文章编号:0253 - 4339(2014) 01 - 0109 - 05
doi:10. 3969/j. issn. 0253 - 4339. 2014. 01. 109

直接吸收式太阳能集热纳米流体辐射特性实验研究

何钦波[1,2]　汪双凤[2]　曾社铨[2]　郑兆志[1]

(1 顺德职业技术学院广东高校热泵工程技术开发中心　佛山　528300;
2 华南理工大学传热强化与过程节能教育部重点实验室　广州　510641)

摘　要　采用两步法配制了 Cu-H_2O、Co-H_2O、MWCNT-H_2O 三种纳米流体,利用紫外-可见-近红外分光光度计结合积分球原理测试了不同粒径、不同质量分数、不同光程的上述纳米流体在太阳能全波段(250nm < λ <2500nm)的透射率。结果表明,三种纳米流体的透射率都要比水的小,并且纳米流体的透射率随着粒径的增大以及质量分数的增加而降低,随着光程的减小而增大。在相同质量分数条件下,MWCNT-H_2O 透射率最小,在 250 ~ 775nm 波段,Co-H_2O 的透射率要高于 Cu-H_2O 的,而在 775 ~ 1370nm 波段, Co-H_2O 的透射率要低于 Cu-H_2O 的,表明不同粒子在不同波段具有不同的光吸收性能。

关键词　纳米流体;太阳能;辐射;透射率
中图分类号:TK121;TB383　　**文献标识码**:A

Experimental Investigation on Radiation Characteristic of Nanofluids for Direct Absorption Solar Thermal Energy Systems

He Qinbo[1,2]　Wang Shuangfeng[2]　Zeng Shequan[2]　Zheng Zhaozhi[1]

(1. Guangdong University Heat Pump Engineering Technology Development Center, Shunde Polytechnic, Foshan, 528333, China; 2. Key Lab of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, the Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou, 510641, China)

Abstract　In this article, Cu-H_2O, Co-H_2O, MWCNT-H_2O nanofluids were prepared through two-step method. The transmittance of nanofluids over solar spectrum (250 to 2500nm) was measured by the UV-Vis-NIR spectrophotometer based on integrating sphere principle. The factors of various particle size, mass fraction and optical path influencing transmittance of nanofluids were investigated. The experimental results show that the transmittance of the three nanofluids is much less than that of deionized water. The transmittance decreased with the nanoparticle size and mass fraction increasing, but increased with the optical path length reducing. With the same mass fraction, the transmittance of MWCNT-H_2O nanofluids is the minimum. The transmittance of Co-H_2O nanofluids is higher than that of Cu-H_2O during 250 ~ 775nm wavelength, while inverse during 775 ~ 1370nm wavelength. It indicates that different particle has diverse light absorption properties during different wavelength.

Keywords　nanofluids; solar energy; radiation; transmittance

太阳能作为一种蕴藏着巨大能量的可再生清洁能源,资源十分丰富,既可免费使用又无需运输。太阳能的利用和转换方式有光-热转换,光-电转换,光-化学转换[1-3]。太阳能热利用是太阳能利用的基本方式之一。传统的太阳能集热器为平板型和真空管式集热器,这两类集热器都属于间接吸收式集热器,太阳辐射在通过选择性涂层吸收并转化为热量后,还必须通过涂层涂覆的金属板或玻璃管壁的导热才能传递至工作介质,这种非直接的吸收过程大大影响了集热器效率的提高,另外在常规集热器中,最高温度点出现在吸热表面,这导致了系统的散热损失增加。所以一些研究者提出了直接吸收式太阳能集热器[4],集热器中的工作流体直接吸收太阳能,有利于减少热损失,提高热效率。按照集热介质的不同,目前用于直接吸收式太阳能集热系统的集热介质主要有黑色液体[4]、气-固[5]或液-固悬浮体系[6]、熔盐[7]及其三者的相互混合物。集热介质是直接吸收式太阳能集热系统的关键,集热介质对太阳辐射吸收性能的好坏决定了整个集热系统的优劣。上述 3 种集热介质虽然在提高集热器效率方面有较好的效果,但均存在较多的不足,目前应用受到了一定的限制。

