

热管单管性能测试系统开发

沈鹏飞, 姜周曙*, 王 剑

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对现有的热管检测过程中通常采用人工摇动以辨别声音的方式,其存在效率低、准确性差等缺点,研制开发了一套重力热管单管性能测试系统。该系统以高精度环形槽作为热管的加热源,采用非接触式的红外测温技术,以流水作业的方式测量管壁温度,实现了热管传热性能的自动判别。通过阐述热管工作原理,建立了一个测试系统模型;根据整个系统结构设计开发了PLC控制器程序,在.Net开发平台下运用面向对象的设计方法开发了相应的测控软件;在此基础上该系统还引入了抗干扰技术等稳定性设计的方法,以克服外界因素的干扰,保证了整个系统的可靠性;最后,对测试结果进行了分析比较。研究表明,该测试系统具有测量效率高、测量数据准确、运行稳定可靠等优点。

关键词: 重力热管;传热性能;测试系统;抗干扰

中图分类号: TK3;TH81

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0645-05

Development of a performance testing system for single heat pipe

SHEN Peng-fei, JIANG Zhou-shu, WANG Jian

(College of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming that the current existing measuring method about heat pipe performance using manual shaking and discerning the voice, has the weak point of low efficiency and poor accuracy, a performance test system of gravity heat pipe was developed. The system, with high precision annular groove as the heat source, using contactless infrared temperature measurement technology, and with measuring method of the assembly line measure temperature, can automatically determine the heat transfer performance. By describing the working principle of heat pipe, a model of test system was established. Based on the structure of whole test system, the programmable logic controller (PLC) program was designed and developed, and the test software was developed with object-oriented method on the .Net development platform. On this basis, the stability design of anti-interference technology was applied in the system to overcome the interference of external factors, ensure the reliability of whole system. The results indicate that the test system is stable and reliable, has high measuring efficiency and accurate data.

Key words: gravity heat pipe; heat transfer performance; test system; anti-interference

0 引言

热管是一种能快速传热的元件,它具有超常的热传导能力,被称作传热超导体。热管因其优异的传热特性被广泛应用于高科技领域和工业的换热设备上,成为现代工业换热设备制造中不可缺少的材料。由于其在工业上的广泛应用,热管的生产、质检面临新要求,其中质量检测的准确性、快速性在热管的生产中成为了重要环节。目前,大多数工厂采用人工方

式,在室温下用手垂直摇动,使内部液体自由落体,用人工辨别声音来判断重力热管的真空度,检定结果取决于质检人员的经验和主观感觉,其效率低、准确性差。因此有必要开发一个先进的测试系统,通过检测在恒温水槽中热管外管壁温度和水浴温度变化情况来测试热管的传热特性和表面恒温特性。

本研究研制开发一套重力热管单管性能测试系统。

收稿日期:2011-12-12

作者简介:沈鹏飞(1987-),男,浙江上虞人,主要从事自动控制方面的研究。E-mail:spf06093069@163.com

通信联系人:姜周曙,男,教授,博士。E-mail:jiangzhou_shu@163.com

1 测试原理

重力热管又称两相闭式热虹吸管、虹吸管,具有超强的导热性、良好的等温性、热流密度可变性、恒温特性和环境适应性等优点^[1]。重力热管一般由管壳、工质组成,内部被抽成负压状态,充入适当的液体(沸点低、容易挥发)。热管一端为蒸发端(加热段),另外一端为冷凝端(冷却段)。重力热管内部没有吸液芯,冷凝液回流依靠自身重力作用,因此该热管在工作时必须垂直或以 7° 以上的倾角放置,下端为加热段,上端为冷却段。热传递是热能由高温传到低温处的现象。热管传热是由热传导、蒸发、对流及冷凝等现象组合形成的^[2]。

