

冰箱性能测试室冷热联供内环境调控系统研究

陈嘉澍¹, 卓献荣², 伍江³, 黄伟毅⁴

(1. 仲恺农业工程学院 机电学院, 广东 广州 510225 2. 仲恺农业工程学院 城市建设学院, 广东 广州 510225 ;
3. 广州市兴南电器有限公司, 广东 广州 510440 4. 广东澳信热泵空调有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 针对亚热带地区冰箱、冷柜等小型制冷装置型式测试内环境的精确调控要求, 设计制造了可同时产生10℃左右冷冻水和55℃左右热水的冷热水联供调控系统。利用模糊变频调控冷热水流量的方法对温度参数进行精确调控, 利用冷冻除湿、旁路超声波加湿方法对湿度进行控制, 设计建设了双室各八工位冰箱、冷柜型式测试室。系统运行结果表明: 该系统在华南地区既可靠地满足了冰箱、冷柜型式测试室内环境对温湿度的调控要求, 也实现了节能及降低投资的目的。

关键词: 性能测试; 内环境; 冷热水联供; 温湿度调控

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-3429.2015.01.014

中图分类号: TU831

文献标识码: B

文章编号: 2095-3429(2015)01-0055-06

Study on the Regulation System of Internal Environment Chamber for Testing Refrigerator Performance with Hot and Cold Water Combining Supply

CHEN Jia-shu¹, ZHUO Xian-rong², WU Jiang³, HUANG Wei-yi⁴

(1. Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. College of Urban Construction, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

3. Guangzhou Xingnan Electrical Appliance Co., Ltd, Guangzhou, Guangzhou 510000, China;

4. Guangdong ASEAIR Heat Pump and Air Conditioning Co., Ltd, Foshan 528000, China)

Abstract: Aiming at the requirement of temperature and humidity precise regulation in performance testing chamber at subtropical zone for small refrigerating equipment as refrigerator and freezer etc., the new regulation system with cold and hot water combining supply from air source heat pump units which can product 10℃ cold water and 55℃ hot water was designed and manufactured specially. Using fuzzy control method by variable-frequency to regulate the hot or cold water flow, the temperature was regulated precisely. Using freezing dehumidify method and shunting ultrasonic humidifier, the humidity was controlled. Basing on these measure, double internal environment chamber having eight-station for small refrigerating equipment was built. The operating results indicated that the system not only satisfied the requirement of temperature and humidity precise regulation in internal environment chamber at subtropical zone for small refrigerating equipment considerably, but also realized saving on electricity and the amount of investment.

Key words: performance testing chamber; internal environment; cold and hot water combining supply units; temperature and humidity regulatory

基金项目: 广东省高等学校科技创新重点项目, No.2012CXZD0027。

作者简介: 陈嘉澍(1977-), 男, 广州人, 硕士, 实验师, 研究方向: 内环境调控系统优化及节能技术;

卓献荣(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 内环境调控系统优化及节能技术。

0 引言

自新世纪以来,随着经济全球化的发展进程,我国已成为制冷空调制造大国,国内外长期持续的巨大市场需求及日新月异激烈的市场竞争背景下,冰箱、陈列柜等小型制冷装置生产企业,为生存及发展均非常注重市场竞争导向,不断快速更新品种、规格,想方设法提高产品安全性、可靠性、节能性,为了实现这种目标,在新产品的研发、生产质量监控等过程中,型式测试室成为该类企业用于产品性能监控的重要设备^[1]。

多年来,由于这种型式测试室建设费用昂贵,许多中小型企业发展初期,通常委托专门机构进行型式测试,但往往由于专门机构离制造厂远、样机运输装卸麻烦、测试周期长及测试成本高等因素,产品匹配性能的优化速度受到局限,产品质量监控不易到位,不利于产品质量的提高和商品的市场适应性。针对这种状况,许多企业都迫切需要在制造厂内建设型式测试室。

冰箱、冷柜的型式测试室有其独特性。冰箱、冷柜、陈列柜这类小型制冷装置的型式测试室分精确的内环境调控系统及多参数的数据采集系统两大系统。数据采集系统主要采集小型制冷装置中的各种温度变化状况及对应的电工参数变化状况,其系统集成逐渐呈标准化、通用化发展。内环境调控参数主要为温度、湿度及风速,由于内环境调控涉及外环境条件(包括气候类型、季节变化)、测试室结构(包括制造企业的场地条件、维护结构布局等)以及实施调控方法的多样性等因素,标准化、通用化程度不高,常常需要针对具体对象进行具体设计^[4-9]。

