

分子筛膜在 MIBK 轻组分分离工艺中的应用及经济性分析

孔维芳*, 郭海超

(南京膜材料产业技术研究院有限公司, 江苏 南京 211800)

摘要:对于丙酮合成 MIBK 一步法工艺中轻组分回收需求,提出了分子筛膜分离与精馏相结合的工艺,并建成国内首套 2 300 t/a 轻组分物料的分选提纯工业装置,产出符合要求的丙酮、异丙醇产品,与可循环利用的 MIBK 粗品。该装置的异丙醇综合收率 93.1%,丙酮综合收率 87.4%,MIBK 粗品收率接近 100%。经运行能耗测算与经济性分析,该装置投入后 5 a 共可产生 6 362.1 万元的经济效益,共增加 1 328.2 万元利润。

关键词:分子筛膜;经济性分析;甲基异丁基酮;异丙醇;丙酮

中图分类号:TQ413.2

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2025)07-0260-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.07.041

Application of molecular sieve membrane in MIBK-light components separation process and economic analysis

KONG Wei-fang*, GUO Hai-chao

(Nanjing Membrane Materials Industrial Technology Research Institute Co., Ltd., Nanjing 211800, China)

Abstract:In the light of the demand to recover light components from the one-step acetone to methyl isobutyl ketone (MIBK) synthesis process, a distillation-zeolite membrane coupling process is proposed, and China's first 2 300 t/a industrial plant using this process is built and starts up, which produces qualified acetone and isopropanol, as well as crude recyclable MIBK. Comprehensive recover rates of acetone and isopropanol products from this plant are 87.4% and 93.1%, respectively, and the recovery rate of crude MIBK approaches 100%. Through calculating energy consumption and conducting economic analysis during operation, it is indicated that this industrial plant can receive RMB 63.621 million of income and RMB 13.282 million of profit in 5 years.

Key words:molecular sieve membrane; economic analysis; MIBK; isopropanol; acetone

甲基异丁基酮(MIBK)是一种无色透明性能稳定的有机溶剂,与醇、醚等有机溶剂完全互溶,微溶于水。是优良的中沸点溶剂和重要的有机化工产品^[1],主要应用于农业、医药、涂料、表面活性剂等领域。目前,工业上 MIBK 合成工艺有丙酮三步法和一步法、异丙醇一步法^[2]。其中丙酮一步法工艺原理为丙酮与氢气在催化剂的作用下同时发生缩合、脱水、加氢 3 个反应生成 MIBK,具有工艺流程简单、产品成本低等优点,因此成为当今 MIBK 生产的主流工艺,国内装置也基本以一步法为生产工艺。但在该工艺中丙酮的转化率约为 30%,MIBK 的选择性约为 94%,因此该催化反应过程产生的 MIBK 粗品会包含异丙醇、水、二异丁基酮(DIBK)等副产物,以及未完全转化的丙酮。

为将 MIBK 粗品进行分离提纯,目前国内通常设置多个精馏塔对 MIBK 粗品进行分离提纯,并回收其中多余的丙酮。在该多塔工艺中设有 MIBK 轻

组分塔,采出的轻组分产物常常被作为燃料油廉价售卖。该轻组分中的主要组成为丙酮、MIBK、异丙醇和水,以及少量的 DIBK 组分,其中丙酮占 5%~10%,MIBK 占 15%~18%,异丙醇占 45%~65%,水约占 15%^[3],此物料中含有大量可回收利用的物质。丙酮可提纯后返回反应器重新参与反应,MIBK 进一步分离提纯作为产品售卖,异丙醇则提纯至较高纯度后作为副产品售卖。这些都可有效降低 MIBK 多塔精馏分离装置的运行成本,提高企业的市场竞争力。但目前仅作为燃料油低价对外售卖,对该轻组分分离提纯的需求迫在眉睫。

