

Research Progress of Falling Film Horizontal Tube Evaporator

Jingang Hu¹, Feng Wei^{2*}

¹China Tianchen Engineering Corporation, Tianjin

²School of Chemical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin

Email: Tcc-hjg@cntcc.cn, *ice1212@163.com

Received: May 8th, 2017; accepted: May 24th, 2017; published: May 27th, 2017

Abstract

The influence of liquid distributor, spray density and liquid flow form on the evaporation film heat transfer coefficient of the falling film horizontal tube evaporator is discussed in this paper. The recent research status of the falling film horizontal tube evaporator is reviewed. It is provided guidance for designing high-performance liquid distributor.

Keywords

Horizontal Tube, Falling Film Evaporator, Liquid Distribution, Heat Transfer Coefficient

水平管降膜蒸发器的研究进展

胡金刚¹, 魏峰^{2*}

¹中国天辰工程有限公司, 天津

²河北工业大学化工学院, 天津

Email: Tcc-hjg@cntcc.cn, *ice1212@163.com

收稿日期: 2017年5月8日; 录用日期: 2017年5月24日; 发布日期: 2017年5月27日

摘要

本文分析讨论了液体分布器、喷淋密度、液体流动形式等对水平管降膜蒸发器内液膜侧蒸发传热系数的影响, 综述了近年来的水平管降膜蒸发器的研究现状, 为设计制造高性能的液体分布器提供指导。

*通讯作者。

关键词

水平管, 降膜蒸发器, 液体分布器, 传热系数

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水平管降膜蒸发器, 又称为水平管外喷淋式降膜蒸发器或卧式喷淋式降膜蒸发器(HSFPE), 它是通过液体分布装置将料液均匀的喷淋到水平管束上, 在管外表面形成液膜, 由于重力作用, 液膜沿着管外壁向下流动, 管内为饱和的加热介质, 通过管壁将热量传递给管外介质。水平管降膜蒸发器具有传热系数高, 有效温差损失小, 溶液温度分布均匀等优点, 广泛地应用于化工、轻工、化纤、食品加工、海水淡化、医药、污水处理及原子能等各个工业部门, 是目前被广泛使用的高效蒸发设备[1] [2]。

水平管降膜蒸发器的换热性能主要受液体分布及流动形式的影响较大, 为了避免换热管干蒸而导致换热性能的下降, 必须使蒸发换热管束外表面包裹着一层连续均匀且厚度适当的液膜, 因此液体分布器的喷淋密度、喷淋结构及内部管阵布置方式和气流扰动情况是影响液体均匀分配的主要因素, 关于这些因素的研究由于其流动换热的复杂性, 至今没有比较完善统一的理论, 本文将针对目前国内外的研究现状, 介绍和讨论水平管降膜蒸发器的液体分布器结构、喷淋密度、管束上液体流动形式对换热性能的影响。

2. 液体分布器结构的影响

水平管降膜蒸发器正常运行的条件之一是液体沿换热管均匀分布, 所谓均匀分布主要指以下两个方面: 1) 液体以膜状均匀分布到每根换热管上; 2) 液膜在每根换热管的整个周向和长度方向上保持连续均匀的液膜[3] [4]。因此水平管降膜蒸发器的换热管束上方必须设置液体分布器。

目前, 常用的水平管降膜卧式蒸发器来主要有三种: 喷嘴式液体分布器、喷淋板式液体分布器、喷淋管式液体分布器[4]。喷嘴式液体分布器国内外工程应用较广, 以国外的专利产品为主, 国内缺乏实验数据, 价格昂贵, 该液体分布器的液体分布较为均匀, 但是流速高, 容易雾化, 降低了蒸发效率。喷淋板式液体分布器的气体流通面积小, 压降大, 对水平度的要求较高, 不易加工和安装。喷淋管式液体分布器结构简单, 对水平度的要求不高, 操作稳定可靠, 价格低廉, 在大型水平管降膜蒸发器中应用广泛。除了上述三种主流的液体分布器之外, 很多新型的液体分布器在水平管降膜蒸发器得到了应用。

