

文章编号:0253-4339(2013) 06-0069-07

doi:10. 3969/j. issn. 0253-4339. 2013. 06. 069

多联式空调(热泵)机组非稳态制热性能实验方法研究

史敏 钟瑜 张秀平

(合肥通用机械研究院 压缩机技术国家重点实验室 合肥 230088)

摘要 采用季节性能评价指标体系是多联式空调(热泵)机组(以下简称:多联机)性能评价的发展方向。针对在季节性能评价指标体系下多联机制热性能实验中存在的问题,分析现行国内外相关标准对非稳态制热性能实验方法的优缺点,指出欧洲及 ISO 标准规定的非稳态制热性能实验方法更能客观地反映多联机的制热性能,而且可操作性强,可重复性好;同时分析采用欧洲及 ISO 标准规定的非稳态制热性能式验方法对我国多联机性能评价可能带来的影响,进而提出我国多联机非稳态制热性能实验方法的总体框架和尚需解决的问题。

关键词 多联式空调(热泵)机组;制热;性能实验;非稳态

中图分类号:TQ051.5; TU831.4

文献标识码:A

Research on Unstable Heating Test of Multi-Split Air-condition (Heat Pump) Unit

Shi Min Zhong Yu Zhang Xiuping

(State key laboratory for compressor technology, Hefei General Machinery Research Institute, Hefei, 230088, China)

Abstract Seasonal performance evaluation index is taken as the direction to evaluate multi-split air-condition (heat pump) units (Hereinafter referred to as: VRF) in the future. The challenge on unstable heating performance test for VRF unit is discussed when seasonal performance evaluation index is used. Advantages and disadvantages of unstable heating performance test methods in relevant standards is analyzed. The conclusion indicates that the unstable heating performance test methods in EN and ISO standards reflect the heating performance of VRF units more objectively, and are with good operability and repeatability. Potential effect of the unstable heating performance test method in EN and ISO standards on the development of VRF in China is investigated. The outline and issues of Chinese unstable heating performance test method for VRF units are suggested.

Keywords multi-split air-condition (heat pump) unit; heating; performance test; unstable

随着人民生活水平的不断提高,多联机的市场也不断扩大。目前,在我国销售的多联机多为热泵型机组,市场占有率 99.4% 以上^[1],单冷型多联机主要集中在华南地区使用。多联机在部分负荷工况下运行的时间远远大于在名义工况运行的时间,因此,产品的性能评价体系也逐渐由名义制冷性能评价向季节以及全年运行性能评价转变。在全年运行性能评价中,制热性能的考核是非常重要的。由于此前的空调标准性能评价体系均侧重于对制冷性能的考核,故需要通过标准评价体系的转变积极引导企业在技术上重视制热性能的提升。

多联机在冬季制热运行时,当室外环境温度较低时,室外机蒸发器盘管温度低于 0℃,特别是在室外

相对湿度较大时,会导致盘管表面结霜,使得机组制热性能衰减,为改善制热性能。结霜是热泵冬季制热运行不可避免的问题,为了克服结霜带来的不利影响,制造商均在控制程序中增加了化霜程序,在化霜过程中,无疑会损失机组的制热性能。

结霜、化霜的反复进行无疑导致制热量的输出不稳定,因此,多联机制热运行是一个典型的非稳态过程。如何评价机组在结霜、化霜周期内的制热性能,采用何种实验方法才能保证实验数据的可重复性和再现性,均是建立多联机全年运行性能评价体系时必须明确的关键问题。这里将针对现行测试方法进行分析,提出我国多联机季节性能评价体系中的非稳态制热性能实验方法。

1 现行的非稳态制热性能实验方法简介

国内、外诸多标准都规定了多联机产品制热性能的实验方法,如:中国标准 GB/T 17758—1999^[2](中国多联机标准 GB/T 18837—2002^[3]的性能测试采用了该标准)、日本标准 JIS 8615.1—1999^[4]、美国标准 ASHRAE 37—2009^[5]、欧洲标准 EN 14511—3—

