

化工设备设计全书

塔 设 备

《化工设备设计全书》编辑委员会
路秀林 王者相 等编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化工设备设计全书

- 化工设备用钢
- 高压容器
- 换热器
- 搅拌设备
- 球罐和大型储罐
- 干燥设备
- 铝制化工设备
- 石墨制化工设备
- 化工容器
- 超高压容器
- **塔设备**
- 废热锅炉
- 除尘设备
- 钛制化工设备
- 钢架

ISBN 7-5025-4906-4



9 787502 549060 >

ISBN 7-5025-4906-4/TH·152 定价：54.00元

销售分类建议：机械/化工机械/化工设备

化工设备设计全书

塔 设 备

《化工设备设计全书》编辑委员会
路秀林 王者相 等编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

塔设备/路秀林, 王者相等编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 1

(化工设备设计全书)

ISBN 7-5025-4906-4

I. 塔… II. ①路…②王… III. 塔器 IV. TQ053.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 099228 号

化工设备设计全书

塔 设 备

《化工设备设计全书》编辑委员会

路秀林 王者相 等编

责任编辑: 张兴辉

责任校对: 陈 静

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25 字数 829 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4906-4/TH·152

定 价: 54.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《化工设备设计全书》第一版由原化学工业部化工设备设计技术中心站组织全国高校、科研、设计、制造近百家单位参与编写。

《化工设备设计全书》以结构设计、强度计算为主，从基础理论、设计方法、结构分析、标准规范、计算实例等方面进行了系统的阐述，并对相应的化工原理作简介。《全书》在重视结构设计、强度计算的同时，结合化工过程的要求去研究改进设备的设计，提高设备的效率，降低设备的成本，以求实现化工单元操作的最佳化，并力求反映当前国内及国际的先进技术。《全书》自20世纪80年代出版发行后，因其内容的实用性，得到化工、石化、医药、轻工等相关行业的设备专业人员欢迎。

近十余年来，我国化工装置的设计，化工设备的研究、开发、制造和标准化工作有了较大的发展，建造设备用的结构材料也有了新的进展，有必要对《全书》的内容加以更新、补充，以适应现代工程建设要求，满足广大工程技术人员，特别是年青一代工程技术人员需要。中国石油和化工勘察设计协会、中国石化集团上海医药工业设计院、全国化工设备设计技术中心站组成了《化工设备设计全书》编辑委员会，负责《全书》的修订工作。《全书》的修订原则是“推陈出新”，以符合现代工程建设要求。

《化工设备设计全书》计划出版15种，计有：《化工设备用钢》、《化工容器》、《高压容器》、《超高压容器》、《换热器》、《塔设备》、《搅拌设备》、《球罐和大型储罐》、《废热锅炉》、《干燥设备》、《除尘设备》、《铝制化工设备》、《钛制化工设备》、《石墨制化工设备》和《钢架》等。

本书为《塔设备》，着重介绍了各种塔类设备的化工设计、结构设计和强度、刚度计算，以及安装、运输等有关问题。

本书原编写者：第一章魏兆灿，第二章杜佩衡，第三章赵永鉴，第四章吴福生、董秀萍、赵鹤茹，第五章王树楹、吴锦元，第六章李宽宏，第七章蔡焕国、王联生，第八章卫效莲，第九章林锋。现由中石化上海工程有限公司高级工程师戴季煌（第一、四、五、八、九章），华东理工大学教授路秀林（第二、三章），华东理工大学教授吴志泉（第六章），中石化兰州设计院高级工程师王者相（第七章）负责修订，由戴季煌统一全稿。

由于化工生产发展迅速，我们掌握情况有限，本书的内容如有不足和错误之处，敬请广大读者提出宝贵意见，以便再版时补充改正。

在本书编写和审校的过程中，得到了很多单位和同志的大力协助和指导，在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

2003年12月

目 录

第一章 概论 1	第二节 填料 158
第一节 塔设备在化工生产中的作用和地位..... 1	第三节 填料塔结构设计 173
第二节 塔设备的分类及一般构造 1	第四节 其他塔型 198
第三节 对塔设备的要求 3	参考文献 200
第四节 塔设备的发展及现状 3	第六章 萃取塔设计 201
第五节 塔设备的用材 5	第一节 萃取操作的化工计算..... 201
参考文献 5	第二节 脉动塔 206
第二章 塔设备的化工设计 6	第三节 转盘塔 215
第一节 引言..... 6	本章符号表 222
第二节 常用塔型及其选用 6	参考文献 223
第三节 塔设备主要结构尺寸的确定 18	第七章 塔设备的强度设计和稳定
第四节 塔设备的操作弹性、效率及压力降 ... 26	校核 225
第五节 塔设备的强化 39	第一节 塔体自振周期计算..... 225
本章符号表 41	第二节 地震设计 236
参考文献 43	第三节 风载荷计算 245
第三章 塔盘型式及设计 45	第四节 塔体的强度与稳定校核 255
第一节 塔盘的液流部分..... 45	第五节 裙座的计算 264
第二节 泡罩塔盘 51	第六节 塔体法兰当量压力的计算 268
第三节 浮阀塔盘 64	第七节 塔顶挠度的计算及其控制值 268
第四节 筛孔塔盘 73	第八节 计算实例 289
第五节 舌形塔盘 78	参考文献 297
第六节 斜孔塔盘 83	第八章 辅助装置及附件 298
第七节 网孔塔盘 84	第一节 除沫器..... 298
第八节 导向浮阀型塔板 87	第二节 裙座 312
第九节 穿流型塔盘 90	第三节 塔釜隔板 330
第十节 旋流板塔盘 94	第四节 接管 334
第十一节 其他塔盘 96	第五节 人孔和手孔 347
参考文献 100	第六节 吊柱 348
第四章 塔盘的结构设计 102	第七节 吊耳 353
第一节 塔盘..... 102	第八节 塔箍 362
第二节 降液管及受液盘 125	第九节 附属装置的连接结构 362
第三节 溢流堰 132	第十节 操作平台与梯子 364
第四节 塔盘的机械计算 136	本章符号表 372
第五节 塔盘的支承结构 141	参考文献 372
第六节 塔盘的密封 144	第九章 塔设备的制造、安装及运输 373
第七节 塔盘的紧固件 146	第一节 制造要求..... 373
附录一 153	第二节 设备的检验 379
附录二 156	第三节 大型塔设备的安装 379
参考文献 157	第四节 运输及其要求 383
第五章 填料塔设计 158	第五节 典型实例 385
第一节 引言..... 158	参考文献 392

第一章 概 论

第一节 塔设备在化工生产中的作用和地位

塔设备是化工、石油化工和炼油等生产中最重要的设备之一。它可使气（或汽）液或液液两相之间进行紧密接触，达到相际传质及传热的目的。可在塔设备中完成的常见的单元操作有：精馏、吸收、解吸和萃取等。此外，工业气体的冷却与回收、气体的湿法净制和干燥，以及兼有气液两相传质和传热的增湿、减湿等。

