

# 水平管外含油及纯 R134a 池沸腾换热特性比较

冀文涛 张定才 冯楠 陶文铨

(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)

**摘要** 本文对 R134a 和 R12 的换热性能在 3 根试验管上进行了试验比较。另外还对含微量润滑油下 R134a 的换性能在 3 根试验管上进行了实验比较, 结果表明润滑油对蒸发表面的换热性能的影响程度因管型而异, 差别较大。

**关键词** R134a; R12; 沸腾; 强化换热; 含油

**中图分类号:** TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2008)07-1195-04

## POOL BOILING HEAT TRANSFER COMPARISON OF PURE R134a AND R134a WITH OIL ADDITIVE OUTSIDE HORIZONTAL TUBES

Ji Wen-Tao ZHANG Ding-Cai FENG Nan TAO Wen-Quan

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

**Abstract** Pool boiling HTC(heat transfer coefficients) of R134a and R12 outside horizontal enhanced tubes have been experimentally measured for pure medium. The influence of oil additive on the heat transfer has been compared for three enhanced tubes. The results indicate that the oil has different impact on the heat transfer coefficients of different enhanced tubes.

**Key words** R134a; R12; pool boiling; enhancement of heat transfer; oil additive

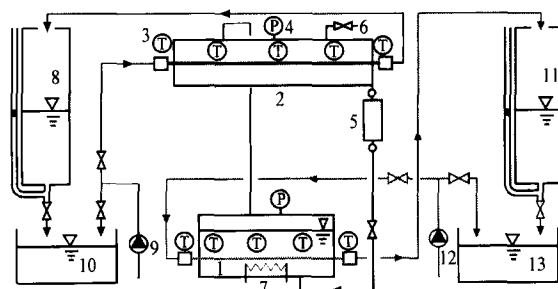
### 0 引言

池沸腾换热在制冷空调行业中应用广泛。为了适应环境保护以及节约能耗的要求, 对新型制冷剂相变换热性能的研究有着重要的意义。R134a 的热物理性质良好, 是替代 R12 的很好选择。国内外已有很多关于 R134a 池沸腾换热的研究<sup>[1~3]</sup>, 但是针对 R12 和 R134a 在相同新型强化管上的对比研究还比较少。同时, 关于润滑油对纯制冷剂池沸腾换热性能的影响研究<sup>[4~5]</sup>也是国内外很多研究者关注的问题, 而针对 R134a 在不同强化管上的沸腾影响的研究也不多。本文对四种不同新型强化管上 R12 和 R134a 的沸腾换热性能进行了综合研究并对含微量润滑油下三种不同管型的换热特性进行了实验测定。

### 1 实验系统

实验系统如图 1 所示, 主要由三部分组成: 制冷剂循环系统, 冷却水循环系统, 蒸发水循环系统。氟里昂液体在蒸发器内被水平试验管加热而蒸发, 饱

和蒸气上升进入冷凝器内, 在冷凝器内又被冷凝成液体, 最后再返回蒸发器内。加热水由蓄水箱流过试验管加热制冷剂后经过称重式流量计再流回水箱完成一个循环。冷却水循环系统主要是冷却蒸发后的制冷剂和保持系统内的温度在所需要范围之内。另有制冷系统和电加热器以维持蓄水箱内水温恒定。



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

收稿日期: 2008-01-10; 修订日期: 2008-05-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No.50636050); 973 项目 (No.G2007CB206902)

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

系统内制冷剂温度及加热水进出口水温由铜-康铜热电偶测量,其进出口温差由 6 对铜-康铜热电偶组成的热电堆测量,热电偶、热电堆均经二等标准水银温度计标定。蒸发器内测压压力表精度为 0.25 级,量程 2.5 MPa。

实验用几种不同管子外形结构见图 2,几何参数见表 1。实验过程中,系统内温度保持在  $5 \pm 0.1^\circ\text{C}$  和  $10 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ,管内流速在 0.5~4.0 m/s 范围内。首先对三根不同试验管在不含油时 R134a 和 R12 沸腾的总传热系数进行了测定,再测定了 R134a 在不同含油量下三根强化管外沸腾的总传热系数。然后用热阻分离方法获得了不同试验条件下的平均沸腾换热系数。

