

预冷库温湿度控制与热工响应试验*

谭晶莹 王 清 安伟科
(湖南理工学院机械工程学院, 岳阳 414000)

【摘要】 对预冷库变频降温与全频降温两种温湿度控制模式进行了试验研究,发现变频降温到目标温度所需时间较长,但降温过程平稳,波幅小。研究了气流分布装置对库内温度场的影响,发现孔板均流方式对库内温度场的影响优于传统的单一风机送风、一拖二和夹套送风方式;对库门开启对库内热环境的冲击进行了分析,并提出了预防措施。

关键词: 预冷库 降温模式 送风方式

中图分类号: TS205.7; TM925.29 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)03-0139-04

Experiment on the Control of Temperature and Humidity
and Thermal Response for Pre-cooling Cold Storage

Tan Jingying Wang Qing An Weike
(School of Mechanical Engineering, Hunan Institute of Science and Technology, Yueyang 414000, China)

Abstract

Full-frequency drop in temperature and conversion drop in temperature were compared. The latter had some merits of smooth drop and small amplitude of temperature (in despite of shortage of longer time). Several modes of providing wind ventilation were studied. Flow equalization with a pore plate was better than the traditional methods such as one fan, two fans and a jacket. Heat impact on the circumstance in the cold storage was analyzed considering of the door open and some precautionary measures were introduced.

Key words Cold storage for pre-cooling, Modes of temperature drop, Patterns of providing wind

引言

我国每年有 30% ~ 40% 的蔬菜和 20% ~ 30% 的水果因储运不当而腐烂^[1]。因此,对果蔬预冷及冷藏科学的研究具有实际意义。作为冷链系统的核心设备,冷库的重要性越来越受到关注。陈天及等对装配式冷库温度场特性进行了试验研究^[2]。刘斌对传统的微型冷库进行了优化研究,给出了保温层经济厚度计算式,同时对库内流场进行了分析^[1,3]。文献[4 ~ 6]研究了库内温、湿度对贮藏效果的影响。从文献来看,目前冷库的降温方式主要为 ON - OFF 全频控制降温模式,全频降温到达设定

温度时温度波动大,往往影响预冷库内预冷果蔬品质,甚至引起果蔬冷害。本文探讨变频降温模式的温湿度控制效果,同时分析预冷库的热工响应,即库内温度场的分布和库门打开换气时外界热量的突入对库内环境的冲击影响程度。

1 预冷库温湿度控制模式

预冷库分为预冷及冷藏系统、数据采集系统和控制系统^[7-8]。与传统的预冷装置相比,由于该装置采用了压缩机变频技术,具有节能优势,同时实现了温度、湿度、风速的无级调节,预冷空间内湿冷气流及其温、湿度和风速更为均匀,由于采用了回风地

收稿日期: 2009 - 02 - 26 修回日期: 2009 - 05 - 04

* 国家自然科学基金资助项目(50874045)、湖南省科技计划资助项目(2008FJ3041)和湖南省教育厅资助项目(08C393)

作者简介: 谭晶莹,讲师,博士,主要从事先进预冷技术研究, E-mail: jingyingtan@163.com

板结构,有效地控制了预冷气流的返混。

本控制系统硬件组成如图1所示。采用双机架西门子S7-300中型PLC控制器作为下位机;PC机为上位机;触摸屏为终端显示。控制器由10块模块组成,分别为:CPU模块、32点数字量输入模块、32点数值量输出模块、IM接口模块、4路模拟量输出模块。开关量输入主要是各种设备的启停等信号。开关量输出指PLC输出信号传递给中间继电器以控制各设备的接触器动作。模拟量输出是连接模拟量的执行器,即输出信号到调节风机和压缩机转速的变频器和控制加热量的智能晶闸管输入端。

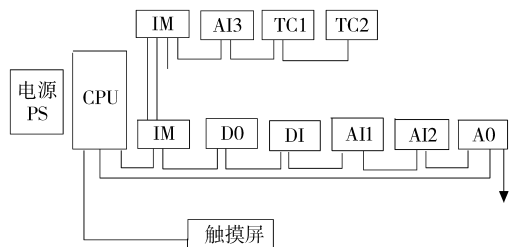


图1 控制系统硬件架构

Fig.1 Hardware structure of control system

为了满足高精度的温湿度控制,测量用传感器选用奥地利生产的EE65-VB5型风速传感器和EE21-FT6A23CA01/TO8温湿度传感器,而且,在库体内取7个典型位置布置,控制中取七点加权平均值为采集值。

