

高 等 学 校 教 材

板式精馏塔设计

伍 钦 梁 坤 编

DESIGN OF PLATE
DISTILLATION COLUMN



化学工业出版社

高等学校教材

板式精馏塔设计

伍钦 梁坤 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

板式精馏塔设计/伍钦, 梁坤编. —北京: 化学工业出版社, 2010.8
高等学校教材
ISBN 978-7-122-08909-0

I. 板… II. ①伍…②梁… III. 板式塔: 精馏塔-设计-高等学校-教材 IV. TQ053.502

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 119720 号

责任编辑: 徐雅妮
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 闫 敏
装帧设计: 刘丽华

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 9 $\frac{3}{4}$ 插页 1 字数 240 千字 2010 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: 18.00 元

版权所有 违者必究

前言

精馏塔是均相混合物分离过程的主要单元设备，精馏过程包括物料的预热、物料的部分冷凝和部分汽化、塔顶蒸汽的冷凝和釜液的汽化。因此精馏塔的设计除塔体设计计算和结构设计外，还包括预热器、冷凝器和再沸器等附属设备的设计计算。

编写本书的主要目的是为大学三年级学生在进行化工原理课程设计或化工设计时提供入门教材，因此，使用该书时需要具备机械制图和化工原理等知识。

目前已出版的用于化工原理课程设计的教材中，关于板式塔的内容通常只是介绍板式塔的工艺计算和简单介绍塔体的结构部分。学生在进行塔设备设计时，对塔板的细节和附属设备及附属件缺乏必要的了解。尽管可以从相关的书籍资料中查找，但是，由于学生在规定的学时数内查找相关的书籍资料并从中得到所需的内容是很困难的，因此学生难以得到全面和扎实的训练。本书即针对这一欠缺而编写，目标是为学生在课程设计时提供一本较为详细的精馏塔设计教材。

本书的内容包括：第1章板式塔概述，简单介绍精馏过程中典型的板式塔；第2章板式塔的计算，介绍理论板和实际板的计算、板式塔的工艺结构设计及流体力学验算、浮阀塔板的设计计算举例等；第3章板式塔总体结构，介绍塔板——包括整块式塔板和分块式塔板，降液装置结构形式，受液盘，溢流堰的结构，接管，塔釜，人孔、手孔，裙座以及法兰和封头等的设计；第4章冷凝器及再沸器，介绍冷凝器和再沸器的设计基础。尽管预热器、冷凝器和再沸器同属于热交换器，但是在混合物的精馏分离过程中，冷凝器和再沸器有其特殊性，本书较详细地介绍了冷凝器和再沸器的设计计算方法及再沸器在安装时需要解决的基本问题。本书还附有一些基本的数据图表以便于在设计过程中查用。考虑到学时数的限制，本书未包括精馏塔的强度计算，若需要请参考其他塔设备设计方面的文献及书籍。

本书中所涉及的计算及图表尽量采用国际单位制，但由于历史的原因以及个别算图转换时较困难，仍有个别图表沿用原有单位。

本书由华南理工大学化学与化工学院伍钦和茂名市安全生产监督管理局梁坤共同编写。书中若存不妥，恳请读者斧正。

感谢研究生劳雪玲对本书进行的校对，感谢化学工业出版社的大力支持。

编者

2010年5月

目 录

第1章 板式塔概述 1

1.1 板式塔的类型 1	率的比较 9
1.1.1 泡罩塔 2	1.1.5 舌形板 10
1.1.2 筛板塔 4	1.1.6 穿流塔板 10
1.1.3 浮阀塔 6	1.2 塔设计的主要内容 11
1.1.4 几种典型塔板的压降和板效	

第2章 板式塔的计算 12

2.1 理论塔板数的计算 12	2.3.5 F1型(V1型)浮阀塔板的
2.1.1 回流比的影响及其选择 13	设计计算 43
2.1.2 理论板数 14	2.3.6 板式塔的校核 47
2.2 塔板效率和实际塔板数 15	2.4 浮阀塔板的设计计算举例 51
2.3 板式塔的工艺结构设计及流体	2.4.1 初估塔径 51
力学验算 19	2.4.2 溢流装置 52
2.3.1 塔板布置 20	2.4.3 塔板布置及浮阀数目与
2.3.2 塔径和塔高的确定 24	排列 53
2.3.3 结构计算 31	2.4.4 塔板流体力学验算 54
2.3.4 压降计算 38	

第3章 板式塔总体结构 59

3.1 塔板 60	3.5.2 含闪蒸汽的接管 83
3.1.1 整块式塔板 60	3.5.3 汽液接管 84
3.1.2 分块式塔板 67	3.5.4 进气管与出气管 85
3.2 降液装置结构型式 75	3.6 塔釜 87
3.2.1 整块式塔板的降液管 76	3.7 人孔和手孔 90
3.2.2 分块式塔板的降液管 76	3.7.1 人孔 90
3.3 受液盘 77	3.7.2 手孔 90
3.4 溢流堰的结构 79	3.8 裙座 91
3.5 接管 82	3.8.1 裙座的材料 92
3.5.1 液体接管 82	3.8.2 裙座结构 93

3.9 法兰及封头的设计.....	96
-------------------	----

第4章 冷凝器及再沸器	97
-------------------	----

4.1 冷凝器.....	97	4.2.1 再沸器概况	108
4.1.1 冷凝器的设计基础.....	97	4.2.2 再沸器的设计	112
4.1.2 冷凝器的设计计算	100	4.2.3 再沸器的安装	125
4.2 再沸器	108		

附录	131
----------	-----

附录 1 液体比热容	131
附录 2 液体黏度	133
附录 3 液体汽化潜热	135
附录 4 有机物的相对密度 (液体密度与 4℃ 水的密度之比)	137
附录 5 有机液体的表面张力	139
附录 6 常用液体的热导率	141
附录 7 气体定压比热容 (常压下)	142
附录 8 气体黏度 (常压下)	144
附录 9 常用气体的热导率	146
附录 10 乙醇-水平衡数据	147
附录 11 不同温度下乙醇-水混合物的比热容	148
附录 12 10~70℃ 乙醇-水溶液的密度	148
附录 13 乙醇-水蒸气在沸腾温度下的密度	149
附录 14 不同温度下乙醇-水溶液的黏度	149
附录 15 乙醇-水溶液的热焓	150
附录 16 乙醇-水溶液的表面张力	150
附录 17 板式精馏塔装配图	150

参考文献	151
------------	-----

第1章 板式塔概述

塔器作为气液和液液之间进行传质与传热的重要设备，广泛应用于炼油、石油化工、精细化工、化肥、农药、医药、环保等行业的物系分离中，涉及蒸（精）馏、吸收、解吸、汽提、萃取等化工单元操作。塔器主要分为填料塔和板式塔两大类。

塔板按鼓泡元件分，主要有泡罩型、筛孔型、浮阀型、斜孔型以及其他特殊类型塔板。虽然板式塔的类型有很多，但由于它们有许多共性，因此设计方法基本相同。板式塔的外形是圆筒形的壳体，塔内按一定间距水平安置一定数量的塔板，塔板上的主要部件有降液管、出口（溢流）堰、入口堰、鼓泡构件（筛孔、浮阀、泡帽等）等。板式塔的典型结构和泡罩塔板实物见图 1-1 和图 1-2。

