

红外式冰箱结霜传感器的设计和试验研究

张龙浩¹, 张杰¹, 胡青²

(1. 华中科技大学控制科学与工程系 湖北武汉 430074; 2. 武汉海桑科技有限责任公司 湖北武汉 430074)

摘要: 现有无霜冰箱中多采用机械定时器定时除霜, 为了解决此种方式除霜误判率高和能耗大等缺点, 利用光在霜内发生的散射、反射、折射等作用的光学特性, 设计了可以测量霜厚的红外式冰箱结霜传感器。该传感器以红外收发对管为核心, 其机械结构可使其安装在冰箱蒸发器表面。设计了传感器的信号处理电路和单片机程序。传感器和冰箱的压缩机和除霜设备协同工作组成自动除霜系统, 使冰箱工作在无霜状态。在结霜试验平台下进行的单件和多件一致性实验表明该传感器在 0~5 mm 内测量霜厚相对误差小于 20%, 绝对误差小于 1 mm, 满足冰箱探霜的要求。结冰实验表明结霜探测不受结冰的干扰。

关键词: 结霜传感器; 节能; 结霜厚度; 试验研究; 除霜系统

中图分类号: TP212 文献标识码: A 文章编号: 1002-1841(2013)05-0010-02

Design and Experimental Study of Infrared Refrigerator Frost Sensor

ZHANG Long-hao¹, ZHANG Jie¹, Hu Qing²

(1. Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Hisun Technology Co. Ltd., Wuhan 430074, China)

Abstract: Most of current frost-free refrigerators use mechanical timer defrost device to defrost. It has drawback of high misjudgment rate and high energy consumption. In order to solve the problem, an infrared refrigerator frost sensor which can detect frost thickness was designed. It adopted the optical property that the light can scatter, reflect, adsorb in the frost. Its core is infrared emitting and receiving diode and its mechanical structure allows it to be installed on the refrigerator evaporator surface. Signal processing circuit and MCU program of the sensor was designed. The sensor can work with refrigerator compressor to form an automatic defrost system, making the refrigerator work in frost-free status. The consistency experiments on frost experiment platform prove that when frost thickness is within 0 to 5 mm, the absolute error of the sensor is less than 1 mm, and the relative error is less than 20%, it meets the requirements of frost detection. Freezing experiments prove the sensor is not affected by the interference from freezing.

Key words: frost sensor; energy saving; frost thickness; experimental study; defrosting system

1 传感器的工作原理和结构

1.1 传感器的工作原理

在理想的均匀透明介质中光沿直线传播, 而霜是一种冰晶和空气组成的混合介质, 其各部分折射率分布不均匀, 故光会在霜内主要发生散射、吸收、反射、折射等一系列作用, 而同时霜是 Mie 散射介质, 散射强度很大, 光透过率较低, 所以在以上几个作用中又以散射作用和吸收作用最强^[2]。该传感器就是借助这一原理, 利用不同霜厚时由光电二极管接收到的散射光强度的不同, 进而得到光电二极管的光电流与霜厚之间的对应关系来确定是否结霜。图 1 是传感器的光路示意图。

图 1 中发射二极管发射红外光到达探测面, 当探测面无结霜现象发生时, 发射光将进入空气, 光电二极管基本探测不到任何发射光, 无光电流输出。当探测面有霜生成时, 光在霜层内发生散射、反射、吸收等一系列作用, 其中的霜层-空气界面的反射光以及在霜层内的散射光进入光电二极管, 产生电信号。当霜厚发生变化时, 光在霜中的光通路的截面积也会随之变化, 通过检测接收光信号的强度及变化趋势, 就达到测量结霜厚度的目的。