在化工厂、石油化工厂、炼油厂等中，塔设备的性能对于整个装置的产品产量、质量、生产能力和消耗定额，以及三废处理和环境保护等各个方面，都有重大的影响。据有关资料报道，塔设备的投资费用占整个工艺设备投资费用的较大比例（见表1-1）；它所耗用的钢材重量在各类工艺设备中也属较多（见表1-2）。因此，塔设备的设计和研究，受到化工、炼油等行业的极大重视。

第二节 塔设备的分类及一般构造

塔设备经过长期发展，形成了型式繁多的结构，以满足各方面的特殊需要。为了便于研究和比较，人

们从不同的角度对塔设备进行分类。例如：按操作压力分为加压塔、常压塔和减压塔；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；按形成相际接触界面的方式分为具有固定相界面的塔和流动过程中形成相界面的塔；也有按塔釜型式分类的。但是长期以来，最常用的分类是按塔的内件结构分为板式塔（图1-1）和填料塔（图1-2）两大类，还有几种装有机械运动构件的塔。

在板式塔中，塔内装有一定数量的塔盘，气体以鼓泡或喷射的形式穿过塔盘上的液层使两相密切接触，进行传质。两相的组分浓度沿塔高呈阶梯式变化。

在填料塔中，塔内装填一定段数和一定高度的填料层，液体沿填料表面呈膜状向下流动，作为连续相的气体自下而上流动，与液体逆流传质。两相的组分浓度沿塔高呈连续变化。

人们又按板式塔的塔盘结构和填料塔所用的填料，细分为多种塔型。

装有机械运动构件的塔，也就是有补充能量的塔，常被用来进行萃取操作，也有用于吸收、除尘等操作的，其中以脉动塔和转盘塔用得较多。

塔设备的构件，除了种类繁多的各种内件外，其余构件则是大致相同的。

表 1-1 化工生产装置中各类工艺设备所占投资的比例

装置名称	工艺设备类别				
	搅拌设备	反应设备	换热设备	塔设备	合 计
化工和石油化工	6.15%	22.91%	45.55%	25.39%	100%
炼油和煤化工	2.63%	13.02%	49.50%	34.85%	100%
人造纤维	12.19%	2.30%	40.61%	44.90%	100%
药物和制药	33.61%	30.60%	25.92%	9.87%	100%
油脂工业	19.58%	8.99%	50.94%	20.49%	100%
油漆和涂料	53.66%	22.03%	12.91%	11.40%	100%
橡胶	15.38%	12.04%	57.47%	15.11%	100%

表 1-2 化工生产装置中塔设备所占的质量比例

化工装置名称	塔设备质量所占百分比/%	化工装置名称	塔设备质量所占百分比/%
250万吨/年常压蒸馏	16.9	7万吨及16万吨/年芳烃抽提	21.0~27.6
250万吨/年常减压蒸馏	45.5	10万吨/年苯	38.3
60万吨及120万吨/年催化裂化	48.9	4.5万吨/年丁二烯	54.0
11.5万吨及30万吨/年乙烯	25.0~28.3	8万吨/年氯乙烯	33.3

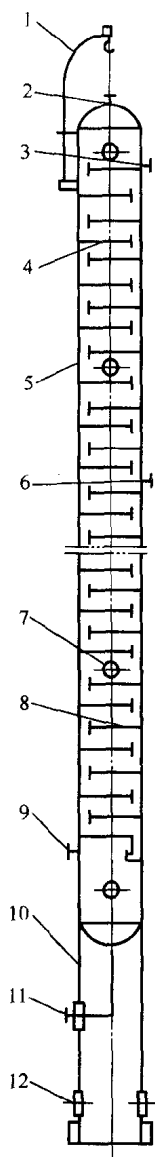


图 1-1 板式塔

- 1—吊柱；2—气体出口；3—回流液入口；
4—精馏段塔盘；5—壳体；6—料液进口；
7—人孔；8—提馏段塔盘；9—气体入口；
10—裙座；11—釜液出口；12—检查孔

1. 塔体 塔体是塔设备的外壳。常见的塔体是由等直径、等壁厚的圆筒和作为头盖和底盖的椭圆形封头所组成。随着化工装置的大型化，渐有采用不等直径、不等壁厚的塔体。塔体除满足工艺条件（如温度、压力、塔径和塔高等）下的强度、刚度外，还应考虑风力、地震、偏心载荷所引起的强度、刚度问题，以及吊装、运输、检验、开停工等的影响。对于板式塔来说，塔体的不垂直度和弯曲度，将直接影响塔盘的水平度（这指标对板式塔效率的影响是非常明

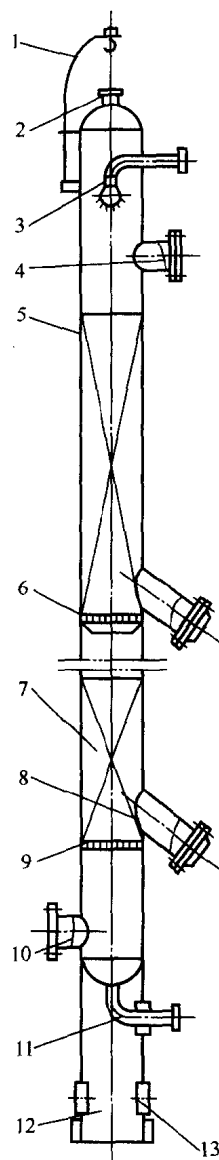


图 1-2 填料塔

- 1—吊柱；2—气体出口；3—喷淋装置；4—人孔；
5—壳体；6—液体再分配器；7—填料；8—卸
填料人孔；9—支承装置；10—气体入口；
11—液体出口；12—裙座；13—检查孔

显的)，为此，在塔体的设计、制造、检验、运输和吊装等各个环节中，都应严格保证达到有关要求，不使其超差。

2. 塔体支座 塔体支座是塔体安放到基础上的连接部分。它必须保证塔体坐落在确定的位置上进行正常的工作。为此，它应当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。最常用的塔体支座是裙式支座（简称为“裙座”）。

3. 除沫器 除沫器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、改善塔后设备的操作状况,以及减少对环境的污染等,都是非常必要的。

4. 接管 塔设备的接管是用以连接工艺管路,把塔设备与相关设备连成系统。按接管的用途,分为进液管、出液管、进气管、出气管、回流管、侧线抽出管和仪表接管等。

5. 人孔和手孔 人孔和手孔一般都是为了安装、检修检查和装填填料的需要而设置的。在板式塔和填料塔中,各有不同的设置要求。

6. 吊耳 塔设备的运输和安装,特别是在设备大型化后,往往是工厂基建工地上一项举足轻重的任务。为起吊方便,可在塔设备上焊以吊耳。

7. 吊柱 在塔顶设置吊柱是为了在安装和检修时,方便塔内件的运送。

第三节 对塔设备的要求

作为主要用于传质过程的塔设备,首先必须使气(汽)液两相能充分接触,以获得较高的传质效率。此外,为了满足工业生产的需要,塔设备还得考虑下列各项要求。

(1) 生产能力大。在较大的气(汽)液流速下,仍不致发生大量的雾沫夹带、拦液或液泛等破坏正常操作的现象。

(2) 操作稳定、弹性大。当塔设备的气(汽)液负荷量有较大的波动时,仍能在较高的传质效率下进行稳定的操作。并且塔设备应保证能长期连续操作。

(3) 流体流动的阻力小,即流体通过塔设备的压力降小。这将大大节省生产中的动力消耗,以降低经常操作费用。对于减压蒸馏操作,较大的压力降还将使系统无法维持必要的真空度。

