

# 补充实验 乙苯负压脱氢制苯乙烯全流程虚拟仿真实验

## 思考题

- (1) 乙苯负压脱氢制苯乙烯生产原理和工艺流程分别是什么？
- (2) 乙苯负压脱氢的技术优势有哪些？
- (3) 乙苯脱氢制苯乙烯全流程装置类型和用途有哪些？
- (4) 控制器 PID 调节原则是什么？

### 一、实验目的

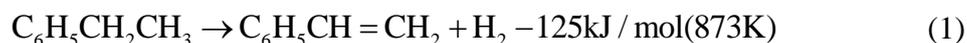
通过乙苯负压脱氢制苯乙烯全流程虚拟仿真实验训练, 加强学生对化工生产过程的理解能力, 掌握基本的化工生产操作方法, 综合运用所学的专业知识, 如化工安全、仪表自动化、化工机械等, 分析实际生产中遇到的问题, 能提出合理化的解决方案。

- (1) 掌握乙苯负压脱氢制苯乙烯生产原理、工艺流程、工艺指标、原辅料和产品的成份、性质等;
- (2) 了解国内外乙苯脱氢制苯乙烯生产方法、现状以及乙苯负压脱氢的技术优势;
- (3) 掌握乙苯负压脱氢制苯乙烯仿真生产中的开车、停车、稳态调整、典型事故处置等操作过程, 并能理论联系实际, 分析主要操作过程所遵循的专业理论知识;
- (4) 熟悉有关机械, 如泵、阀门、换热器、储罐的类型和用途, 掌握典型化工单元过程中主要设备构成, 并进行相关的设备搭建与组合;
- (5) 掌握化工生产过程中有关流量、压力、温度等控制方案, 理解控制器 PID 调节原则, 了解集散控制系统(DCS)在现代化工生产中的应用;
- (6) 增强化工安全操作、安全生产意识, 养成良好的安全操作习惯, 提高事故的应急处置及安全自救能力;
- (7) 了解化工生产过程中的人员配合和生产管理模式, 通过仿真实习感受内操和外操的协同操作, 提升学生的责任感和团队精神。

### 二、实验原理

- (1) 实验原理:

乙苯脱氢主反应方程式如下:

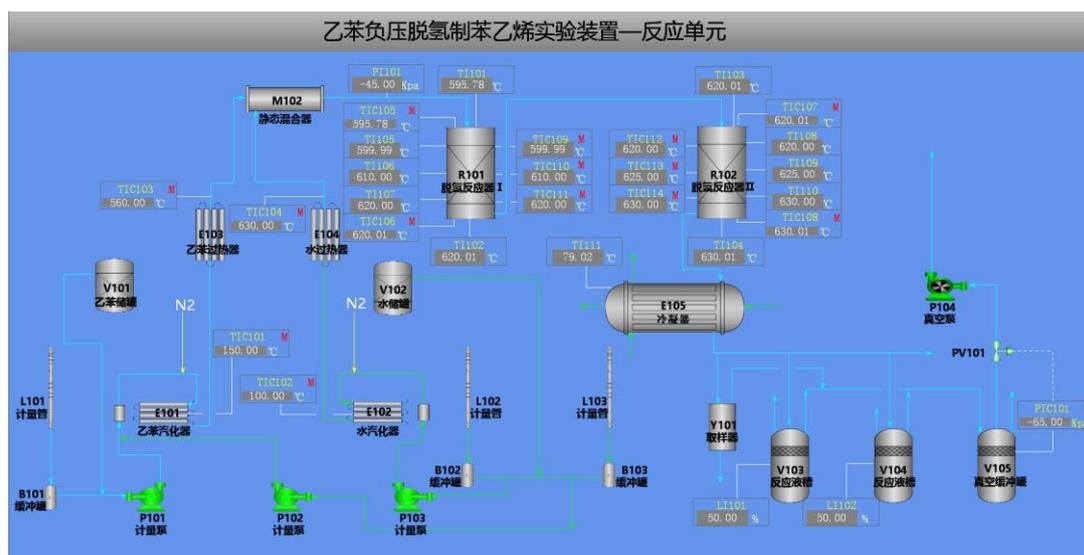


此反应为强吸热增分子的可逆反应，为促进反应平衡转化率的提高，工业上主要采用多段绝热负压脱氢工艺流程，同时以高温过热水蒸汽为热载体提供反应所需的热量。后续分离采用真空精馏的方法，用于提纯精制产品苯乙烯。

