哈尔滨石油学院首届教学设计大赛

一、课程基本信息

课程名称	化工分离工程	授课教师	李杨
课程性质	必修	课程学时	32
授课对象	化学工程与工艺	先修课程	化工原理、物理化学等

二、课程简介（限 300 字）

《化工分离工程》为面向我校化学工程与工艺专业大三学生开设的一门专业核心课，共 32 学时，2 学分。是研究化学工业生产中大规模物质分离过程的学科，先修课为：物理化学、化工原理、化工热力学。课程在人才培养方案中为培养学生生产工艺操控能力的支撑课程之一。课程近五年建设与发展如图 1，2021 年开展线上教学资源建设，教学中引入虚拟仿真；2022 年开展课程工程案例库、思政案例库建设，开展翻转课堂教学；2023 年开展混合式教学，获校教创赛二等奖；2024 年获校教改项目立项，校教创赛二等奖；2025 年获第三届全国本科院校化工类教师教学能力大赛二等奖，引入企业工程师授课，在我校开发的智慧平台上建课。课程将持续改革和创新建设。

图 1 近五年课程建设

三、学情分析（限 300 字）

本门课程是面向大三学生开设的专业核心课，学生在先修课的学习中，已学过化工原理、化工热力学中的精馏及相平衡关系等知识点，具备一定的基本知识储备；分别对正在学习和已学习过这门课程的学生进行了课程调研(图 2)，学生邻近实习就业和考研，对**企业案例和科学前沿**内容感兴趣；学生的学习习惯和思维方式基本成型，对**复杂计算**存在畏惧心理；对化工生产过程中的分离存在畏难心理。

图 2 课程评价与反馈

四、教学目标（限 300 字）

教 学 目 标	**知识目标**	掌握多组分物系分离过程的分离原理和计算等基础知识。
	能力目标	**能够**对化工生产多组分物系分离过程中的相关问题（组分组成、回流比、塔板数、进料级等）进行**设计计算，**对化工实际生产**工艺流程**进行**分析**。
	素质目标	具备分离过程**绿色化**发展理念及工程思维，具有创新意识。

五、教学设计总体思路（限 300 字）

综合以上学情分析，课程的教学设计采用**“四步走阶梯式递进”（原理知识 → 案例分析 →模拟实践 →工程应用）**；将工程案例贯穿课程，基于**工程案例问题**学习，经小组讨论，分析解决问题归纳总结，再到课后扩展实践，培养学生绿色化工理念、节能意识和**创新工程思维。**

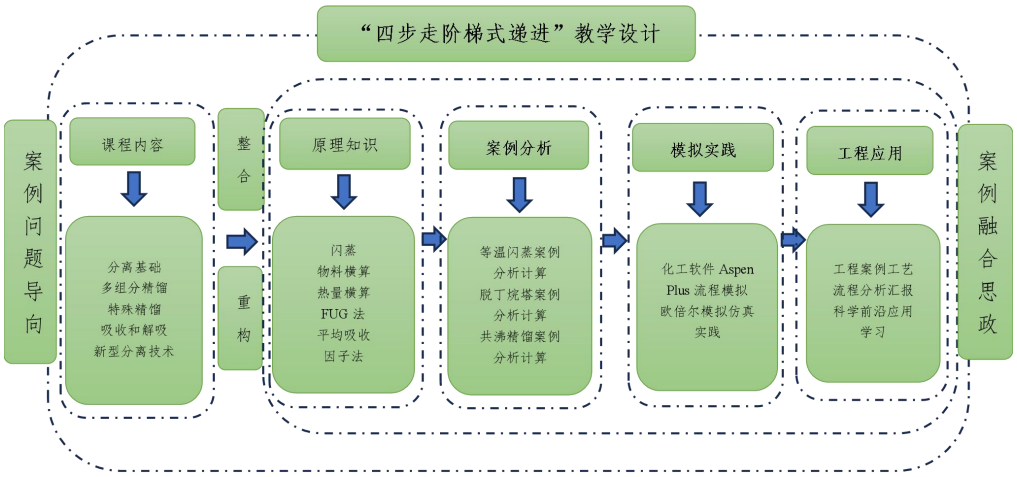


图 3　课程总体教学设计

六、课程资源

(1)线上教学资源：在我校自主开发的**智慧课程**平台建课，建立包含 **AI 助教数字人**视频资源及 **AI 智能体等**视频资源 39 个，时长 1590 分钟。(2)**虚拟仿真**资源 25 个；引用 **Aspen Plus** 软件建立化工过程模拟。(3)与企业深度融合，引入**企业工程师授课**。(4)建立工程案例 24 个，思政案例 10 个，扩展阅读链接 12 条，科研文献 10 篇，建立习题库 47 套。

视频资源

动画资源

虚拟仿真资源

工程资源

图 4　课程资源建设

七、单学时教学设计 1（每个教学设计不超过 2000 字）

教学主题	单极平衡分离过程计算
教学目标	知识目标：掌握闪蒸问题判定和等温闪蒸过程的计算求解方法。 能力目标：能用化工模拟软件 Aspen plus 计算闪蒸问题，能够使用欧倍尔虚拟仿真软件实践,能够分析工程案例。 素质目标：融入单极平衡分离过程的应用，融入工程案例，强化工程思维及绿色节能理念。
教学重难点	根据教学目标，本节课的**教学重点**为闪蒸问题判定和等温闪蒸过程的计算；并强调工业生产中的应用。 结合学情分析，**教学难点**为等温闪蒸过程的计算，并应用到具体工业生产应用中。同时潜移默化的强化化工分离工程绿色理念。
教学方法与工具	**教学方法：“四步走阶梯式递进”教学法** **工具:化工软件 Aspen Plus、欧倍尔虚拟仿真软件**
课程思政融入	**结合闪蒸在工业上的应用案例，**强化**绿色节能**理念及强化工程思维。

