

润滑油对水平管外 R134a 池沸腾换热的影响

冀文涛¹ 冯楠¹ 张定才^{1,2} 郭剑飞¹ 陶文铨¹

(1. 西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049; 2. 中原工学院能源与环境学院, 河南 郑州 450007)

摘要 本文对不同含油量下三根水平蒸发管外 R134a 的池沸腾换热性能进行了试验研究。实验表明润滑油对蒸发表面的换热性能的影响因管型和含油量而异。

关键词 R134a; 沸腾; 润滑油

中图分类号: TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2009)05-0821-03

INFLUENCE OF OIL ADDITIVE ON POOL BOILING HEAT TRANSFER OF R134a OUTSIDE HORIZONTAL TUBES

JI Wen-Tao¹ FENG Nan¹ ZHANG Ding-Cai^{1,2} GUO Jian-Fei¹ TAO Wen-Quan¹

(1. The State Key Lab. of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Energy & Environment, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract Pool boiling heat transfer performances of R134a and R134a with oil additive outside three horizontal tubes have been experimentally measured. The results indicate that the oil has different impact on the heat transfer coefficients of different enhanced tubes.

Key words R134a ; pool boiling; lubricant

0 引言

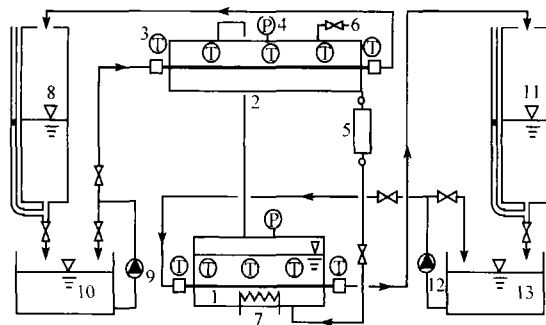
润滑油在制冷系统中的主要作用是润滑和冷却压缩机部件, 在系统运行过程中, 制冷剂中会混入部分润滑油。润滑油的存在会影响蒸发器中的池沸腾换热。因此关于润滑油对制冷剂池沸腾换热的影响研究有重要意义^[1~7]。本文对纯 R134a 以及 R134a 含油 0.25% 到 10% 八种不同工况下三根蒸发传热管的换热性能进行了实验研究。

1 实验系统

实验系统如图 1 所示, 主要由三部分组成, 即制冷剂循环系统, 加热水以及冷却水循环系统。氟利昂液体在蒸发器内被通入加热水的实验管加热蒸发以后上升到冷凝器中, 再被冷却水冷却凝结以后依靠重力返回到蒸发器中。加热水和冷却水均经水泵加压流过称重式流量计返回水箱。

蒸发器以及冷凝器系统内温度由 A 级精度铂电阻温度传感器监控。进入实验管的加热水进出口温度由铜-康铜热电偶测量, 加热水和冷却水进出口温差各由 6 对铜-康铜组成的热电堆测量。热电偶以及热电堆均经过二等标准水银温度计标定。蒸发器内

压力由量程 2.5 MPa, 精度 0.25 级的压力表测定。



1. 蒸发器 2. 冷凝器 3. 热电偶 4. 压力表 5. 冷凝液量筒
6. 排气阀 7. 辅助加热器 8. 流量计 9. 冷却水泵
10. 水箱 11. 流量计 12. 蒸发水泵 13. 水箱

图 1 试验系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

三根蒸发管包括一根光管和两根强化管, 其中两根强化管的剖面图见图 2, 几何参数见表 1。E1 管为 T 形沟槽管, E2 为锥形三维立体翅片。

实验过程中, 蒸发饱和温度为 6°C, 热流密度范围: 10000~80000 W/m², 含油量分别为 0%, 0.25%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 5%, 7% 和 10%。实验先测定出蒸发换热总传热系数, 再根据 Wilson 热阻分离法得

收稿日期: 2008-12-31; 修订日期: 2009-04-14

基金项目: 国家重点基础研究 (973) 项目 (No.G2007CB206902)

作者简介: 冀文涛 (1983-), 男, 陕西洛南人, 博士研究生, 主要从事强化传热的实验研究及数值模拟。

出蒸发侧的平均相变传热系数^[8,9]。

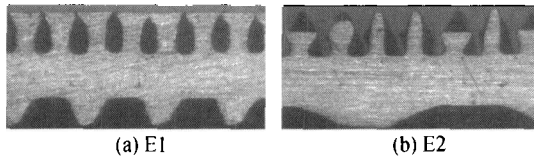


图2 强化管剖面图

Fig.2 Sectional-view of enhanced tubes

表1 蒸发管几何参数
Table 1 Specifications of boiling tube

实验管 编号	外径 D_o (mm)	内径 D_i (mm)	肋高 e (mm)	管外肋数 n (1/m)
smooth	19.09	16.41		
E1	18.50	15.07	0.45~0.60	1561
E2	18.78	14.53	0.48~0.85	1435

