

兰州石油机械研究所 主编

现代 塔器技术



化学工业出版社

现代塔器技术

兰州石油机械研究所 主编

烃加工出版社

内 容 提 要

本书由兰州石油机械研究所、华东石油学院、华东化工学院、浙江工学院、浙江大学、北京化工学院、沈阳化工学院、大连工学院、成都科技大学、天津大学、上海化工研究院、化工部化工机械研究院十二个院校及研究单位的有关人员编写而成。全书共分三篇，全面介绍了各种板式塔及填料塔的结构特点、操作条件、分离效率等性能，并按类分析了各式塔板及填料的使用条件和优缺点，最后综述精馏系统的节能技术，并对各种方案进行经济分析。

本书可供化工、炼油、石油化工及使用塔器的专业技术人员阅读，也可供大专院校师生参考。

现代塔器技术

兰州石油机械研究所 主编

烃加工出版社出版

地质出版社印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 60¹/₂印张 1548千字 印1—3000

1990年5月北京第1版 1990年9月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-015-4/TQ·012 定价：26.50元

本书编写人员

(按编写章节顺序排列)

刘彤文	沈 复	段道顺	黄宗鑫	赵景芳
施其瑛	张冬富	徐崇嗣	董谊仁	陈维扭
张雪琴	叶泳恒	王志魁	龙期伟	沈自求
许维勤	洪大章	王世昌	吴锦元	李锡源
李阿娜	陈大昌	刘乃鸿	袁 瑶	陈永革
孙晓明				

前 言

随着石油化学工业的发展，国内外塔器技术都有了新的进展。为了适应我国“四化”建设和改革的需要，促进我国塔器技术的不断发展，赶超世界先进水平，我们组织“全国化工与炼油机械行业技术情报网”各有关方面的力量，共同编写了《现代塔器技术》一书。

本书既有基础理论，又有实际应用；既有基本概念，又有技术新进展；既有世界各国的观点，又有自己独立见解，力求深入系统地反映国外七十年代中期以来塔设备的进展、水平、动向和发展趋势，还介绍了对我国塔器发展所急需的八十年代新技术，以及国内经过考验的技术。因此，它不仅是新技术的综述，还是国内外成熟经验的全面概括，是一本自成一体、独立完整的专著。

本书是根据全国化工与炼油机械行业技术情报网的工作计划，由机械委兰州石油机械研究所组织编写的。该所所长、正研级高级工程师陈永革同志和副译审曹伟同志主持筹备和组织了本书的编写工作。曹伟同志为编写本书，系统地检索了1972~1981年间的国内、外文献，提供了原始资料，并参加了全书的审编工作。该所孙晓明工程师主要负责了全书稿件的审编工作和文字加工，并作了大量的组织工作。本书由张明石、沈复、施亚钧、陈维扭、徐崇嗣、莫锡荣、谭天恩、梁光兴、沈自求、王树楹、麦本熙、谈道、余国琮、陆震维、陈永革分章审校。烃加工出版社副总编陈允中同志从本书编写开始就对其内容与形式的要求给予帮助，并在随后的编写过程中始终给以关注，责任编辑汪霞倩同志也为本书的出版付出了劳动，谨此致谢。

本书可供化工、炼油、石油化工及其相近专业的研究、设计、制造和使用方面的工程技术人员阅读，还可作为教学参考和学员的课外读物。书中收集了有关的技术数据、图表、标准与应用实例。提供了九百余幅结构图和外形照片，给出了若干技术参数。

由于编写人员的业务水平有限，编写中一定存在不少缺点错误，恳请读者批评指正。

兰州石油机械研究所

一九八四年八月

目 录

概论	1
第一节 塔设备的产生和发展	1
第二节 塔设备的分类和选择	3
第三节 塔设备内物质分离	13

第一篇 板式塔

第一章 板式塔基础	30
第一节 塔设备中几个共性问题	30
一、塔板的操作性能图	30
二、板式塔的压降	32
三、塔板的雾沫夹带	36
四、塔板的泄漏	39
五、塔板的气相负荷上限	43
六、塔板的液相负荷上限	46
七、板式塔的效率	47
第二节 基础研究	57
一、塔设备中的两相流动及其接触状态	57
二、塔设备研究中的测试技术	82
主要符号说明	116
参考文献	118
第二章 泡罩型塔板	126
第一节 概述	126
第二节 泡罩塔板的设计	129
第三节 泡罩塔板效率的估算	154
第四节 塔板的负荷性能图	161
第五节 S形塔板	163
第六节 其它型式的泡罩塔板	174
主要符号说明	182
参考文献	184
第三章 筛孔型塔板	188
第一节 概述	188
第二节 筛板的流体力学性能	192
第三节 筛板两相流动	209
第四节 筛板的传质与板效率	230
第五节 筛板结构尺寸的确定	235
第六节 筛板的设计方法	244
第七节 关于筛板的标准化	253
第八节 导向筛板	258

