

我国塔器技术现状

上海科学技术情报研究所

053.5

我国塔器技术现状

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 8.5 字数: 210,000

1977年9月第1版 1977年9月第1次印刷

印数: 1—5,700

代号: 151634·370 定价: 1.05元

(限国内发行)

毛主席语录

自力更生,艰苦奋斗,破除迷信,解放思想。

鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义。

我们一定要努力把党内党外、国内国外的一切积极的因素,直接的、间接的积极因素,全部调动起来,把我国建设成为一个强大的社会主义国家。

我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

FC 21 / 40

前 言

塔设备是石油、化工生产中的主要设备之一,它的性能如何将直接影响到生产装置的产品质量、生产能力、回收率、消耗定额、三废处理以及环境保护等,因此各方面都非常重视塔设备的科研、设计、使用和革新等工作,并取得了可喜的成绩。本书较系统地介绍了近年来我国塔器设备的技术进展情况,包括斜孔塔板、浮动舌型塔板、导向筛板、多降液管筛板塔、旋流板塔、浮阀-筛孔复合塔板、可调开孔率筛板塔、穿流筛板塔、双孔径穿流塔板、非均匀开孔率穿流塔板、浮板塔、乳化蒸馏塔盘、聚丙烯鲍尔环、压延孔环、高效丝网波纹填料塔等,供石油、化工战线的广大工人、技术人员、干部及有关院系的师生参考。

在本书编辑过程中,得到了甘肃省兰州石油机械研究所、石化部第六设计院、上海化工学院、南化公司化机厂、清华大学、北京化工学院、浙江化工学院、浙江大学、抚顺石油二厂、南京化工厂、南京化工学院、上海人民制药厂、江西工学院、四川化工厂、成都工学院、山东聊城化工厂、上海医工研究院、上海化工研究院等单位的大力支持,特致谢意。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,希读者批评指正。

上海科学技术情报研究所

一九七七年八月

目 录

前 言

第 一 章	我国塔器技术的进展	(1)
第 二 章	斜孔塔板	(7)
第 三 章	浮动舌型塔板	(21)
第 四 章	导向筛板	(33)
第 五 章	多降液管筛板塔	(43)
第 六 章	旋流板塔	(52)
第 七 章	浮阀-筛孔复合塔板.....	(61)
第 八 章	可调开孔率筛板塔	(69)
第 九 章	穿流筛板塔	(78)
第 十 章	双孔径穿流塔板	(83)
第十一章	非均匀开孔率穿流塔板	(90)
第十二章	浮板塔	(96)
第十三章	乳化蒸馏塔盘	(107)
第十四章	聚丙烯鲍尔环	(111)
第十五章	压延孔环	(115)
第十六章	高效丝网波纹填料塔	(122)

第一章 我国塔器技术的进展

塔设备是石油、化工生产中的主要设备之一,它的性能将影响到生产装置的产品质量、生产能力、回收率、消耗定额、三废处理以及环境保护等方面。因此,近二十多年以来,国内外都十分重视塔设备的科研、设计、使用及革新等工作,以适应石油化工迅速发展的迫切需要。

一、我国塔器技术发展的几个阶段

1. 旧中国

在旧中国,化学工业薄弱得可怜,工业生产用的塔器数量少,塔型陈旧,基本上是老式的泡罩塔,还有极少数的筛板塔(主要用于酒精工业),此外还有一些更陈旧的塔,如焦炭或碎石块填料、木格塔等。至于塔器的科研工作则更是空白。所采用的数据资料,全部是照抄国外的。

2. 解放后第一个五年计划期间

解放后的第一个五年计划期间,我国建设和设计了一批新的石油化工装置,其中包括从苏修引进的一批装置。但其技术多数是属于三、四十年代水平的,例如在苏修引进的装置中,其泡罩塔的塔板结构参数是不合理的,罩型方面很多是旧式的条形泡罩,经天津大学研究^[1]表明,这种泡罩的雾沫夹带量很大,板效率低,生产实践中的情况也是这样。至于填料塔则仍然是传统的拉西环。塔器的科研工作尚未很好开展。设计资料基本上是采用苏修的一套方法。

3. 大跃进以来

自从1958年大跃进以来,我国塔器技术的发展进入了一个新阶段。由于国内生产发展的需要和群众性科学实验运动的开展,以及国外从五十年代开始的大量新型塔板研究工作的影响,使我国无论是填料塔还是板式塔在此期间所开展的技术革新、生产实践和科研工作都十分活跃。

在板式塔方面,天津大学和兰州化工机械研究所曾对泡罩塔开展了研究工作,并制定了国内的部颁标准^[2],还提供了相应的性能测试结果^[4]。

对于浮阀塔板,北京石油学院、北京化工研究院等单位作了较为系统的研究,后来在石油化工系统中得到较为广泛的应用^[5]。

至于筛板塔,通过掌握适宜的设计方法及计算数据^[6],自六十年代开始在石油化工及国防化工的生产装置中得到较好的使用。清华大学等单位还作了大孔径筛板的研究,并已在某些生产中得到应用。此外,穿流筛板塔的使用也逐渐增多,并已用于热水塔、铜洗塔及甲醇蒸馏系统中。

此外,在炼油工业中,根据生产的特点,还使用了S型塔板、舌型塔板等新型板。

在发展我国自己的板型方面,清华大学研究的浮动喷射塔,具有高负荷、低压降等特点,在某些生产装置中使用,收到一定效果^[10]。

六十年代初期以来,在合成氨厂的水洗塔方面,开展了群众性的技术改造活动,以多种创造性的板式塔代替原来的拉西环填料塔,收到了较好的效果。

在填料塔方面,一些单位进行了乳化塔

的研究,并已使用在 $\phi 150$ 毫米以下的生产中。这是我国填料塔早期研究工作的开始。

此外,在一些中间规模的生产装置上曾测定和使用了鞍型网填料(即 Memahon 填料,最早在上海高桥化工厂使用)、双层 θ 网环(即 Borad 填料,最早由北京化工研究院使用)以及压延孔环(即 Cannon 填料,由综合所、钢铁学院、沈阳化工研究院等研究使用)等。由于精密精馏生产的迫切需要,还研究了 θ 网环(即 Dixon 填料)及多管塔的结构。