随着纳米材料技术的不断发展,为太阳能集热材

收稿日期:2013 年 1 月 19 日

料的研究提供了强有力的支持,由于纳米颗粒的小尺寸效应、量子效应、大比表面积效应以及界面原子排列和键组态的无规则特性使得纳米微粒的光学特性有了较大的变化,具有特殊的光吸收性质[8]。考虑到纳米颗粒优异的光吸收性能和纳米流体良好的热输运性能[9],已有研究者提出将纳米流体用作直接吸收式太阳集热器的循环工质[10-14],利用纳米流体直接吸收太阳辐射能,以达到提高集热器热效率的目的。

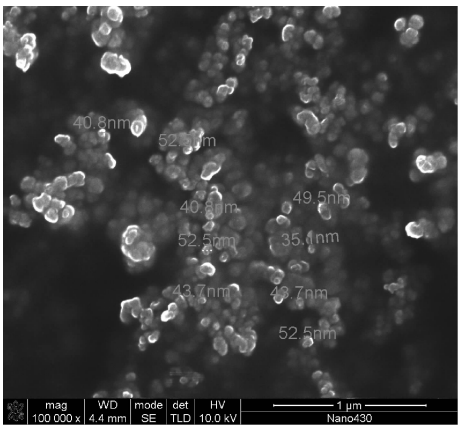


图 1 平均粒径为 50nm Co SEM 图像

Fig. 1 SEM micrograph of Co nanoparticles (mean size:50nm)

纳米流体的辐射特性研究对其作为太阳能集热介质有重要的意义,目前对纳米流体导热系数及粘度研究比较多,而其辐射特性研究尚少,透射率是纳米流体辐射特性的重要参数之一,纳米流体的透射率受纳米颗粒粒径、体积分数、光程、pH 值、分散剂以及磁场等因素的影响[15-17]。

不同的基液会导致纳米流体的粘度大小不同,有学者[11]以乙二醇为基液,主要是考虑北方冬天流体防冻的问题,但由于乙二醇粘性比水大,会导致纳米流体较高的粘度,从而增加了流动阻力,提高了泵的功耗。这里以去离子水为基液,主要考虑在南方使用,水基纳米流体具有相对较低的粘度,且不用担心流体结冰的问题。实验中配制了 Cu-H_2O、Co-H_2O、MWCNT-H_2O 纳米流体,研究了不同粒径、不同质量分数以及不同光程下对太阳能全波段($250nm < \lambda < 2500nm$)的透射率,分析影响纳米流体透射率的因素,探讨纳米流体运用于直接吸收式太阳能集热器的可行性。

1 实验部分

1.1 纳米流体配制

实验采用两步法制备纳米流体,实验中的纳米

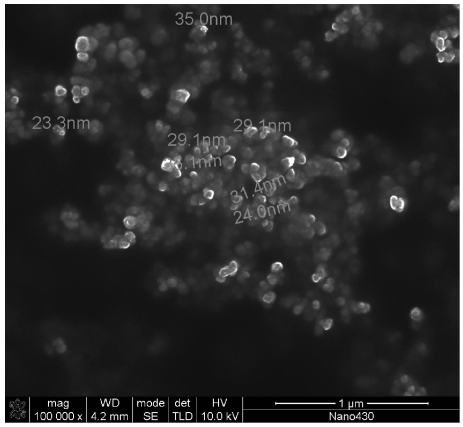


图 2 平均粒径为 30nm Co SEM 图像

Fig. 2 SEM micrograph of Co nanoparticles (mean size:30nm)

铜、多壁碳纳米管为上海超威纳米科技有限公司提供,首先称取一定量的纳米粉体,将其与去离子水混合,然后添加一定量的分散剂(实验选用十二烷基苯磺酸钠为分散剂),使用 HCl 和 NaOH 溶液调节悬浮液 pH = 8.5,经磁力搅拌器搅拌 30min 后,形成纳米粒子悬浮液,再经超声振动 40min 后形成纳米流体。

