

# 冷库运行不同时段温度变化过程分析

姜道珠<sup>1</sup>, 鲁墨森<sup>2</sup>, 鲁荣<sup>3</sup>, 刘晓辉<sup>4</sup>

- (1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049;
2. 山东省果树研究所 贮藏加工室, 山东 泰安 271000;
3. 一新保鲜设备厂, 山东 泰安 271000;
4. 天津大学 化工学院, 天津 300073)

**摘要:**针对冷库运行过程中停机阶段、风机运行阶段、制冷机运行阶段的各点温度变化,采用热镀锌膜铜-康铜热电偶分别测量了3个阶段的库温、果品温度、冷风机进风口和出风口温度及冷风机蒸发器的温度,并对测点的温度场进行了分析.结果表明:果品温度在3个阶段基本恒定在1.8℃;在风机运行阶段蒸发器仍然是冷源;在制冷机运行阶段,蒸发器进出口温差增大,蒸发器温度下降,说明制冷效果良好.

**关键词:**冷库;温度场;铜-康铜热电偶

**中图分类号:** TB657.1      **文献标志码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.007

## The analysis of varying temperature at different periods of cold storage

JIANG Dao-zhu<sup>1</sup>, LU Mo-sen<sup>2</sup>, LU Rong<sup>3</sup>, LIU Xiao-hui<sup>4</sup>

- (1. *Inst. of Agr. Eng. and Food Sci., Shandong Univ. of Tech., Zibo 255049, China;*
2. *Storage and Processing Room, Shandong Inst. of Pomology, Tai'an 271000, China;*
3. *Yixin Preservation Equipment Factory, Tai'an 271000, China;*
4. *Inst. of Chem. Eng., Tianjin Univ., Tianjin 300073, China)*

**Abstract:** In order to study every changing temperature point of stop stage and fan operation stage and chiller operation stage, the hot tin copper-constantan thermocouple was used to measure respectively the storage temperature, fruit product temperature, air cooler inlet and outlet temperature, cooling fan evaporator's temperature. These data were analyzed and the results showed that: fruit product temperature was almost constant at 1.8℃ at three phases. In fan operation stage, evaporator was still cold source. In chiller operation stage, the temperature difference of evaporator import and export increased, and the evaporator temperature dropped, which indicates good cooling effect.

**Key words:** cold storage; temperature field; copper-constantan thermocouple

收稿日期: 2011-11-16

基金项目: 山东省科学技术发展计划项目(2008CG10009038); 山东省农业科学院创新基金(2007YCX025)

作者简介: 姜道珠(1985—), 男, 江苏省徐州市人, 山东理工大学硕士研究生, 主要研究方向为贮藏加工设施和技术.

通信作者: 鲁墨森(1956—), 男, 山东省滨州市人, 山东省果树研究所研究员, 主要研究方向为贮藏加工设施和技术.

## 0 引言

冷库是农产品保鲜的主体设施,冷库内的温度是动态变化的,不同设备和不同位置有一定差异,尤其是在冷库运行的不同阶段,各点的温度变化幅度比较大.这些温度变化过程和差异对保鲜贮藏效果有较大影响.许多学者对不同贮藏温度对果品品质的影响进行了大量研究<sup>[1-2]</sup>,但是对果品温度在贮藏过程中的动态变化及蒸发器在不同运行阶段的温度变化的研究较少.本文将研究冷库在不同运行阶段的不同点的温度动态变化过程,并对测点的温度场进行分析,以期为冷库内的设备换热效果和产品贮藏提供依据.

