

平面布置振荡热管壁面温度分布特性实验研究

赵孝保, 李奇贺, 董宏伟, 恽 超

(南京师范大学动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 实验测量了由振荡热管冷凝段构成的平板表面中管束壁面上横向和纵向温度, 对升负荷和降负荷过程中壁面温度分布特性进行了分析. 实验表明平板表面外侧管壁面温度波动幅度较大, 中间点温度比较均匀; 受管束内汽液流动及剧烈振荡的影响, 在热管蒸发段壁面温度达到 90℃ 时, 平板表面温度均匀程度最好; 当蒸发段壁面温度为 120℃ 时, 横向各点温度相差比较大. 管束壁面纵向温度分布实验表明: 蒸发段壁面温度为 40℃ 时, 热管未启动; 而在 120℃ 时热管完全启动, 各测点温度相差不大; 在 60℃ ~ 80℃ 时, 纵向温度相差较大, 温度分布不均匀, 靠近蒸发段的测点温度升高较快; 蒸发段壁面温度在 80℃ 以上时, 平板表面纵向温度趋于均匀.

[关键词] 振荡热管, 温度分布, 平板表面, 温度均匀度

[中图分类号] TK 124 **[文献标识码]** A, **[文章编号]** 1672-1292-(2005) 01-0016-04

Experimental Research about the Wall Temperature Distribution on the Oscillating Heat Pipe Fixed up as a Plate

ZHAO Xiaobao, LI Qihe, DONG Hongwei, YUN Chao

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

Abstract A plate surface was formed with the condensing section tubes of the Oscillating Heat Pipe, the tube wall temperature is experimentally measured along the crosswise and vertical direction of the Oscillating Heat Pipe, and some analyses are made about the temperature distributive characteristics during the rising heating load and the declining heating load. The experiment shows that the temperature on the outside tube is fluctuated apparently but is even in the center, and that when the evaporating section temperature rises up to 90℃, the plate surface temperature is at the best even, but that when the evaporating section temperature rises up to 120℃, the crosswise temperature is not the same, and that when the evaporating section temperature rises up to 40℃, the oscillating heat pipe is not started, but that when the temperature rises up to 120℃, the heat pipe is fully started and the vertical wall temperature is the same, and that when the evaporating section temperature is between 60~80℃, the vertical wall temperature is different and the temperature near the evaporating section rises quickly, and that when the evaporating section temperature rises up to 80℃, the vertical temperature on the plate surface is even.

Key words oscillating heat pipe, temperature distribution, plate surface, temperature even

0 引言

振荡热管 (Oscillating Heat Pipe, OHP) 又称脉动热管, 是 H. Akachi 在 90 年代初提出的^[1]. 在封闭的蛇形回路管路中, 充有一定量的工作介质, 该介质在冷热端温差的热作用下形成不连续的汽柱和液柱并随机地在蛇形回路中振荡而实现热传递.

振荡热管有如下特点: 不需要吸液芯; 可以有多个加热段和冷凝段; 无需外加动力, 自激振荡; 表面张力占主导地位等. 振荡热管是目前解决小空间高热流密度的电器元件散热方案中一种很有希望和前途的传热元件.

振荡热管可以分环路型 (Looped Type) 和非环路型 (Unlooped Type)^[2, 3]. 前者管束两端相接通而

收稿日期: 2004-09-28

基金项目: 江苏省高校自然科学基金资助项目 (01KGB47003).

作者简介: 赵孝保 (1962-), 博士, 副教授, 主要从事小空间汽液两相流动与传热, 热管技术等方面的教学与研究.

E-mail: zhaoxiaoba@njnu.edu.cn

形成环路, 后者则不然. 带单向阀的闭合回路结构是一个派生种类, 在管路中加一个或几个单向阀, 来控制工作介质的单向流动, 如图 1 所示.

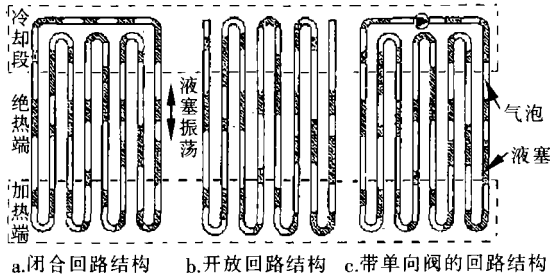


图 1 振荡热管基本结构

振荡热管有许多优点:

(1) 体积小、结构简单、成本低. 管径小决定了整体尺寸小; 不需要吸液芯, 减少了热管结构的复杂性和生产成本; 振荡动力来自振荡热管本身, 无需其他附属设备, 运行和维护成本低.