教学实施过程

本节课总体教学设计思路为：将单极平衡分离过程计算，拆解为从**原理知识**“闪蒸问题判定和等温闪蒸过程的计算”**进阶为工程案例**问题 1“炼油厂储存炼厂气的球罐冬天是否会产生液化现象？”和工程案例问题 2“某化工厂闪蒸罐闪蒸后的汽液相组成问题”，再从案例分析**进阶到**基于化工软件 **Aspen Plus** 对工程案例问题 2 进行流程模拟和分析计算以及基于**欧倍尔虚拟仿真**软件的**模拟实践**操作，再进阶到分组进行工艺流程翻转汇报的**工程应用，即“四步走阶梯式递进”（原理知识 → 案例分析→模拟实践 → 工程应用）教学设计(图 5)。**

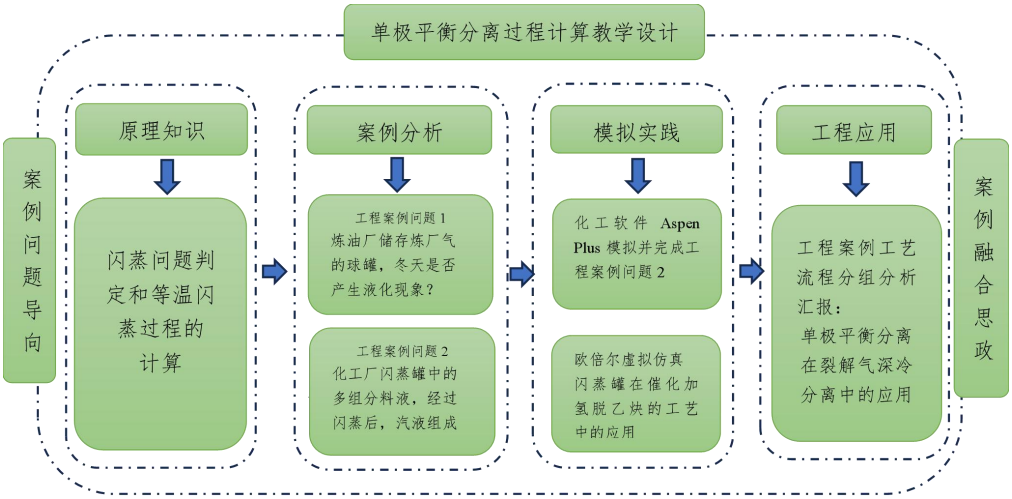
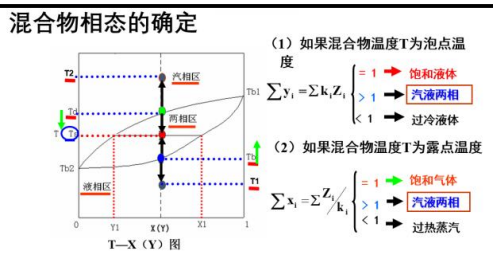
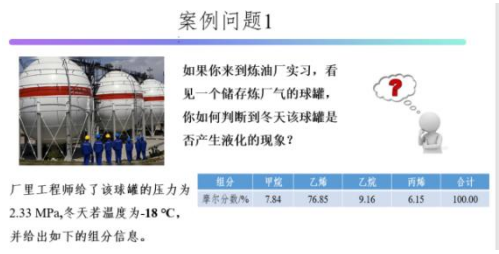
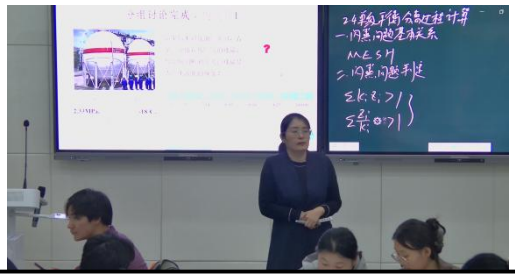
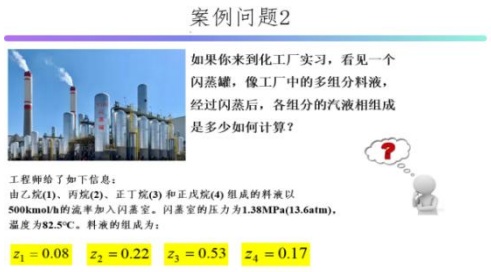
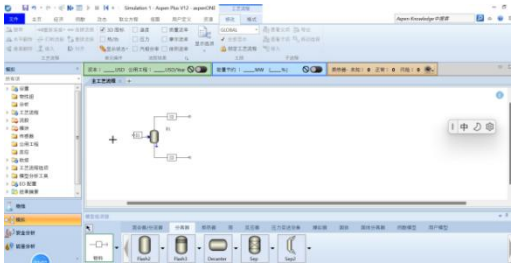
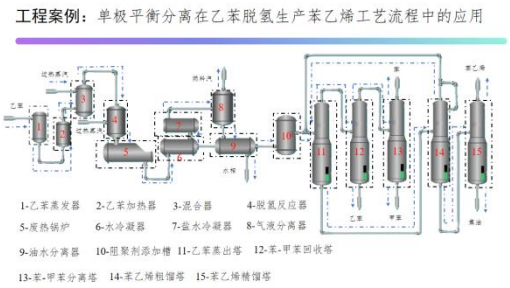
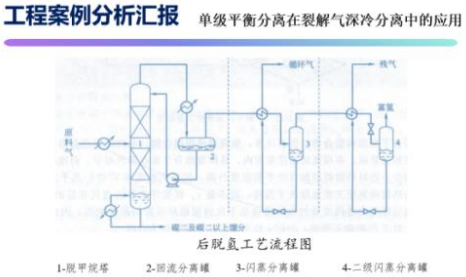


图 5 单极平衡分离过程计算教学设计

教学环节	教学内容	教学设计	时间
课程导入	以**工程案例问题 1、2** 引出课程	将本节课的教学重点问题以**工程案例问题**的形式引出	**2min**
自主学习 引发思考	一、闪蒸过程计算的基本关系 **带着问题观看雨课堂 AI 助教视频** 1.闪蒸过程所能达到的分离效果如何？ 2.闪蒸过程计算所依据的基本方程有哪些？ 3.根据 2 个变量的规定方法可将闪蒸计算分为哪 5 种闪蒸形式？为什么是根据 2 个变量来规定？ AI 助教视频 	**问题驱动：**以问题的形式，将知识点串联，引导学生主动学习思考，培养自主学习能力。	**3min**
教师精讲 **原理知识：** 闪蒸问题判定	二、闪蒸问题判定	基于自主学习，教师根据学生回答问题情况精讲闪蒸问	**3min**