## 1 实验设备及原理

以 10 t 装配式保鲜冷库为实验库(由山东省果树研究所贮藏加工室提供),对其运行工况实时监测.实验冷库主要由库内冷风机、库外多效冷凝压缩制冷机组<sup>[3-4]</sup>、双温双控装置<sup>[5]</sup>以及库体组成.实验库采用双温双控自动控制系统,库温仪表上限设定为 3 ℃,下限设定为 0 ℃;霜温仪表上限设定为 3 ℃,下限设定为 -15 ℃.其控制程序是:在制冷机停止供冷后,库温开始逐渐上升,达到库温仪表上限时,控制电路发生一系列连锁反应,冷风机开始运转.冷风机运转使蒸发器表面的霜冰融化,产生的冷量由冷风机排入冷库中,冷库温度有所下降,蒸发器温度逐渐升高.霜温仪表的霜温传感器同时对蒸发器表面进行检测,达到霜温上限时,制冷机启动并向冷风机供液,库温开始下降;当达到库温仪表下限时,库温仪表控制电路断电,冷风机和制冷机停止运转,然后进入下一个循环.一个冷库运行周期有 3 个阶段,即停机升温阶段、风机运行化霜阶段、制冷机运行供冷降温阶段.冷库设备按此顺序进行制冷循环,保持库内温度在一定范围内恒定.

## 2 实验系统

### 2.1 测温系统

实验采用热镀锡膜铜-康铜热电偶测温,它在 ±100 ℃ 范围内工作,其裸测头和小型保护管测头能突出热电偶的高灵敏度.在冷库中央布置 1 组温度测头,即冷库顶部下垂 1 m 左右;选用 2 组热电偶分别布置在冷风机进风口和出风口,以测定进风口

和出风口的气流温度;用 1 组热电偶插入苹果果实内部,来测定苹果温度,测试样品在靠近风机回风口处,装于生理小包装袋内;将 18 组热电偶布置在蒸发器翅片管间不同位置,微型测头紧贴管壁,实时监测蒸发器的温度变化.

### 2.2 实验数据采集存储系统

利用由 LU-R/C2100 无纸记录仪改制的高灵敏度多通道微伏级数据采集处理器进行数据的采集、存储,通过相关软件将数据转换成温度值,并在计算机上进一步分析处理.

### 2.3 热电偶热电势信号数据值转换成温度值求解

利用标定的热镀锡膜铜-康铜热电偶采集数据,根据由热电偶并联和固定温度法标定的二次回归数学模型  $y = 0.0304x^2 + 37.194x$ ,其中  $y$  为热电偶热电势信号值,即可求解温度值  $x$ <sup>[6]</sup>.热电偶参考端为冰水混合 0 ℃ 恒温.

## 3 结果与分析

### 3.1 冷库停机阶段

停机阶段各测量点温度变化曲线如图 1 所示.在停机阶段,库温从 -0.8 ℃ 开始逐渐上升至 4.0 ℃ 左右,进风口和出风口温度也逐渐上升至 4.0 ℃ 左右,果品温度比较稳定,维持在 1.8 ℃.蒸发器内外温度场分布如图 2 所示,在停机阶段,蒸发器表面和内部各点的温度比较均匀,最高温度 0.1 ℃,最低温度为 -0.7 ℃,两者相差 0.8 ℃,但都低于库温许多,表明此阶段蒸发器仍然是一个冷

