

⑦: 36-41

低温水热管的特性研究^{*}

Study on Low Temperature Character of Water Heat Pipe

柯玲

Ke Ling

陈远国

Chen Yuanguo

谢欢德

Xie Huande

TK124

(重庆大学热力工程系, 重庆, 630044)

A 摘要 比较了几种工质在近室温范围的性能并对 20~60℃ 的水热管特性进行了研究, 认为在该温度区间水仍为较合理工质, 实验测得了 20~60℃ 水热管的换热系数及最大热流密度, 并整理出了该研究范围的热管蒸发段和冷凝段换热特性的关联式。

关键词 水热管; 低温特性; 实验研究

中国图书资料分类法分类号 TK124

ABSTRACT After compared the ability of several kinds of working fluid and systematically investigated water heat pipe at 20~60℃, water is confirmed a reasonable working fluid, this paper acquired values h_e , h_c , q_{max} of water heat pipe at 20~60℃ by experiments and made out experimental relationship formulas about the evaporative range and the condensed range.

KEYWORDS water heat pipe; low temperature character; experimental study

0 引言

目前, 热管已得到了广泛应用, 水热管一般用于 60~300℃。

在诸多用途之中, 近室温 20~60℃ 条件下工作的热管无可置否地提到了显著地位, 如电子器件散热, 空调余热(冷)回收, 电机冷却等等, 其冷、热源温度水平低, 传热温差小, 故传热过程中的每一个传热环节都必须认真对待, 以减小热阻。

根据众多研究表明, 20~60℃ 范围工作的热管可供选择的工质有甲醇、乙醇、丙酮、戊烷氟里昂 11、苯、氨、水等。水是中常温热管的理想工质, 价廉易得, 稳定, 传输因子高, 但在 20~60℃ 缺乏系统的研究。为了开辟水热管更为广泛的应用范围, 充分利用水的优良性能, 笔者对水热管的低温特性进行了充分的研究。

1 实验过程

1.1 工质选择

在 20~60℃ 范围可选用的热管工质中, 氟里昂即将禁用, 苯有毒, 氨具有较高饱和压

* 收文日期 1994-11-14

力,其余的几种有机液体从饱和压力、价格、稳定性、对环境影响角度出发可以被接受,但它们的一个致命弱点是传输因子小、沸腾与凝结换热系数低,即内热阻大。当热管外部高度强化传热后,内热阻成为主要传热阻碍之一。

水的传输因子较甲醇等有机液体高出一个数量级,其沸腾与凝结换热系数也较之高若干倍,在60~300℃得到广泛应用,但在60℃以下温度区间,人们普遍担心它的工作压力太低(0.0023~0.00199 MPa),传热极限限制大,与普通材料不相容问题,因此目前国内外文献均不推荐水作为20~60℃范围的热管工质,对于水热管的研究报道局限于60℃以上。

为弄清以上问题,笔者选用水、甲醇、乙醇为工质,以铜为管材,针对20~60℃热管进行了较系统的实验研究。

1.2 实验装置

实验装置如图1。

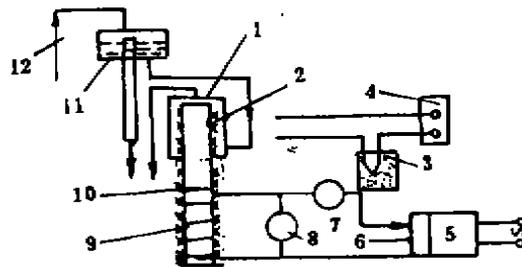


图1 水热管低温特性实验简图

主要设备:1. 冷却水套 2. 热电偶 3. 冰浴槽 4. 电位差计
5. 稳压器 6. 调压器 7. 安培表 8. 伏特表
9. 加热丝 10. 热管元件 11. 冷却水箱 12. 冷却水管

实验管件长2.6 m,其类型为 $\Phi 20 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 紫铜管,加热段长1.4 m,冷却段长1 m,绝热段长0.2 m。

加热段由密绕电阻丝供热,电阻丝两端接调压器和电子交流稳压器以调控加热功率。冷却段采用水冷方式,其外部用 $\Phi 32 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 的镀锌铁管作为水冷套,冷却段末端设有活动密封口便于排气和充液,并且热管元件以及顶部端头盖均与水冷套用法兰连接以保证水空间的密封。加热段和冷却段分别焊有六支和十六支 $\Phi 0.2 \text{ mm}$ 的铜—康铜热电偶,绝热段焊两支热电偶,加热段绝热层表面均匀布置三支热电偶,用电位差计读数。实验管充液后采用沸腾排气法或真空泵抽气法保证内部真空度。

