

强微波场中功率分布的采集与处理

孙桂玲 赵捷* 张学剑 李维祥 金镇

(南开大学电子信息科学与技术系 天津 300071)

*(天津工程师范学院计算机系 天津 300222)

摘要: 该文提出一种测量微波场功率分布的有效方法。为了定量测量强微波场功率分布,设计了测试容器及多路温度同步采集和处理系统;并构造了两种算法对采样数据进行修正处理,给出了微波场功率分布的实验结果。此方法可行、可靠,很有实用价值。

关键词: 微波场, 功率分布, 数据采集与处理, 可视化

中图分类号: TM931 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2005)06-0995-04

Sampling and Processing of Power Distribution in Intense Microwave Field

Sun Gui-ling Zhao Jie* Zhang Xue-jian Li Wei-xiang Jin Zhen

(Department of Electronic Information Science and Technology, Nankai University, Tianjin 300071, China)

*(Computer Department, Technology and Education Institute of Tianjin, Tianjin 300222, China)

Abstract A method to effectively measure the microwave field distribution is proposed in this paper. Firstly, to quantitatively measure the intense microwave field power distribution, a measurement container and a multiplex temperature sampling and processing system are designed. Then two algorithms are manipulated to make adjustment to the sampling data. Experimental results of power field in microwave field are provided. It is feasible, dependable and also valuable for practice.

Key words Microwave field, Power distribution, Data sampling and processing, Visualize

1 引言

微波在化学领域中的应用越来越广泛。近年来,大量实验已经证实,微波可以极大地提高一些化学反应速率,大大缩短化学反应时间,省溶剂(较常规方法少50%~90%)、节约能源、减少废物的产生,同时可以提高提取物的收率和纯度。另一方面有利于环境保护,它是一种具有广阔发展前途的新技术。在化学反应容器中,若微波场不均匀,会导致局部过热,不能有效地得到预定的产品。另外研究场分布对微波谐振腔、模式搅拌器以及搅拌速度的设计都有一定的指导意义。

2 微波场中温度分布采集系统

2.1 测量容器与多路温度同步采集系统的设计

为得到长方体谐振腔内部的场分布,其谐振腔长、宽、高分别为442mm, 425mm和265mm,磁控管发射功率为

1200W。首先设计了长、宽、高各为250mm, 250mm, 40mm的正方体测试容器,内设5×5的方阵^[1],在高度为18mm处钻孔,为保持液面高度在同一水平面上,设计为连通器结构,如图1所示。容器材料选用对微波透明的teflon板和密封胶。放入1000g的水,记录此时初始水温(应低于20℃),将测试容器放入微波场中,加热固定时间,为保证所测的温度是同步的,我们自行设计了多路温度同步采集处理系统,此系统原理框图见图2。

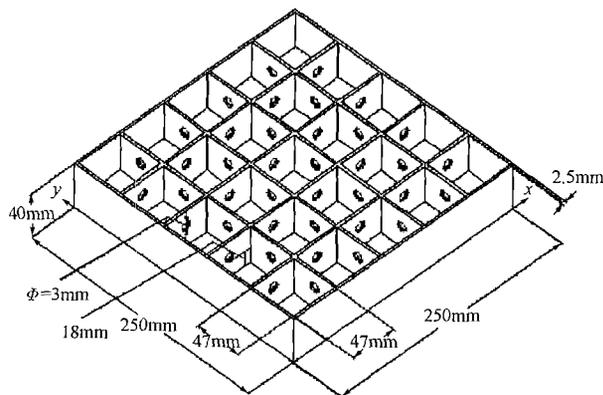


图1 测试微波场功率分布所用容器

2004-03-09收到,2004-08-09改回

天津市应用基础研究重点基金(043800211)和天津市教委科技项目(021013)资助课题

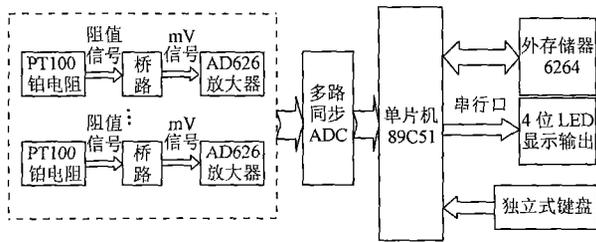


图2 系统原理方框图

系统内部热量与外部的交换,是本文重点要解决的问题,一是合理选取加热时间,25个单元的温度上升不能超过环境温度太多,否则向空间耗散很大,影响测量精度;二是铂电阻的温度惯性和各组温度的同步,构造两种算法进行修正,以便保证所测各组温度的同步。因为