变频器选用EV1000-4T0022G型和EV1000-4T0037G型。

智能晶闸管为江来电器有限公司的MZKS-JL-40型和MZKD-JL-40型模块,内含调节回路、晶闸管、移项触发电路,通过控制端接PLC模拟量输出从而实现电力调节。

数据采集系统包括温度采集系统,湿度采集系统以及风速采集系统。

(1) 温度采集系统

测温热电偶为铠装热电偶,型号WRNK-111,规格 $\phi 1 \times 1\,000\text{ ms}$,引线5 m,天津中环仪表厂制造。经标准水银温度计标定,测量精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

(2) 湿度采集系统

湿度实时检测采用EE21-FT6A23CA01708系统。

(3) 风速采集系统

风速传感器型号为EE65-VB5,ELEKTRONIK公司。

温度、湿度及风速数据全部用计算机进行采集,最小采集间隔时间为30 s,本次试验研究设定的数据采集时间为1 min。

与此同时,实验室采用瑞典仪表公司生产的SwemaAir300系列风速探头、温度探头及湿度探头进行实时追踪标定。

2 预冷库温湿度控制效果试验

快速降温是预冷的主要目的之一,同时也能迅速降低外界热量突入对库内温度场分布的扰动。预冷库的降温快慢是衡量其工作效果的主要指标之一。比较了两种降温方式的温湿度控制效果,即全频降温(ON-OFF控制)和变频降温(变频控制)。图2为系统从 32°C 降至设定温度 -5°C 时的降温曲线。

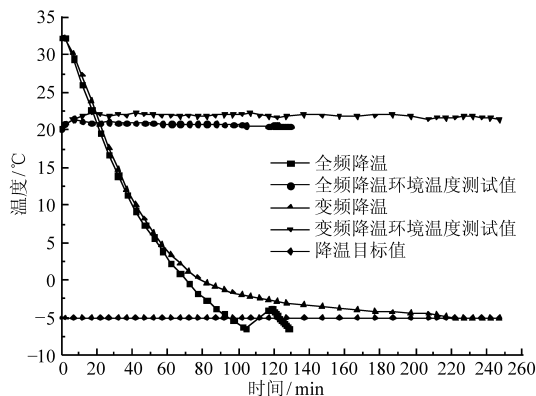


图2 预冷系统温度变化曲线

Fig.2 Temperature drop in cold storage

全频降温耗时94 min,目标温度波动范围为 $(-5 \pm 1.5)^\circ\text{C}$,波幅为 3°C ,实际操作时的波动范围 $-6.41 \sim -3.69^\circ\text{C}$,波幅为 2.72°C ,在设定的波动范围之内,符合设计要求。变频降温耗时220 min,稳定时温度波动范围为: $-5.12 \sim -5^\circ\text{C}$ 。但不难发现,变频降温虽然耗时比较长,但目标温度波动范围小,仅为全频降温时的4.41%,因此比较适合控温要求较严格的场合,在接近果蔬冰点温度预冷时不容易使果蔬发生冻伤。而全频降温,库温波幅加大,实际选择预冷温度时应较远离果蔬冰点温度,即全频预冷所能设定的预冷介质极限温度比变频预冷高,从而导致其极限预冷速度慢。

在降温过程的前50 min,库温与目标温度相差较大,差距达 10°C 以上,变频降温方式PID控制的比例积分输出较大,压缩机PID输出值为-100,处于全频工作状态,因此变频降温与全频降温的曲线非常接近。在随后阶段的降温过程中,随着库温与目标温度之间温差的减小,变频降温方式压缩机PID输出减小,压缩机频率降低,输出冷量下降,降温速度变缓,从而造成了降温时间的延长。但在第215分钟库温降至 -4.5°C 时,库温与目标温度之间温差达到了设定的PID控制压缩机积分开的范围,

降温速度明显加快,降温曲线突然出现拐点,曲线斜率突然增大。至第 220 分钟库温降至 -5°C 时,库温达到目标温度后,压缩机积分关,而且由于设定了库温低于目标温度 0.1°C 后,内加热积分开,从而导致库温一直稳定在 $-5 \sim -5.12^{\circ}\text{C}$ 范围内波动,降温曲线重新趋于平坦。

