

化工过程仿真培训



青岛科技大学化工学院

陶旭梅



青岛科技大学化工学院
College of Chemical Engineering of QUST

第八章 精馏系统



主要内容

1

精馏原理

2

工艺流程

3

开车过程

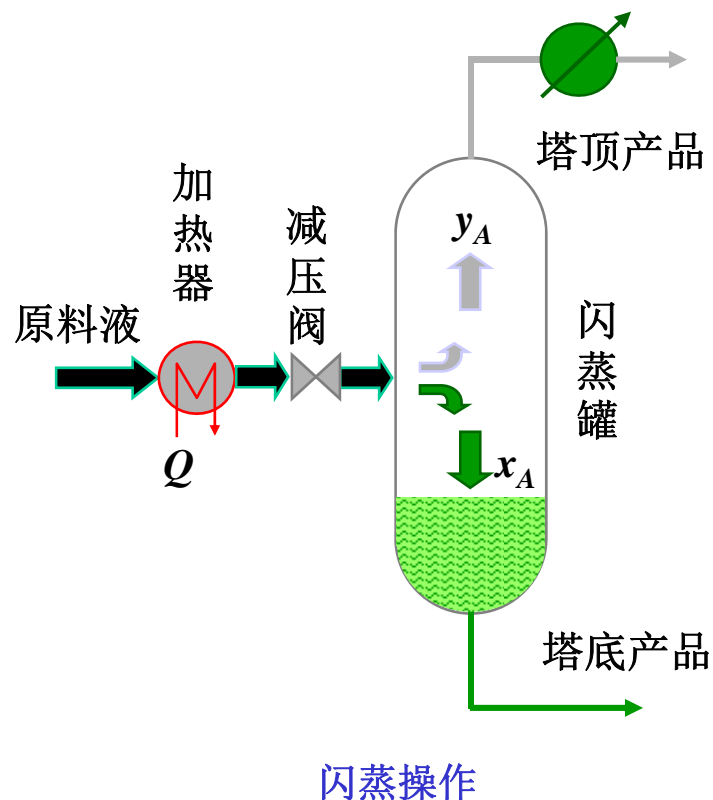


平衡蒸馏和简单蒸馏

平衡蒸馏：是液体的一次部分汽化或蒸汽的一次部分冷凝的蒸馏操作。

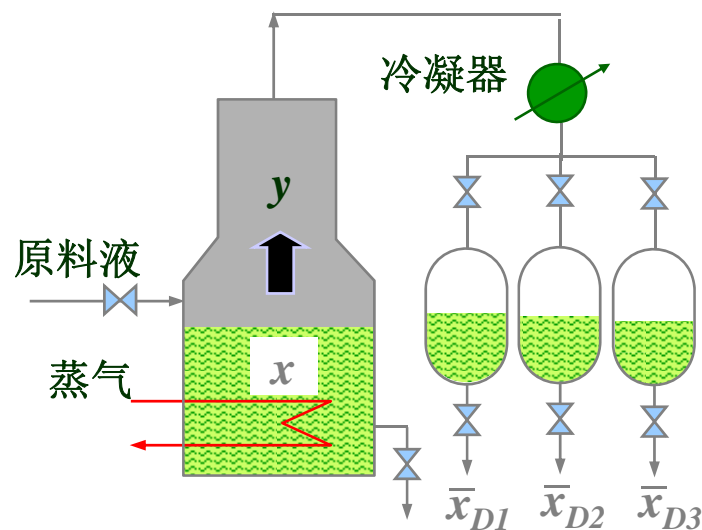
汽液相平衡数据的测定和生产工艺中溶液的闪蒸分离是平衡蒸馏的典型应用。

闪蒸操作流程：一定组成的液体物料被加热后经节流阀减压进入闪蒸室。液体因沸点下降变为过热而骤然汽化，汽化耗热使得液体温度下降，汽、液两相温度趋于一致，两相组成趋于平衡。由闪蒸室塔顶和塔底引出的汽、液两相即为闪蒸产品。



平衡蒸馏和简单蒸馏

简单蒸馏：为间歇非稳态操作，加入蒸馏釜的原料液持续吸热沸腾汽化，产生的蒸汽由釜顶连续引入冷凝器得馏出液产品。



特点：釜内任一时刻的汽、液两相组成互成平衡。蒸馏过程中系统的温度和汽、液相组成均随时间改变。



精馏原理

平衡蒸馏以及简单蒸馏只能使混合液得到部分分离。

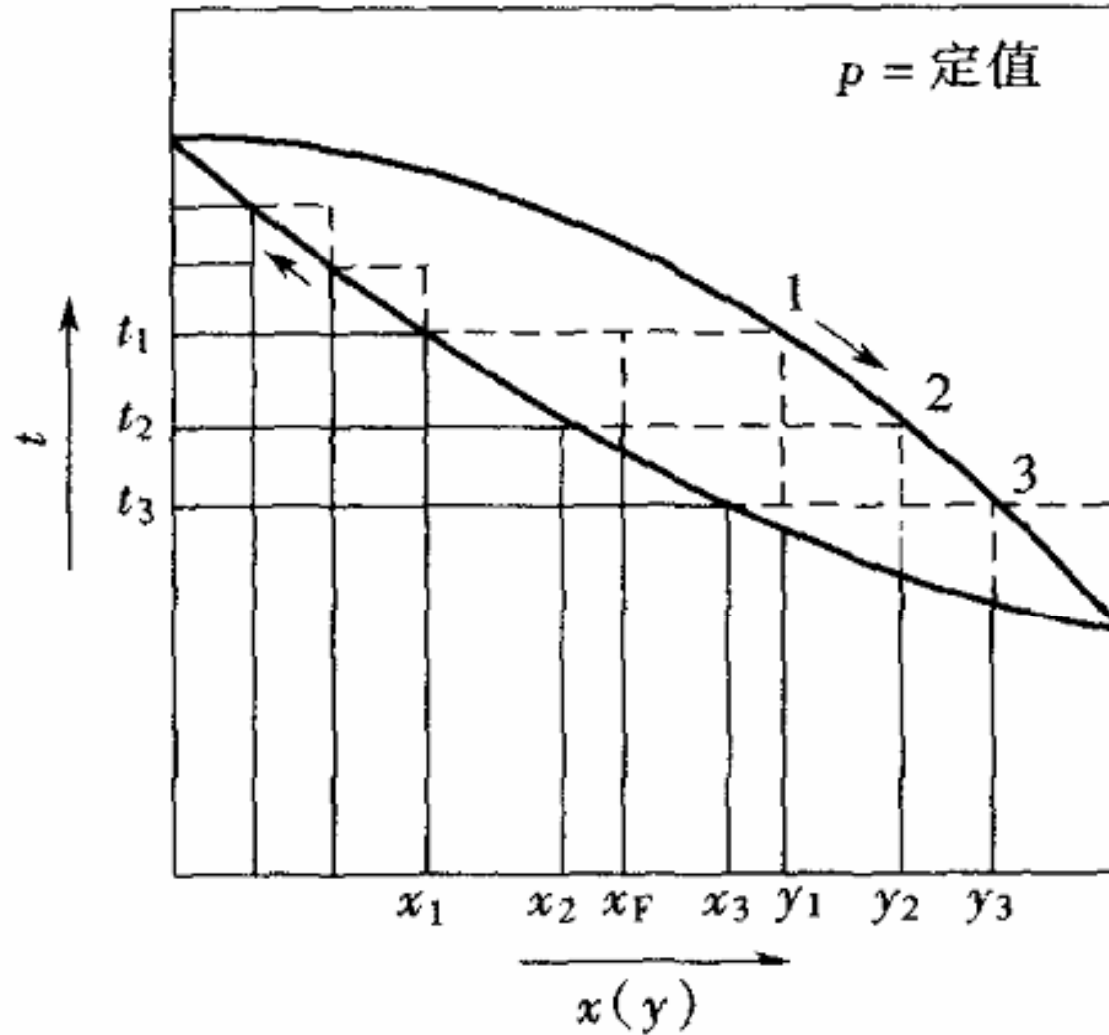
简单蒸馏操作是对液体的连续部分汽化，釜液组成沿 $t-x(y)$ 相图的泡点线变化，其结果可得难挥发组分（重组分）含量很高而易挥发组分（轻组分）摩尔分数 x 很低的釜液。

