

文章编号:1671-6833(2008)03-0069-04

针翅管式相变蓄热器传热特性的实验研究

唐刚志, 李隆健, 崔文智, 沈斌

(重庆大学 动力工程学院, 重庆 400030)

摘 要: 采用赤藻糖醇作为相变材料, 将三维针翅管用作换热元件以强化换热, 设计了一套针翅管式相变储热换热器实验装置, 对相变储热换热器的充、放热特性进行了实验研究; 测定了赤藻糖醇的温度分布随时间变化的规律; 改变充、放热流体工况, 分析了流量对换热的影响, 以及能量随时间变化的规律。实验结果表明: 材料温度在 120 °C 附近相变区域内变化缓慢, 在换热过程前期变化较快, 后期较慢, 相变材料温度变化规律一致, 但随时间有超前或滞后现象; 随着换热的进行, 储、放热速度下降。该储热换热器较好地实现了能量的储存和释放, 为中温领域相变蓄热技术的应用提供了理论基础。

关键词: 相变蓄热; 针翅管; 凝固; 融化; 赤藻糖醇

中图分类号: TK 124

文献标识码: A

0 引言

在余热和太阳能能量利用系统中, 采用合适的相变蓄热换热器可以提高能源利用效率, 还能解决供需双方在时间、地点、强度上不匹配的矛盾^[1-2]。相变蓄热技术在太阳能利用、电力的调峰、废热和余热的回收利用等领域具有广泛的应用前景。潜热蓄热具有储能密度大, 蓄热和放热过程温度近似恒定等优点^[3-5]。其中, 固-液式相变蓄热又因相变时体积变化小等优点而受到青睐。

彭岚^[6]等用醋酸钠作为相变材料对内纵翅片套管管壳式相变蓄热器进行了充放热性能的实验研究。侯欣宾^[7]等用氯化物作为相变材料对采用独立相变材料容器的管壳式相变蓄热器进行了理论和实验研究。Bogdan 等人对采用热管相变蓄热器进行了理论研究。Banaszek^[8]等人对螺旋管式结构的蓄热装置进行了理论和实验研究。研究主要集中在低温和高温领域。

中温领域的相变蓄热技术研究一直比较滞后。赤藻糖醇作为中温相变材料具有以下优点: 相变温度合适, 相变潜热大, 相变体积变化小; 热稳定性好, 无腐蚀, 无毒, 不燃, 相容性好, 但同时具有导热系数低的缺点。因此笔者采用相变温度为 120 °C 的赤藻糖醇作为相变材料进行实验, 研制

设计了一套针翅管式相变换热蓄热器, 对其进行充、放热过程实验研究。

1 实验装置

图 1 给出了实验所研制的针翅管相变蓄热换热器的结构简图。可以看出, 换热器内部设有正排的 36 根针翅强化换热紫铜管, 相变材料直接灌装在翅片管间。翅片直接在铜管上加工而成, 没有附加热阻, 且换热面积扩大到 10 倍以上, 极大地克服了材料导热性能差的缺点。同时为了防止散热, 在蓄热换热器的外壁包覆保温材料。

图 1 同时给出了相变蓄热换热器的内部热电偶布置, 用温度采集自动记录仪记录铜-康铜热电偶测得的数据。

笔者采用赤藻糖醇作为相变材料, 分别在 1.6, 2.0, 2.4 m/s 的工况下对相变蓄热换热器进行了充、放热实验, 研究了不同流量对充、放热过程的影响。

2 实验结果及分析

2.1 融化过程中相变材料随时间变化的规律

图 2 给出了加热流体入口温度为 235 °C, 流量为 1.6 m/s 条件下, 蓄热器内相变材料随时间的变化情况。在初始显热阶段, 相变材料与加热流

收稿日期: 2008-05-10; 修订日期: 2008-07-11

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目 (CSTC 2008AC7007)

作者简介: 唐刚志 (1980-), 男, 四川德阳人, 重庆大学硕士研究生, 主要从事新能源研究, E-mail: tanggz1980@163.

com.

