

# 热 管

颜迪民 程 萍 陈希瑞 刘成群

热管是六十年代出现的一种新型的高效能热传递装置。早在四十年代,热管的基本概念就有人提出过,但由于当时的热传递问题用比较常规的传热方法和传热装置都可以解决,因而这个想法一直没有得到试验的机会。直到六十年代,由于科学技术的高度发展,特别是宇宙航行方面的需要,热管才得到发展。1964年格罗弗(Grover)等人<sup>[1]</sup>成功地运行了第一根热管。由于它具有传热量大、温度均匀、结构简单、工作可靠、没有运动部件、可以在失重下正常工作等一系列特点,因而立即受到许多国家的重视,在很短的时间内开展了大量的实验研究和理论分析工作。在应用方面也早已越出了宇宙航行的范围。目前热管作为传热、散热和温度控制的工具已成功地运用于空间技术、电子、动力、化工和原子能等工业领域。近年来在我国热管的研制工作也受到了充分的重视,在应用方面也获得了一些可喜的成果。本文将就热管的工作原理与我们的初步工作作概要介绍。

## 一、热管工作原理及结构

### 1. 基本原理

热管(见图1)通常由密闭的管壳、起毛细管作用的多孔结构物“灯芯”和传递热能的工质等组成。热管工作时,加热段“灯芯”内的液体经加热后沸腾、蒸发,产生的蒸汽通过蒸汽腔流到冷凝段,在那里凝结放出汽化潜热,被凝结为液体后靠灯芯的毛细作用流回热管的加热段,就这样,连续的物质循环与相变便将大量的热量从加热段传给了冷凝段。汽液两相的转变以及随之而来的相变潜热的吸收与释放早已被认识到是一

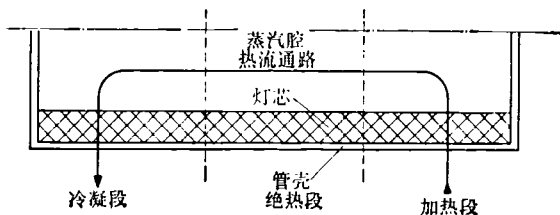


图1 热管的各个部件

个高效率的传热过程。许多热动力设备如锅炉、蒸发器,都是用的这个原理。但在那里工质的连续循环是靠机械泵(或重力)实现的。而在热管,工质的连续循环则是靠液体的表面张力利用毛细作用原理来实现的。这是一种独特的质量传递方法,它不需要任何运动部件,也可以在失重下工作。这不仅简化了系统的结构,提高了它的运行可靠性,同时也便于实现完全自动化。其次由于能量由纯饱和蒸汽所传递,所以热管在正常状况下是很接近等温的。这就是说热管可在温差很小的情况下传递大量的热量。

热管的正常工作取决于工质的连续循环,因此热管的极限总是与某种循环中断有关。主要考虑的是毛细极限。当热流达到这个极限值时,加热段液体的蒸发大于“灯芯”内因毛细作用流回的液体,此时液-汽交界处的弯月面不断落入“灯芯”内,以致灯芯完全烧干。此时如不及时撤除热源,热管就可能烧毁。另外两个极限,即“声速限”和“携带限”通常与热管的起动和低的工作温度有关,后面将作详细讨论。

### 2. 热管的结构

热管的结构形状是各式各样的,因使用对象而异,可以是直管、弯管、板形、叉形、汽室形或者管簇式的,还有把蒸发器与冷凝器径向布置的所谓“径向热管”等等。热管的“灯芯”种类也是非常之多,最常用的是网格式(包括珠状填充层)与槽道式。各种组合“灯芯”也得到相当的注意。对热管“灯芯”的主要要求是要它起一个有效毛细泵的作用。因此“灯芯”的结构与几何尺寸一方面要提供最大的毛细压头,另一方面又要使“灯芯”内粘滞损失最小。这个矛盾只有通过找到某种最佳方案得到解决。当然,除了工作特性外,还必须考虑机械特性、工艺上的可能性与成本。

#### (1) 槽道“灯芯”

在管壳内壁开直槽,沟槽截面通常是矩形或梯形(图2a)。我们研制的槽道热管,其外径为26mm,内圆周上均匀分布42个矩形槽。槽宽为0.5mm,槽深为0.75mm,曾用二种办法加工。第一种是不锈钢管在压机上用芯模挤压而成;第二种是先在不锈钢板上铣

