

# 《化学工程与工艺专业实验（2）》教学大纲

## 一、课程基本信息

课程名称	化学工程与工艺专业实验（2）	课程性质	<input type="checkbox"/> 通识必修 <input type="checkbox"/> 通识选修 <input type="checkbox"/> 学科基础 <input checked="" type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修 <input checked="" type="checkbox"/> 实践教学			
课程编号	16068004					
英文名称	Experiment of Chemical Engineering and Technology					
学 分	1	学时	讲授	实验	上机	实践
执行学期	7	32	2	30	0	0
考核方式	实验预习 20%实验过程 30%数据处理 20%结果讨论 20%自评与格式 10%					
适用专业	化学工程与工艺专业					
先修课程	化工热力学，化学反应工程					
选用教材	《化学工程与工艺专业实验》，第3版 乐清华 徐菊美 主编 化学工业出版社					
开课单位	化工学院 化学工程系	执笔人	雷明	审核人	周兴贵	
修订日期	2021年8月30日					

## 二、课程性质与作用

本课程是化学工程与工艺专业学生必修的实验课程。本课程从工程与工艺两个角度出发，既以化工工艺生产为背景，又以解决工艺或过程开发中所遇到的共性工程问题为目的，选择典型的工艺与工程要素，所组成系列的工艺与工程实验。它是进行（化工类）工程师基本训练的重要环节之一，在专业教学计划中占有重要的地位。

化学工程与工艺实验是在学生已经接受了基础理论与专业知识教育，又接受过初步工程实验训练的基础上进行的。在本实验教学中，将使学生了解与熟悉有关的化工工艺过程、化学反应工程、传质与分离工程等学科发展方向上的实验技术和方法；掌握与学会过程开发的基本研究方法和常用的实验基本技能；通过计算机仿真技术，拓宽与发展工程实验的内容和可操作性；培养学生的创造性思维方法、理论联系实际学风与严谨的科学实验态度，提高实践动手能力。为毕业环节乃至今后工作打下较扎实的基础，起到承前启后的作用。

## 三、课程目标

**课程目标 1.**运用化学工程知识和科学方法分解、简化化工过程和工艺开发中的复杂问题，根据对象特征，选取合理的研究方法并设计恰当的实验方案。

**课程目标 2.**根据特定的研究对象，选配适合的实验设备或仪器，组织并实施实验计划，并能正确采集、分析、解释数据，通过归纳总结形成合理有效的结论。

**课程目标 3.**熟练使用常见的传热、传质、反应、分离设备，以及现代仪器，掌握其特性；能熟练使用数学软件进行计算、模拟与预测。

**\*课程目标 4.**具备科学精神和创新意识，能够跟踪化学工程技术发展前沿；掌握安全知识与技能，充分认识化学工程实践对环境、社会可持续发展的影响，并履行应承担的责任。

**课程目标 5.**具有团队协作能力，能够主动承担或积极配合解决实验过程中出现的意外情况，通过团队合作完成实验任务。

#### 四、课程目标与支撑的毕业要求指标点的关系

表 1. 课程目标与本专业毕业要求指标点的关系

毕业要求	毕业要求指标点	课程目标
5、研究	5.1 理解科学实验的基本原理和方法，掌握化学工程科学理论和基本概念，具备研究化工复杂问题的能力	课程目标 1
	5.2 针对化工过程关键问题，具备科学设计实验的能力，并能够根据实验方案构建实验系统，安全开展实验、正确地采集实验数据	课程目标 2
	5.3 能够对实验结果进行分析和解释，并通过信息综合得到合理有效的结论	
6、使用现代工具	6.1 掌握先进仪器、信息技术、软件工具的使用原理和方法，并能够理解其局限性	课程目标 3
	6.2 具有选择现代工具解决化工复杂问题的能力，并能够模拟、分析、预测化工专业问题的能力。	
8.职业规范	8.1 理解中国可持续发展的科学发展观，了解个人在历史以及社会、自然环境中的地位和责任，树立正确的世界观、人生观、价值观、方法论，具有较强的社会责任感	*课程目标 4
	8.2 理解工程伦理，包括化工工程师的职业性质、职业道德等，能够在工程实践中理解并遵守工程职业道德和规范，履行责任	
9.个人与团队	9.1 具备交流沟通能力、组织管理能力、团队协作能力；	课程目标 5

