

# 基于双监测点的保鲜运输温度控制系统设计

张东霞<sup>1,2</sup>, 吕恩利<sup>2</sup>, 陆华忠<sup>2</sup>, 许锦锋<sup>2</sup>, 赵磊<sup>2</sup>

(1 佛山职业技术学院 汽车工程系, 广东 佛山 528137; 2 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

**摘要:**针对果蔬保鲜运输中因温差过大,部分果蔬易被冻伤的问题,设计了一套基于双监测点的保鲜运输用温度控制系统.该系统以安装在厢体后端的温度传感器为主监测点,将保鲜运输中的环境温度控制在理想的保鲜温度范围内;以安装在厢体前端的温度传感器为辅助监测点,防止气流出口处的温度过低,冻伤厢体前端的果蔬.通过试验,此温度控制系统稳定性好、可靠性高,既能将运输厢内的温度控制在设定的目标温度范围内,又能防止运输厢体前端的果蔬不被冻伤.此研究结果对提升果蔬保鲜运输技术水平具有一定的参考价值.

**关键词:**保鲜运输; 温度; 冻伤; 控制; 果蔬

中图分类号: S121; S667.2; S609

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)04-0570-04

## Design of Temperature Control System Based on Double Temperature Sensors in Fresh-Keeping Transportation

ZHANG Dong-xia<sup>1,2</sup>, LÜ En-li<sup>2</sup>, LU Hua-zhong<sup>2</sup>, XU Jin-feng<sup>2</sup>, ZHAO Lei<sup>2</sup>

(1 Automotive Engineering Department of Foshan Polytechnic, Foshan 528137, China;

2 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The great temperature difference present between the front and the rear of current fresh-keeping transportation makes negative impact on the quality of fruit and vegetable. In order to resolve this problem, double temperature sensors were applied in temperature control system designed in this paper, which utilized one temperature sensor to measure the temperature of the rear of preservation chamber as the prior value in controlled, and utilized the other temperature sensor to measure the temperature of the front as the auxiliary value in control. The system proved a good feasibility, stability by experiments, which could not only control the temperature under the set value in the preservation chamber, but also keep the temperature over the temperature limit of fruits and vegetables. This result is valuable for the improvement of the technology of the fresh-keeping transportation.

**Key words:** fresh-keeping transportation; temperature; cold injury; control; fruit and vegetable

保鲜运输厢内温度场分布不均匀是影响果蔬保鲜运输品质的主要问题,运输厢体内的温差可达 15℃<sup>[1]</sup>,温度高的区域,果蔬新陈代谢强,保鲜期短;温度低的区域,果蔬可能发生冻害<sup>[2]</sup>.目前果蔬保鲜运输普遍通过采集单点温度对厢内温度进行控制<sup>[3]</sup>.此方法易造成厢体内温度分布不均匀.针对单点温

度控制存在的问题,有学者提出采用多点温度的平均值对保鲜环境温度进行控制<sup>[4-5]</sup>,该方法可减小温度过低区域的范围,但不能防止局部低温的出现且多路温度传感器布置会影响货物装载.

为此,本文设计了基于压差原理的温度控制系统试验平台,以可编程控制 PLC(西门子子 S7-300, CPU

收稿日期: 2012-02-26

作者简介: 张东霞(1986—),女,硕士;通信作者: 吕恩利(1979—),男,讲师,博士, E-mail: enlily@scau.edu.cn

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-33-13);国家自然科学基金(31101363);广东省自然科学基金(10151064201000038);广州市农业科技项目(2011);广东省科技计划项目(2011B020312003)

