

揭阳职业技术学院

Jieyang Vocational & Technical College

教 案

系（部）： 化学工程系

讲授课程： 反应器操作与控制

任课教师： 郭绍云

专业班级： 石油化工技术 242

授课学期： 2025-2026 学年第二学期

揭阳职业技术学院化工系

2026 年 5 月

授课日期	第一、二、三周	教案编号	1
课程名称	反应器操作与控制	专业班级	石油化工技术 242
教材名称	反应器操作与控制		
授课题目	项目一 反应过程与反应器		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	了解化工生产过程, 化学反应的分类, 掌握转化率、选择性、收率的计算及意义		
教学重难点	掌握转化率、选择性、收率的计算		
思政元素	增加实操实践活动能够提升学生的动手能力和创新能力, 使思政融入到学生的实际生活和社会活动中。		
教学方法	讲授(√); 讨论(√); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
思考题	教材		
作业	教材		
教学后记			

项目一 反应过程与反应器

任务一 评价化学反应

表1-1 化学反应的分类

分类方法		内容	
按反应相态分		均相反应	非均相反应
按反应可逆性		可逆反应	不可逆反应
按反应机理		单一反应	复杂反应（平行反应、连串反应、可逆反应）
按反应的动力学特性		零级反应、一级反应、二级反应、三级反应和多级反应	
是否用催化剂		催化反应	非催化反应
操作条件	按操作温度	等温反应、绝热反应、非绝热变温反应	
	按操作压力	常压反应、加压反应、减压反应	
操作方式		间歇、连续、半间歇	

（一）生产工序

物理工序：以化学反应的方式改变物料化学性质的过程，称为单元反应过程。一般单元反应根据其反应规律和特点，可将单元反应分为磷化、硝化、卤化、酯化、烷基化、氧化、还原、缩合、水解等。

化学工序：只改变物料的物理性质而不改变其化学性质的生产操作过程，称为化工单元操作过程。一般化工单元操作过程根据其操作过程的特点和规律可分为流体输送、传热、蒸馏、蒸发、干燥、结晶、萃取、吸收、吸附、过滤、破碎等。

