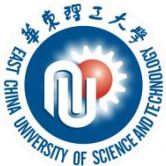


# 乙苯脱氢制苯乙烯 全流程虚拟仿真实验





# 教学安排

➤ 8:00~8:45 第1课时 项目来源与技术

➤ 8:45~9:30 自学操作手册，安装软件

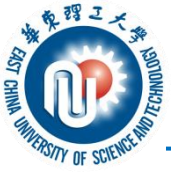
➤ 9:50~14:00 第2-6课时 仿真操作训练

根据操作手册完成反应段开车、精馏段开车训练，以最高成绩计入

➤ 14:00 ~15:30 第7-8课时 精馏段开车考核，要求达到连续稳态

要求：开车结束需记录稳定运行数据，截屏，粘贴到实验报告；

1周后将电子实验报告发送 [xinliangfang@ecust.edu.cn](mailto:xinliangfang@ecust.edu.cn)



# 教学目的

---

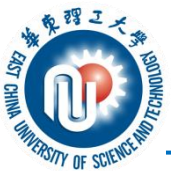
- 了解**乙苯脱氢制苯乙烯**生产方法、工艺流程、工艺指标以及乙苯负压脱氢的技术优势；
- 掌握典型化工单元过程中**主要设备构成**，并进行相关的设备搭建与组合；
- 掌握乙苯负压脱氢制苯乙烯仿真生产中的**开车**、停车、稳态调整、典型事故处置等**操作过程**；
- 掌握化工生产过程中有关温度、压力、流量等**控制方案**，理解控制器 **PID** 调节原则，了解**DCS**在现代化化工生产中的应用；
- **增强化工安全生产意识**，养成良好的安全操作习惯，提高事故的应急处置能力。