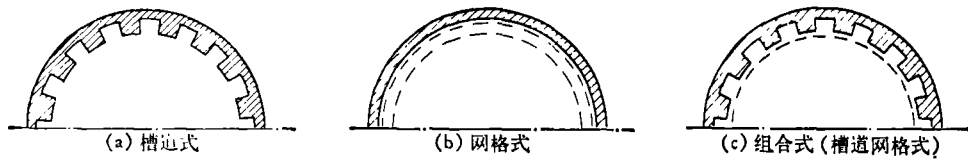


图2 热管的不同毛细结构

出直槽,然后用滚轮卷成圆管,其接缝用氩弧焊焊接。

### (2) 网格“灯芯”

用不锈钢丝网、铜丝布或者各种纤维布卷成数层, 紧压于管子内壁(图2b)。我们研制的网格热管,其灯芯为6层160目的不锈钢丝网。先将不锈钢丝网卷在铝棒表面,用点焊机焊成圆柱形套网,然后加力硬塞进管壳,这样使“灯芯”与管壳保持良好的接触,同时本身还有一定的刚性。

### (3) 组合“灯芯”

有各种组合方法(图2c)。一种是在轴向开的沟槽上覆盖一层细网;另一种是液汽分界面用细小的毛细孔尺寸提供良好的毛细压头,而在它下面用较大的毛细孔尺寸以便于液体回流等等。

## 3. 工质的选择与热管的分类

热管的应用非常广泛,工作温度范围可以从 $-200^{\circ}\text{C}$ 到 $2000^{\circ}\text{C}$ 。温度在 $350^{\circ}\text{C}$ 以上者属于高温热管,工作温度大致为 $50^{\circ}\text{C}$ — $350^{\circ}\text{C}$ 者属于中温热管,温度在 $50^{\circ}\text{C}$ 以下者可称作低温热管。工质和热管结构材料的选择取决于热管的工作条件,特别是工作温度、流体的物理性质和流体与管壳和“灯芯”的化学相容性。用于热管的流体一般要求:(1)高的汽化潜热,(2)高的导热率,(3)低的粘度,(4)高的表面张力,(5)高的润湿能力,(6)适当的沸点。任何一种流体的蒸汽压曲线决定了它适用的温度范围。一般来说,流体应工作在其蒸汽压-温度曲线的斜率很大的区域,使得在一定压降下的温度变化最小,此外蒸汽压应适当高,因为蒸汽压太低将使蒸汽的密度太低和压降过高。目前在高温热管中通常选用钠、钾、锂等液态金属,在中、低温热管选用水、水银、酒精、氨、弗里昂等。

## 二、热管方程与相似准则

了解热管的工作机理,必须具体分析热管内的热量与质量传递过程。在这方面科特(Cotter)<sup>[2]</sup>起了很大作用,他首先列出了描写热管中发生的各过程的基本方程,提出了计算热管毛细极限的模型。

工质循环运动的基本原理是毛细压头克服蒸汽和液体的流动阻力和重力压头,即

$$\Delta P_v + \Delta P_l + \Delta P_g \leq \Delta P_c, \quad (1)$$

式中  $\Delta P_v$ ,  $\Delta P_l$  分别代表蒸汽和液体的流动阻力,

$\Delta P_g$  为重力压头,  $\Delta P_c$  为毛细压头。

毛细压头在极限功率时为最大,可表示为

$$\Delta P_{c\max} = \frac{2\sigma}{r}, \quad (2)$$

式中  $\sigma$  为液体的表面张力,  $r$  为液体弯月面的曲率半径。

$$r = r_c \sec \theta.$$

这里  $r_c$  为毛细孔半径,  $\theta$  为润湿角。

重力压头为

$$\Delta P_g = \rho g l_0 \sin \alpha, \quad (3)$$

式中  $l_0$  为热管有效长度,  $\alpha$  为倾斜角。

在“灯芯”内液体的流动通常是层流。有关多孔材料内液体流动的研究工作,以前是在土壤力学、石油工程、水的净化和陶瓷工程等领域进行的。利用有关的水力学理论可以计算各种灯芯结构内液体的流动阻力<sup>[3]</sup>。其中对于槽道“灯芯”,

$$\Delta P_l = \frac{4.72 l_0 \mu}{\pi \rho a_{eff} r_c^2 N h_{fg}} Q, \quad (4)$$

式中

$$\frac{a_{eff}}{a} = 1 - \frac{192}{\pi^2} \frac{r_c}{a} \operatorname{tgh} \frac{\pi}{2} \frac{a}{r_c},$$

而  $a$ ,  $r_c$  分别为槽的高度和半宽,  $N$  为槽数,  $Q$  为加热功率,  $h_{fg}$  为汽化潜热,  $\mu$  为粘度系数。

对于带网槽道“灯芯”,

$$\Delta P_l = \frac{4.72 l_0 \mu}{\pi \rho a_{eff} \left( \frac{a + 2r_c}{a} \right) r_c^2 N h_{fg}} Q, \quad (5)$$

