

# 真空预冷实验装置计算机检测系统\*

贺素艳 王德昌 马永志

(青岛大学机电工程学院, 青岛 266071)

**【摘要】** 为了揭示真空预冷机理,优化真空预冷设备,需要实时测量真空预冷过程中真空室中的压力、捕水器的温度、果蔬的温度和质量等多个参数的变化。本文简述了自行设计的真空预冷实验装置的组成及设备的数据采集系统。将质量传感器成功地引入真空室,完成了产品质量在真空预冷过程中的在线监测。

**关键词:** 真空预冷 薄膜规 数据采集系统 复迭式制冷系统

**中图分类号:** TQ051.4

**文献标识码:** A

## Establishment of the System of Microcomputer Monitoring and Measurement of Vacuum Precooling Equipment

He Suyan Wang Dechang Ma Yongzhi

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

### Abstract

To explore the mechanics of vacuum cooling and optimize vacuum precooling instrument, the real-time measurement of the variation of multi-parameters such as the pressure in the vacuum chamber, temperature of the condenser, temperature and mass of fruits and vegetables during vacuum cooling was necessitated. The self-designed vacuum cooling set up and the data acquisition processing system were presented. It was the weight sensor innovatively taken into the vacuum chamber that realized the online measurement of product quality during vacuum cooling.

**Key words** Vacuum precooling, Membrane guage, Data acquisition processing system, Folding style refrigeration system

### 引言

真空预冷是在真空条件下,使水迅速在真空处理室内以较低的温度蒸发,水在蒸发过程中要消耗较多的热量,在没有外界热源的情况下,便会在真空室内产生制冷效果。真空预冷实验机是根据真空预冷原理,设计用于蔬菜、鲜花、瓜果保鲜研究的设备<sup>[1]</sup>。目前对真空预冷机理分析还较少,对真空预冷的压力控制、温度控制、质量控制及系统优化分析还不够深入<sup>[2]</sup>。大多数的真空预冷实验缺少对果蔬质量的在线测量,通常采用的方法是在真空预冷前、后测定试材的初始质量和最终质量,从而确定在真空冷却过程中试材的失重。在文献[3~10]的实

验设备中描述了对真空室内压力、温度和湿度进行实时测试,却没有提及对产品质量的实时监测。而在真空预冷的机理研究中,需要温度和质量两方面来验证数学模型的精度。本文以自制的真空预冷实验机为研究对象,研发一套数据采集系统及相关测试设备,为真空预冷的理论研究提供科学依据。

### 1 真空预冷实验装置

真空预冷实验装置由真空系统、制冷系统和控制系统组成,如图1所示。真空系统由真空室和真空泵组成,真空室容积为0.2 m<sup>3</sup>,真空泵为2XZ-2型旋片真空泵:极限压力0.06 Pa,抽速2 L/s,转速1400 r/min;功率0.37 kW。制冷系统采用复迭

式制冷。R13 制冷部分,压缩机型号 CAE 9460T,功率 0.37 W,排量  $11.3 \text{ cm}^3$ ,220 V;R22 制冷部分,压缩机型号为 CAJ2428L,功率 0.46 W,排量  $15.2 \text{ cm}^3$ ,220 V。

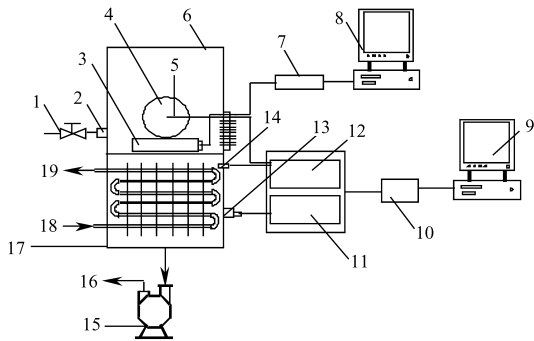


图 1 实验用真空冷却系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental vacuum cooler system

1. 针阀 2. 电磁阀 3. 质量传感器 4. 实验样品 5. 热电偶
6. 真空室 7. 电子天平的电源和显示器 8. 采集质量数据用计算机
9. 采集温度和压力数据用计算机 10. I-7018P 模块
11. 压力传感器 12. 温度控制器 13. 压力传感器 14. 测量冷阱温度的热电偶
15. 真空泵 16. 真空泵排气口 17. 冷凝器
18. 冷媒入口 19. 冷媒出口

