

石油高职教育“工学结合”教材

SHIYOU GAOZHI JIAOYU GONGXUE JIEHE JIAOCAI

石油化工传质单元操作

喻朝善 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职教育“工学结合”教材

石油化工传质单元操作

喻朝善 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容精炼,与生产实际紧密结合,介绍了精馏塔设备的认识和计算、操作和维护,吸收设备的认识和计算、操作和维护,过滤设备的认识和操作,萃取设备的控制和操作,干燥设备的控制和操作等内容。

本书可作为高职石油化工生产技术专业的教学用书,也可供石油化工专业技术人员、生产操作人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工传质单元操作/喻朝善主编.

北京:石油工业出版社,2012.7

石油高职教育“工学结合”教材

ISBN 978-7-5021-9079-8

I. 石…

II. 喻…

III. 石油化工-传质-化工单元操作-高等职业教育-教材

IV. TQ021.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 104309 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:9

字数:228 千字

定价:18.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

2007 年石油化工生产技术专业成为克拉玛依职业技术学院国家第二批示范院校建设的重点专业,根据“校企共育、教训融合”的人才培养模式总体设计,“石油化工传质单元操作”课程成为石油化工生产技术专业基于工作过程课程体系建设的一门核心课程。本课程教学内容选择的主要依据是现代石油化工行业中典型的生产工作过程,适当参照石油化工传质分离岗位标准和化工总控工高级工职业资格标准。经过课程建设组与石化行业专家反复研讨、多次论证后,编者对传统“化工原理”与“化工分离工程”中质量传递理论与典型传质分离设备操作部分的知识、技能进行重构,使学生通过对精馏设备、吸收设备、萃取设备、过滤设备等基本传质单元操作知识的学习和技能的训练,培养石油化工传质单元操作职业素质和岗位技能,让学生在完成学习工作任务的过程中提高咨询、决策、计划、实施、检查、评价等综合工作能力,从而进一步培养独立发现问题、解决问题的能力,旨在使学生具备终身学习和开拓新领域的能力。

本书按照高职石油化工生产技术专业人才培养目标和专业实施性教学计划编写,与石化企业共同开发了密切结合生产实际的学习内容。在教材内容组织上,侧重选择工作过程完整、典型、包含递进式知识内涵的学习任务,打破知识体系的局限,以源于企业生产的典型工作任务为载体,融理论授课、仿真训练和现场生产实习为一体,设置了认识和计算精馏塔设备、操作和维护精馏塔设备、认识和计算吸收设备、操作和维护吸收设备、认识和操作过滤设备、控制和操作萃取设备、控制和操作干燥设备等七个学习情境。本书建议教学时数为 110 学时。

本书由克拉玛依职业技术学院石油化学工程系教师共同编写而成。喻朝善为主编,徐雪松为副主编。李长海编写了学习情境一,喻朝善编写了学习情境二、学习情境三,杨翔编写了学习情境四,徐雪松编写了学习情境五、学习情境六、学习情境七。

本书的审稿工作得到了克拉玛依职业技术学院副院长付梅莉副教授和中国石油独山子石化公司许磊高级工程师、徐凯军高级技师的精心指导和大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 2 月

目 录

学习情境一 认识和计算精馏塔设备	(1)
学习目标	(1)
任务描述	(1)
相关知识	(1)
任务实施	(2)
任务一 精馏塔设备结构与类型认识	(2)
任务二 精馏塔设备的工作流程分析与计算	(6)
拓展提高	(8)
考核建议	(10)
思考题及习题	(11)
学习情境二 操作和维护精馏塔设备	(12)
学习目标	(12)
任务描述	(12)
相关知识	(12)
任务实施	(14)
任务一 精馏塔的日常运行与操作	(14)
任务二 精馏塔操作实训	(16)
任务三 精馏操作的异常情况与处理	(24)
任务四 简单维护精馏塔设备	(30)
拓展提高	(31)
考核建议	(42)
思考题及习题	(42)
学习情境三 认识和计算吸收设备	(44)
学习目标	(44)
任务描述	(44)
相关知识	(44)
任务实施	(47)
任务一 吸收填料塔的结构认识	(47)
任务二 吸收塔的工艺计算	(50)

