

# 煤气化废水中酸性气和氨的脱除

周伟\*

(东华工程科技股份有限公司,安徽合肥230001)

**摘要:**煤气化废水中含有高浓度的酸性气和氨,需进行脱酸脱氨以满足生化处理的要求,广泛采用汽提的形式脱除废水中的酸性气和氨,但已有的汽提塔设计均采用了较高的塔压,能耗较高。针对这一现状,对单侧线汽提塔进行了建模和优化,分析了塔顶压力对脱酸脱氨的影响。研究表明,除塔压外,其他操作参数一定的情况下,采用较低的塔顶压力,不仅能满足废水处理的要求,还能有效地降低能耗。

**关键词:**煤气化废水;酸性气;氨;汽提塔压力;优化

中图分类号:TQ028

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)12-0145-02

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2015.12.039

## Removal of acid gas and ammonia from coal gasification wastewater

ZHOU Wei\*

(East China Engineering Science and Technology Co., Ltd., Hefei 230001, China)

**Abstract:** Coal gasification wastewater contains high concentration of acid gas and ammonia. In order to meet biochemical treatment requirements, deacidification and deamination are needed. Stripping process is widely used to remove acid gas and ammonia in coal gasification wastewater. But in the existing designs, the stripper pressure is high, which results in higher energy consumption. In view of this situation, modeling and optimization of the single stripper are carried out. The influence of stripper pressure on deacidification and deamination is analyzed. The results show that, if the other parameters that affect the separation of single stripper are not changed, such as hot feed location, tower top distillation, cold/hot feed ratio, cold feed temperature, side-draw location and side-draw production, adopting lower stripper pressure can not only meet the requirements of wastewater treatment but also reduce the energy consumption effectively.

**Key words:** coal gasification wastewater; acid gas; ammonia; stripper pressure; optimization

随着经济的发展,社会环境保护力度加大,如何有效地处理煤气化废水是新型煤化工亟待解决的问题。煤气化废水中二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、硫化氢(H<sub>2</sub>S)、氨(NH<sub>3</sub>)等气体的脱除,目前广泛采用的是单塔加压侧线抽出汽提工艺<sup>[1-4]</sup>和双塔加压汽提工艺<sup>[5-6]</sup>,但目前的设计均采用了较高的塔压,能耗较高。在节能降耗的大背景下,有效地降低汽提塔的能耗,企业不仅能获得可观的经济效益,更能赢得社会的广泛认可。

### 1 汽提塔建模

本文中 Aspen Plus 为平台,采用 ElecNRTL 热力学模型对汽提塔进行模拟<sup>[7]</sup>。研究样本为某公司的煤气化废水,基本组成见表1,废水处理量150 t/h。

表1 煤气化废水组分

主要组分	单元酚	多元酚	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>
质量含量/(mg·L <sup>-1</sup> )	8450	4250	37000	700	16200

以单侧线汽提塔为例进行建模,单侧线汽提塔

是利用塔内上下的温差和废水中各组分的溶解特性,达到分离各组分的目的<sup>[8]</sup>。如图1所示,汽提塔可分为3段:酸性气精馏段、酸性气汽提段、氨汽提段。

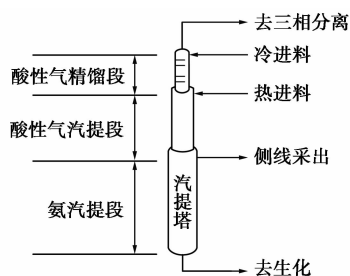


图1 汽提塔示意图

煤气化废水汽提工艺研究的是 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S-NH<sub>3</sub>-NaOH-PhOH-H<sub>2</sub>O 六元电解质体系,属于高度非理想电解质体系。工业过程中,采用 Murphree 塔板效率来修正实际状态与理想状态之间的偏差,根据已有的研究成果<sup>[9]</sup>,Murphree 塔板效率值选择为:CO<sub>2</sub>(0.05)、H<sub>2</sub>S(0.07)、NH<sub>3</sub>(0.61)、

C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH(0.9)。

## 2 汽提塔的模拟与分析

### 2.1 汽提塔塔压

单塔加压汽提是通过加压升温,使废水中铵盐水解。在低温阶段,温度对碳酸氢铵和硫化铵水解常数的影响不大,要将 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> 从废水中汽提出来,需提高塔釜温度;随着温度升高,铵盐的水解常数增大,平衡向生成游离分子的方向移动。同时,在液流的吸收作用下,液相中氨含量增加,平衡向生成离子的方向移动;在 2 个相互矛盾的因素影响下,塔釜温度须达到某一临界温度,用汽提蒸汽降低 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> 的气相分压,才能把液相中的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、HS<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 等离子转化成 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> 等分子,实现废水的净化<sup>[10]</sup>。有研究表明,塔釜温度超过 125℃(水解解析温度)以后,水解常数增长较快,当温度约 160℃时,CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S-NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 物系的电离度接近零。