## 2 电容薄膜式绝对压力变送器的工作原理和结构

电容薄膜式绝对压力变送器又称薄膜规,是一种利用膜片变形引起电容变化来测定压强的真空计。该真空计在压强大于  $0.01 \text{ Pa}$  时有较高的测量精度,可用于压强的准确测量。薄膜规由检测部分和转换电路组成,图 2 是检测部分示意图。检测部分有真空腔及检测腔 2 个腔体,分别有待测压强  $p_1$  和参考压强  $p_2$ 。真空腔为全密封结构,是经质谱检漏仪检漏合格后,通过长时间排气,最后将排气管密封而形成的,并备有消气剂,以消除残余气体,长期保持高真空,维持零压强条件。固定极板位于真空腔中,由极板引出线引至腔外。检测膜片置于高真空的真空腔及连接低真空待测系统的检测腔之间,检测膜片为可动极板,其与固定极板形成一个平板电容器,有一定的电容值,即固定极板与检测膜片之间的距离为  $d_0$ 。在  $p_1 = p_2$  时,检测膜片处于固有位置,固定极板与检测膜片间有电容  $C = C_0$ 。若膜片两侧压强不等,则检测膜片受压差作用而变形,与固定极板间的距离发生变化。压差不同,  $C$  值也不同,故可根据电容大小测定压差。若  $p_2 \ll p_1$ ,则测得的即为绝对压强。检测部分形成的电容信号被输送到电路转换部分。电路转换部分将电容信号通过变换、整理、放大等环节,最后输出一个标准电压信

号。这个标准电信号是从电容信号而来,它与压强成正比。

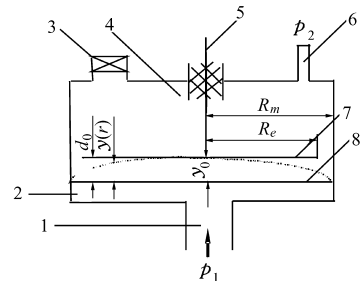


图 2 检测部分示意图

Fig. 2 Schematic diagram of testing part

1. 检测孔 2. 检测室 3. 消气剂 4. 真空腔 5. 导线出口
6. 排气管 7. 固定极板 8. 检测膜片

本文采用压力传感器为 CPCA-130Z 型电容薄膜式绝对压力变送器。该仪表的特点是精度高、响应快、稳定可靠,可长期连续使用,有优良的抗过载能力;检测不受被测介质种类和成分的影响,有标准电信号输出,可以远传、便于微处理器智能化控制;材质为镍基合金,耐腐蚀性能良好。薄膜规外部接线采用小型接插件,插座装在薄膜规外壳上,电压输出采用五芯接插件。该压力传感器的主要技术参数为:测量范围  $10 \text{ Pa} \sim 10 \text{ kPa}$ ;精度等级 0.5 级;输出类型为电压输出;电源电压  $\pm 15 \text{ VDC}$ ;输出信号  $0 \sim 2.5 \text{ VDC}$ ;负载阻抗  $R \geq 10 \text{ k}\Omega$ ;传输方式为五线制;响应时间  $t < 20 \text{ ms}$ ;工作条件为环境温度  $0 \sim 50^\circ\text{C}$ ,相对湿度  $R_H \leq 80\%$ ;温度系数小于测量上限的  $\pm 0.04\% / ^\circ\text{C}$ ;过载范围均能无损地承受  $133.3 \text{ kPa}$  (绝压);外形尺寸  $\phi 76 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ ;质量约为  $0.7 \text{ kg}$ 。

## 3 数据采集系统

### 3.1 温度和压力的数据采集系统

真空冷却器的真空室中配置有 8 个 T 型热电偶,用来测量实验产品的温度及捕水器(冷阱)的温度。监控和数据采集系统采用北京亚控自动化软件科技有限公司开发的软件。压力、温度等信号的数据采集和控制由牛顿模块(远程模块) I-7018P 来实现,这些模块可由一组指令进行遥控。该系统很好地解决了数据的高速存储,并可以很方便地与计算机进行数据交换<sup>[6]</sup>。I-7018P 模块特点是:① 3 000 VDC 绝缘模拟。② 24 位  $\sigma - \delta$  ADC 提供准确的精度。③ 热电偶与内置的 CJC 直接相连。④ 软件校准。其输入通道为 8 通道,采样频率 10 次/s,带宽  $15.7 \text{ Hz}$ ,精度  $\pm 0.1\%$ ,零漂  $0.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,输入阻抗  $20 \text{ M}\Omega$ ,过压保护  $\pm 35 \text{ V}$ ,电源  $10 \sim 30 \text{ VDC}$ ,功率消耗  $1.0 \text{ W}$ 。为取消二次转换误差,计算机采集

