

冷凝法治理苯乙烯废气及影响规律的研究

林 雨*

(中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院, 化学品安全控制国家重点实验室, 山东 青岛 266000)

摘要:在厂区将苯乙烯装车时, 苯乙烯挥发废气大量溢出导致环境污染。设计了一套对苯乙烯废气进行冷凝回收的装置, 通过单因素实验、正交试验等考察了水浴温度、入口浓度、冷凝管长度、冷凝温度这 4 个因素对该装置回收苯乙烯废气的影响规律。研究表明, 入口浓度对回收苯乙烯废气有较大的影响, 在其他条件相同时, 冷凝管长度越短, 得到的冷凝液体积越多; 冷凝管长度越长, 苯乙烯废气出口浓度越低。水浴温度对苯乙烯废气的冷凝效果影响不大。通过正交试验比较影响因子的大小为冷凝温度>入口浓度>水浴温度>冷凝管长度, 调节冷凝温度对该装置的冷凝效果有较大的影响。

关键词: 苯乙烯废气回收; 冷凝装置; 影响规律

中图分类号: X701.7

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)10-0192-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.10.043

Research on treatment of styrene-containing waste gas by condensation method and affecting rule

LIN Yu*

(State Key Laboratory of Safety and Control for Chemicals, Sinopec Research Institute of Safety Engineering, Qingdao 266000, China)

Abstract: Volatilized styrene waste gas will overflow into air when loading styrene in the factory area, leading to environmental pollution. A set of equipment for condensing and recovering styrene-containing waste gas is designed. Single factor experiment, orthogonal test and other measurements are utilized to investigate the effects of water bath temperature, inlet concentration, length of condenser tube and condensing temperature on the recovery of styrene-containing waste gas. The results show that the inlet concentration has a great influence on recovery of styrene. Under the same conditions, the shorter the condenser tube, the more the produced condensate; the longer the condenser tube, the lower the outlet concentration of styrene in effluent waste gas. The bath temperature has little influence on the condensation of styrene. According to orthogonal test, the influence degree order of four factors from high to low are as follows: condensing temperature, inlet concentration, temperature of water bath and length of condenser tube. Adjusting the condensing temperature has a great impact on the condensing effect of the equipment.

Key words: recovery of styrene from waste gas; condensing unit; affecting rule

苯乙烯在工业上是合成树脂、离子交换树脂及合成橡胶等的重要单体。在有机化工、石油化工、生物制药、塑料生产、橡胶合成及油漆加工等工业过程中苯乙烯的用途极为广泛, 需求量也日趋增大。在生产过程中, 苯乙烯废气的排放会对环境及人体健康造成危害^[1], 而且其为易燃易爆气体/液体, 对眼和上呼吸道黏膜有刺激作用, 高浓度有麻醉作用。急性中毒时会立即引起眼及上呼吸道黏膜的强烈刺激, 严重者可能会眩晕、步态蹒跚。苯乙烯的致癌、致畸作用也在一些研究中得到了证实^[2]。苯乙烯作为苯系物气体是形成 PM_{2.5} 的重要前体之一^[3], 国家环保部对苯系物气体的排放标准日趋严格^[4]。所以将苯乙烯气体回收尤为重要。

对于厂区内苯乙烯废气的净化处理回收, 国内常采用的是活性炭吸附^[5]。然而活性炭吸附苯乙烯后脱附困难, 基本无法回收再利用。冷凝法利用物质在不同温度下具有不同饱和蒸气压的特点, 采

用降低温度、提高系统压力或者既降低温度又增加系统压力的方法, 使处于蒸气状态的污染物冷凝并分离的方法^[6]。冷凝法需要设计一定的专业设备, 因此较适合在工业领域中应用^[7]。经调研发现, 在厂区, 苯乙烯在装车时会有大量的苯乙烯气溢出, 形成了苯乙烯废气排放到了大气中, 对环境造成污染。根据现场的需要可进行冷凝来回收苯乙烯废气, 本文中设计了一种冷凝装置并用冷凝法进行了苯乙烯废气回收的实验研究。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

