

# 家用和类似用途微波炉能源效率检测的不确定度分析与评估

邵羽达<sup>1</sup> 张宇环<sup>2</sup> 刘 勇<sup>2</sup>

(1. 江苏省计量科学研究院 江苏 南京 210007)

(2. 南京师范大学 电气与自动化工程学院 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 针对 2010 年新出台标准 GB24289-2010《家用和类似用途微波炉能效限定值及能效等级》附录 A 中有关微波炉微波功能能源效率检测的方法进行测试环境、设备以及测试数据的分析、建模、计算,从而得出测量的 A 类和 B 类不确定度,最终合成得到实验室测量微波炉的合成不确定度,以完善对实验室检测能力的评定,同时有助于实验室在检测结果接近临界值时,更好地评定被测量结果的可靠性。

**[关键词]** 微波炉 能源效率检测 不确定度分析

**[中图分类号]** TM925.07 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2011)04-0020-04

## Uncertainty Analysis and Evaluation of Energy Efficiency Testing of Household and Similar Microwave Ovens

Shao Yuda<sup>1</sup> Zhang Yuhuan<sup>2</sup> Liu Yong<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Metrology Institute of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

(2. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** According to appendix A of Chinese standard GB24849-2010 “Minimum allowable values of energy efficiency and energy efficiency grades for household and similar microwave ovens”, we analyzed the testing environment and equipment, calculated the data of testing result, and obtained the uncertainty A and uncertainty B. By calculation we obtained the combined standard uncertainty to improving evaluate the testing ability of laboratory, and to help evaluate the reliability of testing results when the tested result of the lab is near critical value.

**Key words:** microwave ovens, energy efficiency testing, uncertainty of measurement

在 2004 年 8 月国家发改委和国家质检总局联合发布了《能源效率标示管理办法》,把空调、冰箱、电磁炉等常用的民用电器的能效标识管理列入需进行能效标识管理的范畴。随着节能减排这一国策在我国日益受到重视,这几年各类家电的能效标准也陆续出台,给技术机构进行能效标识检测提供了依据,从而更有利于政府对各类家电进行能效标识的监督与管理。2010 年新标准 GB24289-2010《家用和类似用途微波炉能效限定值及能效等级》的出台,给家用和类似用途微波炉的能效检测提供了科学的技术依据,对更好地监督管理国内市场上微波炉的能效标识十分有利。唯一不足之处在于,当前有关各类家电能效评估的国家标准附录中虽然给出了具体的检测方法,但是并没有给出相关的不确定度评定,而在标准上规定的 5 个能效等级中每相邻两个能效等级的要求只相差 2%,如果一个实验室测试环境以及测试设备稍有出入,可能会带来测试结果的误判,在这种情况下,评定给出一个实验室在测量中的不确定度就十分重要,这不确定度有助于科学合理地分析判定测量结果处于临界状态的微波炉的能效等级。为了评价不同实验室的测试数据可靠性的差异,本文根据标准 GB24289-2010 附录 A 要求的方法以及设备环境的要求,进行分析、建模、计算,给出了不确定度评定的实例,希望能够对将来开展微波炉能效检测的实验室提供不确定度评定的借鉴。

收稿日期: 2011-09-05.

基金项目: 江苏省质检总局、江苏省地方标准项目.

通讯联系人: 邵羽达,工程师,研究方向: 电磁兼容. E-mail: icdrgons@sina.com

## 1 微波炉能效检测数学模型

本次试验室案例分析根据 GB24289-2010《家用和类似用途微波炉能效限定值及能效等级》附录 A 的要求进行试验:测量开始时,器具和空容器为室温,水初始温度为  $10 \pm 1^\circ\text{C}$ ,在水被加入容器之前测量水温,把  $1\,000\text{ g} \pm 5\text{ g}$  的水加入到容器中,测得实际质量,将容器放到微波炉搁架中心上,启动微波炉,加热到  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  时,切断电源,在 60 s 内测量最终水温.根据公式 1 算出微波炉能效.

