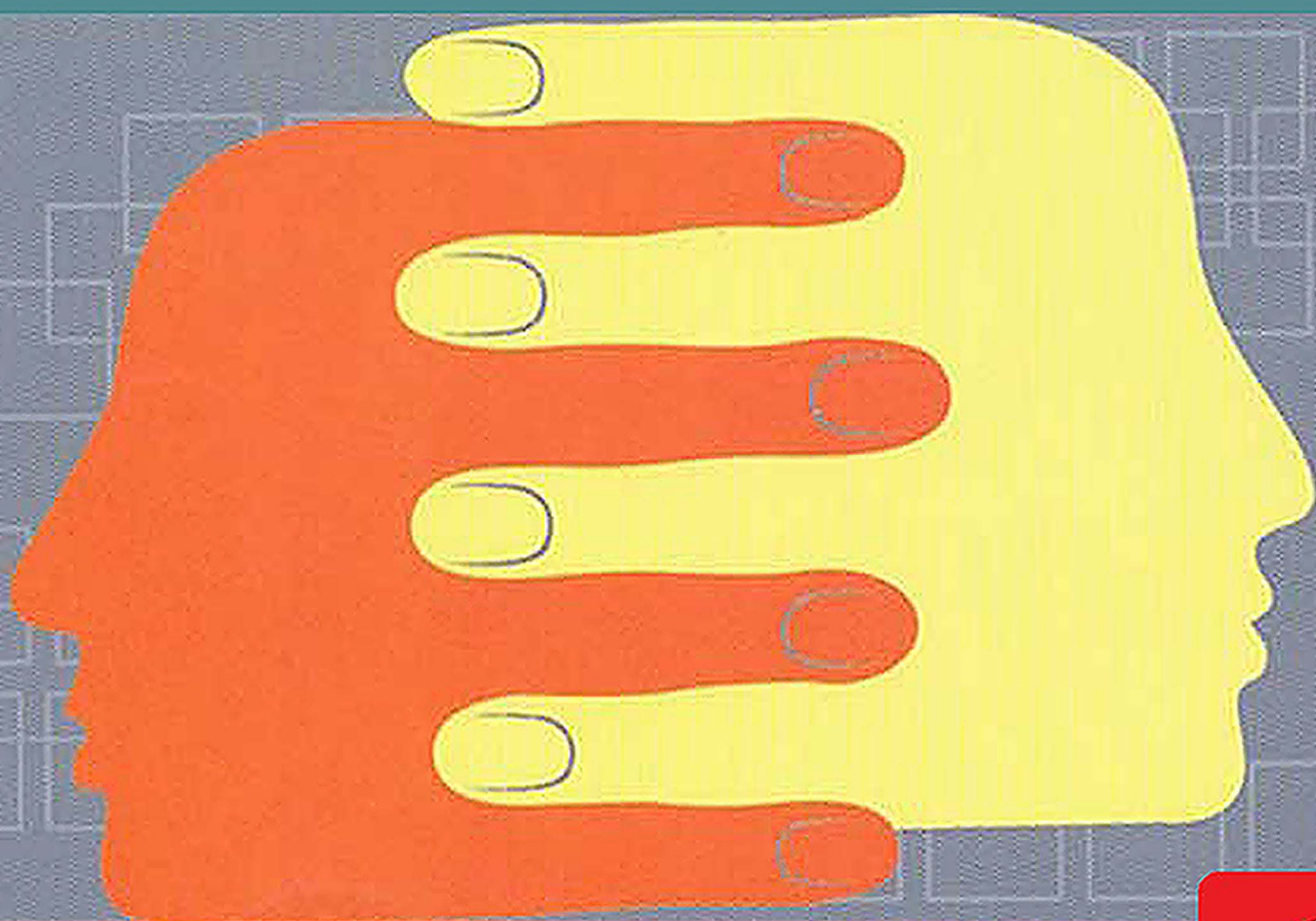


传质和分离

罗荆伟 顾波 主编



四川大学出版社





前 言

职业教育的根本任务是培养有较强实际动手能力和职业能力的技能型人才，而实际训练是培养这种能力的重要环节。依据“国家示范性中等职业学校建设计划”，近年来，中职学校化工类专业在制订专业人才培养方案时，通过与企业合作，以化工职业岗位群典型的工作任务分析为起点，重点突出学生岗位职业能力和相关理论知识运用能力的培养。编者遵循职业教育的发展形势，为促进全国示范性学校的教学，经过充分的市场调研和综合分析，并根据各位教师多年来的教学经验以及我校教学资源 and 学生的实际情况，编写了本教材。

本教材是根据现代职业教育理念，围绕中职教育的培养目标，立足于学生岗位职业能力的培养，并结合化工企业技术人员培训的实际要求而编写的。本书具有以下几个特点：第一，全面、清晰地阐述了化工生产的基本规律，使学生能掌握较充实的化工生产基本知识；第二，根据主要的化工操作，精选教学内容，培养学生运用理论知识指导生产操作、分析解决实际问题的能力；第三，实行理论讲授和操作训练相互融汇的同步教学模式。

课程内容通过项目化整体设计和实施设计，在具有职业活动特色的项目情境中，贯穿学习内容。在教学中，充分体现由学生主导、教师辅助的教学特点，令学生在“做中学”“学中做”，让学生成为实训操作的主体，从而提高其自主发现问题和解决问题的能力。通过认识装置、熟悉流程、探明原理、制订计划、操作验证等一整套流程，学生可以充分地发挥学习的主观能动性和自主思考能力。

本教材共分为八个项目：项目一、二由罗荆伟老师编写，项目三、五由李兆京老师编写，项目四、八由刘延春老师编写，项目六由顾波老师编写，项目七由鲍珍老师编写。本书由罗荆伟老师担任主编并统稿。