传统型式测试室存在运行成本高,精度不高的缺点。型式测试室内环境调控中,温度的精确调控最为关键,传统方法机理是降温时先制冷,接近目标温度时利用无触点开关控制电加热器来平衡“冷滞后”;升温时先采用蒸汽加热或电加热,接近目标温度时采用制冷及利用无触点开关控制电加热来平衡“热过冲”。这种方法虽然成熟可靠,但系统构成复杂,电加热、蒸汽发生器及冷热平衡用电加热器的能耗较大,制冷机在高温气候环境的启动及冷量损失也较大。另外,在亚热带地区,这类型式测试室实际的极限冷热负荷其实不大,传统系统中均配置了功率大几倍的制冷系统,这些通常是造成测试室投资大、运行成本高的主要因素。

课题组在传统型式测试室的运行机理上作了更新,更新后的二代型式测试室较传统的更节能,更便捷,更具适合企业使用。以一双室各八工位的冰箱、冷柜型式测试室为实例,利用模糊变频控制冷水或热水

流量的方法对型式测试室的内环境温度进行精确调节,利用冷冻除湿及旁路超声波加湿器对湿度进行控制,在保证型式测试室测试室功能质量的同时,简化系统构成、节约运行电耗,从而降低投资及运行成本。

1 系统规划及方案设计

1.1 目标参数要求及系统规划

按相关国家标准^[10],本测试室可测试项目应包括储藏温度、冷却速度、耗电量、冷冻能力、负载温度回升速度、凝露试验及对应的相关电量参数(电压、电流、功率、功率因数)。这些项目的测试都是以稳定的测试环境条件为基础,为适应测试室内环境条件要求,首先确定所有规定测点处的任意方向风速 ≤ 0.25 m/s,在此基础上,明确测试室内环境空气状态参数调控要求,其中,空气的干球温度范围设为 $10 \sim 45^\circ\text{C}$,其对应控制精度及波动范围均设为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,其升降温速度:从 10°C 升至 45°C 的时间小于90min,从 45°C 降至 10°C 的时间小于90min,测试室内的温度梯度:距地面2300mm高的范围内,其垂直方向的温度梯度 $\leq 1.5\text{K/m}$,其余 $\leq 2\text{K/m}$ 。空气的相对湿度调节范围设为45%~95%RH、精度为 $\pm 3\%$ 。

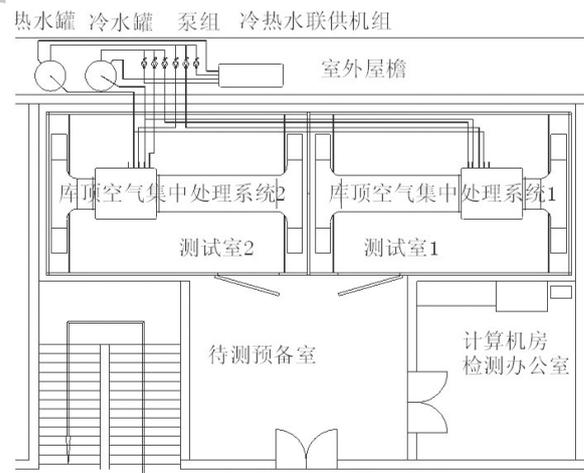


图1 双室型式测试室布局

针对设计目标参数要求,把测试室内环境空气的温湿度调控系统分为四个子系统,即:测试室围护结构、空气集中处理及气流组织、冷热源系统、自控系统。图1所示为双室测试室布局,图2所示为双室型式测试室功能系统。

1.2 测试室围护结构

测试室围护结构目前多由保温性能良好的高密度聚氨酯发泡保温预制库板拼装成独立于外界环境的六

面体空间。该方案中,预制库板保温层厚度均为100mm,用中间隔墙库板构建成独立、对称的两个测试室库体,每一库体内空:长×宽×高=6×3.6×2.7(m)、库门面对待测预备室,库门洞尺寸:宽×高=1.2×2.3(m),从空间上满足了立式、卧式陈列柜、冷柜、冰箱的型式测试要求,围护结构良好的保温及气密性性能,使得测试室内环境所受热湿干扰较小。