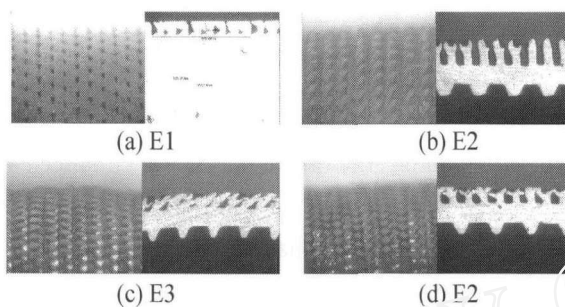


图 2 实验管外形

Fig.2 Geometric outline of test tubes

表 1 实验管几何参数

Table 1 Specifications of test tubes

实验管 编号	外径 $D_o(\text{mm})$	内径 $D_i(\text{mm})$	肋高 $e(\text{mm})$	管外肋数 $n(1/\text{m})$
Smooth	19	12.84		
E1	19.03	12.64	0.391	2163
E2	18.87	16.36	0.894	1649
E3	18.93	16.58	0.509	1844
E4	18.88	16.57	0.528	1680

## 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,  $\Phi$  为换热量;  $A_o$  为试验管外表面面积,  $\Delta t_m$  为对数平均温差, 热流密度  $q = \Phi/A_o$ 。试验中确保各测点的水侧与制冷剂侧的热平衡偏差小于 5%。

### 2.2 管外表面传热系数

由热阻分离法分离出管外表面传热系数 [6]:

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

式中,  $R_f$  为污垢热阻 (由于在试验前对管路进行了清洗, 运行时间很短, 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 [6] 得出,  $h_{ip}$  为光管内表面传热系数, 由 Gnielinski 公式 [7] 计算得出。

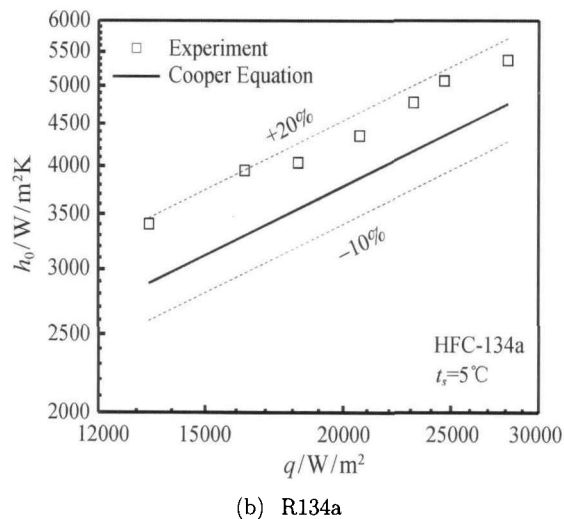
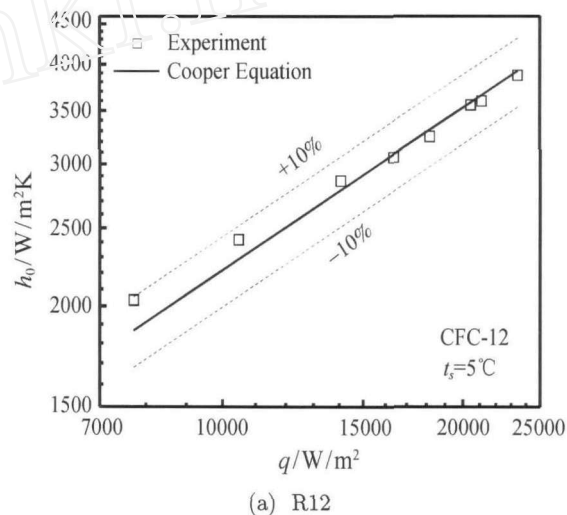
## 3 不确定度分析

经过分析, 在中等负荷下, 本试验总传热系数的不确定度小于 6%。根据 Kline 和 McClintock [8] 的方法在实验管管内中等流速下所分离出的管外表面传热系数的不确定度小于 12%。

