

国家示范性 高职院校建设规划教材

传质分离技术

张立新 王 宏 主编



化学工业出版社

国家示范性 高职院校建设规划教材

传质分离技术

张立新 王 宏 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材主要包含了蒸馏、吸收及萃取三个典型传质分离技术,在编写中本着以应用为目的,够用为度,理论够用的原则,改变了原有的模式,采用了以任务为导向,按照训练学生掌握精馏、吸收及萃取操作的基本原理、基本技能,将真实的职业环境训练与虚拟的职业环境训练相融合的原则,对课程进行了整合。本教材在编写中编入了学习小结,附有思考题和自测题,便于学生自检学习效果。为便于本书的教学,还配备有习题解答及电子教学课件。

本书可以作为高职高专化工技术类专业的专业基础课教材,也可供化工及相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传质分离技术/张立新,王宏主编. —北京:化学工业出版社, 2009.7
国家示范性高职院校建设规划教材
ISBN 978-7-122-05552-1

I. 传… II. ①张…②王… III. ①传质-化工过程-高等学校:技术学校-教材②分离-化工过程-高等学校:技术学校-教材 IV. TQ021.4 TQ028

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 069383 号

责任编辑:窦臻
责任校对:凌亚男

文字编辑:刘莉珺
装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张17½ 字数460千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书的编写主要是为了适应高职“工学结合”的教学改革趋势，将“教、学、做”融为一体，将原有的分散在认识实习、单元仿真、单元操作和课程设计等实践环节的相关内容，按照真实职业环境训练与虚拟职业环境训练相融合的原则，整合成为一门课程，教材的模式以教学任务的形式编写，每一个任务是一个独立的模块，实际教学中可以灵活安排。

本书在编写时，完全打破了原来的课程体系，将精馏、吸收及萃取操作所涉及的理论知识分散到各个教学任务中，并且以国家职业资格标准为基础，本着以应用为目的、够用为度、理论够用的原则，浅化了理论知识，注重了学生实际操作能力的训练，具有较强的针对性、实践性和实用性。

本书编写充分体现了“工学结合”的教学改革思路。全书分三大部分，每个部分由各个任务构成。任务1让学生现场认识单元设备，增加学生的感性认识；任务2让学生接受理论知识的培训，使学生能够理解并掌握其操作原理；任务3通过小型的实验装置使学生进行塔的实际动手操作，使学生学会实际的操作方法；任务4利用DCS仿真系统进行模拟操作，通过仿真操作练习，使学生掌握调节操作系统中某些参数的变化对操作过程的影响；任务5融入职业资格标准，使学生了解并掌握塔的现场操作知识；任务6通过设计练习使学生更加系统掌握操作的全过程。

本书可以作为高职高专化工技术类专业的专业基础课教材。在编写中编入了学习小结，增加了大量的自测题，便于学生自检学习效果。

本书的项目一中任务1、2、5、6、7由辽宁石化职业技术学院张立新编写，项目一中任务3、4由广西工业职业技术学院卢俊编写；项目二中任务1、2、5、6由兰州石化职业技术学院王宏编写，项目二中任务3、4由抚顺职业技术学院陈尧编写；项目三由辽宁石化职业技术学院史航编写；全书由张立新统稿。

由于编者的水平有限，难免存在各种问题，敬请使用此书的教师 and 同学们斧正，共同为高职高专“工学结合”教材建设做出贡献。

编 者
2009年3月

目 录

项目一 蒸馏技术

任务 1 精馏操作入门知识	1
一、精馏塔的感性认识	1
二、板式精馏塔的主要结构	3
三、常见板式精馏塔的类型及特点	7
四、精馏操作工艺流程的描述	15
五、精馏装置的附属设备	16
任务 2 精馏操作的理论知识	21
一、蒸馏及精馏	22
二、精馏原理	23
任务 3 精馏塔的实验操作训练	36
一、实验任务	36
二、仪器、仪表及使用方法	37
三、实验流程说明	44
四、板式精馏塔内的气、液两相存在状态	46
五、板式塔的正常操作现象	47
六、精馏操作过程工艺指标的控制与调节	47
七、产品不合格时的调节方法	49
八、精馏塔的实验操作实习	51
任务 4 精馏塔的仿真操作训练	58
一、实训任务及目的	58
二、仿真工艺流程说明	58
三、调节器、显示仪表及现场阀说明	59
四、仿真操作规程	60
五、精馏塔的仿真操作实习	64
任务 5 精馏塔的操作知识	66
一、蒸馏工国家职业技能鉴定标准	66
二、精馏塔投运准备工作	67
三、精馏塔的开车与停车操作	72
任务 6 精馏过程的工艺设计方法	77
一、精馏过程工艺设计意图及基本原则	77
二、精馏过程工艺设计的基本过程与内容	78
三、设计方案的确定	80
四、精馏过程系统的模拟计算	82

五、板式精馏塔的设计方法	97
六、浮阀精馏塔的设计实例	110
七、浮阀精馏塔的设计练习	123
任务7 其他精馏方法简介	128
一、水蒸气蒸馏	128
二、恒沸精馏	129
三、萃取精馏	130
四、溶盐精馏	132
五、几种特殊精馏方法的比较	132
六、多组分精馏	133
阅读材料	149

