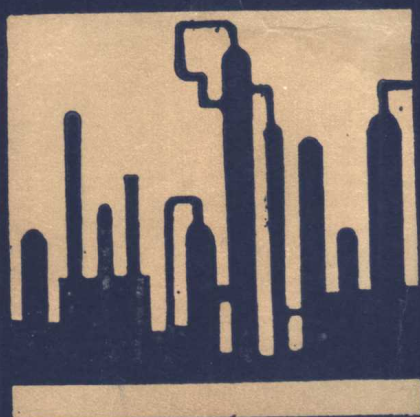


压力容器及化工设备

陈国理 主编



下 册

华南理工大学出版社

压力容器及化工设备

下 册

陈国理 主编

吴泽炜 主审

华南理工大学出版社

内 容 简 介

本书是按化机专业指导性教学大纲编写的化机专业通用教材。

全书分上、下两册。上册为压力容器部分，除绪言外，共三篇(十二章)，内容有压力容器的结构材料及其选用；内压薄壁壳体的常规设计；压力容器的稳定性设计；平板理论及设计；压力容器的零、部件设计；高压容器的结构设计及厚壁圆筒的强度计算；高压容器的零、部件设计；超高压容器设计；压力容器的应力分类设计法；压力容器的防脆断设计及缺陷评定；压力容器的疲劳分析；压力容器的蠕变问题。下册为化工设备部分，共一篇(五章)，内容有塔设备；换热设备；反应设备；贮罐及异型容器。

本书作为高等院校化机专业教材，也适合于大专班、业余大学、职工大学的化机专业使用，亦可供化工设计及生产部门的工程技术人员参考。

压力容器及化工设备

下 册

陈国烈 主编

吴泽炜 主审

责任编辑 潘宜玲

华南理工大学出版社出版发行

(广州 五山)

各地新华书店经销

韶关新华印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张19.25 字数456千

1989年4月第1版 1990年6月第2次印刷

印数5 001—10 000

ISBN 7-5623-0079-8/TQ·4

定价：5.70元



目 录

第四篇 化工设备

第十三章 塔设备	1
第一节 概 述	1
第二节 板式塔结构设计	2
一、总体结构	2
二、塔盘结构	2
三、分块式塔盘的支承结构	11
四、裙座结构	11
五、其他结构	18
六、主要技术要求	21
第三节 填料塔结构设计	21
一、总体结构	21
二、喷淋装置	23
三、液体再分布装置	27
四、填料及其支承结构	28
第四节 塔设备的强度及稳定性计算	31
一、塔设备承受各种载荷计算	31
二、塔体(筒体)的强度及稳定性验算	48
三、裙座的强度计算及校核	50
第十四章 换热设备	66
第一节 管壳式换热器主要结构类型	66
第二节 管壳式换热器的结构设计	70
一、影响管壳式换热器壳程传热与流体力学性能的因素	70
二、壳程的结构型式	75
三、壳程挡板的结构类型	77
四、管板的结构类型及其应用	80
五、管子在管板上的固定	92
六、管板与壳体的连接结构	96
七、壳程零部件设计	98
八、管程分程	106
第三节 管壳式换热器的强度计算	107
一、管板的强度计算	107
二、管壳式换热器的温差应力	117
三、膨胀节的设计计算	120
第四节 管壳式换热器防止流体诱导振动的设计	132
一、换热器流体激振的机理分析	132
二、管子振动破坏的力学模型与“碰撞数”	136
三、声振动(声共鸣)	138
四、防止流振的设计	138

第五节 高效换热管	139
一、锯齿形低翅片管	139
二、表面多孔管(E管)	140
三、纵槽管	142
四、螺旋槽管	143
第六节 板式换热器	143
一、螺旋板式换热器的结构设计	143
二、螺旋板式换热器的机械计算	147
三、板面式换热器的结构设计	150
第十五章 反应设备	157
第一节 概述	157
一、反应设备的应用及其特性	157
二、有关化学反应的基本概念	157
三、反应器设计的几个问题	158
四、反应设备的类型	159
第二节 釜式反应器	160
一、釜式反应器的操作特性及其应用	160
二、反应釜的结构	162
三、搅拌器的选用	167
四、搅拌轴的密封装置	171
第三节 管式反应器	175
一、管式反应器的操作特性及其应用	175
二、反应管的进料装置	176
三、管式反应器的结构	177
第四节 固定床催化塔式反应器	186
一、合成氨的工艺特性及操作条件	187
二、氨合成塔的基本结构	189
三、大型氨厂氨合成塔的结构	194
四、氨合成塔的设计计算	206
第十六章 贮罐设计	211
第一节 金属贮罐的发展概述	211
一、贮罐发展的经济背景	211
二、贮罐的发展趋势——大型化	211
三、油罐大型化遇到的新课题	212
第二节 油罐的种类	212
第三节 油罐的容量	213
第四节 贮罐的基础	214
一、基础的沉陷类型及其影响	214
二、基础沉陷的允许值	215
第五节 贮罐的结构概要及材料	216
一、常用的拱顶罐及浮顶罐的结构	216
二、材料的选择	216