$$Q=cm(t_2-t_1) \quad (1)$$

其中 Q 为每一单元水吸收热量,单位:(J); m 为每一单元水的质量,单位:(kg); C 为水的比热, $C=4.189 \times 10^3$ (J/(kg·°C)); t_1 为每一单元水的初温,单位:(°C); t_2 为每一单元水的末温,单位:(°C)。

根据每一单元水吸收的热量,然后折合成功率:

$$P=Q/t \quad (2)$$

其中 P 为每一单元水吸收的热量,折合成功率(W); t 为加热时间,单位:(s)。即

$$P = \frac{cm(t_2-t_1)}{\text{加热时间}} = \frac{4.189 \times 10^3 \times 1.0 \times (t_2-t_1)}{\text{加热时间}} \quad (3)$$

只要知道每一单元温度变化,利用式(3)计算出功率,从而得到微波场的功率分布。

2.2 采集温度分布的方法

根据系统设计要求,拟定了25个测量点,要想准确知道微波场分布,必须得到同一时刻水温。如果使用25路传感器进行同时采样,毫无疑问这25路信号是同步的,但由于传感器及AD转换器造价昂贵,大大增加了系统成本。所以,将25个测量点等分成5组。首先用5路传感器同时测量第一组水温,然后将这5路传感器移至第2组,依次类推,CPU同步采集并存储每组的测量值并记录相应的时间间隔。为便于修正,必须再重新测一些数据。于是我们构造了两种算法,最终得到全部25个测量点在同一时刻的温度值。

因此,系统应具备同步采集5路温度信号的能力。在系统的输入部分,5个采集点的温度经5路PT100铂电阻、桥路、AD626放大器形成同步输入电压信号,然后由AD转换器进行同步采集。AD转换芯片选用MAX115CAX。

与传统的AD574等12位AD转换器相比较,MAX115CAX有速度更快、精度更高、使用更灵活等突出优点,是系统能够实现多路同步采集的关键器件。MAX115CAX是一款高速、多路12位逐次逼近型AD转换器,典型单路转换时间为2μs。输入电压范围为±5V,最高耐压可达士

17V。它内含2组4路同步采样放大器及4×12bit的RAM,最多支持4路同步采样,以及总共8路采样。

通过编程MAX115CAX的内部微序列器,可以将2组4路输入中任意组的模拟信号同时转换。系统中采取先采集1路,再采集其它4路的方法,两次采集间隔主要依赖于程序速度,实际间隔为10μs,与系统采样间隔的计时单位200ms相比,可以近似认为是同步采集5路信号。每次输入转换结束后,存储在片内RAM中。由CPU控制周期读取信号访问其并行接口,读取数据,并存储在89C51扩展片外数据存储器6264中。

3 测量数据的处理及其程序设计

3.1 处理方法

为减少系统成本我们提出了上面的方案,因为测量值不是在同一时刻得到,在测量过程中,温度会随时间耗散。需要对测量值进行修正处理。依据测量时间间隔确定与否,系统设计了两种工作模式和对应的数据处理方法。

(1) 工作模式0

工作模式0适用于自动化程度较低场合,是系统的默认模式。在该模式下,各组采样的时间间隔不确定,每组采样的时刻由手动控制,即每按1次“采集”键,系统采集第1组数据,记为 $T_1 \sim T_5$,并记录距离第1组采样的时间间隔 Δt_i ($i=2,3,4,5$)。第5组数据采集结束后,还要重新采集第1组测量点的值 T_1' ,并记录时间间隔 Δt_1 。

该模式下,第1组测量值为真值。利用同样5个点在不同时间的温差及时间间隔,计算出温度耗散的时间比。用这个比值和各组与第1组(真值)的时间间隔对其他组测量值进行修正,最终得到温度结果 T_{true_i} ,即

$$T_{\text{true}_1} = T_1 \quad (4)$$

$$T_{\text{true}_i} = T_i + \frac{T_1 - T_1'}{\Delta t_1} \times \Delta t_i, \quad i=2,3,4,5 \quad (5)$$

