

# 丙烯酰胺水溶液浓缩的载气蒸发新方法

马 烽<sup>1</sup> 王 军<sup>2</sup> 沈自求<sup>2</sup>

(1. 山东轻工业学院化学工程系, 山东 济南 250100; 2. 大连理工大学化工学院, 辽宁 大连 116012)

**摘要:**提出了一种丙烯酰胺水溶液浓缩的载气蒸发新方法, 分析和讨论了该方法的基本原理, 介绍了载气蒸发新方法的技术方案。该丙烯酰胺水溶液浓缩载气蒸发法的特点是在一般筛板浓缩塔的筛板上布置了加热管, 把一般筛板塔浓缩的平衡控制过程转变为传热控制过程。依据新方法开发的新型载气蒸发筛板塔可采用多层塔板操作, 该塔与未设置加热管且塔板较少的情况相比, 浓缩比可以提高 1 倍; 采用负压操作, 可以避免丙烯酰胺泄漏。

**关键词:**丙烯酰胺; 载气蒸发; 筛板塔

中图分类号: TQ028.6

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)S1-0199-03

## A new carrier gas evaporation method for concentration of acrylamide aqueous solution

MA Feng<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, SHEN Zi-qiu<sup>2</sup>

(1. Department of Chemical Engineering, Shandong Institute of Light Industry, Jinan 250100, China;

2. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116012, China)

**Abstract:** A new carrier gas evaporation method for concentration of acrylamide aqueous solution was proposed, its basic principle was analyzed and discussed, and its technological project was also introduced. The characteristic of this new method was that the heating tubes were installed on sieve trays of the concentrating sieve tray tower, which could change the equilibrium control into heat transfer control in the process of concentration of acrylamide aqueous solution. The new sieve tray tower of carrier gas evaporation can be installed with multiplayer sieve trays, and has double concentration ratio as compared with that of general sieve tray towers, and can be operated under vacuum conditions, which can avoid the leakage of acrylamide.

**Key words:** acrylamide; carrier gas evaporation; sieve tray tower

丙烯酰胺(AM)生产时,其水溶液需要蒸发浓缩。最简单的浓缩方法是用一种釜式蒸发器,靠夹套加热,在釜底通入大量空气。空气一方面阻止丙烯酰胺聚合,同时还带出了大量水蒸气。这种方法过去在国内使用较多,但由于设备操作效率低,且物料在设备中停留时间长,易引起聚合,从而影响产品的质量和收率,目前已不使用。浅野志郎<sup>[1]</sup>将一定量的热空气和丙烯酰胺水溶液在填料塔中充分接触,使水分由空气带出而浓缩。该法利用空气显热使水分气化,由于空气的热容量小且导热系数小,因此要消耗大量的热空气,而且在操作温度下,丙烯酰胺有时会产生聚合,甚至会使填料塔堵塞。沈自求等<sup>[2]</sup>是在垂直列管式蒸发器的加热管底部设置 1 个载气分布器,通入空气作为载气。由于载气具有较好的传热速率且能减少热敏性物料蒸发时的热变质,同时具有阻聚作用,其操作效果较好。但一般具有外循环的载气蒸发器,仍是以分批操作用于生产中。单程直通式载气蒸发器的操作范围较窄,设计

要求严格,控制比较困难。笔者提出了一种丙烯酰胺水溶液浓缩的载气蒸发新方法<sup>[3]</sup>,该法具有操作效率高、阻聚效果好、可以进行直通式连续操作的特点。

## 1 基本原理

### 1.1 传热传质过程分析

在一般筛板塔内,当热流体自上而下流动,空气由下而上与热流体逆流流动时,沿塔高气液两相的温度和湿度是发生变化的,并且空气与料液接触时,在料液面上(气、液界面)存在 1 层饱和空气层,其温度与界面料液温度相同(处于平衡状态)<sup>[4-5]</sup>。气相湿度  $H$  自下而上始终低于料液界面饱和空气层中的平衡湿度  $H_i$ ,因此沿塔高不断有水分蒸发,水气向空气传递并携走潜热,致使料液不断冷却,空气不断增湿。如果有足够多层的塔板,那么从温度变化来看,料液温度自上而下连续下降,在塔中某处与空气温度可以达到平衡。

按照两相间的温度可将全塔分成上、中、下 3 种情况:上段气温低于料液温度,中部某截面料液温度与气温平衡,下段则料液温度低于气温。现结合温度和湿度的分布情况分析塔内各段的热量、质量传递过程特点,如图 1 所示。