本实验室在测量中选用日本恒河生产的 WT201 功率计,准确度:  $\pm(0.1\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 量程})$ ,标准温湿度采样仪(热电偶)采用无锡市计量所生产的多点温度测试仪,温度准确度为:  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ,称重采用梅特勒-托利多生产的 Panda7 电子天平,准确度:  $\pm 1.5\text{ g}$ ,均能满足甚至优于附录 A 对设备的要求.实验用水 1 kg,玻璃容器质量 0.619 kg,初始环境温度  $20.1^\circ\text{C}$ ,初始水温  $10.5^\circ\text{C}$ ,终止试验温度  $20.2^\circ\text{C}$ ,实验消耗电能: 67.54 kWh.

合并 GB24289-2010 附录 A 中公式 A.1、A.2,得出单次测量的微波炉热效率计算公式为:

$$\eta_i = \frac{c_1 m_w \times (T_2 - T_1) + c_2 m_c \times (T_2 - T_0)}{W_{in}} \times 100\% , \quad (1)$$

式中:  $\eta_i$  为单次测量的微波炉热效率 ( $i = 1, 2, 3$ );  $c_1$  为水的比热容,取  $4.187\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $m_w$  为水的质量/kg;  $c_2$  为玻璃容器比热容,取  $0.55\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $m_c$  为玻璃容器的总质量/kg;  $W_{in}$  为消耗的电能/kWh;  $T_0$  为初始环境温度/ $^\circ\text{C}$ ;  $T_1$  为水初始温度/ $^\circ\text{C}$ ;  $T_2$  为水终止温度/ $^\circ\text{C}$ .

取 3 次测量热效率的平均值作为微波炉检测样本的热效率值.根据不确定度合成原理,微波炉热效率值的合成标准不确定度计算公式为:

$$u_c(\eta)^2 = u_r(\eta)^2 + [c_{m_w} u(m_w)]^2 + [c_{m_c} u(m_c)]^2 + [c_{\Delta t_1} u(\Delta t_1)]^2 + [c_{\Delta t_2} u(\Delta t_2)]^2 + [c_{W_{in}} u(W_{in})]^2 , \quad (2)$$

式中  $\Delta t_1 = T_2 - T_1$  为水的温升;  $\Delta t_2 = T_2 - T_0$  为玻璃容器的温升.

## 2 灵敏系数计算

水质量是计算热效率的测量量,其灵敏系数  $c_{m_w}$  的计算公式如下:

$$c_{m_w} = \frac{\partial \eta}{\partial m_w} = \frac{c_1 \Delta t_1}{W_{in}} \times 100\% . \quad (3)$$

代入实验数据,得到  $c_{m_w} = 0.601\text{ kg}^{-1}$ ,同理通过计算,可以得到其他被测量的灵敏系数,具体见表 1.

## 3 标准不确定度的 A 类评定

以某功率为 1 150 W 的家用微波炉为检测样本,进行 10 次独立的重复测量,用贝赛尔公式计算测量结果,可得 A 类方法评定的标准不确定度,计算公式如下:

$$u_r(\eta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2}{n-1}} = 0.182\% , \quad (4)$$

式中:  $u_r(\eta)$  为热效率 A 类标准不确定度;  $\eta_i$  为第  $i$  次独立测量得到的热效率;  $\bar{\eta}$  为  $n$  次独立测量得到的热效率的平均值;  $n$  为独立测量次数.这里取  $n = 10$ .

以上测量过程重复 3 次,取平均值作为测量最终结果.3 次测量平均值的 A 类不确定度为:

$$u_{r3}(\eta) = u_r(\eta) / \sqrt{3} = 0.105\% . \quad (5)$$

## 4 标准不确定度的 B 类评定

### 4.1 质量测量引入的不确定度

质量测量的不确定度来源于电子天平的测量误差. GB24289-2010 附录 A 中要求电子秤的准确度为  $\pm 0.5\%$ ,根据测试用水为  $1\,000\text{ g} \pm 5\text{ g}$  计算,最大偏差不能超过 5 g,本实验室使用的电子天平最大允许误

差为  $\pm 1.5\text{ g}$  ,已经能够很好地满足要求. 按矩形分布估计 ,质量测量引入的不确定度包括玻璃容器质量测量引入的不确定度和水质量测量引入的不确定度.

