

食品材料微波解冻的传热实验研究^{*}

AN EXPERIMENT ON HEAT TRANSFER BY MICROWAVE
THAWING IN A FOOD ANALOGUE MATERIAL

曾 欣 辛 明 道 张 大 明
Zeng Xin Xin Mingdao Zhang Daming

(重庆大学工程热物理研究所)

TS205

①
60-445

摘 要 对食品测试材料(Tylose)的微波加热解冻的问题进行了实验研究,实验结果表明,由于微波能的影响,在解冻曲线上相变区域狭窄,潜热释放很快。同时,在加热升温阶段,内热源的作用使得中心温度的上升速率大于试样内其它部分温度的上升速率。

关键词 食品材料;微波加热;解冻;传热实验

中国图书资料分类法分类号 TK124

ABSTRACT The one-dimensional heat transfer of microwave thawing in a food analogue material is experimentally studied. The results show that the phase change region is narrow and the latent heat is quickly released due to the effect of the microwave energy. Besides, in the rising section of the temperature after thawing, the internal heat source makes the temperature at the central point rise more quickly than that at other parts of the tested element.

KEY WORDS food analogue material; microwave heating; thawing; heat transfer experiment

0 前 言

本世纪五十年代微波加热技术只用于干燥土豆片,目前已渗入到食品的烘烤、解冻、干燥、低热杀菌、消毒等工艺过程,微波加热技术正逐渐地得到食品工业界的认可。随着无菌包装和塑料袋消毒技术的问世,为微波技术在食品加工领域内的广泛应用开辟了新的前景。这是因为微波加热对食品内部加热渗透效果较之于传统的对流加热方式要优越得多,它能迅速、均匀地加热或解冻食品,减少基础营养组分的热钝化,从而达到提高食品加工的质量^[1-3]。

成功地开发微波能加工食品的主要障碍之一在于缺乏可供工程设计人员参考的、与食品材料介电性质有关的温度场的预测公式^[1-3]。这是因为微波加热技术在食品工业中的应用历史还不长,对其中的传热机理的研究不多,同时由于微波能在材料中的耗散特性及分布规律等问题本身的复杂性,使得这一课题的研究难度增大,本文的目的在于从实验上研究 Ty-

* 收文日期 1991 06-10

lose 食品测试材料在微波能解冻过程中的传热特性,通过测绘几种不同尺寸、不同形状的食品解冻曲线,来分析微波能与食品材料相互作用的关系,以期为微波解冻的传热规律的探索与传热模型的制定提供实验基础。

1 微波解冻的原理

利用微波能加热与传统加热过程的主要不同之处在于,它是通过材料本身吸收微波能,导致内部分子振荡、摩擦而产生热能,类似于连续分布的热源对材料的容积加热。在材料中微波的功率分布可由 Lambert 吸收关系来描述^[9]:

$$P_z = P_0 \cdot \exp(-2az) \quad (1)$$

其中, P_0 为入射到材料表面上的微波功率。

a 为材料对微波的衰减系数。

z 为入射微波的穿透距离。

材料的衰减系数 a 表征了材料与电磁场的耦合能力。对于含水量较高的食品材料而言大部分能量在进入表面后的几厘米内就被吸收了。在一定的微波频率下,穿透深度可表示为温度的函数,就解冻过程而言,由于食品材料中的水分子只有解冻后才能吸收大量的微波能,而囚禁在晶体冰内的水分子不能吸收微波能,因而食品材料的吸收系数在相变区附近发生阶跃变化,是不连续函数。这很类似于焓在相变区的特征。温度—焓与温度—衰减系数的关系都在相变区存在着不连续点。

根据对微波解冻的传热分析,提出描述微波解冻过程的焓方程为:

$$\rho \frac{\partial H}{\partial \tau} = \nabla(k \cdot \nabla T) - \nabla p \quad (2)$$

$$\text{令} \quad q = -\nabla p \quad (3)$$

$$\text{则} \quad \rho \frac{\partial H}{\partial \tau} = \nabla(k \nabla T) + q \quad (4)$$

式中, q 为一常正源项,是由微波能与材料的相互作用所致。

(4) 式即为描述材料微波解冻过程的支配焓方程。

由于微波解冻是通过吸收介质的损耗而发热,故损耗较大者加热较快。水是吸收微波最强的介质,故对含水量大的物质加热非常有效。同时,对于低导热率物质加热也极为方便。但是微波解冻要求食品材料在储藏过程中有一个基本上恒定的初始温度。因为产品的部分解冻和再冻结导致冻结水滴增加,可能导致不均匀解冻。

2 实验装置、材料及过程

2.1 实验装置

实验装置如图 1 所示。实验在 SHARP R-5880 型微波炉中进行。微波炉的技术条件见表 1,其变功率波形图见图 2。为了避免解冻实验中可能出现‘加热失控’现象,在解冻过程中均选用最低档功率加热。根据图 2(a),可计算出微波炉的额定功率为 $P_0 = (5/30) \times 500 =$

