

文章编号: 1005-2895(2005)04-0134-05

旋转刮膜式分子蒸馏器

卓 震, 巢建伟, 许进文, 张 晶

(江苏工业学院机械工程系, 江苏常州213016)

摘 要: 分子蒸馏器是分子蒸馏装置的主体设备。本文就分子蒸馏技术的原理与特点、旋转刮膜式分子蒸馏器的结构设计技术、工艺操作要点及其工业化应用等领域进行了探讨。

关 键 词: 分子蒸馏; 平均分子运动自由程; 旋转刮膜; 结构设计; 工业化应用

中图分类号: TQ051.8 文献标识码: A

1 前 言

分子蒸馏技术是一种新型的、非平衡的、特殊的液-液分离技术。自20世纪20年代问世以来,随着人们对真空状态下气体运动理论的深入研究,正在飞速发展。到目前为止,分子蒸馏技术已广泛应用于石油化工、精细化工、食品工业、医药保健等行业的物质分离和提纯,尤其是高分子量、高沸点、高粘度的物质及热稳定性的有机化合物的浓缩和纯化。分子蒸馏器是分子蒸馏技术的关键设备。研究和开发分子蒸馏器已成为人们兴趣的中心,本文就其技术原理、结构设计、操作要点和工业化应用进行介绍。

2 分子蒸馏技术的技术原理

传统的液体混合物的分离,一般都是利用物质系

统的沸点差,通过蒸馏或精馏来实现的,其气液始终处于平衡状态。而分子蒸馏技术却不同于传统的常规蒸馏,它是依靠不同物质分子运动平均自由程的差别,实现物质的分离。

所谓分子运动平均自由程是指在某一时间间隔内分子自由程的平均值;而分子运动自由程则是一个分子在相邻2次分子碰撞之间所经过的路程。根据热力学原理,分子运动平均自由程可用下式表达

$$L = \frac{K}{2\pi d^2 P} T \quad (1)$$

式中: K - 波尔兹曼常数;

P - 分子运动所处的空间压力;

T - 分子运动所处的空间温度;

收稿日期: 2005-07-13

作者简介: 卓 震(1940-),男,福建莆田人,1962年毕业于天津大学化工设备与机械专业,教授,主要从事过程装备与工程控制的教学、研究、设计,主持并获得4项省部级课题及奖项,研究方向为超细粉体的气流粉碎、分级、混合与输送,制药工程设备与机械的研究开发,主编和参编7部教材、专著,发表论文100余篇。

Neural Networks- IJCNN 101 [C], Washington, DC USA, 2001.

[5] Toshihisa Kosaka, Sigeru Omatu. Bill M Money Classification by

Competitive Learning[A]. 1999 IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Methods in Industrial Applications. SMCia/99[C]. Kuusamo Finland, 1999.

System Design of Currency Sorter

LUO Hao-fei, PAN Shuang-xia

(Mechanical Design Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aimed at the deficiency of the existent currency sorters, such as unefficient performance and unsatisfied result, the parallel system architecture is proposed in this paper, which based on the advanced chip DSC25 (ARM/DSP dual kernel chip) to complete the digital image scanning and processing. The parallel processing arithmetic that can improve the whole performance and the image processing arithmetic are researched and verified on the practical sorting system.

Key words: image processing; currency sorter; system design

d — 分子有效直径。

由式(1)可以看出,压力、温度及分子有效直径是影响分子运动平均自由程的3个主要因素。当压力一定时,特定物质的分子运动平均自由程随空间温度增加而增大;当温度一定时,平均自由程 L 与空间压力 P 成反比,真空度越高(空间压力越小) L 越大,分子之间碰撞几率越小;当然,即使物系空间的压力和温度相同,系统中不同的物质由于分子有效直径不同,其分子平均自由程也必然存在差异。分子蒸馏的分离作用正是依据分子平均自由程不同这一性质来实现的。

