

高纲 4062

江苏省高等教育自学考试大纲

05044 化学反应工程

南京工业大学编（2024 年）

I 课程性质与课程目标

一、课程性质和特点

《化学反应工程》是江苏省高等教育自学考试化学工程与工艺专业(专升本)中的一门重要课程,是化学工程学科的一个重要组成部分,是一门以工业反应过程为主要研究对象,以反应技术的开发、反应过程的优化和反应器设计为主要目的的一门工程学科。

本课程应用遍及化工、石油化工、生物化工、医药、冶金及轻工等许多工业部门。其主要任务是研究如何将实验室完成的化学反应在工业规模上安全、高效、绿色、节能地实现。主要包括:研究化学反应规律,建立反应动力学模型;研究反应器的传递规律,建立反应器传递模型;研究反应器内传递过程对反应结果的影响化学反应动力学等。

二、课程目标

本课程知识领域广泛,设置本课程是为了让考生能够牢固掌握化学反应工程的基本概念、基本原理和工程思维方法,培养考生分析和解决复杂工程问题的能力。

三、本课程的基本要求

本课程旨在培养考生树立工程观,了解化学反应工程的发展趋势和方向,掌握化学反应工程最基本的原理和计算方法,能够理论联系实际,初步具备对工业反应器进行设计与分析的能力,为今后解决化工生产过程中和科学研究中遇到的各种化学工程问题打下良好基础。

四、本课程与相关课程的关系

化学反应工程是大学本科化工类专业的核心主干课程之一,知识领域广泛,《化工热力学》《传递与分离》《化工原理》等课程是本课程的基础。

II 考核目标

本大纲在考核目标中,按照识记、领会、简单应用和综合应用四个层次规定其应达到的能力层次要求。四个能力层次是递升的关系,后者必须建立在前者的基础上。各能力层次的含义是:

识记:要求考生能够识别和记忆本课程中有关基本概念及规律的主要内容

(如定义、表达式、公式、重要结论等), 并能够根据考核的不同要求, 做正确的表述、选择和判断。

领会: 要求考生能够领悟和理解本课程中有关基本概念及规律的内涵及外延, 理解有关概念和规律的确切含义, 理解相关知识的区别和联系, 并能根据考核的不同要求对有关问题进行判断、解释和说明。

简单应用: 要求考生能够利用软件对动力学数据进行定量分析, 能够利用数学方法对反应过程进行模拟、设计和优化, 能够分析工程因素(流动、传递、热稳定性和参数灵敏度等)对化学反应和操作的影响。

综合应用: 要求考生能够了解工业反应器的设计理念和考虑因素(安全、经济、环保、自动化等), 针对生产任务设计合理的解决方案, 初步具备对工业反应器进行分析与设计的能力。

III 课程内容与考核要求

第一章 绪论

一、学习目的与要求

通过本章学习, 了解课程的研究对象和任务、基本设计方程和工业反应器的放大方法。掌握转化率、选择性和收率的定义和计算方法。

二、考核知识点与考核要求

(一) 化学反应及反应器分类

识记: ①均相反应; ②多相反应。

领会: ①各种工业反应器的结构特点。

(二) 反应器的操作方式

领会: ①不同操作方式的特点。

(三) 重要的基本概念

识记: ①反应进度的基本概念; ②转化率的基本概念; ③收率的基本概念; ④选择性的基本概念。

领会: ①反应进度的意义; ②转化率、收率、选择性的计算及关系。

三、本章关键问题

本章关键问题: 化学反应及反应器的分类、反应器的操作方式和一些重要的

基本概念。

第二章 反应动力学基础

一、学习目的与要求

通过本章学习，掌握化学反应速率的定义及浓度、温度对反应速率影响；掌握复合反应中消耗速率和生成速率的定义及表达方法；理解并列反应、平行反应和连串反应的动力学特征；掌握瞬时选择性的概念；掌握化学反应速率方程的变换与应用；掌握推导多相催化反应速率方程的方法。

