

生产过程流程模拟与仿真 暑期实习内容介绍

控制系自动化实验中心

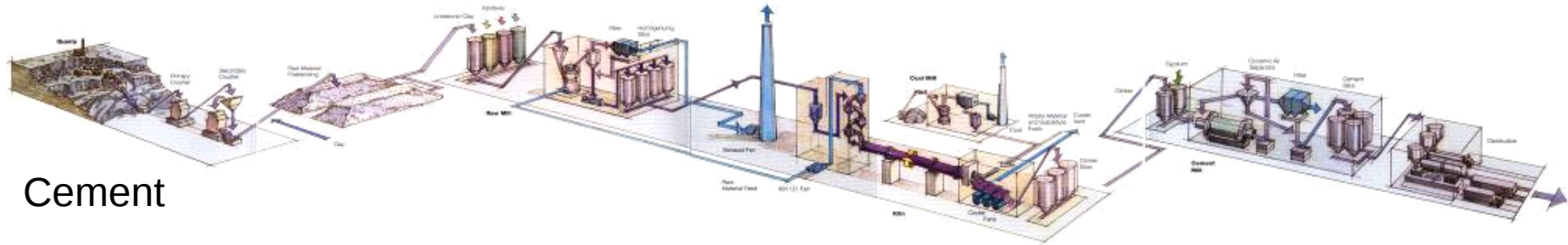
冯毅萍

2012年6月22日

目录

- 流程模拟与仿真概述
- 仿真实习内容
- 实习分组及具体安排

流程工业：炼油、石化、钢铁、水泥、造纸...



Metals and Minerals
(金属和矿物)
Glass production
Chemical



Continuous flow of materials, often 24 hours a day

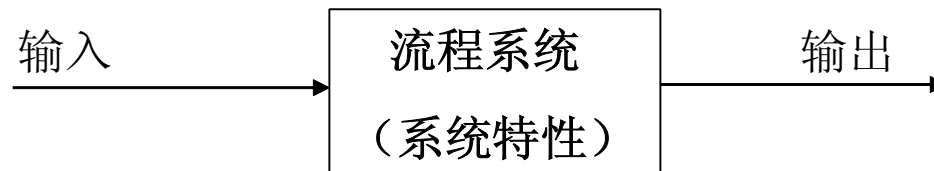
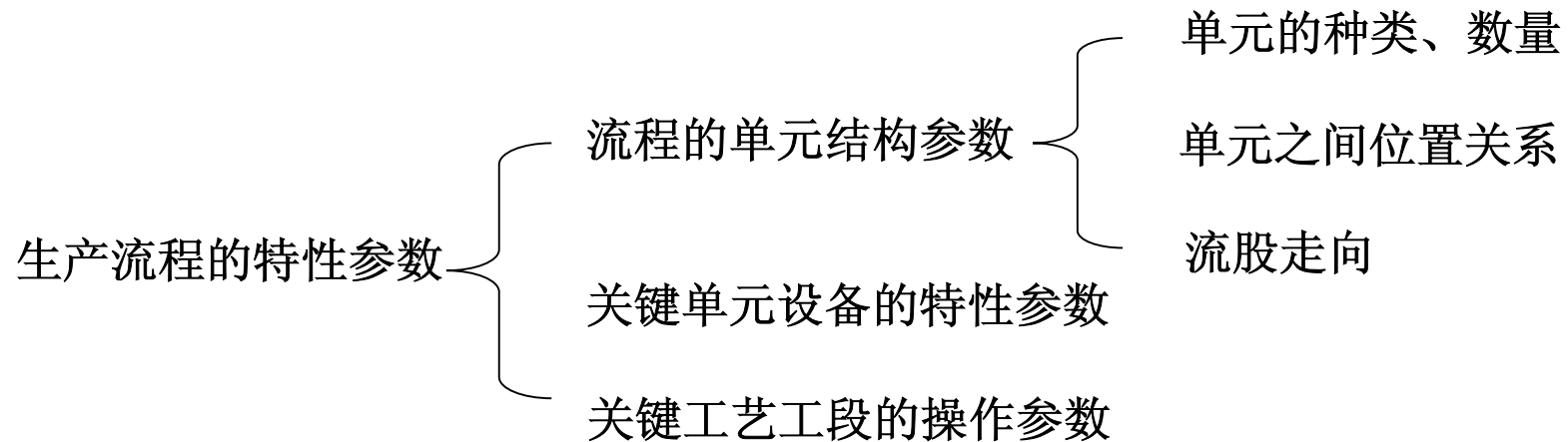
生产过程流程模拟的基本概念

- **生产流程**：为了实现一定目的，由若干相互联系、彼此影响的单元设备组成的生产过程，与外界有**物料流、能量流、信息流**的输入与输出
- 以工艺过程的**机理模型**为基础,数学方法描述生产过程
- **过程物料衡算、热量衡算、能量分析,环境和经济评价**
- 从系统的角度来**认识、分析、预测**生产中深层次的问题,进行装置调优、流程剖析和过程综合,达到**优化生产、节约资源、环境友好、提高经济效益**的目的