第六节 油罐本体设计	220
一、油罐的荷重及其受力分析	220
二、油罐本体各部分设计	229
第七节 球形贮罐	240
一、概述	240
二、球形罐的设计	243
第八节 贮罐的稳定性设计	264
一、贮罐抗振设计的基本方法	264
二、贮罐抗风设计的几个问题	265
第十七章 异形容器	267
第一节 椭圆形壳体	267
一、静力学平衡条件	267
二、椭圆方程	268
三、用单位载荷法确定 M_0	269
四、危险截面和综合应力	271
五、变形计算	272
第二节 带圆角的矩形壳体	276
一、受力分析	276
二、用单位载荷法求 M_0	278
三、应力分析	278
四、强度条件	279
第三节 扁圆形壳体	280
第四节 不带圆角的矩形壳体	280
第五节 近似椭圆截面的壳体	281
一、几何关系	281
二、静力平衡条件	282
三、用单位载荷法求 M_0	285
四、强度条件	285
第六节 回转半径的概念	286
一、一般异形壳体的内力解	286
二、几种典型壳体的回转半径的计算公式	288
三、一般异形壳体的回转半径的计算公式	292
第七节 异形壳体的危险截面	292
第八节 大曲率壳体中弯曲应力的修正	293
一、曲梁弯曲时的弯曲应力	293
二、矩形截面曲梁中性层的位置	296
三、大曲率壳体中的弯曲应力	297
第九节 化工设备常用几种异形壳体的计算	298
一、矩形联箱的计算	298
二、椭圆集流管的计算	300
参考文献	301

第四篇 化工设备

本篇包括塔设备、换热设备、反应设备、贮罐设计及异形容器五章。前三章属典型化工设备，是任何一个化工厂都少不了的。贮罐虽不是典型的“三传一反”化工设备，但是作为气体或液体的贮罐，也是许多化工厂所必需的，特别是大型的石油化工厂需要许多大型的贮罐。大型贮罐在结构上有其特殊之处，设计要考虑的问题也有异于一般容器，因此列一章专门讨论。异形容器也不属于典型的化工设备，但是一种非圆截面的特殊容器，它可以作为一个设备，例如贮运各种液体原料、燃料的槽车（椭圆截面的容器），也可以作为化工设备的部件，例如换热设备或废热锅炉的椭圆集流管。此外还有矩形截面的各种贮槽，这类非圆截面的容器，由于其受载的非轴对称性，其应力分析与强度计算上有异于一般圆截面的容器，因此也另作一章讨论。教学安排后面三章可以灵活，指导学生自学或在毕业环节中结合课题学习。

第十三章 塔 设 备

第一节 概 述

在石油、化工、轻工等生产过程中，常常需要将混合物质（气态或液态）分离成为较纯的物质，通常采用精馏、吸收、萃取等方法。这些生产过程称为物质分离过程或物质传递过程，它们大多是在塔设备内进行的。用以实现精馏和吸收两种分离操作的塔设备分别称为精馏塔和吸收塔。这类塔设备的基本功能在于提供气、液两相以充分接触的机会，使传质、传热两种传递过程能够迅速有效地进行；并能使接触之后的气、液两相及时分开，互不夹带。塔设备是化工、石油等工业部门中广泛使用的重要生产设备。据统计，在炼制石油的工厂中，塔设备钢材的重量占全厂设备总重的25~30%，塔设备的投资约占全厂总投资的10~20%。

对塔设备的基本性能指标要求，除特定的化工工艺要求外，还需考虑下列设备要求：

1. 生产能力大，即单位塔截面上单位时间的物料处理量大；
2. 分离效率高，即气、液相能充分接触；
3. 适应能力强及操作弹性大，即对各种物料性质的适应性强并且在负荷波动时能维持操作稳定，保持较高的分离效率；
4. 流体阻力小，即气相通过每层塔板或单位高度填料层的压强降小。

实际生产中，上述各项指标的重要性常因具体情况而异，不可一概而论，故需从生产需要及经济合理考虑，正确处理上述各项要求。

按塔设备的支承形式，塔设备可分为框架塔和自支承式塔两类。塔设备放在室内或框架内时，叫做框架塔；塔设备放在室外且无框架支承时，叫做自支承式塔。在《钢制石油化工压力容器设计规定》中，直立设备(塔设备)的设计内容，指的是自支承式塔设备的设计。

按照塔设备内部构件的结构型式，也可将塔设备分为两大类：板式塔和填料塔。

板式塔内沿塔高按一定间距水平设置若干块塔盘(或称塔板)。按塔盘结构的不同，板式塔又可分为：泡罩塔、筛板塔、浮阀塔、舌形喷射塔以及近期发展起来的一些新型和复合型塔(如浮动喷射塔、浮舌塔、压延金属网板塔、垂直筛板塔、林德筛板塔、浮阀-筛孔塔、多降液管筛板塔等)。关于各种类型塔的介绍与评价，可参阅有关资料。

填料塔内分层安放一定高度的填料层。填料层的作用相当于板式塔中的塔盘。常用的填料有：拉西环、鲍尔环、弧鞍形填料、矩鞍形填料、阶梯环、网体填料等。各种填料特性见参考文献[2]。

本章主要分析及阐述板式塔和填料塔的结构设计及塔设备的机械设计。至于塔设备的工艺设计、选型等则非本课程内容，读者可参阅文献[2]。

第二节 板式塔结构设计

一、总体结构

板式塔的总体结构如图13-1所示。其结构组成包括以下几部分。

(1) 主体部分：由塔体和裙座组成。

塔体多采用钢板焊制，如需用铸铁铸造，则往往以每层塔板为一段，然后用法兰连接。裙座上端与塔体底封头焊接在一起，下端按要求通过地脚螺栓固定在基础上。

(2) 内件：由塔盘、降液管、溢流堰、紧固件、支承件及除沫装置等组成。这是塔设备进行化工过程和操作的主要部分。

(3) 设备接管口：包括用于安装、检修塔盘的人孔；用于气体和物料进出的接管；以及安装化工仪表用的短管等。

(4) 附件：包括吊装塔板用的吊柱；支承保温材料的支承圈以及扶梯平台等。

二、塔盘结构

为了满足正常操作要求，塔盘结构本身必须具有一定的刚度以维持水平；塔盘与塔壁之间要保持一定的密封性以避免气、液短路。

塔盘结构有整块式和分块式两种。一般塔径在800~900mm以下时，为了便于安装和检修，建议采用整块式塔盘；当塔径在800~900mm以上时，人可以在塔内进行装拆，可采用分块式塔盘。塔径大，分块式塔盘容易满足刚度、制造、装拆方便等要求；对于塔径为800~900mm之间的塔盘，上述两类结构均可采用，实际上可根据制造与安装的具体情况来确定。

