

文章编号:0253-4339(2014)02-0106-05
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2014.02.0106

平衡环境型房间量热计凝结水量测量设计

柳胜耀 李瑛 黄彩凤 赵四海

(上海理工大学 上海 200093)

摘要 量热计法室内侧制冷量计算公式,未考虑测量中小冷量空调器制冷量时空气处理柜除湿造成的误差。为排除此误差对测试结果的影响,采用称重法分别测量量热计内、外室加湿水及被测机的凝结水。利用基于称重法设计的量热计测得 5 台被测机的 2 组数据并进行分析,结果表明,当空调器的额定制冷量低于测试室输入功率时,空气处理柜的除湿量会增大测量偏差,且随着空调器制冷量的降低偏差增大。并对室内侧制冷量计算公式进行修正,以提高计算精确度。

关键词 房间型量热计;称重法;凝结水测量;实验验证

中图分类号:TH811;TB61⁺1

文献标识码:A

The Design of Condensate Measurement for Balanced Ambient Room-type Calorimeter

Liu Shengyao Li Ying Huang Caifeng Zhao Sihai

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

Abstract During the cooling capacity measurement of small and medium size air conditioner, the indoor cooling capacity calculation formula of room-type calorimeter didn't take the dehumidification of air handling cabinet into consideration. In order to eliminate the impact of this influence on the test results, the mass weighing method was proposed to measure the humidification water of inner and outer chamber of the calorimeter, as well as the condensate water of air conditioner under test respectively. Two sets of test of five units were conducted by means of room-type calorimeter based on the mass weighing method. It turns out that, when the rated cooling capacity of the air conditioner under test is smaller than the input power of the test chamber, the test error is increased by the air handling cabinet's dehumidification amount, and the test error rises with the decrease of cooling capacity of air conditioner. The indoor cooling capacity calculation formula is modified to improve its accuracy according to the test results.

Keywords room-type calorimeter; weighing method; condensate measurement; validation

家用空调器的性能检测目前有两种方法:房间型量热计法和空气焓值法。房间型量热计法包括标定型和平衡环境型两种形式^[1]。目前,国内主要采用空气焓值法实验室对家用空调器进行性能测试,用于家用空调器的产品开发和出厂检测。房间型量热计法检测家用空调器性能较空气焓差法精度高,但相较制冷剂焓差法稍低^[2-3]。这种测试方法适用于生产厂家产品开发的最终检测、焓差实验室的精度校正和产品质量监督检测部门的抽查认证,同时对于出口欧美的空调器来说,房间型量热计实验室是必备的检测设备^[4]。

在平衡环境型房间量热计测试中,凝结水量测量的精度是影响被测空调器性能的一个重要因素。而现在量热计研制过程中,多侧重平衡环境型房间量热计的功能及自动程度。如国内第一个房间空调器的

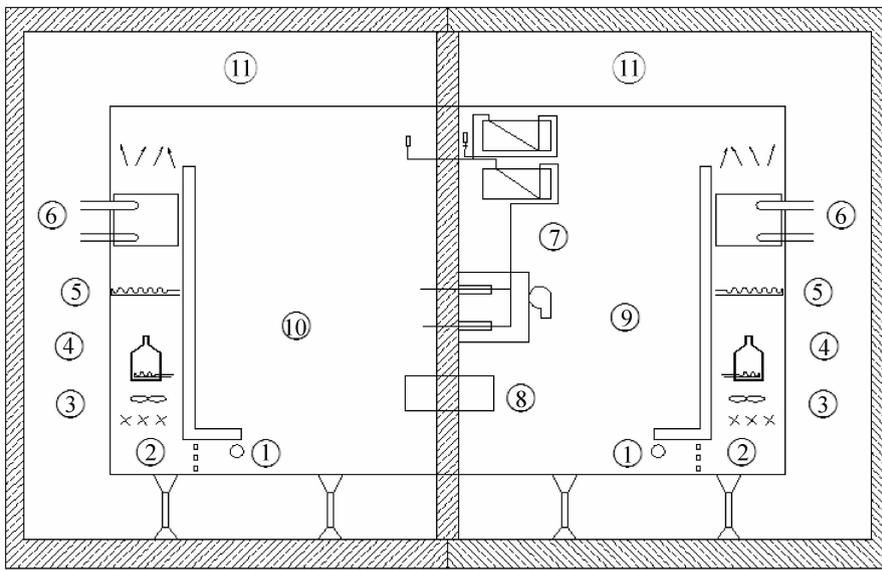
标定型房间量热计实验台,它可对 9 种制冷设备进行性能的测试^[5];合肥江淮航空仪表厂航空部空调器检测中心在国外全套引进的基础上,建成的平衡环境型房间量热计实验室;李奎^[3]文中研制的一套高标准的平衡环境型房间量热计。由 Nestor Fonseca Diaz^[6]分析凝结水量的不确定度占总制冷量的不确定度较大比例,特别在除湿量大的工况下。K. J. Park 和 D. Jung^[7]通过 4 台 R22 制冷剂的家用空调器分析了显热制冷量占总制冷量的比例。在标准 GB/T7725—2004 中,量热计法室内侧制冷量计算公式未计入空气处理柜除湿量。为测量空气处理柜及被测空调器除湿量从而提高测试精度,在这里提出了一种设计方法,并在此基础上研制的一套最新平衡环境型房间量热计。