在一定压力下，将混合蒸汽进行连续部分冷凝，蒸汽相的组成沿 $t-x(y)$ 相图的露点线变化，结果可得到难挥发组分（重组分）含量很低而易挥发组分（轻组分）摩尔分数 y 很高的蒸汽。

精馏过程正是这二者的有机结合。



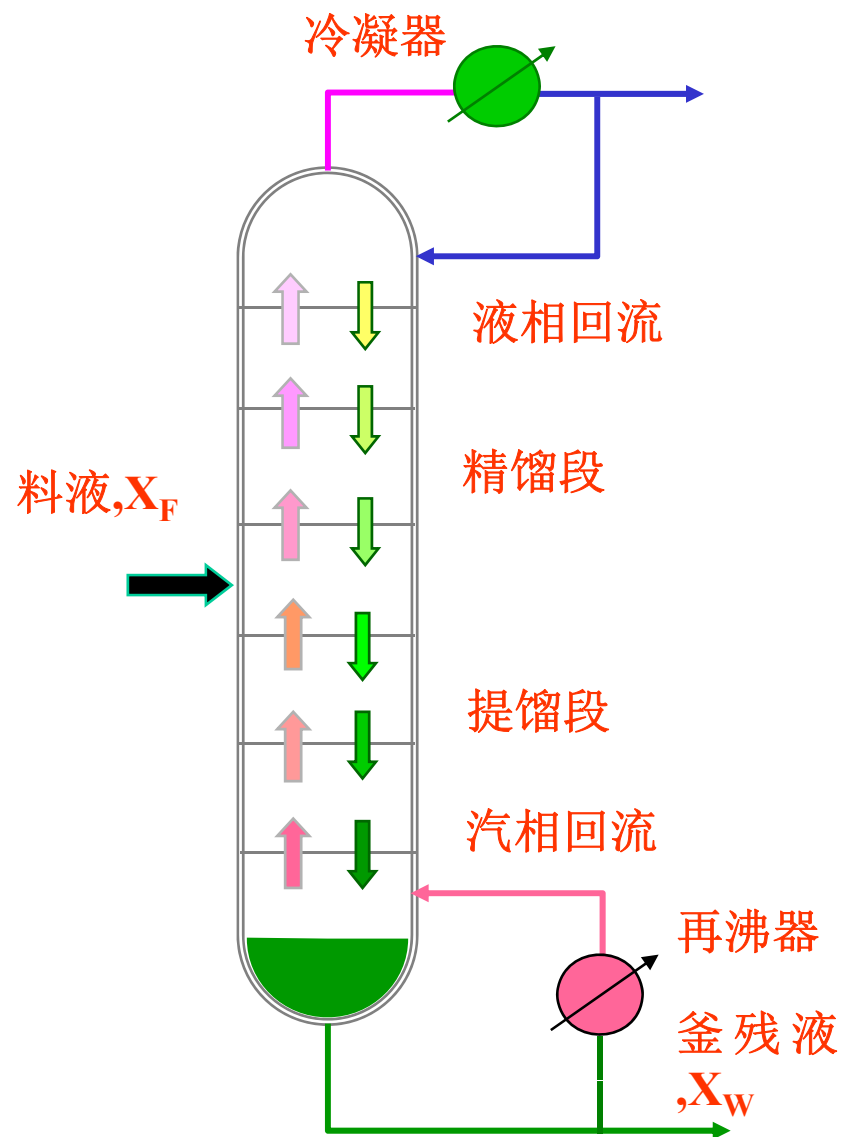
精馏原理



精馏段：汽相中的重组分向液相（回流液）传递，而液相中的轻组分向汽相传递，从而完成上升蒸气的精制。

提馏段：下降液体（包括回流液和料液中的液体部分）中的轻组分向汽相（回流）传递，而汽相中的重组分向液相传递，从而完成下降液体重组分的提浓。

精馏与简单蒸馏的区别：汽相和液相的部分回流。也是精馏操作的基本条件。



精馏原理

进料板以上称为精馏段

——精制汽相中的易挥发组分。

进料板以下（包括进料板）称为提馏段

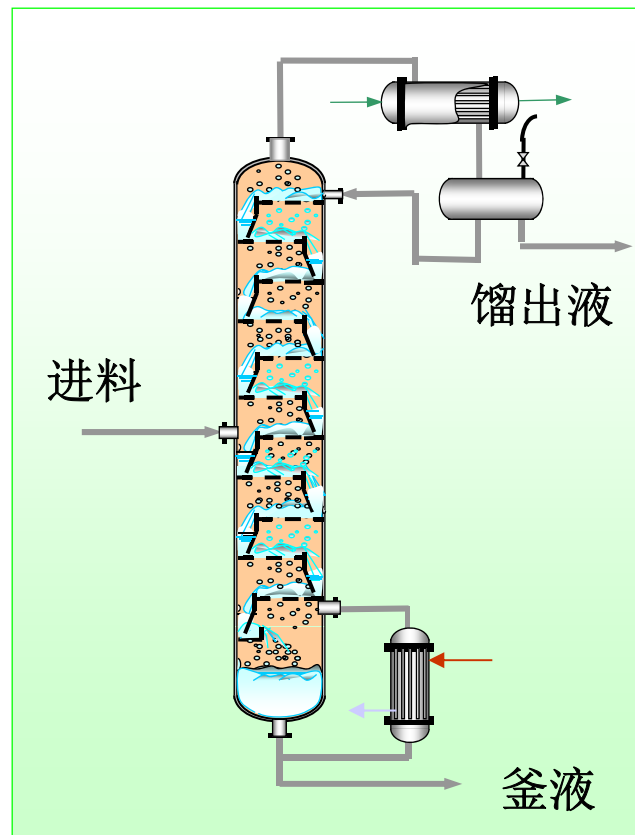
——提浓液相中难挥发组分。

塔顶产品称为馏出液

——富含易挥发组分。

塔底产品称为釜液

——富含难挥发组分。



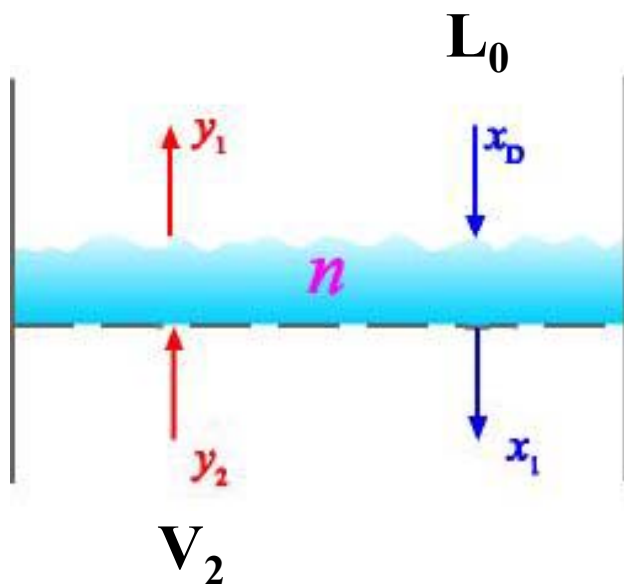
板式塔



精馏原理

① 回流

塔顶液相回流和塔底汽相回流，为偏离平衡的气液相在塔内各板上提供了接触条件，实现了汽液相间的质量传递。



V_2 与 L_0 是偏离平衡的气液相，在塔板上接触，进行质量传递，浓度变化趋向于平衡组成。



精馏原理

- 由塔釜上升的蒸汽与塔顶下流的回流液（包括塔中部的进料）构成了沿塔高逆流接触的汽、液两相。
- 只要相互接触的汽、液两相未达平衡，传质必然发生。
- 在一定压力下操作的精馏塔，若入塔回流液中轻组分含量为塔内液相的最高值，而由塔釜上升蒸汽中轻组分含量为塔内蒸汽相的最低值，与之对应，塔顶温度最低，塔底则最高，即汽、液两相温度由塔顶至塔底递增。
- 在微分接触式的塔（如填料塔和降膜塔）的任一截面上或分级接触式（如板式塔）的任一塔板上的汽、液两相不呈平衡，从而发生传热传质。



精馏原理

② 传质推动力 Δy Δx

③ 传质方向

易挥发组分：液相→汽相；

难挥发组分：汽相→液相。

易挥发组分沿塔高方向增加，而温度沿塔高方向降低。

④ 热量传递过程

液体汽化所需热量由蒸汽冷凝提供。

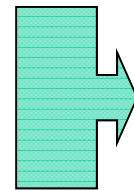


恒摩尔流假 设

恒摩尔气流：各层塔板上升蒸气摩尔流量相等，即：

精馏段： $V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V = \text{常数}$