2011^[6]、国际标准 ISO 5151—2010^[7]、ISO 13253—2011^[8]、ISO 15042—2012^[9]。非稳态性能实验方法需要关注以下技术内容:实验工况的温度允差、实验过程、稳态或非稳态实验过程的判定、实验周期、数据采集间隔装置和仪器要求等要素,表 1 示出了上述各标准中针对非稳态制热性能实验要素的规定和要求。

表 1 各标准对非稳态制热性能实验的规定和要求

Tab. 1 Provisions and requirements of unstable heating performance testing for each standards

项目	GB/T 17758—1999	JIS 8615.1—1999	ASHRAE 37—2009	EN 14511-3—2011 ISO 5151—2010 ISO 13253—2011 ISO 15042—2012
实验工况温度允差	稳态实验工况温度允差 0.3℃,非稳态实验制热时 0.5℃,除霜时 1.5℃	非稳态实验工况温度允差为稳态的 3 倍	稳态实验工况温度允差 0.3℃,非稳态实验制热时 0.5℃,除霜时不考虑	稳态实验工况温度允差 0.3℃,非稳态实验制热时 0.6℃,除霜时 1.5℃
实验过程	数据采集过程	数据采集过程	分成预处理过程和数据采集过程	定义了预处理过程、平衡过程和数据采集过程
稳态或非稳态实验过程的判定	根据是否除霜和实验工况允差进行判定	根据是否除霜和实验工况允差进行判定	根据进出口温差衰减率 ΔT 不大于 2.5%、是否除霜、实验工况允差进行判定;并描述了 6 种非稳态制热情形	根据进出口温差衰减率 ΔT 不大于 2.5%、是否除霜、实验工况允差进行判定;并描述了 6 种非稳态制热情形
实验周期	稳态周期:数据采集阶段 1h; 非稳态周期:数据采集阶段 3h,结束时应当除霜循环完成	稳态周期:数据采集阶段 1h; 非稳态周期:除霜时,数据采集阶段 3h 或 3 个周期取时间较短者;不除霜时,数据采集阶段 6h	稳态周期:预处理阶段 1h + 数据采集阶段 30min; 非稳态周期:预调节阶段 1h + 数据采集阶段(焓差法:除霜时,数据采集阶段 3h 或 3 个周期取时间较短者;量热计法:数据采集阶段 6h 或 6 个周期取时间较短者;不除霜时,数据采集阶段 6h)	稳态周期:预处理阶段 10min + 平衡阶段 1h + 数据采集阶段 35min; 非稳态周期:预处理阶段 10min + 平衡阶段 1h + 数据采集阶段(焓差法:除霜时,数据采集阶段 3h 或 3 个周期取时间较短者;量热计法:数据采集阶段 6h 或 6 个周期取时间较短者;不除霜时,数据采集阶段 6h)
数据采集间隔	每 10min 记录一次数据	稳态实验每 5min 记录一次数据;非稳态实验每 10s 记录一次数据	稳态实验每 5min 记录一次数据;非稳态实验时每 1min 记录一次数据;除霜期间每 20s 记录一次数据	稳态实验每 30s 记录一次数据;非稳态实验每 30s 记录一次数据;除霜期间每 10s 记录一次数据
装置和仪器要求	室内侧在除霜停止风机时应切断经过室内机的气流;电功率采用积算式	室内侧在除霜停止风机时应切断经过室内机的气流;电功率采用积算式	室内侧在除霜停止风机时应切断经过室内机的气流;电功率采用积算式	室内侧在除霜停止风机时应切断经过室内机的气流;电功率采用积算式

