

热管技术及其应用

陈彦泽^{1,2} 喻建良¹ 丁信伟¹

(1. 大连理工大学化工学院, 辽宁 大连 116012; 2. 石油大学机电工程学院, 山东 东营 257062)

摘要: 评述了制冷热管、热管发电机、化学热管等新型节能热管的开发进展, 以及热管技术在空气预热器、阻燃抑爆等方面的工程应用情况。介绍了热管的实验研究与计算机模拟研究的进展, 提出了采用新的测量技术手段的解决思路。指出目前我国的研究更多地倾向于应用开发, 热管的基础研究亟待加强。

关键词: 热管; 制冷热管; 热管发电; 化学热管

中图分类号: TQ051.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2003)04-0017-03

Heat pipe technology and its application

CHEN Yan-ze^{1,2}, YU Jian-liang¹, DING Xin-wei¹

(1. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116012, China;

2. College of Machinery and Electronic Engineering, Petroleum University(East China), Dongying 257062, China)

Abstract: Development of some new energy-saving heat pipes, such as refrigeration heat pipe (RHP), chemical heat pipe (CHP), thermosyphon rankine engine (TSR), and engineering applications of heat pipe technologies in air preheater, fire retardant and knock suppressor, are reviewed. Progress of experimental studies and computer modeling on heat pipe is introduced, and an idea of using new measuring technique as a means is put forward. It is pointed out that the present research and development are inclined to application areas, and the fundamental research should be strengthened urgently in China.

Key words: heat pipe; refrigeration heat pipe; thermosyphon Rankine engine; chemical heat pipe

热管是人们所知的最有效的传热元件之一, 它可将大量热量通过其很小的截面积远距离传输而无需外加动力。美国俄亥俄州通用汽车公司(General Motors Corporation)最早提出热管工作原理, 1963 年美国 Los Alamos 国家实验室发明了类似的传热元件命名为热管(heat pipe), 并进行了性能测试实验, 1967 年一根不锈钢-水热管首次被送入地球卫星轨道并运行成功。此后德国、意大利、荷兰、英国、前苏联、法国及日本等国均开展了大量的研究工作。

我国自 20 世纪 70 年代开始开展了热管传热性能研究以及热管在电子器件冷却及空间飞行器方面的应用研究, 80 年代初期重点转向节能及能源的合理利用, 相继开发了各类热管产品。新能源的开发, 电子装置芯片、笔记本电脑中央处理器(CPU)以及

大功率晶体管、可控硅元件、电路控制板等的冷却以及化工、动力、冶金、玻璃、轻工、陶瓷等领域的高效传热传质设备的开发都促进了热管技术的进一步发展^[1]。

1 新型热管的开发与应用

据笔者对美国专利局公布专利的不完全统计, 1944~2002 年共有 3 690 项与热管相关的专利得到批准, 其中 1996~2002 年所公布的与热管相关的专利就达到 1 481 项, 占总数的 40.1%。2001~2002 年又提出有关申请 399 项。这些专利涉及热管的研制、开发、技术改进和应用, 几乎涵盖了所有和热能相关的技术领域。关于热管研制、开发及应用等内容的文献更是数不胜数。

收稿日期: 2002-12-02; 修回日期: 2003-02-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(50276009)和教育部博士基金资助项目(2001041026)

作者简介: 陈彦泽(1966-), 男, 副教授, 在读博士生; 丁信伟(1939-), 男, 本科, 教授, 博导, 主要从事石油化工过程装备技术、设备安全技术以及节能技术等研究, 通讯联系人, 0411-3629202, chenyz001@vip.sina.com。

1.1 新型节能热管的开发

1.1.1 制冷热管

S. B. Riffat 等^[2]提出的新型太阳能/燃气联合式制冷热管是将热管、制冷蒸发器和喷射器组合在一起,如图 1 所示。基本原理为:热管蒸气发生区通过吸收燃气炉烟气或太阳能等的热量使热管中制冷剂(工质)吸热气化,气相制冷剂蒸气高速通过喷射装置进入冷凝区;由于喷管和高速蒸气的作用,将与热管相连的蒸发器中的制冷剂蒸气抽出混合后进入冷凝区,使蒸发器中一直保持有比热管内部高的真空度。在冷凝段的制冷剂蒸气放出热量后冷凝,冷凝的制冷剂液流一部分通过吸液芯返回热管的蒸气发生区重新吸热气化,另一部分制冷剂液流则通过膨胀阀回到蒸发器。进入蒸发器中的制冷剂由于压力降低而蒸发,这个过程吸收的热量为 Q_E ,蒸发后的蒸气再次在喷射装置的作用下进入冷凝区放热,从而完成一个制冷循环。

