

文章编号: 1005- 8893 (2006) 02- 0033- 04

# 污垢热阻的监测系统装置开发<sup>①</sup>

李彩东, 张锁龙

(江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 根据传热学基本原理, 建立了污垢热阻动态监测模型; 并在此基础上, 基于 LabVIEW 软件开发了污垢热阻实验装置系统, 以实现数据的自动采集、分析与处理。阐述了测试系统的 LabVIEW 软件, 同时对装置系统进行了校正并与通用监测方法相比较, 证明了其准确性和可靠性, 对污垢理论研究具有推动作用。

**关键词:** 污垢热阻; LabVIEW; 自动采集

中图分类号: TK 172

文献标识码: A

## Development of a Measure System for the Fouling Thermal Resistance

LI Cai- dong, ZHANG Suo- long

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Based on the principle of the heat transfer, a dynamic model for monitoring the fouling thermal resistance was established, and on this basis, an experimental system for measuring the fouling thermal resistance was developed to gather, analyse and handle the data automatically with the LabVIEW. In this paper, the software of LabVIEW was introduced and modified for the test. By comparing experimental results in this test with that of the genenal method, this system was proved to be correct and reliable. So it can drive the theoretical research of fouling.

**Key words:** fouling thermal resistance; LabVIEW; gather automatically

污垢广泛地存在于各种换热设备中, 导致了能耗和维护清洗费用增加、产品质量降低以及设备投资增大等一系列问题<sup>[1]</sup>。因此, 国内外格外重视对污垢形成机理及影响因素的理论研究。然而污垢的形成过程是动量、能量和质量传递同时存在的综合过程, 影响因素很多, 而且还涉及到化学动力学、胶体化学乃至表面科学等知识, 造成了理论分析预测的难度加大, 因而实验研究手段和监测技术, 对于污垢研究显得十分重要。目前工业中主要是通过总传热系数的降低来表示污垢热阻, 从而对其施行监测, 但这种通用方法<sup>[2]</sup>有一个缺点, 它

忽略了污垢积聚对壁面及流体的对流传热系数的影响, 可能会测出负污垢热阻值。因此, 为了保证实验研究时污垢数据的准确性, 需要建立污垢热阻动态监测模型并开发出一套测试系统, 以实现数据的在线自动采集和处理。

### 1 监测原理

由传热学中污垢热阻的定义<sup>[3]</sup>可知:

$$R_f = \frac{T_{wf} - T_s}{q} \quad (1)$$

式中  $T_{wf}$  可准确测量,  $T_f$  则通过分析换热管内的

① 收稿日期: 2006- 04- 06

基金项目: 中国石油化工集团总公司资助项目 (X503018)

作者简介: 李彩东 (1981- ), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生; 联系人: 张锁龙。



2.2 数据处理系统

实验中选用 LabVIEW 软件来进行数据分析处理。LabVIEW 是 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 的简称, 是美国国家仪器公司的创新软件产品。用 LabVIEW 写程序不同于其它语言编写程序, 编写程序的过程就是把 LabVIEW 已有的模块插入前面板和框图板, 再用数据线按数据的流动过程相连<sup>[4,5]</sup>。本污垢热阻测试系统是在 LabVIEW 6.3 版本上进行开发设计的。其主体部分是根据前面所述的监测原理, 基于 Labview 软件的模块流程来实时表示出污垢热阻值, 同时通过各参数的实时趋势图, 可以很好地了解各参数的变化情况。另外还要编写出数据保存系统, 如图 3 所示, 它将自动在 C 盘下建立一个“污垢热阻实验数据”的文件夹, 专门用来记录被测参数数, 便于实验结束后进行数据调用和分析。

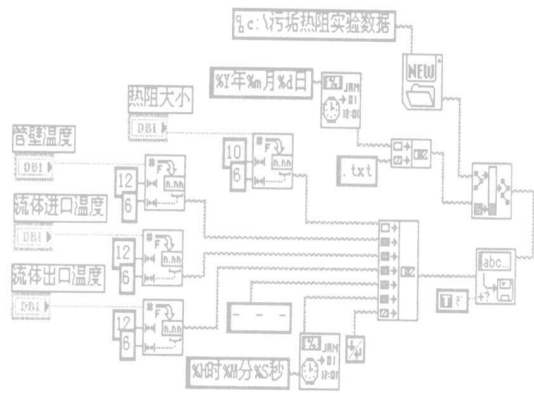
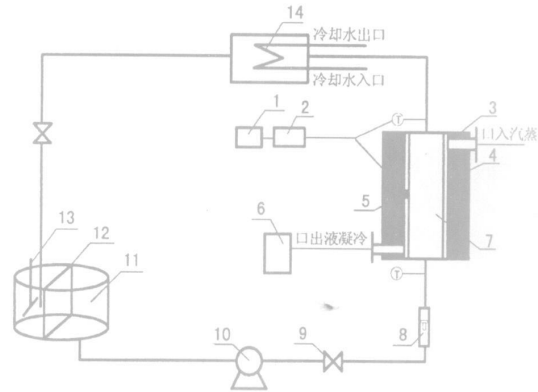


图 3 数据保存程序  
Fig. 3 Procedure of saving the data

2.3 实验装置系统

本文设置了如图 4 的实验流程图。其中套管采用  $\phi 48\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  的钢管, 套管内为  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  的饱和蒸汽, 其外侧有  $20\text{ mm}$  厚的保层。换热管采用  $\phi 25\text{ mm} \times 2\text{ mm}$  的钢管, 有效传热长度为  $1\text{ }000\text{ mm}$ 。换热管出口流体经过一冷却系统后流入水槽, 以便循环使用。另外由于碳酸钙的结垢使得其在整个循环系统中的含量减少, 为此需要在水槽中加入碳酸钙粉末。同时用搅拌设备不断搅拌以及过滤网过滤掉水槽中较大的碳酸钙颗粒, 确保在整个循环过程中,  $\text{CaCO}_3$  溶液都处于饱和状态。



