

开发导向

精馏技术在节能减排中的应用

——“第二届全国精馏技术交流与展示大会”分析总结

杨瑞影, 罗亚敏

(中国化工信息中心, 北京 100029)

精馏广泛应用于石油炼制、化工生产、制药等行业, 在大规模的工业生产中已有相当的工程设计经验及理论进展。在实验研究领域, 为了实现分离特定物系, 达到高纯分离、降低能耗和减少环境污染等目标, 不断涌现出反应精馏、共沸精馏、萃取精馏等新技术与新工艺, 以及与之相匹配的传质设备, 发展了一系列精馏硬件、软件新技术, 在精馏新设计方法和控制手段的应用、大型精馏设备技术、精馏操作新方法、新型高效填料和塔内件、精馏系统热集成及耦合等诸多技术领域实现了新的突破, 为企业的技术进步和我国经济发展做出了重要贡献。

由中国化工信息中心主办、《现代化工》编辑部承办的“第二届全国精馏技术交流与展示大会”于2009年6月9—12日在北京隆重开幕。本次大会主题为: 复合技术推动精馏技术发展, 节能减排保障绿色生产, 近200名来自于全国各地的专家和代表光临本次大会。来自天津大学精馏技术国家工程研究中心等单位的近20名专家做了大会主题报告。这些报告, 从复合精馏技术及节能减排的角度出发, 围绕反应与蒸馏集成技术、基于精馏的技术集成实现制药溶媒回收、萃取精馏技术分离混合芳烃、新型塔板及填料、新一代计算机辅助分子设计软件、精馏过程大型化与节能等方面, 介绍了精馏集成技术、新型塔板及填料在石化、化工、制药、煤焦化、空分等领域节能减排中的应用进展, 反映了当前热点和重点。

1 在石化行业中的应用

原油常减压蒸馏是整个石油加工过程的龙头, 决定整个石油加工过程的物料平衡。该流程工艺成熟, 但能耗高, 其原因是不可逆加热和冷却。即: 将原油加热到很高的温度进行气化, 然后在不同温度下冷却, 获得相关产品, 其中常压炉和减压炉是常减压蒸馏装置的主要能量消耗设备。

天津大学精馏技术国家工程研究中心主任李鑫钢教授结合工程实例, 介绍了3种精馏过程节能技术: 梯级蒸馏技术、吸收稳定流程重构技术及压差热耦合精馏技术, 并指出了吸收稳定系统目前存在的问题及相应的解决方案。河北工业大学化学工程研究所所长李春利教授对大连石化公司常压塔进行扩改, 塔径 $\Phi 4\ 200\ \text{mm}$, 更换CTST塔板后, 将原油处理能力从280万 t/a 提高到450万 t/a , 实际生产已达到550万 t/a 的处理能力。中国石油华北分公司催化裂化装置中包含催化分馏塔($\Phi 4\ 200\ \text{mm}$)31层塔盘、吸收塔($\Phi 2\ 200\ \text{mm}$)30层塔盘、解吸塔($\Phi 2\ 800\ \text{mm}$)30层塔盘、再吸收塔($\Phi 1\ 400\ \text{mm}$)30层塔盘和汽提塔($\Phi 1\ 400\ \text{mm}$)4层塔盘。原设计加工能力100万 t/a , 采用其研制、开发的CTST立体传质塔板系列(大气量

塔板、大液量塔板和高负荷塔板), 在原塔外壳、塔板数、板间距、降液管及塔板支撑件均不变的条件下, 对各塔进行了扩产改造, 现产能扩产到160万 t/a 。

浙江工业大学化学工程与材料学院姚克俭教授介绍了其所在课题组开发的组合分离技术, 即在复杂精馏过程中引入集成技术以提高用能水平, 改善以经验确定流程的现状, 研究开发了节约型组合分离技术。该技术包括改进的复杂精馏系统热集成技术和与之匹配的开发高效、大通量、抗堵型免维护分离设备2个主要部分。改进的精馏系统热集成技术是在传统夹点分析法基础上, 针对高能耗的冷凝器、再沸器不能统一考虑的问题, 提出了扩展总复合曲线。采用改进的扩展总复合曲线法, 重构精馏流程并优化操作条件, 以期实现塔间的热集成, 提高精馏系统的整体用能水平, 减少蒸汽和冷却水的消耗量, 从而大幅度降低资源的消耗和废物的排放。对于精馏塔能位和操作条件调整后引起的分离要求增加、物料聚合结焦堵塞和通量变大等问题, 则研究开发了新型固定阀(DJ-5)塔板和开式溢流堰等解决方法。目前该组合分离技术已成功应用于中国石化广州分公司、中国石化武汉分公司、中国石化上海石化公司等多家石化企业, 均获得了满意效果。

