

文章编号: 1005-8893(2001)01-0028-04

结构对圆形水平排管喷膜蒸发传热性能影响的研究^{*}

张锁龙¹, 张新年¹, 张龙根², 何新生²

(1. 江苏石油化工学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 通过对圆形水平排管不同管子间距的实验研究, 介绍了实验装置, 阐述了实验现象, 分析了实验结果, 认为不同的管子间距对水平排管的传热性能是有影响的且存在有一最佳间距和流量关系, 为水平管蒸发器的设计提供了实验依据。

关键词: 水平排管; 喷膜蒸发; 结构

中图分类号: TK 11⁺5

文献标识码: A

蒸发作为化工产品工艺过程的一个重要单元操作, 其地位与作用在科技高速发展的今天愈加受到广大科技工作者的重视。早在一个世纪前, 人们就对如何在较低的传热温差下获取较大的传热系数提出了异议。人们发现当溶液沿加热管壁膜状流动进行传热和蒸发时, 其液膜传热热阻小, 即采用喷膜蒸发可以提高蒸发过程的传热性能和降低蒸发时的耗能。

水平管喷膜蒸发器 (Horizontal Spray falling Film Evaporator, 简称 HSFFE) 是美国 Aqua-Chem. 公司于 60 年代后期开发出的高效换热装置, 其结构如图 1。近年来, 这种形式的蒸发器日益为人们所重视, 据文献报道, HSFFE 和传统的沉浸式蒸发器相比较, 具有在低喷淋密度和低传热温差下有很大的传热速率, 以及有效温差损失少, 溶液分布均匀等多项优点。它的传热系数比垂直管降膜蒸发器高出 50%~150%, 比池式沸腾高出 3~5 倍, 比垂直式蒸发器高出 2 倍, 多级水平喷淋降膜蒸发器比多级闪蒸蒸发器的传热系数高 1~2 倍。

由于 HSFFE 在低温差传热、低运行压力及粘性液和热敏性物料等场合有很大的优越性, 故从开发至今短短 30 年间, 已在海水淡化、化学工程、制冷工程、海洋热能转换系统、食品和医药加工及

低品位余热利用等工业方面得到了广泛应用。出于对 HSFFE 高效换热的经济价值及科学意义, 继 Aqua-Chem. 公司之后世界各地许多研究者纷纷对 HSFFE 进行了研究^[1], 国内的郭宜祜、陈砺^[2]等在此方面进行了深入的研究, 但大多集中在单管及其强化等方面的研究。对于排管的研究则较少见报道, 而管束的排列形式及管间距对传热性能影响的研究尚未见报道。

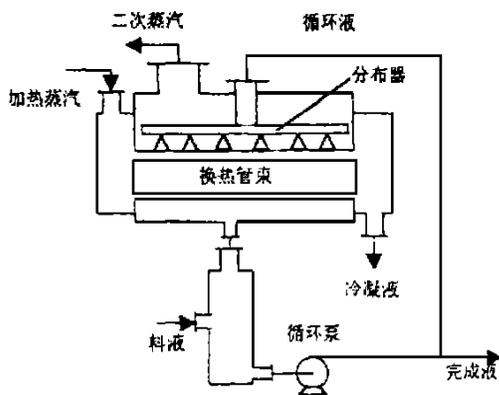


图 1 水平喷淋式降膜蒸发器示意图

1 实验装置

为了便于实验研究, 希望在同一装置上完成不

* 收稿日期: 2000-09-20

作者简介: 张锁龙 (1964-), 男, 江苏丹阳人, 硕士, 主要从事化工机械设备方面的研究; 2- 本院机械工程系 98 届毕业生。

同结构的实验, 故要求装置的传热部分可以拆卸更换, 即管板可以更换。整套装置见图 2, 其中换热管束采用 $\phi 10 \times 1.0$ 的紫铜管, 长度为 350 mm, 有效长度为 300 mm; 喷淋器采用 $\phi 6$ 的圆形钢管在其低部 90° 范围内均匀布置三排 $\phi 2$ 的小孔, 其中间孔与两侧面孔交错布置; 冷凝液收集器是自制的玻璃器皿, 其上下均布置有考克阀, 外表面有刻度, 既可以直接读数又可以用称重法读数, 方便实验。整体装置在安装时要保证换热管略有倾斜 (大约为 $1^\circ \sim 2^\circ$), 即一次蒸汽入口处略高于出口, 以保证管内冷凝水能顺利地流入收集器而不会倒流回前管箱。

