

文章编号:1000-582X(2004)12-0042-03

颗粒型固-固相变材料堆积床蓄热与放热实验*

朱 恂,冯云鹏,李曾敏

(重庆大学工程热物理研究所,重庆 400030)

摘 要:对季戊四醇的固体颗粒堆积床相变蓄热和放热特性进行了实验研究。实验结果表明:在开始加热时,空气进口段堆积床的温度上升比较快,随着蓄热的进行,温度升高减慢;当季戊四醇的温度达到相变温度时,出口温度基本保持不变。当开始放热时,堆积床进口处蓄热材料的温度下降较剧烈,后段温度下降很缓慢。随着时间的增加,蓄热床内各点的温度均下降,并出现中段温度高、两侧温度低的现象。在实验中观察到明显的升华现象。

关键词:固-固相变材料;蓄热;放热;实验

中图分类号:TK124

文献标识码:A

多元醇由于具有较宽的固-固相变范围、相变时无液相产生、体积变化小、无毒无腐蚀;而且对容器材料和技术条件要求不高,其相变潜热与固-液相变在同一数量级,使用寿命长,热效率高等优点受到重视。常用的多元醇有PE(季戊四醇, Pentaerythritol, $C_5H_{12}O_4$)、PG(三羟甲基乙烷, Pentaglycerine, $C_5H_{12}O_3$)。目前对多元醇固-固相变特性的研究工作一般集中于其相变机理和物性参数测量等方面^[1-3],对于多元醇固-固相变蓄热器性能的实验研究和工程应用等方面的工作还进行得非常有限^[4-6]。由于季戊四醇相对三羟甲基乙烷具有蓄热量大、价格低廉和易于购买等优点,文中将针对季戊四醇固体颗粒堆积床固-固相变蓄热和放热特性以及加热温度对堆积床流动阻力的影响进行实验研究,为固体颗粒堆积床固-固相变蓄热器的工程应用提供依据。

1 实验装置与实验方法

图1为固体颗粒堆积床固-固相变蓄、放热性能实验装置简图。堆积床蓄、放热实验装置系统主要由压缩机、流量计、加热段、均流段、蓄热段和排气段组成。为了减小实验系统的散热损失,整个实验装置外层均包裹数层玻纤棉绝热材料(50 mm厚),之外采用铝箔纸包装。实验分2个阶段进行:蓄热阶段和放热阶段。实验中以空气为传热工质,采用空气压缩机作为空气的动力装置。在蓄热实验时,始终保持空气流量在 $5\text{ m}^3/\text{h}$,利用电加热器为空气加热(加热器的加热功率由调压器调节),在方形加热段中插入6根150 W

的电加热器对空气加热。加热后的空气在进蓄热段前先经均流段内的均流板均流均温,然后进入蓄热段将热量传给蓄热材料,进行蓄热。当蓄热材料的温度达到相变温度以上时,关闭电加热器,通入冷风,进行放热实验。