## (2) 工艺流程：

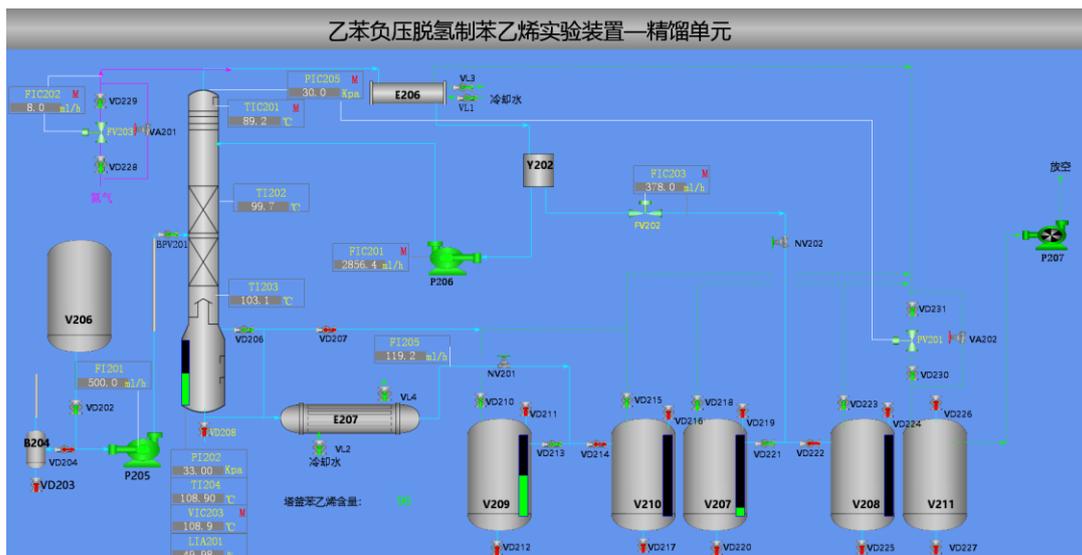
### ① 反应单元

反应原料水和乙苯的进料量由计量泵控制，约占总进水量60%的水经计量泵进入汽化器、过热器，加热到630℃以上成为过热水蒸气，另外约占总水量40%的水与原料乙苯混和进入乙苯汽化器、过热器，加热到560℃左右，然后与630℃以上的过热水蒸气共同进入预混合器，两股物料混合均匀后，再经第一段反应器上部加热铁块，使反应混合气体达到反应所需温度，进入催化剂床层，进行脱氢反应。经第一段脱氢反应后，反应物料由第二段反应器的上铁块加热，将混合物料升至要求的温度，进入第二段脱氢反应器。第二段反应器的出口产物经冷凝，导入液体收集罐，每隔4小时取一部分液体产物作为反应产物样品，送至气相色谱仪进行分析，氢气等不凝性气体由真空泵抽出。



### ② 精馏单元

乙苯经二段脱氢反应后，约60%的乙苯转化为苯乙烯及甲苯、苯，仍有约40%的乙苯未反应，与产物混合一起排出反应器，为得到产品苯乙烯，并将未反应的乙苯循环使用，须将反应液中的产物苯乙烯与原料乙苯通过精馏塔进行分离。为防止精馏塔的塔釜温度过高，精馏塔采用负压操作，精馏塔由真空系统和外充氮气控制其操作压力。塔顶蒸汽经冷凝器冷凝后，部分冷凝液由计量泵计量后回流，部分进入冷凝液储槽中，釜液经换热器冷却后入釜液储槽。



### ③ 主要工艺参数

#### 1) 反应单元工艺条件:

催化剂装填量  $V_{cat}=1766 \text{ mL}$

乙苯液相空速  $LHSV=0.3\sim 0.6 \text{ hr}^{-1}$

水烃比  $SOR=1.3\sim 1.8 \text{ (wt)}$

原料乙苯:  $1 \text{ L/h}$

原料纯水:  $1.2 \text{ L/h}$

第一脱氢反应器的入口温度  $T_{in1}=590\sim 620^\circ\text{C}$

第二脱氢反应器的入口温度  $T_{in2}=595\sim 625^\circ\text{C}$

#### 2) 精制单元工艺条件:

填料类型:  $\phi 4\times 4 \text{ mm } \theta$  环不锈钢压延填料

填料效率  $1\text{m}\approx 25\text{-}33$  块理论板 (取 30)