（二）化学反应过程的工艺指标

反应时间、操作周期、生产能力、生产强度、反应转化率选择性收率、消耗定额

（三）化学反应过程的影响因素

（四）化学反应过程监测与操作控制

（五）产物分离

任务二 化学平衡及其影响因素

(一) 可逆反应

(二) 化学平衡

影响化学平衡的因素主要有反应物浓度、反应温度、反应压强等

1. 化学平衡常数

2. 平衡转化率

任务三 化学反应速率及影响因素分析

(一) 概念

(二) 意义

定义 均相 反应动力学方程式

几个概念：反应级数、基元反应与非基元反应、化学反应速率常数 K 、

活化能

任务四 认识化学反应器

(一) 按反应系涉及的相态分类

(二) 按结构型式分类

(三) 按流体流动及混合形式分类

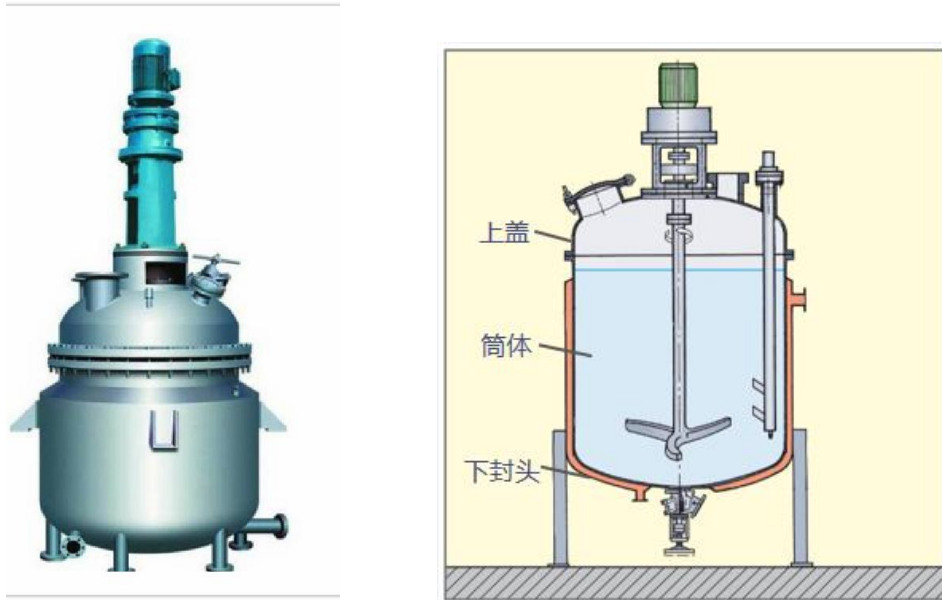
(四) 按组合方式分类

授课日期	第四、五、六周	教案编号	2
课程名称	反应器操作与控制	专业班级	石油化工技术 242
教材名称	反应器操作与控制		
授课题目	项目二 釜式反应器操作与控制		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	了解釜式反应器的基本结构、根据实际情况选择合适的的搅拌器		
教学重难点	熟悉液体流动特性		
思政元素	提升学生的专业技能水平, 发挥大国工匠精神, 敬业精神		
教学方法	讲授(√); 讨论(√); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
思考题	教材		
作业	教材		
教学后记			

项目二 釜式反应器操作与控制

任务一认识釜式反应器

知识点一 釜体




知识点二 搅拌装置

一、搅拌设备内流体的流动特性

轴向流、径向流、切线流

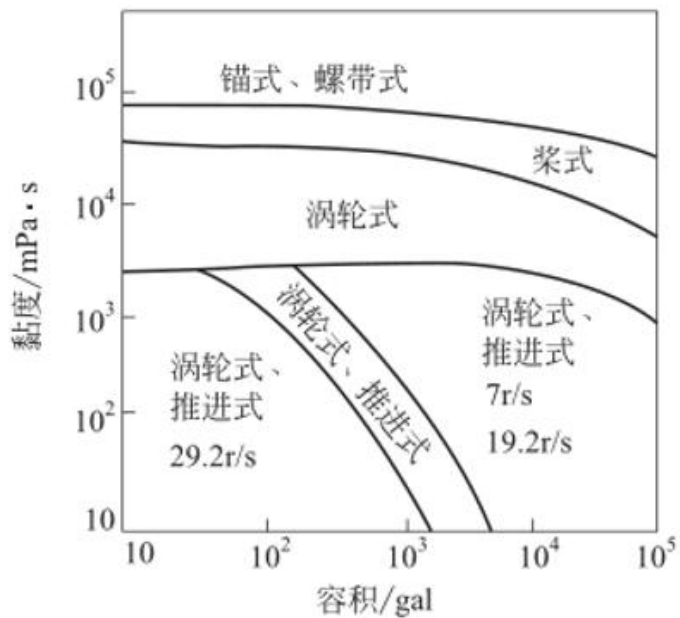
二、常用搅拌器的类型、结构和特点

三、搅拌器的选型

类型	参数、应用范围	类型	参数、应用范围
锚式搅拌器 	缓慢旋转的近壁搅拌器，拥有容器的内部轮廓。搅拌器和容器壁之间的狭窄间隙。 良好的导热性。 $d1/d2^* = 0.9$ 至 0.95 $v^* = 0.5$ 至 5 米/秒 通过加热或者冷却混合	平直叶圆盘搅拌器 	搅拌器拥有强烈的径向流出和循环效果。 $d1/d2 = 0.2$ 至 0.35 $v = 3$ 至 6 米/秒 混合、悬浮、加气
框式搅拌器 	有网格的特殊形式的锚式搅拌器。改进了容器内部的搅拌效果。 慢慢搅拌，近壁。 层流混合流动。 $d1/d2 = 0.9$ $v = 0.5$ 至 5 米/秒 通过加热或者冷却混合	斜叶搅拌器 	搅拌器拥有径向和轴向流出，循环效果强。 $d1/d2 = 0.2$ 至 0.5 $v = 3$ 至 10 米/秒 混合、悬浮、均质