由于编者业务水平、教学经验有限，加之时间仓促，书中有不妥之处和疏漏在所难免，欢迎大家提出批评和指正，不胜感谢。

编 者
2014 年 4 月

目 录

项目一 精 馏	(1)
任务一 精馏装置开车前的准备工作	(1)
任务二 手动精馏操作	(15)
任务三 DCS 控制精馏操作	(28)
任务四 精馏操作异常现象及处理	(38)
项目二 吸收与解吸	(44)
任务一 吸收—解吸装置开车前准备工作	(44)
任务二 手动吸收—解吸操作	(60)
任务三 DCS 控制吸收—解吸操作	(65)
任务四 吸收—解吸操作异常现象及处理	(71)
项目三 过 滤	(76)
任务一 板框过滤机联动试车	(76)
任务二 板框过滤机正常开、停车操作	(87)
项目四 沉降分离	(93)
任务一 连续沉降槽的操作	(93)
任务二 旋风分离器操作	(97)
项目五 离心机操作	(102)
任务一 三足离心机的运行和操作	(102)
任务二 卧式刮刀卸料离心机的运行和操作	(107)
项目六 蒸 发	(112)
任务一 蒸发装置开车前的准备	(112)
任务二 蒸发装置正常开、停车操作	(126)
任务三 蒸发操作异常现象处理及正常操作时的故障扰动	(137)
项目七 干 燥	(142)
任务一 干燥装置开车前的准备	(142)
任务二 干燥装置正常开、停车操作	(151)
任务三 干燥操作异常现象处理及正常操作时的故障扰动	(160)
项目八 萃 取	(168)
任务一 萃取装置正常开、停车操作	(168)
任务二 萃取装置运行中异常现象处理操作	(175)



项目一 精 馏

学习目标

- (1) 了解乙醇的物理及化学性质。
- (2) 认识精馏设备的结构。
- (3) 认识精馏装置、生产流程及仪表。
- (4) 系统掌握板式塔的操作方法与工作原理。
- (5) 学会利用所学理论知识去分析操作过程中遇到的实际问题，并学会解决问题的方法。

任务一 精馏装置开车前的准备工作

任务分析

混合物的分离是化工生产的重要过程。混合物可分为非均相物系和均相物系两类。非均相物系的分离主要依靠质点运动与流体流动的原理实现分离。而化工中遇到的大多是均相混合物，例如，石油是由多种碳氢化合物组成的液相混合物，空气是由氧气、氮气等组成的气相混合物。

相物系的分离条件是必须造成一个两相物系，然后依据物系中不同组分间某种物理性质的差异，使其中某个组分或某些组分从一相向另一相转移，以达到分离的目的。精馏是分离液相混合物的典型单元操作，它是先通过加热造成气、液两相物系，再利用物系中各组分挥发度不同的特性来实现分离的目的。