(一) 整块式塔盘

这种塔的塔体由若干塔节组成，每个塔节中安装若干块用管子支承并保持一定间距

的塔盘。塔节与塔节之间用法兰连接。图13-2为定距管式支承塔盘结构。

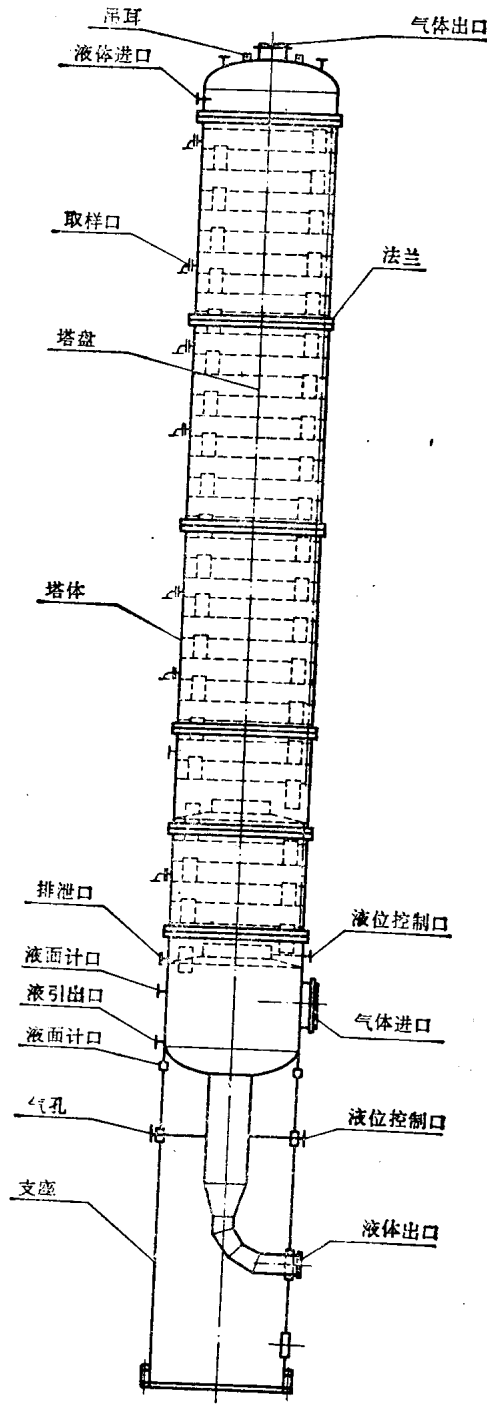


图13-1 板式塔总体结构示意图

从便于安装和检修考虑, 每个塔节的长度视塔径大小而定。当塔径 $D_o \leq 500\text{mm}$ 时, 只能将手臂伸入塔节内安装塔盘, 此时塔节长度以 $800 \sim 1000\text{mm}$ 为宜; 当塔径为 $600 \sim 700\text{mm}$ 时, 可将上身探入塔节内安装塔盘, 此时塔节长度可为 $1200 \sim 1500\text{mm}$; 当塔径大于 800mm 时, 人可进入塔节内安装, 但塔节长度以不超过 $200 \sim 2500\text{mm}$ 为宜, 否则会造成安装困难。由于定距管支承结构受到拉杆长度和塔节内塔板数的限制, 通常每个塔节内塔板数不超过 $5 \sim 6$ 块。