二、考核知识点与考核要求

（一）化学反应速率

识记：①化学反应速率的定义；②反应速率方程的定义；③反应级数的定义；④反应速率常数的定义。

领会：①化学反应速率的不同表示方式及其相互关系；②反应速率的浓度效应和温度效应及影响因素。

简单应用：①对不同反应定性分析操作条件。

（二）消耗速率和生成速率

识记：①消耗速率和生成速率的定义；②瞬时选择性的定义；③并列反应的特征；④平行反应的特征；⑤连串反应的特征。

领会：①复合反应体系中任一组分的消耗速率和生成速率的表达方法；②并列反应、平行反应和连串反应的动力学特征。

综合应用：①瞬时选择性的概念及其在反应器设计计算中的应用。

（三）反应速率方程的变换与积分

识记：①膨胀因子的定义。

领会：①反应速率方程的变换方法。

综合应用：①反应速率方程在反应器设计计算中的应用。

（四）定态近似及速率控制步骤

识记：①物理吸附的定义；②化学吸附的定义；③吸附模型的定义；④定态近似的定义；⑤速率控制步骤的定义。

领会：①吸附模型的假设；②吸附等温线方程的推导。

简单应用：①应用定态近似及速率控制步骤推导动力学方程。

综合应用：①根据动力学方程推导可能的反应机理。

（五）动力学参数估值

领会：①动力学参数的估值方法。

综合应用：①利用软件对动力学数据进行定量计算。

三、本章关键问题

本章关键问题：化学反应速率的不同表示方式及其相互关系；复合反应体系中任一组分总的消耗速率和生成速率的表达方法；瞬时选择性的概念及应用；反应速率方程的变换与积分学会推导多；多相催化反应速率方程的推导方法。

第三章 釜式反应器

一、学习目的与要求

通过本章学习，掌握等温间歇釜式反应器的计算方法；掌握定态下连续釜式反应器的计算方法；掌握连续釜式反应器串联或并联操作的计算；掌握连续釜式反应器热量衡算式的建立及应用；理解全混流反应器的多定态特性、着火现象和熄火现象。

二、考核知识点与考核要求

（一）釜式反应器的物料衡算式

识记：①釜式反应器的特征及操作方式。

领会：①釜式反应器物料衡算式的建立方法。

简单应用：①不同操作条件下物料衡算式的简化。

（二）等温间歇釜式反应器的计算

识记：①反应时间的定义；②反应体积的定义；③反应器体积的定义。

领会：①反应时间、反应体积及反应器体积的计算方法。

简单应用：①进行单一反应时反应器体积的计算。

综合应用：①复合反应体系的浓度分布计算。

（三）连续釜式反应器的计算

识记：①空时的定义；②空速的定义；③反应器的串联或并联的特征。

领会：①连续釜式反应器反应体积及产物组成的计算方法；②掌握连续釜式反应器串联或并联操作的目的及计算。

简单应用：①根据不同的反应类型能正确地选择釜式反应器的加料方式、连

接方式、原料配比及操作温度。

综合应用：①串联釜式反应器的优化。

（四）连续釜式反应器的热量衡算

识记：①多定态的特性；②真假稳定点的定义；③着火现象和熄火现象的定义。

领会：①连续釜式反应器热量衡算式的建立及应用。

简单应用：①着火现象和熄火现象在工业生产中的应用。

综合应用：①连续釜式反应器操作点的计算和选择。

三、本章关键问题

本章关键问题：等温间歇反应器反应时间、反应体积的计算；连续釜式反应器反应体积及产物分布的计算；连续釜式反应器串联或并联操作的目的和计算；连续釜式反应器热量衡算的建立。

第四章 管式反应器

一、学习目的与要求

通过本章学习，掌握理想流动模型在反应器设计、计算中的应用；掌握等温活塞流反应器的计算；理解管式反应器与釜式反应器反应结果的差异；掌握绝热和非绝热变温活塞流反应器的计算方法；了解循环反应器的特征和计算方法。

