

面向生产过程质量控制的汽车空调热交换器 散热性能检测装置研究及应用*

唐任仲, 唐文东, 金 伶

(浙江大学机械系 工业工程中心, 浙江 杭州 310027)

摘要:为了保证汽车空调热交换器生产过程中的产品质量,针对汽车空调热交换器生产过程中质量检测方面存在的问题,以汽车空调热交换器质量指标—散热性能为研究对象,提出了面向生产过程质量控制的汽车空调热交换器散热性能检测装置的设计原理,完成了热交换器散热性能检测装置的硬件和软件的设计与实现;最后对该检测装置进行了实验验证。实验及研究结果表明,所设计完成的检测装置能够用于判定热交换器生产过程是否发生异常情况,从而可以为汽车空调热交换器生产过程质量保证系统的构建奠定一定的基础。

关键词:汽车空调热交换器;质量保证;散热性能;检测装置

中图分类号:U463;TH81;TP39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0745-05

Thermal performance testing device of automobile air conditioning heat exchangers for production process quality control with application

TANG Ren-zhong, TANG Wen-dong, JIN Ling

(Industrial Engineering Center, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to control production process quality of automobile air conditioning heat exchanger, a thermal performance testing device of automobile air conditioning heat exchanger was developed. The design principle of the testing device for production process quality control was put forward, the hardware and software of the testing device were realized. With the case study in an automobile air conditioning heat exchanger factory, it is proven that the testing device can be used to detect whether the heat exchanger production process is normal or not, which lays the foundation for constructing the production process quality guarantee system of automobile air conditioning heat exchanger.

Key words: automobile air conditioning heat exchanger; quality control; thermal performance; testing device

0 引 言

近年来,受益于汽车市场的蓬勃发展,汽车空调热交换器行业发展越发迅猛。随着有实力的外资企业进入中国市场,热交换器企业之间竞争更加激烈。在激烈的市场竞争环境下,如何保证和提高生产过程产品的质量成为企业越来越关注的问题^[1-2]。

目前,我国的汽车空调热交换器生产企业绝大部分为中小企业,这些企业在生产过程质量检测方面存

在以下问题:生产过程质量检测不规范,随意性大;质量检测点缺乏,汽车空调热交换器综合质量差;缺少对汽车空调热交换器生产过程质量问题的追踪。由于上述问题的存在,生产过程出现异常情况也难以发现,导致产品质量得不到有效保证。

文献[3]设计了一种基于虚拟仪器技术,适用于实验室的板式换热器性能检测系统。文献[4]设计了一种汽车散热器散热性能和阻力特性检测系统,该检测系统采用基于CAN Bus的分布式测控模式,对现场测控模块实时检测和控制检测系统的温度、压力和流

收稿日期:2012-04-28

基金项目:浙江省重大科技专项资助项目(2010C01015)

作者简介:唐任仲(1961-),男,湖南湘潭人,教授,博士生导师,主要从事过程管理、制造业信息化方面的研究。E-mail: tangrz@zju.edu.cn

量等参数,监控计算机完成检测参数的输入、数据监控和检测结果分析。文献[5]提出了空调热交换器的一种新型试验方法,该方法不仅满足而且优于 JB2293-78 的要求。该试验装置的风洞试验段为开口自由射流,其核心区的流场是均匀的,免去了 JB2293-78 中所采用的风洞安装汽车散热器的麻烦。

上述文献中研究设计的热交换器散热性能检测装置虽然能够检测出与实际工况比较接近的热交换器散热性能,但这些设备价格昂贵,测量操作比较复杂,而且这些精度比较高的测量装置一般用于热交换器产品设计和校核阶段。对于中小企业占绝多数的热交换器行业来说,通过设计一个简单实用的检测装置来增强汽车空调热交换器生产企业生产过程的质量控制能力,具有非常重要的意义。

本研究针对汽车空调热交换器生产过程质量检测存在的问题,结合企业的实际情况,以汽车空调热交换器的质量评价指标 - 散热性能为研究对象,提出面向生产过程质量控制的汽车空调热交换器散热性能检测装置的设计原理,完成检测装置的硬件和软件的设计与实现,并通过实验的方式证明设计实现的检测装置可以通过检测出热交换器 KA 值的变化来判定和识别热交换器生产过程是否发生异常的情况。

