

## 冷却电子组件的微型热管性能研究

周继珠

(航天技术系)

**摘要** 本文对微型热管在冷却电子组件中传热性能进行了实验研究。从应用的角度提出了微型热管最大应用功率的概念,给出风速、风温、安装位置和工质充装量等因素对最大应用功率影响的实验结果。并与相同结构铜制散热片的性能进行了比较。

**关键词** 热管技术, 冷却, 微电子组件, 热控制

**分类号** V434.14

八十年代后期,大功率高密度电子器件与设备的发展,对原有的热控制技术提出了新的挑战。许多专家认为,热管技术的应用将为克服电子技术发展中的“热障”提供一条理想的途径。因此,旨在冷却微电子器件的微型热管研究已成当前热门课题<sup>[1]-[4]</sup>。但是,他们还没有考察热管在实用条件下各种因素对其性能的影响。本文结合热设计中有关因素,从应用角度实验研究了有关因素对其性能的影响,为在电子器件中应用热管冷却选择有关参数提供依据。

## 1 试件与试验方法

根据身边已有的模块,我们制造了如图1所示的铜-丙酮热管,其充装量为0.051g。试验在自然风冷与强制风冷两种条件下进行的。试验系统的试验段如图2所示。热管壁面的温度分布用五对直径为0.01mm铜-康铜热电偶测量。风温用玻璃温度计测量,风速用皮托管测定。为了减少

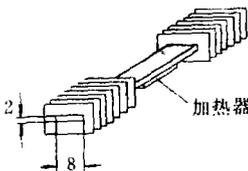


图1 试件结构简图

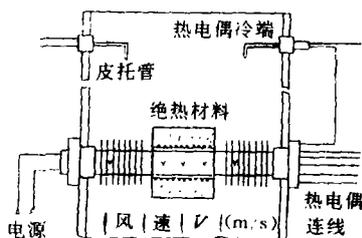


图2 试验系统试验段简图

\* 1992年5月6日收稿

加热器热损失，热管蒸发段外包覆绝热材料。电加热器功率是可以调节的。

## 2 最大应用功率的概念

在热管技术中，习惯于用极限功率表示其传热能力。所谓极限功率是指在热端不断增加热功率过程中热管表面均温性遭到突然破坏时所传递的功率，它取决于热管内部结构。表 1 是根据本试验件在理论充装量(0.055g)下计算的各种可能的极限功率。

由表 1 可知，本试件属于毛细极限类型。在试验中，不同风速实测的试件极限功率数据如表 2 所列。

表 1 在理论充装量下各种极限功率计算值

工作温度(°C)	声速极限(W)	携带极限(W)	毛细极限(W)	沸腾极限(W)
47	1143.2	221.2	14.84	31

表 2 不同速度下试件极限功率的测试值

风 速 V(m/s)			
	0	2.53	4.2
极限功率 $Q_{max}$ (W)	6.34	6.25	6.15

试验表明风速对极限功率并无显著影响。毛细极限主要取决于热管的内部结构和所选择工质的品质因子  $\left(\frac{\sigma\rho\lambda}{\mu}\right)$ ，式中  $\sigma$ ——表面张力， $\rho$ ——密度， $\lambda$ ——汽化潜热， $\mu$ ——粘性系数。在电子器件冷却中热管的内部工作温度变化不大于 20°C，便品质因子变化甚微。

如果按表 2 的结果选择风速，试件 1 可以在  $V=0$  条件下冷却功耗为 6W 的模块，但是这时热管表面温已近 70°C，若要保证结点温度不大于 75°C，热管表面温度应为 50°C，此时，在  $V=0$  条件下传递功率只有 2.4W，这是它在  $V=0$  条件下所能应用的最大功率。所以在电子器件冷却系统中不能单用极限功率作为设计与选择的依据，本文为此提出最大应用功率的概念。所谓最大应用功率是指热管壁面温度等于组件表面允许温度（由组件结点温度、功耗与内阻来确定）时传递的功率。这一概念在实用中比极限功率更有意义。

以下试验结果中，除特别注明外，所指功率皆为最大应用功率。

## 3 试验结果

### 3.1 风速的影响

试验中研究了风速对最大应用功率的影响，图 3 表示了环境温度 25°C 时这种变化关系的试验结果。试验时控制热管表面为 50°C。图 3 说明热管的最大应用功率随风速增大而增大，当风速大于 4m/s 后，功率增大的趋向渐缓，因为接近于极限功率了。

有时在应用中需要改变风速来控制组件表面的温度，所以研究中也给出风速对热管壁温的影响关系，如图 4 所示。由图 4 可以看出，在一定传热功率下，风速在 1—3m/s 范围内对热管壁温影响较大，当  $V>4m/s$  时，影响渐弱。