# 内容



**1. 项目来源与技术**

**2. 仿真实验操作**



# 1.1 苯乙烯

苯乙烯—高分子合成材料的重要单体

- 自身均聚，聚苯乙烯树脂
- 与丙烯腈、丁二烯共聚得ABS树脂
- 与丁二烯共聚可得丁苯橡胶及SBS塑性橡胶等
- 聚苯乙烯泡沫



ABS



SBS

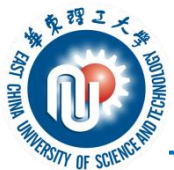


SBR



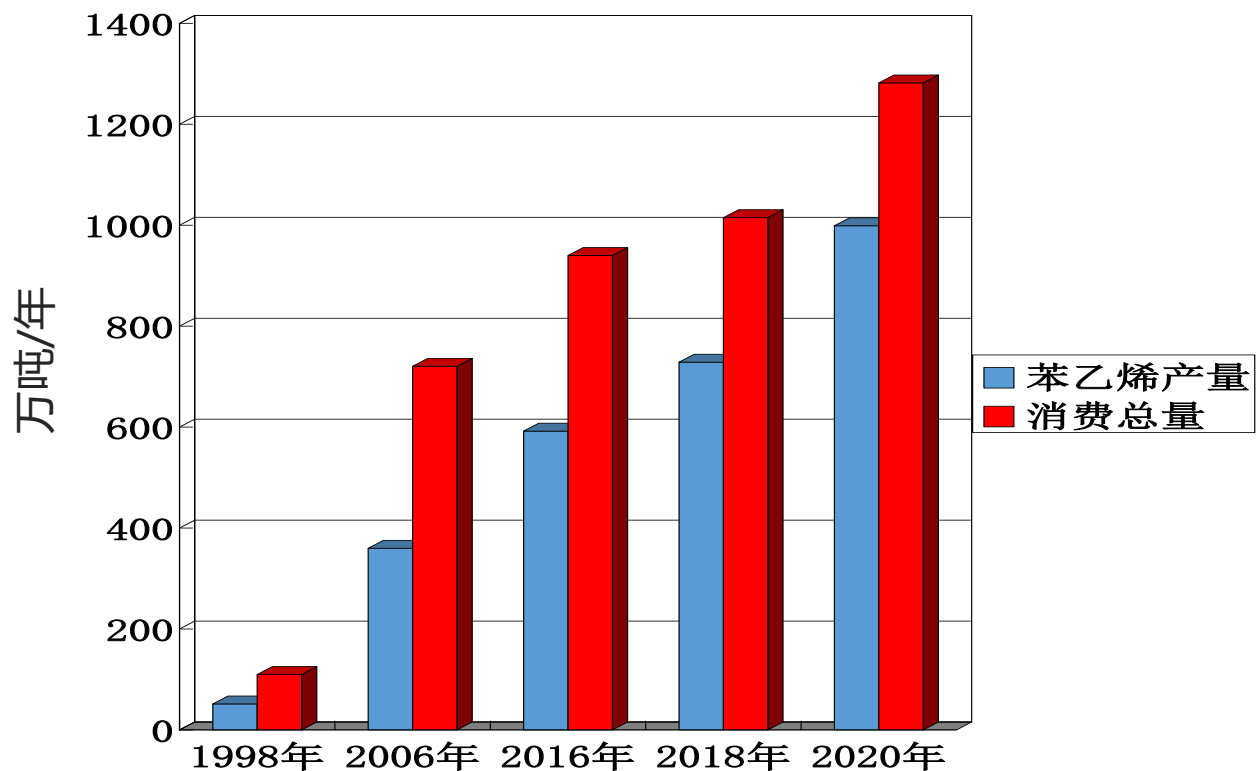
EPS

工程塑料、合成橡胶、建筑保温材料、包装材料 等



# 1.1 苯乙烯

苯乙烯是用于生产各种弹性体、塑料和树脂的重要单体。

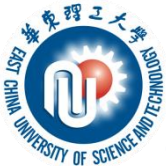


1998-2020年苯乙烯产能和消费量走势

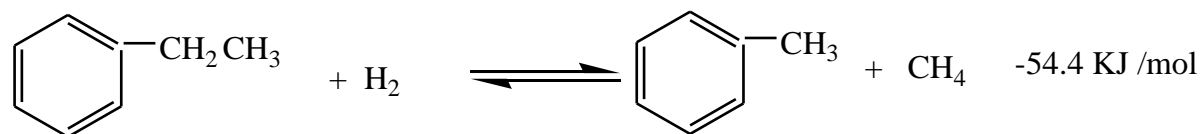
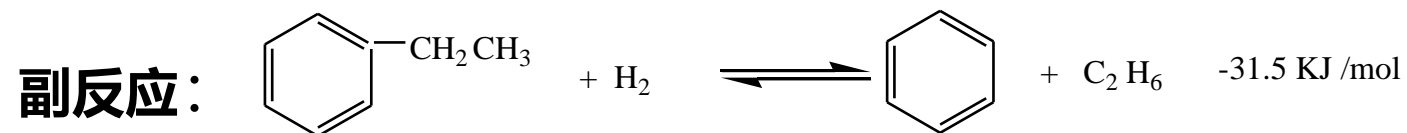
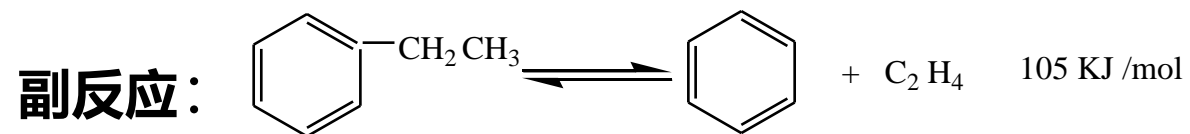
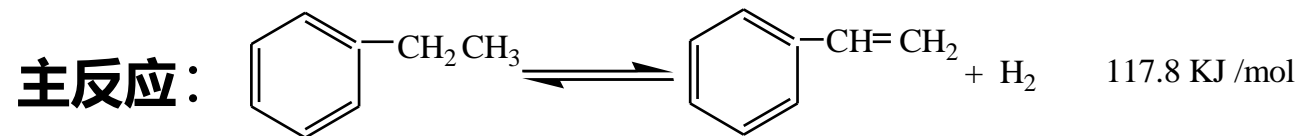
◆ 2018年，苯乙烯消费量超过1000万吨/年，国内产量760.8万吨，**自给率71.8%**。