第四节 塔内汽液的两相状态及其影响	15
主要符号说明	26
参考文献	26

第九节 多降液管筛板	263
第十节 大孔径筛板	276
第十一节 其它筛孔型塔板	280
主要符号说明	297
参考文献	300
第四章 浮阀型塔板	308
第一节 概述	308
一、浮阀塔的发展概况	308
二、浮阀塔板的分类和操作特性简述	309
第二节 条形浮阀塔板	313
一、条形浮阀塔板的结构	313
二、条形浮阀塔板的操作性能	315
三、条形浮阀塔板的计算	319
第三节 圆盘形浮阀塔板	324
一、圆盘形浮阀塔板的分类和浮阀结构	324
二、重盘式浮阀塔板的主要参数	331
三、重盘式浮阀塔板的水力学性能	334
四、圆盘形浮阀塔板的计算	340
第四节 其它形式的浮阀塔板	351
一、锥心浮阀塔板	351
二、浮动栅条塔板	353
三、百叶窗式浮阀塔板	354
四、浮阀筛孔混合塔板	358
五、管式和长条式浮阀塔板	362
六、环形浮阀塔板	365
七、双层浮阀塔板	368
八、链网式浮阀塔板	371
九、方形浮阀塔板	371
十、带叶片的浮阀塔板	371
十一、错流式浮阀塔板	371
第五节 浮阀塔板的水力学及传质研究	

的进展	372
一、关于浮阀塔的液泛点通用 关联式	372
二、浮阀元件的结构对塔板操作 性能的影响	375
三、Todd 和 Van Winkle 关于浮阀塔 板效率的研究	376
四、考虑到塔板上两相流态的一种效 率模型	381
附录 重盘式浮阀塔板的设计	384
一、塔盘设计资料	384
二、设计步骤	385
三、机械尺寸	400
主要符号说明	409
参考文献	412
第五章 斜孔形塔板	415
第一节 舌形塔板	416
第二节 浮动舌形塔板	428
第三节 网孔塔板	438
第四节 斜孔塔板	453
主要符号说明	467

第二篇 填料塔

第一章 填料塔基础	552
第一节 概论	552
第二节 填料塔的流体力学	561
一、填料塔的操作特性	562
二、基本流体力学关系	566
三、填料层的存料和液体分布	575
第三节 填料塔的传质基础	583
一、基本传质理论	583
二、传质效率的表达方法	593
三、传质计算	595
第四节 填料塔设计要点	609
一、选择填料	609
二、计算塔径	610
三、计算填料的总高度	610
四、计算全塔压力降	611
五、内件结构设计	616
主要符号说明	616
参考文献	618
第二章 颗粒型填料	622
第一节 概述	622

参考文献	469
第六章 高速塔	472
第一节 概述	472
第二节 轴向旋流板塔	472
第三节 切向旋流板塔	485
第四节 阶梯式旋流塔	487
第五节 旋转塔	490
主要符号说明	491
参考文献	493
第七章 无溢流型塔板	494
第一节 无溢流塔板的流体力学性能	495
第二节 无溢流塔板的操作效率和传质 性能	507
第三节 无溢流塔板的设计计算	512
第四节 无溢流筛孔型塔板	518
第五节 无溢流浮阀型塔板	521
第六节 混合塔板	530
主要符号说明	542
参考文献	545
板式塔结束语	548

第二节 环形填料	625
一、拉西环填料	625
二、鲍尔环填料	631
三、哈埃派克 (Hy-Pak) 填 料	637
四、阶梯环 (Cascade Mini Ring) 填 料	642
五、半环 (Levapak) 填 料	651
六、比阿雷茨基环 (Bialek) 填料	655
七、共轭环填料	657
第三节 鞍形填料	658
一、弧鞍 (Berl Saddle) 填料	658
二、矩鞍 (Intalox Saddle) 填料	661
三、改进矩鞍 (Super Intalox) 填料	671
四、金属环矩鞍 (Metal Intalox) 填 料	676
第四节 其它填料	684
一、球形填料	684
二、泰勒花环 (Teller Rosett) 填料	686
三、多角螺旋填料	687
第五节 高效填料与多管塔	687

一、高效填料	687
二、多管塔	690
参考文献	693
第三章 规则填料	696
第一节 概述	696
第二节 波纹填料	700
第三节 脉冲填料	739
第四节 网孔栅格填料	747
第五节 其它规则填料	754
第六节 真空精馏与波纹填料	765
第七节 工程实践	791

主要符号说明	795
参考文献	798
第四章 填料塔内件	805
第一节 液体分布器	805
第二节 液体再分布器	827
第三节 填料支承板	839
第四节 填料压板和床层限定器	854
第五节 除雾器	859
主要符号说明	870
参考文献	871
填料塔结束语	874

第三篇 精馏系统的节能技术

第一章 概论	878
第一节 能源的构成及节能的潜力	878
第二节 化学工业的能耗及节能	879
第三节 炼油工业的能耗及节能	881
参考文献	883
第二章 精馏系统的节能	884
第一节 精馏塔的性能评价	884
第二节 精馏系统的能耗	891
第三节 精馏系统的节能	892
第四节 精馏系统节能的基本途径分 析	895
主要符号说明	897
参考文献	897
第三章 用能原理及其分析方法	898
第一节 引言	898
第二节 能量的质量及其评价	899
第三节 精馏系统热的有效能分析	901
主要符号说明	904
参考文献	905
第四章 精馏过程的热量回收	906
第一节 精馏过程的显热回收	906
第二节 精馏过程的潜热回收	910
第三节 加强保温绝热以减少精馏过程 的热散失	912
主要符号说明	914
参考文献	914
第五章 减少精馏过程本身对能量的要 求	916
第一节 精馏塔操作过程的改进	916

