

管 热

国防工业出版社

53.8114

409

热 管

〔英〕D. 奇泽姆 著

侯增祺、华诚生、李亭寒、郭舜 译

郭舜 校

国防工业出版社

The Heat Pipe

D. Chisholm

Mills & Boon Limited 1971

热 管

侯增祺、华诚生、李亭寒、郭舜 译

郭舜 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/32$ 印张 $3\frac{1}{2}$ 73千字

1976年4月第一版 1976年4月第一次印刷 印数：0,001—9,000

统一书号：15034·1461 定价：0.31元

目 录

序.....	5
第一章 引言.....	7
第二章 轴向热流的基本理论.....	16
2.1 毛细压差	19
2.2 液相压差	20
2.3 汽相压差	23
2.4 $\Delta p_{Ve} > -\Delta p_{Le}$ 时的循环.....	27
2.5 蒸气的紊流流动	29
2.6 阻塞	31
2.7 携带	34
第三章 温度分布及换热系数.....	36
3.1 轴向温度变化	37
3.2 在凝结段中的传热	38
3.3 在蒸发段中的传热	39
3.4 交界面的热阻	46
第四章 工质选择.....	47
第五章 管芯的特性.....	53
5.1 结构	54
5.2 液体的流动阻力	56
5.3 渗透率	58
5.4 毛细提升高度	60
5.5 关于毛细提升高度的实验测定	63
5.6 关于毛细驱动压力的测定	66
5.7 毛细压力和渗透率的同时测定	70

5.8 没有重力作用时的循环	71
第六章 起动和控制	73
6.1 起动	73
6.2 工质的凝固	75
6.3 恒温热管	76
6.4 双组分混合物	78
6.5 热开关	79
第七章 制造和寿命	80
7.1 容器	80
7.2 管芯	81
7.3 工质	83
7.4 充装和密封	84
7.5 寿命	86
第八章 商品热管	88
附录 单位换算	95
参考文献	96

53.8114

409

热 管

〔英〕D. 奇泽姆 著

侯增祺、华诚生、李亭寒、郭舜 译

郭舜 校

国防工业出版社

译者的话

热管是传热学工程领域中的一项新技术。近十年来，热管技术在国外已进行了广泛的研究并有了多方面的应用。

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了这本小册子，供有关方面的读者参考。

这本小册子作为介绍性的资料来说，还算比较全面而系统地介绍了热管原理、工作过程、性能特点、结构形式、工质选择、控制和应用等各个方面。

由于热管技术尚处在迅速发展之中，今天看来这本小册子写得比较粗糙。作者当时的某些观点今天看来尚需进一步推敲。对这些情况，我们都尽可能地用译者注的形式简单加以说明。但限于译者的水平，译文错误之处一定不少，恳望读者批评指正。

目 录

序.....	5
第一章 引言.....	7
第二章 轴向热流的基本理论.....	16
2.1 毛细压差	19
2.2 液相压差	20
2.3 汽相压差	23
2.4 $\Delta p_{Ve} > -\Delta p_{Le}$ 时的循环.....	27
2.5 蒸气的紊流流动	29
2.6 阻塞	31
2.7 携带	34
第三章 温度分布及换热系数.....	36
3.1 轴向温度变化	37
3.2 在凝结段中的传热	38
3.3 在蒸发段中的传热	39
3.4 交界面的热阻	46
第四章 工质选择.....	47
第五章 管芯的特性.....	53
5.1 结构	54
5.2 液体的流动阻力	56
5.3 渗透率	58
5.4 毛细提升高度	60
5.5 关于毛细提升高度的实验测定	63
5.6 关于毛细驱动压力的测定	66
5.7 毛细压力和渗透率的同时测定	70

5.8 没有重力作用时的循环	71
第六章 起动和控制	73
6.1 起动	73
6.2 工质的凝固	75
6.3 恒温热管	76
6.4 双组分混合物	78
6.5 热开关	79
第七章 制造和寿命	80
7.1 容器	80
7.2 管芯	81
7.3 工质	83
7.4 充装和密封	84
7.5 寿命	86
第八章 商品热管	88
附录 单位换算	95
参考文献	96

序

本专论想起两个作用，一是回答诸如“什么是热管？”以及“热管是如何工作的？”之类问题，二是作为有关热管设计和制造技术问题的一个引论。

作者希望，第一、六、八三章能符合第一项要求，而其余几章则较详细地叙述一下有关设计和制造方面的技术问题。

文中使用的是基本形式的SI单位，但认为，读者如能找到更易于接受的其它单位时，也有少数例外。在附录中列出了一个单位换算表。所说的例外，首先就是热流的单位是使用千瓦/厘米²而不是千瓦/米²。作者感到，由于实际上热管内有流动横截面一般仅有几个平方厘米的面积，所以采用上述单位能使读者对热管传热率的数量级有一个较好的“概念”。采用厘米作为热管直径的度量单位，也是同样的道理。压力单位采用了巴[●]，而在讨论高真空问题时，使用了托[●]；单位巴和大气压之间的密切关系引人注目。除了在使用摄氏温标更为方便、更为切题的地方外，其余都使用绝对温标。