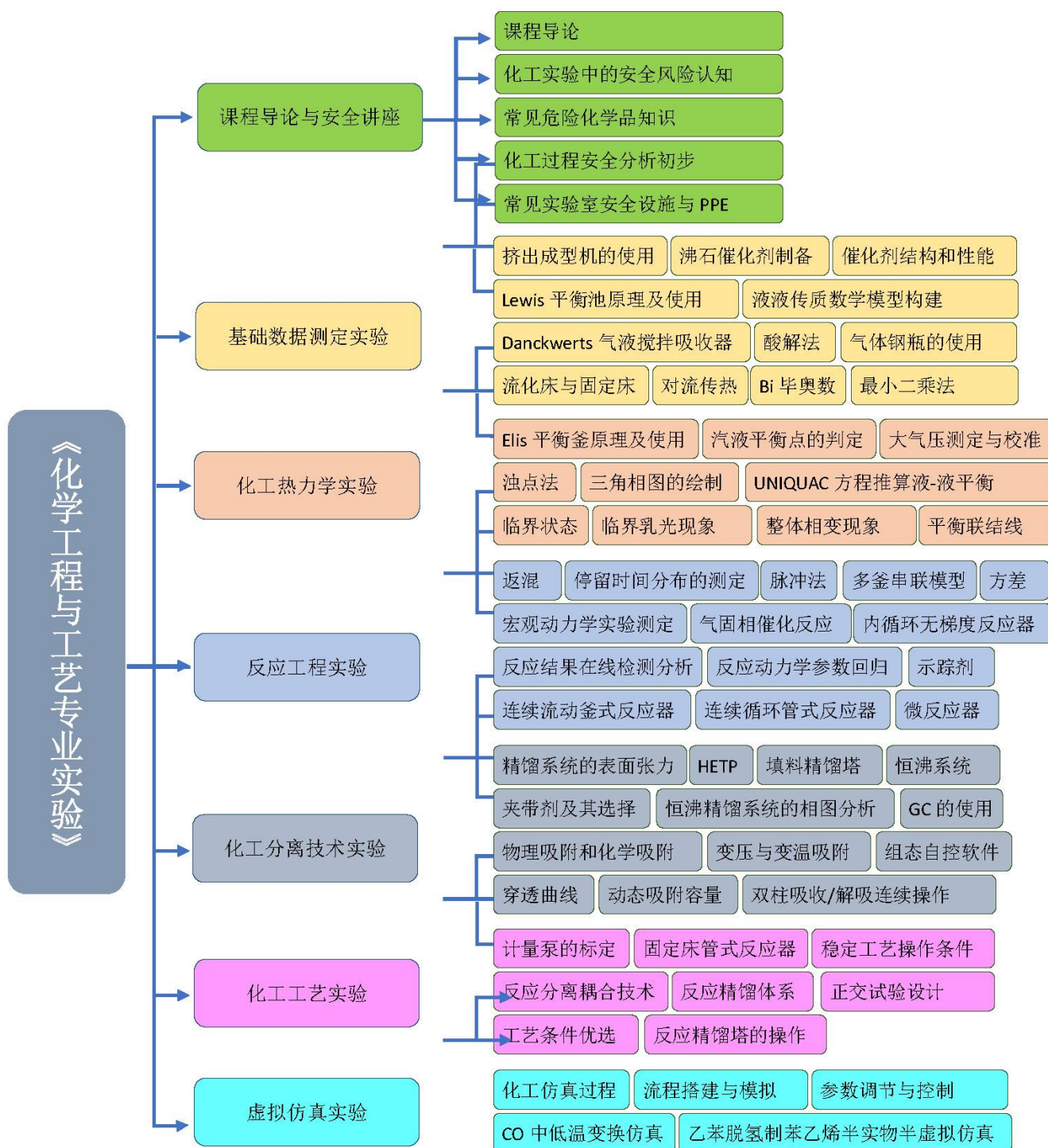
\*注：课程思政目标。

表 2. 课程对绿色工程教育体系的支撑情况

所支撑的绿色工程原则	相关教学内容	支撑依据
4、效率最大化	“微反应器内酯化反应动力学测定实验”	实验采用乙二醇与醋酸的串联反应作为研究对象，结合反应和传递两方面因素，合理假设，建立微反应器数学模型，从而通过少量实验数据获取准确的反应动力学参数。
5. 输出牵引而不是输入推动	“催化反应精馏实验”	实验中的反应精馏技术通过耦合化学反应与精馏分离两个过程，节省设备的同时，还能通过精馏的分离作用促进可逆反应进行，提高平衡转化率和抑制串联副反应的发生，又能利用反应放热的热效应降低精馏的能耗，强化传质。

## 五、课程知识点图谱

### 《化学工程与工艺专业实验》课程知识点图谱



## 六、实验教学内容安排

表 3. 课程教学内容及教学要求一览表

主题	教学内容	教学时数要求	教学方法
实验安全	<p>1. 实验方法论：了解课程的特点（工艺与工程、工程与基础实验的异同），工程与工艺问题主要的处理方法；实验的基本内容，主要的实验手段和常用设备；实验结果误差分析和数据处理方法；实验预习报告及实验报告的形式与要求。 ● 本部分课程思政要点：创新意识、科学精神。</p> <p>2. 安全教育：包括用电安全、用气安全、防火防灾、化学品安全、应急处理、废弃物处理等方面的知识，实验过程风险评价方法及应急处置能力。 ● 本节课程思政要点：工程素养。</p>	2	<input checked="" type="checkbox"/> 课堂讲授 <input type="checkbox"/> 讨论 <input type="checkbox"/> 案例教学 <input type="checkbox"/> 演示实验 <input checked="" type="checkbox"/> 自主学习 <input type="checkbox"/> 实践探究 <input type="checkbox"/> 课堂报告 <input type="checkbox"/> 其他：___
化学反应工程实验	<p>了解实验室常用反应器的主要类型及特点，基本掌握研究化学反应规律，如返混、均布、传热、传质等因素对反应结果的影响，初步了解反应过程的开发研究方法。 ● 本节课程思政要点：创新意识、科学精神</p>	8-12	<input type="checkbox"/> 课堂讲授 <input type="checkbox"/> 讨论 <input checked="" type="checkbox"/> 案例教学 <input type="checkbox"/> 演示实验 <input checked="" type="checkbox"/> 自主学习 <input checked="" type="checkbox"/> 实践探究 <input type="checkbox"/> 课堂报告 <input type="checkbox"/> 其他：___