提馏段： $V'_1 = V'_2 = V'_3 = \dots = V' = \text{常数}$

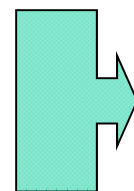


两段不一定相等

恒摩尔液流：各层塔板下降液体摩尔流量相等

精馏段： $L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L = \text{常数}$

提馏段： $L'_1 = L'_2 = L'_3 = \dots = L' = \text{常数}$



两段不一定相等



分离要求的表达形式

馏出液的采出率:

$$D/F = \frac{x_F - x_W}{x_D - x_W}$$

釜残液的采出率:

$$W/F = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_W}$$

塔顶易挥发组分的回收率:

$$\eta_D = \frac{Dx_D}{Fx_F} \times 100\%$$

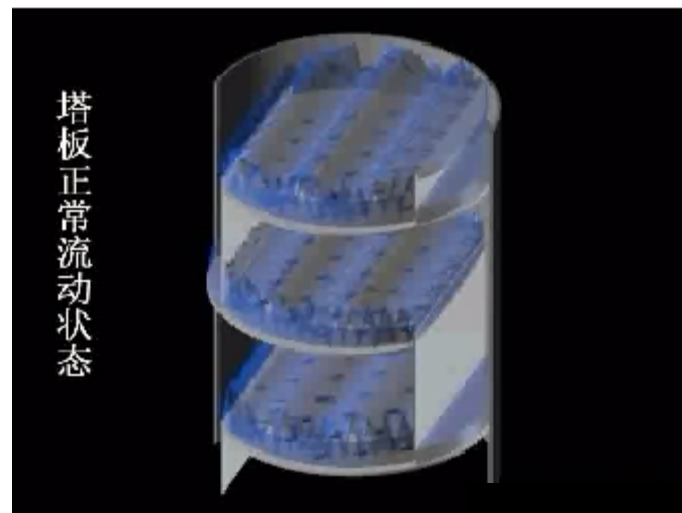
塔釜难挥发组分的回收率:

$$\eta_w = \frac{W(1-x_w)}{F(1-x_F)} \times 100\%$$



筛板塔

在带有降液管的塔板上开有许多均匀分布的筛孔，筛孔在塔板上按正三角形排列孔径一般为3—8mm。塔板上设有溢流堰，使板上能维持一定厚度的液层。



筛板塔的优点：结构简单，造价低廉气体压降小，板上液面落差也较小，生产能力及板效率均比泡罩塔高。

筛板塔的优点：操作弹性小，筛孔小时容易堵塞。今年来采用直径为10—25mm的大筛孔可避免堵塞。



筛板塔的流体力学性能

塔的操作能否正常进行，与塔内气、液两相的流体力学状况有关。板式塔的流体力学性能包括：塔板压降，液泛，雾沫夹带，漏液及液面落差等。



1、塔板压强降

上升的气流通过塔板时塔板时需要克服以几种阻力，塔板自身的干板阻力（即板上各部件所造成的局部阻力），板上充气液层的静压强和液体的表面张力。气体通过塔板时克服这三部分阻力就形成了该板的总压强降。

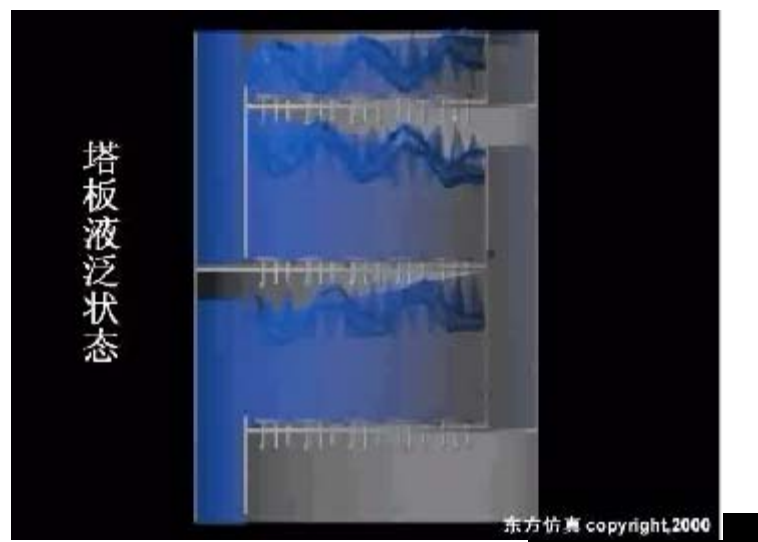


筛板塔的流体力学性能

2、液泛

操作时塔内压强由塔底向塔顶逐渐减少，液体是由压强较小的上层塔板向压强较大的下层塔板流动。

若气液两相中有一相流量加大，使液面管内液体不能顺利下流，管内液体必然积累，当管内液体增加到越过溢流堰顶部时，两板间的液体相连，该塔板产生积液，并依次上升，这种现象称为液泛或淹塔。



