

文章编号: 1005—0329(2010)07—0078—03

# 冷藏集装箱全自动热工性能测试室研制

陈新波, 柳建华, 张 良, 葛琪林, 方志云

(上海理工大学, 上海 200093)

**摘要:** 依据 ARI-1110-2001 标准设计并建造了一套全自动控制的冷藏集装箱热工性能测试室。该测试室采用校准箱法进行测试, 同时符合 ABS 标准的规定, 满足了用户的设计要求。

**关键词:** 冷藏集装箱; 热工性能测试; 自动控制

**中图分类号:** TB6

**文献标识码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1005-0329.2010.07.018

## Design of Automatic Thermal Performance Test Room for Refrigerated Containers

CHEN Xin-bo, LIU Jian-hua, ZHANG Liang, GE Qi-lin, FANG Zhi-yun

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093)

**Abstract:** This paper designs an automatic performance test room for refrigerated containers according to the ARI - 1110 standard and ABS standard. The method of calibrated box is used and the design meets the user's requirements.

**Key words:** refrigerated container; performance test room; automatic control

### 1 引言

冷藏集装箱的制冷机组作为冷藏集装箱的核心部件, 其性能的优劣直接影响到冷藏集装箱的整体性能。因此, 国际上有一系列相关的标准<sup>[1-3]</sup>, 对其性能做了严格的要求。冷藏集装箱机械制冷机组在出厂前必须进行热工性能试验, 而热工性能测试室必须达到相关标准的测试要求<sup>[4,5]</sup>。显然, 一个设计合理、性能可靠的热工性能测试室对于保证冷藏集装箱的可靠性能显得尤为重要。

### 2 设计要求

(1) 集装箱尺寸为 40 英尺, 机械制冷机组为 7.5HP;

(2) 设计参数参照 ARI-1110 标准<sup>[1]</sup>及 ABS 标准<sup>[2]</sup>;

(3) 测试室设计, 室内温度调节范围为 -5 ~ 50℃, 室外温度条件以上海地区为标准, 夏季为

34℃, 冬季为 -4℃;

(4) 校准箱设计, 箱内温度调节范围为 -20 ~ 5℃。

### 3 设计方案

根据文献[6], 40 英尺集装箱的外形尺寸为: 长 × 宽 × 高 = 12192 mm × 2438 mm × 2590mm, 设计测试室的外形尺寸为: 长 × 宽 × 高 = 18000mm × 5000mm × 4800mm, 吊顶高度 1000mm。

采取水平送风方式的测试室内速度场和温度场比采取上送上回方式的更为均匀<sup>[7]</sup>, 均符合 ARI-1110 标准及 ABS 标准。采取上送上回方式可以将空气处理设备放置于吊顶中, 节省房间面积, 从而便于被测机组的更换及校准箱的移动。因此本系统采取上送上回的送风模式。测试系统布置如图 1 所示, 测试室采用聚氨酯库板, 厚度为 100mm。主要部件包括环境室、被测制冷机组、校准箱、压缩冷凝机组、循环风机、加热器。

为保证测试室内空气状态迅速达到被测集装

箱规定工况并维持稳定,应准确计算测试室冷热负荷,设计恰当的空气处理系统。为了保证测试工况的稳定性和准确性,采用 PID 闭环控制对环境室温度及校准箱内温度进行自动控制。

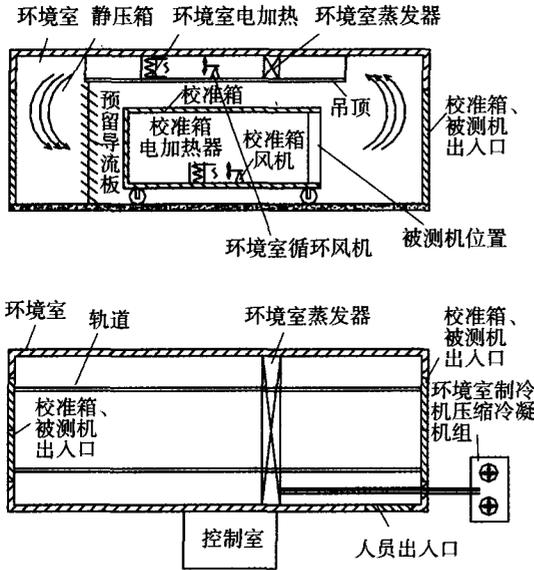


图 1 测试室示意

具体设计方案如下:

### 3.1 测试室空气处理系统设计

集装箱性能测试室的空气处理系统包括循环风机、压缩冷凝机组、电加热器,以保证室内温度维持在规定测试工况,并且分布均匀。

#### 3.1.1 循环风机

根据标准,集装箱外表面风速小于 2m/s,考虑测试环境室温度场的均匀性,设计风速不宜过低。经计算得风道压力损失 407Pa,选取 4 台离心式风机:全压 450Pa;风量 12000m<sup>3</sup>/h;功率 2.5 kW。环境室最窄处风速为 1.1m/s,符合标准要求。此外,吊顶内设有阻力调节装置,通过调节阻力,改变风量,可适当调节风速,以保证温度场均匀。

#### 3.1.2 压缩冷凝机组

环境室冷负荷由以下 4 部分组成:

- (1) 环境室围护结构的冷负荷;
- (2) 环境室内散热设备的冷负荷;
- (3) 校准箱漏热冷负荷;
- (4) 被测机冷凝热形成的热负荷。

综合以上 4 项,计算出冷负荷为 37.4kW。选用 4 台额定工况制冷量为 10.8kW 的压缩冷凝机组,可根据实际情况来决定开启的台数。

#### 3.1.3 电加热的选择

环境室的热负荷包括:模拟高温环境工况时的围护结构热负荷和向校准箱的漏热。通过计算,热负荷为 10.2kW。此外,加热器的功率必须能平衡 1 台环境室制冷机的冷量。

设置 2 组电加热,一组为固定档,一组为可调档,加热功率均为 12kW。

### 3.2 校准箱设计

直接以冷藏集装箱作为校准箱箱体,一方面无需另外设计制造校准箱,另一方面测试条件更加贴近机组实际运行环境。校准箱内部用电加热来平衡被测机的冷量,并配备循环风机以改善箱内的气流组织,使箱内温度均匀。

#### 3.2.1 循环风机

为使校准箱内部温度场分布均匀,每组电加热配有轴流风机以加强箱内空气流动。选取 3 台轴流风机:全压 100Pa;风量 3000m<sup>3</sup>/h;功率 0.5 kW。

#### 3.2.2 校准箱电加热设计

根据用户提供信息,被测机的最大制冷量为 13.5 kW,低温工况下计入测试室漏热量,计算得热负荷为 16.2kW。设计 3 组电加热,每组 6kW,总功率 18.0kW。

### 3.3 控制系统设计

本测试室的控制系统采用可编程逻辑控制器与人机界面触摸屏相结合的控制手段,极大地简化了控制系统,并且具有较高的可靠性。

环境室温度以及校准箱内温度都需要自动精确的控制,对这些参数的控制是一个闭环控制系统<sup>[8]</sup>,如图 2 所示。

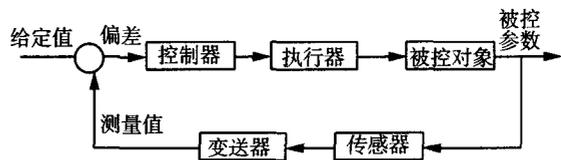


图 2 闭环控制系统

测试室自动控制方式采用 PID 调节,通过对电加热器的调节进行室内状态参数的实时控制。温度的测量值由传感器、变送器输入 PID 调节器,将测得的参数与工况设定参数进行比较,调节器发出指令,执行机构进行自动调节。这里被控对象就是电加热器,被控参数是所控制的温度,执行器采用可控硅调功器,控制器采用 PID 数字控制器,传感器采用铂电阻。除了实现基本功能,控制系统的设计还兼顾了安全、节能的特点。

### 3.4 数据采集与处理系统设计

#### 3.4.1 数据采集系统硬件设计

本测试室采用热电偶或铂电阻进行温度的采集,压力变送器进行压力的采集,信号通过数据采集仪变为数据值,通过局域网传送到计算机。电加热及被测机组的电压与功率采用电参数表采集,通过 RS232 串口送到计算机上。

#### 3.4.2 数据采集系统软件设计

本测试室采用某公司的 MX100 型数据采集仪。通过硬件采集到计算机上的数据通过软件进行分析、存档并实现可视化。软件使用面向对象的程序设计语言 Visual Basic 6.0。