在精馏操作之前，操作者应该先熟悉流程和设备，并检查各设备和阀门是否正常。

图 1-1 为带有控制点的工艺及设备流程图。

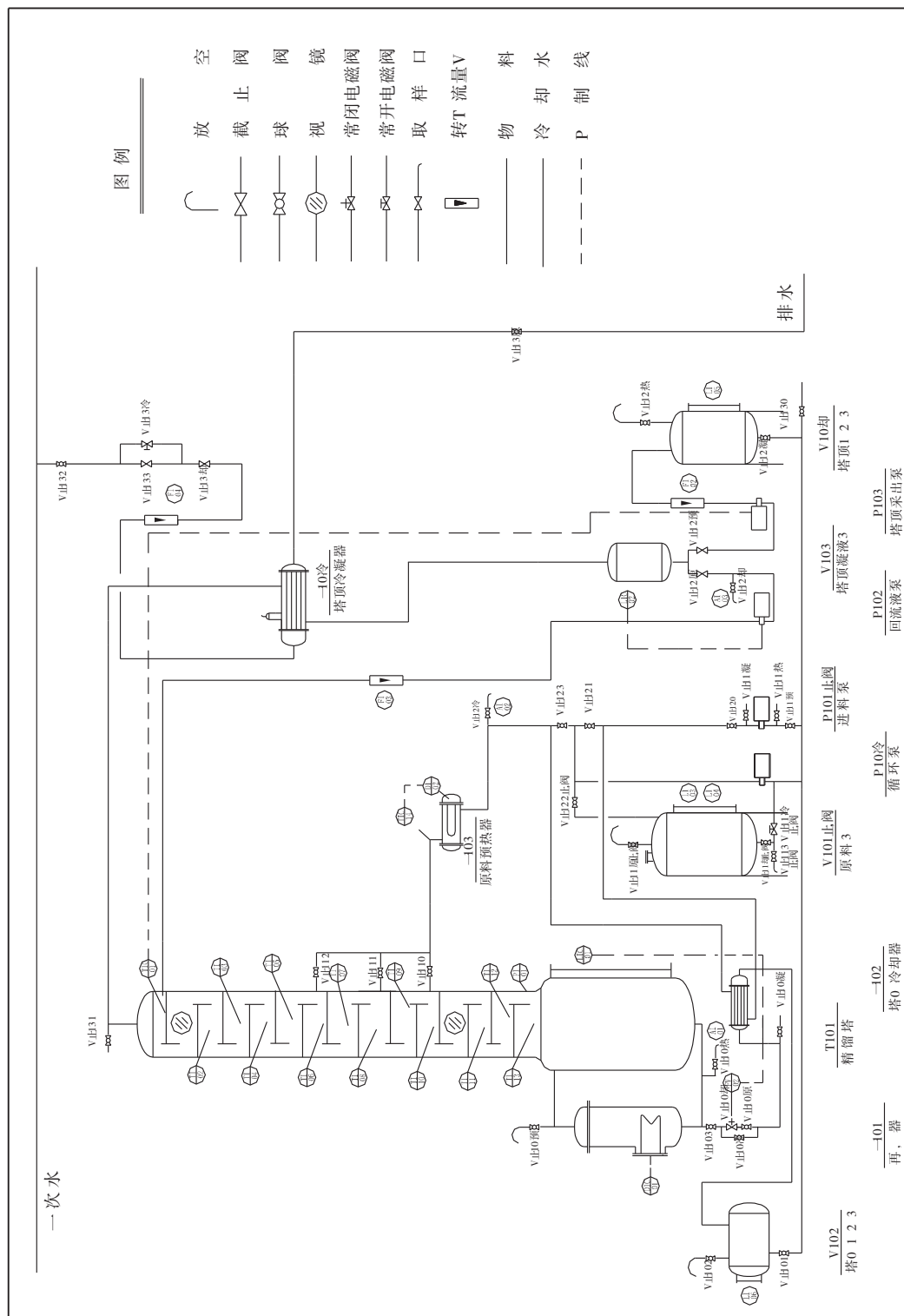


图 1-1 工艺设备流程图



精馏装置、仪表及测量传感器分别如表 1-1、1-2 所示。

表 1-1 精馏装置一览表

序号	位号	名称	用途	规格
1	T101	精馏塔	完成分离任务	15 节塔段, 每段 $\phi 76 \times 120$ mm, 塔釜 $\phi 159 \times 500$ mm
2	V101A	原料罐	贮存原料液	$\phi 300 \times 400$ mm
3	V101B			
4	V105	塔顶产品罐	贮存塔顶产品	$\phi 219 \times 400$ mm
5	V102	塔釜产品罐	贮存塔釜产品	$\phi 273 \times 400$ mm
6	V103	塔顶冷凝液罐	临时贮存塔顶蒸气冷凝液	$\phi 76 \times 400$ mm
7	E101	再沸器	为精馏过程提供上升蒸气	$\phi 159 \times 300$ mm, 加热功率 2.5 kW
8	E102	塔釜冷却器	冷却塔釜产品的同时预热原料	$\phi 108 \times 400$ mm, 换热面积 0.15 m ²
9	E104	塔顶冷凝器	将塔顶蒸气冷凝为液体	$\phi 108 \times 400$ mm, 换热面积 0.15 m ²
10	E103	原料预热器	将原料加热到指定的进料温度	$\phi 50 \times 300$ mm, 加热功率 600 W
11	P101	进料泵	为精馏塔提供连续定量的进料	J-1.6 柱塞计量泵, 10 L/h
12	P102	回流液泵	为精馏塔提供连续定量的回流液体	J-1.6 柱塞计量泵, 10 L/h
13	P103	塔顶采出泵	将塔顶产品输送到塔顶产品罐	J-W 柱塞计量泵, 6 L/h
14	P104	循环泵	为精馏塔的开车提供快速进料	增压泵, 10 L/min

表 1-2 仪表及测量传感器

序号	位号	仪表用途	仪表位置	规格		执行器
				传感器	显示仪	
1	PI01	塔釜压力	集中	-100~60 kPa 压力传感器	AI-501D	

续表1-2

序号	位号	仪表用途	仪表位置	规格		执行器
				传感器	显示仪	
2	TIC14	进料温度	集中	Pt100 热电阻, 1 级 -200~800℃	AI-808B	加热器
3	TI13	塔釜温度	集中		AI-702E	
4	TI12	第十四块塔板温度	集中		AI-702E	
5	TI11	第十三块塔板温度	集中		AI-702E	
6	TI10	第十一块塔板温度	集中		AI-702E	
7	TI09	第十块塔板温度	集中		AI-702E	
8	TI08	第九块塔板温度	集中		AI-702E	
9	TI07	第八块塔板温度	集中		AI-702E	
10	TI06	第七块塔板温度	集中		AI-702E	
11	TI05	第六块塔板温度	集中		AI-702E	
12	TI04	第五块塔板温度	集中		AI-702E	
13	TI03	第四块塔板温度	集中		AI-702E	
14	TI02	第三块塔板温度	集中		AI-702E	
15	TIC01	塔顶温度	集中		AI-808B	回流泵、出料泵
16	LIC01	塔釜液位	就地/集中	0~420 mm UHC 荧光柱式磁翻转 液位计, 精度 20 cm	AI-501B	塔底出料 电磁阀
17	LIC02	冷凝液液位	就地/集中	0~420 mm UHC 荧光柱式磁翻转液 位计, 精度 20 cm	AI-808B	回流泵、 出料泵
18	LI03	原料罐 A 液位	就地		玻璃管	
19	LI04	原料罐 B 液位	就地		玻璃管	
20	LI05	塔顶产品罐液位	就地		玻璃管	
20	LI06	塔釜产品罐液位	就地		玻璃管	
22		进料流量	就地			
23		回流流量	集中		变频器	变频器
24		出料流量	集中		变频器	变频器
25	FI04	冷却水流量	就地		40~400 L/h 转子流量计	

相关知识

一、精馏装置及流程

1. 精馏装置

图 1-2 所示的是一种连续生产的精馏装置。这种分离装置在石油化工生产中得到广泛的应用。它不仅能实现连续生产，还能得到高纯度的产品。下面介绍了这套装置中的主要设备。