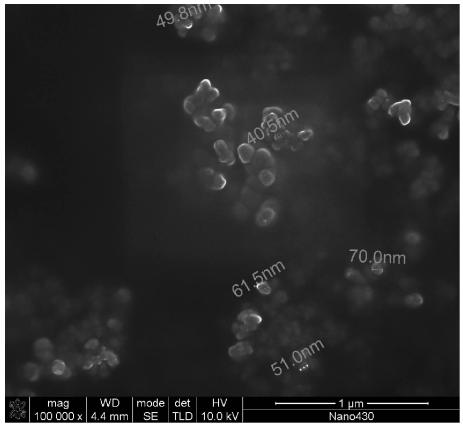


图 3 平均粒径为 50nm Cu SEM 图像

Fig. 3 SEM micrograph of Cu nanoparticles (mean size:50nm)

实验中 pH 值采用 PHS-25 精密 pH 计测试,超声清洗器为 KQ2200DE。图 1 ~ 图 4 分别是纳米钴(平均粒径为 50nm 和 30nm)、铜(平均粒径为 50nm)的 SEM 图像以及多壁碳纳米管(平均直径 40nm,长度小于 2 μm)TEM 图像,铜和钴形状为近球形。

1.2 透射率测试

为了研究纳米流体的辐射特性,实验采用紫外-可见-近红外分光光度计(美国 PERKINELMER 公司 Lambda950)测量其透射率,由于纳米颗粒在液体中存在光散射现象[18],部分透射光不是垂直样品池射出溶液,而是有一定角度,这部分偏射光不能被光电

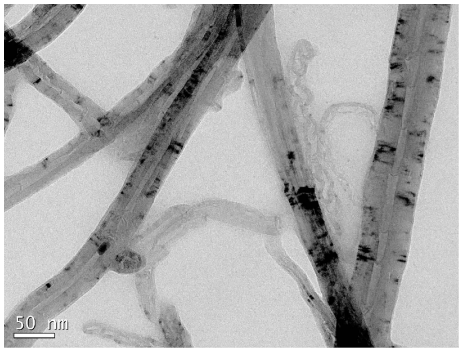


图 4 直径 40nm 多壁碳纳米管 TEM 图像

Fig. 4 TEM micrograph of MWCNT(diameter:40nm)

管接收,造成测得的透射率比实际的要小。为了减少测试误差,采用积分球法采集透射光信号,积分球包覆了样品池的透射面,使偏射光也能全部被光电管接收。实验主要采用对比法,研究粒子属性、粒径大小、质量分数、光程对纳米流体透射率的影响。

2 实验结果与分析

2.1 质量分数对透射率的影响

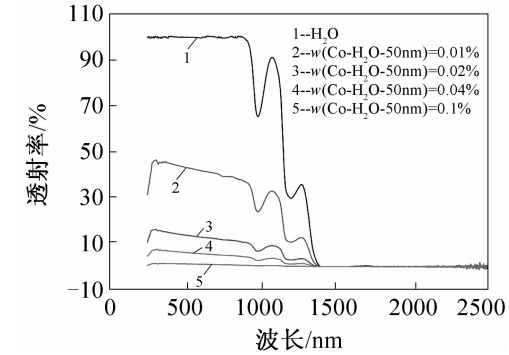


图 5 不同质量分数 Co-H_2O 纳米流体的透射率

Fig. 5 Transmittance spectra of Co-H_2O nanofluids with different nanoparticle mass fraction

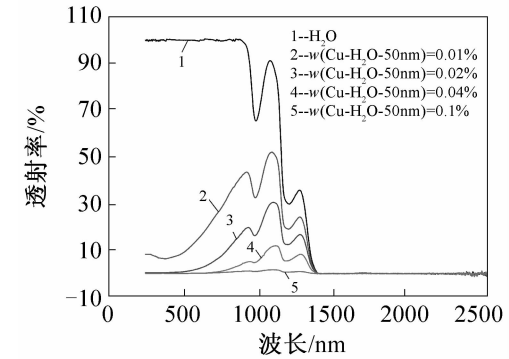


图 6 不同质量分数 Cu-H_2O 纳米流体的透射率

Fig. 6 Transmittance spectra of Cu-H_2O nanofluids with different nanoparticle mass fraction