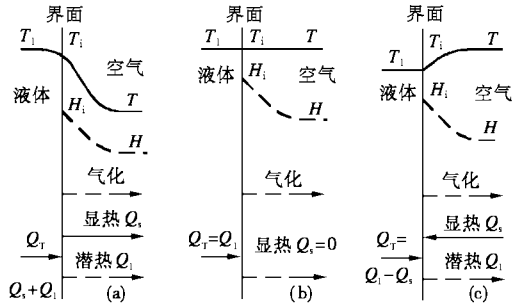


图 1 筛板塔中热量、质量传递过程示意图

(1)筛板塔上部塔板,如图 1(a)所示,热流体温度  $T_1$  高于界面温度  $T_i$ ,界面温度又高于空气温度  $T$ ,料液向空气传递显热  $Q_s$ ;饱和空气层的湿度高于周围空气的湿度 ( $H_i > H$ ),水蒸发并向空气传递,使空气增湿,同时携带潜热  $Q_l$  向空气传递,总传热速率  $Q_T$  为显热与潜热传递速率的总和。此区内热量、质量均是由液相向气相传递的,故料液被冷却,而空气升温、增湿。

(2)塔中部某截面,如图 1(b)所示。由于料液温度沿塔向下降低,空气温度由下向上升高,而至塔中某截面处气液温度达到相同 ( $T_1 = T_i = T$ ),此时,显热传递速率降至零。但由于饱和空气层内湿度仍高于周围空气的湿度 ( $H_i > H$ ),故料液中水继续蒸发并携带潜热向空气传递,空气仍被增湿。总传热速率为潜热传递速率,即  $Q_T = Q_l$ 。此区内热量、质量仍是由液相向气相传递,料液被冷却;而空气为恒温增湿。

(3)筛板塔下部塔板,如图 1(c)所示。温度已降至空气温度以下的料液与自塔底进入的温度较低的空气接触,由于  $H_i > H$  (且差别较大),水剧烈气化。水气携带潜热向空气传递,使空气增湿。在此,尽管气温高于料液温度,但由气相向料液传递的显热不足以补偿水分气化带走的潜热,料液仍降温。总传热速率为潜热与显热传递速率之差,即  $Q_T = Q_l - Q_s$ 。此区内热量、质量仍是由液相向气相传递,料液被冷却,而空气被降温、增湿。

丙烯酰胺水溶液采用一般筛板塔浓缩时,实际上就是空气在塔中的增湿过程。由于空气增湿到一定程度都能达到饱和状态,而且空气的终温达到

料液入口温度,这样丙烯酰胺的浓缩受到增湿平衡限制。另一方面丙烯酰胺水溶液浓缩通常只在图 1(a)的情况下操作,这是由于在较低的温度下丙烯酰胺容易结晶析出,不利于浓缩操作,所以出口料液温度不能太低。对于一般筛板塔用于浓缩丙烯酰胺水溶液时,如果增加筛板数,那么就会出现图 1(b)和图 1(c)的情况,造成出口料液温度过低。因此,一般的丙烯酰胺水溶液浓缩筛板塔的筛板数都较少。要想达到目的浓度,必须要进行间歇操作,使出口料液反复进行预热进入塔内浓缩。因此,一般的丙烯酰胺水溶液浓缩筛板塔,其蒸发浓缩属于平衡控制过程,其热量传递包括 2 个部分,即料液传递给空气的显热和由于料液和空气存在湿度差使水分气化带给气相的潜热。

在载气蒸发筛板塔中,当在塔板上装置有加热管时,每层塔板上的料液将不断被加热。控制浓缩过程的负压操作,使加热管传递热量给料液,让料液中的水分气化。由于大量载气泡(空气泡)的存在,根据载气蒸发原理<sup>[6]</sup>,料液由在加热管壁面上的液体沸腾过程被转变为在液相主体中的气-液两相界面上的液体气化过程,加热管附近料液的蒸发属于载气蒸发。料液在加热管附近的气液界面上被蒸发时带走大量潜热,从而使气液界面温度降低,出现了界面热阱,其载气泡在加热管附近产生了“界面气化热阱”效应<sup>[7]</sup>。此时,在载气蒸发筛板塔中仍然存在着空气增湿升温过程,也具有与一般筛板浓缩塔相同的传热特点,同样可以用图 1(a)来表示。只是由于在筛板上布置有加热管,料液被加热,由图 1(a)传热传质分析可以断定,装有加热管的塔板传质推动力增大,浓缩程度增加。并且由于料液被不断加热,在一定的料液出口温度下,塔板数可以增加,通常载气蒸发塔的塔板数都在 6~16 层。

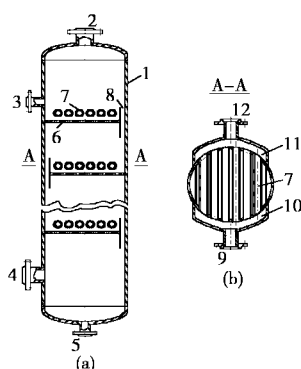
## 1.2 基本原理

从上面的载气蒸发筛板塔的传热传质分析可知,其热量传递包括 4 部分,即加热管附近的气液界面料液蒸发带给气相潜热、加热管传递给料液显热、料液传递给空气显热以及由于料液和空气存在湿度差使水分气化带给气相的潜热。这样,载气蒸发筛板塔要比一般筛板蒸发塔的传热速率明显增大,丙烯酰胺的蒸发浓缩过程由一般的平衡控制过程转变为传热控制过程,从而使浓缩效率大大提高。同时这种丙烯酰胺载气蒸发筛板塔具有很好的阻聚作用:一方面是由于在蒸发浓缩过程中,加热蒸汽的热量以显热的形式传递给加热管壁面附近的料液,然