化工分离技术实验	<p>了解物系性质、操作条件、设备结构对分离效果的影响，掌握有关分离过程进行实验开发研究的能力。 ● 本节课程思政要点：工程素养</p>	8-12	<input type="checkbox"/> 课堂讲授 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论 <input checked="" type="checkbox"/> 案例教学 <input type="checkbox"/> 演示实验 <input checked="" type="checkbox"/> 自主学习 <input checked="" type="checkbox"/> 实践探究 <input type="checkbox"/> 课堂报告 <input type="checkbox"/> 其他：___
化工工艺实验	<p>理解多相催化反应有关知识，初步接触工艺设计思想，学会设计合理的实验方案，进行工艺条件的优选，获得最优工艺条件的影响因素。 ● 本节课程思政要点：科技报国。</p>	8-12	<input type="checkbox"/> 课堂讲授 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论 <input checked="" type="checkbox"/> 案例教学 <input type="checkbox"/> 演示实验 <input checked="" type="checkbox"/> 自主学习 <input checked="" type="checkbox"/> 实践探究 <input type="checkbox"/> 课堂报告 <input type="checkbox"/> 其他：___
仿真实验	<p>通过集成的仿真软件，开展设备选择和流程设计，并通过开、停车，多参数的模拟实验操作和数据处理，以及对重大事故的判断和应急处理，初步掌握仿真实验的操作技术；在实际生产流程的 DSC 控制软件上进行模拟操作，实现生产过程的开停车、稳定运行等阶段。</p>	0-8	<input type="checkbox"/> 课堂讲授 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论 <input type="checkbox"/> 案例教学 <input type="checkbox"/> 演示实验 <input checked="" type="checkbox"/> 自主学习 <input checked="" type="checkbox"/> 实践探究 <input type="checkbox"/> 课堂报告 <input type="checkbox"/> 其他：___