该轻组分中包含 3 种二元含水共沸物(异丙醇:水 = 87.3 : 12.7, $t = 80.18^\circ\text{C}$, MIBK : 水 = 71.6 : 28.4, $t = 83.04^\circ\text{C}$, DIBK : 水 = 38 : 62, $t = 86.99^\circ\text{C}$,组成比例均为质量分数)。由此可见,轻组分中各有机组分彼此之间并不产生共沸,且各有机组分之间沸点差异较大(丙酮 56.1°C 、异丙醇 82.1°C 、MIBK

收稿日期:2024-10-29;修回日期:2025-05-13

作者简介:孔维芳(1987-),女,硕士,工程师,主要从事精馏与膜分离应用研究,通讯联系人,kongweifang@jmsst.net。

116.1℃、DIBK 168℃),采用精馏技术进行分离难度较小。但由于水分别与异丙醇、MIBK、DIBK形成二元共沸物,且共沸温度差距较小,直接采用精馏分离难度较大,水的存在会造成上述几种有机物无法分开,因此脱除水分是分离上述几种有机物的关键。

对于上述体系,采用常规分离工艺无法实现分离提纯的目标。目前,对于丙酮-异丙醇-MIBK-水体系混合物的分离方法常采用高沸点有机物如乙二醇作为萃取剂^[4]进行萃取精馏,曹晓艳^[5]利用 Aspen 模拟系统地研究了丙酮-异丙醇-水体系的萃取精馏过程,并建立萃取精馏实验装置进行正交试验对比,得到优化的萃取精馏分离参数。吴尔旭^[6]通过实验装置验证乙二醇萃取精馏与减压精馏回收乙二醇的可行性,为工业化分离丙酮-异丙醇-MIBK-水体系混合物提供设计参数。殷娟娟等^[7]针对丙酮加氢制异丙醇副产 MIBK 的体系,借助 Aspen 模拟软件,对双塔变压双效精馏、塔间热泵精馏、双塔+脱轻塔热耦合精馏等方案进行系统性的讨论,对现有丙酮加氢工艺流程提出改造建议。

渗透气化膜分离技术用于有机溶剂脱水具有显著的节能减排优势,特别适合于共沸、近沸混合物的分离,是一种新型高效节能、过程易于控制的有机溶剂脱水技术,其突出的优点是分离过程不受有机溶剂-水气液平衡的限制,尤其适用于有机溶剂脱水。张静等^[8]考察了渗透气化分子筛膜技术对于 MIBK 合成液(即反应出料)脱水性能,以及渗透气化与 MIBK 精馏塔耦合的可行性,期望取代脱轻塔简化工艺流程。

本文中结合已有文献报道与自有技术,以处理 2 300 t/a MIBK 脱轻塔轻组分回收为例,将精馏与渗透气化膜分离等工艺过程结合起来,提出并优化一种面向丙酮-异丙醇-MIBK-水混合体系,分离提纯回收丙酮、异丙醇、MIBK 的工艺技术。在该工艺路线中,先采用分子筛膜渗透气化技术将轻组分中的水脱除,再通过间歇精馏分段收集不同的溶剂产品。

本文中先对精馏-分子筛膜结合工艺的投资和运行经济性进行分析,再对该技术在浙江某生产 MIBK 化工企业中的实际应用情况进行介绍,并在该装置调试期间对分子筛膜脱水工段与精馏工段的运行参数进行优化,获得符合回收要求的丙酮、异丙醇产品与 MIBK 粗品。本文中旨在为分子筛膜技术在该领域的应用推广提供指导。

1 分子筛膜-精馏耦合工艺流程

1.1 分子筛膜-精馏耦合工艺路线

轻组分由膜进料泵输送,在预热器中与膜成品蒸气换热后进入蒸发器内蒸发气化,以气相形式进入膜分离组件进行脱水。膜分离脱水部分由 5 个膜组件串联组成,经过每级膜组件,物料中的水分逐级降低,至最后一级膜组件出口达到工艺目标的含水量要求,脱水后物料蒸气经预热器与原料换热后进入成品冷凝器,由气相变成液相,自流至膜成品罐中。膜渗透侧采用抽真空加冷凝的方式以形成膜两侧水分的蒸气分压差,使得膜原料中水蒸气透过膜层,到达膜渗透侧,在真空机组抽吸下进入渗透液冷凝器冷凝成液相,进入渗透液罐内,积攒至一定量后通过渗透液泵输送至界外废水处理。