Rautenbach [5] [6]将蒸发器上下迭放, 用筛板结合虹吸管保证液体分布均匀。试验发现, 液体厚 5~15 mm、分布孔直径 2~4 mm 内变化时, 液体通过分布孔的流动不受液体厚度和孔径影响; 对于给定的流量, 小孔径有利于优化设计。但同时也发现当喷淋装置采用小孔, 喷淋速度较大时, 出现非常不平均的液膜甚至有干壁现象出现, 减少了有效传热面积。Fujita [7]等发明一种底部穿孔的圆柱型喷淋管。陈海燕[8]发明一种排管式液体分布器, 其气流通量大, 所占空间小, 结构简单, 加工方便, 造价低廉。

3. 喷淋密度的影响

一般来说随着喷淋密度的增大, 管束上的液膜厚度会逐渐增厚, 液膜侧的蒸发传热系数会随之减小,

但液膜的流动将由层流发展为湍流, 液膜侧的蒸发传热系数又会逐渐增大, 当沸腾换热占主导作用时, 液膜侧的蒸发传热系数的变化受喷淋密度的影响就可以忽略了。因此, 喷淋密度的变化对液膜侧的蒸发传热系数的影响过程是一个非常复杂的过程。

目前, 很多学者关于喷淋密度对水平管降膜蒸发影响的研究存在较大的分歧, 根据实验研究和理论分析的结果, 主要有三种观点:

第一种观点的学者认为喷淋密度的增大对液膜侧的蒸发传热系数的影响较小, 对总传热系数的影响可以忽略, V. Slesarenko [9]、Newson [10]、宋宝明[11]等人的实验研究结果都证明了这一点。第二种观点的学者认为液膜侧的蒸发传热系数和总传热系数随液体负荷的增加而增加。当热通量较小时, 液膜侧的蒸发传热系数不受热通量影响, 当热通量较大时, 液膜侧的蒸发传热系数随热通量加大而增大, A. B. Berezin [12]、V. G. Rifert [13]、许莉[14]等人的研究结果得到了上述结论。第三种观点的学者认为随着喷淋密度的增大, 液膜侧的蒸发传热系数是先增大后减小的, M. C. Chyu [15]、Y. Fujita [16]、马学虎[17]的实验中得出上述结论。

由于实验和理论研究的结果难以形成统一的理论, 因此关于喷淋密度的影响研究还有待进一步深入研究和讨论。

4. 液体流动形式的影响

在水平管降膜蒸发器中, 液膜从一根水平管流向下的一根时, 液体流动对传热过程起到了强化作用, 因此液体流动形式对液膜侧的蒸发传热系数有很大影响。随着喷淋密度的增大, 流动形式会出现五种情况, 分别为: 滴状流, 滴柱状流, 柱状流, 柱片状流和片状流。张锁龙等人[18]在实验过程中观察到这五种液体流动形式。

Yung [19]等人利用液滴的产生频率等于毛细波振动的频率, 推出从滴状形式转变成柱状形式的一个相关联的喷淋流率。Ganic 等人[20]的研究发现从滴状流到柱状流的转变发生在雷诺数为 180 周围一个较大的范围内, 并受到管间距的影响。Hu 等人[21]提出了滴状模型, 滴状和柱状共存模型, 不稳定的柱状模型, 稳定的柱状模型, 错列的柱状模型, 柱状和片状共存模型以及片状模型。

此外, 换热管束的排列形式对液体流动也有很大影响, 合理的布置蒸发器换热管阵列, 使产生的二次蒸气对液体流动的扰动最小是十分重要的。目前, 设计者一般采用预留气体通道和增加挡板的方法对水平管降膜蒸发器内换热管阵进行优化。

5. 结语

水平管降膜蒸发器是一种新型高效蒸发器, 是未来蒸发器的一个主流发展方向, 其内部流动及传热十分复杂, 深入研究液体分布器的结构形式、喷淋密度、液体流动形式对液膜侧的传热系数的影响, 探索水平管降膜蒸发器的流动和传热机理, 可以为设计出高性能的液体分布器提供指导。

参考文献 (References)

