

中等职业教育规划教材

HUAGONG SHENGCHAN JICHU 化工生产基础

王奇 主编

The Third Edition

第三版



化学工业出版社



CS 扫描全能王

3亿人都在用的扫描App

目 录

第一章 化工生产概论	1
第一节 化学工业与化工生产过程	1
【阅读 1-1】 新材料、新能源与化学工业	4
第二节 化工生产过程的基本组成规律	4
一、单元操作和单元反应	6
【看看想想 1-1】	6
二、化工生产过程的三个基本步骤	7
三、化工生产过程中的两种转换——物质转换与能量转换	8
【技能训练 1-1】 分析烧碱生产过程的基本组成	10
第三节 化工生产过程的有关基本概念	10
一、相和相变	13
二、过程的平衡关系和过程速率	14
三、物料计算和能量计算	15
第四节 化工生产常用的量和单位	15
一、量和单位	16
二、法定计量单位	16
三、化工生产常用的法定计量单位	18
四、法定计量单位的使用规则	18
五、常用单位的换算	20
【阅读 1-2】 纳米技术与微化工技术	21
习题	21
第二章 流体的输送	23
第一节 流体力学	23
一、流体的主要物理量	26
二、流体静力学	27
【看看想想 2-1】 看图，回答问题	29
三、流体动力学	29
【看看想想 2-2】 观察日常生活接触到的三种仪表	29
【技能训练 2-1】 压力计、液位计、流量计使用练习	35
第二节 液体输送机械	35
一、离心泵及其操作训练	40
【阅读 2-1】 屏蔽泵和磁力驱动泵——两种无泄漏的离心泵	43
【技能训练 2-2】 离心泵安装训练	44
【技能训练 2-3】 离心泵操作训练	44



【技能训练 2-4】 离心泵性能曲线的测定	47
【看看想想 2-3】 观察你接触到的泵	48
二、其他类型泵	49
【技能训练 2-5】 泵的选型练习	52
第三节 气体的压缩和输送机械	53
一、往复式压缩机及操作	53
【技能训练 2-6】 往复式压缩机操作训练	60
二、离心式压缩机	67
【技能训练 2-7】 离心式压缩机操作训练	70
三、其他类型的气体输送机械	72
习题	74
 第三章 非均相物系分离	79
第一节 概述	79
一、混合物的分离	79
二、均相物系和非均相物系	79
三、非均相物系的分离	80
第二节 液-固分离	80
一、沉降法液-固分离	81
二、过滤法液-固分离	82
【看看想想 3-1】 搜集过滤机技术进展的信息	88
【技能训练 3-1】 厢式压滤机的操作	89
【技能训练 3-2】 转鼓真空过滤机的操作	89
【看看想想 3-2】 观察几种生活中的液-固分离现象	90
三、离心分离法	91
四、液-固分离设备的比较	94
【阅读 3-1】 膜分离技术简介	96
第三节 气-固分离	97
一、沉降法气-固分离	97
二、过滤法气-固分离	98
三、湿法（洗涤除尘法）	98
四、静电除尘法	100
五、气-固分离设备的比较	100
习题	100
 第四章 传热	104
第一节 传热有关的基本概念	104
一、传热	104
二、热现象、热量、比热容	104
三、显热和潜热	105
第二节 传热的方式与原理	106



