

大型中温热管性能的研究

姚寿广 彭东升 朱德书

(华东船舶工业学院)

张建勋 张树钊 梅国忠

(江苏新苑集团公司热管研究所)

[摘要] 对茶和甲基吡咯烷酮两种充装工质的大型中温热管进行的性能试验所得数据进行了分析,比较了两种热管的起动及传热性能等方面的特性,结果表明,在 $25^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 中温范围内,茶热管的传输性能优于甲基吡咯烷酮热管。

关键词 热管 传热 试验 研究

分类号 TK124

0 前言

通常认为工作温度在 $200^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 范围内的热管为中温热管,由于中温热管在工业上中温区的余热回收中具有重大意义,因此它在工业上具有广泛的应用价值和前景。中温热管的研究和开发也一直是人们关心的重要研究内容,然而在这一温度范围内工作的介质很少,相关的研究工作一直是一个薄弱环节。本文以茶和甲基吡咯烷酮两种有机介质作为热管工作介质,对两种不同充装工质的中温热管进行了传热特性试验,以为这两

种工质的中温热管的工业应用提供了设计依据和参考。

1 实验装置与测量方法

针对本次实验建立的热管性能试验装置主要是由加热、冷却和测量系统以及热管组成,试验装置系统见图1。

热管采用管式电炉加热,电炉通过可控硅调节功率大小,加热功率用电流电压表测量。试验热管的结构等参数见表1。

表1 试验热管的主要参数

编号	充装工质	直径×壁厚 (mm)	总长 (mm)	绝热段长度 (mm)	冷凝段长度 (mm)	管材	充液率 (%)	内部结构
热管1	甲基吡 咯烷酮	$\Phi 57 \times 3.5$	2800	400	900	20 g	71	无芯
热管2	茶	$\Phi 57 \times 3.5$	2800	400	900	20 g	71	无芯

本文为国家“八五”重点攻关项目,国家计委资助

收稿日期 1996-08-12 修改定稿 1997-03-31

本文联系人 姚寿广 男 1962年生 副教授 212003 江苏镇江华东船舶工业学院动力系

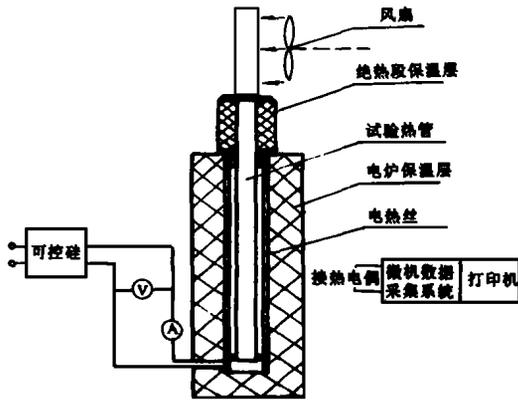


图 1 试验装置系统图

热管的蒸发段插入管式电炉中,绝热段用多层耐高温的硅酸铝棉保温材料进行良好的保温,尽量减少散热损失。冷凝段根据试验情况,采用两种冷却方式,一种是采用风扇进行强制对流吹风冷却,一种是冷凝段安装水套进行强制水冷。对采用风扇进行冷却的情况,其热管传递的功率直接由管式电炉的加热功率减去管式电炉体表散热得到。对采用安装水套进行强制水冷的情况,水经水泵、浮子流量计和调节阀进入水套,冷却水出来后直接排入地沟,即采用开式循环,传输功率由测量冷却水带出的热量求得,水流量由浮子流量计测量,其大小由调节阀调节,冷却水套外采用硅酸铝棉保温材料进行保温。

为测量热管壁面的温度,本次试验采用 1 对带不锈钢保护套,套管直径为 1mm 的镍铬镍硅铠装热电偶布置在热管壁面上进行测量。

蒸汽温度的测量采用绝热段两点热电偶测温值的平均值,考虑到绝热段径向散热量极小,且管壁热阻很小,因此以绝热段管壁测温值代替管内工质蒸汽温度误差很小^[1]。在冷凝段采用水冷时,冷却水出口水温的测量采用在出口处装有一混合室,外面用保温材

