

基于 ASPEN PLUS 平台的生物乙醇 制生物乙烯的工艺优化

王 林, 崔国燊, 徐 檬, 谭天伟
(北京化工大学生命科学与技术学院, 北京 100029)

摘要:生物乙醇与生物乙烯的过程耦合是降低生物乙烯成本的重要途径。在充分分析生物乙醇制乙烯工艺的特点后,以 ASPEN PLUS 模拟软件为平台,对乙醇分离与乙醇脱水反应过程的耦合进行了优化设计,优化后的工艺流程节省蒸汽 73%,节省能耗 6%。

关键词:生物乙醇;生物乙烯;过程耦合;ASPEN PLUS;优化

中图分类号:Q81

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2009)09-0061-03

Process optimization for bioethanol conversion to bioethylene using ASPEN PLUS

WANG Lin, CUI Guo-shen, XU Meng, TAN Tian-wei

(College of Life Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The coupling process of bioethanol production with bioethanol conversion to bioethylene is a cost effective way for bioethylene production. After the analysis on the process characters of bioethanol conversion to bioethylene, an optimized coupling process of ethanol separation with ethanol dehydration reaction is developed using the simulative software of ASPEN PLUS, the vapor consumption and heat consumption after the process optimization is done are reduced by 73% and 6%, respectively.

Key words: bioethanol; bioethylene; process coupling; ASPEN PLUS; optimization

随着石化资源的日趋枯竭,由生物质发酵生产的生物乙醇为原料制取乙烯的工艺得到越来越多的关注和研究^[1]。目前生物乙醇制乙烯过程主要存在 3 方面的技术问题^[2]:①乙醇发酵技术成本高,选择低成本的原料和降低发酵过程的成本是解决这一问题的 2 条关键途径。②缺少高效低能耗催化剂,目前最成熟的氧化铝催化剂存在反应温度高、空速低、要求原料浓度高等问题,导致能耗较高。③过程耦合一体化工艺有待进一步开发。目前我国现有的乙醇脱水制乙烯装置是建立在燃料乙醇后继生产线上的,工艺路线比较陈旧,耗能显著,要充分考虑生物乙醇的自身特点,将生物质发酵生产乙醇和乙醇脱水制乙烯 2 个过程有机融合。

大连理工大学的王静等^[3]以安徽丰原生化有限公司的乙醇制乙烯装置为基础,对此过程进行了改进,采取从蒸馏塔侧线采样,不考虑杂醇油的分离,降低了乙醇采出的浓度,并减化为单塔蒸馏,过程节能能达到 20.2%。

ASPEN PLUS 是由美国能源部组织开发的大型通用流程模拟系统,广泛用于新工艺开发、装置设计优化等,主要有以下五大功能^[4]:①进行工艺过程严格的能量和质量平衡计算;②预测物料的流率、组成和性质;③预测操作条件和设备尺寸;④减少装置的设计时间、进行设计方案比较;⑤帮助改进当前工艺,在给定的限制内优化工艺条件,辅助确定一个工艺约束部位等。

笔者利用化工流程模拟软件 ASPEN PLUS 平台技术,对生物乙醇制乙烯的过程进行了模拟,对发酵乙醇分离及乙醇脱水制乙烯的过程耦合进行了设计,并对生物乙醇制乙烯工艺的换热网络进行了整体耦合和优化。

1 发酵乙醇分离与乙醇制乙烯过程的耦合设计

1.1 现有工艺

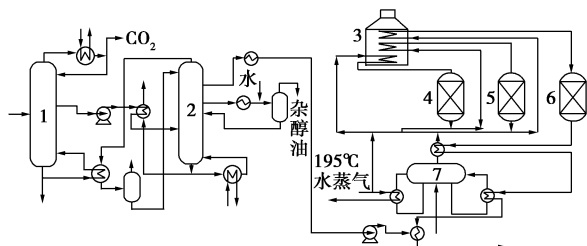
目前的工艺乙醇分离与乙醇制乙烯 2 个过程各

收稿日期:2009-05-06

基金项目:国家“973”项目(2007CB714304);国家“863”项目(2006AA020201、2006AA020103、2006AA020102、2007AA100404);国家自然科学基金项目(20876011);北京市自然科学基金项目(2071002);北京市教育委员会共建项目专项

作者简介:王林(1983-),男,硕士生;谭天伟(1964-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为生物化学工程及酶工程,通讯联系人,010-64416691, tantw@mail.buct.edu.cn。

自独立。发酵乙醇经过粗馏、精馏,脱除醛、甲醇、CO₂和杂醇油后,得到质量分数为 95% 的燃料乙醇,燃料乙醇再作为原料与水蒸气混合后经气化、预热,进入反应器反应,具体流程如图 1 所示^[3]。在这个过程中,主要存在 2 个能量利用不合理的地方:①乙醇蒸馏过程的能耗约占燃料乙醇生产整个阶段能耗的 45%^[5],但得到的高浓度乙醇在反应阶段又需要添加蒸汽稀释,这一过程浪费了大量的能量;②乙醇从蒸馏塔顶采出后,需要先冷凝,进入反应器前又需要气化和预热,这一过程也浪费了设备投资和能耗。