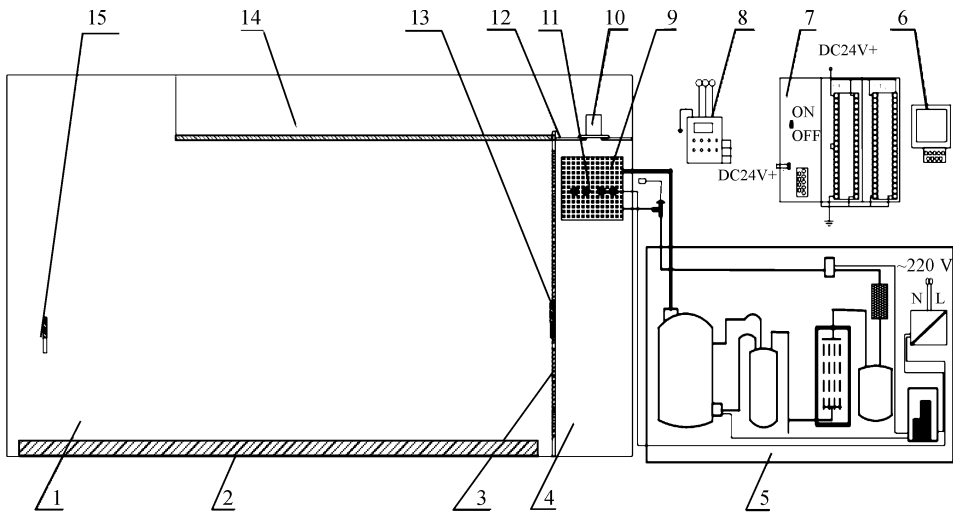
为314)为核心控制器,开发了基于双测点的温度控制系统,既能将运输厢内的温度控制在设定的目标温度范围内,又能防止运输箱体前端的果蔬被冻伤。

## 1 系统试验平台

### 1.1 试验装置

基于压差原理的保鲜运输温度控制系统试验平台如图1所示。箱体结构基于压差原理设计,规格(长×宽×高)为2.38 m×1.28 m×1.40 m,开孔隔板将其分为压力室和保鲜室,保鲜室底部设有高为30 mm的气流导轨,顶部设有回风道。离心风机(型号:HYA250;功率:250 W;最大静压:860 Pa;最大风量:500 m<sup>3</sup>/h)安装在风机安装板上,风机出风口与悬挂于压力室上方的蒸发器正对,风机转速由变频器

控制。制冷装置的核心部件压缩机(法国泰康,型号为FH4524F)功率为1 491 W。风机运转,回风道形成负压,压力室内产生高压。在压差的作用下,保鲜室内的气体经过回风道进入压力室,与制冷装置的蒸发器进行换热,然后通过开孔隔板进入保鲜室,如此循环。由于冷气首先到达保鲜室近开孔隔板处,该处温度最低;在冷气向后方流动过程中不断与果蔬换热,温度逐步升高,箱体后端温度最高。因此,在箱体后端布置后温度传感器(型号:CT-D/I,量程:−20~80℃,精度:±0.3℃),作为控制系统的主监测点,以监测保鲜环境温度;在开孔隔板处布置前温度传感器(型号:CT-D/I,量程:−20~80℃,精度:±0.3℃),作为控制系统的辅助监测点,以监测保鲜室内低温,防止果蔬低温伤害。



1:保鲜室;2:气流导轨;3:开孔隔板;4:压力室;5:制冷装置;6:人机交互界面;7:控制器 PLC;8:变频器;9:蒸发器;10:循环风机;11:融霜加热丝;12:风机安装板;13:前温度传感器;14:回风道;15:后温度传感器。

图1 保鲜运输温度控制系统试验平台

Fig.1 Testing platform of temperature control system in fresh-keeping transportation

通过 PLC 采集前温度传感器和后温度传感器的数据,控制变频器、制冷和融霜。通过变频器控制风机,以改变风机转速。通过人机交互界面显示前温度传感器、后温度传感器的采集值,以及设定果蔬的目标保鲜温度和冰点温度。

### 1.2 试验材料

试验材料选用广东产香蕉,总质量 350 kg,购于水果批发市场,未预冷,未经任何催熟处理,果实七成熟,果实规则,无病虫害,无损伤,表皮呈青绿色,色彩光鲜。香蕉用瓦楞纸箱包装,堆栈方式采用满载。