		题判定	
雨课堂练习	雨课堂习题 	雨课堂发布习题 **检验学生知识目标**达成情况	**2min**
分组讨论 **案例分析：** 炼油厂储存炼厂气的球罐冬天该球罐是否产生液化	案例问题 1  教师引导学生完成案例问题课堂教学 	**学生分组讨论** **完成案例问题 1：** 炼油厂储存炼厂气的球罐，根据工程师给的数据如何判断到冬天该球罐是否产生液化的现象？	**5min**
教师精讲 **分组讨论** **案例分析：** 化工厂闪蒸罐中的多组分料液，经过闪蒸后，各组分的汽液相组成是多少如何计算	**三、计算方法** 重点讲授等温闪蒸计算 已知 zi、F、闪蒸 T 和 P，求ψ、xi、yi ①计算思路 ②求解方法（Newton-Raphson 法） 案例问题 2 	**教师：结合具体案例精讲**等温闪蒸计算方法 **学生：分组讨论** **完成案例问题 2：** 化工厂闪蒸罐中的多组分料液，根据工程师给的数据信息，经过闪蒸后，各组分的汽液相组成是多少？	**10min**

	教师和学生完成案例问题 2 课堂教学 		
模拟实践 Aspen plus	案例问题 2Aspen plus 流程模拟界面  教师引导学生完成 **Aspen plus** 流程模拟课堂教学 	引入化工模拟软件 Aspen plus 对案例问题 2，进行工艺流程模拟并完成相关计算	**5min**
工程案例	工程案例讲授 案例：单极平衡分离在乙苯脱氢生产苯乙烯工艺流程中的应用 	**工程案例引入** **思政元素：**闪蒸在工业上的应用 **思政目标：**增强**工程思维**，和**节能意识，将**价值塑造、知识传授和能力培养三融合	**3min**

模拟实践 欧倍尔虚拟仿真实践	虚拟仿真界面 学生分组完成虚拟仿真实践课堂教学 	学生使用**欧倍尔虚拟仿真软件完成模拟实践：**闪蒸在催化加氢脱乙炔反应中的应用	**5min**
工程应用翻转课堂 **工程案例分析汇报：**单极平衡分离在裂解气深冷分离中的应用	工程案例分析汇报：单极平衡分离在裂解气深冷分离中的应用  学生课上进行工程案例分析汇报 	学生分组翻转进行**工程案例分析汇报：**单极平衡分离在裂解气深冷分离中的应用的工艺流程分析	**5min**
学生总结及作业布置	教师引导学生总结课堂教学 	教师引导学生总结本节课的重要知识点	**2min**

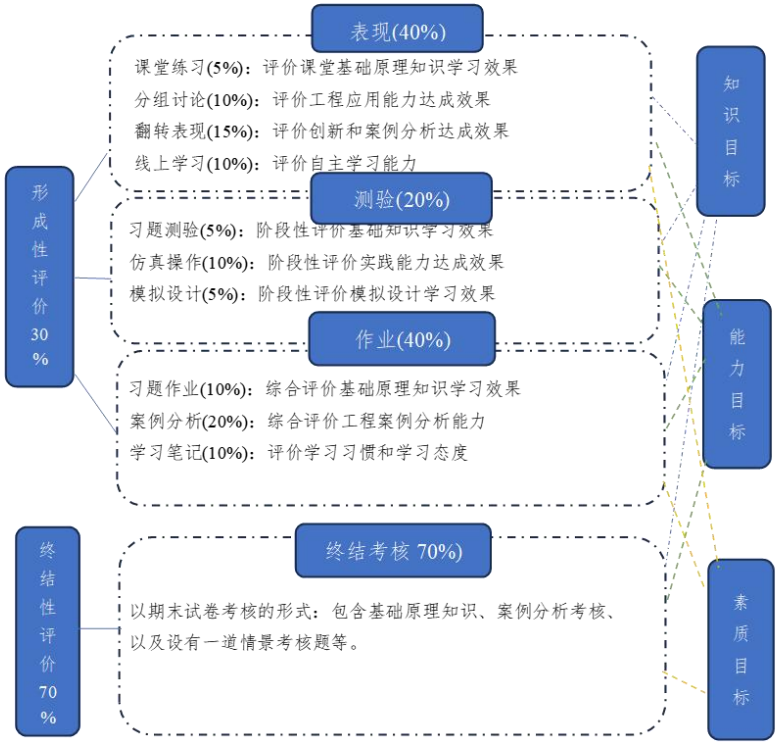
<table>
<tr>
<td>教学评价设计</td>
<td>
1.本节课考核评价通过课前、课中、课后；线上线下相结合。
课前：
根据线上任务完成情况评分。
课中：
线上：理论讲授过程中，借助雨课堂检测学生知识点掌握情况，根据学生答题情况评分及模拟实践评分。
线下：案例分析，根据小组表现同学和老师参与评分、以及在课堂讨论中发言表现评分；根据学生自主回答问情况加分。
课后：
根据课后作业和案例研究报告完成情况评分以及笔记等评分。
2.课程总体考核评价如下图


图 6 课程考核评价
</td>
</tr>
<tr>
<td>课后作业</td>
<td>
1.文献阅读
330MW 机组变负荷下低温余热闪蒸脱硫废水特性
2.虚拟仿真练习：闪蒸法非织造工艺与装备虚拟仿真实验
3.运用 AspenPlus 完成闪蒸过程流程模拟和计算
</td>
</tr>
</table>