重力热管工作原理图如图1所示。图1中,下端受热时,热管底部的液体工质迅速受热,工质吸热后以蒸发与沸腾的形式转变为蒸汽,蒸汽在压差作用下上升到冷凝端后遇冷迅速放出热量并重新凝结成液体,然后液体在重力作用下再流回蒸发段,如此循环不止,热量由热管下端传递至上端。这种循环是快速进行的,热量被源源不断地快速传导开来。

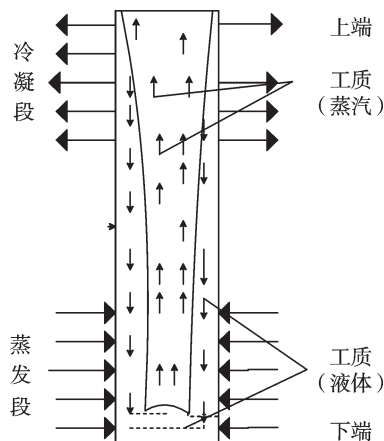


图1 热管结构及其工作原理

测试装置模型如图2所示。恒温水槽底部的电加热设备用于将水加热到设定温度,通过高精度温度控制系统保持水温恒定;在恒温条件下,本研究把热管

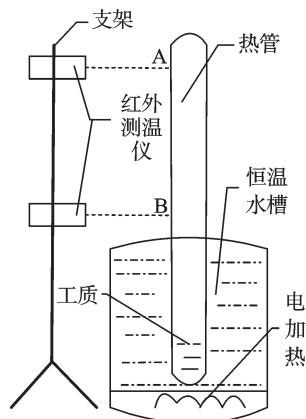


图2 测试系统模型

插入到水槽中加热热管,热管的水中部分为蒸发段且水槽外的部分为冷凝段,这样就模拟了在工作状态中的热管。本研究用两个非接触式红外测温仪分别测量冷凝段的上端(A点)与下端(B点);由于重力热管超强的导热性,良好的等温性等特点,冷凝段各点之间的温度差微小且冷凝段与蒸发段之间的温差也微小。在实际情况下,由于热管制作的工艺、材料、环境等因素的影响,存在传热极限,即传输的功率有一定限制,热管冷凝段的温度与蒸发段的温度存在温差。通过这一特性,可以根据现场条件,确定热管上下端的温度差最大许可值,当测量的温差超过这个最大值时就判定热管不合格,反之就判定合格。

2 测试系统

整个控制系统分为:测试台(如图3所示)、电气控制柜、PC机、打印机等。其中,测试台上的红外测温仪、水槽中的热电阻、电器控制柜内的PLC(西门子S7-200系列)、485总线(通过Modbus协议)、RS-232转RS-485数据通讯转换接口、PC机上的测控软件等共同构成了整个系统的测控装置。整个测控系统以PC机上的测控软件为核心,通过PLC、红外测温仪和高精度温度传感器分别采集管壁温度与水浴温度,通过上位机软件对PLC的实时访问来监视工件(热管)是否已经到达测试工位以便读取温度值,读取温度值后上位机软件对管壁温度与水浴温度进行比较分析,得出该热管是否符合要求,对不合格管进行报警提示。

整个测试系统的组成框图如图4所示。

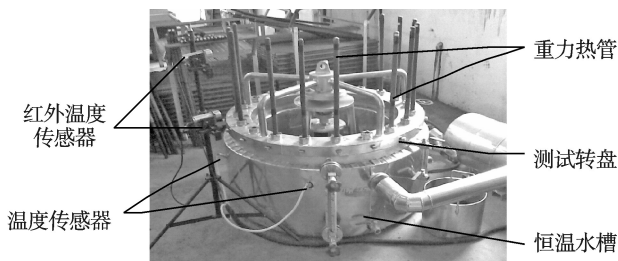


图3 现场测试台图

测试台装置:测试台由高精度环形恒温槽、热管检测转盘、非接触式红外测温传感器、高精度铠装Pt100温度计等组成。其中热管检测盘上平均分布着20个热管插孔,两孔之间相距 18° ;距恒温槽20 cm处放置非接触式红外测温传感器,上下各一个,上端红外测温仪所测点为距热管顶部100 mm处,下端红外传感器所测点位距热管顶部470 mm处。转盘每一次启动用时6 s~7 s转 18° ,转到红外传感器前停止3 s,供系统对热管进行检测,再启动,如此循环运作,遇坏管报警,则需人工手动启动。