1- 个人计算机, 2- 数据采集设备, 3- 保温层, 4- 套管, 5- 热电偶, 6- 冷凝液收集器, 7- 实验管, 8- 转子流量计, 9- 阀门, 10- 循环水泵, 11- 碳酸钙饱和溶液, 12- 过滤网, 13- 搅拌设备, 14- 冷却水系统

图 4 实验装置系统图  
Fig. 4 System of the experiment equipment

2.4 系统误差修正

由于在信号采集过程中, 硬件部分不可避免地会产生系统误差, 再加上计算公式是半理论半经验公式, 因此, 为了处理方便都将它们归为系统误差。以自来水为循环水连续运行  $10\text{ d}$ , 每  $20\text{ min}$  采集一次数据。通过改变自来水的流量和热流密度的大小, 其出口温度, 压降以及壁温都随之变化, 但发现管内污垢热阻的曲线非常平稳, 接近  $-3.6 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{K/W}$ 。而自来水经过一系列处理后, 水中没有悬浮物和微生物等, 不可能产生污垢或产生的污垢接近为零, 因此, 可以认为系统误差为  $-3.6 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{K/W}$ , 需要在测试程序中进行修正。

3 测试系统的验证

以饱和  $\text{CaCO}_3$  溶液作为实验介质来检测该系统的准确性和可靠性。 $\text{CaCO}_3$  具有负溶解性, 它在管内侧结垢, 导致传热系数降低, 而且  $\text{CaCO}_3$  污垢坚实致密, 附着力强, 难以清洗, 严重时可以将管道堵塞<sup>[6]</sup>。为了确保在整个循环过程中,  $\text{CaCO}_3$  溶液都处于饱和状态, 每天测量一次  $\text{CaCO}_3$  溶液的浓度, 将过滤后的  $\text{CaCO}_3$  全部附着在滤纸上, 烘干滤纸并由电子天平称重, 然后与未过滤前的滤纸质量进行对比, 就可得出循环系统中的  $\text{CaCO}_3$  浓度, 从而来调整  $\text{CaCO}_3$  粉末的加入量。每个实验持续时间为  $7\text{ d}$ , 同时每个实验都是独立的过程, 并且都是在换热管清洁状态时开始实验, 因此在每次实验结束后都要对换热管进行清洗, 以保证实验

数据的准确性。

## 4 结 论

实验结束后, 将本测试系统得出的结果与目前通用的污垢热阻测量方法相比较, 经过处理后两者的比较见图 5。

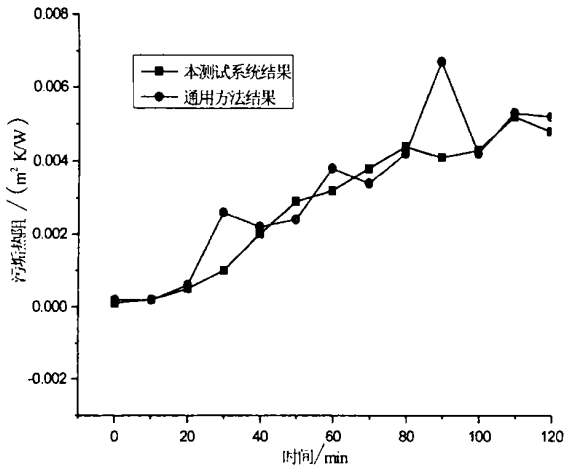


图 5 本测试系统结果与通用方法的比较

Fig. 5 Comparing experiment results in this test with that of the general method

可以看出, 其监测结果基本一致, 证明了该测试系统原理是正确的, 同时也证明了测试装置能够持久, 稳定地工作。但是本装置测试的波动要比通用方法得到的结果小得多, 因而其测量效果比通用监测方法更准确, 可见本装置测试系统的完善和推广必将为污垢理论研究提供科学的依据。

## 符号说明:

- $T_{wf}$ —管壁与污垢层之间的界面温度, K  
 $T_f$ —流体与污垢层之间界面温度, K  
 $q$ —热流密度,  $W/m^2$   
 $h_m$ —平均对流传热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$   
 $v$ —流体流速,  $m/s$   
 $C_p$ —流体比热,  $kJ/(kg \cdot K)$   
 $T_{fo}$ —流体的出口温度, K  
 $T_{fi}$ —流体的入口温度, K  
 $l$ —管子的长度, m  
 $d$ —管子的内径, m  
 $St$ —传热斯坦特数  
 $Pr$ —普朗特数  
 $f$ —范宁摩擦系数  
 $G$ —体积流量,  $kg/(m^2 \cdot s)$

## 参考文献:

- [1] 杨善让, 徐志明. 换热设备的污垢和对策 [M]. 北京: 科学出版社, 1995. 8-10.
- [2] 杨善让. 气轮机凝汽设备及运行管理 [M]. 第一版. 北京: 科学出版社, 1993. 85-86.
- [3] 孙灵芳, 王建国. 一种新型电子水处理器阻垢率的在线监测评价方法及装置 [J]. 工艺水处理, 2000, 20 (3): 32-34.
- [4] 张凯, 周瞰, 郭栋. LabVIEW 虚拟仪器工程设计与开发 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [5] 侯国屏, 王坤, 叶齐鑫. LabVIEW 编程与虚拟仪器设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 2-27.
- [6] 张登庆, 张锁龙, 陆怡. 诱导换热管流体弹性振动的换热及结垢性能研究 [J]. 化工进展, 2005, 24 (7): 773-777.