

真空状态下套装抑泡孔管的单管 在溴化锂水溶液中的池沸腾换热

POOL BOILING HEAT TRANSFER ON A SINGLE TUBE JACKETED
WITH PTRB IN LITHIUM BROMIDE WATER SOLUTION UNDER
A VACUUM

欧阳德刚 侯曼西
Ouyang Degong Hou Manci

(热力工程系)

摘 要 本文报导了真空状态下套装不同尺寸的抑泡孔管的单管在溴化锂水溶液中的池沸腾传热实验研究结果, 示出了压力(45-450mmHg)、浓度(0-55wt%)、间隙尺寸(0.5-3.5mm)对沸腾换热的影响。由实验结果回归得到的准则方程可供真空状态下溴化锂水溶液中套装抑泡孔管的单管沸腾换热计算用。

关键词 池沸腾, 传热, 溴化锂

ABSTRACT This paper presents the experimental results of pool boiling heat transfer on a single tube jacketed with PTRB with various sizes in lithium bromide water solution under a vacuum and the effects of the pressure (from 45 to 450 mm Hg), the concentration (from 0 to 55 wt%), and the gap size (from 0.5 to 3.5mm). A pool boiling heat transfer correlation equation is obtained by the regressive method from the experimental data. It can be used for calculating the pool boiling heat transfer on a single tube jacketed with PTRB in lithium bromide water solution under a vacuum.

KEY WORDS pool boiling, heat transfer, lithium bromide.

符 号 说 明

d 孔径(m)	p 压力(mmHg)
D 基管外径(m)	p_0 大气压(mmHg)
C_p 液体比热(J/kg°C)	q 热流密度(w/cm ²)

本文于1988年1月7日收到。

K 紫铜导热系数($w/m^{\circ}C$)	R 基管半径(m)
K_f 液体导热系数($w/m^{\circ}C$)	S 间隙宽度(m)
H_{fg} 汽化潜热(J/kg)	T 测点平均温度($^{\circ}C$)
L_1 孔的周向节距(m)	T_s 饱和温度($^{\circ}C$)
L_2 孔的轴向节距(m)	T_w 表面温度($^{\circ}C$)
g 重力加速度(m/s^2)	ΔT 表面过热度($^{\circ}C$)
H 孔深(m)	X 浓度($wt.\%$)
ρ_l 液体密度(kg/m^3)	X_0 结晶浓度($wt.\%$)
ρ_v 蒸汽密度(kg/m^3)	σ 表面张力(N/m)
s_r 过热度准则	B_0 Bond数
P 普朗特准则	

一、前 言

以热能为动力的溴化锂吸收式空调与热泵装置因节能而得到应用与空前的发展。其良好的性能吸引了众多的学者进行广泛的研究。文献[1-6]对溴化锂水溶液的物理性质作了报导。按溴化锂吸收式制冷机发生器的工况,文献[7-10]对不同压力和浓度下溴化锂水溶液的池沸腾换热进行了实验研究。然而其强化传热方面的工作较少,且对溴化锂水溶液的浓度对传热的影响也考虑得不充分。

抑泡管是我校基于泡底微层蒸发机理提出的一种强化传热管[11, 12]。本文论述了在真空状态下四种不同尺寸的抑泡孔管套装于水平单管上在溴化锂水溶液中的池沸腾传热实验研究。确立了实验范围内的准则方程,并与光管的实验结果进行了比较。

图1为套装抑泡孔管的单管结构示意图。基管在内,抑泡孔管套装于基管上, s 为基管与抑泡孔管间的间隙。

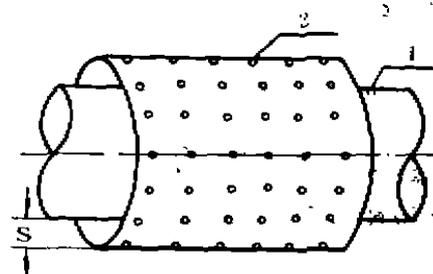


图1 套有抑泡孔管的单管

1. 基管 2. 抑泡孔管

二、实验装置和方法

实验系统如图2所示。实验管水平安装于发生器中部且用螺栓紧固在发生器端盖上,冷凝器装在发生器上部,以使冷凝液体顺利回流到发生器内并确保池液浓度稳定不变。

实验管结构尺寸如表1所示。本文采用直接测温法测取基管表面温度[11]。如图3所示,在基管轴向的四个断面上钻有六个直径为 $0.8mm$ 深度为 $1.3-1.6mm$ 的小孔,孔间轴向距离为 $50mm$ 。在每个小孔内设置有测温用镍-铬-镍硅热电偶。由水银差压计测定压力。在商用 $55wt.\%$ 浓度的溴化锂水溶液中加入蒸馏水配制成实验用不同浓度的溴化锂水溶液。溶液浓