液泛



筛板塔的流体力学性能

3、漏液

漏液：部分液体不是横向流过塔板后经降液管流下，而是从阀孔直接漏下。

原因：气速较小时，气体通过阀孔的速度压头小，不足以抵消塔板上液层的重力；气体在塔板上的不均匀分布也是造成漏液的重要原因。

后果：严重的漏液使塔板上不能形成液层，气液无法进行传热、传质，塔板将失去其基本功能。



漏液



筛板塔的流体力学性能

4、雾沫夹带

上升气流穿过塔板上液层时，将板上液体带入上层塔板的现象称为雾沫夹带。



雾沫夹带

影响雾沫夹带量的因素：

最主要的是空塔气速和塔板间距；

空塔气速增高，雾沫夹带量增大；

塔板间距增大，可使雾沫夹带量减少。



筛板塔的流体力学性能

5、液面落差：

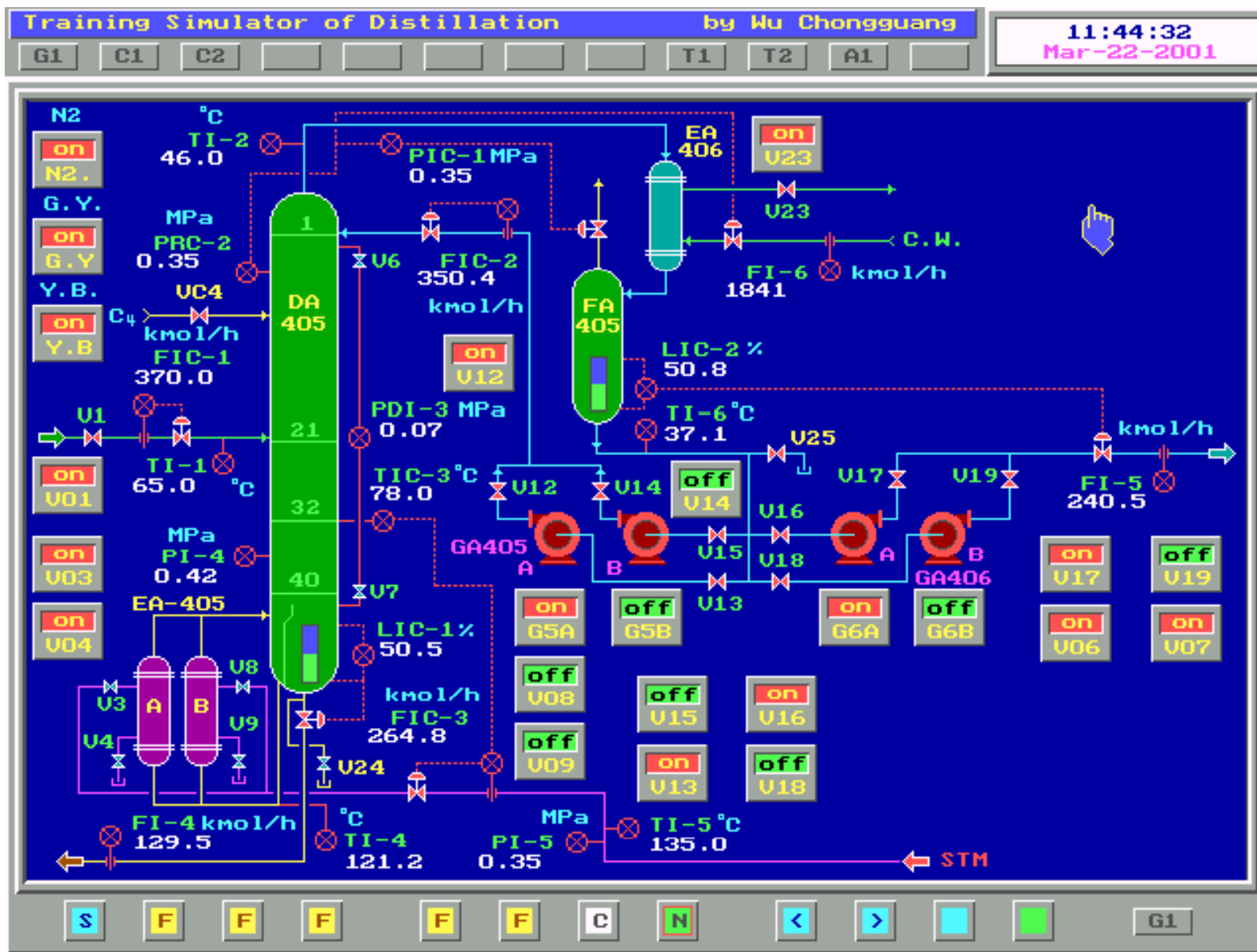
当液体横向流过塔板时，为克服板面上的摩擦阻力和板上各种部件的局部阻力，则在板上形成由液体进入板面到离开板面间的液面落差。液层厚度的不均匀将引起气液的不均匀分布，然而造成漏液，使塔板效率严重下降。

影响液面落差的因素：

除了与塔板结构有关外，还与塔径和液体流量有关，当塔径和液体流量很大时，也会造成较大的液面落差。对塔径较大的塔，可采用双溢流或阶梯流等溢流形式来减少液面落差。此外，还可考虑将塔板沿液流方向朝下略为倾斜一个角度，使液面落差减小。



工艺流程





精馏塔的投运准备及开车和停车

精馏塔投运准备

在精馏装置安装完成后，需经历一系列投运准备工作后，才能开车投产。投运准备阶段的工作是开车前发现设计和制造方面错误的最后一次机会。开车前如能发现各种缺陷，进而修复，比起开车后再发现和修复，在费用和工作量方面要小得多，如果被迫停产再修复，那损失就更严重。因此，搞好投运准备十分重要，这对保证精馏装置的正常运转起关键的作用。





图纸和设计要求进行检查，有些还需要由专业人员进行，如防腐蚀、可能发生的疲劳损坏等，其大部分检查则由工艺和操作人员进行。

尽早发现缺陷和差错，尽早进行修复，所花费的时间



安装前检查

1. 填料类型、尺寸、结构材料、数量和无机械损伤
2. 储存场所应清洁、干燥和遮盖

塔的检查:

1. 塔应清洁、干燥、无碎屑和焊渣等;
2. 圆整度和垂直度;
3. 旧的接管和支承圈应切除, 残留量离壁不应超过3mm;
4. 上下两层填料应转向90度, 填料应清洁无损坏;
5. 分布器应清洁、水平和恰当支承, 在开车前应彻底地吸清;
6. 分布器与填料底间距离应符合规定;
7. 塔内件对汽液相流动的限制应最小;
8. 分布器尺寸、孔数和排列以及孔径;
9. 升汽管式塔板尺寸、类型、升汽管高度、布置、液体排出;



安装前检查

10. 汽体分布器尺寸、孔数和布置、与塔底支承板间距离；
11. 仪表：热电偶套管的安装应对汽液相流动最小干扰储槽液位计应避免扰动的影响；
12. 塔的附件：水蒸气阀、冷凝水排除器、进料阀、再沸器和塔顶冷凝器、旋涡消除器、除雾器等。

管线清扫

塔设备安装完毕后，与其相连接的管道需进行清扫，以清除安装中残留在管路中的残渣杂物，防止开工后夹带入塔或影响调节阀、流量仪表的操作和测量等。

管线清扫一般从塔向外吹扫，首先将各管线与塔相连接处的阀门关死；将仪表管线拆除，接管处阀门关死，只将指示清扫所需的仪表(如压力表)保留。开始向塔内充以清扫用的空气或氮气，塔临时作为一个“汽柜”，当达到一定压力后停止充汽，接着对各连接管路逐根清扫。