式中

$$\frac{a_{eff}}{a} = 2 \left( 1 - \frac{192}{\pi^2} \frac{r_c}{a} \operatorname{tgh} \frac{\pi}{2} \cdot \frac{a}{2r_c} \right).$$

在加热段和冷凝段内的蒸汽流动在动力学上与通过多孔壁注入或吸出的管内流动是一致的,其计算方法在文献[3]列成图表的形式。不过蒸汽的流动阻力与液体相比,是次要的,对于水热管一般可以忽略不计。

将式(2)、(3)、(4)或(5)代入式(1)就得到槽道热管的运动方程<sup>1)</sup>。方程采用等号,热管的毛细极限很容易算得。

虽然热管的理论计算取得一定成绩,但由于热管内部过程十分复杂,涉及的问题很多(如蒸汽的流动,液

1) 对于网格或其他结构的灯芯,可以得到类似的公式。

体在毛细“灯芯”中极复杂的流动、蒸汽和液体的相互作用、毛细现象以及径向传热、传质和动量交换等),理论研究还远远不能满足设计的需要。鉴于上述情况,目前在热管研制和应用中主要通过实验来积累数据,总结其性能规律。在这方面相似理论和准则方程有很大价值。它们在物理学中已经得到广泛的应用。我们根据热管运动方程和传热方程用相似常数法推导出描写槽道热管内热量与质量传递过程四个相似准则,它们是

$$\frac{(t_v - t_{f1})c_p}{h_{f1}l_c}, \frac{Ql_0\mu}{\rho r_c^2 a_{eff} h_{f1} \sigma N}, \frac{\rho g l_0 \sin \alpha \cdot r_c}{\sigma}, \frac{\lambda_c}{Gc_p}$$

式中  $t_v$  为蒸汽温度,  $t_{f1}$  为冷却水入口温度,  $G$  为冷却水流量,  $l_c$  为冷凝段长度。

对于带网槽道热管,第二个相似准则为

$$\frac{Ql_0\mu}{\rho r_c^2 a_{eff} \left(\frac{a + 2r_c}{a}\right) h_{f1} \sigma N}$$

这样热管内复杂的热量、质量传递过程可以用这四个

相似准则的函数关系来表示。

### 三、热管的工作特性

为了研究热管的工作特性,各国开展了大量的理论与实验工作。温特和巴希<sup>[4]</sup>对欧美的文献作了较好的综合评述。关于工作特性一般包括热管的温度特性、极限热流、起动问题以及起关键作用的“灯芯”的传热、水力特性等。下面将扼要介绍我们的实验工作。

在图3、4示意地表示了水热管与钠热管的试验装置图。热管长600mm,外径为26mm。“灯芯”采用网格与槽道二种,其几何尺寸与加工方法在前面已经作了介绍。热管的加热采用 $\phi 1\text{mm}$ 的镍铬丝(水热管)或钨丝(钠热管),冷却采用水冷式。整个钠热管装在充有惰性气体的容器内,热管与冷却器之间留有0.55mm(室温时)的环形间隙。钠热管水平放置,而水热管安装在可转动的支架上,通过铅垂线及量角器可以精确测量热管的倾斜度。