单学时教学设计 2

教学主题	多组分精馏
教学目标	知识目标：掌握多组分精馏最少理论板数及非分配组分的计算方法。 能力目标：能用化工模拟软件 Aspen plus 计算非关键组分分配，能够使用欧倍尔虚拟仿真软件实践,能够分析工程案例。 素质目标：融入多组分精馏过程的应用，融入工程案例，强化工程思维及绿色节能理念。
教学重难点	根据教学目标，本节课的**教学重点**为最少理论板数及非分配组分的计算；并强调工业生产中的应用。 结合学情分析，**教学难点**为非分配组分的计算，并应用到具体工业生产应用中。同时潜移默化的强化化工分离工程绿色理念。
教学方法与工具	**教学方法：“四步走阶梯式递进”教学法** **工具:化工软件 Aspen Plus、欧倍尔虚拟仿真软件**
课程思政融入	**企业工程师**连线结合节能案例，增强**工程思维**的同时，强化**绿色节能**观念，增加**专业认同**感。

教学实施过程

本节课总体教学设计思路为：将多组分精馏，拆解为从**原理知识**“多组分精馏最少理论板数和非非配组分的计算”**进阶为工程案例**问题 1“化工厂分离甲醇、乙醇、正丙醇饱和液体混合物的分离结果？”和工程案例问题 2“某化工厂脱丁烷塔的多组分料液完成分离任务时的各组分分配问题”，再从案例分析**进阶到**基于化工软件 **Aspen Plus** 对工程案例问题 2 进行流程模拟和分析计算以及基于**欧倍尔虚拟仿真**软件的**模拟实践**操作，再进阶到分组进行工艺流程翻转汇报的**工程应用，即“四步走阶梯式递进”（原理知识 → 案例分析→模拟实践 → 工程应用）教学设计(图 7)。**

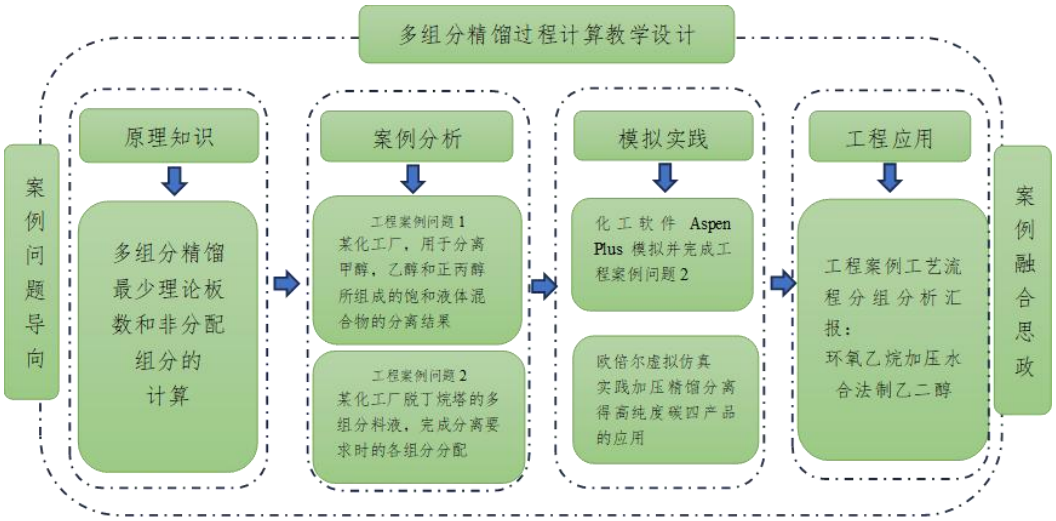
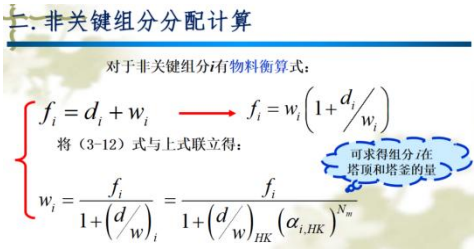
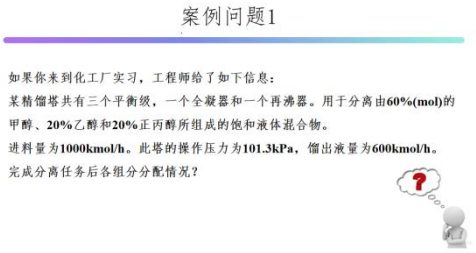
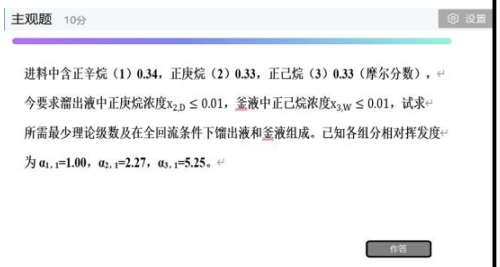
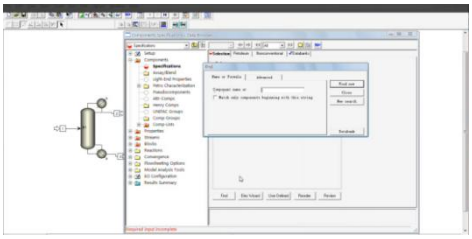
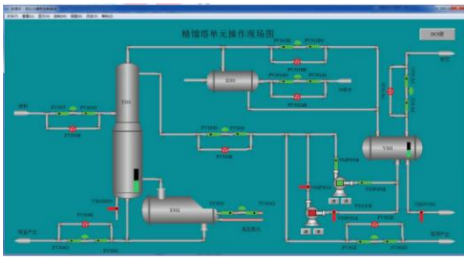
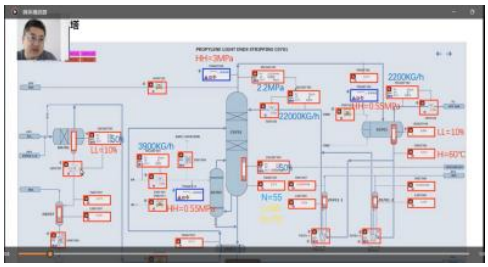
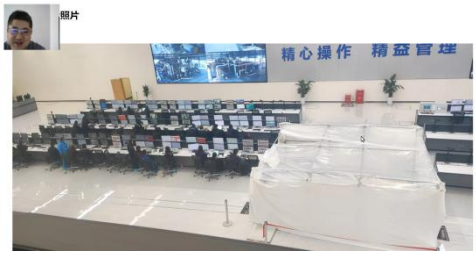
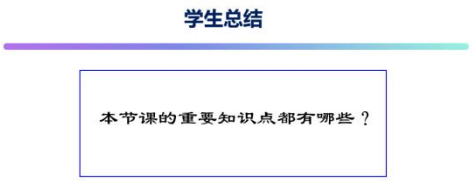