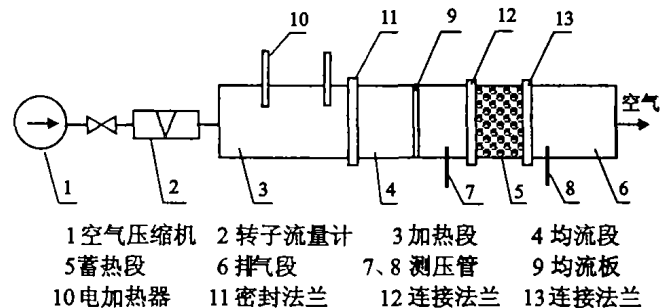


图1 固体颗粒堆积床相变蓄热实验装置简图

季戊四醇固体相变颗粒材料采用特殊成型工艺制成,直径为5 mm、高为5 mm。经测量实验段中固体相变颗粒堆积床的孔隙率为0.45。蓄热段主要用于存放颗粒状季戊四醇相变材料,采用内径为 $\phi 150\text{ mm}$ 长度为50 mm的空心圆管,因在实验中要测量蓄热颗粒堆积床内的温度分布情况,所以在蓄热段管壁每隔10 mm开有测温孔,插入 $\phi 0.2\text{ mm}$ 的铜-康铜热电偶测量相变材料的轴向温度分布及随时间的变化规律。为了测量流体流经蓄热段的压力损失,在均流段和排气段靠近蓄热段处开有测压管,采用倾斜式微压计测量空气流经堆积床的压力损失。空气的体积流量由转子流量计测量,蓄热段空气进、出口温度分别由安装在蓄热段进、出口处的 $\phi 0.2\text{ mm}$ 铜-康铜热电偶测量。

* 收稿日期:2004-07-16

基金项目:重庆大学骨干教师资助计划项目

作者简介:朱恂(1968-),女,江苏无锡人,重庆大学博士,副教授,主要从事工程热物理领域内传热传质研究。

温度测量数据由多点 HP 数据采集系统采集和处理。

2 实验结果与分析

2.1 流动阻力特性

蓄热实验中,保持空气流量 $5 \text{ m}^3/\text{h}$,调节电加热器功率,测量不同进口温度下的蓄热段压力损失,结果见表 1。

表 1 空气流经堆积床的压力损失

$T/\text{℃}$	30	135	160
$\Delta P/\text{Pa}$	2	9	29

由实验结果可以看出,在工质流量一定的条件下,随着空气进口温度的增加,压力损失也增加。这主要是因为随着空气进口温度的增加,空气的密度随之减小,空气的流速相应增大;同时随着空气温度的增加,空气的粘性系数要增大,根据多孔介质流动理论可证明其压力损失 ΔP 要增大。

2.2 固体颗粒堆积床固-固相变蓄热器蓄热特性

图 2~图 4 是时间连续的 3 张图。由图中可看出:开始加热时,空气进口温度上升比较快,空气与蓄热材料的传热温差较大,这在一定方面补偿了季戊四醇导热系数小的缺点。此时,蓄热段进口处季戊四醇温度升高较快,出口处温度升高较慢,但各点温差是逐渐减小的。这是因为由于进口空气温度升高很快,它与进口处蓄热材料的温差也随之增大,温差增大提供了比较大的传热驱动力,传热加强,所以进口处季戊四醇温度升高较快。随着实验的进行,堆积床后段的蓄热材料温度升高,空气与蓄热材料间的传热温差减小,传热减弱。随轴向距离的增大,季戊四醇的温度升高较慢,各时间阶段的温差逐渐减小。随着加热的进行,进口处季戊四醇与进口空气的温差逐渐减小,传热能力也减弱,它的温度升高也减慢。在进口温度达到 160 ℃ 时,堆积床内各段之间的温差几乎相同。此时,温差保持不变。这表明各段之间的传热能力相同,各段的温度的上升比较均匀。

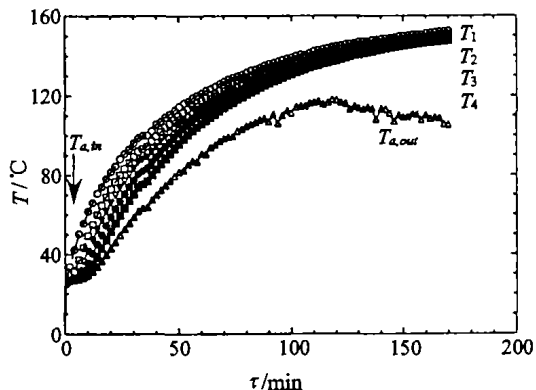


图 2 蓄热过程中截积床内温度分布和空气进、出口温度(0~170 min)