一、传热的三种基本方式	106
【看看想想 4-1】 观察生活中的传热	112
二、工业上的换热方法	113
第三节 间壁式换热器的原理及操作	114
一、间壁式换热器传热原理	114
二、传热过程的热量衡算	115
三、传热速率方程式的计算与应用	119
【技能训练 4-1】 列管换热器传热系数的测定	125
【看看想想 4-2】 利用传热原理实现节能的几个实例	128
【看看想想 4-3】 研究换热器的几个有关问题	129
四、换热器的操作技能训练	129
【技能训练 4-2】 列管换热器结构的认识	129
【技能训练 4-3】 列管换热器操作训练	133
第四节 换热设备及其维护方法	134
一、换热器的种类和性能	134
【阅读 4-1】 板式换热器	137
二、列管换热器的规格型号和初步选型	138
三、换热器的维护与检修	140
【技能训练 4-4】 换热器的日常维护与检修	141
【阅读 4-2】 换热器的技术进展	142
第五节 设备与管路的保温	143
一、保温的意义和目的	143
二、保温的内容和技术要求	144
三、保温的施工操作和日常维护	145
【技能训练 4-5】 保温的认识、维护与保温材料的选用	146
习题	147
第五章 蒸发	
第一节 概述	151
一、基本概念	151
二、蒸发的应用	151
三、蒸发的分类	151
第二节 单效蒸发	151
一、单效蒸发的基本原理和流程	152
二、单效蒸发的计算	152
第三节 多效蒸发	153
一、多效蒸发原理	157
二、多效蒸发流程	157
三、提高蒸发器生产强度的途径	157
【技能训练 5-1】 多效蒸发的操作	159
第四节 蒸发设备	159
	160



一、蒸发器的基本结构	160
二、蒸发器的种类和性能	161
三、蒸发装置中的辅助设备	165
【阅读 5-1】 闪蒸简介	166
习题	166
第六章 吸收	168
第一节 概述	168
一、基本概念	168
二、吸收在化工生产中的应用	168
三、吸收操作的分类	168
第二节 吸收的基本原理	169
一、汽-液相平衡关系	169
【看看想想 6-1】 观察硫酸、硝酸生产中吸收装置流程示意图	169
二、吸收过程的机理	172
三、吸收速率方程式	173
【看看想想 6-2】 观察液体分布器	175
四、吸收过程的计算	175
五、影响吸收操作的因素	177
六、解吸	178
【阅读 6-1】 吸收-解吸联合操作在二氧化碳减排试验中大显身手	179
第三节 吸收设备	179
一、填料塔	180
【看看想想 6-3】 观察几种新型填料	182
二、其他类型吸收设备	184
【阅读 6-2】 膜法气体分离简介	185
第四节 吸收的操作	186
一、填料吸收塔操作的基本要求和方法	186
二、在校内实训装置上进行的吸收操作训练	188
【技能训练 6-1】 填料塔实训装置操作训练	189
【技能训练 6-2】 填料塔几项特性的测定	190
三、填料吸收塔模拟操作训练	194
【技能训练 6-3】 填料吸收塔模拟操作	194
习题	196
第七章 蒸馏	200
第一节 概述	200
一、基本概念	200
二、蒸馏在化工生产中的应用	201
三、蒸馏操作的分类	201
第二节 蒸馏基本原理和简单蒸馏	201



一、溶液的汽-液平衡关系	201
二、 $T-x(y)$ 图和 $y-x$ 图	203
三、非理想溶液的汽-液相平衡	206
四、简单蒸馏的原理及流程	207
第三节 精馏原理与流程	209
一、精馏原理	209
二、精馏流程	211
三、精馏过程的基本计算	212
四、精馏过程的节能与强化	215
第四节 精馏设备	216
一、常用板式塔的结构	217
二、几种典型板式塔	218
【阅读 7-1】蒸馏技术的进展	220
【技能训练 7-1】精馏塔种类与结构的认识	221
第五节 精馏的操作	222
一、精馏操作的基本要求和方法	222
二、精馏操作技能训练	222
【技能训练 7-2】甲醇精馏的操作	224
第六节 特殊蒸馏	224
一、水蒸气蒸馏	227
二、共沸蒸馏	228
三、萃取蒸馏	228
【阅读 7-2】液-液萃取简介	229
习题	230
第八章 结晶	230
第一节 概述	234
一、基本概念	234
二、结晶的应用	234
三、结晶和其他过程的联系	234
第二节 结晶的基本原理	234
一、溶解度与溶液的过饱和度	234
二、结晶过程	234
第三节 结晶方法和设备	235
一、结晶方法	238
二、结晶设备	239
第四节 结晶的操作	239
一、结晶操作的基本要求和方法	240
二、结晶操作训练	243
【技能训练 8-1】氯化铵结晶的操作	243
【阅读 8-1】液体搅拌简介	244
	244
	245



