

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.06.015

符合中美欧标准四工位电冰箱性能试验室的研制

洪谢文, 李征涛, 陈永杰

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要:针对目前电冰箱性能试验室只能按单一标准检测的缺点,课题组设计了一套符合中美欧标准的四工位电冰箱性能测试试验室。对比了 GB 12021.2—2015 以及欧标和美标,提出了试验室温湿度和风速,试验的设计要求以及试验角的设计方案,介绍了空气处理系统和测控系统。试验结果表明试验室工况满足设计要求;基于 GB 12021.2—2015 对某型号电冰箱进行了耗电量性能测试,计算出其能效指数为 38%,符合 GB 12021.2—2015 的一级能效要求。目前试验室已在质检中心顺利投入使用,并产生了良好的经济效益和社会效益。

关键词:电冰箱性能测试台;国家标准;美国标准;欧洲标准;耗电量;能效指数

中图分类号: TB657.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2895(2018)06-0073-04

Development of Four-Location Refrigerator Performance-Test Lab under Standards of China and the United States and Europe

HONG Xiewen, LI Zhengtao, CHEN Yongjie

(School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: With the disadvantages that the refrigerator performance testing bench can only test a single standard, the research group designed a four-station refrigerator performance testing bench in accordance with the standards of China, America and Europe. The new GB 12021.2—2015 and the European and the American standard were compared. The design requirements of temperature, humidity, wind speed and experiment angle of the bench were proposed. The air treatment system and measurement and control system were introduced. The results show that test conditions meet the design requirements. And the power consumption of a certain type of refrigerator is tested and analyzed according to the GB 12021.2—2015, it calculates the index of energy efficiency is 38%, which meets the first-class energy efficiency requirements of GB 12021.2—2015. It has been put into use in the quality control center, and has produced good economic and social benefits.

Keywords: refrigerator performance testing bench; national standard; standard of the United states; standard of Europe; power consumption; energy efficiency

随着制冷行业的快速发展,电冰箱已成为人们生活的必需品。从 20 世纪 50 年代中国研制出第 1 代电冰箱,至 2015 年电冰箱的销量已达到 9 500 万台^[1]。2016 年 10 月实施的 GB 12021.2—2015《家用电冰箱耗电量限定值及能效等级》^[2]将电冰箱的能效等级重新进行了划分,由原来低于国际标准变为超越国际标准。美国和欧洲关于电冰箱性能要求的标准也各有不同,中国企业需要研制符合欧美标准的电冰箱产品,才

可以更好的进入欧美市场。

目前国内外很多企业和科研机构都有专门电冰箱的性能试验室,但大多依据的标准不是最新标准或者只是依据单一标准,少有符合多种测试标准的试验室。方大伟等^[3]研制了一套电冰箱压缩机性能测试试验台,主测和辅测分别利用第二制冷剂量热器和制冷剂流量计法,通过对数据采集分析,使得被测机压缩机的工作环境、吸气温度和过冷度控制在 ± 0.2 °C 的范围

收稿日期:2018-05-23;修回日期:2018-09-04

第一作者简介:洪谢文(1993),男,江西九江人,硕士研究生,主要研究方向为制冷测试与控制技术。E-mail:hxween2016@163.com

内。杨玉斋等^[4]通过试验分析了垂直和水平送风2种送风方式对耗电量测试的影响。Cortella G等^[5]研究表明,与环境温度相比,环境相对湿度的变化对冷柜温度的影响更大。

课题组研制的试验台主要根据 GB 12021.2—2015(以下简称国标)、ANSI/AHAM HRF-1-2007^[6] Energy, Performance and Capacity of Household Refrigerator-Freezers and Freezers(以下简称美标)以及 BS EN ISO 15502:2005^[7] Household Refrigerating Appliances-Characteristics and Test Methods(以下简称欧标)这3种标准及用户需求,建造一套可以同时满足3种标准的四工位电冰箱性能测试试验室。课题组主要针对试验室的构建要求和试验方法,以及能效评定方法进行研究。