苯乙烯(分析纯)、柴油、氮气瓶、流量计、冷凝器、有毒挥发气体分析仪 TVA-1000。

1.2 实验方法

本实验的目的是苯乙烯/氮气混合气体的冷凝影响因素及影响规律, 用氮气吹入装有苯乙烯的容量瓶

收稿日期: 2018-03-12; 修回日期: 2018-07-19

基金项目: 中国石化科技部项目(316049)

作者简介: 林雨(1990-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事安全功能材料研发工作, 通讯联系人, 0532-83786443, linyukimon@163.com。

来模拟苯乙烯废气发生器,将苯乙烯废气鼓入搭建的冷凝回收装置来考察苯乙烯入口体积分数、水浴温度、冷凝管长度3个因素对冷凝效果的影响,以出口体积分数为评价苯乙烯废气的冷凝效果指标,其中入口体积分数为通过改变入口进气流量来调节。

首先开启并设置水浴锅、冷凝器的温度,通过温度计读取实际温度。调节氮气钢瓶的流量,将容量瓶中装有1 L加有阻聚剂的苯乙烯溶液的废气鼓入装置中。如图1连接实验装置,开启气源并调节减压阀门开度,记录流量计显示的进气流量,开启调节阀1、2,关闭调节阀3,测量调节阀2后出口苯乙烯体积分数,待达到浓度稳定,记录浓度值。关闭调节阀2,打开调节阀3、4,测量调节阀4后出口苯乙烯浓度,并连续记录读数,待出口浓度数值不再发生变化,结束实验,并计量冷凝管中冷凝液体积/质量。将柴油作为苯乙烯废气吸收液。分别改变气源流量、水浴温度、冷凝器温度、冷凝管长度,重复步骤。实验装置见图1。

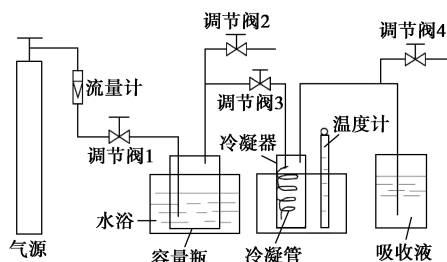


图1 冷凝回收装置示意图

2 结果与讨论

2.1 不同水浴温度、冷凝管长度、入口体积分数对冷凝液体积的影响

分别改变水浴温度、冷凝管长度、入口体积分数,得出对应的冷凝液体积。实验条件及结果见表1。

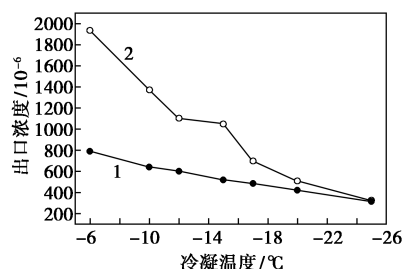
表1 实验条件及结果

实验序号	水浴温度/℃	冷凝管长度/m	进气流量/(L·min ⁻¹)	入口体积分数/10 ⁻⁶	冷凝液体积/mL
1	20	1	1.5	2790	2.0
2	20	1	3.5	3608	2.4
3	20	2	1.5	1470	2.9
4	20	2	3.5	3876	2.3
5	30	1	1.5	2935	1.6
6	30	1	3.5	3441	3.4
7	30	2	1.5	3336	2.85
8	30	2	3.5	3812	2.2
9	40	1	1.5	2728	5.2
10	40	1	3.5	3581	7.5
11	40	2	1.5	3037	3.9
12	40	2	3.5	3862	2.45

从表1可以看出,在水浴温度相同、冷凝管长度相同时,改变苯乙烯废气的进气流量(即改变入口浓度),当冷凝管长度为1 m时,同一水浴温度下,入口浓度越大,冷凝液体积越大;当冷凝管长度为2 m时,同一水浴温度下,入口浓度越大,冷凝液体积越小。根据实验结果分析得出,在其他条件相同时,冷凝管长度越短,得到的冷凝液体积越多。

