

1-丁烯分离装置节能工艺研究

王 微

天津海成能源工程技术有限公司 天津 300000

摘 要: 与传统1-丁烯分离工艺相比, 节能工艺可节省约35%的能耗, 操作费用和碳减排量大大降低, 符合国家“双碳”政策。节能工艺实际投产装置连续运行平稳, 产品品质好, 收率高。

关键词: 1-丁烯; 节能; 耦合; 精馏

Research on energy saving process of 1-Butene Separation Device

Wei Wang

Tianjin Haicheng Energy Engineering Technology Co., Ltd Tianjin 300000

Abstract: compared with the traditional 1-butene separation process, the energy-saving process can save about 35% of energy consumption, greatly reduce the operating cost and carbon emission reduction, and comply with the national “double carbon” policy. The energy-saving process is actually put into operation, and the unit operates steadily, with good product quality and high yield.

Keywords: 1-butene; Energy saving; Coupling; rectification

1-丁烯是重要的基础化工原料, 高纯度1-丁烯可作为二聚单体用于生产线性低密度聚乙烯、高密度聚乙烯、聚丙烯、聚1-丁烯、1-己烯共聚物等, 也可作为三元共聚单体用于生产共聚塑料, 还可齐聚生产1-辛烯及十二烯等^[1]。高纯度1-丁烯作为最简单的 α -烯烃, 随着石化行业“少油多化”产品结构转型升级, 1-丁烯下游应用尤其是聚烯烃装置的需求量不断增加。

工业生产中, 从混合碳四中分离1-丁烯的方法主要有萃取精馏工艺、超精密精馏工艺、吸附分离工艺和吸收精馏联合工艺^[2]。目前已工业化的1-丁烯分离装置中, 超精密精馏分离技术是1-丁烯装置的主要技术。通常是将深度醚化脱除异丁烯及选择性加氢脱除二烯烃后的醚后碳四作为进料, 采用先脱轻后脱重的双塔精馏工艺, 将异丁烷等轻组分、正丁烷/2-丁烯等重组分依次脱除。少数采用先脱重后脱轻的双塔精馏工艺, 将正丁烷/2-丁

烯等重组分、异丁烷等轻组分依次脱除。

醚后碳四中的主要组分为异丁烷、异丁烯、1-丁烯、正丁烷和顺/反-2-丁烯, 由于各组分之间的沸点十分接近, 采用超精密精馏技术从中分离1-丁烯组分存在所需塔板数多、回流大, 能耗高等弊端。因此, 有必要对现有技术中存在的问题进行改进, 节约能耗, 降低操作费用。

国内外已有技术公司在1-丁烯精馏分离的节能方面进行技术开发。

Lummus公司在OCU联合1-丁烯分离装置(神华宁煤煤制油碳四烯烃综合应用)中, 采用压缩机提压进行热耦合, 可有效降低1-丁烯分离的蒸汽消耗, 但装置电耗大大提高, 且压缩机的操作、运行、维修均需投入较多。

SEI/寰球公司在国内新建炼化项目中(如浙石化/海南乙烯/中委广东石化等)均采用传统的双塔超精密精馏工艺, 以裂解抽余醚后碳四作为进料, 该装置的蒸汽消耗>3.8吨蒸汽/吨1-丁烯产品。

本文节能分离工艺利用差压热耦合精馏原理, 在超精密精馏分离的基础上, 使用双塔热耦合, 充分利用装

作者简介: 王微(1987-), 女, 汉族, 籍贯: 河北石家庄, 硕士, 天津海成能源工程技术有限公司, 工程师, 研究方向: 化工。

置内部气相潜热, 采用高效换热设备, 实现低温差双相变传热, 大大降低装置操作能耗。并且分离过程中无需引入萃取剂、吸附剂等, 操作简单, 1-丁烯回收率及产品纯度均较高。

一、差压热耦合精馏原理

差压热耦合精馏过程是将普通精馏塔分割为常规分馏和降压分馏两个塔, 常规分馏塔的操作压力与常规单塔时相同, 而降压分馏塔采用降压操作以降低塔底温度。降压分馏塔塔顶蒸汽经过压缩进入常规分馏塔, 降压分馏塔降压操作可以使塔釜物料的温度低于常规分馏塔塔顶物料的温度, 这样就可以利用常规分馏塔塔顶蒸汽的潜热来加热降压分馏塔塔底的再沸器, 进行两塔的完全热耦合, 实现精馏过程的大幅度节能^[3]。