任务三 常用吸收塔类型和结构认识	(54)
拓展提高	(56)
考核建议	(57)
思考题及习题	(58)
学习情境四 操作和维护吸收设备	(60)
学习目标	(60)
任务描述	(60)
相关知识	(60)
任务实施	(63)
任务一 填料吸收塔操作技能实训	(63)
任务二 吸收解吸单元仿真操作	(66)
任务三 填料塔维护检修规程及检修前准备工作	(81)
拓展提高	(84)
考核建议	(89)
思考题及习题	(89)
学习情境五 认识和操作过滤设备	(90)
学习目标	(90)
任务描述	(90)
相关知识	(90)
任务实施	(93)
任务一 板框压滤机的控制与操作	(93)
任务二 操作转鼓真空过滤机	(97)
拓展提高	(100)
考核建议	(103)
思考题及习题	(103)
学习情境六 控制和操作萃取设备	(105)
学习目标	(105)
任务描述	(105)
相关知识	(105)
任务实施	(108)
任务一 脉冲填料萃取塔实训	(108)
任务二 维护简单萃取设备	(112)
拓展提高	(113)

考核建议	(114)
思考题及习题	(114)
学习情境七 控制和操作干燥设备	(116)
学习目标	(116)
任务描述	(116)
相关知识	(116)
任务实施	(122)
任务一 认识常用的工业干燥器工作状况	(122)
任务二 干燥器的操作和控制	(125)
拓展提高	(133)
考核建议	(135)
思考题及习题	(136)
参考文献	(137)

学习情境一 认识和计算精馏塔设备

学习目标

一、知识目标

- (1) 熟悉精馏的原理;
- (2) 掌握满足现场工作的有关精馏塔设备的计算过程和方法;
- (3) 熟悉精馏塔设备构造;
- (4) 掌握识读精馏塔流程的方法,熟悉流程图上各种塔设备的标注符号及方式;
- (5) 掌握精馏塔的工作原理及结构。

二、能力目标

- (1) 会识读精馏塔设备工艺流程;
- (2) 能够绘制常见精馏塔设备结构图并能够完成满足现场生产与精馏塔有关的基本计算任务;
- (3) 能够选择和精馏任务相匹配的塔设备和辅助设备主要构件;
- (4) 能够正确识读带控制点工艺流程图上各种设备和参数的标示。

三、素质目标

- (1) 培养学生良好的环境保护意识及社会责任感;
- (2) 培养学生吃苦耐劳、爱岗敬业的意识和工作中较强的责任感;
- (3) 培养学生清晰的语言表达能力,并能与团队其他成员进行有效的沟通和合作;
- (4) 培养学生客观自我评价和评价他人的能力。

任务描述

本情境主要是针对简单的精馏设备的原理、构造、流程和计算,让学生在实际的生产操作过程中把精馏设备原理、构造与工艺操作相结合,在熟悉设备的同时能够学会识读工艺流程图以及流程图上各种设备标识,并在掌握工艺流程的基础上结合现场实际掌握理论知识和基本计算。

相关知识

一、蒸馏及精馏基础知识

(一) 精馏工作状态描述

化工生产中所处理的原料、中间产物、粗产品等几乎都是混合物,而且大部分是均相物系。为进一步加工和使用,常需将这些混合物分离成纯的或接近于纯的物质。精馏是分离均相液体混合物的重要方法之一,属于气液相间的相际传质过程。在化工生产中,尤其在石油化工、有机化工、高分子化工、精细化工、医药、食品等领域更是广泛应用。

(二) 蒸馏基本原理及相关基础知识

蒸馏是分离液体均相混合物最早实现工业化的典型单元操作。它是通过加热造成气液两

相体系,利用混合物中各组分挥发性不同而达到分离的目的。

液体均具有挥发而成为蒸气的能力,但不同液体在一定温度下的挥发能力各不相同。若将混合液加热至沸腾但只令其部分汽化,则挥发性高的组分,即沸点低的组分(称为易挥发组分或轻组分)在气相中的浓度比在液相中的浓度要高,而挥发性低的组分,即沸点较高的组分(称为难挥发组分或重组分)在液相中浓度比在气相中的要高。同理,混合物的蒸气部分冷凝,则冷凝液中难挥发组分的浓度要比气相中的高。例如,一定温度下,乙醇比水挥发得快。如果在一定压力下,对乙醇和水的混合液进行加热,使之部分汽化,因乙醇的沸点低,易于汽化,故在产生的蒸气中,乙醇的含量将高于原混合液中乙醇的含量。若将汽化的蒸气全部冷凝,便可获得乙醇含量高于原混合液的产品,使乙醇和水得到某种程度的分离。

液体混合物一次部分汽化和一次部分冷凝得到的产品纯度提升是很有限的,工业生产中常对液体混合物进行多次部分汽化或部分冷凝,最终可以在气相中得到较纯的易挥发组分,而在液相中得到较纯的难挥发组分,这样的蒸馏技术就是精馏。