◆ 2020年，恒力石化（72万吨）和浙江石化（2套60万吨）苯乙烯装置顺利投产，国内总产能量达999万吨，**自给率78%**。

苯乙烯自给率显著提升！

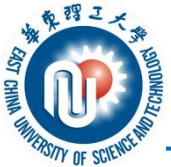


## 1.2 乙苯脱氢制苯乙烯

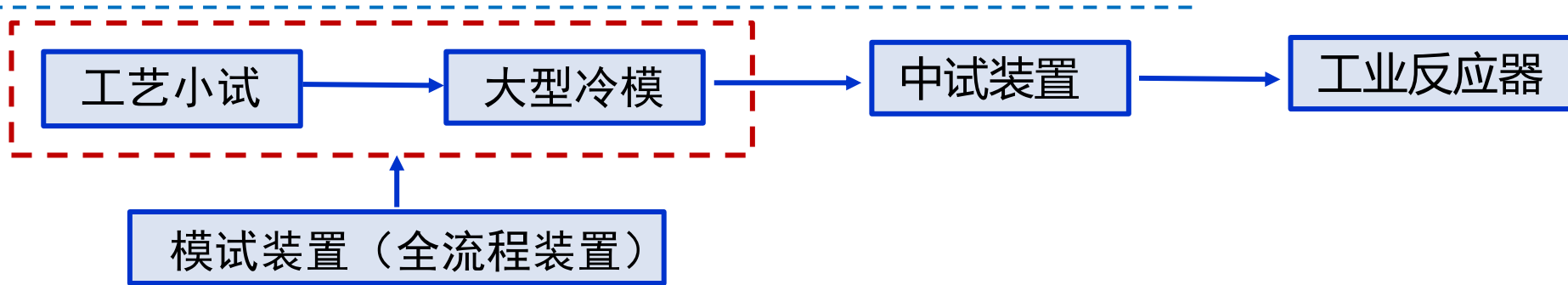


- **强吸热:** 温度对动力学和热力学影响一致, **高温**有利
- **增分子:** **负压**有利, 但压力过低会影响反应速率
- **可逆反应:** 开发**催化**剂
- **脱氢液:** 含有苯、甲苯、**乙苯**、**苯乙烯**, 粗产品需进一步分离





## 1.3 乙苯脱氢反应器



- **工艺小试（反应特性）**

在单管等温反应器中完成工艺条件优选，例如考察不同**温度**对反应转化率、选择性的影响，考察不同**水/乙苯进料比**、乙苯**液空时速**、**催化剂尺寸**的影响。

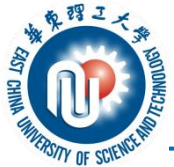
- **大型冷模（传递特性）**

研究反应器中的流体力学行为，例如**反应床层的速度场**、**压力场**等。

- **全流程实验（稳定性）**

收集间隙到连续过程的重要数据，比如乙苯脱氢反应**催化剂考评（再生、热稳定性）**，反应器类型（**两段绝热反应器**），物料循环使用和回收利用等。





## 1.3 乙苯脱氢反应器（产学研案例）



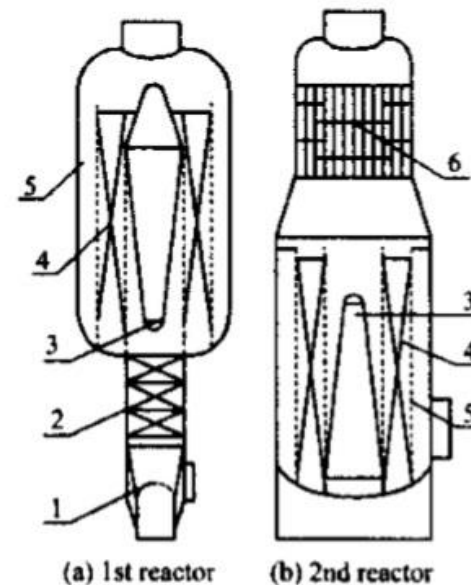
**工艺小试装置**  
(单管等温反应器)



