

文章编号:1672-3961(2008)06-0095-04

# 基于 ASPEN PLUS 平台的生物质 燃气脱焦工艺模拟

熊丽君, 张忠诚

(山东大学化学与化学学院, 山东 济南 250061)

**摘要:**生物质燃气中焦油的脱除是生物质燃气推广和应用中的重要环节.介绍了生物质燃气的溶剂法脱焦工艺的基本过程,利用 ASPEN PLUS 化工模拟软件对该过程进行了模拟计算,分析了物料的流量和温度等工艺条件的改变对于脱焦效果的影响,得到了提高焦油脱出率的最佳方案措施,为实际操作提供了参考依据.

**关键词:**生物质燃气;脱焦油; ASPEN PLUS

**中图分类号:**TK6      **文献标志码:**A

## Stimulation of tar removal from biomass gas using ASPEN PLUS

XIONG Li-jun, ZHANG Zhong-cheng

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** Biomass tar contained in biomass gas is still an obstacle in biomass thermo-chemical conversion technology. The basic process of tar removal by solvents was given. ASPEN PLUS, one of the most famous softwares of chemical engineering, was used to stimulate the process. The measures to increase the rate of tar removal were obtained by analyzing the influence of technological factors such as flux and temperature, which were suitable for practical productions.

**Key words:** biomass gas; tar removal; ASPEN PLUS

## 0 引言

生物质燃气脱焦工艺是目前生物质气化技术推广和应用过程中存在的最大难题.因为气化过程中产生的焦油在冷凝时会产生腐蚀设备,堵塞管道等问题<sup>[1]</sup>.溶剂吸收法通过选取合适的溶剂冷却吸收生物质燃气中的焦油组分.利用 ASPEN PLUS 软件对工艺过程进行模拟计算可以为实际操作提供参考数据.有关生物质燃气脱焦过程的模拟计算,目前尚未发现相关的报导.

Aspen Plus 是美国 Aspen Tech 公司开发的一款大型流程模拟软件.该软件功能齐全、规模庞大,它通过建立准确的模型,使用严格科学的计算方法,可以对

某个单元或是全过程进行模拟计算,来实现对现有工艺条件的优化操作和工艺装置的设计改造<sup>[2]</sup>.

## 1 脱焦基本过程描述

溶剂脱焦法是通过利用溶剂的冷却吸收作用,将焦油中的重组分完全地脱除,而其中的轻组分则被选择性地脱除,使经过处理后的燃气中焦油的露点降低到使用温度之下,从而解决由焦油的凝结而产生的管道堵塞等各种问题.其基本的流程如图 1 所示.从高温气化炉出来的燃气通入重组分收集塔,其中的重焦油组分在溶剂 1 的作用下迅速冷凝在溶剂中,重组分收集塔底出来的混合液经过分离装置后,其中的焦油组分被分离出来,溶剂 1 返回到塔

收稿日期:2008-09-05

作者简介:熊丽君(1983-),女,湖北天门人,硕士研究生,主要研究方向为生物质燃气脱焦油技术.

E-mail: ritaxiong@163.com

通讯作者:张忠诚(1953-),男,山东蓬莱人,教授,硕士学位,主要研究方向为化学工艺及表面工程.

E-mail: zhangzc8888@163.com

顶,其中损失的溶剂由 LIQ1-IN 补充,塔顶出来的气体进入轻组分吸收塔.在这级塔中,燃气中的轻焦油组分被溶剂 2 选择性地吸收.吸收焦油后的混合溶剂将进入到吸收剂吹脱塔中,在通入大量的空气的情况下进行吹脱分离,吹脱后的溶剂返回到轻组分吸收塔的塔顶,而空气和焦油的混合气则被送入气

化炉作为氧化介质,从而避免焦油排出造成污染.在这个过程中,收集塔和吸收塔的燃气出口温度和溶剂出口温度都必须在燃气中水的露点之上,从而避免产生水的污染问题.经过两级塔的净化作用后,由于燃气中焦油成分和含量的大大降低,其露点温度也会随之明显下降<sup>[3]</sup>.