习题	246
----	-----

第九章 固体物料的处理	248
第一节 固体物料的干燥	248
一、固体物料干燥概述	248
二、干燥过程的原理	249
三、干燥设备	255
【阅读 9-1】 干燥设备的技术进展	257
【阅读 9-2】 固体流态化简介	258
四、干燥的操作	259
第二节 固体物料的粉碎	260
一、粉碎基本概念	260
二、粉碎方法	261
三、粉碎设备	261
【阅读 9-3】 粉碎设备的技术进展	264
第三节 固体物料的筛分	264
一、基本概念	264
二、常用筛分设备	265
第四节 固体物料的输送	266
一、带式输送机	266
二、斗式输送机	267
三、螺旋输送机	267
四、气力输送机械	268
习题	268
第十章 单元反应简介	270
第一节 概述	270
一、基本概念	270
二、单元反应的实质和相关规律	270
三、单元反应中分子运动基本规律的应用	271
第二节 单元反应的类型	271
一、按相态划分的基本反应类型	272
二、按反应器形式分类	276
三、反应类型的认识 and 比较	278
第三节 几种典型单元反应	278
一、在槽式反应器内进行的液-固相反应——磷矿酸解	278
二、在塔式反应器内进行的气-液相反应——乙醛氧化	281
三、在固定床反应器内进行的气-固相催化反应——二氧化硫氧化	284
四、在管式反应器内进行的气相反应——烃类裂解	286
第四节 单元反应的操作	288
一、反应操作的基本要求和方法	288



二、单元反应操作技能训练.....	289
【技能训练 10-1】 乙醛氧化反应的操作	289
习题.....	291
第十一章 化工生产过程的整体控制	293
第一节 生产过程启动的整体控制.....	293
一、工程验收.....	294
二、投运准备.....	294
三、系统开车.....	295
第二节 生产正常运行的整体控制.....	296
一、生产正常运行整体控制的要求和方法.....	296
二、用计算机进行生产运行整体控制.....	297
第三节 生产装置停车与检修的整体控制.....	299
一、生产装置的停车.....	299
二、生产装置的检修.....	300
第四节 生产过程整体控制技能训练.....	301
【技能训练 11-1】 化工生产过程的启动和运行	301
习题.....	303
附录	
一、水的物理性质.....	305
二、液体的黏度和在 293K 时的密度	305
三、气体在常压下的黏度.....	306
四、常用泵的规格.....	308
五、比热容列线图.....	309
六、液体汽化潜热列线图.....	315
七、饱和水蒸气表（按压力排列）	317
八、饱和水蒸气表（按温度排列）	318
九、管板式换热器系列标准摘录（摘自 JB/T 4714、4715—92）	320
十、无机溶液在大气压下的沸点.....	321
十一、某些双组分混合物在 101.3kPa（绝压）下的汽-液平衡数据	322
十二、国内生产的部分离心机技术参数.....	323
主要参考文献	324
	325



块塔板)。由此看来,同时一次部分汽化和一次部分冷凝,比单纯一次部分汽化的分离效果要强,但仍不可能得到高纯度的馏出液。只有通过多次部分汽化和多次部分冷凝,才能将液体混合物进行较彻底的分离。