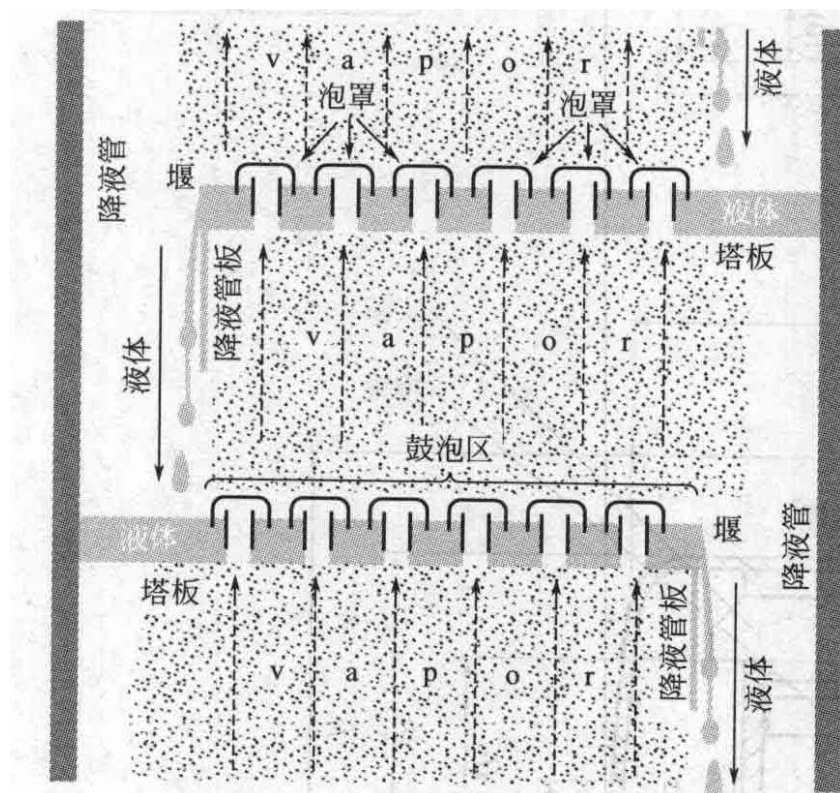


图 1-1 板式塔的结构

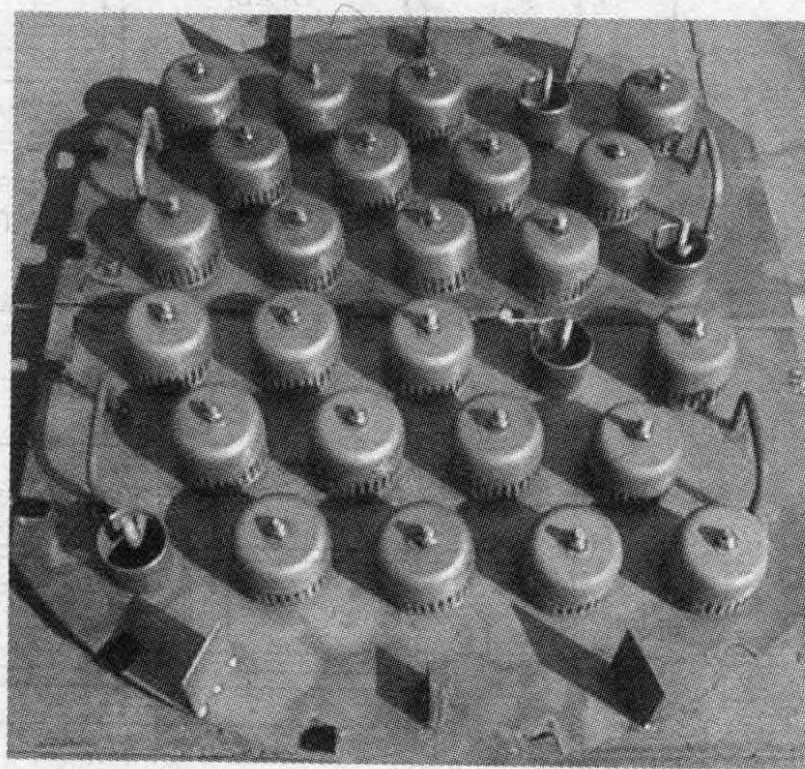


图 1-2 泡罩塔板

1.1 板式塔的类型

从 1813 年 Cellier 首次提出泡罩塔至今，板式塔出现了许多不同类型的塔板。最常用的板式塔有泡罩塔、筛板塔和浮阀塔。

1.1.1 泡罩塔^[1]

泡罩塔是最早的板式塔，它在工业上的应用已有近两百年的历史。泡罩塔因其操作弹性大、塔板效率高、生产能力大等优点，广泛应用于蒸馏、吸收等领域。泡罩塔板的结构包括塔板、升气管、泡罩、进口堰、溢流堰和降液管等，图 1-2 为泡罩塔板的实物图。

泡罩塔板上开有孔，孔上焊有短管作为上升气体的通道，称为升气管。升气管上覆以泡罩，泡罩下部周边开有许多齿缝。齿缝一般有矩形、三角形及梯形三种，常用的是矩形。图 1-3 为标准圆泡罩，是我国应用的主要泡罩类型，规格 DN80 和 DN100 见图 1-3(a)，规格 DN150 见图 1-3(b)。圆泡罩的结构参数与尺寸见表 1-1。

