

## 专题报道

# 十年砺剑攻克反应-蒸馏难关

## ——2008 年度国家科学技术奖励项目专题报道(一)



乔旭教授

在 2008 年度国家技术发明奖获奖名单中,南京工业大学获奖项目“不同工况反应与蒸馏集成技术及其在化工中间体生产中的应用”引起了业内人士的广泛关注。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。该项目组历时 10 余年的研究,通过工艺技术集成创新,提出新型反应-分离集成技术,打破了传统反应-精馏技术的瓶颈,应用于相关精细有机化工中间体的生产中,节能降耗效果显著。本刊记者就该技术的关键和应用等问题对项目负责人乔旭教授进行了专访。

1. 记者:传统的反应-蒸馏具体存在哪些局限性,使得这项技术推广应用受限?

乔旭教授:反应-蒸馏一直是化工研究的热点,在过去的 30 年间,有关反应蒸馏的学术论文和专利数量呈快速增长的趋势。然而,传统的反应-分离耦合技术通常将反应和分离过程安排在同一设备中进行,存在如下局限性:

(1) 反应和分离的工况条件(如温度和压力)需保持一致,一般只适用于特定的反应体系,限制了其应用范围。尽管有机化工中间体生产中的许多反应属连串、可逆反应,在理论上可以采用反应与分离耦合技术来强化,以提高反应的转化率和选择性,但因反应和分离的操作条件差异大(如反应需常压、低温条件,分离需减压、高温条件等),传统反应-分离耦合技术无法适用。

(2) 反应能力和分离能力难以优化匹配。不论是反应能力还是分离能力过剩,均导致反应-分离耦合过程不能在最优条件下进行,从而难以体现耦合技术的优势,甚至能耗会超过“非耦合”过程。

(3) 反应能力受到设备空间的限制,难以工程放大,更谈不上实现大规模工业化生产。

到目前为止,在工业化和实验室研究中采用反应蒸馏技术的反应仅为 100 余个,而成功实现工业化生产的只有 MTBE、醋酸甲酯、乙苯等 10 余种产品。

2. 记者:新型反应-蒸馏集成技术打破了传统反应蒸馏的局限性,其创新关键点有哪些?

乔旭教授:根据强化化工连串、可逆反应过程的原理和清洁生产的需要,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,发明了常温反应-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。采用该集成技术,可根据不同体系的特殊要求,对反应和蒸馏的操作条件、设备结构与大小进行自由调整,实现不同工况反应与蒸馏的最佳匹配,解决了传统反应蒸馏设备结构复杂、反应与蒸馏条件必须一致等问题,打破了传统反应蒸馏的局限性,大大拓宽了反应蒸馏技术的应用范围。

3. 记者:新型反应-蒸馏集成技术拓展了应用范围,目前已成功应用于哪些产品的生产中?

乔旭教授:该项目共申请中国发明专利 9 项,已获授权 7 项,在 6 种原来难以采用反应蒸馏技术的化工中间体产品生产中得到应用。以苯甲醛、氯代环己烷等产品的专利技术入股,与江苏九九久科技股份有限公司联合组建南通市天时化工有限公司进行产业化开发。二苯胺和氯化苄等产品生产的相关专利技术在江苏飞亚化学工业有限责任公司等企业实现了产业化。建成了亚洲最大的苯甲醛、氯代环己烷和二苯胺工业生产装置,近 3 年来累计新增产值 15.62 亿元,新增利税 2.86 亿元。

4. 记者:精馏在生产中对节能减排具有举足轻重的影响,该技术节能减排效果如何?

乔旭教授:大幅度提高可逆、连串反应的转化率和选择性是反应-蒸馏技术的固有优势,提高反应转化率就能减少分离能耗,提高反应选择性就能减少副产物的生成与排放,因此反应-蒸馏集成技术是化工节能减排的重要共性技术之一。采用本项目开发并建成的不同工况反应与蒸馏技术生产化工中间体工业装置,已经显现出明显的节能减排效果。例如:

对于氯代环己烷的生产,因转化率提高 1 倍以上,降低分离能耗达 30%~40%;因选择性提高 6 个百分点,减少副产物排放量 50% 左右。产能 2 000 t/a 的氯代环己烷装置减排持久性有机污染物——多氯重组分 145 t/a。

对于二苯胺产品的生产,转化率提高幅度达 25% 左右,同时采用真空精馏分离提纯缩合反应产物,分离能耗和成本降低 20%~30%。产能 2 万 t/a 的二苯胺装置少用煤 6 kt/a 和电 180 万 kWh。

对于苯甲醛产品的生产,因采用高纯度苄叉二氯中间体和循环相转移催化水解工艺,杜绝了含持久性有机污染物废水的排放,每吨产品减排量达 3 t 左右,8 000 kt/a 生产装置减排废水量达到 2.5 万 t/a 左右。

因此,采用不同工况反应与蒸馏集成技术可以大幅度降低分离能耗,减少排放量甚至实现“零排放”,因此运用该项技术提升更多化工产品的生产技术水平,对于工业废水排放量居第一、消耗能源达 3 亿 t/a 以上标煤的石化行业来说,是必要的也是行之有效的。

本项目通过工艺技术集成创新,促进了精细有机中间体生产向低能耗、低污染、低成本的清洁生产方向发展,相关技术在其他化工产品的工艺开发与革新中具有良好的推广应用前景。(本刊记者:童志勇)