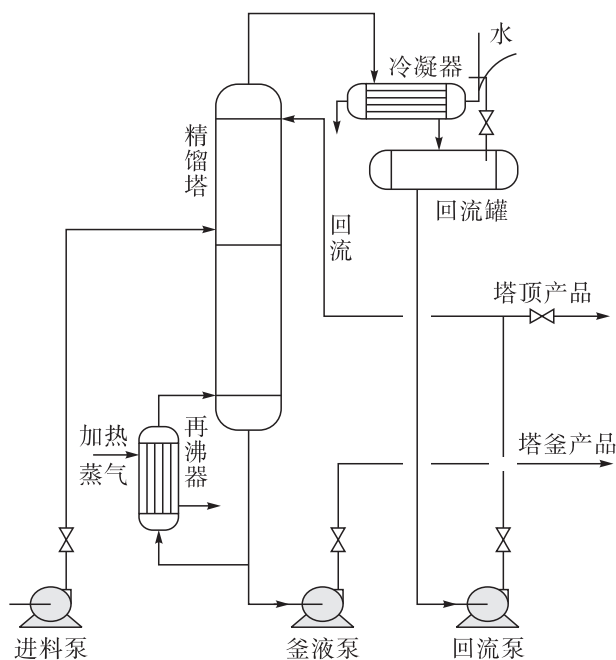


图 1-2 精馏装置

(1) 进料泵。它是一个输送流体的设备。

(2) 再沸器。从图 1-2 中可以看到有加热蒸气进入这个设备，因此，它属于加热设备，是一个立式的换热器。

(3) 精馏塔。从外形看，它是一个直径较大的圆筒形设备，其高度可以是几米或者是几十米。

(4) 冷凝器。它属于传热设备，是一个卧式的换热器。

(5) 回流罐。它被用于贮存回流液，是个容器。

(6) 釜液泵。它也是一个输送流体的设备。它将釜液送出，成为塔釜产品。

2. 精馏装置的生产流程

精馏装置的生产流程如图 1-3 所示。

(1) 待分离的混合液通过进料泵连续不断地从精馏塔的中部进入。

(2) 塔顶设有冷凝器。被冷凝的产品一部分从塔顶回流至塔内，另一部分则作为塔顶产品收集。

(3) 塔底设有再沸器。进入再沸器的塔底溶液经过加热后，一部分回流至塔内，另一部分则作为塔底产品收集。

由于在塔顶能得到较高浓度的产品，实现较完全的分离，所以被称为精馏。加料板把精馏塔分为两段：一段是加料板以上的塔，即塔的上半部，完成上升蒸气的精制，除去其中的难挥发组分，因而被称为精馏段；另一段是加料板以下（包括加料板）的塔，即塔的下半部，完成下降液体中难挥发组分的提浓，除去易挥发组分，因而被称为提馏段。一个完整的精馏塔应包括精馏段和提馏段。

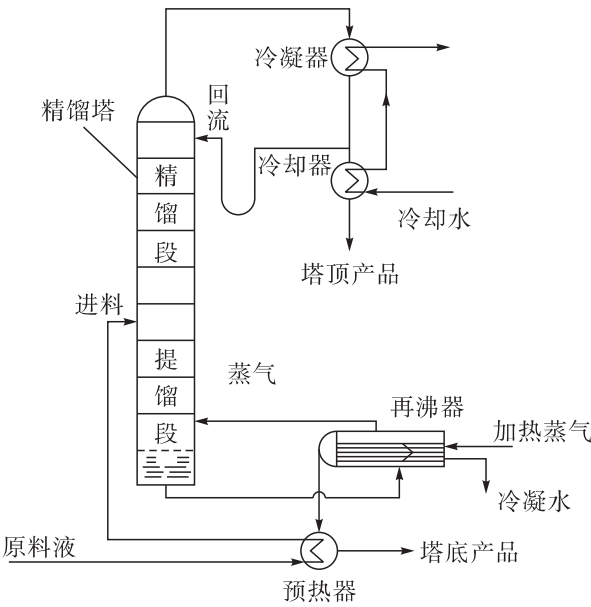


图 1-3 连续精馏装置与流程

二、精馏基本原理

精馏分离是根据溶液中各组分挥发度（或沸点）的差异，使各组分得以分离。其中较易挥发的称为易挥发组分（或轻组分），而较难挥发的称为难挥发组分（或重组分）。它通过气、液两相的直接接触，使易挥发组分由液相向气相传递，而难挥发组分则由气相向液相传递，是气液两相之间的传递过程。

现取第④n⑤板（图 1-4）为例来分析精馏过程和原理。

塔板的形式有多种，其中最简单的一种被称为筛板塔，其板上有许多小孔，且每层板上都装有降液管。来自下一层（④n+1层）的蒸气通过板上的小孔上升，而上一层（n-1层）的液体则通过降液管流到第 n 板上，从而在第 n 板上气

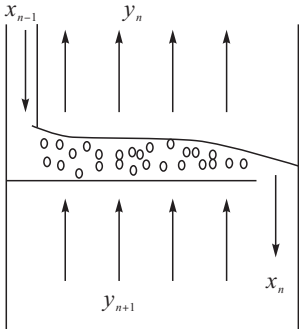


图 1-4 筛板塔操作情况



液两相密切接触，进行热量和质量的交换。⑫

当组成为 x_{n-1} 的液体与组成为 y_{n+1} 的蒸气同时进入第 n 板时，由于存在温度差和浓度差，气液两相在第 n 板上密切接触，并进行传质和传热的结果会使离开第 n 板的气液两相平衡。如图1-4所示筛板塔操作情况，若气液两相在该板上的接触时间长，接触比较充分，那么离开该板的气液两相相互平衡，通常称这种板为理论板（ y_n 、 x_n 相互平衡）。精馏塔中，每层板上都进行着与上述相似的过程，其结果是上升蒸气中易挥发组分浓度逐渐增高，而下降的液体中难挥发组分越来越浓。因此，只要塔内有足够多的塔板数，就可使混合物达到所要求的分离纯度（共沸情况除外）。

原料液经预热器加热到指定温度后，被送入精馏塔的加料板，在加料板上与自塔上部下降的回流液体汇合后，逐板溢流，最后流入塔底再沸器中。在每层板上，回流液体与上升蒸气互相接触，进行热和质的传递过程。