(2) 传热性能好. 除通过相变传热外, 振荡热管还通过汽液振荡传递显热并将热量转化为振荡需要的功. 振荡热管没有普通热管所特有的传热限制, 在合适的充液率下, 热流密度可以很大而不会烧干. 据 Nishio 等人的实验结果, 充有 50% 的 R142b 内径为 0.5 mm 的玻璃管式振荡热管, 在竖直工作时传输的热流密度可达到 1000 W/cm^2 , 显著高于普通吸液芯热管 (50 W/cm^2)^[4].

(3) 适应性好. 振荡热管的形状可以任意弯曲, 可以有多个加热段和冷凝段, 而且加热和冷却的部位可以任意选取, 可以在任意倾斜角度和加热方式下工作, 这就大大增加了振荡热管的适应性, 扩大了应用领域.

研究表明^[5], 环路型振荡热管运行工况容易稳定, 热阻较小, 运行的功率范围较大, 比非环路型振荡热管更具有优越性. 在相同的实验条件下, K. G 比较了不同型式的振荡热管冷却笔记本电脑 CPU 时的传热性能, 认为环路型振荡热管比非环路型振荡热管的传热性能好^[6].

H. Akachi^[7]认为振荡热管的充液量要远大于普通热管, 通常充液率应大于 50%. K. Gi 在聚四氟乙烯管内充 R142b 的环路型振荡热管的可视化实验中得到, 最佳充液率为 50% ~ 60%, 实验表明随倾斜角度的增大, 汽液柱循环速度加快^[6].

振荡热管散热器性能测试表明, 振荡热管的回转弯数大于一定数值时, 其热阻与倾斜角度无关, 即在相同的实验条件下, 底部加热、水平加热和顶部加热时热阻基本上相同. P. Chaensawan 等人证实回转弯数的最小值为 8Q 认为在该临界值时, 在

水平和顶部加热时, 运行较差, 底部加热和垂直放置时传热量最大^[8].

本文进行了由振荡热管冷凝段构成的平板表面上热管壁面温度测量, 分析了壁面温度分布及变化特性.

1 平板表面热管壁面温度测量与分析

1.1 平板表面热管结构及实验过程

由振荡热管冷凝段组成的平板表面结构如图 2

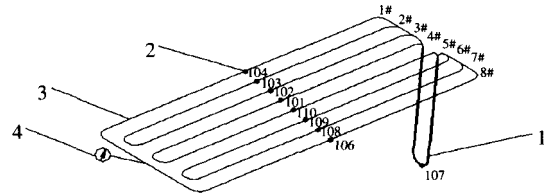


图 2 平板布置振荡热管结构及温度测点

图中: 1 为热管蒸发段 (加热段), 放置在加热炉中; 2 为平板表面中热管冷凝段壁面温度测点; 3 为组成平板表面的环路型振荡热管冷凝段, 有 8 个管路组成 (# ~ 8#); 4 为压力表, 测量热管内的压力及变化.

平面布置的振荡热管尺寸如图 3 所示.

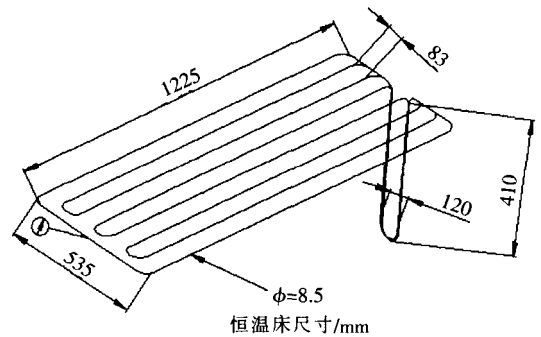


图 3 平板布置振荡热管尺寸

实验过程中, 平面上下覆盖有保温层, 实验测量了平板表面中热管壁面温度, 分析了平面中热管冷凝段纵向和横向壁面温度的变化及特性.