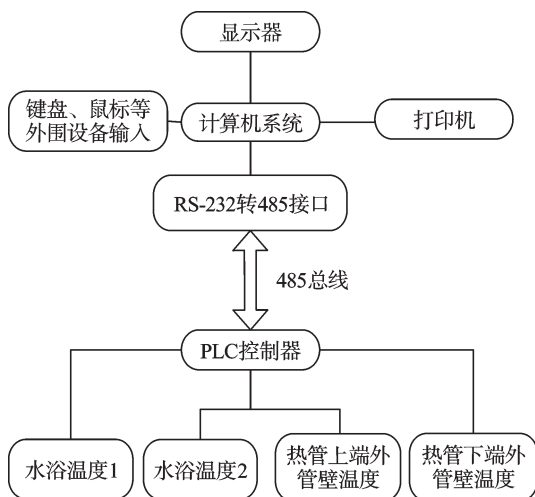


图4 测试系统的组成框图

系统精度:恒温槽温度控制精度为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;热管壁面温度测量精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;铂电阻Pt100,温度测量范围 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$;红外测温传感器,温度测量范围 $70\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 程序设计

3.1 PLC控制器程序设计

本研究根据测试系统中所需的数字量输入/输出个数及模拟量输入/输出个数的要求,选择西门子S7-200的224 xp模块,该模块最大支持扩展128个数字量输入/输出,32个模拟量输入/输出。控制器运行时,在每一个周期先对各个传感器的输入电流($4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$),电压($0\sim 5/10\text{ mV}$),数字信号输入的值进行采样,然后执行用户程序来分析、判断,最后刷新输出,通过继电器对各执行器进行开关、开度等控制。上述3个阶段称作一个扫描周期,PLC的CPU以一定的扫描速度循环进行上述的扫描周期^[3]。用户程序编程使用STEP 7 MicroWIN SP6软件^[4],采用直观易懂的梯形图(LAD)编写。程序采用模块化编程,主程序运行时采用调用子程序的方法来实现,这样便于现场调试及后期维护,且具有一定的通用性。

程序设计流程图如图5所示。

3.2 上位机软件设计

测试系统的软件不仅要满足对控制系统的实时监视,对相应的数据进行处理,而且更要满足不同工程人员对其操作的方便、简单及快速上手。因此,软件的设计必须以运行可靠、易操作、界面友好为基础,用户只要根据提示进行相应操作后,软件会自动判断运行状况及异常,并进行相应提示。同时,具备实时记录数据、生成报表、打印等功能。