料进行保温,其内放置一有很多小孔的铜块,两对热电偶埋置在铜块上,通过测量铜块温度来测得出口水的平均温度。

以上所有热电偶引线全部接入微机,由微机通用数据采集处理系统记录显示和存储试验数据。

所有热电偶及浮子流量计在试验前都进行过标定或校验以确保测量结果的准确性和精度。

2 试验结果与分析

2.1 起动、运行观察及分析

起始热管蒸发段插入电炉中,从冷态开始加热,随着电炉的升温,热管蒸发段外壁面温度逐渐升高,而绝热段与冷凝段开始无温度变化,炉温加热到接近 200°C ,热管蒸发段壁温超过 150°C 时,热管和热管的绝热段均出现明显的升温,并且冷凝段的第 8 点温度亦随着绝热段壁温升高迅速提高,当热管绝热段壁温达到 $170^{\circ}\text{C} \sim 175^{\circ}\text{C}$ 左右时,冷凝段所有各点温度都渐次逐点升高,并使热管壁面在轴向呈近乎相等的温度,此时,炉温为 $300^{\circ}\text{C} \sim 320^{\circ}\text{C}$,热管蒸发段为 $190^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$ 左右,冷凝段约为 $175^{\circ}\text{C} \sim 165^{\circ}\text{C}$ 左右,蒸发段和冷凝段沿热管轴向最大温差不超过 20°C ,因此可认为此时热管和热管已起动,进入正常运行状态,从热管起动运行过程中壁温分布及变化曲线看,热管 1 和 2 无明显差异。

2.2 传热性能的试验与分析

图 2 给出了两种试验热管在热管工作温度范围内介质温度与传递功率之间的关系。从图中可看出,随着介质工作温度的升高,传递功率都随之增加,但在热管进入正常起动运行后,热管 1 传热功率增大的速率较缓慢,

当热管介质工作在 $250^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 温度范围内时,热管 2 具有较大的传输功率,约为 1.5~ 3.0 kW 左右。而热管 1 较小,约为 1.5~ 2.6 kW 左右。

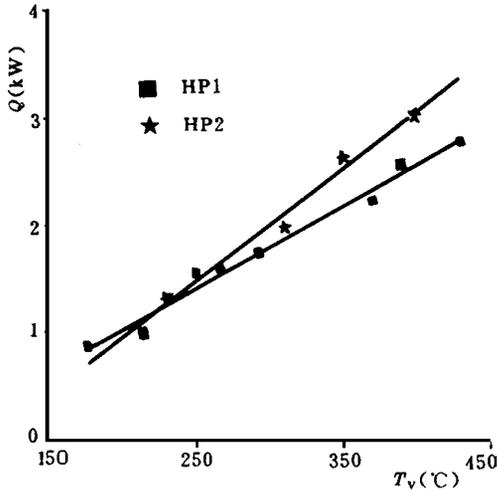


图 2 热管介质工作温度与传递功率之间的关系

进一步从两种热管蒸发段和冷凝段的传热特性的比较可见两种热管蒸发段平均沸腾换热系数都随介质工作温度及蒸发段热流密度(热负荷)的提高而有所增加,但相同工作温度范围以及热负荷范围内萘热管蒸发段的沸腾换热系数要比甲基吡咯烷酮热管的沸腾换热系数高,这表明在相同负荷范围内萘工质具有较强的沸腾换热能力。图 3 给出了两种热管蒸发段平均沸腾换热系数随热管介质工作温度的变化曲线;同样两种热管冷凝段平均冷凝换热系数都随介质工作温度及冷凝段热流密度(热负荷)的增加而下降,但在给定的工作温度范围以及热负荷范围内,甲基吡咯烷酮热管冷凝段的换热系数小于萘热管,这表明相同的冷凝负荷下萘热管的冷凝换热能力优于甲基吡咯烷酮热管。

