

一、实验课程简介

课程团队依托矿盐资源深度利用技术国家地方联合工程研究中心、江苏省盐化工实验室等实验平台，本实验源于团队老师为某上市公司开发的“副产盐酸生产氯乙烷工艺开发及产业化”项目，入选 2017 年度江苏省技术转移联盟“十大技术转移优秀案例”。将科研成果转化为教学案例，积极推进科研反哺教学，践行 OBE 理念，契合新工科教育背景下，化学工程与工艺专业课程体系发展需求和专业认证要求。实验以为某公司开发废盐酸资源综合利用反应工艺为目的开展，学生首先完成处理工艺的选择，针对反应机理进行反应参数的计算与优化，确定最佳工艺条件；然后对反应器结构进行设计和优化，确定合适的反应器型式；最后通过学生自主设计，选取反应系统设备并集成工艺流程，根据生产运行情况优化反应工艺，以达到预期目标。

二、实验课程设计原则

随着我国社会经济高速发展，资源消耗日益加剧。绿色化工对加快促进我国发展方式绿色转型，实现资源高效利用和循环利用，推动碳达峰、碳中和具有重要意义。培养秉持绿色发展理念、基础扎实、善于创新的化工专业人才，既是国家绿色发展战略的要求，也是行业发展的需要。然而，化工工艺研发实训教学面临“周期长、难开展”，“成本高、难实现”和“高危险，难实践”的痛点，团队依托相关的教学、科研平台和成果，自主研发了废盐酸资源利用反应工艺研发虚拟仿真实验，设计原则为：

(1) 本实验坚持“以学生为中心”的实验教学理念。综合采用了任务驱动式、情景体验式、容错探究式教学方法，引导学生运用控制变量法、推理法、趋势观察法、综合比较法等实验方法完成实验任务。

(2) 以任务为主线，由浅入深的学习规律，教师引导学生开展自主学习，通过线上讨论和线下交流的方式为学生释疑，并鼓励学生互动研讨、协作互助。本实验构建了反应参数计算与优化，反应器选项与结构设计，反应系统集成与运行，异常工况与事故处置四个层次递进，环环相扣的教学实验环节。

(3) 实验将绿色可持续发展课程思政贯穿始终，实施立德树人。实验中，

学生通过努力学习,获取各环节的成绩,培养了学生自主学习,不断探索的精神。通过绿色化工前沿知识的应用,让学生感悟国家绿色可持续发展,树立科技强国责任感。

三、实验目标

本实验根据《化工综合实训》课程大纲及关键知识点,结合化学工程与工艺专业应用背景,构建了面向废盐酸资源利用工艺研发的虚拟仿真实验,以化学反应参数计算与优化-反应器选项与结构设计-反应系统集成与运行-异常工况与事故处置等环节为主线,开展实验,达到以下实验目的:

(1) 掌握工艺路线的定性评价和选择的方法,树立资源循环利用的绿色环保理念。

(2) 理解反应热力学与动力学参数对反应结果的影响,掌握计算方法;能够针对特定要求,优化反应条件,并理解其对反应器设计的影响。

(3) 理解化学反应信息和相平衡性质与反应器类型及其结构的关联,并能据此完成反应器选型、结构初步设计与部件组装。

(4) 能够综合考虑安全、能量利用等因素合理选择、连接反应器周边设备,设计优化可行的反应工艺方案。

(5) 掌握异常工况与事故综合处置措施与流程,提升学生异常工况和突发事件处置的能力。

实验在传授知识的基础上,利用计算机信息化、虚拟现实等手段弥补化工实训实验和设计方面的不足,拓展教学的深度和广度,提升了教学效果,对标人才培养目标。同时在实验中融合了立德树人和课程思政元素,实现学生培养的素质目标,对高水平化工专业领域人才培养具有重要意义。课程通过实验提升学生专业知识和实践能力,培养学生专业知识应用、专业技能和职业素养。

四、成绩评定

本实验针对考核点设计了实验成绩评价模型。以该模型为基础,系统可分别针对学生4个实验环节的完成情况自动评分。实验总分为100分,每个实验环节的实验成绩评价标准如下:

1. “处理工艺选取”环节(占总成绩3%)

(1) 废盐酸背景介绍;

(2) 废盐酸资源利用处理工艺选择 (3 分)

2. “反应参数计算与优化”环节 (占总成绩 17%)

(1) 反应热力学参数计算与判定 (9 分)