**全流程模试装置**  
(两段绝热反应器)



**大型冷模装置**  
(轴径向流动反应器)



**工业装置**  
(两段绝热反应器)

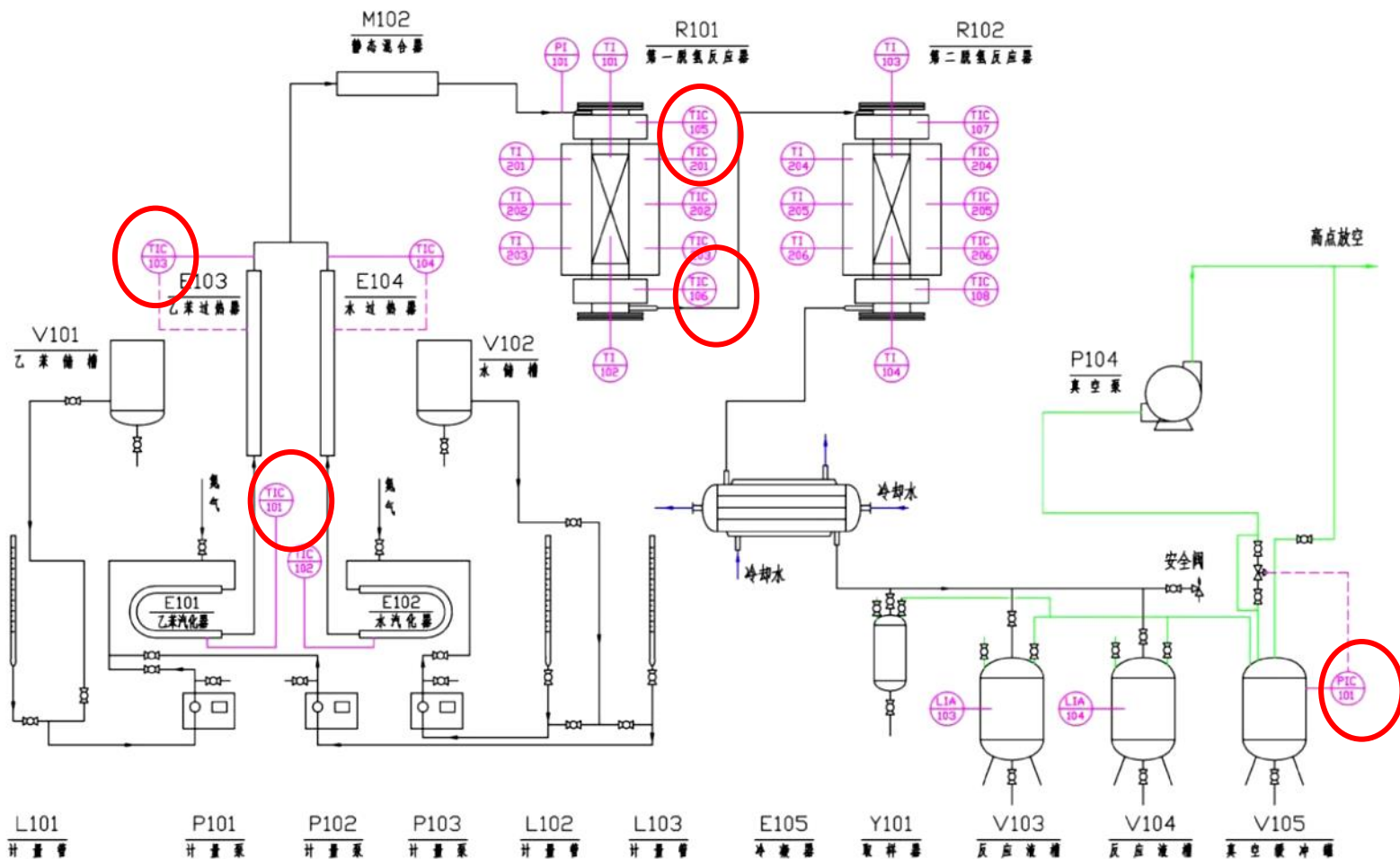
朱子彬教授领衔开发“轴径向反应器”应用于乙苯负压脱氢制苯乙烯工业装置，荣获国家、中石化集团公司科技进步奖，上海市技术发明奖等；戴迎春教授的乙苯脱氢制苯乙烯催化剂开发项目