软件具体功能如图6所示。

该软件以 Visual Studio 2005 及 SQL 2005^[5]为平

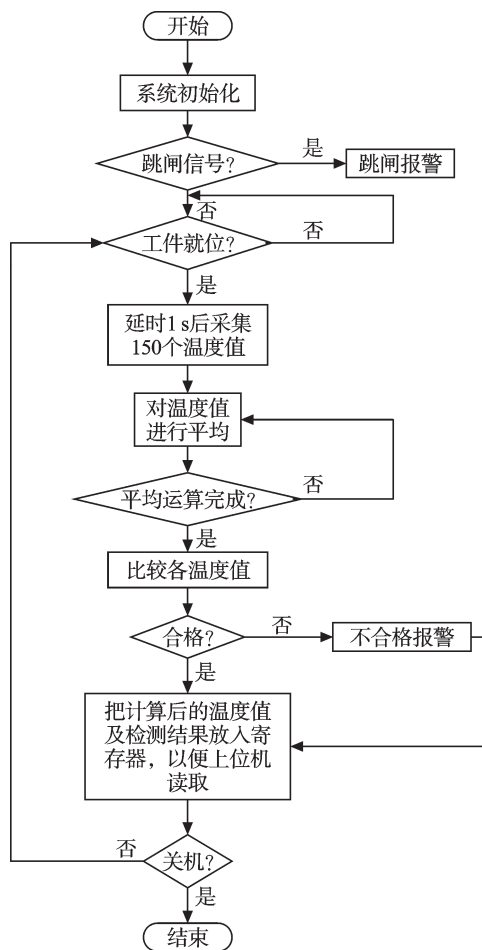


图5 控制器程序流程图

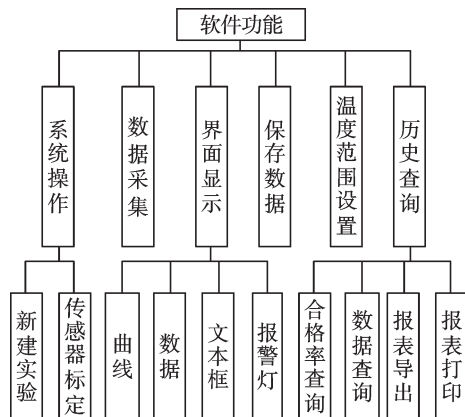


图6 软件功能框图

台,基于面向对象的思想,采用C#语言,将计算机技术、传感器技术和SQL数据库技术有机结合起来,设计出了基于.Net 3层构架^[6]的WinForm应用软件。该软件是具有Windows风格的一款智能化测控软件(界面如图7所示)^[7-9]。特别在通讯方面,根据现场的具体通讯情况,该软件能够最大限度地容忍传输数据异常并准确捕获正确信息从而保证整个系统的正常、高效运行。

4 系统稳定性设计

根据设备本身情况及外部环境情况,为保证系统

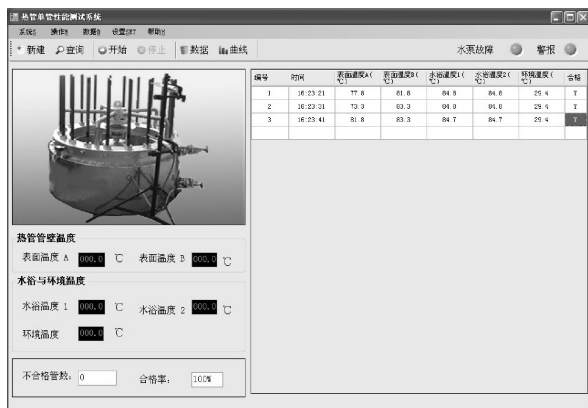


图7 测试软件操作界面

的正常工作,减少外界因素对其的扰动,使其测量准确、稳定,本研究进行了一些稳定性的设计:

(1) 水浴温度稳定。①通过积分惯性PID调节,来保证整个水浴温度的恒定;②在水浴中的热水进口,设置一块挡板,减少进口处的水流过快而产生的扰动。

温度变化及响应情况如图8所示。

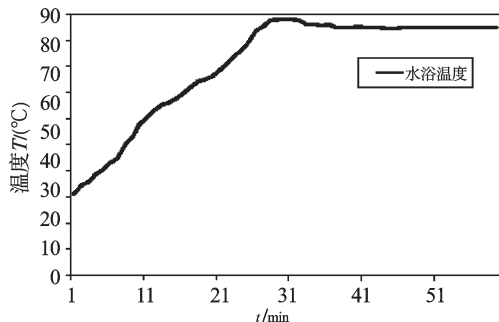


图8 水浴温度变化情况

(2) 消除转盘急停的抖动影响。当工件到达测量工位时,转盘停止并开始测量,但转盘由于惯性作用需要来回抖动一段时间,导致红外测温仪测量误差加大,因此本研究在程序上设置定时器,当到达工位后再延时一段时间后开始读取数据。

(3) 测量值稳定。

① 对测量值进行数字滤波处理。现场模拟信号具有较低的信噪比,常因瞬时干扰产生较大波动,该系统采用了算术平均值滤波法^[10],即:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