泡罩塔的操作过程：液体由图 1-4 的上层塔板通过左侧降液管下降，并由 A 处流入塔

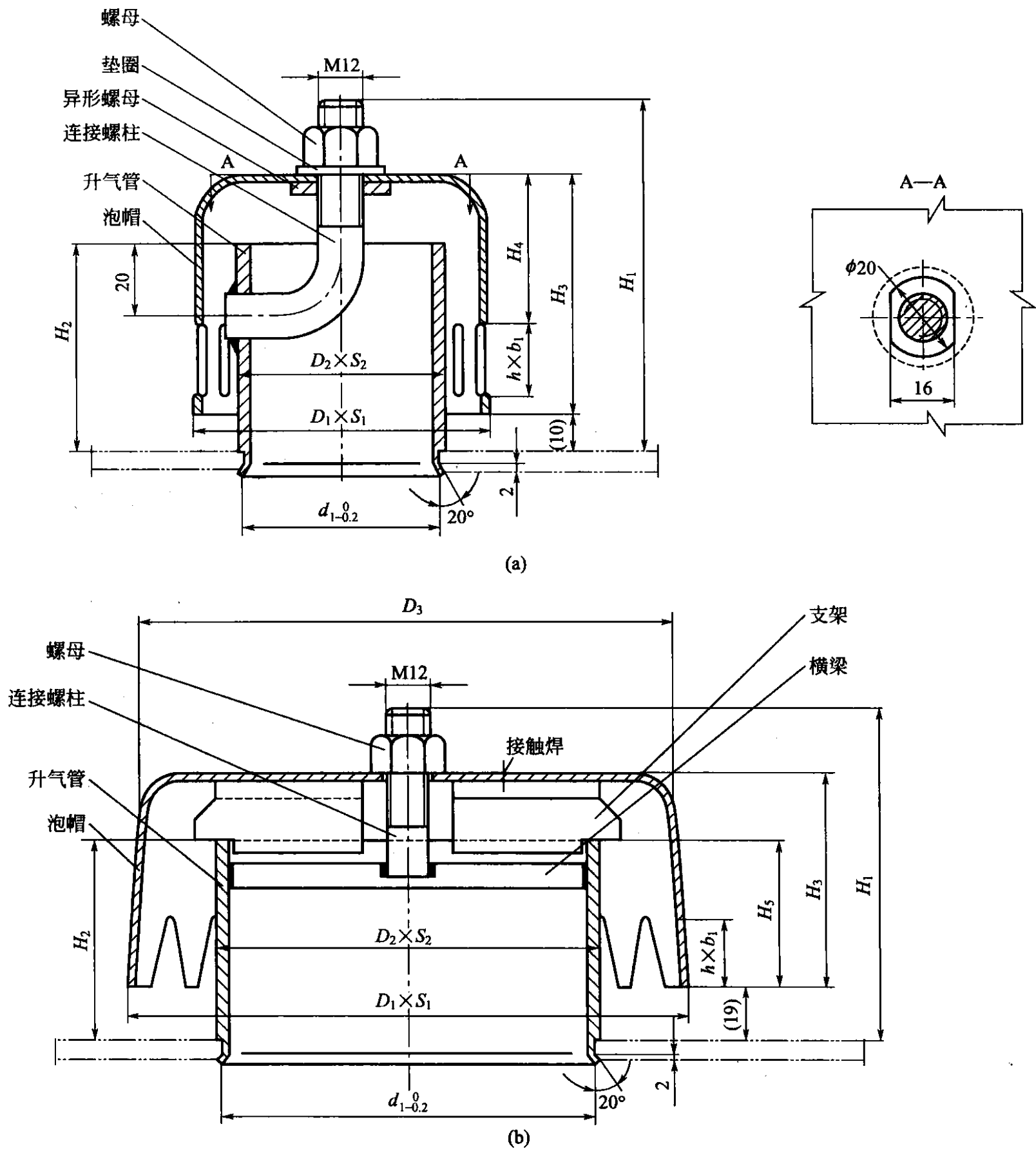


图 1-3 标准圆泡罩

板，然后穿过泡罩横向流过塔板，依靠设置一定高度的溢流堰保持塔板上有一定厚度的流动液层，泡罩的齿缝浸没于液层之中形成液封。气体由升气管进入泡罩，经环形截面及回转通道通过齿缝进入液层时被分散，与塔板上的液层进行汽液接触形成鼓泡层和泡沫层，从而达到汽液相传质的目的，因此汽液传质过程主要发生在塔板上设有泡罩的 B-C 部分，即所谓的鼓泡区。液体从鼓泡区流出后进入气泡分离区 C-D，初步分离液体中的气泡，接着流过出口堰进入右侧的降液管。在堰板上方要保持一定厚度的液层，称为堰上清液层高度。在降液管中，被夹带的蒸汽分离出来返回塔板空间，清液则流入下层塔板，各层塔板的操作相类似。

表 1-1 标准圆泡罩参数与尺寸 mm

名 称		材料类别					
		I 类(Q235-A)			II 类(0Cr18Ni9)		
公称直径 DN		80	100	150	80	100	150
泡帽外径 $D_1 \times$ 壁厚 S_1		80×2	100×3	158×3	80×1.5	100×1.5	158×1.5
泡帽顶部外径 D_3		—	—	152	—	—	152
升气管外径 $D_2 \times$ 壁厚 S_2		57×3.5	70×4	108×4	57×2.75	70×3	108×4
总高度 H_1		95	105	107	95	105	107
升气管高度 H_2		57	62	64	57	62	64
泡帽高度 H_3		65	75	73	65	75	73
泡帽顶端至齿缝高度 H_4	1	40	45	—	40	45	—
	2	35	42	—	35	42	—
	3	30	38	—	30	38	—
支架至泡帽底端高度 H_5		—	—	45	—	—	45
齿缝高度 h	1	20	25	35	20	25	35
	2	25	28	—	25	28	—
	3	30	32	—	30	32	—
齿缝宽度 b_1		4	5	$R_4/13.5$	4	5	$R_4/13.5$
齿缝数目 n		30	32	28	30	32	28
齿缝节距 f		8.38	9.82	17.7	8.38	9.82	17.7
升气管孔径 d_1		55	68	106	55	68	106
升气管净面积 F_1/cm^2		16.06	25.85	73.05	17.16	27.75	73.05
回转面积 F_2/cm^2		25.12	38.94	78.50	26.68	43.21	78.90
环形面积 F_3/cm^2		19.84	30.90	80.00	21.04	35.39	85.10
齿缝总面积 F_4/cm^2	1	22.97	38.27	102.5	22.97	38.27	102.5
	2	28.97	43.07	—	28.97	43.07	—
	3	34.97	49.47	—	34.97	49.47	—
F_2/F_1		1.56	1.50	1.08	1.55	1.55	1.08
F_3/F_1		1.22	1.19	1.10	1.21	1.26	1.17
泡帽质量/kg	1	0.68	1.11	1.40	0.56	0.88	1.40
	2	0.67	1.09	—	0.55	0.87	—
	3	0.66	1.08	—	0.54	0.86	—

注：齿缝宽度 b_1 中的 13.5mm 表示弧长。 R_4 表示齿缝圆端半径。

同时,蒸汽从下一层塔板上升至升气管,通过升气管与泡罩之间的环形通道,再经泡罩的齿缝进入液体。从齿缝顶部到堰板顶边的高度,称为静液封高度。当气体通过液层鼓泡向上运动时,有少量微小液滴被蒸汽夹带到上一层塔板,称为雾沫夹带。蒸汽通过每一层塔板都会产生能量损失,称为每层塔板的蒸汽压降。

另外,当液体横向流过整个塔板时,在液体进出口之间应维持一定的液面差 Δ ,才能保证流体的顺利流动。液体的流量越大,塔径越大, Δ 值也越大。液面落差的存在使得蒸汽通过整个塔板上液层的阻力不均匀,从而使得蒸汽分布不均匀,在设计时需要注意。

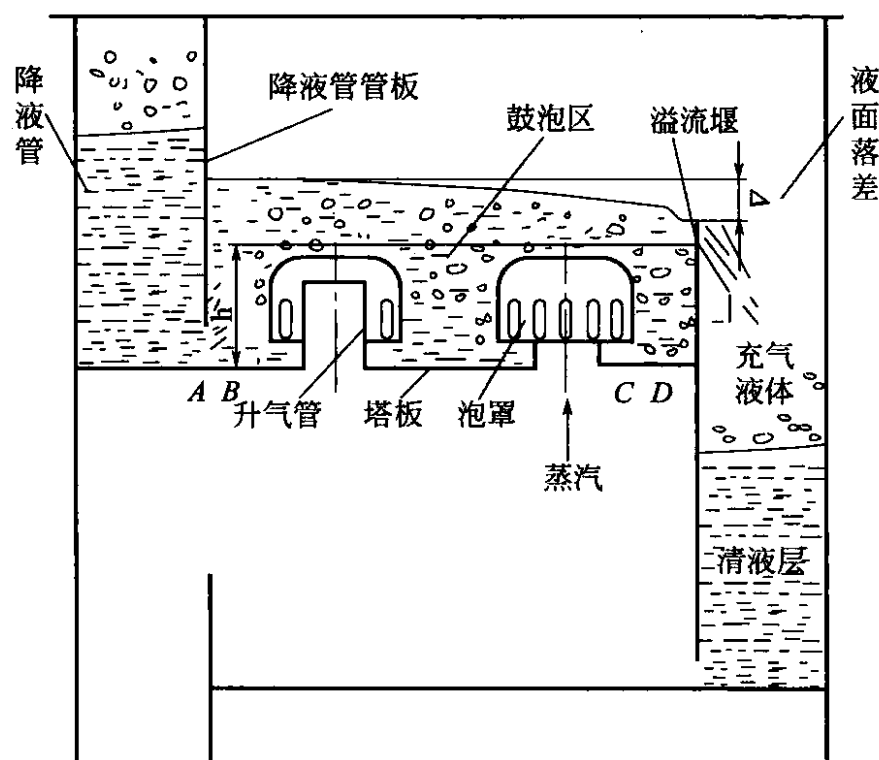


图 1-4 塔板的操作

泡罩塔的优点: ①不易发生漏液, 操作弹性较高; ②塔板不易堵塞, 适用于处理各种物料; ③两相接触时间较长, 因此分离效率比较高。

泡罩塔的缺点: ①塔板结构复杂, 造价高; ②压降大。

1.1.2 筛板塔

在塔设备中, 筛板塔是最早出现的结构型式之一, 在 1832 年已用于生产。当时, 对筛板的操作性能认识不足, 由于筛板塔设计不合理导致操作性能很差, 而同一时期开发的泡罩塔则能稳定地操作, 因此泡罩塔从 19 世纪中期直至 20 世纪 40 年代, 始终在塔设备中占有绝对的优势地位。但是泡罩塔虽然操作稳定, 却存在着不少缺点, 如造价高、压降大、液面落差大等。