二、工业蒸馏操作的分类

工业蒸馏过程有多种分类方法,见表 1-1。

表 1-1 蒸馏操作的分类

分 类		特点及应用
按蒸馏方式分类	平衡蒸馏	平衡蒸馏和简单蒸馏,只能达到有限程度的提浓,而不可能满足高纯度的分离要求。常用于混合物中各组分的挥发度相差较大、对分离要求又不高的场合
	简单蒸馏	
	精馏	精馏是借助回流技术来实现高纯度和高回收率的分离操作
	特殊精馏	特殊精馏适用于普通精馏难以分离或无法分离的物系
按操作压力分类	加压蒸馏	常压下为气态(如空气)或常压下沸点为室温的混合物,常采用加压蒸馏。对于常压下沸点较高(一般高于 150℃)或高温下易发生分解、聚合等现象的热敏性物料宜采用真空(减压)蒸馏,以降低操作温度
	常压蒸馏	
	真空(减压)精馏	
按被分离混合物中组分的数目分类	两组分精馏	工业生产中,绝大多数为多组分精馏,多组分精馏过程更复杂
	多组分精馏	
按操作流程分类	间歇蒸馏	间歇精馏是不稳定操作,主要应用于小规模、多品种或某些有特殊要求的场合。工业中以连续精馏为主
	连续精馏	

 任务实施

任务一 精馏塔设备结构与类型认识

完成精馏的塔设备称为精馏塔。塔设备为气液两相提供充分的接触时间、面积和空间,以达到理想的分离效果。根据塔内气液接触部件的结构型式,可将塔设备分为两大类:板式塔和填料塔。

板式塔:塔内沿塔高装有若干层塔板,相邻两板有一定的间隔距离。塔内气、液两相在塔

板上互相接触,进行传热和传质,属于逐级接触式塔设备。本学习情境重点介绍板式塔。

填料塔:塔内装有填料,气液两相在被润湿的填料表面进行传热和传质,属于连续接触式塔设备。

一、板式塔的结构

板式塔结构如图 1-1 所示。它是由圆柱形壳体、塔板及气体和液体进、出口等部件组成的。操作时,塔内液体依靠重力作用,自上而下流经各层塔板,并在每层塔板上保持一定的液层,最后由塔底排出。气体则在压力差的推动下,自下而上穿过各层塔板上的液层,在液层中气液两相密切而充分地接触,进行传质传热,最后由塔顶排出。在塔中,两相呈逆流流动,以提供最大的传质推动力。

二、塔板的类型

塔板是板式塔的核心构件,其功能是提供气、液两相保持充分接触的場所,使两相能在良好的条件下进行传质和传热过程。

按照塔内物料接触特点不同,塔板分错流、逆流两种,其特点和应用见表 1-2。

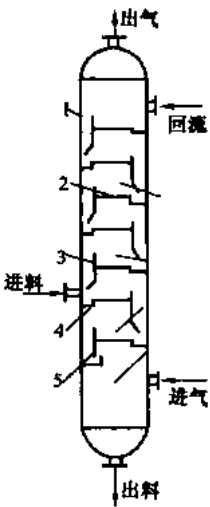


图 1-1 板式塔结构

1—塔体;2—塔板;3—溢流堰;
4—受液盘;5—降液管

表 1-2 塔板的分类

分类	结 构	特 点	应用
错流塔板	塔板间设有降液管。液体横向流过塔板,气体经过塔板上的孔道上升。在塔板上气、液两相呈错流接触,如图 1-2(a)所示	适当安排降液管位置和溢流堰高度,可以控制板上液层厚度,从而获得较高的传质效率。但是降液管约占塔板面积的 20%,影响了塔的生产能力,而且液体横过塔板时要克服各种阻力,引起液面落差。液面落差大时,能引起板上气体分布不均匀,降低分离效率	应用广泛
逆流塔板	塔板间无降液管,气、液同时由板上孔道逆向穿流而过,如图 1-2(b)所示	结构简单,板面利用充分,无液面落差,气体分布均匀。但需要较高的气速才能维持板上液层,操作弹性小,效率低	应用不及错流塔板广泛

