

信息技术应用

乙二醇有机废料精馏的计算机模拟及 BHS型高效填料的应用

李群生, 沈洋*, 任钟旗, 金君素, 崔侨
(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘要:利用先进化工模拟软件对乙二醇有机废料精馏回收过程进行模拟和优化,对塔板数、回流比、进料位置及塔顶采出量等操作参数进行灵敏度分析。模拟计算得到乙二醇有机废料精馏塔的设计参数为:理论塔板数30,回流比3,进料位置第11块塔板,塔顶采出量470 kg/h。以设计参数为基础,应用BHS型高效填料进行设计计算。通过经济效益分析,每年可从有机废料中回收乙二醇3384 t,带来经济效益共为2368.8万元。

关键词:乙二醇;有机废料回收;精馏;流程模拟;BHS型填料

中图分类号:TQ342

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)04-0151-04

Simulation of technical reformation on ethylene glycol organic waste distillation and application of BHS-type packing

LI Qun-sheng, SHEN Yang*, REN Zhong-qi, JIN Jun-su, CUI Qiao

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The advanced simulation software is used to simulate and optimize the distillation recycling process of ethylene glycol organic waste. The effects of plate number, reflux ratio, feed-stage and the overhead recovery on the sensitivity are studied. The optimal operation parameters of distillation column for recycling ethylene glycol organic waste are as follows: 30 of theoretical plates, 3 of reflux ratio, 11 of feed-stage and 470 kg/h of overhead recovery. The BHS-efficiency packing design calculation is also conducted. Through the economic analysis, about 3384 t/year of organic waste can be recycled, which will bring economic benefit about 23.688 million yuan every year in total.

Key words: ethylene glycol; organic waste recycling; distillation; process simulation; BHS-type packing

乙二醇(EG)又称甘醇,是一种重要的有机化工原料,可以任意比例与水混合,沸点高、凝固点低。EG与对苯二甲酸反应生成聚对苯二甲酸乙二醇酯,可作为聚酯纤维和聚酯塑料的原料,广泛用于润滑剂、增塑剂、油漆、胶黏剂、表面活性剂、炸药等领域,同时也可用来配制防冻液或直接用作有机溶剂^[1-3]。

在乙二醇生产过程中会产生有机废料,其中乙二醇的质量分数在60%~70%,而目前对于这些废料的处理是直接排放。这样不仅浪费资源,而且对环境造成破坏。随着“绿色化学”的提出,从源头消除污染及提高原子的利用率,力图使所有作为原料的原子都被产品所消纳,实现化学工业的“零排放”。所以设置精馏回收系统,将有机废料中的乙二醇进行回收再利用有非常现实的意义,可以获得

良好的经济效益和环境效益。

现有某乙二醇生产厂的有机废料,通过设置精馏系统,将有机废料中的乙二醇回收。采用BHS型高效填料对精馏塔进行设计计算,利用先进化工流程模拟软件进行模拟计算,通过对进料位置、回流比和塔顶采出量做灵敏度分析,得出了精馏塔的最佳操作参数。

1 乙二醇有机废料精馏工艺流程的模拟

1.1 乙二醇有机废料精馏工艺流程

乙二醇有机废料精馏工艺的流程见图1。主要由1个精馏塔组成,从乙二醇生产工段出来的有机废料经过预处理进入到乙二醇废料精馏塔中,通过气液传质过程,从塔顶采出质量分数合格的乙二醇产品,输送到乙二醇产品罐中。塔釜的馏出物进入

收稿日期:2014-10-13

作者简介:李群生(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事化工过程与分离技术的研究及工业应用;沈洋(1991-),男,硕士生,研究方向为化
工工艺与分离技术,通讯联系人,010-64446523,shenyangbuct@126.com。

储罐,当储罐中液体的储存量大于 20% 之后,通过化验进行质检,作为高沸物进行处理。

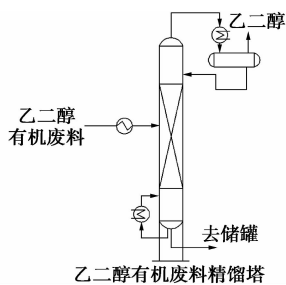


图 1 乙二醇有机废料精馏工艺的流程

1.2 原料组成及设计要求

乙二醇有机废料进料总量为 727.5 kg/h,其质量组成为:乙二醇(EG)65.92%,二乙二醇(DEG)1.54%,碳酸乙烯酯(EC)2.2%,三乙二醇(TEG)19.76%,1,3-丙二醇(13PG)10.58%。