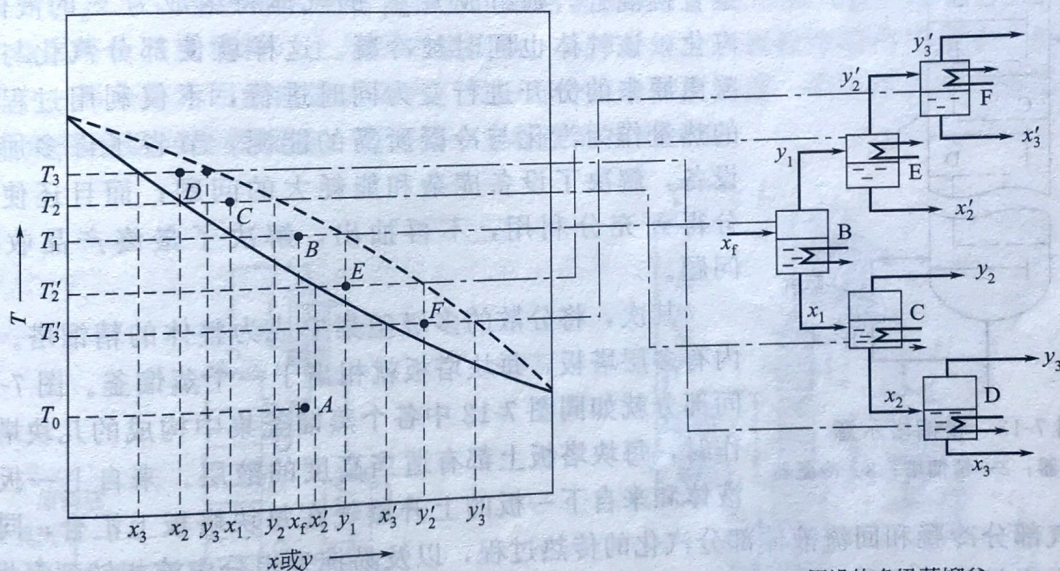
第三节 精馏原理与流程

一、精馏原理

简单蒸馏虽然不能将液体混合物彻底分离,但却可以说明经过一次部分汽化和一次部分冷凝能使馏出液中易挥发组分的含量有所提高,这是全部汽化或全部冷凝不可能达到的。如果将此馏出液再进行部分汽化和部分冷凝,就能得到易挥发组分含量更高的馏出液。若将这种部分汽化、部分冷凝反复多次地进行下去,最后就可能使混合液得到较彻底的分离,精馏过程就是按这个原理进行的。

1. 多次部分汽化和部分冷凝的基本过程

如图 7-12 所示为一套假设的苯-甲苯溶液的多级蒸馏釜,用它可以清晰地揭示多次部分汽化和部分冷凝的基本过程。



(a) 过程的 $T-x(y)$ 图

(b) 假设的多级蒸馏釜

图 7-12 多次部分汽化和多次部分冷凝基本过程示意

① 如图 7-12(a)、(b) 所示,在 B 釜中,将液相组成为 x_f 、温度为 T_0 (A 点) 的苯-甲苯混合液加热汽化,进行到两相平衡区内的 B 点即停止。这时平衡温度为 T_1 , 汽相组成为 y_1 , 液相组成为 x_1 。此次部分汽化,造成了汽-液两相组成差,即 $y_1 > x_1$ 。

② 把组成为 x_1 的液体引至 C 釜,在 C 釜中加热到平衡温度 T_2 (C 点),再次部分汽化,得到残液中的易挥发组分再次降低 ($x_2 < x_1$)。

③ 再将组成为 x_2 的残液引到 D 釜,仍照此进行,得到易挥发组分含量更低的残液 ($x_3 < x_2$)。依此类推,部分汽化反复多次,直到液相中易挥发组分含量降至很低,釜底可得到近乎纯净的难挥发组分甲苯。

2. 多次部分冷凝过程

① 将在 B 釜加热汽化产生的组成为 y_1 的气体引到 E 釜,进行部分冷凝,温度降至平衡



温度 T'_2 (E 点) 时中止。此时液相组成为 x'_2 , 汽相中易挥发组分含量增多, 即 $y'_2 > y_1$ 。

② 再将组成为 y'_2 的气体引入 F 釜, 照此继续进行部分冷凝。这样的部分冷凝反复多次后, 汽相中易挥发组分的含量越来越多, 最后可以得到接近纯净的易挥发组分苯。

3. 精馏操作的实现

以上这种将部分汽化与部分冷凝分开进行的多釜蒸馏, 虽能将液体混合物进行高纯度分离, 但在工业上难以实现。因为使用这种方法要具备许多个蒸馏釜和加热、冷却装置, 设备庞杂, 能耗很大, 并且要抽出很多中间馏分, 最终产品的收率很低。因此要使多次部分汽化和多次部分冷凝在工业上实现, 就必须找出一种切实可行的方法。