在设计工作方面,考虑了当时科研工作的结果和生产上的需要,原化工部第一设计院结合国内情况整理了关于筛板塔、浮阀塔、泡罩塔及穿流板塔等的一批设计计算资料^[6~9],可供推广和合理使用这些板式塔之用。

这一阶段的特点是新型塔的科技研发活跃,工业使用则正在大力推广及积累经验中。

4. 无产阶级文化大革命以来

无产阶级文化大革命以来,各单位的广大职工,以阶级斗争为纲,不听“四人帮”修正主义那一套,坚持“鞍钢宪法”,大搞群众性的技术革新和技术改造,在塔器工作上取得了很大的成果。在1972年茂陵化学工程会议和1973年10月的兰州分离传质会议上,交流了这方面的情况。特别是在生产应用实践方面,进展很大。工业生产装置规模的浮阀塔和筛板塔,建成的较多,通过实践,更好地掌握这些工业规模塔的特性和参数,并进一步验证了其设计数据。

对于泡罩,修订了原来的65年标准,成为一机部和燃化部的新标准(JB-1212-73)^[8]。对于浮阀塔,亦制订了F-1型浮阀的标准(JB-1118-68)^[11]。对于大孔筛板,根据国内外的实测数据,提出了较为实用的计算方法^[12]。

抚顺石油二厂使用了浮阀与筛孔的复合塔板,使生产能力大幅度提高。

为了战备的需要,进行了卧式塔的研究,并建成了工业装置^[23]。此外,还研究了旋流浮动塔板^[24]。

清华大学等单位开始试验了斜孔塔板,兰石所进行了浮舌塔的研究,并已用于工业装置上,取得了较好效果。此外,多降液管塔和导向筛板塔也进行了一定的工作。

在填料塔方面, θ 网环的多管塔的工业规格生产装置已经建成投产,解决了国防及民用生产上的需要;湍球塔亦在有些生产装置中使用;对于乳化塔的使用,塔径逐渐扩大到 $\phi 300$ 毫米,个别还有更大的;整砌波纹填料(实体波纹板填料及波纹网填料)开始受到注意,并进行了试验研究及使用;对于量大面广的乱堆填料,在72年茂陵会议上已经提出用新型的矩鞍填料及鲍尔环代替老式的拉西环,近年来在石化部的安排下,正在逐渐实现之中。

在设计计算方面,通过生产实践和试验研究工作,已经大体上积累和形成了国内的一套数据和资料,并于1973年初步整理成为《气液传质设备设计》一书^[15]。对于国内情况的调查,整理成了《国内塔设备调查》资料汇编^[18]。对于国外资料的综述,则由兰石所等单位编译出版了《塔器》一书^[14]。73年兰州分离传质会议以来,塔器工作又取得了不少新的战果和经验,此情况将在本文的第二部分“现状”中另行详述。

这一阶段的主要特点是,毛主席的无产阶级革命路线为广大群众所掌握,塔器的改进和发展已进入工业应用和生产实践经验逐渐积累的阶段。这标志着我国生产装置中塔器水平已进入一个新阶段。

5. 今后工作

今后一段时期内,随着石油化学工业发展的需要,对塔器技术提出了更多要求:①塔器技术要更好地为老厂技术改造、技术革新和挖掘潜力服务。②塔器技术的发展要能满足

足新型石油化工装置中对各种不同具体条件的多方面要求,做到技术上先进、经济上合理及切实有效,以适合我国具体情况的需要。针对这两项要求,尚有大量工作要做。这就需要我国塔器技术工作者更好地积累实践经验,开展试验研究(包括基础理论研究),掌握规律,勇于实践,大胆创新,在塔器技术上做出更多成绩,为无产阶级政治服务,为社会主义建设服务。

二、国内塔器技术的现状

从上述可见,我国目前的塔器技术,已经具有一定的基础和水平;能较好地完成石油化工生产中传质过程的任务需要。新型塔器的试验研究工作也是很活跃的,有些已经接近或达到国外的先进水平。

1. 常用的几种板式塔

最通用的几种板式塔,包括较传统的泡罩、浮阀、筛板三大塔板,以及其他的几种板型。

1) 泡罩塔:已有多年的使用历史。自从六十年代后期以来,逐渐被其他新塔形所淘汰,新建装置中已经较少用泡罩塔了。但在现有厂中,泡罩塔的数量仍然不少。以兰化公司所属各厂为例,目前在使用的一百多台板式塔中,泡罩塔仍占38%。泡罩的规格亦是多样的,符合于JB-1212-73标准的还不多,有些规格甚至是较为陈旧落后的(例如过去苏修援建项目中提供的一些泡罩塔)。所以,泡罩塔今后的改造革新任务仍是很大的。

2) 浮阀塔:自从文化大革命以来,已经较普遍地使用,效果亦较为良好,适应性强,弹性大,效率好。目前,基本上均采用JB-1118-68的浮阀标准^[11];较为统一、大量使用的是F-1型浮阀。最近,北京化工研究院的研究测定表明,我国的F-1型标准浮阀,在流体力学及传质等各方面的性能超过了国

外的A型阀^[16]。此外,F-4型及T型阀亦有少数采用的。这是近期内的主要塔型之一。

3) 筛板塔:筛板塔是结构最简单的有降液管的塔板,只要正确掌握设计参数及操作特性后,亦能具有一定的弹性(3倍左右)及很好的效率。六十年代以来,它在化工装置中逐渐使用。早期使用较小的孔径(例如,由日本仓敷引进的聚乙烯醇装置中使用 $\phi 3$ 之孔),多用 $\phi 4\sim 6$ 之孔;近年来逐步发展大孔径($\phi 10\sim 25$),以适应大塔径、易堵阻物料等,如青岛化工厂的氯丁二烯蒸馏塔,原用填料塔,2~10天即堵,改用 $\phi 12$ 的大孔筛板,已提高到一次可使用60天。在金山的丙烯腈装置中,全部塔均用 $\phi 13\sim 19$ 的大孔筛板。在空分装置中,由于低温系统的特殊要求,使用 $\phi 0.9\sim 1.2$ 的小孔。