第二节 精馏塔仪表控制的改进	924
第三节 精馏过程的维护改进	930
第四节 采用符合节能要求的新型精馏 塔型	932
主要符号说明	935
参考文献	936
第六章 降低精馏过程能耗的途径	937
第一节 采用热泵精馏节能技术	937
第二节 采用中间加热-冷却精馏节能技 术	945
第三节 采用多效精馏节能	949
第四节 采用热偶精馏节能	951
主要符号说明	952
参考文献	953
第七章 精馏系统节能规划的实施和技 术经济分析	954
第一节 精馏系统节能计划实施步骤	954
第二节 精馏系统实现能量回收的指 导原则	954
第三节 精馏系统的技术经济评价	957
参考文献	959

概 论

刘彤文

第一节 塔设备的产生和发展

一、塔设备的产生

在石油、化工、轻工等各个工业部门中，气、液两相直接接触进行传质及传热过程是很多的，如蒸馏、吸收、气体的增湿等都属此类。这些过程大多是在塔设备内进行。

塔设备为传质过程创造了适宜的外界条件，除了维持一定的压强、温度、规定的气液流量等工艺条件外，还从结构上保证上升的蒸气与下降的液体有充分的接触时间、接触空间和接触面积，以达到比较理想的换热、传质效果，因此，塔设备是一种重要的炼油、化工设备。据统计，在石油炼制的工厂中，塔设备钢材的重量约占全厂设备总重量的25~30%，塔设备的投资约占全厂总投资的10~20%。

早在1813年 Cellier^[1]提出了泡罩塔。筛板塔也早在1832年开始用于生产，早期的塔主要用于食品和医药生产，直到十九世纪初，新的炼油工艺又推动了塔设备发展。

最初，原油蒸馏塔只采用碎瓦片、砖块、小石块为填料来增加接触面积，塔壁没有保温，塔内液体分布不匀，气体有严重沟流。后来使用的挡板塔，结构亦很简单，在这种塔内，液体沿挡板向下流动，气体逆流而上进行传质。

直到1912年，筛板塔才开始用于炼油工业，当时，只是将有开孔的筛板，以一定间隔装在塔内，操作时，上升蒸气将少量液体托在板上，当积液到一定程度后，部分液体从孔中落下进入下一塔板，蒸气则通过筛孔与液体传质。

那时的筛板有几个弱点，当塔板安装不平时，会发生板上液体侧流和气体短路，导致汽液接触不良，气速过小时液体会从孔中漏下，板上保持不了液层，气速过大时，板上液层加厚，压降增大，若是腐蚀性的介质会使孔径增大，而造成操作困难。

泡罩塔是1920年引入炼油工业的，当时采用4~6英寸圆形或3~6英寸方形泡罩，泡罩下端也开有齿缝，还设置了降液管和堰，并同时塔顶和侧线取出馏份，侧线一般都采用回流。泡罩塔造价虽高，但操作方便、安装要求不很高，故受到信任。但对于原油这样的混合物能否用泡罩塔进行分离还有怀疑，例如对回流的作用，对原油的切割方法等都还不十分清楚。一直到1924年在克劳斯过程中获得成功，泡罩塔才被广泛应用。

进入廿世纪，石油成了主要能源，而到了廿世纪三十年代它又是石油化学工业原料。早期的塔设备已不能满足这些不断更新的工艺过程需要，这就促进精馏技术和塔设备有了新的发展。

近代的炼油和石油化学工艺对塔设备的主要要求是：

1) 能分离组成复杂的物料。由于裂解产物组成很复杂，而石油化工的综合利用又要

求组分有高纯度，因此，要求可作精密分馏用的高效塔盘，有时还须要一组塔以求分离出多种组分。

2) 生产要可靠。连续生产要求塔在设计上充分可靠，能长期运转而不发生故障，同时还应考虑各设备间的平衡，使塔的设计能适应整个过程的最佳条件。

3) 保证产品质量。有些合成材料，要求有高纯度的单体，这就需要能作精密分馏的塔型。而合成材料的单体当温度较高时，由于聚合而堵塞了工艺设备，有些石油化工产品在高温下发生分解，这些都需要能作减压精馏的塔。

4) 大型化。国外石油化工生产，目前向着大型化发展，一般的乙烯装置年产量在20~30万吨，有的甚至更大。因之，塔、换热器等工艺设备都必须适应大生产量的需要。

为了满足工艺等要求，塔设备应具有下列性能：

1) 汽液两相能充分接触，分离效率高。

2) 操作弹性大，即当塔的负荷变动较大时，塔的操作仍然稳定，效率变化不大。

3) 流体流动的阻力小，即压力降小。

4) 气液处理量大。

5) 结构简单可靠，金属耗用量小，制造成本低。

6) 易于操作、调节及检修。

二、塔设备的发展

塔设备的发展大致可分为三个阶段：

1) 第二次世界大战结束前，塔设备主要用在炼油工业，塔型中以泡罩塔为主，而在无机酸碱工业中则多沿用填料塔。泡罩塔之所以占优势，是由于它设计方法简单，又有一定操作弹性，便于管理，而筛板塔在当时被人们认为是一种弹性小，操作不稳和难于管理的塔型。但是，它的造价低、处理能力大和效率较高，故仍引人注目。

2) 第二次世界大战结束后，炼油和石油化学工业有了较大发展，促使塔设备不断增加，除了对筛板、泡罩等原有塔型进行改进外，也出现了一些新型塔板。

1949年，美国 Celanese 股份有限公司对泡罩塔的使用作了某些限制，并组织了对筛板塔的研究。1952年，Mayfield 等通过试验认为：经过合理设计的筛板塔，不仅操作稳定，而且负荷的弹性大、效率高。后来随着设计方法的改进，生产上采用的筛板塔日渐增多。