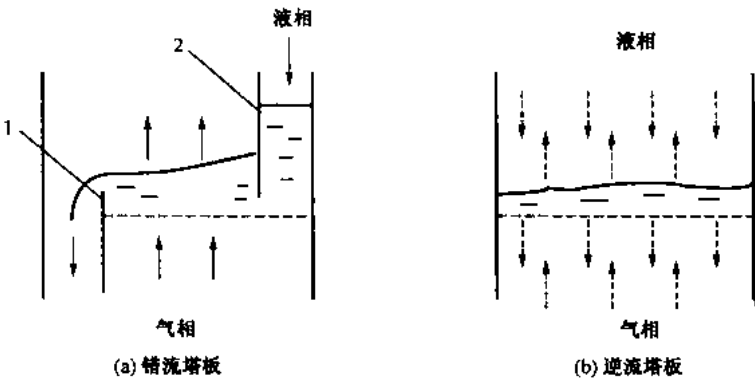


图 1-2 塔板分类

1—溢流堰;2—降液管

本章只介绍错流塔板。根据塔板上气液接触元件不同,可分为多种型式。

(一) 泡罩塔板

泡罩塔板在每层塔板上开有圆形孔,孔上焊有若干短管作为升气管。升气管高出液面,故板上液体不会从中漏下。升气管上盖有泡罩,泡罩分圆形和条形两种,多数选用圆形泡罩,其尺寸一般为 $\phi 80\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 150\text{mm}$ 三种,其下部周边开有许多齿缝,如图 1-3 所示。

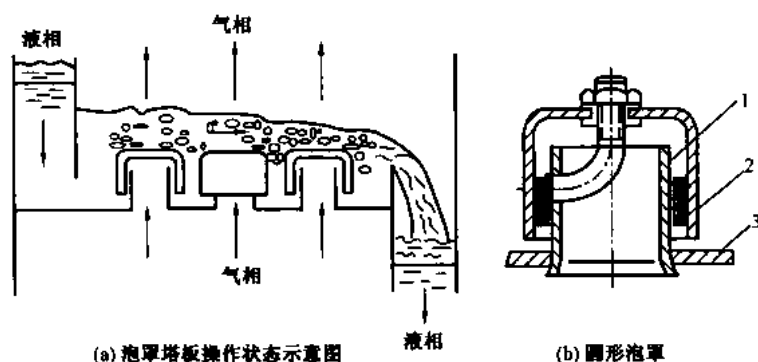


图 1-3 泡罩塔板

1—升气管;2—泡罩;3—塔板

优点:低气速下操作不会发生严重漏液现象,有较好的操作弹性;塔板不易堵塞,对于各种物料的适应性强。

缺点:塔板结构复杂,金属耗量大,造价高;板上液层厚,气体流径曲折,塔板压降大,生产能力及板效率低。泡罩塔板近年来已很少应用。

(二) 筛板

筛板是在塔板上开有许多均匀分布的筛孔,其结构如图 1-4 所示,筛孔在塔板上作正三角形排列,孔径一般为 $3 \sim 8\text{mm}$,孔心距与孔径之比常在 $2.5 \sim 4.0$ 范围内。板上设置溢流堰,以使板上维持一定深度的液层。

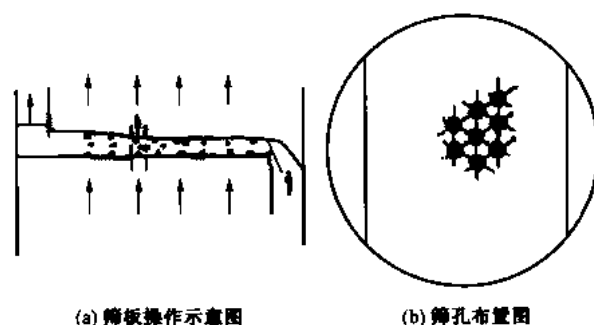


图 1-4 筛板

优点:结构简单,金属耗量小,造价低廉;气体压降小,板上液面落差也较小,其生产能力及板效率较高。

缺点:操作弹性范围较窄,小孔筛板容易堵塞,不宜处理易结焦、粘度大的物料。

近年来对大孔(直径 10mm 以上)筛板的研究和应用有所进展。

(三) 浮阀塔板

浮阀塔板的阀片可随气流变化而升降。阀片上装有限位的三条“腿”，插入阀孔后将阀腿底脚旋转 90°，限制操作时阀片在板上升起的最大高度，使阀片不被气体吹走。阀片周边冲出几个略向下弯的定距片。浮阀的类型很多，常用的有 F1 型、V-4 型及 T 型等，如图 1-5 所示。