1 实验测试原理

平衡环境型房间量热计有室内侧和室外侧两个测试室,而且在室内侧和室外侧测试室的外面分别设温度可控的套间,设计原理图如图 1 所示。它是根据稳态下能量平衡的原理来测量空调的制冷量、制热量及除湿量^[8],可测最大制冷量为 14kW 最大制热量为 16kW。室内侧被测空调器总制冷量公式如下^[9]:

$$\phi = \Sigma P + (h_{w1} - h_{w2}) W_r + \phi_{1p} + \phi_{1r} \quad (1)$$

式中: ϕ 为室内侧测定的空调总制冷量, W; ΣP 为室内侧测试室的总输入功率, W; h_{w1} 为加湿所用水或水蒸气焓值, kJ/kg; h_{w2} 为室内侧测试室凝结水焓值, kJ/kg; W_r 为被测机凝结水量, g/s; ϕ_{1p} 为室外侧测试室通过中间隔墙向室内侧测试室的漏热量, W; ϕ_{1r} 为除中间隔墙外的漏热, W。



1 空气取样管 2 混合器 3 风机 4 加湿器 5 加热器 6 冷却盘管 7 压力平衡装置
8 被测机 9 室外侧测试室 10 室内侧测试室 11 温度可控的套间

图 1 环境型房间量热计原理图

Fig. 1 The schematic of balanced ambient room-type calorimeter

室外侧被测空调器总制冷量公式如下:

$$\phi' = \phi_c - \Sigma P_o - P_1 + (h_{w3} - h_{w2}) W_{r1} + \phi'_{1p} + \phi_{10} \quad (2)$$

式中: ϕ' 为量热计室外侧测试室测定的空调总制冷量, W; ΣP_o 为室外侧测试室的总输入功率, W; P_1 为被测机输入功率, W; h_{w3} 为室外侧测试室再处理机组排出的凝结水的焓值, kJ/kg; W_{r1} 为室外侧测试室凝结水量, g/s; ϕ_c 为室外侧测试室空气处理柜表冷器带走的热量, W; ϕ'_{1p} 为室内侧测试室通过中间隔墙向室外侧测试室的漏热量, W; ϕ_{10} 为室外侧向外的漏热量, W。

由公式(1)、(2)知,被测空调器性能检测过程中,为求出被测机的制冷量(制冷工况)、制热量(热泵工况)及除湿量,需要对测试室凝结水进行测量。最大除湿量可根据空气焓值公式推导出,空调器制冷量可用下式计算:

$$Q = \rho V (h_i - h_o) \times 1000 / 3600 \quad (3)$$

式中: Q 为制冷量, W; h_i 为空气进风焓值, kJ/kg

(干空气); ρ 为空调器出风空气的密度, kg/m³; h_o 为空气出风焓值, kJ/kg(干空气); V 为循环风量, m³/h。

空气的焓值公式:

$$h = 1.01t + d(2500 + 1.84t) \quad (4)$$

式中: t 为空气干球温度, °C; d 为空气含湿量, kg/kg(干空气)。

联立公式(3)、(4),又考虑到 2500 ≫ 1.84t, 可以将 1.84t 项省略,得出:

$$\begin{aligned} \rho V (d_i - d_o) \\ = [3.6Q - 1.01\rho V (t_i - t_o)] / 2500 \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)左边即为空调的除湿量,考虑到最大制冷量为 14 kW 时,并在除湿工况下运行,空调器的除湿量最大,此时除湿量约为 5.4 kg/h。特别是在被测空调制冷量较小的工况时,使用常规流量计将很难测量或带来的误差非常大。由于没有动力提供给凝结水,若使用超声波或节流管式小流量测量仪,将会使测量装置复杂。针对 Durst F 等^[10] 提出使用一定时间里测量质量的方法,这里采用在固定时间里对流体称重