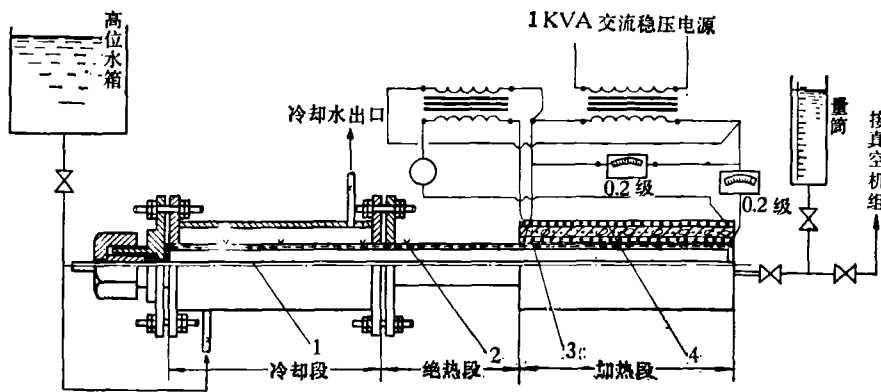


图3 水热管装置示意图

1. 蒸汽温度测管; 2. 热管; 3. 加热电炉丝; 4. 补偿加热电炉丝

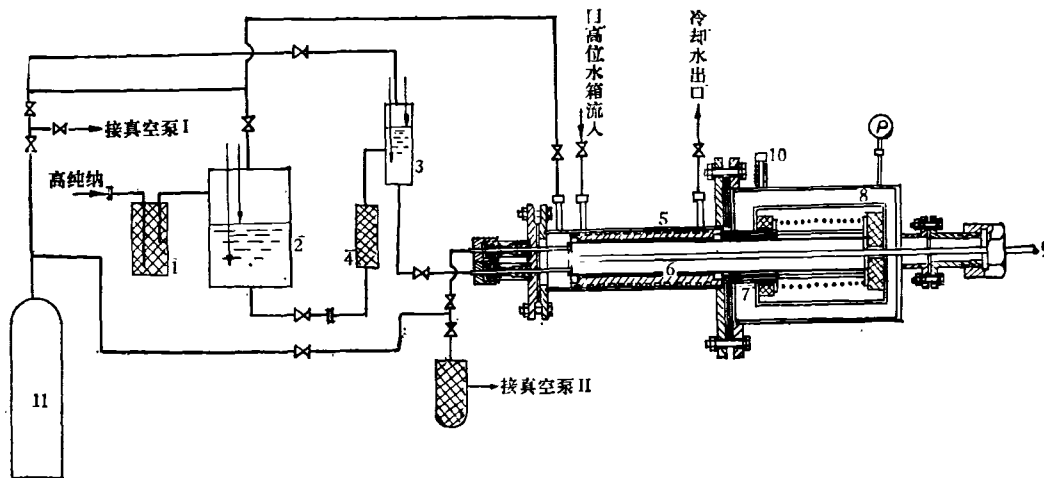


图4 钠热管装置示意图

1. 过滤器; 2. 储钠罐; 3. 量筒; 4. 过滤器; 5. 冷却器; 6. 热管; 7. 热屏蔽; 8. 加热炉; 9. 测温管; 10. 导线引出端子; 11. 氩气瓶

热管的清洁与除气在我们的工作中给以很大的注意。热管和整个充水、充钠和抽气系统用酸、丙酮仔细清洗,去除氧化层、油污等杂质,真空度达到约 $10^{-5}$ 托,由二台JK-9型真空机组实现。“热管”中充的工质比需要量大15%左右。为了使钠充分浸润“灯芯”,充钠后整个热管还在750℃预热数小时。

在试验中,测量了电功率,并根据冷却水流量及温升计算了热功率,还测量了热管的轴向蒸汽温度分布、壁温分布和“灯芯”压力分布。为此配备了一些测量仪表。

### 1. 热管的温度分布

在图5、6画了在一些工作情况下蒸汽温度的轴向分布。可见轴向温度差别很小。冷凝段蒸汽温度的上升起因于部分蒸汽凝结所引起的压力恢复,在功率、冷却水进口温度较高的一些工况表现得更加明显。钠热管冷凝段冷端温度的降低与非凝结气体的积聚有关,其原因可能是不纯的钠在高温下产生的氢气。这在格罗弗等人<sup>[1]</sup>的试验里也出现过类似的现象。

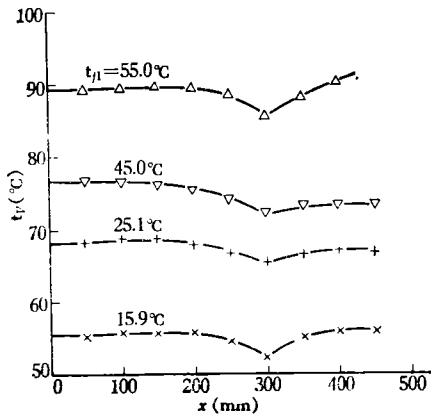


图5 水热管不同冷却水进口温度下的蒸汽温度分布  
(槽道灯芯,长500mm,)( $P=478$ 瓦,  
 $G=22.3$ 公斤/小时,水平放置)

### 2. 极限热流

主要讨论的是毛细极限,它与一系列因素有关,不仅与工质的性质与参数有关,而且随“灯芯”的结构与几何尺寸而变化。下面讨论槽道水热管的极限试验。

为了确定极限热流,在加热段顶部靠前端50mm处焊了一付镍铬-镍铝热电偶,其读数通过自动电子电位差计EWC-02记录。当功率达到极限值时,壁温急剧升高,而冷却水出口温度显著下降。我们采用改变倾斜度的方法来原因。此时功率和冷却水流量、冷却水入口温度保持不变,逐渐增加倾斜度,待出现临界现象后把热管下倾,壁温就迅速下降。图7记录了几个典型工况出现临界的情况。