冷却介质的湿度,直接关系到果蔬的失水率,对预冷及冷藏效果也有一定的影响。图 3 示出了降温过程中库内相对湿度的变化。

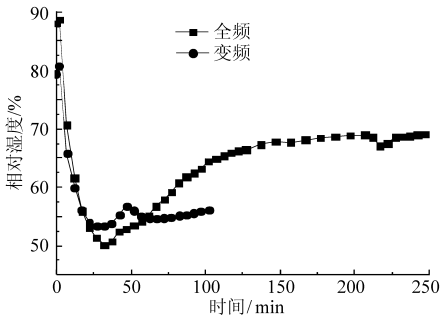


图 3 降温过程中库内湿度变化

Fig.3 Humidity variation in cold storage

在降温过程中,两种降温方式库内相对湿度的变化趋势相似,随着库温的下降,库内相对湿度先降后升,最后在一个相对稳定的小范围内波动。在降温的开始阶段,由于变频降温方式也处于全频状态,两条曲线接近吻合,随后由于降温方式进入变频状态,两条曲线出现差异。

总之,流经蒸发器表面的空气温度远低于露点,在蒸发器表面产生结露现象,库内空气的绝对湿度不断减少。因相对湿度除与空气的含湿量有关,还与空气的温度有关。在降温的初始阶段,含湿量下降导致相对湿度下降的速率超过相对湿度升高的速率,从而表现出相对湿度降低。但在降温 30 min 后,总体上含湿量下降导致相对湿度下降的速率低于相对湿度升高的速率,从而总的趋势相对湿度有所增加。在预冷及冷藏实践中,往往采用加湿装置

进行加湿,以提高冷却介质的相对湿度。在本试验系统中,湿度采用 ON-OFF 启停控制,加湿器开启,因空气中的水蒸气蒸发器上不断地冷凝,可以一定程度抵消湿度上升速率,所以湿度值可以在设定值附近不大的范围内缓慢波动。从试验中的实际调节效果看,库内温湿度的恒值控制能够满足试验对湿度的要求。但据试验观察,在制冷系统开启时,由于蒸发器对水蒸气的冷凝作用,以及循环空间小造成混合不充分,湿度难以达到过高的值,比如 95% 以上。

3 预冷库热工响应试验

3.1 系统内部温度场分布

冷库内部各位置温度分布的均匀性对预冷及冷藏效果影响较大。送风方式决定了库内降温时的流场分布,是影响库内温度场分布的主要原因。目前送风方式主要有:单一风机送风、一拖二送风,夹套式送风以及孔板流送风。本试验装置采用孔板均流送风模式。试验时水平方向的测点布置如图 4 所

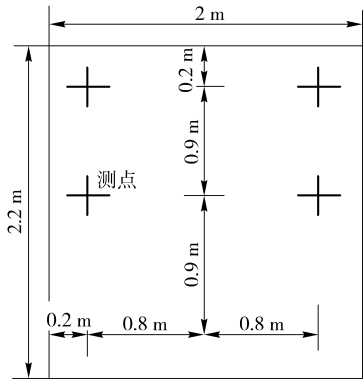


图 4 水平方向布点示意图

Fig.4 Measuring point in horizontal direction

示,库体高度方向测试 3 个水平断面,3 个断面离回风地板的距离分别为 0.5、1.05 和 1.6 m。测定条件为库内设定温度 5°C ,库外环境温度 21°C 。库内温度场的测试结果如图 5 所示。