1.按物料粘度选型

2.按搅拌目的选型



四、搅拌附件

知识点三 密封装置

一、填料密封

二、机械密封

知识点四 传动装置

知识点五 换热装置

一、夹套式

二、蛇管式

三、列管式

四、外部循环式

五、回流冷凝式

知识点六 反应釜内介质的选择

一、高温热源的选择：1.高压饱和水蒸气 2.高压汽水混合物 3.有机载热体 4.熔盐 5.电加热法 6.烟道气加热法

二、低温冷源的选择

知识点七 釜式反应器部件

1.釜盖 2.法兰 3.人孔 4.视镜 5.安全阀 6.连管 7.加料管 8.压料管 9.釜底放料阀 10.温度计套管 11.支座

任务二 釜式反应器操作与维护

知识点一 釜式反应器的操作要点

一、开车前准备 二、正常开车 三、正常停车 四、紧急停车

知识点二 釜式反应器的维护与保养

一、釜式反应器在操作时常见的故障及处理方法

二、维护要点

任务三 间歇反应釜仿真操作

知识点一 技术交底

一、工艺说明

二、设备一览

知识点二 操作规程

一、开车操作规程

二、热态开车操作规程

1.反应中要求的工艺参数

2.主要工艺生产指标的调整方法

三、仪表报警一览表

四、事故及处理

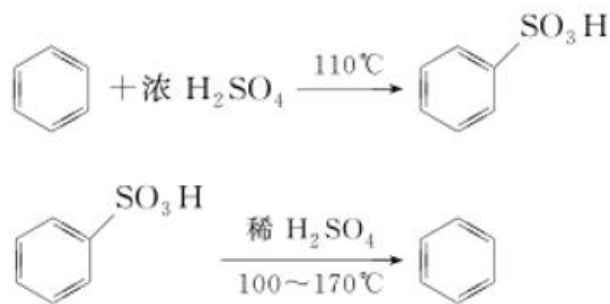
事故-反应釜超温、事故-搅拌器坏、事故-水阀 V22 卡、事故-出料管堵塞、事故-测温电阻连线故障

任务四 水杨酸磺化反应生产

知识点一 工艺技术分析

一、工艺流程说明

二、反应原理



三、工艺仪表一览表

任务五 操作反应釜装置

知识点一 工艺技术分析

一、反应釜实训装置主要设备技术参数

二、反应釜实训装置流程简述

物料流向、热水走向、冷却水流向、物料流向、热水走向、冷却水流向

知识点二 任务单

一、开车前准备

二、釜装置分段控制

1.釜液位控制操作 2.热水罐内温度控制操作 3.温度自动控制操作 4.停

止装置操作

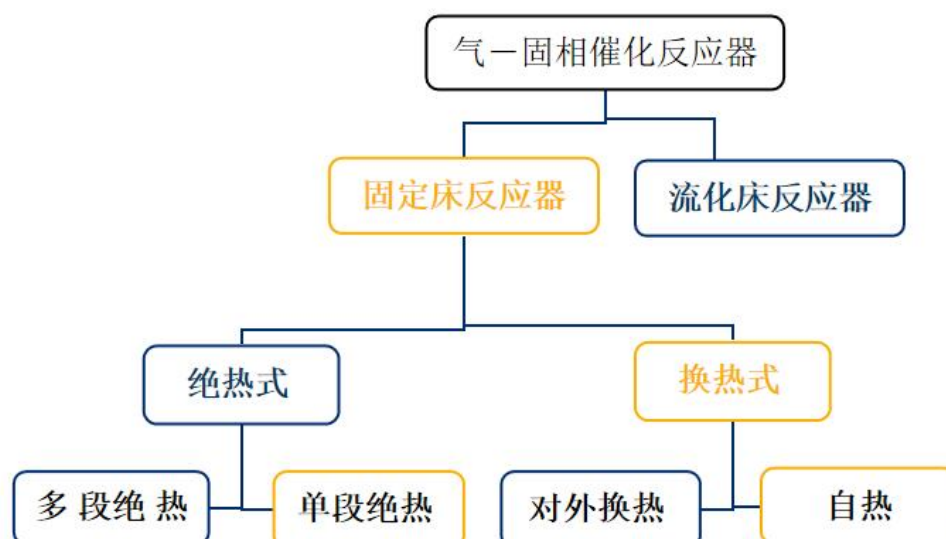
四、釜装置参数控制

授课日期	第七、八、九周		教案编号	3
课程名称	反应器操作与控制		专业班级	石油化工技术 242
教材名称	反应器操作与控制			
授课题目	项目三 固定床反应器操作与控制			
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()			
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()			
教学目的	掌握气-固相固定床反应器的类型, 了解固定床反应器中固体颗粒的作用。			
教学重难点	固定床反应器操作复杂			
思政元素	科普行业顶尖翘楚, 讲述国内反应器控制的发展史。			
教学方法	讲授(√); 讨论(√); 指导(); 示教(); 其它()			
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(); Author ware(); 其它()		
	无()			
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()			
思考题	教材			
作业	教材			
教学后记				

