

组合式相变材料换热器储热速率的实验研究

北京建筑工程学院 于丹

[摘要] 搭建了一套储热换热器性能测试装置和数据采集系统,主要研究由HR-35、月桂酸和HR-50三种相变材料组合的储热换热器的特性。

根据太阳能集热器所提供的水温温度范围,本文主要研究以HR-35、HR-50和月桂酸为相变材料储热换热器的储热特性,并与单一相变材料(HR-35)的储热换热器进行对比测试,探讨利用现有的3种相变材料合理组合,以实现近似均匀相变的可能性和组合式相变材料储热换热器的储热性能和应用潜力。

测试结果表明,与单一相变材料的储热单元换热器相比,组合式相变材料的储热换热器的储热速率有一定的提高。选择适合的相变材料组合,对太阳能供暖系统优化和安全设计及运行具有较大的意义。

[关键字] 组合式相变材料 储热换热器 储热速率

一、前言

虽然目前利用太阳能获得生活、供暖所需中、高温水的技术已趋成熟,但还存在着一个致命的弱点,即太阳能是一种间歇式能源,太阳辐射受昼夜、季节以及雨雪天气等因素的影响,表现为间断性和不稳定性。解决这一问题的关键是采用可靠的、性能优良的储热材料,太阳能可获得期间储热,在太阳能间断期间将所储热量放出供人们使用^[1]。

根据相关研究可知,理想均匀等速的相变能够实现热能的等速率利用,而实现均匀相变的条件是相变温度呈抛物线变化^[2]。然而实际应用中,直接寻找或制造一种相变温度呈抛物线分布的相变材料

(PCM)是十分困难甚至是不可能的,但可通过将若干不同相变温度的材料组合起来,获得相变温度近似抛物线分布的材料,从而可以近似实现热能的等速率利用。相变温度为几十℃到近千℃的相变材料已有数千种,这也为组合相变材料的应用提供了条件。在同一储热系统中采用相变温度不同的相变材料进行合理组合,可以显著提高系统效率,而且能够维持相变过程中相变速率的均匀性^[3~6]。这一特性对于储热或放热时间有严格限制的储热系统具有重要意义。组合相变材料储热系统在实际应用中有多种组合,无论是哪一种组合方式的研究和应用,都必须获得给定传热流体工作条件下相变材料的最佳组合方案,或者在给定相变材料组合方案前提下获得传热流体的最佳匹配。

根据太阳能供暖的要求和太阳能集热器所提供的水温温度范围,本文在前期研究的基础上^[7],主要研究以HR-35, HR-50和月桂酸为相变材料的储热换热器的传热流体的匹配特性。

(一) 储热换热器和实验装置

1. 相变材料的选用

本次实验选用的3种相变材料为国产化学试剂,其中PCM1和PCM3为HR-35和HR-50, PCM2为化学纯月桂酸。经测试得到的3种相变材料的熔点见表1。

表1 3种相变材料的熔点

	PCM1 (HR-35)	PCM2 (月桂酸 (C ₁₂ H ₂₄ O ₂))	PCM3 (HR-50)
熔点/℃	35~40	42~45	45~50

2. 储热换热器的设计

实验所用的储热换热器的结构如图1所示,该相变储热换热器外部由一个水箱构成,内部填加相变材料,中间由两块薄钢板分隔为三部分,分别填充3种相变材料。水箱用厚度为50mm的聚苯板保温,水在外螺纹铜管中流动,在水箱的侧面开3个孔洞,以方便加工完毕后进行相变材料的填充和传感器的布置。温度传感器分别布置在3层腔体中间和底部位置。将相变材料 熔化后分别注入3个夹层内,然后旋紧封口。组合式相变材料储热换热器单元的3个腔体内分别充注PCM1, PCM2, PCM3。