玻璃容器质量测量引入的不确定度:

$$u(m_c) = \frac{0.0015}{\sqrt{3}} = 0.866 \times 10^{-3}(\text{ kg}) . \tag{6}$$

水质量测量包括玻璃容器的影响 ,因此引入的不确定度:

$$u(m_1) = \sqrt{2} \times \frac{0.0015}{\sqrt{3}} = 1.225 \times 10^{-3}(\text{ kg}) . \tag{7}$$

4.2 温升测量引入的不确定度

温度测量引入的不确定度来源于热电偶的测量误差. 依据检定 / 校准证书和有关资料 ,已知热电偶的最大允许误差为  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ . 按矩形分布估计 ,则水初始温度测量引入的不确定度:

$$u(t_1) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058(^\circ\text{C}) . \tag{8}$$

同理可得水终止温度测量、初始环境温度测量引入的不确定度为  $0.058^\circ\text{C}$ .

因此得到水温升测量引入的不确定度:

$$u(\Delta t_1) = \sqrt{u(t_1)^2 + u(t_2)^2} = 0.082(\text{ K}) . \tag{9}$$

同理 ,玻璃容器温升测量引入的不确定度为  $0.082\text{ K}$ .

4.3 功率计电能测量引入的不确定度

GB24289 – 2010 附录 A 要求功率测量和电压测量的准确度为  $\pm 1\%$ . 本实验室使用日本恒河生产的 WT201 功率计 ,根据功率计检定 / 校准证书和说明书 ,仪器校准后 1 ~ 2 年内 ,功率计电能测量最大允许误差为  $\pm 0.4\%$  ,按矩形分布估计. 本次实验耗电:  $67.54\text{ kW}\cdot\text{s}$  ,则功率计电能测量引入的不确定度:

$$u(W_{in}) = \frac{0.4\% \times 67.54}{\sqrt{3}} = 0.156(\text{ kW}\cdot\text{s}) . \tag{10}$$

4.4 合成标准不确定度

根据公式 2 中涉及到的测量量取多次测量的平均值 ,计算出各个灵敏系数 ,从而得到热效率测量的各不确定度分量 ,具体见表 1.

表 1 测量不确定度分量一览表  
Table 1 The uncertainty components measurement list

输入量 $X_i$	估计值 $x_i$	标准不确定度 $u(x_i)$	分布	灵敏系数 $c_i$	不确定度分量 $u_i(y) / \%$
$\eta$	60.18%	0.105%	正态	1	0.105
$m_w$	1.000 kg	$1.225 \times 10^{-3}\text{ kg}$	矩形	$0.601\text{ kg}^{-1}$	0.074
$m_c$	0.619 kg	$0.866 \times 10^{-3}\text{ kg}$	矩形	$0.000\text{ kg}^{-1}$	0.000
$\Delta t_1$	9.7 K	0.082 K	矩形	$0.062\text{ K}^{-1}$	0.508
$\Delta t_2$	0.1 K	0.082 K	矩形	$0.005\text{ K}^{-1}$	0.041
$W_{in}$	40.648 kW·s	0.156 kW·s	矩形	$0.009\text{ kW}\cdot\text{s}^{-1}$	0.139

根据公式 2 进行合成 ,得到合成标准不确定度为:

$$u_c(\eta) = 0.54\% .$$

取包含因子  $k = 2$  ,则热效率的相对扩展不确定度为:

$$U(\eta) = k \cdot u_c(\eta) = 1.08\% .$$

5 结论

本文结合中华人民共和国国家标准 GB 24289 – 2010 《家用和类似用途微波炉能效限定值及能效等级》中附录 A 的试验方法 ,首次采用计量理论中的不确定度分析方法进行数学建模、分析 ,需结合实验室的实际试验硬件情况进行不确定度的分析 ,最终得到微波炉能效检测的合成不确定度. 不确定度的分析有助于实验室正确评估自身试验能力 ,合理评判所检样品结果 ,从而有助于将来的市场监督、抽查与仲裁鉴定之类的检验工作 ,一旦在试验结果处于临界状态时 ,能够尽量减少及避免对样品的误判 ,给解决试验纠