1.3 最大冷却/加热负荷估算

由于测试室常年使用,即使相同测试内环境要求,在不同季节运行时实际的冷却/加热负荷值差别都很大,在考虑冷却/加热能力匹配时,起码需要估算出最大冷却/加热负荷。

$$Q_{c2} = \frac{V \cdot n \cdot \Delta h_c}{3.6 v_{ac}} \approx 4.7 \text{ kW} \quad (2)$$

式中 V —测试室内容积;

n —开门次数;

Δh_c —测试室内空气达到规定温度时的比焓差, kJ/kg;

v_{ac} —空气的比体积 m^3/kg 。

设备最大热负荷取 $Q^3=2\text{kW}$,

其它热负荷取 $Q^4 \approx 0.3\text{kW}$,

即最大冷却负荷:

$$Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_3 + Q_4 \approx 7.5 \text{ kW} \quad (3)$$

相应地,对于加热负荷,它包括:最大围护结构漏热量:

$$Q_{h1} = KA\Delta t_h \approx 0.6 \text{ kW} \quad (4)$$

开门漏热量:

$$Q_{h2} = \frac{V \cdot n \cdot \Delta h_h}{3.6 v_{ah}} \approx 7.5 \text{ kW} \quad (5)$$

其它热负荷 $Q_4 \approx 1.2\text{kW}$,忽略设备热负荷 Q_3 ,即最大加热负荷:

$$Q_h = Q_{h1} + Q_{h2} + Q_4 \approx 9.3 \text{ kW} \quad (6)$$

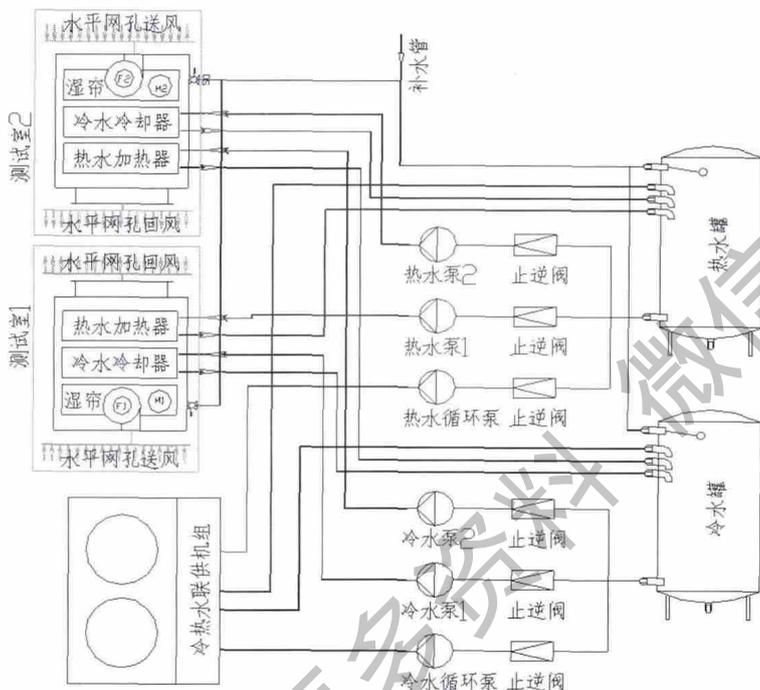


图2 双室型式测试室功能系统

按测试室内环境温度可调节范围10~45℃的要求,测试室最大冷负荷发生在最热的夏季把温度调控在下限温度10℃时的冷负荷,测试室最大热负荷是发生在最冷的冬季把温度调控在上限温度45℃时的热负荷。

结合实例,按亚热带条件考虑,围护结构最大漏冷量:

$$Q_{c1} = KA\Delta t_c \approx 0.5 \text{ kW}; \quad (1)$$

式中 K —围护结构的传热系数 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A —围护结构的表面积 m^2 ;

Δt_c —围护结构内外温差。

开门漏冷量:

2 调控系统开发

2.1 冷热水联供系统

根据上述冷却/加热最大负荷估算,选用三相谷轮ZR28K3(2.5匹)涡旋压塑机,利用现成的5匹分体空调室外机及大部分制冷附件,按图3所示进行改装,其实物照片如图4所示。