扫线时需注意如下一些问题

1. 将管线中的调节阀和流量计等拆除，临时用短管代替。
2. 管线中的清扫风速应足够大，才能有效地实现清扫。当乙烯装置进行全系统的贯通吹扫时，要求吹扫风速不低于20m/s；工艺管道吹扫的压力一般要求0.6~0.8MPa。
3. 扫线时要防止塔压下降过快，因为塔压下降过快意味着塔中气速过大，而塔都有一定设计气速，过大的气速将引起过大的床层或塔板压降，过大压降可能会造成塔板或填料支承等永久变形，造成填料流化而被带走。为此在清扫管线之前，应对每根管线采用的气体流量进行估计，做到控制有根据。
4. 仪表管线在物料和水、汽等管线清扫完成后，先将接口扫清，再接上仪表管进行清扫。



塔的清扫

当塔处理的是易燃易爆等危险物料时，在塔开车之前，需用**惰性气体**清扫赶走塔中的空气，随后再由**物料蒸汽**赶走惰性气体。在这种塔停车时，也需按上述相反步骤进行清扫，排除危险，为进一步入塔检查和检修创造条件。

清扫用的惰性气最常用的是**氮气**，**水蒸气**和**二氧化碳**等也可用，经常将**氮气和蒸汽**结合起来进行清扫。开车前的清扫先用水蒸气，马上接着用氮气清扫。水蒸气因其温度高，容易吹除塔中的挥发性杂质，还能清除堵塞，但清扫后不接着用氮气吹扫，将因其冷凝而产生负压，又复吸入空气；在停车的清扫时，其蒸汽易产生静电有危险，故先吹氮气再吹水蒸气。清扫排气应通过特设的清扫管，开始应排到火炬系统。



塔的清扫

- ▶ 清扫有两种办法：一种称为“扫除”办法，让吹扫气体从设备的吹扫入口吹入，依次从一个容器流到另一个容器，完成吹扫；另一种称为“加压和卸压”办法，即通过多次重复对设备加压和卸压来实现清扫。一般说来，塔的清扫用加压和卸压办法更合适，因为扫除办法有可能存在死区。
- ▶ 在用水蒸气开始清扫前，应将冷凝器和各换热器中积有的冷却水排净，以节省蒸汽用量和清扫时间；可能受水蒸气损坏的仪器应隔离。在清扫过程中，可用手触摸设备表面温度来判断是否有阻塞或阀门忘记打开的情况。
- ▶ 当塔中有水会发生严重腐蚀的场合，应避免水蒸气清扫。对于热碱塔，塔中剩余的积液在水蒸气清扫时将产生蒸发浓缩，有可能引发钢材热脆断裂问题。经验表明，此时应先用水冲洗塔以除去强碱积液，再实施水蒸气清扫。
- ▶ 当塔中采用不耐温的塑料填料时，不能用水蒸气清扫，还应考虑塔的材料耐热性以及塔的热膨胀是否会有问题。



装拆盲板

- ▶在塔停车期间，为防止物料经连接管线漏入塔中而造成种种危险或麻烦，一般在清扫后于各连接管线上加装盲板。在试运行和开车前，这些加装的盲板又需拆除。
- ▶有时试运行仅在流程部分范围内进行，为防止试运行物料漏入其余部分，在与试运行部分相连的管线上也需加装盲板，全流程开车之前再予以拆除。
- ▶还有那些专用的冲洗水蒸气、水等管线，在正常操作时塔中不能有水漏入，或塔中物料倒漏入这种管线将会出现危险和麻烦的场合，在塔开车前对这些管线则需加上盲板，在清扫或试运行中用到它们时则又需拆除这些盲板。
- ▶总之，在该堵绝连接管线与设备之间的物流流动时，不能依靠阀门关闭来完成，因为很可能阀有渗漏，这时需加装盲板；当要恢复物料流动时，又应拆除盲板。



渗漏试验

- ▶在设备和管线清扫结束而准备引入（或产生）工艺物流前，应该进行渗漏试验。
- ▶一般应用惰性气体对系统加压，此时首先需关闭全部放空和排液阀，试压系统与其它部分连接管线上的阀门当然也关死。
- ▶试验介质也有用水蒸气或水的，用水蒸气试漏就需注意水蒸气引入设备的注意点，用水则应检验设备对水压的承受能力。
- ▶有时甚至应用工厂中现成可用的液化气作试漏介质，基斯特建议试漏压力在**0.34~0.4MPa**（表压）和安全阀设定值减去**70kPa**的两者之中选较小值。催化裂化装置吸收稳定系统的试漏压力为**0.2~0.3MPa**（表压）。



渗漏试验

- ▶当加压完毕后，注意监测系统压力的下降速度，并对各法兰、人孔、焊口和阀杆的填料压盖等处，用肥皂水或声音探测器等检查。当检查出渗漏时，大多可通过拧紧压紧螺栓来消除，否则就应对系统进行减压，针对缺陷进行修复，直至无任何渗漏存在。在缺陷修复期间如有空气进入了设备，而设备开工时又禁止空气存在，则应重复清扫。
- ▶对于减压精馏系统，一般可先按照上述办法试漏，因为加压试漏时渗漏点容易发现。随后再对系统抽真空，抽至正常操作真空度后关闭真空发生设备，监控压力的回升速度。由压力的回升速度并结合系统的体积，可以推算出气体渗漏速率，用来判断密封是否达到了要求。如果抽真空试漏发现问题再经修复，则试漏后往往要重复清扫，因为空气已经漏入设备中。
- ▶在开始抽真空试漏前，必须将设备中积液和残留水排除，否则在真空下将汽化升压，影响试漏结果判断的正确性。



塔的冲洗

- 塔的冲洗主要用来清除塔中污垢、泥浆、腐蚀物等固体物质，也有用于塔的冷却或为入塔检修而冲洗的，有时为检验泵系的工作而一并进行冲洗。
- 对于新装填的填料塔，往往也进行冲洗，以除去制造安装中产生和夹带的碎屑和泥沙尘埃，还可冲去少量油脂。
- 在塔的停车阶段，往往利用轻组分产物来冲洗，例如催化裂化分馏系统的分馏塔，其进料中含有少量催化剂粉末，随塔底油浆排出塔外。在停车阶段则分阶段应用上部侧线产物轻柴油，以及原料缓冲罐油和回炼油罐油对塔进行冲洗。大多数情况下则用水进行冲洗，对于一些非水溶性污垢、沉淀则需用专用清洗液进行冲洗。



脱水操作

如果塔系中有水会影响产品质量，造成设备腐蚀，低温下水结冰还可造成堵塞、产生固体水合物，或由于高温塔中水的存在将引起压力大的波动等，因此需在开车前进行脱水操作，常用的脱水办法有：

- (1) 液体循环 此操作可以脱除设备系统中的水分，也可按需要脱除系统中不希望存在的物质。如果设备中的水分要求脱净，一般需用热操作，这样也可同时预热设备。此外，液体循环操作还能使操作人员进一步熟悉设备特性和操作，如应用渗透性高的物料循环，则可以进一步检查设备系统的渗漏情况。
- (2) 全回流脱水 应用与水不互溶的物料，它可以是正式运行时的物料，也可以是特选的试验物料(一般为生产物料中某个组分，如脱丙烷塔脱水选用丁烷作为物料)，随后再改为正式生产用物料，最好其沸点比水高。当塔在全回流下运转时，水汽蒸到塔顶经冷凝器冷凝到回流罐，水分分别从装于冷凝器物料侧和回流罐最低位处的排液阀排走。此法脱水耗时较长，结果可靠。