1) 标准摩尔反应焓计算与判断 (3 分)

①计算标准摩尔反应焓, 满分 2 分; 第一次计算正确得 2 分, 第二次计算正确 1.6 分。

②根据标准摩尔反应焓计算结果判定该反应属于吸热还是放热反应, 满分 1 分; 第一次判定正确 1 分, 第二次正确 0.8 分。

2) 标准摩尔吉布斯函数计算与判断 (3 分)

①计算标准摩尔吉布斯函数, 满分 2 分; 第一次计算正确得 2 分, 第二次计算正确 1.6 分。

②根据标准摩尔吉布斯函数计算结果判定该反应能否自发进行, 满分 1 分; 第一次判定正确 1 分, 第二次正确 0.8 分。

3) 标准平衡常数计算与判断 (3 分)

①计算标准平衡常数, 满分 2 分; 第一次计算正确得 2 分, 第二次计算正确 1.6 分。

②根据标准平衡常数计算结果判定该反应进行的程度, 满分 1 分; 第一次判定正确 1 分, 第二次正确 0.8 分。

(2) 反应参数优化 (8 分)

1) 反应温度优化 (4 分)

通过小试实验, 设定反应温度检测反应物转化率和产物转化率, 得到不同温度条件下的转化率和收率曲线, 选取合适的温度, 满分 4 分; 第一正确满分, 第二次 3.2 分。

2) 反应温度优化 (4 分)

通过小试实验，设定反应时间检测反应物转化率和产物转化率，得到不同反应时间条件下的转化率和收率曲线，选取合适的反应时间，满分 4 分；第一正确满分，第二次 3.2 分。

3. “反应器选型与结构设计”环节（占总成绩 32%）

（1）反应器压力优化（2 分）

调节反应器压力，根据反应体系特点选取合适压力值，满分 2 分。

（2）反应器选型（6 分）

1) 根据物料特性，先进行物相选择，满分 2 分；

2) 依据反应器特点，选取合适的反应器型式，满分 4 分，选择若出现错误 -1 分。

（3）反应器体积计算（16 分）

1) 根据年处理量等信息计算单位时间处理量，每小时处理盐酸的量 2 分、每小时处理乙醇的量 2 分；第一次正确满分，第二次正确为满分的 80%，第三次正确为满分的 60%；

2) 根据提示信息，计算出所选类型反应器的反应体积，满分 4 分，第一次正确 4 分，第二次正确为 3.2 分，第三次正确 2.4 分；

3) 计算总体积，满分 4 分，第一次正确满分，第二次正确为满分的 80%，第三次正确为满分的 60%；

4) 根据总体积结果选取合适结构参数的反应器，满分 4 分，第一次正确满分，第二次正确为满分的 80%，第三次正确为满分的 60%。（以上计算误差允许在 5% 范围内）。

（4）反应器附属设备组装搭建（8 分）

完成所有必选部件的选择和组装搭建；+8 分，遗漏一项-1 分

4. “反应系统集成与运行”环节（占总成绩 28%）

（1）反应系统集成（16 分）

1) 反应设备选取 (8 分)

选取反应设备, 满分 8 分; 遗漏一项-1 分;

2) 反应设备连接 (8 分)

选取反应设备, 满分 8 分; 遗漏一项-1 分;

(2) 反应系统运行 (12 分)

根据提示正确完成所有部件开启关闭, 完成系统的冷态开车, 满分 12 分, 遗漏一项-1 分。

5. “异常工况与事故处置”环节 (占总成绩 20%)

(1) 盐酸泵流量异常工况 (10 分)

1) 异常工况的紧急处置 (5 分)

出现异常后, 判断紧急处理方案, 满分 5 分; 第一次正确满分, 第二次正确 60%。

2) 异常工况规范处置 (5 分)

① 选择合理处置流程, 满分 5 分, 第一次正确满分, 第二次正确 60%。

② 动画完成后续冲洗、修理阀门、污水排放处理。

(2) 反应器飞温异常工况 (10 分)

1) 异常工况的紧急处置 (5 分)

出现异常后, 判断紧急处理方案, 满分 5 分; 第一次正确满分, 第二次正确 60%。

2) 异常工况规范处置 (5 分)

① 选择合理处置流程, 满分 5 分, 全部正确满分, 漏选一个扣 1 分, 错选扣 2 分。

② 动画完成后续水冲洗反应系统、开启事故罐、氮气保护、冲洗事故现场、污水排放处理。