1 检测装置设计原理

汽车空调热交换器的作用是在冷、热流体之间完成热量交换和传递,本研究以放热的汽车空调热交换器为研究对象。根据稳态条件下的传热基本公式^[6-7],有:

$$Q_{放} = K \cdot A \cdot \Delta t_m \tag{1}$$

式中: $Q_{放}$ —热交换器单位时间内放出的热量, W; K —热交换器的传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; A —热交换器的散热面积, m^2 ; Δt_m —传热平均温差, $^\circ C$ 。

传热平均温差的确定与热交换器的形式有关,对于简单的顺流式和逆流式热交换器,一般使用对数平均温差,而对于交叉流和混合式汽车空调热交换器,一般按照简单的逆流式汽车空调热交换器来进行处理^[8]。顺流式和逆流式热交换器对数平均温差求解是不同的。

顺流传热(如图 1 所示)时:

$$\Delta t_m = \frac{(t_1 - t_3) - (t_2 - t_4)}{\ln \frac{t_1 - t_3}{t_2 - t_4}} \tag{2}$$

逆流传热(如图 2 所示)时:

$$\Delta t_m = \frac{(t_1 - t_4) - (t_2 - t_3)}{\ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}} \tag{3}$$

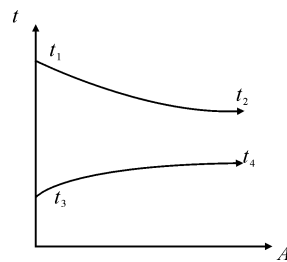


图 1 顺流传热

t_1 —汽车空调热交换器制冷剂进口温度, $^\circ C$; t_2 —汽车空调热交换器制冷剂出口温度, $^\circ C$; t_3 —汽车空调热交换器进风侧空气温度, $^\circ C$; t_4 —汽车空调热交换器出风侧空气温度, $^\circ C$

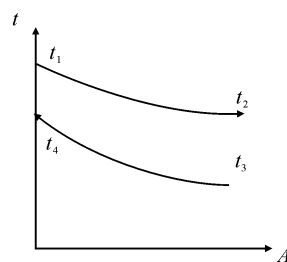


图 2 逆流传热

本研究主要以交叉流式汽车空调热交换器为研究对象,采用近似逆流式平均对数温差来进行计算,因此,将式(3)代入到式(1)中,有:

$$Q_{放} = K \times A \times \frac{(t_1 - t_4) - (t_2 - t_3)}{\ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}} \tag{4}$$

此处,传热系数 K 的计算是基于这样一个假设:假设时间 t 内通过汽车空调热交换器放出的热量,理论上应该等于制冷剂自身减少的热量。考虑到本研究只是涉及热交换器的相对散热性能、以及水环保、节约成本等原因,检测装置以水作为制冷剂来进行检测。因此,根据热平衡公式,可以得到如下公式:

$$Q_{放} \cdot t = K \cdot A \cdot \Delta t_m \cdot t = Q_{水放} = c \cdot m \cdot \Delta t = c \cdot \rho \cdot V \cdot t \cdot \Delta t \tag{5}$$

等式两边同时约掉 t , 即有:

$$K \cdot A \cdot \Delta t_m = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta t \tag{6}$$

式中: V —制冷剂水的流量, m^3/s ; c —水的比热容, $4.2 \times 10^3 J/(kg \cdot ^\circ C)$; ρ —水的密度, $1.0 \times 10^3 kg/m^3$; K —传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; A —汽车空调热交换器的散热面积, m^2 ; Δt —汽车空调热交换器进口水温与出口水温的温度差, $^\circ C$; Δt_m —热流体(水)与冷流体之间的平均温差, $^\circ C$ 。

最后可以得到:

$$K = \frac{c\rho V(t_1 - t_2) \ln \left(\frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3} \right)}{A(t_1 + t_3 - t_2 - t_4)} \tag{7}$$