脱水操作

- (3) 热气体(惰性气、空气或过热蒸汽)吹扫 在正压下靠吹扫热气体将管线或设备中某些部位的积水吹走,从排液口排出。热气体吹扫除水速度快,但很难彻底除净。如要求除净程度很高,则往往在热气体吹扫之后,再用液体循环或全回流操作彻底清除水分。
- (4) 干燥气体吹扫 靠干燥气体带走塔内汽化的水分。该方法一般用于低温塔的脱水,并在装置中有产生干燥气体的设备,例如乙烯装置的深冷分离系统。为加快脱水,干燥气体温度应该尽量高些。
- (5) 吸水性溶剂循环 应用乙二醇、丙醇等一类吸湿性溶剂在塔系统中循环,吸取水分,达到脱水目的。此法费用较高,但用在冷冻和低温装置中该法较经济。



精馏塔的开车和停车

开车是生产中十分重要的环节，它是建设一套装置花费的人力、物力和财力即将形成生产力的转折点。开车的目标是缩短开车时间，节省开车费用，避免可能发生的事故，尽快取得合格产品。

当装置运转一定周期后，设备和仪表将发生各种各样的问题，继续维持生产在生产能力和原材料消耗等方面已达不到经济合理的要求，还蕴含着发生事故的潜在危险，于是需停车进行检修。要实现装置安全停车，尽快转入检修阶段，必须做好停车准备工作，制订合理的停车步骤，预防各种可能出现的问题。



精馏塔的开车

- (1) 制定出合理的开车步骤、时间表和必须的预防措施；准备好必要的原材料和水电汽供应；配备好人负编制，并完成相应的培训工作等；编妥有关的操作手册、操作记录表格，并对设计计算进行核算，做到心中有数。
- (2) 完成有关的开车准备工作。此时塔的结构必须符合设计要求，塔中整洁，无固体杂物，无堵塞，并清除了一切不应存在的物质。
- (3) 对塔进行加压或减压，达到正常操作压力。
- (4) 对塔进行加热或冷却，使其接近操作温度。
- (5) 向塔中加入原料。
- (6) 开启再沸器和加热器的热源，开启塔顶冷凝器和冷却器的冷源。
- (7) 对塔的操作条件和参数逐步调整，使塔的负荷、产品质量逐步又尽快地达到正常操作值，转入正常操作。



精馏塔的停车

- (1)制定一个降负荷计划，逐步降低塔的负荷，相应地减小加热剂和冷却剂用量，直至完全停止。如果塔中通有直接蒸汽，为避免塔板漏液，多出些合格产品，降量时可先适当增加些直接蒸汽量。
- (2)停止加料。
- (3)排放塔中存液。
- (4)实施塔的降压或升压、降温或加温，用惰性气清扫或水冲洗等，使塔接近常温常压，准备通大气，为检修作好准备。



全回流操作

全回流操作在精馏塔开车中常被采用，在塔短期停料时，往往也用全回流操作来保持塔的良好操作状况，全回流操作还是脱除塔中水分的一种办法。

全回流开车一般既简单又有效，因为塔不受上游设备操作干扰，有比较充裕的时间对塔的操作进行调整，全回流下塔中容易建立起浓度分布，达到产品组成的规定值，并能节省料液用量和减少不合格产品量。全回流操作时可应用料液，也可以用塔合格的或不合格的产品，这样塔中建立的状况与正常操作时的较接近，一旦正式加料运转，容易调整得到合格产品。



全回流操作

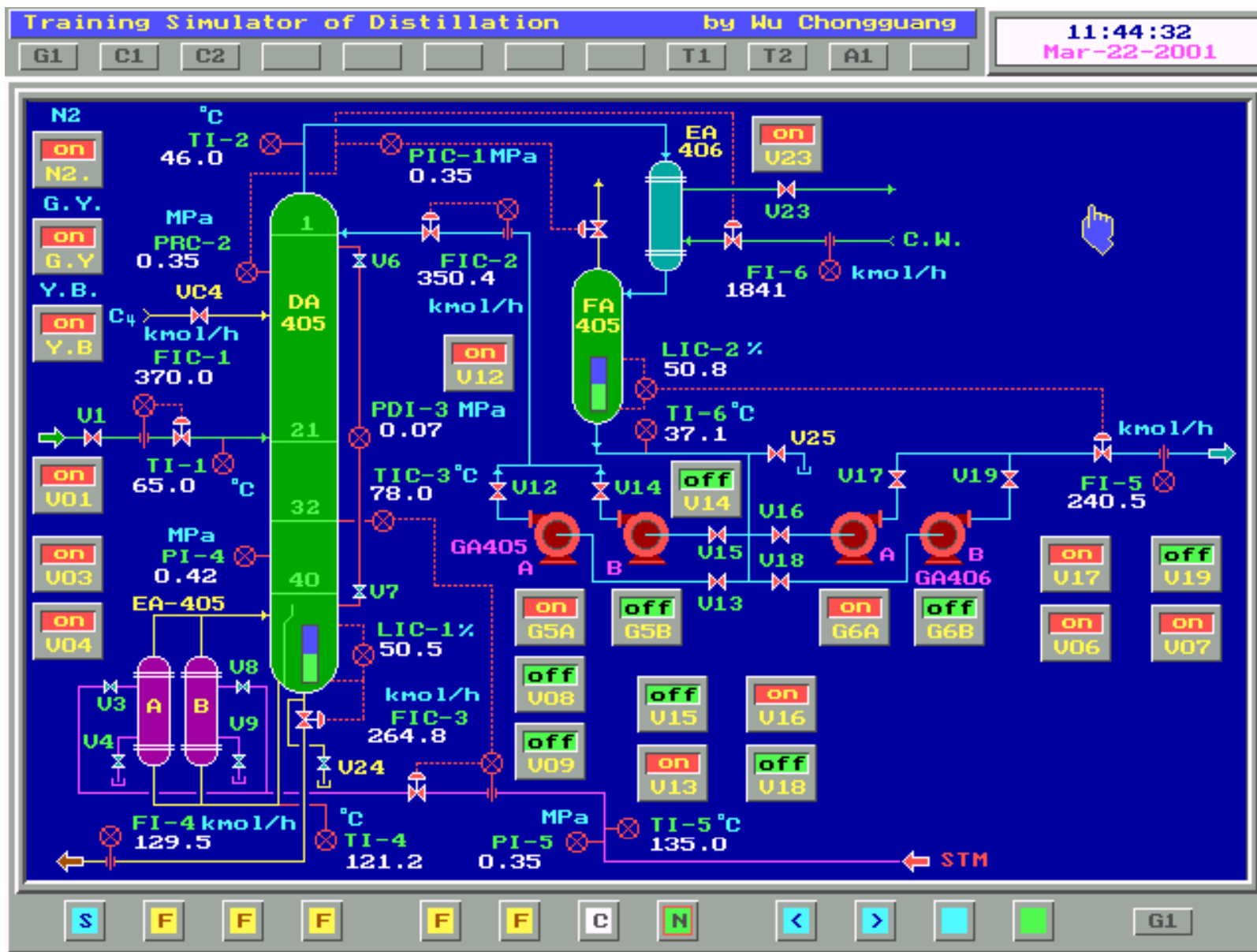
全回流操作开车办法对于下述两种情况不合适:

(1) 物料在较长时期的全回流操作中, 特别是在塔釜较高温区内**可能发生不希望的反应**, 如聚合结焦等, 除非能选出合适的物料在全回流操作中不发生上逆反应, 否则应避免在这种场合应用全回流操作。

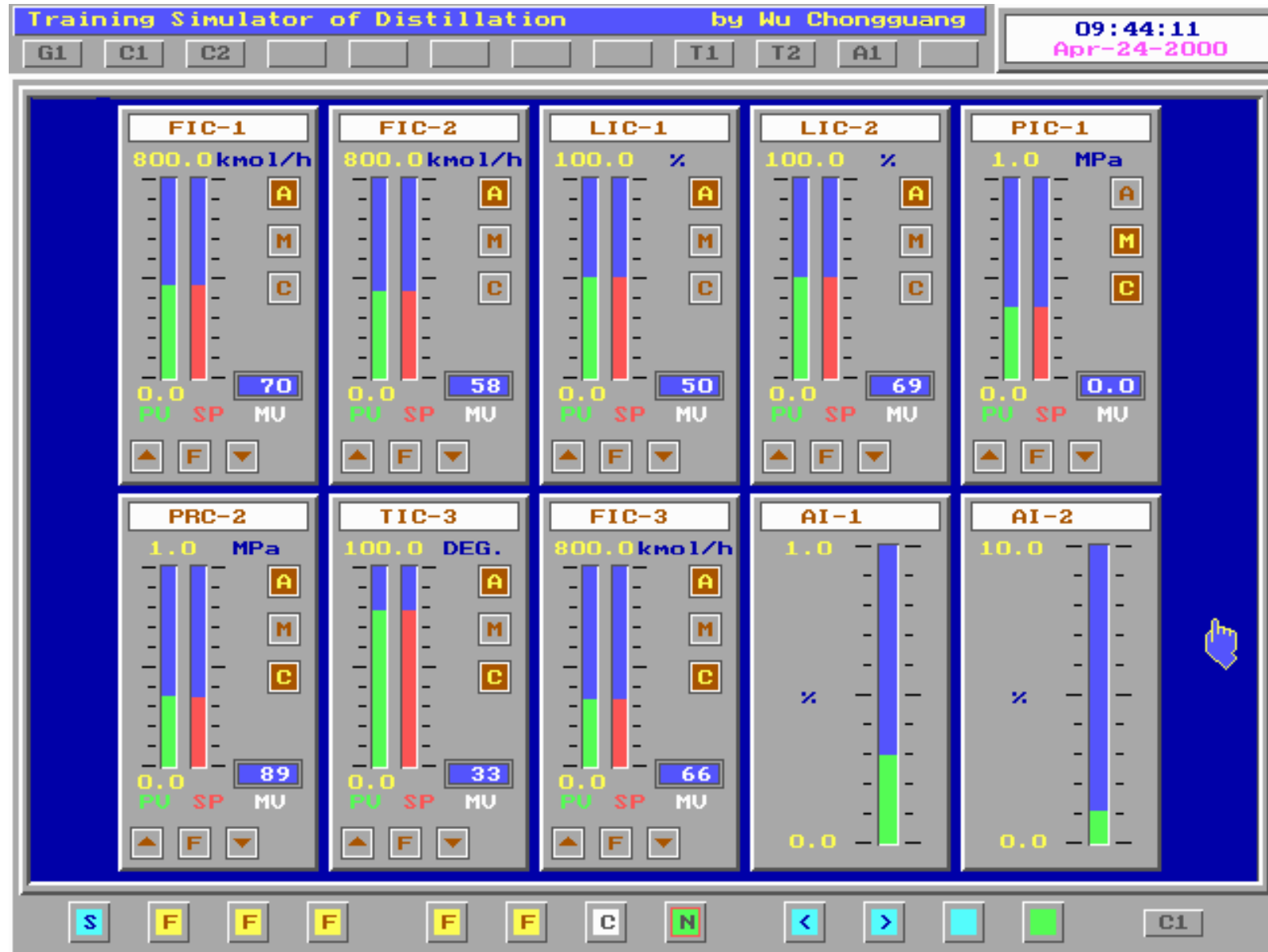
(2) 物料中含有**微量危险物质**, 例如丁二烯精馏塔中的微量乙烯基乙炔, 丙烯精馏塔中的微量丙二烯和甲基乙炔。它们在正常操作中不会引起麻烦, 但在长期全回流操作中又遇到塔顶馏出物管线的阀门渗漏时, 此时实质上相当于一个间歇精馏, 这些有害物质随时间的延续在塔中逐渐得到浓集, 从而导致爆炸或其它一些事故。丁二烯精馏塔在全回流操作中, 由于乙烯基乙炔浓集而发生爆炸的事故已有报道。选用物料中不含这些微量物质, 例如通过加氢操作清除丙烯-丙烷物料中的甲基乙炔和丙二烯, 才能采用全回流操作的开车办法, 否则应避免采用。