用途：

- 新装置设计
- 旧装置改造
- 新工艺、新流程的开发研究
- 生产过程调优
- 疑难问题诊断
- 仿真培训等

生产过程流程模拟的基本概念：生产过程特性

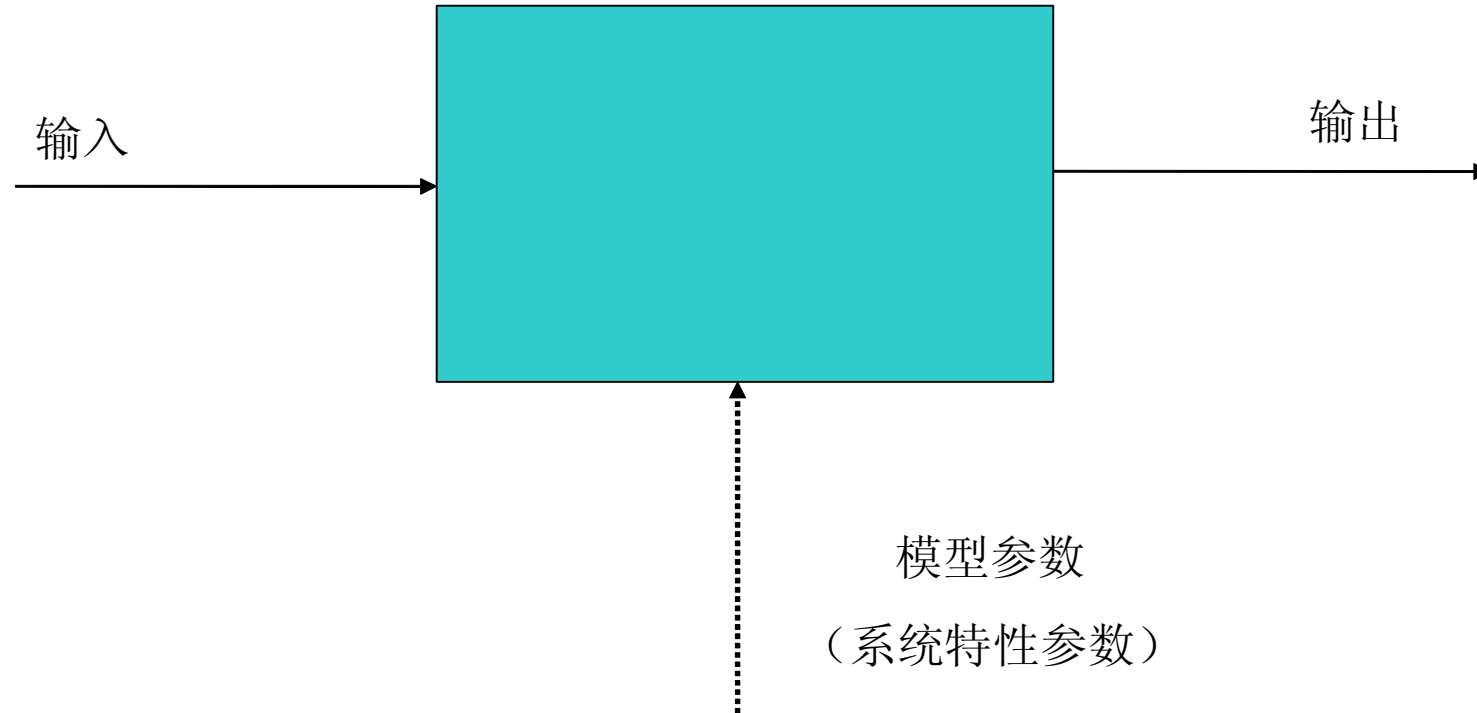


工况特性： “输入—系统特性—输出”之间的规律性联系。

系统模拟与分析： 在系统特性已知的前提下，给定其输入，预测分析其输出，这一分析过程称为生产流程系统分析。

生产过程流程模拟的基本概念

流程模拟是进行流程分析的有力手段



流程模拟

物理模拟：用真实的物理试验手段研究某个生产过程

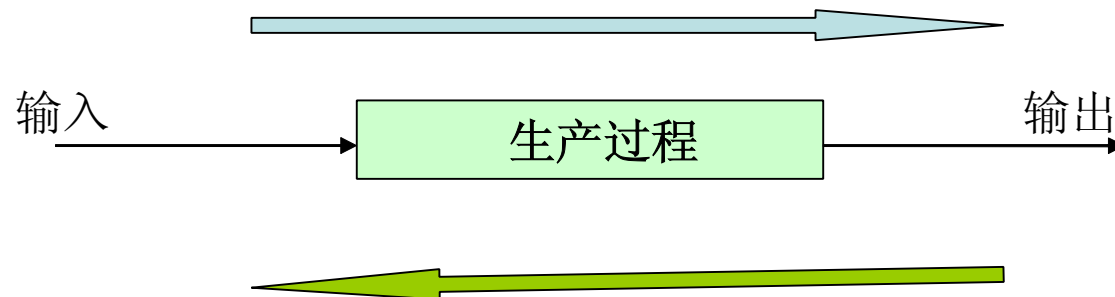
（成本高，灵活性小，可靠性相对较高）

数学模拟：计算机仿真

（成本低，灵活性大，可靠性相对较低）

生产过程流程模拟的基本概念：模拟及设计

模拟问题：已知输入求所对应的输出



设计问题：已知部分输出及过程特性求输入条件

- 正向试差法模拟计算
- 将输出规定改写成模型求解的约束条件方程

生产过程流程模拟的基本概念：模型的种类

机理模型（白箱模型）：基于严格机理，可靠性最强。建模成本昂贵，通常用于理论研究，实际生产过程中应用较少。

半经验半机理模型（灰箱模型）：模型框架靠理论分析建立，模型参数通过试验和经验确定。具有很高的实用价值。

经验模型（黑箱模型）：纯经验模型。一般出现在对系统机理一点不掌握，只能通过试验获得其输入—输出之间的对应关系。

这类模型在模型试验范围内可靠性较好，但超过试验范围的外推性较差。这类模型在生产领域出现的几率也很小。

生产过程流程模拟的基本概念：模型方程形式

生产过程模型方程的形式决定于：

- ①、稳态还是动态过程：时间变量是否引入
- ②、集总参数模型还是分布参数模型：空间坐标变量是否引入？

对稳态集总参数模型：代数方程（组）

对动态集总参数模型：以时间为变量的常微分方程（组）

对稳态分布参数模型：以空间为变量的常微分方程（组）或偏微分方程组

对动态分布参数模型：以时间和空间为变量的偏微分方程组

生产过程流程模拟的基本概念：模型的建立

半经验半理论模型的建立一般分二步进行：

第一步：模型识别（确定模型的骨架（框架）形式）

依据：“三传一反”、**MB**、**HB**等，以及试验观察到的现象。

第二步：模型参数估计（估值）

依据：试验数据代入模型中，用数值方法进行处理。

例如：针对 **$A \rightarrow B + C$** ，要建立其反应动力学模型

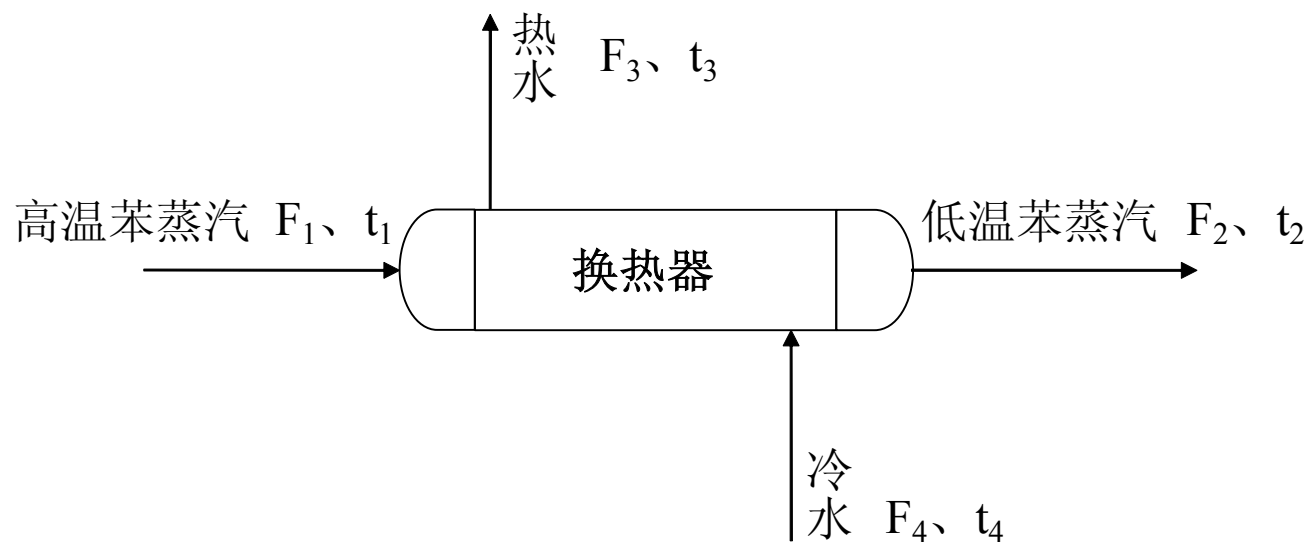
首先，确定动力学方程框架：
$$r_A = \frac{dC_A}{dt} = kC_A^i$$

然后，确定以上动力学方程模型中的参数（**k**、**i**）：

设计试验，得到 **$C_A - t$** 的对应数据，再用最小二乘法、单纯形法、**Powell**共轭法等数值方法完成模型参数估值。

生产过程流程模拟的基本概念：模型实例

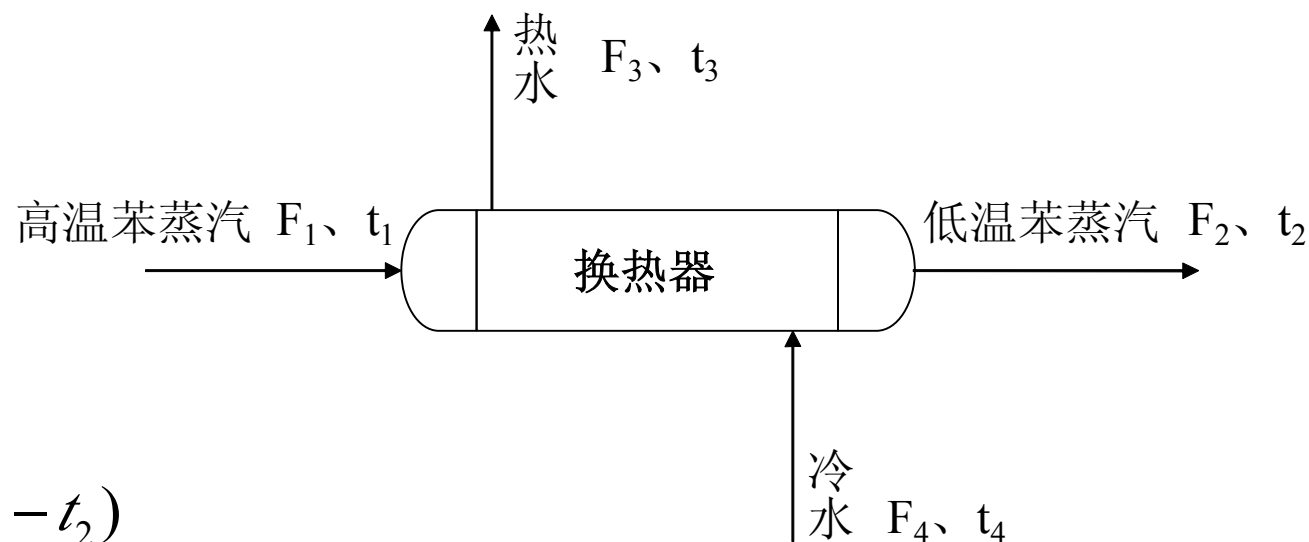
一、换热器模型及其模拟分析



目的：回收高温苯蒸汽的热量。

要求：列出该换热系统的通用模型。

通用模型



$$A = \frac{Q}{U \Delta t_m}$$

$$Q = F_1 c_{p(\text{苯})} (t_1 - t_2)$$

$$F_1 c_{p(\text{苯})} (t_1 - t_2) = F_4 c_{p(\text{水})} (t_3 - t_4)$$

$$\Delta t_m = \frac{[(t_2 - t_4) - (t_1 - t_3)]}{\ln \frac{t_2 - t_4}{t_1 - t_3}}$$