首先, 将部分汽化所产生的温度较高的蒸气与相应的部分冷凝所产生的温度较低的液体直接混合, 使部分汽化与部分冷凝在一个釜内同时进行, 可以克服以上缺点。从图 7-12 可

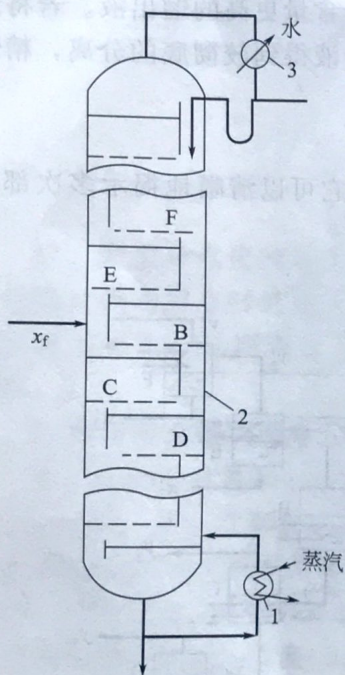


图 7-13 精馏塔示意

1—再沸器；2—精馏塔；3—冷凝器

以进一步看出, 每个釜汽化产生蒸气的温度, 总高于上一釜冷凝产生液体的温度。若将上述蒸气与液体引入同一个釜直接混合, 进行传热, 则高温蒸气的热量就能加热低温液体, 使其部分汽化; 而蒸气同时被部分冷凝。以 E 釜为例, 下釜 B 产生的组成为 y_1 的蒸气, 温度为 T_1 ; 上釜 F 产生的组成为 x'_3 的液体, 温度为 T'_3 , $T_1 > T'_3$ 。将以上汽、液两相在 E 釜直接混合, 则组成为 y_1 的气体将组成为 x'_3 的液体加热、汽化, 该气体也同时被冷凝。这样就使部分汽化与部分冷凝由原来的分开进行变为同时进行, 不仅利用过程中产生的热量作为汽化与冷凝所需的能源, 节省了许多加热冷却设备, 解决了设备庞杂和能耗大的问题; 而且还使中间馏分得到充分利用, 不再抽出, 解决了最终产品收率低的问题。

其次, 将分散的多级釜集中成为整体的精馏塔。精馏塔内有多层塔板, 每块塔板就相当于一个蒸馏釜。图 7-13 的中间部分就如同图 7-12 中各个蒸馏釜集中构成的几块塔板。操作时, 每块塔板上都有适当高度的液层。来自上一板的回流液体和来自下一板的上升蒸气在每块塔板上汇合, 同时发生上升蒸气部分冷凝和回流液体部分汽化的传热过程, 以及易挥发组分由汽相转入液相的传质过程。如果汽、液相在同一块塔板上接触良好, 汽、液两相可达到平衡。如果有足够的板数, 混合液就可得到较完全的分离。

使用上述方法, 能在减少设备、节省投资的情况下, 使以多次部分汽化和多次部分冷凝为主要内容的精馏操作在工业上得到实现。

4. 在精馏塔内进行的精馏过程

精馏塔是精馏操作的关键设备。精馏塔一般由塔中部进料, 进料口以上称为精馏段, 以下称为提馏段 (含进料板)。精馏段的作用是浓缩易挥发组分并回收难挥发组分, 提馏段的作用是浓缩难挥发组分并回收易挥发组分。由塔顶导出的蒸气经冷凝器冷凝成液体, 一部分作为馏出液制成产品, 另一部分作为回流液返回第一块塔板。回流液是使蒸气部分冷凝的冷却剂, 也是稳定蒸馏操作的必要条件; 而向塔底蒸馏釜的加热管不断通入蒸汽, 则是维持部

塔内蒸气由塔釜逐板上升, 回流液由塔顶逐板下降, 在每块塔板上二者互相接触, 进行



多次部分汽化和部分冷凝。上升的蒸气根据每进行一次部分冷凝易挥发组分含量就增加一次的原理，使易挥发组分逐板增浓；下降的回流液，则在多次部分汽化过程中使难挥发组分逐板增浓。在塔板数足够多的情况下，塔顶可得到较纯的易挥发组分，塔釜可得到较纯的难挥发组分。