图 7 多组分精馏教学设计

教学环节	教学内容	教学设计	时间
课程导入	以工程案例问题 1、2 引出课程	将本节课的教学重点问题以**工程案例问题**的形式引出	**2min**
层层递进 问题驱动	一、最少理论板数 1.精馏塔什么条件下所用理论板数最小？ 2.什么情况下会采用全回流？ 3.芬斯克方程的不同表达形式(以组成表示、以分配比表示、以回收率表示)？	**问题驱动：**以问题的形式，将知识点串联，引导学生主动学习思考，培养自主学习能力。	**3min**
教师精讲 **原理知识：** 非关键组分分配计算	二、非关键组分配计算 原理知识  案例问题 1  	**教师结合案例精讲** 教师根据学生回答问题情况，教师结合案例问题 1 精讲非关键组分分配计算。	**8min**
雨课堂练习	雨课堂习题  	雨课堂发布习题 检验学生知识目标达成情况	**2min**
分组讨论 **案例分析：** 化工厂脱丁烷塔完成分离任务时的组分分配	**案例问题 2** 	**分组讨论** **完成案例问题 2：**化工厂脱丁烷塔，按照工程师给的进料信息，计算完成分离任务时各组分分配	**5min**

模拟实践 Aspen plus	**Aspen plus 流程模拟界面** 	引入化工模拟软件 Aspen plus 计算案例问题 2，进行工艺流程模拟	**5min**
模拟实践 欧倍尔虚拟仿真	欧倍尔虚拟仿真 加压精馏分离的应用 	引入**欧倍尔虚拟仿真实践**加压精馏分离得高纯度碳四产品的应用	**5min**
企业工程师连线	**企业工程师**在线结合企业真实案例讲授多组分精馏并介绍化工企业工作介绍  	引入企业工程师在线授课，结合企业真实案例讲授，理论与实践相结合。 **思政元素：**工程师结合**节能案例**，增强工程思维的同时，强化绿色节能意识，认识化工工作环境，增加**专业认同**。	**8min**
工程应用 **工程案例分析汇报：**环氧乙烷加压水合法制乙二醇	工程案例分析汇报：环氧乙烷加压水合法制乙二醇 	学生翻转进行**工程案例工艺流程分析汇报**	**5min**

<table>
<tr><td>学生总结及作业布置</td><td> 
</td><td>学生总结本节课的重要知识点</td><td>2min</td></tr>
<tr><td>教学评价设计</td><td colspan="3">本节课考核评价通过课前、课中、课后；线上线下相结合。
课前：
根据线上思考题和任务完成情况评分。
课中：
线上：理论讲授过程中，借助雨课堂检测学生知识点掌握情况，根据学生答题情况评分及模拟实践评分。
线下：案例分析，根据小组表现同学和老师参与评分、以及在课堂讨论中发言表现评分；根据学生自主回答问情况加分。
课后：
根据课后作业和案例研究报告完成情况评分以及笔记等评分。</td></tr>
<tr><td>课后作业</td><td colspan="3">1.文献阅读
精馏塔设备的设计与节能研究进展
2.虚拟仿真练习：双塔精馏虚拟仿真实验
3.运用 AspenPlus 完成脱乙烷塔流程模拟和计算</td></tr>
</table>

单学时教学设计 3

教学主题	共沸精馏
教学目标	知识目标：掌握共沸物和共沸组成的计算、共沸剂的选择及分离共沸物的双压精馏过程的设计计算。 能力目标：能用化工模拟软件 Aspen plus 计算共沸精馏过程，能够分析工程案例。 素质目标：融入多组分精馏过程的应用，融入工程案例，强化工程思维及绿色节能理念。
教学重难点	根据教学目标，本节课的**教学重点**为共沸剂的用量及分离共沸物的双压精馏过程的设计计算；并强调工业生产中的应用。 结合学情分析，**教学难点**为共沸精馏的计算，并应用到具体工业生产应用中。同时潜移默化的强化化工分离工程绿色理念。
教学方法与工具	**教学方法：“四步走阶梯式递进”教学法** **工具:化工软件 Aspen Plus、欧倍尔虚拟仿真软件**
课程思政融入	结合工程案例分析汇报共沸精馏从中性染料母液中回收正丁醇，**节约能源，减少废水排放，**强化**工程创新思维**结合**绿色**节能意识。

教学实施过程

本节课总体教学设计思路为：将单极平衡分离过程计算，拆解为从**原理知识**“共沸组成的计算、共沸剂的选择及共沸物的双压精馏”**进阶为工程案例**问题 1“化工厂常压下分离环己烷和苯所需共沸剂用量？”和工程案例问题 2“某化工厂分离共沸物 MEK-水，不加入共沸剂实现分离该如何设计问题”，再从案例分析**进阶到**基于化工软件 **Aspen Plus** 对工程案例问题 2 进行流程模拟和分析计算以及基于**欧倍尔虚拟仿真**软件的**模拟实践**操作，再进阶到分组进行工艺流程翻转汇报的**工程应用，即“四步走阶梯式递进”（原理知识 → 案例分析→ 模拟实践 → 工程应用）教学设计(图 8)。**