后由料液与载气进行传热传质,使料液中水分不断被蒸发,引入的载气使料液中水分的蒸发发生在气液界面上,而不是发生在加热管壁上,这样就使丙烯酰胺在浓缩过程中不易聚合;另一方面由于使用大量的空气作为载气,空气对丙烯酰胺浓缩具有很好的阻聚作用。

## 2 技术方案

用于载气蒸发新方法中的载气蒸发筛板塔结构和加热管的结构分别如图2(a)和图2(b)所示。



1—塔体;2—排气口;3—进料口;4—进气口;5—出料口;  
6—塔板;7—加热管;8—溢流口;9—加热蒸汽进口;  
10—加热蒸汽腔;11—冷凝液排出腔;12—冷凝液排出口

图2 丙烯酰胺载气蒸发筛板塔和加热管结构

筛板塔主要由塔体、塔板、加热管、进料口、出料口、进排气口组成。塔体中装有6~16层塔板,每层塔板上都具有溢流堰、溢流口和筛孔。加热管为排管,加热管与加热蒸汽腔和蒸汽冷凝液排出腔连通,加热蒸汽腔和冷凝液排出腔上分别设置有加热蒸汽进口及蒸汽冷凝液排出口。筛孔孔径 $d$ 为4.5~8.0 mm,筛孔间距 $t$ 为3~5 mm;塔体直径一般为500~2 000 mm,塔板间距为400~900 mm。工作时,加热管中的蒸汽压力为 $9.81 \times 10^4 \sim 14.71 \times 10^4$  Pa。采用真空泵从排气口抽气,抽气时保持装置顶部的真空度为 $2.67 \times 10^4 \sim 4.67 \times 10^4$  Pa;料液预热温度为85~92℃,空气与料液流量之比为50~200 m<sup>3</sup>/t。

操作时,丙烯酰胺料液用离心泵输送,经1组套管加热器预热到90℃左右后,由进料口进入到第1块塔板上,与自下一块塔板上升的气相接触进行蒸发,然后气相由塔顶的排气口排出,料液越过溢流堰,由溢流口流至下一块塔板上。在塔底,常温下的空气载气自进气口进入装置内,通过塔板上的筛孔

逐板上升,与塔板上的料液接触进行蒸发。空气的输入可以用高压鼓风机(如罗茨泵)打入,亦可用真空泵(如水环泵)自装置顶部抽气,将空气自塔底部的进气口抽入。操作时可采用2台以上的载气蒸发筛板塔连用,也可以和载气蒸发器串联使用。

## 3 结论

丙烯酰胺水溶液浓缩的载气蒸发新方法具有如下特点:

(1)在一般筛板蒸发塔的筛板上布置了加热管,把一般筛板塔浓缩的平衡控制过程转变为传热控制过程。

(2)将载气蒸发器中的空气与料液在蒸发管中并流向上的操作改成了在筛板塔中的气-液逆流操作,起阻聚作用的空气量较传统的载气蒸发器中引入的空气量要大得多,故阻聚作用大为增强,而且操作范围较宽,弹性也较大。

(3)可采用多层塔板操作,使整个装置的蒸发浓缩能力大为提高,与未设置加热管且塔板较少的情况相比较,浓缩比可以提高1倍。

(4)由于在每一层塔板上丙烯酰胺料液与自下一塔板上升的空气-蒸汽混合气充分接触形成泡沫,故在气相中含有大量的空气,按载气蒸发原理,作为载气的空气使加热管至液体之间的传热获得了显著增强,同时空气对丙烯酰胺具有良好的阻聚作用。

(5)采用真空泵从塔顶抽气时,装置内为负压操作,可以避免丙烯酰胺自装置中漏出。

## 参考文献

- [1] 三井东库化学株式会社. 丙烯酰胺水溶液的浓缩方法[P]. 特开昭 48-62717, 1973-09-01.
- [2] 大连工学院. 丙烯酰胺水溶液浓缩的载气蒸发法[P]. CN 85102830 A, 1986-09-10.
- [3] 大连理工大学. 一种丙烯酰胺水溶液浓缩的载气蒸发装置[P]. CN 2512482, 2002-09-25.
- [4] Walker W H, Lewis W K, Mcadams W H. Principles of chemical engineering[M]. New York: McGraw Hill, 1923.
- [5] 张有衡, 姚虎卿. 化学工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1987.
- [6] Shen Z Q. [J]. Progress in Natural Science, 1999, 9(10): 730-739.
- [7] Ma F, Yu Z J, Wang J, et al. [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2003, 78(2-3): 173-180. ■