缪尔吸附等温模型；

（2）影响吸附速率的因素、吸附与脱附动态平衡。**难点：**（1）理想吸附模型与真实吸附模型的区别。（2）影响吸附速率的因素；（3）吸附与脱附动态平衡。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**两种吸附方式的区别及各自特点。（2）吸附与脱附过程描述**（讲授法）（互动法）**表面覆盖度（组分吸附速率）：； 单一组分吸附时： ； 多组分吸附时： （3）影响脱附速率的因素**（讲授法）**1、与表面覆盖度有关 2、与脱附活化能成指数关系 （4）吸附与脱附动态平衡**（讲授法）（讨论法）**平衡时：（5）吸附模型**（讲授法）**1、理想吸附模型（均匀表面吸附模型）有：兰格缪尔模型；2、真实吸附模型（非均匀表面吸附模型）有：焦姆金模型、弗鲁德里希模型。两类模型区别：吸附热 q 的不同表达。（6）兰格缪尔吸附等温模型理想吸附模型**（讲授法）（讨论法）**1、吸附剂表面均一。即整个催化剂表面具有均匀的吸附能力；2、吸附和脱附活化能与表面吸附的程度无关（Ea和Ed恒定）；3、单分子层吸附（每个活性中心仅能吸附一个气体分子）；4、被吸附分子间没有相互作用。**引导**不同条件下，组分吸附率的关系式，并引出吸附等温式：（7）真实吸附模型**（讲授法）****引导**学生思考理想吸附模型假设与实际的偏离，引出真实吸附模型。（启发法）1、理想吸附模型与真实吸附模型的最主要区别在于Ea和Ed与表面覆盖度间相互关系处理上。2、真实吸附模型：Ea和Ed与表面覆盖度有关。3、焦姆金吸附模型：认为Ea和Ed与表面覆盖度成线性关系；4、弗朗得里希吸附模型：认为Ea和Ed与表面覆盖度成对数关系。 |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：1、影响吸附速率的因素；2、影响脱附速率的因素；3、当吸附与脱附动态平衡时，净吸附速率值。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：化学吸附的一般表达式、理想吸附模型与真实吸附模型的区别和兰格缪尔吸附等温式。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
| 第四章 气固催化反应本征动力学：P109-110、P 111-114。 |

**7.21教学单元二十一**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 21/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解本征动力学方程的实验测定；（2）掌握双曲本征动力学方程；（3）动力学方程推导过程小结。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）表面化学反应；（2）反应本征动力学；（3）本征动力学实验的测定；（4）动力学方程推导过程小结；（5）幂函数型本征动力学方程；（6）本章小结。重点：（1）双曲线本征动力学方程；（2）动力学方程推导过程小结。难点：（1）本征动力学实验的测定；（2）动力学方程推导过程小结。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**理想吸附模型主要有？真实吸附模型主要有？两者区别？（2）本征动力学方程的确定**（讲授法）（讨论法）**1、化学动力学过程包括：吸附、脱附和表面化学反应，三者串联进行2、本征动力学方程确立原则：在三个化学动力学步骤中，速度最慢的为过程控制步骤，其进行速率即为整个化学动力学过程的速率。（3）本征动力学方程形式**（讲授法）**1、对吸附和脱附过程认识和假定上的不同，得到的速率方程不同2、对表面化学反应基元步骤及其控制步骤处理上的不同，得到的化学反应速率表达式不同3、本征动力学方程在表达形式上存在较大的差异。常见的类型有： 双曲型：Langmuir-Hinshewood、Rideal-Eley等 幂律型：焦姆金、弗鲁德里希和经验型**引导**不同条件下，组分吸附率的关系式，并引出吸附等温式：（4）双曲型本征动力学方程**（讲授法）**基于Hougen-Watson 模型推演而来1、在吸附、表面化学反应和脱附三个过程中必有一个速率最慢的控制步骤，它代表了整个过程的本征反应速率；2、除控制步骤外的其它步骤均处于平衡状态；3、吸附和脱附都可以用Langmuir吸附模型描述。（5）动力学方程推导过程小结**（讲授法）（讨论法）**1、假定反应机理，确定反应历程；2、确定控制步骤，写出该步骤的速率方程； 3、假定非速率控制步骤达到平衡，求出相关平衡量；4、将控制步骤速率方程中的难测定项（如平衡分压等）替换为易测定项，获得最终的速率方程。（6）速率方程推导结果可汇总为**（讲授法）（互动法）**（7）幂函数型本征动力学方程**（讲授法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：双曲型本征动力学方程的假设前提、动力学方程推导过程机理特点。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 无 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
|  第四章 气固催化反应本征动力学：P115-116、P116-119。 |