在1950年前后，为了适应工业发展的需要，相继出现了一批新的塔型。1950年美国 Socony Vacuum oil 公司创制了S形塔板，1952年 Koch 工程公司发展了 Benturi 阶梯式塔板，1951年美国 Philips 石油公司创制了 Nutter 条形浮阀塔板，1953年美国 Koch 工程公司创制了 A 型和 T 型圆盘形浮阀塔板，1951年 Glitsch 和 Sons 公司提出了重盘式浮阀塔板，1957年美国埃索公司又开始使用了舌形塔板。它们与泡罩相比由于其造价低廉，处理能力较大，在生产上很快得到推广。

3) 进入六十年代以后，炼厂生产能力不断增大，使设备向大型化方向发展，与此同时，石油化工迅猛发展，提出了对塔型的某些特殊要求，因此出现一些具有相应性能的塔板，以适应高压、减压、高效、大液负荷、高弹性等等要求。它们大多是泡罩、筛板、浮阀、舌形等几种典型形式的改进，有的还组合了几种塔板的优点。

同时，在实践的基础上对泡罩、筛板和浮阀等塔板的设计方法作了不断改进，使筛板和浮阀得到推广，泡罩塔板也获得了良好的操作性能，近年来，各国相继建立标准系列，

并逐步应用电子计算技术,使塔的设计工作快速和最优化。

进入七十年代后,塔板研究逐年减少,据报道,欧美等国大学中研究新塔板的课题为数不多,其原因是他们认为现有各类塔板性能颇为接近,基本上可以满足所有蒸馏操作的要求,有人预言,除“并流”塔以外,近期内不会有彻底革新的新型塔设备问世。但是由于能源愈益紧张而昂贵,使得能耗巨大的蒸馏过程与设备的研究开发工作仍在持续发展,新的塔板仍不断出现^[2],尤其那些大通量、低压降的塔板,更受到人们重视,许多厂家已用这些新型塔板来代替旧有的浮阀和筛板^[3],收到了提高产量、降低能耗的效果,经过几年的实践,一些新型塔板已逐渐被普遍采用,其中,主要有角钢塔板、浮动栅条塔板、垂直筛板及网孔塔板等,后两者为液体分散型塔板,由于它们传质面积大、压力降显著降低,有气体分离结构,可以认为液体分散型塔板是以能源危机为特点的八十年代新型塔板的重要发展方向。

填料塔作为一种气、液传质设备,近年来亦有很大进展,由于填料结构的不断改进,在某些场合下,已代替了传统的板式塔,特别是在真空条件下,填料塔以其压力降小的突出优点而取得了满意的经济效果,随着填料的研究和改进,填料塔与板式塔的竞争变得更为激烈。填料结构的改进,可大致归结为:增加填料的通量,以适应生产规模大型化的需要,改善流体的均匀分布,以提高分离效率及解决放大问题,减小阻力以适应节能操作的要求,目前,填料的研究大致沿着两个方向发展,即同时进一步发展颗粒型填料及规整型填料。

颗粒型填料主要有两类:环型类,如拉西环、鲍尔环。鞍型类,如弧鞍形、矩鞍形。环形和鞍形填料均各有优缺点,环形填料的主要缺点是液体再分布性能较差,但具有通量大的优点,鞍形填料有较好的液体分布性能,但通量较小。因此,综合环形类填料和鞍形类填料的优点,似乎是目前开发新型填料的基本出发点。例如金属英特洛克斯填料即为其其中之一,该种填料在我国由兰州石油机械研究所自行研究成功,通过试验表明它的综合性能均优于鲍尔环和阶梯环,已在炼厂减压分馏应用中取得了满意效果^[4],证明它是一种节能、高效的新填料。

规整填料的结构很多,有的着眼于气液流道的安排,有的侧重于增大气液两相接触面积,有的则较多考虑减少阻力。多年来,人们力图找到一种流体分布均匀,有效传质面积大,阻力小的规整填料,波纹填料的出现使这一问题得到较为满意的解决。此外,日本 Nagaoka 公司研制的脉冲填料等都是较好的塔填料。

第二节 塔设备的分类和选择

一、塔设备的分类

塔设备的型式很多,为了便于比较和选择,必须将塔设备进行分类。分类的方法有根据操作压力不同将塔分为加压、常压和减压塔的;也有根据气液接触界面形成方式的不同,将塔分为具有固定相界面的,流动过程中形成相界面的;因为传质效率和汽液两相流动状态密切相关,近来许多学者据此将塔设备分为气体分散型和液体分散型等等。这里以根据塔的内件结构特点进行分类,因为结构形式能反映板上的流体力学条件,从而也反映出塔的性能。

根据塔内件结构，塔设备分为两大类：

- 1) 板式塔；
- 2) 填料塔

板式塔内气液组成呈梯级式变化，而填料塔内沿塔的高度方向气液组成则呈连续式变化。

板式塔中又可按塔板上气液流向的不同分为：

- 1) 气液呈错流的塔板；
- 2) 气液呈逆流的塔板；
- 3) 气液呈并流的塔板。

在一个塔内，液体往往是靠重力自塔顶流向塔底，气体则靠压差自塔底流向塔顶。对于多级平衡过程必须采用这种塔总体上的逆流操作，用气液流向不同的分类方法是指在一块塔板上的气液流向不同。每一种流向的塔板，又可按气液接触元件的不同分为多种塔板。