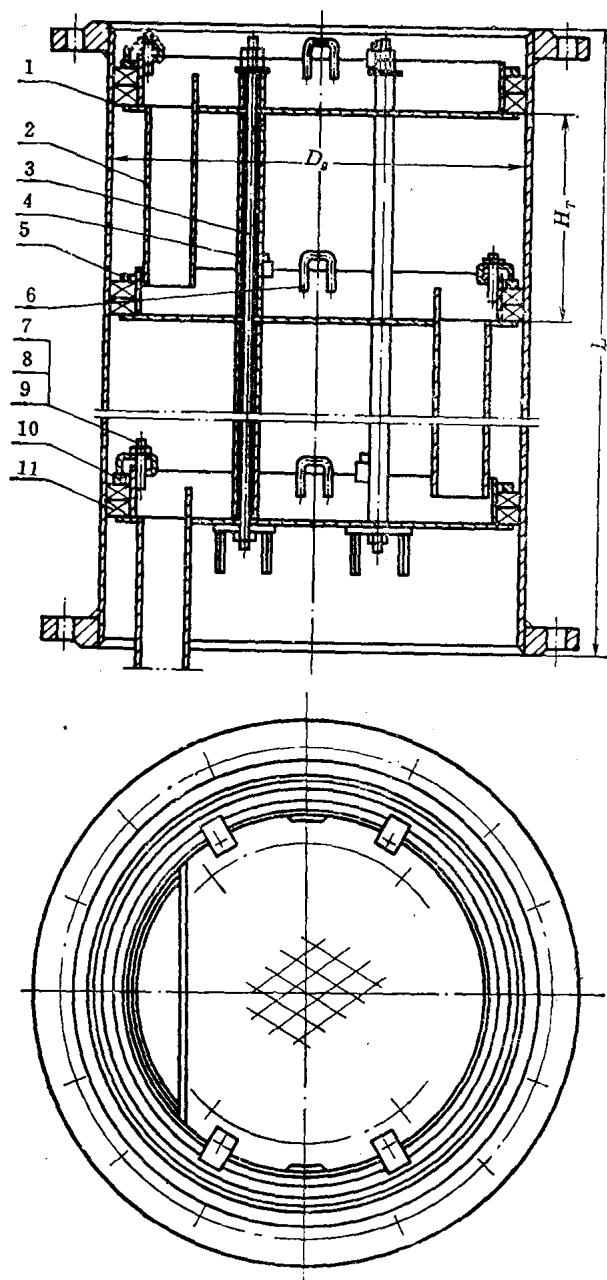


图13-2 定距管式塔盘结构

- 1—塔盘板; 2—降液管; 3—拉杆; 4—定距管; 5—塔盘圈; 6—吊耳;
7—螺柱; 8—螺母; 9—压板; 10—压圈; 11—填料

这类结构因塔盘与塔壁存在间隙，故每层塔盘须用填料来密封。为此，在每块平塔盘面上焊有一塔盘圈，或整体冲压出一塔盘圈，如图13-3所示。图中的a、b为角焊结构，此结构制造方便，但要防止焊接变形；c是整体冲压结构；d为翻边对焊结构。塔盘圈的高度 h_1 不得低于溢流堰高。塔盘圈与塔壁的间隙一般为10~12mm。密封填料支持圈用 $\phi 8 \sim 12\text{mm}$ 圆钢焊成，其焊接位置 h_2 由密封填料层数而定，一般为30~40mm。

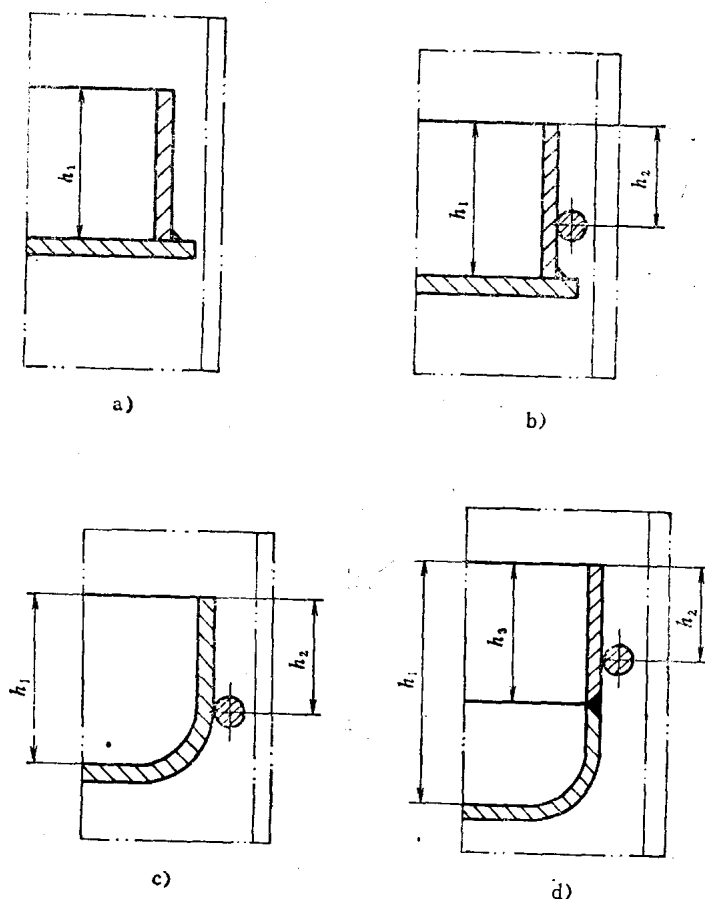


图13-3 整块式塔板结构

塔盘与塔壁间常用的密封结构如图13-4所示，它是由石棉绳填料、压圈、压板、螺栓和螺母组成。螺栓焊在塔盘圈上，拧紧螺母，压板压向压圈，而压圈压缩填料使之变形以达到密封的目的。通常石棉绳直径为10~12mm，放置2~3层。图13-4中的a适用于塔盘圈比较低的情况，b、d适用于塔盘圈比较高的情况。

降液管有弓形和圆形两种结构型式。常用的是弓形降液管，它具有降液能力大，气液分离效果好等优点。由平板和弧形板焊接而成的弓形降液管是用焊接方法固定在塔盘上，如图13-5所示。当液体负荷较小时，采用圆形降液管。图13-6为带有溢流堰的圆形降液管结构，图13-7为圆形降液管伸出塔盘表面兼作溢流堰的结构。

降液管出口处的液封，由下层塔盘的受液盘来达到。在塔的最下层塔盘降液管末端，应设有液封槽。弓形降液管的液封槽结构如图13-8所示。液封槽尺寸，由工艺条件决定。

定距管的支承结构如图13-9所示(a为支承结构上部, b为支承结构下部)。定距管对塔板起支承作用并保证相邻二塔盘的板间距。定距管内有一拉杆, 拉杆穿过各层塔盘上的拉杆孔, 拧紧拉杆上、下两端螺母, 就可以把各层塔板紧固成一个整体, 并固定在塔节内壁的支座上。定距管拉杆的安装位置, 见图13-2。