项目二 吸收技术

任务1 吸收操作入门知识	153
一、填料塔的主要结构	154
二、填料塔的特点	159
三、吸收操作工艺流程的描述	159
四、吸收操作在化工生产中的应用	160
任务2 吸收操作的理论知识	162
一、吸收过程的相平衡关系	162
二、吸收传质机理	167
三、气体吸收速率方程	169
任务3 吸收塔的实验操作训练	174
一、实验任务	174
二、实验流程说明	175
三、填料塔内气液两相存在状态	177
四、吸收操作过程工艺指标的控制与调节	179
五、吸收塔的实验操作实习	181
任务4 吸收塔的仿真操作训练	188
一、仿真工艺流程说明	188
二、调节器、显示仪表及现场阀说明	193
三、仿真操作规程	195
四、吸收-解吸系统的仿真操作实习	201
任务5 吸收过程的工艺设计方法	204
一、吸收过程工艺设计的基本原则与内容	204
二、设计方案的确定	206
三、吸收过程的模拟计算	209
四、填料吸收塔典型物系的设计练习	217
任务6 其他吸收与解吸简介	226
一、多组分吸收	226
二、化学吸收	227
三、高浓度气体吸收	228

四、非等温吸收	228
五、解吸	229
阅读材料	232

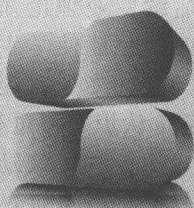
项目三 液-液萃取技术

任务1 液-液萃取技术入门知识	237
一、萃取设备的类型及特点	237
二、液-液萃取操作的工艺流程描述	240
三、液-液萃取技术在工业上的应用	242
任务2 液-液萃取技术的理论知识	244
一、液-液萃取相平衡	244
二、萃取剂的选择原则	246
三、萃取剂的选择方法	247
任务3 液-液萃取技术工艺设计	250
一、设计方案	250
二、萃取塔的工艺设计	253
任务4 新型萃取技术简介	258
一、超临界流体萃取	258
二、双水相萃取	260
三、凝胶萃取	261
阅读材料	263

附录

一、某些二元物系的气、液相平衡关系 (101.3kPa)	266
二、液体的饱和蒸气压	267
三、有机液体的表面张力图	271
四、塔板结构参数系列标准 (单溢流型)	271
五、某些三元物系的液-液平衡数据	272
六、填料的特性	273

参考文献



项目一 蒸馏技术

蒸馏是分离液体混合物最早实现工业化的典型单元操作，广泛应用于化工、炼油、食品、轻工及环保等领域，在国民经济中占有重要地位。它是利用互溶液体混合物中各个组分沸点不同而分离成较纯组分的一种操作。目前，随着化学工业的迅猛发展，蒸馏技术的理论及设备也得到了很大的变化。



任务1 精馏操作入门知识



任务目标：

- 认识常见的汽液传质设备——精馏塔。
- 了解精馏塔的作用及主要结构。
- 掌握板式精馏塔常见的类型及特点。
- 了解精馏装置工艺流程及主要附属设备。



技能要求：

- 能从外观上认识精馏塔，并能指出其附属设备。
- 能认识常见的塔板类型，并能指出精馏塔内部的主要构造。
- 能绘制并说明连续精馏的工艺流程简图。

一、精馏塔的感性认识

1. 走近精馏塔

走进石油化工厂中，远远地我们就会看到很多高高耸立的圆柱形设备——塔设备，如图 1-1 所示。塔设备主要用于蒸馏、吸收、解析、萃取等典型的传质单元操作过程中，也称汽液传质设备，广泛应用于炼油、石油化工、医药、食品及环境保护等工业领域。据相关资料报道，在炼油厂、石油化工厂及化工厂中，塔设备的投资费用约占整个工艺设备总费用的 30% 左右，它所耗用的钢材重量在各类工艺设备中也属较多的，其性能对于整个生产装置的产品质量、产量、生产能力、消耗定额、三废处理及环境保护等各个方面，都有着重大的影响。

2. 感性认识的目的及任务

化工生产认识实习是石油化工、有机化工、精细化工等专业学生增强工程观念的重要



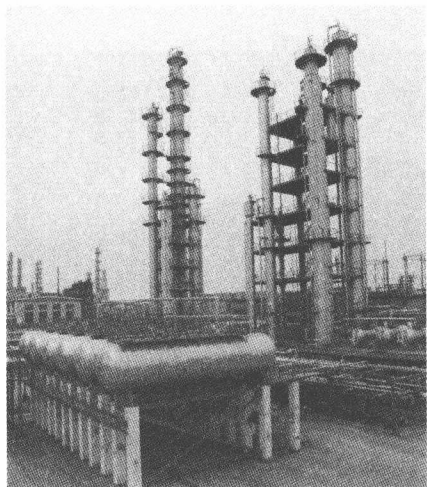


图 1-1 精馏塔总体概貌

的、必不可少的实训环节。通过实习,可使学生获得本专业生产过程的感性认识,了解精馏塔在化工生产过程中的地位及应用,为后续专业理论知识的学习奠定一个良好的基础。同时,也能使学生初步了解本专业的工作性质,培养学生的专业兴趣,增强学生的事业心和责任感。在整个认识实习过程中,可充分发挥学生学习的主动性、积极性,鼓励学生在生产现场细心观察,虚心请教,积极思维,多方了解,大胆提出自己的想法,在有限的实习时间里,使诸方面的能力都得到锻炼。