(4) 结构简单、材料耗用量小、制造和安装容易。这可以减少基建过程中的投资费用。

(5) 耐腐蚀和不易堵塞,方便操作、调节和检修。

事实上,对于现有的任何一种塔型,都不可能完全满足上述的所有要求,仅是在某些方面具有独到之处。人们对于高效率、大生产能力、稳定操作和低压降的追求,推动着塔设备新结构型的不断出现和发展。

第四节 塔设备的发展及现状

泡罩塔是1813年Cellier提出的,它在化工生产中一直占有重要的地位。从1832年开始用于酿造工业,是出现较早并获得广泛应用的一种塔型。工业规模的填料塔始于1881年的蒸馏操作中,1904年才用

于炼油工业,当时的填料是碎砖瓦、小石块和管子缩节等。

20世纪初,随着炼油工业的发展和石油化学工业的兴起,塔设备开始被广泛采用,并逐渐积累了有关设计、制造、安装、操作等方面的数据和经验。当时,炼油工业中多用泡罩塔,无机酸碱工业则以填料塔为主,而筛板塔因当时尚无精确的设计方法和操作经验,故未能广泛使用。

20世纪中期,为了适应各种化工产品的生产和发展,不仅需要新建大量的塔,还得对原有的塔设备进行技术改造,故而陆续出现了一批能适应各方面要求的新塔型。这一时期发展的塔盘如下。

1. 泡罩型

(1) 条形泡罩塔盘。

(2) 单流式泡罩塔盘(uniflux tray),亦称S形塔盘。

2. 筛板型

(1) 有溢流的栅板塔盘。

(2) 波纹筛板塔盘(ripple tray)。

3. 浮阀型

(1) 条形浮阀塔盘(nutter float valve tray)。

(2) 重盘式浮阀塔盘(ballast valve tray)。

(3) A型和T型的圆盘形浮阀塔盘(flexitray)。

4. 喷射型

(1) 文丘里阶梯式塔盘(benturi cascade tray)。

(2) 条孔网状塔盘(kittel tray)。

(3) 舌形塔盘(jet tray)。

(4) 导向浮阀塔盘。

这批新型塔盘的出现,不仅为创建综合性能更好的塔型打开了思路,而且为接着发生的设备大型化后选择塔型指出了方向。在此期间,许多学者总结了塔设备长期操作的经验,并对筛板塔作了系统研究,认为设计合理的筛板塔,不仅保留了制造方便、用材省、处理能力大等优点,而且操作负荷在较大范围内变动时,仍能保持理想的效率。近年来,随着对筛板塔研究工作的不断深入和设计方法的日趋完善,筛板塔已成为生产上最为广泛采用的塔型之一。

这一时期填料塔也进入了一个新的发展阶段。在瓷环填料,亦称拉西环填料(Raschig ring)被广泛采用后,弧鞍形填料(Berl saddle)相继问世,特别是出现了斯特曼(Stedman)填料后,更大大地促进了规整填料的发展,其中有:帕纳帕克(Panapak)填料、古德洛(Goodloe)填料、斯普雷帕克(Spraypak)填料等。同时,麦克马洪(Mcmahon)填料、鲍尔环填料(Pall ring)、狄克松环填料(Dixon ring)、坎农(Cannon)填料和矩鞍形填料(Intalox saddle)等颗粒型填料也纷纷出现。除了各种填料大量涌现外,还

发展了多管塔、乳化塔等被称为高效填料塔的新塔型。

从20世纪60年代起,由于化工机械制造业成功地解决了高压离心式压缩机的转动密封和高温高压废热锅炉的结构强度设计等技术关键,使化肥和石油化工的生产,在能量综合利用方面提高到一个新水平,继而带动了整个化学、炼油工业向大型化方向迅速发展。据有关资料报道,炼油装置的年处理能力也达1000万吨,年产60~90万吨的乙烯工厂、60万吨的甲醇工厂、45万吨的氯乙烯工厂、34万吨的低密度聚乙烯工厂、31.5万吨的苯乙烯工厂以及22.5万吨的异丙苯工厂,也将相继兴建。在大型装置中,塔设备的单台规模也随之增大。直径在10m以上的板式塔时有出现(如某炼油厂的减压蒸馏塔塔径为12.2m,并在酝酿设计18m直径的塔),塔板数多达上百块,塔的高度达80余米,设备重量有几百吨(操作时的最大塔重可达1500吨);填料塔的最大直径也有15m,塔高达100m。近年来,由于出现了世界性的能源危机,暴露出设备大型化带来的不容忽视的问题:大型设备必须保证在全负荷下长期连续运转,否则经济损失将是非常巨大的。

在此期间,为了满足设备大型化以及化工工艺方面提出的高压、减压、高操作弹性等特殊要求,又出现了很多新型塔盘,但按其结构特点,仍属泡罩、筛板、浮阀、舌型等几种典型塔型的改进或相互结合。举例如下。

1. 属泡罩型的

- (1) 旋转泡罩塔盘。
- (2) 带有导流叶片的泡罩塔盘。
- (3) 扁平泡罩塔盘。
- (4) 蜂窝形泡罩塔盘。

2. 属筛板型的

(1) 导向筛板塔盘 (linde sieve tray), 即林德筛板塔盘。

(2) 多降液管筛板塔盘 (multiple downcomer sieve tray), 即MD筛板塔盘。

(3) 筛网塔盘 (hyflux tray)。

(4) VST塔盘 (vertical sieve tray)。

此外,筛板本身也可斜置,还发展了斜孔、针孔和大孔径、双孔径等多种筛孔。

3. 属浮阀型的

- (1) 旋转浮阀塔盘。
- (2) 锥心浮阀塔盘 (Hy-contact valve tray)。
- (3) 管式浮阀塔盘。
- (4) 长条形浮阀塔盘。
- (5) 链网式浮阀塔盘 (grid valve tray)。
- (6) 带螺旋叶片的浮阀塔盘 (spiral valve tray)。

(7) 方形浮阀塔盘 (speichim)。

(8) 错流式长方形浮阀塔盘。

4. 属喷射型的

- (1) 浮动舌形塔盘。
- (2) 活动舌形塔盘。
- (3) 带垂直挡板的舌形塔盘。
- (4) 片状喷射塔盘。
- (5) 浮动喷射塔盘。
- (6) 带倾斜挡沫板的斜孔塔盘 (Шейнман)。
- (7) 网孔塔盘 (perform tray)。
- (8) 旋流塔盘。
- (9) thormann喷射塔盘。
- (10) 导向浮阀塔盘。