20 世纪 50 年代, 研究人员对筛板塔做了大量的研究工作, 取得大量的试验数据。通过深入研究筛板的操作性能后认为, 筛板塔是操作性能良好的设备。筛板的操作性能不好, 主要是由于筛板塔设计不合理。例如, 过去认为筛板最大的缺点是操作范围狭窄 (或操作弹性小), 经过试验和生产实践证明, 筛板的稳定操作范围要高于泡罩塔, 如果精心设计, 某些筛板的生产能力甚至可达泡罩塔板的 1.5~3 倍。

筛板塔以构造简单、造价低廉、维修方便而著称, 与泡罩塔相比, 其生产能力大 (20%~40%), 塔板效率高 (10%~15%), 压降低 (30%~50%), 塔板造价低 (约 40%), 安装、维修较方便。正是这些突出的优点, 目前筛板塔在国外已占有优势的地位。

筛板塔的塔板结构见图 1-5, 图 1-5(a) 为其中一块筛板塔板的实物图, 图 1-5(b) 为

汽、液相通过一块塔板时的示意图。

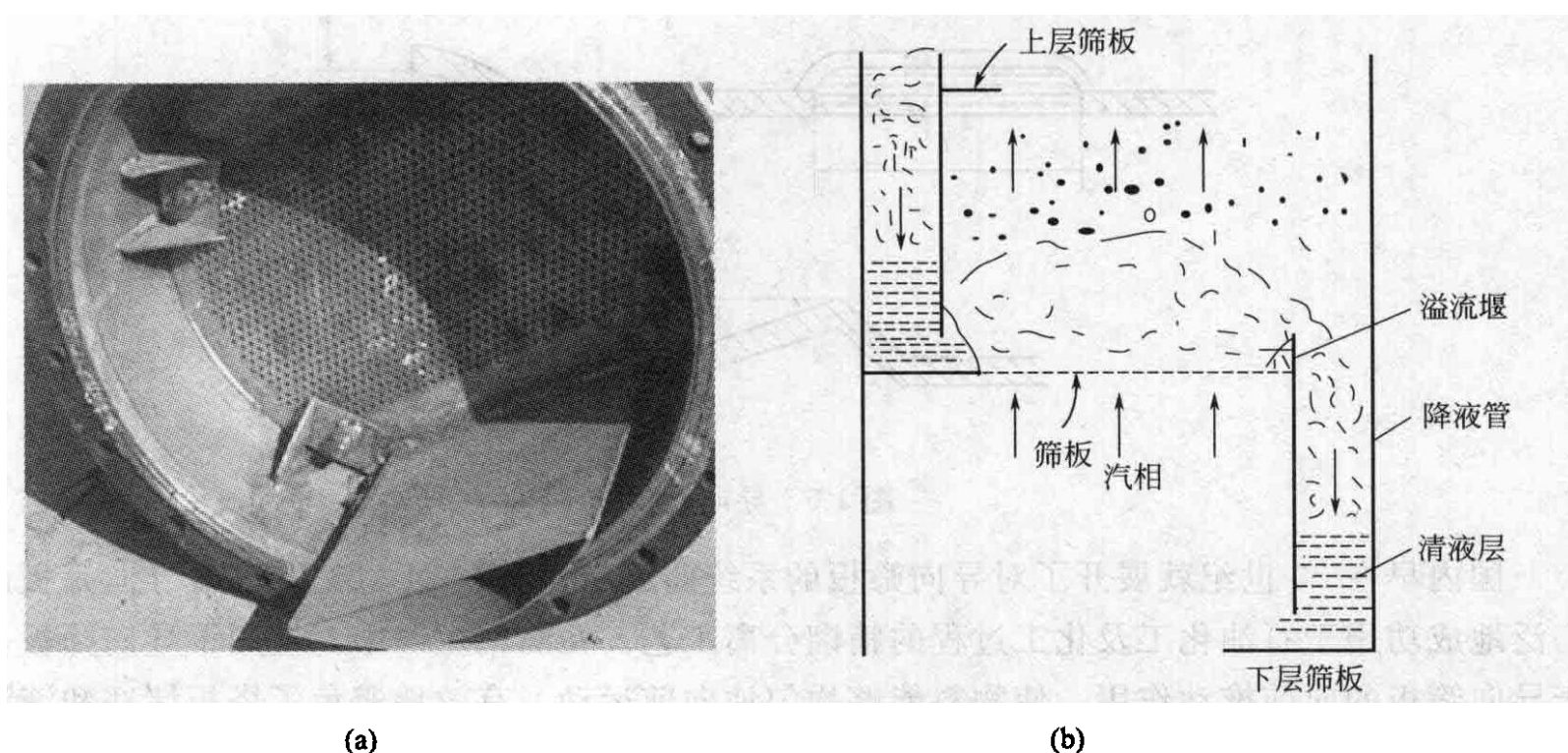


图 1-5 筛板塔的结构

筛板塔板上通常划分为筛孔区、无孔区、溢流堰及降液管等部分。塔板上的各区分布与泡罩塔板相似，只是筛孔不同于泡罩而已。在板上开孔区开有许多均匀筛孔，工业上常用的筛孔孔径为 3~8mm，筛孔为正三角形排列，孔间距与孔径之比为 2.5~5。近年来有采用大孔径（10~25mm）塔板的趋势。

有溢流堰和降液管的筛板塔与泡罩塔的操作情况相似，液体从上一层塔板经降液管流下，横向流过塔板的鼓泡区，经溢流堰进入降液管，然后流入下一层塔板。塔板上所设溢流堰，使得板上维持一定厚度的液层。上升气流通过筛孔分散成细小的气泡，在板上液层中鼓泡而出，使汽液密切接触进行传质。正常操作时，通过筛孔上升的气流速度，其大小应达到能阻止液体经筛孔向下泄漏的数值。鼓泡区左右两边的弓形面积上不开筛孔，分别是受液区和降液区，浮阀塔板和泡罩塔板都留有这样的区域。降液区内设置溢流堰和降液管，使板上能维持一定厚度的液层并使溢出的液体流向下一块塔板。

筛板塔的优点是：结构简单，制造方便、造价低，其造价约为泡罩塔的 60%，为浮阀塔的 80%；压降小，板上液面落差也小；生产能力及板效率均比泡罩塔高。

筛板塔的缺点是：操作弹性小，筛孔小、易堵塞。不适宜于处理易结焦、黏度大的物料。大孔径筛板可避免堵塞，而且由于气速的提高，使生产能力增大。

导向筛板又称为 Linda 筛板，是 1963 年由美国联碳公司林德子公司开发的新型塔板，是在筛板的基础上作两项改进而得到的。最早用于空气分离，随后又成功应用于乙苯-苯乙烯系统的精馏分离，现已广泛应用于几十种混合体系的分离工艺。

导向筛板的结构改进，一是在塔板上设有一定数量的导向孔，导向孔开口方向与液流方向相同，这样有利于推进液体，克服液面梯度；二是在液流的入口处增加鼓泡促进结构，方法是使入口处的塔板翘起一定角度，使得液体一旦流入塔板就能达到较好的汽液接触。这种改进增大了有效鼓泡面积，使塔板操作由鼓泡型变为喷射型，在降低液面梯度的同时使气体分布均匀，从而提高了筛板塔生产能力和板效率，解决其堵塔、液泛等问题。高效导向筛板较传统塔板的生产能力提高 50%~100%，分离效率提高 20%~40%，同时具有重量轻，抗堵性好，对高黏度、易自聚、含固体颗粒等特殊物系的精馏尤其适用等优点。导向筛板的结