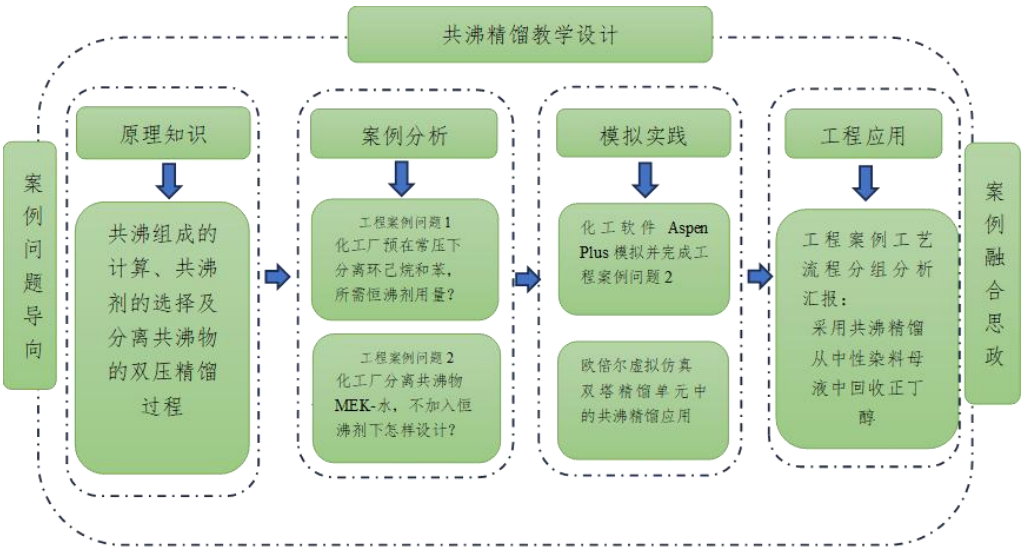
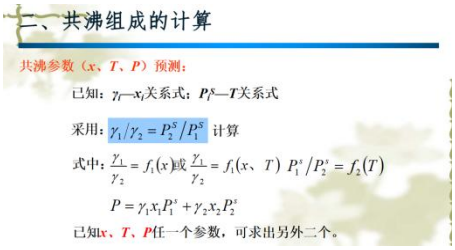
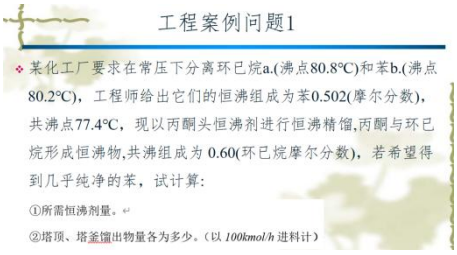
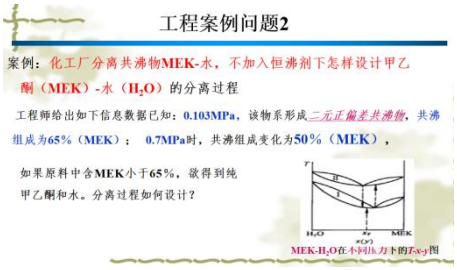
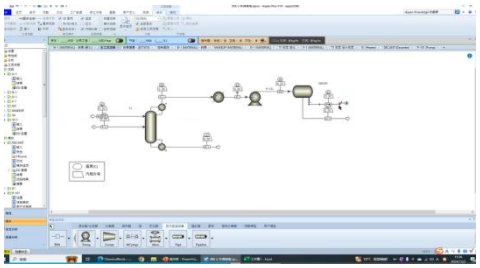
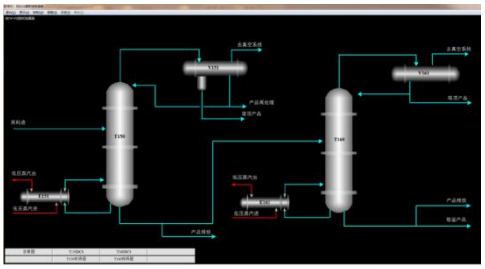


图 8 共沸精馏教学设计

教学环节	教学内容	教学设计	时间
课程导入	以工程案例问题 1、2 引出课程	将本节课的教学重点问题以**工程案例问题**的形式引出	**2min**
层层递进 引发思考	一、共沸物和共沸组成的计算 1.什么是共沸物？ 2.从相图上看共沸组成有哪些特征？ 3.共沸点处有什么特征以及共沸点过共沸点前后两个组分的有什么变化？	**问题驱动**：以问题的形式，将知识点串联，引发学生主动学习，思考，培养自主学习能力。	**3min**
教师精讲 **原理知识：** 共沸组成的计算	二、共沸组成的计算  	教师根据学生回答问题情况**精讲**共沸组成的计算	**5min**
雨课堂练习	雨课堂习题 	雨课堂发布习题 检验学生知识目标达成情况	**3min**
分组讨论 **案例分析**	案例问题 1  	**分组讨论** 完成案例问题 1： 化工厂预在常压下分离环已烷和苯，所需恒沸剂用量？	**5min**
教师精讲	**二、分离共沸物的双压精馏过程** 教师**结合**乙醇-水共沸物分离**案例**精讲共定性规律 系统压力，MPa | 共沸组成，乙醇% | 共沸温度，°C 0.0093 | 100 | 27.79 0.0200 | 96.2 | 42.00 0.0533 | 91.4 | 62.80 0.1013 | 90.0 | 78.10 0.1933 | 89.1 | 95.50	教师**结合具体案例**精讲分离共沸物的双压精馏原理，**启发学生**在设计一个共沸精馏过程时，在某些情况下，通过改变压力可实现共沸物系的分离，**强化绿色分离和节能意识**。	**5min**

分组讨论 **案例分析**	案例问题 2  	**分组讨论** 学生分组讨论 完成**案例问题 2**：原料中含 MEK 小于 65%，不引入共沸剂，分离过程如何设计	**5min**
模拟实践 Aspen plus	**Aspen plus 流程模拟界面** 	引入化工模拟软件 Aspen plus 计算案例问题 1，进行工艺流程模拟	**5min**
模拟实践 虚拟仿真	**虚拟仿真**双塔双压精馏 	双塔双压精馏的实践	**5min**
工程应用 **工程案例分析汇报：**采用共沸精馏从中性染料母液中回收正丁醇	**工程案例分析汇报：**采用共沸精馏从中性染料母液中回收正丁醇 	学生翻转进行**工程案例工艺流程分析汇报** **思政元素：**融入工程案例采用共沸精馏从中性染料母液中回收正丁醇，在达到分离要求的前提下，**节约能源**，提高经济效益，**减少废水排放。** **思政目标：**强化**工程创新思维**结合**绿色**发展理念和节能意识。	**5min**
学生总结及作业布置	**学生总结** 本节课的重要知识点都有哪些？	学生总结 本节课的重要知识点	**2min**