3. 感性认识的基本内容

(1) 地点的选择

实习地点的选择是学生完成认识实习任务的重要条件之一,也是顺利完成实习任务的前提。为了更好地加深学生对精馏操作的认识,应选择一个能全面体现本专业相关理论与专业特点的工厂作为实习基地,一般应参观 2~3 个生产装置。由于化工生产具有连续性的特点,对于精馏塔内部的基本结构在生产现场是无法看到的。这样,可以利用学校现有的资源条件,如校内实训基地的废旧精馏塔、精馏塔模型、塔板模型、多媒体素材库等协助来完成对精馏装置的认识。

(2) 指导方式

化工生产认识实习可采用校内外结合的方式进行,应由所在系负责,组织相关的专业教师组成实习指导队。为确保实习期间的安全,每个实习班级至少安排 2~3 名指导教师,为达到更好的实习效果,可聘请工厂的技术人员作为实习指导教师。主要采取参观讲解的方式进行。参观包括校内实训基地和校外实训基地,讲解包括实地讲解、课堂利用多媒体素材库观摩讲解等方式。具体过程如下:

① 根据本专业的专业培养目标要求选定实习地点。

② 进行实习前,由实习单位指派人员向学生介绍本单位的生产情况及进行安全保密教育,明确实习目的、要求、实习纪律及实习指导教师和学生分组情况。

③ 组织学生对实习单位的各生产车间、生产流程及主要设备(精馏塔及其附属设备)进行参观学习。

④ 督促学生每天书写实习日记,应将每天的工作、观察研究的结果、收集的资料和图表、所听报告内容等记入实习笔记。实习笔记是学生撰写实习报告的主要资料依据,也是检查学生实习情况的一个重要方面,学生每天必须认真填写,教师应随时检查批改实习笔记。

⑤ 在实习结束时,学生应提交书面的实习报告。实习报告的内容主要应包含:所在实习工厂的概况;产品生产的原理、工艺流程、主要设备名称及原理;认识实习的感受和体会等。

实习报告应要求在 3 千字以上,实习指导教师应及时评阅实习报告,并与学生进行交流讨论,加强对学生分析问题和解决问题以及综合运用知识等能力的培养。

(3) 实习主要内容

认识实习的主要目的是使学生初步了解本专业的工业生产过程,认识化工单元操作的主要设备的形状、内部结构、工作原理及用途。具体学习的内容如下:

① 了解所在实习车间的生产概况,并初步了解所生产产品的原材料来源、产品性能、

规格、用途及企业的生产管理等；

② 了解实习车间的生产原理、工艺流程；

③ 掌握实习车间的主要设备（塔、换热器、各种输送设备等）的基本结构、工作原理及用途等；

④ 了解产品生产过程中的安全、环保等问题。

由于化工企业生产中会有许多安全隐患，所以在实习期间必须对学生提出纪律上的要求。实习期间，学生应严格遵守工厂的各项规章制度和劳动纪律，严禁打闹、嬉戏；要身着工作服，头戴安全帽，不穿带钉鞋，不带引燃和易燃物，确保人身安全；一切行动听从指导教师和厂内技术人员的安排，要尊重现场技术人员和管理人员，注意大学生的形象和礼貌。

(4) 时间安排

根据人才培养目标，认识实习时间可安排在 18 学时左右，具体时间分配可参照下表：

实 习 内 容	指 导 方 式	学时安排
1. 实习动员及入厂安全知识教育	入厂安全知识考试	2 学时
2. 参观实习车间的生产工艺及主要设备	现场参观(校外实训基地)	4 学时
3. 参观精馏装置中主要单元设备及内部结构	现场学习(校内实训基地)	4 学时
4. 学习精馏装置中主要单元设备及内部结构	多媒体素材库	2 学时
5. 书写实习报告	规范实习报告内容	4 学时
6. 进行实习总结及考核	评定实习成绩	2 学时

(5) 成绩评定

考核是达到实习教学要求、完成实习教学目的的重要手段，是实习教学管理过程中的重要组成部分，也是衡量学生实习获取知识和知识掌握程度的手段。指导实习的教师应对每个学生的实习情况进行考核。根据学生对现场知识及理论知识的掌握程度（以现场口试为主），以及实习报告、实习笔记（是否独立编写，文字与附图是否符合要求），实习态度（是否遵守实习纪律要求）等情况，综合评定实习成绩。无实习日记及实习报告者，不允许参加考核。

二、板式精馏塔的主要结构

塔设备是炼油和化工生产的重要设备，其作用在于提供气液两相充分接触的場所，有效地实现气液两相间的传热、传质，以达到理想的分离效果，因此它在石油化工生产中得到广泛应用。随着科技的进步和石油化工生产的发展，为了满足生产中各方面的特殊需要，塔设备形成了形式繁多的结构。为了便于比较和研究，人们从不同的角度对塔设备进行分类。如按操作压力分为常压塔、加压塔和减压塔；按单元操作分为精馏塔、吸收塔、解吸塔、萃取塔、反应塔和干燥塔等。但当今工程上最常用的分类方法是按塔内气液接触部件的结构形式分为板式塔和填料塔两大类。本章重点介绍板式塔，填料塔的基本情况将在吸收技术中介绍。