此外,穿流筛板目前在氮肥、医药工业中已得到使用,收到一定效果(特别对于含悬浮物及易腐蚀物系)。波形穿流筛板,国内亦开始使用于工业装置上。上海人民制药厂等单位的实践证明,只要掌握其负荷特性,穿流塔亦具有较好性能。

4) 舌形塔:在炼油工业的某些装置中,还使用了舌形塔板,它具有通量大、压降小等特点。以前还曾使用过S形塔板,亦优于泡罩塔板。

2. 正在试验研究中的新型塔板

目前国内各有关部门,针对石油化工生产发展的需要,正在试验研究一些各具特点的新型塔板。

1) 浮动喷射塔:是六十年代中清华大学进行试验研究的,具有压降小,弹性大,通量大的优点,属于喷射型气液接触,与浮阀、筛板等相比,效率较低。目前国内炼油及化工装置中已有数十台浮喷塔在运转^[10,18]。

2) 浮舌塔板:兰州石油机械研究所自1970年后针对当时炼油工业的需要,结合浮阀、浮动喷射及舌形塔的特点,进行了浮动舌

形塔板的研究^[17],并已在南京炼油厂 $\phi 6400$ 的减压塔中替换了原有的固舌板及部分浮喷板,其处理能力提高了1/3,效率亦有所提高。这是一种压降低,弹性大,并具有一定效率(优于固舌板及浮喷板,而低于浮阀板)的新型塔板。

3) 斜孔塔板:清华大学结合浮阀、筛板与浮喷板的特点,进行了斜孔塔板的研究^[18]。在热模及生产装置中使用证明,压降小,生产能力可比浮阀塔提高30~40%,并保持较高的效率(接近或稍高于浮阀),操作弹性在2.5~3左右(接近于筛板塔),塔板结构简单,无活动元件。这是我国自己发展的新型塔板。

4) 多降液管塔(M.D.塔板):塔溢流液体由降液管底部直接喷洒到下一层塔板上,不需占有受液面积,因而可使降液管所占用的塔板面积减少50%,提高了塔板有效传质面积的比例。这是塔板适用于高液气比的场合(例如,某些烃类的加压蒸馏、一些吸收过程等),具有塔板阻力小、雾沫夹带低等优点,因而提高了处理能力,降低了塔板间距。但由于板上液流长度缩短了,有时会影响板效率(尤其是当过程为液膜控制时)。国内曾研究及试用过斜孔型多降液管塔(清华大学)及筛板型多降液管塔(浙江化工学院),后者已在良渚化肥厂建设了一台 $\phi 1200$ 毫米的水洗塔。今后有待于总结和积累更多的生产实践结果。

5) 导向筛板塔(Linde筛板):在筛板上按液流方向开一定数量的气体导向孔,为了推进液体,以降低塔板阻力,改善液体分布,在液体入口处使塔板翘起,并开有筛孔,以改善塔板液流的均匀流动和鼓泡情况。因此,这种塔板具有压降低、液体分布好、并保持有一定效率的特点,适合于低液气比(如真空蒸馏)的场合使用。上海化工学院-上海高桥化工厂及北京化工学院-北京向阳化工厂,研究使用了导向筛板塔,用于苯乙烯减压蒸馏中,

效果较好。

6) 其他:此外,国内还有些单位正在试用一些其他的新型塔板,例如,抚顺石油二厂将钢板网塔板(Perform Plate)用于减压蒸馏塔中,取得了良好效果。

3. 技术改造挖潜中的成果

国内的一些生产厂,在进行技术革新、技术改造的挖潜翻番过程中,发动群众大搞“三结合”,解放思想,大胆创造,取得了不少有实效的成果。

1) 浮阀-筛孔复合塔板:抚顺石油二厂在 $\phi 2800$ 常压塔的(浮阀塔)板上,增开若干筛孔后,生产能力提高了近1.8倍^[19]。浮阀塔板上加开筛孔后,阻力降低,通量提高,效率可保持相近,操作弹性则有所降低(约为2~3)。对于老厂的增产挖潜,则是简便有效的措施。

2) 筛板塔改造:筛孔加大或部分加大(双孔径塔),与上述情况相似。对于已有的筛板塔,可以采取加大筛孔,或部分加大筛孔的做法,这样可使阻力降低,处理量提高。另外,筛孔增大后有时还可以改善阻堵,也是保证通量畅增的原因之一。例如北京石油化工总厂胜利化工厂的 $\phi 3000$ 水冷塔,原为 $\phi 6$ 筛孔,1974年将该塔每隔两排扩大一排为 $\phi 12$ 的大孔后,消除了堵塔现象,生产能力也提高了,而且仍能保证一定的操作弹性。

南京化肥厂的水洗塔,是另一个大胆革新挖潜的成功例子。他们利用该塔液体负荷极大的特点,在塔板上切开一个弓形缺口,实际上成为部分水濂式挡板塔,以大幅度降低塔板阻力和增大液体通过能力(提高生产能力一倍以上)。由于该塔液气比很大,因此这样做仍能保证一定的气液接触效率(但如果缺口过大,塔阻力过小,气液传递能量不够时,则效率仍将降低)。

3) 穿流筛板塔开孔率的改善:穿流筛板塔改善开孔率分布,以提高产量。国内氮

肥厂所用的铜洗塔中,近年来有许多已将原来的拉西环填料塔改造成为双孔径穿流筛板塔,大幅度地提高了生产能力。但这种提高的主要因素,还是由于穿流板通量大的特性,故双孔径的贡献则是值得探讨的。四川化工厂与成都工学院合作,进行试验研究工作,结果表明穿流塔板上存在显著的壁效应。塔板上的开孔率分布,对于提高塔板效率,改善操作弹性有很大效果,将塔板外圈(相当于全塔直径 $0.2D$ 部分)开孔率提高为 45.7% ,其余部分(内圈)的开孔率则为 20.3% ,这时能力较原填料塔提高一倍,铜洗效率仍保持在较高水平上^[20]。

4) 可调筛板:南京化工厂与南京化工学院协作,为了使该厂的氯气冷却塔适应冬季与夏季由于温度变化而带来的气液负荷大幅度变化,采用调节板调节实际的筛板开孔率,以适应本工艺的负荷变化特点。