该系统由冷热水联供机组、冷水循环泵、热水循环泵、冷水贮存罐、热水贮存罐、冷热水循环管路及器件组成,如图2所示。

冷热联供机组的任务是把热水贮存罐(1t)的水加热至约50℃热源水,以及把冷水贮存罐(1t)的水冷却成约7℃冷源水。考虑到冷热联供制冷系统中,不可避免存在冷热需求不同步、冷热负荷不平衡的固有局限^[11],因而该系统一方面利用冷热贮水罐的蓄冷、蓄热能力来延缓冷热需求的不同步程度,另一方面机组本身还配备辅助风冷冷凝器及辅助空气源蒸发器。在冷、热水贮存罐温度未达到各自的目标设定温度时,由板式冷凝器、板式蒸发器工作,而此时辅助冷凝风机及辅助蒸发器均不工作,当热水温度达到设定目标时,辅助冷凝器风机启动,当冷水温度达到设定温度时关闭板式蒸发器电磁阀,同时开启辅助蒸发器电磁阀和风机,

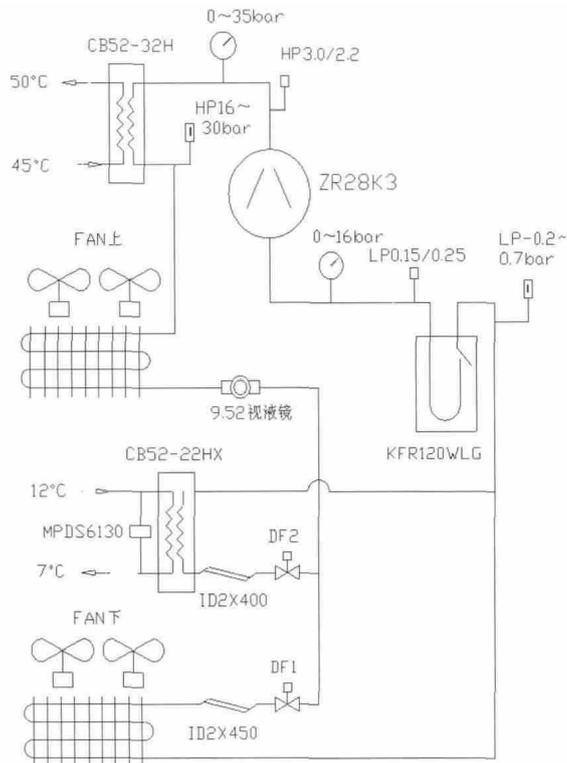


图3 冷热联供机组制冷系统

只有当热水温度和冷水温度均达到各自设定温度时机组才停止工作。当然，冷水循环、热水循环系统需要设置水流控制开关，以保证水循环系统正常时才能启动冷热联供机组。冷热水罐需具有合适的蓄热、蓄冷能力，这样，除有利于保证冷热联供机组有合适的开停时间比、避免机组开停过于频繁外，还有利于为空气集中处理柜提供温度相对稳定的冷热源。

2.2 空气集中处理及气流组织

空气集中处理及气流组织系统由空气集中处理柜、库顶(送、回)风道、库内网孔送风侧墙、库内网孔回风汇集侧墙组成密闭循环空气流动处理系统。空气集中处理柜吊装在每一测试室的库

顶外中部，按“加热→冷却→加湿”的气流顺序对空气进行处理。为此，空气集中处理柜设置有套翅片管热水加热器、套翅片管冷水冷却器及旁路超声波加湿雾化接口。

空气集中处理系统中的离心风机额定风量按50次/h换气次数估算值（约2900m³/h），对应余压280±30Pa，加热器或冷却器的设计换热能力使对应流量的空气升温或降温的焓差值不小于12kJ/kg干空气。实际的加热量由流经加热器的热水流量进行调节，实际冷却量则由流经冷却器的冷冻水流量进行调节。系统是否需要加湿或除湿则由相对湿度变送器输入的模拟信



图4 型式测试室冷热联供机组

号来控制旁路超声波加湿器或冷冻除湿器的状态。

由于库内长度方向的两侧设有网孔送风侧墙和网孔回风侧墙，测试室测试空间内的气流就可保证均匀，而稳定的目标气流流速可在匹配设计的基础上加手动变频器调试风机转速来实现。