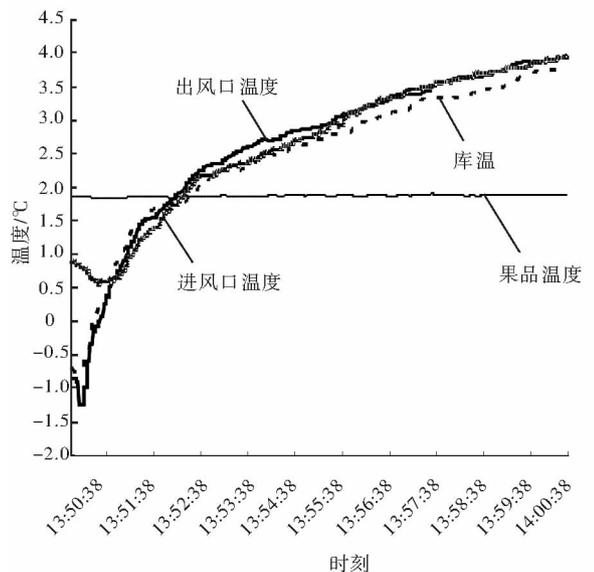
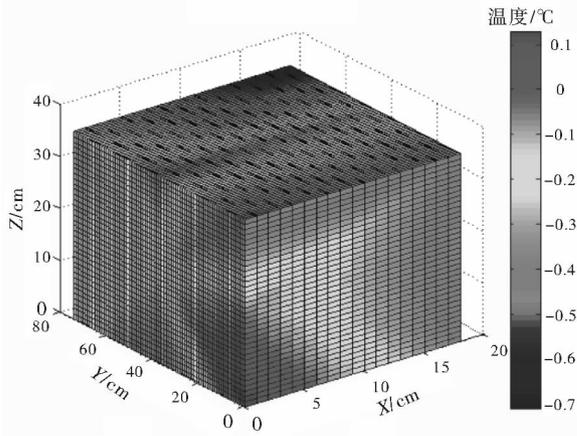
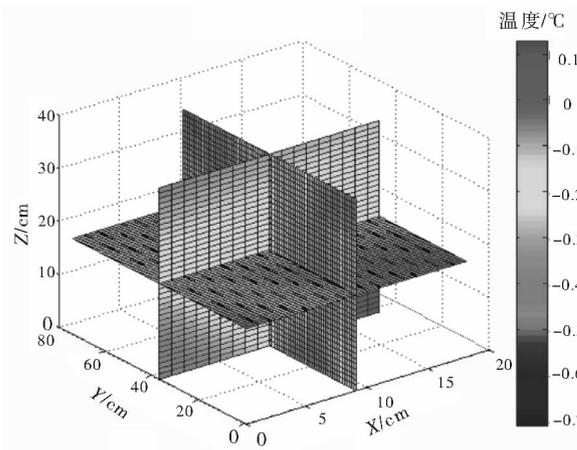


图 1 停机阶段各测量点温度变化曲线



a)外表面温度场分布



b)空间内温度场分布

图2 停机阶段蒸发器内外温度场分布

源,它可以继续向库内供冷.

### 3.2 风机运行阶段

风机运行阶段各测量点温度变化曲线和蒸发器内外温度场分布如图3和图4所示.蒸发器外部和内部温度与停机阶段相比,温度有所上升,蒸发器最低温度为 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高温度为 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,两者相差 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .这时,由于冷风机运转使蒸发器上霜冰开始融化,蒸发器逐渐升温.同时冷风机又将融霜时的冷量排入冷库中,冷库温度由 $4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 迅速下降至 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,此时的降温不是由制冷机组供给的,这样既降低了能耗,又保证了蒸发器的无霜运行.在风机运行初始阶段,出风口温度和进风口温度同时迅速下降,两者仍有 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温差.果温稳定在 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,和停机阶段相比变化不明显.随着蒸发器上冰霜融化殆尽,库温、进风口温度和出风口温度开始缓慢升高.