4. 特定场合的板型

国内近年来由于一些工艺上的需要,还发展了一些适用于特定场合的板型,举述如下:

1) 旋流板塔:这是近年来浙江大学化工原理教研组研究发展的一种塔型^[21]。塔板由一组风车型的固定叶片组成,气体通过叶片间隙吹出,向上作旋转运动,液体从板上内圈边缘处溢流出去,进入溢流管流至下层塔板内圈的受液盘上。此板压降低,雾沫夹带低,气体通量很大(空塔动能因子可达5以上),弹性大,不易堵,但接触效率还不够高,制造加工复杂,适用于降温、除尘及快速化学吸收反应等。目前在衢州化工厂已建立了 $\phi 1200$ 的尾气碳铵回收塔,良渚化肥厂建立了 $\phi 500$ 的热水饱和塔,茂名石油化工厂建立了 $\phi 5800$ 的除尘塔。

2) 大孔径穿流板塔:闸北水电厂与上海化工设计院协作,正在试验从发电厂烟道气中脱硫并回收石膏。为了适应腐蚀及有沉

淀物的情况,在 $\phi 500$ 塔内,试验了孔径25毫米的穿流大孔筛板,并测定设计数据。

3) 深液层大孔筛板塔:为了使气液反应过程能连续进行,并保证有足够的液相停留时间,上海化工设计院与上海皮革厂进行了深液层(溢流堰高100~300毫米)大孔径($\phi 10\sim 25$)筛板塔的试验工作,取得数据以便工业化。

4) 卧式塔^[18,22]:这是适应战备需要而进行研究的塔型,国内主要研究了两种类型,(a)气举式卧式塔,兰州化工机械研究所曾与兰化公司304厂、杭州炼油厂、兴安化工厂等单位分别协作,建成 $\phi 800$ 及 $\phi 1000$ 的塔。另外,前西安石油学院与上海炼油厂,也曾做过这方面的工作。(b)高速并流喷射塔,原北京石油学院与石油一厂曾进行过这方面的工作。

5. 新型填料的发展

关于新型填料塔的情况,76年4月在江苏宜兴县丁山举行的新型塔填料会议上已作了交流。

目前国内工业生产用新型填料的发展,可分为两个方面:

1) 通用型填料:指量大面广,适用于一般传质过程的填料。经近年国内的初步试验测定,推荐鲍尔环及矩鞍形填料为今后我国推广使用的通用型填料。这两种填料,压降小,通量大(约比同样尺寸的拉西环提高50%以上,传质效率亦能提高30%以上),可用在新厂设计及老厂改造挖潜时替换拉西环,以达到增产及提高效率的目的。在材质选用方面,鲍尔环可用金属或塑料,矩鞍填料可用陶瓷或塑料。目前瓷矩鞍填料在丁山非金属化工机械厂等地已有定点生产,金属鲍尔环在上海长江机修厂等地也有加工生产,塑料填料也在上海化工厂、四川化工厂、成都工学院、兰州化机所等单位进行试制。对于上述四种填料,石化部石油化工科研组已委托第

六设计院编制了一个规格暂订标准,以便于成批生产。还统一整理出了科研测试数据及设计计算方法^[22]。

另一种属于通用型的新填料是实体波纹填料。它可用陶瓷烧制,亦可用薄金属轧制,或用玻璃钢及纸浸树脂制作^[13]。这种填料通量较大,等板高度比拉西环小,缺点是不能用于有结垢或粘度大的物系。另外,对于大塔则填料重量大,造价很高,检修清理困难。

2) 精密精馏填料:对于理论板数很多(一般指80以上)的分离系统,为了克服多管塔结构过份复杂的缺点,近年来发展了丝网波纹填料(Sulzer 填料)。这种填料通量大(空塔动能因子可达1.5~2),等板高度为0.06~0.15米,放大效应小,是一种良好的精密精馏填料,可以使塔高度大为降低。国内目前已运转的塔径达300~500毫米,正在建设 $\phi 1000\sim 1600$ 毫米的塔。但是丝网波纹填料价格昂贵(黄铜丝网填料,每立方米造价达3~4万元,不锈钢丝网填料则达10万元左右);对处理的物料要求非常洁净,不能有污垢、聚合物及腐蚀,否则效率迅速下降;填料污损后基本上不能清理重用。因此,这种丝网波纹填料,只宜用于对洁净物料进行精密精馏的场合,否则在经济上和在操作上是不合理的。

3) 其他:用于特定场合的塔还有湍球塔、乳化塔等型式。

参 考 资 料

[1] 天津大学化机教研室余国琮等:条形泡罩的性能研

究,1958。

- [2] 化工部颁标准, HG5-228-65, 圆形泡罩标准, 1965.
- [3] 一机部-燃化部标准, JB-1212-73, 圆泡帽, 1973.
- [4] 天津大学化机教研室: 标准圆形泡罩性能的测定, 天津大学学报, No. 23, 1, 1966.
- [5] 沈复等: V-1 型浮阀塔盘传质性能及其适宜区域研究, 北京石油学院化工教研室研究论文, 1965.
- [6] 盛若瑜、肖成基: 筛板塔的设计, 化工技术资料化工设计分册, No. 5, 1, 1964.
- [7] 盛若瑜: 穿流板塔的设计, 化工技术资料化工设计分册, No. 3, 16, 1966.
- [8] 化工部第一设计院化学工程组: 泡罩板的设计, 化工技术资料化工设计分册, No. 11, 1, 1964.
- [9] 化工部第一设计院化学工程组: 浮阀塔的设计, 化工技术资料化工设计分册, No. 7, 1, 1966.
- [10] 清华大学: 浮动喷射塔板的研究(1~4), 1966~67.
- [11] 化工石油设备零部件标准, JB-1118-68, F-1 型浮阀, 1969.
- [12] 于鸿寿: 大孔径筛板塔的流体力学计算, 化学工程, No. 5, 49, 1973.
- [13] <国内塔设备调查>及<塔设备设计参考资料>, 化工部化工设备设计技术中心站, 1971, 1.
- [14] <塔器>(上、下册), 兰州石油机械研究所等, 1973.
- [15] 石化部第六设计院化学工程组: 气液传质设备设计, 1973.
- [16] 北京化工研究院: 石油化工, No. 2, 181, 1976.
- [17] 兰州石油机械研究所: 浮动舌形塔板试验报告, 化学工程, No. 2~3, 102, 1973; No. 4, 38, 1974.
- [18] 清华大学: 斜孔塔板的研究, 化学工程, No. 1, 89, 1975.
- [19] 石油二厂: 化学工程, No. 4, 20, 1974.
- [20] 四川化工厂、成都工学院: 铜洗穿流塔试验改造资料, 1976, 3.
- [21] 浙江大学化工原理教研组: 化学工程, No. 3, 13, 1975.
- [22] 新型填料规格暂订标准, 化学工程, No. 5, 1976.
- [23] 兰州化工机械研究所: 化学工程, No. 4~5, 57, 1972.
- [24] 北京林学院: 化学工程, No. 2~3, 6, 1972.
- [25] 全国塔器经验交流会筹备组: 我国塔器技术的发展和现状。