构见图 1-6。

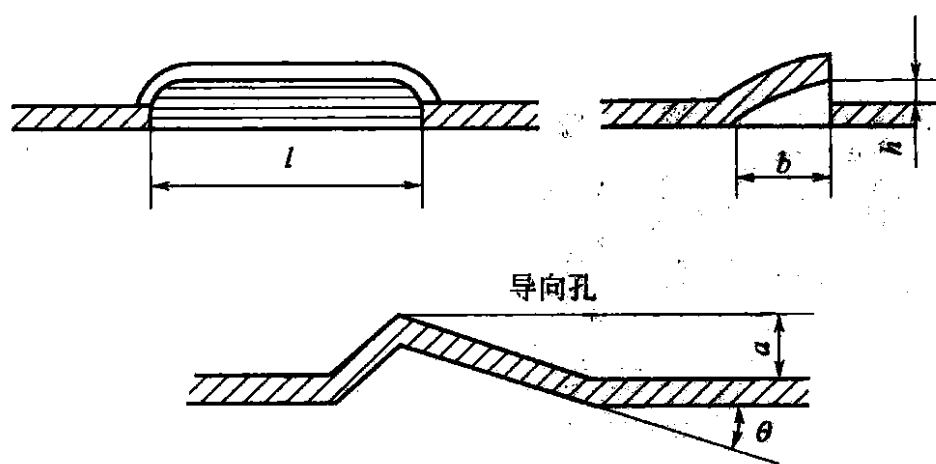


图 1-6 导向筛板

国内早在 20 世纪就展开了对导向筛板的系统研究工作。在 21 世纪，高效导向筛板已经广泛地成功用于石油化工及化工过程的精馏分离工艺。在酒精生产中，使用了导向筛板，由于导向筛板的向前推动作用，使物料能够均匀地向前运动，有效地避免了塔板堵塞和液泛现象，生产能力大为提高，产品回收率也有很大提高。

1.1.3 浮阀塔

自 20 世纪 40 年代开始，许多新型的塔设备相继出现，如浮阀塔、各种喷射型塔板（如舌型、浮舌、浮喷等），其性能均优于泡罩塔板。

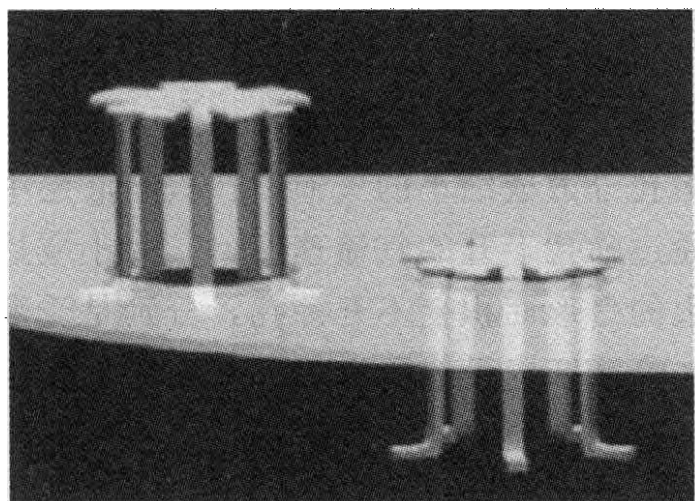


图 1-7 浮阀浮动时的位置变化

浮阀塔板是在塔盘上开阀孔，安置能上下浮动的阀件（固定阀除外）。由于浮阀塔板的气体流通面积能随气体负荷变动自动调节，因而能在较宽的气体负荷下保持稳定操作；同时气体在浮阀上由水平方向吹出，汽液接触时间长，雾沫夹带少，具有良好的操作弹性和较高的塔板效率，在工业中得到了较为广泛的应用。

浮阀塔板开有若干孔（标准孔径为 39mm），每个孔上装有一个可以上下浮动的阀片，可自动调节气体通过流通截面，见图 1-7。

浮阀的类型很多。图 1-8 示出其中两种圆形浮阀，目前国内最常用的浮阀类型为 F1 型和 V4 型。

图 1-8(a) 阀片有三条“腿”，当阀片的脚插入阀孔后，将各腿底脚板转 90°，用以限制操作时阀片在板上升起的最大高度（8.5mm）。

阀片周边冲出三块略向下弯的定距片。当气流低时，靠这三个定距片使阀片与塔板呈点接触而坐落在阀孔上，阀片与塔板始终保持 2.5mm 的开度以便气体均匀流过，避免阀片启闭不匀的脉动。

操作时，通过阀孔的上升气流，经阀片与塔板间的间隙并与板上横流的液体接触。浮阀的开度随气体负荷而改变。当气量很小时，气体仍能通过静止开度的缝隙形成鼓泡。

F1 型浮阀也称为 V1 型，如图 1-8(a) 所示，是一种定型产品，标准孔径为 39mm。浮阀上有三个支脚，用以保持浮阀在浮动时的空间位置并起导向作用，而且在操作时限制阀片在板上升起的最大高度（8.5mm）。F1 标准型的凸缘高度为 2.5mm，使阀片下缘与塔板之间有一定

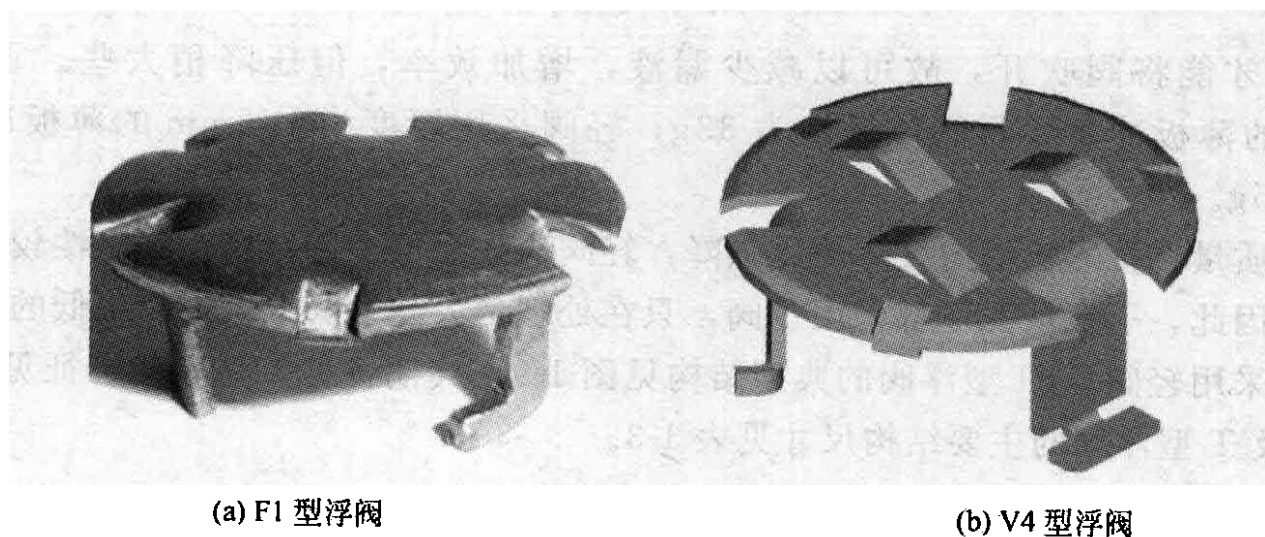


图 1-8 浮阀及其在板上的布置

的缝隙，即使气速较低也能维持操作，另外，这种结构能防止阀片与塔板锈牢或黏结。

操作时，阀片可随上升气量的变化而自动调节开度，使通过阀孔的气速较稳定。当气量很小时，气体通过静止开度的缝隙维持良好的鼓泡状态，在相当宽的负荷范围内达到稳定操作。在较低气速下，近塔板出现清液层和鼓泡层，泡沫层较薄，此时液体经缝隙的泄漏与气体通过液层的鼓泡同时产生；随着气体负荷的增加，部分浮阀开始浮动，漏液现象趋于消失，清液层区相应地缩小；当达到某一临界速度时，所有浮阀都处于浮动状态，塔板上液体全部处于鼓泡和泡沫状态。数据表明，浮阀塔的操作在接近于阀全开的临界气体负荷区时传质效率最好。