**7.22教学单元二十二**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 22/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）宏观反应动力学应用前提； |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）宏观反应动力学应用前提；（2）宏观反应速率概念。**重点**：（1）宏观反应速率概念。**难点：**（1）宏观反应速率概念。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）宏观反应速率**（讲授法）****引导**学生回忆气固相催化反应的七大步骤。整个过程存在气－固之间和固相内的热、质传递　质量传递：步（1）和步（7）为气－固之间传递，取决于Re（流动状态）。步（2）和步（6）为固相内传递，取决于扩散过程和动力学影响 热量传递：步（1）和步（7）取决于Re和Pr。步（2）~（6）交织在一起，取决于反应热和颗粒导热系数。**注意：**单颗粒催化剂上发生的化学反应，取决于本征活性（速率）、流动状态、传热和传质等，过程复杂。一般不进行单点计算，多表示为催化剂颗粒体积为基准的平均反应速率与其影响因素之间的关联式。（2）不考虑外扩散影响的宏观动力学－讨论内容：**（讲授法）**1、气体在多孔介质孔道内的扩散规律 2、多孔介质内气体浓度和温度的分布规律 3、宏观反应速率的关联式 |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：宏观反应动力学与本征反应动力学的区别。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 宏观反应动力学与本征反应动力学的区别 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
|  第五章 气固催化反应宏观动力学：P 130。 |

**7.23教学单元二十三**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 23/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）了解催化剂内气体各种扩散；（2）理解扩散判断准则；（3）掌握宏观反应速率及有效扩散。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）效率因子的概念；（2）催化剂颗粒内气体扩散（分子扩散、努森扩散、综合扩散、以颗粒为基准的有效扩散）。**重点：**（1）效率因子，有效扩散；（2）分子扩散、努森扩散。**难点：**（1）以颗粒为基准的有效扩散。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**宏观反应动力学与本征反应动力学的区别？（2）催化剂颗粒内的气体扩散**（讲授法）**影响因素：催化剂颗粒属于多孔性介质，气体分子在其孔道内的扩散行为受到孔道形状和尺寸的限制。1、当孔径>>分子平均自由行程时－分子扩散；2、当孔径<分子平均自由行程时－克努森扩散；3、当孔径与分子直径相当时－构型扩散（3）分子扩散**（讲授法）（讨论法）**判据：λ/d0<10-2双分子扩散：（4）克努森扩散**（讲授法）（讨论法）**判据：d0<0.1（5）构型扩散**（讲授法）（讨论法）**If 10-2<λ/d0<10 分子扩散和克努森扩散同时起作用（6）有效扩散**（讲授法）（讨论法）** |
| 本讲师生互动 |
| 引导学生思考：回忆气固相催化反应的七大步骤。 |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：分子扩散和努森扩散的适用条件。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
|  第五章 气固催化反应宏观动力学：P 131-133。 |

**7.24教学单元二十四**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学院 | 教师姓名 | 课程名称 | 学分/学时 | 课程性质 | 课次/学时 | 学年/学期 |
| 化工 | 郑丹 | 化学反应工程 | 3/48 | 专业必修 | 24/2 | 2020-2021/2 |
| 本讲教学目标 |
| （1）理解宏观反应动力学方程的催化剂从特殊形状到任意形状、反应从一级到任意级的假设、推理和求解；（2）掌握等温条件下宏观反应动力学方程。 |
| 本讲教学内容 |
| 知识点：（1）球形颗粒催化剂等温反应的宏观动力学方程；（2）其他形状催化剂等温反应的宏观动力学方程。**重点：**（1）西勒模数及西勒模数的物理意义；（2）任意形状催化剂等温宏观动力学方程。**难点：**（1）任意形状催化剂等温宏观动力学方程。 |
| 本讲教学过程及教学方法 |
| （1）复习上节课知识点**（提问法）**1、存在内扩散条件下如何研究反应速率？2、分子扩散和努森扩散的适用条件？（2）效率因子的概念**（讲授法）（讨论法）**1. Thiele模数的物理意义**（讲授法）（讨论法）**