第二章 斜 孔 塔 板

斜孔塔板是清华大学在总结各种塔板的优缺点基础上提出的一种新型塔板。塔板上同一排斜孔的孔口方向相同,相邻两排斜孔方向相反,交错排列,气体从斜孔喷出,并与液体方向垂直。于1973年8月在北京石油化工总厂东方红炼油厂首次工业试验成功,目前已推广到原油蒸馏、气体精馏、丁二烯分离、丙酮-水分离等系统,效果良好。实践证明,这种新型塔板具有如下特点:

① 雾沫夹带量小,允许较高的气体线速(或孔动能因数)。对于同一塔径,生产能力可比浮阀塔板提高30~40%;

② 阻力降比浮阀小,单板压降约3~4毫米汞柱;

③ 平均板效率不低于浮阀塔板;

④ 操作弹性在3左右;

⑤ 结构简单可靠,节省材料,比浮阀板省钢材30~40%。制作、安装、检修都较方便。

一、几种型式

目前根据生产情况的不同,已应用的斜孔塔板有三种类型:

1) 斜孔单溢流塔板:这种斜孔塔板为单流程塔板,适用于液流强度较小的塔。液流强度在5~25之间可选用此种型式。

$$i = \frac{L}{l} [\text{米}^3/\text{米} \cdot \text{时}]$$

式中 L ——为液量[米³/时]

l ——为堰长[米]

2) 斜孔多溢流塔板:液体负荷较大的塔,往往由于溢流强度太大,而造成液泛破坏

正常操作,为了使塔板能在较大的气液负荷下操作,吸取了多溢流管塔板的优点,研制成斜孔多溢流塔板。这种塔板溢流管位于塔板的中间,底部一块底板封住,只在两端开液体流出口。相临两层塔板的安装位置,溢流管交夹成90°,使上层塔板流下的液体流到下层塔板离溢流管量远的地方,保证液体均匀的流经整个塔板(液体流程约等于半径)。这种塔板可允许较大的液量,液流强度在40以上可选用此种塔板。

3) 边缘气密封斜孔塔板:在一些直径较小的塔中安装塔板很困难,而且有效面积小,为了使斜孔塔板在小塔中得到应用,根据塔板上液体受汽体作用而不漏液的原理,设计了这种塔板。塔板四周冲有与板面相同的斜孔,为了按装方便,用成串的方法装入塔内。这种塔板适用于直径800毫米以下的小塔。

三种塔板的孔型分为K型(开型)与B型(闭型),目前应用的有二种,在大塔使用的是孔宽20毫米,孔口高5毫米左右,在小塔使用的为孔宽7~10毫米,高2.5~4毫米,斜孔尺寸可根据具体情况变化。

二、实验研究

遵照毛主席《实践论》的教导,在各种冷模和热模实验装置上对斜孔塔板进行了反复的实验研究,有关实验装置的情况见表2-1。

实验的第一步,是先在小型冷模装置上观察斜孔塔板上气液两相的流动情况,对孔形和排列等进行了多次改进,使气液接触良好,初步确定了斜孔塔板的结构。第二步是小型热模实验,用酒精-水体系的精馏测定塔

表 2-1 斜孔塔板实验装置一览表

装置名称		塔径(毫米)	体系	实验内容	研究目的
小型冷模 小型热模 冷模放大		ϕ 150	空气-水	流体力学现象	确定孔型结构
		ϕ 150	酒精-水	分离效率	传质效果
		ϕ 600	空气-水	流体力学	放大状况
大型热模		ϕ 800	回收酒精 苯-甲苯 苯-乙苯	精馏效率	工业体系的板效率
对比实验	冷模	ϕ 600	空气-水-氧	流体力学 气解吸	与浮阀对比
	热模	ϕ 800	苯-甲苯 乙苯-苯乙烷	常压精馏 减压精馏	与浮阀对比

板效率。第三步是冷模放大实验,证明塔放大后气液接触情况没有明显的改变。第四步是大型热模试验,清华大学和兰化合成橡胶厂合作,用工业物料进行精馏试验,结果说明斜孔塔板不仅生产能力大,而且塔板效率高。为了证明实验结果的可靠,又在同一装置上进行了斜孔塔板和浮阀塔板的冷模和热模的对比实验。

1. 流体力学现象

通过大型热模实验,观察到斜孔塔板在气速较低时(空塔动能因子 $F = 0.5 \sim 0.8$),液体从部分孔口泄漏,但板上已建立液层,如同穿流筛板的操作。当气速提高($F = 1 \sim 1.2$),液体泄漏基本停止,气液呈鼓泡操作,泡沫高度在 100 毫米左右;当气速加大($F = 1.5$ 左右),气液开始呈鼓泡和喷射相混合的状态,液滴层低而均匀,没有浮阀塔板那种局部喷溅的现象,气液接触十分良好,这时塔板效率最高。当气速再增大($F = 2$ 以上)时,鼓泡层减少,液滴层高度增加,基本处于喷射状态。但是,由于气体分布比较均匀,没有气体局部集中以及液体摆动上冲等现象,所以液沫夹带量仍然不大,这些现象说明斜孔塔板有较大的操作弹性和较高的生产能力。