总之，在电子器件热管冷却系统中，风速不应超过 4m/s，过大的风速不仅效果不显著，而且带来功耗大，噪音和振动等不利影响。

### 3.2 风温的影响

以上结果表明，通过风速来调整热控制效果是有一定限度的。所以，调整风温也是重要的。另外，季节变化，空调系统工作变化或热负荷的变化也会造成风温的变化。因此研究风温对最大应用功率的影响是有实用意义的。

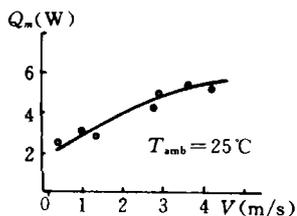


图3 最大应用功率与风速关系

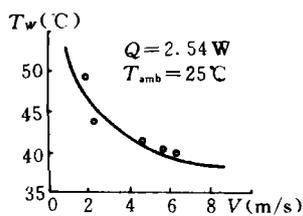


图4 热管壁面温度与风速关系

实验是在给定风速  $V=4.29\text{m/s}$ ，维持热管表面温度为  $50^\circ\text{C}$  情况下进行的。结果发现最大应用功率对风温比较敏感。例如当风温为  $32^\circ\text{C}$  时，最大应用功率为  $6\text{W}$ ，而在  $36^\circ\text{C}$  时，只能冷却  $2\text{W}$  的模块。在各种不同的风温下所作的试验结果示于图 5。作为微热管产品应该为用户提供这样一条试验曲线。

### 3.3 工质充装量的影响

在应用中虽然热管的极限功率不如最大应用功率方便，但它毕竟是最大应用功率的上限，所以提高极限功率也是追求的目标。工质充装量对热管的极限功率极其敏感。在图 1 的试件中（其理论充装量为  $0.055\text{g}$ ），先后充装了  $0.058\text{g}$  和  $0.051\text{g}$  的丙酮。在相同的加热功率  $9.06\text{W}$  下进行试验，所用风速分别为  $2.85\text{m/s}$  和  $4.2\text{m/s}$ 。试验结果示于图 6。结果表明充装量为  $0.051\text{g}$  时，表面温度分布严重不均匀，也大大超过极限功率；而在  $0.058$  充装量时仍未达到极限功率。所以充装量若小于理论值时将使其性能严重下降，这就是为什么在表 1 中计算的理论极限功率为  $14.84\text{W}$  而在  $0.051\text{g}$  充装量的试件中实际只有  $6\text{W}$  的缘故。

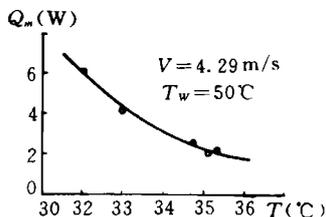


图5 最大应用功率与风温关系

### 3.4 模块安装位置的影响

用热管排放模块的热量怎样安装为好，也是需要研究的。为此，制作了三角形微热管。加热器先后安放在不同的位置上：一是安装在热管的一端；二是安装在热管的中间。实验测得的表面温度分布分别示于图 7 与图 8 上。对照两种试验结果可以看出，安装在中间位置的温度分布比安装在一端的要均匀。这是因为中间加热时，蒸汽向两边流动，每边质量流率较小，且流程较短，蒸汽流动下降小，使管内温度与壁面温度跌落较小。所以应用中模块宜放在中间位置。

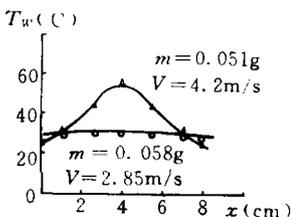


图6 不同充装量下热管壁面温度分布

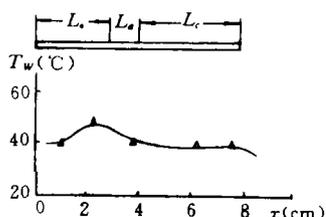


图7 一端安装时的温度分布

于图 7 与图 8 上。对照两种试验结果可以看出，安装在中间位置的温度分布比安装在一端的一要均匀。这是因为中间加热时，蒸汽向两边流动，每边质量流率较小，且流程较短，蒸汽流动下降小，使管内温度与壁面温度跌落较小。所以应用中模块宜放在中间位置。

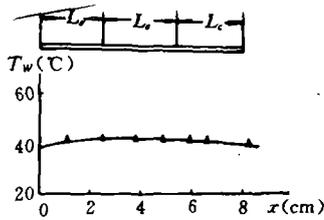


图8 中间安装时的温度分布

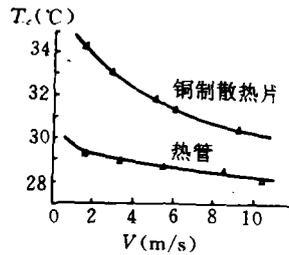


图9 模块中心温度与风速的关系

### 3.5 热管与铜制散热片的比较

为了进行比较,加工了质量和结构与热管相同的铜制散热片。用三个模块先后固接在热管与铜制散热片的中间部位。总功率为1.8W(因为试验时手边只有此小功率的模块),冷却效果用模块表面中心点温度与边缘温度标志。