F1 型浮阀的结构简单，制造方便，节省材料，性能良好，广泛用于化工及炼油生产中。

F1 型浮阀分轻阀与重阀两种，阀的轻重对于效率及压降有较大的影响。轻阀惯性小，振动频率高，关阀时滞后严重，在低气速下有严重的漏液；重阀关闭迅速，又需

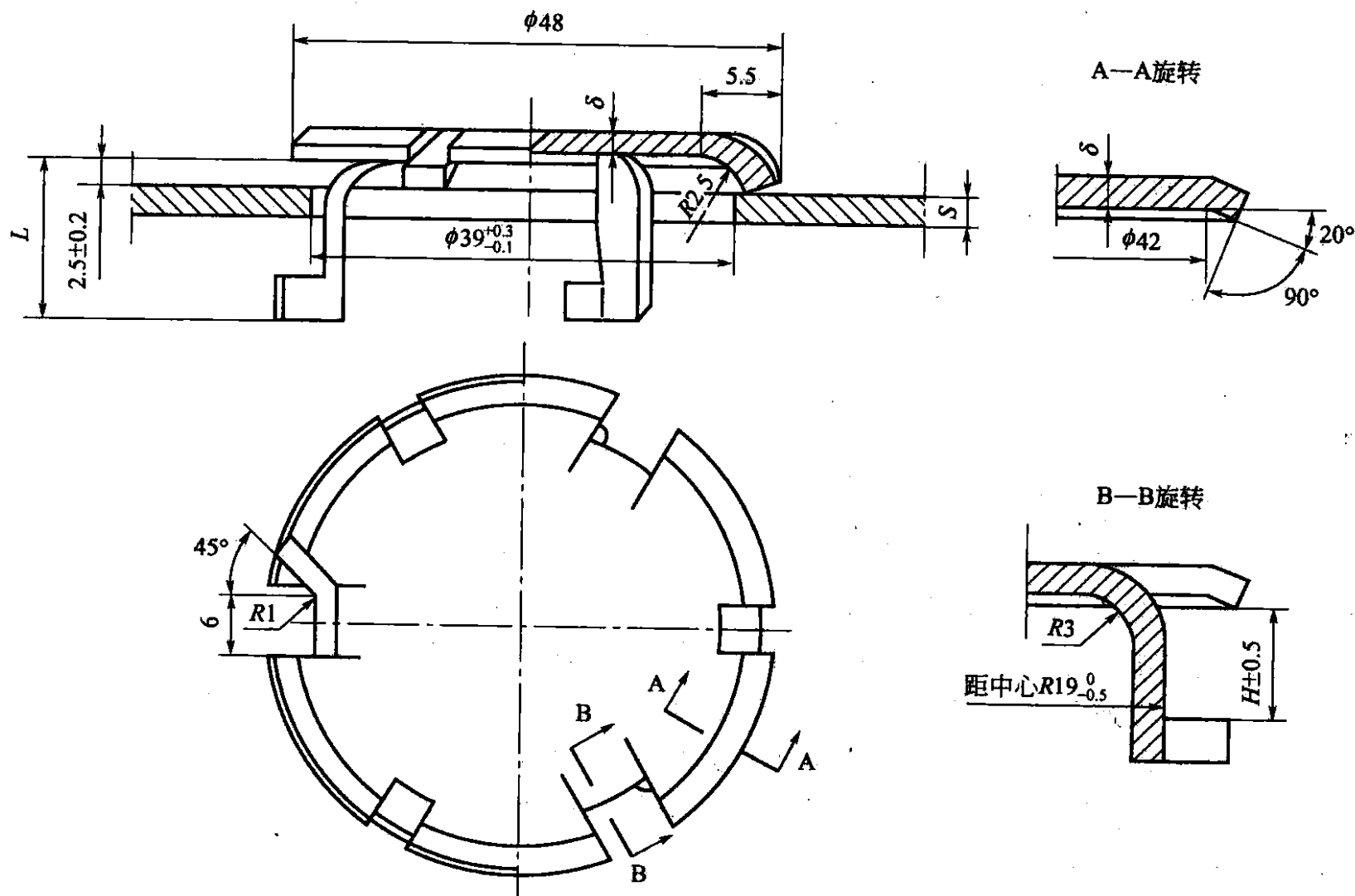


图 1-9 F1 型浮阀的典型结构

较高的气速才能将阀吹开，故可以减少漏液，增加效率，但压降稍大些。重阀采用厚度为 2mm 的薄板冲制，每阀质量约为 33g；轻阀采用厚度为 1.5mm 的薄板冲制，每阀质量约为 25g。

浮阀的质量直接影响塔内气体的压强降，轻阀压强降虽小，但操作稳定性较差，低气速时易漏液。因此，一般情况下都采用重阀，只在处理量大并且要求压强降很低的系统（如减压塔）中才采用轻阀。F1 型浮阀的典型结构见图 1-9。其他各种典型阀的特征见表 1-2。F1 型、V4 型及 T 型浮阀的主要结构尺寸见表 1-3。

表 1-2 各种典型阀的特征

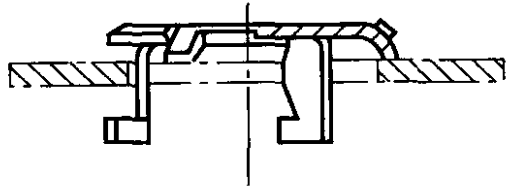
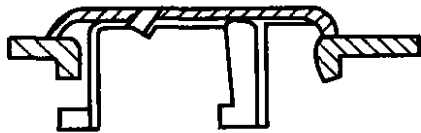
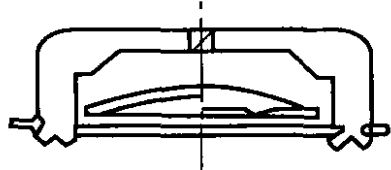
类 型	F1 型	V4 型
简 图		
特 点	1. 结构简单,制作方便,省料 2. 有轻阀(约 25g)、重阀(约 33g)两种,国内标准 JB 1118—81	1. 阀孔为文丘里型,阻力小,适宜于减压系统 2. 只有一种轻阀(约 25g)
类 型	A 型	十字架型
简 图		
特 点	性能及用途与 F1 型基本相同	1. 性能与 F1 型基本相同 2. 对于处理污垢或易聚物料,可能较好 3. 制造与安装较复杂

表 1-3 F1 型、V4 型及 T 型浮阀的主要结构尺寸

类 型	F1 型(重阀)	V4 型	T 型
阀孔直径/mm	39	39	39
阀片直径/mm	48	48	50
阀片厚度/mm	2	1.5	2
最大开度/mm	8.5	8.5	8
静止开度/mm	2.5	2.5	1.0~2.0
阀片质量/g	32~34	25~26	30~32

浮阀塔的优点如下。

① 生产能力大。由于浮阀塔板具有较大的开孔率，而且气流是水平喷出的，减少了雾沫夹带，故其生产能力比泡罩塔高 20%~40%，与筛板塔相近。

② 操作弹性大。由于阀片可随气体负荷变化而升降，使阀片与塔板的间隙大小得以自动调整，阀孔气速几乎不随气体负荷的变化而变化，在较大的气体负荷范围内，可保证汽液间的良好接触，故操作弹性比泡罩塔和筛板塔都宽，可以达到 7~9。