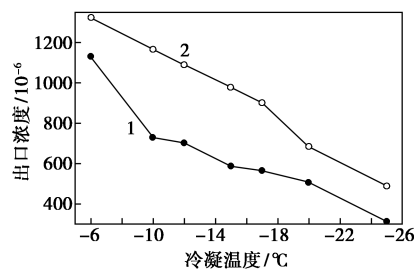
2.2 入口体积分数对出口体积分数的影响

出口体积分数的大小对苯乙烯冷凝有较大的影响,本实验在冷凝管长度、水浴温度不变的条件下,改变苯乙烯的流量即入口体积分数来研究其对出口体积分数的影响。出口体积分数随冷凝温度的变化如图2~图5所示。



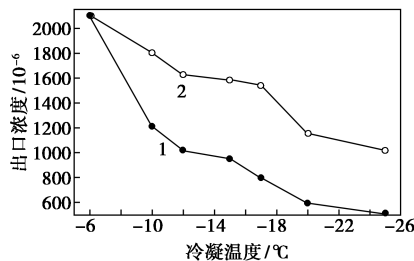
流量:1—1.5 L/min;2—3.5 L/min

图2 冷凝管长度2 m,水浴温度20℃,不同流量对应的出口体积分数



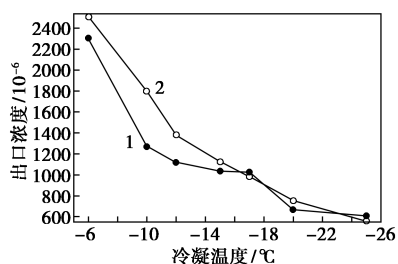
流量:1—1.5 L/min;2—3.5 L/min

图3 冷凝管长度2 m,水浴温度30℃,不同流量对应和出口质量分数



流量:1—1.5 L/min;2—3.5 L/min

图4 冷凝管长度1 m,水浴温度20℃,不同流量对应的出口体积分数



流量:1—1.5 L/min;2—3.5 L/min

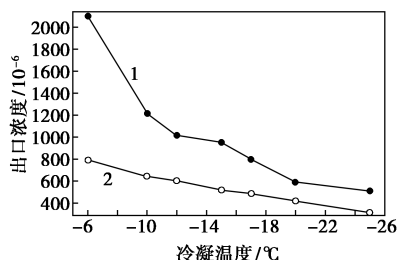
图 5 冷凝管长度 1 m, 水浴温度 30℃, 不同流量对应的出口体积分数

由图 2~图 5 表明, 苯乙烯的入口体积分数的大小对出口体积分数有着很大的影响。气体流量越小, 气体与冷凝管接触越充分, 冷凝越完全, 冷凝效率也就越高。随着苯乙烯入口体积分数的增加, 出口体积分数增加; 出口体积分数随着冷凝温度的降低而降低。冷凝管长度为 2 m 时, 不同入口体积分数的出口体积分数差别较大。表 1 冷凝液体积无规律。经分析认为, 当入口体积分数增大时, 苯乙烯废气入口体积分数增大, 通过整个体系的体积分数同时增大, 导致出口体积分数也增大。

由此说明, 控制体系的入口体积分数对于整个体系得出的冷凝液体积影响不大, 但对出口体积分数影响较大, 所以当需要调节出口体积分数时, 应注意调节入口体积分数即流量。

2.3 冷凝管长度对出口体积分数影响

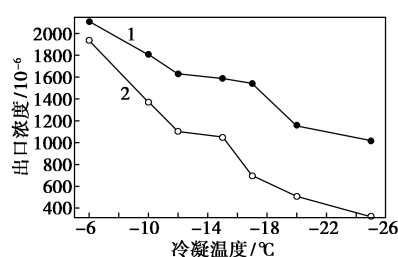
为了解冷凝管长度对出口体积分数的影响, 在入口体积分数、冷凝管长度、温度不变的条件下, 改变冷凝管长度研究其对体系出口体积分数的影响。出口体积分数随冷凝管长度的变化如图 6~图 9 所示。