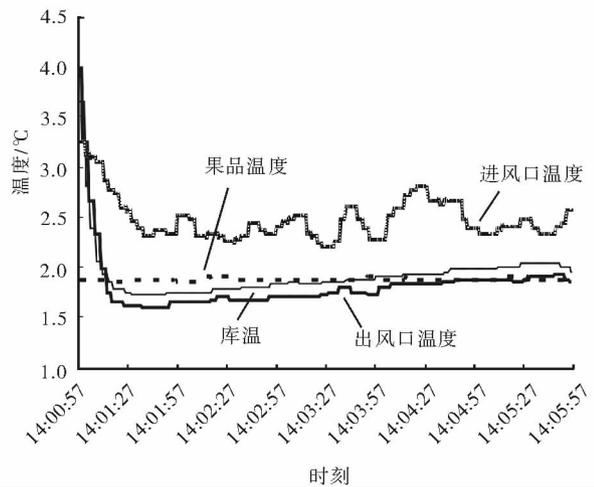
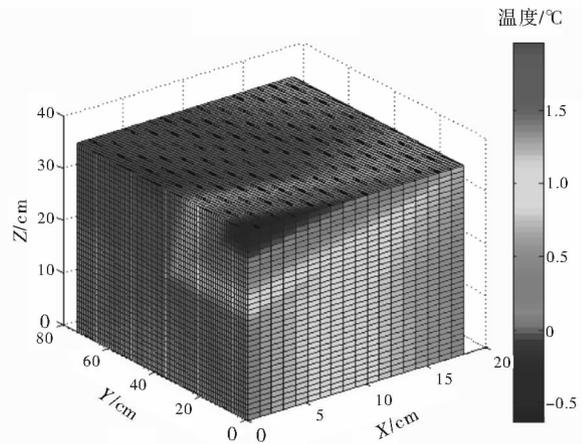
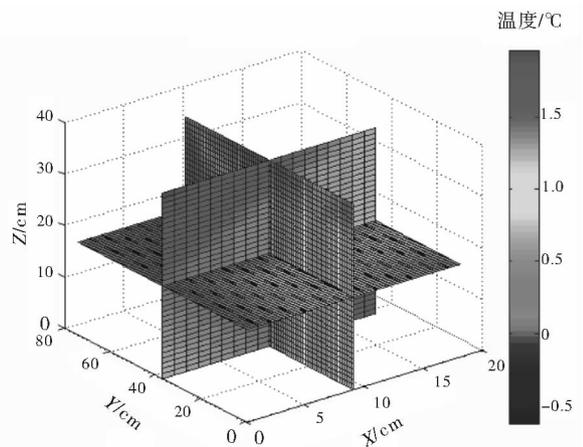


图3 风机运行阶段各测量点温度变化曲线



a)外表面温度场分布



b)空间内温度场分布

图4 风机运行阶段蒸发器内外温度场分布

### 3.3 制冷机运行阶段

制冷机运行阶段各测量点温度变化曲线和蒸发器内外温度场分布如图5和图6所示.此时制冷机开始运转并向蒸发器供液,蒸发器外部和内部温

度降低,最低温度达到  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高温度为  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,两者相差  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,表明蒸发器各部位的换热效果有一定差异。由进风口进入蒸发器的气体,在其翅片间发生热交换,蒸发器排管吸收气体的热量。出风口温度开始由  $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  下降。与前2个阶段相比,进风口温度和出风口温度相差较大,这在一定程度上可以反映蒸发器换热效果。此时果温仍然保持在  $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,波动不大于  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,整个循环过程中果温都基本保持恒定,这有利于果品的保鲜贮藏。

