

欧洲静态加热式空气源热泵热水机 性能测试方法探讨

张辉

(Intertek 天祥集团)

摘要 本文对欧洲最新空气源热泵热水机能效测试标准 EN 16147-2011《带电力驱动压缩机的热泵·家庭热水机组的标记用试验和要求》进行了详细介绍和分析,并探讨热泵热水机性能测试系统的设计。

关键词 空气源热泵热水机;待机输入功率;性能系数;参考热水温度;最大可用热水量

Study of European performance test method of static air-source heat pump water heater

Zhang Hui

(Intertek Testing Services Shenzhen Ltd.)

ABSTRACT This article introduces and analyses the newest European performance test method of air-source heat pump water heater, EN 16147-2011: Heat pumps with electrically driven compressors – Testing and requirements for marking of domestic hot water units. It also studies the design of heat pump water heater performance testing system.

KEY WORDS air-source heat pump water heater; standby power input; COP; reference hot water temperature; maximum quantity of usable hot water

用于提供卫生热水的热水机已被广泛用于欧盟各国,但市场上的大多数热水机都是使用电或天然气的传统能源传统型产品。近些年,利用可再生能源的空气源热泵热水机得到了很大发展,并迅速被市场所接受。

当前欧盟市场的热水机产品的能效水平参差不齐,为规范市场,欧盟相关技术委员会制定了包括空气源热泵热水机在内的热水机产品 ErP 生态设计以及能源标识实施条例草案。2011年,欧盟就已经发布了用来测试空气源热泵热水机能效的测试标准 EN 16147,用于替代1997年发布的测试标准 EN 255-3。

1 试验的一般要求

1.1 试验室内环境及水系统要求

被测机的空气侧应有足够空间,以避免影响被测机回风及出风的气流,因此被测机在停机时进出风的位置的空气流速应不大于1.5 m/s;进出风口距离试验室墙壁或顶部要不少于1m。水系统内要完全排除空气,避免空气对测试结果造成不利影响。

1.2 测量不确定度及允许偏差

测试示值的测量不确定度应符合表1的规定,试验工况各参数的读数允差应符合表2的规定。

表 1 测量不确定度

测试参数	单位		测量不确定度
生活热水	温度	°C	± 0.2
	温差	°C	± 0.2
	容积	dm ³	± 2 %
	体积流量	dm ³ /s	± 2 %
	热能(完成放水循环)	kWh	± 5 %
液体 (传热媒体)	温度(回水/出水)	°C	± 0.15
	体积流量	m ³ /s	± 1 %
	静压差	Pa	± 5 Pa ($\Delta p \leq 100$ Pa) ± 5 % ($\Delta p > 100$ Pa)
空气 (热源)	干球温度	°C	± 0.2
	湿球温度	°C	± 0.3
	体积流量	dm ³ /s	± 5 %
	静压差	Pa	± 5 Pa ($\Delta p \leq 100$ Pa) ± 5 % ($\Delta p > 100$ Pa)
电参数	电功率	W	± 1 %
	电能	kWh	± 1 %
	电压	V	± 0.5 %
	电流	A	± 0.5 %

表 2 读数允差

测试参数		读数的平均值 对额定工 况的偏差	各读数对额 定工况的最 大偏差
生活热水	回水温度	± 1 °C	± 1
	体积流量	± 5 %	± 10 %
液体(传热媒体)	回水温度	± 0.2 °C	± 0.5
	出水温度	± 0.3 °C	± 0.6
	体积流量	± 2 %	± 5 %
	静压差	-	± 10 %
空气	回风温度 (干球/湿球)	± 0.3 °C	± 1
	环境温度 (如果不作为热源)	± 1 °C	± 2
	体积流量	± 5 %	± 10 %
	静压差	-	± 10 %
电参数	电压	± 4 %	± 4 %

1.3 测量设置

环境干湿球温度及冷热水进出温度都应采用铂电阻温度传感器进行测试,水温测试点要布置在管路的中心且尽可能的靠近被测机。测试过程中被测机应断开所有辅助热源,温控器的设置必须固定在同一位置,不可以做任何调整。