脱水后的物料粗品,由塔进料泵输送至精馏塔釜进行精馏分离。精馏塔常压间歇操作,精馏塔釜对物料提供加热气化,精馏塔经全回流稳定操作后,①塔顶先采出符合工艺使用要求的丙酮蒸气,经塔顶一级冷凝器与二级冷凝器冷凝,再经塔顶冷却器冷却后自流至塔顶回流罐中,再由塔顶回流泵输送,部分回流至精馏塔顶部,部分采出至丙酮收集罐中。随着精馏操作的进行,釜内丙酮含量逐渐下降,精馏塔顶温度开始上升。②当温度上升到 56.5~57℃,塔顶停止采出丙酮产品,开始收集含有少量异丙醇的过渡馏分至过渡馏分罐中。③直至塔顶温度上升至~79.5℃,塔顶采出符合目标要求的异丙醇,此时切换塔顶采出至异丙醇收集罐中。随着精馏操作的进行,塔顶温度继续上升至~85℃,停止此次精馏操作。塔釜中剩余的 MIBK 粗品由塔釜泵抽出,经塔釜冷却器冷却后,排出至 MIBK 粗品收集罐中。工艺流程简图见图 1。

1.2 工业装置

年处理 2 300 t 丙酮、异丙醇、MIBK 混合体系分离提纯装置于 2022 年在浙江某化工企业建设与正式投产,该项目采用本文中膜分离-精馏工艺,分离提纯装置由分子筛膜脱水单元、精馏单元组成,膜系统对轻组分进行脱水,精馏系统对脱水后的轻组分进行分离,实现丙酮、异丙醇、MIBK 的分离提纯,其中分子筛膜由南京膜材料产业技术研究院有限公司开发提供。膜单元装置整体采用撬块化设计、DCS 系统全自动控制。膜分离撬装占地为 4.5 m×2.8 m×2.9 m(长×宽×高),精馏塔 DN500×20 m,该项目总占地为 12 m×7 m。

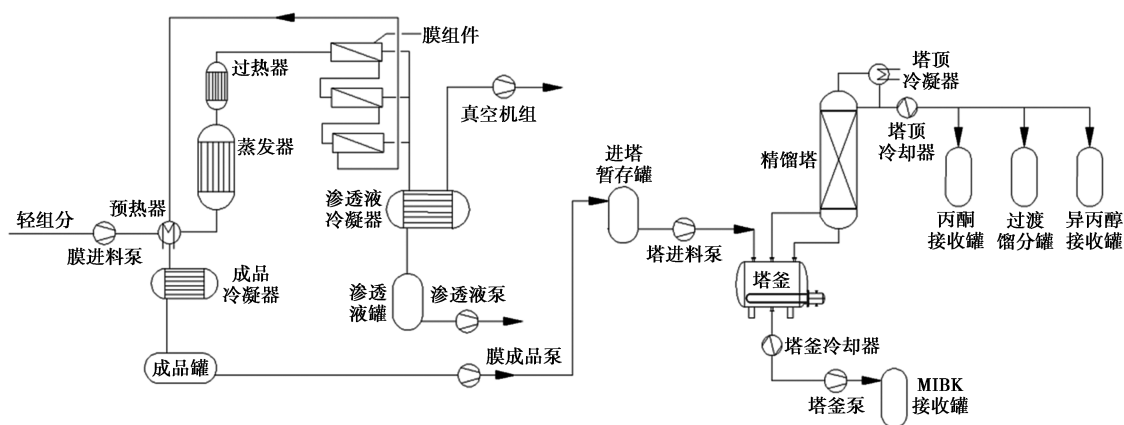


图 1 分子筛膜-精馏耦合工艺流程简图

2 结果与讨论

2.1 膜单元运行参数优化

分子筛膜渗透气化脱水技术作为该工艺的核心技术,是整个分离工艺成功的关键。而其过程的推动力为原料侧和渗透侧水的蒸气分压差,推动力越大,透水速度越快,脱水效率越高。为尽可能提高推动力,一般原料侧采用正压、真空侧采用负压操作。该装置在运行调试期间,针对分子筛膜装置的运行参数进行优化,调整压力稳定 1 h 后分别检测膜成品含水量与渗透液含水量,结果如表 1 所示。