案例介绍链接：<http://s.ecust.edu.cn/portal/schoolCourseInfo/hlszcourse>

《化工过程分析与开发》：乙苯脱氢轴径向反应器开发



# 1.4 反应段工艺



## • 反应器设备选型

两段绝热反应器，直径5cm，催化剂床层总高90cm，催化剂装填量1766ml；



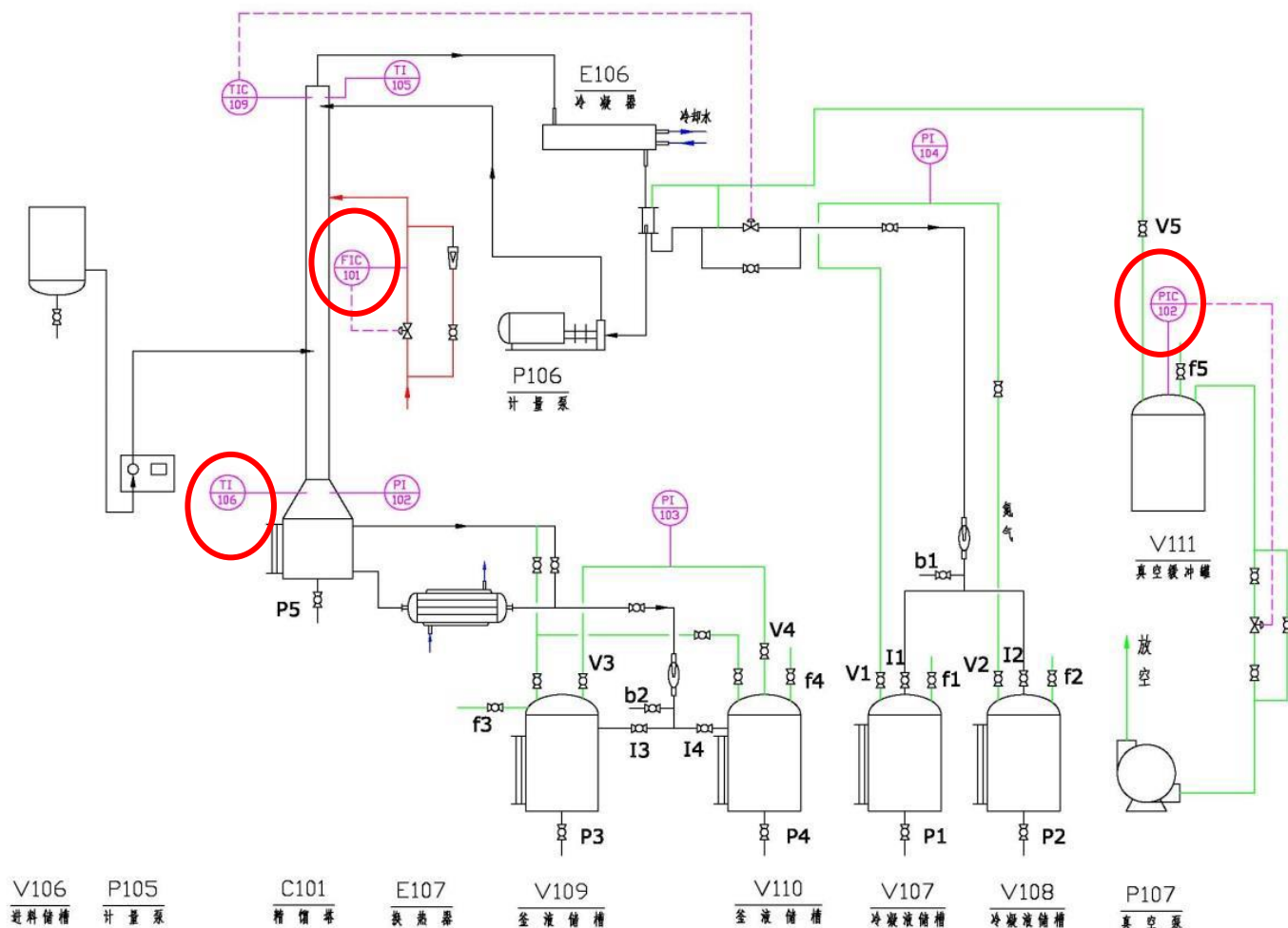
反应器进出端装有加热铁块，有利于段间加热物料，保温层采用电热丝加热，其温度与反应床层温度一致，原料由过热水蒸气加热。