一个完整的板式塔主要是由圆柱形塔体、塔板、降液管、溢流堰、受液盘及气体和液体进、出口管等部件组成，同时考虑到安装和检修的需要，塔体上还要设置人孔或手孔、平台、扶梯和吊柱等部件，整个塔体由塔裙座支撑，其结构如图 1-2 所示。在塔内，根据生产工艺要求，装有多层塔板，为气液两相提供接触的場所。塔板性能的好坏直接影响传质效果，是板式塔的核心部件。

板式塔早在 1813 年已应用于工业生产中，目前是应用范围最广、使用量最大的气液传

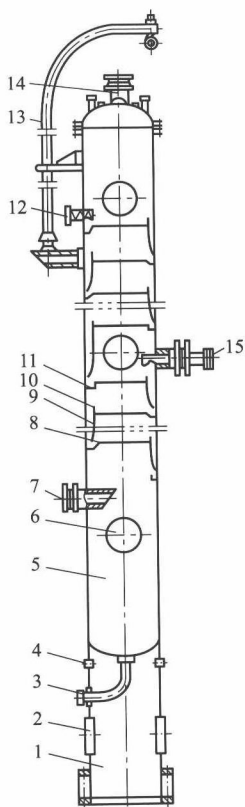


图 1-2 板式塔总体结构

- 1—裙座；2—裙座人孔；3—塔底液体出口；4—裙座排气孔；5—塔体；6—人孔；7—蒸汽入口；8—塔板；9—降液管；10—溢流堰；11—受液盘；12—回流入口；13—吊柱；14—塔顶蒸汽出口；15—进料口

质设备。板式塔内沿塔高装有一定数量的塔板，操作时，塔内液体依靠重力作用，自塔顶沿上层塔板的降液管流到下层塔板的受液盘，然后横向流过塔板，从另一侧的降液管流至下一层塔板，并在每层塔板上保持一定高度的液层，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的升气道（泡罩、筛孔或浮阀等），分散成小股气流，鼓泡通过各层塔板的液层，在液层中气液两相充分的接触，进行传质和传热，最后由塔顶排出。在整个板式塔中，气液两相总体上呈逆流流动，以提供最大的传质推动力。由于气液两相在塔内逐级接触，两相的组成沿塔高呈阶梯式变化，故也称板式塔为逐级接触式气液传质设备。

1. 塔体

塔体是塔设备的外壳。常见的塔体是等直径、等壁厚的钢制圆筒和上、下椭圆形封头所组成的。但有时为了满足大型化生产，也可以采用不等直径、不等壁厚的塔体。塔体除必须满足工艺条件（如温度、压力、塔径和塔高等）下的强度和刚度外，还要考虑风力、地震、吊装、运输、检验以及开停工等方面的影响。

2. 塔体支座

塔体支座是塔体安放到基础上的连接部件，它必须保证塔体在确定的位置上能进行正常的工作。因此，它必须具有足够的强度和刚度，能承受各种操作情况下的全塔重量以及风力、地震等引起的载荷。生产中最常用的塔体支座是裙式支座，简称为“裙座”，通常有圆柱形和圆锥形两种。裙座上必须开设检查孔，以方便检修，检查孔有圆形和长圆形两种。

3. 塔内部件

板式塔内件主要由塔板、降液管、溢流堰、受液盘、紧固件、支撑件及除沫装置等组成。

(1) 塔板

塔板是气液两相接触的場所，有整块式与分块式两种。整块式即塔板为一整块，多用于塔径小于 0.8~0.9m 的塔。当塔径大于 1.2m 时，多采用由几块板合并而成的分块式塔板，以便于通过人孔装、拆塔板。塔径为 800~1200mm 的塔，可根据制造与安装的具体情况，任意选取一种结构。塔板厚度的选取，除经济性外，主要考虑塔板的刚性和耐腐蚀性。

在分块式塔板中，靠近塔壁的两块塔板做成弓形，称弓形板。两弓形板之间的塔板做成矩形，称矩形板。为了安装、检修需要，在矩形板中，必须有一块用作通道板。各层塔板上的通道板，最好开在同一垂直位置上，以利于采光和拆卸。通道板与其他塔板的连接，一般采用上、下均可拆的结构形式。

分块式塔板的板块数与塔径有关，见表 1-1。

表 1-1 分块式塔板的块数与塔径关系

塔径/mm	800~1200	1400~1600	1800~2000	2200~2400
塔板分块数	3	4	5	6



(2) 降液管

降液管是塔板间液体流动的通道，也是使溢流液中所夹带气体得以分离的场所。板式塔在正常工作时，液体从上一层塔板的降液管流出，横向流过开有孔的塔板，翻越溢流堰，进入该层塔板的降液管，然后再流向下一层塔板。

降液管有圆形和弓形之分。圆形降液管制造比较方便，但流通截面积较小，只有在液体流量很小或塔径较小时采用。常用的是弓形降液管，结构如图 1-3 所示。图 1-3(a) 是将溢流堰与塔壁之间全部截面均作为降液管，降液管的截面积相对较大，多用于塔径较大的塔中。当塔径小时，上述结构制作不便，可采用图 1-3(b) 的形式，即将弓形降液管固定在塔板上。图 1-3(c) 为双流型时的弓形降液管。降液管下部倾斜是为了增加塔板上气液两相接触区的面积。弓形降液管由平板和弓形板焊制而成，并焊接固定在塔板上。降液管的布置，规定了板上液体流动的途径。