到的温度由量程范围为 0~50℃ 的二等标准水银温度计进行标定。

### 3.2 质量监测

在冷却过程中质量输出信号是重要的。为了保证称量系统在真空环境下安全可靠地运行,采用上海精天电子仪器厂定制的 JA12002 型天平,其称量为 1 200 g,精度为 10 mg。该系列天平是采用电磁力平衡原理的精密电子天平,具有称量大、精确度高、环境适应强的特点。天平内置 RS-232-C 标准输出口,可连接打印机、计算机等设备对现场质量进行监测和控制。定制要求是把一个常规的电子精密天平分成两部分。一部分为放在真空室的质量传感器,记录实验材料的质量变化;另一部分是电源供应部分和数据输出端放在真空室的外面,两部分用接头连接。质量数据的采集由 VB 编写的界面来控制。RS-232-C 接口是联网通讯中最常用的一种可编程串行接口,它有 25 个脚的连接器,每个连脚及其信号电平的规定都是标准的。在标准中规定有终端设备和数据传送设备连接的一般方法。应用时注意 RS-232-C 标准规定了电气性能指标,在信号传输时用标准电缆连接。

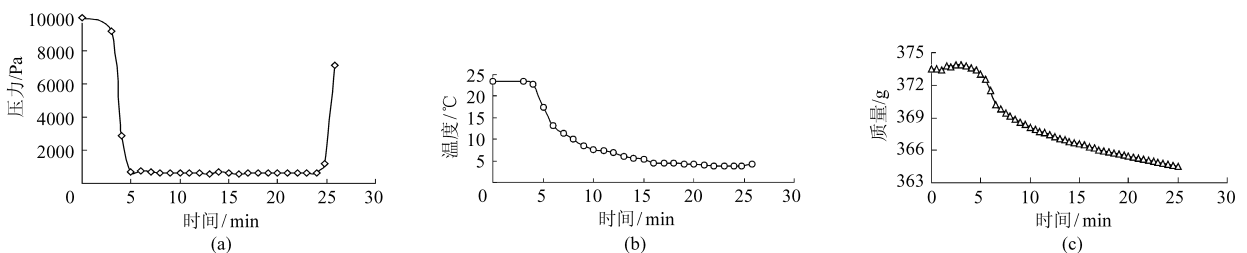


图 3 杨梅真空冷却过程中各参数变化曲线

Fig.3 Parameters variation of waxberry during vacuum cooling

(a) 压力 (b) 温度 (c) 质量

其变化趋势如图 3c 所示。

## 5 结束语

阐述了真空冷却中对压力、温度、质量等物理量实时控制监测的主要原理和实现方法。该实验装置中采用了精度高、量程宽的电容薄膜规。对温度、压

### 3.3 压力控制

真空室的压力通过小管道的空气泄漏来调整,空气泄漏由一个电磁阀和一个针阀来完成,阀门开启的直径范围为 1~5 mm。CPCA-130Z 型压力传感器将感应到的压力通过牛顿控制模块传送到数据采集系统,从而决定是否开启泄漏以及泄漏的程度。该过程持续到被冷却的实验材料温度达到所要求的温度。

## 4 实验

选用慈溪产荸荠品种杨梅为试材,热电偶固定在杨梅的中心。杨梅真空冷却的实验结果如图 3 所示。在 25 min 内杨梅的温度从 23.41℃ 降到 3.75℃。压力在 7 min 内从 10 000 Pa 降到 662 Pa,在接下来的 18 min,真空室压力缓慢降到 600 Pa 左右,且上、下波动范围大致为 40 Pa。在冷却结束后,解除真空,压力回升,如图 3a 所示。从图 3b 可知,杨梅真空冷却过程中在 4.5 min 达到闪点,温度迅速下降。在冷却的第 1 阶段,即 0~4.5 min 温度只下降了 1.41℃,而在第 2 阶段,即 4.5~25 min,温度下降了 18.25℃。杨梅在整个冷却过程中失重 2.4%,

