

浅析热管在加固电子设备中的应用要点

乔天星

山西大众电子信息产业集团有限公司 山西 太原 030024

摘要: 热管是一种十分高效的无源被动传热工具,可实现热量的快速转移,广泛应用于加固电子设备中。实际应用中热管的传热效果受到很多因素的影响,如空间、使用环境、安装方式等,不能达到理论传热极限值,正确操作才能最大发挥其传热效能。

关键词: 热管; 传热效率; 加固电子设备

引言: 热设计是电子产品设计中举足轻重的一部分,其合理性和充分性关系到产品的可靠性及环境适应性。热管是一种无源、高效的被动传热工具,可以实现热量的快速转移,是电子产品中经常采用的传热措施之一。相比强迫风冷、水冷等需要外部驱动的强迫对流散热方式,对于在恶劣环境中使用的加固计算机而言,热管在高传导率及高可靠性的方面更具备优势。工程应用中,为保证热管实际传热效果,可以根据热管原理及制

造工艺特点,在热管尺寸、结构安装等方面进行设计选型。现就热管的实际应用要点进行分析探讨。

1 热管传热原理

热管是利用液体低压相变传热原理制造的高效热传导器件,它的传热效率远高于传统的导热金属(如铝、铜等),相同情况下是铜导热能力的250倍^[1],是铝合金的500倍,成本低廉,操作方便,应用灵活,导热可靠,是解决电子设备散热问题的有效方法之一。

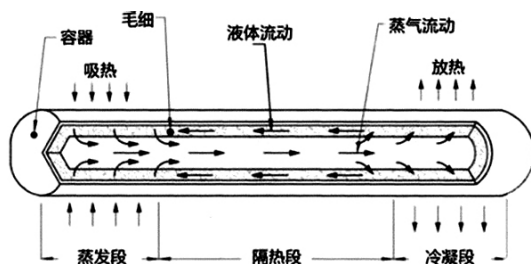


图1(a) 热管典型内部结构



图1(b) 热管典型外形

热管典型结构主要由管壳、管芯和工质三部分组成,如图1(a)。其工作原理为:热管内腔抽真空后充入工质并填满管芯后加以密封。当蒸发段受热后与冷端形成温差时,毛细结构中的液体工质蒸发,气态工质在压力差的作用下流向冷凝端,冷凝端由于受到外部冷却使得蒸汽冷凝成液体,液体在毛细作用下沿着多孔材料流向蒸发端(受热端),如此为周期循环下去,热量便沿着热管路径从一端传导至另一端,实现了热量的快速转移^[2]。只要工质的流动不中断且保证足够的毛细泵力,热管就可以长期工作,而且不需要外部提供额外动力进行自发工作。热管内工质相变产生的气化潜热是热管导热效率高的主要原因。热管内的低压环境大幅降低了工质的沸点,为热管低温启动提供了便利条件。

作者简介: 乔天星(1988-),男,山西太原人,硕士,工程师,主要从事加固机的结构设计及热力学仿真,邮箱798304884@qq.com。

与风冷及液冷相比,热管导热属于被动散热,热流密度可以根据实际情况随时调整,具备较好的适应性,热管热流密度的可调节性使它可用于高热密度的电子元器件^[1]。同时,兼顾热传导和封闭相变传热的特点也使得其兼备了高可靠性,特别适用于高热流密度、恶劣环境使用的加固电子设备。

热管根据填充工质的不同可分为低温热管、常温热管、高温热管,受元器件工作环境温度的限制,电子设备多使用常温热管,温度范围为30℃-250℃。热管通常为圆柱形管状结构,如图1(b),常用直径尺寸有 $\phi 3\text{mm}$ - $\phi 8\text{mm}$,长度在50mm-300mm之间。为了进一步提升散热系统的效能,热管多与风机、散热鱼鳍片等配合使用,以实现热量的快速转移与耗散。

2 传热效能的影响因素及应对策略

热管使用时需要考虑工作温度、传热量、工作环境、结构尺寸、安装形式、密封要求、相容性等^[3]参数。

在热管选型及应用过程中，一旦确定了其内部结构，其传热能力就主要与外部物理特性相关了。下面就这些影响因素进行分析。

2.1 热管直径

热管依靠管内工质不间断的交替循环来传递热量，工质的填充量直接决定了热管换热能力大小。大尺寸热管可以承载更多的传热工质，相同工质相同传热距离的传热能力更强，一般用管径来指征传热能力，见表1。依据表1，在空间尺寸允许时，选用大直径热管可以大幅提升传热能力并留出充足的散热裕度。

表1 不同管径的热管传热效率

热管厚度	传热效率 (W)			
	φ3	φ4	φ5	φ6
原状态	13	20	34	45
3.0mm	13	19	27	42
2.5mm	12	18	24	37
2.0mm	11	15	18	29

2.2 成型厚度

电子设备中的热源常常为体积小、发热功率大的元器件如芯片、电源模块等，柱形热管在热源贴合及空间适应性难以匹配，需要通过压扁改造以满足需要，如图2所示。



图2 扁平热管

压扁后的热管虽然在工质总量上与圆柱形热管没有区别，但压扁工艺却减小了工质流动横截面积，增加了流动阻力，进而降低了热管传热效率。根据经验，常用热管压扁至φ2mm-φ3mm，传热效率损失20%-30%；所以，使用时应尽量避免对热管进行过大幅度压扁，压扁后的厚度一般不小于原直径的50%。确实需要使用厚度较薄的热管时，可以选用超薄热管，厚度可以达到1mm-1.5mm甚至更薄，但是由于材料和制造工艺的因素，价格较高。