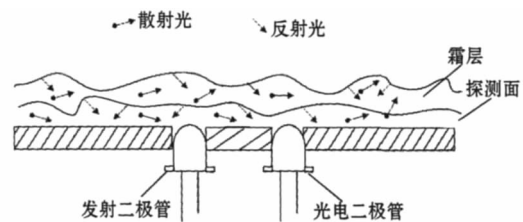


图 1 结霜传感器光路图

1.2 传感器的结构

在进行了一系列相关的试验后, 最终设计的传感器如图 2 所示。传感器在收发二极管上方都加了光纤, 从而防止水进入传感器, 发射光纤与探测表面有一个夹角, 从而结霜时让接收光纤的近光量更大, 从而提高传感器的灵敏度。传感器的材料是铝合金, 原因是其不会生锈且导热性能较好。该传感器可固定在冰箱蒸发器表面, 安装时探霜表面和水平面成一定的角度, 从而防止化霜时水在探霜表面堆积。

2 传感器的电路设计及自动除霜系统

为了将该传感器直接用于冰箱, 必须设计一个信号调理电路, 配合冰箱实现真正的自动除霜, 自动除霜系统可以直接代替无霜冰箱中原来的除霜定时器。系统结构如图 3 所示。

收稿日期: 2012-05-30 收修改稿日期: 2013-02-20

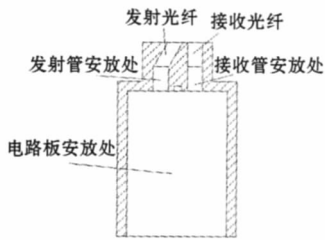


图 2 结霜传感器结构示意图

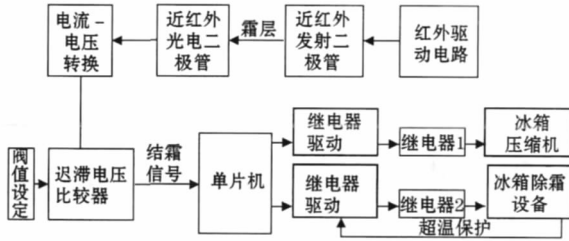


图 3 基于传感器的自动除霜系统结构框图

在图中, 红外驱动电路驱动发射二极管, 当霜厚不同时, 接收二极管接收的光信号也不同。电流放大器把接收二极管的光电流转换成电压信号, 电压比较器把该电压和阈值进行比较。电压比较器是个迟滞比较器, 可以防止在临界点附近结霜信号的反复跳动。电压比较器比较生成的结霜信号进入单片机后, 单片机根据结霜信号对冰箱压缩机和冰箱除霜设备发出控制信号。

系统中的单片机选用 8 脚廉价单片机 STC15F100 以节省成本。图 4 为单片机程序流程图。检测周期开始后, 单片机检测结霜信号。若为无霜, 则发出定时检测信号, 间隔 1 h 再检测; 若为有结霜报警, 则关闭冰箱压缩机, 等 15 min 让冰箱内冷气循环基本停止后, 开启除霜加热器除霜 45 min 后, 关闭除霜设备, 开启压缩机。然后进入新的检测周期继续检测。

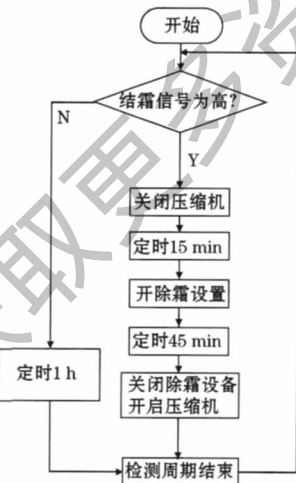


图 4 单片机程序流程图

3 传感器的试验研究

3.1 结霜实验平台

在充分考虑了如何模拟冰箱内结霜环境后, 设计了如图 5 所示的结霜试验装置。结霜试验装置主要由雾化器、激光测距仪、结霜传感器、信号调理电路、万用表等组成。首先由雾化

器对水进行雾化, 然后雾气经由导管进入冷冻井, 当雾气遇到冷冻井内的冷表面的时候即会出现结霜现象, 传感器安装在冷冻井里, 传感器表面和冷冻井的表面相平, 使用激光测距仪记录霜厚信息, 使用万用表读取调理电路的输出电压值。