2.3 自控系统

自控系统主要由主电路、PLC及扩展模块功能布局及控制软件组成。图5所示自控系统主电路原理图，图6所示为PLC及扩展模块布局图。

测试室电源设置了可切换的工频和变频电源，其中变频电源主要是为测试出口产品设置(AC~110V/60Hz)。

各类温湿度传感及中间继电器均采用集中直流电源，安捷伦数据采集仪、各工位电量参数采集仪以及PLC、接触器均采用单相电源。

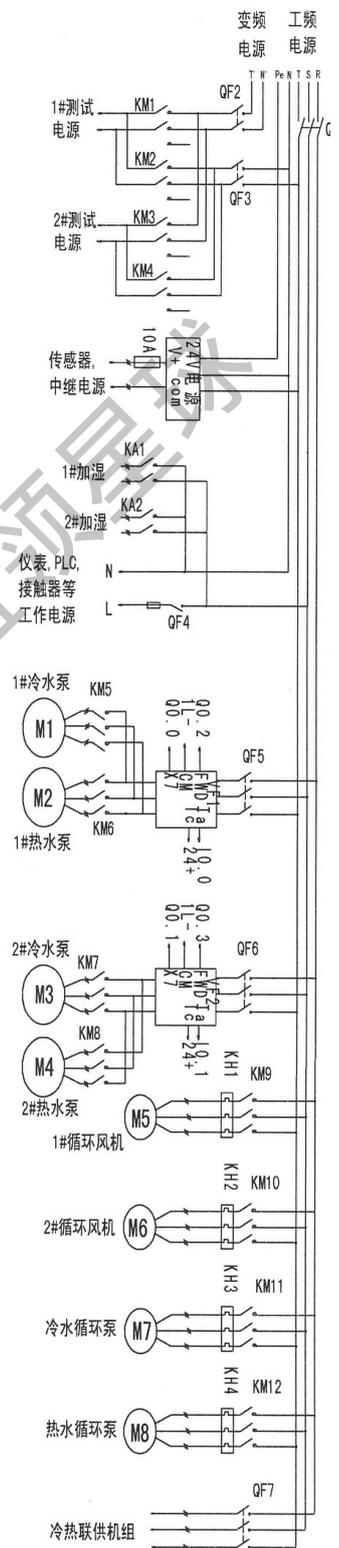


图5 主电路

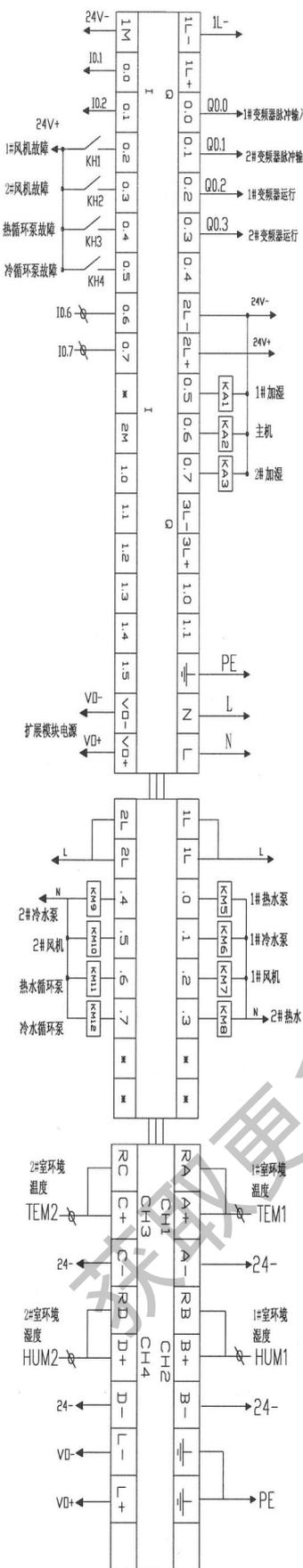


图6 PLC及扩展模块布局

各测试室内环境调控参数为温度、湿度及风速,风速调控由匹配好的循环风机定速运行,湿度调控由各室回风相对湿度与设定相对湿度对比,由PLC处理控制中间继电器开关(KA1、KA2),从而对超声波加湿器进行双位控制,即:只要实测相对湿度值小于设定值就启动超声波加湿器,否则就停止加湿。温度参数的调控首先由各测试室实测的回风干球温度值与设定温度值进行对比,由PLC判断是需要升温还是降温,从而选择启动冷水泵或热水泵,然后按模糊控制方式动态调控冷水泵或热水泵运转频率来动态调控降温或升温幅度,从而使回风温度在容许误差范围内达到目标设定值。在提高系统运行可靠性方面,对冷热水联供机组的保护控制也作了全面的考虑,特别增加了板式蒸发器冬季自动泄水的保护控制,即:当检测到室外气温连续30min低于3℃时,板式蒸发器进出水电磁阀关闭,同时打开低位旁通泄水电磁阀)从而避免了板式