由于在现行的中国标准中,对产品的性能评价仅考虑了制冷季节性能和名义制热性能,尚未要求对制热季节性能进行非稳态测试评价,故在 GB/T 17758—1999 中仅提出了对产品的除霜功能进行实验的要求,并没有要求对除霜期间的制热性能进行测试。基于上述原因,标准中没有对稳态和非稳态的判定做细致的规定,如:没有对实验阶段进行细致区分以保证同一台机由不同操作人员在不同场地进行实验时的重复性,没有规定尽可能短的数据采集间隔以满足积分数据准确性。若新的多联机标准采用全年性能系数的综合评价方法(含对制热季节性能的测试计算),则直接采用 GB/T 17758—1999 的规定进行非稳态制热性能实验会面临很多困难,尤其是实验的重复性和准确性无法保证,这将给多联机产品全年运行性能评价带来诸多不确定因素。从表 1 中对各标准的分析和比较可以看出,欧洲和 ISO 标准对非稳态制热性能实验中稳态或非稳态实验过程的判定、实验周期、数据采集间隔等方面都做出了较为细致的规定和要求,可以较好地保证非稳态制热性能实验数据

的重复性和准确性。

2 欧洲标准和 ISO 标准中的非稳态制热性能实验方法

欧洲标准 EN 14511—3—2011 和 ISO 5151、ISO 13253、ISO 15042 标准中规定:在数据采集阶段的前 35min 内,通过监测被试机进、出口空气干球温差的衰减率 $\% \Delta T$ (见公式 1)以及是否发生除霜过程,来判断被试机的制热性能实验是属于稳态实验过程还是非稳态实验过程,其具体判定的流程如图 1 所示。

$$\% \Delta T = \left(\frac{\Delta T_{i(\tau=0)} - \Delta T_{i(\tau)}}{\Delta T_{i(\tau=0)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

式中: $\Delta T_{i(\tau=0)}$ 为第一个 5min 内的平均进、出风干球温度差; $\Delta T_{i(\tau)}$ 为第 τ 个 5min 内的平均进、出风干球温度差。

图 1 所述判定流程列举了在实验中可能遇到的各种情形,以及在各种情形下对实验属于稳态和非稳态的判定条件和后续要求,更为准确、客观地描述了多联机非稳态制热过程。下面举例进行说明。

