

# SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管传热性能 试验研究

陆鑫, 杨峻\*

(南京工业大学机械与动力工程学院, 江苏南京211816)

**摘要:**采用超声波细胞破碎仪制备了不同质量分数的 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体,并以 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体为工质在碳钢重力热管中进行了传热性能试验研究。结果表明,工质为质量分数 1% SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体的重力热管总传热系数比去离子水高 5.6%~9.6%,传热性能增强。纳米流体热管平稳运行时,管壁温度低,分布平缓。以质量分数 1% 的 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体为工质的重力热管换热器,总换热系数较普通水工质热管换热器提高 1.63%~1.70%。

**关键词:**重力热管;SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体;传热特性

中图分类号:TK124

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)11-0145-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2015.11.036

## Heat transfer characteristics of SiO<sub>2</sub>-DW nanofluid gravity heat pipe

LU Xin, YANG Jun\*

(College of mechanical and power engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

**Abstract:** Different mass fraction of SiO<sub>2</sub>-water nanofluids are prepared by ultrasonic cell disrupter. The type of gravity heat pipe is prepared and investigated using the nanofluid as the work liquid and the carbon steel pipe as material. The results show that the thermal conductivity of the 1wt% SiO<sub>2</sub>-water nanofluid is 5.6%~9.6% higher than that of the base fluid water. The wall temperature of gravity heat pipe is lower and more gently. The total heat transfer coefficient of gas-gas heat pipe exchanger improves 1.63~1.70% with 1wt% SiO<sub>2</sub>-water in comparison with water.

**Key words:** gravity heat pipe; SiO<sub>2</sub>-water nanofluid; heat transfer characteristics

重力热管和普通热管相比,结构简单、制造方便、成本低廉,而且传热性能优良,工作可靠,因此在余热回收<sup>[1-3]</sup>、空调制冷<sup>[4-5]</sup>、电子设备散热<sup>[6]</sup>等传热装置中得到广泛应用。但随着科技迅速发展、全球能源紧缺,重力热管的传热性能也需寻求更大的突破。纳米颗粒因其具有较高的表面能和很大的比表面积,以及比液体高得多的比热容等因素<sup>[7]</sup>,逐渐被引入到换热领域,用来强化热管换热效果,并已有显著发现。郭广亮等<sup>[8]</sup>用质量分数为 2% 的纳米悬浮液代替水后,热管蒸发段性能大幅提高,临界热通量最高提高了 120%。Firouzfard 等<sup>[9]</sup>将银-甲醇作为工作液用于空调系统的新风冷却可节能 8.8%~31.5%,用于再热可节能 18%~100%。Noie 等<sup>[10]</sup>将 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纳米颗粒添加到纯水中作为热管的工作液,体积分数控制在 1%~3%。研究表明,采用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 两相闭式热虹吸热管与纯水相比,热效率提高了 14.7%,蒸发段与冷凝段间的温差小于纯水,表明添加纳米颗粒工作液替代纯水有很大的潜力。

试验采用 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体代替去离子水为工质,对重力热管进行传热性能试验研究,考察不同质量分数的纳米流体重力热管与 DW 热管对总传热系数和壁面温度的影响,选出热管传热性能最佳时的纳米浓度。以纳米流体热管代替 DW 热管,放入气-气热管换热器中,对比两者的传热性能。

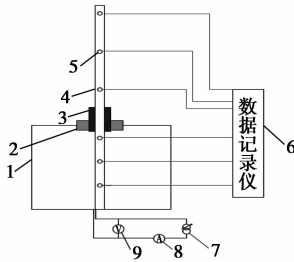
### 1 单管试验

为了选择热管传热性能最佳时的纳米流体浓度,在单管实验时,每个不同质量分数的纳米流体热管各选择 3 根与 DW 热管的传热性能进行对比。

#### 1.1 试验装置与方法

试验装置如图 1 所示,重力热管采用碳钢加工制作而成,热管外径为  $\Phi 25$  mm,壁厚 1 mm,蒸发段、绝热段、冷凝段长度分别为 500、200、550 mm。在蒸发段、冷凝段管壁布置了 K 型热电偶,热电偶的轴向位置如图 2 所示。蒸发段采用电加热炉加热,冷凝段采用空气自然对流冷却。