教学评价设计	本节课考核评价通过课前、课中、课后；线上线下相结合的考核。 **课前：** 根据线上任务完成情况评分。 **课中：** 线上：理论讲授过程中，借助雨课堂检测学生知识点掌握情况，根据学生答题情况以及模拟实践评分评分。 线下：案例分析，根据小组表现同学和老师参与评分、以及在课堂讨论中发言表现评分；根据学生自主回答问情况加分。 **课后：** 根据课后习题和文献分析报告完成情况评分以及笔记等评分。
课后作业	1.文献阅读并提交分析报告 共沸精馏技术研究及应用进展 2.运用 Aspen Plus 完成乙醇水环己烷共沸精馏流程模拟和设计计算 3.虚拟仿真实践：双塔双压精馏的实践

单学时教学设计 4

教学主题	吸收和解吸过程
教学目标	知识目标：掌握吸收和解吸过程分析、平均吸收因子法对吸收和解吸过程进行设计计算。 能力目标：能用化工模拟软件 Aspen plus 计算吸收和解吸过程过程，能够使用欧倍尔虚拟仿真软件实践,能够分析工程案例。 素质目标：融入吸收和解吸过程的应用，融入工程案例，强化工程思维及绿色节能理念。
教学重难点	根据教学目标，本节课的**教学重点**为平均吸收因子法对吸收和解吸过程进行设计计算；并强调工业生产中的应用。 结合学情分析，**教学难点**为平均吸收因子法对吸收和解吸过程进行设计计算，并应用到具体工业生产应用中。同时潜移默化的强化化工分离工程绿色理念。
教学方法与工具	**教学方法：“四步走阶梯式递进”教学法** **工具:化工软件 Aspen Plus、欧倍尔虚拟仿真软件**
课程思政融入	结合工程案例问题醇胺法处理含硫化氢融入**绿色节能**观念，将**工程思维**与绿色节能相融合。

教学实施过程

本节课总体教学设计思路为：将单极平衡分离过程计算，拆解为从**原理知识**“吸收和解吸过程分析、平均吸收因子法”**进阶为工程案例**问题 1“醇胺法处理含硫化氢废气工艺如何处理硫化氢处理？”和工程案例问题 2“某化工厂，该厂利用吸收过程吸收裂解气，完成任务所需理论级数？”，再从案例分析**进阶到**基于化工软件 **Aspen Plus** 对工程案例问题 2 进行流程模拟和分析计算以及基于**欧倍尔虚拟仿真**软件的**模拟实践**操作，再进阶到分组进行工艺流程翻转汇报的**工程应用，即“四步走阶梯式递进”（原理知识 →案例分析→模拟实践→ 工程应用）教学设计(图 9)。**

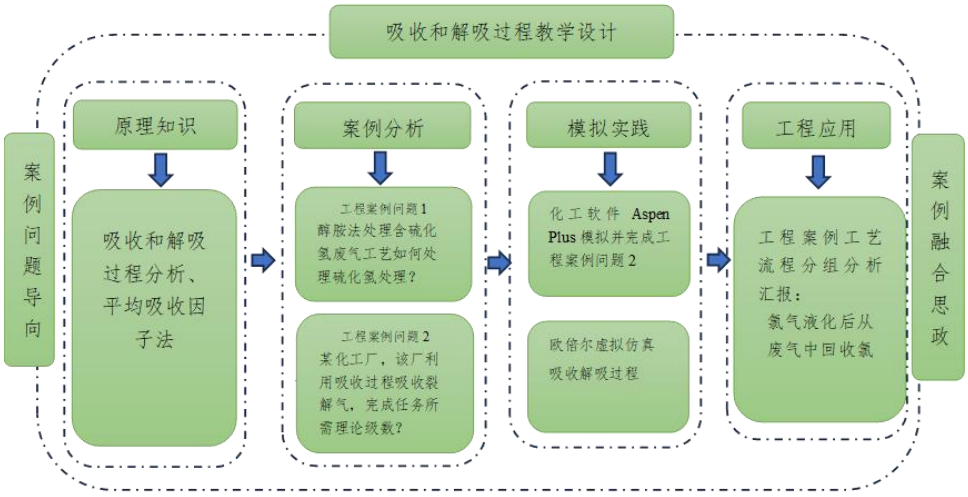
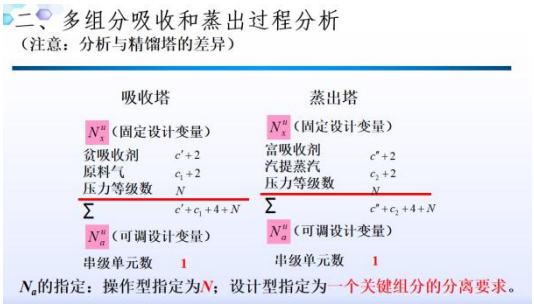
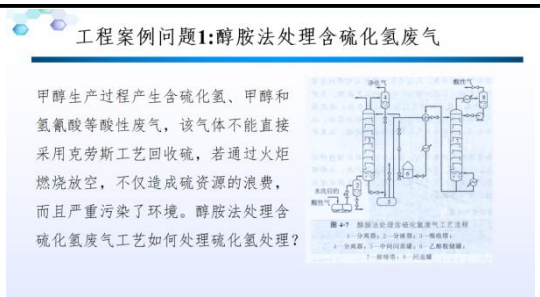
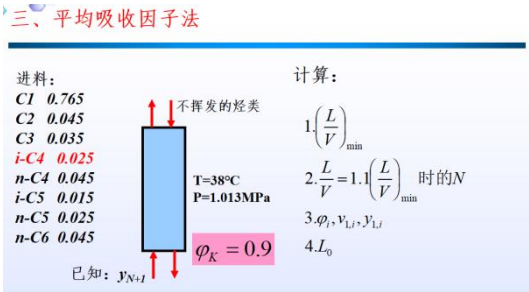
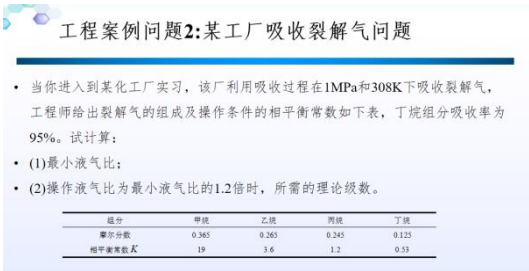
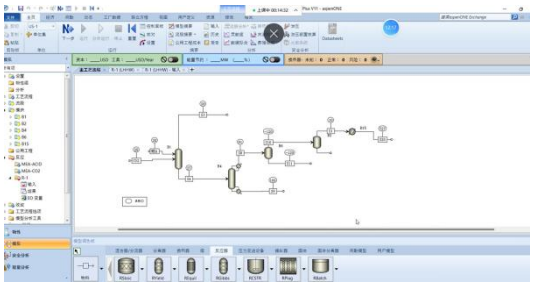
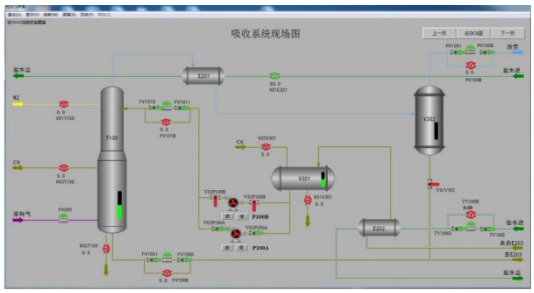
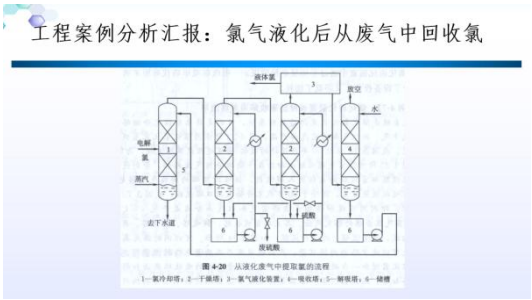