表 1 分子筛膜脱水运行数据

进料量/ (kg·h ⁻¹)	原料侧 压力/ MPa	进水 质量分 数/%	渗透侧 压力/ Pa	膜成品 含水质量 分数/%	渗透液 含水质量 分数/%	单程 收率/ %
293	0.211	17.8	1577	0.25	98.5	99.67
290	0.241	18.1	1608	0.23	98.1	99.58
298	0.275	18.1	1614	0.19	97.8	99.50
295	0.303	17.9	1586	0.16	96.4	99.19
291	0.347	18.1	1590	0.13	95.9	99.06

从表 1 数据中可以看出,在进料量与进料含水量基本稳定的情况,膜的操作压力从 0.2 MPa 逐渐升至 0.35 MPa,膜出口的成品含水量随之下降,成品品质提高,但渗透液含水质量分数从 98.5% 降至 95.9%,分子筛膜脱水的溶剂单程收率小幅下降。在本文中的分离提纯工艺中,分子筛膜技术应用目的有 2 点:①打破各种有机组分与水的共沸;②将轻组分含水量降低至一定值后,保证后续精馏分离过程中获得的异丙醇成品含水量不超标。膜分离成品含水量要求越低,膜分离设备投资越大,故在该工艺步骤中不宜追求很低的膜成品含水量,选择合适的膜成品含水量,在装置投资、有机物收率之间取得平

衡。在后面会分别对 3 种不同含水量的膜成品对精馏产品质量和收率的影响进行讨论,依次确定最佳的膜运行工艺及参数。

2.2 精馏工段进料含水量的优化

膜脱水系统出口物料主要包含丙酮、异丙醇、MIBK 和 DIBK,其中丙酮质量分数 11%~12%、异丙醇质量分数 63%~66%、MIBK 质量分数 21%~23%,DIBK 质量分数 1% 以下。选择 3 种不同的膜成品含水质量分数(0.25%、0.19%、0.13%)作为精馏塔的进料,每种含水量的膜成品进行 2 个批次的精馏操作,考察不同进料含水量对精馏过程产品收率、产品质量的影响。每批进料量约 5 600 kg,升温全回流 30 min,待塔顶温度降至 56.1℃ 后按照回流比 5 采出丙酮产品,当塔顶温度升至 61℃ 后,停止收集丙酮产品,保持原回流比将含有异丙醇的过渡馏分采出至过渡馏分罐中,直至塔顶温度上升至 79.3℃ 后,将回流比调至 2,改为收集异丙醇产品。当塔顶温度上升至 85℃ 后停止收集异丙醇产品,精馏塔停止运行,进入停车步骤,塔釜内液体用塔釜泵抽出至 MIBK 粗品收集罐中。每个批次通过各产品收集罐的重量变化计量 3 种产品质量,并通过取样分析罐内物料。精馏运行结果如表 2~表 4 所示。

表 2 不同进料含水质量分数的丙酮精馏产品结果

进料含水 质量分数/%	丙酮纯度/ %	丙酮含水 质量分数/%	收集丙酮 质量/kg	丙酮单程 收率/%
0.25	99.01	0.483	332.9	54.04
0.25	99.02	0.475	335.4	54.45
0.19	99.07	0.472	353.4	57.37
0.19	99.11	0.475	355.5	57.71
0.13	99.22	0.468	370.6	60.16
0.13	99.25	0.468	367.3	59.63