5. 属复合类型的

- (1) 泡罩与筛板的复合。
- (2) 筛板与浮阀的复合。
- (3) 筛板与舌形的复合。

此外,无溢流装置的穿流式塔盘,也有较多的发展,其型式有:

- (1) 穿流式栅板塔盘。
- (2) 穿流式筛板塔盘。
- (3) 穿流式双孔径筛板塔盘。
- (4) 穿流式可调开孔率筛板塔盘。
- (5) 穿流式条形或圆形浮阀塔盘。
- (6) 穿流式旋叶塔盘。

这一时期,新型填料也有了较多的发展。属于颗粒型填料的有:海佐涅尔 (Hydronyl) 填料、阶梯环 (Cascade mini ring) 填料、多角螺旋填料、金属鞍环填料 (Intalox metal packing)、比阿雷茨基环 (Bialecki ring)、莱瓦填料 (Levapak) 以及它们的改进型式。属于规整填料的有:苏采尔填料 (Sulzer packing)、重叠式丝网波纹板填料、重叠式金属波形板填料、格利希栅格填料 (Glitsch grid)、格子填料、拉伸金属板网填料、塑料蜂窝填料、Z形格子填料、Perform喷射式填料和脉冲填料 (Impulse packing) 等。同时,还创建了使小球浮动来强化传质的湍球塔。

为了加强工业技术的竞争能力,长时期来,各国都相继建立了技术专利的管理机构。在这众多的专利中,新型塔盘及高效填料的开发工作,也占有一定的数量。从这里可以看出各国塔设备发展的趋向,作为我们工作的参考。但是,进入20世纪70年代后,有关塔设备传质理论和塔盘结构方面的论文,已不如以前那么多了。这反映了基础理论研究工作的进度放慢了,同时也表明人们通过实践接受了И. А. Александров等人的观点:当负荷达到最高负荷的85%时,所有不同结构的塔盘,其效率大致是相同的。研究结果表明,

塔盘的效率并不取决于塔盘的结构,而主要取决于物系的性质,如相对挥发度、黏度、混合物的组分等。国外塔设备的发展已转向“要求在提高处理能力和简化结构”的前提下,保持一定的操作弹性和适当的压力降,并尽量提高塔盘的效率。至于新型填料的研究,则希望找到有利于气液分布均匀、高效和制造方便的填料。

随着塔设备技术的发展,各工业国家还陆续制订了多种气液接触元件(如泡罩、浮阀、填料等)及有关塔盘制造、安装、验收的标准、规范和技术条件等,以保证塔设备运行的质量和缩短其制造、安装周期,进而减少设备的投资费用。当然,盲目地套用标准或是忽视标准等的修订工作,也会对技术的发展起到阻碍作用。

我国塔设备技术的发展,经历了一个漫长的过程。新中国成立以后,随着国民经济的发展,陆续建立了一批现代化的石油化工装置。随着这些装置引进的新型塔设备,不仅在操作、使用这些设备方面提供了大量的第一手资料,还带动了塔设备的科研、设计工作,加速了这方面的技术开发。

目前,我国常用的板式塔型仍为泡罩塔、浮阀塔、筛板塔和舌形塔等,填料种类除拉西环、鲍尔环外,阶梯环以及波纹填料、金属丝网填料等规整填料也常采用。近年来,参考国外塔设备技术的发展动向,加强了对筛板塔的科研工作,提出了斜孔塔和浮动喷射塔等新塔型。对多降液管塔盘、导向筛板、网孔塔盘等,也都作了较多的研究,并推广应用于生产。其他如大孔径筛板、双孔径筛板、穿流式可调开孔率筛板、浮阀-筛板复合塔盘,以及喷杯塔盘、角钢塔盘、旋流塔盘、喷旋塔盘、旋叶塔盘等多种塔型和金属鞍环填料的流体力学性能、传质性能和几何结构等方面的试验工作,也在进行,有些已取得了一定的成果或用于生产。

从塔设备的化工设计到结构强度设计,国内也做出了不断的改进,并陆续引入了一些新的方法和标准规范。特别是由于电子计算机技术的发展,化工设计中计算工作量极大的逐板算法,已能快速而方便地得到满意结果。在结构强度设计中,电子计算机也可以把受载情况异常复杂的塔设备强度问题,逐项加以考虑,并做出详细的计算。现有全国化工设备设计技术中心站组织编制的压力容器强度计算软件 SW6 中

可对设备强度和刚度进行计算。目前正在考虑作塔设备的最优化设计。

20 世纪 60 年代以来,我国着手编制了塔设备零部件标准,1965 年起正式颁发了一批有关的标准和技术条件。70 年代又修订、合并、补充、充实了一批标准。

第五节 塔设备的用材

塔设备与其他化工设备一样,置于室外、无框架的自支承式塔体,绝大多数是采用钢材制造的。这是因为钢材具有足够的强度和塑性,制造性能较好,设计制造的经验也较成熟。特别是在大型的塔设备中,钢材更具有无法比拟的优点,因而被广泛地采用。为此,本书主要介绍这方面的有关内容。有些场合为了满足腐蚀性介质或低温等特殊要求,采用有色金属材料(如钛、铝、铜、银等)或非金属耐腐蚀材料,也有为了减少有色金属的耗用量而采用渗铝、镀银等措施,或采用钢壳衬砌、衬涂非金属材料。用这类材料制成的塔设备,塔径一般都不大,当尺寸稍大时,就得在塔外用钢架结构加强。此外,这些材料在制造、运输、安装等方面都各有特点,在设计时还应参阅其他有关资料,认真加以考虑。

可供制作塔设备内件的材料,比之塔体用材,选择余地更大了。板式塔中的塔盘,以及浮阀、泡罩一类气液接触元件,由于结构较为复杂,加之安装工艺和使用方面的要求(如浮阀应能自由浮动),所以仍是以钢材为主,其他材料(如陶瓷、铸铁等)为辅。填料的用材,往往只考虑制造成型方面的性能,所以可用多种材料制成同一型式和外形尺寸的填料,以满足不同场合的需要。如拉西环最初是用瓷做的,以后又出现用钢、石墨或硬聚氯乙烯塑料等制造;鲍尔环也有用钢、铝或聚丙烯塑料等制造;至于高效的丝网填料,则除了用各种金属丝网外,还可将尼龙、塑料等编织成网,进而制得。