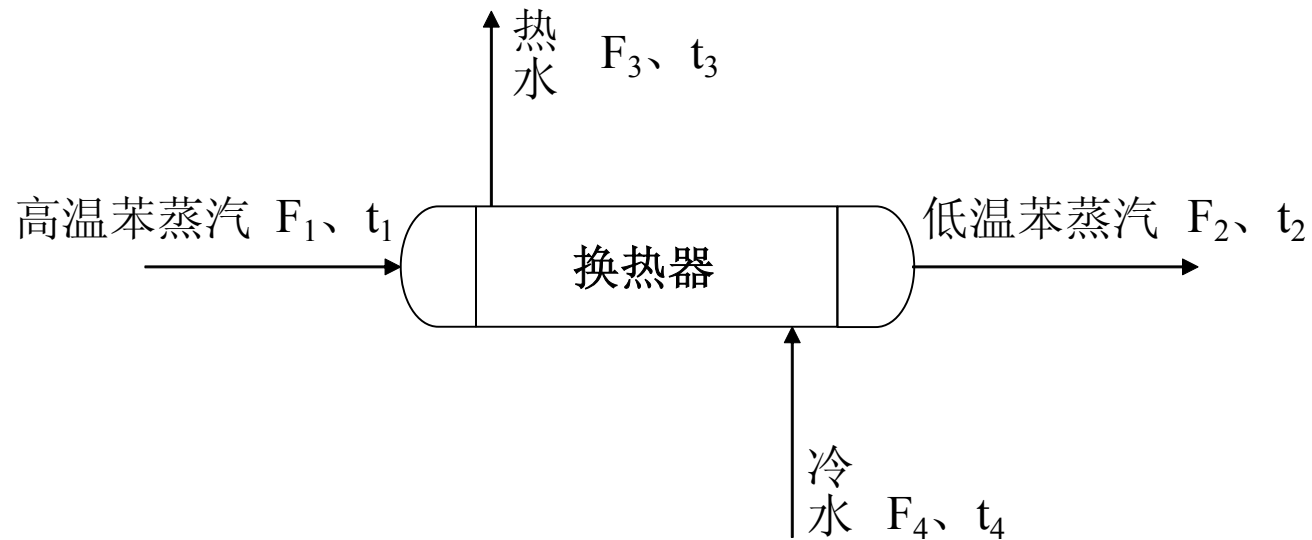
$$F_2 = F_1$$

$$F_3 = F_4$$

其中：**U**（总传热系数）、**c_p（苯）**、**c_p（水）** 为常数

系统的模拟型问题

模拟型问题：已知系统特性，根据已知输入，来计算输出。

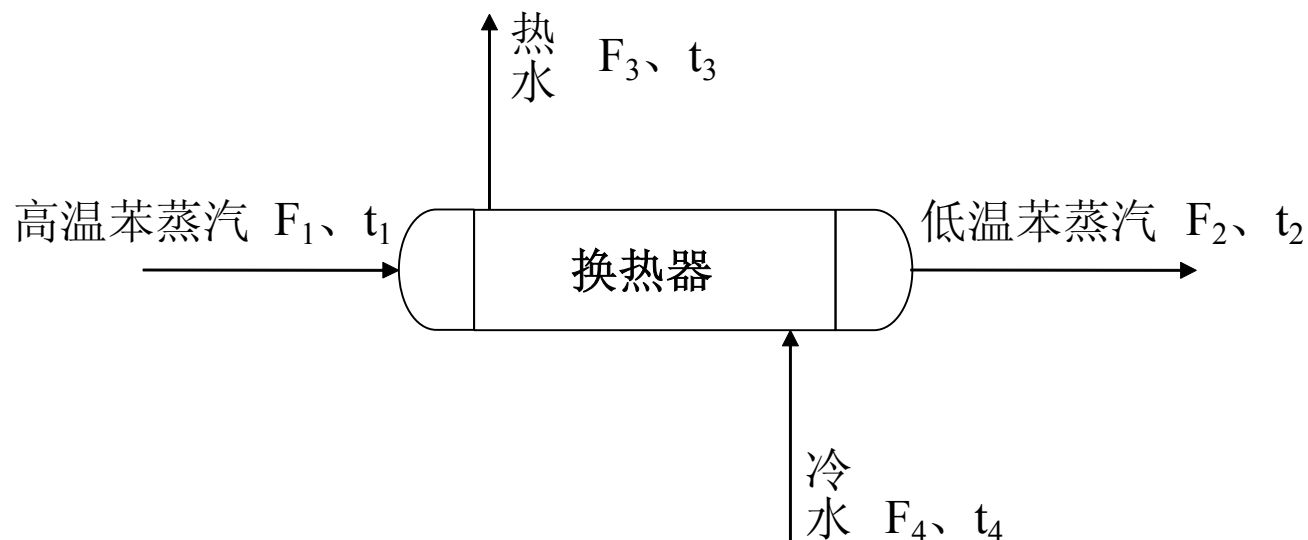


已知：A、 F_1 、 F_4 、 t_1 、 t_4

计算求解： F_3 、 F_2 、 t_3 、 t_2 、 Q 、 Δt_m

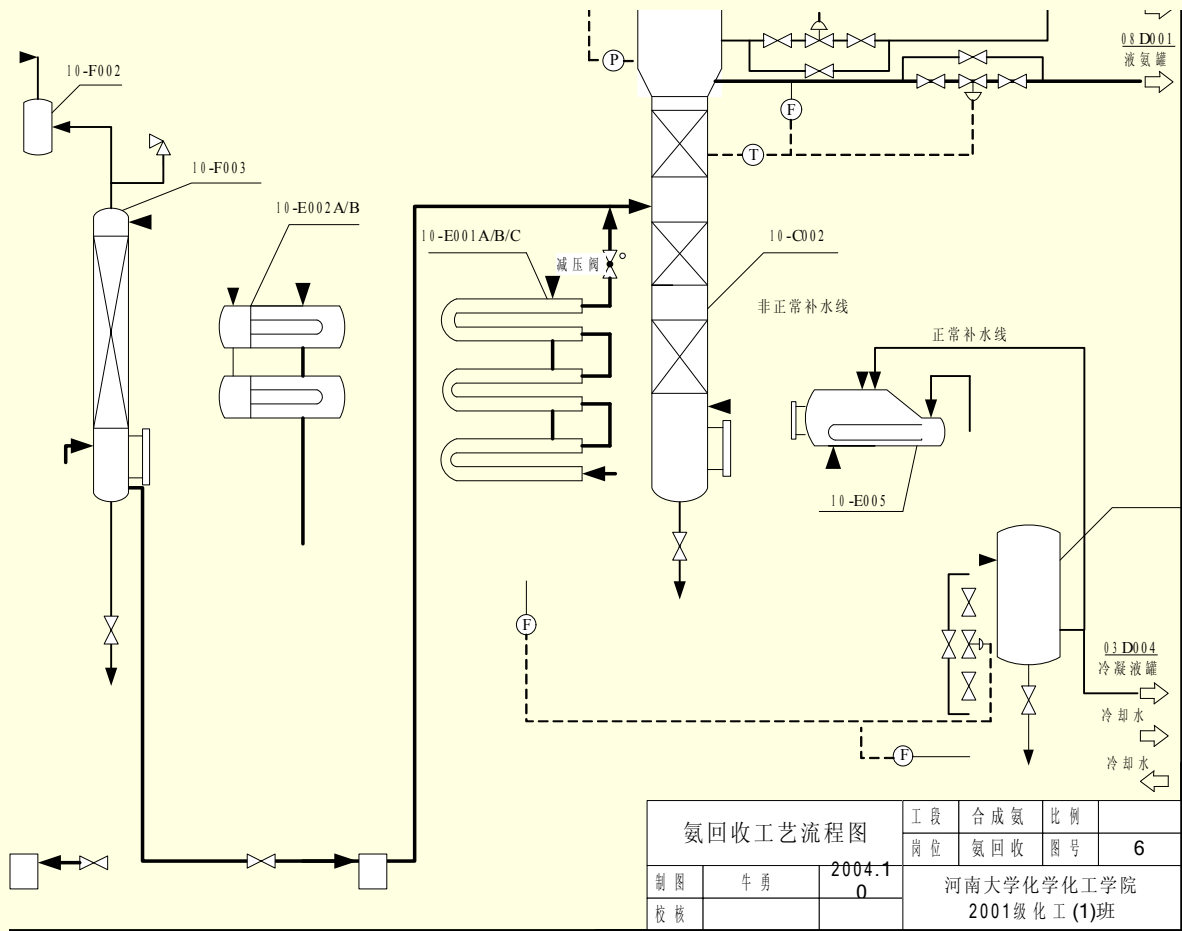
通用模型的自由度是**5**，因此，模拟型问题能解决。

系统的设计型问题

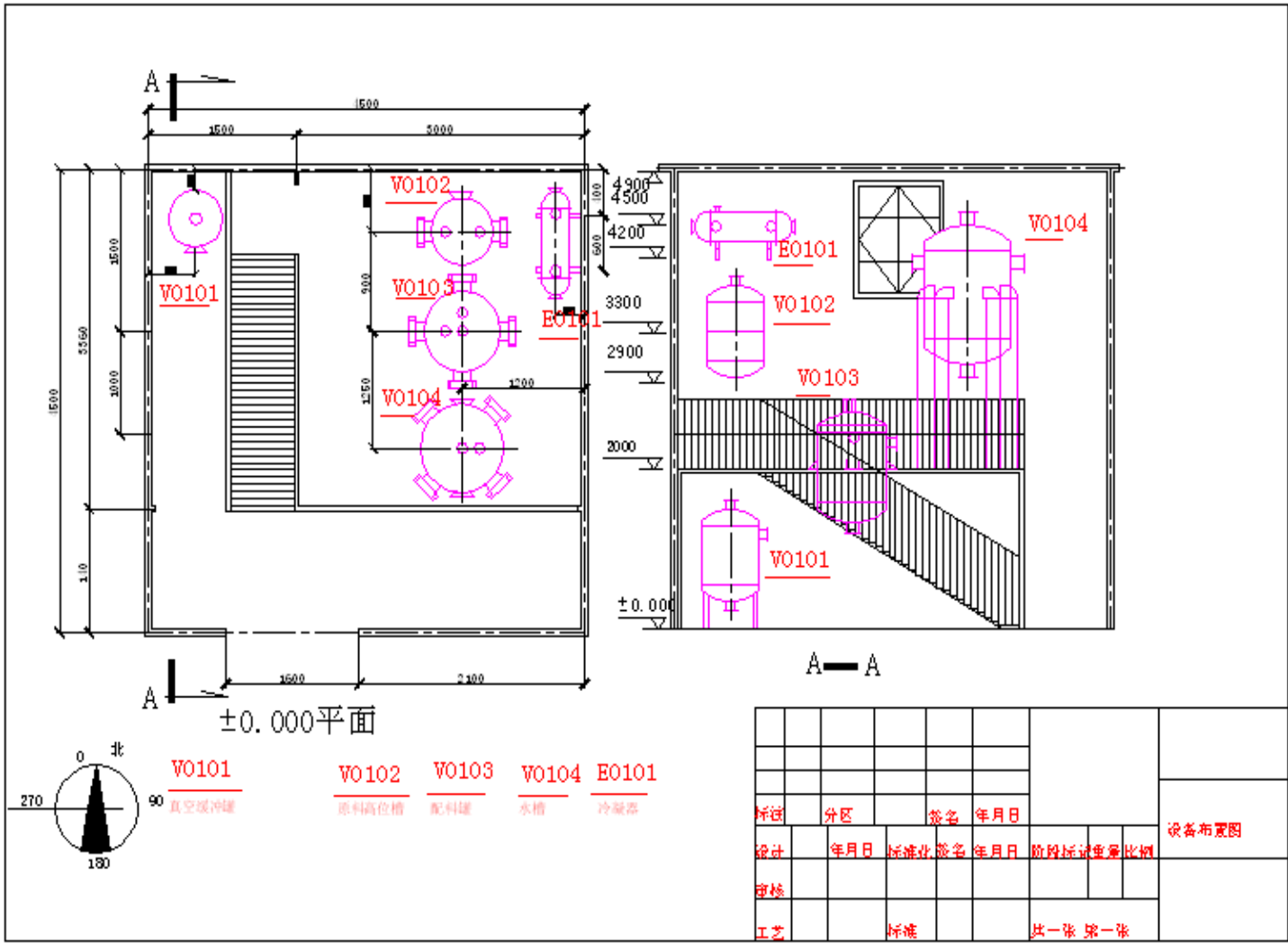


- ①、如果要求 t_2 已知（苯蒸汽出口温度限制），并已知输入 F_1, t_1, F_4, t_4 。
反过来求系统特性 A 和其它未知输出 $F_3, t_3, F_2, Q, \Delta t_m$
- ②、如果要求 t_3 已知（热水出口温度已知），并已知输入 F_1, t_1, F_4, t_4 。
反过来求系统特性 A 和其它未知输出 $F_3, t_2, F_2, Q, \Delta t_m$
- ③、已知： F_1, t_1, t_2, t_3, A 。
求： $F_4, F_3, F_2, t_4, Q, \Delta t_m$