2 在化工领域中的应用

在有机化工中间体的生产中, 许多反应属于连串、可逆反应, 由于原料转化率低和目标产物选择性低, 导致生产成本和能耗高、环境污染严重等问题, 单位产品的废弃物排放量和能耗比基础大宗化学品大几倍甚至几十倍。采用反应蒸馏耦合技术对反应过程进行强化, 可以提高原料转化率和目标产物选择性, 充分利用反应热, 同时提高设备集成度、节省投资, 是实现清洁生产和节能减排的重要途径之一。

南京工业大学乔旭教授领导的课题组历时10余年的研究, 按照集成创新的理念, 在耦合过程的空间、尺度、形式和工况等4个方面进行创新, 发明了常压反应-减压蒸馏、低温反应-常压蒸馏、高温反应-(过冷回流)蒸馏等不同工况的反应与蒸馏集成技术, 构建了集成过程的优化理论和方法, 实现反应能力和分离能力的最优匹配, 使得反应-分离集成过程在最优条件下进行, 以达到最大的节能效果。将上述技术应用于(氯代)甲苯、环己烷、乙酸等光氯化生产一系列化工中间体中, 不仅反应转化率、选择性大幅度提高, 而且热源温度和能耗明显下降, 生产成本降低10%~20%。此外还发明了苯胺高温缩合反应-(过冷回流)蒸馏脱氨集成生产二苯胺和产品提纯技术, 苯胺转化率从20%~23%提高到25%~30%, 分离能耗降低7%~10%。

李鑫钢教授以醋酸甲酯水解为例,比较了反应精馏技术与传统的固定床水解反应/分离工艺在酯类水解领域的应用效果。李春利教授也将其自行开发的立体反应精馏塔板用作醋酸甲酯水解催化反应精馏塔。立体反应精馏塔板是一种新型塔板,其特点是在每一层塔板上,反应和精馏过程同时连续进行,在同样的能量消耗下,得到较高的甲酯水解率。以贵州水晶化工有限公司为例,原醋酸甲酯水解工艺为阳离子交换树脂催化的固定床反应器水解工艺,醋酸价值的单程转化率只有25%左右,能耗很高。采用CTST反应精馏塔板后,新建塔径 Φ 2 200 mm,进料量8 m³/h,分解率控制在70%~80%,蒸汽消耗降低了3.5 t。

姚克俭教授将其课题组开发的组合分离技术应用于环己酮精馏系统中,可明显降低系统的能耗,提高能量利用率。北京化工大学化学工程学院李群生教授介绍了高效导向筛板技术,指出高效导向筛板的几大优势;简述了以计算机模拟为基础的新型精馏技术及BH型高效填料在聚乙烯醇生产、酒精精馏、甲醇精馏等化工行业中的大规模应用及其达到的节能减排效果。浙江工业大学化学与材料学院计建炳教授介绍了其课题组开发的折流式超重力床及其在乙醇/水、甲醇/水、DMSO/水、乙腈/水物系连续精馏过程中的成功应用情况。

南京师范大学南京市萃取分离工程研究中心顾正桂教授介绍了C₉、C₁₀芳烃开发利用现状、开发研究方案及深加工关键设备。针对C₉芳烃,该课题组采用多股连续侧线出料和萃取精馏相结合的方法提取三甲苯馏分,不仅分离效率高,且分离过程的能耗大大降低;针对C₁₀芳烃,探索了连续多股侧线精馏实验方案、连续多级结晶实验方案。指出在C₉、C₁₀芳烃深加工过程中,关键设备有连续多股侧线出料精馏装置、连续萃取精馏装置、连续多级结晶装置及连续滚筒喷淋结晶器。

3 在药厂废水治理中的应用

药厂废水是工业废水的主要种类之一,排放量巨大。药厂废水组成复杂,通常含有有机物、有机酸或无机酸、无机盐、重金属离子等,生物降解困难,其处理成本较高,技术难度也较大。因此,药厂废水的处理很难依靠单一技术完成,通常需要多种技术的集成和联合应用。精馏作为一种基础分离技术,在开发实现药厂废水零排放处理的集成技术中具有不可替代的重要作用。精馏技术在药厂生产中主要应用于3个方面:产品分离与纯化、溶媒回收、废水处理。