塔盘板的厚度, 碳钢为 3 ~ 4 mm, 不锈钢为 2 ~ 3 mm。

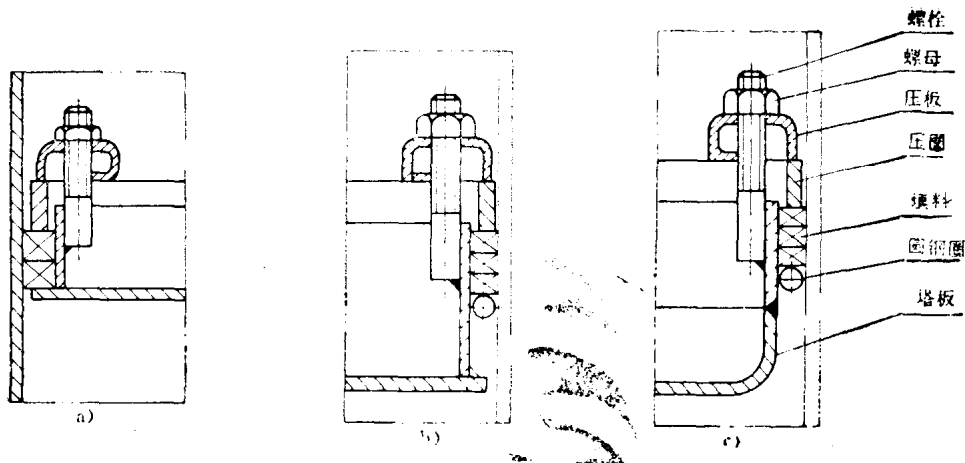


图13-4 整块式塔板密封结构

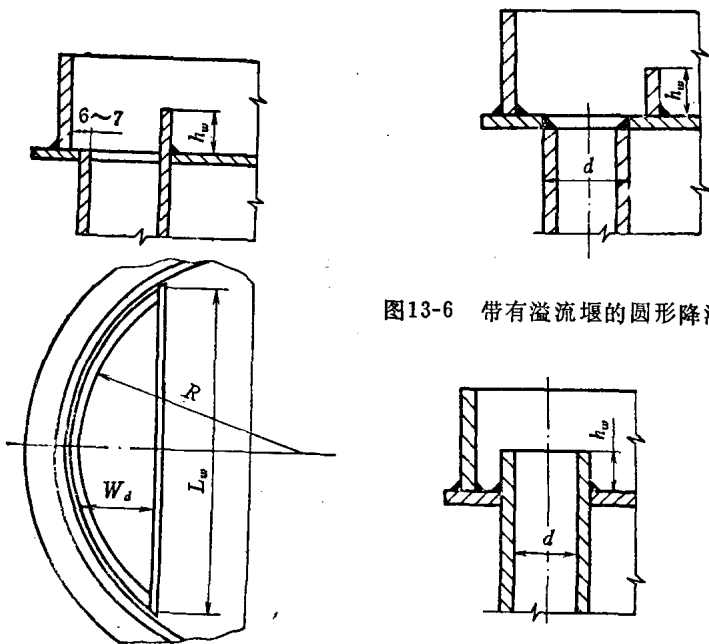


图13-5 弓形降液管结构

图13-7 兼作溢流堰的圆形降液管

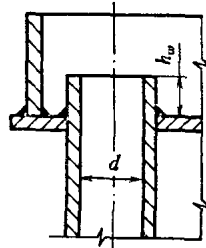


图13-6 带有溢流堰的圆形降液管

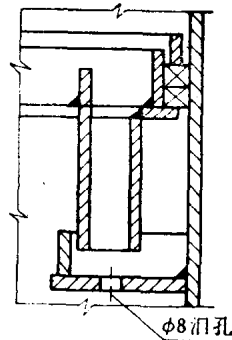


图13-8 弓形降液管的液封槽

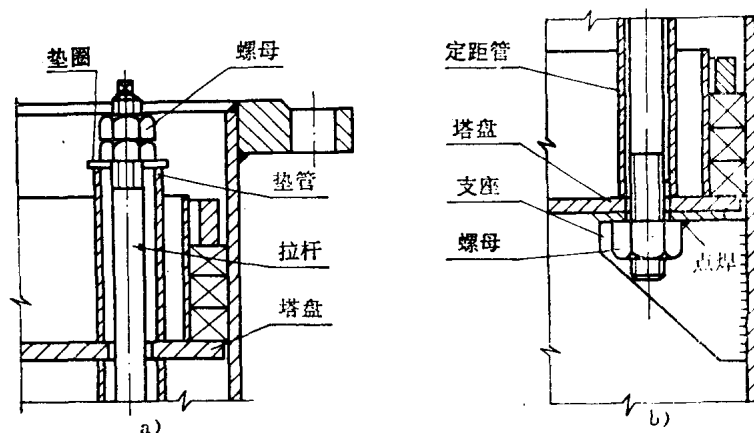


图13-9 定距管支承的结构

(二)分块式塔盘

当塔径较大时,为了便于塔盘的安装、检修、清洗,而将塔盘分成数块,通过人孔送入塔内,装到焊在塔体内壁的塔盘固定件(一般为支持圈)上,这种结构型式称为分块式塔盘。此时,塔体不需要分成塔节,而是一焊制整体圆筒。分块式塔盘结构设计,必须满足结构简单,刚性好,制造、装拆方便等要求。这种塔盘的结构型式有自身梁式、槽式和平板式。自身梁式塔盘和槽式塔盘(如图13-10所示)的折边是以通用的模具冲压而成,可以压成不同长度的塔盘。由于折边对塔盘起支承作用,可使塔盘具有足够刚