根据精馏原理可知，单有精馏塔是不能完成精馏操作的，必须同时有塔底再沸器和塔顶冷凝器，有时还要配有原料液预热器、回流液泵等附属设备，才能实现整个精馏操作。其中，再沸器的作用是提供一定量的上升蒸气流；冷凝器的作用是提供塔顶液相产品及保证有适宜的液相回流，从而使精馏能连续稳定地进行。⑬

三、精馏分离的特点

- (1) 通过精馏分离可以直接获得所需要的产品。
- (2) 精馏分离的适用范围广，它不仅分离液体混合物，而且还可用于气态或固态混合物的分离。
- (3) 精馏过程适用于各种组成混合物的分离。
- (4) 精馏操作是通过对混合液加热建立气液两相体系而进行的，所得到的气相还需要再冷凝化。因此，精馏操作耗能较大。

四、全塔物料衡算

总物料量：

$$F = D + W \quad (14-1)$$

易挥发组分量：

$$F x_F = D x_D + W x_W \quad (14-2)$$

式中： F ——进料流量；

W ——釜残液流量；

D ——馏出液流量；

x_F ——进料易挥发组分含量；

x_D ——馏出液易挥发组分含量；

x_W ——釜残液易挥发组分含量。⑭

五、精馏塔结构

精馏塔的结构可分为两类，一类是板式塔，另一类是填料塔。其中，板式塔的塔体

为一圆形筒体，塔内装有多层塔板。板式塔又可分为有降液管及无降液管两大类，如图1-5所示。在有降液管的塔板上，有专供液体流通的降液管。每层板上的液层高度可以通过溢流堰来适当地调节。在塔板上，气液两相呈错流方式接触。常用的板型有泡罩塔、浮阀塔、筛板塔等。在无降液管的塔板上，没有供液体流通的降液管，气液两相同时逆向通过塔板上的小孔，故又称穿流板。这种塔板结构简单，在塔板上，气液两相呈逆流方式接触。常用的板型有筛孔及栅缝隙式穿流板等。

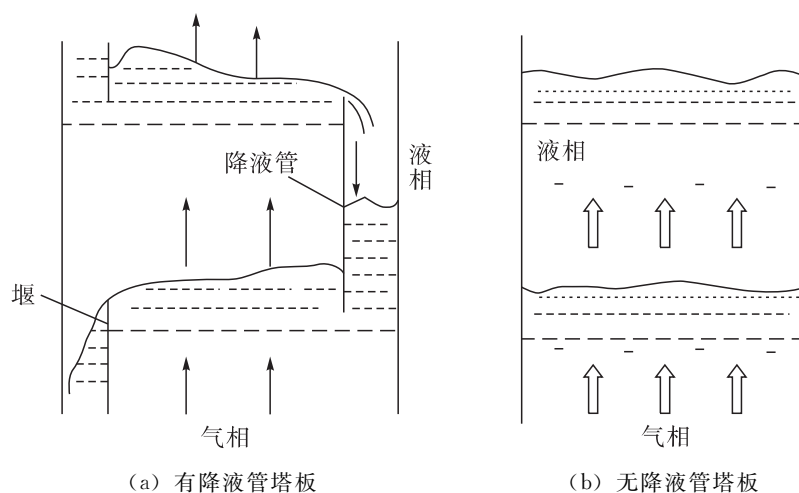


图 1-5 板式塔结构类型

塔板的形式有许多种，精馏塔常常以塔板的名称来命名。下面就来认识下筛板塔。筛板塔是最早被用于化工生产的塔设备之一。筛板的结构如图1-6所示。

在塔板上开有许多均匀分布的筛孔，上升气流通过筛孔分散成细小的流股，在板上液层中鼓泡而出，从而与液体密切接触。塔板上设置有溢流堰，从而使板上维持一定高度的液层。在正常操作范围内，通过筛孔上升的气流，应能阻止液体经筛孔向下泄漏。液体通过降液管逐板向下流。

以下是筛板塔的操作情况说明：

(1) 当气速很低时，液体会经部分筛孔淋下，而气体则经另一部分筛孔上升，在筛板上并不形成液层，气液接触面极小。

(2) 随气速的增大，筛板产生的压强降增大，液体通过筛孔下流时会受到较大阻力，从而在筛板上开始形成液层，这点被称为拦液点。在拦液点，液体仍主要通过部分筛孔向下流。

(3) 继续增大气速，液层增厚并超过溢流堰高度时，气体以鼓泡形式通过液体，部分液体从降液管下流，但仍有部分液体通过部分筛孔下漏，并且漏液量逐渐减少。当气速达到某一数值时，筛孔全部被气体吹开，此时经筛孔的液体停止下漏，液体全部经降

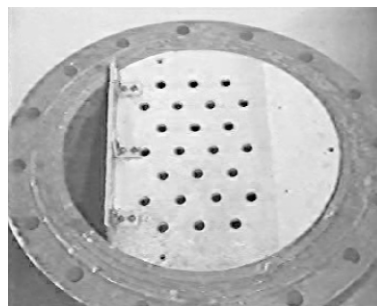


图 1-6 筛板塔结构



液管下流，这点被称为漏液点。这时，气体主要以鼓泡形式通过筛板上的液层，但鼓泡并不剧烈。

(4) 在漏液点以后，继续提高气速，筛板上的液层中会出现鼓泡层（接近筛板处）、泡沫层（气泡剧烈搅动液体形成泡沫）和雾沫层（液体被喷散成雾沫，从而分散在气流中）。泡沫层中液体被喷成薄膜或喷流状态，此时有很大表面与气体接触，并存在强烈搅动，是气液两相传热、传质的良好场合。

(5) 若再进一步提高气速，泡沫和雾沫的形成会加剧，以致气速到达一定值时，雾沫夹带严重，相当于将液体经气相倒流至上一层塔板，此时正常操作已被破坏，这点被称为液泛点。