为获得前温度传感器的控制参数,需计算香蕉的冰点温度。果蔬的冰点温度与果蔬内的糖分、蛋白质、维生素等营养物质的摩尔质量和水的质量分数相关,它的计算公式如下<sup>[6]</sup>:

$$T_L = T_f^0 - \frac{R(T_f^0)^2}{L} x_s, \quad (1)$$

$$x_s = 1 - x_w = 1 - \frac{w_w/M_w}{w_w/M_w + w_s/M_s}. \quad (2)$$

式中,  $T_L$ —水质量分数为  $w_w$  时初始冻结温度(K);  $T_f^0 = 173.05$  K;  $L$ —纯水在  $T_f^0$  时的摩尔融化热, 6.003 kJ;  $R$ —气体摩尔常数, 8.314 J/(mol·K);  $x_s$ —可溶性固体摩尔分数,由  $1 - x_w$  所得;  $x_w$ —水在溶液中的摩尔分数;  $w_s$ —溶质的质量分数;  $w_w$ —水的质量分数(果蔬含水量);  $M_w$ —水的摩尔质量;  $M_s$ —溶质的摩尔质量。

经计算,香蕉的冰点温度约为 0℃。据文献[7]报道,香蕉的保鲜温度为 12~16℃。

## 2 系统的控制策略

### 2.1 系统控制线路

系统的控制线路如图2所示. 前温度传感器和后温度传感器连接于 PLC 的模拟量输入模块. 手/自动切换控制线、制冷控制线、融霜控制线分别与继电器

器 KA1、KA2、KA3 连接, 继电器 KA1、KA2、KA3 和变频器连接于 PLC 的数字量输出模块, PLC 通过继电器 KA1、KA2、KA3 的通断来控制手/自动切换开关、制冷、融霜工作, 通过变频器来控制风机的转速. PLC 的 RS485 串口通过 MPI 线与人机交互界面的 RS485 连接<sup>[8-11]</sup>.

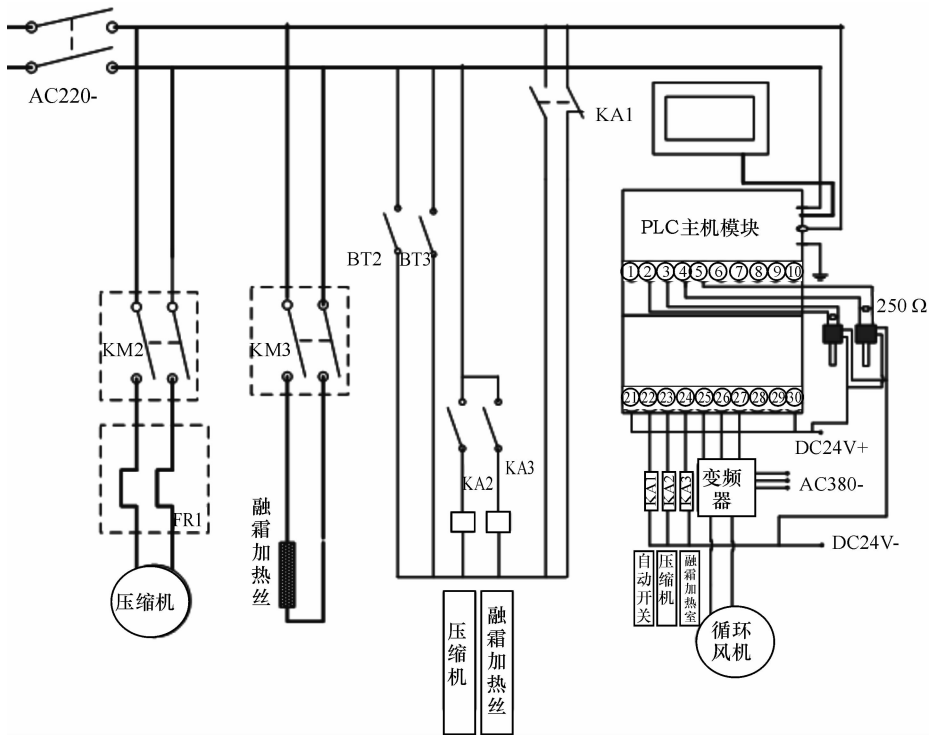


图2 温度控制系统控制电路

Fig. 2 Circuit diagram of temperature control system

### 2.2 控制策略

通过监测厢体前端冷气出口温度, 防止温度过低冻伤果蔬; 通过监测厢体后端的温度, 调节厢内香蕉适宜的保鲜环境温度. 设计的温度控制系统流程如图3所示. 将前温度传感器的信号记作  $\theta_1$ , 将后温度传感器的信号记作  $\theta_2$ .