式中: t_1 一热交换器进口水温, $^{\circ}\text{C}$; t_2 一热交换器出口水温, $^{\circ}\text{C}$; t_3 一热交换器进风侧空气温度, $^{\circ}\text{C}$; t_4 一热交换器出风侧空气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

要计算出某一型号汽车空调热交换器具体的 K 值,还要求得这一型号汽车空调热交换器的散热面积 A 的值。考虑到汽车空调热交换器一般结构都比较复杂,散热面积计算过程比较复杂,本研究将 KA 作为一个整体来进行考虑。因此,公式(7)可以转化为:

$$KA = \frac{c\rho V(t_1 - t_2) \ln\left(\frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}\right)}{(t_1 + t_3 - t_2 - t_4)} \quad (8)$$

2 检测装置功能结构

检测装置的硬件主要包括:温度传感器、A/D 采集设备、涡轮流量计、高温高压水泵、流量计电流信号

调理电路等。温度传感器有两种:一种是测量水温度的温度传感器。另一种是测量空气温度的温度传感器,考虑到被测介质的温度范围为 $0 \sim 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$,本研究在此选用 PT100 温度传感器,其误差为 $\pm 0.5\%$ 。涡轮流量计的型号为 LW-6P1M2SNS,正常流量测量范围为 $0.07 \sim 0.15 \text{ m}^3/\text{h}$, $4 \text{ mA} \sim 20 \text{ mA}$ 电流信号输出。A/D 采集设备包括 NI 9217 温度采集卡 2 块、NI 9215 电压采集卡 1 块以及 NI 9174 采集卡机箱 1 个。流量计信号调理电路的作用是将流量计输出 $4 \text{ mA} \sim 20 \text{ mA}$ 的电流信号转化为 $0 \sim 5 \text{ V}$ 的电压信号,然后与 NI 9215 电压采集卡连接,实现流量信号采集。高温高压水泵型号为威乐 MHI203EA 型高压热水泵,确保加热后的水能够顺利经过热交换器进行热量交换。

检测装置硬件连接图如图 4 所示。

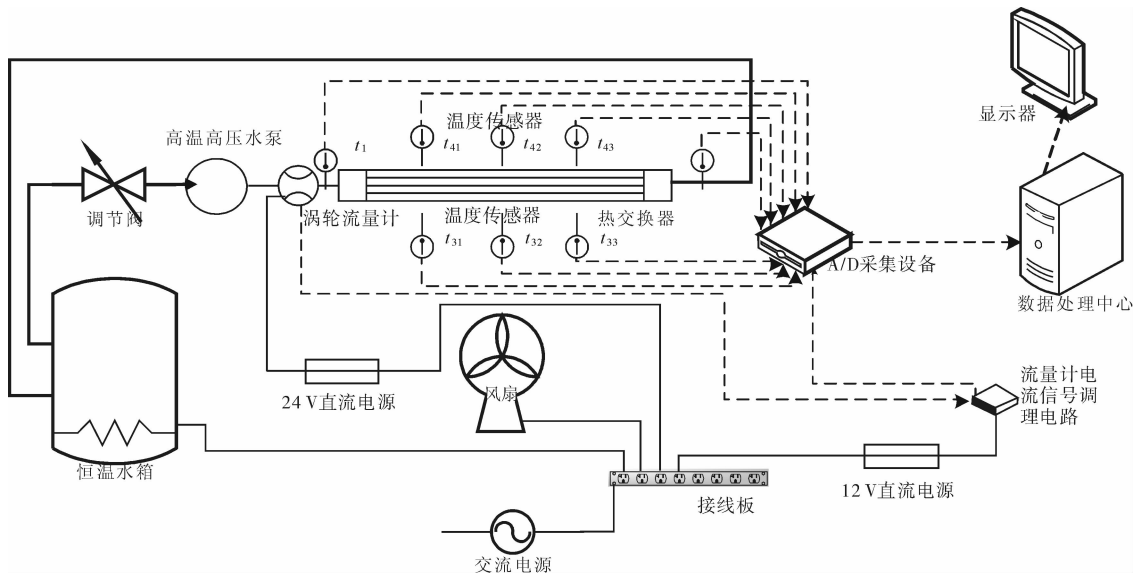


图 4 检测装置硬件连接图

检测装置的硬件设备布置连接完成后,需要设计编写相应的软件来实现数据的采集、处理和计算等功能。检测装置的软件是基于 LabVIEW 环境编写实现的。检测装置的软件功能模块包括:采集参数设置、测量温度矫正与 KA 值计算、 KA 值图形化显示等模块。软件的功能模块如图 5 所示,对各功能模块说明如下:

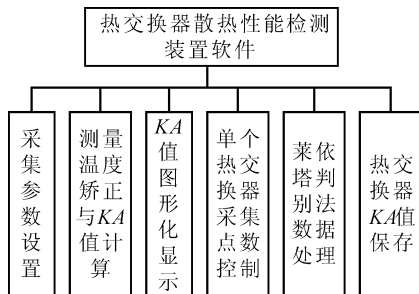


图 5 检测装置软件的功能模块图

(1)采集参数设置。采集参数设置包括硬件采集参数设置和热交换器信息设置两个方面。硬件采集参数设置主要是指在数据采集开始前,需要设置相关硬件设备参数,包括数据采集通道、热电阻特性参数、热电阻结构参数、采样频率等采集参数,采集参数设置是保证数据采集顺利进行的前提条件。热交换器信息设置主要是指数据采集开始前,需设置好热交换器编号等身份识别信息,以确保采集信息的唯一识别和完整性。

(2)测量温度矫正与 KA 值计算。测量温度矫正是为减少温度测量误差,需要对购买的温度传感器进行二次标定校准,以获得校准拟合函数,在进行热交换器 KA 值计算之前需要按照拟合函数进行处理。 KA 值计算是指空气温度、水温度以及水流量数据采集获得之后,需要按照 KA 计算汽车空调热交换器的 KA 值。

(3)KA 值图形化显示。KA 值图形化显示主要是将实时计算获得 KA 值通过构建波形的方式将结果显示出来,便于检测人员直观地了解检测的热交换器 KA 值的大致波动范围。

(4)单个热交换器采集点数控制。单个热交换器采集点数控制的作用是控制对单个热交换器数据采集的次数。当对单个热交换器采集的数据达到一定的精密度后,程序会自动停止数据采集,表示该热交换器 KA 值采集已经完成。

(5)莱依塔判别法数据处理^[9-10]。莱依塔判别法数据处理是指当对某个热交换器进行多次等精度测量之后,首先需要对多次测量中可能包含的异常数据进行剔除,然后对剩下的测量值求取算术平均值作为这个热交换器的 KA 值。

莱依塔判别法数据处理流程如图 6 所示。

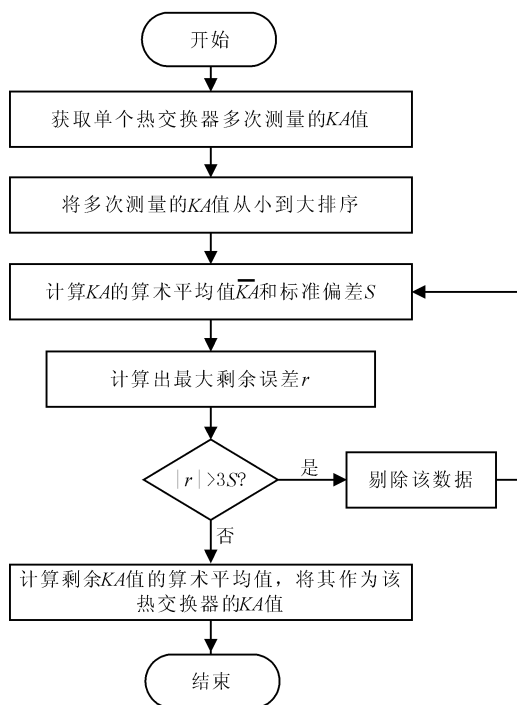


图 6 莱依塔判别法数据处理流程图

(6)热交换器 KA 值保存。对企业来说,汽车空调热交换器的 KA 值含有大量有价值的信息,需要进行保存,便于企业后期进行数据挖掘,获取有用的信息,帮助企业提高生产管理水平和生产决策能力。