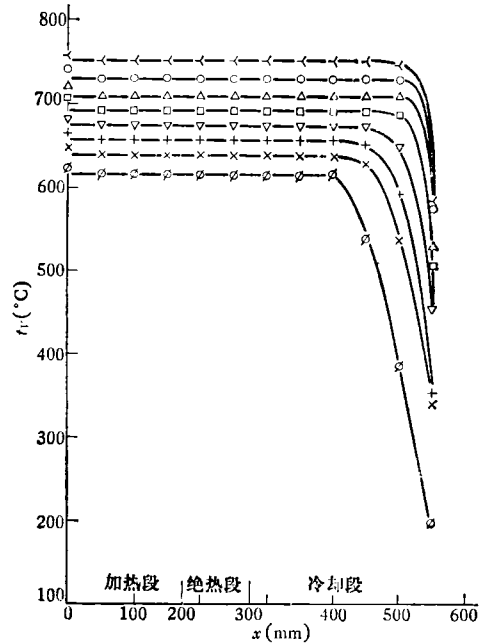


图6 钠热管蒸汽温度轴向分布  
(冷却水流量50公斤/小时,入口水温度19.6℃,水平放置  
热功率:  $\phi$ —1.17瓦;  $\times$ —1.29瓦;  $+$ —1.41瓦;  
 $\nabla$ —1.55瓦;  $\square$ —1.69瓦;  $\triangle$ —1.79瓦;  
 $\circ$ —1.97瓦;  $\leftarrow$ —2.10瓦);

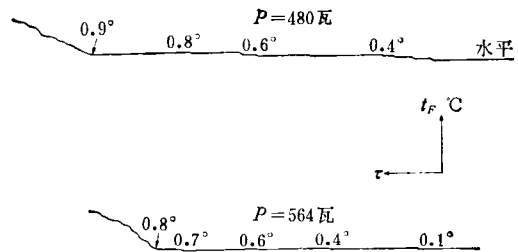


图7 极限热流的确定  
( $G=218$ 公斤/时,槽道带网)

极限热流的试验结果画在图8上。从这里可以看到,冷却水流量、冷却水入口温度对极限值影响不大;也就是说,蒸汽温度不同,极限值变动不大。在图上还列入加网后的数据,看来槽道水热管加网没有多大意义。

### 3. 现象的直接观察

为了对热管的工作机理和极限热流有一个感性认识,我们在套管式水热管上进行了直接现象观察。内管由 $\phi 20 \times 1.5$ 的不锈钢管制成,在管的外表面上沿纵向铣了50个小方槽,槽宽0.5mm,槽深0.75mm,外壁是由两个同心玻璃管组成,其间鼓以热风,以防止水蒸汽在外壁凝结,从而便于观察。加热段长190mm,冷凝段长310mm,没有绝热段。

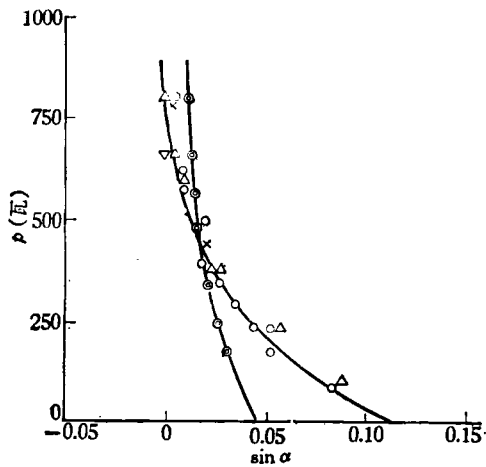


图8 极限热流随倾斜度的变化(槽道水热管)

流量(公斤/时)	$t_f, ^\circ\text{C}$	充水量	加网
○ 216	16	28.5cc	无
△ 18	16	28.5cc	无
▽ 10	16	28.5cc	无
× 22	47	28.5cc	无
⊙ 216	16	35cc	有

启动前,工质浸润在灯芯中。一加热源,立即看到在冷凝段上在靠近加热段出口处的沟槽肋顶上不断有小珠凝结。开始是珠状凝结,慢慢变成膜态。当形成一层液膜后,有时会突然破裂进入沟槽之中。此后又开始上述过程,如此周而复始。随着功率的提高,发生上述现象的面积不断向冷凝段扩大,此时等温区也不断向冷凝段扩大。

当功率连续加到600瓦左右时,沟槽灯芯中即形成表面波,可以清晰地看见灯芯中的液体波浪式地流向加热段。再增加功率时,灯芯中的液体被喷出流道,流道很快被烧干。这时加热段壁温急剧增加,直至撤除热源为止。撤除热源后,烧干的流道只有在它降至液体的饱和温度或更低时才能重新被浸润。