表 4. 实验项目一览表

序号	实验名称	主要内容	实验类型	实验时数	每组人数	课程目标	仪器套数	实验地点	选做/必做	教学方法
1.	多釜串联连续流动反应器中的返混测定	1. 掌握停留时间分布的测定方法； 2. 了解停留时间分布与多釜串联模型的关系；3. 了解模型参数 N 的物理意义及计算方法。	A	2	4	1-5	2	徐汇 12 楼 324	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 实践探究
2.	连续流动管式反应器中停留时间分布测定	1. 了解连续均相管式循环反应器的返混特性；2. 分析观察连续均相管式循环反应器的流动特征；3. 研究不同循环比下的返混程度，计算模型参数 N。	A	2	4	1-5	2	徐汇 12 楼 324	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 实践探究
3.	气固相催化反应宏观反应速率的测定	1. 巩固所学有关反应动力学的知识； 2. 掌握宏观反应速率的测试方法，依据动力学方程求出相关的动力学数值；3. 掌握内循环无梯度反应器的特点和操作。	B	10	4	1-5	4	徐汇 12 楼 320	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 实践探究
4.	微反应器内酯化反应动力学测定	1. 认识管式微反应器的结构，了解微反应器测定反应动力学的优势和适用范围；2. 掌握管式微反应器内反应过程的数学建模方法，并用数值最优化方法计算化学反应参数；3. 模拟进料总流量和反应温度对乙二醇单醋酸酯收率的影响，确定较优的反应条件。	C	6	4	1-5	4	徐汇 12 楼 324	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 案例教学 ■ 实践探究
5.	恒沸精馏	1. 了解以正己烷为夹带剂恒沸精馏制备无水乙醇的过程，加深对恒沸精馏实验理解；2. 熟悉实验精馏塔的构造，掌握精馏操作方法。	B	8	4	1-5	4	徐汇 12 楼 315	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 实践探究
6.	碳分子筛变压吸附制备高纯氮	1. 了解变压吸附的基本原理和流程； 2. 掌握控制变压吸附效果的主要参数；3. 学会固定床吸附穿透曲线的测定和分析。	B	4	4	1-5	4	徐汇 12 楼 328	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 案例教学 ■ 实践探究
7.	乙苯脱氢制苯乙烯	1. 了解以乙苯为原料，氧化铁系为催化剂，在固定床单管反应器中制备苯乙烯的过程；2. 学会稳定工艺操作条件的方法，包括在线控制和手动控制的方法。	B	10	4	1-5	4	徐汇 12 楼 323	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 案例教学 ■ 实践探究
8.	催化反应精馏	1. 了解反应精馏工艺过程的特点，增强工艺与工程相结合的观念。2. 学会用正交设计的方法，设计合理的实验方案，进行工艺条件的优选。3. 掌握反应精馏装置的操作控制方法。	C	10	4	1-5	4	徐汇 12 楼 315	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 案例教学 ■ 实践探究
9.	CO 中-低温串联变换工艺实验仿真	1. 理解多相催化反应有关知识，初步接触工艺设计思想；2. 掌握气固相催化反应动力学实验研究方法及催化剂活性评比方法；3. 获得催化变换反应的速率常数 kT 及活化能 E。	B	4	1	1-5	20	徐汇 12 楼 309	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 案例教学 ■ 实践探究
10.	乙苯脱氢制苯乙烯全流程仿真实验	利用乙苯脱氢制苯乙烯全流程仿真实验，可体验真实的工业生产操作过程，培养学生的动手能力、工程思维和团队合作精神，建立优化操作、节能降耗、安全环保和技术经济的意识	B	8	1	1-4	20	校园 网	必做	■ 讨论 ■ 自主学习 ■ 案例教学 ■ 实践探究