1.2 升负荷过程中平板表面上管束横向壁面温度及变化

升负荷过程中平板表面上管束横向温度测点如图 2 温度变化曲线如图 4 所示. 图中, 随加热负荷增大, 蒸发段壁面温度 (107 点) 升高, 除平板表面外侧管束上壁面温度 (104 点、106 点) 波动幅度较大外, 中间点的温度相差不大. 蒸发段温度 (107 点) 在 90°C 时, 平板表面横向温度比较均匀, 100°C 以上时, 102 点温度偏低, 120°C 时管束横向温度相差较大, 此时管束内汽柱和液柱剧烈振荡, 管束内流型变化大^[5].

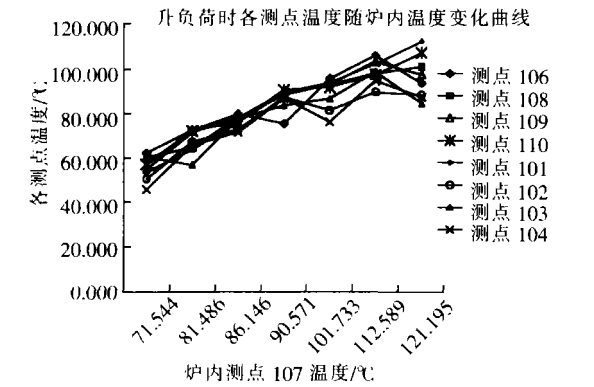


图 4 管束横向温度变化曲线

1 3 降负荷过程中管束横向温度变化

停止蒸发段加热, 依靠对流冷却, 进行降负荷实验, 蒸发段壁面温度 (107 点) 为 110℃ 时, 平面上各点温度相差比较大, 如图 5 所示. 90℃ 时, 平面温度均匀, 说明由振荡热管组成的平板表面在 90℃ 时具有比较好的均匀温度性能. 图中, 除边缘管束外, 在蒸发段温度 (107 点) 在 90℃ 以下时, 管束横向温度基本上是均匀的.

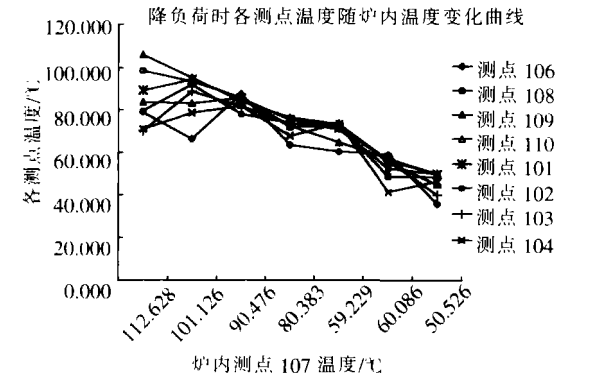


图 5 降负荷过程中管束横向温度变化

1 4 升负荷过程中 3#管束纵向温度及平面上横向温度变化

3#管束纵向温度测点如图 6 所示, 温度变化曲线如图 7 所示. 在蒸发段温度 (107 点) 为 40℃ 和 120℃ 时, 3#管壁纵向温度相差不大, 对应于热管未启动和热管充分启动的两个状态. 在蒸发段温度 (107 点) 为 60~ 80℃ 时, 管束纵向温度相差较大, 温度分布不均匀, 靠近蒸发段的测点温度升高比较快, 80℃ 以上时管壁纵向温度趋于均匀. 蒸发段温度 (107 点) 低于 80℃ 时, 平面上壁面横向温度相差不大, 如图 8, 此时热管处于启动阶段. 90℃ 时, 管壁温度相差不大, 平面上温度均匀, 说明蒸发段壁面温度为 90℃ 时, 由振荡热管组成的平板表面具有比较好的均匀温度性能. 图中 104 点温度变化幅度比较大, 是因为边缘处散热的影响.