开启系统, PLC 首先切断手动控制线路, 以保障系统稳定. 在人机交互界面上设定香蕉的保鲜温度的上限值  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、下限值  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  和冰点温度  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . PLC 读取人机交互界面设定的参数和厢体前、后温度传感器采集到的温度信号, 判断后温度传感器与香蕉适宜保鲜温度的关系、判断前温度传感器与香蕉冰点温度的关系, 以采取对应的控制方法. 若  $\theta_2 > 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\theta_1 < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (自定义为冰点保护值: 冰点温度 +  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 则只开启风机, 风速为  $6\text{ m/s}$  (频率  $31.5\text{ Hz}$ ). 若  $\theta_2 > 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_1 > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 开启制冷和风机, 风机的风速为  $8\text{ m/s}$  (频率  $42\text{ Hz}$ ). 当  $\theta_2 < 12\text{ }^{\circ}\text{C}$  或者  $\theta_1 < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 则关闭制冷和风机. 若制冷连续工作  $2\text{ h}$ , 则关闭制冷和风机, 开启融霜, 融霜工作  $4\text{ min}$  后关闭, 重新

开启制冷和风机. 若  $\theta_2 < 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_1 > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 则温控系统不工作. 若  $\theta_2 < 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_1 < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 则开启风机, 风速为  $6\text{ m/s}$ , 当  $\theta_1 > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 关闭风机. 其中, 冰点保护值的设定是为避免风机、制冷装置频繁启动<sup>[12-16]</sup>.

## 3 试验结果

启动温度控制系统, 进行  $59\text{ h}$  试验, 厢体内前温度传感器和后温度传感器的数值变化如图4所示.

从图4可以看出, 温度控制系统工作稳定, 既能够调节厢体内的保鲜环境温度至目标值, 又可以防止低温出现. 从试验开始至  $42\text{ h}$ , 厢体前端的温度保持在果蔬冰点温度之上, 保鲜环境温度能够稳定控制在设定的  $12\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 香蕉果肉温度逐步降低.  $42\text{ h}$  后, 冷气出口温度在制冷时易达到果蔬的冰点温度, 为避免厢体前端果蔬被冻伤, 控制系统停止制冷, 待前温度传感器采样温度大于  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  且后温度传感器采样温度大于  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 开启制冷. 运输厢体内的温度控制与控制策略相符合.