## • 脱氢反应操作

操作压力	$P_{\text{表}} = -65\text{kPa}$
乙苯进料速度	1 L/h
水烃比	1.3~1.8 (wt)
乙苯液时空速	$\text{LHSV} = 0.3\sim 0.6\text{hr}^{-1}$
第1反应器入口温度	$T_{\text{in1}} = 590\sim 620^\circ\text{C}$
第2反应器入口温度	$T_{\text{in2}} = 595\sim 625^\circ\text{C}$

设备：反应器 (R) 储罐 (V) 泵 (P) 换热器 (E) 混合器 (M) ； 控制器：TIC (汽化器、过热器、保温层等) PIC (真空系统)

# 1.5 精制段工艺



## 精馏塔设备选型

乙苯 (136.2°C) 和苯乙烯沸点 (145.2°C) 相差小, 采用**高效**填料塔, 苯乙烯容易自聚, 塔釜温度应低于**109°C**, 因此采用**真空**精馏。

本装置采用 $\phi 4*4\text{mm } \theta$  环不锈钢压延填料, 每米塔段理论板为25~33 块, 精馏段高度为1.2 m, 提馏段高度为1.4 m。

## 精馏段操作条件

操作压力	$P_{\text{表}} = -70\text{kPa}$
粗苯乙烯进料:	500 ml/h
回流比	$R = 7 \sim 8$
塔顶温度	$T \approx 88^\circ\text{C}$
塔釜温度	低于109°C
为稳定塔压, 氮气	8 ml/h

•主要设备: 精馏塔 (C), 储罐 (V), 泵 (P), 换热器 (E); 控制器: TIC (塔釜温度), PIC (塔顶压力, FIC (塔顶回流液、氮气)