在使用了许多符号的几章中，符号定义表列于每章的前面；在其余的章节中，符号则在它们第一次使用时定义。

查阅文献目录时分为两部分，首先是文章的第一个作者

● 1 巴 = 0.987×10^{-6} 大气压 = $1.02 \times 10^{-6} \frac{\text{千克力}}{\text{厘米}^2}$ 。——译者

● 1 托 = 1 毫米汞柱。——译者

的姓的第一字母，全部参考文献均按字母排列次序分类。在字母后面的是一个数字，这个数字则是在上述分类之中各自分别排列的。例如在S类中的第一篇文章，就排为S1，等等。在本书中，参考文献也要尽量做到减少累赘。因此，如果在正文中引用某篇文章时写出了作者的姓名，而在文献目录中在这个姓名的第一个字母下又只有一篇文章，那么在文献目录中就不给编号了。同样，比如写成Busse^(B8)的样子，就是多余的。而写成Busse⁽⁶⁾就够清楚了。

第一章 引言

热管是这样一种器械，它靠流体在其中某一处沸腾^①、而在另一处凝结这样一种方式传递热量，而凝结下来的液体则在毛细力的作用下通过芯结构回输到沸腾区。这样地利用毛细作用是热管的一个独特的特点。

图 1.1 是一个热虹吸管的概略图样。热虹吸管在许多方面都与现代热管类似，但其中液体是在重力的作用下返回蒸发段的。如图所示，液体是在圆筒的下部沸腾、而在上部凝结的。凝结液在重力作用下回流到沸腾段（或蒸发段）。事实

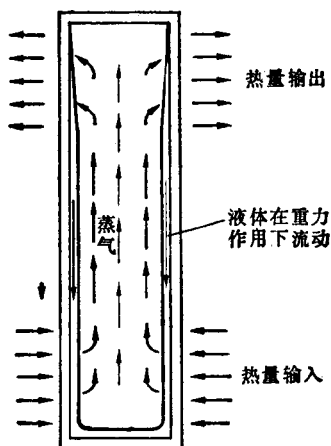


图1.1 热虹吸管示意图

① 一般认为是蒸发。——译者

上，它是一个回流凝结器。

图 1.2 所示的热管则是一种较为灵活的装置。沿圆筒内壁置有某种芯结构，液体在毛细力的作用下通过它而从凝结段流到蒸发段。热管不要求把蒸发段置于凝结段之下。当热管的主轴平置而不是竖置时亦能很好地工作。

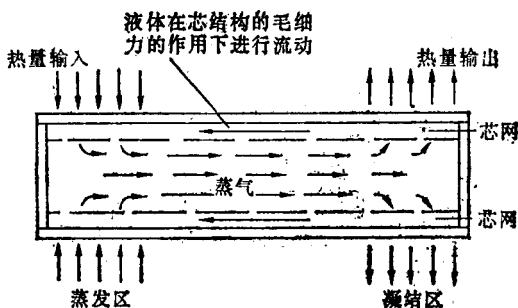


图1.2 热管示意图

热管的有效导热系数可达质量与之相同的固体铜棒的 500 倍之多。用锂作工质时在 1500°C 下测得的热流量[●] 高达 $15 \text{ 千瓦/厘米}^2 \text{ (B10)}$ 。

工质及其压力的选择，是由热管的工作温度决定的。表 1.1 列出热管工质的某些性质^(F3)。

将热管用于飞行器中的先驱工作是由在罗斯·阿拉莫斯工作的 Grover⁽¹²⁾ 完成的。空间环境中没有重力作用，能使热管的性能得到改善。这个领域中许多早期工作就是结合空间应用进行的。

图 1.2 所示的简单的热管中，其芯网紧贴着容器内壁放

● 指通过热管的热流量，即热管的热负荷。——译者

表1.1 适于热管使用的工质(在一个大气压下)

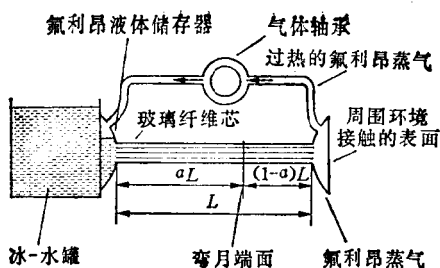
工 质	融 点 °K	沸点① °K	密 度 公斤/米 ³	潜 热 千焦耳/公斤	表面张力② 牛顿×10 ⁻³ /米
氮	196	240	682	1370	41②
水	273	373	1000	2256	76
铯	302	978	1794	612	76
钾	337	1033	819	2077	86
钠	371	1156	929	4210	190
锂	452	1590	509	19631	386
铅	600	2010	10492	858	470
钢	429	2360	6984	1963	559
银	1233	2485	9291	2326	920