(一) 气液呈错流的塔板

在这种塔板上装有降液管，液体自上板的降液管落下，进入塔板之后，沿着塔板横流过一个距离，然后落入降液管中，送至下一塔板。而气体则向上通过塔板的开孔，与液体呈错流方式进行传质。气液呈错流方式的塔板在生产上用得最多，根据其气液接触元件形式的不同，又可分为泡罩型塔板、筛孔型塔板、浮阀型塔板和液体分散型的喷射型塔板等，现分述于下：

1. 泡罩型塔板

泡罩塔板的最显著特点是有升气管，在升气管上覆以泡罩，板上的液层靠具有一定高度的溢流堰来保持，升气管高出塔板，使板上液体不会漏入管中，其他型式的塔板往往没有这种自封作用，这就决定了泡罩塔具有较大的操作弹性，又由于板上有一定液层高度，气体自接近泡罩底部齿缝中吹出与板上液体接触，这也使泡罩塔板具有较高的效率。泡罩塔板是一种老式塔板，有成熟的设计方法和操作经验，性能也比较好，仅由于造价高，目前逐渐为筛板和浮阀塔板所取代。

S形塔板是美国Socony Vacuum oil公司创制的，它是泡罩塔板的一种改进型式，塔板由S形元件套合而成，它的升气管面积比一般圆形泡罩塔板的升气管面积约大两倍，在每个S形单元中气体只从一侧与液流同向喷出，喷出口制成齿形切口，使气泡可以分散，由于气液同向流动，可以利用气体喷出时的动能，推动液体流向降液管，因而液面落差小，板上最大液体负荷比泡罩塔板大，甚至可高达 $100\text{米}^3/\text{米}\cdot\text{时}$ ，处理能力比泡罩塔高20~25%。由于它结构简单，金属消耗量少，所以造价只为泡罩塔板的0.6~0.7，S形塔板的压降较大，不宜用于减压操作。

泡罩型塔板的形式还有多种，与常用泡罩相比，它们或者是从简化加工，降低造价出发，或者是从改良操作性能出发，如扁平泡罩等各自具有不同的特点。

2. 筛孔型塔板

筛孔板的造价是板式塔中最低的一种，并且负荷大、效率高、设计方法也较为成熟。欧美使用筛板塔约占各种塔型的60%，日本占30%。筛孔的直径一般取3~6毫米，用于制氧的筛板塔的孔径目前还不到1毫米。对于容易堵塞筛孔的物系，可采用孔径较大的筛板，但大孔径会使漏液增加、操作弹性变小。现在，孔径1/2英寸的筛板已用于生产⁽⁵⁾，

1 英寸孔径的筛板也证明能够操作。塔板的开孔率大约在2~15%之间, Eld^[6]却认为开孔率可高达30%, Razatz^[7]认为筛板上放一些防止液体返混的挡板能提高塔板的效率。以前总认为筛板必须装得十分平整, 事实上有许多塔板即使有1/2英寸的不平度也能很好地工作, 筛板塔的缺点是操作弹性比浮阀和泡罩塔板差。

Linde 筛板^[8]是美国联合碳素公司 Linde 子公司提出的, 1963年以前用于空分, 以后也用于其他化学工业。它是筛板塔的一种改进, 一般的筛板塔在液体的进口处由于液层较厚, 容易产生漏液, Linde 筛板将此处塔板稍加抬高, 做成一个凸台, 以减少液层厚度, 使整个塔板的有效截面都能均匀鼓泡。此外, 在 Linde筛板上, 除开有筛孔外, 还开有百叶窗式的导向孔, 它的开口与液流方向一致, 所以能推动液体流向降液管, 使整个塔板上液流均匀。所以 Linde 筛板无需采用多流向塔板, 并且液沫夹带少、板间距小, 塔板效率又比较高, 特别适用于减压操作。国内, 北京化工学院、华东化工学院曾对该塔板作了大量工作^[9], 并已成功用于工业生产。

MD-多降液管筛板^[10]是美国 Linde 公司提出的, 它的结构特点是在塔板上有多降液槽, 这种塔板能承受大的液体负荷、液面落差小、板间距少、构造简单无需特别支承。我国浙江化工学院对它的板面性能, 降液管性能等作了研究, 而且已应用于工业生产。

新垂直筛板^[11]是在垂直筛板 (V. S. T) 基础上, 由日本三井造船在68年改进而成, 故称新垂直筛板 (NVST), 图 1 是其结构图, 这种液体分散型塔板的气体通量大而不致有过量雾沫夹带, 接触面积大而均匀, 故效率较高, 此外, 由于开孔率大, 但压力降和板上液层高度无直接关系, 因而压力降小, 故特别宜于真空精馏。由降液管流下的液体几乎不带气泡, 故可减小降液管面积, 提高液体负荷。