# 目的

1. 项目来源与技术



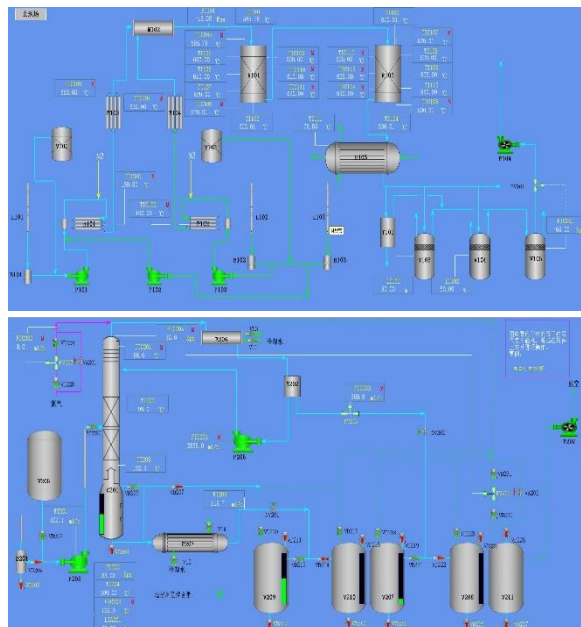
2. 仿真实验操作



## 2.1 虚拟仿真实验特点

- ✓ 关键设备特征
- ✓ 熟悉工艺流程
- ✓ 冷态开车操作
- ✓ 正常停车操作
- ✓ 典型事故处理

虚拟仿真实验内容



虚拟仿真软件界面

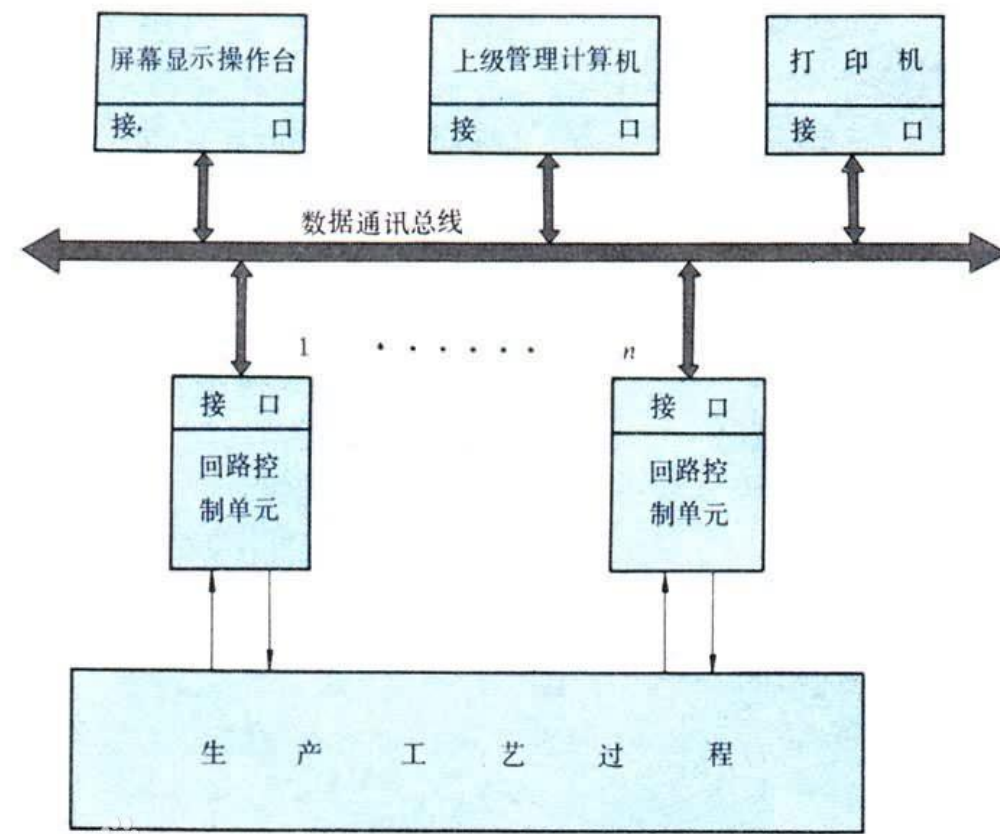


乙苯全流程实验装置

- “真”：模拟真实生产的操作环境（DCS），有真实的生产氛围。
- “仿”：学生在软件上的操作被反馈给后台数据模型，数据模型通过计算，仿照真实生产产线各项参数给予反馈，使操作者获得与实际操作相仿的体验。

## 2.2 DCS控制系统

- **DCS: Distributed Control System**分散控制系统
- **DCS系统采取控制回路分散化和数据管理集中化的策略**，全部信息经通信网络由上位计算机监控、操作；单个控制回路出现故障不会波及整体
- 工业装置的大型化、连续化必然与过程的检测、控制和管理集中化紧密联系，**在石化、冶金、电力等**各行各业广泛应用。