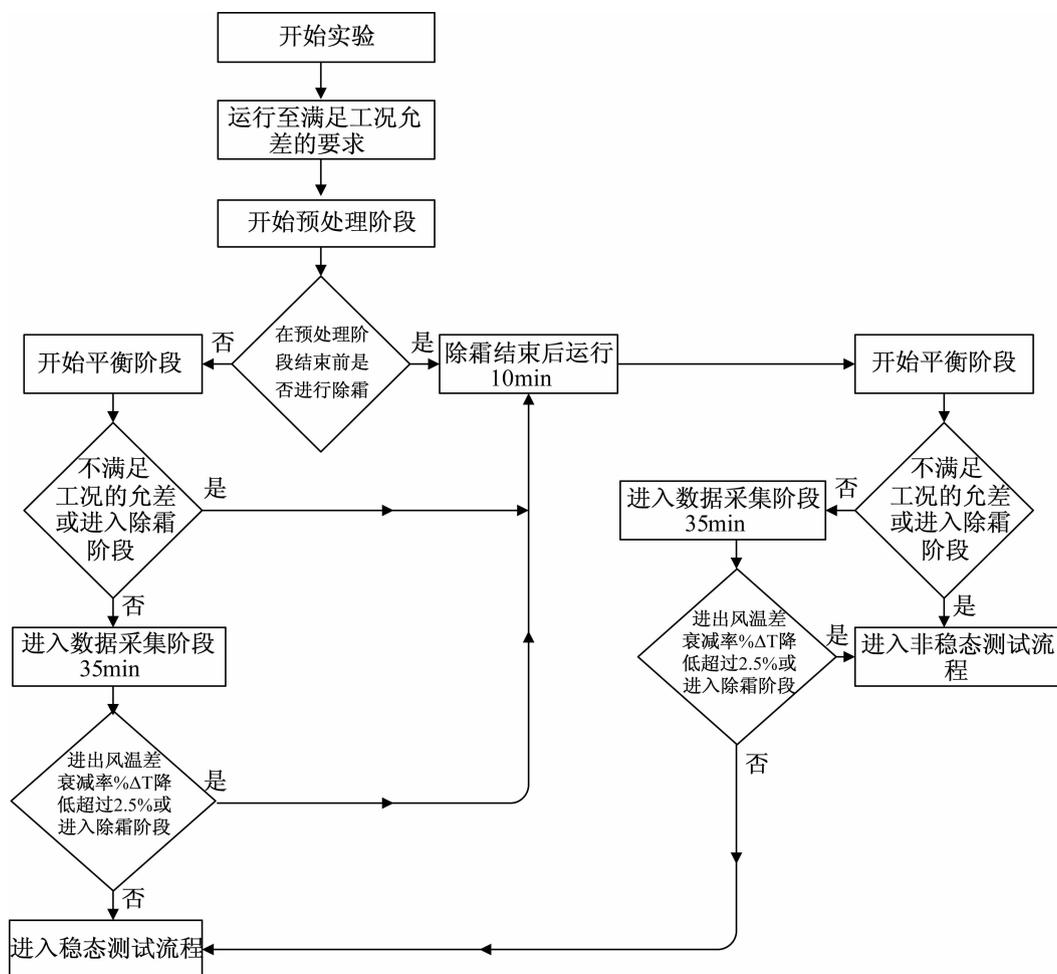


图 1 制热性能实验稳态、非稳态判定流程图

Fig. 1 Procedure flowchart of stable or unstable heating performance test

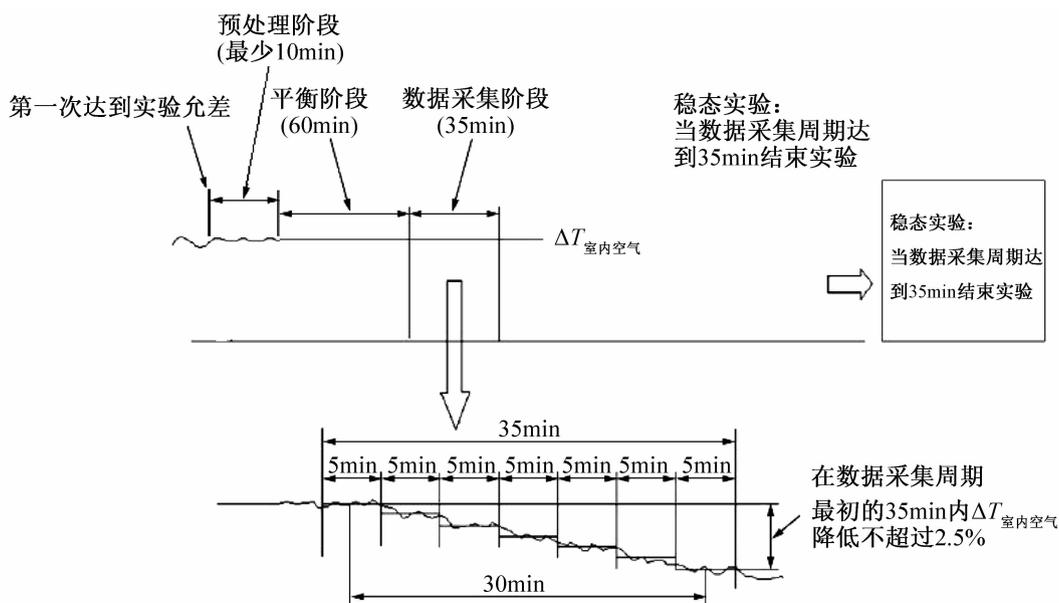


图2 稳态制热实验过程示例

Fig. 2 Stable heating performance test process

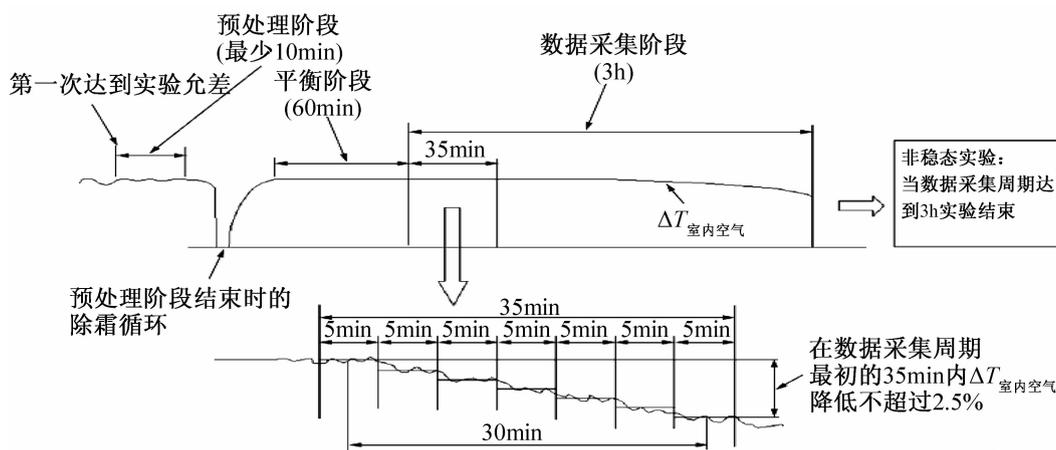


图3 没有除霜的非稳态制热实验过程示例

Fig. 3 Unstable heating performance test process with no-defrosting

1) 稳态制热性能实验过程

图2示出了一次稳态(实际上是相对稳态)制热性能实验过程,在达到实验工况允差要求后,进入预处理阶段(10min),紧接着进入平衡阶段(60min),平衡阶段后进入数据采集阶段,在数据采集阶段的前35min内,被试机进出口空气干球温差的衰减率 ΔT 均小于2.5%,且期间未发生除霜过程,该实验为稳态制热实验,数据采集35min后结束本次实验。

2) 一次未发生除霜过程的非稳态制热性能实验

图3给出了一次未发生除霜过程的(典型)非稳态制热性能实验过程。在达到实验工况允差要求后,进入预处理阶段(10min),按照标准推荐用一次除霜过程结束了预处理阶段,在除霜结束后运行10min,进入平衡阶段(60min),平衡阶段后进入数据采集阶

段,在数据采集阶段的前35min内,被试机进出口空气干球温差的衰减率 ΔT 大于2.5%,判定该实验为非稳态制热性能实验,因此数据采集时间为3h后结束本次实验。

3) 多个结霜、除霜周期的非稳态制热性能实验

图4示出了数据采集阶段内包含3个除霜周期的非稳态制热性能实验过程。在达到实验工况允差要求后,进入预处理阶段(10min),按照标准推荐用一次除霜过程结束了预处理阶段,在除霜结束后运行10min,进入平衡阶段(60min),平衡阶段后进入数据采集阶段,在平衡阶段期间以及数据采集的前35min期间,有除霜发生,本次实验为非稳态制热性能实验,但由于在数据采集阶段的3h内,完成了3个完整的除霜周期,因此在3个完整的除霜周期结束后提前结