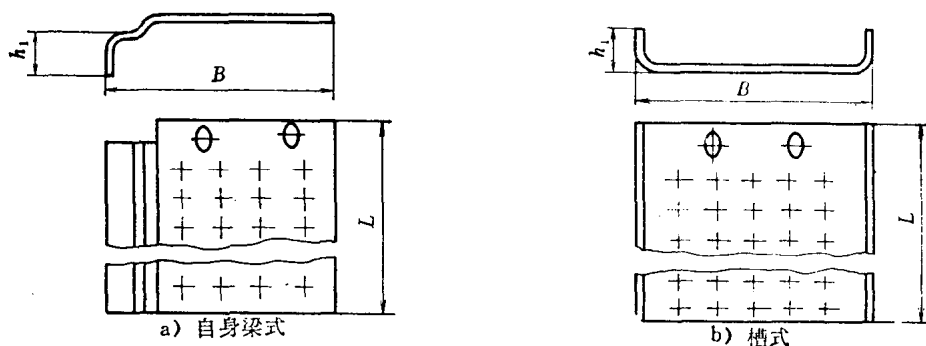


图13-10 分块式塔板

性,并使塔盘结构简化,耗用钢材少。平板式塔盘,制造方便,无需模具,但要在塔内设置可拆结构的支承梁,紧固件、装拆件多,既增加材料的耗用量又减少通道的面积。在以上三种结构型式中,以自身梁式塔盘应用最为广泛。

为便于安装、检修和清洗塔盘等操作,可在塔盘中央附近设置一块内部通道板。内部通道板要求装拆方便,故应设计成上下均可拆的连接结构。最简单的结构如图13-11所示,紧固螺栓从上面或从下面均能转 90° 使之紧固或松开。图中a为安装好以后的情况,图中b为拆卸通道板时的情况。最小通道板尺寸为 $300 \times 400\text{mm}$,各层内部通道板

最好处于同一垂直位置上，以便采光和装拆。

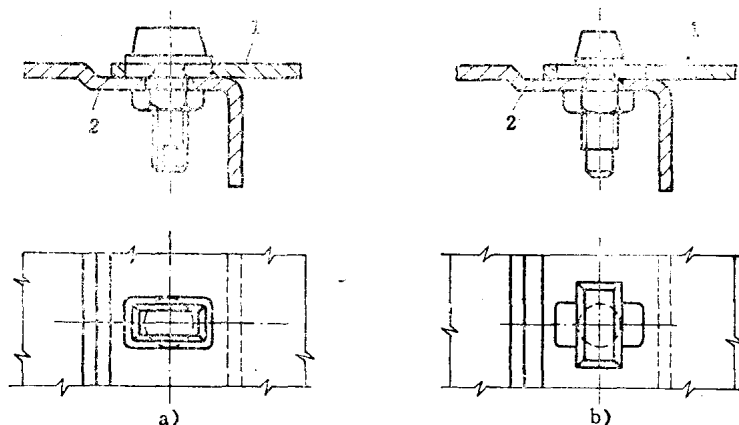


图13-11 上、下均可拆的通道板

1—通道板；2—塔盘板

分块式塔盘之间的连接,按人孔位置及检修要求,分上可拆连接和上、下均可拆连接两种。常用的紧固件是螺栓和椭圆垫板。图13-12为上可拆结构,图13-13为上、下均可拆结构。在图13-13中,从上或从下松开螺母,并将椭圆垫板转到虚线位置后,塔盘I即可自由取开。此结构亦常用于通道板与塔盘板的连接。

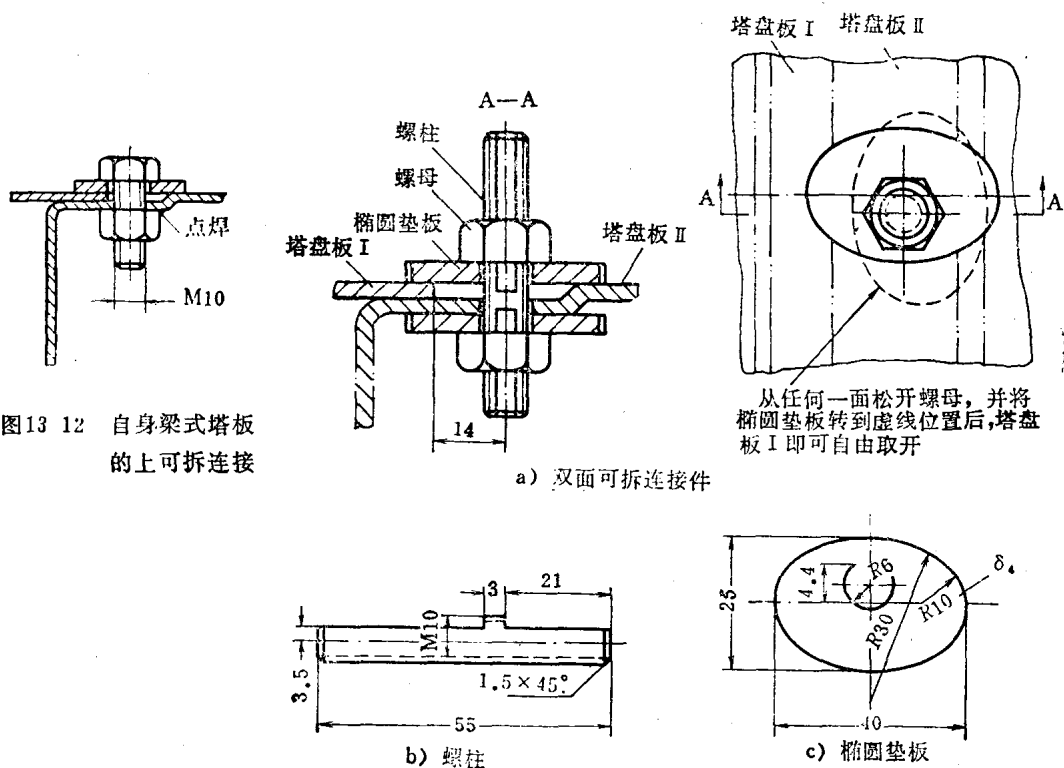


图13-13 自身梁式塔盘板上、下均可拆连接

塔板与支持圈(或支持板)的连接一般用卡子。卡子由下卡(包括卡板及螺柱)、椭圆垫板及螺母等零件组成,其典型结构如图13-14所示。图中的a、b都是上可拆结构。塔板上的卡子孔为长圆形,这是考虑塔板长度公差及塔体椭圆度公差等因素而采取的结构。