1.3 实验参数

热管实验参数见表1。

表1 热管实验参数

工 质	甲醇,乙醇,蒸馏水
热管工作温度 $T/^\circ\text{C}$	20,25,30,36,40,45,60,60
加热功率 Q/W	98,190,256,306,380,576,795,1027,1365
充液率 $R/(\%)$	20,30,40
倾角 $\theta/^\circ$	90

2 实验结果及其分析

2.1 不同工质的热管传热性能比较

根据甲醇、乙醇、水三种热管工质的传热性能实验研究数据,其蒸发换热系数随功率变化如图2所示。由该曲线可以看出,水在20~60℃范围的传热性能仍优于该区间的优良工质甲醇、乙醇,因此对20~60℃工作的水热管进行研究是非常必要的。

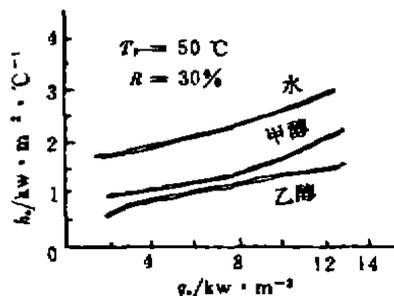


图2 不同工质的 $h_e - q_e$ 实验曲线

2.2 水在20~60℃的传热性能研究

2.2.1 加热段实验结果及分析

1) 工作温度的影响

工作温度对蒸发换热系数影响见图3。

由实验结果可看出,在不同实验工况下, h_e 都呈现出随 T_v 的增加而增加的变化趋势。 T_v 的影响主要表现在对工质物性的影响上。在此工作温度范围,当 T_v 增加时,表面张力下降,液体密度下降,蒸汽密度上升,液体导热系数上升,汽泡脱离频率增加,显然这是促使 h_e 增加的主要因素,故最终 h_e 随 T_v 的增加而增加。

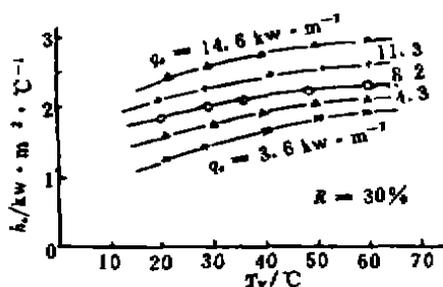


图3 工质水的 $h_e - T_v$ 实验曲线

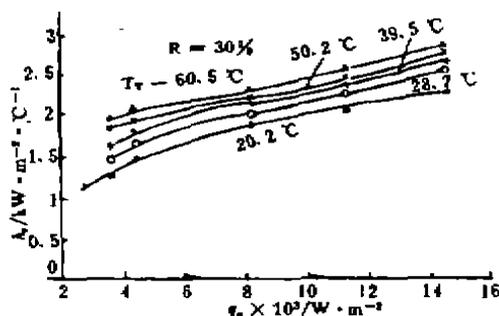


图4 工质的 $h_e - q_e$ 实验曲线

2) 热流密度的影响

q_e 对 h_e 的影响见图4。

由实验结果可看出,不同实验工况下, h_e 随 q_e 的增加而增大。由于 q_e 的增加使汽泡扰动增强(处于 $q_e < q_{ev}$),于是加热段 h_e 增加。

3) 充液率的影响

R 对 h_e 的影响见图5。

已有的研究表明,水热管在60~300℃的最佳充液率为30%左右。分析 R 的影响,当 R 过小时,加热段供液不足,造成干涸极限

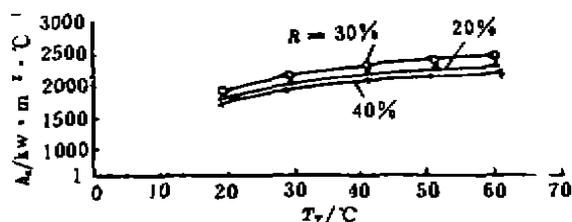


图5 工质水在不同 R 下的 $h_e - T_v$ 图

产生或形成局部烧干,使热管壁面温度上升而 h_c 下降;当 R 增大过多后,液池量过多,液体可能进入冷凝段,液阻增大,液位上升,液池底部和上部液面间的压差增大,相应的温差也增大,故 h_c 下降。笔者根据分析结果选用 $R = 20\%、30\%、40\%$ 进行比较,发现三种充液率的工作状况相近,因此可认为 $R = 30\%$ 为最佳充液率仍适用于低温水热管。