(2) 工作模式1

工作模式1适用于自动化程度较高的场合。在该模式下,各组采样的时间间隔相等,由电机控制5路传感器的速度。从第1到第5组,为 $T_1 \sim T_5$,然后反向测量,即从第4组到第1组,为 $T_4' \sim T_1'$ (参照值),显然第1组测量值为真值,利用参照值 $T_4' \sim T_1'$ 与原始测量值计算出平均温度耗散,并进行相关修正,得到最后结果 T_{true_i} ,即

$$T_{\text{true}_1} = T_1 \quad (6)$$

$$T_{\text{true}_i} = T_i + \frac{1}{4} \times \left(\frac{T_1 - T_1'}{8} + \frac{T_2 - T_2'}{6} + \frac{T_3 - T_3'}{4} + \frac{T_4 - T_4'}{2} \right) \times (i-1), \quad i=2,3,4,5 \quad (7)$$

3.2 程序设计

本系统程序在 Keil uVision2 环境下开发完成。使用 C 语言将软件部分划分为功能模块分别编写, 提高了可读性及扩展能力。根据软件功能要求和 workflow, 多路温度同步采集处理系统可以分为键盘响应、AD 控制、数据处理、数据译码、显示输出、时间记录等模块。程序流程图略。

4 微波场功率分布的可视化表示

4.1 实验结果与 Matlab 仿真

利用上述方法可得到不同高度微波场温度分布的数值, 利用式(3)进而可得到微波场功率分布; 采用模式 1 得到的实验数据分别由表 1~表 5 给出, 单位为 W; 图3(a)~图3(e)分别是用 Matlab 软件仿真, 得到的微波场功率分布可视化表示图^[2,3], x 轴指 x 方向测试单元, y 轴指 y 方向测试单元, H 代表测试容器所处的高度。

表 1 测试容器置于 $H=0\text{mm}$ 时微波功率分布(W)

		x				
		1	2	3	4	5
y	1	34.0	42.7	35.0	47.1	41.7
	2	28.8	36.9	33.4	45.1	43.6
	3	32.2	35.8	35.9	42.0	40.3
	4	32.6	38.4	33.2	43.1	39.2
	5	43.0	41.8	33.2	37.7	36.7

表 2 测试容器置于 $H=30\text{mm}$ 时微波功率分布(W)

		x				
		1	2	3	4	5
y	1	31.9	31.0	32.1	54.1	40.5
	2	16.8	20.5	38.5	54.9	38.6
	3	18.5	19.3	39.3	54.7	41.6
	4	31.0	25.9	37.3	55.2	47.8
	5	48.6	39.1	32.3	48.4	48.3

表 3 测试容器置于 $H=60\text{mm}$ 时微波功率分布(W)

		x				
		1	2	3	4	5
y	1	47.7	45.8	44.6	40.7	45.2
	2	49.4	32.9	33.0	34.7	39.8
	3	52.7	25.2	24.4	32.3	39.9
	4	44.8	27.8	29.3	32.4	37.3
	5	44.7	33.2	38.6	35.3	37.9

表 4 测试容器置于 $H=90\text{mm}$ 时微波功率分布(W)

		x				
		1	2	3	4	5
y	1	25.1	28.3	33.6	44.3	64.8
	2	42.1	24.8	32.5	47.2	40.6
	3	48.8	26.6	32.4	49.8	39.5
	4	36.6	22.2	29.2	50.1	45.1
	5	28.0	26.7	28.2	45.1	55.9

表 5 测试容器置于 $H=120\text{mm}$ 时微波功率分布(W)

		x				
		1	2	3	4	5
y	1	39.6	31.0	40.8	37.8	43.3
	2	34.5	26.2	40.6	42.9	41.1
	3	26.9	21.4	40.2	45.1	41.5
	4	36.3	28.5	39.6	43.3	40.0
	5	46.0	37.0	40.1	43.3	43.9