#### 4. 启动工况

金属热管的启动是一个重要课题,它与一系列因素有关,如工质性质、“灯芯”结构和启动方法等。在启动工况中声速极限和迁移极限常常是决定性的因素。凯姆(Kemme)<sup>[1]</sup>发现用不带网的沟槽作“灯芯”启动比较困难。在他的试验中二个热管(沟槽深0.5mm,宽分别为0.2mm和0.4mm)没有启动起来。产生的原因据分析是达到了迁移限,此时在蒸汽腔流动的蒸汽与通过“灯芯”回流的液体互相间严重干扰。迁移限主要与“灯芯”表面的特性有关。当沟槽用一层网覆盖时,启动就大大改善了。对于网格灯芯启动主要考虑的是声速限。下面将就网格钠热管的启动过程进行讨论。

为了测量启动过程中热管内蒸汽温度的瞬态分

布,在中心测温管内安装了六付镍铬-镍铝嵌装热偶,其读数通过各点自动电位计记录。在图9、10表示了二个典型的启动工况。由图9可见,虽然启动功率很低,热管的启动还是很费力的。加热段蒸汽温度迅速升至600℃,热管最大温差达到四百多度。但当冷却段工质全部融化后,有足够的液态钠流回加热段,此时蒸汽温度就迅速降至440℃左右。这样热管才投入正常运转。但当热管冷凝段存在一些非凝结气体(见图10),启动时由于这些气体自动调节冷却面积,热管的启动就不怎么困难了。

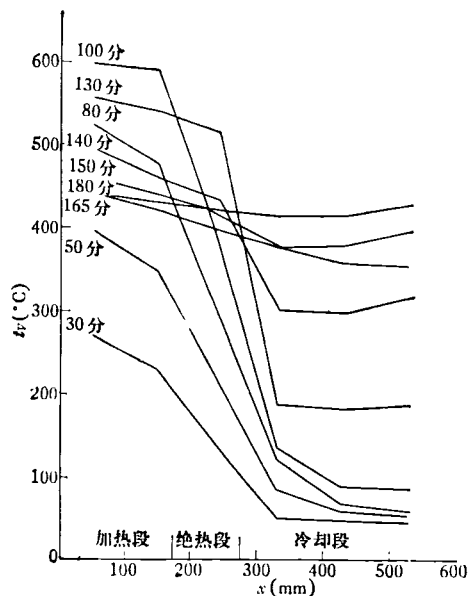


图9 钠热管启动工况  
冷却器不工作,电功率930瓦

热管内工质的流动情况可以与变截面的喷管相比拟,后者达到声极限以后,不管喷管出口压力进一步降低,喷管入口和收缩处的压力比不能再增加。对于热管也是这样。当达到声极限后压力比基本上保持不变。由图可见在启动工况加热段蒸汽压力比在300℃—450℃间保持不变,且与启动方法无关,约在3.2÷3.4左右。因此要继续提高功率,就只能相应提高加热段的温度,使加热段温差达到100℃以上。但由于功率水平低,即使达到声极限,出现了阻塞流,还是有足够蒸汽达到管子的另一端,使冷端温度逐渐上升,保证热管的安全启动。试验表明,将冷凝段抬高,并加以预热,启动就容易些。如工艺条件许可,在冷端充入少量惰性气体,那安全启动更不成问题了。

#### 5. “灯芯”的传热、水力性能

目前在“灯芯”的蒸发机理上存在着很大的争论。我们利用水热管开展了一些工作。关于槽道“灯芯”,

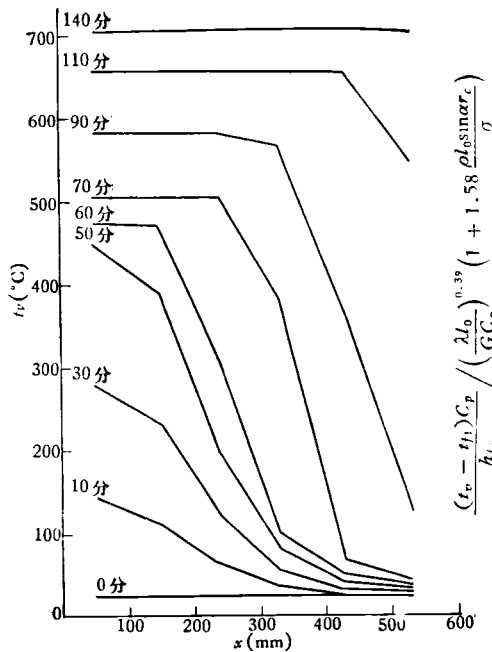


图10 钠热管启动工况 (冷端存在少量非凝结气体).  
冷却器工作, 热功率 1.67 瓩

试验数据表明蒸发放热系数与一般的管内沸腾放热公式很接近, 特别在低热负荷情况。不过随着热负荷的增加, 分歧也加大了。这是由于沟槽尺寸小, 气泡的运动受到阻碍的缘故。至于网格“灯芯”, 情况就不同了。我们的试验结果与费雷尔 (Ferrell)<sup>[6]</sup> 与科斯格罗夫 (Cosgrove)<sup>[7]</sup> 等人一致, 即“灯芯”的传热取决于加热面与“灯芯”间水层的热阻, 因此液体过热度随功率成线性关系。