蒸发器因结冰而受损的可能。

3 运行效果与分析

由于该系统本身具备了对各种温湿度参数及变频调节等参数的自动采集及数据贮存功能,因此较方便知道该系统的运行状况。内环境温湿度参数调控方向有四种^[12],即:升温加湿和升温除湿、降温加湿和降温除湿,对小型制冷装置的性能测试除了标准工况下的能效测试外,还有高温高湿工况下的冷却速度的性能测试、凝露试验以及低温高湿工况下的储藏能力测试等。为了评价系统运行效果,专门对该系统进行了“夏季高温工况实现低温高湿内环境调控”与“冬季低温工况实现高温高湿的内环境调控”的现场试验。

在进行“夏季高温工况实现低温高湿内环境调控性能”的现场试验中,内环境调控目标设定温度为16℃、相对湿度85%,为了协同考核系统的上限制冷降温(最大抗热干扰)能力,专门挑选了额定功率为527W的四台立式陈列柜设定在强制开机状态作为模拟实际测试情况,其结果如图7所示。

从图7所示中可知,夏季工况的室外气温在28~34℃,测试室内环境温度从约27℃开始降温,经过70min后就稳定在16±1℃范围,对应的冷水泵电机运行频率平均值约为36Hz(设计下限频率钳制在20Hz),表明变频调控降温能力还有较大富裕量。内环境相对湿度从约53%RH开始增加,由于降温时空气本身的相对湿度变大,因而其相对湿度值很快就超过设定值90%RH,使得旁路冷冻除湿器与超声波加湿器处于相互抵消的状态运行,从而使相对湿度能够保持容许的偏差范围内波动。

在进行“冬季低温工况实现高温高湿的内环境调控性能”的现场试验中,内环境调控目标设定温度为43℃、相对湿度80%,为了协同考核系统的上限加热升温能力,专门进行了“空库试验”,其结果如图8所示。

从图8所示中可知,冬季工况的室外气温在7~11℃,测试室内环境温度从约13℃开始升温,经过105min后才稳定在43±1℃范围,对应的热水泵电机运行频率约在44Hz(设计下限频率钳制在20Hz),表明调控系统在还有一些富裕量情况下,还可保证内环境温度调控到43±1℃的设计目标要求。内环境相对湿度是从约46%开始增大,其过程只是超声波加湿器在间歇运行起作用,经过130min后相对湿度亦可在容许的范围内达到设定要求。

在华南地区,这两种现场试验结果可表明:首先,

该冷热水联供系统所提供的冷热源的能力匹配合理,能完全适应该地区全年候的内环境温度参数的调控要求;其次,采用模糊调节冷水泵、热水泵的运行频率方法,能很好地达到该类测试室对内环境温度的调控精度;再有,两位控制的旁路冷冻除湿器与超声波加湿器的湿度调控,不但简单、可靠,其相对湿度的调控亦能满足型式测试的要求。

该系统已运行3年多,除了系统的“水路、风路”需要适时进行清洁保养外,该系统一直稳定、可靠地运行。在实际运行中,尽管室外工况变化无常、对测试室内温湿度参数的调控目标也有多种,该系统由于配置了可随时供匹配使用的冷热源,