精馏段高度:  $1.2 \text{ m}$

提馏段高度:  $1.4 \text{ m}$

苯乙烯粗产品进料流速:  $500 \text{ mL/h}$

回流比  $R=7\sim 8$

塔顶温度  $T\approx 88^\circ\text{C}$

塔釜温度  $T\approx 109^\circ\text{C}$

塔压  $P=33 \text{ kPa}$  (塔顶的压力设定为约  $30 \text{ kPa}$ , 为稳定塔压, 适当通入少量氮气)

## 三、实验仪器和材料

### (1) 实验仪器设备

本实验利用虚拟仿真技术、网络技术将乙苯脱氢制苯乙烯装置与仿真软件相结合, 并通过云平台技术实现资源共享。本实验项目仪器设备可按线上、线上两部

分划分，具体如下：

① 线下部分：

虚拟仿真实验室、中控室、乙苯脱氢制苯乙烯全流程实验装置、教师机（带有独立显卡台式电脑或笔记本）、学员机（带有独立显卡台式电脑或笔记本）、二维码标识卡；

② 线上部分：

虚拟仿真在线教学平台、乙苯脱氢制苯乙烯仿真软件、教师指令站系统软件、操作指导评价系统软件、知识点管理系统软件。

(2) 实验材料

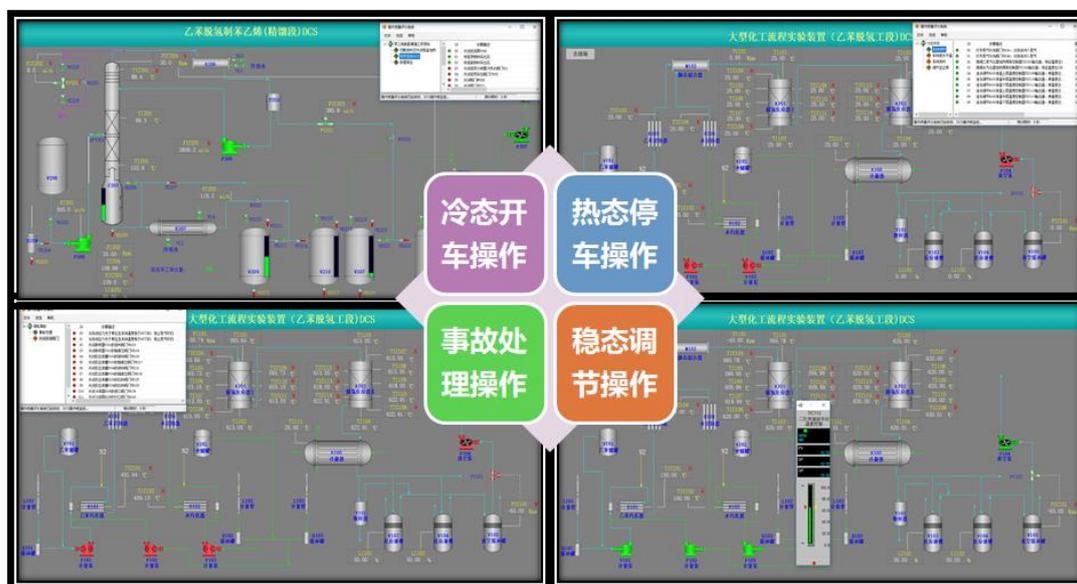
① 虚拟仿真在线共享平台：互联网、在线共享平台、系统管理云账号、专家评审账号、系统使用手册；