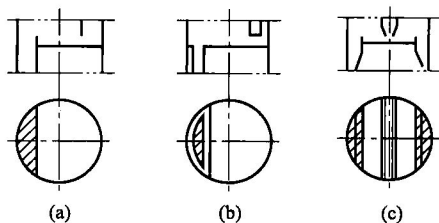


图 1-3 弓形降液管的结构形式

(3) 溢流堰

为保证气液两相在塔板上有足够的接触表面，塔板上必须贮有一定量的液体。为此，在塔板的出口端设置溢流堰，也称出口堰。溢流堰的作用是维持塔板上有一定高度的流动液层，并使液体在板上均匀流动。降液管的上端高出塔板板面，即为溢流堰。溢流堰板的形状有平直形与齿形两种，常用的为平直堰，如果液体流量较小时，可采用齿形堰。

(4) 受液盘

塔板上接受上一层塔板下流液体的部位称为受液盘，受液盘有平形受液盘和凹形受液盘两种形式，如图 1-4(a)、(b) 所示。平形受液盘结构简单，但需在塔板上设置进口堰，以保证降液管的液封，并使液体在板上分布均匀。但设置进口堰很容易使沉淀物淤积此处而造成塔板阻塞，并且还会过多的占用塔板板面。

凹形受液盘可在低液量时能形成良好的液封，且有改变液体流向的缓冲作用，并便于液体从侧线的抽出。凹形受液盘结构稍复杂，但不需设置进口堰，工业上对于塔径在 600mm 以上的塔，多采用凹形受液盘。凹形受液盘的深度一般在 50mm 以上，有侧线采出时可取深些。但凹形受液盘因易造成死角而堵塞，不适于易聚合及有悬浮固体的情况。

4. 接管

塔设备的接管是用以连接工艺管线，把塔设备与相关设备连成系统。塔体上设置了各种接管，通常按接管的用途，可分为进料管、回流管、进气管、出气管等。

(1) 液体进料管与回流管

液体进料管与回流管的设计应满足以下要求：①液体不直接加到塔盘的鼓泡区；②尽量使液体均匀分布；③接管安装高度应不妨碍塔盘上液体流动；④液体内含气体时，应设法排出；⑤管内的允许流速一般不超过 1.5~1.8m/s。

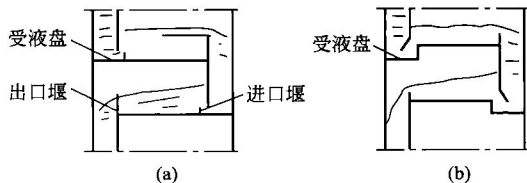


图 1-4 受液盘示意图

(a) 平形受液盘；(b) 凹形受液盘

液体进料管可直接引入加料板。为使液体均匀通过塔板，减少进料波动带来的影响，通常在加料板上设进口堰，结构如图 1-5 所示。

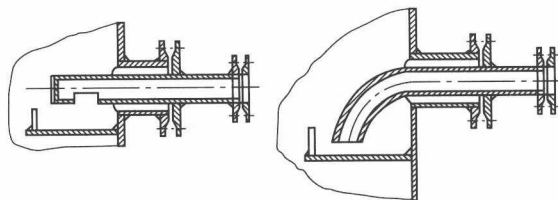


图 1-5 液体进料管

(2) 气体进料管

为保证气体均匀分布，气体进料管一般做成 45° 的切口，见图 1-6(a)。当塔径较大或对气体分布均匀要求高时，可采用较复杂的图 1-6(b) 所示结构。

(3) 气液混合进料管

气液混合进料管不仅要求进料均匀，且要求液体通过塔板时蒸气能分离出来，工业上多采用螺旋形导向板的切线进料口结构，如图 1-7 所示，这种结构可使加料板盘间距增大，有利于气液分离，同时可保护塔壁不受冲击。

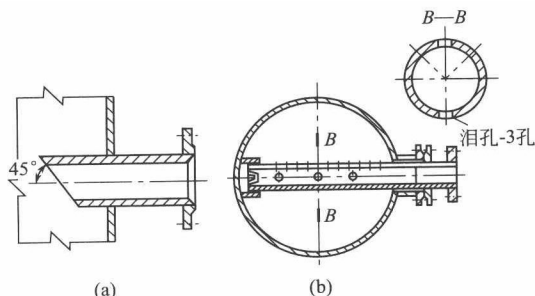


图 1-6 气体进料管

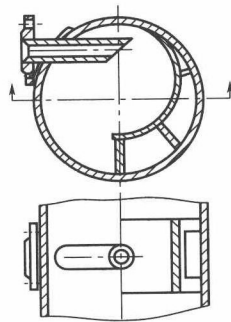


图 1-7 气液混合进料管

(4) 塔顶气体出料管

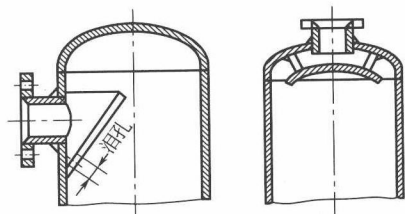


图 1-8 塔顶气体出料管

塔顶气体出料管直径不宜过小，以减小出口压力降，避免出塔气体夹带液滴。通常在出口处装设挡板，如图 1-8 所示。当液滴较多或对夹带液滴量有严格要求时，应安装除沫装置。