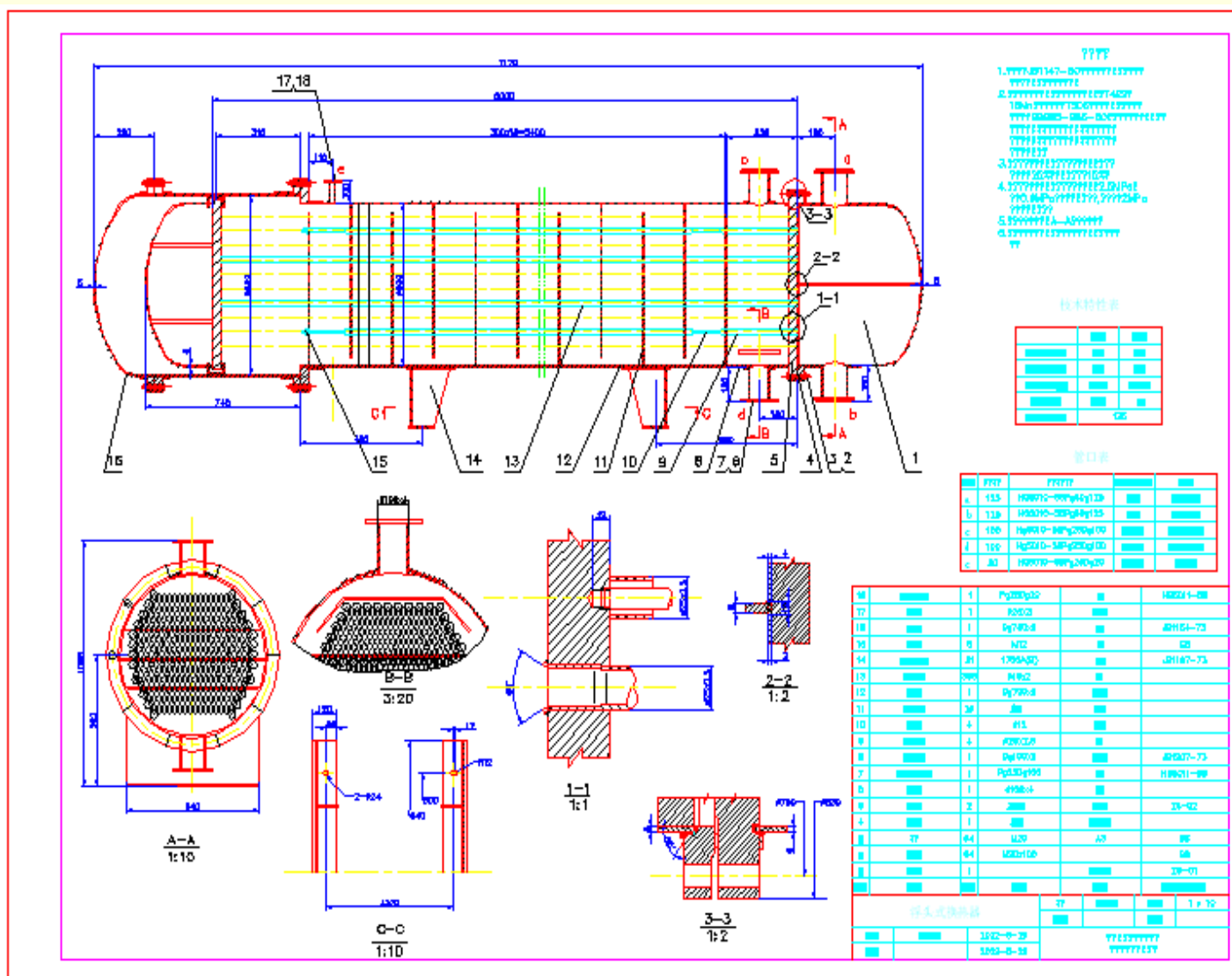
生产过程流程模拟的应用：辅助流程设计



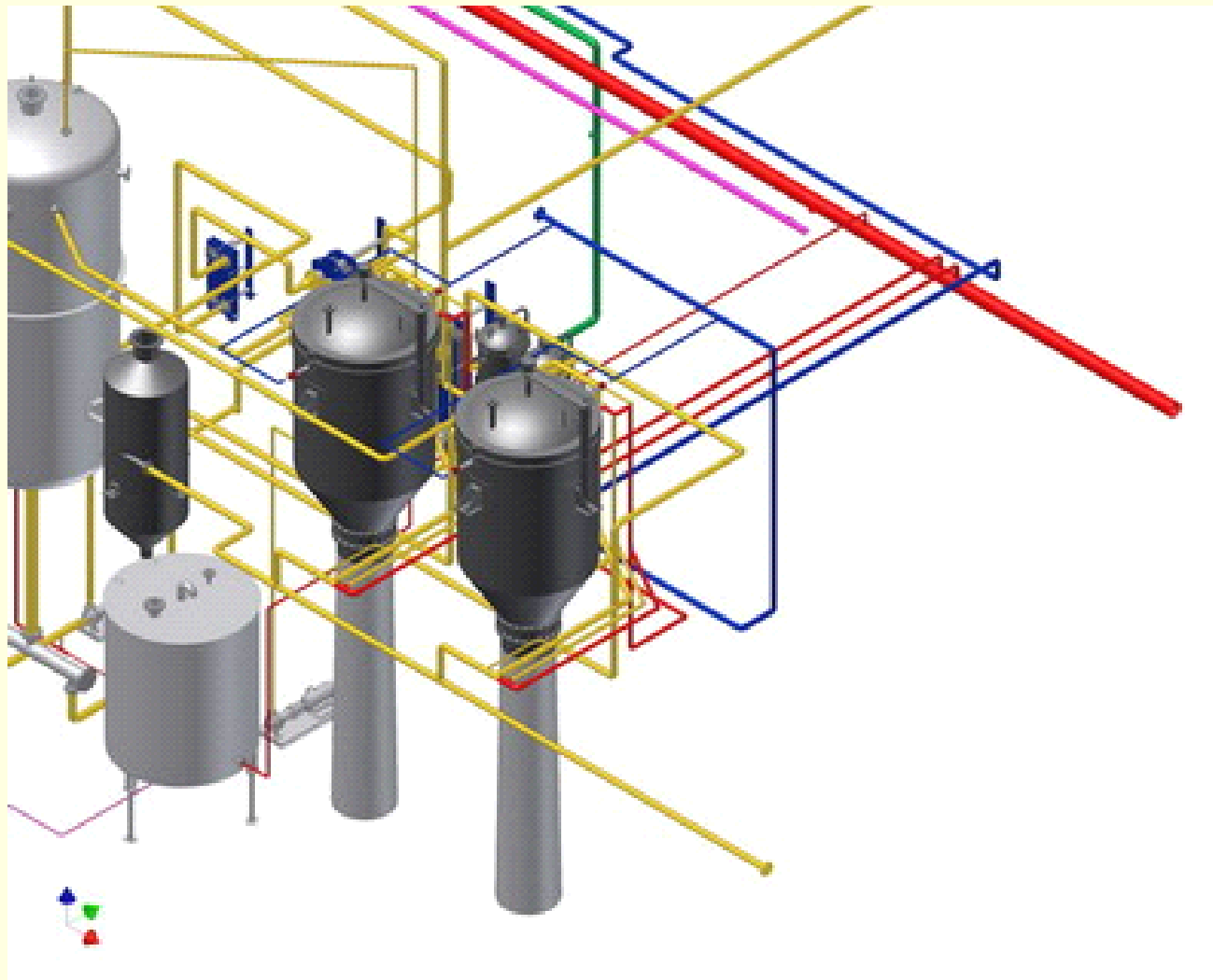
生产过程流程模拟的应用：辅助流程设计

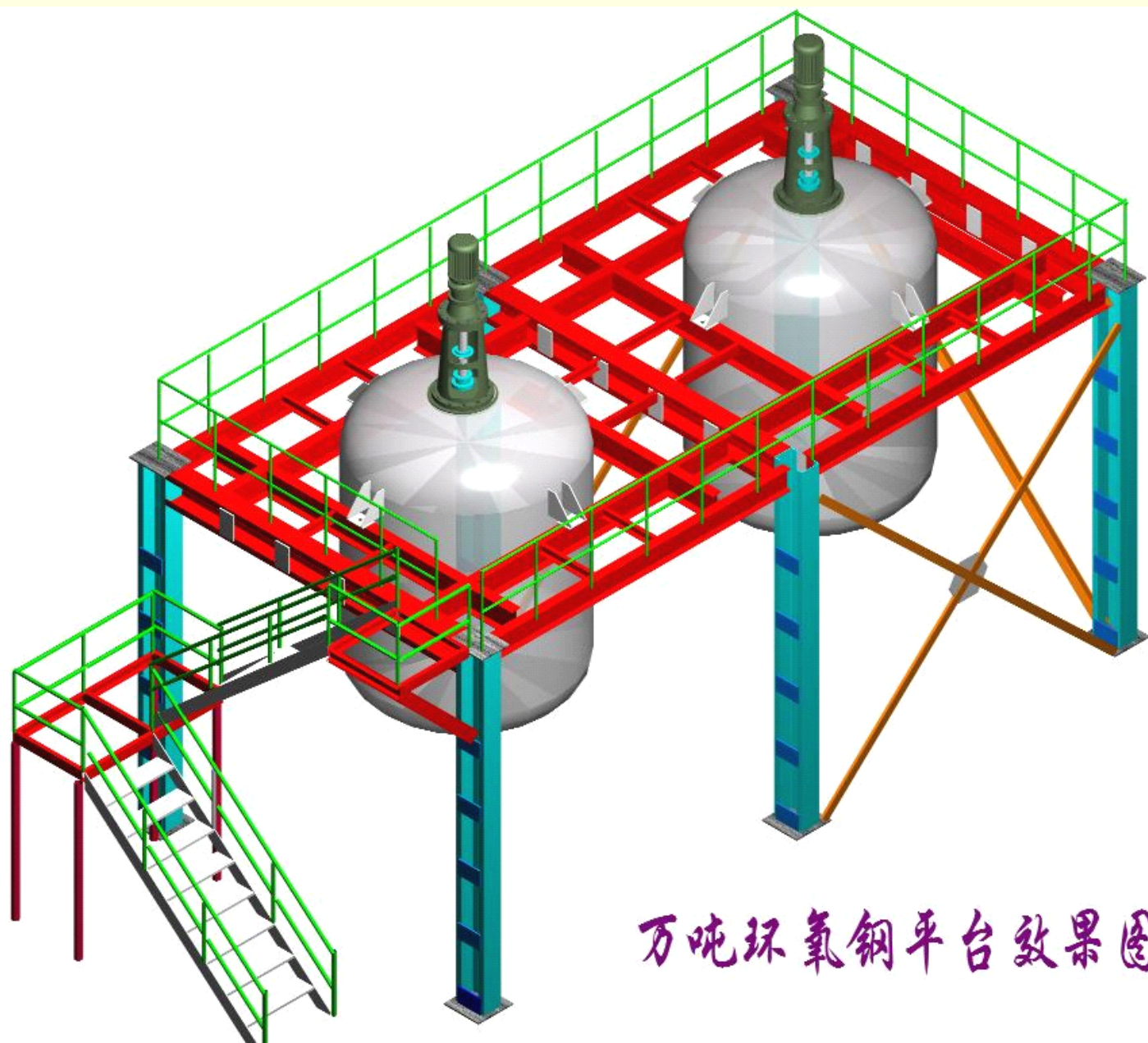


生产过程流程模拟的应用：辅助流程设计

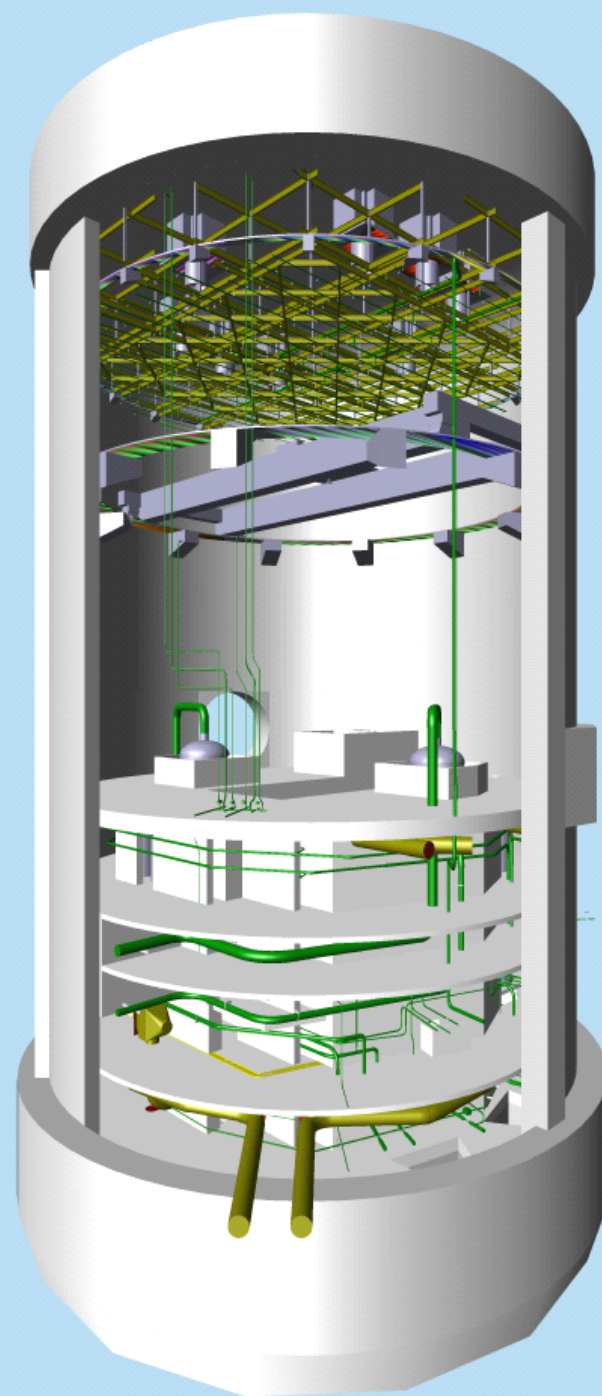
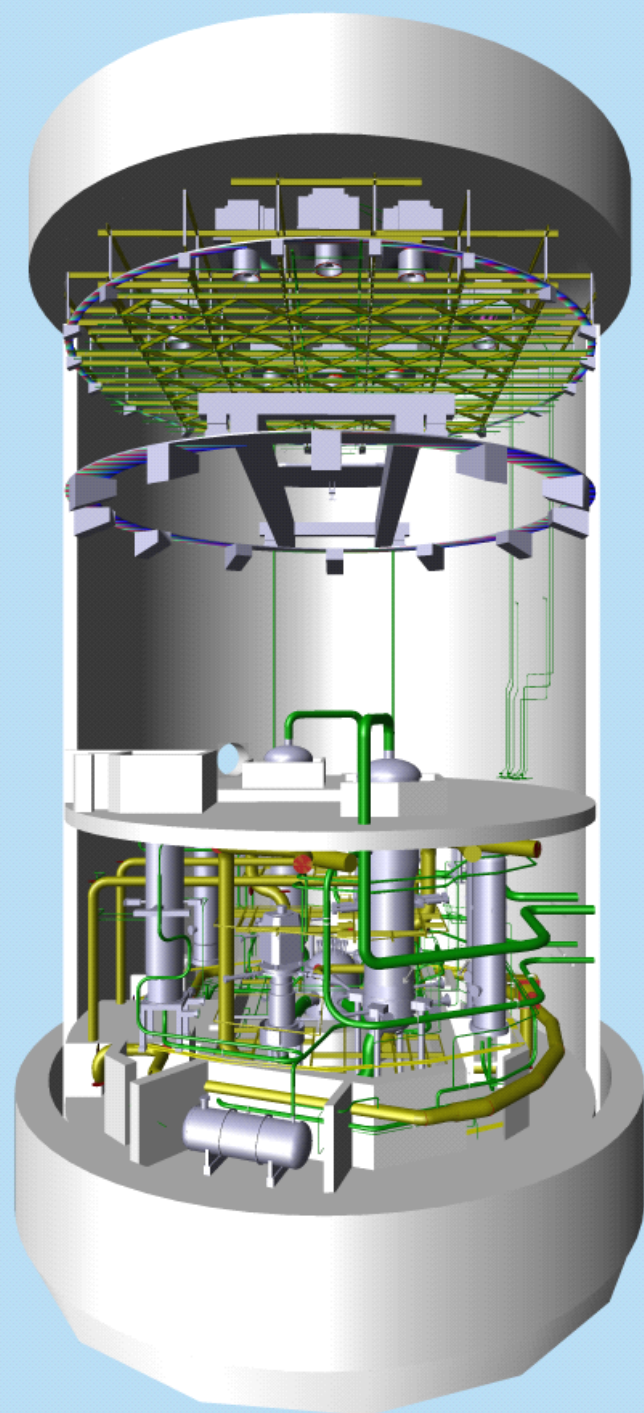