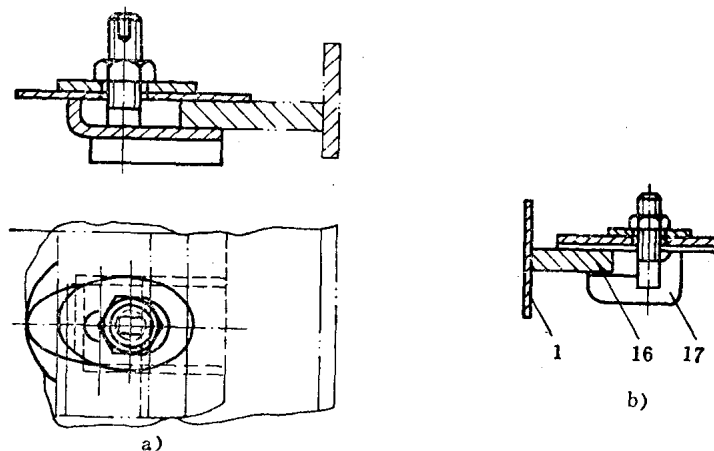


图13-14 塔板与支持圈的上可拆连接

1—塔壁(或降液板); 16—支持圈(或支持板); 17—卡子

塔内全部可拆件(如塔盘、可拆的降液板、受液板等零件)应能通过人孔,且为便于装拆,单件重量不应超过30kg。

为避免螺栓腐蚀生锈给拆卸带来困难,螺栓材料规定为铬钢或镍铬不锈钢,如2Cr13等。

另一类紧固件结构是用楔形紧固件。其特点是结构简单,装拆方便,不用特殊钢材,成本低等。其典型结构如图13-15所示。图中是用龙门板不用焊接的结构,即为可拆的结构。另一种结构是将龙门板直接焊在塔板上。

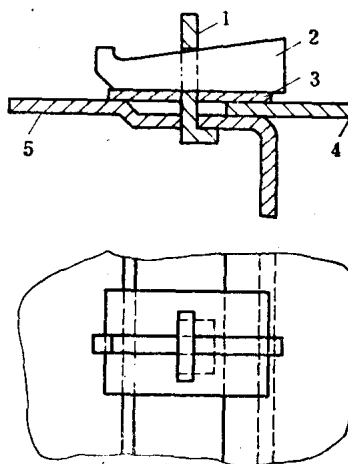


图13-15 用楔形紧固件的塔盘板连接

1—龙门板; 2—楔子; 3—垫板; 4、5—塔盘板

(三)几种新型塔板型式简介

1.浮舌塔板

浮舌塔板是70年代开发的新型塔板,具有处理能力大,压降小,操作弹性大,板效率高及结构简单等优点。但在使用中浮舌易磨损。

舌片结构如图13-16所示。一般采用舌片厚度为1.5mm，重量为20g。舌片最大张角为 20° ，对应环隙通道面积为 5.31cm^2 。舌孔的排列如图13-17所示，其面积为 10.1cm^2 。设计时可参阅文献[5]。

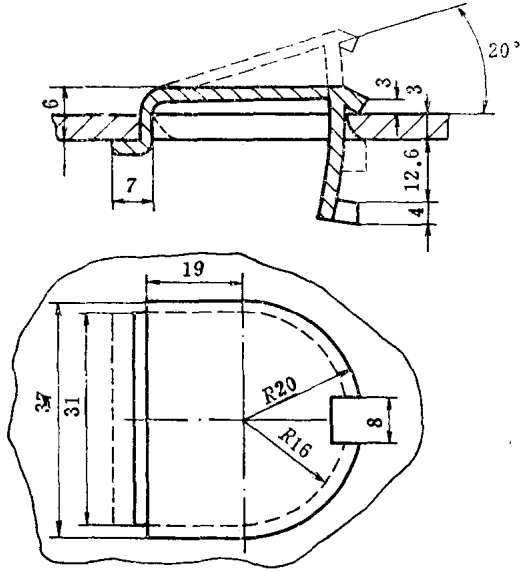


图13-16 舌片结构

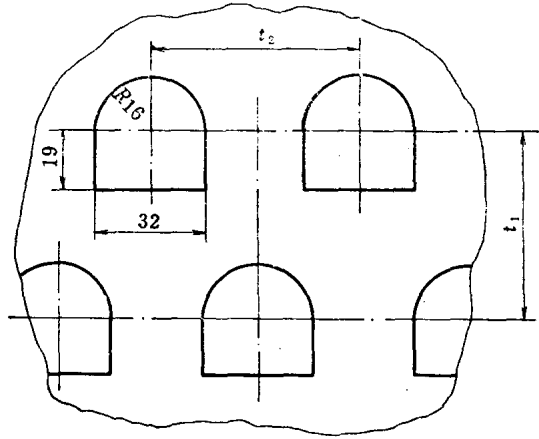


图13-17 舌孔的排列

2. 斜孔塔板

斜孔塔板是70年代我国研制的一种新型塔板。斜孔结构和孔口反向交错排列，可使气、液高度湍流，增大了接触表面的更新程度。这种塔板液层低而均匀，雾沫夹带量少，故板效率高，压降低，处理量大。但此种塔板属于固定开孔塔板，操作弹性小。