1—粗馏塔;2—精馏塔;3—加热器;4,5,6—反应器;7—蒸发器

图 1 目前的生物乙醇制乙烯工艺流程图

考虑到发酵液中的 CO₂ 和杂醇油的含量都很低,且对后续的催化反应无毒害,同时反应段要求的乙醇浓度很低,因此可以考虑发酵液仅需简单蒸馏,不考虑 CO₂ 和杂醇油的分离;而且乙醇从蒸馏塔采出后可以不经冷凝,直接进入后续的预热、反应段,将乙醇分离与脱水反应完整地耦合,从而进一步简化流程、降低能耗;同时还可将蒸馏塔底和反应器出来的物流与进料物流充分换热,加强能量的回收利用。

1.2 乙醇分离与脱水反应的耦合

1.2.1 蒸馏段与反应段的耦合设计

蒸馏段与反应段的耦合,主要是将乙醇发酵液经过简单蒸馏后,塔顶产品不经冷凝直接进入反应段预热、反应。蒸馏段与反应段的耦合设计,主要是找到一个最佳的蒸馏段乙醇出口浓度,使蒸馏段能耗与反应段能耗综合最低,本文主要是通过计算最小蒸汽消耗量来衡量最佳的出口乙醇浓度。

笔者借鉴了酒精工业中的粗馏塔,采取塔顶进料,塔底进过热蒸汽提供热量,无再沸器和冷凝器。塔顶采出蒸汽后进入换热器,预热到反应温度进入反应器反应。塔底蒸汽可采用一次蒸汽,也可将塔底排出液经加热成二次蒸汽回流供热。

1.2.2 蒸馏与反应段预热的耦合

基于以上分析,在粗馏塔的基础上,笔者进行了乙醇发酵液处理能力为 5 000 kg/h 的蒸馏塔的设计,

乙醇发酵液体积分数为 10%,进料温度为 70℃,常压蒸馏,塔底采用 0.3 MPa 的过热蒸汽加热,乙醇从蒸馏塔顶以蒸汽形式采出后经预热器预热到 250℃。要求乙醇回收率为 99.9%,笔者利用 ASPEN 的 RADFRAC 模型来进行蒸馏塔的设计和核算。

通过调整进料温度、塔板数及蒸汽流量,可以得到不同的塔顶产品浓度及乙醇回收率。利用 ASPEN 的设计规定分析工具,计算了乙醇回收率为 99.9% 时不同塔板数下的蒸汽消耗量,结果如图 2 所示。

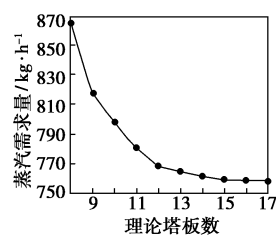


图 2 不同塔板数下的蒸汽消耗量

从图 2 可以看出,随着塔板数的增加,蒸汽消耗量不断减小,但当理论塔板数增加到 15 以上时,蒸汽消耗量减少的非常小,节省的蒸汽投资可能还不及增加的蒸馏塔的投资,因此,将最佳塔板数设为 15,此时平均每吨乙醇的蒸汽消耗量为 1.88 t。

在塔板数确定的情况下,又研究了进料温度对蒸汽消耗量的影响,如图 3 所示。进料温度越高,蒸汽消耗量越小,当采取泡点 92.5℃ 进料时,蒸汽消耗量最少,1 t 乙醇消耗蒸汽 1.62 t,比燃料乙醇常压蒸馏时 1 t 乙醇消耗 6 t 蒸汽^[4]减少了近 73%。同时反应段不再需要加入蒸汽,又节省了大量的蒸汽,2 项总计平均每吨乙醇节省蒸汽 5.49 t。此时蒸馏塔的工艺参数如表 1 所示。

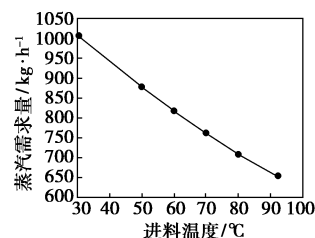


图 3 进料温度对蒸汽需求量的影响

表 1 蒸馏塔工艺参数

参数名称	理论塔板数	进料板	进料乙醇体积分数/%	进料温度/℃	蒸汽压力/MPa
参数值	15	1	10	92.5	0.3
参数名称	蒸汽温度/℃	塔顶乙醇体积分数/%	塔顶温度/℃	塔底乙醇体积分数/%	塔底温度/℃
参数值	133.6	55	92.6	0.04	99.9

