

[文章编号] 1002-8528(2008)06-0054-03

空调用纳米复合材料相变蓄冷特性实验研究

李晓燕¹, 赵婧瑜², 马最良¹, 邱美苓², 张健², 姜益强¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2. 哈尔滨商业大学 土木与制冷工程学院, 哈尔滨 150028)

[摘要] 本文对比和分析了水蓄冷、冰蓄冷、共晶盐蓄冷及气体水合物蓄冷技术的优缺点, 提出在常规空调中采用纳米复合材料相变蓄冷技术, 并对其相变温度和过冷度进行了实验研究。结果表明添加纳米 TiO_2 可减少相变蓄冷介质的过冷度。

[关键词] 纳米流体; 相变材料; 蓄冷技术; 纳米 TiO_2

[中图分类号] TB64

[文献标识码] A

Experimental Study on Cool Storage Performance with Phase Change Nanocomposites in Air-conditioning System

LI Xiao-yan¹, ZHAO Jing-yu², MA Zui-liang¹, QIU Mei-ling², ZHANG Jian², JIANG Yi-qiang¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. College of Construction and Refrigeration Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

[Abstract] In this paper, the advantages and disadvantages of water cool storage, ice cool storage, eutectic salt cool storage and hydrate cool storage technologies were firstly compared and analyzed. Secondly, cool storage technology with phase change nanocomposites used in conventional air-conditioning system was presented, and the experimental study on phase change temperature and degree of super cooling were carried out. The results indicated that degree of super cooling could be decreased by adding nanometer TiO_2 .

[Keywords] nanofluid, phase change materials, cool storage technology, nanometer TiO_2

1 引言

随着现代工业的发展和人民生活水平的提高, 中央空调的需求越来越大, 能源紧缺的问题也日益严重。城市用电经常出现峰期电力紧张, 谷期电力过剩的现象, 而空调是建筑物中最大的用电设备之一, 如何解决好空调用电对电网负荷和能源利用将产生较大影响。应用蓄冷技术在夜间利用低谷电蓄冷, 白天用电高峰期供冷可缓解电力紧张的状况。因此, 在常规中央空调中应用相变蓄冷技术可以起到“移峰填谷”的作用, 具有重要的现实意义和应用价值。

2 蓄冷空调系统概述

蓄冷空调按蓄冷介质可分为水蓄冷、冰蓄冷、共晶盐蓄冷和气体水合物蓄冷。目前, 工程应用较多的是水蓄冷和冰蓄冷。水蓄冷系统简单、投资少、技术要求低、维修方便, 并可以使用常规空调制冷机组蓄冷。但是, 水的比热容远小于冰的溶解热, 故水蓄冷的蓄冷密度低, 需要体积较大的蓄水池, 尤其在土地利用率高的大城市更是一个不容忽视的问题, 且冷损耗大, 保温及防水处理麻烦。而冰蓄冷具有蓄冷密度大、蓄冷冰槽体积小、蓄冷温度几乎恒定、便于储存的优点^[1], 因此冰蓄冷技术受到了广泛的关注, 其缺点是制冷机组的蒸发温度低(要求 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -8\text{ }^{\circ}\text{C}$), 使压缩机性能系数 COP 减小; 一般来讲蒸发温度每下降 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 制冷系数 COP 下降 $3\% \sim 4\%$, 制冷量下降 $5\% \sim 6\%$, 这样冰蓄冷空调主机比常规空调的冷水机组多耗电 30% 左右, 主机制冷量下降近 50% 。蓄冷空调蒸发温度与蓄冷介质的

[收稿日期] 2008-01-21

[基金项目] 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2006RFQXG052); 国家自然科学基金项目(50606007)

[作者简介] 李晓燕(1962-), 女, 在读博士研究生, 教授

[联系方式] mylxxy6168@sina.com

相变温度有关,冰的熔点较低(0°C)是导致冰蓄冷空调性能系数下降的主要原因,并且在常规空调中要配置双工况制冷主机,增加了系统的复杂性和初投资。

共晶盐蓄冷可以克服冰蓄冷蒸发温度要求很低的弱点,并可以使用普通的空调冷水机组,但共晶盐蓄冷在蓄冷一释冷过程中换热性能较差,设备投资也较高,阻碍了该技术的推广应用^[2]。气体水合物蓄冷的蓄冷温度与空调工况相吻合,蓄冷密度高、储/释冷过程的热传递效率高、系统造价相对较低,被认为是一种比较理想的蓄冷方式。但该技术还有一系列问题有待解决,如制冷剂蒸汽夹带水分的清除、防止水合物膨胀堵塞等,对于工程实用还有些困难。