② 软件容错技术。本研究针对死循环现象设计了看门狗定时程序,避免控制系统进入死循环。

③ 红外测温仪合理定位。上端监测点在距热管顶部100 mm处,由于顶端受热管内部水蒸气温度极不稳定,经实验在该点处温度较稳定;下端所测点在距热管顶部470 mm处,以防止水槽内溢出的水蒸气对红外测量仪的干扰。

(4) 抗电磁干扰。控制器周围有变频器、强电流布线等,电磁干扰严重,为确保上位机与控制器的正常通讯,本研究采用CRC校验码校验,并进行延时响应,多次读取,结果判定有效后才采取。

(5) 传感器校准。本研究在系统中采用的所有温度传感器,用一等标准水银玻璃温度计在安装前和安装后进行多次校准,用最小二乘法拟合出最佳值。

5 测试结果及分析

在现场安装测试时,20根检验(转盘一圈)仅需5 min。在测试中,本研究采用5根热管重复测量两次:第一轮测好后,转盘转过一周后再重测一遍,记录的数据如表1所示。

表1 测试记录

管号	热管壁温上端 /(℃)	热管壁温下端 /(℃)	水浴温度1 /(℃)	水浴温度2 /(℃)	水温与壁温偏差 /(℃)	壁温偏差 /(℃)	水浴温度偏差 /(℃)
1	81.7	83.1	84.9	84.8	3.2	1.4	-0.1
1	81.4	83.8	84.9	84.8	3.5	2.4	-0.1
2	80.2	81.3	84.9	84.8	4.7	1.1	-0.1
2	80.3	82.2	84.9	84.8	4.6	1.9	-0.1
3	80.6	82.4	84.9	84.8	4.3	1.8	-0.1
3	80.9	82.4	84.8	84.8	3.9	1.5	0.0
4	71.4	81.7	84.9	84.8	13.5	10.3	-0.1
4	71	80.7	84.9	84.8	13.9	9.7	-0.1
5	76.8	81.2	84.9	84.8	8.1	4.4	-0.1
5	76.9	81.4	84.8	84.8	7.9	4.5	0.0

注:表中的“水温与壁温偏差”表示“水浴温度1”减去“热管壁温上端”所得的差值。

从表1中可以得出:

(1) 水槽温控稳定。表1中的水浴温度偏差变化很微小,水浴温度几乎恒定不变,满足设计要求的精度 ± 0.1 °C,温控稳定。

(2) 所测温度重复性好。热管的所测量的同一点壁温温度在两次测量中偏差在1 °C之内,符合设计要求精度 ± 1 °C,说明测量重复性好,测量稳定。

(3) 可以检测出不同品质热管。①从表1中可以得出每根热管的上端壁温跟水温偏差比下端壁温跟水温偏差大,其中1,2,3号热管的水温与上端壁温偏差在5 °C以内,而4,5号热管的温度偏差超过5 °C;②不同热管上下壁温温差不同,说明不同管子传热特性跟恒温特性不同,其中1,2,3,4号壁温偏差在5 °C以内,5号壁温偏差在10 °C左右。从而得出1,2,3号热管的导热性比4,5号热管的导热性好。证明该系统可以有效甄别出不同品质的热管。

6 结束语

根据热管的导热特性,本研究设计并研制了该测试系统,并最终实现了现场安装。本研究针对该测试系统介绍了其结构组成、PLC控制器程序设计实现、上位机软件设计实现、稳定性设计等内容。该系统经过几个月的现场运行,目前状况良好,测试的各项指标符合检测要求,能够根据操作人员输入的温度范围要求,甄别出符合要求的热管。

现场检验结果证明,该测试系统测量效率高、测量数据准确,并且运行稳定、可靠。

参考文献(References):

- [1] ZHANG H, ZHUANG J. Research development and industrial application of heat pipe technology in China [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2003, 23(9): 1067-1083.
- [2] 奚正平, 汤慧萍, 朱纪磊, 等. 热管及热管用金属多孔材料[J]. *稀有金属材料与工程*, 2006, 35(2): 419-422.