度由比重计测定。

在实验管内装有主加热电炉。为了消除实验管端部效应，加热段比测温段每端各长20—30 mm。在实验管周围的不同高度上设置有两对热电偶以测取池液温度。在池液的上部装有一对热电偶以测取蒸汽温度。为了确保池液为饱和状态，在发生器的底部设置有两个功率各为1 kw的辅助加热器。

- 1. 实验管
- 2. 主加热电炉
- 3. 发生器
- 4. 观察窗
- 5. 辅助电炉
- 6. 调压器
- 7. 真空泵
- 8. 减振箱
- 9. 冷却水箱
- 10. 冷凝器
- 11. 压差计

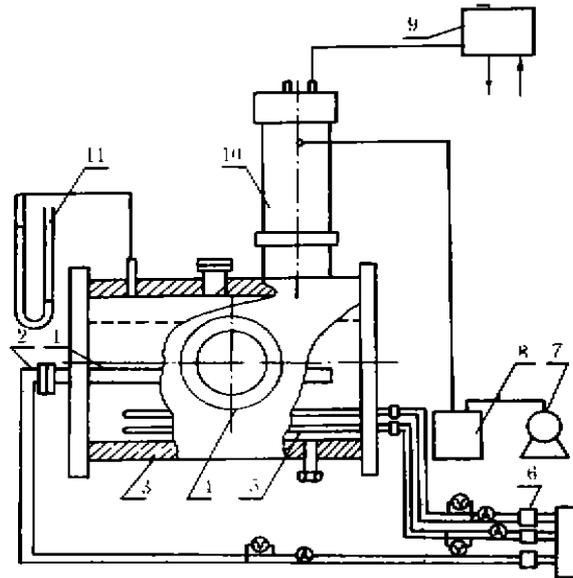


图2 实验系统

表1 实验管的主要尺寸 (mm)

管号	S	L ₁	L ₂	d	D
1	0.5	12.69	14.2	2	19.2
2	1.5	17.44	15.2	2	19.2
3	2.5	15.21	15.1	2	19.2
4	3.5	16.46	14.9	2	19.2

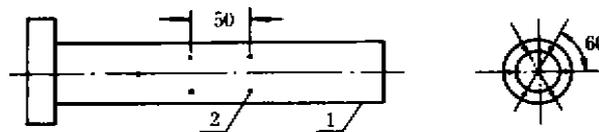


图3 基管的结构

- 1. 基管
- 2. 热电偶位置

实验时，首先启动真空泵，调整压力达实验值。然后投入辅助电炉加热池液至饱和状态，再投入主加热电炉至最高热流密度并观察沸腾现象。待稳定后，记录电流电压值和各热电偶的热电势值。整个实验过程应保证池液液位在实验管上表面30 mm以上和压力波动在±

0.2 mmHg范围内。基管表面温度由下式计算，式中 T 为测点平均温度。

$$T_w = T - Dq \frac{\ln\left(\frac{R}{R-H}\right)}{2k} \quad (1)$$

为消除沸腾滞后的影响，实验按降负荷进行。实验条件如表2所示。

表2 实验条件下的浓度和压力值

浓度(wt%)	压力(mmHg)
0	120, 210, 320, 450, 760
30	120, 210, 320, 450
45	45, 120, 210, 320, 450
55	45, 120, 210, 320, 450

三、实 验 结 果

1. 压力的影响

图4—7为不同浓度下压力对实验管沸腾换热影响的 $q-\Delta T$ 关系曲线。由图可见，随着压力的升高沸腾换热性能增加，且在压力小于210mmHg时，压力的影响尤为突出。浓度升高时，压力影响减小。