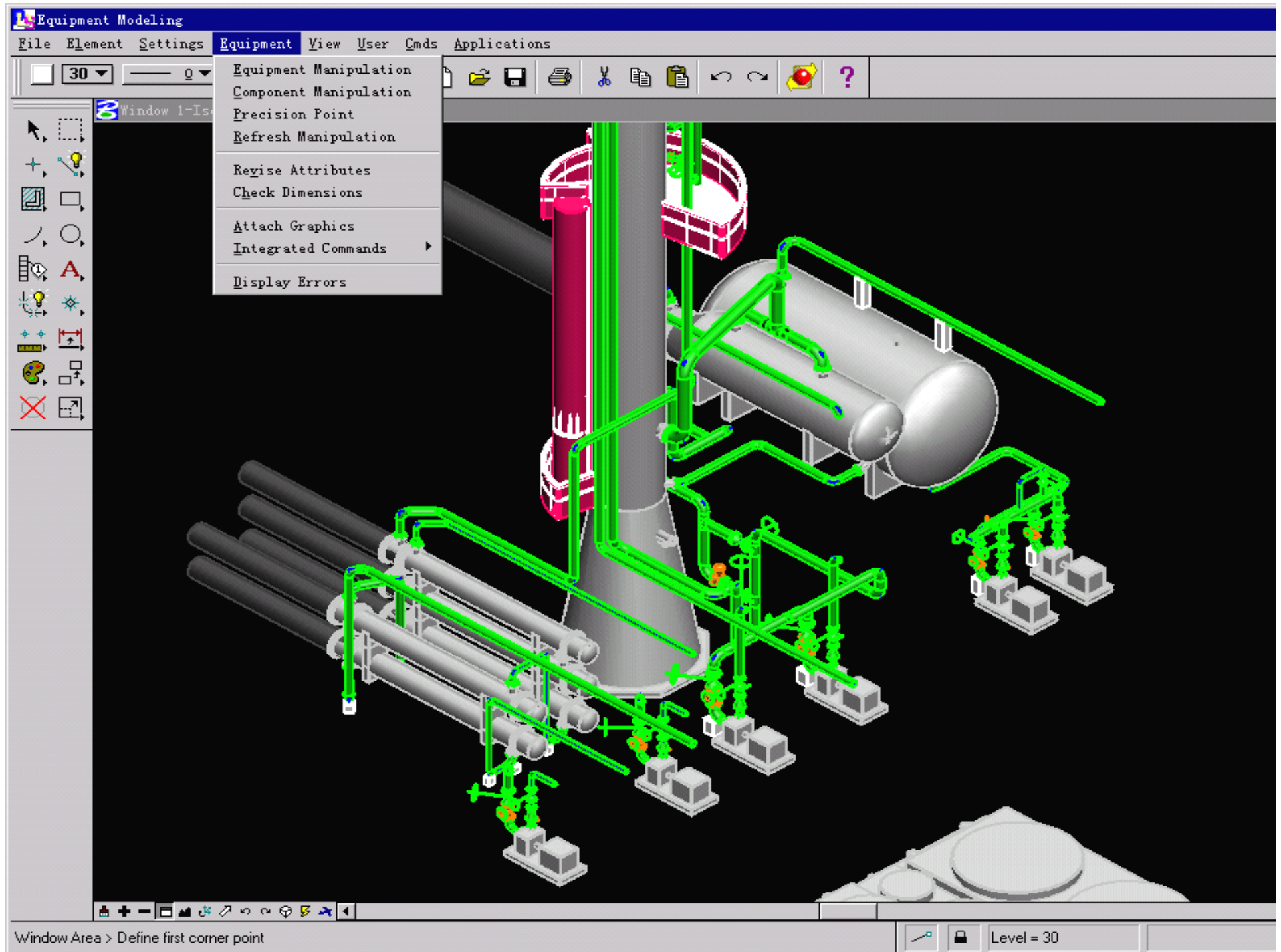
生产过程流程模拟的应用：辅助流程设计





万吨环氧钢平台效果图





生产过程流程模拟的应用：生产运营优化

生产计划是企业生产运营优化的核心。对供应、生产、销售、存储各环节进行综合优化，以合理配置各种资源，充分发挥企业的生产能力，提高经济效益和社会效益。

- 由人工依靠经验编制生产计划过渡到以数学模型为基础的计算机辅助生产计划
- 滚动式编制的多周期生产计划
- 充分考虑不确定性对生产计划的影响

生产过程流程模拟的应用：生产运营优化

基于确定性规划的企业供应链模型

1. 目标函数

$$\max f(x) = IN - OUT$$

$$IN = \sum_t In_t = \sum_t \sum_p \sum_k Pp_{tpk} \cdot Qps_{tpk}$$

$$OUT = CM + CU + CP + CS + CT + CI + COT + CO + CF$$

$$NP = f(x) - TAX$$

$$TAX = \sum_t Tax_t = \sum_t \sum_x Rx_x \cdot Qv_{tx}$$

2. 周期内系统约束

- 工艺约束
- 市场约束
- 能力约束
 - ◆ 加工能力约束
 - ◆ 运输能力约束
 - ◆ 库存能力约束

3. 各周期间产品、原料、能源的平衡关系

4. 指标性约束

- 对各周期末产品、原料、能源库存的约束
- 对各周期可用采购资金的约束

生产过程流程模拟的应用：生产运营优化

不确定条件下的企业生产计划模型

1. 企业生产运营中的不确定性

- 产品需求与价格的不确定性
- 原料供应与价格的不确定性
- 能源供应与价格的不确定性
- 运输的不确定性
- 管理、操作人员决策的不确定性
-

目标函数：

$$\text{Max } f(x) = \tilde{I}N - \tilde{C}M - CU - CP - CS - CT - CI - COT - CO - CF$$

$$\tilde{I}N = \sum_t \tilde{I}n_t = \sum_t \sum_k \sum_p \tilde{P}p_{tpk} \cdot Qps_{tpk} \quad \text{为销售收入}$$

$$\tilde{P}p_{tpk} = (\tilde{P}p_{tpk}^L, \tilde{P}p_{tpk}^M, \tilde{P}p_{tpk}^U)$$

为第t周期产品p在销售市场k的价格，采用三角模糊数，上标L、M、U表示市场价格的悲观值、可能值、乐观值。

$$\tilde{C}M = \sum_t \tilde{C}m_t = \sum_t \sum_j (\tilde{P}m_{tqj} \cdot Qmb_{tqj}) \quad \text{为原材料采购费用}$$

$$\tilde{P}m_{tqj} = (\tilde{P}m_{tqj}^L, \tilde{P}m_{tqj}^M, \tilde{P}m_{tqj}^U)$$

为第t周期从供应市场j采购原料q的价格，采用三角模糊数，上标L、M、U表示市场价格的悲观值、可能值、乐观值。

系统约束

- 工艺约束
- 市场约束

$$Qps_{tpk} \leq \tilde{Q}ps_{tpk}^{Max}$$

$$Qmb_{tqj} \leq \tilde{Q}mb_{tqj}^{Max}$$

$$\tilde{Q}ps_{tpk}^{Max} = (\tilde{Q}ps_{tpk}^{MaxL}, \tilde{Q}ps_{tpk}^{MaxM}, \tilde{Q}ps_{tpk}^{MaxU})$$

$$\tilde{Q}mb_{tqj}^{Max} = (\tilde{Q}mb_{tqj}^{MaxL}, \tilde{Q}mb_{tqj}^{MaxM}, \tilde{Q}mb_{tqj}^{MaxU})$$

- 能力约束

各周期间产品、原料、能源的平衡关系

指标性约束

非负约束

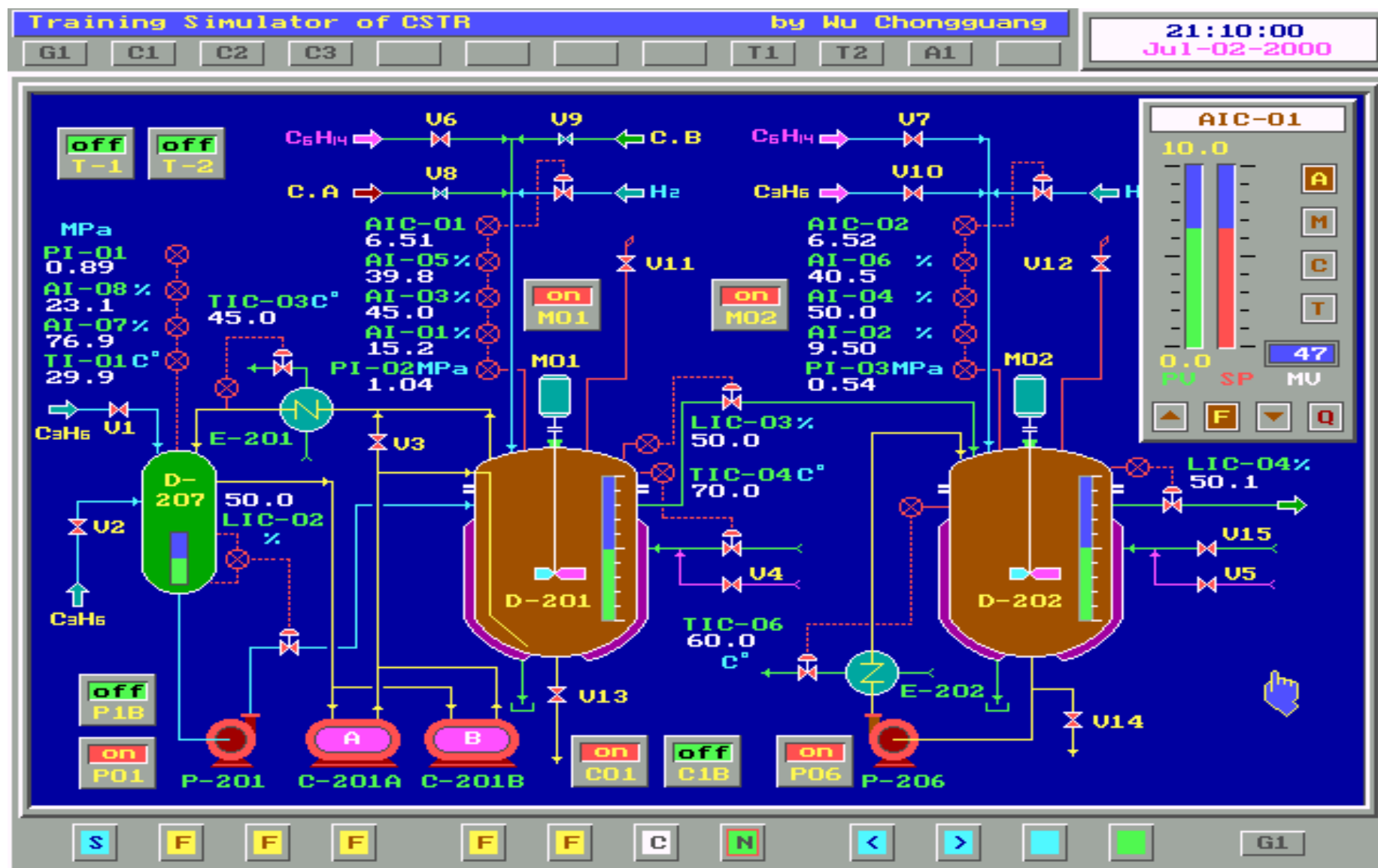
生产过程流程仿真实习的目标

- 了解基本单元操作方法（工业化方法）
- 增强对工艺过程的了解（对流程的悟性）
- 熟悉计算机控制系统及操作（达到熟练程度）
- 训练“数值化”反应及理解能力（素质一）
- 训练对“动态过程”的反应及理解能力（素质二）
- 学习安全和规范化操作（国际标准）
- 学习复杂控制系统的投运（现代常识）
- 训练对事故的响应和分析能力（素质三）
- 训练排除故障的能力（高手）