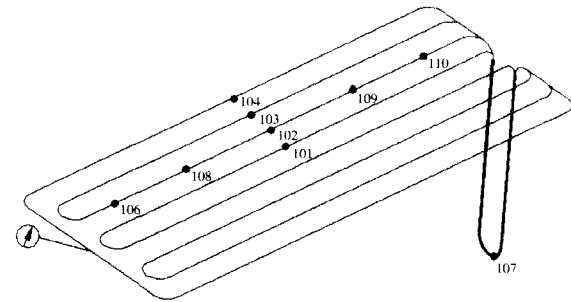


图 6 3#管束纵向及横向温度测点

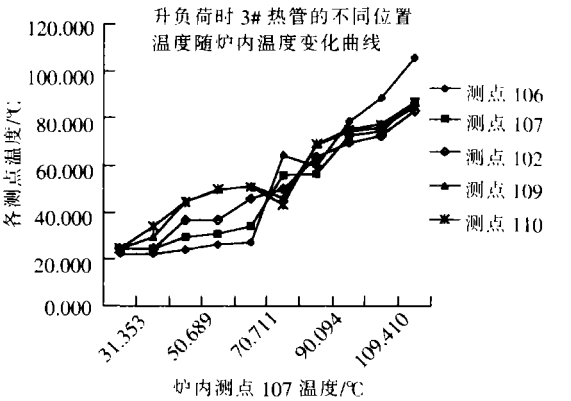


图 7 3#管束纵向温度变化曲线

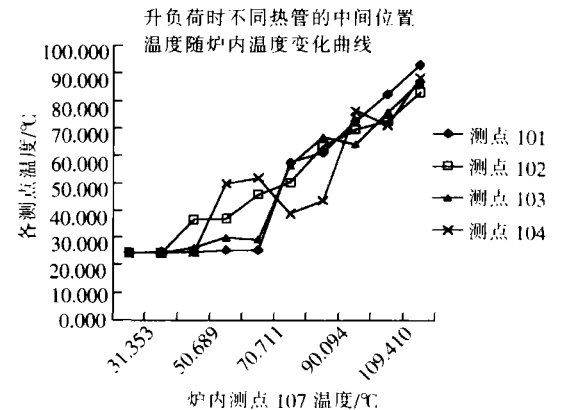


图 8 平面上横向壁面温度变化曲线

2 5 降负荷过程中 3#管纵向温度变化和平面上横向温度变化

在降负荷过程中, 除了 106 点外, 3#管壁纵向温度基本均匀, 如图 9 蒸发段壁面温度为 110℃ 时, 平板表面各点温度相差较小, 如图 10 图中, 蒸发段壁面温度为 90℃ 时, 平面温度基本上均匀, 低于 80℃ 时, 壁面温度相差较大.

2 6 4#管壁纵向温度变化及平面上横向温度变化

升负荷过程中, 4#管壁上距蒸发段最远点 (104 点) 温度偏低, 4#管壁上各点温度都没有出现大幅的振荡现象, 如图 11 所示. 升负荷过程中, 平板表面边缘处 4#管的壁面温度不随蒸发段温度升高而升高, 并且离蒸发段远的点 (104 点) 温度也基本上没有明显升高的现象, 是因为平面边缘处保温不完善. 降负荷过程中, 4#管壁上距离蒸发段最近