力信号的自动监测由牛顿模块(远程模块) I-7018P 来实现。真空室中质量信号的实时采集是通过将精密电子天平加以改造基于 VB 程序控制而完成。该计算机采样系统的建立,能够同时测量温度、压力和质量等多个信号,便于在以微型计算机为平台的测控系统中使用。

## 参 考 文 献

- 1 邓东泉,孙恒,肖尤明,等. 真空预冷技术的现状和发展前景[J]. 食品工业科技,2002,23(7): 73~75.  
Deng Dongquan, Sun Heng, Xiao Youming, et al. Present and future prospects of vacuum cooling technology[J]. Science and Technology of Food Factory, 2002,23(7):73~75. (in Chinese)
- 2 张彧,杨启容,刘大维. 柱形蔬菜的真空预冷实验[J]. 农业机械学报,2007,38(3):194~196.  
Zhang Yu, Yang Qirong, Liu Dawei. Vacuum coling experiment of cylindrical vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(3):194~196. (in Chinese)
- 3 Cheng H P, Lin C T. The morphological visualization of the water in vacuum cooling and freezing process[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1):569~576.

- 17 [美]西格 R,豪厄尔 J R. 热辐射传热[M]. 北京:科学出版社,1990.
- 18 俞书宏,马宝娇,翁颀庆. 振动流化床(VFB)干燥性能及传热特性的研究[J]. 武汉化工学院学报,1992,14(3~4):99~104.  
Yu Shuhong, Ma Baojiao, Weng Yiqing. Research on the dry performance and heat-transfer property of vibrates the fluid bed (VFB)[J]. Journal of Wuhan Institute of Chemical Technology,1992,14(3~4):99~104. (in Chinese)
- 19 Afzal T M, Abe T. Diffusion in potato during far infrared radiation drying[J]. Journal of Food Engineering,1998,37(4):353~365.
- 20 Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M, et al. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus Indica*)[J]. Journal of Food Engineering,2004,61(2):173~179.
- 21 [美]因科罗普拉 F P,德威特 D P. 传热基础[M]. 北京:宇航出版社,1987.
- 22 Afzal T M, Abe T, Hikida Y. Energy and quality aspects during combined FIR-convected drying of barley[J]. Journal of Food Engineering,1999,42(4):177~182.
- 23 Madamba R H, Driscoll, Buckle K A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices [J]. Journal of Food Engineering,1996,29(1):75~79.
- 24 徐凤英,李长友,陈震. 荔枝在不同红外辐射源下真空干燥优化试验[J]. 农业机械学报,2009,40(4):147~150,106.  
Xu Fengying, Li Changyou, Chen Zhen. Optimization test of litchi vacuum drying under different infrared radiation sources [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(4):147~150,106. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 113 页)

- 4 邹同华,刘洋,申江,等. 真空预冷实验机及其数据采集处理系统[J]. 真空,2005,42(5):47~50.  
Zou Tonghua, Liu Yang, Shen Jiang, et al. Vacuum cooling instrument and its data acquisition processing system[J]. Vacuum, 2005, 42(5):47~50. (in Chinese)
- 5 张洪彬,柳吉龄,齐伟,等. 一种高速数据采集系统的实现[J]. 中国测试技术,2007,33(1):125~127.  
Zhang Hongbin, Liu Jiling, Qi Wei, et al. Achievement of a kind of data acquisition processing system[J]. Chinese Test Technology, 2007, 33(1):125~127. (in Chinese)
- 6 He Suyan, Li Yunfei. Experiment study and process parameters analysis on the vacuum cooling of iceberg lettuce[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49(1):2 720~2 726.
- 7 He Suyan, Li Yunfei. Theoretical simulation of vacuum cooling of spherical foods[J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23(1):1 489~1 501.
- 8 He Suyan, Feng Guoping, Yang Hongshun, et al. Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of head lettuce after vacuum cooling and storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 33(1):263~273.
- 9 Wang Lijun, Sun Dawen. Modelling vacuum cooling process of cooked meat——part 1 :analysis of vacuum cooling system [J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25(1):854~861.
- 10 Wang Lijun, Sun Dawen. Modelling vacuum cooling process of cooked meat——part 2:mass and heat transfer of cooked meat under vacuum pressure[J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25(1):862~871.