③ 塔板分离效率高。因上升气体以水平方向吹入液层，故汽、液接触时间较长而雾沫夹带量较小，板效率较高，比泡罩塔高 10%左右。

④ 气体压强降及液面落差较小。因为气体通道比泡罩塔简单得多，塔板上没有复杂的障碍物，所以塔板上的气流分布较均匀，汽、液流过浮阀塔板时所遇到的阻力较小，故气体

的压强降及板上的液面落差都比泡罩塔板小。

⑤ 塔的造价较低。因构造简单，易于制造，浮阀塔的造价一般为泡罩塔的 60%~80%，但比筛板塔的造价贵，为筛板塔的 120%~130%。

尽管浮阀塔具有上述诸多优点，但浮阀塔不宜处理易结焦或黏度大的系统，因为结焦或黏度大的流体会妨碍浮阀升降的灵活性。但对于黏度稍大或有一般聚合现象的系统，浮阀塔尚能正常操作。

1.1.4 几种典型塔板的压降和板效率的比较

为了合理地选择适合类型的板式塔，以完成分离任务，研究者在相同的物质体系、相同的操作压力、相同塔径和相同液层情况下，研究比较不同类型塔的性能。

Billet 与合作者^[2,3]使用乙苯/苯乙烯体系，在 0.8m 直径、板间距为 500mm、堰高分别为 19mm 和 38mm 的不同类型塔上做实验，在全回流操作情况下，将其实验结果分析归纳于图 1-10。

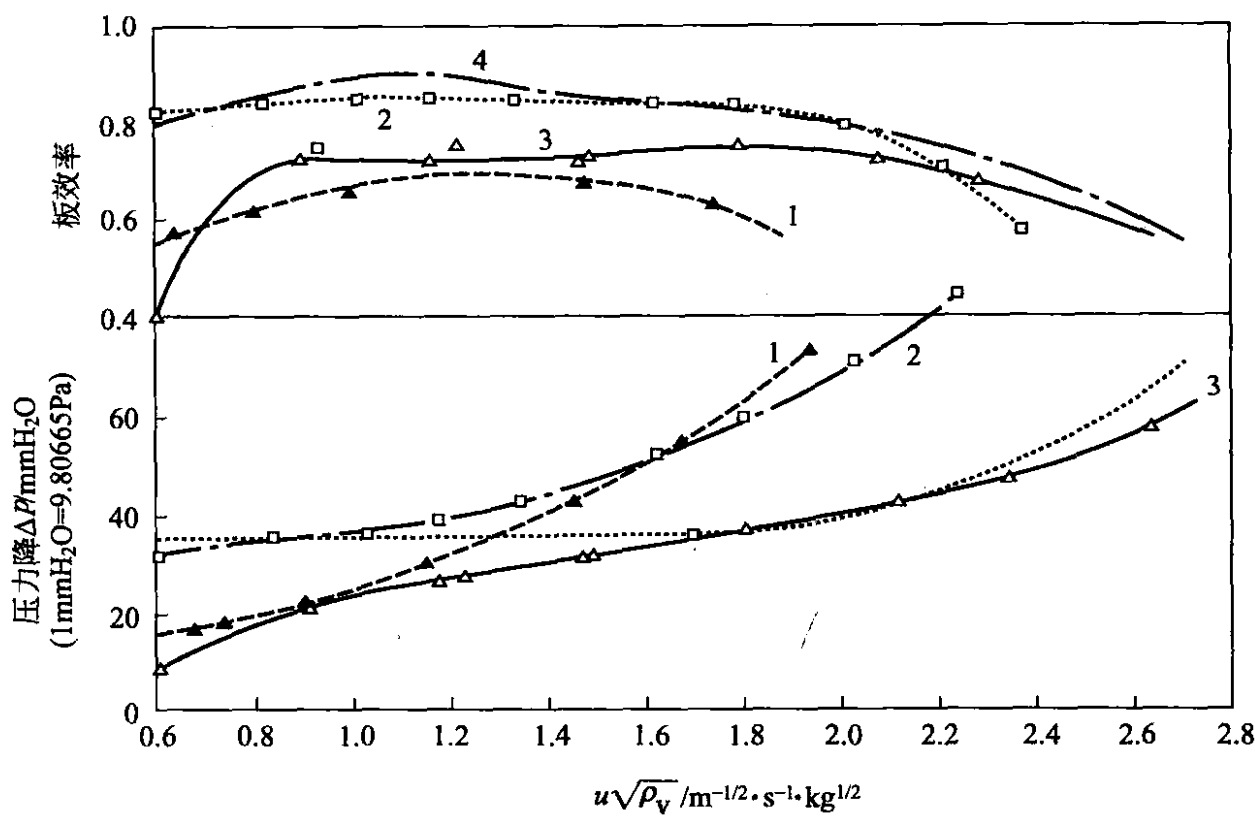


图 1-10 不同动能因素下四种塔板的压降和板效率
曲线 1：泡罩塔板，35mm 堰高
曲线 2：浮阀塔板，64V1 阀
曲线 3：筛板塔板，38mm 堰高
曲线 4：筛-阀塔板，38mm 堰高，49 个阀，140 个孔

常用的三种塔板——泡罩塔板、浮阀塔板和筛板塔板的典型性能比较列于表 1-4。

表 1-4 三种塔板性能比较

项 目	泡罩塔板	浮阀塔板	筛板塔板
相对费用	2.0	1.2	1.0
压力降	最高	中等	最低
板效率	高	最高	最低
蒸汽负荷	最低	最高	最高
操作弹性	5	4	2

1.1.5 舌形板

舌形板是一种定向喷射式的塔板。舌片开启一定的角度，舌孔方向与液流方向相同。汽相喷出时，推动液流前进，塔板上液面梯度较小，液层较薄。塔板压降较小，处理能力大。舌形板的操作弹性较小，板效率较低。

舌形塔板是喷射型塔板的一种，其结构如图 1-11 所示。舌形塔板主要特点是：在塔板上直接冲出许多舌形孔，舌片与板面成一定角度，以 20° 左右为宜，向塔板的溢流出口侧张开。舌片尺寸有 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 和 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 两种，一般推荐使用 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 的舌片。图 1-11 中示出舌形孔的典型尺寸，即 $\varphi = 20^\circ$ ， $R = 25\text{mm}$ ， $A = 25\text{mm}$ 。舌片按正三角形排列，塔板不设溢流堰，只保留降液管。

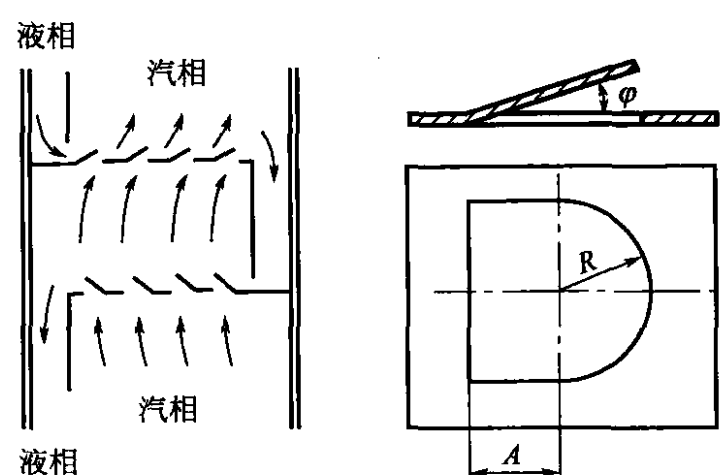


图 1-11 舌形塔板的结构

当操作气速很低时，液体从塔板的开孔直接漏下，随着舌孔气速升至 $6.5 \sim 7.5\text{m/s}$ 时，漏液停止，这时候的气速是正常操作的气速下限。随气速提高，塔板上鼓泡均匀，液面形成落差，气速进一步提高，气流推动液体流向降液管，液面落差消失。当上升气流穿过舌孔后，以较高的速度 ($20 \sim 30\text{m/s}$) 沿舌片的张角向斜上方喷出。汽液接触从鼓泡状态逐渐发展为喷射状态。从上层塔板降液管流出的液体，流过每排舌孔时，即