综上所述，精馏塔的操作过程是：由再沸器产生的蒸气自塔底向塔顶上升，回流液自塔顶向塔底下降，原料液自加料板流入。在每层塔板上，汽、液两相互相接触，汽相多次部分冷凝，液相多次部分汽化。这样，易挥发组分逐渐浓集到汽相，难挥发组分逐渐浓集到液相。最后，将塔顶蒸气冷凝，得到符合要求的馏出液；将塔底的液体引出，得到相当纯净的残液。

精馏和简单蒸馏的区别在于：精馏有液体回流，简单蒸馏则没有；精馏采用塔设备，简单蒸馏采用蒸馏釜；精馏发生多次部分汽化和多次部分冷凝，简单蒸馏一般只发生一次；精馏的馏出液和残液纯度很高，简单蒸馏则较低。

二、精馏流程

工业上的精馏可以间歇进行，也可连续进行。现将这两种流程分述如下。

1. 间歇精馏

如图 7-14 所示，液体混合物在蒸馏釜 1 加热至沸腾，产生的蒸气进入精馏塔 2，蒸气由下而上在各层塔板（或填料）上与回流液接触。易挥发组分逐板提浓后由塔顶进入冷凝器 3 冷凝，其中一部分作为回流液进入塔内；另一部分经冷却器 4 进一步冷却后流入馏出液储槽 6。蒸馏后的残液返回至蒸馏釜，蒸馏到一定程度后排出残液。

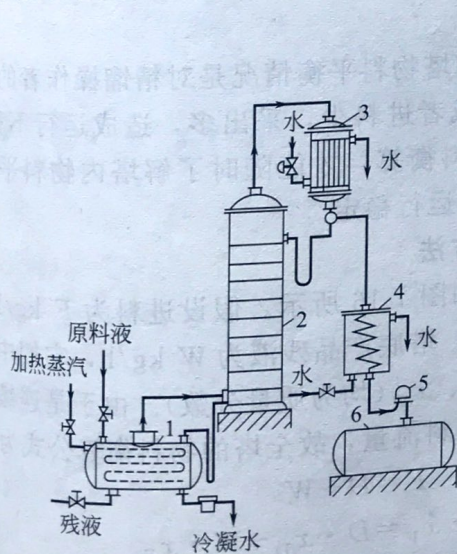


图 7-14 间歇精馏流程

1—蒸馏釜；2—精馏塔；3—冷凝器；4—冷却器；5—观测罩；6—馏出液储槽

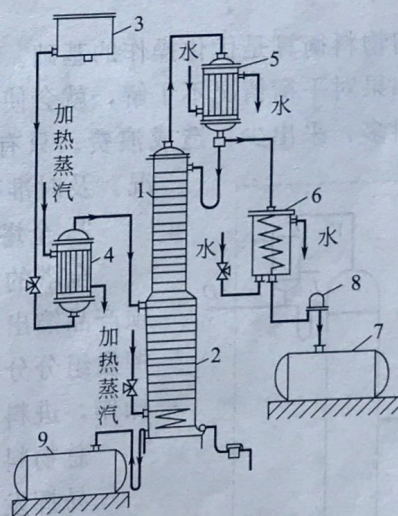


图 7-15 连续精馏流程

1—精馏段；2—提馏段；3—高位槽；4—原料预热器；5—冷凝器；6—冷却器；7—馏出液储槽；8—观测罩；9—残液储槽

间歇蒸馏的原料是一次加入釜内的，在蒸馏过程中釜内易挥发组分逐渐减少。如果回流比不变，则塔内各部位的温度逐步上升，馏出液纯度逐步降低。如果保持各部位温度稳定，就要逐步加大回流比。在实际生产中，往往根据物料的性质及分离要求，保持一定的回流比，分段截取不同沸点的馏分，分别送进几个储罐。