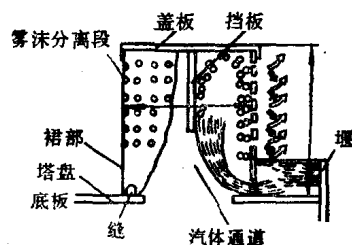


图 1 新 VST 型塔盘

筛板塔的变形还有很多种, 如筛网塔板、斜孔筛板等在工业中程度不同的得到了应用。

3. 浮阀型塔板

浮阀型塔板大致是五十年代初期出现的, 它是适应炼油和石油化工的发展, 为探求高生产能力、高效率和高操作弹性的塔型而提出的, 主要有 Nutter 条形浮阀塔板, 盘式浮阀塔板和重盘式浮阀塔板三种, 它们的作用原理是相似的, 板上有比常用筛板大得多的孔径, 孔上覆以在一定范围内可以自由浮动的阀片。气体负荷小时, 阀片只作少许开启, 随着气体负荷的增大, 阀片的开度也增加, 使从阀口周围喷向液层中的气速不会有很大增加, 压降增加也不多, 当气体负荷增大到一定程度后, 浮阀升起到它的极限位置, 这时的操作与筛板塔有点类似, 只是气体由浮阀周边向水平方向喷入液层中, 它的液沫夹带量比筛板塔要小。浮阀塔板的生产能力比泡罩塔板大20~40%, 工作弹性比泡罩塔板大, 其最大负荷与最小负荷的比值可达9左右, 且在较大的操作范围内都能保持较高的效率, 又由于浮阀对于塔板上液体流动的阻力小, 所以, 液面落差相应比泡罩塔板小, 允许采用较大的液流强度。

Nutter 条形浮阀塔板^[12], 这种浮阀和塔板开孔是长方形, 条形阀片分轻重两侧, 随气体负荷的增加, 轻侧先开启工作, 重侧后开启。当蒸汽负荷达设计值的70%时, 阀片全

部升起工作。改进后的 Nutter 浮阀是扁平型的，将早期“L”形阀片的垂直边变成与阀面水平，这个边就变成浮阀的重侧。

盘式浮阀塔板^[13]是圆形的，可分为 A 型和 T 型两种，T 型浮阀是由阀片和具有四个脚的挡架所组成。A 型浮阀有三个连于浮阀底面上的阀腿，将浮阀装入塔板上的阀孔中后，浮阀脚掰开，以限制浮阀的升起高度。

重盘式浮阀塔板^[14]，它的形式与 A 型盘式浮阀相似，与国内广泛使用的 F₁ 型浮阀相同，它也有三个阀腿，所不同者重盘式浮阀的阀片为平顶式，而不象 A 型盘式浮阀的阀片呈弧形。阀边有三个互成 120° 的凸部，使阀落在塔板上时留下一个缝隙，避免浮阀与塔板合死，在小气速时也可产生稳定的鼓泡。原始的重盘式浮阀 A 型结构比较复杂，它分为最内层的浮动浮片，放于阀片上部的可浮动的压重盘，和最外层的挡架。经改进后去掉了压重盘，目前流行的重盘式浮阀没有挡架，称为 V 型重盘式浮阀。

浮阀的变形还有多种，如管式浮阀等，但都还没有广泛应用。

4. 喷射型塔板

舌形塔板^[15]是 1957 年由美国埃索公司使用在工业中，它的结构非常简单，将薄钢板冲出舌孔，舌条与塔板形成一交角，塔板上不装进、出口堰，只保留降液管，以便降低压降，增加处理能力，舌条的大小常用 1 英寸 × 1 英寸和 2 英寸 × 2 英寸，舌条与塔板的交角一般采用 20°。这种塔板在气速低时容易漏液，当舌孔气速达 7 米/秒左右漏液基本停止，气速增大到一定程度后，气、液接触状态过渡到所谓喷射区，这时液面反而向着液流方向升高。

浮动舌形塔板^[16]是一种改进了的舌形塔板，它的舌片是活动的，与浮阀相似，能整个地上下浮动，但与浮阀不同的是，当它升起时，顺着液流方向的开口比较大，能利用气体的动能，推动液体流向降液管，以减小液面落差和增加液流强度。这种塔板结构简单，

加工方便，造价低廉是一种性能良好的塔型。我国兰州石油机械研究所先后研制了四种不同的浮舌片，经过实验室和炼油厂应用的试验研究，自行提出了较完整的工业应用技术，并已用在炼厂节能技术改造中，收到了较为显著的经济效益，取得了成功。

Perform 塔板^[17]是德意志民主共和国 1969 年研制成功的一种新型喷射式塔板，人们对这种塔盘评价很高，认为这是板式塔的一个新进展，被公认为是最佳塔盘之一。其结构如图 2 所示，它的塔板和碎流板用压延金属薄板制造，其上冲有许多定向斜孔，斜孔与塔板平面方向夹角为 10°~60°，缝隙宽 2~5 毫米，塔板按碎流板的位置而分成若干区段，每一区段又按切口方向分成两部分，相邻两部分切口方向互成 90°，由此增强了界面更新，延长了液流路程，增加了相接触时间，改善了液体沿塔

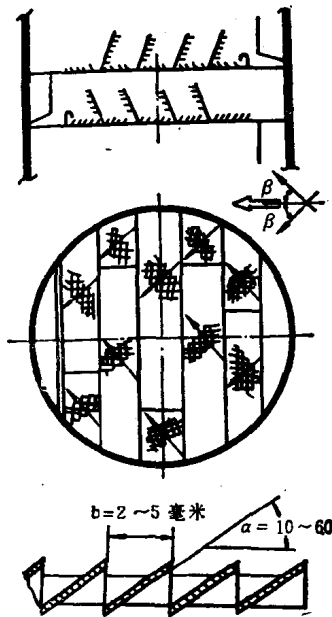


图 2 Perform 塔板

壁分布不均的现象。这种塔板最大限度地利用了汽相动能来促进两相的热质交换。我国华

东化工学院，几年来经过反覆试验，提出了塔板的结构参数和设计方法，并已用在炼油工业中。

（二）气液呈逆流的塔板

这种塔板结构非常简单^[18]，没有溢流管，在操作时汽液从塔板开孔（或缝）中上、下相对穿流而过，板上的液体为上升蒸汽搅动进行两相间的传质，在工业上应用的有下述几种。