## 4 实验结果及分析

### 4.1 实验系统可靠性验证

为了检验试验系统的可靠性, 进行了校核试验。图 3 给出了蒸发温度  $5^\circ\text{C}$  时光管外表面传热系数实验结果和 Cooper 公式 [9] 的比较, 从比较结果看,

图 3 R12 和 R134a 蒸发表面传热系数和热流密度关系曲线 ( $t_s=5^\circ\text{C}$ )Fig.3 Boiling HTC of R12 and R134a versus heat flux at  $5^\circ\text{C}$

对于 R12 实验结果和 Cooper 公式偏差在  $\pm 10\%$  以内, 对于 R134a, 实验结果和 Cooper 公式偏差在  $\pm 20\%$  以内。考虑到蒸发换热过程的复杂性, 可以认为实验结果是可靠的。

#### 4.2 R134a 和 R12 管外表面总传热系数比较

图 4 分别为蒸发温度在  $10 \pm 0.1^\circ\text{C}$  时三根不同

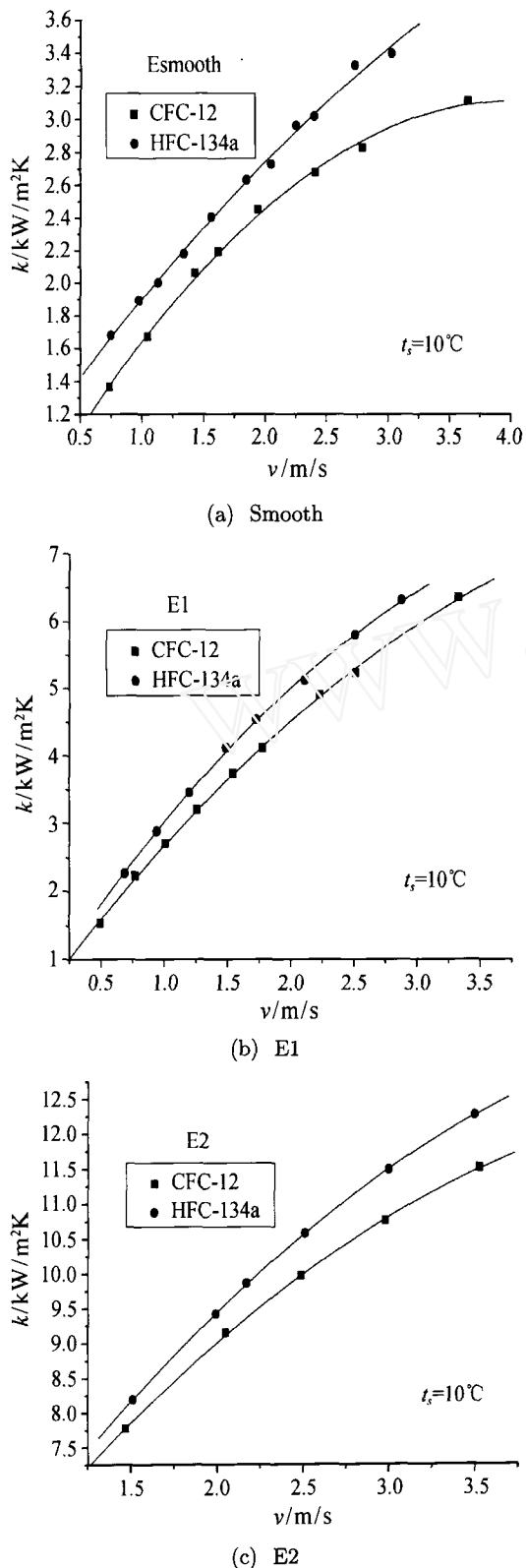


图 4 Esmooth, E1 和 E2 传热系数和流速关系曲线  
Fig.4 Overall HTCs of Esmooth, E1 and E2 versus velocity at  $10^\circ\text{C}$

试验管总传热系数和管内加热水流速的关系曲线。试验结果表明在该蒸发温度试验测定流速范围内 R134a 的总传热性能高于 R12。

#### 4.3 不同含油量下 E2~E4 管外表面传热系数

为了具体分析不同含油量对制冷剂外表面沸腾传热系数的影响, 由式 (1) 得出总的传热系数以后, 采用 Wilson 热阻分离法确定使用 Gnielinski 公式时内表面的强化倍率, 图 5 为不同试验管 Wilson 热阻分离法分离得出的结果。经过分析计算, 三根试验管的内表面强化倍率分别为: E2,  $c_i=3.04$ ; E3,  $c_i=3.70$ ; E4,  $c_i=2.71$ 。