汽提塔的塔压对塔釜温度的改变具有很强的关联性,要获得较好的汽提效果,须选择合适的塔压。由图 2 可知,塔釜温度要高于 125℃,塔顶压力应大于 0.25 MPa。

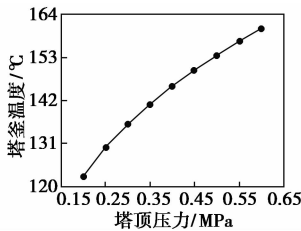
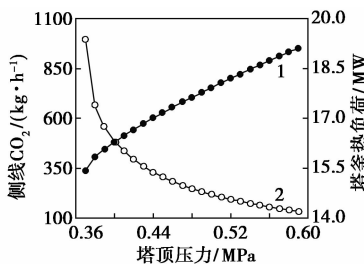


图 2 塔顶压力和塔釜温度的关系

塔釜总氨的浓度主要通过侧线采出量的大小来进行调节,侧线采出量加大后,侧线采出气中酸性气的浓度会增加,影响氨的产品质量,酸性气浓度较高时还会生成碳铵结晶,堵塞管线。为防止出现碳铵



1—侧线 CO<sub>2</sub> 流量;2—塔釜热负荷

图 3 塔顶压力对侧线 CO<sub>2</sub> 含量和塔釜热负荷的影响

结晶,工业上一般要求侧线富氨气中二氧化碳的质量分数小于 2.5%。塔顶压力的升高有利于酸性气和氨的分离,降低侧线采出的富氨气中 CO<sub>2</sub> 质量分数,但塔顶压力越大,塔釜热负荷越高,如图 3 所示。为降低能耗,在满足废水处理要求的基础上,应采用较小的塔顶压力。适宜的塔顶压力为 0.35 ~ 0.45 MPa。

### 2.2 降压分析

对于汽提塔,除塔顶压力(原设计 0.6 MPa,优化后 0.4 MPa)外,选取和原设计相同的塔顶采出量、热进料位置、热进料温度、冷进料比率、冷进料温度、侧线采出位置、侧线采出量、加碱位置、加碱量及三级分凝参数。由表 2 可知,不同塔顶压力下,处理后的废水水质基本相同,均能有效地脱除废水中的 CO<sub>2</sub> 和 NH<sub>3</sub>;塔压降低后对 H<sub>2</sub>S 的脱除率有所降低,但由于煤气化废水中酸性气以 CO<sub>2</sub> 为主,H<sub>2</sub>S 相对较少,降压后仍能满足脱酸脱氨的要求。

表 2 汽提塔优化前后的参数对比

参数	0.6 MPa	0.4 MPa
CO <sub>2</sub> 脱除率/%	99.9	99.9
H <sub>2</sub> S 脱除率/%	96.6	89.5
NH <sub>3</sub> 脱除率/%	98.2	98.4
塔釜总氨/(mg·L <sup>-1</sup> )	225	224
塔釜温度/°C	160.4	145.7
塔釜热负荷/MW	15.7	14.5

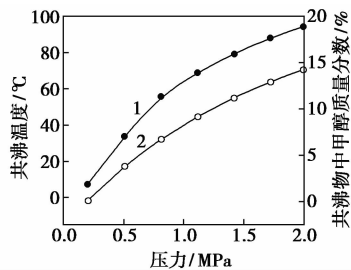
汽提塔降压后,采用低品位的蒸汽加热,不仅能有效地降低能耗,冷却水用量及相关动力装置的能耗均有所降低,具有一定的经济性。

## 3 结论

煤气化废水与炼油工业中的酸水有相似之处,但又不同于酸水,煤气化废水中酸性气的主要成分是 CO<sub>2</sub>(质量分数 > 97%),H<sub>2</sub>S 质量分数较低。相比于 H<sub>2</sub>S,CO<sub>2</sub> 既容易从废水中分离出来,也容易从侧线富氨气中分离出来。针对煤气化废水的特点,对汽提塔塔顶压力的研究表明,适当地降低汽提塔的塔顶压力,不仅能满足污水处理的要求,还能有效地降低能耗。实际工业中,通过操作优化,东北某气化厂将原设计的 0.65 MPa 塔顶压力降低到了 0.5 MPa,进一步验证了降低塔压的可行性。

(下转第 148 页)