3 实验结果分析

为了验证所设计的汽车空调热交换器散热性能检测装置能够发现生产过程是否出现异常情况,本研究采用实验测试的方法对此进行了验证。

实验测试的汽车空调热交换器样品如图 7 所示。



图 7 汽车空调热交换器实物图

在企业加工生产过程正常的情况下,该热交换器的翅片开窗角度为 26°(由成型器滚刀角度控制),平行流管不进行缩口处理,钎焊炉温和网带速度分别为 625 °C 和 19.5 r/min。随机抽取了生产过程正常生产出来的 12 个热交换器进行了 KA 值测量。另外,本研究特地针对生产过程中出现的异常情况(如表 1 所示),每种情况下各生产了 4 个热交换器,对总共 20 个热交换器进行了 KA 值测量。下面按翅片开窗角度异常、平行流管缩口以及钎焊炉温和网带速度异常 3 种情况来分析 KA 值的测量结果。

表 1 生产过程异常情况及所生产的热交换器数

热交换器生产工艺参数值	热交换器数量
翅片开窗角度偏小(23°)	4
翅片开窗角度偏大(29°)	4
平行流管两端缩口(平行流管内径变小)	4
钎焊炉温和网带速度(622 °C 和 18.5 r/min)	4
钎焊炉温和网带速度(628 °C 和 20.5 r/min)	4

3.1 翅片开窗角度异常情况下的实验测试结果分析

本研究将 12 个生产过程正常(翅片开窗角度为 26°)、4 个翅片开窗角度偏小(23°)和 4 个翅片开窗角度偏大(29°)的热交换器测量获得的 KA 值分别绘制成曲线,对比图如图 8 所示。

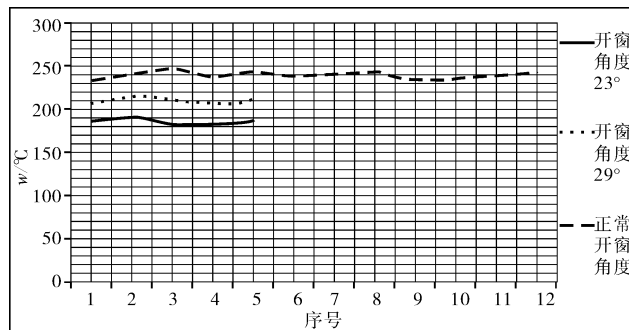


图 8 翅片开窗角度异常与正常开窗角度热交换器 KA 对比图

由图 8 可知,开窗角度正常的 KA 值较大,而开窗角度异常的热交换器 KA 曲线在正常热交换器 KA 曲线下面,且曲线之间的间隔比较明显,说明如果翅片滚

刀角度异常(从而导致翅片开窗角度偏离正常大小),该检测装置能够发现这种情况下生产出来的热交换器的 KA 值显著变小这一现象。

3.2 平行流管两端缩口情况下的实验测试结果分析

本研究将 12 个生产过程正常(平行流管不缩口)和 4 个平行流管两端缩口的热交换器测量获得的 KA 值分别绘制成曲线,两种情况下 KA 值的结果对比如图 9 所示。

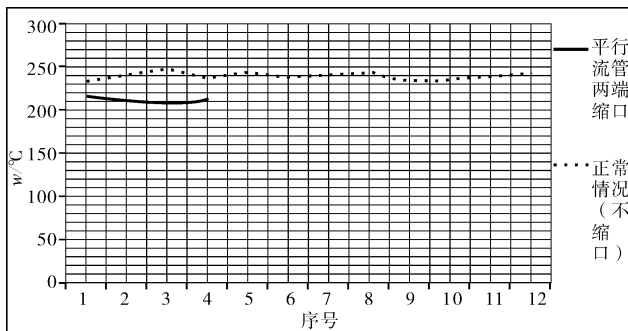


图9 平行流管两端缩口与不缩口热交换器 KA 值对比图

由图 9 可知,平行流管两端径缩口处理后,测量获得的散热 KA 值比平行流管不缩口测量获得的散热 KA 值小,而且差距比较明显。这表明该检测装置能够发现这种情况下生产出来的热交换器的 KA 值显著变小这一现象。