1 试验室的设计要求和测试内容

试验室设计需要同时符合中美欧标准的测试工况条件,所以按照最高标准设计,可替代不同标准的电冰箱性能试验室,满足各标准测试内容。

1.1 环境温湿度和风速的设计要求

3种标准对于试验室环境都要求恒温、恒湿,并且在规定范围内可调控。环境温度是试验时冰箱周围的空间温度。国标规定温度测点为冰箱两侧壁垂直中心线350 mm距离地面1 m处的2个测点算术平均值,温度范围10~43℃,波动在±0.5℃以内,在距离试验平台2 m高的范围内垂直方向温度梯度不应超过2.0℃/m,环境湿度的要求为45%~75%,试验室内空气流速要求不大于0.25 m/s;美标规定环境温度的测点冰箱两侧壁垂直中心线254 mm距离地面0.915 m处的2个测点算术平均值,垂直方向的温度梯度不应超过0.9℃/m,环境室的风速要求不大于0.254 m/s,对湿度没有要求;欧标规定测点是冰箱两侧壁垂直中心线350 mm距离地面0.915 m处的2个测点算术平均值,垂直方向的温度梯度不应超过1.0℃/m,风速要求和国标一样,要求风速不大于0.25 m/s,湿度要求不大于75%。

课题组试验设计要求按照3种标准中最高标准选取;温度10~43℃范围内可调;垂直方向温度梯度为0.9℃/m;湿度要求45%~75%;循环风速控制在0.25 m/s以内。

1.2 试验室被测机试验角

电冰箱试验室中被测机需要放在试验平台上,试验平台又称之为试验角^[8]。试验角由3块立板和1块底板拼接而成,为了模拟电冰箱周围空气流受限,3

种标准都规定试验角为坚固的黑色且无光泽的木质平台,如图1所示。3种标准对试验角的尺寸也有不同的规定:国标规定底板的高度为300 mm,而美标和欧标要求至少高于地面51和50 mm;左右隔板和背板的限制国标和欧标相同,即隔板与被测机两侧壁平行并且相距300 mm,宽度为300 mm,而美标要求至少延伸出冰箱的边缘的305 mm。冰箱的安装应该使得除了背面外所有侧面距离墙或试验角侧面大于254 mm,其中后隔板应与被测机背面限位器接近。综上所述,试验角尺寸按照国标安装;国标和美标对厚度未做要求,选择欧标规定的厚度为25 mm。



图1 试验角

Figure 1 Test platform

1.3 试验室测量仪器精度

试验室电器测量仪器精度选取3种标准中规定的最高精度:功率计分辨率按美标和欧标规定的0.001 kW·h(国标规定为0.01 kW·h);电压表测试精度按美标±0.5%(国标和欧标为±1.0%);温度测量仪器精度按国标±0.3℃(美标和欧标分别为±0.6和±0.5℃)。

1.4 测试内容

3种标准中对电冰箱性能测试内容各有不同,相同测试内容其标准也不相同。其中冷冻、冷藏箱测试内容主要包含耗电量试验、储藏温度试验、冷却速度试验、冷冻能力试验、制冰能力试验、负载温升试验和凝露试验等。各国标中性能测试试验要求不同,具体如表1所示。

表1 各国标准性能测试内容和课题组测试内容

Table 1 Test contents of each national standard and research group

	测试项目					
	耗电量	储存温度	冷却速度	冷冻能力	制冰能力	负载温升
国际	√	√	×	√	√	√
美标	√	×	√	×	√	×
欧标	√	√	×	√	√	√
试验	√	√	√	√	√	√