二、考核知识点与考核要求

（一）理想流动模型

识记：①活塞流模型的假设；②全混流模型的假设。

领会：①两种理想流动模型的特征。

简单应用：①两种理想流动模型在实际反应器中的应用。

（二）等温活塞流反应器的计算

识记：①活塞流反应器的定义。

领会：①反应器反应体积及产物分布的计算。

简单应用：①活塞流反应器与间歇反应器的对比。

（三）管式反应器与釜式反应器的对比

领会：①同样的化学反应在相同的操作条件下，管式反应器与釜式反应器在反应体积和收率方面的差异。

简单应用：①根据化学反应的类型选择活塞流反应器的加料方式、原料配比及操作温度。

综合应用：①根据不同的反应类型能正确地选择反应器的类型。

（四）循环反应器

识记：①循环比的定义。

领会：①循环反应器的特征和计算方法。

简单应用：①利用循环反应器模拟理想反应器。

（五）管式反应器的热量衡算

识记：①热量衡算的建立方法。

领会：①变温活塞流反应器反应体积及产物分布的计算方法。

简单应用：①绝热操作线方程在工业生产中的应用。

综合应用：①利用物料衡算和热量衡算计算管式反应器的反应体积。

三、本章关键问题

本章关键问题：等温活塞流反应器的计算；管式反应器与釜式反应器的比较；变温活塞流反应器的计算。

第五章 停留时间分布与流动模型

一、学习目的与要求

通过本章学习，理解流动系统物料停留时间分布的意义及其数学表达式；理解返混的概念；掌握停留时间分布的实验测定方法；掌握两种理想流动反应器的停留时间分布；理解非理想流动模型建立的基本思路，能根据实验测定的反应器停留时间分布数据确定模型参数；掌握非理想反应器的计算；了解流体的微观混合与宏观混合及流体的混合态对反应的影响。

二、考核知识点与考核要求

（一）停留时间分布

识记：①停留时间的定义；②停留时间分布函数的定义；③停留时间分布密度函数的定义；④返混的定义；⑤平均停留时间的定义；⑥方差的定义。

领会：①两种停留时间分布函数的特点及关系。

简单应用：①停留时间分布函数统计特征值的计算。

综合应用：①利用统计特征值判断返混的大小。

（二）停留时间分布的实验测定

识记：①示踪剂的基本要求；②实验测定方法的特点。

领会：①示踪剂浓度曲线与停留时间分布函数的关系。

综合应用：①利用实验测定值计算停留时间分布函数的统计特征值。

（三）理想反应器的停留时间分布及非理想流动

领会：①理想反应器的停留时间分布函数及统计特征值的特点。

综合应用：①利用停留时间分布曲线定性分析反应器偏离理想流动的原因。

（四）非理想流动模型

识记：①三种非理想流动模型的物理意义；②不同流动模型的模型参数。

领会：①多釜串联模型、轴向扩散模型和离析流模型建立的基本思路；②不同模型之间的区别与关联。

综合应用：①根据实验测定的反应器停留时间分布数据确定不同计算模型的模型参数。

（五）非理想反应器的计算

领会：①用不同的流动模型计算非理想反应器的差异。

综合应用：①用各种模型对非理想反应器进行计算。

（六）流体的混合态

识记：①微观混合的定义；②宏观混合的定义。

领会：①流体的混合态对流动反应器转化率的影响。

三、本章关键问题

本章关键问题：停留时间分布函数及实验测定；两种理想流动反应器的停留时间分布；非理想流动模型及非理想反应器的计算。

第六章 多相系统中的化学反应与传递现象

一、学习目的与要求

通过本章学习，理解多相催化反应的过程步骤；掌握外扩散对多相催化反应速率及选择性的影响；理解气体在多孔介质中的扩散类型及不同扩散系数的计算；掌握等温多孔催化剂中气体扩散-反应微分方程的建立及求解方法；掌握内扩散有效因子的概念及一级反应内扩散有效因子的计算；掌握多相催化反应过程中内、外扩散影响的判定方法；了解扩散干扰下的动力学假象。