本实验采用的 SiO<sub>2</sub> 纳米颗粒平均粒径为



1—圆筒炉;2—耐火砖;3—保温装置;4—重力热管;5—热电偶;  
6—数据记录仪;7—调压器;8—电流表;9—电压表

图 1 试验装置示意图

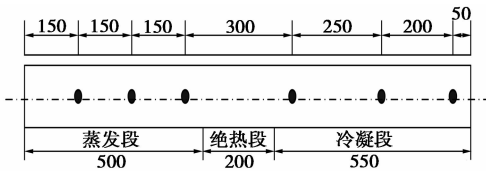


图 2 热电偶分布图

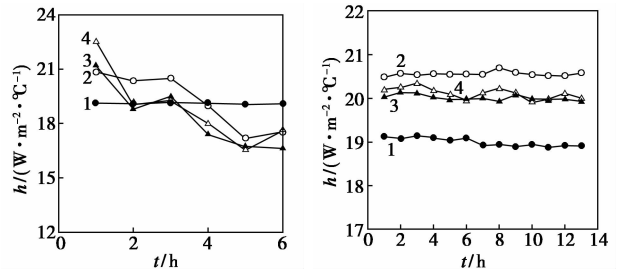
30 nm, 制备质量分数为 0.5%、1%、2% 的纳米流体。热管的充液量为 160 mL, 采用电加热炉加热, 控制炉膛温度为 200℃, 待热管稳定运行后, 记录输入功率及热电偶读数, 获得不同质量分数的纳米流体对热管传热性能的影响。每个纳米流体热管都采用 3 根热管和 DW 水管对比, 分析不同质量分数的纳米流体热管与水管的传热性能。

### 1.2 单管试验结果与分析

#### 1.2.1 单管总传热系数

图 3 为以不同质量分数的纳米流体及去离子水为工质的重力热管的总传热系数随时间变化关系图。从图 3(a)、(c) 可以看出, 当纳米流体的质量分数为 0.5%、2% 时, 重力热管的总传热系数上下起伏, 并不稳定。而纳米流体质量分数为 1% 时, 如图 3(b) 所示, 热管的传热性能相对稳定, 总传热系数比去离子水重力热管提高了 5.6% ~ 9.6%。所以本试验中, 质量分数 1% 为最佳纳米流体浓度。这可能是由于纳米流体浓度对重力热管管内的沸腾换热有所影响。质量分数为 1% 的纳米流体重力热管管内蒸发段液池和冷凝段液膜是核态沸腾, 大量的纳米颗粒被吸附于管壁上, 当纳米颗粒的粒径大于液体成核的临界半径时<sup>[11]</sup>, 纳米颗粒促进了流体内的气泡成核, 增加了气化核心。由于固液接触角非常小, 气泡脱离尺寸变小, 脱离频率增加<sup>[8]</sup>, 气泡产生的密度较大, SiO<sub>2</sub> 纳米颗粒在近壁面的扰动强化了管内蒸发段液膜换热, 为蒸发段提供了工质。

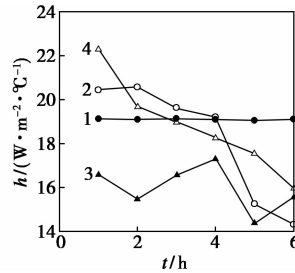
在相同的质量分数下, 每个纳米流体重力热管的总传热系数也略有不同, 这主要是由于每个试验



1—DW 管;2—0.5% 1#管; 3—0.5% 2#管;4—0.5% 3#管  
1—DW 管;2—1% 1#管; 3—2% 2#管;4—3% 3#管

(a) 质量分数 0.5% 纳米流体重力热管

(b) 质量分数 1% 纳米流体重力热管



1—DW 管;2—2% 1#管;3—2% 2#管;4—3% 3#管

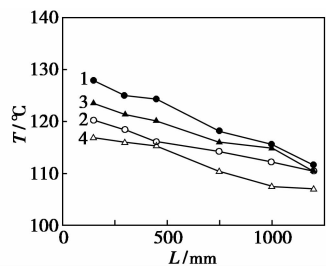
(c) 质量分数 2% 纳米流体重力热管

图 3 不同质量分数纳米流体热管的总传热系数

时电加热炉的热损失不完全相同, 造成加热功率也略有不同。

#### 1.2.2 热管壁面温度

图 4 是热管稳定运行时工质为去离子水的重力热管和 3 根质量分数 1% SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管的壁面温度分布图。由图 4 可知, SiO<sub>2</sub>-DW 重力热管壁面温度低于 DW 热管, 且温度分布相对平缓。3 根质量分数为 1% 的纳米流体重力热管管壁温度分别比 DW 热管低 1.2 ~ 8.2、0.7 ~ 4.4、4.6 ~ 11.0℃。