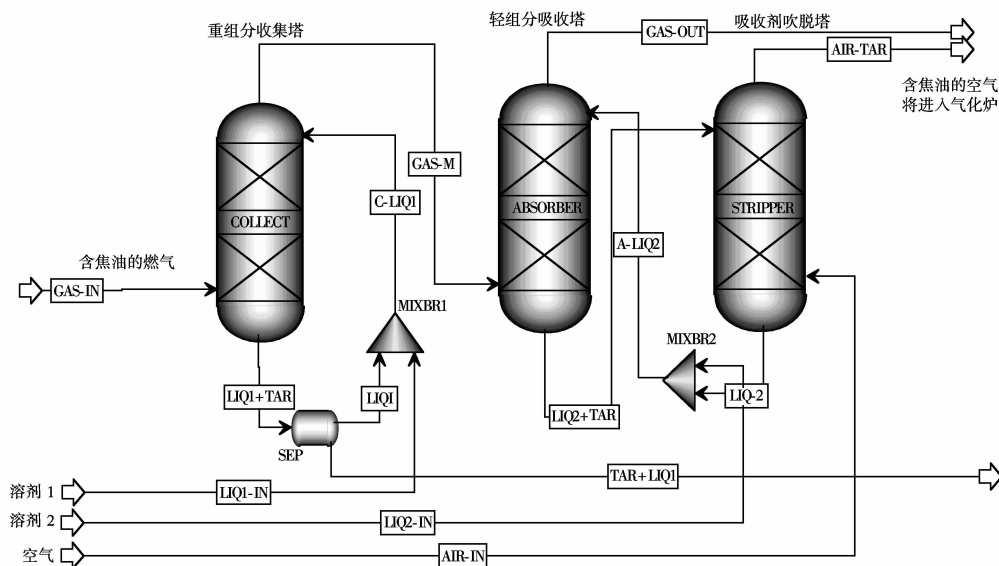


图 1 溶剂脱焦法的基本流程图

Fig. 1 Flow sheet of tar removal by solvents

## 2 模拟过程

### 2.1 单元模型和物性方法的选择

本文选择 RadFrac 作为收集塔,吸收塔和吹脱塔的单元模型.RadFrac 模型可以执行各塔严格核算和设计计算,主要应用于普通蒸馏吸收塔,汽提塔,萃取和共沸蒸馏、三相蒸馏、反应蒸馏.Aspen Plus 的物性方法中有一类专门为碳氢化合物和轻气体混合物而设计的物性方法,其中的 RK-SOAVE 的物性方程适用于所有温度及压力下的非极性或非极性较弱的混合体系,该方法尤其适合用在气体处理,提纯,石化应用等方面.生物质燃气中的绝大多数组分以及过程中所使用的溶剂都为非极性或极性较弱的物质,因此本文选择 RK-SOAVE 作为计算模拟时所采用的物性方法.

### 2.2 条件的规定与假设

本文对山东省济南百川同创实业有限公司的生物质燃气除焦过程进行模拟.实验和模拟过程中所使用的焦油和燃气的各项指标数据都是由该公司提供.

由于焦油组成复杂,本文选取其主要成分萘和苯酚来替代焦油进行模拟计算<sup>[4]</sup>.

实际过程中,气体处理量为 1 000 m<sup>3</sup>/h,进口的

温度为 300 ℃,溶剂 1 和溶剂 2 的通入量都为 8 m<sup>3</sup>/h.气体的组成与相对含量如表 1 所示.

表 1 燃气的组份和含量

Table 1 List of gas compounds

组分	体积相对含量
CO <sub>2</sub>	0.114 315 99
O <sub>2</sub>	0.007 914 18
CO	0.188 181 71
H <sub>2</sub>	0.107 281 16
CH <sub>4</sub>	0.016 443 91
N <sub>2</sub>	0.445 216 81
H <sub>2</sub> O	0.119 385 56
苯酚	0.000 247 48
萘	0.001 013 18

建模时假定塔内的气液两相的传热和传质都达到平衡.

### 2.3 模拟结果与讨论

选择 FLASH2 模型和 RK-SOAVE 物性方法,模拟计算出,燃气中水的露点温度为 54 ℃.而收集塔和吸收塔的操作温度越低,脱焦的效果将会越好.

#### 2.3.1 对收集塔进行模拟分析

收集塔气体出口温度决定着其中重组分脱除程度.当溶剂 1 流量为 8 m<sup>3</sup>/h 时,气体和溶剂的出口温度随溶剂的进口温度变化的关系曲线如图 2 所示,

气体和溶剂的出口温度均随溶剂的进口温度增高而增高,因此通过改变溶剂进口的温度可以得到合适的气体出口温度,从而来控制重组分的脱除率.