二、考核知识点与考核要求

（一）多相催化反应过程的步骤

识记：①固体催化剂的宏观结构及参数；②外扩散的定义；③内扩散的定义；④表面反应的定义。

领会：①多相催化反应过程的步骤。

简单应用：①各种情况下反应组分的浓度分布。

综合应用：①判断速率控制步骤的方法。

（二）外扩散对反应的影响

识记：①四个相间传递方程；②传递系数的定义；③外扩散有效因子的定义；④丹克莱尔数的定义。

领会：①传质系数与传热系数的关系；②流体与催化剂颗粒外表面之间的传质与传热速率方程。

简单应用：①外扩散有效因子的计算。

综合应用：①外扩散对多相催化反应速率及选择性的影响。

（三）内扩散对反应的影响

识记：①分子扩散的定义；②努森扩散的定义；③复合扩散系数的定义；④有效扩散系数的定义；⑤内扩散有效因子的定义。

领会：①多孔催化剂内反应物的浓度分布。

简单应用：①等温一级反应内扩散有效因子的计算。

综合应用：①内扩散对多相催化反应速率及选择性的影响；②内外扩散同时影响时的有效因子计算。

（四）多相催化反应扩散影响的判定

领会：①判断内、外扩散对多相催化反应速率有无影响的实验方法。

综合应用：①根据实验数据确定外扩散、内扩散阻力的大小。

（五）扩散干扰下的动力学假象

识记：①本征反应级数的定义；②表观反应级数的定义；③本征活化能的定义；④表观活化能的定义。

领会：①扩散对反应级数、活化能的影响。

三、本章关键问题

本章关键问题：气体在多孔颗粒中的扩散类型及有效扩散系数的概念；等温

多孔催化剂中气体扩散-反应微分方程的建立及求解方法；内扩散有效因子的概念及一级反应内扩散有效因子的计算；检验内、外扩散对多相催化反应速率有无影响的实验方法。

第七章 多相催化反应器的设计与分析

一、学习目的与要求

通过本章学习，掌握固定床反应器数学模型的建立；掌握绝热式固定床反应器催化剂用量的计算方法；了解多段绝热式固定床反应器的优化原则；掌握换热式固定床反应器床层轴向温度的变化规律及其影响因素；了解换热式固定床反应器的特点；了解自热式固定床反应器的温度分布；了解流化床反应器的特点；了解实验室催化反应器的主要类型及其结构特点。

二、考核知识点与考核要求

（一）固定床内的传递现象

识记：①壁效应的定义；②空隙率的定义。

领会：①床层压力降的计算；②固定床内的传质和传热现象。

（二）固定床反应器的数学模型

识记：①热点的定义；②飞温的定义。

领会：①固定床反应器的一维模型方程及应用。

简单应用：①利用热点（或冷点）的位置变动判断反应器的操作工况及参数敏感性问题、飞温现象；②自热式固定床反应器的操作工况。

综合应用：①绝热式固定床反应器的计算方法；②换热式固定床反应器床层轴向温度的变化规律及其影响因素。

（三）流化床反应器

识记：①流态化的定义；②临界流化速度的定义；③带出速度的定义。

领会：①流化床反应器的优缺点；②气泡的行为与作用。

（四）实验室催化反应器

识记：①实验室催化反应器的主要类型。

领会：①不同催化反应器实验结果的处理方法。

综合应用：①利用动力学实验数据回归动力学方程。

三、本章关键问题

本章关键问题：固定床反应器的数学模型及应用；绝热式固定床反应器催化剂用量的计算；多段绝热式固定床反应器的优化；换热式固定床反应器床层轴向温度的变化规律及其影响因素。

第八章 多相反应器

一、学习目的与要求

通过本章学习，掌握各种情况下气液组分的浓度分布和宏观反应速率。理解气液反应过程的步骤；掌握气液反应的扩散-反应方程的建立；理解八田数及有效因子的物理意义；理解气液反应器的结构形式及特点。