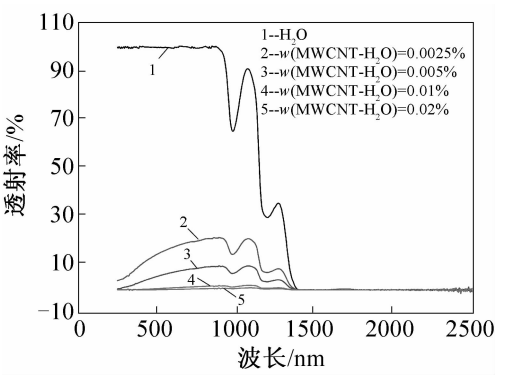


图 7 不同质量分数 MWCNT-H_2O 纳米流体的透射率

Fig. 7 Transmittance spectra of MWCNT-H_2O nanofluids with different nanoparticle mass fraction

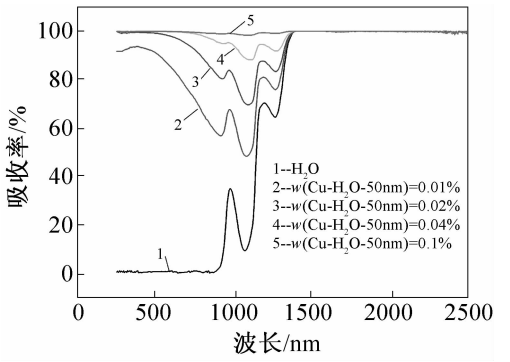


图 8 不同质量分数的 Cu-H_2O 纳米流体吸收率

Fig. 8 Absorptance spectra of Cu-H_2O nanofluids with different nanoparticle mass fraction

图 5 ~ 图 7 分别为 Co-H_2O, Cu-H_2O, MWCNT-H_2O 纳米流体在不同质量分数下透射率随波长的变化曲线。从三个图中可以看出,在波长 1370 ~ 2500nm 范围内,水和三种纳米流体的透射率都为 0,也就是说在近红外光谱范围内都具有很好的吸收性能。而在 250 ~ 1370nm 范围内,三种纳米流体的透射率明显低于水的透射率。图 8 为 Cu-H_2O 纳米流体近似计算得到的吸收率随波长的变化(计算时反射光的影响可以从参比中消除),从图中可以看出在太阳能全波段范围内,添加纳米粒子后具有优于水的光吸收性能,这对于纳米流体作为直接吸收式太阳能集热材料尤为重要。随着纳米粒子质量分数的增加,透射率逐渐降低,因为随着粒子浓度的增大,粒子数增加导致对光的散射和吸收也逐渐增强。

2.2 粒径对透射率的影响

图 9 是不同粒径的 Co-H_2O 纳米流体的透射率,从图中可以看出,在 1370 ~ 2500nm 波段,两种粒径的纳米流体透射率都为 0,说明粒径在这一波段内对光的吸收基本无影响。由有效介质理论可知,纳米流

体的吸收系数和粒子的体积分数有关,和粒子大小无关,所以相同体积分数的不同粒径的纳米流体有效吸收系数基本相同,对应的纳米流体的吸收率也基本相同,而图 9 中在 250 ~ 1370nm 波段内有着明显的差异,这种差异主要是由粒子的散射引起的。由 Mie 理论[18]可知,随着颗粒粒径的增大,散射作用将加强,有部分光向前散射,导致透射率减小,而且颗粒对短波长光的散射比长波长光强烈[19],所以 50nmCo-H_2O 纳米流体的透射率要明显小于 30nmCo-H_2O 纳米流体的透射率。

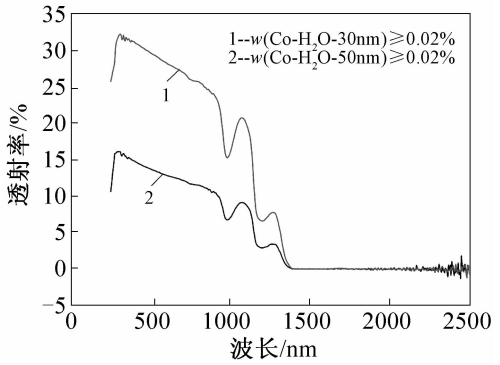


图 9 不同粒径 Co-H_2O 纳米流体的透射率
(质量分数为 0.02%)

Fig. 9 Transmittance spectra of Co-H_2O nanofliuds with different nanoparticle size(0.02%)