2.3 极限性能试验及分析

进一步对热管在水冷条件下进行传递功率的试验,结果表明两种不同充装工质热管的起动、运行壁温变化也极为相似,图 4 给出了在冷却水流量不变的情况下,热管壁温的分布及变化曲线。从试验中看出,在冷凝段采用水冷的条件下,其起动与风冷条件下相比,在蒸发段壁温差不多的情况下,蒸汽工作温度较低,冷凝段温度则很低,但传递的功率比风冷时要大,随着蒸发段壁温提高,绝热段壁温变化很缓慢,冷凝段的壁温也是如此,但此时由于冷凝段采用强制水冷,因此传递的功率有较大增加,当热管蒸发段出现过热点前,两种热管的最大传递功率均达 7.0 kW 左右。

对水冷条件下的热管进一步增加功率升高炉温,当热管蒸发段壁温达到 270°C 左右,此时介质工作温度约为 $165^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$ 左右,随传递功率的增加,若冷却水流量不变,此时冷凝段壁温有较大提高,出水温度升温也较大,当提高流量至 280 kg/h ,使冷凝段壁温降至 $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 时,试验中发现,此时热管蒸发段壁温第 2、3 点温度迅速升高,测得此时传递功率为 8.9 kW。

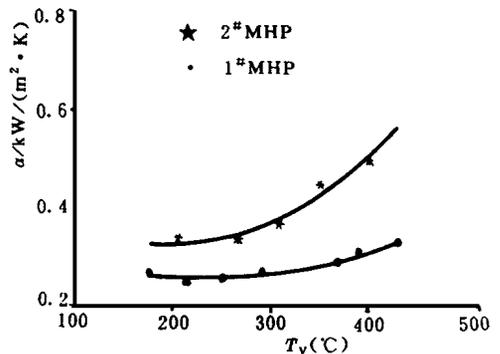


图 3 蒸发段平均沸腾换热系数随热管介质工作温度的变化

根据水冷条件下热管壁温分布及变化曲线图 4 蒸发段过热现象分析表明,在水冷条

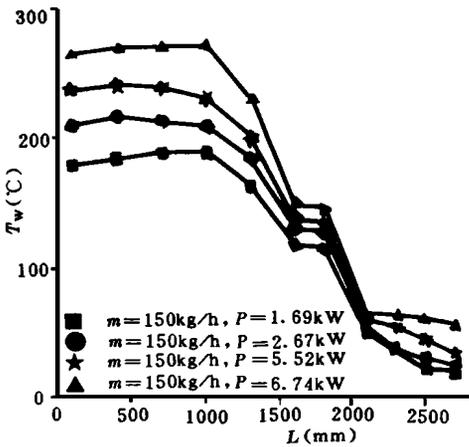


图 4 热管 I 在水冷条件下的壁温分布及变化曲线

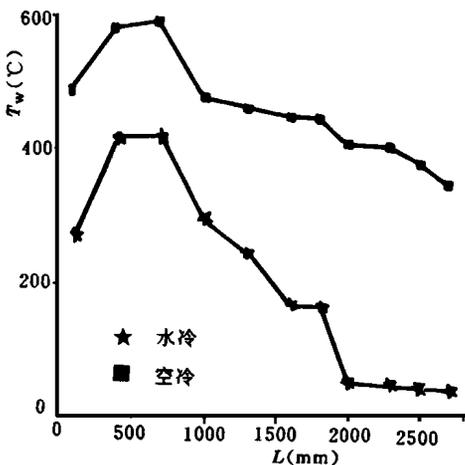


图 5 热管 I 在水冷和风冷条件下的极限温度分布

件下,冷凝段冷源温度较低,加上此时冷凝段传热热阻很小,因此热负荷的增加不能提高冷凝段的蒸汽温度,使得冷凝段管内介质蒸汽压力建立不起来。随着蒸发段热负荷增大,在管内蒸发段与冷凝段愈来愈大的压差作用下,介质流速愈来愈大,最终引起蒸发段出口产生音速流动,在冷凝段出现超音速流动和