二、工艺方案

以裂解碳四经深度脱除丁二烯和异丁烯后的醚后碳四, 作为1-丁烯分离装置的进料, 从中分离高纯度1-丁烯产品。

传统分离工艺中, 脱异丁烷塔和1-丁烯精馏塔的操作压力和操作温度均较低, 塔顶气相采用循环水冷凝器或空冷器进行冷凝, 塔釜采用蒸汽再沸器进行加热(少部分采用热水作为热源)。

本方案中, 在保持脱异丁烷操作参数与传统分离工艺一致前提下, 适当提高1-丁烯精馏塔的操作压力, 使其塔顶温度高于脱异丁烷塔塔底3-20℃及以上。以1-丁烯精馏塔塔顶气相潜热作为脱异丁烷塔塔底热源, 脱异丁烷塔塔底物料被加热的同时, 1-丁烯精馏塔塔顶气相得到冷凝。充分利用1-丁烯精馏塔塔顶气相潜热进行热耦合, 实现热量的回收利用, 节约蒸汽和循环水(或空冷器电耗), 降低操作费用。

三、工艺流程

原料醚后碳四首先进入脱异丁烷塔, 塔顶气相馏出物主要为异丁烷等轻组分, 经脱异丁烷塔冷凝器冷凝后, 一部分作为回流返回脱异丁烷塔上部, 一部分作为副产品采出, 脱异丁烷塔塔底物料主要为1-丁烯、正丁烷和2-丁烯等, 一部分进入节能换热器, 部分汽化后返回脱异丁烷塔, 一部分进入1-丁烯精馏塔。1-丁烯精馏塔塔顶气相馏出物主要为1-丁烯, 经过节能换热器冷凝后, 一部分作为回流返回1-丁烯精馏塔, 一部分作为1-丁烯产品采出, 1-丁烯精馏塔塔底物料为正丁烷/2-丁烯, 一部分进入1-丁烯精馏塔再沸器, 部分汽化后返回1-丁烯精馏塔, 一部分作为副产品采出。

根据原料组成、产品方案等工艺参数不同, 节能分

离工艺包含三种工况:

(1) 后塔塔顶气相潜热与前塔所需热负荷一致时, 后塔塔顶气相无需采用额外的循环水(或空冷器)进行冷凝, 前塔塔釜无需采用额外的蒸汽供热;

(2) 后塔塔顶气相潜热大于前塔所需热负荷时, 后塔塔顶气相大部分通过节能换热器进行冷凝, 少部分通过少量循环水(或空冷器)进行冷凝, 前塔塔釜无需采用额外的蒸汽供热;

(3) 后塔塔顶气相潜热小于前塔所需热负荷时, 后塔塔顶气相无需采用额外的循环水(或空冷器)进行冷凝, 前塔塔釜大部分通过节能换热器供热, 少部分通过少量蒸汽供热。

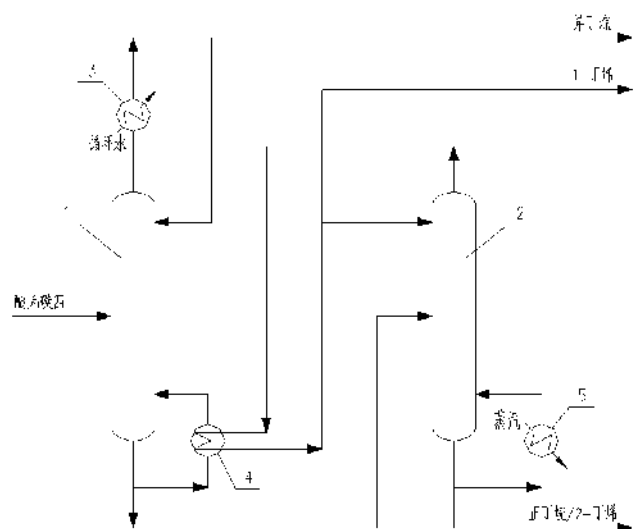


图1 节能工艺流程简图

注: 1-脱异丁烷塔, 2-1-丁烯精馏塔, 3-脱异丁烷塔冷凝器, 4-节能换热器, 5-1-丁烯精馏塔再沸器

四、工艺参数

1、原料

醚后碳四设计进料组成如表1所示。

表1 碳四进料组成表 (wt%)