**注意：**西勒模数实际上是以催化剂颗粒体积为基准时的最大表面化学反应速率与最大内扩散速率的比值。它反映出过程受化学反应及内扩散过程影响的程度。 1. 任意形状催化剂的等温宏观动力学方程**（互动法）**

（5）西勒模数的通用表达式**（互动法）** |
| 本讲师生互动 |
| 课堂提问：1、效率因子定义？引导学生思考：1、西勒模数的物理意义？2、西勒模数的大小如何反映内扩散阻力以及控制步骤？3、同一反应级数条件下任意形状催化剂效率因子与西勒模数关系说明什么？ |
| 本讲作业安排及课后反思 |
| 课后思考：西勒模数的物理意义；如何引出任意形状催化剂西勒模数表达式。 |
| 本讲教学单元的参考资料 |
|  第五章 气固催化反应宏观动力学：P 134-141。 |

1. **课程考核**

本课程实施综合考评，采取平时作业、期末作业等方法，注重学习的学习态度和最终成绩的平衡，以全面综合地评定学生的能力。

1、考核类别：考试

2、考核形式：闭卷

总成绩（100%）：期末考试成绩（60%）+平时成绩（40％）

平时成绩：各项作业算数平均值（包括期中考试）—旷课次数×10分。

说明：平时成绩低于60分，取消考核资格；作业与期中考试成绩按A+，A，A－，B+，B，B－，C，D，E共9个等级（分别对应百分制中的98，95，90，88，85，80，70，60，50）。

1. **学术诚信**

考试违规与作弊依据四川轻化工大学学术诚信规范与管理办法相关规定。

**10. 课堂规范**

**10.1课堂纪律**

1. 学生必须准时上下课，不得迟到和早退。上课期间禁止手机鸣叫，迟到学生需取得教师同意后方准就坐听课。
2. 上课前，学生应准备好上课所需的用品就坐静候。
3. 上课时学生要衣着整齐，专心听讲，认真记笔记，禁止随意交谈或阅读与上课无关的报刊书籍。对违反的学生，教师应予以制止和给予适当的批评，严重者可令其退出课堂，课后报教务处和学院处理。
4. 学生遇问题需问教师时，应举手示意，经教师同意后起立发问。
5. 上课期间，无关人员一律不得进出教室，或在课堂内逗留。
6. 教室内必须保持整齐洁净，不允许踩踏桌椅，禁止吸烟和吃食物，不得随意在桌上涂写，不得随地扔碎纸和吐痰。
7. 在教学楼内应保持肃静，不得在走廊和教室内高声喧哗以及做有碍上课和自习的活动。

**10.2课堂礼仪**

1. 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。学生应当准时到校上课，若因特殊情况，不得已在教师上课后进入教室，应先喊报告，得到教师允许后，方可进入教室。
2. 在课堂上，上课要专心听讲，注意力集中，独立思考，重要的内容应做好笔记。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。课堂上应独立完成作业，不随便离位走动，不吃东西。
3. 下课：听到下课铃响时，若老师还未宣布下课，学生应当安心听讲，不要忙着收拾书本，或把桌子弄得乒乓作响，这是对老师的不尊重。待老师离开教室后，学生方可离开。

**11．课程资源**

**11.1教材与参考书**

教材：《化学反应工程》郭锴等编，第三版，化学工业出版社。

参考书：《化学反应工程》朱炳辰主编，化学工业出版社。《化学反应工程》陈甘棠主编，化学工业出版社。

**11.2 网络课程资源**

中国大学MOOC（慕课）系统、智慧树等网络课程平台，学生根据自己实际情况自由选择参阅。

**12．教学合约**

1、教师作出师德师风承诺

2、阅读课程实施大纲，理解其内容

3、同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望