冷凝管长度:1—1 m;2—2 m

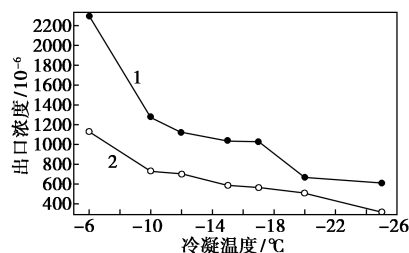
图 6 流量 1.5 L/min, 水浴温度 20℃, 不同冷凝管长度对应的出口体积分数

从图 6~图 9 看出, 在相同水浴温度, 相同流量, 当冷凝管长度越长, 出口浓度越小, 冷凝液越多。分析原因为, 入口通过的流量是一定的, 当冷凝管长度较长时, 苯乙烯废气需要经过更长的冷凝管长度, 冷凝面积大, 得到的冷凝液较多, 所以出口浓度减小,



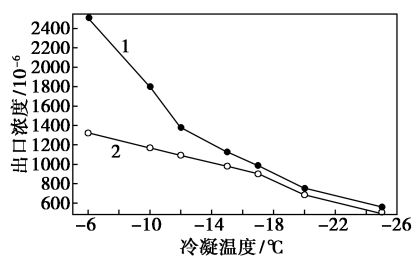
冷凝管长度:1—1 m;2—2 m

图 7 流量 3.5 L/min, 水浴温度 20℃, 不同冷凝管长度对应的出口体积分数



冷凝管长度:1—1 m;2—2 m

图 8 流量 1.5 L/min, 水浴温度 30℃, 不同冷凝管长度对应和出口体积分数



冷凝管长度:1—1 m;2—2 m

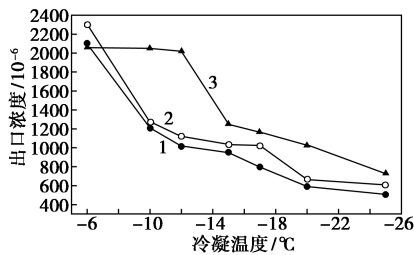
图 9 流量 3.5 L/min, 水浴温度 30℃, 不同冷凝管长度对应的出口体积分数

从表 1 也可以看出在流量为 1.5 L/min 时, 基本呈现此规律。而流量为 3.5 L/min 时, 虽然规律也是冷凝管长度越长, 出口浓度越小, 但表 1 中冷凝液体积无规律, 分析原因应该是流量为 3.5 L/min 时, 体系流量较大, 苯乙烯废气经过冷凝管时速度较快, 可以冷凝出的液体体积不受冷凝管长度的影响。

从中得出若需要得到较多的冷凝液, 可以选择较长的冷凝管, 增加冷凝面积, 但不能用较大的流量, 应使苯乙烯蒸气有较充分的换热时间。

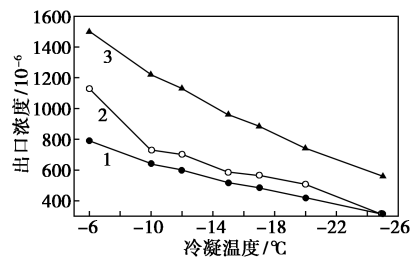
2.4 水浴温度对出口浓度的影响

研究水浴温度对出口浓度的影响, 在入口浓度、冷凝管长度不变的条件下, 改变水浴温度研究其对体系出口浓度的影响。当流量为 1.5 L/min, 冷凝管长度分别为 1、2 m 时, 水浴温度对出口浓度的影响见图 10、图 11。



水浴温度:1—20℃;2—30℃;3—40℃

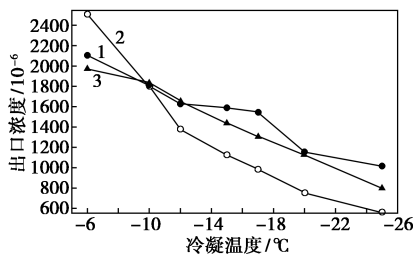
图10 冷凝管长度1 m,流量1.5 L/min,不同水浴温度对应的出口体积分数