① 在融点处的数据。

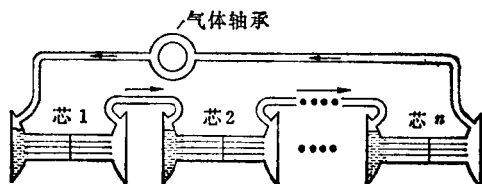
② 在244°K下的数据。

置。最初的芯结构用诸如纺织品、玻璃纤维、多孔金属和金属丝网子之类材料制成。其后又使用槽道，后来又在槽道上覆盖网子以消除或减少蒸气对液体的携带。然而，混合芯结构能在提高毛细能力的同时降低流动损失。这种结构是：在液-汽交界面上设置的是细孔的网子，而在交界面与管壁之间则用孔较粗的网子。按照这类方法去改进芯结构，能够使热管负荷成十倍地增加^(K4)。

曾在几何形状比图 1.2 所示的简单热管复杂得多的结构中，研究过使用两相系统中的毛细抽吸作用的问题。Laub 和 McGinness 在 1961 年曾建议将一种带有毛细泵的氟利昂两相循环使用在气体轴承上，其设想如图 1.3 所示。氟利昂液体必须在毛细结构中蒸发，否则，液-汽交界面就不能保持在纤维芯内，亦不能得到毛细压力驱动力。同样，对于如图 1.3 所示的多级毛细泵来说，每级之间都必须使蒸气再凝结。



(a) 单级毛细泵



(b) 多级毛细泵

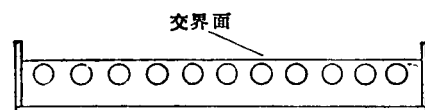
图1.3 单级和多级毛细泵示意图 (Laub和McGinness)

往热管中充装的工质量一般是这样掌握的：它要比在工作条件下正好浸满芯结构的液体量稍微多一点。图1.4表示在等温情况●下和工作时热管内液-汽交界面的位置。在蒸发段，蒸发的结果使弯月面的曲率半径减小●，而凝结的结果则是使凝结段的液面的曲率半径保持无限大。曲率半径之差提供了使工作流体循环起来的毛细驱动力。所产生的压差是

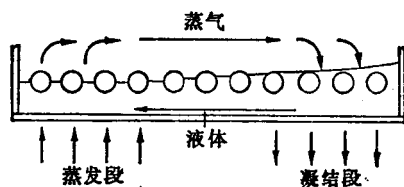
$$\Delta p_c = 2\sigma \left(\frac{\cos \alpha_e}{r_e} - \frac{\cos \alpha_c}{r_c} \right) \quad (1.1)$$

● 这里是指热管在尚未开始工作以前的状况。——译者

⊕ 原文为“increase”，恐系印错。——译者



(a) 热管启动前的液-汽交界面



(b) 热管工作时的液-汽交界面

图1.4 在热管启动前和运行中液-汽交界面的形状

式中 Δp_c ——毛细力所产生的压力差；

σ ——表面张力；

α ——接触角；

r ——毛细孔的半径。

下标 e 表示蒸发段的各量，而下标 c 则表示凝结段的诸量。

这个压力差能够克服由摩擦、动量变化以及重力所造成的循环阻力。

轴向传热率由下式给出：

$$Q = \dot{m}L \quad (1.2)$$

式中 Q ——轴向传热率；

$\dot{m}$ ——热管中的流体循环率[●]（即质量流量）；

L ——蒸发潜热。

● 本书原文中“循环率”一词，都是指“质量流量”。因前一词在一般文献中很少使用，故在本书的译文中一律译成“质量流量”。——译者

此传热率是与蒸发段和凝结段间由于蒸气压差所引起的蒸气温差联系在一起的。但是,管壁的热阻以及管内的蒸发、凝结过程都要给整个热管带来附加的径向温差。图 1.5^[F3]表示整个热管的温差与其传热率的关系。热管长 30 厘米,直径 2.54 厘米,芯由金属丝网制成。可见,热管能够设计得在很小的温差下传递极大的热流量。

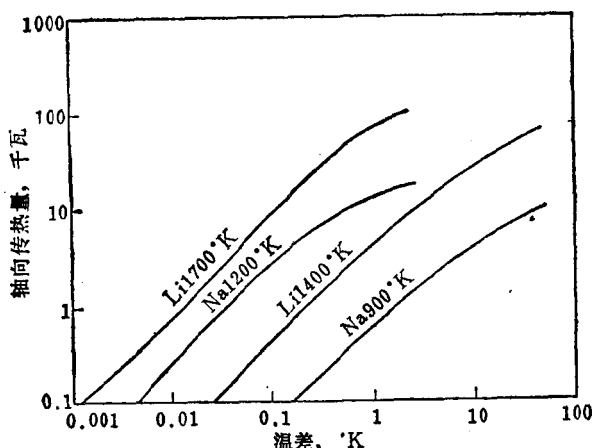


图1.5 温差和传热率的关系。热管长0.3米,直径2.54厘米

热管的输出受下列因素限制:蒸气的速度不能超过声速,必须避免液体被蒸气携带,否则蒸发段将会发生液体供应不足;必须避免膜状沸腾,因为那时传热系数将减小;最后,传热能力将受毛细芯结构输送工质的能力的限制。图1.6^[K6]表示这四种限制因素●如何结合起来针对一个特定的热管设

● 现在的研究表明,限制热管工作能力的还不止上述四种情形。就是对上述四种情形亦有不同的意见。——译者