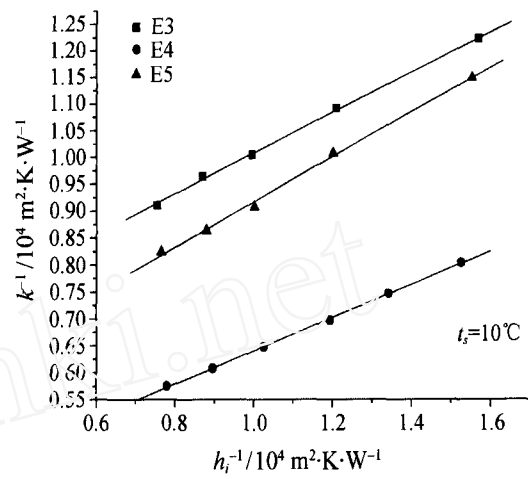


图 5 E2~E4 管 Wilson 图 ( $t_s=10^\circ\text{C}$ )

Fig.5 Wilson plot of tubes at  $(10^\circ\text{C})$

得到内表面换热系数以后, 由式 (2) 可以计算出不同试验管不同含油量下的蒸发外表面换热系数。本文分别给出了  $10^\circ\text{C}$  时纯 R134a, 含油 (多元醇酯类合成冷冻油) 量  $50 \times 10^{-6}$ ,  $100 \times 10^{-6}$  下三根试验管的外表面传热系数。

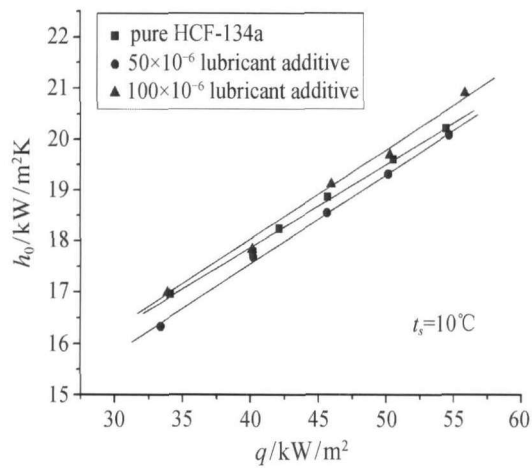
图 6 为不同含油量下不同试验管蒸发表面传热系数和热流密度的关系曲线, 由实验对比结果可以看出:

(1) 对于 E2 和 E4, 加入微量润滑油以后对外表面传热系数影响很小, 但对于 E3 加入微量润滑油以后对外表面传热系数影响很大。

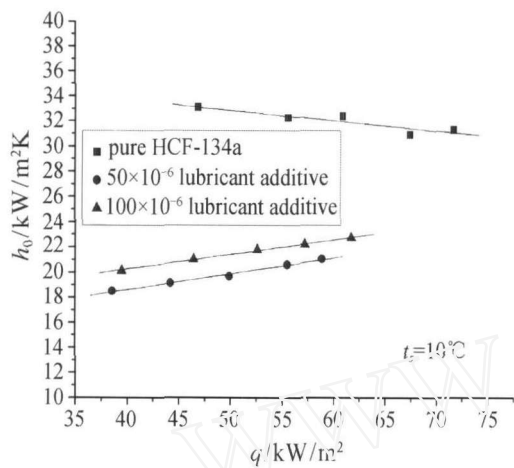
(2) 对 E3 管所添加的润滑油使沸腾换热严重恶化, 在热流密度在  $45 \sim 60 \text{ kW/m}^2$  之间时, 含  $50 \times 10^{-6}$  的润滑油的外表面换热系数比纯 R134a 减小了约  $33.5\% \sim 41.8\%$ ,  $100 \times 10^{-6}$  相同热流密度下约减少了  $28.1\% \sim 40.0\%$ 。

