

热超导体——热管技术的原理及应用

李洪斌 杨先

说起超导现象人们就会想到，当温度降低到一定程度时，导体对电流的阻碍作用就消失，即电阻等于零。现在要给大家介绍的是对热量超导的热管技术。

日常生活和工作中，我们常需要把热量从一个地方传递到另一个地方，或是将某处的热量收集起来。根据物理学知识我们知道，在相同条件下不同的物质对热量传导能力是不同的。一般说来，金、银、铜等金属的导热性能良好；塑料、干木材、陶瓷等导热性能较差。因此在涉及到导热时，人们往往考虑金属材料。但由于金属材料本身价格较高，从而限制了其大量使用的可能。于是在找寻新型高效导热材料的过程中，热管（heat pipe）技术诞生了。

一、热管技术的发展历程

1944 年美国俄亥俄州通用发动机公司的研究人员在研究制冷问题时，设想一装置由密封的管子组成，在管内液体吸热蒸发后于该下方的某一位置放热冷凝，在无任何外加动力的前提下，冷凝液体借助管内的毛细吸液芯所产生的毛细力回到上方继续蒸发，如此循环，达到热量从一处传到另一处的目的。当然这些工作也只是停留在初步研究和申请专利阶段。

1963 年美国洛杉矶国家实验室发明了类似的传热元件，并进行了性能测试实验，后来又在美国的《应用物理》杂志上公开发表了一篇文章，并正式将这一传热元件命名为热管，指出它的导热率远远超出任何一种已知的金属，并给出了以钠为液体工质，不锈钢为壳体，内部装有丝网吸液芯的热管的实验结果，热管这才为人们所知。

1965 年美国的科特首次提出了完整的热管理论，为以后的热管原理的研究工作奠定了基础。

1967 年不锈钢——水热管首次安置在轨道卫星上并运行成功，从而吸引了很多科学技术人员从事热管的研究。

1974 年以后，热管在节约能源和新能源开发研究方面得到了充分的重视，由热管做成的换热器来回收废热，并将其应用于工业以节约能源。

21 卷第 3 期 (总 123 期)

进入 20 世纪 80 年代后，世界各国的热管换热器研制工作迅猛展开；到 90 年代末期，为了降低热管的生产成本、缩短热管的设计周期、提高热管的设计水平，特别是随着热管计算机辅助设计水平的发展，各大热管生产厂家纷纷开发出了热管计算机辅助设计的软件，大大缩短了热管的设计和开发周期，促进了热管技术应用的发展。

二、热管的工作原理

通常普通的热管由管壳、吸液芯及传热工质组成。热管的两端封闭，内部的空气被抽去，在密闭的管道内装有传热工质（即工作液）内壁上贴有吸液芯。简单地来说，热管工作时，液态工质在吸热段吸收管壁传来的热量温度升高，气化为蒸气，同时压力也随之增大，于是就流向压力较低的冷凝段，在冷凝段放出热量后又重新变成液态，液体再沿着吸液芯依靠毛细力作用返回吸热段，再吸收热量进入下一次循环。如此反复循环就实现了热量的传递和转移。因此热管的正常工作过程是由液体的蒸发、蒸气的流动、蒸气的凝结和凝结液的回流组成的闭合循环，其外观像一个拉长的变细的暖水瓶胆，由两根同轴的金属管（或玻璃管）组成，内、外管间抽成真空，一般情况下真空度小于 10^{-4} 毫米汞柱（见图 1）。

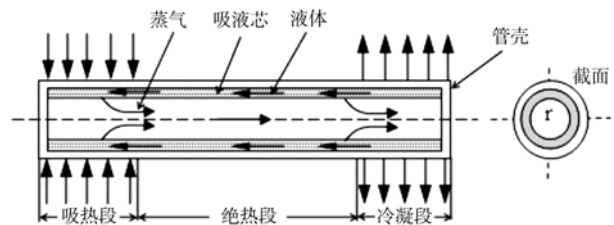


图 1 热管工作原理示意图

热管采用了液—气—液的相变传热，具有极高的传热效率，试验表明一根直径为 20mm 的铜—水热管，其导热能力是同直径紫铜棒的 1500 倍。因此热管又有热超导体之称。值得注意的是，热管的高导热性也是相对而言的，总是需要存在着温差，热管的导热也不能违反热力学第二定律。

三、热管的分类

热管的用途、种类和形式较多，再加上热管在

· 17 ·

结构、材质和工作液体等各方面有不同之处，对热管的分类也很多，常有以下几种分法：

按照工作液体回流动力区分：有芯热管、旋转热管、电流体动力热管、重力热管、磁流体动力热管、渗透热管。

按照热管管内工作温度区分，低温热管(-273~0°C)、常温热管(0~250°C)、中温热管(250~450°C)、高温热管(450~1000°C)。

按照管壳与工作液体的组合方式划分，热管可以划分为碳钢——水热管、铜——水热管、铜钢复合——水热管、铝——丙酮热管、不锈钢——钠热管和玻璃——水热管等。

按照结构形式分，热管可分为普通热管、分离式热管、毛细泵回路热管、微型热管、平板热管、径向热管。

四、热管的应用

由于热管具有优良的导热性能，且其形状可以随热源和冷源的条件而变化，因此热管技术在很多领域得到了广泛应用。

在太阳能热利用中的应用 传统的“平板型”、“真空管型”太阳能热水器存在冬季要放水防冻、管内结垢及不能充分利用真空管内的热水等缺陷。而利用热管的太阳能热水器，由于不采用直接对水加热的方式，而是利用热管把太阳辐射热量传递给水箱中的水，具有启动快、抗冻等优势，可避免上述问题。热管式太阳能热水器就成为这一领域的发展趋势。目前已有商业化的产品问世（见图2，图3）。



图2 玻璃真空热管



图3 家用热管式太阳能热水器

在航天领域中的应用 人造卫星、空间站等由

于向阳面和背阴面之间的温差较大，可达到数百开尔文。若不采取措施，则其内部的各种设备很难在这种“恶劣”的环境下工作。利用特制的热管可使它们各部分之间温差大大缩小，有效保证了其内部各种设备的稳定运行。

在输油管线工程中的应用 一些穿越冻土地带的输油管线，为了防止冻土融化影响到输油线的畅通，可在地下输油管线四周使用热管作为管线的支撑。如美国阿拉斯加州永久冻土带输油管道的重力热管保护系统，这是迄今为止最大的热管应用工程，全线共用热管 114000 支。该工程建于 20 世纪 70 年代，至今仍发挥着重要作用。

在电子器件散热方面的应用 随着电子、电器工程的发展，微型电子器件如电路板、集成电路、电脑 CPU 等产生的热量如果不及及时散出，将使温度升高而影响电子器件的寿命及工作的可靠性。利用热管形状的可塑性，结合电子器件的结构，可制作出小吸热面、大散热面的满足要求的散热热管（见图4）。



图4 热管式 CPU 散热器

在空调热回收领域中的应用 热管在空调系统热回收方面的应用具有相当的潜力。上海市民用建筑设计院和航天部五院共同研制了氨-铝低温热管换热器，该装置 2003 年底用于上海游泳馆的空调余热回收，热回收效率为 60%，年节省运行费用 20 余万元（见图5）。



图5 低温热管换热器

此外，在火力发电站可利用热管技术对空气进行预热或对锅炉余热的回收，可有效节约能源消耗，产生较高的经济和社会效益。

（李洪斌，广东省武警广州指挥学院教研部数理教研室 510440；杨先，广东省广州市高级技工学校 510410）