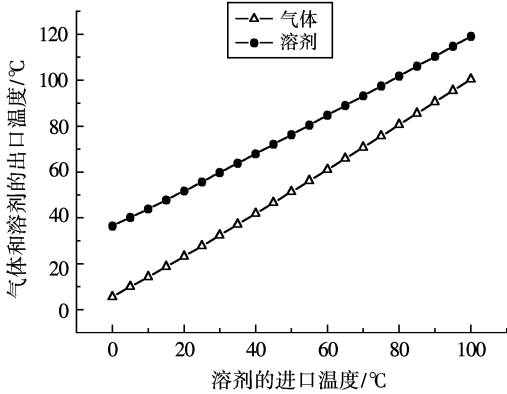


图 2 气体和溶剂的出口温度随溶剂的进口温度变化的关系曲线

Fig.2 The dependence of outlet temperatures of gas and solvent on the temperature of solvent

选择 60 °C 作为溶剂 1 的进口温度,气体出口温度随溶剂 1 流量的变化关系如图 3 所示,当溶剂的流量大于 2 m<sup>3</sup>/h 时,塔顶出口气体的温度都是略高于 60 °C 的.

### 2.3.2 对吸收塔和吹脱塔进行模拟分析

从水的露点和吸收效果两方面考虑,溶剂 2 的进口温度仍选择 60 °C. 溶剂 2 的流速为 8 m<sup>3</sup>/h. 因为吹脱后含焦油的空气将通入气化炉以避免污染空气,依据燃气的流量为 1 000 m<sup>3</sup>/h, 空气的流量也选

为 1 000 m<sup>3</sup>/h, 温度 25 °C .

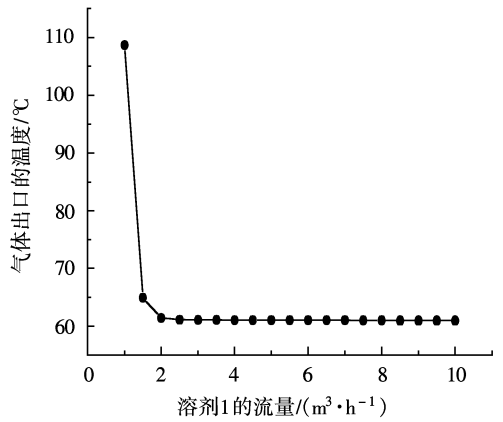


图 3 气体出口温度随溶剂 1 的流量变化的关系曲线

Fig.3 The dependence of outlet temperature of gas on flux of solvent 1

模拟结果显示:初始时溶剂 2 能够有效吸收焦油中的苯酚和萘,两种成分的脱出率都在 99% 以上,但溶剂中焦油含量太低,因此吹脱过程不能有效地除去溶剂 2 中的焦油.随着过程的进行,溶剂 2 中焦油含量的不断增加将不利于焦油的吸收,但却有利于溶剂 2 的吹脱.

当吸收和吹脱过程达到平衡时, ABSORBER 和 STRIPPER 两塔的进出口物流中苯酚和萘的摩尔分数如表 2 所示.此时,燃气中苯酚和萘的脱除率分别为 61% 和 55% .

表 2 苯酚和萘的含量

Table 2 Concentration of phenol and naphthalene

物流	GAS-M	A-LIQ2	LIQ2 + TAR	GAS-OUT	AIR + TAR
苯酚的摩尔分数	$2.47 \times 10^{-4}$	$7.98 \times 10^{-3}$	$7.61 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-4}$
萘的摩尔分数	$1.01 \times 10^{-3}$	$1.28 \times 10^{-1}$	$1.20 \times 10^{-1}$	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.12 \times 10^{-4}$

改变溶剂 2 的流量,其他条件不变,分析苯酚和萘的脱出率随溶剂 2 的流量变化关系如图 4 所示.