3.3 钎焊炉温和网带速度异常情况下的实验测试结果分析

本研究将 12 个生产过程正常(钎焊炉温和网带速度为 $625\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 19.5 r/min)、4 个钎焊炉温和网带速度为 $628\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 20.5 r/min 和 4 个钎焊炉温和网带速度为 $622\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 18.5 r/min 的热交换器测量获得的 KA 值分别绘制成曲线,3 种情况下测量的 KA 值的结果对比如图 10 所示。

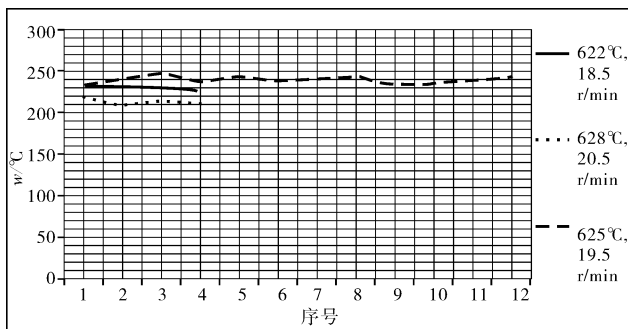


图 10 异常钎焊炉温和网带速度与正常钎焊炉温和网带速度 KA 值曲线图

由图 10 可知,钎焊炉温和网带速度为 $622\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 18.5 r/min 时热交换器的 KA 值与钎焊炉温和网带速

度正常时热交换器的 KA 值相比较,差距不是特别大;而钎焊炉温和网带速度为 $628\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 20.5 r/min 时热交换器的 KA 值与钎焊炉温和网带速度正常时热交换器的 KA 值相比较,差距明显。实际上,前一种情况的钎焊炉温和网带速度与正常钎焊炉温和网带速度差距也不明显。由此表明该检测装置能够发现这种情况下生产出来的热交换器的 KA 值显著变小这一现象。

通过上面测试结果的分析可知,本研究设计实现的热交换器散热性能检测装置可以通过检测热交换器 KA 值是否发生变化,来判定热交换器生产过程是否发生异常情况。

4 结束语

本研究针对汽车空调热交换器生产过程中质量检测存在的问题,开展了面向生产过程质量控制的汽车空调热交换器散热性能检测装置研究及应用工作。以汽车空调热交换器质量指标 - 散热性能为研究对象,提出了面向生产过程质量控制的散热性能检测装置的设计原理,完成了检测装置的硬件和软件设计。

本研究运用实验的方式验证了设计实现的检测装置可以通过检测热交换器 KA 值是否发生变化,来判定热交换器生产过程是否发生异常情况。这为提高热交换器生产过程质量控制能力奠定了一定的基础。

参考文献 (References):

- [1] 王 侃,文昌俊. 基于过程能力的制造企业质量竞争力模型研究[J]. 中国机械工程,2007,18(14):1694-1693.
- [2] 路 璐. 中国制造企业质量竞争力现状调查及分析研究[D]. 天津:天津大学管理学院,2007.
- [3] 韦 鸣,陈建立. 基于虚拟仪器的板式换热器实验室检测系统[J]. 中国制造业信息化,2011,40(13):48-50.
- [4] 姚福强,李世光. 汽车散热器性能检测的计算机测控系统设计[J]. 自动化仪表,2007,28(10):38-41.
- [5] 周兴华,王玉春,周建和. 汽车散热器的一种新型试验方法[J]. 天津大学学报,2002,35(4):535-540.
- [6] 舒水明,丁国忠,胡兴华,等. 制冷与低温工程实验技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2008.
- [7] 韩宝琦,李树林. 制冷空调原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [8] 陈孟湘. 汽车空调 - 原理、结构、安装、维修[M]. 上海:上海交通大学出版社,2001.
- [9] 卢 锋. 自动剔除实验测量中环值的方法[J]. 电脑学习,1995(6):22-23.
- [10] 叶 川,伍川辉,张嘉怡. 计量测试中异常数据剔除方法比较[J]. 计量与测试技术,2007,34(7):26-27.

[编辑:罗向阳]