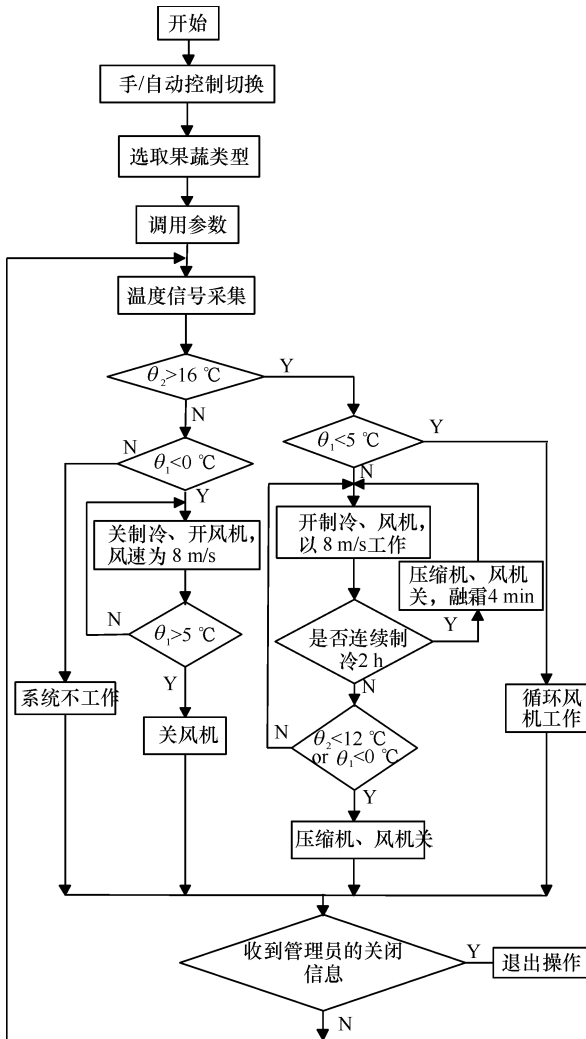


图3 温度控制流程图

Fig. 3 Work flow chart of temperature control system

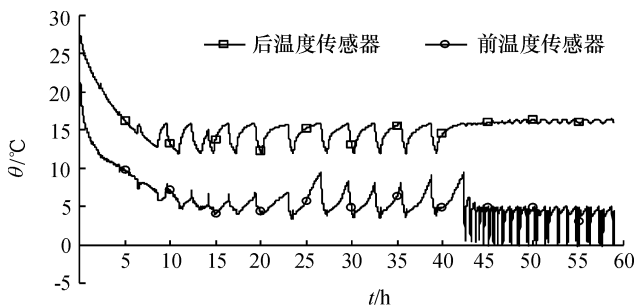


图4 试验实时温度曲线

Fig. 4 Real time temperature curve in experience

### 4 结论

针对运输厢内温差过大易导致部分果蔬被冻伤的问题,设计了基于双监测点的温度控制系统. 控制系统设有2个温度监控点:以保鲜室后端的温度为主要监测点,作为调节果蔬保鲜环境温度;以保鲜室前端冷气出口温度为辅助监测点,防止厢体前端果蔬

被冻伤. 经试验,系统运行稳定,既能将运输厢内的温度控制在果蔬适宜的保鲜温度范围内,又能防止部分果蔬在运输中被冻伤. 研究结果对提高保鲜运输技术水平具有一定的参考价值.

值得讨论的是,温度调节还与厢体内通风速度有关,应基于节约能源和降低干耗的原则,开发变频通风系统,本课题组正对此进行深入研究.

### 参考文献:

- [1] RODRIGUEZ-BERMEJO J, BARREIRO P, ROBLA J I, et al. Thermal study of a transport container[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 517-527.
- [2] VIGNEAULT C, THOMPSON J, WU S, et al. Transportation of fresh horticultural produce[J]. Postharvest Technologies for Horticultural Crops, 2009(2): 1-24.
- [3] 冯愿军. 我国冷藏汽车技术现状及发展方向研究[D]. 南京:南京理工大学,2002.
- [4] 赵晓峰,朱瑞祥,马辉,等. 基于 ARM 的农产品冷藏车环境监测系统设计[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(2): 98-100.
- [5] 吕恩利,陆华忠,杨洲,等. 气调保鲜运输车通风系统的阻力特性[J]. 农业机械学报,2008,42(3): 120-124.
- [6] 余泽雄. 船舶载运果蔬集装箱技术研究[D]. 辽宁:大连海事大学,2008.
- [7] THOMPSON A K. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables[M]. UK: MPG Books Group, 2010:142-143.
- [8] 胡洪,燕欣波,宋倩倩,等. PLC 在制冷与空调测试系统中的应用[J]. 制冷与空调,2010,24(3): 73-76.
- [9] 孔晓鸣,许敬德,马金平,等. 基于 PLC 和触摸屏的制冷空调产品检测装置控制系统[J]. 机械与电子, 2009(1): 40-42.
- [10] 刘福才,曹满婷,孙宇,等. PLC 在冷藏库冷间自动控制上的应用[J]. 电气传动自动化,2000,22(3): 44-48.
- [11] 戴星,谢守勇,何炳辉,等. 基于 PLC 的温室控制系统的研究[J]. 农机化研究, 2007(1): 129-132
- [12] 初勤亭. 冷库制系统模糊 PID 控制研究[D]. 浙江:浙江工业大学,2008.
- [13] 刘锴,周海. 深入浅出西门子 S7-300PLC[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004: 75-224.
- [14] 柴瑞娟,孙承志,孙书芳. 西门子 PLC 高级培训教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:1-144,300-359.
- [15] 彦启森. 制冷技术及其应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006:132-258, 423-433.
- [16] 王世良. 机械制冷冷藏集装箱与运输[M]. 北京:人民交通出版社,2005: 99-154.