在实验中观察发现,当各段温度达到 160 ℃ 后,温度上升得较缓慢,因为这时堆积床有些温度高的地方已经有部分蓄热材料已开始相变,需要较大的热量,所

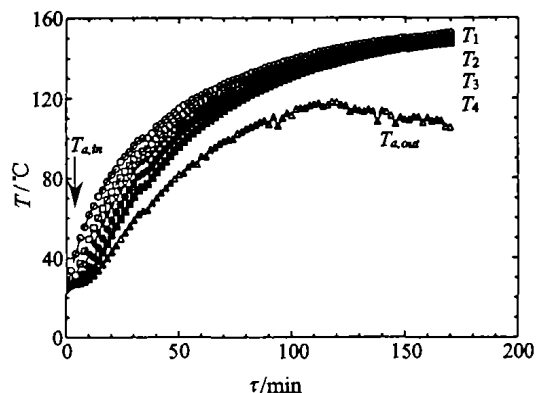


图 3 蓄热过程中截积床内温度分布和空气进、出口温度(170~225 min)

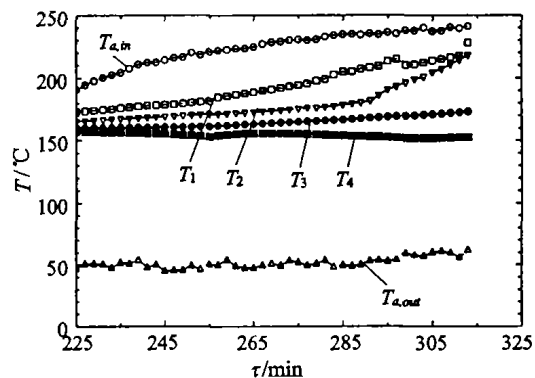


图 4 蓄热过程中截积床内温度分布和空气进、出口温度(225~315 min)

以温度上升很缓慢。而当温度上升到 185 ℃ 以上后,由于堆积床前段相变已经完成,所以其温度上升又加快。在进口温度达到 200 ℃ 以上时,进口处蓄热材料温度达到相变温度 188 ℃ 。堆积床后段的季戊四醇的温度由于还在 160 ℃ 左右,所以温度上升得比较缓慢。但出口处温度已开始下降。这表明季戊四醇达到相变温度时开始大量蓄热,空气的热量已经大量蓄集于季戊四醇中,空气温度也下降了。当进口空气温度达到 230 ℃ 时,季戊四醇的温度基本达到相变温度 188 ℃ ,温度分布比较均匀,出口温度也基本保持不变。这表明季戊四醇的晶格转变已基本完成。

2.3 固体颗粒堆积床固-固相变蓄热器放热特性

放热实验中,空气流量仍保持 $5 \text{ m}^3/\text{h}$,停止电加热器的加热,测量蓄热材料的温度变化。堆积床内温度随时间的变化见图 5。从图中可看出,开始放热时,进口冷空气先与进口处蓄热材料发生热交换,所以堆积床进口处蓄热材料的温度下降梯度较大;而堆积床后段的季戊四醇温度下降得很缓慢,几乎保持不变。随着时间的增加,蓄热床内各点的温度均在下降。并出现中段温度高,两侧温度低的现象,推测是由于前后两侧固体相变颗粒对气体和通道的辐射增大了换热所致。而出口温度在放热开始阶段,温度较高,在 70 ℃ 左右,并且温度下降得也较快,随放热时间的增加,出口温度降低到 65 ℃ 左右,大约保持了 20 min 。之后,出口温度持续下降,在 $40 \sim 50 \text{ ℃}$ 间保持了 1 h 左右,最后,当蓄热材料将蓄热量全部放完之后,出口温度降

为室温这需要4 h。放热实验数据表明,季戊四醇的蓄热量相当高,放热时间持久,热阻也较大。同时在实验中观察到明显的升华现象,实验完成后,发现有部分蓄热材料已经损失,因此解决固-固相变材料的升华问题是决定固-固相变材料蓄热器能否在工程中得到推广应用的关键问题之一。