激波,很高的蒸汽速度使得冷凝介质来不及回流到蒸发段,从而使蒸发段出现局部烧干现象,导致局部管壁温度出现急剧升高。

图 4 给出了热管 I 在水冷条件下极限温度分布曲线,与其进行对比的是热管 I 在风冷条件的极限试验,当热管蒸发段壁温达到 490°C 左右,蒸汽工作温度约为 $440^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 左右时,试验中发现热管出现过热现象,即热管的蒸发段第 2、3 点壁温急剧上升,此时降低电炉功率,但蒸发段管壁温度在炉内热惯性作用下继续升温,最终第 2、3 两点达到 $580^{\circ}\text{C} \sim 590^{\circ}\text{C}$ 左右,接近炉膛内温度,其后发现热管 I 已失效,从这里可看出当这种中温热管工作到接近介质的极限工作温度时,继续加大负荷,使蒸发段蒸发换热量继续增大,当传输功率增大到某一时刻,随着管内蒸汽流速的提高,冷凝液膜不能及时由冷凝段回流下来,此时将使蒸发段壁温很快升高,回流的有机工质在管壁温度达到或超过其分解温度的情况下将迅速分解,从而使得热管失效,并且此时蒸发段管壁干烧,其温度将迅速接近炉膛温度,会产生使热管烧毁的危险。因此对有机介质的热管,不能不加控制地加大热负荷,其传输功率受介质品质因素的影响较大,工程应用中必须将热管工作温度严格控制在其分解温度以下,否则会导致热管迅速失效。

3 结束语

本文是对两种具有新型有机工质(蔡和甲基砒砒烷酮)的大型中温热管进行的起动、传输功率及传热特性等方面的性能试验,通过试验可得到如下几点初步结论。

(1) 对试验的两种不同充装介质的大型中温热管,在初始具有较大功率(温度)加热,的情况下,起动不存在任何困难。

(2)两种热管的传递功率都随介质工作温度的升高而增加,其中在热管进入正常运行范围后,充装甲基吡咯烷酮工质的热管传递功率随介质工作温度升高增加较为缓慢。在试验的冷凝段风冷条件下,热管工作在介质工作温度范围内,热管的最大传输功率约为2.6 kW,而热管2传输功率约为3.0 kW。

(3)从充装新型有机工质的热管极限试验来看,这类介质在冷凝段风冷条件下的工作温度范围在 $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间,最大工作温度不能超过 430°C ,否则无限地加大热负荷会导致工质分解,使热管迅速失效。值得注意的是在冷凝段水冷条件下,若冷凝段冷源温度过低,热管将工作在一个不太正常的状态下,此时加大蒸发段的负荷,即使在介质工作

温度较低的情况下也会使管内出现超音速流动。这时管内冷凝工质来不及回流到蒸发段将导致蒸发段出现干烧现象,也会使蒸发段管壁急剧上升,使热管内介质分解而迅速失效。

参考文献

- 1 马同泽等.热管.科学出版社,1983
- 2 庄骏等.热管与热换热器.上海交大出版社,1989
- 3 Ming Dao Xin, Wang Jun and Liao Qiang. Experiment of heat transfer performance of steel-naphthalene gravity heat pipe with small inclination angle. Proc. of the 10th IHPC, 1995

(渠源 编辑)

新 材 料

超高温材料

据“日本机械学会”1996年92期报导,研究了对蒸燃联合循环电站效率起决定性影响并保证环保要求的燃气轮机参数。不同于涡轮进口燃气最大温度现已达到 $1400 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 的航空燃气轮机,在燃烧天然气的工业燃气轮机,该温度现已接近 1300°C 。到2000年,预期它将增加到 1500°C 。

迄今的技术发展已允许列举出涡轮机结构部件设计时需要的材料,但是从应用观点来看,比较容易的是金属材料。未来优先应用的超高温材料包括带热障涂层的单晶超耐热合金、由氧化弥散粒子强化的合金(Y_2O_3 等)、纤维加强的超耐合金、带热障涂层的定向结晶超耐热合金,在它们的应用中按惯例要使材料与工艺制造相结合。为了最大程度发挥每种材料固有的优点,从超高温材料方面所要求的这些材料的相应设计是必不可少的。