注：实验类型分三类：基础规范型（A）、综合设计型（B）、研究探索型（C）。

## 七、课程教学模式与方法

### 1、教学模式

为适应学分制教育要求，化工专业实验采取开放式教学管理，具体形式为：

(1) 时间开放：化工专业实验项目有计划地滚动开设，学生可以根据教学要求，借助《自主选课管理软件》，自由选择实验项目，设计个性化的实验菜单。

(2) 项目可选：本课程的实验项目根据不同的教学目的划分为不同的模块，每个模块内设有若干个实验项目，学生可根据“**学时数要求**”，在不同模块中自由选做实验项目，完成教学要求。

(3) 提倡组队完成，分工合作，为鼓励和培养学生的探索精神和实践能力，本实验教学强调过程，淡化结果，允许学生失败和重做。

### 2. 教学方法

(1) 课堂讲授与讨论：本课程的实验理论课部分，主要采取课堂讲授为主，采用集中大课，或者线上教学的方式，主要讲授实验方法论并进行化工实验安全教育。在学生进入实验室参与各实验项目之前，实验教师集中讲解实验相关知识，包括实验项目的工业背景或研究背景、实验原理、实验标准操作规程等。

(2) 自主学习：本课程倡导自主实验，所有的基本教学实验项目为学生提供了多种电子教学资源，如：教学录像、授课 PPT 等，所有教学资源均可在爱课程网、中国大学 MOOC 网站查得，要求学生进入实验室参与实验项目前完成预习并撰写预习报告（课前实验教师应检查预习情况），也可独立自主地按照教学要求完成规定的内容；

(3) 实验探究：实验内容涉及课程主要知识点，分为基础规范型、综合设计型、以及研究探索型实验。研究探索型实验鼓励学生在课程实验过程中进行小组讨论，一同分析、研究并提出解决方案，培养学生善于发现问题、提出问题、分析问题和解决问题的能力。此外，在课程讲授的过程中引入实际工程案例，鼓励学生针对化工领域工程实际问题进行自主研究并展开讨论。

(4) 案例教学：化工专业实验课程中部分实验项目由教师科研成果转化而来，具有明确的工程应用背景。通过案例分析，有利于学生掌握化工过程或工艺开发过程的思想和方法。



## 八、课程教学目标、方法及课程目标达成评价方式

表 5 课程目标达成途径

序号	毕业要求	课程目标	课程学习目标分解	教学内容	教学方法
1.	毕业要求 5.1	课程目标 1	1.1 通过实验预习了解各实验的原理和过程要点； 1.2 分解、简化实验目标，寻求合理的实验研究方法； 1.3 采用科学方法设计实验方案；	1.1 实验技术原理及相关工艺 1.2 确定测量变量和方法，设计实验方案 1.3 科学实验设计方法	(1) 查阅文献，自主学习； (2) 案例学习 (3) 课堂谈论；
2.	毕业要求 5.2, 5.3	课程目标 2	2.1 选配合适的实验器材，搭建实验系统； 2.2 正确设计操作步骤和原始数据记录表，采集实验数据； 2.3 合理分析、解释实验数据和现象； 2.4 将数据处理结果与理论或模型进行比较，形成有效结论；	2.1 实验操作过程； 2.2 数据采集； 2.3 解释现象、分析数据。 2.4 总结归纳；	(1) 自主学习； (2) 课堂讨论； (3) 实践探究；
3.	毕业要求 6.1	课程目标 3	3.1 熟练应用数字教学资源进行自主学习； 3.2 掌握化工常用设备、仪器的正确使用方法； 3.3 利用虚拟仿真技术开展实验； 3.4 应用Origin、Matlab等数据处理软件进行计算、模拟、预测；	3.1 线上教学资源； 3.2 常用设备仪器原理及特性； 3.3 常用软件包括工控软件、虚拟仿真软件和数据处 理软件等；	(1) 自主学习； (2) 课堂讲授； (3) 课堂讨论 (4) 实践探究；
4.	毕业要求 8.1, 8.2	课程目标 4	4.1 具备安全责任意识 4.2 掌握实验过程危险性分析方法，具备风险防范能力； 4.3 能够安全开展实验，获得可靠数据； 4.4 跟踪技术发展前沿，在实验探究活动中兼顾经济、社会、环境问题，自觉履行责任。	4.1 实验室安全知识与技能； 4.2 实验风险评估与讨论； 4.3 实验标准操作规程；	(1) 自主学习； (2) 课堂讲授； (3) 操作规程培训 (4) 实践探究；