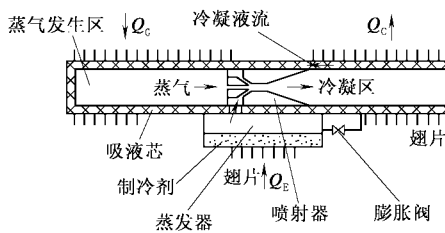


图 1 蒸气喷射制冷热管

H. F. Smirnov 等^[3]提出的吸收-扩散式制冷热管,其制冷原理类似于吸收-扩散式制冷机。制冷剂采用水-氨水溶液,氨水的质量分数为 35%;平衡气体可选用氨或氢气。研究表明,这种热管可以获得 -15°C 的冷源,蒸发段最低温度可达 -22°C 。不需采用膨胀阀等机构,运转平稳,无噪音和振动,无泄漏,寿命长,成本低,适用于小型制冷,也可用于缺少电源的地区使用。

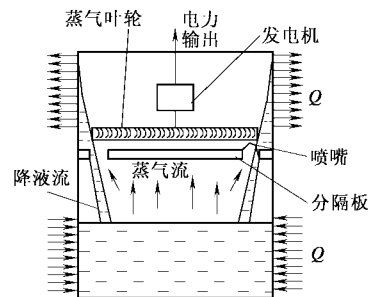
上海交通大学刘震炎等^[4]发明的冷管型太阳能制冷系统冷管由吸附床段、冷凝段以及下端的蒸发器等组成,其制冷原理为:吸附剂对制冷剂的吸附能力随温度、压力不同而变化敏感,温度越高其吸附能力越弱,因此利用昼夜温度变换周期性地实现间歇式制冷。白天为脱附循环阶段,吸附床吸收太阳能而温度升高,制冷剂蒸气从吸附床中被脱附出来,系统内压力上升,达到与冷凝温度对应的饱和压力时,制冷剂蒸气在冷凝器中凝结为液体进入蒸发器,冷凝所产生的热量由冷却水带走。夜间为吸附循环阶段,吸附床温度降低后,吸附蒸发器中的制冷剂蒸

气,系统内压力降低,由于制冷剂的蒸发使蒸发器向制冷箱吸收热量,从而产生制冷效果。

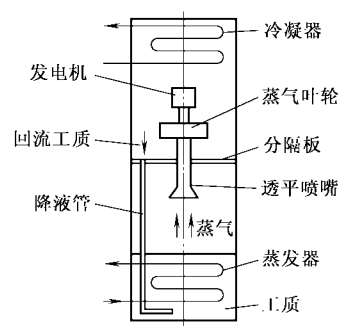
制冷热管一般具有运行费用低、无需旋转机械、制冷系数高(如 Riffat 的喷射式制冷热管的制冷系数高达 0.7)、绿色环保、方便可靠、结构紧凑并可灵活采用不同热源提供动力等特点,应用前景十分广阔。

1.1.2 热管发电机

T. Nguyen 等^[5]和 A. Akbarzadeh 等^[6]研制的热管发电机分别如图 2(a)和图 2(b)所示。两者都是利用工质吸热相变产生蒸气通过蒸气喷管带动发电机透平,将动能转变为电能。其特点是:可以利用低品位的热能(如太阳能、地热、烟气等)发电,由于工质在热管内循环,不会造成污染。存在的主要问题是效率有待进一步提高。早期的热管发电机功率很小,目前已经发展到数百千瓦数量级,并在澳大利亚、日本等国得到实际应用。



(a)



(b)

图 2 热管式发电机

1.1.3 化学热管

清华大学居怀明等^[7]利用甲烷-水蒸气的可逆反应提出一种实际应用的化学热管,用于高温气冷堆的远距离输热。设计了一个 3.5 MW 的化学热管系统,其基本原理是通过一个可逆化学反应的吸热过程把高温气冷堆或其他集热装置所得到的热能以

化学键形式在室温条件下储存,远距离输送,然后通过上述吸热反应的逆反应将热量释放出来,产生高温蒸气。化学热管具有以下优点:①能量转换效率高,在化学热管系统中,核能或太阳能转换成化学能的效率约为70%,甲烷化反应的效率可达90%左右,总的能量转换率较高;②化学热管系统可以采用核能或太阳能等,不消耗化石燃料,该系统又是一封闭系统,因此无环境污染;③化学热管系统中的庞大气体输送系统同时又是一个巨大的能量储存装置,可以方便地根据需要调节储存容量,适应用户的负荷要求。