由于喷出的气流强烈扰动而形成泡沫体，并有部分液滴被斜向喷射到液层上方，板上液体经与气体喷射传质后直接冲至降液管上方的塔壁后流入降液管中，并带有大量的气泡，因此舌形塔板的降液管截面积要比一般塔板设计得大些，以便有效地将夹带的大量气泡分离出来。若气速过高，会有大量的汽液混合物涌向降液管上方，使大量液沫被带入上一块塔板，即为过量液沫夹带，并可能由此造成液泛，此为操作的气速上限。应使舌形塔板在喷射区操作为宜。

舌形塔板的优点是开孔率较大，可采用较高的空塔气速，故生产能力大。由于塔板上的特殊舌孔，气体通过舌孔斜向喷出，有利于减少雾沫夹带，且不会产生较大的液面落差，从而加大了液体处理量。气体水平喷出，有效遏制板上液体的返混现象，当舌孔气速较大时，将液体喷射成液滴或流束，进一步强化了两相间的接触，故能获得较高的塔板分离效率。但若气速较小，呈鼓泡状气流接触，效率就大大降低。此外，板上液层较薄，使塔板压强降小。

舌形塔板有以下缺点：由于舌形塔板的气流截面积是固定的，故舌形塔板对负荷波动的适应能力差，操作弹性小；此外，被气体喷射的液流在通过降液管时，会夹带气泡到下层塔板，这种汽相夹带现象使板效率明显下降。

1.1.6 穿流塔板

穿流塔板又称为逆流塔板。塔板间不设降液管，汽液两相同时由两板孔道逆向穿流而过。栅板、淋降筛板等都属于穿流式塔板。

这种塔板结构简单，板面利用率也高，但需要较高的气速才能维持板上液层，操作范围

较小，分离效果不高。

图 1-12 为波纹穿流板。汽液两相同时经由板上的一些孔道穿流通过。结构上可以省去降液管。波楞穿流板是将筛孔穿流板压成瓦楞波形，这样可改善液体的再分布，有利于在大塔内保持均匀流动。

1.2 塔设计的主要内容

(1) 确定工艺流程及设备并画流程图

确定双组分系统精馏过程的流程，需要的辅助设备，测量仪表，画出流程图。

(2) 工艺计算

根据给出的工艺条件，确定回流比、上升蒸汽量、回流液量；理论板数、实际板数；辅助设备的热量衡算和物料衡算等。

(3) 塔结构计算

①确定塔径；②确定板间的距离及塔高；③选择塔板类型并对板上各部分的结构尺寸进行计算确定；④板上气孔孔径及孔数的计算与排列；⑤塔上各连接管尺寸的确定以及塔的机械设计。

设计过程要重点考虑以下几个方面。

① 生产能力 生产能力要尽量大，即单位塔径上气体和液体的通过量要大。

② 分离效率 分离效率要高。效率高，所需板数就少，塔高相对就低，这一点对难分离的物系尤为重要。

③ 操作稳定性与操作弹性 操作弹性好意味着塔对汽液负荷变化的适应性大，操作稳定是对塔的最基本要求。

④ 压力降 要使气体通过塔板的压降小些，一方面可降低操作费用、减少能耗；另一方面处理热敏物系和高沸物系时常采用减压蒸馏，压降小对减压蒸馏尤为重要。

⑤ 结构、制造和造价等 结构简单、制造容易和造价低是降低设备前期投入成本和后期维修成本所应考虑的。塔板是板式塔的核心部件，它决定了整个塔的基本性能，由于汽液两相的传质过程是在塔板上进行的，为有效实现两相间的传质与分离，要求塔板具有以下两个作用：a. 能提供良好的汽液接触条件，使汽液既有较大的接触表面，又能使汽液接触表面不断更新，从而提高传质速率；b. 防止汽液短路，减少汽液夹带和返混，以获得最大的传质推动力。

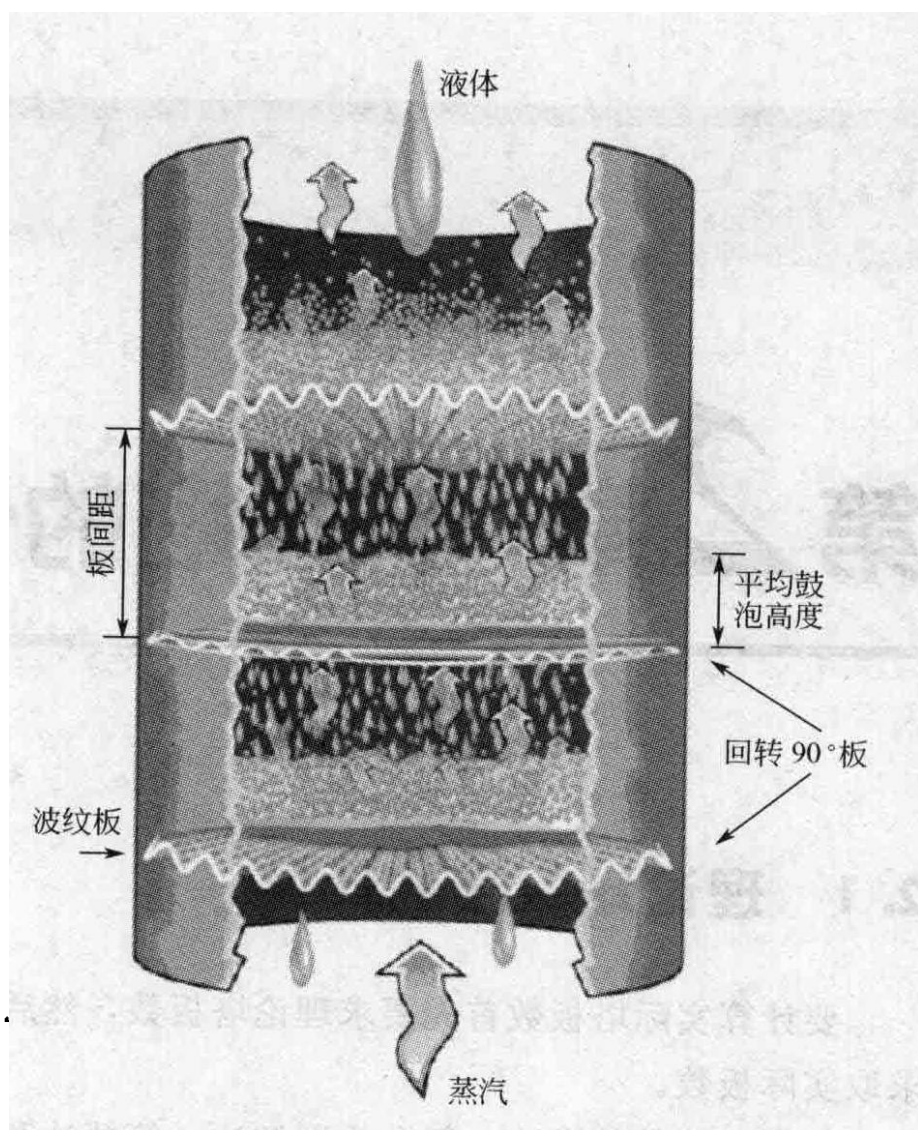


图 1-12 波纹穿流板