筛板塔的主要优点是结构简单、金属耗量小、造价低廉；气体压强较小，板上液面落差也较小，生产能力及塔板效率较高。筛板塔的主要缺点是操作弹性范围较窄，小孔筛板容易堵塞。近年来，有采用 $\phi 10 \sim 25$ mm 的筛孔，在设计合理时仍可稳定操作，而且不易堵塞，同样可以获得比较满意的塔板效率。

任务实施

一、开车前的准备工作

- (1) 熟读流程，确认各个设备、管路、阀门的位号。
- (2) 熟悉各取样点及温度和压力测量点与控制点的位置。
- (3) 检查公用工程（水、电）是否处于正常供应状态。
- (4) 设备上电。检查流程中各设备、仪表是否处于正常开车状态，动设备试车。
- (5) 启动水泵往精馏系统内加水，至各储槽、精馏塔充满；将压力升至 0.1 MPa，保压 30 分钟，若无压力下降，则气密性试验合格。
- (6) 检查塔顶产品罐是否有足够空间贮存实训产生的塔顶产品。若空间不够，关闭阀门 VA101、VA115A (B) 和 VA123，打开阀门 VA116A (或 B)、VA117、VA120、VA121、VA128、VA129、VA122A (或 B)，启动循环泵 P104，将塔顶产品倒到原料罐 A (或 B)。
- (7) 检查塔釜产品罐是否有足够空间贮存实训产生的塔釜产品。空间不够，关闭阀门 VA115A (B)、VA129 和 VA123，打开阀门 VA101、VA102、VA116A (或 B)、VA117、VA120、VA121 和 VA122，启动循环泵 P104，将塔釜产品倒到原料罐 A 或 B。
- (8) 检查原料罐是否有足够原料供实训使用，检测原料浓度是否符合操作要求（原料体积百分浓度为 10%~20%），若有问题应进行补料或调整浓度的操作。
- (9) 检查流程中各阀门是否处于正常开车状态：关闭的阀门有 VA101、VA104、VA108、VA109、VA110、VA111、VA112、VA113A (B)、VA117、VA118、VA119、VA120、VA121、VA122A (B)、VA123、VA124、VA125、VA126、VA127、VA129、VA130、VA133、VA136；全开的阀门有 VA102、VA103、VA105、



VA107、VA114A (B)、VA115A (B)、VA116A (B)、VA128、VA131、VA132。

(10) 按照要求制订操作方案。

二、装置检查记录

装置检查记录如表 1-3 所示。

表 1-3 装置检查记录表

检查项目	塔、罐	管路	阀门	仪表	公用工程
检查结果					
检查人签名					

若发现异常情况，必须及时报告指导老师进行处理。

三、任务评价

任务评价如表 1-4 所示。

表 1-4 任务评价表

评价项目	评价依据	扣分	得分
任务认识 (5 分)	清楚任务目标，根据任务分析，做好预习	①不清楚任务目标扣 5 分 ②清楚任务目标，不做预习扣 3 分	
制订计划 (5 分)	根据任务分析，制订计划	①制订的计划脱离任务分析扣 5 分 ②根据任务分析，制订计划不详扣 3 分	
任务实施前的准备 (10 分)	①工作服穿戴整齐，做好安全防护 ②检查设备	①工作服穿戴不整齐，没做好安全防护扣 3 分 ②检查设备不认真，有遗漏，每遗漏一处扣 2 分，7 分扣完为止	
任务实施 (35 分)	①公用工程的检查 ②管路、阀门的检查 ③塔、罐的检查 ④仪表的检查	①公用工程未检查扣 5 分 ②管路、阀门的检查有遗漏，每遗漏一个扣 2 分，15 分扣完为止 ③塔、罐的检查有遗漏，每处扣 2 分，10 分扣完为止 ④仪表未检查扣 5 分	
原始数据记录 (10 分)	①及时、规范地记录原始数据，无涂改、无伪造 ②正确填写数据记录表	①未及时、规范地记录原始数据扣 2 分 ②原始数据记录有涂改，每涂改一处扣 2 分，10 分扣完为止 ③不能正确填写数据记录表扣 2 分 ④伪造数据扣 10 分	
整理工作环境 (5 分)	①整理工具，分类存放 ②任务完成，积极主动地打扫卫生	①未整理工具、未分类存放扣 5 分 ②任务完成，不积极主动地打扫卫生扣 5 分	
任务成果 (20 分)	任务结束，有成果展示	①任务结束，无成果展示扣 20 分 ②任务结束，成果不佳扣 10 分 ③没有完成工作任务扣 20 分	

评价项目	评价依据	扣分	得分
任务效果 (10分)	任务实施达到预期目标,具有较强的团队精神和合作意识,在任务实施过程中具有创新精神	①任务实施基本达到预期目标,缺乏团队精神和合作意识扣5分 ②任务实施没有达到预期目标,缺乏团队精神和合作意识,在任务实施过程中不具有创新精神扣10分	
合计得分			
问题与感想			
项目综合评价			

随堂练习

- (1) 精馏塔中精馏段的作用是什么?
- (2) 简述板式精馏塔的工作原理。
- (3) 精馏装置包括哪些主要设备?