图1所示为分子蒸馏分离原理示意。

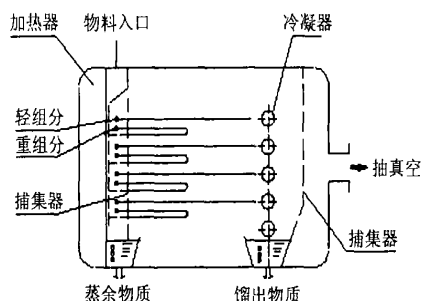


图1 分子蒸馏原理示意图

当液体混合物沿加热器表面自上向下流动时,被加热后分子运动加剧,部分能量足够的分子就从液面逸出成为气相分子。物系中轻分子的平均自由程大,重分子的平均自由程小。此时,若在离开加热面一定距离处设置一冷凝器,要求其冷凝面与加热面的距离恰好小于轻分子的分子运动平均自由程,而大于重分子的分子运动平均自由程,则气相中的轻分子就能到达冷凝面,且不断被冷凝,从而破坏了物系中的动态平衡,而使混合液中的轻分子不断逸出;但是气相中重分子却不能到达冷凝面,并很快与液相中重分子趋于动态平衡,表观上重分子不再从加热面逸出,据此,液体混合物便在这个设备内实现了轻重物质分离的目的。归纳起来,分子蒸馏过程依次按以下4个步骤进行:

(1) 物料分子从液相主体向蒸发表面扩散。在这里液相中的扩散速度是控制分子蒸馏速度的主要因素;

(2) 物料分子在液层上自由蒸发。其蒸发速度随温度升高而增大,但分离因素却随温度升高而降低;

(3) 分子从蒸发面向冷凝面飞射。在飞射过程中可能与残存的空气分子碰撞,也有可能相互碰撞,但是,只要真空度合适,使蒸发分子的平均自由程大于或等于蒸发面与冷凝面之间的距离即可,过分提高真空度在工程上是毫无必要的;

(4) 轻分子在冷凝面上冷凝。如果冷凝面的形状合理而且光滑并且得以迅速转移,则可以认为冷凝是瞬间完成的。

分子蒸馏器主要有3种型式:自由降膜式由于蒸发强度低而逐渐被淘汰,机械离心式则由于结构复杂仅仅在特定场合应用;旋转刮膜式分子蒸馏设备目前正在众多领域中被开发研制。

3 分子蒸馏技术的特点

由分子蒸馏的基本原理可以看出,分子蒸馏是一种区别于常规蒸馏的非平衡状态下的特殊蒸馏。与常规蒸馏相比,分子蒸馏有如下无法比拟的特点:

(1) 操作温度低,可大大节省能耗。

常规蒸馏是依靠物料混合物中不同物质的沸点差进行分离的。而分子蒸馏是靠不同物质的分子运动平均自由程的差别来进行分离,并不要求物料一定要达到沸腾状态,只要分子一旦从液相中挥发逸出,就可以实现分离。正因为分子蒸馏是在远离沸点下进行操作,因此产品的能耗小。

(2) 蒸馏压强低,要求在高真空度下操作。

由式(1)可知,分子运动平均自由程与系统压力成反比,只有加大真空度,才能获得足够大的平均自由程。研究指出,分子蒸馏的真空度高达 $0.1 \sim 100 \text{ Pa}$ 。

(3) 受热时间短,降低热敏性物质的热损伤。

由于分子蒸馏是利用不同物质分子运动平均自由程的差别而实现分离的,其基本要求是加热面与冷凝面的距离必须小于轻分子的运动平均自由程,这个距离通常很小,因此轻分子由液面逸出后几乎未发生碰撞即射向冷凝面,所以受热时间极短。研究测定指出,分子蒸馏受热时间仅为几 s 或几十 s ,从而在很大程度上避免了物质的分解或聚合。

(4) 分离程度及产品收率高,尤适合于特定蒸馏。

分子蒸馏的挥发度可以用下式表示

$$\alpha_r = \frac{p_1}{p_2} \frac{M_2}{M_1} \quad (2)$$

式中: M_1 —— 轻分子相对分子质量;

M_2 —— 重分子相对分子质量;

p_1 —— 轻分子饱和蒸气压 / Pa ;

p_2 —— 重分子饱和蒸气压 / Pa ;

α —— 相对挥发度。

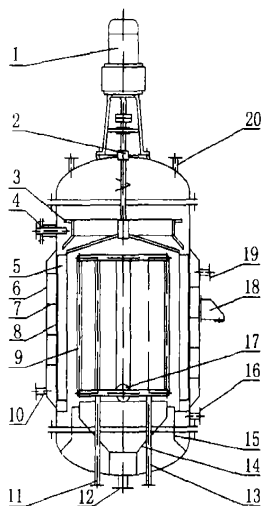
但是,常规蒸馏的相对挥发度为:

$$\alpha = \frac{p_1}{p_2} \quad (3)$$

对比式(2)与式(3)可以看出,由于 M_2 大于 M_1 ,因此分子蒸馏的相对挥发度大于常规蒸馏的相对挥发度,则就从理论上证明了分子蒸馏比常规蒸馏更容易实现物质的分离。同时,分子蒸馏由于处于非平衡状态下操作和内部结构特点,使得分离效率远高于常规蒸馏,从而使产品的收率大大提高,生产成本大为降低。