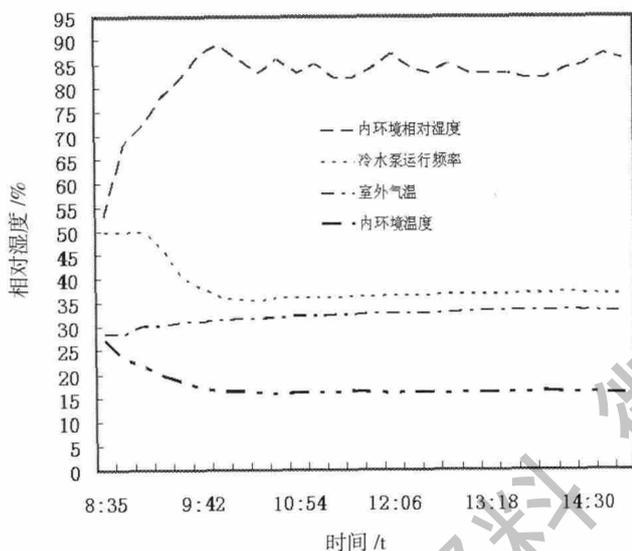


图7 夏季高温工况实现低温高湿的调控试验结果

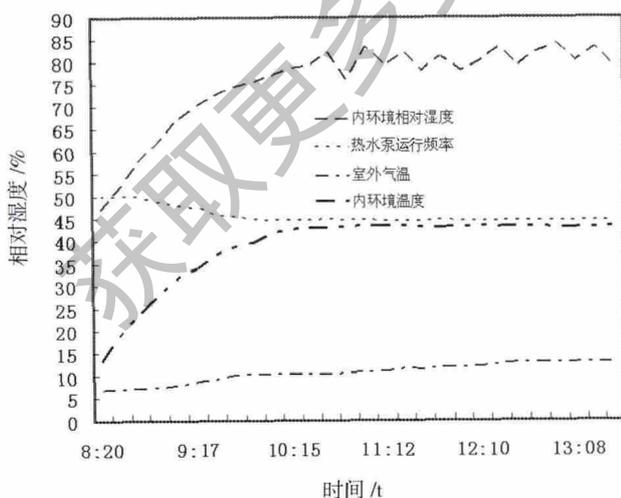


图8 冬季低温工况实现高温高湿的调控试验结果

且温湿度独立同步调控,特别是采用了模糊调控冷热水泵的运行频率来调节温度参数调控软硬件设置,使得该系统内环境调控质量及运行可靠性均得到较理想的效果。

4 结语

在华南地区,采用冷热水联供机组提供冷热源的方法能理想地实现内环境温度调控范围要求;采用模糊变频调控冷热水泵的转速来调节冷热水量、动态匹配负荷动态变化的方法能较好地满足温度调控的精度要求;利用旁路冷冻除湿与超声波加湿的双位调控基本能满足湿度调控范围及精度的要求;约50换气次数的空气循环流量设计及平气流组织设计方式,能很好地符合温湿度调控均匀度的要求。

上述方法的综合应用,不但能可靠的满足小型制冷装置性能测试的内环境调控要求,而且其调控系统成本低、节能效果很明显,可为人工环境的模拟提供有益参考。

参考文献:

- [1] 何辉. 冰箱、冷柜型式试验自动检测系统的发展述评[J]. 电机电器技术, 2000 (5): 26~28.
- [2] Wong MT, Howell BT, Jones WR, et al. Energy consumption testing of innovative refrigerator-freezers[J]. ASHRAE Transactions, 1995: 1211~1217.
- [3] Zimm C, Jastrab A, Strrnberg A, et al. Description and performance of a near-room temperature magnetic refrigerator[J]. Advances in cryogenic engineering, 1998, 43: 1759~1766.
- [4] 吴晓杰, 何云松, 顾江萍, 等. 冰箱性能评价系统的设计[J]. 轻工机械, 2012 (02): 54~56, 59.
- [5] 段雪涛, 郭志敏, 王芳, 等. 基于PID控制的4工位冰箱性能测试实验室研制[J]. 上海理工大学学报, 2005 (27): 327~330.
- [6] 山宏刚, 傅培刚, 徐胜, 等. 电冰箱能效标准介绍及耗电量测试方法比较[J]. 家电科技, 2010 (01): 42~44.
- [7] 吴焕周, 韩云海, 邹岚. 人工环境实验室温湿度与时间的调控研究[J]. 实验技术与管理, 2008 (25): 157~159.
- [8] 岳建楠, 王德昌, 王兆俊. 冰箱换热器性能测试实验台测控系统开发[J]. 工业控制计算, 2013 (26): 32~33.
- [9] 刘楚云, 周泽魁, 邹莹. 电冰箱检测微机应用系统[J]. 低温工程, 2000, (3): 48~51.
- [10] GB/T8059.2, 家用制冷器具 冷藏冷冻箱[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [11] 何文峰, 卓献荣, 黄伟毅. 空气源热泵承压热水供应与全新风空调联供系统研究[J]. 制冷学报, 2012, 33(5): 60~65.
- [12] 卓献荣, 宋珪臻, 杨晓西. 人工环境库诱导式温湿调控系统设计探讨[J]. 热科学与技术, 2004, 3(3): 271~274.

收稿日期 2014-12-05

修回日期 2015-03-05