分离指标要求达到乙二醇有机废料精馏塔塔顶乙二醇产品的质量分数为 99.99%。

1.3 物性方法选择

由于乙二醇有机废料中含有 EG、DEG、EC、TEG、13PG 等物质,属于非理想物系。NRTL 方程适用于极性与非极性混合物,强非理想混合物和部分互溶系统。其中在表示二元组合物系和多元组合物系的气液平衡和液液平衡方面尤为显著,优于其他方程^[4-7]。因此,在进行乙二醇有机废料精馏工艺的模拟计算选用 NRTL 方程来计算乙二醇有机废料物系的物性。

1.4 简捷法估算

采用精馏塔的简捷设计模块(DSTWU),根据分离指标要求,初步选取适宜的回流比与理论塔板数,计算出塔的进料位置、塔顶采出量以及冷凝器和再沸器的热负荷。

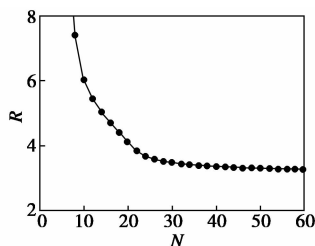


图 2 乙二醇有机废料精馏塔理论板数(N)与回流比(R)的关系

图 2 为乙二醇有机废料精馏塔理论板数与回流比的关系,由图 2 可知,当理论塔板数为 10~20 块时,回流比呈迅速减小的趋势,此时塔的操作费用减

少;当理论塔板数为 40~60 块时,回流比的变化趋势趋近平缓,此时塔的设备费用将有所增加。综合考虑操作费用和设备费用,最终选择在拐点附近的理论塔板数。因此,确定理论板数 $N=30$ 。

1.5 严格法核算

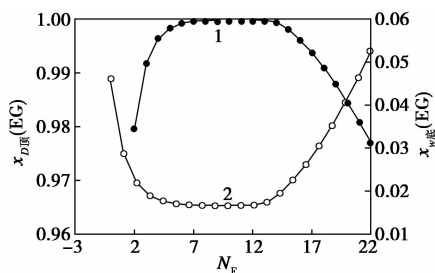
因为简捷法只是对精馏过程进行初步的简单计算,其结果的准确性不高,尤其是对于多组分混合物。所以需要利用简捷法计算出来的结果,带入精馏塔严格计算模块(RadFrac)中进行严格模拟计算。严格法模拟计算初值为 $N=30, R=3.75$ 。

2 灵敏度分析

利用灵敏度分析工具,即给定某一操作变量和目标变量,设定操作变量的变化范围,通过模拟计算来观察目标变量随着操作变量的变化态势^[6-8]。对乙二醇有机废料精馏塔的进料位置、回流比、塔顶采出量等变量,利用灵敏度分析工具进行优化,从而选择出既经济又能达到节能目的的操作参数。

2.1 进料位置分析

在相同塔板数和回流比下,能使塔顶乙二醇产品的质量分数最高的进料位置为最佳进料位置。当总塔板数和回流比不变的情况下,乙二醇有机废料精馏塔进料位置和产品组成之间的关系如图 3 所示。



1—塔顶 EG;2—塔底 EG

图 3 乙二醇有机废料精馏塔进料位置(N_F)与塔顶、塔底乙二醇产品质量分数(x)的关系

由图 3 可以看出,当进料位置小于第 7 块理论板或大于第 12 块理论板时,塔顶、塔底乙二醇的质量分数随着进料位置的下移变化幅度大。当在第 8~12 块理论板之间进料时,塔顶和塔底乙二醇质量分数变化微小。同时考虑满足生产要求,因此可以选择进料位置为第 11 块理论板。

2.2 回流比分析

在精馏过程中,回流比的大小直接影响产品质量分数和再沸器的热负荷。在进料位置、塔板数以

及采出量不变的情况下,增加回流比可以提高塔顶产品的质量分数,但同时也增加了塔顶冷凝器和塔釜再沸器的热负荷,所以选择合理的回流比对于化工生产尤为重要,必须要综合考虑操作费用和分离指标。乙二醇有机废料精馏塔回流比和产品组成之间的关系如图4所示。