注:丙酮纯度为色谱纯度,折干含量,下同。

表3 不同进料含水质量分数的异丙醇精馏产品结果

进料含水 质量分数/%	异丙醇 纯度/%	异丙醇含水 质量分数/%	收集异丙醇 质量/kg	异丙醇单程 收率/%
0.25	99.12	0.24	3088.5	83.82
0.25	99.18	0.26	3055.0	82.91
0.19	99.26	0.12	3156.7	85.67
0.19	99.21	0.13	3175.6	86.18
0.13	99.33	0.10	3179.5	86.29
0.13	99.38	0.11	3184.3	86.42

表4 不同进料含水质量分数的粗MIBK产品结果

进料含水 质量分数/ %	MIBK+ DIBK 纯度/%	MIBK 粗品含水 质量分数/%	收集 粗MIBK 质量/kg	粗MIBK 单程 收率/%
0.25	98.1	≤0.01	1261.5	~100
0.25	98.2	≤0.01	1260.3	~100
0.19	98.9	≤0.01	1263.8	~100
0.19	98.0	≤0.01	1266.7	~100
0.13	98.3	≤0.01	1258.4	~100
0.13	98.1	≤0.01	1262.2	~100

通过分析表2、表3、表4中的数据可以发现:

(1)随着进料含水量的降低,丙酮产品的纯度与收率均有小幅提升,而含水量变化不明显。这是由于丙酮与水不产生共沸,进料含水量的降低对丙酮产品的影响不大,但在低含水量区间,丙酮与水的相对挥发度减小,丙酮产品中会夹带少量的水分。在精馏收集丙酮的后期,精馏塔釜的丙酮含量越来越低,异丙醇与水产生共沸上至塔顶,对塔顶丙酮的纯度与收率产生影响。

(2)随着进料含水量的降低,异丙醇产品含水量、纯度、收率均呈现出显著的改善。这是因为前段收集的丙酮产品,以及过渡馏分中的异丙醇带走了系统内的部分水分。收集异丙醇产品的过程中,塔内的水分基本都随着异丙醇上升到塔顶,全部并带入异丙醇产品中。进料含水量更高会导致丙酮和异丙醇的分离不够干净,过渡馏分更多,造成异丙醇单程收率更低,但进料含水量0.19%与0.13%对异丙醇单程收率影响不大。

(3)随着进料含水量的降低,精馏塔釜抽出的MIBK粗品纯度、含水量与收率均没有很大的变化,这是因为经过第一阶段收集丙酮产品与第二阶段收

集异丙醇产品后,精馏塔釜水分很低,且异丙醇与MIBK、DIBK沸点差异较大,此阶段分离难度较低,因此对最后剩余在精馏塔釜内的MIBK粗品指标影响不大。

因此,综合膜工段单程收率、精馏工段丙酮产品、异丙醇产品与MIBK粗品的纯度、含水量与单程收率来看,膜成品水分控制在质量分数~0.2%比较适宜,对应膜系统的运行压力0.28~0.30 MPa。

2.3 精馏过渡馏分的再处理

通过前文的讨论,在基本确定最优的进料含水量后,可以看出丙酮和异丙醇的单程收率均不高。这是因为间歇精馏过程,整个塔仅能视为精馏段,提馏段的缺失让间歇精馏过程对于降低轻组分在塔釜内含量能力显著低于连续精馏过程,因此造成在分离丙酮与异丙醇过程中,产生了较多的过渡馏分。对过渡馏分的有效回收,有利于提高整个工艺过程中丙酮与异丙醇的收率。在上述的膜脱水成品精馏过程中,每批次精馏过程平均产生约630 kg的过渡馏分,占轻组分原料的9.1%,其平均组成如表5所示。