图 9　吸收和解吸过程教学设计

教学环节	教学内容	教学设计	时间
课程导入	以工程案例问题 1、2 引出课程	将本节课的教学重点问题以**工程案例问题**的形式引出	**2min**
层层递进引发思考	一、吸收和解吸过程 1.多组分吸收设计变量和关键组分？ 2.不同组分在吸收塔不同塔段的吸收程度？ 3.物理吸收过程和精馏过程的比较，相同点和区别？	**问题驱动：**以问题的形式，将知识点串联，引发学生主动学习，思考，培养自主学习能力。	**3min**
教师精讲 **原理知识：**多组分吸收和解吸过程分析	二、多组分吸收和解吸过程分析  	**学生分组回答问题** 教师根据学生回答问题情况讲授相关知识点	**5min**
雨课堂练习	 	雨课堂发布习题 检验学生知识目标达成情况	**3min**
分组讨论 **案例分析：**醇胺法处理含硫化氢废气工艺如何处理硫化氢废气	 **学生分组讨论完成工程案例问题 1** 甲醇生产过程产生含硫化氢、甲醇和氢氰酸等酸性废气，该气体不能直接采用克劳斯工艺回收硫，若通过火炬燃烧放空，不仅造成硫资源的浪费，而且严重污染了环境。采用处理天然气的 N-甲	**分组讨论** 完成案例问题 1 **思政元素：**学生在完成工程案例问题的同时，融入**绿色节能**观念，将**工程思维**与绿色节能相融合。	**5min**

	基二乙醇胺(MDEA)脱硫装置处理该气体，绿色节能。		
教师结合案例精讲：平均吸收因子法	三、平均吸收因子法 教师结合案例精讲平均吸收因子法计算吸收解吸过程。  	教师**结合具体案例**精讲平均吸收因子法计算的吸收塔组分组分组成、液气比、回收率等。	**5min**
分组讨论案例分析：化工厂吸收裂解气问题	工程案例问题 2:吸收裂解气问题  	学生分组讨论完成案例问题 2：某化工厂，该厂利用吸收过程吸收裂解气，完成任务所需理论级数？	**5min**
模拟实践 Aspen plus	**Aspen plus 流程模拟界面** 	引入化工模拟软件 Aspen plus 计算案例问题 2，进行工艺流程模拟	**5min**
模拟实践 欧倍尔虚拟仿真	欧倍尔虚拟仿真 吸收和解吸过程的应用  	引入**欧倍尔虚拟仿真实践**吸收和解吸过程：以 C_6 油为吸收剂分离气体混合物中的 C_4 组分。	**5min**

工程应用 学生分组完成工程案例分析汇报	工程案例分析汇报：**氯气液化后从废气中回收氯**  	学生翻转进行**工程案例工艺流程分析汇报**	**5min**
学生总结及作业布置	**学生总结** **本节课的重要知识点都有哪些？**	学生总结本节课的重要知识点	**2min**

教学评价设计	本节课考核评价通过课前、课中、课后；线上线下相结合。 **课前：** 根据线上思考题和视频任务完成情况评分。 **课中：** 线上：理论讲授过程中，借助雨课堂检测学生知识点掌握情况，根据学生雨课堂答题情况评分，以及根据模拟实践评分。 线下：案例分析，根据小组表现同学和老师参与评分、以及在课堂讨论中发言表现评分；根据学生自主回答问情况加分。 **课后：** 根据雨课堂习题、模拟实践、文献分析报告完成情况评分以及笔记等评分。
课后作业	1.文献阅读并提交分析报告 燃煤电厂烟气中 CO_2 捕集及其催化转化为短链烯烃研究进展 2.虚拟仿真练习：吸收解吸过程加热蒸汽中断处理 3.运用 Aspen Plus 完成 CO_2 吸收解吸塔流程模拟和设计计算 4.雨课堂习题作业