的方法测量加湿及凝结水的流量。即：

$$q_m = Q_m / t \quad (6)$$

对于管路中无旋、密度恒定的流体可以采用流量计测量，而凝结水用称重法测量。考虑到加湿水量和凝结水量这种小流量的微小变化就会造成较大的误差，故用对时间积分来消除瞬时流量 (q_m') 变化带来的误差，理想状态时式 $q_m = (\int q_m' dt) / (t_2 - t_1)$ 中 $t_2 \rightarrow +\infty, t_1 = 0$ ，所得 q_m 为精确值。 t_1 是测试开始时间； t_2 测试结束时间。为保证测量的准确性，通常选择在系统稳定后，从开始测量时记录加湿水量和凝结水量直到测试结束。

2 凝结水量的测量设计

房间量热计的加湿水来自通过蒸馏水机制取的蒸馏水，经水泵供至放置在量热计测试室顶部的高位加湿蒸馏水箱。蒸馏水经进水电磁阀分别进入室内侧测试室和室外侧测试室加湿器进水箱，然后经电加热制取水蒸汽，分别将水蒸汽送入室内侧测试室和室外侧测试室，进而完成空气的加湿。

在被测机的制冷功率大于量热计输入功率工况下，文献[8]中规定计算出被测机的凝结水量，即可得到被测机的制冷量。当被测机为中小冷量时，此时不足以抵偿输入功率热量，空气再处理器将进行制冷除湿。在标准中没有考虑这种工况时的测量方法，为测量 0 ~ 14 kW 内空调器性能，设计如下两种测量凝结水量方法。

2.1 大制冷量时凝结水量测量

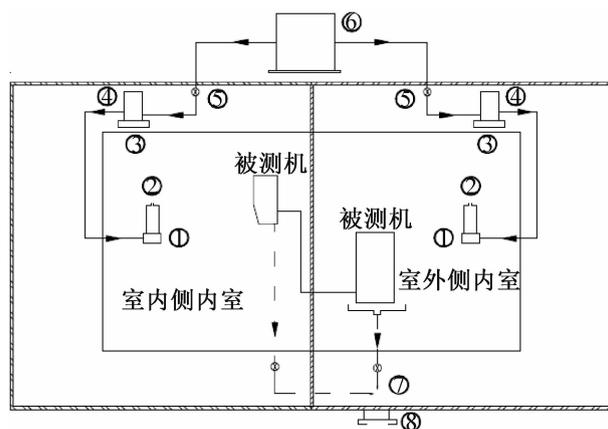
被测空调器最大制冷能力为 14 kW，而测试室内循环风机、取样风机、电加热湿和照明设备等的全负荷输入功率约为 6.2 kW。当进行大冷量测试时，被测空调器的制冷量远大于输入功率，此时空气处理柜作加热使用。由式(1)知只需调节测试室电加热器使得房间温度稳定在额定工况，此时室内侧测试室加湿器进水量即为被测空调器的除湿量。

将加湿器进水箱置于高精度电子秤上，实时记录水箱质量并通过数据采集仪送入计算机分析模块，求得数据对时间的积分。图 2 中实线部分是被测空调器额定制冷运转凝结水测量系统示意图。

室外侧测试室按式(2)进行测试，但此时被测室外机处于制热状态，所以 W_{r1} 为空气处理柜的除湿量。当室内侧为制热模式，外侧测试室除湿量计算与制冷模式相似。

2.2 小制冷能力时凝结水量测量

当被测空调器制冷能力较小，制冷量低于室内侧测试室输入功率时。对被测空调器进行测试，仅靠被



1 电力测定 2 加湿器 3 高位电子秤 4 加湿器进水箱
5 进水电磁阀 6 高位加湿器蒸馏水箱 7 凝结水箱
8 电子秤

图 2 空调器凝结水测量设计图

Fig. 2 The design of condensate flow measurement for cooling

测机制冷量无法平衡输入能量，室内侧测试室工况无法控制；这时循环空气处理柜表冷器就要通冷水，进而承担室内侧内室冷负荷和湿负荷。此时加湿器进水分两部分，一部分为空气处理柜中表冷器除湿量，另一部分为被测空调器除湿量。这样一台高位电子秤记录加湿水箱质量变化率不足以满足要求，为准确测量被测空调器的除湿量，需另加一台高精度电子秤测量空调器的凝结水量变化。设计如图 2，此时增加虚线部分的电子秤和凝结水箱。