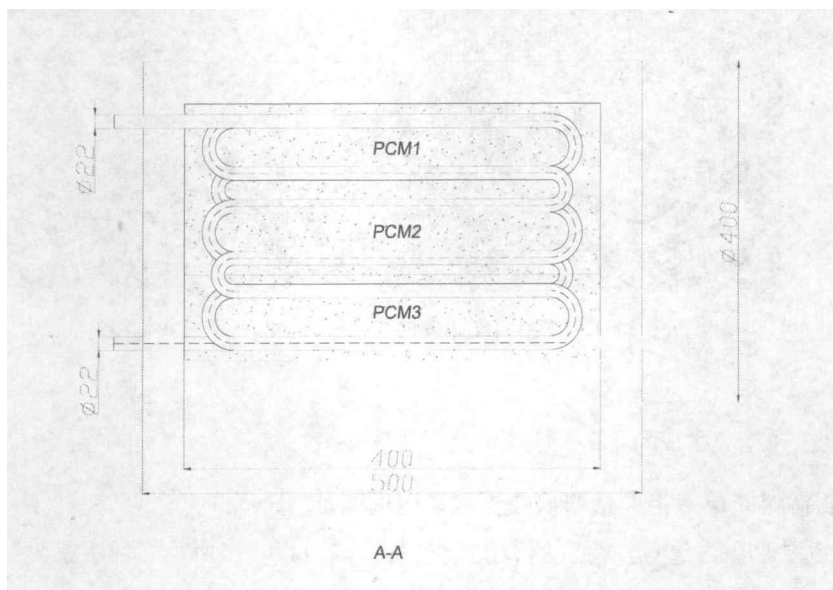


图1 储热换热器的结构

实验测试系统的流程见图2。保温水箱有效容积为200L,水箱中电加热设备由三组可调电加热器组成,单组最大可调功率3kW。热水泵扬程13m,流量 $3.0\text{m}^3/\text{h}$ 。实验前,启动加热水箱使温度达到预定温度,并根据负荷变化情况,通过加热器使水箱温度保持恒定,以定入口水温作为储热条件。各相变材料的测点和水的温度信号通过Keithley 2000数据采集/开关单元,温度传感器采用Pt100,并采用恒流电源给温度传感器供电,控温精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。流量采用涡轮流量传感器测量,精度为1%,利用Labview编程软件编程经GBIP 接口送入计算机进行数据处理。测试系统装置实物照片如图3所示。