1. 栅板^[19]

它用薄钢板制成，塔板上的缝隙可为2~10毫米，由于它没有溢流装置，充分利用了塔的横截面积，因此它的生产能力比泡罩塔大20~100%，而压力降比泡罩塔小40~80%，但这种塔板的操作弹性较小，一般约为3左右，限制了它在生产上的使用。

淋降筛板和它相似，只是在薄钢板上开以筛孔来代替栅缝，淋降板的孔径一般为3~8毫米，自由截面约为15~25%。

2. 穿流式波纹筛板塔^[20]

这种塔板是一种将淋降筛板压成波纹状的塔板，从而加大了塔板的操作范围和弹性。它的筛孔直径一般为4~8毫米，自由截面为15~30%，由于它压成了波纹形状，所以刚性很大，可以用较薄的材料制成，它是一种造价低廉的塔板，在某些工业生产上已经成功地得到了应用。

3. 无溢流浮阀塔板

为了扩大无溢流塔板的操作范围，捷克曾在1965年展览出了一种条形浮阀穿流塔板^[21]，这种塔板是由底板和条形浮阀组成，在底板上开有长条形的平行栅孔，在栅孔上装以长条浮阀。条形浮阀的阀盖做成拱形，在一定距离将部分阀盖冲压弯下。它在操作时若汽速低，汽、液就从阀盖的弯下部分穿流而过，若汽速高则浮阀被顶起，因此它的操作范围大，效率也较高，结构简单，有发展前途。

4. 圆形浮阀穿流塔板^[22]

这种塔板是日本日立制作所近几年来新设计的一种塔板，它是在无溢流的筛板上加装一些上面带孔的圆形浮阀，以使它的操作范围扩大。这种塔板用材较省，结构比较合理，造价低，在工业生产上有发展前途。

（三）汽液呈并流的塔板

这类塔就整个塔而言，汽液是呈逆流操作的，但在每块塔板上，气体与液体呈并流接触，这种并流操作塔的生产能力，可以不受一般错流或逆流塔板上常发生的过量液沫夹带或液泛所限制。

汽液并流塔板，在工业上使用不多，许多还停留在实验阶段。

二、塔设备的比较

塔板的结构在一定程度上决定了它们操作时的流体力学状态和传质性能，具体体现在：①塔板的生产能力；②塔板的效率；③操作弹性；④塔板压降；⑤造价；⑥操作是否方便、设计方法是否成熟。虽然要满足所有这些要求是困难的，但是对于各种塔板，应该用这些基本的性能进行评价，在相互比较的基础上进行选用。

关于塔设备的比较过去曾作过不少工作。例如1952年Mayfield^[23]将筛板的效率-负荷曲线与泡罩塔板比较，说明了筛板的操作范围可能比泡罩塔板还大，其效率也高，这才使

筛板重新引起了人们的注意。又如将浮阀塔板的操作性能与其它塔板比较,说明浮阀塔板具有操作弹性大的特点^[24、25]。在填料塔中鲍尔环与拉西环的比较^[26],也说明了鲍尔环所具有的优越性。

在比较塔板的操作性能时,以塔板效率与负荷因子(F因子)作图是比较常用的方法,如图3是五种塔板操作效率的比较,由图可以看出浮阀塔板的操作效率较高,无溢流栅板的操作范围较窄,板效率随负荷变化大。

不同的研究者在比较塔板的操作性能时,可得出不同的比较结果,说明了塔板性能的比较是个复杂的问题,它不仅与塔板的基本型式有关,而且与它的设计和处理的物料性质也有关系。因此,应该是以设计合理的塔板,在同一物系所得的数据进行比较,才反映真实的特点,具有一定的实用价值。

在1969年的国际精馏会议上 Bellet-^[27]对几种塔板和填料的操作性能和经济费用作了详细的比较,这种比较方法是比较全面和合理的,现介绍如下。

作者用了八种图来评价塔设备的性能,如图4所示:

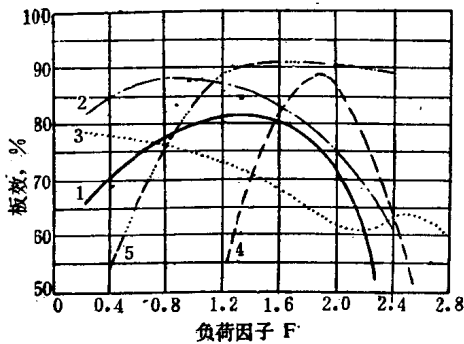


图3 几种塔板的效率和负荷因子F的关系
1—泡罩塔; 2—浮阀塔; 3—筛板塔; 4—栅板塔;
5—Kittel 塔板

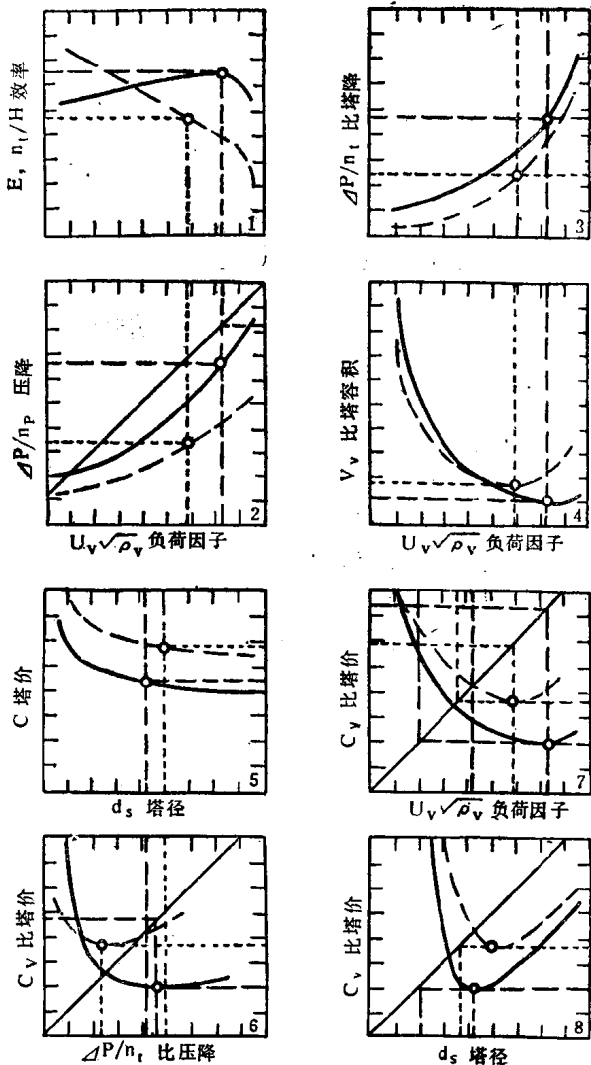


图4 塔板性能比较方法

1) 对于板式塔以板效率 $E_a(\%)$ 与蒸汽负荷因子 $U\sqrt{\rho v}$ 作图,而对于填料塔则以单位填料高的理论塔板数 n_t/H 与蒸汽负荷因子作图,这种图示法不但可以比较塔的操作效率,而且还可以看出塔的负荷能力与操作范围,是经常采用的一种方法如图4之1所示。

2) 对于板式塔,以每块塔板的压降 ΔP 对蒸气负荷因子作图,而对填料塔则以单位填料高的压降 $\Delta P/H$ 作图,这种压降的比较方法对要求低压降的真空操作是很有效的。如图4之2所示。

3) 对于一种塔, 仅是用 (2) 法来比较其压降是不全面的, 有些塔的 $\Delta P/H$ 虽较大, 但其效率高, 因之达到同样的分离效果所损耗的压降可能反而小, 为了在比较压降 ΔP 中能包括效率的因素, 因而采用了每块理论板的压降 $\Delta P/n_t$ 对蒸汽负荷作图, 这在要求低压降的热敏性物料蒸馏操作中, 是塔板评价的合理方法, 如图 4-3 所示。

4) 若要求一个塔操作效率高而处理能力又大, 就应该把这两个因素结合起来考虑, 即要求处理单位蒸汽负荷 [米³/秒] 且其分离效果达到一块理论塔板时所需的塔的体积要小。这种塔体积称为比塔容积 V_v , 其求法如下:

对于板式塔:

$$V_v = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 \cdot H}{V \cdot E_a} = \frac{H}{U \cdot E_a} [\text{米}^3 / \text{米}^3 / \text{秒} \cdot \text{理论板}] \quad (1)$$

式中: D ——塔径, 米;

H ——塔板间距, 米;

V ——蒸汽流量, 米³/秒;

E_a ——塔板效率;

U ——蒸汽空塔速度, 米/秒。

对于填料塔, 则 H/E_a 等于等板高度 h_e ,

$$\text{故} \quad V_v = \frac{h_e}{U} [\text{米}^3 / \text{米}^3 / \text{秒} \cdot \text{理论板}] \quad (2)$$

图 4-4 即为比塔容积与蒸汽负荷因子的关系曲线。

5) 从经济造价来比较塔设备是十分重要的, 而塔设备每单位容积的造价 C 是和它的塔径有关的。图 4-5 表示其单位容积造价 C 和塔径的关系曲线形式, 这里的造价包括塔壳在内。

6) 知道了一种塔的比塔容积 V_v 和单位容积的造价 C , 则其比塔造价 C_v 可按式求得:

$$C_v = V_v \cdot C \quad (3)$$

显然, 比塔造价的意义是处理 1 米³/秒的蒸汽负荷, 其分离效果达一理论塔板时, 所需塔容积的造价。

在要求压降低的真空精馏中, 以 C_v 对 $\Delta P/E_a$ 作图对找得一定要求压降下的比塔造价较低的塔型是有意义的, 这种关系标绘如图 4-6 所示。

7) 在一般常压塔或加压塔中, ΔP 的影响不大, 则用 C_v 与负荷因子的关系作图来比较。

8) 塔的直径 D 可按下式求得:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} V \frac{1}{U}} \quad (4)$$

对于一定蒸汽量 V 的情况, 则 $\sqrt{\frac{4}{\pi} V}$ 为一常数, 令其为 K ,

$$\text{则:} \quad D_v = \text{const} = K \sqrt{\frac{1}{U}} \quad (5)$$

因之在一定气速 U 下, 可按式 (5) 算出其塔径 D 。而另一方面, $U \sqrt{\rho_v}$ 一定, 可