点 (104点) 温度偏低, 其余各点温度比较接近, 如图 12

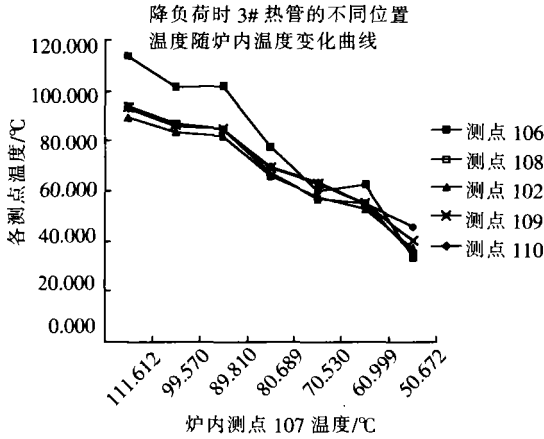


图 9 降负荷过程中 3#管纵向温度变化

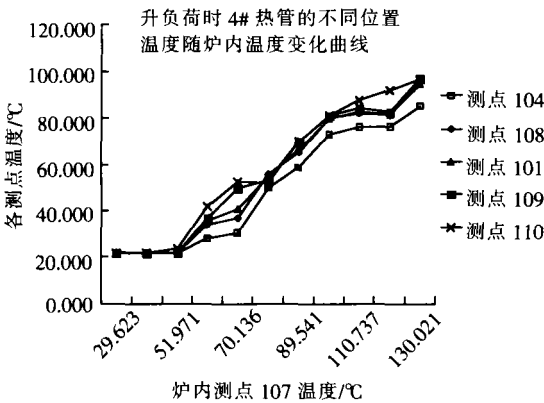


图 11 4#管壁纵向温度变化

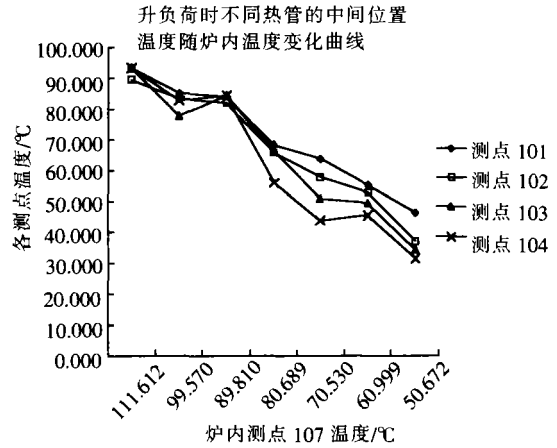


图 10 平板表面横向温度变化

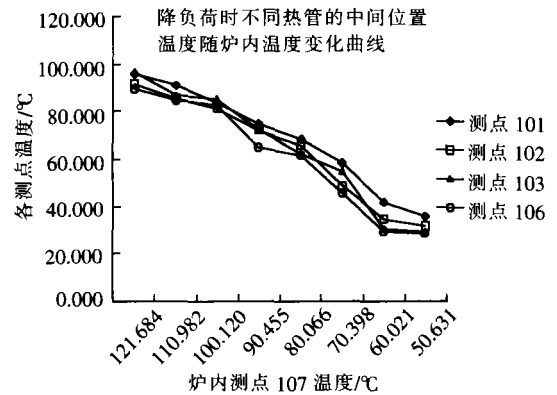


图 12 平面上横向温度变化

2 结论

本文对由振荡热管组成的平板表面上管壁面横向温度和纵向温度进行了实验测量, 实验表明蒸发段壁面温度 (107点) 为 90°C 时, 平面上温度均匀程度最好; 蒸发段温度 (107点) 为 120°C 时, 平面上横向各点温度相差较大, 说明管束内汽液柱振荡剧烈, 管壁面温度变化大; 蒸发段温度分别为 40°C 和 120°C 时, 平面上纵向温度相差不大, 对应于热管未启动和热管充分启动的两种状态。在 $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 温度范围内, 纵向温度相差比较大, 温度分布不均匀, 靠近蒸发段点的温度升高比较快, 80°C 以上时管壁面纵向温度趋于均匀。

[参考文献]

- [1] Akachi H. Structure of a Heat Pipe [Z]. U. S. Patent No. 4921041, 1990.
- [2] 杨蔚原, 张正芳, 马同泽. 脉动热管运行的可视化实验研究 [J]. 工程热物理论, 2001, 22 (增刊): 203-209.
- [3] 马永锡, 张红, 庄骏. 振荡热管——一种新型独特的热管 [A]. 第九届全国热管会议论文集 [C]. 昆明, 2004: 379-383.
- [4] Nishio S, Nagata S, Baba S, et al. Thermal performance of SEMOS heat pipes [A]. Grenoble, France, 2002. Proc. 12th Int. Heat Trans. Conf. [C]. 4: 477-482.
- [5] 曲伟, 马同泽. 脉动热管运行特性的半可视化实验研究 [A]. 第八届全国热管会议论文集 [C]. 成都, 2002: 47-56.
- [6] GiK, Sato F, Maezawa S. Flow visualization experiment on oscillating heat pipe [A]. Tokyo, Japan, 1999. Proc. 11th Int. Heat Pipe Conf. [C]. 149-153.
- [7] Akachi H, Polasek F, Stule P. Pulsating heat pipe [A]. Melbourne, Australia, 1996. Proc. of the 5th International Heat Pipe Symposium [C]. 208-216.
- [8] Charoensawan B, Khandekar S, Groll M, et al. Closed loop pulsating heat pipes-Part A: Parametric experimental investigations [J]. Appl. Thermal Engineering, 2003, 23 (16): 2009-2020.

[责任编辑: 刘健]