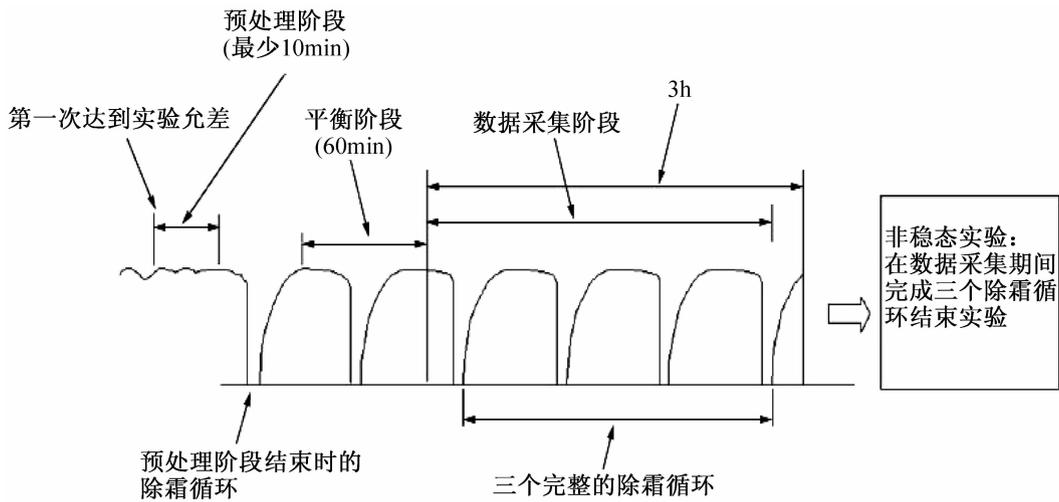


图 4 数据采集阶段包含 3 个除霜周期的非稳态制热实验过程示例

Fig. 4 Unstable heating performance test process with three-defrosting cycle on data collection period

束本次实验。

采用欧洲和 ISO 标准中关于非稳态制热性能实验的规定,可以提高实验的重复性和准确性。但是采用该方法进行实验后,实验的时间和成本要增加,稳态制热运行时间至少为 105min,非稳态制热运行时间为 4h 10min。

3 采用欧洲和 ISO 标准的非稳态制热性能实验规定对多联机性能实验的影响

3.1 对实验室软硬件的影响

若采用欧洲和 ISO 标准的非稳态制热性能实验规定不可避免的会对现有实验室软硬件产生影响,主要有以下几个方面:

1)我国现有多联机的国家标准 GB/T 18837—2002 中对性能的要求中未包含非稳态制热性能的规定,因此现有的多联机室内侧焓差法,被试机进出风没有相应的措施来保证除霜期间室内风机停止时停止经过被试机的气流。因此采用新的非稳态制热性能实验规定后,需要在进出风管加装自动风阀,以保证在除霜风机停止时关闭风阀,以配合停止空气流动;

2)采用欧洲和 ISO 标准要求制热性能实验期间,需要通过监测进、出风温差衰减率 $\% \Delta T$ 由实验软件自动判断实验模式稳态还是非稳态,自动判断是除霜期间还是除霜后的制热期间,自动判断其偏差是否符合标准要求,因此需要对实验室的实验软件进行升级改造;

3)采用欧洲和 ISO 标准要求多联机新的评价体系需要对非稳态制热性能进行测试,而非稳态制热实验的制热量和功率的实验都是数据采集期的累积结

果,因此对电功率实验均须采用积分式,并采用较短时间间隔的数据采集频率,以保证测试积分数据的准确性。

3.2 对评价体系方案的影响

3.2.1 采用欧洲及 ISO 标准中非稳态制热性能实验规定对欧洲季节性评价标准的影响

欧洲标准 EN 14825—2012^[10]是空调(含多联机产品)季节性评价方法的标准,该标准对制热季节性系数 HSPF 的实验工况如表 2 所示。

表 2 平均气候类型部分负荷实验工况

Tab. 2 Part load conditions for the reference heating season "A" = average

工况	部分负荷比	部分负荷比/%	室外空气干/湿球温度/℃	室内空气干球温度/℃
A	$(-7 - 16)/(T_{Designh} - 16)$	88	-7/-8	20
B	$(+2 - 16)/(T_{Designh} - 16)$	54	2/1	20
C	$(+7 - 16)/(T_{Designh} - 16)$	35	7/6	20
D	$(+12 - 16)/(T_{Designh} - 16)$	15	12/11	20
E	$(T_{OL} - 16)/(T_{Designh} - 16)$		T_{OL}	20
F	$(T_{bivalent} - 16)/(T_{Designh} - 16)$		$T_{bivalent}$	20