体之间的换热温差较大,并且从换热管管壁吸收到的热量以显热的形式储存起来;再加上换热管翅片的强化传热作用,故相变材料的温度上升很快.当温度上升到相变温度附近时,开始进入融化阶段,相变材料在相变过程中吸收大量的热并以潜热的形式储存,所以此阶段相变材料的温度随时间变化较小,曲线平坦.随着融化的继续,当融化层达到一定厚度时,由于管壁和固液界面之间的温差以及融化层液体中密度差的作用,出现了自然对流.并且随着融化层的增加,这种自然对流作用得到加强,加速了融化过程的进行.融化完毕后,由于换热温差不断减小以及自然对流效应加强,温度上升逐渐缓慢.

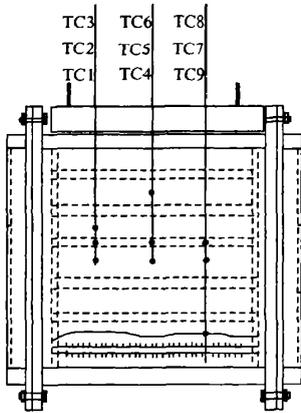


图1 针翅管相变蓄热换热器及测温点布置

Fig.1 Map of finned pipe latent heat exchanger and distribution of thermocouple

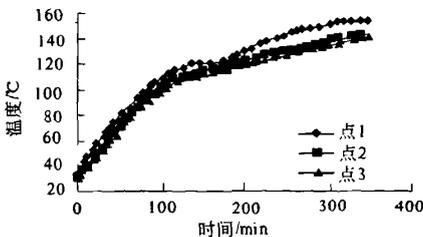


图2 加热过程中材料温度横向变化曲线
(流体入口温度 235 °C;流速 1.6 m/s)

Fig.2 Temperature curve of PCM in charge
(Flow inlet temperature: 235 °C; velocity: 1.6 m/s)

2.2 凝固过程中相变材料随时间变化规律

图3给出了取热流体入口温度为40 °C,流量为1.6 m/s条件下,蓄热器内相变材料随时间的变化规律.过程初期为显热释热阶段,再加上换热温差大,故相变材料由初始温度迅速降至相变温度.凝固开始后,相变材料在相变点附近潜热释热,所以温度曲线下降缓慢.凝固完毕后,由于换

热温差逐渐减小,故温度曲线下降较缓慢.

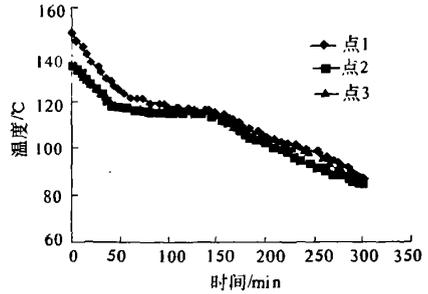


图3 放热过程中材料温度横向变化曲线
(流体入口温度 40 °C;流速 1.6 m/s)

Fig.3 Temperature curve of PCM in discharge
(Flow inlet temperature: 40 °C; velocity: 1.6 m/s)

2.3 融化、凝固过程中相变材料温度场分布规律

图2、图3反映了在工质流速和进口温度不变情况下,相变材料的温度变化规律情况,但随时间变化有一定的超前或滞后现象.由于点2比点1距离加热管近,故加热时同一时刻点2温度高于点1,放热时点2温度下降比点1迅速.另外,由于中部管束的工质流量略大于周围管束工质流量,故加热时点3温度同一时刻低于点1和点2的温度,放热时温度下降较点1和点2缓慢.在融化过程中,靠近管壁或是处在中部管束附近的点均较早到达相变温度.由于这些点相变吸收了热量,导致传输到其它点的热量少,故此时虽然其它点的温度未到达相变温度,其温度变化也缓慢.完全融化后,由于自然对流作用的加强,各点温差逐步减小并将趋于一致.凝固过程同样遵守以上规律,只是完全凝固后材料温度场依靠导热作用各点温差逐步减小.