2 数据处理

2.1 总传热系数

总传热系数 k 按式 (1) 计算

$$k = \frac{\Phi}{A_o \Delta t_m} \quad (1)$$

式中, Φ 为换热量; A_o 为试验胚管外表面面积, Δt_m 为对数平均温差, 热流密度 $q = \Phi / A_o$ 。试验中确保各测点的蒸发换热与冷凝传热的热平衡偏差小于 5%。

2.2 管外表面传热系数

由热阻分离法式 (2) 分离出管外表面传热系数:

$$\frac{1}{h_o} = \frac{1}{k} - \frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} - R_f - R_w \quad (2)$$

式中, R_f 为污垢热阻 (在试验前对管路进行了清洗, 运行时间短, 可忽略), R_w 为管壁热阻。 h_o 为管外表面传热系数, h_i 为光管管内传热系数, $h_i = c_i \cdot h_{ip}$, c_i 为强化倍率由 Wilson 热阻分离法得出, h_{ip} 为光管内水侧传热系数, 由 Gnielinski 公式^[10] 计算得出。

3 不确定度分析

经过分析, 在中等负荷下本实验总传热系数的不确定度在 8% 以内, 根据文献 [11],[12] 在所实验的管内流速下, 分离出大部分的管外相变侧的传热系数不确定度小于 16%。

4 实验结果及分析

4.1 实验系统可靠性验证

为了验证试验数据的可靠性, 同时进行了校核试验。图 3 是蒸发温度 6°C 时沸腾侧传热系数和 Cooper 公式^[13] 计算结果的比较, 试验结果和

Cooper 公式偏差在 10% 以内。比较结果确认了试验测试系统的可靠性。

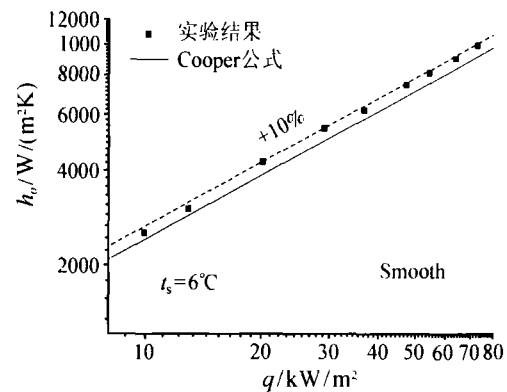


图3 R134a 实验结果和 Cooper 公式比较

Fig.3 Comparison of experiment result and Cooper's equation

4.2 不同含油量下管外池沸腾换热比较

实验先测得总传热系数, 光管管内传热系数采用 Gnielinski 公式^[10] 计算得出, 然后通过式 (2) 得出相变侧传热系数。对于 E1 管和 E2 管, 采用 Wilson 热阻分离法^[9] 得出管内强化倍率以后再通过式 (2) 得出相变侧传热系数。图 4 分别为 E1 和 E2 的 Wilson 图, 分离出的 E1 和 E2 的管内强化倍率分别为 3.000 和 1.885。

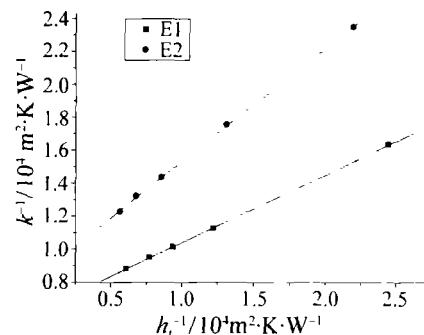


图4 E1-E2 管 Wilson 图

Fig.4 Wilson plot of E1 and E2 tubes

图 5(a)、(b)、(c) 分别是不同含油量下蒸发表面传热系数随热流密度变化的比较, 图中可以看出, 光管和 E2 管, 含油量在 2% 和 3% 时相比纯工质蒸发换热都得到不同程度强化, 光管含油量 2% 比纯工质蒸发表面传热系数增加 19.8%~27.3%, E2 管 2% 比纯工质增加约 0%~21.3%。对于 E1 管, 蒸发侧的传热系数随含油量的增加不断减小, 纯工质比油含量 2% 蒸发侧传热系数大 1.1%~17.2%。在含油量 5% 时, 光管在热流密度小于 70 kW/m^2 时, 比纯工质大 4.1%~15.9%, 热流密度小于 55 kW/m^2 时, E2 比含油大 0.2%~13.5%, 而含油 5% 时对 E1 管影响最大, 纯工质比含油 5% 时大 20%~42.3%。