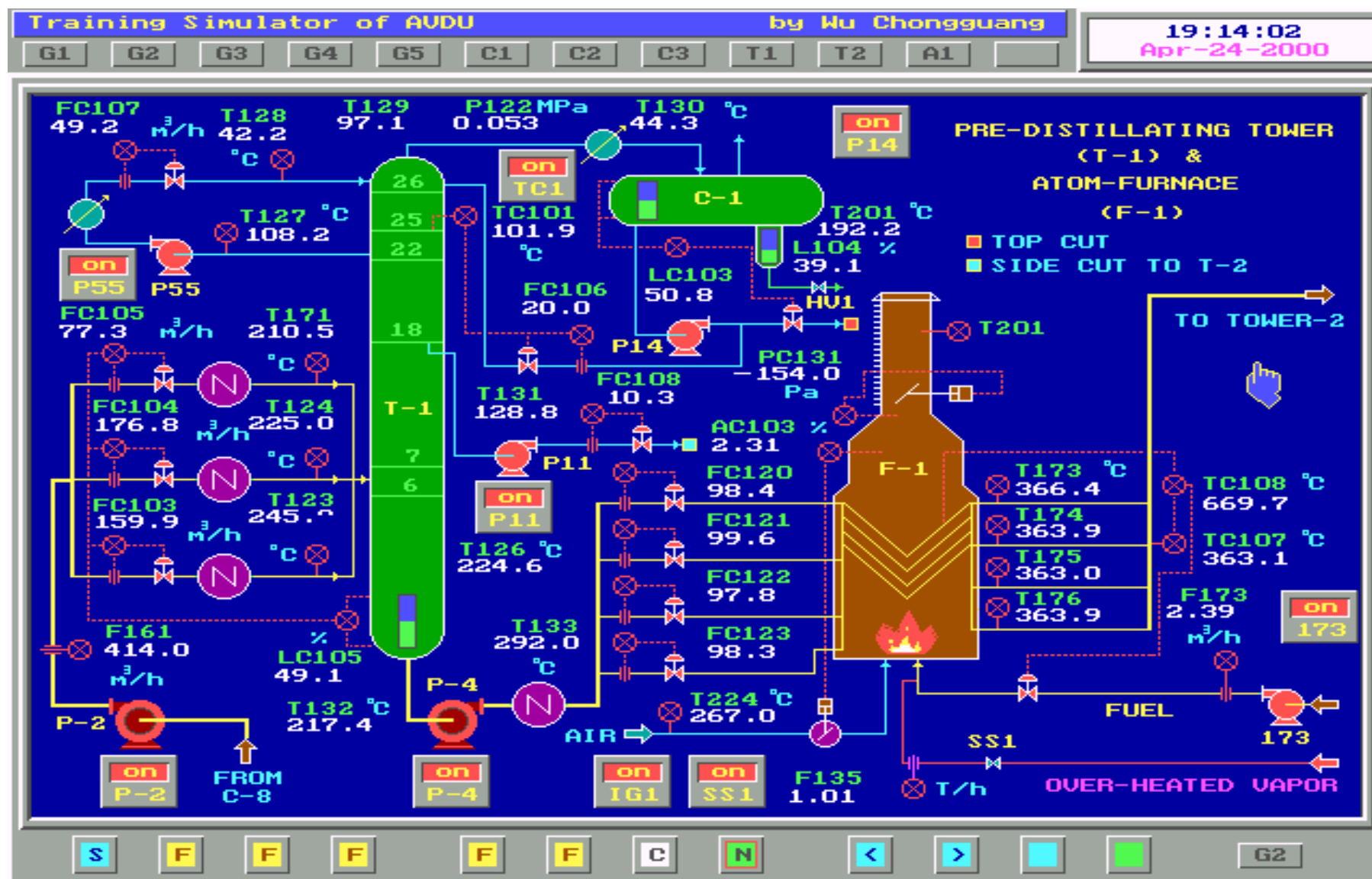
生产过程仿真实习的具体内容： 典型化工生产流程的模拟与仿真操作

/simu/pum	pum.exe	离心泵及液位
/hex	hex.exe	热交换器
/wfy	wfy.exe	透平及往复压缩
/bat	bat.exe	间歇反应
/jbx	jbx.exe	丙烯聚合反应
/tdw	tdw.exe	精馏系统
/xst	xst.exe	吸收系统
/fur	fur.exe	加热炉
/gl	gl.exe	锅炉系统
/zh	zh.exe	三十万吨/年合成氨转化