图4、图5给出了在工质流量和进口温度不变时相变材料沿工质流动方向的温度变化规律.图中曲线表明相变材料沿工质流动方向温度变化规律一致,但存在一定的超前或滞后现象.由于加

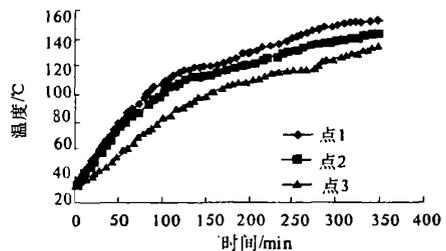


图4 加热过程中材料温度沿工质流动方向曲线
(流体入口温度 235 °C;流速 1.6 m/s)

Fig.4 Temperature curve of PCM in charge
(Flow inlet temperature: 235 °C; velocity: 1.6 m/s)

热时在流动方向加热水质不断释放热量给相变材料,使自身与相变材料之间的换热温差降低,换热能力减小,故同一时刻离加热水质入口近的点2温度高于点5和点8的温度,并且先发生相变.相变完毕后各点温差将会逐步减小.放热过程同样具有类似规律.

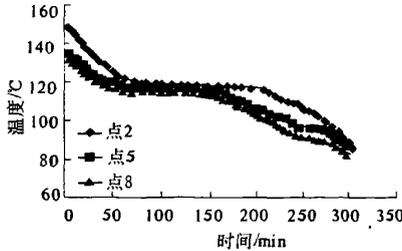


图5 放热过程中材料温度沿工质流动曲线
(流体入口温度 40 °C;流量 1.6 m/s)

Fig.5 Temperature curve of PCM in discharge
(Flow inlet temperature: 40 °C; velocity: 1.6 m/s)

2.4 流体的流量对融化、凝固过程的影响

图6给出了供热流体的流量对相变材料温度随时间变化的影响情况.图7给出了取热流体的流量对相变材料温度随时间变化的影响情况.图中表明,在实验所取的工况范围内,供、取热流体的流量对材料温度影响不是很明显.这是由于实验所采用的流速较小,属于层流区范围,由流体内部流圆管的对流换热可知,换热系数近似常数,故影响程度小.在湍流区时,换热系数将会明显增加,此时影响明显.

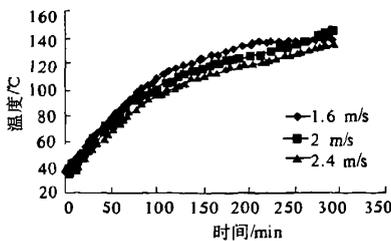


图6 供热流体不同流量下材料平均温度变化
(流体入口温度 235 °C)

Fig.6 Average temperature curve of PCM in charge
(Flow inlet temperature: 235 °C)

2.5 融化、凝固过程中能量曲线分析

图8给出了融化和凝固过程中能量随时间的变化规律.在融化过程中,相变产生前供热流体与相变材料之间换热温差大,蓄热速度快.发生相变时,虽然换热温差下降,但由于出现自然对流效应,因此蓄热速度依旧比较快.在融化后期,虽自然对流作用得到一定加强,但随着换热温差进一

步下降,因此相变材料蓄热速度逐步减小.同样,在凝固过程中,能量的释放速度也是逐步减小的.

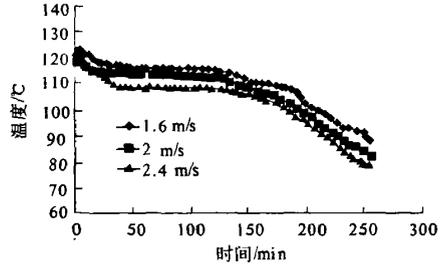


图7 取热流体不同流量下材料平均温度变化
(流体入口温度 40 °C)

Fig.7 Average temperature curve of PCM in discharge
(Flow inlet temperature: 40 °C)