1.2 热管技术工程应用

1.2.1 空气预热器

空气预热器是广泛应用于石油、化工、能源领域的重要节能装置。热管在空气预热器上的应用已十分成熟,并表现出其非凡的优点。陈军等^[8]总结了热管空气预热器在石化行业的应用情况,特别是热管空气预热器在炼油厂燃用高硫分渣油减压炉烟气余热回收的应用。表明热管换热器能在石化行业的一些恶劣工况下安全、可靠、高效地运行。选用热管空气预热器,不仅能降低排烟温度,提高整台炉子的热效率,而且提高了燃烧用空气的温度,保证了火焰的稳定,且提高了燃烧效率,使炉膛烟气温度有所上升。

1.2.2 阻燃抑爆

由于石油化工领域常见介质具有易燃易爆的特点,对防止和抑制爆炸、隔爆、阻燃等的研究一直是世界范围内的热门课题。大连理工大学喻建良等^[9-10]开展了对抑爆抑燃机理和方法的研究,对火焰的淬熄机理、爆炸波传播特性以及爆燃过程中热传导的特点展开了详细分析并取得了一定进展,并尝试采用热管制成新型阻燃隔爆装置。

2 热管研究的技术进展

由于实验方法、测量手段等客观条件的限制,热管实验研究至今仍局限于测量总体效果上。随着现代测量手段的不断发展,对局部情况进行测量已成为可能。采用粒子成像速度仪、激光多普勒测速、高速摄影、激光全息干涉、红外热成像仪等先进的高精度测量技术,可得到热管内局部的更确切信息,这对进一步认识热管传热特性细节,揭示其本质很有价值。以上技术作为非接触式的测量手段,具有精度高、重复性好、动态响应快、测量范围宽等优点,因而在流场、湍流、传质、传热、流型、燃烧等方面获得了

越来越广泛的应用^[11-12]。

目前计算机模拟技术已成为工程研究中十分重要的手段,但在对热管的研究中,由于热管内部流动与传热机理十分复杂,包含有复杂的气液耦合流动问题和气液相变传热问题,其内在的机理认识仍需深入研究,因而对其进行模型化与数值模拟十分困难。国外许多研究人员在这方面开展了大量工作^[13-18],我国的李亭寒等^[19-20]也在热管数值模拟方面取得一些进展。

A. Ficher等^[21]利用人工神经网络研究回路热管的脉动传热特性,还有研究人员通过热力学理论分析对热管内部传热及流动的热力学熵增理论以及耗散特性展开研究^[22-23]。这些理论的应用有助于提升热管研究的理论水平,更深入地分析热管的机理,促进热管技术的开发和应用。

3 结语

热管技术及其研究仍存在一些需要克服解决的问题:①热管的制造一般要涉及许多重要技术环节,如真空制备、真空密封、工质提纯、管材的表面处理以及工质和管材的相容性处理等,每个工艺环节都会直接影响热管的制造成本和使用寿命;②热管的传热效率还有很大提升空间;③我国在工程领域应用的热管大多技术含量低,短时间很难将实验室成果转变为实际应用。笔者认为,目前我国的热管研究更多地倾向于应用领域的开发工作,基础研究相对较少,这在很大程度上,特别是从长远的角度看,必然会制约我国热管水平的发展。热管的基础研究亟待加强,特别需要创新思维。同时应当加强国际间学术交流,学习国外的先进技术和经验,发展我国的热管理论和技术,为我国能源的开发、管理、合理利用以及可持续发展战略建立起自己的完整工程技术体系。

参考文献

- [1] 庄骏,张红.热管技术及其工程应用[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [2] Riffat S B, Holt A. [J]. Applied Thermal Engineering, 1998, 18(3-4): 98-101.
- [3] Smirnov H F, Kosoy B V. [J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21(6): 631-641.
- [4] 刘震炎,卢允庄. [J]. 热能动力工程, 2000, 15(6): 587-589.
- [5] Nguyen T, Johanson P, Akbarzadeh A, et al. [J]. Heat Recovery System & CHP, 1995, 15(4): 333-346.

3 结论

负载成“蛋壳型”的 TS-1 催化剂在丙烯环氧化的单管放大试验装置上连续运转 1 200 h 失活后,用高温焙烧法在 24 h 内实现了彻底再生。结合催速失活,对该催化剂进行了多次焙烧再生研究。发现 TS-1 催化剂具有良好的焙烧再生性能。经过 5 次再生后,催化剂活性、选择性仍能完全恢复,并在 500 h 的实验室连续评价中活性和选择性保持稳定。物化性质测定表明,高温焙烧再生能够彻底恢复被聚合物堵塞的沸石微孔,而对其晶体结构以及钛的存在状态则无明显影响。