- [1] 吴锦元, 徐洪峰, 等. 垂直管内降膜沸腾传热的研究[J]. 化学工程, 1990, 18(5): 23.
- [2] 刘广彬, 李连生, 阮并璐, 等. 水平管降膜蒸发器的研究进展[J]. 制冷与空调, 2008, 8(3): 20-23.
- [3] 侯淳. 水平管降膜卧式蒸发器液体分布器结构设计及流量计算[J]. 企业科技与发展, 2012(22): 8-10.
- [4] 张宁, 邵雪. 水平管降膜蒸发器中不同形式的布液器对内部流场流动影响的数值模拟[J]. 节能, 2012, 31(5): 19-24.
- [5] Rautenbach, R. and Arzt, B. (1981) Large Scale Diesel Driven Vapor Compression Units. *Desalination*, **38**, 75-84. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)86050-6](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)86050-6)

- [6] Rautenbech, R. and Gebel, J. (1987) Studies on the Behavior of High Performance Multiple Effect Stack Processes. *Desalination*, **65**, 75-85. [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(87\)90125-1](https://doi.org/10.1016/0011-9164(87)90125-1)
- [7] Fujita, Y. and Tsutsui, M. (1994) Experimental and Analytical Study of Evaporation Heat Transfer in Falling Films on Horizontal Tubes. *Proceedings of the 10th International Heat Transfer Conference*, **6**, 175-180.
- [8] 陈海燕. 水平管降膜蒸发器液体分布装置的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2001.
- [9] Slesarenko, V. (1979) Investigation of Heat Exchange during Sea Water Boiling in a Horizontal Thin Film Desalination Plant. *Desalination*, **28**, 311-318. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)82247-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)82247-X)
- [10] Newson, I.H. (1978) Heat Transfer Characterizes of Horizontal Tube Multiple Effect (HTME) Evaporators-Possible Enhanced Tube Profiles. *Sixth International Symposium on Fresh Water from the Sea*, **2**, 113-124.
- [11] 宋宝明, 林载祁. 热力蒸汽再压缩水平管降膜蒸发器的设计计算[J]. 水处理技术, 1989(1): 42-47.
- [12] Berezin, A.B., Podberezney, V.L. and Chemozubov, V.B. (1978) Investigation of Heat Transfer in a Film Horizontal Tube Evaporator for Sea Water. *Sixth International Symposium on Fresh Water from the Sea*, **2**, 97-104.
- [13] Rifert, V.G., Sardak, A.I., Sardak, A.I. and Podbereznyj, V.L. (1989) Heat Exchange at Drop Wise Condensation in Heat Exchangers of Desalination Plants. *Desalination*, **74**, 373-382. [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(89\)85064-7](https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)85064-7)
- [14] 许莉. 水平管降膜海水淡化多效蒸发传热研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 1999.
- [15] Chyu, M.C. and Bergles, A.E. (1987) An Analytical and Experimental Study of Falling Film Evaporation on a horizontal Tube. *Journal of Heat Transfer*, **109**, 983-990. <https://doi.org/10.1115/1.3248214>
- [16] Fujita, Y. and Tsutsui, M. (1995) Evaporation Heat Transfer of Falling Films on Horizontal Tube. Part 2 Experimental Study. *Heat Transfer-Japanese Research*, **24**, 17-31.
- [17] 马学虎, 高大志, 安家明, 朱晓波, 陈嘉宾, 邓新禄. 功能表面降膜蒸发传热特性的实验研究[J]. 热科学与技术, 2003, 2(2): 119-123.
- [18] 张锁龙, 张新年, 张龙根, 等. 结构对圆形水平排管喷膜蒸发传热性能影响的研究[J]. 江苏石油化工学院学报, 2001, 13(1): 28-31.
- [19] Yung, D., Lorenz, J.J. and Ganic, E.N. (1980) Vapor/Liquid Interaction and Entrainment in Falling Film Evaporators. *Journal of Heat Transfer*, **102**, 20-25. <https://doi.org/10.1115/1.3244242>
- [20] Ganic, E.N. and Roppo, M.N. (1980) An Experimental Study of Falling Liquid Film Breakdown on a Horizontal Cylinder during Heat Transfer. *Heat Transfer*, **102**, 342-346. <https://doi.org/10.1115/1.3244285>
- [21] Hu, X. and Jacobi, A.M. (1996) The Intertube Falling Film: Part 1—Flow Characteristics, Mode Transitions, and Hysteresis. *Journal of Heat Transfer*, **118**, 616-625. <https://doi.org/10.1115/1.2822676>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjctet@hanspub.org