2 生物乙醇制乙烯换热网络的优化组合

2.1 各物流热量需求计算

生物乙醇制乙烯流程中涉及多个吸热和放热过程,合理的内部热交换可以更充分利用其中的热量和冷量,从而降低能耗。其中的主要操作单元为蒸馏塔和反应器,包括它们的进料预热和出料冷却。首先对这2个主要部分进行了模拟,并计算了每部分需要交换的热量,结果如表2所示。

表2 各操作单元热交换需求

单元	物料初温/℃	物料终温/℃	热量需求/kW	实际热量需求/kW
蒸馏塔进料预热	20.0	92.5	400.56	400.56
蒸馏塔蒸汽	20.0(一次蒸汽)	133.3	8640.34	—
	100.0(二次蒸汽)	133.3	—	419.69
反应器进料预热	92.6	250.0	70.43	70.43
反应器加热	—	—	112.33	111.33
蒸馏塔底物料冷却	100.0	30.0	-367.88	-336.32
反应器出口	250.0	70.0	-429.58	-429.58
物料冷却	250.0	105.0	-67.11	-67.11
热量总需求	—	—	9223.66	1003.01
冷量总需求	—	—	-797.46	-403.43

2.2 换热网络的优化组合

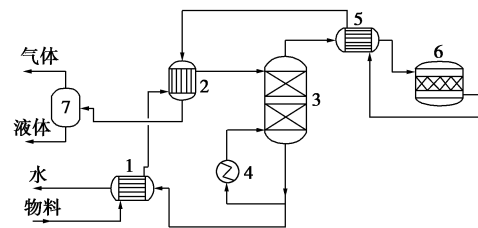
根据各单元热量需求及各物流的初温和终温,一种换热组合是蒸馏塔底物料与蒸馏塔进料换热,反应器出口物料与反应器进料换热,这也是目前工业上采用的换热组合。从表2可以看出,两处放出的热量要低于需求的热量,蒸馏塔进料和反应器进料温度要低于设定温度,蒸馏塔和反应器要补充额外的热量。第一种组合中反应器出口物流换热后温度仍达到105℃,其中含有大量的水蒸气,包含大量热能。工业上经过此步换热后物流进入水洗塔水洗同时冷却到50℃左右,其中的大量热能被浪费。第2种组合是将反应器出口物料与反应器进料换热,蒸馏塔进料与塔底物料进行第1次换热,再与反应器出口物料进行第2次换热,换热后蒸馏塔进料可预热到92.5℃,反应器出口物料温度降到92.6℃,塔底的蒸汽消耗同时降低。以上2种换热方式的比较见表3所示。

由表3可以看出,第2种组合方式在增加了1个换热器后,内部热量得到了更充分的利用,比第1种节省能耗6%。反应器出口物料再经过1次闪蒸,还能分离出92℃左右的热流供其他流程使用。

表3 2种换热组合方式的比较

单元	第1种组合	第2种组合
蒸馏塔蒸汽能耗/kW	452	419
反应器加热能耗/kW	113	113
反应器出口物流终温/℃	101.5	92.6
蒸馏塔底物流终温/℃	30	30
蒸馏塔进料温度/℃	81.7	92.5
反应器进料温度/℃	245.1	245.1

最终,在以第2种换热方式的基础上,建立了生物乙醇制乙烯工艺的流程,将乙醇蒸馏与乙醇脱水反应完整地耦合在一起,如图4所示。



1,2,5—换热器;3—蒸馏塔;4—加热器;6—反应器;7—闪蒸罐

图4 生物乙醇制乙烯耦合模拟流程图

3 结论

基于化工流程模拟软件 ASPEN PLUS,本文从以下几个方面对生物乙醇制乙烯工艺进行了优化:

(1)根据生物乙醇制乙烯的特点,简化乙醇蒸馏过程,采用粗馏塔单塔蒸馏,不考虑杂醇油和CO₂的分离;同时提高进料温度,降低了乙醇蒸馏出口浓度,并取消蒸汽冷凝,相比于燃料乙醇工艺减少了73%的蒸汽消耗,节省了投资,出口乙醇体积分数为55%。

(2)分析乙醇蒸馏及乙醇脱水反应各物流的热量需求,经过进一步优化组合,热量利用更加充分,节省能耗6%。

参考文献

- [1] 龚林军,韩超,谭天伟,等.乙醇制备乙烯的研究[J].现代化工,2006,26(4):44-47.
- [2] 黄英明,李恒,黄鑫江,等.生物乙烯研究进展[J].生物加工过程,2008,6(1):1-6.
- [3] 王静,张述伟.生物质乙醇制乙烯过程节能研究[J].节能技术,2008,26(2):148-167.
- [4] 屈一新.化工过程数值模拟及软件[M].北京:化学工业出版社,2006:6-46.
- [5] 董丹丹,赵黛青,廖翠萍,等.生物基燃料乙醇生产工艺的能耗分析与节能技术综述[J].化工进展,2007,26(11):1596-1601. ■