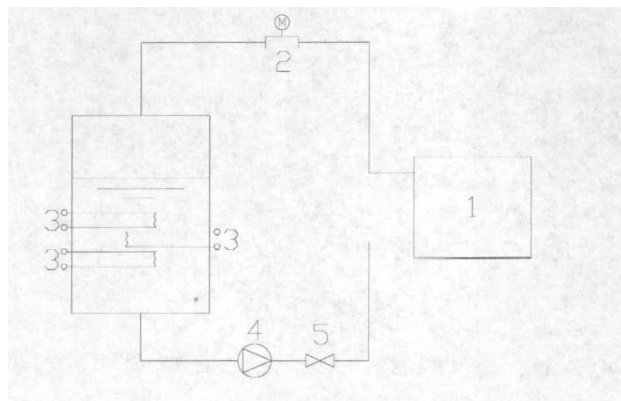


图2 组合式相变材料换热器储热系统实验测试系统流程图

1. 储热换热器 2. 流量计 3. 电加热器 4. 循环水泵 5. 流量调节阀

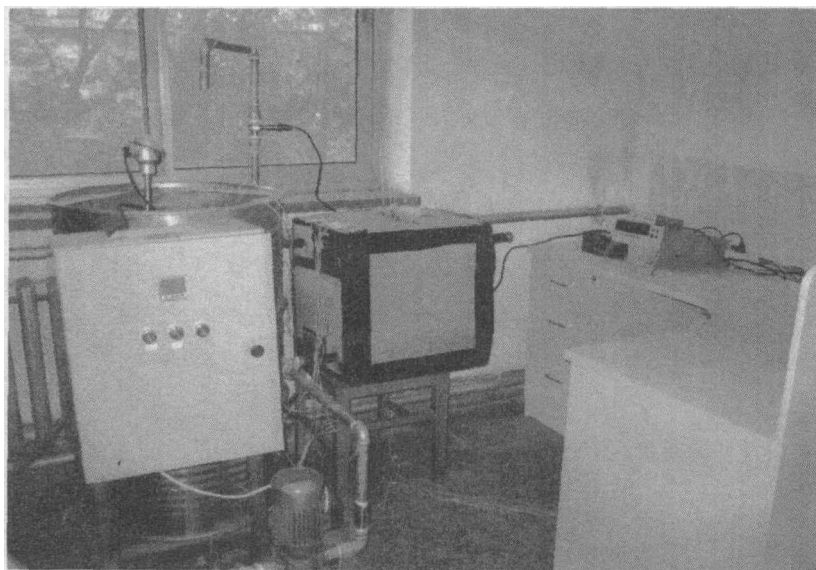
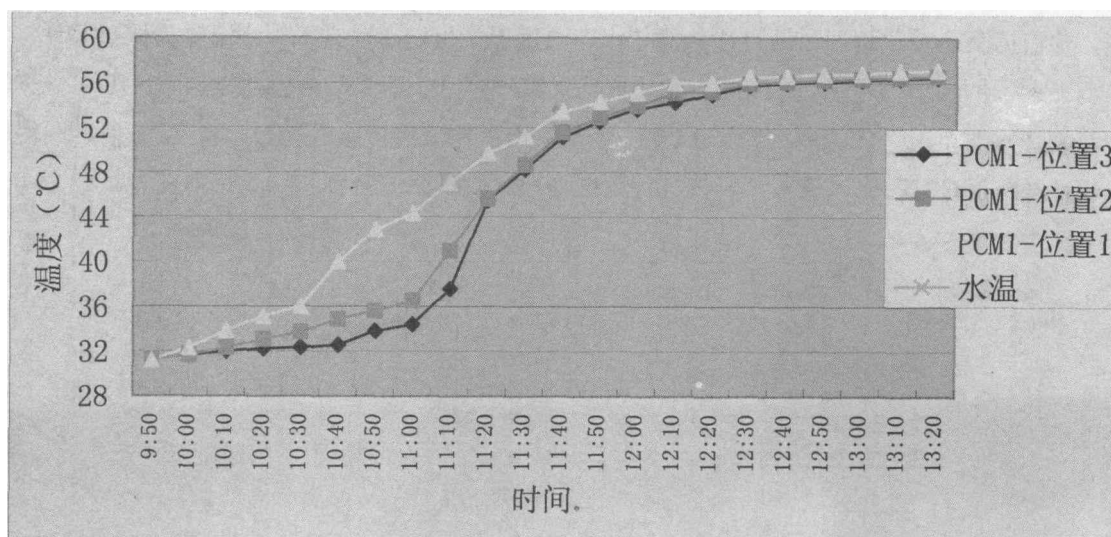


图3 组合式相变材料换热器储热系统实验测试系统实物照片

(二) 实验结果分析

1. 组合式相变材料同单一相变材料换热器储热时间对比

熔化过程在恒温水箱内进行,得到的温度分布曲线如图4和图5所示。当水温为 58°C 时,单一相变材料(PCM1)的储热时间为210min,组合相变材料储热时间为190min;综合考虑液相显热的储热时间,可以看出,与单一相变材料(PCM1)的储热单元换热器相比,组合相变材料的储热单元换热器的完全相变时间减少,平均相变速率提高了10%左右。

图4 单一相变材料(PCM1)储热换热器储热过程(恒定水温 58°C)