2. 浓度的影响

图8—9为不同压力下浓度对沸腾换热影响的 $q-\Delta T$ 关系曲线。由图可知，随着浓度的升高，沸腾换热性能降低。且随着压力的降低，浓度的影响减弱。

3. 几何参数的影响

图10—11为不同实验条件下不同几何参数的套装有抑泡孔管的单管与光管沸腾换热性能

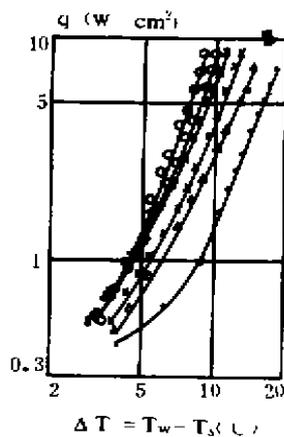


图4 光管在蒸馏水中不同压力下的沸腾传热曲线

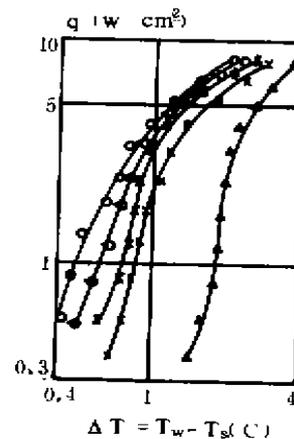


图5 1号实验管在蒸馏水中不同压力下的沸腾传热曲线

比较的 $q-\Delta T$ 关系曲线。由图可见抑泡孔管套装于单管上是一种较好的强化管。例如在蒸馏

水中，当压力为 120mmHg 时，套装有抑泡孔管的单管的沸腾换热性能可达光管的 6—7 倍。且随着间隙 s 的减小，池沸腾传热性能增强。由整个实验结果还发现，随着浓度的升高，抑泡孔管的几何参数的影响减小，沸腾强化性能降低。

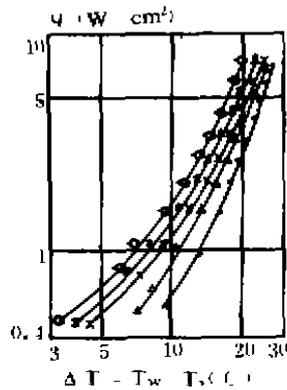


图 6 1 号管在 $55\text{wt}\%$ 的溶液中不同压力下的沸腾传热曲线
 \bullet — 45mmHg Δ — 120mmHg \times — 210mmHg \blacksquare — 320mmHg \circ — 450mmHg
 \circ — 760mmHg

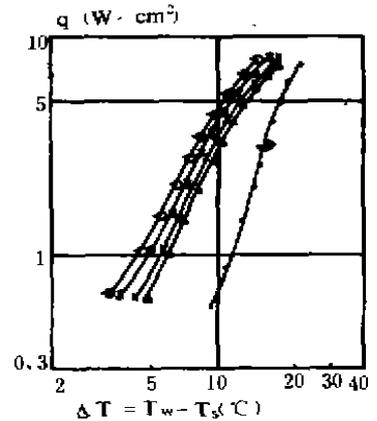


图 7 1 号实验管在 $55\text{wt}\%$ 的溶液中不同压力下的沸腾传热曲线

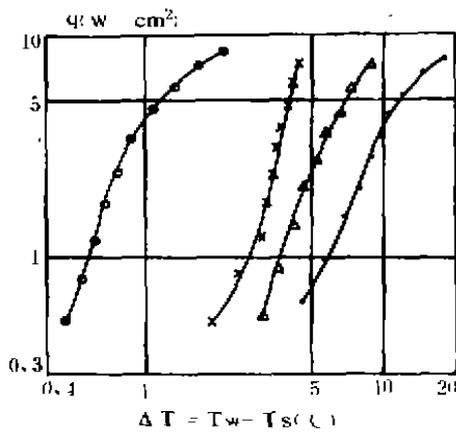


图 8 1 号实验管在压力为 120mmHg 下不同浓度的溶液中的沸腾传热曲线
 \circ — 0% \times — $30\text{wt}\%$ Δ — $45\text{wt}\%$ \blacksquare — $55\text{wt}\%$

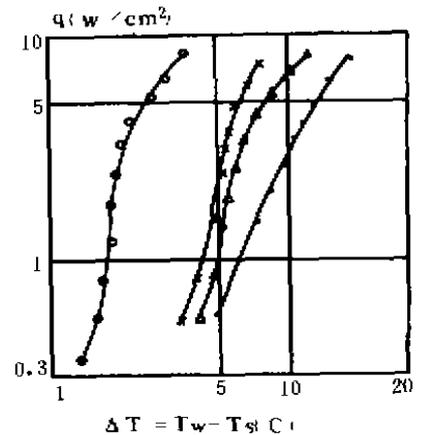


图 9 1 号实验管在压力为 450mmHg 下不同浓度的溶液中沸腾传热曲线
 \circ — 0% \times — $30\text{wt}\%$ Δ — $45\text{wt}\%$ \blacksquare — $55\text{wt}\%$