表 2 中 $T_{Designh}$ 为制热设计温度,平均气候类型为 -10°C , T_{OL} 为机组明示的极限制热温度, $T_{bivalent}$ 为与建筑物负荷平衡的温度,平均气候类型为 2°C 。

表 2 中工况 B 时,机组处于易结霜区域,即在该工况运行时,机组应非稳态制热运行实验,同

时,该标准又要求机组在该工况下实测的负荷为满负荷的 54%。即需要调节被试机的实测制热负荷为 54%,但非稳态制热性能实验一个周期至少 4h 10min。若一个周期实验后实测制热负荷偏离 54% 则需要重新调整机组压缩机转速设定,再进行一个周期的实验,给实验带来相当大的难度,其可操作

性相对较差。

3.2.2 采用欧洲和 ISO 标准中非稳态制热性能实验规定对 ISO 季节性评价标准的影响

国际上对空调(含多联机产品)季节性评价方法的标准是 ISO FDIS 16358—2013^[11],该标准对制热季节性系数 HSPF 的实验工况如表 3 所示。

表 3 制热季节负荷实验的温湿度工况条件
Tab.3 Temperature and humidity conditions-for heating

实验条件	项目	定速	双级	多级	变速
标准制热实验 室内干球温度 20℃ 室内湿球温度 ≤15℃ 室外干球温度 7℃ 室外湿球温度 6℃	额定制热负荷 $\Phi_{ful}(7)/W$	必做	必做	必做	必做
	额定制热负荷消耗功率 $P_{ful}(7)/W$				
	中间制热负荷 $\Phi_{haf}(7)/W$	—	—	必做	必做
	中间制热负荷消耗功率 $P_{haf}(7)/W$				
	最小制热负荷 $\Phi_{min}(7)/W$	—	必做	选做	选做
最小制热负荷消耗功率 $P_{min}(7)/W$					
低温制热性能实验 室内干球温度 20℃ 室内湿球温度 ≤15℃ 室外干球温度 2℃ 室外湿球温度 1℃	最大制热性能 $\Phi_{ext,f}(2)/W$	—	—	必做	必做
	最大制热性能消耗功率 $P_{ext,f}(2)/W$				
	额定制热负荷 $\Phi_{ful,f}(2)/W$	必做	必做	若有最大制热模式可不做	
	额定制热负荷消耗功率 $P_{ful,f}(2)/W$				

其工况室外干球温度 2℃,室外湿球温度 1℃时,机组应非稳态制热运行。此时对定速型机组的要求机组以满负荷运行制热,对变速型机组要求机组以最大转速运行。其实验的可操作性较好。

因此,多联机标准修订时,考虑评价体系方案时,也需要考虑实验的可操作性和重复性等因素。

4 我国多联机非稳态制热性能实验方法的总体思路

4.1 我国多联机非稳态制热性能实验方法的总体思路

多联机制热性能测试方法的优劣直接影响着测试数据的准确性。为此,我们在仔细研究现行测试方法的基础上提出了如下测试方法的总体思路或框架。

1)在进行非稳态制热性能实验时,其实验工况温度允差将继续沿用 GB/T 17758—1999 的规定;实验过程将采用预处理、平衡和数据采集三个过程;稳态和非稳态的将判定采用是否除霜和进出口温差衰减率两个因素进行判定;

2)实验将采用焓差法进行,实验周期为预处理阶段 10min、平衡阶段 1h,数据采集阶段为 3h 或三个

除霜周期取时间较短者;由于非稳态性能实验为积分累计数据,因此数据采集间隔在非稳态实验时应尽可能短,尤其在除霜期内应小于 10s 记录一次数据;同时要保证除霜期间室内机风机停止时经过的气流也要采用相应措施进行关断。