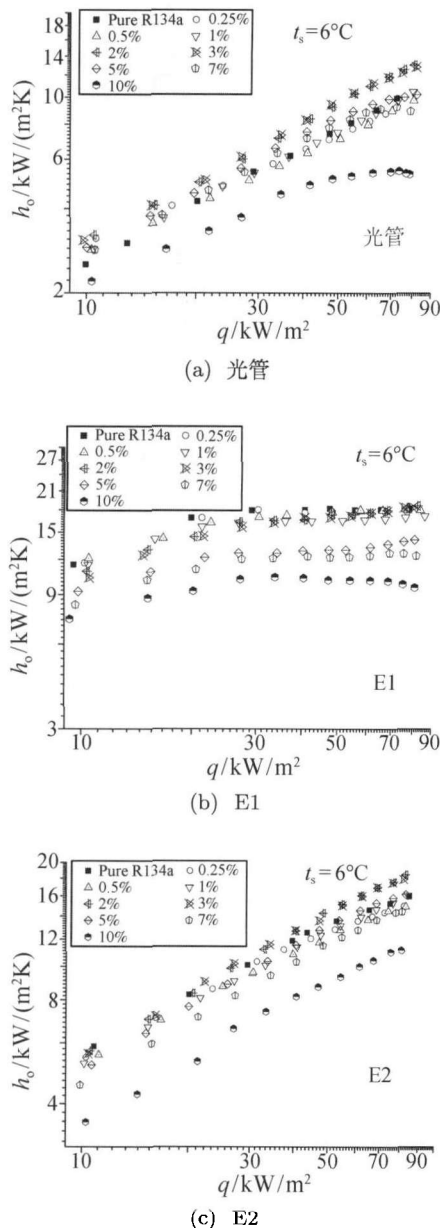


图 5 不同含油量下光管, E1 和 E2 管蒸发表面传热系数和热流密度关系曲线

Fig.5 HTC's of smooth, E1 and E2 versus heat flux with different lubricant concentrations

无论是光管还是其它两个强化管, 含油量 10% 时蒸发表面传热系数相对于纯工质都大幅减小, 光管纯工质比含油蒸发表面换热系数高 17.0%~66.4%, E1 为 53.9%~87.3%, E2 为 40.3%~61.8%。从 E1 管和 E2 管的外型可见, E1 为表面凹穴沟槽结构, 而 E2 为锥形三维立体翅片, 油-制冷剂的混合物随着制冷剂的蒸发, 在换热表面形成一层含油薄膜, 对于 E1, 这层油膜进一步妨碍了制冷剂进入表面凹穴从而减少气化核心的形成, 所以加入润滑油以后蒸发换热随着含油量的增加而不断弱化。而对于光管和 E2, 少量油膜在蒸发表面反而促进了气化核心的形成, 但是随着含油量的增加, 蒸发表面所接触的制

冷剂减少, 就使得蒸发传热系数逐渐减小。

5 结论

通过纯工质 R134a 以及不同含油量下三种不同传热管的蒸发换热研究表明:

(1) 不同含油量对于不同管型有不同的强化或弱化作用。

(2) 少量含油对于 E1 管的表面凹穴沟槽结构影响很大, 而对于光管或 E2 管反而能起到一定的强化作用, 但是随着含油量的进一步增加, 蒸发表面换热系数都随之减小。

参考文献

- [1] Stephan K. The Effect of Oil on Heat Transfer of Boiling R-12 and R-22. *Kaeltetechnik*, 1964, 16(6): 162-166
- [2] Jenson M K, Jackman D L. Prediction of Nucleate Boiling Heat Transfer Coefficients of Refrigeration-Oil Mixtures. *ASME Journal Heat Transfer*, 1984, 106: 184-190
- [3] Memory S B, Akcasayar N, Eraydin H, et al. Nucleate Pool Boiling of R-114 and R-114-Oil Mixtures from Smooth and Enhanced Surfaces I1. Tube Bundles. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1995, 38(8): 1363-1376
- [4] Memory S B, Sugiyama D C, Marto P J. Nucleate Pool Boiling of R-114 and R-114-Oil Mixtures from Smooth and Enhanced Surfaces I. Single Tubes. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1995, 38(8): 1347-1361
- [5] Kedzierski M A. Effect of Bulk Lubricant Concentration on the Excess Surface Density During R123 Pool Boiling. *International Journal of Refrigeration*, 2002, 25(8): 1062-1071
- [6] Kedzierski M A. Effect of Bulk Lubricant Concentration on the Excess Surface Density During R134a Pool Boiling. *International Journal of Refrigeration*, 2005, 28(4): 526-537
- [7] Kedzierski M A. Effect of Refrigerant Oil Additive on R134a and R123 Boiling Heat Transfer Performance. *International Journal of Refrigeration*, 2007, 30(1): 144-154
- [8] ZHANG D C, JI W T, TAO W Q. Condensation Heat Transfer of HFC134a on Horizontal Low Thermal Conductivity Tubes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007, 34(8): 917-923
- [9] YANG S M, TAO W Q. *Heat Transfer*. Higher Education Press, 2006
- [10] Gnielinski V. New Equations for Heat and Mass Transfer in Turbulent Pipe and Channel Flows. *Int. Chem. Eng.*, 1976, 16: 359-368
- [11] Kline S J, McClintock F A. Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments. *Mechanical Engineering*, 1953, 75(7): 3-9
- [12] CHENG B, TAO W Q. Experimental Study of R-152a Film Condensation on Single Horizontal Smooth Tube and Enhanced Tubes. *ASME Journal of Heat Transfer*, 1994, 116(1): 266-270
- [13] Cooper M G. Saturation Nucleate Pool Boiling-A Simple Correlation. *International Chemical Engineering Symposium Series*, 1984, 86: 785-792