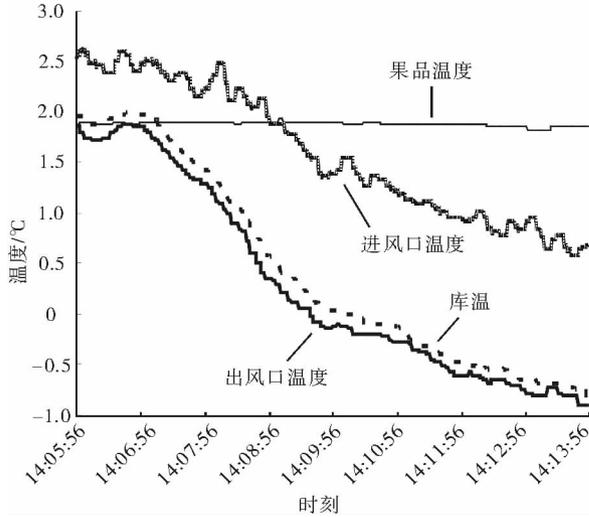


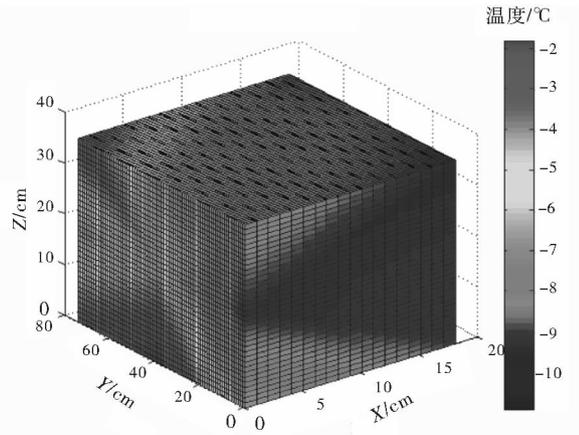
图5 制冷机运行阶段各测量点温度变化曲线

## 4 结论

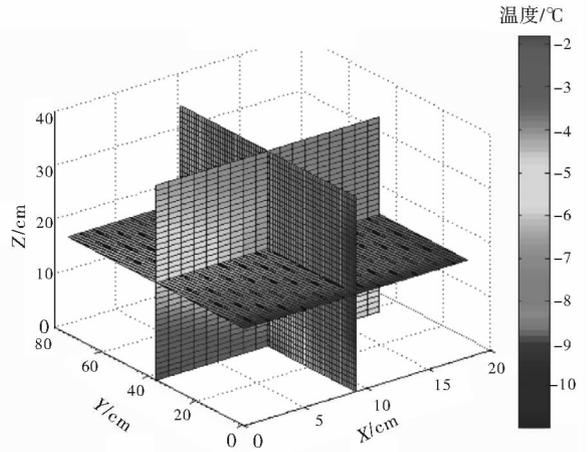
本文采用热镀锡膜铜-康铜热电偶分别测量了冷库运行时3个阶段的库温、果品品温、冷风机进风口和出风口温度及冷风机蒸发器的温度,并对测点的温度场进行了分析,得出如下结论:

1) 停机阶段,出风口温度、进风口温度和库温都逐渐升温,但与蒸发器温度仍有一定差异,表明了停止供液后蒸发器仍是一个冷源。2) 风机运行阶段,通过通风热交换使蒸发器温度上升,可以有效融霜,另一方面蒸发器冷量通过风机排入冷库中,对保持冷库的无霜运行和节能降耗具有重要意义。3) 制冷阶段,进风口和出风口温差变大,说明此阶段蒸发器通过供液蒸发吸收热量较快,库温下降速度也较快,在一定程度上反映了蒸发器的蒸发换热效果。果品温度在3个阶段基本恒定在  $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

蒸发器三维温度场是瞬时形成的,以多个时段和不同的蒸发状态研究温度场的变化情况需要进一步深化。冷库温度在一定范围内变化时,果品温度



a)外表面温度场分布



b)空间内温度场分布

图6 制冷机运行阶段蒸发器内外温度场分布

比较稳定但温度偏高,这与实验样品位置和包装形式有关,需进一步探讨。

## 参考文献:

- [1] 鲁墨森. 挂机式自动冷库的研制和应用效果[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 75.
- [2] 康三江. 浅议国内外冷库行业发展现状与趋势[J]. 保鲜与加工, 2006, 6(3): 1.
- [3] 鲁墨森, 刘晓辉, 鲁荣. 多效冷凝制冷机组的研制及其在中小型冷库上的应用[J]. 落叶果树, 2009, 41(6): 36.
- [4] 刘晓辉, 鲁墨森, 王淑贞, 等. 小型冷库多效冷凝制冷机组的能耗和节能分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 103.
- [5] 鲁墨森, 王淑贞, 杨娟侠, 等. 一种冷库双温双控装置: 中国, CN101050912[P]. 2007-10-10.
- [6] 刘晓辉, 鲁墨森. 铜-康铜热电偶的热镀锡膜工艺和测温特性分析[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(11): 3.