(5) 塔底出料管

塔底出料管直径一般取与工艺管线直径相同。当釜液从塔底出口管流出时，在一定条件下，釜液会在出口管中心形成一个向下的漩涡流，使塔釜液面不稳定，且能带出少量的气体。如果出口管路有泵，气体进入泵内，将会影响泵的正常运转。所以一般釜液出口处都应装设防涡流挡板。

塔底部的液体出料管结构如图 1-9 所示。当塔径小于 800mm 时，采用图 1-9(a) 的形式，为了便于安装，先将弯管段焊在塔底封头上，再将支座与封头相焊，最后焊接法兰短节。当塔径大于 800mm 时，采用图 1-9(b) 的形式，支座上焊有引出管，以使安装、检修方便。

5. 塔附件

塔附件主要包括人孔或手孔、吊柱、平台、扶梯等。

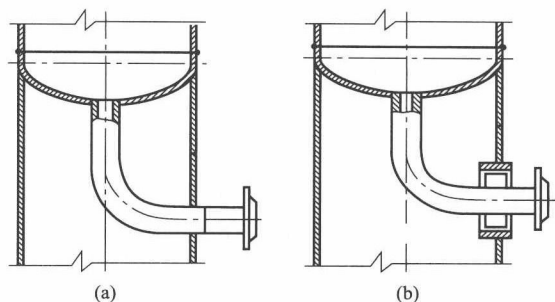


图 1-9 塔底出料管

(1) 人孔或手孔

人孔是安装和检修人员进出塔的唯一通道，开设人孔可以使检修人员进入每一层塔板。手孔是指手和手提灯能伸入的设备孔口，用于不便进入或不必要进入设备即可检查和检修的场合。当塔径比较大时，设置人孔，塔径比较小（小于 800mm）可以设置手孔。人孔数目是根据塔板安装方便和物料清洁程度而定的。当物料比较清洁，操作中不需要经常清理时，一般每隔 8~10 块塔板处设置一个人孔，甚至可利用一个人孔安装上下各 10 层塔板。但对于不清洁易结焦的物料，为便于清洗，需要每隔 3~4 块塔板处设置一个人孔。凡是有人孔处的塔板间距应等于或大于 600mm，人孔的中心距操作平台一般应为 800~1200mm。人孔直径一般为 450~550mm，特殊的也有长形人孔。

(2) 吊柱

吊柱一般设置在塔顶，目的是为了在安装和检修时，方便塔内件的运送。一般在 15m 以上的塔，都要设置吊柱。

6. 塔顶、塔底空间

(1) 塔顶空间

塔顶空间是指塔顶第一块塔板到塔顶切线的距离。为了减少塔顶出口气体中携带液体量，塔顶空间一般取 1.2~1.5m，以利于气体中的液滴自由沉降。必要时在塔顶还要设置破沫网，主要用于捕集夹带在气流中的液滴。使用高效的除沫器，对于回收贵重物料、提高分离效率、改善板式塔的操作状况以及减少对环境的污染等，都是非常必要的。

(2) 塔底空间

塔底空间是指塔底最后一块塔板到塔底切线的距离。塔底空间具有中间贮槽作用，一般釜液最好能在塔底有 10~15min 的贮量，以保证塔底料液不至于排完。当进料设有 15min 缓冲时间的容量时，塔底产品停留时间可取 3~5min，否则需 15min 左右。但对塔底产品量较大的塔，停留时间一般也取 3~5min。对易结焦的介质，塔底停留时间应缩短，一般取 1~1.5min。为满足上述条件，通常塔底空间一般取 1.3~1.5m 左右。

三、常见板式精馏塔的类型及特点

板式塔性能的好坏主要取决于塔板的结构，从 1813 年首先出现泡罩塔以来，板式塔逐渐成为工业生产中主要的汽液传质设备，随着石油工业的发展，20 世纪 50 年代出现了一些新的板式塔，其中浮阀塔由于塔板效率高、操作弹性大等优点而得到广泛的应用。随着生产的需要和技术的进步，有越来越多的新型板式塔不断涌现，但它们的基本结构并没有多大差别，所不同的主要在于塔板的结构。人们根据塔板结构，尤其是气液接触元件的不同而命名



了各种精馏塔。

一个好的塔板结构，应当在较大程度上满足如下的要求：

① 生产能力大，即单位塔截面积上所能通过的气、液相流量大，不会产生不正常流动，可以在较小的塔中完成较大的生产任务。

② 塔板效率高，即气液两相在塔内流动时能保持充分的密切接触，完成一定的分离任务所需的板层数少。这对于难以分离、要求塔板数较多的系统尤其重要。

③ 操作稳定、弹性大，即塔内气、液相流量有一定波动时，两相均能维持正常的流动，仍能在较高的传质效率下进行稳定的操作。

④ 流体流动的阻力小，即气体通过塔板的压力降小。这将大大节省生产中的动力消耗，以降低操作费用。对于减压蒸馏操作尤为重要，较大的压力降将使系统无法维持必要的真空度。