在为建造2020年前生态上清洁的动力装置制定计划时(届时具有 2000°C 进口温度的燃气轮机将用氢气工作),提议下列四种材料是有深入研究前途的:超耐热合金(单晶超耐热合金与纤维加强陶瓷材料的组合)、金属间化合物(MoSi_2)、基于陶瓷体的陶瓷材料和含碳陶瓷。

将来,由于材料设计和制造设计的结合,应该期望燃气轮机技术还会有更大的进步。

(思娟 供稿)

zhang (Central China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. 01998, 13(1). - 19~ 22

Through a simple "input-output" relationship the ascertainment of pulverized coal flow flame stability is attempted. With the selected "input" parameter serving as the initial condition of a primary air operating regime the ascertainment criteria are made forthright and rational. A heat balance model based on the use of a return flow zone lumped parameter method has been established in order to solve for the primary air pulverized coal concentration, air speed and air temperature essential for the assurance of flame stability. The reliability of the model is verified by employing the hot-state experimental results of a single angle pulverized coal boiler. **Key words** flame stability, ascertainment criteria, model of lumped parameter method

几种常见锅炉事故的机理分析 = (An Analysis of the Underlying Causes for Several Kinds of Common Boiler Failures) [刊, 中] / Kuang Pingjian, Wu Qingyu, Gao Yukuan (Boiler & Pressure Vessel Inspection under the Harbin Municipal Labor Bureau) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 28~ 13

电站锅炉炉膛传热数值计算方法的研究 = (The Study of Furnace Heat Transfer Numerical Calculation Methods for Utility Boilers) [刊, 中] / Han Xiaohai, Zhang Mingchuan (Thermotechnical Institute under the Ministry of Electrical Power) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6). - 23~ 27
The present paper deals with a reactor network comprehensive model for the engineering use-oriented three-dimensional heat transfer numerical calculation of utility boiler furnaces. Prepared are three-dimensional comprehensive combustion-heat transfer process computational programs for pulverized-coal furnaces. Through the calculation of several different design and operating conditions the basic functions of the model are displayed and verified with some meaningful conclusions being obtained. **Key words** furnace heat transfer, mathematical model, pulverized coal combustion, reactor network

大型中温热管性能的试验研究 = (Experimental Study of the Performance of Large-sized Medium-temperature Heat Pipes) [刊, 中] / Yao Shouguang, Peng Dongsheng, Zhu Deshu (East China Shipbuilding Institute), Zhang Jianxun, Zhang Shuzhao, Mei Guozhong (Heat Pipe Research Institute of Jiangsu Xin Yuan Group Co.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6). - 32~ 36

Performance tests have been carried out with respect to some large-sized medium-temperature heat pipes filled with two kinds of new working mediums. On the basis of an analysis of the test data compared are the start-up and heat transfer characteristics of these two types of heat pipes. It has been found that in the medium-temperature range of 250~ 400°C there exists a marked difference in heat transfer performance between the heat pipes filled with these two different types of working mediums.

Key Words medium-temperature, heat pipe, performance

某大型综合补给船的自动电站系统 = (The Automated Power Station System of a Large-sized Comprehensive Replenishment Ship) [刊, 中] / Zheng Ziqian, Li Qiao (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 37~ 39

This paper deals with the basic configuration and functions of an automated power station system for a large-sized comprehensive replenishment ship. **Key words** automated power station, replenishment ship

1021 t/h 煤粉锅炉高温炉管改造方案设计 = (Modification Design of High-temperature Boiler Flue Gas Tubes for a 1021 t/h Pulverized Coal-fired Boiler) [刊, 中] / Xing Changwen (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 40~ 42

Based on the technical scheme design of high-temperature flue gas tubes of a 1021 t/h pulverized coal-fired utility boiler the author gives an analysis of the causes of the cited boiler tube failures during boiler operation.