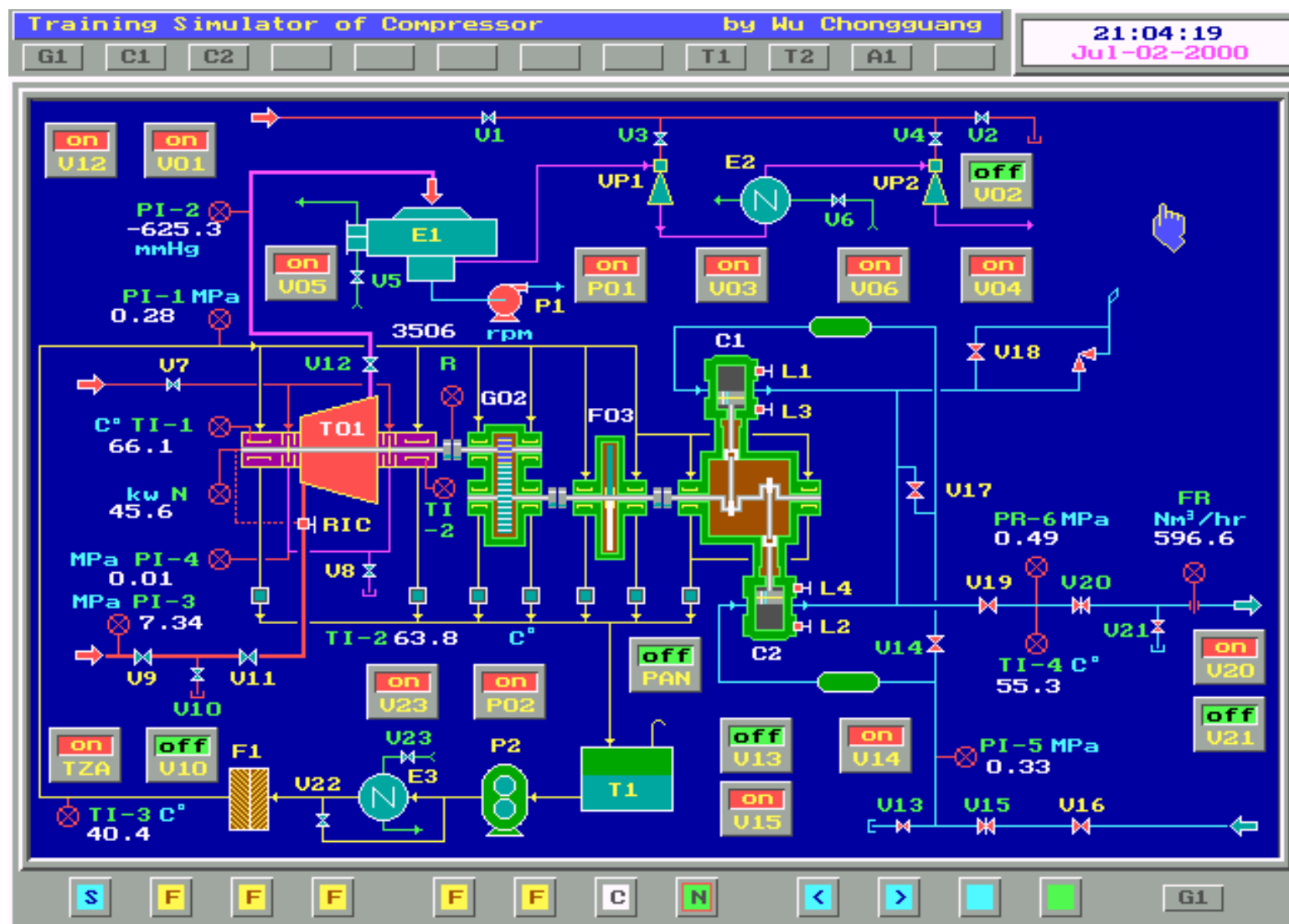
流程仿真软件：连续反应工艺流程



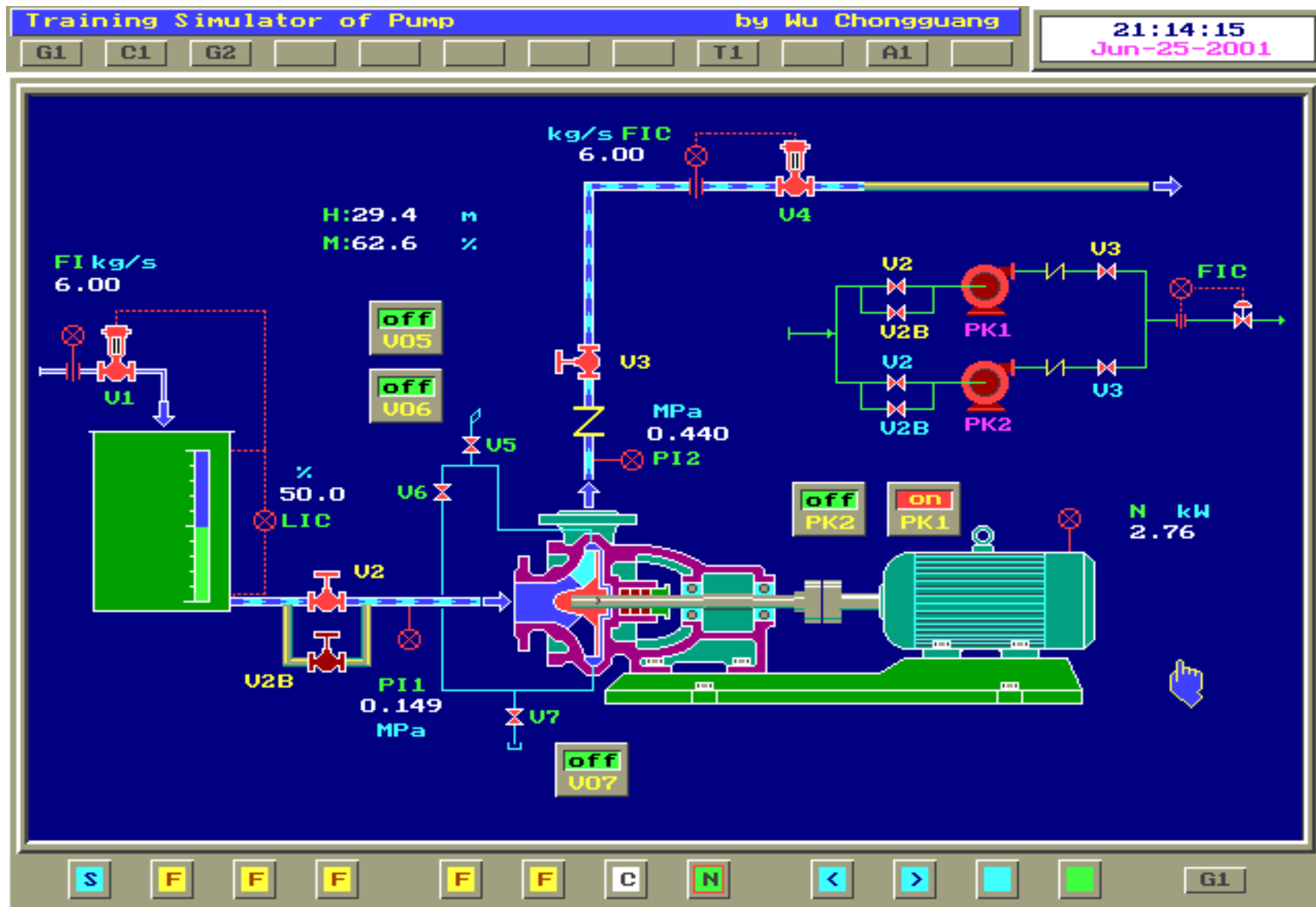
流程仿真软件：初馏塔及常压炉工艺流程



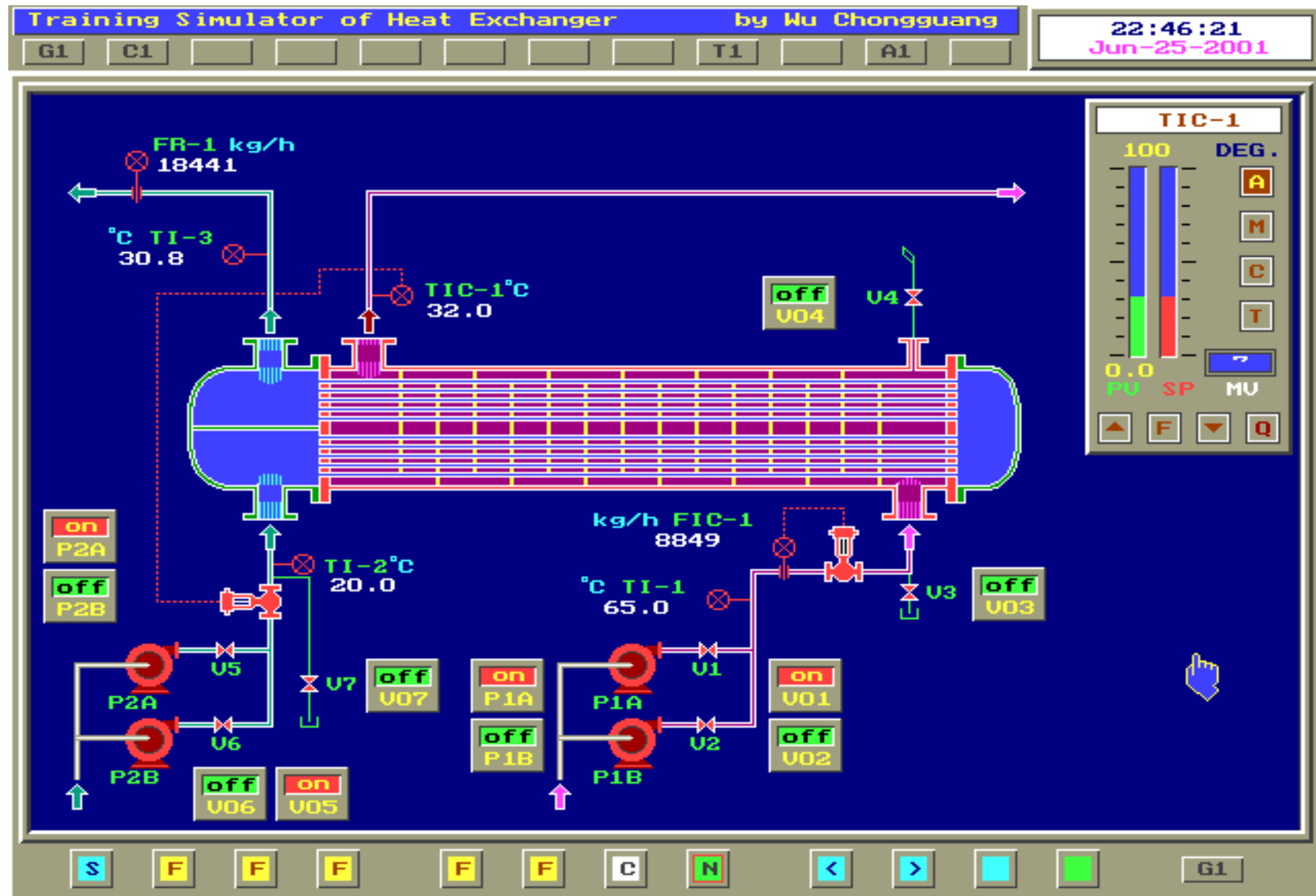
流程仿真软件：透平及往复压缩工艺流程



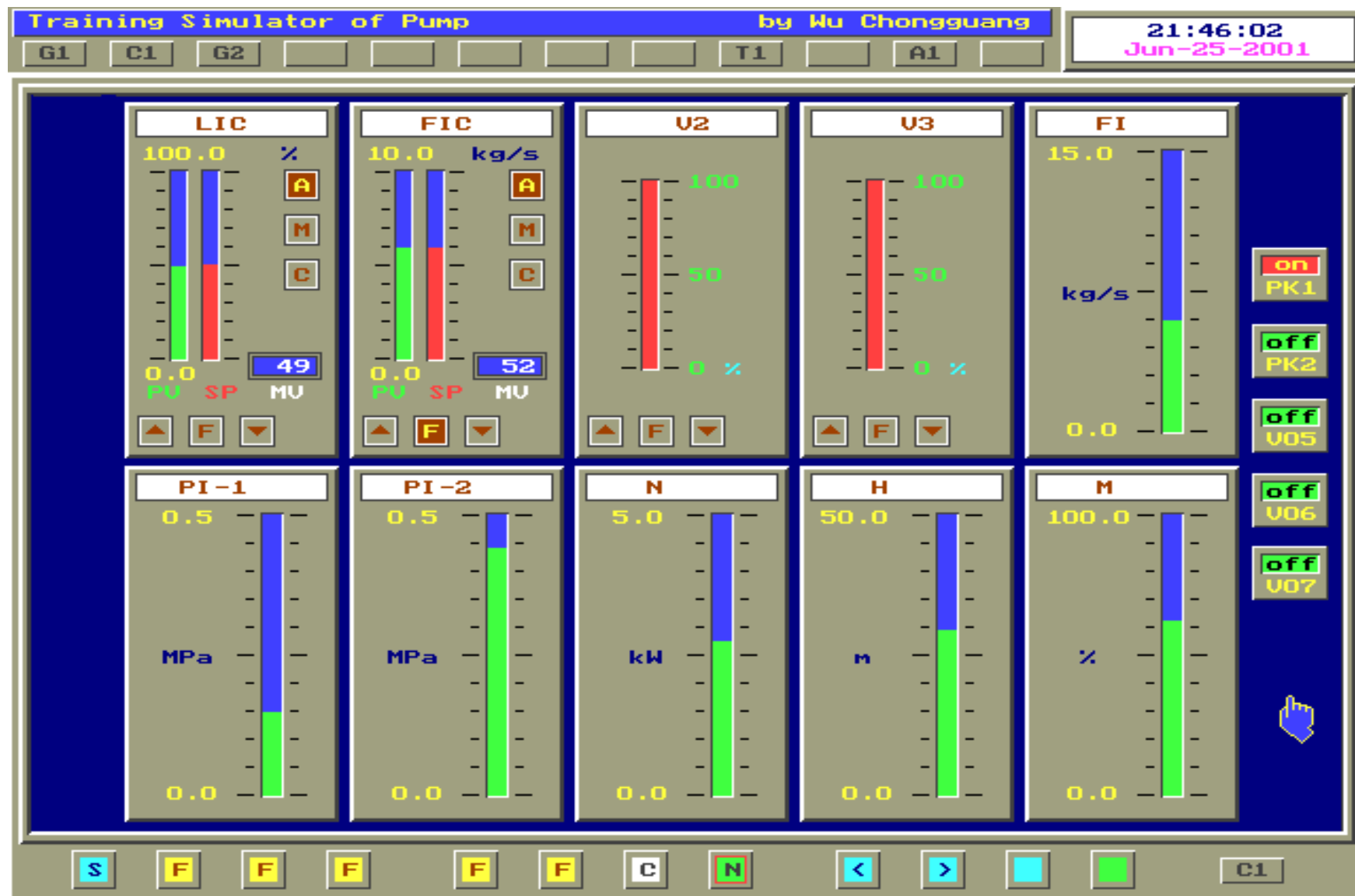
流程仿真软件：离心泵及液位工艺流程



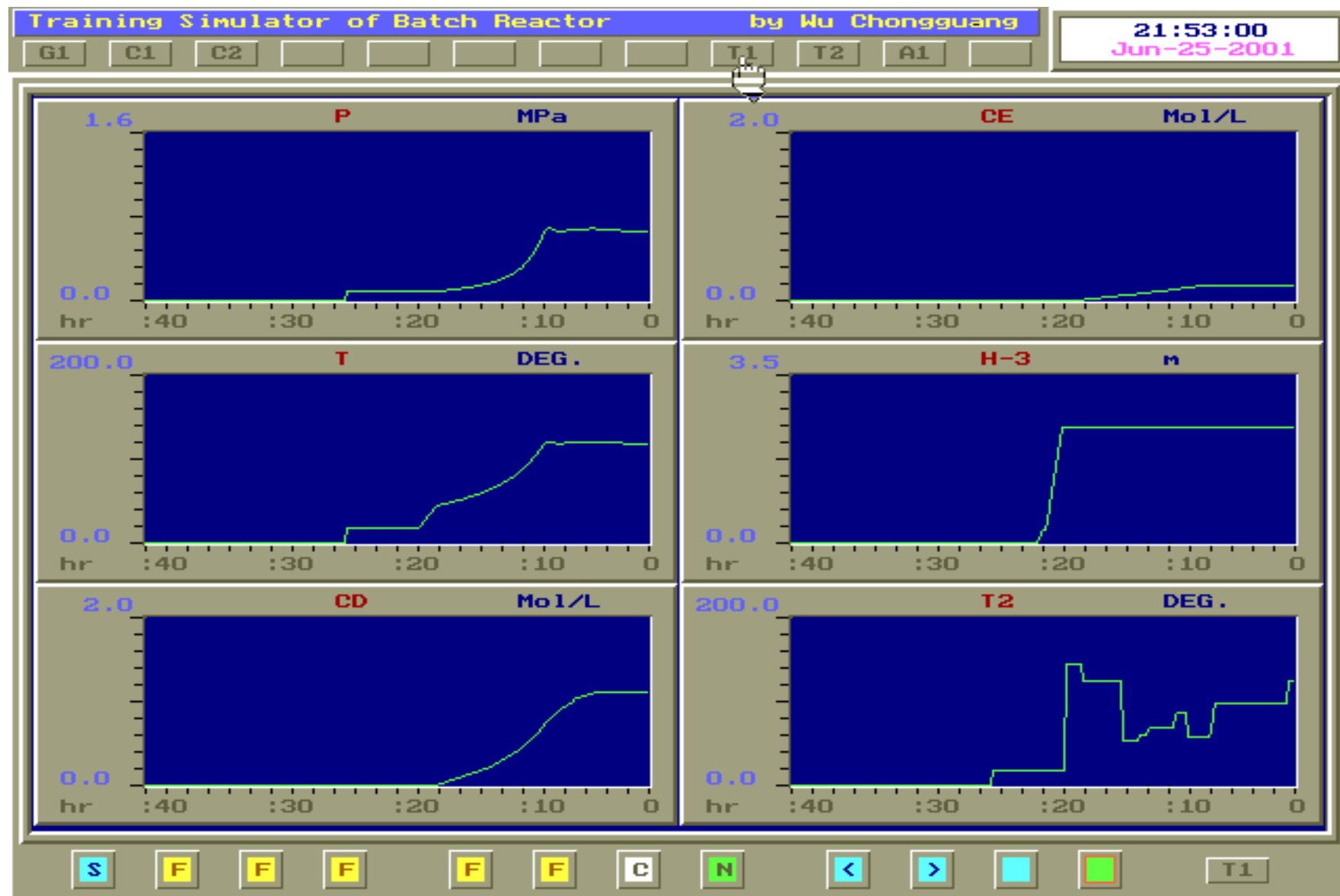
流程仿真软件：热交换器工艺流程



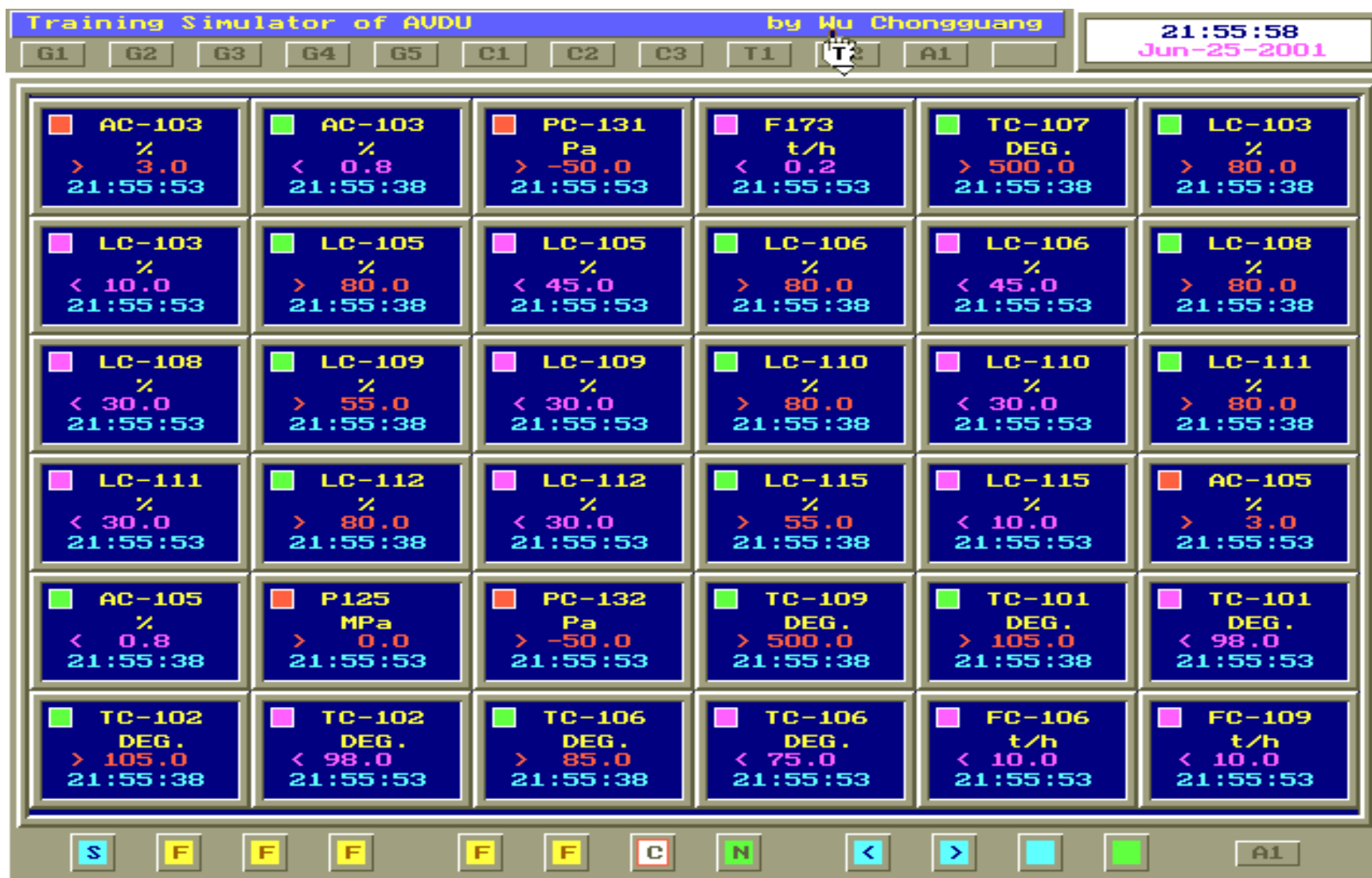
流程仿真软件：控制组画面



流程仿真软件：趋势组画面



流程仿真软件：报警组画面



仿真软件操作要点

■ 四熟悉

1. 熟悉工艺流程
2. 熟悉操作设备
3. 熟悉控制系统
4. 熟悉开车规程

■ 两分清

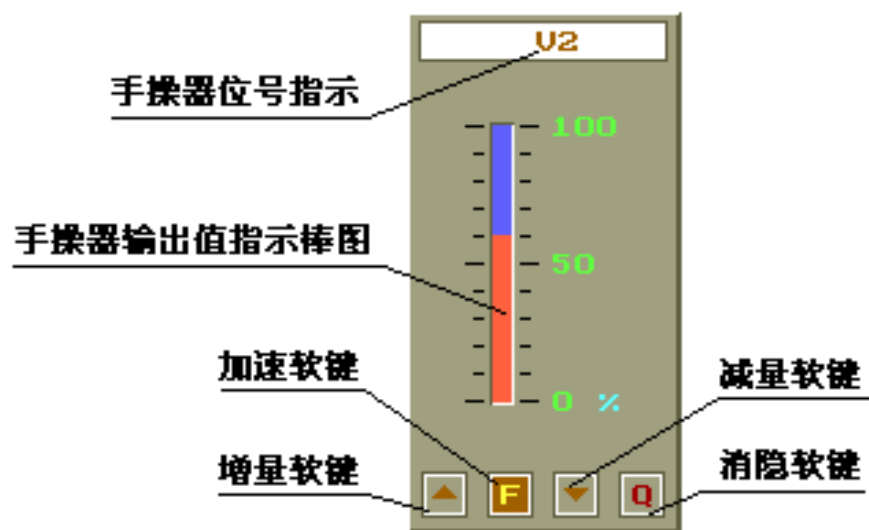
1. 分清调整变量和被调变量
2. 分清是直接关系还是间接关系

仿真软件操作要点

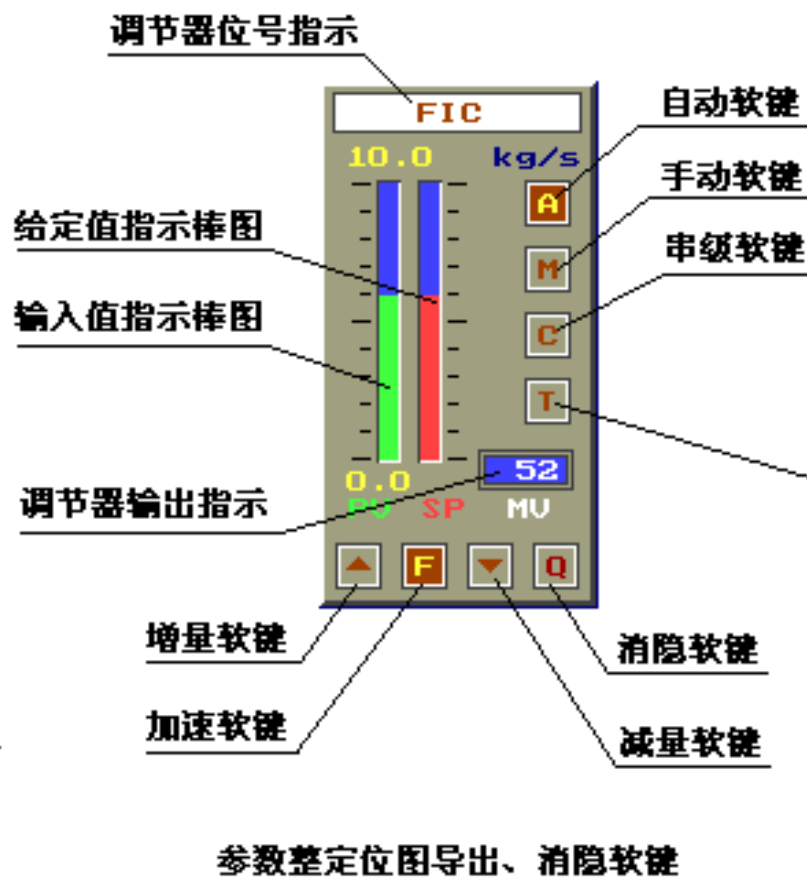
1. 开关



2. 手操器



3. 调节器



仿真软件操作要点

■ 分清强顺序性和非顺序性操作步骤

1. 强顺序性操作步骤是指操作步骤之间有较强的顺序关系，操作前后顺序不能随意更改。（考虑到生产安全；由于工艺过程的自身规律，不按操作顺序就开不了车。）
2. 非顺序性操作步骤是指操作步骤之间没有顺序关系，操作前后顺序可以随意更改。

间歇反应前期的备料工作，先备哪一种都可以。
往复压缩机冲转前的各项准备工作大多是非顺序性的

仿真软件操作要点

- 阀门应当开大还是关小

与当前所处的工况以及工艺过程的结构直接相关
(正作用-反作用)

- 把握粗调和细调的分寸

切忌大起大落，调一调，看一看。先低负荷开车达正常工况，然后缓慢提升负荷

- 注意上下限

正常工况时，阀位设计在50%-60%左右，使其上下调整有余地，且避开阀门开度在10%以下和90%以上的非线性区。