拓展提高

一、其他类型板式塔

1. 泡罩塔

泡罩塔是生产中应用最早的板式塔,而且也是多年来板式塔中被用得最广的一种。泡罩塔板的基本结构如图1-7、1-8所示。在一块圆形塔板上开有若干规则排列的圆孔,每个圆孔上都装有升气管,由于升气管高出液面,故板上液体不会从升气管中下漏。升气管上覆盖钟形泡罩,泡罩下部周边开有许多齿缝。操作状况下,齿缝浸没于板上液层之中,形成液封。上升气体通过齿缝被分散成细小的气泡或流股进入液层。板上的鼓泡液层或充气的泡沫体为气液两相提供了大量的接触面积。液体通过降液管下流,并依靠溢流堰来保证塔板上存有一定厚度的液层。

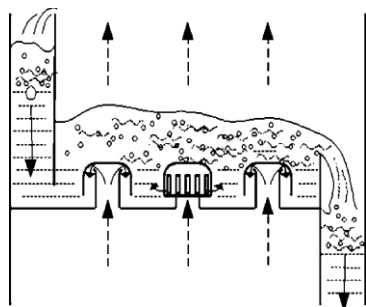


图1-7 泡罩塔板上气液流动情况

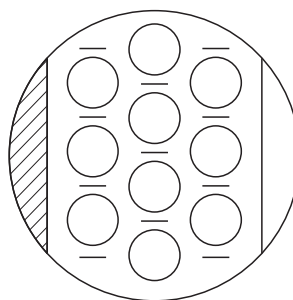


图1-8 泡罩分布情况



泡罩有多种形式，在化工生产中应用最广泛的是圆形泡罩，如图 1-9 所示。

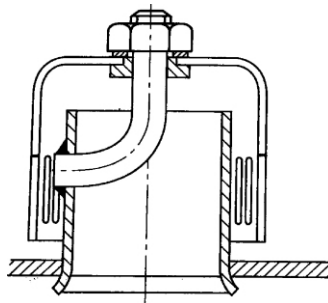
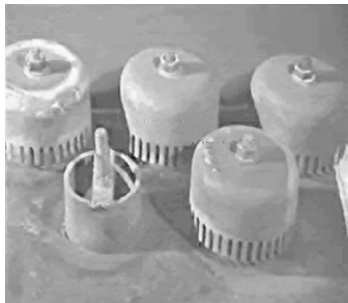
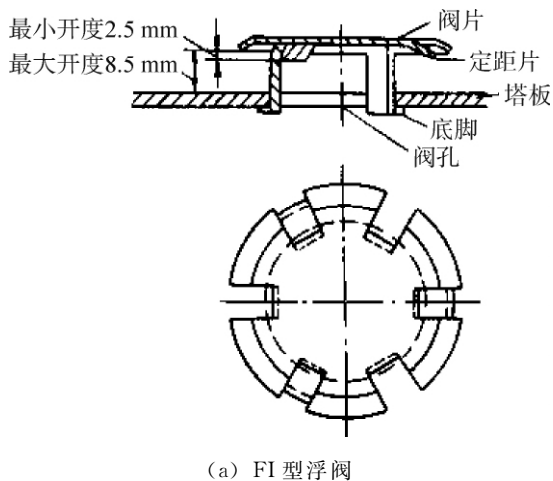


图 1-9 泡罩的结构

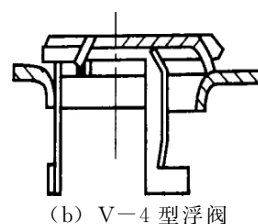
泡罩塔的优点是操作性能稳定，操作弹性大，并且塔板不易堵塞，能处理含少量污垢的物料。其缺点是塔板结构复杂、金属耗量大、造价高、安装和维修不便；气体流动路线曲折，塔板上液层较厚，增大了气体流动的阻力；液体流过塔板时因阻力而有液面落差，板上液层深浅不同，致使气量分布不均，从而影响了板效率的提高。在新建的化工厂中，已很少建造泡罩塔。

2. 浮阀塔

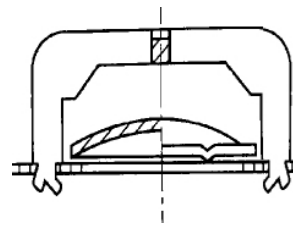
浮阀塔板的构造与泡罩塔板相似，只是用浮阀代替泡罩，并且没有升气管，但在带降液管的塔板上开有若干个大孔（标准孔径为 39 mm），在每个孔上装有一个可以上下浮动的阀片。浮阀有多种形式，国内最常采用的阀片形式为 FI 型和 V-4 型，十字架型浮阀也有应用，如图 1-10、1-11 所示。



(a) FI 型浮阀



(b) V-4 型浮阀



(c) 十字架型浮阀

图 1-10 几种浮阀类型

FI 型浮阀（国外称 V-1 型），阀片本身有三条“腿”插入阀孔后，将各腿底脚板转 90°角，用以限制操作阀片在板上升起的最大高度（8.5 mm）。阀片周边冲出三块略向下弯的定距片，使阀片处于静止位置时仍与塔板间留有一定的缝隙（2.5 mm）。

V-4 型浮阀的特点是塔板上的阀孔被冲成向下弯曲的文丘里形，用以减少气体通过塔板时的压强降。该型阀片除腿部相应增长外，其余结构尺寸与 FI 型相同。V-4 型

浮阀适用于减压系统。

十字架型浮阀的制造与安装比较复杂。该型浮阀是借助于固定塔板上的支架来限制拱形阀片的运动范围，多用于易腐蚀、含颗粒或易聚合的介质。

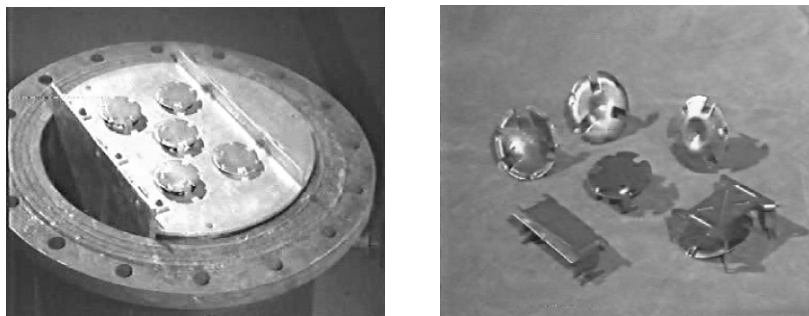
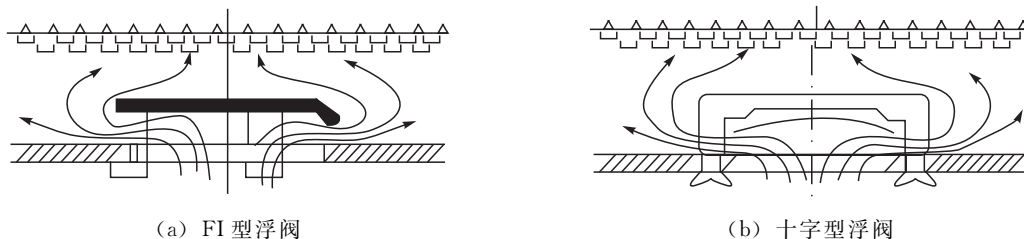