纷提供技术支持.从以上的实例分析可见,在本实验室所采用的标准器都满足标准要求的情况下,根据标准附录A的方法进行试验,试验结果的扩展不确定度超过1%,而标准所定的能效等级级差只有2%,在这种情况下进行试验,稍有不慎即可能产生误判,这就需要试验人员具备很强的计量专业知识以对测量结果进行分析,同时也要结合不确定度中的较大分量合理选用设备,减少环境、设备各方面的因素对测量结果产生的不良影响.

#### [参考文献](References)

- [1] 中国计量科学研究院. JJF. 1059-1999, 测量不确定度的评定与表示[S]. 北京: 全国法制计量技术委员会, 1999.  
China Institute of Metrology. JJF. 1059-1999, Evaluation and expression of uncertainty in measurement[S]. Beijing: Rules of the National Technical Committee of Legal Metrology, 1999. (in Chinese)
- [2] 国家发展和改革委员会. GB. 24289-2010, 家用和类似用途微波炉能效限定值及能效等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.  
National Development and Reform Commission. GB. 24289-2010, Minimum allowable values of energy efficiency and energy efficiency grades for household and similar microwave ovens[S]. Beijing: Chinese Standards Press, 2010. (in Chinese)
- [3] 国家质检总局. JJF. 12613-2010, 家用电磁灶能源效率标识计量检测规则[S]. 北京: 中国计量出版社, 2010.  
National Administration of Quality Supervision. JJF. 12613-2010, Rules of metrology testing for energy efficiency of household induction cookers[S]. Beijing: Chinese Metrology Press, 2010. (in Chinese)
- [4] 中国计量测试学会. 一级注册计量师基础知识及专业实务[M]. 北京: 中国计量出版社, 2009.  
China Institute of Metrology. Level 1 Certified Metrology Engineer Basic Knowledge and Professional Practice[M]. Beijing: Chinese Metrology Press, 2009. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]

(上接第19页)

- [2] 赵阳, See Kye Yak. 电磁兼容基础与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.  
Zhao Yang, See Kye Yak. Fundamental of Electromagnetic Compatibility and Application[M]. Beijing: China Machine Press, 2007. (in Chinese)
- [3] 赵阳, 姜宁秋, 孙焱, 等. 传导电磁干扰噪声分离方法研究与新进展[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2009, 9(1): 1-7.  
Zhao Yang, Jiang Ningqiu, Sun Yan, et al. Research and development of conductive EMI separating techniques[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2009, 9(1): 1-7. (in Chinese)
- [4] 赵阳, 罗永超, 陆斌泉, 等. 传导电磁干扰噪声综合解决方案[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2010, 31(2): 189-195.  
Zhao Yang, Luo Yongchao, Lu Xiaoquan, et al. Study on synthetic solution scheme for conductive EMI noise[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2010, 31(2): 189-195. (in Chinese)
- [5] 张宇环, 戎融, 赵阳, 等. PCB 高频辐射干扰预估方法对比研究[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2011, 11(1): 1-4.  
Zhang Yuhuan, Rong Rong, Zhao Yang, et al. Comparison of prediction methods applied in high frequency radiated EMI for PCB[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2011, 11(1): 1-4. (in Chinese)
- [6] 冯利民, 钱照明. 基于近场探头的电力电子系统 EMC 故障诊断[J]. 电力电子技术, 2007, 41(6): 13-16.  
Feng Limin, Qian Zhaoming. EMC trouble diagnosing techniques in power electronic system based on near field probes[J]. Power Electronics, 2007, 41(6): 13-16. (in Chinese)
- [7] Leone M. Design expression for the trace-to-edge common-mode inductance of a printed circuit board[J]. IEEE Trans Electromagn Compat, 2001, 43(4): 667-671.

[责任编辑: 刘 健]