组分	正丁烷	异丁烷	1-丁烯	异丁烯	反-2-丁烯	顺-2-丁烯	1, 3-丁二烯	合计
含量	35.42	1.37	40.25	0.07	14.27	8.62	≤ 10ppm	100.00

醚后碳四设计进料量为24500千克/小时, 年操作时间8000小时。

2、产品

产品1-丁烯纯度≥99.3wt%, 满足工业用1-丁烯标准SHT 1546^[4]。

产品1-丁烯产量为9600kg/h, 收率≥96.0%。

3、操作条件

传统工艺和本方案节能工艺精馏塔操作参数对比如表2所示。

表2 塔操作参数对比表

序号	设备名称	操作压力 (塔顶) MPaG		操作温度 (塔顶-塔底) °C	
		传统工艺	本方案	传统工艺	本方案
1	脱异丁烷塔	0.4~0.7	0.4~0.7	45.0~75.0	45.0~75.0
2	1-丁烯精馏塔	0.4~0.7	0.9~1.2	45.0~75.0	70.0~100.0

4、主要公用工程消耗

表3 主要公用工程消耗表

序号	项目	规格	单位	消耗量		能源折 算值 (kg标 油)	kg标油/t 醚后碳四	
				传统 工艺	本方 案		传统 工艺	本方 案
1	循环水	32-42°C	t/h	2550	1600	0.06	6.23	3.91
2	蒸汽	0.45MPaG	t/h	46.6	29.3	66	125.33	78.80
3	电	380V	kWh	300	450	0.22	2.69	4.03
4	凝结水	158°C	t/h	46.6	29.3	-6	-11.39	-7.16
5	合计						122.86	79.58

从表3可以得出,以相同原料组成及进料量,分离出相同纯度及产量的1-丁烯产品,本方案节能分离工艺的操作能耗为:1.19 t蒸汽/t醚后碳四原料(79.58 kg标油/t醚后碳四原料),传统分离工艺的操作能耗为:1.90 t蒸汽/t醚后碳四原料(122.86 kg标油/t醚后碳四原料)。

以19.6万吨/年醚后碳四分离装置计,0.45MPaG蒸汽单价150元/吨计,采用本文节能1-丁烯分离工艺,年操作费用可节省2600万元以上,年碳减排量可达8200吨以上。

五、工业应用

本工艺首套工业化装置于2018在中石化燕山石化投入运营,装置设计规模为1.5万吨/年1-丁烯,连续运行平稳。燕山石化1-丁烯装置,采用传统工艺开车,装置100%负荷时,蒸汽消耗量为19t/h,切换至节能工艺流程,蒸汽消耗量为10t/h,同时节省掉1-丁烯精馏塔塔顶的循环水消耗,实际运行能耗降低约48%,当年为其节省操作费用超过2000万元。

六、结论

1、本工艺比传统分离工艺节约20~60%的能耗,操作费用大大降低,符合国家“双碳”政策。

2、本工艺中,低温差双相变换热器无需采用昂贵的高通量换热管,大幅降低该换热器投资。

3、本工艺为配合开车及适应装置操作平稳等方面考虑,设有传统分离流程和节能分离流程,可以实现传统分离流程与节能分离流程的平稳切换,已在装置中得到成功验证。近期国内外多套炼化一体化项目采用该1-丁烯分离技术。

参考文献:

- [1]付玉川,陈翠翠,杨俊伟.1-丁烯生产工艺及其应用概述[J].山西化工.2013,33(6):21-24.
- [2]崔锡红,曾群英,李吉辉,赵光辉.混合碳四中丁烯-1的分离技术及综合利用[J].精细石油化工进展.2009,11(1):33-37.
- [3]李洪,李鑫钢,罗铭芳.差压热耦合蒸馏节能技术[J].化工进展.2008,27(7):1125-1128.
- [4]SH/T 1546-2009,工业用1-丁烯[S].中华人民共和国工业和信息化部,2009.