1) 阻力降:

斜孔塔板总的阻力降:

$$\Delta P_{\text{总}} = \Delta P_{\text{干}} + \Delta P_{\text{液层}} (\text{米液柱})$$

其中干板阻力 $\Delta P_{\text{干}}$ 与气体通过板孔的速度平方成正比:

$$\Delta P_{\text{干}} = \xi \frac{w_0^2}{2g} \cdot \frac{\gamma_g}{\gamma_L} (\text{米液柱})$$

其中: w_0 ——气体的孔速[米/秒]

γ_g ——气体重度[公斤/米³]

γ_L ——液体重度[公斤/米³]

g ——重力加速度 9.81 [米/秒²]

ξ ——阻力系数,实验得出 $\xi =$

2.1 左右。

液层阻力与塔板上清液层高度有关:

$$\Delta P_{\text{液层}} = C(h_w + h_{ow}) (\text{米液柱})$$

其中: h_w ——堰高[米]

h_{ow} ——堰上清液层高

$$h_{ow} = \frac{2.84}{1000} \left(\frac{L}{l_w} \right)^{\frac{2}{3}} [\text{米}]$$

L ——液流量[米³/时]

l_w ——堰长[米]

C ——充气系数,实验得 $C = 0.4 \sim 0.6$

斜孔塔板的干板阻力降比浮阀塔板低 40% 左右,这是斜孔通道比浮阀简单、动能损失较小的原因。斜孔多溢流塔板有较低的堰上清液层,所以液层阻力比浮阀和筛板等塔板低。

2) 液沫夹带量:

由于斜孔塔板气流从斜孔水平喷出,避免相互对冲,因此液沫夹带量比浮阀塔板低。例如当塔板间距 $H_T = 40$ 毫米,空塔气速 $w_{\text{空}} = 2$ 米/秒时,浮阀塔板的液沫夹带量为 6%,而斜孔塔板在相同条件下只有 1.5%。如果按液沫夹带量 $e = 10\%$ 来确定上限空塔气速,则斜孔塔板的上限空塔气速比浮阀塔板高 40% 左右。

2. 氧解吸的塔板效率

将氧气溶于水并用空气进行解吸,来测定氧解吸时的塔板效率,以比较各种塔板的冷模传质效果。各种塔板氧解吸的塔板效率经试验可以看出,在各种塔板中,以斜孔塔板效率最高。总的来说,斜孔塔板、浮阀塔板与大孔筛板等错流塔板,有出口堰,塔板上始终能保持一定液层,保证了气液的良好接触,因此塔板效率均比并流喷射型塔板(舌形和浮舌)要高。在斜孔、浮阀和筛孔塔板中,由于斜孔塔板具有交错排列的斜孔,造成气液的高度湍流,有利于传质,因此塔板效率较高。

3. 常减压精馏实验的结果

热模对比实验在 $\phi 800$ 毫米的试验塔中进行,共装四层塔板,板间距 $H_T = 300$ 毫米,采用全回流操作,进行了常压和减压精馏的对比实验。

1) 减压精馏的比较:

用乙苯-苯乙烯体系进行减压精馏,塔内压力按塔顶塔底平均计算,余压为 50~80 毫米汞柱,浓度用折光法分析,相对挥发度按文献所测蒸汽压计算,用 Fenske 方程计算平均板效率。

各种气体负荷下的塔板效率,根据实验结果为:斜孔塔板 $F = 0.6 \sim 1.9$ 时, $\eta = 70 \sim 80\%$ 。浮阀塔板 $F = 0.3 \sim 1.2$ 时, $\eta = 60 \sim 75\%$ 。因此,在乙苯-苯乙烯的减压精馏中,

斜孔塔板效率比浮阀塔板高 5~10%,气速上限高 50~60%。

2) 常压精馏的比较:

常压精馏以苯-甲苯体系为例,组成用色谱法分析,实验结果均按二组分计算。

常压精馏的操作情况,与冷模和减压基本上相同,差别是在常压精馏下,由于液体负荷增大,塔板上液层增高,在相同的板间距下,塔板允许的气体负荷稍有下降,特别是在高负荷下,塔板上液层有波动现象,增加了液沫夹带量,使效率有所下降。

实验结果:斜孔塔板 $F = 0.7 \sim 1.70$ 时, $\eta = 70 \sim 82\%$ 。浮阀塔板 $F = 0.5 \sim 1.15$ 时, $\eta = 70 \sim 82\%$ 。在低负荷时($F = 0.5 \sim 0.9$),浮阀塔板的板效率比斜孔塔板高。但在中等负荷($F = 1.0 \sim 1.5$)下,斜孔塔板比浮阀塔板高 5~10%,二者最高板效率都在 80% 左右时,但斜孔塔板允许负荷大。

4. 斜孔多溢流塔板的热模实验

斜孔多溢流塔板的热模实验也在 $\phi 800$ 毫米的塔中进行,共装四层塔板,板间距 $H_T = 200$ 毫米。并用苯-甲苯体系进行常压精馏实验。

由于斜孔多溢流塔板采用了多溢流管的溢流结构,加大了溢流周边,降低了溢流强度,减少了塔板上的液层高度,因而在板间距很低的情况下,液沫夹带量较小,所以,气速上限高板效率也较高,平均板效率在 70~80%。如果按史密斯(Smith)计算塔的生产能力的方法,考虑板间距对负荷的影响,对不同板间距下的允许负荷加以修正,折算成相同板间距下的允许负荷,与浮阀塔板、斜孔单溢流塔板的能力进行比较的结果见表 2-2。

从表 2-2 可以看出,斜孔多溢流塔板的生产能力最大,特别是在常压或加压精馏等液体负荷较大的情况下,采用斜孔多溢流塔板有明显的优越性。

表 2-2 几种塔板生产能力的比较

塔板型式	塔板间距(毫米)	塔板效率 $\eta(\%)$	最大负荷因子 ($F_{\text{最大}}$)	按 Smith 法折算成相同板间距的最大负荷因子 ($F_{\text{最大}}$)
V-1 型浮阀塔板	300	70~83	1.15	1.15
斜孔单溢流塔板	300	70~83	1.70	1.70
斜孔多溢流塔板	200	70~84	~1.90	~1.90