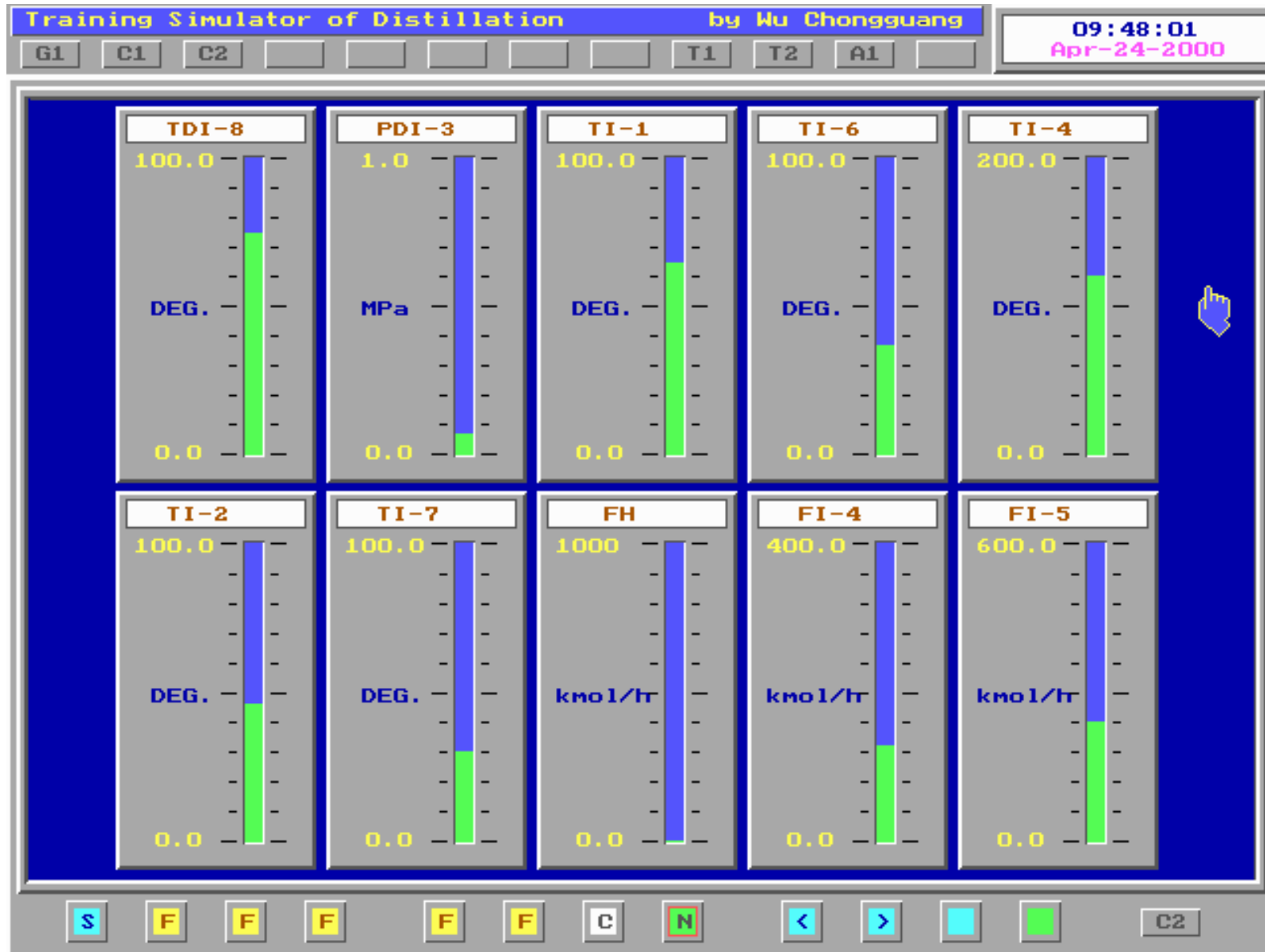
工艺流程



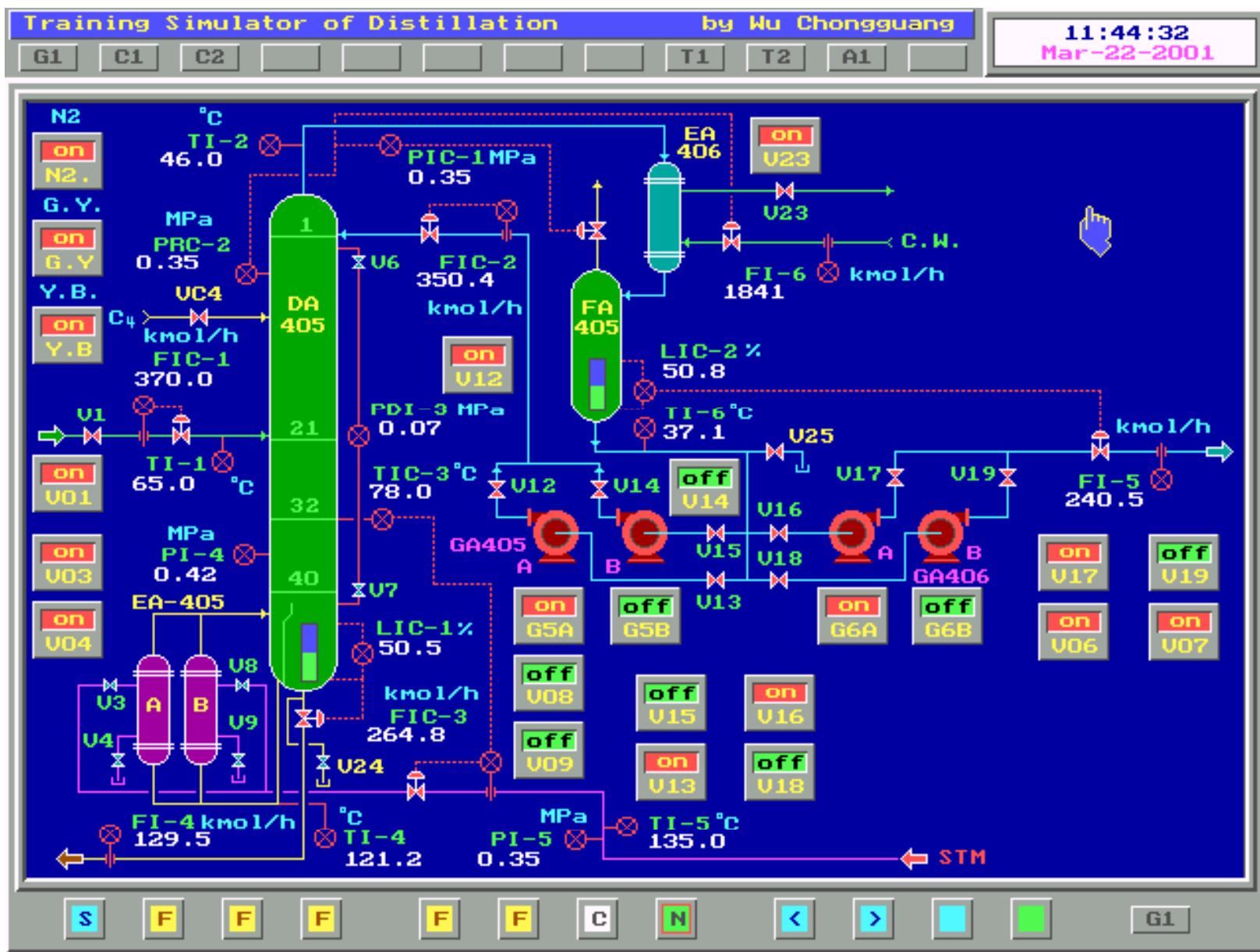
控制组画面



控制组画面



开车过程



评分记录

Training Simulator of Distillation by Wu Chongguang

G1 C1 C2 T1 T2 A1 09:49:20 Apr-24-2000

脱丁烷塔系统开车评分记录

开车步骤评分		工况质量评分		报警记录		
1	所有阀门开关全关	0.0		7	0.05 < PDI-3 < 0.08 MPa	6.0
2	全开 N2.GY 和 YB.C4 升压	0.0		8	345 < FIC-2 < 355 kmol/h	6.0
3	进料阀 V1 开 FIC-1 > 100 kmol/h	0.0		9	45.5 < TI-2 < 46.5 °C	6.0
4	塔顶冷却量 FI-6 > 800 kmol/h	0.0		10	0.34 < PRC-2 < 0.36 MPa	6.0
5	塔釜加热量 FIC-3 > 100 kmol/h	0.0		11	1800 < FI-6 < 1898 kmol/h	4.0
6	全回流 FIC-2 > 300 kmol/h	0.0		12	45 < LIC-1 < 60%	4.0
总计: 0.0 分				13	45 < LIC-2 < 60%	4.0
工况质量评分				14	238 < FI-5 < 245 kmol/h	4.0
1	365 < FIC-1 < 375 kmol/h	5.0		15	TIC-3 和 FIC-3 投自动且串级	4.0
2	0.415 < PI-4 < 0.425 MPa	5.0		16	PRC-2 和 PIC-1 投自动且超驰	4.0
3	128 < FI-4 < 132 kmol/h	5.0		17	0.1 < AI-1 < 0.5%	8.0
4	120 < TI-4 < 121.5 °C	5.0		18	0.7 < AI-2 < 1.5%	8.0
5	255 < FIC-3 < 265 kmol/h	5.0		总计: 99.0 分		
6	77.5 < TIC-3 < 78.1 °C	10.0		报警次数: 0 次		
				报警扣分: 0.0 分		

S F F F F F C N < >

Thank You !