5.	毕业要求 9.1	课程 目标 5	5.1 通过团队合作的方式完成任务； 5.2 主动承担或积极配合解决实验过程中出现的意外情况，顺利完成实验。	5.1 明确目标，任务分解 5.2 集中讨论，及时决策 5.3 主动承担责任	(1) 小组讨论 (2) 实践探究；
----	-------------	---------------	---	--	-----------------------

表 6 课程目标与考核评价标准及依据

课程目标	考核评价标准				评价依据
	优秀(90%-100%)	良好(75%-89%)	合格(60%-74%)	不合格(<60%)	
1、运用化学工程知识和科学方法分解、简化化工过程和工艺开发中的复杂问题，	能通过实验预习 <b>充分</b> 掌握实验原理； <b>较好地分解、简化</b> 实验过程难点和要点，确定 <b>合理有效</b> 的实验研究方法；采用 <b>科学</b> 方法设计实验方案；	能通过实验预习掌握实验原理； <b>能分解、简化</b> 实验过程要点，采用 <b>较为有效</b> 的实验研究方法；， <b>正确</b> 设计实验方案；	能通过实验预习 <b>基本</b> 能掌握各实验的原理和实验过程要点，实验研究方法和实验方案 <b>基本可行</b> ；	<b>未能</b> 通过实验预习掌握各实验的原理和过程要点；针对当前实验过程或类似过程， <b>不能</b> 寻求合理的实验研究方法；实验方案不合理不可行；	1、实验概述 2、预习思考 3、方案设计
2、熟练使用常见的传热、传质、反应、分离设备，以及现代仪器，掌握其特性；能熟练使用数学软件进行计算、模拟与预测。	实验过程中 <b>合理、正确</b> 选配实验器材、制定 <b>正确</b> 的实验计划和操作步骤，采集并 <b>合理</b> 分析实验数据；基于现有理论或模型能 <b>全面准确</b> 分析结果并形成 <b>有效</b> 结论。	实验过程中能独立选配实验器材，制定实验计划 <b>顺利</b> 采集实验数据；能分析解释数据， <b>能结合</b> 理论或模型 <b>较全面</b> 地开展分析并形成 <b>合理</b> 结论；	能够利用现有实验装置按步骤开展实验，能采集实验所需数据；实验现象和原始数据 <b>基本合理</b> ，通过分析 <b>能</b> 形成一定结论；	<b>未能</b> 按照实验步骤操作， <b>未能</b> 获取有效实验数据； <b>不能</b> 将数据处理结果与理论或模型进行比较分析， <b>未</b> 得出实验结论；	1、课堂讨论 2、原始数据 3、实验现象 4、结果讨论
3. 熟练使用常见的传热、传质、反应、分离设备，掌握其特性；独立操作重要的化工实验分析仪器；熟练使用数学软件进行计算、模拟与预测。	<b>充分利用</b> 数字教学资源进行自主学习， <b>熟练掌握</b> 实验相关的 <b>设备、仪器</b> 种类、特性和操作方法； <b>熟练使用</b> Origin、Matlab、Excel 等应用软件计算、分析实验数据，并建立 <b>正确</b> 的模型对相关问题进行 <b>预测</b> 。	<b>能利用</b> 数字教学资源进行自主学习， <b>掌握</b> 实验相关的 <b>设备、仪器</b> 的特性和操作方法； <b>能使用</b> Origin、Matlab、Excel 等应用软件计算、分析实验数据，利用模型进行 <b>预测</b> 。	<b>利用</b> 数字教学资源进行自主学习程度较浅，能够操作 <b>实验相关的设备和仪器</b> ； <b>能使用</b> Origin、Matlab、Excel 等数据处理软件作图， <b>规范表达</b> 实验结果；	<b>未能利用</b> 数字教学资源进行充分自主学习，对实验相关的 <b>装置、仪器</b> 种类、特点 <b>不了解</b> ； <b>不会应用</b> Origin、Matlab、Excel 等软件计算数据、 <b>规范表达</b> ；	1、操作规范 2、数据处理方法 3、数据处理结果
4. 具备科学精神和创新意识，能够跟踪化学工程技术发展前沿；掌握安全知识与技能，充分认识化学工程实践对环境、社会可持续发展的影响，并履行应承担的责任。	<b>主动</b> 跟踪前沿技术，在实验活动中 <b>充分考虑</b> 技术、经济、社会、环境问题，具备安全意识、责任意识和风险防范能力，能够 <b>安全、高效</b> 地开展实验，并 <b>正确</b> 处置三废。	<b>具备</b> 安全意识、责任意识和风险防范能力， <b>掌握</b> 实验室安全知识与技能； <b>能够规范</b> 地完成实验操作； <b>能正确</b> 处置三废。	<b>有一定的</b> 安全意识和责任意识， <b>通过适当教育提醒</b> 能够规范地完成实验操作； <b>能按</b> 要求处置三废。	<b>缺乏</b> 安全意识、责任意识和风险防范能力， <b>未能</b> 安全规范地完成实验操作，实验室三废处置方法 <b>不合理</b> 。	1、课堂讨论 2、操作规范 3、安全知识测试