表5 过渡馏分平均组成

丙酮纯度/%	异丙醇纯度/%	含水质量分数/%
38.5	61.5	0.7~0.8

将上述过渡馏分积攒至一定量后,用膜系统集中将水分处理至0.2%后,使用该精馏塔集中对脱水后的过渡馏分进行处理,每批进料量约5 600 kg,升温全回流30 min后,待塔顶温度降至56.2℃后按照回流比5采出丙酮产品,当塔顶温度升至66~67℃后,停止收集丙酮产品,保持原回流比将含有异丙醇的过渡馏分采出至过渡馏分罐中,直至塔顶温度上升至79.7℃后,将回流比调至2,改为收集异丙醇产品。当塔釜液位下降至低液位后停止收集异丙醇产品,精馏塔停止运行,进入停车步骤。该过程获得丙酮与异丙醇产品质量以及对丙酮、异丙醇综合收率的提升详见表6。可以看出,经过对过渡馏分的单独回收,丙酮和异丙醇均能获得与产品质量相

表6 过渡馏分精馏回收平均结果

收集 成品	纯度/ %	含水质量分数/ %	收集质量/ kg	综合收率/ %
丙酮	99.1	0.20	2080	87.4
异丙醇	99.4	0.16	3065	93.1

近的成品,并将丙酮与异丙醇的综合收率分别上升至 87.4%与 93.1%,收益显著。

2.4 装置整体运行效果

结合上述分子筛膜脱水工段,与间歇精馏制工段的调试优化参数,该装置的具体运行参数如表 7 所示。

表 7 轻组分分离提纯装置运行参数

	膜脱水单元	精馏单元
进料量	290~320 kg/h	5600 kg/批
进料含水质量分数/%	~18	~0.2
操作温度/℃	110~125	55~130
设计温度/℃	150	150
操作压力/MPa	0.28	常压
设计压力/MPa	0.4	0.1
运行方式	24 h 连续运行	按批次间歇运行

项目自投产以来,装置持续稳定运行。该装置的异丙醇综合收率 $\geq 93\%$,成品质量符合外售要求。丙酮综合收率 $\geq 87\%$,产品质量满足企业生产工艺使用要求。MIBK 粗品收率 100%,直接返回主工艺装置,提升 MIBK 产品的收率。企业为该装置实际配置人员不到 1 人/班(现场与 DCS 操作人员兼顾该装置即可,不用专门定岗)。

3 运行能耗与经济性分析

3.1 分子筛膜-精馏耦合工艺的运行能耗分析

本文中按照蒸气 200 元/t,循环水 0.2 元/m³,冷冻水 1.0 元/m³,电 1 元/kWh 进行运行成本计算,运行能耗均按照处理每吨轻组分物料为基准计算。通过表 8 可以看出,选用本文中提出的分子筛膜-精馏耦合工艺,处理每吨轻组分物料仅消耗蒸气 1.23 t,总运行费用仅 336 元。

表 8 分子筛膜-精馏工艺的运行能耗

类别	规格	分子筛膜系统	精馏塔	合计	运行费用
蒸气/(t·t ⁻¹)	≥ 0.4 MPa	0.45	0.78	1.23	246 元/t
电耗/(kWh·t ⁻¹)	380 V, 50 Hz	42	4	46	46 元/t
循环水/(m ³ ·t ⁻¹)	≥ 0.3 MPa, 上水 $\leq 32^\circ\text{C}$	35	50	85	17 元/t
冷冻水/(m ³ ·t ⁻¹)	≥ 0.3 MPa, 上水 $-5\sim 0^\circ\text{C}$	22.5	4.5	27	27 元/t

3.2 分子筛膜-精馏耦合工艺的运行经济性分析

根据表 8 中的运行能耗,按照 5 a 运行周期计算总费用,本文中 5 a 总费用包含该工艺的初期投资、年运行费用、人员费用、燃料油、丙酮、异丙醇与粗 MIBK 的售价。表 9 列出了处理 2 300 t/a MIBK 脱轻塔轻组分回收运行经济性分析。5 a 总费用=(年运行费用+人员费用) $\times 5$ +初期投资费用+换膜费用。与轻组分物料单纯售卖进行对比,本文中燃料油、丙酮、异丙醇、粗 MIBK 价格分别按照 3 500、6 000、5 500、12 000 元/t 计算。