二、考核知识点与考核要求

（一）气液反应的特点

识记：①双模理论气液反应过程的步骤。

领会：①八田数的定义；②气液反应的有效因子。

简单应用：①八田数与有效因子之间的关系。

（二）气液反应器

领会：①气液反应器的主要类型及特点。

综合应用：①鼓泡塔和搅拌釜式反应器的设计计算。

三、本章关键问题

本章关键问题：八田数物理意义及有效因子的计算。

IV 关于大纲的说明与考核实施要求

一、自学考试大纲的目的和作用

课程自学考试大纲是根据专业考试计划的要求，结合自学考试的特点而确定。其目的是对个人自学、社会助学和课程考试命题进行指导和规定。

课程自学考试大纲明确了课程学习的内容以及深广度，规定了课程自学考试的范围和标准，它是考生学习教材、掌握课程内容知识范围和程度的依据，也是进行自学考试命题的依据。

二、课程自学考试大纲与教材的关系

在本课程的自学考试大纲明确了课程的学习目的、各章节的主要内容、考核知识点与考核要求、本章重点、难点。考生应依据大纲提及的主要内容、考核知

识点进行学习，尤其要掌握各章重点、难点。

教材的内容范围若与大纲要求不一致的地方，应以大纲规定为准。

三、关于自学教材

本课程使用教材为：《反应工程》（第三版），李绍芬主编，化学工业出版社，2012 年。

四、关于自学要求和自学方法的指导

本大纲的课程基本要求是依据专业考试计划和专业培养目标而确定的。大纲明确了课程的基本内容，以及对基本内容掌握的程度。基本要求中的知识点构成了课程内容的主体部分。

为有效地指导个人自学和社会助学，本大纲已指明了课程的重点和难点，在章节的基本要求中一般也指明了章节内容的重点和难点。

本课程的主要内容主要包括化学反应与传递过程相互耦合的宏观反应过程，反应器内组成、温度和压力的变化规律，反应器体积设计、操作条件与结构优化以及动态操作控制等。学习时结合物理化学、化工热力学、反应动力学、化工单元操作以及传递过程等学科的知识，准确理解基本概念、定义。本课程所涉及的内容面广、概念多，高等数学知识应用较多，部分内容又较为抽象，这些因素造成自学会有一定的难度。学习时应当一个部分一个章节的学习、理解，仔细研读指定教材，通过做题加深理解，在消化的基础上进行下一部分的学习，学习过程还要不断地小结、回顾，切忌囫圇吞枣。

五、应考指导

1. 如何学习

考生应熟知考试大纲对课程所提出的总的要求和各章的知识点，掌握各知识点要求达到的层次，并深刻理解各知识点的考核要求。以指定的教材为基础，以考试大纲为依据，认真阅读教材，刻苦钻研教材，主动提出问题，依靠自己学懂。如果可以接受培训学习，一定要跟紧课程并完成作业，真正弄懂相关知识点。收集历年的考卷并加以理解。

2. 如何考试

注意卷面整洁、书写工整，段落与间距合理。回答所提出的问题，避免超过问题的范围。画图题最好用直尺和铅笔画图，保持试卷清洁。

3. 如何处理紧张情绪

要正确认识考前的紧张现象。首先紧张并不一定完全是坏事，并不需要完全消除，紧张在一些场合有利于发挥和脑的运转，考试前适度紧张，可能会发挥出更好成绩；对于过分紧张，可以通过运动、画画或听音乐进行调节改善，使脑内释放让人平静愉悦的物质，有利于缓解紧张；也可以将内心的恐惧、担忧、不安或负性想法充分与人交流跟倾诉，也可以起到缓解紧张的作用。

六、对社会助学的要求

1. 社会助学者应根据本大纲规定的课程内容和考核要求，认真钻研指定教材，明确本课程与其他课程不同的特点和学习要求，对考生进行切实有效的辅导，引导他们防止自学中可能出现的各种偏向，把握社会助学的正确导向。

2. 正确处理基础知识和应用能力的关系，努力引导考生将识记、领会与应用联系起来，有条件的应适当组织考生开展科学研究实践，学会把基础知识和理论转化为应用能力，在全面辅导的基础上，着重培养和提高考生提出问题、分析问题和解决问题的能力。

3. 要正确处理重点和一般的关系。课程内容有重点与一般之分，但考试内容是全面的。社会助学者应指导考生全面系统地学习教材，掌握全部考试内容和考核知识点，在此基础上突出重点。总之，要把重点学习与兼顾一般相结合，防止孤立地抓重点，甚至猜题、押题。