项目三 固定床反应器操作与控制

任务一认识固定床反应器

知识链接



知识点一 固定床反应器的分类

一、绝热式固定床反应器

1. 单段绝热式固定床反应器
2. 多段绝热式固定床反应器

二、换热式固定床反应器

1. 对外换热式固定床反应器
2. 自热式固定床反应器

知识点二 固定床反应器的优缺点

二、固定床反应器的优点

二、固定床反应器的缺点

任务二认识固定床反应器用催化剂

知识点一 固体催化剂基础

一、催化作用的定义与基本特征

1.定义

催化剂是这样一种物质,它能够加速热力学允许的化学反应,在反应结束时该物质并不消耗。

2. 基本特征

二、催化剂的组成及功能

三、 催化剂的性能与标志

1.活性

2.选择性

3.使用寿命

4 机械强度和稳定性

四、固体催化剂的特征参数

知识点二 固体催化剂的失活与再生

一、催化剂的失活

中毒引起的失活

结焦和堵塞引起的失活

烧结和热失活

二、 催化剂的再生

知识点三 催化剂的运输、储藏、装填

一、催化剂的运输

二、催化剂的贮藏

三、催化剂的装填

四、固定床催化剂的填装操作要点

任务三固定床反应器操作

知识点一 固定床反应器操作要点

一、开车前的准备工作

二、正常开车

知识点二 固定床反应器的维护与保养

一、常见故障及处理方法

二、维护要点

1、生产期间维护

2、停车期间维护

任务四 固定床反应器仿真操作

知识点一 技术交底

一、工艺说明

二、本单元复杂控制回路说明

三、设备一览表

知识点二 操作规程

一、开车操作规程

二、正常操作规程

三、停车操作规程

四、连锁说明

知识点三 事故处理

1、氢气进料阀卡住

- 2、预热器 EH-424 阀卡住
- 3、闪蒸罐压力调节阀卡
- 4、反应器漏气
- 5、EH-429 冷却水停
- 6、反应器超温

授课日期	第十一、十二、十三周	教案编号	3
课程名称	反应器操作与控制	专业班级	石油化工技术 242
教材名称	反应器操作与控制		
授课题目	项目四 流化床反应器操作与控制		
授课学时	2节 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 3节 () ; 其它 ()		
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()		
教学目的	了解流化床反应器的结构特点, 掌握流态化现象及操作控制要点		
教学重难点	流态化的形成原理及异常流化的处理		
思政元素	培养学生严谨的科学态度, 理解“量变引起质变”在化工过程中的体现		
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()		
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()		
思考题	教材		
作业	教材		
教学后记			

任务一 认识流化床反应器

流态化现象：当流体自下而上通过固体颗粒床层时，随着流速的增加，固体颗粒会表现出类似流体性质的状态。

临界流化速度：使固体颗粒开始流化的最小气体速度。

带出速度：颗粒被气体带出床层的速度。

知识点一 流化床反应器的结构

壳体：直筒形或锥形结构。

气体分布装置：包括分布板和风帽，用于支撑催化剂并均匀分布气体。

内部构件：如挡板、挡网、旋风分离器（用于气固分离）。

换热装置：内部盘管或外部夹套。

知识点二 流化床反应器的类型

按反应器外形分类：圆筒形、圆锥形。

按反应系统相态分类：气-固流化床、液-固流化床。

按颗粒运动状态分类：散式流化床、聚式流化床。

任务二 流化床内的流体力学特性

知识点一 流化床的压降特性

在流化状态下，床层压降近似等于单位面积床层内颗粒的重量。

知识点二 流化床的传热与传质

颗粒的剧烈运动使得床层内部温度分布非常均匀，轴向温差极小。

任务三 流化床反应器的操作与控制

知识点一 正常操作要点

气速控制：必须控制在临界流化速度和带出速度之间。

温度控制：利用内部盘管或外部换热器移走反应热。

料位控制：控制固体颗粒的加入和排出量。

知识点二 异常现象及处理

沟流：气体通过床层形成短路通道，导致转化率下降。需重新铺床或加大气量。

腾涌：床层波动剧烈，压力表大幅摆动。需降低气速或改变分布板结构。

颗粒磨损：流化状态下颗粒易破碎，需定期补充新鲜催化剂。

任务四 流化床反应器的仿真操作（示例：丙烯腈生产）

知识点一 工艺技术分析

反应原理：丙烯、氨、空气在催化剂（如 Sb 系）作用下氧化生成丙烯腈。

工艺特点：强放热反应，需迅速移走反应热，防止催化剂过热失活。

知识点二 操作规程

开车：氮气置换 -> 升温还原 -> 进料 -> 调整至正常工况。

停车：停止进料 -> 降温 -> 氮气吹扫 -> 卸料。

事故处理：停电导致搅拌停止（流化床无搅拌，但需防结块）、分布板堵塞、旋风分离器失效等。

授课日期	第十三、十四、十五周	教案编号	5
课程名称	反应器操作与控制	专业班级	石油化工技术 242
教材名称	反应器操作与控制		
授课题目	项目五 塔式反应器操作与控制		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	掌握塔式反应器的结构特点, 理解气液相反应的传质过程		
教学重难点	气液传质系数的影响因素及塔内件的选型		
思政元素	结合环保案例, 强调化工生产中的绿色化学与可持续发展理念		
教学方法	讲授(√); 讨论(√); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
思考题	教材		
作业	教材		
教学后记			