2 测试方法

在进行测试前,首先要根据被测机的设计使用条件选择不同的测试工况,如表 3。

表 3 测试工况

热源类型	热源温度(干球/湿球, °C)	储水罐环境温度(°C)
室外空气	7/6	20
室内空气	15/12	15
废气	20/12	20

根据标准,家用热泵热水机性能测试包括 4 个阶段(图 1): A. 升温期; B. 待机输入功率; C. 有效热量、耗电量及性能系数 COP; D. 参考热水温

度及最大可用热水量。

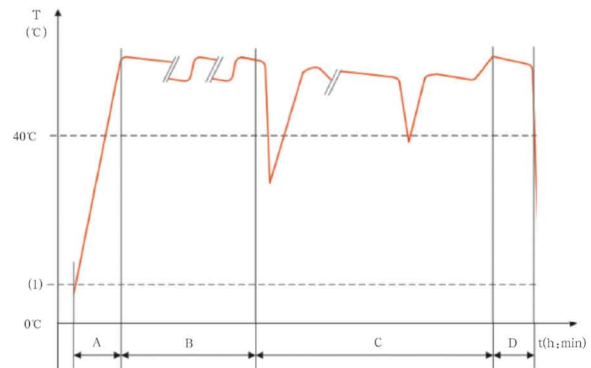


图 1 测试阶段及次序

A 升温期

被测机装满 10°C 冷水,被测机跟测试环境达到热平衡即可开始测试。开机直至自动退出(感应水罐内的温控器关闭压缩机),记录此加热阶段所用时间 t_h (h & min) 及耗电量 W_{eh} (kWh)。

B 待机输入功率

压缩机停机的同时开始待机输入功率测试,此阶段需连续运行 6 个周期(从一次压缩机停机到下一次压缩机停机为一个周期),或者测试进行 48 小时后的第一次压缩机停机时测试结束。记录最后一个完整周期所用时间 t_s 及耗电量 W_{es} ,计算得出待机输入功率 $P_{es}=3600*(W_{es}/t_s)$ 。

C 有效热量、耗电量及性能系数 COP

测试开始前需选择参考放水循环,标准根据供热能力的不同给了 5 种不同类型的参考放水循环(S、M、L、XL、XXL),每种参考放水循环又是由多个不同的放水类型组合而成,如表 4 为参考放水循环 M。测试从压缩机停机时开始,24 小时后的第一次压缩机停机时测试结束。

表 4 放水循环 M 示例

序号	放水开始时间	类型	放水流速(L/min)	能量(kWh)
1	7:00	小	4 ± 0.5	0.105
2	7:15	淋浴	10 ± 0.5	1.400
3	7:30	小	4 ± 0.5	0.105
4	8:01	小	4 ± 0.5	0.105
5	8:15	小	4 ± 0.5	0.105
6	8:30	小	4 ± 0.5	0.105
7	8:45	小	4 ± 0.5	0.105
8	9:00	小	4 ± 0.5	0.105
9	9:30	小	4 ± 0.5	0.105
10	10:30	地板清洁	4 ± 0.5	0.105
11	11:30	小	4 ± 0.5	0.105
12	11:45	小	4 ± 0.5	0.105
13	12:45	洗碗	4 ± 0.5	0.315

(续表4)

表4 放水循环M示例

序号	放水开始时间	类型	放水流速(L/min)	能量(kWh)
14	14:30	小	4 ± 0.5	0.105
15	15:30	小	4 ± 0.5	0.105
16	16:30	小	4 ± 0.5	0.105
17	18:00	小	4 ± 0.5	0.105
18	18:15	房屋清洁	4 ± 0.5	0.105
19	18:30	房屋清洁	4 ± 0.5	0.105
20	19:00	小	4 ± 0.5	0.105
21	20:30	洗碗	4 ± 0.5	0.735
22	21:15	小	4 ± 0.5	0.105
23	21:30	淋浴	10 ± 0.5	1.400