<p>5.具有团队协作能力，能够主动承担或积极配合解决实验过程中出现的意外情况，通过团队合作完成实验任务。</p>	<p><b>充分理解</b>实验目的，<b>主动参与</b>团队合作，在团队中起<b>核心</b>地位；<b>能及</b><b>时有效</b>解决实验过程中出现的情况，顺利完成实验；</p>	<p><b>较全面地</b>理解实验目的，能参与团队合作，在团队中起<b>主干</b>地位；<b>能解决</b>实验过程中出现的情况，顺利完成实验；</p>	<p><b>理解</b>实验目的，被动参与团队合作；<b>能协助</b>解决实验过程中出现的情况，完成实验；</p>	<p>理解实验目的<b>不充分</b>，<b>消极</b>参与团队合作；<b>难以</b>有效解决实验过程中出现的情况，不能顺利完成实验；</p>	<p>1、 操作规范 2、 自我评估</p>
---	---	--	--	---	----------------------------

注：（课程目标达成度以实验报告评分表中分项分数的组合确定，例如课程目标1达成情况由“实验概述+预习思考+方案设计”三个部分的评分之和确定）

## 九、成绩评定方法

单项实验成绩评定：实验预习 20%，实验过程 30%，数据处理 20%，结果讨论 20%，自评与格式 10%；总成绩为各实验的平均成绩。具体评分项如下：

表 7. 实验评分表

实验预习			实验过程				数据处理		结果讨论	自我评估	格式规范	总分
实验概述	预习思考	方案设计	课堂讨论	操作规范	原始数据	实验现象	数据处理方法	数据处理结果				
10	5	5	5	10	10	5	10	10	20	5	5	

## 十、教学参考书

- |          |           |         |
|----------|-----------|---------|
| 《化工热力学》  | 陈新志, 蔡振云等 | 化学工业出版社 |
| 《化工分离工程》 | 邓修 吴俊生    | 科学出版社   |
| 《化学反应工程》 | 许志美       | 化学工业出版社 |
| 《化学工艺学》  | 黄仲九 房鼎业   | 高等教育出版社 |