4 旋转刮膜式分子蒸馏器结构设计要点

旋转刮膜式分子蒸馏设备的结构示意图如图2所示。



1- 驱动装置 2- 密封装置 3- 液体分布器 4- 进料管 5- 刮膜机构 6- 加热夹套 7- 导流板 8- 设备筒体 9- 冷凝装置 10- 加热介质接管 11- 冷却水出口 12- 蒸出液出口 13- 冷却水入口 14- 蒸出液收集 15- 蒸余液收集 16- 蒸余液收集 17- 真空接口 18- 支座 19- 加热介质入口 20- 工艺仪表接口

图2 旋转刮膜式分子蒸馏设备示意图

4.1 筒体设计

分子蒸馏设备筒体的长径比 L/D 通常应该根据物料性质与分离要求控制在3~6范围内,但是最后还要通过结构设计予以调整,即通过加热器与冷凝器的结构尺寸来决定。筒体必须控制圆度与表面粗糙度,以适应刮板运动和成膜的需要。夹套的长度与分段则根据提供能源的途径、内部冷凝器结构以及刮板具体尺寸等参数来确定。如图2所示,当能源为导热油时,夹套内部可以考虑设置导流板,以强化加热器的蒸发传热过程。筒体与上下封头组成密闭空腔。连接处必须采用可靠的密封结构,以满足分子蒸馏过程要求的极高真空度的严格要求。此外,还要根据结构需要,在筒体上开设必要的工艺仪表接口、冷却水进出口和蒸出液、蒸余液出口管等。

4.2 传动与密封设计

旋转刮膜式分子蒸馏设备的传动设计尤其重要,其要点是:根据物料性质、刮板型式与转速,计算出传动装置的装机功率;根据物料性质与防爆要求选定电机类型;根据旋转刮板要求的转速与功率大小选定减速机;根据转轴受力条件选择支架型式;根据转轴尺寸、考虑加工、安装、检修决定是否设置中轴承和底轴承。

为了保证分子蒸馏器在极高真空度下工作的要求,通常选用双端面机械密封结构。在特定条件下甚至考虑磁流体密封结构。

如果系统有特殊要求时,也可以考虑磁力驱动设计,此时,转轴处的动密封就转变为静密封,这将更好地保证极高真空度的要求。

4.3 真空系统设计

分子蒸馏系统一般要求操作压力为0.1~1.33Pa以下,其要求非常高,为此,设计真空系统时必须注意:

(1) 设置原料液除气器,以便除去被设备内部吸附的空气或挥发性不凝成分。除气器应根据系统具体要求,可设计为多种形式:壁面反射式、层板式、喷射式、填料式、降膜式等;也有采用刮板薄膜蒸发器作为原料液除气器的。

(2) 采用真空泵组,即用油扩散泵和机械式刮板真空泵串联,以便获取系统的高真空度。

(3) 设置冷阱。为提高极高真空系统的效率,必须在真空泵前设置冷阱,根据需要,有时还要设置二级冷阱。

4.4 冷凝器设计

冷凝器是分子蒸馏器的重要部件,冷凝器与蒸发器之间的距离非常重要,设计前应进行计算,一般可以控制在20cm之内;当要求很高时,可以控制在5cm之内。但是,其间的距离往往受到刮板机构造型的限制,因此,刮板结构设计要求轻巧、灵活、具备足够的强度和刚度,在实现刮板机构最小尺寸的前提下,要尽可能缩短冷凝器与蒸发器之间的距离。

冷凝器的造型要求是:必须有足够的冷凝面积、便于凝液的流动与排送、冷却液体进出口管要不妨碍运动内件的动作、要设置可靠的冷凝器支撑等。

如图2所示,冷凝器上下部为环形管,上下环管之间布置众多的垂直冷凝管,便于冷凝液向下流动至蒸出液收集槽。冷却管穿过下封头,其进口管与下环管连接,出口管与上环管接合,这样才能保证冷却液满流,并与冷凝液呈逆流操作。