这个测试的难点有:(1)放水次数多;(2)单次放水量少,出水温度为60℃的情况下,最短的放水时间只有27秒;(3)放水流速要求严格,允许偏差为±0.5升/分;(4)入水温度要求稳定,为10±1℃;(5)冷水供水管内的冷水会从环境吸收热量,温度上升;(6)铂电阻温度计热响应时间长,直径4mm的铂电阻温度计约需时间5s。为解决上述问题,需要对供水系统进行特别设计(图2)。对于冷水供水管道接入被测机前设置两个电磁阀,排水电磁阀在每次供水开始时间30s之前打开,到了需要向被测机供水的时候排水阀关闭,同时入水电磁阀打开。一方面可以有足够时间让流量调节阀将水流量调整到需要的流量,另一方面则可以将供水管内温度较高的水排出,保证进入被测机的冷水温度在10±1℃。另外,在被测机出水口处安装一个三通,铂电阻温度计

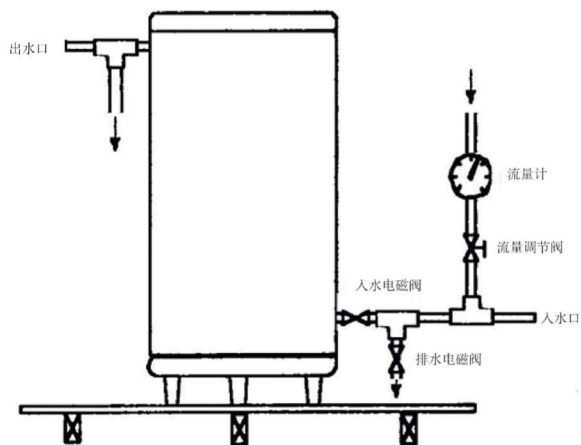


图2 被测机管道连接示意图

直接探入被测机内部,保证测试出的被测机放水水温不受外界环境温度的影响。

测试过程要使用较低的数据采样间隔,并累计有效热量,当累计有效热量达到要求的能量时

关闭入水电磁阀。单次放水的有效热能按照公式(1)进行计算。

$$Q_{HP-Tap} = \frac{1}{3600} \int_0^{t_{Tap}} c_p \cdot p(T) \cdot V_{Tap} \cdot [\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)] dt \quad (1)$$

式中: Q_{HP-Tap} 为有效热量(kWh); c_p 为水的比热容(kJ/(kg·K)); $p(T)$ 为流量计处水的密度(kg/m³); V_{Tap} 为水流量(m³/s); $\theta_{WH}(t)$ 为出口处水温(℃); $\theta_{WC}(t)$ 为入口处水温(℃)。

对于洗碗放水类型,标准要求目标水温差为45℃,如果实际水温差达不到,需要在测试和计算中假设额外的辅助电加热将水温加热至目标温差。辅助电加热消耗的能量要分别加到有效热量和耗电量中。

把包含了辅助电加热能量的所有单次放水能量相加就可以得到总有效能量。总耗电量为测试周期内的实际耗电量修正到24小时内的耗电量,需减去24小时外那部分待机模式消耗的电量。最终的性能系数=总有效能量/总耗电量。

D 参考热水温度及最大可用热水量

紧接着上面的测试,压缩机跳机的同时,立即开始按照10±0.5 L/min的流速放水,直至出水温度低于40℃。参考热水温度计算公式(2)为:

$$\theta_{WH} = \frac{1}{t_{40}} \int_0^{t_{40}} \theta_{WH}(t) \cdot dt \quad (2)$$

其中: θ_{WH} 为参考热水温度(℃); t_{40} 为从开始放水到水温到达40℃的时间; $\theta_{WH}(t)$ 为热水温度。

最大可用热水量 V_{max} (m³)要将实际放出的热水折算成40℃热水的水量,计算公式(3)为:

$$V_{max} = \frac{1}{30} \int_0^{t_{40}} V_{Tap} \cdot [\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)] dt \quad (3)$$

3 结束语

文中针对标准EN 16147-2011《带电力驱动压缩机的热泵-家庭热水机组的标记用试验和要求》,对静态加热式热泵热水机的能效测试方法及测试实验室的设计进行了介绍及分析,针对标准对测试方法要求比较严酷的事实,给出了可行的解决方案。按照此方案设计的测试实验室在实际测试过程证明了这一设计的可靠性,希望对热泵热水机生产厂家的设计和研发产品提供可靠的指导意见。