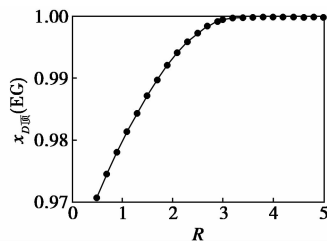
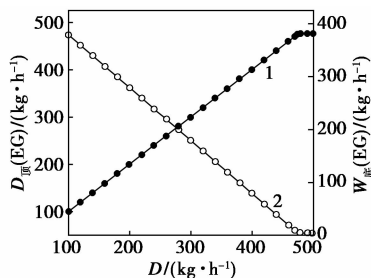


图4 乙二醇有机废料精馏塔回流比(R)与塔顶乙二醇产品质量分数(x_D)的关系

由图4可以看出,当回流比小于3时,随着回流比的增大塔顶乙二醇的质量分数增大幅度明显,当回流比大于3时,回流比对于塔顶乙二醇质量分数的影响不大,乙二醇质量分数趋于平缓。综合考虑分离要求和操作费用,最终确定乙二醇有机废料精馏塔的回流比为3。

2.3 采出量分析

乙二醇有机废料精馏塔的主要目的是从塔顶尽可能多地分离出精制的乙二醇产品,减少塔底乙二醇含量。当进料位置为第11块理论板,回流比为3,乙二醇有机废料精馏塔塔顶采出量和产品含量之间的关系如图5所示。



1—塔顶 EG;2—塔底 EG

图5 乙二醇有机废料精馏塔塔顶采出量(D)与塔顶、塔底乙二醇产品质量流量的关系

当乙二醇有机废料精馏塔塔顶采出量在100~450 kg/h时,塔顶、塔底乙二醇质量流量随着采出量的增大变化幅度大,当采出量大于450 kg/h时,塔顶、塔底乙二醇质量流量随着采出量的变化基本保持不变。而在精馏操作过程中,应该在满足生产产品纯度和减少操作费用的条件下,应该尽

可能多地采出产品。因此实际塔顶采出量选择为470 kg/h。

3 BHS 型填料及乙二醇有机废料精馏塔设计计算

3.1 BHS 型填料简介

BHS 型填料作为新型高效填料,其双层或多层丝网结构设计,增大了气液有效接触面积,提高了传质效率,处理同样效果所需的填料高度及塔高相应降低,在工业生产中得到了广泛应用。

BHS 型填料^[9-11]的结构如图6所示。它打破了传统X、Y直线型填料的限制,采用30°~45°~30°角度变化。当液膜沿填料表面向下流动时,液膜会因角度变换处的流向改变而受到剧烈扰动。根据传质理论,此时液膜变薄,传质阻力减小,液膜表面更新概率增大,从而传质效率增大。另外,波纹线变化连接处的圆角圆滑过渡,使流动顺畅,避免“死角”的存在。填料表面采用高锰酸钾法进行特殊理化处理,与液体的亲和性增强,使液体在填料表面更好地成膜,气液接触的比表面积得以增大,最终使BHS型填料分离效率大为提高。将BHS型填料设计成双层或多层丝网结构,气液有效接触面积增大,达到同样处理效果所需的填料高度及塔高相应降低。

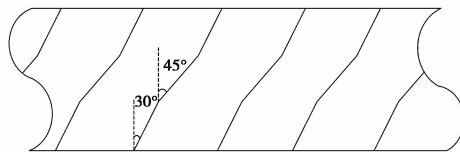


图6 BHS 填料波纹结构

3.2 乙二醇有机废料精馏塔设计计算

乙二醇有机废料精馏塔为新建塔,在采用BHS型高效填料的基础上,需要经过模拟计算得到设计参数。

利用上述灵敏度分析得到的塔操作参数,理论板数 $N=30$,回流比 $R=3$,进料位置 $N_F=11$,塔顶采出量 $D=450$ kg/h,将这些最佳操作参数重新输入模拟。得到塔的水力学数据,作为塔设计计算使用。详细设计参数见表1。