仿真软件操作要点

■ 首先进行开车前准备工作，再行开车

1. 管道和设备探伤及试压

2. 拆盲板

3. 管道和设备吹扫

4. 惰性气体置换

5. 仪表校验、调零

6. 公用工程投用

7. 气、液排放和干燥

仿真软件操作要点

■ 蒸汽管线先排凝后运行

蒸汽管线在停车后管内的水蒸气几乎都冷凝为水。因此再开车向设备送蒸汽前必须先排凝。如果不排凝，这些冷凝水在管线中被蒸汽推动而持续加速，甚至能达到很高的速度，冲击弯头和设备，影响设备的寿命。

■ 高点排气，低点排液

依据气体往高处走，液体往低处流的原理，化工设备和管路几乎都在高点设置排气阀，在低点设置排液阀。通常开车时要高点排气，停车时要低点排液。

仿真软件操作要点

- 操作之前先熟悉整体工艺流程、物料性质

- 关联类操作

复杂的工艺过程往往仅靠一个操作点无法实施操作控制，而需要两个或两个以上操作点相互配合才能稳定工况。

- 注意非直线特性关系

如：加热炉的烟气挡板与烟气含氧量的关系是非直线特性的。常用的截止阀门，阀门开度和流量的关系也是非直线特性的。

仿真软件操作要点

■ 过热保护

使接受辐射热的设备和管路内部必须有流动的物料，以便随时将热量带走，同样设备和管道的局部过冷也要防止

■ 控制系统有问题立即改为手动

■ 找准事故源从根本上解决问题

■ 根据物料流数据判断操作故障

仿真实习上机安排

6月25日-7月6日：分组轮流仿真实习，其他同学画图

7月7日-7月12日：整理实习报告及实习记录，并上交

7月12日上午：课程设计考试

注意：

- 1) 由于机房位置有限，请按安排表时间轮流上机，地点：教十3101机房。上机前应事先预习相应内容
- 2) 及时撰写实习记录及报告（专用实习报告本）。
- 3) 机房开放时间：上午8：30~11：30，下午1：30~5：00

提高性实习（科研训练）

智能工厂科研训练

- 1) 智能工厂虚拟现实系统软件设计
- 2) 智能工厂仿真平台应用案例设计
- 3) 保研、直博生优先
- 4) 建议直接进入毕业设计

联系方式:

冯老师 ypfeng@iipc.zju.edu.cn

13989818319(688319)

谢谢！