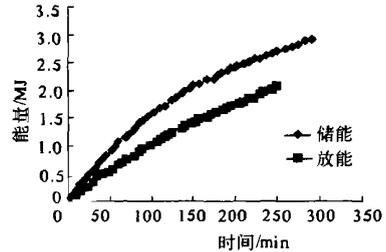


图8 储、放热过程中能量曲线
(储能—流体入口温度 235 °C;流量 1.6 m/s)
(放能—流体入口温度 40 °C;流量 1.6 m/s)

Fig.8 Energy curve in charge and discharge

3 结论

(1) 在融化、凝固过程中,相变材料温度在 120 °C 附近相变区域内变化缓慢,在换热过程前期变化较快,后期较慢,材料内部温度变化规律一致,但随时间变化均有一定的超前或滞后现象.

(2) 流体的流量主要通过影响流体与管壁的换热系数来影响换热管的换热效果,实验中层流区内影响不明显.

(3) 随着换热温差的减小,储、放热过程中能量的储存和释放速度逐步减小.

(4) 本相变蓄热换热器采用的三维针翅管强化了换热,取得了较好的换热效果,本针翅管式相变蓄热换热器能够实现能量的储存和释放功能.

(5) 实验中相变材料的相变温度在 120 °C 中温领域,通过控制工况能够丰富能量的利用方式.

参考文献:

[1] HASHAIR S M. Review on sustainable thermal storage technologies, part I: Heat storage material and techniques[J]. Energy Conver Mange, 1998, 39(1):

- 1127 - 1138.
- [2] ZEN Z K. Solar energy in progress and future research trends[J]. *Progress In Energy And Combustion Science*, 2004, 30(1):367 - 416.
- [3] SHEN X Z, ZHANG R Y. Study progress and application of phase change energy materials[J]. *Energy Conservation Technology*, 2006, 139(24):460 - 463.
- [4] EMAN - BELLAH S, METTAWE E, GHAZY M R. Thermal conductivity enhancement in a latent heat storage system[J]. *Solar Energy*, 2007, 46(15):1137 - 1149.
- [5] SARL A, KAYGUSUZ K. Thermal performance of palmitic acid as a phase change energy storage material [J]. *Energy Conversion and Management*, 2002, 43(7):863 - 876.
- [6] 彭 岚, 王裕民. 内纵翅片套管相变蓄热器的性能实验[J]. *重庆大学学报:自然科学版*, 1994, 17(5):122 - 126.
- [7] 侯欣宾, 刑玉明. 太阳能热动力发电系统吸热器换热管实验及数值模拟[J]. *太阳能学报*, 2003, 24(4):509 - 512.
- [8] BANASZEK J, DOMANSKI R, REBOW M. Experimental study of solid - liquid phase change in a spiral thermal energy storage unit[J]. *Applied Thermal Engineering*, 1999, 19(1):1253 - 1277.

Experimental Research on Heat Transfer Characteristics of fined Pipe Heat Exchanger with Latent Heat Storage

TANG Gang - zhi, LI Long - jian, CUI Wen - zhi, SHEN Bin

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Erythritol was adopted as phase change material, and outer fined pipes were used as the heat transfer component to enhance heat transfer, a set of fined pipe heat exchanger experimental equipment with latent heat storage was designed, and the experimental research into the discharging characteristics of the device was performed. The temperature distribution along with time of erythritol was presented. With the change of the working flow rate during charging and discharging process, the analysis of the effects of the working flow rate on heat transfer and the orderliness of energy verse time were carried out. The results show that the material temperature changes very slowly in phase change region with the temperature at 120 ~ C, and more quickly in prophase of the heat exchange process, but slowly in anaphase, the variety of the phase change material temperature has the same orderliness. However, it can be in advance or lagging with time; The velocity of energy stored/recovered verse time during charging and discharging process slows down. This device realized the energy stored/recovered tunction better and it offered theory foundation for the application of latent heat thermal storage technology in mid temperature fields.

Key words: latent heat thermal storage; outer fined pipe; solidification; melting; erythritol