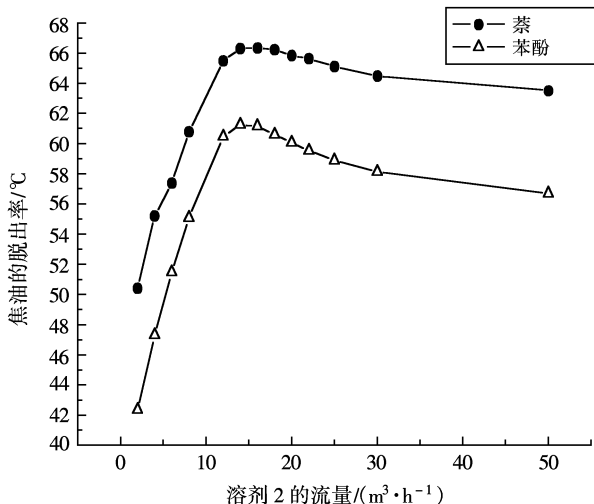


图 4 焦油的脱除率随溶剂 2 的流量变化关系图

Fig.4 Plot of tar removal ratio against flux of solvent 2

从图 4 可以看出,焦油的脱除率随溶剂 2 的流量增加而先显著增加而后慢慢有所减小,其中当溶剂 2 的流量为 16 m<sup>3</sup>/h 左右时达到最大.焦油的脱除率受吸收塔和吹脱塔的共同作用影响,吸收剂流量的增加有利于吸收过程却不利于吹脱过程,因此焦油的脱除率并不随溶剂 2 的流量增加而一直增加.

影响焦油脱除率的主要因素为 A-LIQ2 中焦油的浓度,根据汽液平衡的原理, A-LIQ2 中含有的焦油越少,越有利于焦油的吸收. A-LIQ2 的浓度由 STRIPPER 塔的吹脱效果决定. 溶剂 2 的流量为 8 m<sup>3</sup>/h 时,改变通入吹脱塔的空气流量,其他条件不变,分析得出焦油的脱除率随空气流量变化的关系如图 5 所示,增大空气的通入量可以提高焦油的脱除率,但当焦油的脱除率接近 90% 时,继续加大空气流量对焦油脱除效果的影响不大.

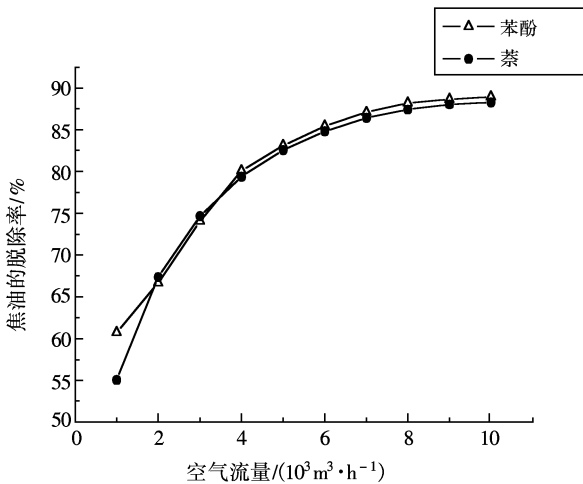


图5 焦油的脱除率随空气流量变化的关系图

Fig.5 Plot of tar removal ratio against air flux

### 3 结论

在实验条件下进行模拟计算发现,系统初始时焦油的脱除效果非常显著,但当轻组分吸收塔和吹脱塔的吸收和吹脱过程达到动态稳定之后,苯酚和萘的脱除率分别为61%和55%。焦油的脱除效果主要受吸收剂纯度的影响,吸收剂经过几百次的循环后,吸收和吹脱过程达到稳定,焦油的脱除率在系统

稳定时最低,而通过控制溶剂1的进口温度,调节溶剂2的流量以及吹脱塔空气进口的流量可以有效地将焦油的脱除率提高到90%左右。

#### 参考文献:

- [1] 吴文广,罗永浩,陈■,等. 生物质焦油净化方法研究进展[J]. 工业加热, 2008, 37(2): 1-4.  
WU Wen-guang, LUO Yong-hao, CHEN Yi, et al. The progress in tar reduction method research[J]. Industrial Heating, 2008, 37(2): 1-4.
- [2] 王玲. 浅谈计算机在化工设计中的应用[J]. 宁波化工, 2008(1): 30-31.  
WANG Ling. Simple talk about application of computer in chemical industry design[J]. Ningbo Chemical Industry, 2008 (1): 30-31.
- [3] PATRICK C A, SANDER V B, HAROLD B. The novel "OLGA" technology for complete tar removal from biomass producer gas[R]. Strasbourg: Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste Expert Meeting, 2002.
- [4] LI Chuan-shan, KENZI S. Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification-An overview[J]. Renew Sustain Energy Rev, 2008(1): 5-9.

(编辑: 孙广增)