4.2 尚需开展的工作

在欧洲和 ISO 标准中对稳态或非稳态实验过程的判断是根据进出口温差衰减率 ΔT 不大于 2.5%、是否除霜、实验工况允差进行判定的。这一点与我国多联机产品的符合性还需要深入研究,中国多联机产品由于应用使用情况与国外不同,因此标准测试工况也与国外标准不同,测试工况(温度、湿度)不同,其结霜时温度降低幅度不同,因此应结合我国多联机工况的选择,开展大量实验分析我国多联机产品在稳态实验过程时进出口空气干球温差的衰减率 ΔT 是否能满足不大于 2.5% 的要求,上述实验规定是否会给名义工况的稳态制热性能实验带来影响需要通过实验确定适合中国国情的进、出口空气干球温差的衰减率 ΔT 判稳数值。另外,在除霜期以及除霜后制热期的工况允差需要适应中国多联机的实际情况,这也是多联机非稳态制热性能实验方法另一个研究内容。

5 结束语

1) GB/T 18837—2002 标准是世界上第一部多联机国家标准,对我国乃至世界多联机的产业和技术发展起到了重要的推进作用。但是,随着多联机季节性评价体系的发展,标准中的制热性能实验方法尤其是非稳态制热性能实验方法已经无法满足发展中的评价体系的需求,迫切需要提出一套严格的实验方法和判定依据来确保其实验数据的重复性和准确性。

2) 这里针对多联机季节性评价中必需的非稳态制热性能实验方法进行了分析,介绍了现行各标准对非稳态制热性能实验做出的规定和要求,分析了欧洲和 ISO 标准中关于非稳态制热性能实验的规定给实验室软硬件、各季节性评价标准带来的影响,指出欧洲和 ISO 标准中关于非稳态制热性能实验方法是我们可以借鉴的方法。

3) 为获得能够客观反映多联机季节性能的评价指标,必须提出操作性强、可重复性好的非稳态制热性能实验方法,进而提出我国多联机非稳态制热性能实验方法的总体思路 and 需要解决的关键问题。

参考文献

- [1] 张秀平. GB/T 18837《多联式空调(热泵)机组》修订工作设想及研究进展[R]. 2011年上海制冷展“多联式空调(热泵)机组性能评价方法”专题研讨会. 2011年4月8日,中国上海.
- [2] 全国冷冻空调设备标准化技术委员会. GB/T 17758—1999 单元式空气调节机[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [3] 全国冷冻空调设备标准化技术委员会. GB/T 18837—2002 多联式空调(热泵)机组[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [4] JIS 8615—1—1999. 标准空气调节器—第1部分:直吹

式空调器及热泵额定性能及运行试验方法[S].

- [5] ASHRAE 37—2009. Methods of Testing for Rating Electrically Driven Unitary Air-Conditioning and Heat Pump Equipment[S].
- [6] EN 14511—3—2011. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling Part 3: Test methods[S].
- [7] ISO 5151—2010. Non-ducted air conditioners and heat pumps — Testing and rating for performance[S].
- [8] ISO 13253—2011. Ducted air-conditioners and air-to-air heat pumps — Testing and rating for performance[S].
- [9] ISO 15042—2012. Multiple split system air conditioners and air to air heat pumps _ Testing and rating for performance[S].
- [10] EN 14825—2012. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance[S].
- [11] ISO FDIS 16358—2013. Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps — Testing and calculating methods for seasonal performance factors[S].

通信作者简介

史敏,女(1960-),教授级高级工程师,合肥通用机械研究院副院长,(0551)65335506, E-mail:shimin2000@126.com。研究方向:制冷空调检测技术研究,制冷压缩机技术研究。

About the corresponding author

Shi Min (1960 -), female, Professor, vice president of Hefei General Machinery Research Institute, (0551) 65335506, E-mail:shimin2000@126.com. Research fields: research for testing technology of Refrigeration and air conditioning, research for Refrigeration compressor technology.