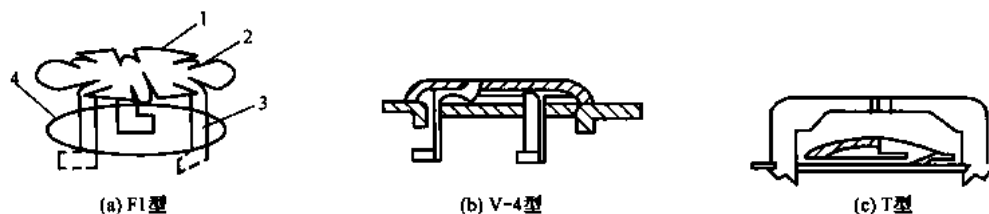


图 1-5 浮阀型式

1—浮阀片；2—凸缘；3—浮阀“腿”；4—塔板上的孔

优点：结构简单，制造方便，造价低；塔板的开孔面积大，生产能力大；操作弹性大；塔板效率高。

缺点：不易处理易结焦、粘度大的物料；操作中有时会发生阀片脱落或卡死等现象，使塔板效率和操作弹性下降。

浮阀塔板应用广泛。

(四) 舌形塔板

舌形塔板是在塔板上开出许多舌型孔，向塔板液流出口处张开，张角 20°左右。舌片与板成一定的角度，按一定规律排布。塔板出口不设溢流堰，降液管面积也比一般塔板大些，如图 1-6 所示。