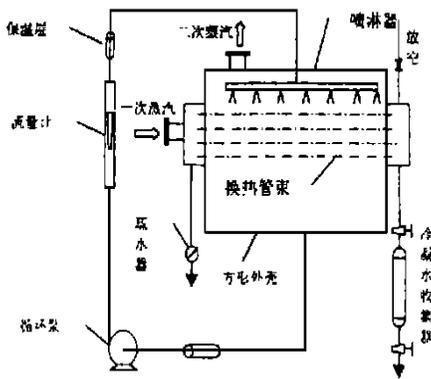


图 2 实验装置流程图

2 实验现象

对不同管子间距 ($1.25d$ 、 $1.35d$ 、 $1.5d$) 的管子进行实验, 在实验过程中观察到蒸发膜在相邻管间有五种不同的现象, 现分别叙述如下:

(1) 分散液滴: 液滴从管底流下, 它们稳定地沿管子轴线分布, 液滴的尺寸不规则, 通常小液滴形成于两个大液滴之间;

(2) 液滴—柱状: 液体沿管子轴线时断时续分布, 是介于液滴与柱状之间的一种过渡形式;

(3) 柱状: 液体以柱状形式流下, 并“搭桥”于相邻管之间, 随着管间距的增加, 现象 (2) 又会重新出现;

(4) 扰动柱状: 随着流量的加大, 柱状液体之间的互相干扰加剧, 相邻液柱时聚时分, 分时象柱状, 聚时象膜状;

(5) 膜状: 当流量达到一定数值后, 液柱最后以连续膜的形式连在相邻管之间。

3 实验结果与分析

虽然循环量的增加使管外流体流动速度增加, 膜状分布对液体的均匀分布有利, 但同时减少了液体的冲击扰动以及管外液膜厚度的增加也增加了热阻, 对传热不利。管子行间距的增加推迟了搭桥现象的产生, 有利于液体的冲击扰动, 但同时不利于液体的分布, 影响管子的实际换热面积和参加换热的液体量。

由图 3 可以看出, 总的传热系数随着循环量的增加而增加, 但增加的幅度在逐渐减少。这是因为小流量时, 上下层管之间的液体分布为分散液滴

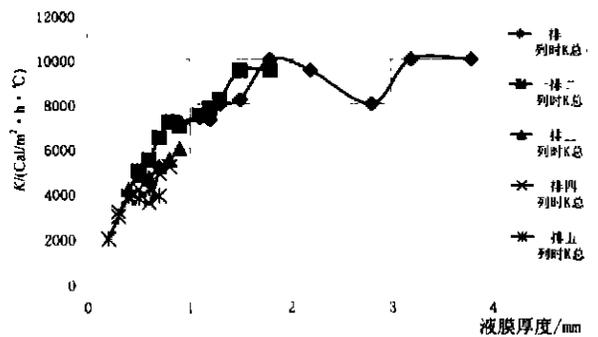


图 3 不同列数传热系数分布图

型, 不规则、不连续的液滴对下层管子外侧的液膜是一种扰动, 同时液膜较薄, 热阻也小, 但是此时液体分布不均匀, 易造成局部的“干斑”现象使实际的换热面积减少, 故在此阶段内增加液体的循环量相当于增加面积, 换热系数也会随之增加。随着循环量的增加, 管子行间的液体分布形式由分散液滴分布向柱状分布过渡而成为液滴—柱状分布, 这是一个过渡阶段, 这时液体的冲击扰动作用达到最大, 液体的轴向分布也较分散, 液膜厚度也不均匀。此时基本无“干斑”现象, 故此阶段传热系数随循环量的增加而增加, 但不稳定。当循环量增加到一定值后, 液体在管间的分布以膜状分布为主, 此时液体分布均匀但扰动性能下降, 循环量的增加会增加扰动, 同时液膜厚度也会增加而导致热阻的增加, 故总体表现为平稳传热, 总体传热系数随流量变化不大。此阶段是传热系数最高的阶段。如果过度增加循环量将导致总体传热系数的下降, 但会持续一个相当长的范围。

3.1 管子列数对传热系数的影响

从图 3 中可以看出, 多列时 K 值的变化与单

列时的 K 值随液膜厚度的变化是一致的，且是重叠的，它似乎是单列管传热系数曲线的一部分。由此可知，增加列数对总的传热系数基本无影响。因为只要液体分布均匀，列与列之间不会有太大的影响。

3.2 管子排数对传热系数的影响

从图4中看到，单层管时由于液体的直接冲击，其扰动大于泡核沸腾引起的扰动，在流量达到一定值后，其 K 值基本保持不变且较高，但随着排数的增加，由于下排管子的液体是上层管子逐次流下的且主要由泡核沸腾扰动液膜，冲击作用小于第一层管，故除第一层管外，其余管子的换热系数基本一致，且其随着流量的增加反而减少。这是因为在小流量时，由于液体成为滴状分布于下层管子，虽然比不上大流量时的膜状分布均匀，却扰动性较大，故其总的换热系数反而稍高。这也解释了为什么总体换热系数随管子排数的增加而逐渐减少，但减少的幅度是下降的原因。第五排管在小流量时 K 值较小，是因为沿途下降的液体的滴状分布的损失使第五排管子的液体分布严重不均匀，导致实际换热面积的减少。