为克服上述缺陷,迫切需要研制开发出凝固点高于 0°C 的新型高温相变蓄冷介质并将其应用于蓄冷系统中。

3 相变蓄冷材料过冷度的研究

3.1 纳米流体强化传热技术

目前,已研制出了某有机相变材料 A^[3]。该材料的相变温度为 7.9°C ,相变潜热为 149 kJ/kg ,可满足空调蓄冷要求。相变材料 A 的相变潜热较高,且其相变温度高于冰的凝固点(0°C),可被应用到常规空调蓄冷系统中。但是,该相变材料的导热系数较低,需进一步深入研究。而且现有的液体蓄冷剂或大或小都存在一定的过冷度,过冷现象的存在使得相变蓄冷凝固—融化循环的中间过程出现延迟,这种延迟中断了正常的热循环过程,使制冷系统的能耗增加,阻碍了常规空调蓄冷技术的推广。

蓄冷技术的关键在于如何强化换热,如果采取其它措施,从蓄冷工质入手以改善纯液体蓄冷工质的导热系数和过冷度,同样可以实现强化传热的目的,而不必改造现有的设备。利用纳米技术将纳米尺度粒子与液体蓄冷工质混合形成纳米流体^[4],便可克服上述难题。

基于以上分析,本文利用纳米流体进行相变蓄冷,重点探讨纳米粒子的添加对蓄冷效能的影响。在相变材料中复合微量的纳米粒子,形成一种新型的蓄冷功能复合材料——纳米复合相变蓄冷材料。由于纳米粒子的粒径很小,可同时起到增稠剂、成核剂和导热强化剂的作用,能够解决相变材料的过冷及导热系数过小等问题^[5],有助于提高蓄冷剂的成

核温度和结冰率,同时减少相变材料中添加剂的种类和数量,以保证足够高的蓄冷能力,避免了制冷机组的蒸发温度低使压缩机性能系数减小的缺点。

3.2 纳米流体蓄冷特性实验

3.2.1 实验装置

实验装置主要用于测试纳米流体蓄冷材料在冷却降温过程中的温度随时间的变化情况,其装置如图 1 所示。

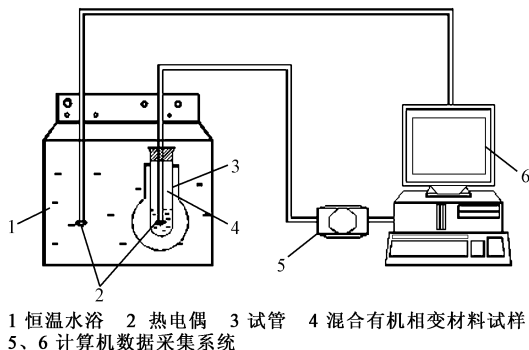


图 1 实验装置示意图

3.2.2 实验步骤

取 4 个干净的试管,分别按标号倒入已制备好的相变材料 A 和该材料的纳米 TiO_2 流体,其纳米 TiO_2 质量分数分别为 0.02% 、 0.03% 和 0.05% 。在试管中心位置各布置好 1 个经过标定的直径为 0.2 mm 的铜—康铜热电偶(测量精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$)进行温度测量,先开启恒温浴槽使其温度降低到 0°C 恒定,然后把 4 个试管同时放入浴槽中进行冷却,数据采集的时间间隔为 1 s 。测试过程中,纳米流体的温度将持续下降至其凝固点,但此时仍为液态,温度继续下降,在某个时刻纳米复合蓄冷材料的温度先于相变蓄冷材料发生跳跃,纳米复合材料开始成核结晶,最后接近所设温度,整个结晶过程完成。