这样式(1) ΣP 项中规定的总输入功率，不包括表冷器的除湿能力。为准确表示被测空调器制冷量，式(1)应改为式：

$$\phi = \Sigma P + (h_{w1} - h_{w2}) W_r + \phi_{1p} + \phi_{1r} - (h_{w1} - h_{w4}) W_{r2} \quad (7)$$

式中： h_{w4} 为室内侧空气处理柜排出的凝结水在离开量热计隔室的温度下的焓值，kJ/kg； W_{r2} 为室内侧空气处理柜排出的凝结水流量，g/s。

3 测试数据结果分析

在以上两种凝结水量测量方法的基础上，根据测试设计原理，将平衡环境型房间量热计搭建于上海出入境检验检疫局实验室如图 1。为分析式(1)和(7)与被测空调器实际制冷能力的符合程度，现对 5 台低额定制冷量空调器分别进行测试。空调器的制冷量分别约为 1.4 kW、1.6 kW、1.8 kW、2.1 kW 和 2.5 kW，在规定工况下测试一组数据。在不改变 5 台空调器的制冷量的情况下，增大测试内室的输入功率，以此改变空气处理柜的制冷或制热工况，再次测得一组数据。

表 1 测试数据
Tab. 1 Test data

测试项目	制冷量约 2500W		制冷量约 1800W	
	室内侧	室外侧	室内侧	室外侧
设备功率/W	2496.88	6408.38	2451.67	6346.89
被测机功率/W	0.00	928.60	0.00	650.72
墙体导热/W	0.59	11.26	4.59	11.27
中间隔墙露热/W	45.72	45.72	45.72	45.72
表冷器进水温度/℃	23.34	14.15	14.28	14.15
表冷器出水温度/℃	22.73	22.41	21.32	22.35
凝结水进口温度/℃	27.28	34.51	27.28	34.51
凝结水出口温度/℃	12.78	29.07	12.78	29.07
表冷器水流量/(kg/h)	0.012	1018.250	81.720	915.500
凝结水流量/(kg/h)	0.588	0.025	0.421	0.023

3.1 对中小额定制冷量空调器进行测试

依据家用空调器测试标准要求,选取平衡环境型房间量热计的检测工况点。室内侧内室环境:干球温度 27.0℃;湿球温度 19.0℃;室外侧内室环境:干球温度 35.0℃;湿球温度 24.0℃。当系统运行稳定后测得数据,采用变频 KFR-26GW 系列空调器产生 1.8 kW 制冷量,定频 KFR-26GW 系列空调器产生 2.5 kW 制冷量。表 1 列出了制冷量约 2.5 kW 和 1.8 kW 的空调器主要测试参数。

按式(1)和(2)计算出以上两种制冷量空调器内、外室测量偏差分别为 0.81%、1.02%。考虑到中小冷量测试过程中,空气处理柜有除湿存在,此时按照式(7)和(2)计算的内、外室测量偏差分别为 0.81%、0.76%。并按计入处理柜中凝结水和未计入凝结水条件计算出其余三台不同制冷量空调器测内、外室测量偏差,其对比结果如图 3 所示。

3.2 大输入功率工况测试

为进一步验证表冷器中凝结水对测试结果的影响,将室内输入功率增大 1000W 后继续对 5 台空调器测试。测试方法与表 1 所述相同,计算分析测试结果,并将是否计入表冷器凝结水的内、外室测量偏差进行对比,结果如图 4。

4 结论

通过以上的数据和图表演证,平衡环境型房间量热计检测中小冷量的空调器,当被测机的制冷量小于测试室输入功率时,需要开启空气处理柜降温除湿。此时若按照标准中公式(1)计算被测机制冷量,将使