表 9 售卖燃料油与回收工艺的运行经济性比较

	售卖燃料油	回收工艺	备注
运行费用/(万元·a ⁻¹)	—	-77.28	
初期投资费用/万元	—	-450	
人员费用/(万元·a ⁻¹)	—	-24	按照 1 人/班计算,均为 3 班/d,人员工资按 8 万元计算
换膜费用/(万元·a ⁻¹)	—	-52.5	膜按 5 a 寿命计,按 1.5 万元/m ² 膜计算
5 a 总支出/万元	—	-1008.9	含投资费用、运行费用
轻组分物料/(t·a ⁻¹)	2300	0	
5 a 轻组分销售收益/万元	4025	0	
5 a 丙酮产品/万元	—	547.1	
5 a 异丙醇产品/万元	—	3206.8	
5 a 粗 MIBK/万元	—	2608.2	
5 a 总收益/万元	4025	6362.1	

通过对比可看出,单纯将燃料油售卖,5 a 共收益 4 025 万元,但实际过程中该售卖工作受到国内相关危化品政策的影响,以及大宗商品售价波动的影响,不是长久之计,也不符合国家节能减排、资源循环利用的要求。选用本文中提出的工艺,5 a 共可产出 911.8 t 丙酮、5 830.6 t 异丙醇与 2 173.5 t MIBK 粗品,核减掉 5 a 总费用,实际可产生 5 353.2 万元的经济效益,相较于单纯售卖,5 a 共计增加 1 328.2 万元利润,折 265.64 万元/a,效益非常可观。而实际生产中,产出的丙酮可直接投入 MIBK 生产主工艺中,减少企业实际采购丙酮量,MIBK 粗品则可回到主工艺中的 MIBK 精制塔中,进一步提高 MIBK 的收率。

(下转第 270 页)

表 6 综合能耗计算表 10^4 kW

乙烷回收工艺	能耗	气质 1	气质 2	气质 3
新工艺	总压缩功率	1.13	1.2125	1.2222
	热功率	0.3471	0.352	0.373
	综合能耗	13.8895	14.8735	15.0192
RSV 工艺	总压缩功率	1.36	1.54	2.03
	热功率	0.348	0.350	0.374
	综合能耗	16.6140	18.7481	24.5850

4 结论

(1) 在保证高乙烷回收率的前提下, 相同工况、相同气质的乙烷回收, 采用新工艺系统较采用 RSV 工艺节能效果明显。新工艺采用“LNG 冷能制冷+膨胀制冷”的制冷方式, 大量回收利用 LNG 气化释放的高品位冷能进行深度制冷, 新工艺系统的主要耗能装置为压缩机和脱甲烷塔的再沸器, 因此, 相比于 RSV 工艺采用“丙烷制冷+膨胀制冷”制冷方式, 新工艺能耗大幅度下降。

(2) 在保证乙烷收率不低于 95% 的条件下, 对乙烷回收新工艺与 RSV 工艺进行工艺流程对比及综合能耗对比。结果表明, 对于气质 1、气质 2 和气质 3, 新工艺较 RSV 工艺总压缩功率分别降低 17.01%、21.12% 和 39.6%, 综合能耗分别降低 2.7245×10^4 、 3.8746×10^4 、 9.5658×10^4 kW, 这证明气质越富, 新工艺相较于 RSV 工艺的节能效果越好。

(上接第 264 页)

4 结论与展望

对于丙酮合成 MIBK 一步法工艺中轻组分回收, 采用精馏-分子筛膜分离相结合的工艺, 设计建成国内首套年处理 2 300 t 轻组分物料的分离提纯工业装置。对该工业过程中分子筛膜脱水过程、精馏塔进料含水量、过渡馏分的再次回收进行研究, 摸索出最佳工艺条件与最高综合收率。MIBK 轻组分物料经该装置分离提纯后, 各项指标符合企业回用标准与市售要求。异丙醇综合收率 $\geq 93\%$, 丙酮综合收率 $\geq 87\%$, MIBK 粗品收率接近 100%, 完全投入生产工艺循环利用。通过运行能耗测算与经济性分析, 该装置 5 a 共可产生 6 362.1 万元的经济效益。相较于单纯售卖, 投入该装置 5 a 可创造 1 328.2 万元利润。在响应国家节能减排、资源循环利用的政策下, 通过实现对工艺尾料分离提纯实现