总之,选材所考虑的因素较多,《化工设备设计全书》另有分册论述,此处只粗略介绍,供选用时参考。

参 考 文 献

- 1 石油化工产品技术经济参考资料,兰州化学工业公司设计院,1976
- 2 塔器(上、下册),兰州石油机械研究所,1973

第二章 塔设备的化工设计

第一节 引言

鉴于塔设备型式繁多、用途各异,故本章仅介绍用于气液传质塔设备的化工设计。此类塔设备分成两大类:板式塔和填料塔。

一、板式塔

根据给定的操作条件(例如蒸馏),由图解法或其他方法求得理论塔板数,选定或估算塔板效率,就可求得实际塔板数,尔后进行以下内容的设计或计算。

(1) 塔高的计算,包括塔的主体高度、顶部与底部空间的高度,以及裙座高度。

(2) 塔径的计算。

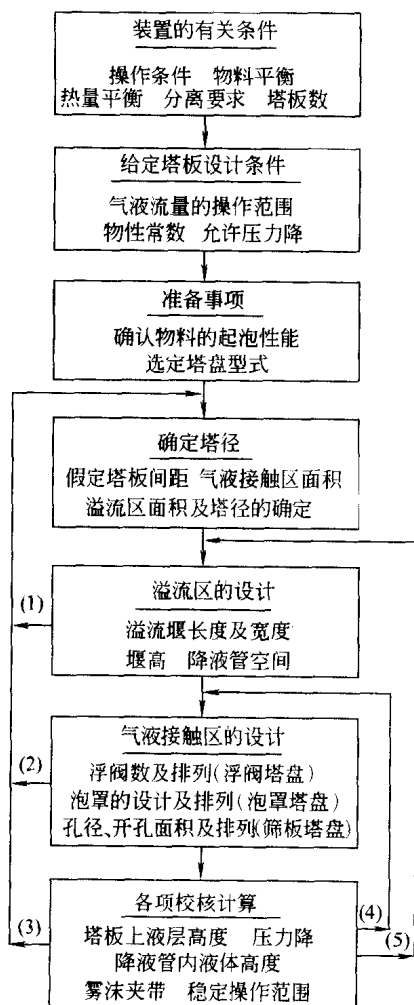


图 2-1 板式塔化工设计程序

(3) 塔内件的设计,主要是塔盘的工艺和结构设计。此外还有塔的进出口、防冲挡板、防涡器、除沫器等的设计计算。

板式塔的内件及附件设计计算,分别将在第三、四章及第八章中专门论述,本章只讨论塔高、塔径的计算,以及板式塔的类型选择、强化与改进方向、负荷性能、塔板效率及压力降等。为了概要地说明板式塔的化工设计内容与顺序,将设计的主要程序用框图示于图 2-1^[4]。

有下述情况时,须对图 2-1 中的(1)~(5)项,作重复计算。

(1) 溢流区设计算得的出口堰长度,使气体通道的面积不够或不在限定的范围内。

(2) 孔的排列间距及开孔面积不在限定的范围内。

(3) 雾沫夹带量超过限度或发生液泛。

(4) 允许压力降及漏液量超出限度。

(5) 降液管内的液体高度超出限度。

二、填料塔

根据已知的操作条件及过程的性质(例如吸收、解吸或蒸馏),进行填料塔的化工设计。它包括以下内容。

(1) 选择填料。

(2) 计算塔高主要是填料层高度的计算。

(3) 塔径的计算。

(4) 压力降的计算。

第二节 常用塔型及其选用

一、常用板式塔类型

板式塔是分级接触型气液传质设备,种类繁多。根据目前国内外实际使用的情况,主要塔型是浮阀塔、筛板塔及泡罩塔。欧美与日本的统计数据如表 2-1 所示^[9]。

表 2-1 塔型使用比例 (%)

塔 型	浮 阀 塔	筛 板 塔	泡罩塔及其他
欧 美	20~30	60	10~20
日 本	50	25	25

(一) 泡罩塔

泡罩塔是历史悠久的板式塔,长期以来,在蒸馏、吸收等单元操作所使用的塔设备中,曾占有主要

地位,近三十年来由于塔设备有很大的进展,出现了许多性能良好的新塔型,才使泡罩塔的应用范围和在塔设备中所占的比重有所减少。但泡罩塔并不因此失去其应用价值,因为它具有如下优点。

① 操作弹性较大,在负荷变动范围较大时仍能保持较高的效率。

② 无泄漏。

③ 液气比的范围大。

④ 不易堵塞,能适应多种介质。

泡罩塔的不足之处在于结构复杂、造价高、安装维修麻烦以及气相压力降较大。然而,泡罩塔经过长期的实践,积累的经验比其他任何塔型都丰富,常用的泡罩已经标准化。在处理非腐蚀性物料时,整个泡罩塔盘都可用碳钢制造。泡罩塔盘的蒸气压力降虽然高一些,但在常压或加压下操作时,并不是主要问题。

根据现今的情况,泡罩塔盘在工业上仍有一定的实用价值。

泡罩塔盘的主要结构包括泡罩、升气管、溢流管及降液管。泡罩塔盘上气液接触的状况,参见图 2-2。

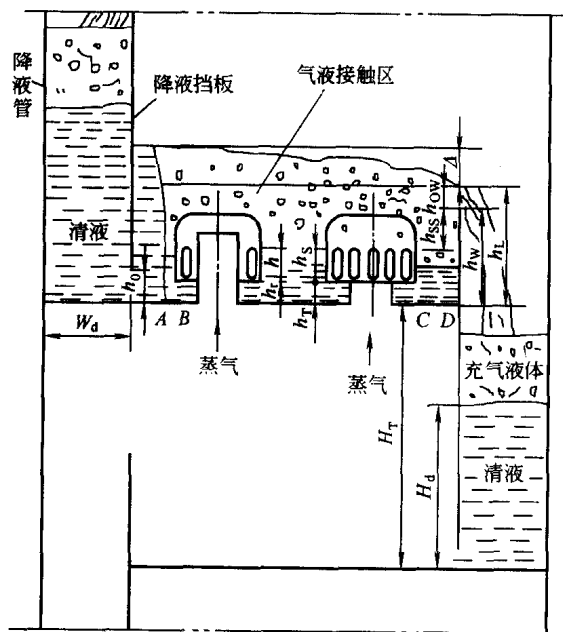


图 2-2 泡罩塔盘上气液接触状况

液体由上层塔盘通过左侧的降液管,从A处流入塔盘,然后横向流过塔盘上布置泡罩的区段BC,此处是塔盘的气液接触区(或称鼓泡区);C-D段用于初步分离液体中夹带的气泡,接着液体流出口堰进入右侧的降液管。在堰板上方的液层高度 h_{ow} ,称为堰上液流高度。在降液管中,被夹带的蒸气分离出来,上升返回塔盘上,清液则流往下层塔盘。

与此同时,蒸气则从下层塔盘上升,进入泡罩的

升气管中,通过环形回转通道,再经泡罩的齿缝分散到泡罩间的液层中去。图中 h_s 为齿缝开度,系泡罩内液面至齿缝顶端的距离。从齿缝顶端至堰板顶边的高度差 h_{ss} ,称为静液封高度。蒸气从齿缝中流出时,搅动了塔盘上的液体,使液层上部变成泡沫层。气泡离开液面时,破裂成带有液滴的气体,小液滴相互碰撞合并成大液滴,又落回液层。还有少量微小液滴被蒸气夹带到上层塔盘,这称为雾沫夹带。蒸气从下层塔盘经泡罩进入液层,并在继续上升的过程中,与所接触的液体发生传热与传质。蒸气通过每层塔盘,其流动过程所引起的压头损失,称为每层塔板的蒸气压力降。

另外,当液体横向流过整个塔盘时,还须克服各种阻力,因而产生液面落差 Δ ,此即图中A处的液面高度与D处液面高度的差。液体流量愈大,在塔盘上的流程愈长,则流动的阻力就愈大, Δ 值也愈大。由于这个落差的存在,使得塔盘上的液层厚度从液体进口至出口逐渐减小,造成了蒸气分布不均,这在设计中应充分注意。