研究灯芯的水力特性目前一般在水力迴路里进行模拟试验。为了分析它的可靠性我们在一个网格热管内测量了“灯芯”内液体的压力分布, 并计算了网格“灯芯”的渗透系数。试验数据表明, 液体的压降可以用达西 (Darcy) 定律计算, 其渗透系数与模拟试验结果一致。

### 6. 准则关系式

我们对槽道水热管的试验数据用前面得到的四个相似准则进行整理。由图 11 可见, 这些数据可用下式表达。分散度除个别点外不超过 10%。

$$\frac{(t_v - t_{f1})c_p}{h_{1s}} = 0.051 \left( \frac{Ql_0\mu}{\rho r^2 a_{e11} h_{1s} \sigma} \right) \left( \frac{\lambda_c}{Gc_p} \right) \times \left( 1 + 1.58 \times \frac{l_0 \rho \sin \alpha \cdot r_c}{\sigma} \right). \quad (6)$$

上式总结了 100 个试验数据。参数变化范围很广, 包括倾斜度  $-1^\circ \div 3^\circ$ ; 冷却水入口温度  $15-55^\circ\text{C}$ ; 冷却水流量  $18-448$  公斤/时; 加热功率  $20-660$  瓦。在图 12 上还整理了槽道热管带网的数据, 可见斜率与不带

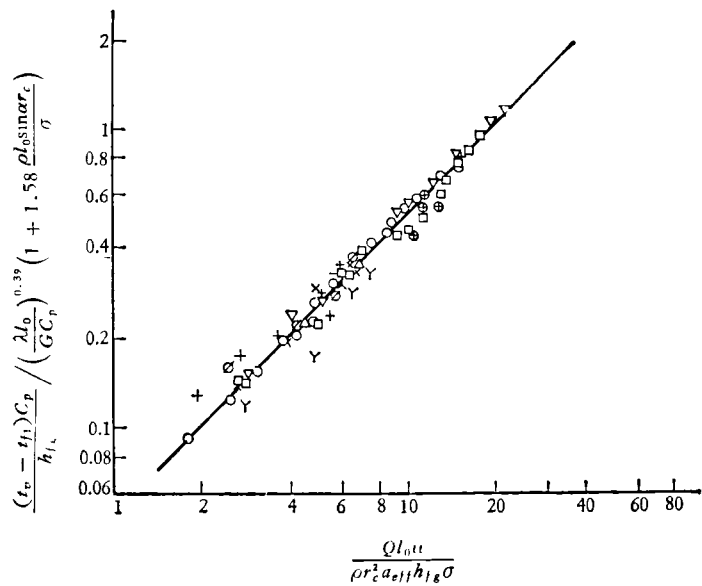


图 11 槽道热管蒸汽温度的准则关系

$\alpha$	$G$	$t_{f1}$
□	216	$15^\circ$
Y	216	$15^\circ$
人	216	$15^\circ$
∅	216	$15^\circ$
▽	216	$15^\circ$
○	18.0	$15^\circ$
+	40.1	$15^\circ$
×	83.1	$15^\circ$
△	44.8	$15^\circ$
⊕	0	$15-55^\circ$

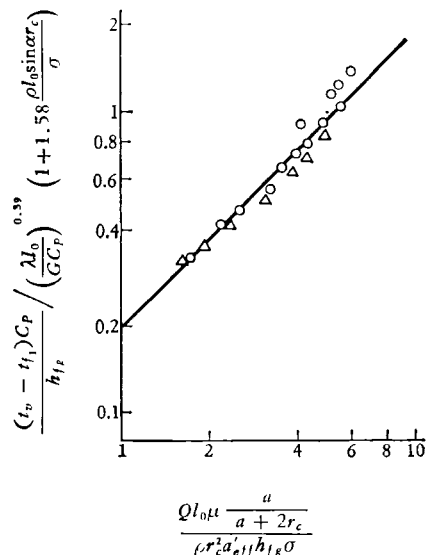


图 12 带网槽道热管蒸汽温度的准则关系  
( $t_{f1} = 15^\circ\text{C}$ , 水平放置). ○— $G$  为 18 公斤/小时;  
△— $G$  为 216 公斤/小时.