天津大学化工学院白鹏教授以山东金城医药化工股份有限公司“5万 t/a 头孢类医药中间体工业废水处理与回收循环利用项目”为实例,介绍如何通过分离技术的集成实现药厂废水处理。针对废水中主要含有高分子有机化合物、有机溶剂、盐等,项目采用了多种技术的集成和联合应用,这些技术主要包括:应用薄膜蒸发器回收高分子有机化合物;通过萃取、精馏等技术回收有机溶剂;应用反应精馏技术从酸性废水中回收甲酸、乙酸等;大规模应用的膜分离技术浓缩含盐废水;采用热泵节能多效蒸发技术处理高盐废水等。

河北工业大学化学工程研究所所长李春利教授也将其多年潜心研究的系列立体传质塔板(CTST)用于制药生产过程中的溶媒回收,大幅度降低了溶媒单耗(青霉素的单耗为10年

前的1/20~1/10)和能耗,达到了提高处理量、提高溶媒收率、降低能耗、减少环境污染的目的。

4 在煤焦化过程中的应用

在煤焦化过程中,精馏在产品回收、产品深加工及废水处理环节均有重要的应用。目前焦化过程的精馏工艺大多数停留在20世纪六七十年代的设计理念;焦化过程的精馏设备,尤其是塔内件仍然大量使用传统设备形式,如泡罩、穿流栅板;焦化过程的精馏能耗大多数处于居高不下的状况,如煤焦油加工单耗,国外先进水平为800 MJ/t左右,而我国的单耗为900~1 000 MJ/t;蒸氨过程单耗,国外先进水平为130~140 kg/t,而我国的单耗为170~200 kg/t;与石化加工相比较,焦化产品的精馏过程中“三废”排放仍然较多。

清华大学化学工程系国家联合重点实验室汤志刚副教授针对煤焦化过程现存的问题,移植石化先进理念,开发了常减压煤焦油精馏工艺及二塔式富油脱苯工艺流程,并将斜孔塔板、PFG填料等高效设备内件,热耦精馏技术、换热网络技术应用于其中。新工艺实现了节能、减排、降耗、提高馏分收率的多重目的:采用负压精馏和换热网络,降低了焦油整体加工温度,有效地回收了工艺余热,使能耗明显降低;中馏分塔采用负压精馏,省去了原常压工艺中必须加入的汽提水蒸气,明显降低了废水排放量;同时,新工艺采用负压操作,焦油气和沥青烟的排放均得到了有效控制,操作环境也得到了很好的改善,并且使馏分收率提高了3%~5%。

5 在空分领域中的应用

目前,规整填料技术的应用已经使低温空分技术获得了革命性的发展。我国已能自主生产3万~5万 m³/h的空分设备,国产空分设备实现了规整填料、无氢制氩、内压缩流程等第六代先进技术,并且具备了大型化、高品质、多工况、自动化、低能耗、长周期等特点。与国际先进水平相比较已具有一定的竞争力。天津市天大北洋化工设备有限公司俞旭峰副总经理结合自己多年来的工程实践经验,介绍了规整填料技术在空气低温精馏过程中的应用,列举了空分精馏塔内件设计制造等过程中的注意问题,指出低温空分精馏领域今后的发展方向。

此外,天津天大天久科技股份有限公司张学岗副总工程师介绍了特殊精馏(如萃取精馏、共沸精馏等)中的计算机辅助分子设计方法,为特殊精馏中萃取剂、共沸剂等质量分离剂的选择提供了一种全新的方法。中国寰球工程公司工艺控制室林珩高级工程师介绍了现代精馏技术在工程设计中的应用和设计经验。江西萍乡车田工业瓷厂刘裕秋厂长介绍了该厂陶瓷瓷峰规整波纹填料在化工、医药等企业的多座精馏塔成功应用的实例。

精馏技术发展至今,其发展方向已经从常规精馏转向解决普通精馏过程无法分离的问题,通过物理或者化学手段改变物系的性质,使组分得以分离,或者通过耦合技术促进分离过程,并且向低能耗、低成本、清洁分离方向发展。在精馏基础研究方面:研究深度由宏观平均向微观、由整体平均向局部瞬态发展,研究目标由现象描述向过程机理转移,研究手段逐步高技术化,研究方法由传统理论向多学科交叉发展。■