此外,泡罩塔如果塔盘设计欠妥或操作不当,常会出现以下不正常现象,从而使塔板效率下降,甚至破坏操作。

(1) 锥流 当液体流量很小或液封高度不够时,从齿缝出来的蒸气,能推开液体,掠过液面直接上升,以致气液接触不良。

(2) 脉动 当蒸气流量很小、不能以连续鼓泡的形式通过液层时,必然是逐渐积蓄蒸气,使塔盘下方的气压逐渐升高,当增加到足够的数值后,才能通过齿缝鼓泡逸出;而当流过若干气泡后,气压下降,就停止鼓泡;再等到上升至一定压力后,才能重新鼓泡。即蒸气的流动过程表现为蒸气脉动鼓泡。

(3) 偏流和倾流 当液体流量过大和蒸气流量过小时,塔盘上液面落差大,使气流分布不均,就称为偏流;情况严重时,液体从升气管溢流而下,称为倾流。这现象多出现于大塔中。

(4) 过量的雾沫夹带 蒸气速度过高时,被夹带到上一塔盘的液量超过了允许值,称为过量的雾沫夹带。

(5) 液泛 部分液体未能通过降液管流下,被拦截在塔板上,泡沫层高度充满板间距,以致无法操作,这称为液泛(或淹塔)。造成液泛的原因有:板间距太小,降液管面积太小,或是气液流量太大,超过了设计限度。

泡罩是泡罩塔板最主要的部件,品种很多,目前应用最多的型式是具有矩形或梯形齿缝,底部有缘圈、结构可拆的圆泡罩(图 2-3)。

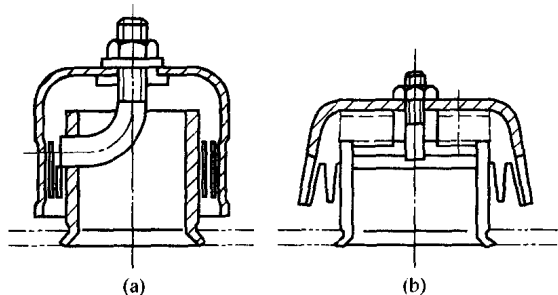


图 2-3 圆泡罩

(二) 筛板塔

筛板塔也是很早出现的一种板式塔。20 世纪 50 年代起对筛板塔进行了大量工业规模的研究, 逐步掌握了筛板塔的性能, 并形成了较完善的设计方法。与泡罩塔相比, 筛板塔具有下列优点: 生产能力大 (20%~40%), 塔板效率高 (10%~15%), 压力降低 (30%~50%), 而且结构简单, 塔盘造价减少 40% 左右, 安装、维修都较容易。从而一反长期的冷落状况, 获得了广泛应用。近年来对筛板塔盘的研究还在发展, 出现了大孔径筛板 (孔径可达 20~25mm)、导向筛板等多种型式。

筛板塔盘的示意结构及气液接触状况, 参见图 2-4。

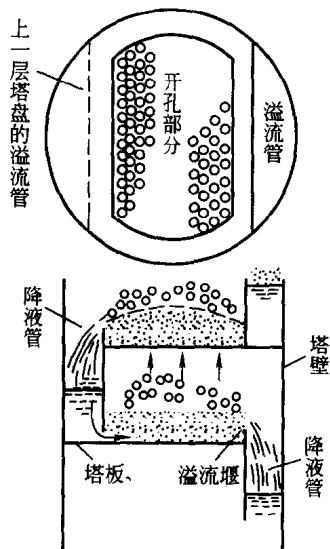


图 2-4 筛板塔盘上气液接触状况

筛板塔盘上分为筛孔区、无孔区、溢流堰及降液管等几部分。工业塔常用的筛孔孔径为 3~8mm, 按正三角形排列, 孔间距与孔径的比为 2.5~5。近年来有用大孔径 (10~25mm) 筛板的, 它具有制造容易、不易堵塞等优点, 只是漏液点稍高, 操作弹性较小。

与泡罩塔操作情况类似, 液体从上一层塔盘的降液管流下, 横向流过塔盘, 经溢流堰进入降液管, 流

入下一层塔盘。依靠溢流堰来保持塔盘上的液层高度。蒸气自下而上穿过筛孔时, 分散成气泡, 穿过板上液层。在此过程中进行相际的传热和传质。

筛板塔盘的特点如下。

- (1) 结构简单, 制造维修方便。
- (2) 生产能力较大。
- (3) 塔板压力降较低。
- (4) 塔板效率较高, 但比浮阀塔盘稍低。
- (5) 合理设计的筛板塔可具有适当的操作弹性。
- (6) 小孔径筛板易堵塞, 故不宜处理脏的、黏性大的和带有固体粒子的料液。

(三) 浮阀塔

20 世纪 50 年代起, 浮阀塔已大量用于工业生产, 以完成加压、常压、减压下的精馏、吸收、脱吸等传质过程。大型浮阀塔的塔径可达 10m, 塔高达 83m, 塔板数有数百块之多^[12,13]。

浮阀塔之所以广泛应用, 是由于它具有下列特点。

(1) 处理能力大 浮阀在塔盘上可安排得比泡罩更紧凑。因此浮阀塔盘的生产能力可比圆形泡罩塔盘提高 20%~40%。

(2) 操作弹性大 浮阀可在一定范围内自由升降以适应气量的变化, 而气速速度几乎不变, 因之能在较宽的流量范围内保持高效率。它的操作弹性为 3~5, 比筛板和舌形塔盘大得多。

(3) 塔板效率高 由于气液接触状态良好, 且蒸气以水平方向吹入液层, 故雾沫夹带较少。因此塔板效率较高, 一般情况下比泡罩塔高 15% 左右。

(4) 压力降小 气流通过浮阀时, 只有一次收缩、扩大及转弯, 故干板压力降比泡罩塔低。在常压塔中每层塔盘的压力降一般为 400~666.6Pa。

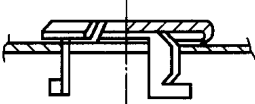
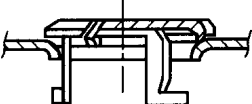
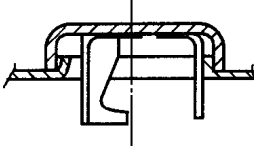
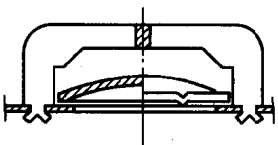
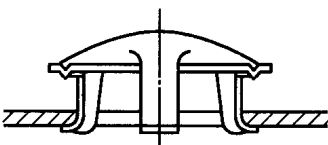
浮阀的型式很多, 国内已采用的浮阀, 如表 2-2 所示, 其中常用的是 V-1 型和 V-4 型。

浮阀塔盘操作时的气液流程和泡罩塔相似; 蒸气自阀孔上升, 顶开阀片, 穿过环形缝隙, 以水平方向吹入液层, 形成泡沫。浮阀能够随着气速的增减在相当宽广的气速范围内自由调节、升降, 以保持稳定操作。