1—DW 管;2—1#管;3—2#管;4—3#管

图 4 热管壁面温度分布

从图 4 可看出, SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管和去离子水重力热管的管壁温度具有相同的分布特征, 无异常现象产生, 这说明纳米颗粒加入到基液水中形成的纳米流体没有改变水热管的工作状态。但随着纳米颗粒的加入, SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管

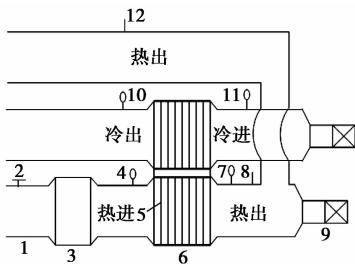
的管壁温度明显比去离子水重力热管低,这是由于纳米流体的高导热性、布朗运动等引起的。

## 2 气-气纳米流体热管换热器试验

由于质量分数 1% SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管传热性能优于去离子水重力热管,将热管换热器中去离子水工质全部换为 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体,在相同的工况下反复试验,比较 2 种工质的热管换热器的传热性能。

### 2.1 试验装置与方法

同上方方法配置 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体,注入热管中,用热排法排空气。将 60 根热管全部放入气-气热管换热器中(如图 5 所示),将进气口阀门打开一个角度,运行热管换热器。待热管换热器运行稳定后,分别测量冷、热侧的进出口温度及风速。记录所测数据,计算热管换热器的传热系数。



1—管道;2—阀门;3—管式加热器;4,7,10,11—温度计;  
5—重力热管;6—气-气热管换热器;8,12—风速仪;9—风机

图 5 气-气热管换热器

### 2.2 试验结果与分析

反复试验,计算对比试验中不同工质的热管换热器的总传热系数。热管换热器的总传热系数如表 1 所示,发现质量分数为 1% 的纳米流体热管换热器的总传热系数比 DW 热管提高了 1.63% ~ 1.70%,提高幅度不大,主要是由于在配置 60 根纳米流体工质和制作热管时,耗时较长,最先配置好的纳米流体重力热管内的纳米颗粒开始团聚,这种团聚只有微弱的布朗运动甚至不会有布朗运动,此时纳米流体热管换热器只能依靠纳米颗粒的导热系数比 DW 高

表 1 热管换热器总传热系数

试验工质	热管换热器总传热系数/(W·m <sup>-2</sup> ·°C <sup>-1</sup> )
去离子水	11.458
纳米流体	11.644
纳米流体	11.644
纳米流体	11.653

来强化换热。

## 3 结论

本试验研究了 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体作为工质在碳钢重力热管及热管换热器中的传热性能,发现重力热管及热管换热器的性能都有所提高。主要结论如下。

(1) 3 根质量分数 1% SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管壁面温度相比去离子水低 1.2 ~ 8.2、0.7 ~ 4.4、4.6 ~ 11°C,且温度分布更均匀。

(2) 从质量分数为 0.5%、1%、2% 的 SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体重力热管总传热系数角度来看,发现本试验中最佳质量分数为 1%,总传热系数相对 DW 提高了 5.6% ~ 9.6%。

(3) 质量分数 1% SiO<sub>2</sub>-DW 纳米流体热管换热器的总传热系数比去离子水只提高了 1.63% ~ 1.70%。

## 参考文献

- [1] 徐伟,陈思嘉,何燕,等.热管技术在余热回收中的应用研究进展[J].广东化工,2007,34(2):40-42.
- [2] 赵斌,王子兵.热管及其换热器在钢铁工业余热回收中的应用[J].冶金动力,2005,(3):34-36.
- [3] 王磊.热管换热器及其在余热回收中的应用[J].纯碱工业,2000,(5):34-36.
- [4] 王爱辉,罗高乔,汪韩送.重力式热管空调机组运行特性试验研究[J].制冷技术,2013,(2):14-16.
- [5] 李玉娜,范晓伟,朱彩霞.空调系统中热管技术的应用[J].中原工学院学报,2007,18(2):17-19.
- [6] 赵安林.R600a 在重力热管散热器中的工作实验研究[D].重庆:重庆大学,2002.
- [7] 张立德,牟季美.纳米材料学[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.
- [8] 郭广亮,刘振华.碳纳米管悬浮液强化小型重力型热管换热特性[J].化工学报,2008,58(12):3006-3010.
- [9] Firouzfard E, Soltanah M, Noie S H, et al. Energy saving in HVAC systems using nanofluid[J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(8):1543-1545.
- [10] Noie S, Heris S Z, Kahani M, et al. Heat transfer enhancement using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2009, 30(4):700-705.
- [11] 向军,李菊香.纳米悬浮液热虹吸管的传热性能试验研究[J].热能动力工程,2010,25(2):190-195. ■