2.3 粒子属性对透射率的影响

图 10 为不同纳米粒子所形成的纳米流体透射率,质量分数都为 0.02%,从图中可以看出 MWCNT-H_2O 纳米流体的透射率几乎为 0,对于 Co-H_2O 和 Cu-H_2O 纳米流体,在 250 ~ 775nm 波段,Co-H_2O 的透射率要高于 Cu-H_2O 的,而在 775nm ~ 1370nm 波段,Co-H_2O 的透射率要低于 Cu-H_2O 的。说明不同粒子在不同波段具有不同的光吸收性能。

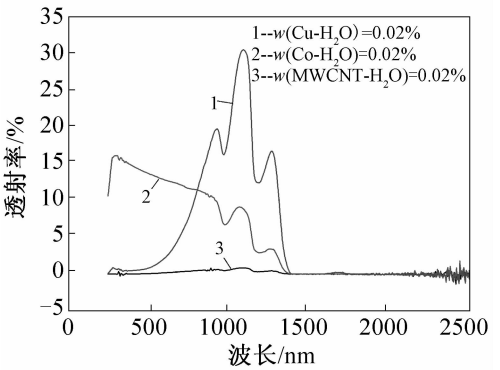


图 10 不同粒子纳米流体的透射率
(Co:50nm;Cu:50nm;MWCNT:40nm;0.02%)

Fig. 10 Transmittance spectra of nanofliuds with different nanoparticle
(Co:50nm;Cu:50nm;MWCNT:40nm;0.02%)

2.4 光程对透射率的影响

实验采用了 5mm 和 10mm 厚的两种比色皿进行透射率测试,从图 11 中可以看出光程越小,透射率越大,原因是光程减小,光在介质中传递的距离就减小,遇到的散射粒子也越少,光强衰减减小,故透射率增加,这与朗伯-比尔定律是一致的。在 250 ~ 1370nm 波段,光程对透射率曲线的形状基本没影响,只是大小不一样,而在 1370nm ~ 2000nm 波段间,5mm 光程时又出现了一个曲线峰。

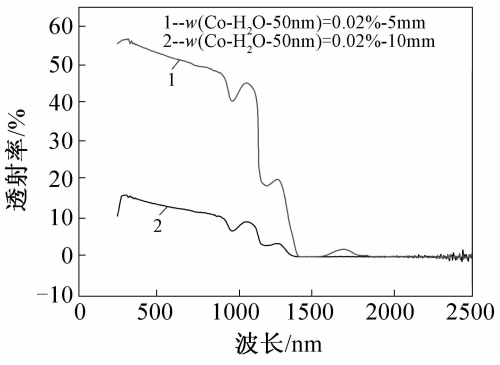


图 11 光程对透射率的影响图

Fig. 11 Transmittance spectra of Co-H_2O nanofliuds with different optical path

3 结语

在水中添加纳米粒子改变了水的太阳能光谱吸收特性,粒子的优异光吸收性能使得纳米流体的透射率在 250 ~ 1370nm 波段大大低于水的透射率。纳米流体的透射率受粒子的粒径、属性、质量分数、光程的影响,透射率随着粒径的增大而减小,同时纳米流体质量分数越大,透射率越低。在质量分数为 0.02% 时,MWCNT-H_2O 纳米流体的在整个太阳光谱范围内透射率最小,接近为 0,对于 Co-H_2O 和 Cu-H_2O 纳米流体,在 250 ~ 775nm 波段,Co-H_2O 的透射率要高于 Cu-H_2O 的,而在 775nm ~ 1370nm 波段,Co-H_2O 的透射率要低于 Cu-H_2O 的。说明不同粒子在不同波段具有不同的光吸收性能。纳米流体有望在直接吸收式太阳能集热器中得到运用。

参考文献

[1] McGovern R K, Smith W J. Optimal concentration and temperatures of solar thermal power plants[J]. Energy Conversion and Management, 2012, 60: 226-232.

[2] Yang L, Xuan Y, Han Y, et al. Investigation on the performance enhancement of silicon solar cells with an assembly grating structure[J]. Energy Conversion and Manage-

ment, 2012,54(1): 30-37.