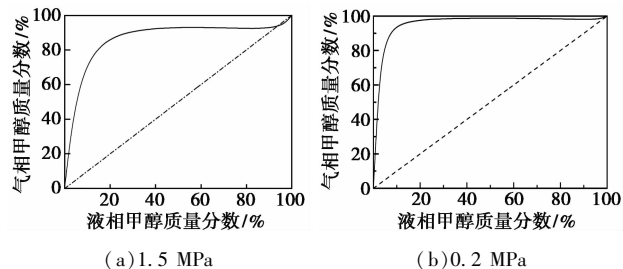
组成和温度,模拟结果如图 1 所示。



1—共沸温度;2—质量分数

图 1 压力对共沸温度和共沸组成的影响

本模拟选定的高压塔和低压塔的操作压力分别为 1.5、0.3 MPa,图 2 为 2 个压力条件下,异丁烷-甲醇体系的  $y-x$  相图,当压力由 1.5 MPa 下降至 0.3 MPa 后,甲醇共沸组成由 11.68% 下降至 1.42%,变化值  $> 5.0\%$ ,共沸温度则由 81.94°C 下降至 19.59°C,因而确定了变压精馏工艺的可行性<sup>[4]</sup>。



(a) 1.5 MPa

(b) 0.2 MPa

图 2 异丁烷-甲醇的  $y-x$  相图

### 1.3 变压精馏工艺流程

甲醇与  $C_4$  组分通过如图 3 的变压精馏流程进行分离。如图 1 所示,温度为 50°C,甲醇质量分数为 1.6% 的  $C_4$  组分进入高压塔 T101,不含甲醇的

$C_4$  组分在 T101 塔底采出,含有甲醇的  $C_4$  组分进入低压塔 T102 进一步分离,由 T102 底部获得甲醇组分,混合组分循环至 T101 进料处。

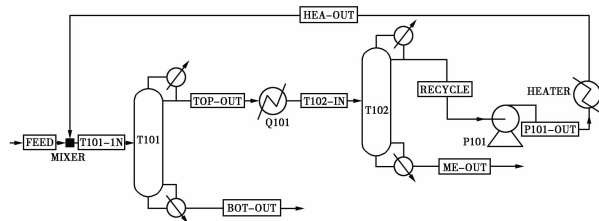


图 3 甲醇与  $C_4$  组分的变压精馏分离流程

## 2 模拟与优化

### 2.1 设计规定

依据目前典型 MTBE 装置后塔顶馏出物组成,本模拟原料物流 FEED 组成如表 1 所示,且将处理量设定为 6 000 kg/h。

表 1 设计规定

物流	FEED	BOT-OUT	ME-OUT
处理量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )	6000		
质量分数/%			
甲醇	1.6	$< 0.01$	$> 0.99$
正丁烯	17.6		
异丁烯	51.4		
正丁烷	10		
反-2-丁烯	6.1		
顺-2-丁烯	7		
1,3-丁二烯	6.3		

(上接第 146 页)

### 参考文献

[1] 钱宇,周志远,陈赞,等. 煤气化废水酚氨分离回收系统的流程改造和工业实施[J]. 化工学报,2010,61(7):1821-1828.  
 [2] 钱宇,陈赞,高亚楼,等. 单塔注碱加压汽提处理煤气化污水的方法:CN,200910036542.3[P]. 2011-05-11.  
 [3] 陈赞,余振江,钱宇,等. 煤气化污水化工处理新流程[J]. 化工进展,2009,28(12):1895-1899.  
 [4] 陈赞,周伟,李秀喜,等. 煤气化废水处理中双侧线汽提塔的加碱脱氨[J]. 现代化工,2012,32(11):88-90.  
 [5] 廖小敏,盖恒军,邱祖民,等. 一种双塔汽提处理含酚、氨煤化工废水的方法:CN,200810106916.X[P]. 2008-10-22.  
 [6] 冯大春. 用于煤气化废水预处理的新流程开发与模拟[J]. 化

工进展,2011,30(4):901-907.  
 [7] Gai H J, Jiang Y B, Qian Y, et al. Conceptual design and retrofitting of the coal-gasification wastewater treatment process[J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 138: 84-94.  
 [8] Feng D C, Yu Z J, Chen Y, et al. Novel single stripper with side-draw to remove ammonia and sour gas simultaneously for coal-gasification wastewater treatment and the industrial implementation [J]. Ind Eng Chem Res, 2009, 48: 5816-5823.  
 [9] Yu Z J, Chen Y, Feng D C, et al. Process development, simulation, and industrial implementation of a new coal-gasification wastewater treatment installation for phenol and ammonia removal[J]. Ind Eng Chem Res, 2010, 49(6):2874-2881.  
 [10] 叶庆国. 阴离子对酸性污水汽提过程中氨氮脱除的影响[J]. 高校化学工程学报, 2000, 14(5):475-479. ■