- [3] 张 扬, 蔡春伟, 孙建明. S7-200PLC 原理与应用系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [4] 西门子有限公司. 深入浅出西门子 S7-200[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [5] [美] Solid Quality Learning. Microsoft SQL Server 2005 从入门到精通(数据库基础)[M]. 王 为, 译. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [6] 温 昱. 软件架构设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 25-50.
- [7] 郑宇军. C#面向对象程序设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [8] [美] 霍夫曼. Visual C# 2005 技术内幕[M]. 李 虎, 许 福, 王晓博, 译. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [9] WATSON N. Beginning Microsoft Visual C# 2008[M]. Beijing: Tsinghua University Press & Prentice Hall, 2008.
- [10] 赵 毅. 数字滤波的算术平均法和加权平均法[J]. *仪表技术*, 2001(4): 41-44.

[编辑: 张 翔]

(上接第 635 页)

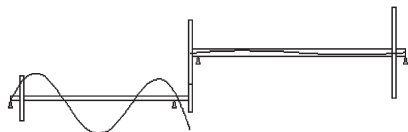


图8 耦合转子四阶弯振

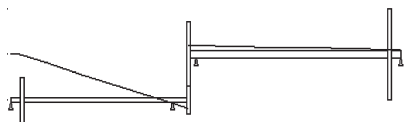


图9 耦合转子四阶扭振

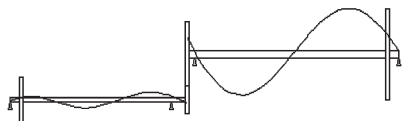


图10 耦合转子五阶弯振

4 结束语

本研究考虑陀螺效应、油膜支承,基于有限元法和拉格朗日方程,得到了弯扭耦合的5自由度的转子-轴承系统运动微分方程,并且基于牛顿第二定律,考虑齿轮啮合刚度和啮合阻尼的变化,得到了齿轮副的弯扭耦合的5自由度的运动微分方程,然后考虑实际齿轮副的排列方式,通过坐标变换,使转子-轴承模型与齿轮副模型的坐标统一化,并组合到一起,得到了整个齿轮-转子系统的弯扭耦合模型。

本研究计算了单转子和耦合后转子的临界转速,研

究结果表明耦合后转子临界转速比单转子临界转速低,并做出了振型图,振型的形状与理论分析一致,验证了本研究所建立的5自由度齿轮-转子模型的正确性,该模型对设计齿轮传动系统有实际意义。

参考文献(References):

- [1] MOHIUDDIN M A, KHULIEF Y A. Coupled bending torsional vibration of rotors using finite element [J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1998, 223(2): 297-316.
- [2] RAO J S, CHANG J R, SHIAU T N. Coupled bending-torsion vibration of geared rotors[C]//ASME Design Engineering Technical Conferences USA, 1995: 977-989.
- [3] RAO J S, SHIAU T N, CHANG J R. Theoretical analysis of lateral response due to torsional excitation geared rotors[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 1998, 33(6): 761-783.
- [4] LEE A S, HA J W, CHOI D H. Coupled lateral torsional vibration characteristics of a speed increasing geared rotor-bearing system[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2003, 263(4): 725-742.
- [5] 蒋庆磊, 吴大转, 谭善光, 等. 齿轮传动多转子耦合系统振动特性研究[J]. *振动工程学报*, 2010, 22(3): 254-259.
- [6] 钟一鄂. 转子动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [7] 张 翔, 董 彦, 陈文华. 小模数修正摆线铣刀对加工齿轮齿形的影响[J]. *轻工机械*, 2010, 28(4): 108-110.
- [8] KUANG J H, YANG Y T. An estimate of mesh stiffness and load sharing ratio of a spur gear pair[C]//ASME International Power Transmission and Gearing Conference USA, 1992: 1-9.

[编辑: 张 翔]