[3] Groot H J M. Integration of Catalysis with Storage for the Design of Multi-Electron Photochemistry Devices for Solar Fuel[J]. Applied Magnetic Resonance, 2009,37(1/2/3/4): 497-503.

[4] Minardi J E, Chuang H N. Performance of a black liquid flat-plate solar collector[J]. Solar Energy, 1975, 17(3): 179-183.

[5] Abdelrahman M, FumeauxP, SuterP. Study of solid-Gas-Suspensions Uesed for Direct Absorption of Concentrated Solar Radiation[J]. SolarEnergy,1979, 22(1):45-48.

[6] DrotningWD. Optical Properties of Solar-Absorbing Oxide Particles Suspended In a Molten salt Heat Transfer Fluid [J]. Solar Energy,1978,20(4):313-319.

[7] Z Wang, G F Naterer, K S Gabriel, et al. Thermal design of a solar hydrogen plant with a copper-chlorine cycle and molten salt energy storage[J]. Int J Hydrogen Energy, 2011, 36(17):11258-11272.

[8] K Lance Kelly, Eduardo Coronado, Lin Lin Zhao , et al. The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment[J]. J. Phys. Chem. B,2003,107(3): 668-677.

[9] Xie H, Wang J, Xi T, et al. Thermal conductivity of suspensions containing nanosized SiC particles[J]. Int. J. Thermophys, 2002, 23(2):571-580.

[10] D Han, Z Meng, D Wu, et al. Thermal properties of carbon black aqueous nanofluids for solar absorption[J]. Nanoscale Res Lett, 2011,6:457.

[11] 毛凌波,张仁元,柯秀芳,等.纳米流体太阳集热器的光热性能研究[J].太阳能学报,2009,30 (12):1647-1652.(Mao Lingbo, Zhang Renyuan, Ke Xiufang, et al. Photo thermal properties of nanofluid-based solar collector [J]. Acta Energiae Solaris Sinica,2009,30 (12):1647-1652.)

[12] T Yousefi, E Shojaeizadeh, F Veysi, et al. An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT-H_2O nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector[J]. Solar Energy,2012,86(2):771-779.

[13] L Lu, Z H Liu, H S Xiao. Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors[J]. Solar Energy,2011, 85(2):379-387.

[14] T P Otanicar, P E Phelan, J S Golden. Optical properties of liquids for direct absorption solar thermal energy systems [J]. Solar Energy, 2009,83(7):969-977.

[15] L Mercatelli, E Sani, D Fontani, et al. Scattering and absorption properties of carbon nanohorn-based nanofluids for solar energy applications[J]. Journal of the European Optical Society: Rapid Publications,2011, 6:11025-1-11025-5.

[16] 王辉,骆仲泱,蔡洁聪,等.SiO_2纳米流体透射率影响因素实验研究[J].浙江大学学报(工学版), 2010, 44(6):1144-1148. (Wang Hui, Luo Zhongyang, Cai Jiecong, et al. Experimental study of influencing factors on transmissivity of SiO_2 nanofluids[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2010, 44(6): 1144-1148.)

[17] 方晓鹏,宣益民,李强.外磁场作用下磁流体薄层的光学特性研究[J].工程热物理学报,2009,30(8):1386-1388.(Fang Xiaopeng, Xuan Yimin, Li Qiang. Investigation on the optical characteristic of magnetic fluid film in the presence of an external magnetic field[J]. Journal of engineering thermophsics, 2009,30(8):1386-1388.)

[18] Wiscombe, W J. Improved Mie scattering algorithms[J]. Applied optics, 1980, 19(9):1505-1509.

[19] C F Bohren, D R Huffman. Absorption and Scattering of Light by Small Particles[M]. New York:Wiley, 1998.

作者简介

何钦波,男(1980 -),硕士,副教授,顺德职业技术学院机电工程系,0757 - 22329942, E-mail: heqinbook@ sina. com。研究方向:纳米储能材料及强化传热研究。

About the author

He Qinbo(1980 -), male, master, associate professor, Department of Mechanical and Electrical Engineering, Shunde Polytechnic, 0757 - 22329942, E-mail: heqinbook@ sina. com. Research fields: exploitation of Nano PCM and Enhanced heat transfer research.