优点：开孔率较大，故可采用较大空速，生产能力大；传质效率高；塔板压降小。

缺点：操作弹性小；板上液流易将气泡带到下层塔板，使板效率下降。

(五) 浮舌塔板

浮舌塔板是将固定舌片用可上下浮动的舌片替代，浮舌的技术参数与舌形塔板的固定舌片相同，其结构如图 1-7 所示。其特点是生产能力大，操作弹性大，压降小。

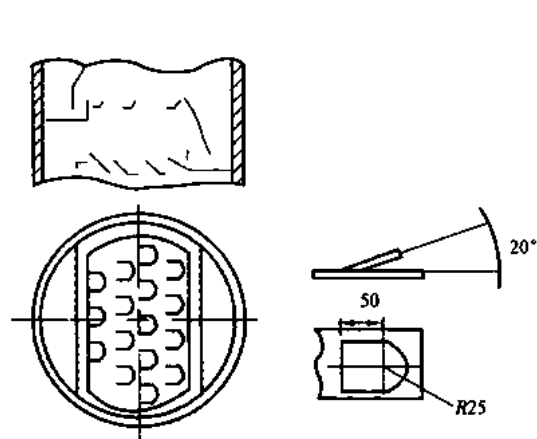


图 1-6 舌形塔板

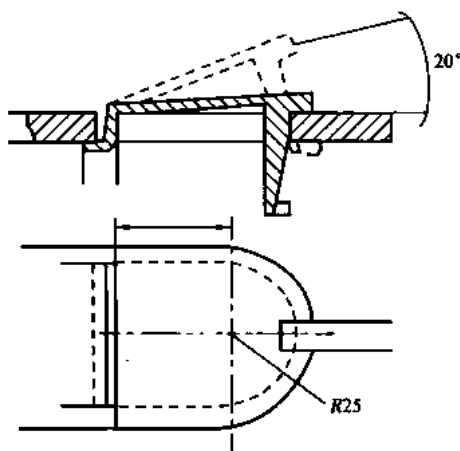


图 1-7 浮舌塔板

(六) 斜孔塔板

斜孔塔板是在塔板上冲有一定形状的斜孔,斜孔开口方向与液流方向垂直,相邻两排斜孔的开口方向相反,如图 1-8 所示。

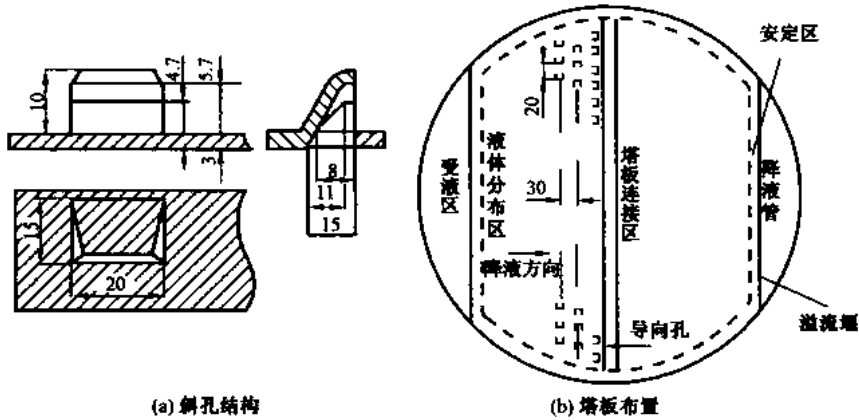


图 1-8 斜孔塔板

斜孔塔板的生产能力比浮阀塔大 30% 左右,结构简单,加工制造方便,是一种性能优良的塔板。

(七) 网孔塔板

网孔塔板是在塔板上冲压出许多网状定向切口,网孔的开口方向与塔板水平夹角约为 30° ,有效张口高度为 2~5mm,如图 1-9 所示。

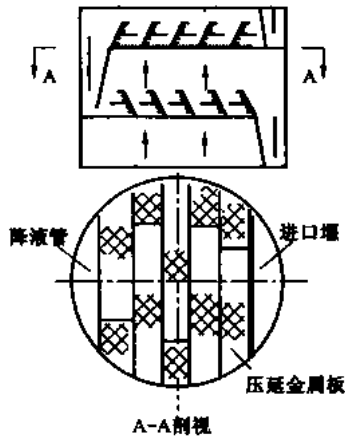


图 1-9 网孔塔板

网孔塔板具有处理能力大、压降小、塔板效率高等优点,特别适用于大型化生产。

任务二 精馏塔设备的工作流程分析与计算

精馏过程可连续操作,也可间歇操作。精馏装置系统一般都由精馏塔、塔顶冷凝器、塔底再沸器等相关设备组成,有时还要配原料预热器、产品冷却器、回流泵等辅助设备。

连续精馏装置如图 1-10 所示。以板式塔为例,原料液预热至指定的温度后从塔的中段

适当位置加入精馏塔,与塔上部下降的液体汇合,然后逐板流下,最后流入塔底。部分液体作为塔底产品,其主要成分为难挥发组分。另一部分液体在再沸器中加热,产生蒸气,蒸气逐板上升,最后进入塔顶冷凝器中,经冷凝器冷凝为液体,进入回流罐。一部分液体作为塔顶产品,其主要成分为易挥发组分,另一部分回流作为塔中的下降液体。

通常将原料加入的那层塔板称为加料板。加料板以上部分,起精制原料中易挥发组分的作用,称为精馏段,塔顶产品称为馏出液。加料板以下部分(含加料板),起提浓原料中难挥发组分的作用,称为提馏段,从塔釜排出的液体称为塔底产品或釜残液。

通过对精馏塔的全塔物料衡算,可以确定馏出液及釜液的流量及组成。对稳定连续操作的精馏塔作全塔物料衡算,如图 1-11 所示,衡算以单位时间为基准。

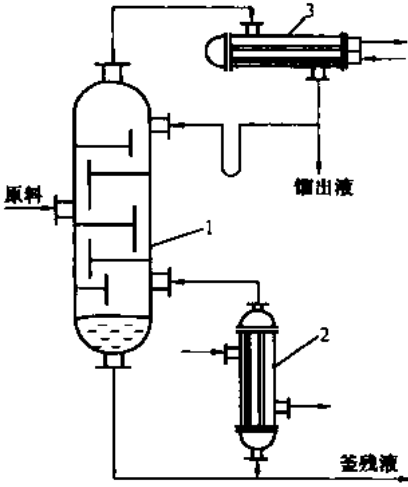


图 1-10 精馏塔
1—精馏塔;2—再沸器;3—冷凝器

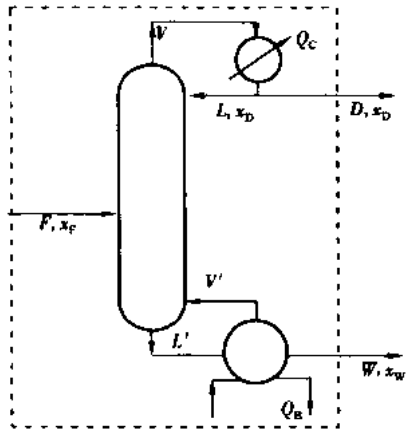


图 1-11 全塔物料衡算
 L —精馏段下降液体流量; L' —提馏段下降液体流量;
 V —精馏段上升蒸气流量; V' —提馏段上升蒸气流量;
 Q_C —塔顶冷凝水带出热量; Q_R —塔底再沸器残液带出热量;