② 云端自主学习平台：互联网、学员机、电子讲义、操作手册、辅助操作教学视频、考核评价；

③ 可开展的操作训练：仿真开车操作训练，仿真稳态调节训练，仿真停车操作训练，仿真事故工况，装置协同操作训练。

## 四、实验步骤

本实验方法包括系统冷态开车、稳态调整、热态停车、事故处理四部分，如图所示。



(1) 仿真软件冷态开车操作

1) 反应单元

◆ 系统预热

对系统冲入氮气、微调乙苯汽化器、微调水汽化器保证温度在 150°C以上。

◆ 系统进水升温

启动水计量泵并调节泵冲程，关闭氮气，继续提高乙苯、水汽化器、过热器和反应床层温度至工艺要求值。

◆ 系统进料

当反应器的床层温度达到 500°C 左右时，启动乙苯计量泵，向系统注入乙苯，逐步提高乙苯的进料量至工艺要求值。

◆ 调节至正常

通过调节保温层加热器来保证床层温度维持在工艺要求值，通过调节真空泵入口调节阀来确保系统真空度。

2) 精馏单元

◆ 建立液位

◆ 建立压力系统

控制氮气流量为 8 mL/h 左右，调节阀门，控制精馏塔顶压力在 30 kPa 左右。

◆ 加热精馏塔建立回流

打开塔釜电加热，控制塔釜温度在 109°C 左右，打开塔顶冷却器冷却水阀，启动回流泵，建立回流。

◆ 塔顶塔底采出

◆ 调节参数

控制塔顶温度 88°C 左右，塔底采出产品苯乙烯含量大于 97%。

(2) 稳态调整操作

1) 反应单元

调节水汽比、床层温度或乙苯空速，进行工艺条件实验。

2) 精制单元

控制塔顶温度 88°C 左右、塔底采出产品苯乙烯含量大于 97%。

(3) 仿真热态停车操作

1) 反应单元

◆ 系统降温

◆ 停止进料

◆ 氮气吹扫

◆ 关闭系统阀门

2) 精馏单元

◆ 切断进料及关闭塔釜加热

◆ 塔顶塔底采出

◆ 恢复常压

(4) 仿真事故处理操作

1) 停电事故

◆ 现象:

当发生停电时,乙苯、水进料泵将停止工作,所有电加热系统也停止加热。

◆ 事故处理操作

将系统切换至常压。将塔内物料排出,回流罐内物料排出。

2) 停水事故

◆ 现象:

冷却水丧失,换热器温度升高

◆ 事故处理操作:

停止进料、降低精馏塔的加热热负荷、将塔釜电压关闭、将系统转换至常压、将塔内物料排出,回流罐内物料排出。

3) 氮气入口控制阀阀门卡事故

◆ 现象:

精馏塔塔压降低,塔顶塔底采出流量增大。

◆ 事故处理操作:

开启旁路阀门,使压力恢复 30 kPa。

4) 进料突然减小

◆ 现象:

精馏塔液位快速降低,塔釜温度变化剧烈。

◆ 事故处理操作:

减少塔顶采出流量、减少塔底采出流量、保持塔釜液位稳定、减少塔釜热负荷,使塔釜温度保持稳定、通过调节塔釜加热控制塔釜温度在 109°C 左右、最终保证塔釜采出苯乙烯含量在 97% 以上。

5) 塔釜温度突然升高

◆ 现象:

塔釜温度快速升高,液位降低,塔底压力升高。

◆ 事故处理操作:

增大回流流量保持塔顶温度、增大冷却水流量、增大回流流量、减少塔釜电压减少塔釜电压、保持塔釜温度在 109°C 左右、适当增大进口流量、适当增大进口流量,保证塔釜液位稳定。

6) 塔顶温度快速升高

◆ 现象:

塔顶温度升高,回流减少,塔顶采出增加。

◆ 事故处理操作:

◆ 增大回流流量、增大塔顶冷却器冷却水流量、适当减少塔釜电压,保持塔釜温度稳定在 109°C 左右。

## 五、参考文献

1. 朱敏. 节能型乙苯脱氢制苯乙烯催化剂的研究[D], 华东理工大学, 2002.
2. 徐志刚, 陈建春, 吴永强, 朱子彬, 朱中南. 乙苯脱氢制苯乙烯副反应及动力学[N], 中国化工学会2003年石油化工学术年会论文集, 2002.
3. 徐志刚, 钱志毅, 朱子彬, 朱中南. 多段负压绝热乙苯脱氢反应工艺[J], 华东理工大学学报, 2003, 29: 460-463.
4. 徐志刚, 朱子彬, 张成芳, 顾雄毅, 朱中南. 乙苯脱氢径向反应器的模拟和操作优化[J], 华东理工大学学报, 1999, 3: 217-220.
5. 朱志庆, 薛为岚, 唐黎华. 化工工艺学[M]. 化学工业出版社, 2016.