七、对考核内容的说明

1. 本课程要求考生学习和掌握的知识点内容都作为考核的内容。课程中各章的内容均由若干知识点组成，在自学考试成为考核知识点。因此，课程自学考试大纲中所规定的考试内容是以分解为考核知识点的方式给出的。由于各知识点在课程中的地位、作用以及知识自身的特点不同，自学考试将对各知识点分别按四个能力层次确定其考核要求。

2. 按照重要性程度不同，考核内容分为重点内容、次重点内容、一般内容，在本课程试卷中对不同考核内容要求的分数比例大致为：重点内容占 60%，次重点内容占 30%，一般内容占 10%。

八、关于考试命题的若干规定

1. 考试方式为闭卷、笔试，考试时间为 150 分钟。评分采用百分制，60 分

为及格。考生只准携带 0.5 毫米黑色墨水的签字笔、铅笔、圆规、直尺、三角板、橡皮等必需的文具用品，可携带没有存贮功能的普通计算器。

2. 本大纲各章所规定的基本要求、知识点及知识点下的知识细目，都属于考核的内容。

3. 命题不应有超出大纲中考核知识点范围的题目，考核目标不高于大纲中所规定的相应的最高能力层次要求。命题应着重考核考生对基本概念、基本知识和基本理论是否了解或掌握，对基本方法是否会用或熟练。

4. 试题的难度可分为：易、较易、较难和难四个等级。每份试卷中不同难度试题的分数比例一般为：易占 20%，较易占 30%，较难占 30%，难占 20%。试题的难易度与能力层次不是同一个概念，在各能力层次中都会存在不同难易的问题。

必须注意试题的难易程度与能力层次有一定的联系，但二者不是等同的概念。在各个能力层次中对于不同的考生都存在着不同的难度。在大纲中已特别强调这个问题，考生切勿混淆。

5. 本课程考试试卷中可能采用的题型有：单项选择题、判断改错题、名词解释题、简答题以及计算题等。

附录 题型举例

一、单项选择题

1. 在间歇反应器中等温进行一级不可逆反应 $A \rightarrow R$ ，当转化率达 90% 时，所需反应时间为 2h，若反应改在管式反应器中进行，空时为 2h，其他条件同间歇反应器，则转化率为（ ）

- A. 60% B. 90% C. 45% D. 75%

参考答案：B

二、判断改错题

1. 反应物的化学计量系数一律为正值。

参考答案：×。将“正”改为“负”。

三、名词解释题

1. 化学反应的增大因子

参考答案：化学反应的增大因子指的是化学反应的存在使传质速率增大的倍数。

四、简答题

1. 为什么说对于反应级数大于零的反应，反应温度越高，消除内扩散影响所需的粒度

越小？

参考答案：

$$\phi = L \sqrt{\frac{\alpha + 1}{2} \frac{k_p}{De_A} C_{AS}^{\alpha-1}}$$

$T \uparrow \rightarrow k_p \uparrow \rightarrow \phi \uparrow \rightarrow \eta \downarrow$ ，为了使 $\eta \uparrow$ ，必须使 $L \downarrow \rightarrow \phi \downarrow \rightarrow \eta \uparrow$

五、计算题

1. 一级不可逆反应，在 150℃ 等温 PFR 中可得转化率 60%，现改用同样大小的 CSTR 中操作，处理量不变，要求转化率为 70%。问此时 CSTR 应在什么温度下操作？已知反应活化能为 83.7 kJ/mol。

参考答案：

PFR 中： $k\tau = -\ln(1-x_A) = -\ln(1-0.6)$

$$\text{CSTR 中： } \tau = \frac{C_{A0} - C_{Af}}{k' C_{Af}} = \frac{x_{Af}}{k'(1-x_{Af})}$$

$$\frac{k'}{k} = \frac{x_{Af}}{(1-x_{Af})(-\ln(1-x_A))} = \frac{0.7}{0.3(-\ln 0.4)} = 2.546$$

$$\ln \frac{k'}{k} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)$$

$$\ln 2.546 = \frac{83.7 \times 10^3}{8.314} \left(\frac{1}{423} - \frac{1}{T'} \right)$$

$$T' = 440.3(K)$$