水浴温度:1—20℃;2—30℃;3—40℃

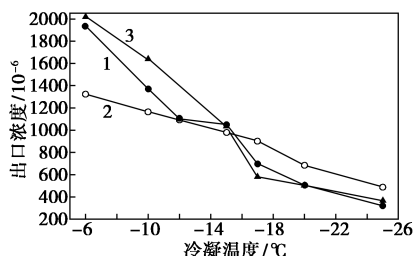
图11 冷凝管长度2 m,流量1.5 L/min,不同水浴温度对应的出口体积分数

当流量为3.5 L/min,冷凝管长度分别为1、2 m时,水浴温度对出口浓度的影响见图12、图13。



水浴温度:1—20℃;2—30℃;3—40℃

图12 冷凝管长度1 m,流量3.5 L/min,不同水浴温度对应的出口体积分数



水浴温度:1—20℃;2—30℃;3—40℃

图13 冷凝管长度2 m,流量3.5 L/min,不同水浴温度对应的出口体积分数

从图10~图13中看出,随着冷凝温度的降低,出口浓度降低。水浴温度的变化对出口浓度影响不大。在厂区装车时,由于外界环境温度的限制,若要对苯乙

烯蒸气进行冷凝,入口温度可以尽量保持在40℃以下。

2.5 影响因素大小对比

为了今后现场可以更好地应用该装置来进行苯乙烯冷凝回收,需要将选择的几种因素对苯乙烯冷凝效果的影响进行对比。本文中根据因素和条件设计了4因素3水平的正交试验,将苯乙烯的出口浓度作为进行评价因素的影响大小。选择的因素有水浴温度、冷凝管长度、入口浓度、冷凝温度,其中水浴温度选择的水平是25、30、40℃;冷凝管长度为1、1.5、2 m;入口浓度为1.5、2.5、3.5 L/min;冷凝温度为-5、-10、-15℃。经过四因素三水平的正交试验,通过比较极差值得出影响因子的大小为冷凝温度>入口浓度>水浴温度>冷凝管长度。其中冷凝温度的极差值与其他因素相差较大,可知冷凝温度为最大影响因子,为关键影响因素。而冷凝管长度的影响因子最小,说明冷凝管的长度对冷凝效果不如其他因素明显。所以在厂区苯乙烯废气冷凝回收装置的应用上,调节冷凝温度对苯乙烯废气的冷凝效果具有很大的影响。

3 结论

(1) 苯乙烯废气的入口浓度的大小对出口浓度影响较大。

(2) 在相同的水浴温度下,苯乙烯废气的入口浓度越大,出口浓度越大。

(3) 相同水浴温度,相同苯乙烯废气入口浓度,冷凝管长度越长,出口浓度越小。

(4) 相同水浴温度,当冷凝管长度为1 m时,同一水浴温度下,苯乙烯废气入口浓度越大,冷凝液体积越大;同一水浴温度下,当冷凝管长度为2 m时,苯乙烯废气入口浓度越大,冷凝液体积越小。

(5) 苯乙烯废气入口浓度相同,水浴温度不同,出口浓度无规律。

参考文献

- [1] 雷艳梅,孙飒石,吴献花,等.生物膜填料塔净化低浓度苯乙烯废气的实验研究[J].环境工程学报,2006,7(3):36-39.
- [2] 依兹麦罗夫 HY.环境中常见污染物(第2辑)[M].郑乃彤,李牲,张进发,等,译.北京:中国环境科学出版社,1986.
- [3] 赵磊,王筱喃,王新,等.石化VOC废气深度净化技术开发及工业应用[J].环境工程,2016,(S1):569-571.
- [4] 单晓雯.石化企业吸附冷凝法尾气处理装置研究与应用[J].安全、健康和环境,2015,15(7):30-33.
- [5] 苏建华,李世英,荆效民,等.液体吸收-活性炭吸附净化苯乙烯废气[J].环境科学,1993,14(3):36-38.
- [6] 徐树深.真空压力浸渍设备设计中苯乙烯废气压的计算及冷凝捕集[J].真空,1998,(4):34-37.
- [7] 侯廷建,刘飞虎.几种挥发性有机污染物的控制措施及其适用范围比较研究[J].化工管理,2016,(3):223-223. ■