(四) 舌形塔及浮动舌形塔

舌形塔是喷射型塔, 20 世纪 60 年代开始应用。它是在塔盘板上开有与液流同方向的舌形孔 (图 2-5), 蒸气经舌孔流出时, 其沿水平方向的分速度促进了液体的流动, 因而在大液量时也不会产生较大的液面落差。由于气液两相呈并流流动, 这就大大地减少了雾沫夹带。当舌孔气速提高到某一定值时, 塔盘上的液体被气流喷射成滴状和片状, 从而加大了气液接触面积。与泡罩塔相比, 其优点是: 液面落差小, 塔盘上

表 2-2 浮阀型式及特点

型式	F1 型(V-1 型)	V-4 型	V-6 型
简图			
特点	1. 结构简单,制作方便,省材料 2. 有轻阀(25g)、重阀(33g)两种,我国已有标准(JB 1118—81)	1. 阀孔为文丘里型,阻力小,适于减压系统 2. 只有一种轻阀(25g)	1. 操作弹性范围很大,适于中型试验装置和多种作业的塔 2. 结构复杂,重量大,阀重为 52g
型式	十字架型		A 型
简图			
特点	1. 性能与 V-1 型无显著区别 2. 对于处理污垢或易聚合物料,可能较好 3. 制造与安装较复杂		1. 性能及用途同 V-1 型,但结构较复杂 2. 国外有做成多层型的

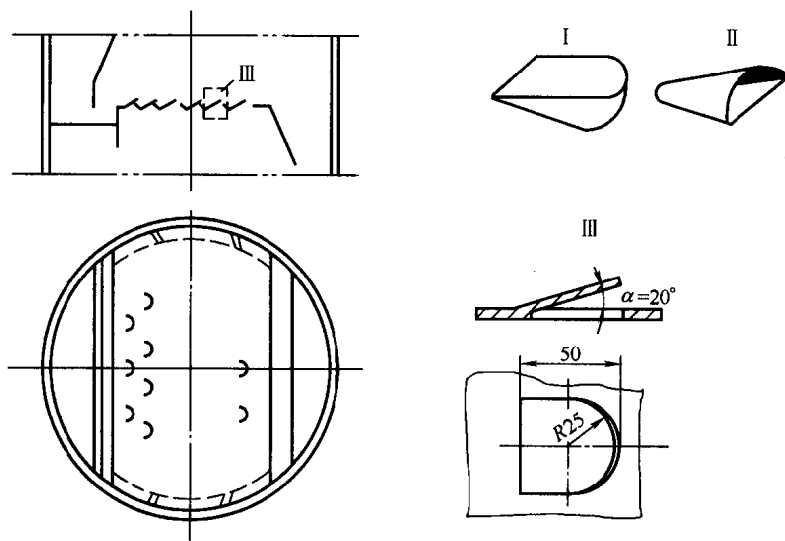


图 2-5 舌形塔盘及舌孔形状

I—三面切口舌片；II—拱形舌片；III—固定舌片的几何形状

液层薄、持液量少，压力降小（约为泡罩塔盘的 33%~50%），处理能力大，塔盘结构简单，钢材可省 12%~45%，且安装维修方便；其缺点是：操作弹性小（仅 2~4），塔板效率低，因而使用受到一定限制。

浮动舌形塔盘也是一种喷射塔盘，其舌片综合了浮阀及固定舌片的结构特点（图 2-6），因此既有舌形

塔盘的大处理量、低压力降、雾沫夹带小等优点，又有浮阀塔的操作弹性大、效率高、稳定性好等优点；缺点是舌片易损坏。

（五）穿流式栅板塔

穿流式栅板塔（图 2-7）属于无溢流装置的板式塔，在工业上也得到广泛应用。属于穿流式的还有：穿流式波纹筛板塔盘、穿流式双孔径筛板塔盘等。

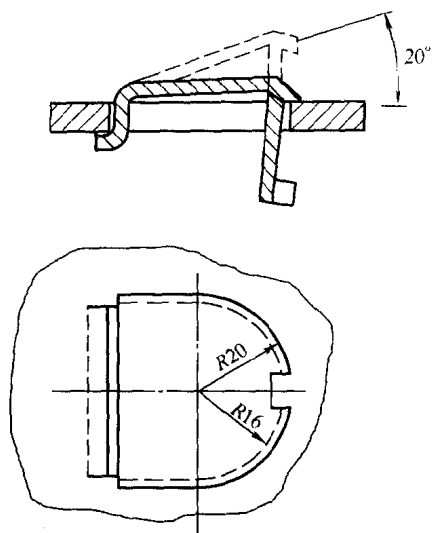


图 2-6 浮舌舌片构造

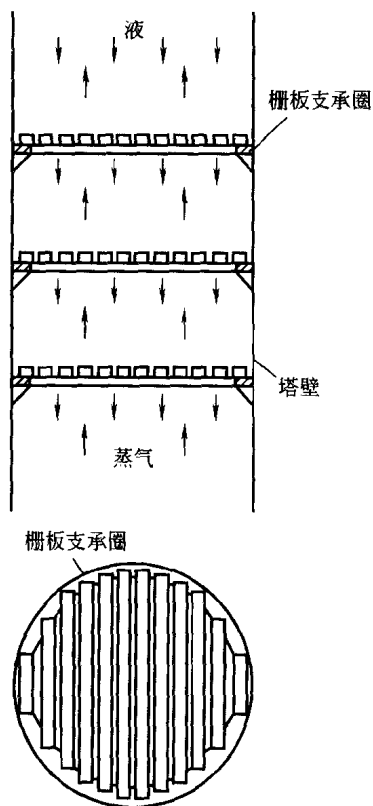


图 2-7 穿流式栅板塔盘

穿流式塔盘根据板上开有栅缝或筛孔，分别称为穿流式栅板塔或穿流式筛板塔。这种塔盘没有降液管，气液两相同时相向通过栅缝或筛孔。操作时蒸气通过孔缝上升，进入液层，形成泡沫；与蒸气接触后的液体，也不断地通过孔缝流下。

这种塔盘由于操作范围窄，一直未能推广应用。至 20 世纪 50 年代初，穿流式栅板塔的工业应用获得

成功，因而近年来应用日广。

穿流式栅板塔的特点如下。

(1) 结构简单 塔盘上无溢流装置，结构比一般筛板塔盘还简单。因而制造容易，安装维修方便，节省材料和投资。

(2) 生产能力大 由于没有溢流装置，就节省了降液管所占的塔截面积（一般约占塔盘总面积的 15%~30%），所以蒸气流量较大。

(3) 压力降小 开孔率大，孔缝气速可比溢流式塔盘为小，其压力降比泡罩塔小 40%~80%，因而可用于真空蒸馏。

(4) 污垢不易沉积、孔道不易堵塞 可用塑料、陶瓷、石墨等非金属耐腐蚀材料制造。

(5) 操作弹性较小 能保持较好效率的负荷上下限之比约为 1.5~2.0，低于其他板式塔。

(6) 塔板效率较低 比一般板式塔约低 30%~60%。但穿流式塔的孔缝气速较小，雾沫夹带量也小，故塔板间距可缩小，因而在同样的分离条件下，塔的总高度与泡罩塔大致相同。