总物料衡算:

$$F = D + W \tag{1-1}$$

易挥发组分衡算:

$$F x_F = D x_D + W x_W \tag{1-2}$$

式中 F, D, W ——原料、塔顶产品和塔底产品的流量, kmol/h ;
 x_F, x_D, x_W ——原料、塔顶产品和塔底产品中易挥发组分的摩尔分数。

式(1-1)、式(1-2)称为全塔物料衡算式。应用全塔物料衡算式可确定产品流量及组成。

一般称 $\frac{D}{F} \times 100\%$ 为馏出液的采出率, $\frac{D x_D}{F x_F} \times 100\%$ 为易挥发组分的回收率。

例 1-1 每小时将 15000kg 含苯 40% 和含甲苯 60% 的溶液在连续精馏塔中进行分离,要求将混合液分离为含苯 97% 的馏出液和含苯不高于 2% 的釜残液(以上均为质量分数)。操作压力为 101.3kPa。试求馏出液及釜残液的流量及组成,以摩尔流量及摩尔分数表示。

解:将质量分数换算成摩尔分数:

$$x_F = \frac{\frac{0.4}{78}}{\frac{0.4}{78} + \frac{0.6}{92}} = 0.44$$

$$x_W = \frac{\frac{0.02}{78}}{\frac{0.02}{78} + \frac{0.98}{92}} = 0.0235$$

$$x_D = \frac{\frac{0.97}{78}}{\frac{0.97}{78} + \frac{0.03}{92}} = 0.974$$

原料液平均摩尔质量: $M_F = 0.44 \times 78 + 0.56 \times 92 = 85.8 (\text{kmol/h})$

原料液的摩尔流量: $F = \frac{15000}{85.8} = 175 (\text{kmol/h})$

由全塔物料衡算式:

$$\begin{cases} F = D + W \\ Fx_F = Dx_D + Wx_W \end{cases}$$

代入数据:

$$\begin{cases} 175 = D + W \\ 175 \times 0.44 = 0.974D + 0.0235W \end{cases}$$

解出:

$$\begin{cases} D = 76.7 \text{ kmol/h} \\ W = 98.3 \text{ kmol/h} \end{cases}$$

拓展提高

一、理论板的概念和恒摩尔流假设

在双组分连续精馏塔的工艺计算中,当生产任务要求将一定数量和组成的原料分离成指定组成的产品时,精馏塔的计算包括物料衡算和为完成一定的分离要求所需的塔板数或填料层高度。这一工作的理论基础就是理论板和恒摩尔流假设。

(一) 理论板的概念

理论板是指离开塔板的蒸气和液体呈平衡的塔板。理论板是人为的理想化的塔板。它可以作为衡量实际塔板分离效果的一个标准。

(二) 恒摩尔流假设

恒摩尔流假设的内容包括:

- (1) 两组分的摩尔汽化潜热相等;
- (2) 气液两相接触因两相温度不同而交换的显热可忽略不计;
- (3) 设备热损失可忽略不计。

1. 恒摩尔汽化

在精馏段内,每层塔板上升的蒸气摩尔流量都相等,有:

$$V_1 = V_2 = \dots = V = \text{常数} \quad (1-3)$$

同理,提馏段内每层塔板上升的蒸气摩尔流量亦相等,有:

$$V'_1 = V'_2 = \dots = V' = \text{常数} \quad (1-4)$$

式中 V ——精馏段上升蒸气的摩尔流量, kmol/h;

V' ——提馏段上升蒸气的摩尔流量, kmol/h。

2. 恒摩尔溢流

精馏段内,每层塔板下降的液体摩尔流量都相等,有:

$$L_1 = L_2 = \dots = L = \text{常数} \quad (1-5)$$

同理,提馏段内每层塔板下降的液体摩尔流量亦相等,有:

$$L'_1 = L'_2 = \dots = L' = \text{常数} \quad (1-6)$$

式中 L ——精馏段下降液体的摩尔流量, kmol/h;

L' ——提馏段下降液体的摩尔流量, kmol/h。

恒摩尔汽化与恒摩尔溢流总称为恒摩尔流假设。

二、理论塔板数的确定

双组分连续精馏塔所需理论板数的确定,可采用逐板计算法和图解法。

(一) 逐板计算法

假设塔顶冷凝器为全凝器,泡点回流,塔釜为间接蒸汽加热,进料为泡点进料,如图 1-12 所示。

因塔顶采用全凝器,有:

$$y_1 = x_D \quad (1-7)$$

而离开第 1 块塔板的 x_1 与 y_1 满足平衡关系,因此 x_1 可由汽液相平衡方程求得,有:

$$x_1 = \frac{y_1}{\alpha - (\alpha - 1)y_1} \quad (1-8)$$

式中 α ——相对挥发度,无量纲。

第 2 块塔板上升的蒸气组成 y_2 与第 1 块塔板下降的液体组成 x_1 满足精馏段操作线方程,有:

$$y_2 = \frac{R}{R+1}x_1 + \frac{1}{R+1}x_D \quad (1-9)$$

同理,交替使用相平衡方程和精馏段操作线方程,直至计算到 $x_n < x_q$ (即精馏段与提馏段操作线的交点)后,再改用相平衡方程和提馏段操作线方程计算提馏段塔板组成,至 x'_n 。