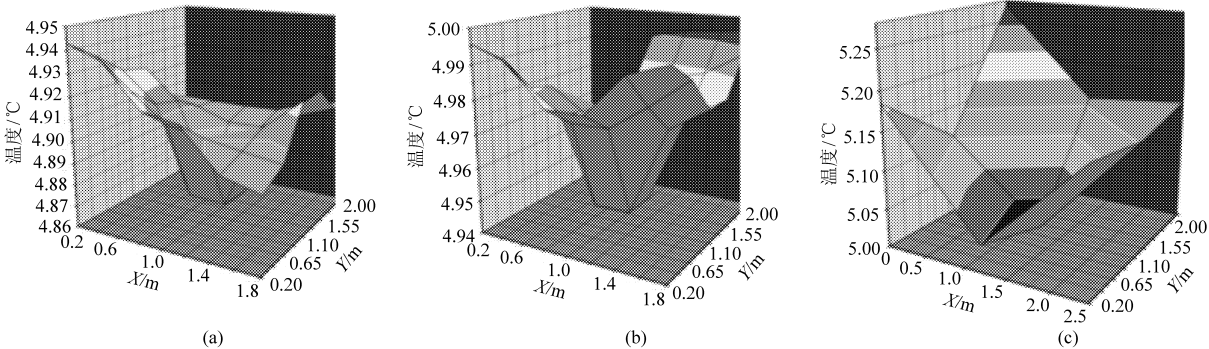


图 5 不同断面温度场示意图

Fig.5 Temperature in different section

(a) 距下回风地板 0.5 m 处 (b) 距下回风地板 1.05 m 处 (c) 距下回风地板 1.6 m 处

引入温度不均匀度对系统温度场进行表征,冷库温度不均匀度是指冷库内所有测点温度值的均方差^[6],即

$$T_{sd} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}{N}$$

其中, T_i 表示各测点温度值, $\bar{T}$ 表示 N 个测点的平均温度值。冷库内温度不均匀度越大,表明冷库内温度分布越不均匀。

库内温度场测试结果统计分析如表 1 所示。

表 1 库内温度场分析
Tab.1 Temperature in cold storage

测试位置	最大温差/℃	均值/℃	均方差
1.6 m 水平断面	0.35	4.91	0.096 40
1.05 m 水平断面	0.25	4.98	0.008 33
0.5 m 水平断面	0.26	5.15	0.035 89
库内	0.80	4.98	0.022 38

由图 5 和表 1 可知,因送风方向为由上而下,越靠近出风孔板,断面的温度越低,高度为 1.6 m 处的水平断面平均温度最低,其值为 4.91℃,其次为 1.05 m 处,最高的温度断面为 0.5 m 处,其值为 5.15℃。因中间断面受边界效应影响较小,且其上的气流混合较均匀,所以其断面上的温差最小,其值为 0.25℃,两端断面的温差较大,分别为 0.35℃和 0.26℃。库温不均匀度最大为 1.6 m 处的断面,其值仅为 0.096 4;最小的断面为高度为 1.05 m 处的中间断面,其值仅为 0.008 33,中间断面的温度场处于最佳状态,整个库温不均匀度为 0.022 38。

表 2 比较了孔板均流送风模式和常见的其他 3 种模式的送风效果,孔板均流送风模式优于传统的较理想的夹套送风,效果最差的为单一风机送风。

表 2 几种送风方式库内温度场效应比较
Tab.2 Thermal field analysis on several modes of supplying wind

参数	单一风机 送风	一拖二 送风	夹套送风	孔板均流 送风
最大温差/℃	3	2	1.5	0.8
温度不均匀度	0.102 51	0.071 83	0.053 24	0.022 38

3.2 库门开启对库内温度场的影响

生产实践中,库门开启是重要操作环节,如货物的进出、冷藏环节果蔬的开门换气(气调库除外)以及定期的果蔬品质检测等都需开启库门。库门的开启一方面导致了库外环境热量的涌入,另一方面进

入库内的人体本身也是一个热源,进入库内操作人员需要的照明条件同样会增加库内的热负荷。这些热负荷的增加相当于给库内相对平衡的热环境增添了一个扰动,导致库温上升,使得库温偏离设定目标值。库内控制系统启动制冷系统进行制冷排热,PID 调节使库温恢复到目标值附近。图 6 是冷库门开启时引起的热冲击对库内温度场影响的典型示例。

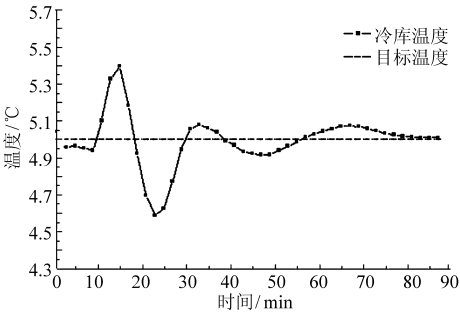


图 6 库门开启对库内温度场的影响
Fig.6 Influence of door open on the temperature at cold storage

不难看出,库内温度最大的波动值达 0.85℃,重新进入目标值 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 范围内需要 30 min。在实际生产中,冷库内往往装有冷藏物品,开门扰动后引入的热量还会导致冷藏物品温度随库温一起升高,从而更加引起库内环境回复时间的延长,此外冷藏物品温度的升高还可能加速其品质的衰变,影响其贮藏寿命。因此,为减小开门对冷库内温度的影响,在冷库处最好加装挡风帘、打开风幕,必要时,在库门处加盖隔间能取得更好的效果,且实际操作中应有详细的操作规程,尽量减少库门开启的次数。