网的相同。它们可以表达为

$$\frac{(t_w - t_{f1})c_p}{h_{f1}} = 0.19 \left( \frac{Ql_0\mu}{\rho r_c^2 a_{eff} \frac{a+2r_c}{a}} \right) \left( \frac{\lambda_c}{Gc_p} \right)^{0.39} \quad (7)$$

将槽数  $N$  放入准则关系式, 且用统一公式表示式 (6)、(7) 得

$$\frac{(t_w - t_{f1})c_p}{h_{f1}} = K \left( \frac{Ql_0\mu}{\rho r_c^2 h_{f1} \sigma N} \right) \left( \frac{\lambda_c}{Gc_p} \right)^{0.39} \times \left( 1 + 1.58 \frac{l_0 \rho \sin \alpha \cdot r_c}{\sigma} \right), \quad (8)$$

其中  $K \begin{cases} 2.14 & \text{无网} \\ 8.0 & \text{有网} \end{cases}$

$r_c$  为沟槽当量半径, 无网时为  $(r_c^2 a_{eff})^{1/3}$ , 有网时为  $(r_c^2 a_{eff} \frac{a+2r_c}{a})^{1/3}$ ,

极限热流的数据也可用相似准则关系式来表达, 这是我们下一步的工作。

#### 四、结 束 语

本文概要地介绍了热管的由来以及它的工作原理

和基本方程, 讨论了热管的工作特性, 分析了热管的温度特性、极限热流、启动工况以及“灯芯”的传热、水力性能, 提出了用准则关系式整理热管工作参数的方法。尽管热管的原理与结构比较简单, 目前开展的工作又如此众多, 热管内热量、质量传递过程还没有完全搞清, 还有大量的科研工作需要继续完成。

#### 参 考 文 献

- [1] Grover, G. M. et al., *J. Appl. Phys.*, **35** (1964), 1990.
- [2] Cotter, T. P., *LA-3246-MS* (1965).
- [3] Van Andel, E., *II Intern. Conf. on Therm. Elec. Power Generation*, (1968).
- [4] 温特和巴希, 《热管》(科学出版社).
- [5] Kemme, J. E., *LA-3585-MS* (1966).
- [6] Ferrell, J. K. et al., *Space Systems & Thermal Technology for the 70's*.
- [7] Cosgrove, J. H. et al., *J. Nucl. Eng.*, **21** (1967), 547.

## 金 属-半 导 体 接 触 效 应

方 兆 桂

(河北大学电子系)

### 一、研究的意义和历史

金属-半导体接触效应的研究, 无论从半导体器件的研制和生产, 或是界面物理学的发展来说, 都是一个相当重要的基本课题。最早的点接触整流器、光电探测器, 第一只晶体管的注入极和集电极, 都是直接和金属-半导体的点接触效应相关的。人们为了解这个效应的物理机制, 也是首先从这里考虑表面态的作用。当对这个效应详细的物理机制还不清楚的时候, 要稳定和这类器件的性能就缺乏明确的指导。

pn 结型器件产生后, 金属-半导体接触主要应用于制作欧姆接触电极上。起初, 并没有发生多大的问题, 因此人们对它的研究有些漠视。近年来, 随着半导体器件的迅猛发展, 它们的动作速度越来越高, 工作区域越来越小, 几何结构越来越精细, 加上新的器件材料正在不断扩充, 最先是锗, 后来是硅, 现在又是 III-V 族化合物。这样, 对欧姆接触的要求就越来越高。在试制新器件中, 像光发射二极管、体效应振荡器等, 欧姆接

触的设计就绝对不可忽视。

半导体器件的发展和一些基本研究是分不开的。随着对 M-S 接触势垒(肖特基势垒)研究的深入, 出现了象金属-基体晶体管、肖特基势垒栅场效应晶体管等半导体器件, 并且在激光器、集成电路的集电极箝位以及冷阴极中肖特基势垒都得到应用。

通常, 对于一些尚未了解的现象与效应, 可以根据已有的物理学、数学知识为它们塑造逐步逼真的模型, 到实践中去检验, 使细致分析成为可能。

所有的半导体器件在与外部电路连接时都需要 M-S 接触。在为器件设计欧姆接触时就可以以一定的 M-S 接触模型为工具, 选择最适当的金属电极材料。目前这方面的工作占金属-半导体接触研究相当大的比重。

金属-半导体界面本身特性的研究, 除了界面物理学本身的发展外, 也具有很大的实用意义。例如, 和一个金属-半导体接触相关联的是一个空间电荷区, 如果载流子的寿命如此之短, 以致在贯穿这个厚度的时候能够有效地维持热力学平衡, 那么, 这样一个过渡区就