⑤ 结构、选材合理，即内部结构要满足生产的工艺要求，制造、安装及检修方便，设备材料要根据介质特性和操作条件进行选择，减少基建过程中的投资费用。

⑥ 能满足物系某些特殊工艺特性，如腐蚀性、热敏性及起泡性等。

实际上，对于现有的任何一种塔板，都不可能完全满足上述的所有要求。不同类型的板式塔，均具有自身的特点，各自有适用的场合，生产中应根据具体的工艺条件来选择适当的形式。下面介绍几种常用板式塔的结构特点。

按照塔内气、液相流动方式，可将塔板分为错流塔板和逆流塔板两大类。

逆流塔板也称穿流塔板，如图 1-10(b) 所示，塔板间不设降液管，气液两相同时由板上孔道逆向穿流而过。塔板结构简单，无液面落差，气体分布均匀，板面利用率高，但要维持板上液层厚度需较高的气速，塔板效率低，操作弹性小，工业应用较少。

错流塔板也称溢流塔板，如图 1-10(a) 所示，板间设有专供液体流通的降液管，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。合理安排降液管位置以及进、出口堰的高度，可以使板上液层厚度均匀，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，液体横向流过塔板时要克服各种阻力，会使塔板上出现液面落差，液面落差过大时，将引起板上气体分布不均匀，从而降低了分离效率。但总体上，错流塔板的操作比较稳定，操作弹性大。目前，工业上多采用此类塔板。

生产中所采用的错流塔板类型很多，例如泡罩塔板、筛孔塔板、浮阀塔板、喷射型塔、穿流塔板等，其中以浮阀塔板的应用最为广泛。

1. 泡罩塔板

泡罩塔是最早应用于工业生产中的一种汽液传质设备。泡罩塔板主要由泡罩、升气管、降液管、溢流堰等组成。基本结构如图 1-11(a) 所示，每层塔板上开有若干个圆形孔，孔上

焊有一段短管作为上升气体通道，称为升气管。由于升气管高出塔板板面，故板上液体不会从中漏下。每个升气管上覆盖泡罩，泡罩下部周边开有许多长条形或长圆形齿缝。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传质面积。液体通过降液管流下，并依靠溢流堰以保证塔板上存有一定厚度

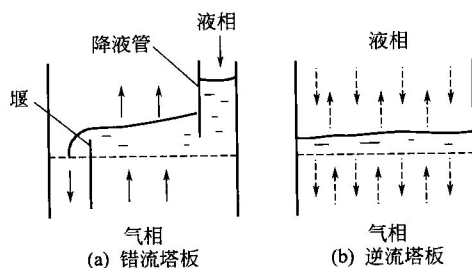


图 1-10 塔板的分类

的液层。

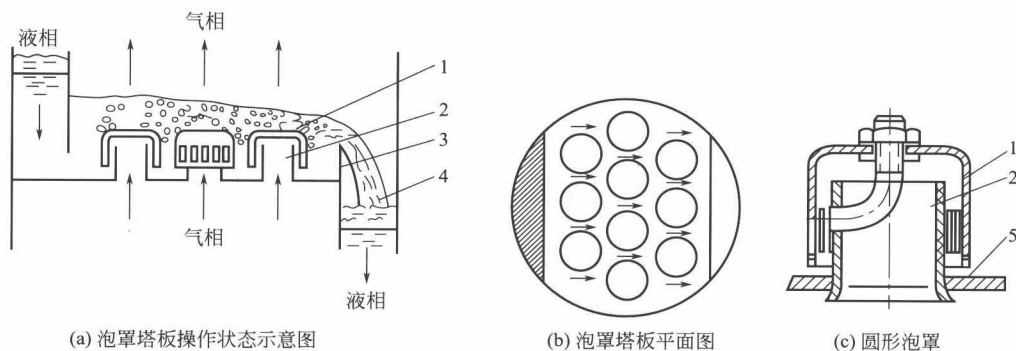


图 1-11 泡罩塔板

1—泡罩；2—升气管；3—出口堰；4—溢流管；5—塔板

泡罩的形式有很多种，化工生产中最常用的是圆形泡罩，结构如图 1-11(c) 所示，圆形泡罩的标准尺寸有 $\phi 80$ 、 $\phi 100$ 、 $\phi 150$ 三种，其中前两种是矩形齿缝，后一种为敞开式齿缝。安装时泡罩在塔板上按等边三角形排列，中心距比较小，通常是泡罩直径的 1.2~1.5 倍，相邻泡罩外缘之间的距离一般在 0.025~0.075m，以便于相邻泡罩涌出的蒸气能彼此互相撞击，增加接触的剧烈程度。

进行精馏操作时，气体自下而上由泡罩下部流经升气管与泡罩之间的环形通道而进入液层，然后从泡罩边缘的齿缝流出，搅动液体，形成液体层上部的泡沫区，再进入上一层升气管。液体则由上层降液管出口流入塔板，横向流经布满泡罩的区域，漫过溢流堰进入降液管，再流入下一层塔板。

泡罩塔操作的要点是使气、液量维持稳定。若气量过小而液量过大，气体不能以连续的方式通过液层，只有当气体积蓄、压力升高后，才能冲破液层通过齿缝溢出。气体冲出后，压力下降，只有等待气体压力再次升高，才能重新冲破液层溢出，形成脉冲方式，并可能产生漏液现象；若气量过大而液量过小，则难以形成液封，液体可能从泡罩的升气管流入下层塔板，使塔板效率下降。气量过大还可能形成雾沫夹带和液泛现象。