参考文献

- [1] 董雁春. 我国乙烯产业链发展现状及对策建议[J]. 现代化工, 2025, 45(1): 7-12.
- [2] 陆浩. 我国乙烯工业及下游产业链发展现状与展望[J]. 当代石油石化, 2022, 30(4): 26-31.
- [3] 饶何隆, 马国光. 天然气乙烷回收关键参数分析研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2022, 49(1): 35-43.
- [4] 钟荣强, 李鹏, 杨思远, 等. 油田伴生气乙烷回收工艺改进[J]. 现代化工, 2020, 40(10): 230-234.
- [5] 杨冬磊, 熊林, 张伟, 等. 中高压富气乙烷回收工艺改进及优化[J]. 石油与天然气化工, 2021, 50(3): 57-65.
- [6] 王宇, 陈小榆, 蒋洪, 等. RSV 乙烷回收工艺技术研究[J]. 现代化工, 2018, 38(2): 181-184.
- [7] 雷利, 刘青松, 陈泳村, 等. 低压富气乙烷回收工艺改进[J]. 石油与天然气化工, 2024, 53(3): 47-52.
- [8] 李斐, 杨冬磊. 富气乙烷回收工艺改进[J]. 能源化工, 2023, 44(3): 35-39.
- [9] 张红星, 马亚欣, 解静, 等. 基于回归正交试验设计的 RSV 乙烷回收工艺能耗优化[J]. 石油石化节能与计量, 2023, 13(10): 42-46.
- [10] 蒋洪, 李浩玉. 富气乙烷回收工艺改进及综合对比分析[J]. 天然气工业, 2022, 42(5): 106-115.
- [11] 尹奎, 蒲黎明, 肖乐. 150×10^4 m³/d 天然气乙烷回收工艺研究[J]. 天然气与石油, 2022, 40(1): 21-27.
- [12] 丁乙, 朱建鲁, 王雨帆. LNG 冷能利用工艺技术研究[J]. 天然气与石油, 2016, 34(5): 25-34.
- [13] 张天娇, 田鑫, 逯国英, 等. 天然气乙烷回收与 LNG 汽化的集成化处理系统与方法; CN 202310320917.9[P]. 2024-09-13. ■

降本增效, 提升企业经济效益。该项目的成功实施为丙酮合成 MIBK 一步法工艺中轻组分物料回收的应用推广奠定了基础。

参考文献

- [1] 程能林. 溶剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 614-615.
- [2] 张燕. 丙酮一步法合成甲基异丁基酮的研究进展[J]. 石油化工, 2019, 48(3): 307-311.
- [3] 周文斌, 沈曙光, 郑金成, 等. 一种分离回收 MIBK 轻组分塔采出料的工艺; CN 114988996[P]. 2024-05-17.
- [4] 吴尔旭. 丙酮一步法生产 MIBK 装置的副产物精馏分离研究[J]. 辽宁化工, 2010, 39(9): 918-920.
- [5] 曹晓艳. 萃取精馏与精馏结合分离丙酮-异丙醇-水混合液的研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
- [6] 吴尔旭. 丙酮一步法生产 MIBK 装置的副产物精馏分离研究[J]. 石油化工应用, 2010, 29(9): 80-82.
- [7] 殷娟娟, 夏伟, 黎小辉, 等. 基于计算机模拟的丙酮加氢生产异丙醇工艺节能改造方案研究[J]. 西安石油大学学报, 2023, 38(6): 68-75.
- [8] 张静, 包宗宏, 顾学红, 等. 甲基异丁基酮分离过程中精馏-渗透汽化集成工艺的研究[J]. 现代化工, 2012, 32(5): 106-110. ■