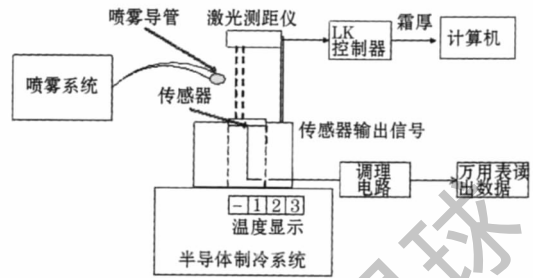


图 5 结霜实验平台

试验中直接把传感器中发射和接收对管的引脚引到测试电路板上, 测试电路主要由运放组成的电流放大器组成, 电路把红外接收二极管的较弱的光电流放大并转化为测试电压 V_o , 这部分的电路图如图 6 所示。

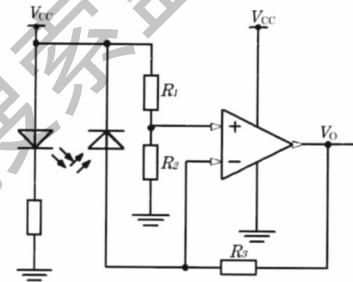


图 6 结霜实验测试电路图

图 6 中测试电压 V_o 和接收二极管光电流 I_D 有如下关系:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc} - R_3 I_D \quad (1)$$

在以下的试验中均取 $V_{cc} = 5 \text{ V}$, $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 300 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 24 \text{ k}\Omega$ 。

3.2 传感器一致性实验

根据结霜传感器结构图共制作了 7 件传感器样件, 通过对 7 件不同的传感器进行重复试验, 获得相关的试验数据, 进而通过不同传感器的多组试验数据的结果进行对比, 判断结霜传感器是否有足够好的一致性。同时还可以根据所得的数据进行结霜厚度标定, 从而方便调整结霜报警的阈值霜厚。

3.2.1 传感器的单件一致性

图 7 为 1 号传感器的重复 5 次结霜试验数据进行插值后的得到的霜厚 - 电压曲线, 图中可以看到传感器在有着较好的单件一致性。且霜厚越薄时一致性越好。

3.2.2 传感器的多件一致性

共制作了 7 个传感器样件, 每件样件做了 5 组结霜试验。根据在结霜试验中获得的霜的厚度值与输出电压值之间的对应关系, 共获得了 35 组有效数据, 表 1 是对 35 组数据的处理结果。

(下转第 78 页)

- [7] JIN X D, FANG X J, WANG A B, et al. A fiber-optical pressure sensor with an optical bridge compensating technique. *Laser und Optoelektronik*. 1991, 23(5): 70-73.
- [8] BEHEIM G. Loss-compensation technique for fiber-optic sensors and its application to displacement measurements. *Applied Optics*, 1987, 26(3): 452-455.
- [9] 曹汇敏. 微型光纤传感器理论建模与设计实现. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [10] 崔陆军. 反射式光纤束氢气传感器的研究与实现. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [11] 杨华勇. 反射式强度调制型光纤传感器强制调制特性的数学模型与关键技术的研究 [学位论文]. 长沙: 国防科学技术大学, 2002.
- [12] BECKMANN P, SPIZZICHINO A. The scattering of electromagnetic waves from roughness surfaces. Pergamon, New York, 1987.
- [13] 董友耕. 加工中及在线测量表面粗糙度方法评述. *机床与液压*, 2010, 38(1): 120-123.
- 作者简介: 朱珊莹(1982—), 讲师, 工学博士, 主要研究方向为光纤传感技术和信号处理技术. E-mail: zsy6136@163.com

(上接第 11 页)