通过上述计算,设计的800 mm直径、填料高度为16 m的BHS型高效填料塔,通过水力学数据计算,可以看出该塔能够进行很好地操作,并且有很大的操作弹性。

表 1 乙二醇有机废料精馏塔设计参数

	上段	下段
结构参数		
填料型式	BHS	BHS
填料高度/m	8	8
塔内径/m	0.8	0.8
塔内件/套	1	1
气液负荷		
汽相负荷/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	1183.090	1421.833
汽相密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.589	1.593
液相负荷/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	1.486	2.681
液相密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	948.847	941.147

4 经济效益

通过设置乙二醇有机废料精馏塔,回收废料中的乙二醇产品,可以给该厂带来良好的经济效益,主要计算依据如表 2 所示。

表 2 经济效益计算依据

项目	回收乙二醇/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	乙二醇/($\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$)	总计/万元
数量	3384	7000	2368.8

对乙二醇有机废料精馏塔进行能耗计算,具体如下。

(1)循环水:循环水用量为 34.9 万 t/a ,循环水的价格为 0.2 元/ t ,则每年循环水的花费为 6.98 万元。

(2)水蒸汽:0.6 MPa 水蒸汽用量为 0.68 万 t/a ,0.6 MPa 水蒸汽的价格为 150 元/ t ,则每年水蒸汽的花费为 102.55 万元。

(3)有机废料中可回收乙二醇 3 384 t/a ,每年折合人民币 2 368.8 万元。

综上分析,该厂通过乙二醇有机废料回收每年可获得经济效益为 $2\ 368.8 - 6.98 - 102.55 = 2\ 259.27$ 万元。另外,塔及相关设备费用约 600 万元,其中包括乙二醇有机废料精馏塔设计加工费、BHS 型高效填料费及其他相配套的管道等辅助设备。因此,从经济效益方面分析,该设计技术方

案是可行的,并且具有良好的经济收益。

5 结论

(1)利用热力学模型选择原则并结合相关文献,最终确定用 NRTL 方程来对该乙二醇有机废料体系进行模拟计算,证明使用此模型计算结果跟实际情况更为接近。

(2)对乙二醇有机废料精馏系统进行模拟优化得到了最佳操作参数,乙二醇有机废料精馏塔的理论塔板数 $N = 30$,最佳进料位置 $N_F = 11$,最佳回流比 $R = 3$,塔顶采出量 $D = 450 \text{ kg}/\text{h}$ 。

(3)利用高效分离技术—BHS 型高效填料精馏塔,在乙二醇有机废料精馏系统中进行运用。通过对该塔的水力学核算,发现能进行很好的操作,并且具有很大的操作弹性。

(4)采用该方案,每年可从有机废料中回收乙二醇 3 384 t ,每年带来的经济效益共为 2 368.8 万元。在实现“绿色化学”的同时,带来了良好的经济收益。

参考文献

- [1] 沈景余. 世界环氧乙烷、乙二醇生产现状及技术进展[J]. 石油化工,1994,23(9):611-617.
- [2] 刘定华,刘晓勤. 乙二醇合成技术进展及应用前景[J]. 南京工业大学学报:自然科学版,2002,24(6):95-98.
- [3] 许茜,王伟伟,许根慧. 乙二醇合成工艺的研究进展[J]. 石油化工,2007,36(2):194-199.
- [4] 戚一文,方云进. 物性估算在 ASPENPLUS 软件中的应用[J]. 浙江化工,2007,38(1):9-11.
- [5] 郑丹星. 化学工业. 化工热力学教程[M]. 北京:中国石化出版社,2000.
- [6] 屈一新. 化工过程数值模拟及软件[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [7] 孙兰义. 化工流程模拟实训[J]. 北京:化学工业出版社,2012.
- [8] Luyben W L. Distillation design and control using Aspen simulation [M]. New York:John Wiley & Sons,2013.
- [9] 李群生,周媛. 经过表面处理的 BHS 型高效填料塔的研究与应用[J]. 化肥工业,2004,31(6):26-28.
- [10] 李群生,田原铭,常秋连. 新型高效规整填料性能研究[J]. 北京化工大学学报,2008,35(1):1-4.
- [11] 常秋连,李群生,王金福. 新型高效填料层压降的数学模型[J]. 中国科技论文在线,2010,5(6):427-433. ■