在各种不同的风速在模块中心温度的变化示于图9。在有意义的风速范围(0—4m/s)内,热管冷却时模块表面中心温度比用铜制散热片时中心温度低(3—5℃)。

在4.62m/s风速下测量三个模块上五个点的温度值表示在图10上。括号内是用铜制散热片时的测量值,括号外是用热管时的测量值。测点4距中心较远,用热管冷却时,4点温度仍接近于中心值;用铜制散热片时,该点温度与中心温度差3.3℃。这说明用热管时温度均匀性也比用铜制散热片好。

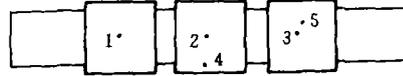


图10 两种散热元件下模块表面分布的测定值

1点:28.70(31.60); 2点:28.72(31.60);  
3点:28.80(31.36); 4点:28.66(28.90);  
5点:28.63(31.34)

应该说明,限于手边只有小功率模块的条件,而热管与铜制散热片的散热能力相对较大,这种大马拉小车的情况下,热管的优越尚未充分显示出来。毫无疑问,在较大功率下,这两种方式的效果将会出现更大的差异,热管的优越点将会更突出地表现出来。所以在大功率高密度微电子器件中应用热管进行热控制更具魅力。

## 4 结论

通过微型热管在电子组件散热中的研究,可以得出如下结论:

(1) 微型热管的极限功率属于毛细极限功率,且与风速无关。在电子设备热控制中,用本文提出的最大应用功率来表征热管的应用性能比极限功率更有意义,最大应用功率随风速的增大而增大。

(2) 风温作为电子设备热控制中的可调参数,在热管应用中也是重要的。随着环境温度的提高,最大应用功率将会降低。

(3) 微型热管的性能对工质充装量特别敏感,充装量稍高于理论值时能充分发挥其性能,若略低于理论值时,其性能会大幅度下降。

(4) 在应用中,把电子组件安放在热管的中部比安装在一端能获得更均匀的温度分

布。

(5) 应用热管来冷却电子组件比传统的散热铜片要优越；不仅可以使组件表面获得更低的温度，而且组件表面的温度分布更加均匀。

### 参 考 文 献

- 1 Gerner F M. Flow Limitations in Micro Heat Pipes. AFSOR Final Report, AFB, Dayton OH. 1989
- 2 Fejfar K, Polasek F. Tests of Micro Heat Pipes. Annual Report of the Svuss, 1990
- 3 Gerner F M. Micro Heat Pipe, AFSOR Final Report. AFB, Dayton OH, 1990
- 4 Mallik A K, et al. On the Use of Micro Heat Pipes as an Integral Part of Semiconductors. 3rd ASME—JSME Thermal Eng, Joint Conf Proc, 1991
- 5 Wu D. et al. Investigation of the Transient Characteristics of a Micro Heat Pipe. AIAA J. Thermophys. Heat Transfer, 1991
- 6 Gerner F M, Longtin J P. Flow and Heat Transfer Limitations in Micro Heat Pipe. HTD—Vol, 206—3, ASME, 1992
- 7 Peterson G P. Overview of Micro Heat Pipe research and development, APPL. Mech, Rev, 45(5), 1992
- 8 Peterson G P. Investigation of Micro Heat Pipes Fabricated as an Integral Part of silicon wafers. 8th IHPC, 1992
- 9 Huanzhou Chen, Groll M. Micro Heat Pipes; Experimental Investigation and Theoretical Modeling. 8th IHPC. Paper C—3, Beijing, 1992
- 10 Longtin J P, Badran B. A One—Dimensional Model of A Micro Heat Pipe During Steady—State Operation 8th IHPC. Paper C—5, Beijing, 1992

## Research of the Heat Transfer Characteristics of Micro Heat Pipe Used to Cool Electric Components

Zhou Jizhu

(Department of Aerospace Technology)

### Abstract

The experimental investigation of the heat transfer characteristics of the micro heat pipe used to cool the electronic components was presented in this paper. From the point of view of application, the concept of the maximum applicable power was proposed. The experimental results of the maximum applicable power vs. air velocity, wind temperature, mounting site and filling quantity of working fluid were given. In addition, the effect of using heat pipe for cooling modules was compared with that of using copper fin.

**Key words** heat pipe, cooling, micro electronic component, thermal control