参考文献

- [1] Clerici M G, Ingallina P. [J]. *J Catal*, 1993, 140: 71 - 83.
- [2] Perogo G, Bellussi G, Corno C, *et al.* [J]. *Stud Surf Sci Catal*, 1986, 28: 129 - 136.
- [3] Notari B. [J]. *Catal Today*, 1993, 18(2): 163 - 172.
- [4] 陈晓晖, 林民, 陈宪, 等. [J]. *燃料化学学报*, 2001, 29(5): 426 - 429.
- [5] Petrini G, Cesana A, Alberti De, *et al.* [J]. *Stud Surf Sci Catal*, 1991, 69: 761 - 766.
- [6] Cesana A, Mantegazza M A, Pastori M. [J]. *J Mol Catal*, 1997, 117: 367 - 373.
- [7] 李纲, 王祥生, 郭新闻. [J]. *石油学报(石油加工)*, 2001, 17(3): 62 - 67.
- [8] 闫海生, 王祥生, 刘靖, 等. [J]. *石油学报(石油加工)*, 2002, 18(2): 46 - 51.
- [9] Uguina M A, Serrano D P, Sanz R, *et al.* [J]. *Catal Today*, 2000, 61: 263 - 270.
- [10] Thiele G F, Roland E. [J]. *J Mol Catal A: Chemical*, 1997, 117: 351 - 356.
- [11] Guy L C, Zajacek J G. Regeneration of a titanium-containing molecular sieve. [P]. US5753576, 1998 - 05 - 19.
- [12] Georg T. Method for the regeneration of a catalyst [P]. US 5620935, 1997 - 04 - 15.
- [13] Guy L C, Jubin Jr J C, Zajacek J G. Integrated process for epoxidation [P]. US 5693834, 1997 - 12 - 02.
- [14] Mantegazza M A, Balducci I, Rivetti F. Process for the regeneration of zeolitic catalysts containing titanium [P]. USP 6403514, 2002 - 06 - 11.
- [15] Chang T W C. Process for regenerating epoxidation catalysts [P]. EP 11907710A1, 2002 - 03 - 27.
- [16] 薛俊利, 许锡恩. [J]. *燃料化学学报*, 1998, 26(6): 569 - 574. ■
- [16(8-9)]: 753 - 767.
- [15] Ismail K A R, Zanardi M A. [J]. *Applied Thermal Engineering*, 1997, 17(2): 135 - 155.
- [16] Lin Lanchao, Faghri A. [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1999, 42(8): 1363 - 1369.
- [17] Khalkhali H, Faghri A, Zuo Z J. [J]. *Applied Thermal Engineering*, 1999, 19(10): 1027 - 1043.
- [18] Lin Lanchao, Faghri A. [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1997, 40(18): 4393 - 4404.
- [19] 李亭寒, 李劲东, 曹黎明, 等. [J]. *中国空间科学技术*, 1997, 17(6): 22 - 27.
- [20] 李劲东, 李亭寒. [J]. *中国空间科学技术*, 1997, 17(3): 9 - 13.
- [21] Fichera A, Pagano A. [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2002, 45(18): 3875 - 3884.
- [22] Richter R, Gottschlich J M. [J]. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 1994, 8(2): 334 - 340.
- [23] 阿迪尔 M, 胡亚才, 袁海, 等. [J]. *热能动力工程*, 2002, 15(3): 247 - 248. ■

(上接第 19 页)

- [6] Akbarzadeh A, Johanson P, Nguyen T, *et al.* [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2001, 21(15): 1551 - 1563.
- [7] 居怀明, 徐元辉, 钟大辛. [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 1995, 35(6): 59 - 63.
- [8] 陈军, 肖文朝, 郭宏新. [J]. *现代化工*, 1997, 17(5): 33 - 36.
- [9] 喻建良, 毕明树, 王淑兰. [J]. *大连理工大学学报*, 2001, 41(4): 436 - 441.
- [10] 喻建良, 刘润杰, 毕明树, 等. [J]. *力学进展*, 2002, 32(3): 467 - 470.
- [11] 尹晔东, 王运东, 费维扬. [J]. *现代化工*, 2000, 20(2): 15 - 18.
- [12] Jiang Yuyan, Masahiro Shoji. [J]. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2002, 23(1): 81 - 91.
- [13] Md Ashraful Islam, Masanori Monde, Mohammad Z Hasan, *et al.* [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1998, 41(23): 3691 - 3704.
- [14] Ismail K A R, Zanardi M A. [J]. *Applied Thermal Engineering*, 1996,

2001 年《现代化工》期刊评价指标

据中国科技信息研究所 2002 年报告, 2001 年《现代化工》期刊的总被引频次为 376, 在化工类期刊中排名第 6 位, 影响因子 0.405, 排名第 9 位。