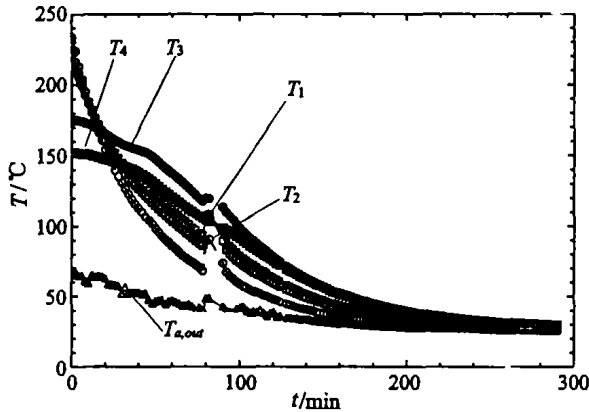


图5 放热过程中堆积床内温度分布和空气进、出口温度

3 结论

对季戊四醇的固体颗粒堆积床相变蓄热和放热特性进行了实验研究,得到以下结论:

1) 在蓄热过程中,开始加热时空气进口段堆积床的温度上升比较快,空气与蓄热材料的传热温差较大。随着蓄热的进行,堆积床后段的蓄热材料温度升高,进口处季戊四醇与进口空气的温差逐渐减小,温度升高减慢。当堆积床内季戊四醇的温度基本达到相变温度

时,温度分布比较均匀,出口温度也基本保持不变。

2) 当开始放热时,堆积床进口处蓄热材料的温度下降梯度较大,堆积床后段的季戊四醇温度下降很缓慢。随着时间的增加,蓄热床内各点的温度均在下降,并出现中段温度高,两侧温度低的现象。

3) 在实验中观察到明显的升华现象,实验完成后,部分蓄热材料已经损失,解决固-固相变材料的升华问题是决定固-固相变材料蓄热器能否在工程中得到推广应用的关键问题之一。

参考文献:

- [1] 刘玲,叶红卫. 国内外蓄热材料发展概况[J]. 石化技术与应用, 1998, 16(3):168-171.
- [2] 阮德水,张太平,张道圣,等. 相变贮热材料的DSC研究[J]. 太阳能学报, 1994, 15(1):19-24.
- [3] 王晓伍,吕恩荣. 太阳能固-固相变蓄热[J]. 新能源, 1996, 18(8):9-13.
- [4] SALYER I O, SIRCAR A K. A Review of Phase Change Material Research for Thermal Energy Storage in Heating and Cooling Applications at the University of Dayton from 1982 to 1996[J]. Int. Journal of Global Energy Issues, 1997, 9: 183-198.
- [5] CHANG H S, MOREHOUSE J H. An Experimental Investigation of Solid-state Phase-change Materials for Thermal Storage[J]. J Solar Energy Eng Trans of ASME, 1991, 113: 224-249.
- [6] 阮德水,李德华. 多元醇二元体系固-固相变蓄热研究[J]. 太阳能学报. 1995, 2(4):131-137.

Experimental Investigations for Thermal Storage and Rejection of Solid-solid Phase-Change Materials in the Packing Bed

ZHU Xun, FENG Yun-peng, LI Zeng-min

(Institute of Engineering Thermophysics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The authors conduct the experimental investigations for the heat-stored and heat-rejected behaviors of Pentaerythritol solid-solid phase-change particles in the packed bed. The experimental results show that at the beginning of heating, the temperature at the inlet of packed bed goes up quickly. But the rise of the temperature slows down along with the process of heat-stored. When the temperature of Pentaerythritol reaches to its phase-change temperature, the outlet temperature keeps almost constant. As the heat-rejected process begins, the temperature of the heat-stored materials decreases sharply at the inlet of packed bed, and drops very slowly at the posterior section of packed bed. The temperature of each spot in packed bed drops with increasing time, and besides, the temperature in the middle section is high and is low at the two sides of the test section. It spends nearly 4 hours to reject well all the thermal storage in the packed bed. In experiments, the sublimation phenomena can be obviously observed. After experiments, a portion of the heat-stored material has been lost.

Key words: solid-solid phase-change materials; heat-stored; heat-rejected; experimental investigations