在测试的过程中计算机自动采集数据并得出温度—时间曲线,从曲线上可以得到纳米复合材料的凝固点、过冷度及温度变化的转折点,具体如图 2~5 所示。

3.2.3 结果分析

利用曲线拟合的方法对上述曲线进行拟合,得到样品相变温度和过冷度,如表 1 所示。

从表 1 可以看出,不同浓度的纳米 TiO_2 复合相变蓄冷材料与该相变材料的成核过冷度、相变温度都不同。纳米 TiO_2 相变蓄冷材料的相变温度随着

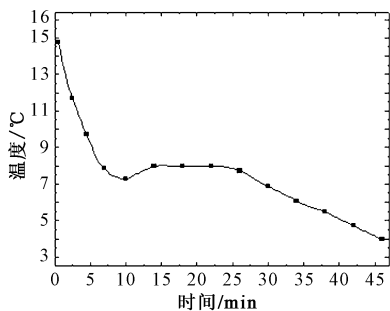


图 2 相变蓄冷材料 A 冷却降温曲线

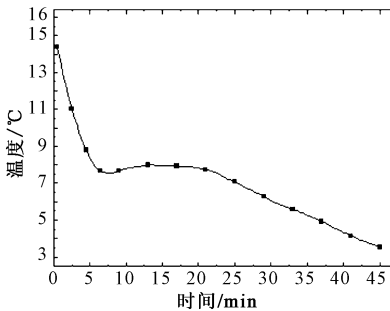


图 3 纳米复合相变蓄冷材料(0.02%)冷却降温曲线

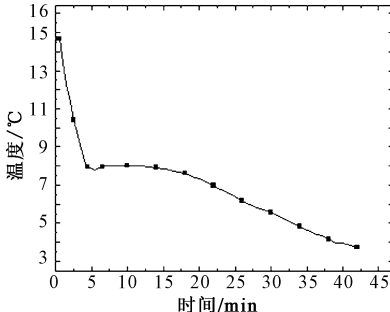


图 4 纳米复合相变蓄冷材料(0.03%)冷却降温曲线

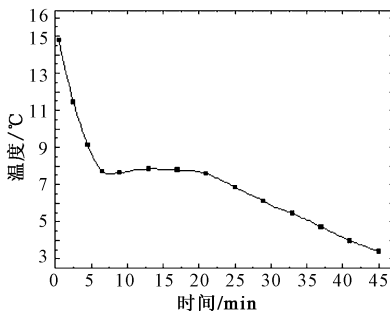


图 5 纳米复合相变蓄冷材料(0.05%)冷却降温曲线

其浓度的增加而降低,其过冷度也随之降低。因此,加入纳米 TiO_2 粒子后能够改善液相蓄冷剂的过冷度。在常规空调中应用相变蓄冷技术时,可在相变蓄冷材料中加入适当浓度的纳米粒子使其相变温度适合常规空调工况的要求并同时减小其过冷度,也解决了因蒸发温度降低而使能耗增加的现象。

表 1 样品相变温度和过冷度

试样	相变温度/℃	过冷度/℃
相变材料 A	7.90	0.63
纳米复合相变蓄冷材料(0.02%)	7.90	0.34
纳米复合相变蓄冷材料(0.03%)	7.90	0.25
纳米复合相变蓄冷材料(0.05%)	7.79	0.13

从图 2~5 还可以看出,不同浓度的纳米复合材料与该相变材料开始发生相变所用的时间不同,相变材料中加入纳米粒子后能够提前发生相变,这是由于加入纳米粒子后,纳米粒子能够起到成核剂的作用。

利用纳米流体技术可提升传统蓄冷工质的传热特性,改善过冷度,提高蓄冷效率,同时也能减少热交换器的体积。因此,将这种纳米有机蓄冷介质应用到空调蓄冷器中可使制冷机的蒸发温度、性能系数和制冷量提高,并降低能耗,对空调蓄冷业的发展和能源的有效利用大有帮助。

4 结 论

本文针对目前蓄冷技术存在的种种不足,研究了应用于常规空调工况的纳米复合相变蓄冷材料,并对其过冷温度、相变温度、过冷度进行了实验研究,结果表明添加 TiO_2 纳米粒子后的相变材料 A 的过冷度有明显的改善,有助于常规空调改装蓄冷空调的凝固—融化循环的正常进行。避免了制冷机组的蒸发温度低,压缩机性能系数 COP 小的现象发生,减小了制冷系统的能耗,有助于常规空调中应用蓄冷技术的推广。但是,纳米复合蓄冷材料的制备方法还需进一步完善,对其热物性尤其是导热系数的强化机理还需要进行更深入的理论分析(如分子动力学模拟等)和系统的实验研究。关于不同材料、形状、尺度的纳米粒子对蓄冷材料热物性的影响也是今后需要深化的工作。

[参考文献]

[1] 章学来,李瑞阳.冰蓄冷空间系统的节能技术[J].节能技术,1998,16(6):31~33.

[2] 张浩,赵贲,陈巨明,等.利用微生物吞吐技术开采稠油、特稠油[J].石油钻采工艺,2003,25(2):45~48.

[3] 李晓燕.适用于空调蓄冷的新型相变蓄冷介质的研究[J].应用科技,2004,31(7):66~68.

[4] Choi, Stephen US. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles[J]. American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division, 1995, 231, 99~103.

[5] 刘玉东.纳米复合低温相变蓄冷材料的制备及热物性研究[D].重庆:重庆大学,2005.