4) 蒸发段实验关联式

根据文献* 将实验数据采用多元线性回归法整理,可表示为:

$$N_{ev} = C_0 \cdot Ar^{C_1} \cdot Re^{C_2} \cdot We^{C_3} \cdot [\rho_1 / (\rho_2 - \rho_1)]^{C_4}$$

回归结果为:

$$N_{ev} = 3.6571 \cdot Ar^{0.06356} \cdot Re^{0.6597} \cdot We^{-0.07038} \cdot [\rho_1 / (\rho_2 - \rho_1)]^{-0.1811}$$

以上方程的回归检验结果 $F = 418.75, R = 0.9651$,故此方程是有效的。图 6 为实验数据与方程值比较,实验点处于 $\pm 20\%$ 的误差范围内。

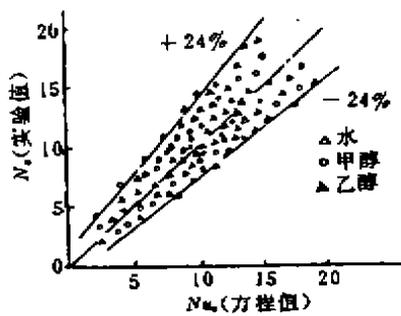


图 6 实验数据与回归方程比较图

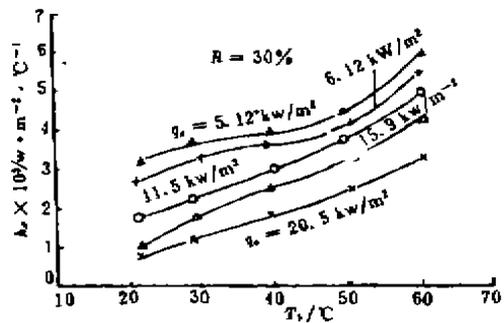


图 7 工质水的 h_c-T_c 实验曲线

2.2.2 冷凝段实验结果及其分析

1) 工作温度的影响

T_c 对 h_c 的影响见图 7。

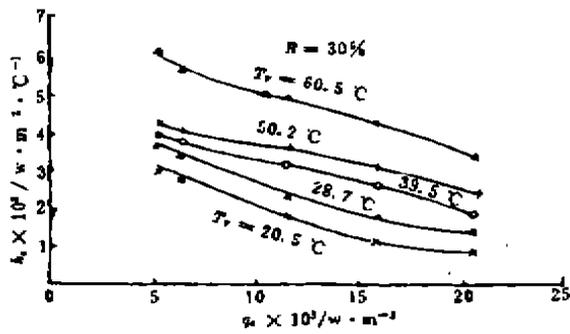
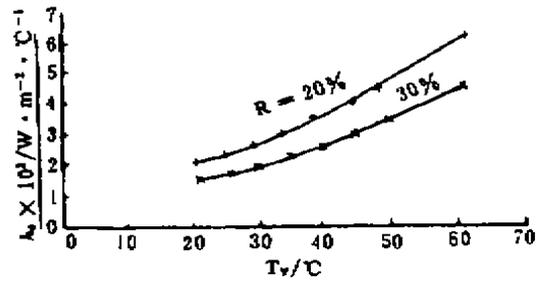
由实验结果可看出,实验工况下 h_c 随 T_c 的增加而增加。机理在于,其一, T_c 增加,工作压力升高,蒸汽密度增加,流速下降,带入冷凝段的液体减少,液膜厚度减小,导致 h_c 增加;其二, T_c 增加,液体粘度和表面张力均下降,促进液膜波动,冷凝段的对流以及上升蒸汽对液膜的扰动致使 h_c 增加;其三, T_c 增加使管内残存不凝气体的影响减小也令 h_c 增加。

2) 热流密度的影响

q_e 对 h_c 的影响见图 8。

实验结果表明, h_c 均是随 q_e 的增加而减小,其原因在于随 q_e 加大,汽-液循环量增加,导致液膜厚度增加以及冷凝段汽液混合物高度增加,致使 h_c 下降。

* 陈岗,辛明道,陈远国. 二相闭式热虹吸管内的流动与传热,1985

图8 工质水的 h_c - q_m 实验曲线图9 工质水在不同 R 下的 h_c - T_c 图

3) 充液率的影响

R 对 h_c 的影响见图9.