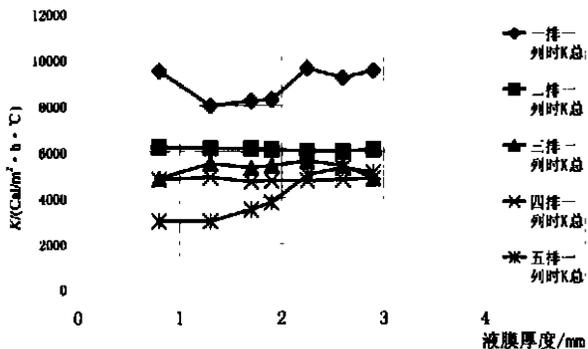


图4 不同排数传热系数分布图

3.3 管子间距对传热系数的影响

图5是 $2.165d$ (即三角形排列时上层与下层隔排之间的距离) 层间距的总体传热系数分布情况，其总体传热系数随排数的增加情况与 $1.25d$ 时的情况是一致的，但其随流量分布的情况却与上述有所不同。因为此时的排间距较大，在小流量时传热系数与 $1.25d$ 时相差不大，且还略小，这是

因为间距过大易造成液体的分布不均匀，而导致传热系数的下降，但随着流量的增加，大间距不易形成搭桥现象，故而使 K 值逐渐上升。列间距的增加有利于液膜的扰动，但同时会使液体分布不均匀。虽然流量的增加会使液体分布趋于均匀，但又易于搭桥，并增加液膜的厚度，增加了管子外侧的热阻，故管子的间距存在有一个最佳值。

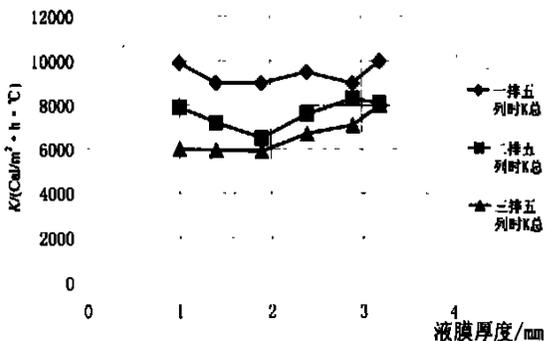


图5 不同管间距传热系数分布图

4 结论

通过上述对水平排管外喷膜蒸发传热实验装置的设计、安装、实验、数据处理及实验现象的详细阐述，分析了循环量、管间距、管束的排列形式等对传热的影响，得出如下结论：

- (1) 在实验范围内，水平排管的传热系数随着循环量的增加而增加，当循环量达到一定值后，传热系数的增加速度减小；
- (2) 循环量较小时，管间距越大，传热系数越大，管间距对传热系数的影响有循环量之间存在有一最佳值；
- (3) 管束排数的增加，总的传热系数下降，但随着排数的增加，传热系数减小的幅度下降，最终趋于稳定。

参考文献:

[1] GIMBUTIS G J. Heat Transfer in a Falling Liquid Film with Large Curvature [J]. Heat Transfer Research, 1993, 25 (2): 216-219.
 [2] 郭宜祐, 沈吟秋, 宫作霖. 水平管喷淋式降膜蒸发器的传热性能及其应用 [J]. 纯碱工业, 1986, 3: 27-32

The Research on the Property Influenced by Different Intervals of HSFFE Formed by Circular Pipes

ZHANG Suo-long¹, ZHANG Xing-nian¹, ZHANG Long-geng², HE Xing-sheng²

(1. Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

Abstract: Studied the properties of horizontal spray falling film evaporator influenced by the different pipe intervals, and described the experimental devices and phenomena. The results were obtained that the properties of heat-transfer were influenced by the pipe intervals, and there was an optimum pipe interval with the thickness of falling film.

Key words: horizontal circular pipes; falling film evaporator; construction

简 讯

《江苏石油化工学院学报》荣获《CAJ—CD 规范》执行优秀奖

我院学报认真执行《中国学术期刊（光盘版）检索与评价数据规范》，在首届《CAJ—CD 规范》执行评优活动中，主要规范数据达到标准要求，荣获《CAJ—CD 规范》执行优秀奖。

2000年秋季，在中宣部、新闻出版署、科技部、教育部等有关部门的支持下，为全面贯彻新闻出版署新出音[1999]17号“关于印发《〈中国学术期刊（光盘版）〉检索与评价数据规范（试行）》”文件精神，由《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社发起在全国入编的2000多种期刊进行了规范评比活动，共有700多家刊物获奖，我院学报也在其中之列，这表明我院学报在论文格式的规范化方面已经达标。

本刊讯

2001年2月19日