5. 斜孔多溢流边缘气密封塔板 流体力学试验

实验装置的流程如图 2-1 所示。塔身用有机玻璃做成,内径 150 毫米,其中放五块塔板,板间距为 100 毫米。塔板用 1 毫米的白铁板做成。该装置上每个斜孔的最小截面为

6.4×2.5 毫米,行距 t 10 毫米,间距 l 10 毫米,共 100 个孔,占总塔截面的 9.04%。边孔相当于半个斜孔,共 30 个,每孔最小截面为 3.5×2.5 毫米,占总塔截面的 1.48%。塔板的外直径为 $\phi 147$ 毫米,其与塔壁间的平均缝宽为 1.5 毫米,缝截面占总塔截面的 3.95%。二项共占总塔截面的 14.47%。其

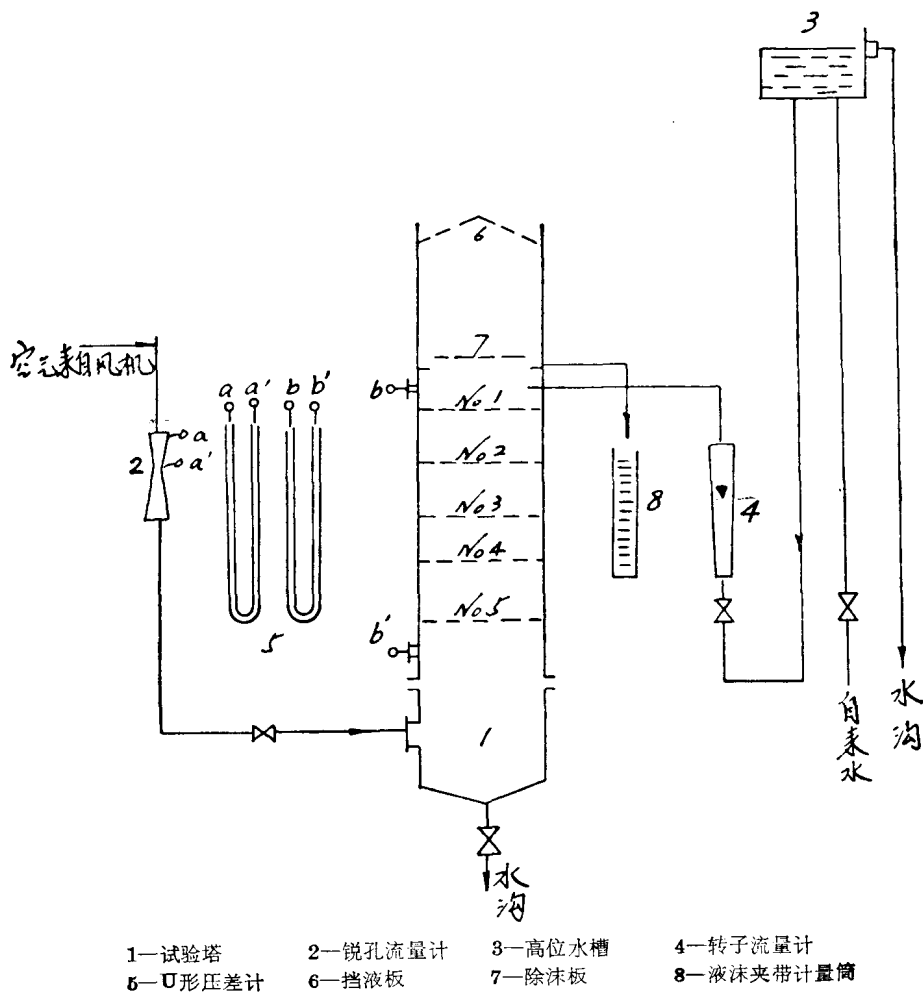


图 2-1 实验装置流程图

中后面两项,即边缘部分占相当大的比例。溢流管为长方形,放在塔的中央,其截面长 $B \times$ 宽 W 为 130×20 毫米,占总塔截面的14.7%,溢流管下端为平底。两端开小孔。溢流的液体通过小孔流出,小孔截面的大小以能保证液体的流量(即不致因孔太小而造成液泛)和形成可靠的液封为准设计,溢流堰高30毫米,相邻两层塔板安装时,溢流管相互交错 90° ,这样从上一层塔板的溢流管流出的液体进入离该层塔板溢流管最远的边缘区,在塔板上大约流经半径长的距离而进入溢流管。塔板边缘与塔壁间的缝宽因塔体不圆有的0.6~1.7毫米,有的1~2.0毫米,有一块为2.2~2.4毫米。

用空气-水体系进行实验,实验的操作范围为:液量40~300升/时,即 $2.26 \sim 17 \text{米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{时}$,空塔气速0.3~1.9米/秒。实验中观察了流体力学现象,测定了不同液量与气速下的塔板阻力降、液沫夹带和泡沫层高度(实际上有时操作状态为喷溅状态,此时的泡沫层是指气液接触的液层高)。

1) 气液流动现象:

在一定的液体流量下,变更空塔气速观察塔板上气液接触情况。空塔气速很小时,液体直接从斜孔及边缘下流,塔板上建立不起液层。当空塔气速增加到0.3米/秒左右,斜孔先开始不漏,之后随气速增加逐步建立起液层,这时出现鼓泡不均的现象,塔板上溢流管一侧鼓泡,一侧不鼓泡。这是由于塔板不水平,溢流管两侧液层高低不同以及液体分布不均匀等原因所引起。当空塔气速增到0.4米/秒,这种现象消失,而开始全塔板均匀的鼓泡;气速再增加,塔板与塔壁间的缝隙中泄漏逐渐减少,根据缝隙的大小,分别当空塔气速达0.7~1[米/秒]时停止泄漏。根据观察缝隙宽为1~2毫米的塔板漏得最少,约在空塔气速达0.7米/秒(平均孔速4.83米/秒时停止泄漏,缝宽为0.6~1.7毫米的次之,缝宽为2.2~2.4毫米的漏得最多,约在