4 结束语

预冷库的性能直接关系到果蔬预冷及冷藏的效果。其降温的快慢及稳定性直接影响预冷的效率和果蔬的品质。果蔬贮藏库内温度场的分布对果蔬贮藏品质的均匀性及果蔬的最终品质有着很重要的影响。开门换气时外界热量的突入对库内环境的冲击影响程度也是考察预冷库的一个重要指标。

预冷库的性能试验表明,变频降温时间长,但降温过程平稳、温度波动范围小,适合于对环境温度有较高要求的果蔬处理。孔板均流送风方式有利于库内温度的均匀分布,整个库温分布不均匀度为 0.022 38,优于传统的单一风机送风、一拖二送风和夹套送风。库门开启时渗入的热量对库内环境有较大的冲击,预冷及冷藏时应尽量减少开门次数,在库门处应加装隔热设施。

- 9 Fieldsend J E, Singh S. A multi-objective algorithm based upon particle swarm optimization, an efficient data structure and turbulence[C]// Proc. UK Workshop on Computational Intelligence, Birmingham, 2002: 37 ~ 44.
 - 10 Liu D S, Tan C K, Goh C K, et al. A multi-objective mimetic algorithm based on particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2007, 37(1): 42 ~ 50.
 - 11 罗彪, 郑金华. 多目标进化算法中基于动态聚集距离的分布性保持策略[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(10): 2 934 ~ 2 938.
Luo Biao, Zheng Jinhua. Dynamic crowding distance based diversity maintenance strategy in MOEAs[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(10): 2 934 ~ 2 938. (in Chinese)
 - 12 张学良, 温淑花, 李海楠, 等. PSO 算法在多目标优化问题中的仿真应用[J]. 农业机械学报, 2007, 38(7): 112 ~ 115.
Zhang Xueliang, Wen Shuhua, Li Hainan, et al. Applications of particle swarm optimization in multi-objective problems [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(7): 112 ~ 115. (in Chinese)
 - 13 郑金华. 多目标进化算法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 101 ~ 112.
 - 14 Praveen K T, Sanghamitra B, Sankar K P. Multi-objective particle swarm optimization with time variant inertia and acceleration coefficients[J]. Information Sciences, 2007, 177(22): 5 033 ~ 5 049.
 - 15 李中凯, 谭建荣, 冯毅雄, 等. 基于拥挤距离排序的多目标粒子群优化算法及其应用[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(7): 1 329 ~ 1 336.
Li Zhongkai, Tan Jianrong, Feng Yixiong, et al. Multi-objective particle swarm optimization algorithm based on crowding distance sorting and its application [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(7): 1 329 ~ 1 336. (in Chinese)
-

(上接第 142 页)

参 考 文 献

- 1 刘斌. 微型冷库系统优化研究[D]. 天津: 天津大学, 2003.
Liu Bin. Optimum study on the mini-cold storage[D]. Tianjin: Tianjin University, 2003. (in Chinese)
- 2 陈天及, 余克志. 装配式冷库温度场特性的实验研究[J]. 制冷, 2001(3): 21 ~ 23.
Chen Tianji, Yu Kezhi. The experimental study on the characteristics of temperature field inside a fabricated cold store[J]. Refrigeration Precooling, 2001(3): 21 ~ 23. (in Chinese)
- 3 刘斌, 杨昭, 李喜宏, 等. 微型冷库内气流组织及贮藏效果实验[J]. 天津大学学报: 自然科学版, 2005, 38(10): 897 ~ 900.
Liu Bin, Yang Zhao, Li Xihong, et al. Experiment on air distribution and storage effects in mini-cold storage[J]. Journal of Tianjin University: Science and Technology, 2005, 38(10): 897 ~ 900. (in Chinese)
- 4 Robert E, Paull. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15(3): 263 ~ 277.
- 5 Bourhan Tashtoush. Nature loss from vegetable and fruit products in cold storage[J]. Food Control, 2000, 11(6): 465 ~ 470.
- 6 Hasse H, Becker M, Grossmann K, et al. Top-down model for dynamic simulation of cold-storage plants[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 19(1): 10 ~ 18.
- 7 郁文红, 杨昭. 小型实验用恒温恒湿保鲜库[J]. 制冷与空调, 2006(5): 89 ~ 91.
Yu Wenhong, Yang Zhao. Small constant temperature and humidity cold storage for experiment[J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2006(5): 89 ~ 91. (in Chinese)
- 8 谭晶莹. 果蔬冷藏工艺及品质衰变理论与实验研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
Tan Jingying. Theoretical and experimental study on storage techniques and quality disintegration of the fruits and vegetable [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007. (in Chinese)