穿流式塔盘上的气液通道可制成长条形栅缝或圆形筛孔，栅缝或筛孔大小可按物料的污垢程度、所要求的效率等情况而定，孔缝大，则耐污垢性好、加工容易，但效率较低。栅缝一般宽为 3~12mm、长为 100~150mm，常用缝宽为 3~5mm。筛孔孔径一般为 3~10mm，近来有用到 25mm 的，常用孔径为 5~8mm。塔盘开孔率一般为 15%~25%，亦有大到 40%的。

(六) 其他类型塔盘

1. 导向筛板塔盘 导向筛板塔盘的特点是：塔板压力降小，液面落差小，处理能力大，传质效果好，结构较简单，被认为是一种优良塔型。

导向筛板塔盘之所以具有上述优点，是因为它在普通筛板塔盘上采取了两项技术措施（图 2-8）：其一是在筛板上开设了一定数量与液流方向一致的导向孔；其二是在液体进口区设置了鼓泡促进装置。前者利用导向孔喷出的气流来推动液体，减小了液面落差，又可通过适当安排导向孔来改善液流分布状况，减少液体返混，从而提高塔板效率，并且导向孔气流与筛孔

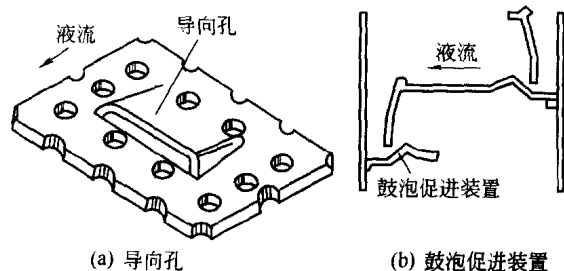


图 2-8 导向筛板塔盘结构

气流合成了抛物线型的气流,可减少雾沫夹带。鼓泡促进装置使得塔盘进口区的液层变薄,因而易于鼓泡,避免了漏液,从而使整个鼓泡区内气体分布均匀,进而可增大处理能力和减少塔板压力降。

2. 多降液管筛板塔盘 多降液管筛板塔盘的特点是塔板上设置了多个降液管,降液管悬挂于塔板下的气相空间,为此要求降液管能自封。为了使液体分布均匀,相邻两塔盘的降液管方位需互相垂直(图 2-9)。

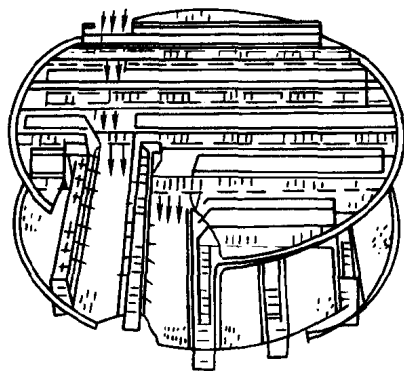


图 2-9 多降液管筛板塔盘

多降液管筛板塔盘的主要优点如下。

(1) 单位塔盘面上的溢流周边长,因而适用于很高的液体负荷。

(2) 液流路程短,几乎无液面落差,故蒸汽分布均匀。

(3) 省去了降液管下的受液盘,增加了塔盘有效鼓泡区面积。

(4) 在较宽的气液流量范围内,能有效地控制泡沫高度,因此具有较宽的操作弹性和较小的压力降。

(5) 泡沫层低,故可采用较小的塔板间距。

(6) 降液管在结构上增强了塔盘的刚性,故可省去其他支承结构。

多降液管筛板塔盘的塔板效率较低,此系液体流程短及液体在塔盘上的停留时间不均匀所致,但这一缺点可从塔板间距的缩小得到补偿,因此对塔的总高度影响不大。

3. 网孔塔盘 网孔塔盘(图 2-10)属喷射型塔盘,塔板上方装有倾斜的挡沫板(或称碎流板),塔板与挡沫板均用压延金属板网制作;板网有定向切口,挡沫板的底边与塔板之间的间隙为 25~50mm。按挡沫板的位置将塔板分成若干区域,在每个区域内又按板网的定向切口方向分成两部分,各相邻部分的切口方向互相垂直,因此当气体通过塔盘时,使液体在塔盘上的流向多次发生 90°的改变(参见图 2-10 中箭头所示)。此外,这类塔盘不设出口堰。

网孔塔盘具有如下优点。

(1) 盘上液体流向多次发生 90°转向,因此延长

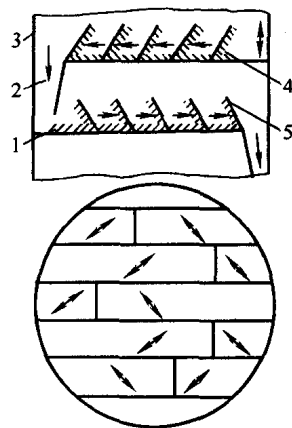


图 2-10 网孔塔盘

1—进口堰; 2—降液管; 3—塔体; 4—塔板; 5—挡沫板

了液体的流程,增加相际接触时间;液流转向时,使相际接触表面得到更新;通过对定向切口的适当配置,使塔壁附近液流分布情况得到改善。

(2) 挡沫板不仅用作气液分离,而且能增进相际传质。

(3) 塔板上具有定向切口,它利用高速气流的动能形成喷射状态,因而具有高负荷、低压力降等特点。与浮阀塔相比,蒸气负荷提高 35%,液体负荷提高 40%,压力降减少 30%~40%。

(4) 造价低廉,仅为泡罩塔盘的 50%。

(5) 在正常操作时,孔速较高,因此不易堵塞。

网孔塔盘是当前最佳塔盘之一,特别适宜于大生产能力及真空操作。

4. Kittel 塔盘 Kittel 塔盘是最早利用气相动能来强化传质的塔盘。标准 Kittel 塔盘(图 2-11)是穿

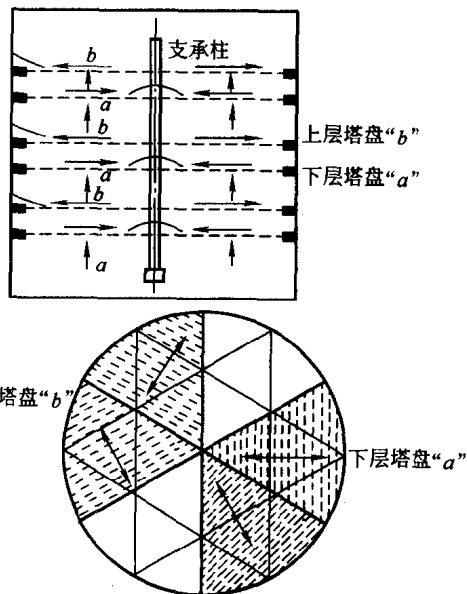


图 2-11 标准 Kittel 塔盘