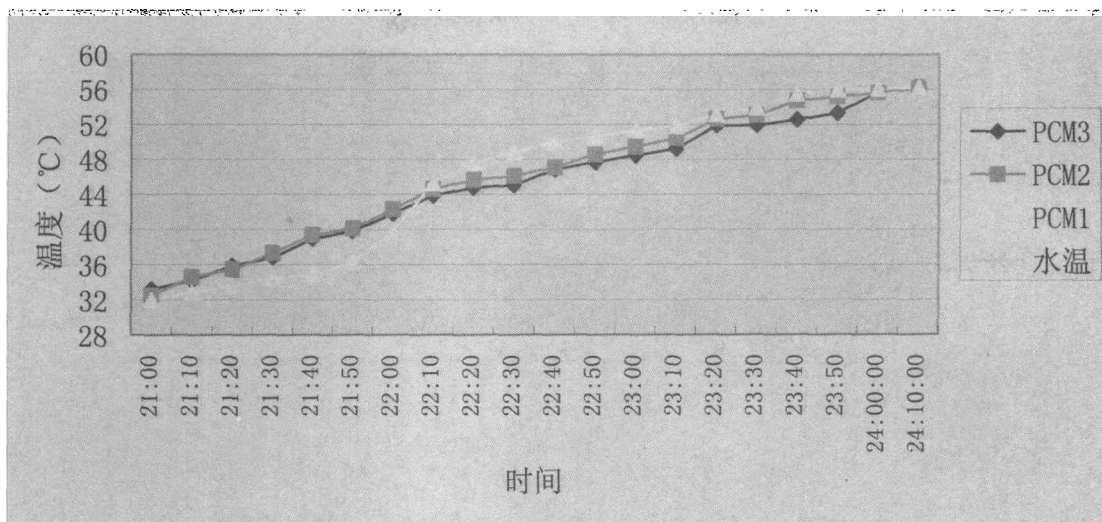


图5 组合式相变材料储热换热器储热过程（恒定水温58℃）

2. 组合式相变材料换热器传热流体的匹配特性

图6和图7分别为传热流体水的进口温度分别为58℃和53℃时的储热过程实验结果。两个工况下都存在一个最短储热时间，对应的流量为1.0m³/h。在进口水温为58℃时，在流量为1.0m³/h的情况下，最短储热时间为160min；在进口水温为53℃时，在流量为1.0m³/h的情况下，最短储热时间为270min；每种工况下，当流量增加到一定值时，流量对组合式相变材料的储热速率的影响将变得不是非常明显。从实验结果可知，对于本文给定的组合方案，对于每一种流体温度工况存在最佳流量，亦即存在最佳的传热工况与组合方案匹配，这对组合式相变材料在实际工程应用具有重要的意义。