注:“√”表示进行测试项目,“×”表示不进行测试项目。

2 试验室的空气处理系统

试验室需要同时满足对 4 台电冰箱进行性能测试,根据实际经验,冰箱测试工位分为 2 排,每排 2 个工位。空气处理系统包括制冷机组、电加热、加湿器以及循环风机 4 部分。试验要求温度 $10 \sim 43 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内可调;垂直方向温度梯度为 $0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$;湿度要求 $45\% \sim 75\%$;循环风速控制在 0.25 m/s 以下。试验过程中需要制冷机组冷负荷来平衡整个试验室的热负荷(包括维护结构的漏热量、被测电冰箱散热量、环境室降温的热量和各产热设备散热量 4 部分)。采用 2 组独立控制的蒸气压缩式制冷系统^[9],室内冷负荷大时 2 台机组(每台制冷量 10 kW)同时工作,冷负荷小时 1 台机组单独工作,从而达到压缩机容积可调、节能的效果。制冷系统采用热回收换热器,设计换热面积为 68.55 m^2 ,换热量为 16.32 kW ,为降温除湿后的空气预热,减少电加热的功率,达到节能的效果。电加热采用电加热棒,功率为 $0 \sim 20 \text{ kW}$ 连续输出,保证响应迅速。加湿器选电加湿器,且加湿器的总加热功率为 15 kW (可调)。为了保证垂直方向温度梯度为 $0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$,要求风速不大于 0.250 m/s ,送回风方式选择上送侧回,即孔板送风和侧风道回风,通过计算风机风量为 $11\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,静压为 350 Pa 。

3 自动控制和测控系统

冰箱性能试验室需要对环境温度和湿度进行精确自动控制,保证温度和湿度在受到外界干扰时与目标值的偏差能保持在 3 种标准允许的偏差范围之内。

在实际应用中,为保证试验台工作的可靠性,系统在实时控制中采用双路备份仪表控制,主控制回路采用计算机自动控制,辅助控制回路采用人工手动控制,确保自动控制系统发生故障时,整个系统能照常运行^[10]。测控系统如图 2 所示,其中试验室温湿度是通过 PID 自动控制,需要用户在 PID 的操作界面输入相关参数。由温湿度传感器测量环境室内部温湿度,通过 PID 内部处理器和集成算法,利用 PID 的自整定功能,通过调功器调节制冷机组、电加热和电加湿器的功率来实现自动控制调节,直至达到设定的温湿度。

4 试验研究和数据分析

试验室对于电冰箱性能测试主要包括:耗电量、储藏温度、冷却速度、冷冻能力、制冰能力以及负载温升的试验。对型号为 BCD-137C 的样机进行性能测试。被测机的参数:气候类型 SN/N/ST,测试工况 $25.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 60% ,输入总功率 96 W ,总有效容积 137 L ,冷冻能力 $2.5 \text{ kg}/24 \text{ h}$,耗电量 $0.38 \text{ kW} \cdot \text{h}/24 \text{ h}$,额定电压和电

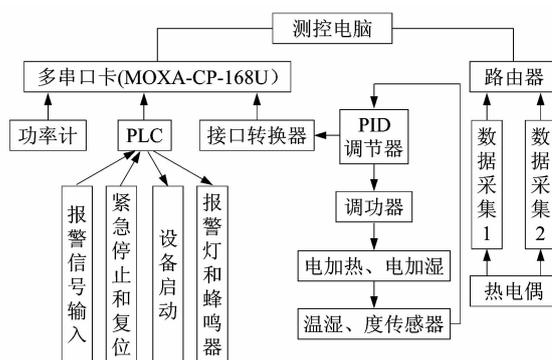


图 2 测控系统组成

Figure 2 Control system

流分别为 220 V 和 0.55 A 。

4.1 环境室温度试验

为了测量温度场均匀性,环境室内布置 27 个温度的测点,如图 3 所示,测点分布为上中下 3 层。下层测点位于试验角底层往上 300 mm 处,中层测点位于环境室的几何中心处,上层测点距离孔板 700 mm 。根据试验室尺寸计算得上、中 2 层间隔为 0.95 m ,中、下 2 层间隔为 1.05 m 。图 3 中 A_1 为环境室的几何中心点, A_2 分别在上、下两侧的垂直线上。 B, C, D, E 位于以 A 为中心,长 3 m ,宽 2 m 的长方形的 4 个顶点上, F, G, H 和 I 为四周墙壁中心点。环境室的各个点的温度通过热电偶测得,以保证实时监测环境室内温度场。