任务一 认识塔式反应器

定义：高径比较大的圆筒形容器，常用于气液反应或液液反应。

特点：结构简单，制造方便，适合连续操作。

知识点一 塔式反应器的分类

板式塔：气液在塔板上接触，如泡罩塔、筛板塔、浮阀塔。

填料塔：气液在填料表面接触，如拉西环、鲍尔环、规整填料塔。

喷雾塔：液体以雾状喷出，气液逆流接触。

任务二 塔式反应器的流体力学性能

知识点一 气液传质基础

双膜理论：气液传质阻力主要集中在气膜和液膜中。

影响因素：温度、压力、流体粘度、扩散系数。

知识点二 塔内件结构与选型

填料：散装填料与规整填料的比较。

塔板：溢流堰、降液管的作用。

液体分布器：保证液体均匀喷淋。

任务三 塔式反应器的操作与控制

知识点一 正常操作要点

液泛控制：控制气速在载点和泛点之间，防止压降过大。

持液量控制：保持塔内适当的液体存量。

温度分布控制：监测塔顶、塔中、塔底的温度梯度。

知识点二 常见故障及处理

雾沫夹带：气速过大导致液体被带出，需降低气量或加装除沫器。

漏液：气速过小导致液体直接漏下，需加大气量。

填料堵塞：需停车清洗或更换填料。

任务四 典型案例分析（如：二氧化硫氧化制硫酸）

知识点一 工艺流程说明

二氧化硫气体从塔底进入，与塔顶喷淋的吸收液（如浓硫酸或水）逆流接触，生成硫酸。

知识点二 操作指标

吸收率：要求达到 98%以上。

尾气排放：需符合环保标准

授课日期	第十六、十七、十八周		教案编号	5
课程名称	反应器操作与控制		专业班级	石油化工技术 242
教材名称	反应器操作与控制			
授课题目	项目六 管式反应器操作与控制			
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()			
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()			
教学目的	掌握管式反应器的流动模型及热稳定性, 熟悉裂解炉的操作			
教学重难点	平推流模型与返混现象的理解			
思政元素	通过乙烯裂解装置的介绍, 激发学生对国家能源化工战略的自豪感			
教学方法	讲授(√); 讨论(√); 指导(); 示教(); 其它()			
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(); Author ware(); 其它()		
	无()			
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()			
思考题	教材			
作业	教材			
教学后记				

任务一 认识管式反应器

定义：由长管、U形管或蛇管连接而成的反应器。

特点：耐高压、返混小、温度分布均匀性差（需优化设计）。

知识点一 管式反应器的结构形式

水平管式：适用于液体反应。

直立管式：适用于气液并流或逆流。

盘管式：用于高压反应（如聚乙烯生产）。

裂解炉：特指用于烃类裂解的大型管式反应器。

任务二 管式反应器的流动与传热

知识点一 流动模型

平推流模型：物料沿流动方向像活塞一样向前移动，无轴向混合。

返混：管式反应器返混极小，有利于提高转化率和选择性。

知识点二 传热方式

外部加热：炉膛辐射加热（裂解炉）。

内部换热：管内插入麻花铁或使用导热油伴热。

任务三 管式反应器的操作与控制

知识点一 操作要点

开车前置换：必须用氮气彻底置换空气，防止爆炸。

升温升压：严格控制升温速率，防止热应力损坏管材。

流量控制：保持各支路流量均匀分配（集合管效应）。

知识点二 常见故障及维护

结焦：高温下烃类裂解产生积碳，需定期烧焦清理。

蠕变：高温高压下管材变形，需定期检测壁厚。

热膨胀：利用 U 形弯或膨胀节吸收热胀冷缩。

任务四 典型案例：乙烯裂解装置仿真操作

知识点一 工艺技术分析

原料：乙烷、轻烃、石脑油等。

反应原理：高温（800°C以上）下 C-C 键断裂生成乙烯。

急冷系统：裂解气出口需快速降温以终止反应。

知识点二 操作规程

烘炉：新炉或冷炉启动前的干燥过程。

投料：先投入稀释蒸汽，再投入原料。

停炉：降负荷 -> 切断原料 -> 烧焦 -> 自然降温。