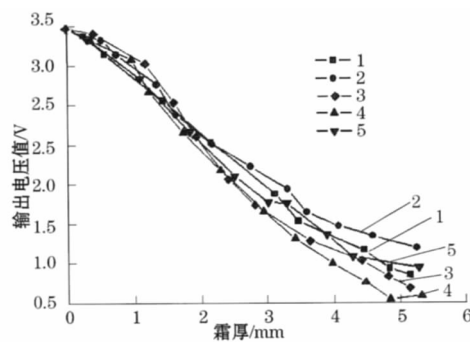


图 7 1 号传感器的 5 组实验结果

表 1 结霜试验 35 组数据的处理结果

霜厚/mm	平均电压/V	最大误差/mm
0.0	3.541	0.19
1.0	3.133	0.24
2.0	2.387	0.42
3.0	1.660	0.61
4.0	1.178	0.83
5.0	0.828	0.98

表中的平均电压为把 35 组曲线进行拟合后的拟合曲线上 0~5 mm 霜厚所对应的电压。最大误差为该霜厚处 35 条曲线中和平均电压相差最大的输出电压在拟合曲线上对应的霜厚和实际霜厚的误差。

从表中可以看到,随着霜厚度的增长,传感器的一致性会变差,但整体来说在 0~5 mm 的范围内传感器的绝对误差小于 1 mm,相对误差小于 20%。由于冰箱除霜对霜厚的测量的精度要求不是非常高,而且一般发出除霜信号的临界霜厚都会设在 3 mm 以内,所以该结霜传感器的一致性是可以满足冰箱要求的。

3.3 传感器的结冰分析

在结霜的环境下,有时由于霜融化而遗留的而在传感器表面形成水膜,其遇冷形成会较薄的冰层,这对于结霜探测判断是一个干扰,故需要进行结冰试验研究,以确认冰对霜探测的干扰情况。将红外式结霜传感器置于相同的结霜环境下,进行

结冰试验,7 个传感器每个进行 1 组试验共得到 7 组试验结果,如图 8 所示。

由图 8 可以看出,冰厚度小于 2 mm 时,输出电压值会急剧减小为一个很小值,显然,此时输出电压值会明显小于阈值,从而启动加热除霜设备把冰除去。所以,冰箱结霜传感器探测到冰层后会自动除冰,从而使结霜探测不受干扰。

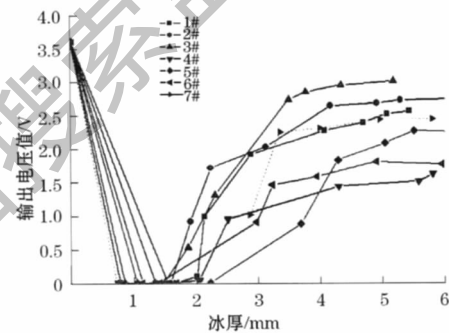


图 8 结霜传感器的结冰实验结果

4 结束语

红外式冰箱结霜传感器是一种基于光在霜中发生散射、吸收、反射作用而设计的一种可以测量霜厚的光电传感器。具有价格低廉、一致性较好、安装方便等特点。传感器的量程为 0~5 mm,且在霜厚越薄时误差越小。在某国产冰箱厂进行的冰箱试验也证明,该传感器可以较准确的除霜,从而代替原有的除霜定时器。

参考文献:

- [1] 张哲. 空气-空气式热泵蒸发器的结霜性能和除霜研究 [学位论文]. 天津: 天津商学院, 2001.
- [2] 张杰, 周磊, 张洪, 等. 飞机结冰探测技术综述. *仪器仪表学报*, 2006, 27(12): 1578-1586.
- [3] 李薇, 叶林, 张杰, 等. 光纤式结冰传感器的试验研究. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(8): 17-22.
- [4] 张洪, 邢科新, 张杰, 等. 平膜压电谐振式结冰传感器信号检测方法. *仪表技术与传感器*, 2006(4): 6-8.

作者简介: 张龙浩(1988—), 硕士研究生, 主要从事传感器技术研究。

E-mail: zllhh@foxmail.com