### 4 试验及结果分析

图 3 所示为 ARI - 1110 标准中所规定环境室温度测点布置的示意,即安装在距离校准箱每个面的中心线 6.0in(150mm)处。表 1 列出了 2 种标准针对“校准测试”与“性能测试”条件下,对环境室温度的要求。

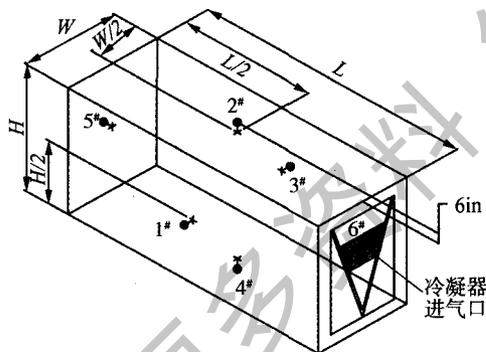


图 3 环境室温度测量点布置

测试室建成后,按标准规定先后进行了“校准测试”与“性能测试”的调试。

图 4 所示为“校准测试”中环境室各测点温度随时间的变化。从图中可见,同一测量时刻各点温差的最大值为 1.3℃,不大于 1.4℃;任意 2 个测试时刻平均温度差为 0.15℃,不大于 1.5℃,均同时符合 ARI 标准与 ABS 标准。

图 5 所示为“性能测试”中环境室各测点温度随时间的变化。从图中可见,同一测量时刻各点温差的最大值为 1.9℃,不大于 3.3℃;任意 2 个测试时刻平均温度差为 0.3℃,不大于 2.2℃,均同时符合 ARI 标准与 ABS 标准。

表 1 ARI - 1110 标准与 ABS 标准对环境室温度的要求

项目	ARI 标准 校准测试	ABS 标准 漏热测试
同一测量时刻环境室任意两点间的温差不大于℃ [ °F ]	1.4 [ 2.5 ]	3 [ 5.4 ]
任意 2 个测量时刻环境室平均温差不大于℃ [ °F ]	2.2 [ 4.0 ]	1.5 [ 2.7 ]
项目	ARI 标准 性能测试	ABS 标准 性能测试
平均环境室温度同设计温度的偏差℃ [ °F ]	不作要求	±1.1 [ ±2.0 ]
同一测量时刻环境室任意两点间的温差不大于℃ [ °F ]	3.3 [ 6.0 ]	不作要求
任意 2 个测量时刻环境室平均温差不大于℃ [ °F ]	2.2 [ 4.0 ]	不作要求

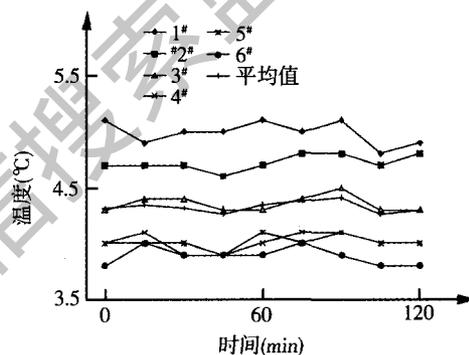


图 4 “校准测试”环境室各点温度随时间变化情况

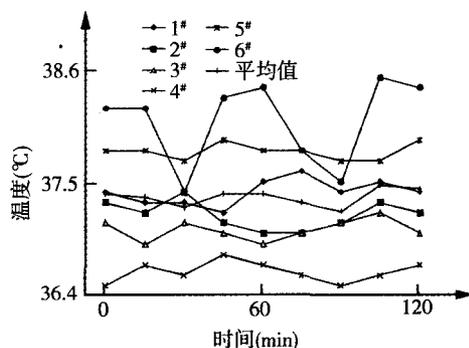


图 5 “性能测试”环境室各点温度随时间变化情况

### 5 结语

冷藏集装箱热工性能测试系统的研制涵盖了制冷技术、空调工程、自动控制和计算机检测与仪表技术。本文设计的冷藏集装箱热工性能测试系统,是以 ARI - 1110 标准、ABS 标准为参照,以校准箱法为测试方法而设计建造的,设计满足了用户的需求。

(下转第 67 页)