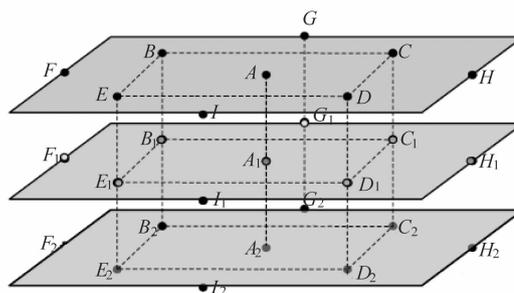


图 3 环境室温度测点分布

Figure 3 Distribution diagram of temperature measurement points

环境室室温度可以在 15 min 内从外界环境温度 $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 快速降温到工况温度 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。环境室温度稳定后,间隔 5 min 选取 5 组测量值求平均值。如表 2 所示,室内温度稳定后,温度波动范围在 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,满足标准要求的精度;同时,分析上中下 3 层对应位置的测点数据,可以得出在垂直方向测得温度梯度小于 $0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$;分析上中下 3 层每层测点的温度可以发现同一水平面温度场均匀。综上,室内干球温度为 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的工况时,环境温度场均匀,符合要求。

表2 温度测点的平均温度

Table 2 Average temperature of measurement points

测点	温度/℃	测点	温度/℃	测点	温度/℃
A ₁	24.94	A	25.13	A ₂	25.05
B ₁	25.06	B	24.91	B ₂	25.03
C ₁	24.78	C	24.89	C ₂	25.04
D ₁	24.92	D	25.28	D ₂	25.02
E ₁	25.20	E	25.02	E ₂	25.22
F ₁	24.95	F	25.05	F ₂	25.10
G ₁	25.11	G	25.01	G ₂	25.09
H ₁	24.98	H	25.06	H ₂	25.14
I ₁	25.05	I	25.24	I ₂	25.12

4.2 耗电量试验

对于电冰箱衡量其性能的最主要的标志是能效标示。对于给定的非自动化霜的电冰箱进行耗电量性能测试。根据国标规定采用特性温度法对被测机 24 h 的耗电量进行测试记录。冷冻室按照规定放置试验包和 M 包,以确保不会影响被测机间室内空气的流通。特性温度满足规定的温度值,利用功率记录仪对被测机的耗电量进行测试。

调整容积

$$V_{adj} = \sum_{c=1}^2 V_c \times F_c \times W_c \times C_c = 198.77 \text{ L.}$$

式中: F_c 为常数,取 1.0; C_c 气候类型修正系数,取 1.1; W_1 为冷藏室加权系数,取 1.0; W_2 为三星冷冻室加权系数,取 2.15; V_1 为被测电冰箱冷藏室有效容积, $V_1 = 99 \text{ L}$; V_2 为冷冻室有效容积, $V_2 = 38 \text{ L}$ 。

基准耗电量

$$E_{base} = (M \times V_{adj} + N + C_H) \times \frac{S_r}{365} = 1.12 \text{ kW} \cdot \text{h.}$$

式中:参数 $M = 0.697 \text{ kW} \cdot \text{h/L}$; $N = 272 \text{ kW} \cdot \text{h/L}$; 变温室修正系数 $C_H = 0$; 穿透式自动功能修正系数 $S_r = 1$ 。