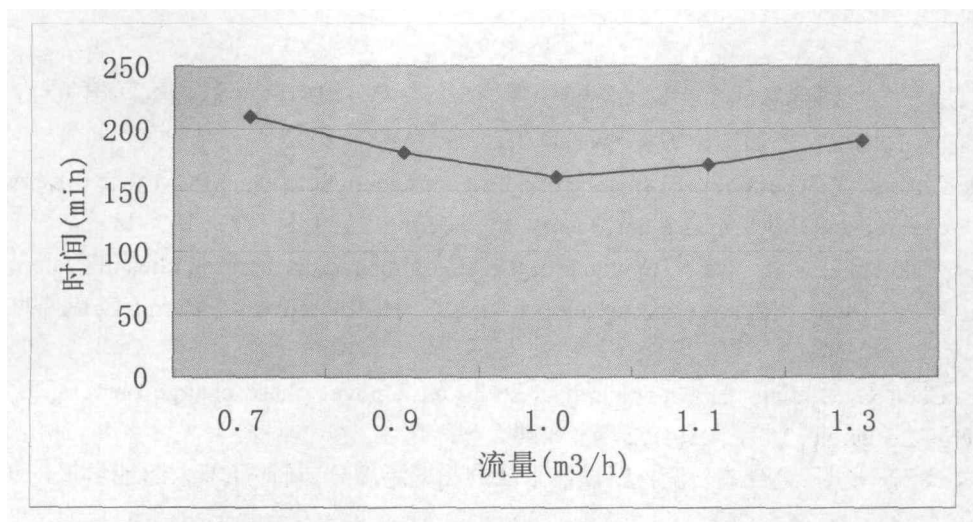


图6 流量对组合式相变材料储热换热器储热速率的影响（恒定水温58℃）

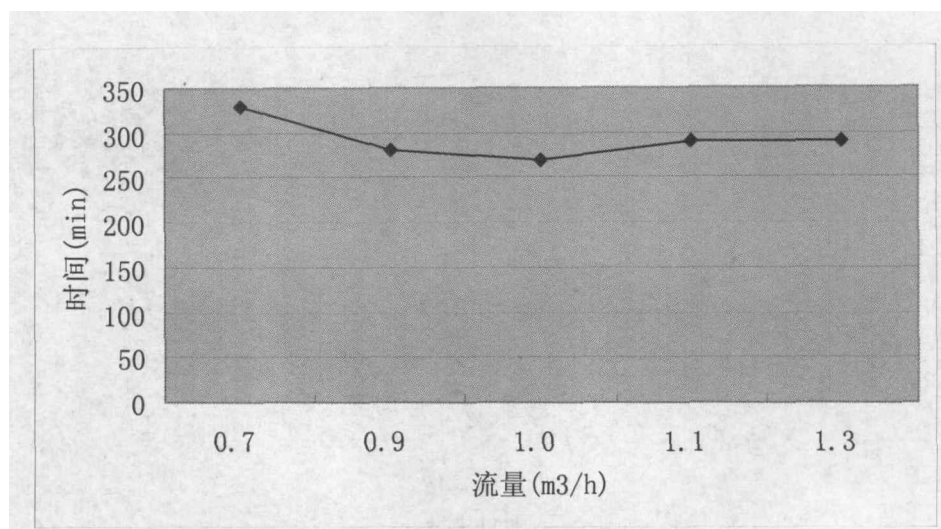


图7 流量对组合式PCM储热换热器储热速率的影响（恒定水温53℃）

值得注意的是，对于本文给定的组合方案，每一种流体温度工况都存在最佳流量，亦即存在最佳的传热工况与组合方案匹配。当传热流体进口状况偏离合理匹配状态时，每种工况对于不同传热温差，最佳流量工况下的传热流体温度和相变速率等随时间的动态变化规律及有关的实验和理论研究值得深入。

（三）结论

本文搭建了一套组合式相变材料储热换热器流体匹配性能测试装置，实验结果表明，与传统单一相变材料的储热单元相比，由HR-35、月桂酸和HR-50组成的组合相变材料的储热换热器的储热速率有一定的提高。对于给定相变材料组合方案的储热系统，都存在最佳传热流体进口工况和系统相匹配。最佳匹配工况对应组合相变材料储热系统最大的传热速率，这对组合式相变材料在太阳能供暖实际工程中合理应用具有重要的意义。

参考文献

- [1] 张寅平, 胡汉平, 孔祥冬, 等. 相变储热——理论与应用[M]. 中国科学技术大学出版社, 1996
- [2] 王剑峰. 组合式相变材料的理论与实验研究[D]. 浙江大学, 2000
- [3] MM Farid, Kanzawa A. Thermal performance of a heat storage module using PCM with different melting temperatures: experimental[J]. ASME J Solar Energy Engineering, 1989, 112 (2) : 125 -131
- [4] Watanabe T, Kikuchi H, Kanzawa A. Enhancement of charging and discharging rates in a latent heat storage system by use of PCM with different melting temperatures[J]. Heat Recovery Systems CHP, 1993 ,13 (1) :57—66
- [5] Wang J F, Chen G M, Jiang H B. Theoretical study on a novel phase change process[J]. International Journal of Energy Research , 1999 , 23(4) :277 —286
- [6] 王剑峰, 郑飞, 陈光明. 组合式相变材料储热系统的相变温度分布研究[J]. 太阳能学报, 1998, 19 (3) : 294—298
- [7] 于丹, 曹勇, 宋业辉, 等. 组合式相变材料储热换热器的特性实验研究[J]. 建筑科学, 2007, 23(10) : 87—90

作者简介 于丹, 1974年6月出生, 2001年哈尔滨工业大学硕士毕业, 现在北京建筑工程学院环能学院任教师, 北京工业大学博士在读, 参加的北京制冷学会, 电话 68322535, 传真 68322535, yudan@bucea.edu.cn