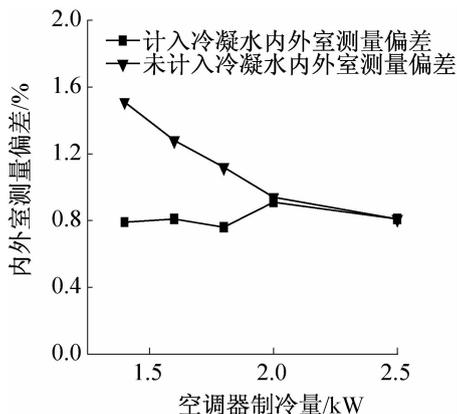


图 3 制冷量测量偏差

Fig. 3 The error of cooling capacity measurement

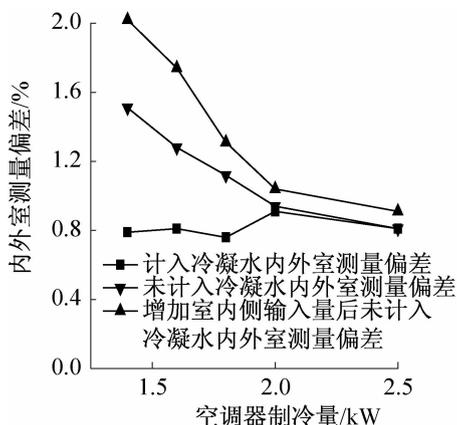


图 4 制冷量测量偏差

Fig. 4 The error of cooling capacity measurement

得计算结果偏大且与室外机侧所得验证结果偏差增大。测试室输入功率越高于制冷量,则计算结果及与

室外机侧验证结果偏差越大。

实验证明,采用称重法测量小流量的加湿水和凝结水,能够非常好的解决量热计测量小冷量空调器时的精确度问题。与此同时,可将式(1)改为式(7),测量时计入空气处理柜表冷器的除湿量,可减小量热计室内、外测量偏差。

参考文献

- [1] Technical Committee ISO. ISO5151 – 2010 Non-ducted air conditioners and heat pumps-Testing rating for performance [S]. Switzerland: 2010.
- [2] Tran C T, Rivière P, Marchio D, et al. Refrigerant-based measurement method of heat pump seasonal performances [J]. International Journal of Refrigeration, 2012, 35(6): 1583-1594.
- [3] 李垒,李瑛,王芳,等. 平衡环境型房间量热计试验室的研制[J]. 低温与超导, 2011, 39(7): 59-62. (Li Lei, Li Ying, Wang Fang, et al. Study on Calorimeter Laboratory at an Equilibrium Environmental Room[J]. Cryogenics and Superconductivity, 2011, 39(7): 59-62.)
- [4] Chua K J, Chou S K, Yang W M, et al. Achieving better energy-efficient air-conditioning—A review of technologies and strategies[J]. Applied Energy, 2013, 104: 87-104.
- [5] 马最良,陆亚俊,朱林. 房间热平衡法多功能试验台的研究[J]. 通风除尘, 1991(3): 29-32. (Ma Zuiliang, Lu Yajun, Zhu Lin. Study on Multifunctional Test Bench Based on Room Heat Balance Method [J]. Ventilation and Dust, 1991(3): 29-32.)
- [6] Néstor Fonseca Diaz. Methodology for uncertainty calcula-

tion of net total cooling effect estimation for rating room air conditioners and packaged terminal air conditioners [J]. International Journal of Refrigeration, 2009, 32(6): 1472-1477.

- [7] Park K J, Jung D. Thermodynamic performance of HCFC22 alternative refrigerants for residential air-conditioning applications [J]. Energy and Buildings, 2007, 39(6): 675-680.
- [8] Cherem-Pereira G, Mendes N. Empirical modeling of room air conditioners for building energy analysis [J]. Energy and Buildings, 2012, 47: 19-26.
- [9] 全国家用电器标准化技术委员会. GB/T7725—2004 房间空气调节器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [10] Durst F, Ünsal B, Ray S, et al. Method for defined mass flow variations in time and its application to test a mass flow rate meter for pulsating flows [J]. Measurement Science and Technology, 2007, 18(3): 790.

通信作者简介

柳胜耀,男(1989-),硕士,上海理工大学能源与动力工程学院,18817582285, E-mail: syliu@126.com。研究方向:制冷与低温工程,制冷测试技术与自动化。

About the corresponding author

Liu Shengyao (1989 -), male, master, School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, 18817582285, E-mail: syliu@126.com. Research fields: Refrigeration and Cryogenic Engineering, Refrigeration detection and automatic control.