2.3 折弯

为适应电子设备内部热源与冷端（热沉）之间的传热路径，常需要根据整机结构尺寸形式对热管进行弯折，如图3。折弯半径和角度对热管传热效率十分明显。根据流体动力学原理，热管受到弯折后，传热工质流动路径上的流动阻力会明显增加，热管的传热效率显著降低。根据经验，一次折弯的传热效率损失约为5%-20%

（45°-90°），而且折弯角度越大，热效率损失越大，一般折弯成型后的角度（ α, β ）应 $\geq 90^\circ$ 。不仅如此，热管在压扁过程中折弯内角会出现材料聚集现象，出现波浪形凸起、褶皱，而折弯外角的材料会过度拉伸，容易出现断裂和径向收缩，成品率降低，一般取最小折弯半径不小于热管直径的3-4倍。在结构设计中，应通过合理的布局尽量减小热管的折弯角度，减少折弯次数；折弯次数N一般不大于4次。

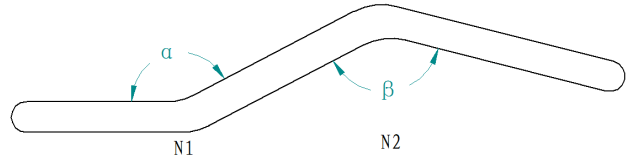


图3 热管折弯角度与次数

2.4 安装方向

在传热过程中，热管内的工质为气液混合态。重力作用对于冷却段液态工质的回流影响较大。如图4所示，当热管垂直安装时，若热源在下、冷端在上，重力作用有利于冷端工质回流，此时换热效率最大；相反，垂直安装冷端在下、热端在上时，重力会成为阻碍换热的因素，此时的换热效率最小，相比最大时换热效率损失约50%-80%，不同类型的热管抵抗重力的效能不同，当热管冷端与热端基本处于同一个水平高度时，重力对其传热效率的影响较小。设计安装时，应尽可能使冷端高于热端，利用重力提高热管的传热效率。

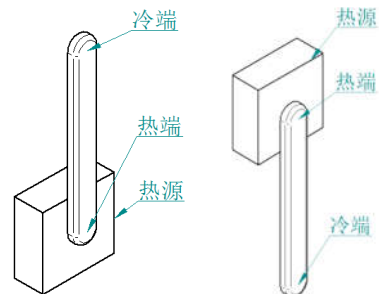


图4 热管安装方式

2.5 有效长度

与金属固定的导热率不同，热管导热率随着长度的变化很大。虽然更长的热管可以填充更多的工质以获得更大的导热率，但由于热管内部的毛细泵力需要克服热管冷凝端液体工质回到蒸发段的压力降，若要热管不断工作，应使得毛细管芯产生的毛细泵力大于热管内的总压降，热管长度过长会导致热管远端的传热效率下降甚至无法完成工质循环。所以热管因长度增大带来导热率增加的幅度会因为长度增大而减弱。基于此，常用规格热管都有其各自的有效传热长度^[4]。一般来说，电子产品

中圆直径 $\geq 8\text{mm}$ 的热管设计长度应小于 300mm 。

2.6 无效段

由于热管制造工艺，灌注工质后会在热管两端各留下一段长度的封口^[5]，如图5，这两段热管内没有形成腔

体也无工质，称为传热无效段，一端长约为 $3\text{mm}-6\text{mm}$ ，另一端称长约为 $8\text{mm}-12\text{mm}$ 。热管两端一般为热输入端和热输出端的贴合处，是传热系统重要的连接端，在安装时应避开两端无效传热段。

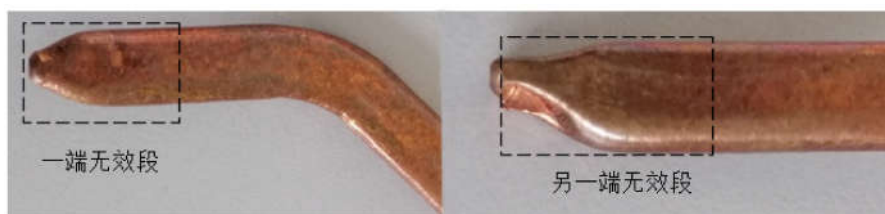


图5 热管两端无效段

2.7 安装要素

在加固电子产品中，热管连接的热源主要是板卡芯片及大功率元器件，考虑到接触热阻及振动冲击环境，热管热端通常用紫铜块作为连接过渡件，既可以导热也便于安装，并填充导热填充材料来保证较小的接触热阻和可靠的连接稳定性。热管冷端通常连接有多种形式的散热措施，如风机、散热鱼鳍片等，可以进一步提升散热系统的效能，以实现热量的快速转移与耗散。若该散热系统所在环境为密封，需在冷端做好密封连接；另外，若暴露与恶劣环境中，需要做好三防处理以适应盐雾、霉菌、湿热的环境考验。

3 结语

热管是一种高效、可靠的传热工具，广泛应用于加固电子设备中。热管应用选型时，应综合考虑使用环境、冷热源特点、结构尺寸、成本、周期等因素，有的

放矢的进行综合选型；同时，实际工况比理论环境更为复杂，实际传热效率不可能达到理论极限，应留出适当的散热余量，并做好与冷热端的安装贴合，尽可能发回散热系统的效能，保证产品的热环境稳定、可靠。

参考文献

- [1]杨世铭, 陶文栓.传热学[M].北京: 高等教育出版社,1986.
- [2]马同译等.热管[M].北京: 科学出版社, 1986.
- [3]邱成梯,赵婷爻, 蒋全兴.电子设备结构设计原理[M].南京: 东南大学出版社,2005.
- [4]余建祖, 高红霞, 谢永奇.电子设备热设计及分析技术(第2版)[M].北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
- [5]赵婷爻.电子设备热设计[M].北京: 电子工业出版社,2009.