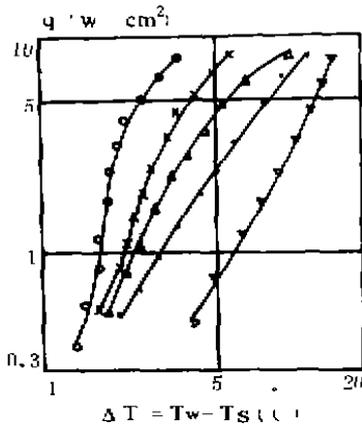


图10 不同尺寸的实验管在压力为120mmHg蒸馏水中的沸腾传热比较曲线

○—No 1 ×—No 2 △—No 3

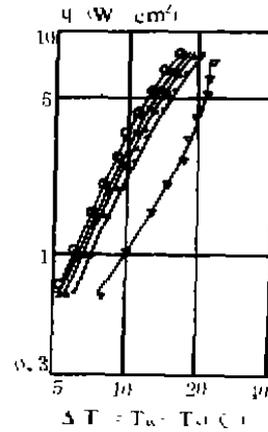


图11 不同尺寸的实验管在压力为120mmHg浓度为55wt%溶液中的沸腾传热比较曲线

•—No 4 ▽—光管

4. 实验数据的整理

应用回归分析方法且充分考虑压力与浓度的影响, 得到如下准则方程式:

$$N_u = 156.0225 s_r^{-1.0322} \left(\frac{q^2 D}{\rho_v h_{fg}^2 \sigma} \right)^{0.5014} \left(\frac{d^2}{L_1 L_2} \right)^{0.1088} B_0^{0.0136} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0.5824} \left(1 - \frac{x_0 + x}{2} \right)^{0.1424} P_r^{0.4008} \quad (2)$$

式中

$$S_r = \frac{C_{p1} \Delta T}{h_{fg}}, \quad B_0 = \frac{\sigma}{g(\rho_1 - \rho_v) s^2}, \quad P_r = \frac{\mu l C_{p1}}{K_l}$$

回归统计量 $F = 5494.712$, 复相关系数 $R = 0.994$

将实验值与方程(2)进行比较, 如图12所示, 绝大多数实验点均落在方程(2)的±20%范围之内, 平均偏差为12.8%。

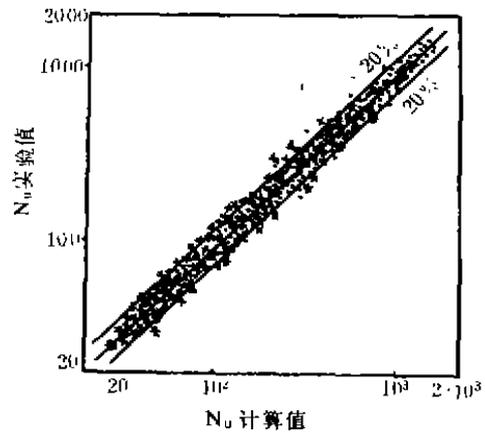


图12. 实验值与计算值比较

•—浓度0% △—30wt.%
×—45wt.% *—55wt.%

四、结 论

1. 在本文实验范围内, 套装抑泡孔管的单管沸腾换热性能随着浓度的升高而降低, 随着压力的升高而升高。当压力小于210mmHg时, 压力的影响更为显著。

2. 套装抑泡孔管的单管是一种较好的强化管，在压力为 120mmHg 时，蒸馏水中的换热性能可为光管的6—7倍。随着间隙尺寸 S 的减小，沸腾换热性能增强。

3. 本文回归得出的准则方程式可用于计算真空状态下溴化锂水溶液中套装抑泡孔管的单管的沸腾换热。

参 考 文 献

- [1] Hasaba, S., Uemura, T.: Refrigeration, Vol. 36, No. 405, 1961.
- [2] Hasaba, S., Uemura, T., Kawasaki, K., Kawai, K.: Refrigeration, Vol. 35, No. 397, 1960.
- [3] Uemura, T., Hasaba, S.: Refrigeration, Vol. 38, No. 427, 1963.
- [4] Hasaba, S. et al.: Refrigeration, Vol. 34, No. 380, 1959.
- [5] Hasaba, S., Uemura, T.: Refrigeration, Vol. 36, No. 405, 1961.
- [6] Vessel Auxiliary Machined Electrical Equipment Editor Institute, The Collection of Diagrams of National Lithium Bromide Water Solution Physical properties, 1978.
- [7] Morimasa ohnishi, et al.: Heat Transfer-Japanese Research, Vol. 7, p. 67-77, 1978.
- [8] Akina noshimastor, et al.: Heat Transfer-Japanese Research, Vol. 8, No. 4, 1979.
- [9] Eiichi ishibashi, et al.: Refrigeration, Vol. 57, No. 653, 654, 1982.
- [10] Pminchenko, F. and Firsova, E.V.: Heat Transfer to water and water Lithium Salt Solution, Problem of Heat Transfer and Hydraulics, Pergament.
- [11] Long en-sheng.: M.S. Thesis, University of Chongqing, Sichuan, China, 1987.
- [12] Tong mingwei.: M.S. Thesis, University of Chongqing, Sichuan China, 1981.