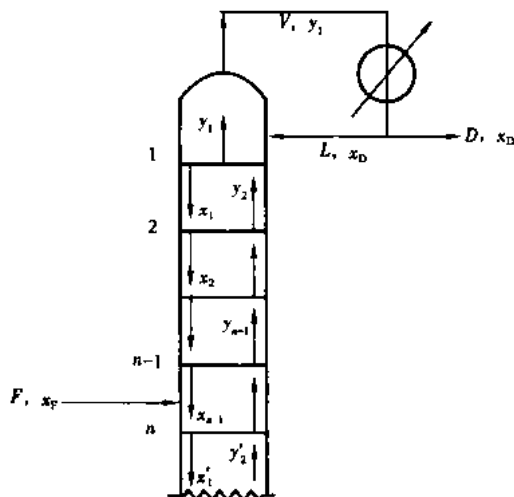


图 1-12 逐板计算法示意图

< x_w 为止。

现将逐板计算过程归纳如下：

相平衡方程：
$$x_1 \quad x_2 \quad x_3$$
$$\uparrow \quad \nearrow \uparrow \quad \nearrow \uparrow \cdots x_n < x_q \cdots x'_n < x_w$$

操作线方程：
$$x_D = y_1 \quad y_2 \quad y_3$$

在此过程中使用了几次相平衡方程，即可得到几块理论塔板数（包括塔釜再沸器）。

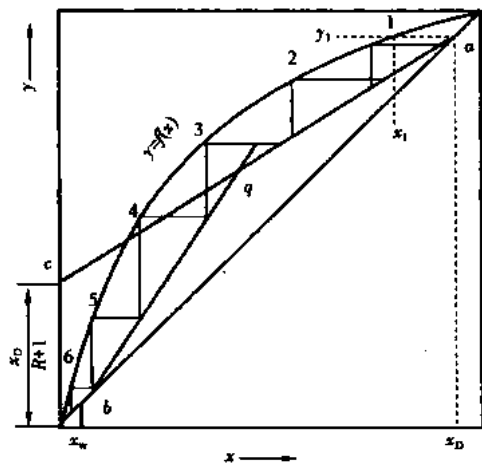


图 1-13 理论板数图解法示意图

(二) 图解法

应用逐板计算法求精馏塔所需理论板数的过程，可以在 $y-x$ 图上用图解法进行。具体求解步骤如下：

(1) 相平衡曲线。在直角坐标系中绘出待分离的双组分物系 $y-x$ 图，如图 1-13 所示。

(2) 精馏段操作线。

(3) 提馏段操作线。

(4) 画直角梯级。从 a 点开始，在精馏段操作线与平衡线之间作水平线及垂直线，当梯级跨过 q 点时，则改在提馏段操作线与平衡线之间作直角梯级，直至梯级的水平线达到或跨过 b 点为止。其中过 q 点的梯级为加料板，最后一个梯级

为再沸器。

应注意的是，当某梯级跨越两操作线交点 q 时（此梯级为进料板），应及时更换操作线。因为对一定的分离任务，此时所需的理论板数最少，这时的加料板为最佳加料板。加料过早或过晚，都会使某些梯级的增浓程度减少，从而使理论板数增加。

 考核建议

为了准确地评价本课程的教学质量和学生的学习效果，体现学生职业能力培养为目标，对本课程的各个环节进行考核，以便对学生的评价公正、准确。建立过程考评（任务考评）与期末考评（课程考评）相结合的方法，强调过程考评的重要性。过程考评占 60%，期末考评占 40%，考核评价表见表 1-3。

表 1-3 考核评价表

评价内容		分值	权重
过程评价	精馏基本原理知识考核（理解和掌握）	20	60%
	精馏塔的工艺计算；精馏塔设备结构（技能水平、操作规范）	40	
	方法能力考核（制定计划或报告能力）	15	
	职业素养考核（5S 与出勤执行情况）	15	
	团队精神考核（团队成员平均成绩）	10	
期末考评	期末理论考试（联系生产实际问题、职业技能证书考核中“应知”内容）	100	40%