实验结果表明,随 R 增加 h_c 减小,这是由于 R 的增加使汽液混合物易冲至冷凝段使液膜加厚,造成 h_c 下降.

4) 冷凝段凝结换热关联式

根据文献*,在 $R=30\%$ 、 $\theta=90^\circ$,关联式为:

$$h_c/h_a = F(p_e/p_w)$$

其中: h_a 为按 Nusselt 理论计算的冷却段换热系数.

$$Nu_c/Nu_a = h_c/h_a = C_0(p_e/p_w)^{C_1}$$

按上式对实验数据整理得:

$$Nu_c = 1.842 \cdot Nu_a \cdot (p_e/p_w)^{0.174}$$

其检验结果为 $F = 96.327$, $R = 0.942$,故方程是有效的,图10对实验结果与公式比较,实验点处于 $\pm 24\%$ 误差范围.

2.2.3 极限传热量的实验研究

研究表明,热管近凝固点工作且热虹吸管长径比大时易发生携带极限**[1].实验热管长径比为130,笔者预测发生携带极限.极限实验中可听到被携带的液滴冲击冷凝段端部的声音,此时冷凝段端部壁温出现降低现象,蒸发段壁温逐渐飞升,管壁过热,可断定此时出现极限.

实验数据整理为图11,按文献[2]计算的携带极限与实验相比较.实验表明 T_c 对 q_{max} 的

* Ma Yiwei, The Characteristics of Condensation Heat Transfer in Thermosyphon, 6th Int. Heat Pipe Conf.

** Shiraishi M., influences of evaporator geometry on performance limits in two-phase closed thermosyphons, 6th IHPC

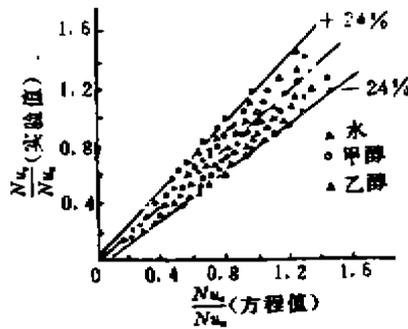


图10 实验数据与回归方程比较

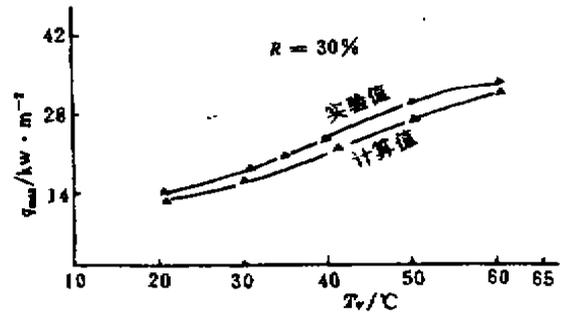


图11 工质求的 $q_{max}-T_w$ 曲线

影响较大, q_{max} 随 T_w 的上升而明显增加。原因在于 T_w 影响物性, T_w 增加使工作压力上升, 蒸汽密度增大, 流速减小, 汽液间切应力下降, 则 q_{max} 增加。由图11实验值与计算值比较, 后者比前者低18%, 60℃时两值接近, 两值差异的原因在于实验本身存在误差。实验数据也充分证明水热管在20~60℃的传输极限仍较高, 能满足大多数工程应用需要。

4 结 论

- 1) 在20~60℃区域, 水热管性能仍具有优越性, 该区域使用水热管是可行的;
- 2) 20~60℃区域, 水热管特性为 h_e 随 q_e 、 T_w 增大而增大, h_c 随 T_w 增大而增大, 随 q_e 增大而减小; 其传输极限仍较高, 能满足工程要求; 最佳充液率仍为30%。

符 号 表

T_w : 工作温度
 ρ : 密度
 Re : 雷诺数

q : 热流密度
 p : 压力
 Ar : 阿基米德数

h : 换热系数
 Nu : 努谢尔特数
 We : 韦伯数

e : 加热段
 1: 蒸汽
 Cr : 临界值

下标说明

c : 冷凝段
 2: 液体

max : 最大值
 S : 饱和值

参 考 文 献

- 1 Feldman Jr. K. T., Srinivasan, Investigation of heat transfer limits in two-phase closed thermosyphon, Int. J. Heat mass transfer, 1983, 26(8), 7~12
- 2 Bezrodnyl M K. The upper limit of maximum heat transfer capacity of epeporative thermosyphons, teploenergetika, 1978, 25(8), 63~66