1米/秒时(平均孔速6.8米/秒)才基本停止泄漏,局部地区由于塔体圆度不好,始终存在一些泄漏。

当气速小时,气体从斜孔水平吹出,不多远就呈喇叭形气泡向上升;气速增加,气体从斜孔吹出时水平行程增长,以后随气速增加,形成蜂窝状鼓泡操作,泡沫层高度比较均匀,空塔气速再高就形成喷溅状态。这种操作状态的不同反映在泡沫层高度上,就是当空塔气速高到一定程度后泡沫层的高度降低。这种现象当液量大时,特别是喷淋密度大到 $14.1 \text{米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{时}$ 时就十分明显。例如 L 为 $17 \text{米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{时}$,空塔气速为0.45米/秒左右时,蜂窝状泡沫层高达70毫米,几乎要碰到上一块塔板。而当空塔气速高到1.1米/秒时,泡沫层高度降低到40毫米。当液量较小时,几乎看不到典型的蜂窝状泡沫状态,此时的泡沫层高度较低(保持在40毫米左右),而且随空塔气速的变化几乎没有什么变化。

泡沫层高度随液量的增加而增高,液量在 $2.26 \sim 11.3 \text{米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{时}$ 之间时,泡沫层高度在40~50毫米之间,液沫夹带量不大,可以正常操作。

由于塔板边缘开了斜孔,靠近塔壁的液体作圆周运动,尤其是空塔气速较高时(1.3~1.4米/秒左右),塔壁处液体圆周运动的速度加大,塔板上液体搅动比较厉害,实际上处于完全混合的状态。

2) 塔板阻力降:

干板阻力降可用下式计算:

$$\Delta P_T = \xi \frac{\gamma_v w_0^2}{2g} [\text{毫米水柱}]$$

式中:

ΔP_T ——干板阻力降[毫米水柱]

γ_v ——气体的重度[公斤/米³]

w_0 ——气体的孔速[米/秒]

ξ ——阻力系数

w_0 按开孔率为14.47%计算,可得阻力系数为2.7。实验中观察到边缝的阻力比斜

孔的阻力大,表现在塔板中部斜孔,当空塔气速达 0.4~0.5 米/秒左右已停止泄漏,而进入正常操作时,塔壁与塔板间的缝隙中气体还走得很少,漏液较多。所以对于斜孔,其阻力系数应比 2.7 小,而数值 2.7 是斜孔与边缘的平均阻力系数。

不同液量下的压力降曲线与筛板塔类似为一折线。在空塔气速为 0.8~0.9 米/秒处有一转折点。根据阻力降曲线可以算出液层阻力,在空塔气速低于 1 米/秒以下时,液层阻力几乎不随气速而变,气速再高,液层阻力略有增加。液体流量对液层阻力有显著影响,液量大,液层阻力大,其影响超过液量大清液层增高的影响。在实验范围内,液层阻力为清液层高的 40~60%,即

$$h_L = 0.4 \sim 0.6 (h_w + h_{ow}) \frac{\gamma_L}{\gamma_w} \text{ [毫米水柱]}$$

式中 h_L ——液层阻力 [毫米水柱]

h_w ——堰高 [毫米]

h_{ow} ——堰上液层高 [毫米] 按 (5) 计算

γ_L, γ_w ——操作液体和水的重度 [公斤/米³]

3) 液沫夹带:

由于采用斜孔,较长的溢流堰和较低的溢流堰高,所以泡沫层高度小,液沫夹带少,因而在板间距仅为 100 毫米的条件下仍能允许比较高的空塔气速。若以液沫夹带 10% 作为气速上限,则不同液体喷淋密度下空塔气速上限列于表 2-3。

表 2-3 空塔气速上限值

液体喷淋密度 L (米 ³ /米 ² ·时)	空塔气速上限 $w_{\text{空}}$ (米/秒)	气体动能因子 $F = w_{\text{空}} \sqrt{\gamma}$
2.26	1.8	1.98
3.95	1.83	2.01
5.64	1.74	1.91
8.45	1.53	1.68
11.3	1.45	1.55
17.0	1.23	1.35

由表可见,随着液量增大,空塔气速上限降低。

实验表明,在固定的液量下,液沫夹带大致随空塔气速的 2.83 次方成正比。液体喷淋密度大,液沫夹带量大。当液体喷淋密度大于 11.3 米³/米²·时,由于在低气速时出现明显的蜂窝状泡沫层,泡沫层较高,所以液沫夹带量大,随着空塔气速增加,液层逐渐由蜂窝状转变成溅液状,液层降低,液沫夹带减少。到一定程度后,空塔气速再进一步提高,则液沫夹带又随空塔气速增大而很快增加,例如对于喷淋密度为 17 米³/米²·时的情况,当空塔气速仅为 0.443 米/秒时,液沫夹带竟高达 14.4%。随空塔气速增大,液沫夹带减少,当空塔气速为 0.85 米/秒时,液沫夹带减少到 6.6%,以后液沫夹带又随空塔气速增加而增大。液体喷淋量愈大,这种情况就越显著,当喷淋密度为 19.7 米³/米²·时时,液沫夹带的最小值仍高达 12.7% (相应的空塔气速为 1.06 米/秒),不能正常操作。

4) 操作范围:

在实验范围内,空塔气速上限均为液沫夹带达到 10% 所决定。空塔气速下限则有两种情况。当喷淋量较小时 (<11.3 米³/米²·时),由液体的泄漏决定 (此处以边缝基本不漏为标准,若以斜孔不漏为准,则下限可低得多)。当喷淋量大于 13 米³/米²·时左右时,由于低气速时出现较高的蜂窝状泡沫层,液沫夹带很严重,因而气速下限也是由液沫夹带决定的。根据实验结果,可以得到图 2-2 所示的操作范围图。一般精馏操作均在这样的液量范围以内,因此这种结构的塔板能够在生产上广泛应用。

三、工业试验情况

1. 在北京石油化工总厂东炼厂脱戊烷塔工业试验情况

1973 年 8 月在北京石油化工总厂东方红炼油厂催化裂化车间,将原脱戊烷塔进行了改装,第一次进行了斜孔塔板的工业试验,