(3) 对所实验的三根强化管加入  $100 \times 10^{-6}$  润滑油的沸腾换热系数均高于  $50 \times 10^{-6}$  时的值。

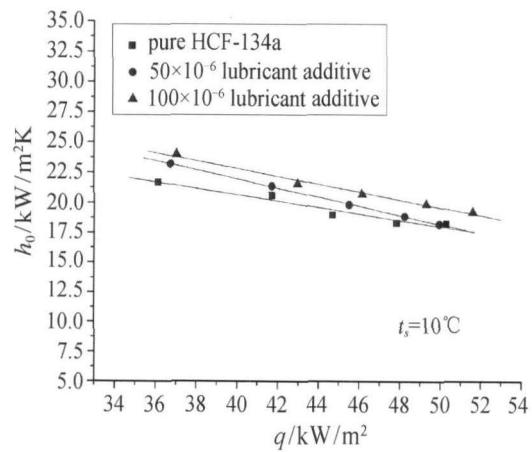
(4) 对 E2, E4 管还出现了含油介质沸腾换热系数略高于纯工质的现象, 对 E4 管无论  $50 \times 10^{-6}$  还是  $100 \times 10^{-6}$  沸腾换热系数均高于纯工质, 对 E2



(a) E2



(b) E3



(c) E4

图6 不同含油量下 E2, E3 和 E4 蒸发表面传热系数和热流密度关系曲线

Fig.6 HTC's of E2, E3 and E4 versus heat flux with lubricant

管则  $100 \times 10^{-6}$  时略高于纯工质。上述结果表明, 微量润滑油对强化表面沸腾传热系数的影响既因管型而异, 也与润滑油含量多少有关, 甚至会出现含油介质沸腾换热有所强化的现象。

## 5 结论

通过不同管型下 R134a 和 R12 总传热系数的比较和含微量润滑油不同管型沸腾表面换热系数的比较, 结果表明:

(1) 对于试验的三种不同管型, 在蒸发温度  $10^\circ\text{C}$  时, R134a 的总传热性能明显都比 R12 要好。

(2) 在三根不同的试验管, 加入微量润滑油对 E3 的影响最大, 对 E2 和 E4 的影响较小。

(3) 加入不同含量润滑油对沸腾表面的换热影响因管型而异, 也与润滑油的含量有关, 甚至会出现含油介质沸腾换热有所强化的现象, 差别较大, 值得进一步研究。

## 参考文献

- [1] Webb RL, Pais C. Nucleate Pool Boiling Data for Five Refrigerants on Plain, Integral fin and Enhanced Tube Geometries. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1995, 35(8): 1893-1904
- [2] Tataru RA, Payvar Parviz. Pool boiling of Pure R134a from a Single Turbo-BII-HP Tube. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 2000, 43: 2233-2236
- [3] Tung Dongsoo, An Kwangyong, Park Jinseok. Nucleate Boiling Heat Transfer Coefficients of HCFC22, HFC134a, HFC125, and HFC32 on Various Enhanced Tubes. *Int. J. Refrigeration*, 2004, 27: 202-206
- [4] Chongrungsong S, Sauer Jr HJ. Nucleate Boiling Performance of Refrigerants and Refrigerant-Oil Mixtures. *J. Heat Transfer*, 1980, 102: 701-705
- [5] Kedzierski MA. Effect of Refrigerant Oil Additive on R134a and R123 Boiling Heat Transfer Performances. *Int. J. Refrigeration*, 2007, 30: 144-154
- [6] 杨世铭, 陶文铨. 传热学. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2006. 505-506  
YANG SM, TAO WQ. *Heat Transfer*. 4<sup>th</sup> Edition. Beijing: Higher Education Press, 2006. 505-506
- [7] Gnielinski V. New Equations for Heat and Mass Transfer in Turbulent Pipe and Channel Flows. *Int. Chem. Eng.*, 1996, 16: 359-368
- [8] Kline S J, McClintock F A. Describing Uncertainties in Single-sample Experiments. *Mechanical Engineer*, 1953, 75: 3-8
- [9] Cooper M G. Saturation Nucleate Pool Boiling—a Simple correlation. *International Chemical Engineering Symposium Series*, 1984, 86: 785-792