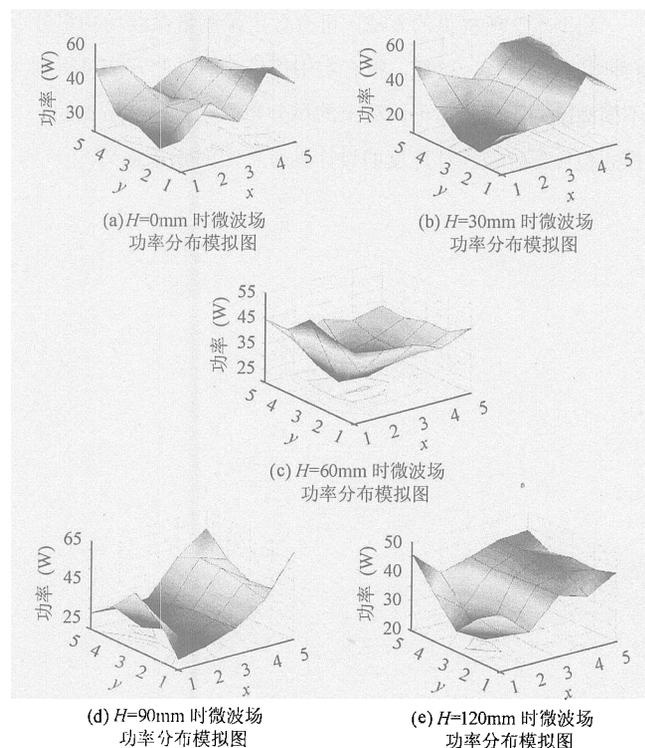


图 3

4.2 实验结果分析

在强微波场中测温, 通常有两种实现方法: 其一是用非接触式的红外线温度传感器, 其二是用接触式的光纤温度传感器。红外线温度传感器虽然价格相对便宜, 但精度很差; 光纤温度传感器精度高但价格非常昂贵。我们采用了传统的热电阻传感器实现在线实时测量, 对测得的实验数据进行随

机对比。首先铂电阻表面经过特殊加工,以防在微波场中打火,在谐振腔上面适当的位置钻孔,即在正对着测试容器中心位置和左上角第一单元(见图1)的上面钻孔;同时既要考虑铂电阻与谐振腔的良好接触,又要预防微波的泄漏。我们首先把传感器置于谐振腔中心,把旁边的开孔加载截止波导,在线测量测试容器中心点的温度,等加热固定时间后,读取温度值与本文提出的方法即经过修正后的温度值进行对比,经过多次实验,温度基本一致。采用同样的方法,对测试容器左上角第一单元的温度也进行了对比,得到同样的结果。说明用此方法可行、可靠。

由表1~表5分别计算出测试容器在不同高度时,水吸收的总功率分别为953.4 W, 946.2W, 949.6W, 947.5W和950.9W,说明在不同高度功率基本平衡,但从图3(a)~图3(e)中微波场功率分布图看,微波场分布不均匀,应增加搅拌或模式搅拌器,以得到均匀分布的微波场。

5 结束语

利用本文所提供的方法,可有效定量测量微波场功率分布,其方法可行、可靠,很有实用价值。通过此方法可得到不同高度、不同行、不同列上的场分布。这对微波谐振腔、模式搅拌器以及搅拌速度的设计具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] Decareau R V. Microwave foods: new product development [M]. Trumbull, Conn., USA. Food and Nutrition Press, 1992: 68 - 70.
- [2] Ma Lizhuang, Paul D L, Potheary N, *et al.*. Experimental validation of a combined electromagnetic and ghermal FDTD model of a microwave heating process[J]. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, 1995, 43(11): 2565 - 2572.
- [3] Anantheswaran R C, Liu L. Effect of electrical shielding on time-temperature distribution and flow profiles in water in a cylindrical container during microwave heating[J]. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 1994, 29(4): 220 - 230.

孙桂玲: 女, 1964年生, 副教授, 研究方向为信息检测与智能控制系统.

赵捷: 男, 1957年生, 副教授, 研究方向为计算机应用.

张学剑: 男, 1979年生, 本科生, 研究方向为信息检测与智能控制系统.

李维祥: 男, 1946年生, 教授, 研究方向为信息检测与智能控制系统.

金镇: 男, 1980年生, 硕士生, 研究方向为信息检测与智能控制系统.