由于间歇精馏操作不稳定，处理量小，纯度不高，设备利用率低，所以只是用在分离少



量物料，不便采用连续精馏的情况。

2. 连续精馏

在工业生产中，要求将大量混合液进行较为彻底的分离时，必须采用连续精馏。连续精馏流程如图 7-15 所示。原料液经进料预热器加热到指定温度，进入精馏塔的中部，在塔内进行精馏。连续精馏操作稳定，塔内各部分的温度及组成均可保持不变，自动化程度高，处理能力大，在大规模生产中普遍采用。

三、精馏过程的基本计算

精馏过程计算内容较多，本书主要介绍精馏岗位生产操作常用的几种基本工艺计算。

1. 连续精馏塔物料衡算

精馏是利用多次部分汽化和多次部分冷凝分离液体混合物的过程，那么要进行多少次部分汽化和部分冷凝才能符合要求？也就是说，精馏塔应设多少块塔板才能满足需要又经济合理？要解决这一问题，就必须在科学的精馏物料衡算的基础上进行设计，精馏物料衡算是工艺设计的依据。计算的一般步骤如下。

① 进行精馏塔的物料衡算，要从全塔物料衡算入手，分别对精馏段和提馏段进行物料衡算，建立精馏段和提馏段操作线方程。

② 在操作线方程的基础上，计算出理论上的塔板数，再根据塔板效率，算出实际塔板数。

③ 根据塔板数计算出塔高、塔径。

④ 确定出最适宜的进料板位置和最适宜的回流比，以及其他工艺条件。

以上这些计算比较复杂，本书不作全面介绍，只介绍生产中常用的连续精馏塔全塔物料衡算。

精馏物料衡算是优化操作的基础。随时掌握精馏塔物料平衡情况是对精馏操作者的基本要求。如果对平衡情况不了解，就会使塔内失衡，或者进料少，采出多，造成运行不稳定；或者进料多，采出少，造成浪费。只有经常进行物料衡算，才能随时了解塔内物料平衡情况，及时准确调整，保持运行稳定。

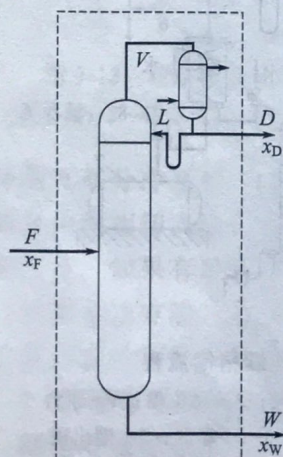


图 7-16 全塔物料衡算

2. 全塔物料衡算的方法

全塔的进出料情况如图 7-16 所示。假设进料为 F kg/h；塔顶产品馏出液为 D kg/h；塔底产品残液为 W kg/h，它们中含易挥发组分分别为 x_F 、 x_D 、 x_W （均为质量分数）。由于是连续稳定操作，进料流量必等于出料流量，故全塔的物料衡算公式为

$$\text{总物料} \quad F = D + W \quad (7-13)$$

$$\text{易挥发组分} \quad F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W \quad (7-14)$$

【例题 7-3】 每小时将 15000kg 含苯 40% 和甲苯 60% 的混合液，在连续精馏塔内进行分离，操作压力为 9.8×10^4 Pa，要求馏出液中苯的含量为 97.1%，残液中含苯不超过 2%，以上各组成均按质量分数计，试进行全塔物料计算，求馏出液和残液的数量，并列物料平衡表。

解 已知 $F = 15000$ kg/h, $x_F = 0.4$, $x_D = 0.971$, $x_W = 0.02$ 。馏出液 D 和残液 W 的量可用式(7-12)、式(7-13)建立联立方程求得。

$$\begin{aligned} F &= D + W \\ F \cdot x_F &= D \cdot x_D + W \cdot x_W \end{aligned}$$



中等职业教育规划教材

HUAGONG SHENGCHAN JICHU 化工生产基础



化学工业出版社 | 教学资源网
www.cipedu.com.cn
专业教学服务支持平台



定价：46.00元



CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App