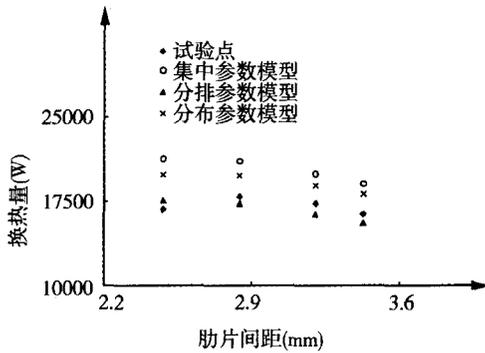


图3 试验值与模型计算值对比

从试验值与计算值对比结果看,3种模型模拟的结果与实际情况变化趋势相同。集中参数模型与分布参数模型模拟的结果略大,平均误差为19%和12%,分排参数模型模拟的结果最小,平均误差为4.6%。集中参数模型与分布参数模型计算出的结果比实验值大。原因在于:集中参数模型,相当于把多排管视为一个计算点,把每个截面上的空气均视为空气侧进口温度。这样,在计算过程中,由于后排管子温差明显比实际过程中要大,所以计算出来的换热量要比实验值大很多。经过仿真程序验证,排数越多,误差越大。而在分排计算的过程中,每排过后的空气温度都是随着变化的,所以在后排计算的过程中相当于空气侧的温度降低,与管内水的温差在减小,故换热量减小,更符合实际情况。

#### 4 结论

通过3种换热仿真模型比对,更能够反映实

际换热情况的分排参数模型与实验点的误差最小,平均误差4.6%。

(1)3种模型都能够模拟换热器换热变化趋势,在小风量、低排数的模拟中,可以采用集中参数模型。

(2)在大于4排的换热器仿真中,采用分排参数模型能更好的模拟实际换热情况。

#### 参考文献

- [1] 谷波,卞荷洁,黎远光. 风机盘管变结构性能的模型分析[J]. 机械工程学报,2004,(10):109-114.
- [2] VARDHAN A, DHAR P L. A new procedure for performance prediction of air conditioning coils[J]. International Journal Refrigeration, 1998, 21(1): 77-83.
- [3] Wang Chi-Chuan, Chi Kuan-Yu, Chang Chun-Jing. Heat transfer and friction characteristics of plain fin-and-tube heat exchangers, part II: Correlation[J]. Int J Heat Mass Transfer, 2000, 43(15): 2693-2700.
- [4] 甄伟,谷波. 外界扰动下的风机盘管动态响应[J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,(1):163-156.
- [5] 张恩泽,池映天. 表冷器热工性能数值模拟的探讨[J]. 能源研究与信息,2001,4:232-238.
- [6] 张恩泽,唐志国. 肋片间距对表冷器性能影响的实验研究[J]. 能源研究与信息,2002,3:162-168.
- [7] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社,1998.

作者简介:邱峰(1985-),男,硕士研究生,研究方向为组合式空调箱数字化设计与分析,通讯地址:200240上海市上海交通大学制冷与低温工程研究所。

(上接第80页)

#### 参考文献

- [1] ARI Standard 1110-2001. Standard for Mechanical Transport Refrigeration Units[S].
- [2] American Bureau of Shipping. Rules for Certification of Cargo Container[S].
- [3] Agreement on the international Carriage of Perishable foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for Such Carriage (ATP). 1991[S].
- [4] 刘训海. 冷藏集装箱热工性能测试装置的研制[J]. 上海理工大学学报. 2000, 22(4):356-359.
- [5] 操双五,章学来. 冷藏集装箱热工性能实验方法研

究[J]. 制冷,2002,21(4):5-8.

- [6] 杨万枫,卢士勋. 国内外冷藏集装箱的应用及技术进展[J]. 机电设备,1994,(3):38-42.
- [7] Wu Ruofei, Liu Jianhua, Zhang Liang, et al. Study of air supply schemes for refrigerating container performance testing room[A], 2009 International Conference on Energy and Environment Technology[D], Guilin, China, 16-18 October 2009: 329-332.
- [8] 孔峰,董秀成,梁岚珍. 微型计算机控制技术[M]. 重庆大学出版社,2003.

作者简介:陈新波(1986-),男,硕士研究生,主要从事制冷装置测试及控制技术的研究,通讯地址:200093,上海市军工路516号上海理工大学动力馆109室。