图 1-11 浮阀图片

浮阀塔操作时，如果气体流速较低，浮阀仍静止在塔板上，则气体通过浮阀架，在塔板上的最小开度处以鼓泡形式通过液层。气体流速增大到最大流速的 20% 左右时，浮阀开始被吹起。因为塔板上有液体落差，各浮阀被吹开的时间并不一致，靠近溢流堰的浮阀因液层浅而被先吹起。此外，随着气速的变化，浮阀被吹起的程度也不同，被吹起的浮阀在液层中上下浮动。当气速达到最大流速的 70% 左右时，所有浮阀全被吹起，开度为 8.5mm。浮阀稳定的位置只有全开和全闭，但在这范围内，浮阀可因气速的变化而在液层中上下浮动，自动地调节气体流通面积，保持气体被吹入液层时，能形成良好的泡沫状态，因此浮阀塔能在相当广的气速范围内稳定操作。塔板上通过浮阀的气液接触情况如图 1-12 所示。气体在塔板上的水平方向喷出，使气液有较长的接触时间，雾沫夹带量也比泡罩塔的少；同时，气流方向有利于气液接触和湍动，加上上面所讲述的及浮阀能自由浮动调节，使浮阀塔能在大负荷范围内保持较高的分离效率。



(a) FI 型浮阀

(b) 十字型浮阀

图 1-12 浮阀塔板上气液接触情况

3. 穿流栅孔板塔

穿流栅孔板塔是无溢流装置的筛板（或栅板）塔。这种塔的塔板也称淋降板，是一种结构简单的板型，没有降液管，塔板上开有栅缝或筛孔，气液两相同时逆流通过。如图 1-13 所示。

操作时，气体由孔或缝中上升，对液体产生阻滞作用，在板上造成一定的液层。气体穿过部分筛孔或缝隙进入液层，形成泡沫层和雾沫层进行气液接触。在塔板上，与气体接触的液体又不断地通过部分筛孔或缝隙下流，从而在筛孔或缝隙中形成了气液的上



下穿流。但气液并非同时所有同一筛孔中穿流，而是气流通过部分筛孔或缝隙，在塔板上与液体形成鼓泡层；液体则经另一部分筛孔或缝隙下流，而且气液交叉通过的孔或缝隙的位置也是不断变化的。显然，气速太小时，塔板上不会积液，只有达到一定气速（即前述的拦液点）时，板上才会开始积液。进一步增大气速，板上会形成泡沫层和雾沫层。气速继续增大到一定程度后，雾沫夹带严重。液层充满了塔板空间，向上倒流，形成液泛。穿流塔板要求在拦液点至液泛点的气速范围内操作，一般希望气速接近液泛点处，因为此时不仅处理量大，同时分离效率也高。

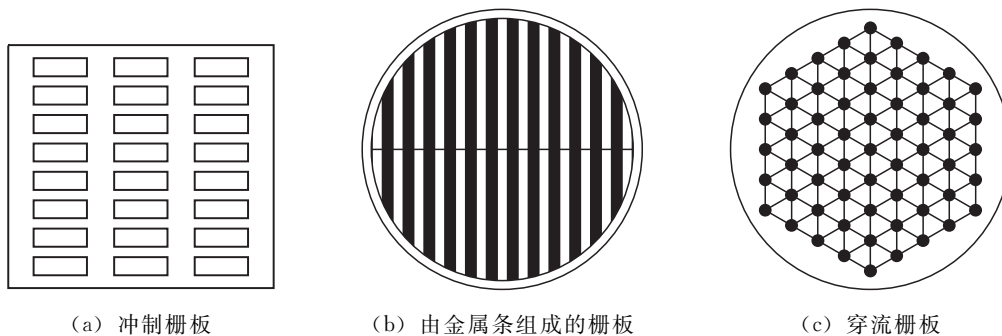


图 1-13 穿流栅板

除以上介绍的塔板外，还有很多种形式的塔板，如浮舌塔板、舌型塔板、网孔塔板等。

二、其他蒸馏方式

1. 间歇精馏

间歇精馏又称分批精馏，如图 1-14 所示。全部物料一次性加入蒸馏釜中，精馏时，自塔顶蒸出的蒸气经冷凝后，一部分作为塔顶产品，另一部分作为回流被送回塔内。操作结束时，残液一次性地从釜内排出，然后再进行下一批的精馏操作。

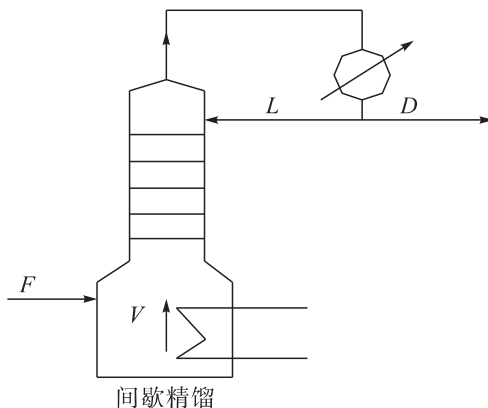


图 1-14 间歇精馏

间歇精馏的特点如下：