泡罩塔的优点是不易发生漏液现象，操作稳定性及操作弹性均较好，易于控制，当气、液负荷有较大的波动时仍能维持几乎恒定的板效率，对于各种物料的适应性强。缺点是塔板结构复杂，安装检修不方便，且金属耗量大，造价高，由于蒸气上升过程中路线比较曲折，板上液层较深，塔板压力降较大，故生产能力不大。由于泡罩塔的这些缺点，使之在与当今多种优良塔板形式的比较中处于劣势，因此，近年来泡罩塔已很少建造。

2. 筛孔塔板

筛孔塔板几乎与泡罩塔板同时出现的，是最简单的一种错流塔板。筛孔塔板在塔板上开有大量均匀分布的小孔，称为筛孔。筛孔是板上的气体通道，降液管是板上的液体通道。筛孔直径一般为 3~8mm，通常孔间距按正三角形排列布置，孔间距与孔径的比值为 3~4。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。板面可分为筛孔区、无孔区、溢流堰、降液管区等几个部分。

操作时，气体从下而上，通过塔板上的筛孔进入液层鼓泡而出，与液体在塔板上充分接触进行传质与传热。液体则从降液管流下，横经筛孔区，再由降液管进入下层塔板。筛板的结构及气液接触状况如图 1-12 所示。

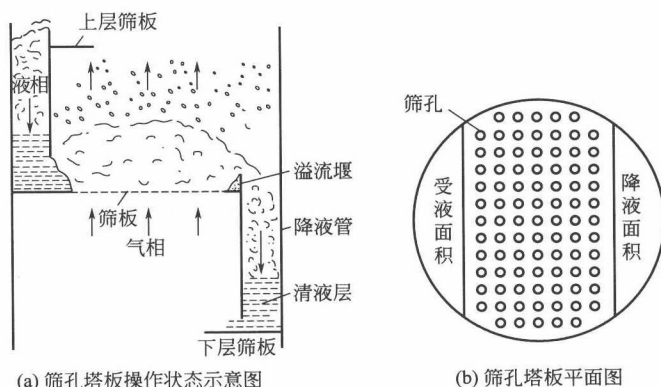


图 1-12 筛孔塔板

筛板塔的分离效率与蒸气的速度、筛板上液层的高度、筛孔的直径与数目等有关。筛板上的液层高度影响着气液两相的接触时间；筛孔的大小与数量决定了蒸气被分成细小均匀气流的程度，对气液两相之间接触是否充分以及效率的高低影响极大。但是，对结构已经确定的筛板塔来说，其分离效果主要决定于蒸气的速度，若蒸气速度过大，会导致板层液面压力很大，液体不能顺利地沿降液管流下，液体聚集于塔板上，还会造成大量的雾沫夹带，使分离效率降低；蒸气速度较小，不足以阻止液体从筛孔中漏下，分离效率也会下降；若蒸气速度过小或突然停止，筛板上的液体将全部漏光，操作根本无法进行，这时应重新送入蒸气，重新建立板上的液层，直至操作趋于正常。至于蒸气速度具体多大才算合适，通常要经过试验确定。

筛板塔与泡罩塔相比，生产能力提高 20%~40%，塔板效率高 10%~15%，压力降小于 30%~50%，且结构简单，造价较低，制造、加工、维修方便，故在许多场合都取代了泡罩塔。筛板塔的缺点是筛板容易漏液且操作弹性范围较窄，小孔筛板容易堵塞。因而曾经一度未被使用，但是它的独特优点——结构简单，造价低廉吸引了不少的研究者。随着科技的进步和生产的需求，近年来对大孔 ($\phi 20 \sim \phi 25 \text{mm}$) 筛板的研究和应用有所进展，大孔径筛板塔采用气、液错流方式，可以提高气速以及生产能力，而且不易堵塞。只要设计合理，同样可以获得比较满意的塔板效率。目前也已成为应用较广泛的一种塔板。

3. 浮阀塔板

浮阀塔是 20 世纪 50 年代初期在泡罩塔和筛板塔的基础上发展起来的一种新的结构形式。其特点是在筛板塔基础上，在每个筛孔处安置一个可上下移动的被称作浮阀的阀片。所谓浮阀，就是它开启的程度可以随着气体负荷的大小而自行调整。当蒸气气速较大时，阀片将被顶起上升，蒸气气速变小时，阀片因自重而下降。这样，当蒸气负荷在一个较大的范围变动时，阀片升降位置会随气流大小作自动调节，缝隙中的气流速度几乎保持不变，从而使进入液层的气速基本稳定。又因气体在阀片下侧水平方向进入液层，既可减少液沫夹带量，又能延长气液接触时间，故收到很好的传质效果。

浮阀的形式有多种，国内常用的浮阀有 F1 型、V-4 型与 T 型三种，一般都用不锈钢制成，其中，F1 型浮阀最简单，也是曾经使用较为广泛的一种。

F1 型浮阀如图 1-13(a) 所示，阀片为圆形，下有三条带钩的“阀腿”插入阀孔中（直径 39mm），其作用是用来限制阀片的最大开度（8.5mm），并起到保持阀件垂直上下的导向作用；阀件上还有三个被称为定距片的凸缘，它一方面使阀不至于将阀孔全部盖死，可以保