图 4 所示为被测机耗电量,因为电冰箱的运行周期,所以累计功率的曲线是呈折线上升的趋势。在被测机压缩机启动的时间段内,累计功率值上升,在被测机压缩机停机的时间段内,累计功率值不变。由图 4 可得, $t = 0$ 时功率测量仪的累计值 $W_1 = 0.479 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 24 h 功率测量仪的累计耗电量 $W_2 = 0.904 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 24 h 被测机的耗电量

$$E = W_1 - W_2 = 0.425 \text{ kW} \cdot \text{h.}$$

被测机能源效率指数

$$\eta = \frac{E}{E_{base}} \times 100\% = 38\% .$$

24 h 被测机耗电量 E 为 $0.425 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 为被测机铭牌标示的 112%, 小于 115%, 因此测得被测机为合格产品; GB 12021.2—2015 将原来一级能效标准提高, 由原

来小于等于 50% 提高到小于等于 40%, 而被测机能效指数为 38%, 故产品为一级能效, 耗电量试验合格。

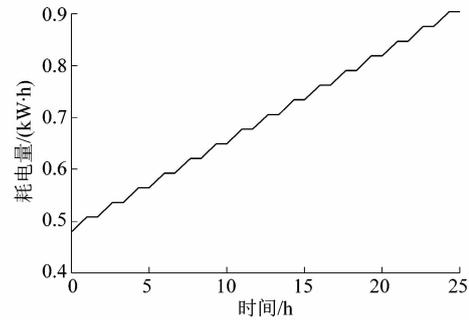


图 4 被测机耗电量试验曲线图

Figure 4 Curve of power consumption

5 结语

课题组对比中美欧 3 种对电冰箱能耗测试的标准,结合实际需求,研制了一套符合 3 种标准的四工位电冰箱性能试验室,并对其进行调试,结果显示试验室温度可以在 15 min 内从 36 °C 快速降温到工况温度 25 °C,稳定后其波动范围在 $\pm 0.5 \text{ °C}$ 以内,满足标准要求的精度。并对某型号国产冰箱按 GB 12021.2—2015 进行耗电量测试,测定其能效指数为 38%, 产品合格且为一级能效。

参考文献:

- [1] 邵乃宇. 制冷空调行业现状及发展趋势[D]. 上海:上海理工大学,2016:3.
- [2] 国家发展和改革委员会资源节约与环境保护司,工业与信息节能综合利用司. 国家电冰箱耗电量限值及能效:GB 12021.2—2015 [S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [3] 方大伟,李瑛,方杰,等. 电冰箱压缩机性能试验台的研制及试验研究[J]. 制冷与空调(四川),2014(6):635-639.
- [4] 杨玉斋,张少君. IEC 62552 标准修订后对电冰箱耗电量测试结果的影响[J]. 家电科技,2012(4):68-71.
- [5] CORTELLA G, MANZAN M, COMINI G. CFD simulation of refrigerated display cabinets[J]. International journal of refrigeration, 2001,24(3):250-260.
- [6] Association of Home Appliance Manufacturers. Energy performance and capacity of household refrigerator-freezers and freezers: ANSL/AHAM HRF-1-2007[S/OL]. [2018-4-20]. <https://wenku.baidu.com/view/547e7d77f242336c1eb95e5f.html>.
- [7] Standards Policy and Strategy Committee. Household refrigerating appliances-characteristics and test methods; BS EN ISO 15502:2005 [S/OL]. [2018-4-20]. <http://www.doc88.com/p-09592101464.html>.
- [8] RIZVI Z H, HEGGS P J. Defrosting refrigerators: reverse hot gas cycles are far better than electrical resistance heaters [C]// International Congress of Refrigeration. Washington, D. C.: Zaid Rizvi etc., 2003:52.
- [9] 段雪涛,邹志敏,王芳,等. 四工位全自动冰箱性能测试室的研制与试验分析[C]. 第3届制冷空调新技术研讨会. 杭州:中国制冷学会,2005:604.
- [10] 李甜甜,李征涛,王芳,等. 空气源热泵热水机性能测试室测控系统研制与分析[J]. 制冷技术,2011,31(1):32-34.