4.5 刮膜装置及其支撑设计

(1) 刮膜装置

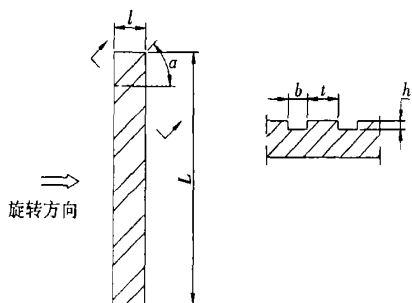


图3 刮板结构与尺寸

分子蒸馏设备的刮板一般设计成活动的形式,它借助于旋转轴所产生的刮板块离心力,使刮板紧贴于筒体内壁,因而在内壁上形成薄而均匀的液膜,从而大大减少了液膜的传热、传质阻力,提高蒸发速率和分离效率。而对于筒体主要的要求是筒体圆度和表面粗糙度。刮板的形式很多,其选型是分子蒸馏器设计的关键问题之一。根据物料性能不同,特别是粘度的差别,刮板要设计成不同形式,这方面可以参考刮板薄膜蒸发器进行设计。最为常用的刮板形式为 Smith 式,其结构特征是:刮板开设一定数量的斜槽。设计时要根据刮板数量、处理液量和转速开设足够的槽口宽度与间距。根据物料特性,刮板材料可以选择聚四氟乙烯、层压板、石墨等。刮板末端的圆周线速度一般控制在 $1.5 \sim 5\text{m/s}$,具体确定的线速度必须保证处理液体不因转速过慢而发生“逃液”和不因转速过快出现“干壁”。刮板的旋转方向必须与刮板开设的斜槽方向相适应,即应该使料液产生向下的螺旋运动;如果反方向,则料液向上,液膜增厚,破坏流场,效果全无。

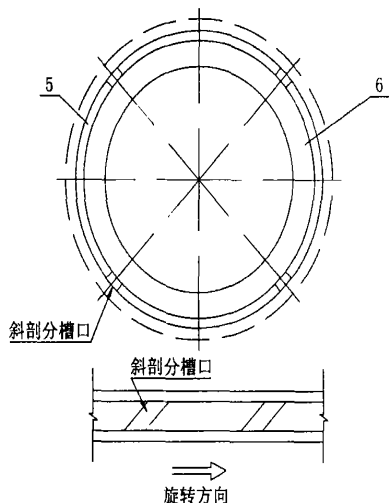
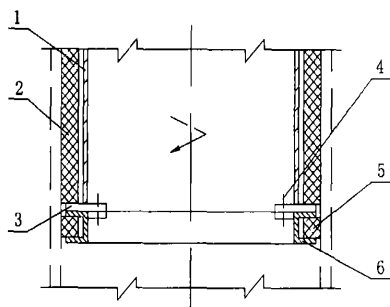
刮板结构与尺寸见图3。

(2) 刮板支撑

刮板支撑设计包括2个问题:刮板本身的支撑和刮膜装置悬臂端的支撑技术。活动刮板通常支撑在一面敞开的刮板盒内,以便在旋转离心力作用下,刮板滑出并紧贴筒体内壁。刮板盒的下端板用以停车时支撑刮板,刮板盒的上端板起着防止刮板工作时脱出的作用,以抵消刮板斜槽在向下刮送料液时产生的向上作用力。

由于内部冷凝器的阻挡,导致刮膜装置下端存在悬臂问题,如图2所示。为了改善悬臂刮膜装置的旋转刚度,在此处可采用“浮动圆环支撑机构”,如图4所示。这是一个连接刮板盒的圆形环槽,内设离心力作用下可以张开的、开设斜槽的剖分环。

4.6 除沫装置设计



1- 刮板盒 2- 刮板 3- 刮板盒底板 4- 紧固件
5- 浮动剖分环 6- 圆形环槽

图4 浮动圆环支撑机构

分子蒸馏设备是在极高真空度下工作的。如前所述,蒸发面上料液分子是以喷射的方式飞向冷凝器表面的,这种高速运动往往夹带大量液滴,从而严重影响分离效率和分离精度。为此,在蒸发面和冷凝面之间的环形空间上应该设置“环式除沫器”,用以提高分子蒸馏设备的高纯物质分离质量。

5 工艺操作要点

分子蒸馏装置主要由分子蒸馏器、真空泵组、原料液脱气器、压力-温度-流量控制仪等4部分组成,因此,工艺操作要点就是对压力、温度、流量和分子蒸馏器的转速进行控制。但是,至今为止,用以揭示分子蒸馏技术中的数学模型尚未完善建立,因此,至今实际的工业应用仍依赖于放大实验和实践经验。归纳起来,其工艺操作要点主要有以下诸点:

(1) 工作压力 分子蒸馏系统压力直接影响物质平均分子运动自由程,只要使蒸发分子的平均自由程大于或等于蒸发面与冷凝面之间的距离即可。真空度

的获得实际上与原料液脱气器、真空泵、管道和密封结构相关,因此,过分提高真空度在工程上是毫无必要的。

(2) 加热温度 蒸发面的加热温度过高,将导致原料液中重组分被蒸出的比例增加,容易堵塞蒸发面而影响刮板的正常操作,增添设备的清洗费用。

(3) 进料温度 进料温度过低,则必然有部分加热面被用于预热物料,增加宝贵空间内的蒸发加热面积,这将增加系统能耗。

(4) 进料速度 如果进料过快,那么部分原料液未被充分蒸发加热就进入残液收集器中,影响分离工作的进行;如果进料过慢,则物料中重组分进入冷凝面的比例增加,这2种情况都将严重影响分子蒸馏的精度。

(5) 旋转速度 刮板旋转速度太快,必将使得液膜厚度过薄,直接影响蒸发速率,即设备的产率。旋转速度过快,还会导致部分原料液未经蒸发就被刮板甩到冷凝面上,从而导致分离效率降低。

6 分子蒸馏技术的应用

分子蒸馏技术的应用十分广阔,尽管目前由于技术自身存在一定难度尚未得以广泛应用,但是到目前为止,仍然已经在许多领域得到日益增多的开发和应用。

(1) 在食品工业方面有:单脂肪酸甘油酯的分离提纯,芳香油精制,天然色素的提取和微量溶剂的脱除,辣椒红色素的制取,天然抗氧化剂的生产,鱼油精制,高碳脂肪酸的分离和纯化,毛油脱游离脂肪酸,食品中胆固醇的脱除,单丹桂酸甘油酯制备等。

(2) 在医药工业方面有:脱除中药中残留的农药、有害金属和化学残留物,脱溶剂,脱色,天然维生素E提取,维生素K1提纯,维生素A提取,L-乳酸及其聚合物制备,柠檬醛纯化,中碳链脂肪酸甘三酯精制,大豆油提取生育酚等。

(3) 在石油化工方面有:碳氢化合物分离,渣油及其类似物质的分离,表面活性剂提纯,化工中间体的精制,高粘度润滑油制取,真空泵油,制动液,废油回收,沥青脱蜡,聚氨酯制品生产等。

(4) 在塑料工业方面有:增塑剂提纯,高分子物质脱臭,环氧树脂、丙烯酸酯、异氰物质精制等。

(5) 香料工业方面有:天然香精油脱臭、脱色和提纯,烷基多甘制取等。

此外,在涂料工业、化妆品工业、农业和核工业等方面也有很多应用。

参考文献:

- [1] 杨村,于宏奇,冯武文.分子蒸馏技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 冯武文.1种新型的分离技术[J].化工生产与技术,2000,7(4):6-9.
- [3] 喻健良,等.分子蒸馏技术的发展及研究现状[J].化学工程,2001,29(5):70-74.
- [4] 化学工程手册(第三卷,11.13-分子蒸馏)[M].北京:化学工业出版社,1989.
- [5] Fauser, et al. Method and apparatus for short-path distillation [P]. 美国专利:US 4517057, 1985-3-14.
- [6] Nuns, et al. Molecular distillation apparatus having induction- [P]. 美国专利:US 4053006, 1997-8-2.
- [7] Muraldihara. Removal of pesticides from citrus peel oil [P]. 美国专利:US 5558893, 1996-12-24.
- [8] Jural Lutisan, Jan Cvengros. Mean free path molecules on molecular distillation [J]. The Chemical Engineering Journal, 1995, 56: 39-40
- [9] Jural Lutisan, Jan Cvengros. Effect of inert gas pressure on the molecular distillation process [J]. Separation Science and Technology, 1995, 30(17): 3375-3377.
- [10] Jan Cvengros, Stifan Pollok, Miroslav Micov, Jural Lutisan. Film wiping in the molecular evaporator [J]. Chemical Engineering Journal, 2001, 81: 9-14.

Rotating Scraped Film Type Molecular Distiller

ZHUO Zhen, CHAO Jian-wei, XU Jin-wen, ZHANG Jing

(Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The molecule distiller is the subject equipment of the molecule distillation device. This paper has probed into the technological principle and characteristics of molecule distillation.

Key words: molecular distillation; average free path of molecular movement; rotating scraped film; structure design; industrialized application

找检测仪器请上 www.QCTester.com

联系人: 石众旋

电话: 010-64385345