目前采用的斜孔为K型，其结构如图13-18所示，斜孔的排列如图13-19所示。

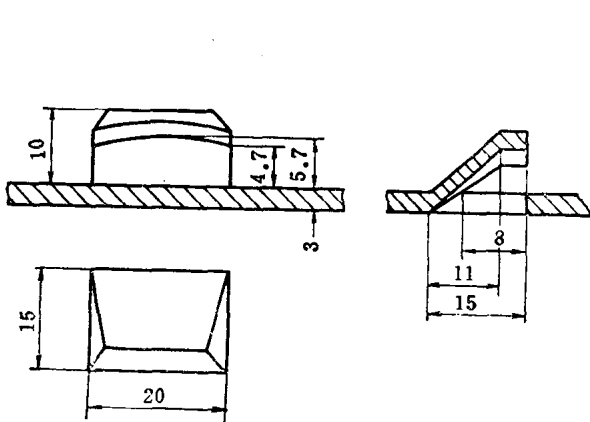


图13-18 K型斜孔结构

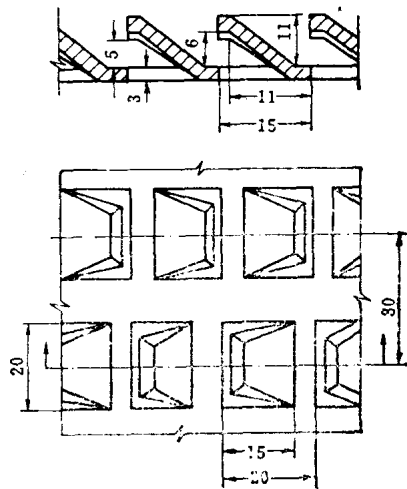


图13-19 斜孔排列

3.网孔塔板

网孔塔板是一种新型喷射型塔板,具有处理能力大,压降低,塔板效率高和适于大型化等优点。不足之处是操作弹性较低。但只要合理设计,在结构上采取适宜的措施,减少雾沫夹带及泄漏,就能提高网孔塔板的操作弹性。塔板结构如图13-20所示,由塔板、挡沫板、降液管及进口堰组成。塔板是由厚度 $\delta=1.5\sim 2\text{mm}$ 的薄金属板制成,板上冲压出许多定向的特殊形状的开口。两块板开孔方向发生 90° 变化并与液流方向成 45° 排列。挡沫板把气、液传质划分成若干小区域,几乎消除塔板上的水力梯度;并使气、液流动方向发生变化,而且由于其阻挡作用,可使雾沫充分分离;再者它还增加了二次传质面积,并能防止反混。

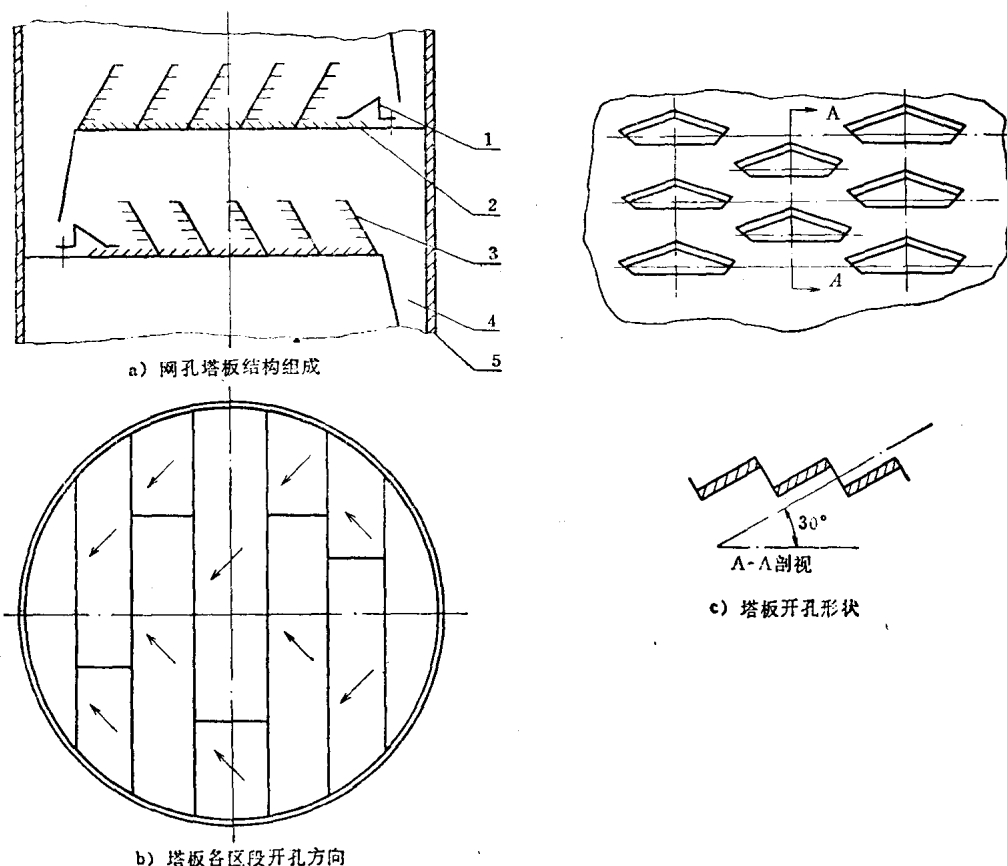


图13-20 网孔塔板结构简图

1—进口堰; 2—塔板; 3—挡沫板; 4—降液管; 5—塔体

其他新型塔板还有穿流式塔板(穿流栅板、穿流筛板、穿流浮阀塔板等);旋流塔板;复合式塔板(浮阀-筛孔塔板、浮动筛板等)等,这里不一一介绍,可参阅有关文献[5]。

三、分块式塔盘的支承结构

对于直径较小的塔($D_0 < 2000\text{mm}$),通常采用焊在塔壁上的支持圈来支承塔盘。支持圈可用扁钢或钢板制成,有时亦可采用角钢制造。塔径较小,塔板的跨度亦较小,则