分散控制系统示意图

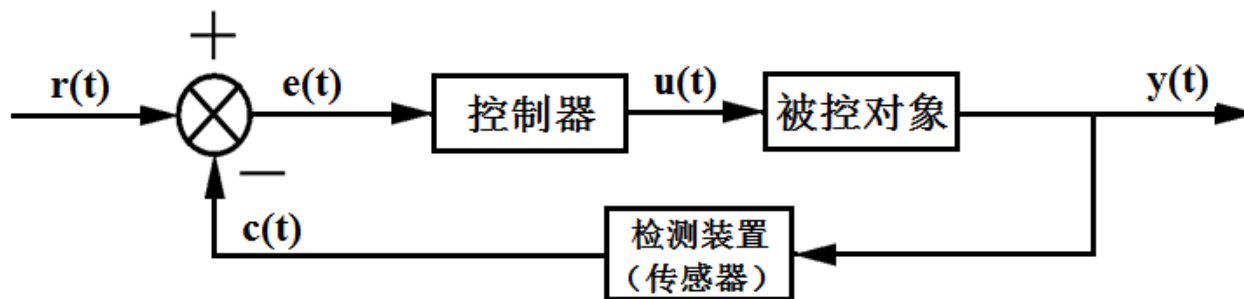


## 2.3 PID调节技术

□ **闭环控制系统：**被控量 $y(t)$ 的检测值 $c(t)$ 与给定值 $r(t)$ 进行比较，形成偏差值 $e(t)$ ，控制器以 $e(t)$ 为输入，按**一定的控制规律**形成控制量 $u(t)$ ，通过 $u(t)$ 对被控对象进行控制，最终使得被控量 $y(t)$ 运行在与给定值 $r(t)$  对应的某个值上。

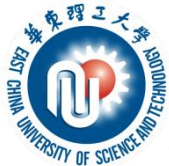
□ **PID调节：**比例（P）、积分（I）、微分（D），代表三类控制规律；

□ **PID应用：****PID具有稳定性好、可靠的特点**，在自动控制系统中， 超过**80%**采用**PID调节技术**。



闭环控制系统原理框图





## 2.4 控制器使用方法

### TIC、PIC、FIC控制器参数

**PV**: 是过程值，即实际的测量值；

**SP**: 是设定值，设定某一点的值；

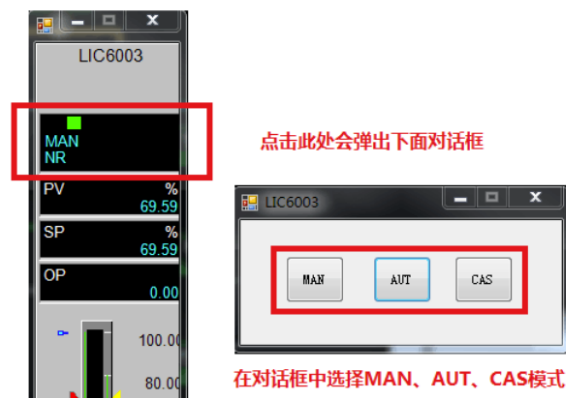
**OP**: 是输出给执行机构的控制信号，是手动设置时的阀门开度，例如：输出信号4~20mA，手动设置为4，阀门全关；手动设置为20，阀门全开；手动设置为12，阀门开度为50%；手动设置为16，阀门开度为75%.....

### 控制策略：

当过程值（PV）远离设定值（SP）时，采用手动模式（Manual），设置OP值；

当过程值（PV）达到或接近设定值（SP）时，采用自动模式（Auto），控制器将按照PID自动调节OP值。

在DCS图中通过PID控制器调整气动阀、电动阀和电磁阀等自动阀门的开关关闭。在PID控制器中可以实现自动/AUT、手动/MAN、串级/CAS三种控制模式的切换。



【AUT】计算机自动控制。

【MAN】计算机手动控制。

【CAS】串级控制。两只调节器串联起来工作，其中一个调节器的输出作为另一个调节器的给定值。

【PV 值】实际测量值，有传感器测得。

【SP 值】设定值，计算机根据 SP 值和 PV 值之间的偏差，自动调节阀门的开度；在自动/AUT 模式下可以设定此参数。

【OP 值】计算机手动设定值，在 DATA 处输入 0~100 的数据调节阀门的开度；在手动/MAN 模式下调节此参数。

**END !**