83.3W。采用这种方式,热量可以通过导热传递给冻结部分,使食品测试材料的解冻较为均匀,避免局部解冻所导致的‘温度飞升’。

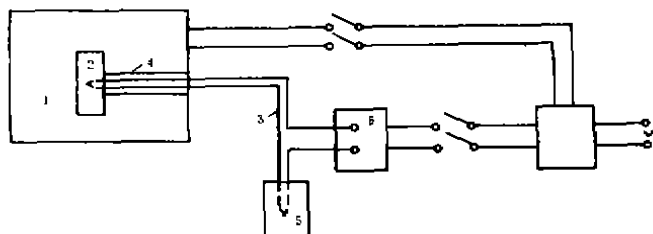


图1 微波解冻实验装置示意图

1、微波炉 2、试件 3、热电偶 4、金属套管 5、冰瓶 6、数据采集系统

表1 微波炉技术规范

型 号	SHARP R-5880型
电 压	220V
电 流	4.5A
输出频率	2450MHz

注:共有高、中高、中、中低、低五档。对应输出功率见图2。

表2 试件形状及尺寸

形状	直径 (mm)			长径比
球	20	40	60	
圆柱	20	40	60	3:1

在直径为0.2mm铜-康铜热电偶3上套装金属管以消除热电偶导线为微波炉中电磁涡流加热所可能导致的测量误差。

仪器6为日本横河北辰电机公司生产的O-DAC-83837型温度数据采集系统。对于T类热电偶,其测量精度为满量程的0.1%+0.3℃。该系统对于动态系统的温度、电压测试极为方便、准确。

2.2 实验材料及形状

本文采用热物性各向同性,且较稳定的食品测试材料Tylose。Tylose材料是由23%的甲基纤维素和77%的水制作而成。其性质类似于瘦牛肉。有关其热物性的报道见文献[7—8]。

试件形状及几何尺寸见表2。

在实验中,所有试件均用聚苯乙烯塑料薄膜包裹,以减少传质损失。对圆柱形试件,两端用锡箔遮挡、反射微波能,以保证周向吸收。

微波炉不在满输出功率状态下工作时,磁控管发射微波能总是处于间歇工作状态。因而,实验中电压或温度的测量总是在磁控管停止发射微波时开始进行,并在重新启动前结束

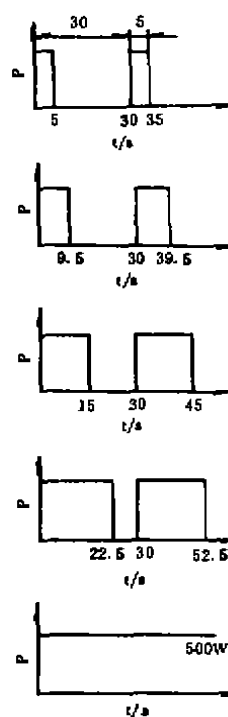


图2 微波炉输出功率波形

测量。以保证获得稳定、可靠的实验数据。

3 实验的结果与讨论

图3、图4为圆柱(长径比3:1)形 Tylose 材料的微波解冻曲线。对于较小直径的试件,微波功率密度相对较大,相变过程不明显,尤其在接近表面的测点上较为显著,如图3、图4中的曲线(a)。而在解冻结束后的升温阶段,中心点的温度变化速率最大,在一定时间后超过其它点上的温度值。

图5、图6为不同直径圆球试件的微波解冻曲线。对于与圆柱同样直径的球,在本实验中球的体积较之于柱体体积要小得多。因此,在相同的入射功率下,球体内的功率密度更高,前述之解冻特征,如相变过程不明显,升温阶段中心点的温度变化速率大等更突出。此处不赘述。

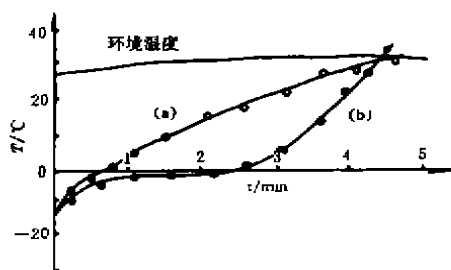


图 3 不同位置的微波解冻曲线,圆柱(D=20mm)
(a) R=10mm 处; (b) R=5mm 处

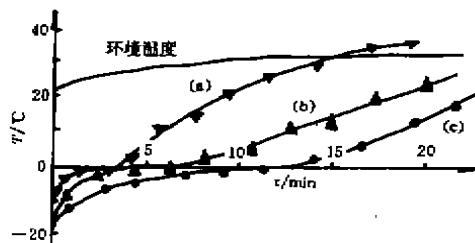


图 4 不同位置的微波解冻曲线,圆柱(D=60mm)
(a) R=30mm 处 (b)R=20mm 处
(c)R=10mm 处

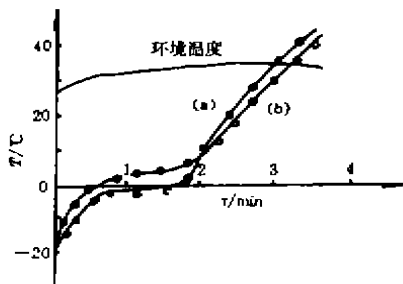


图 5 不同位置的微波解冻曲线,球(D=20mm)
(a) R=10mm 处 (b) R=5mm 处

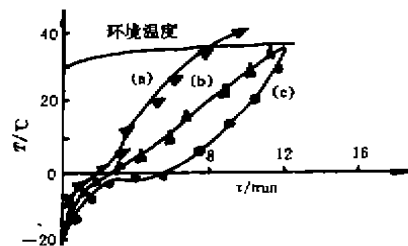


图 6 不同位置的微波解冻曲线,球(D=60mm)
(a) R=30mm (b) R=20mm
(c)R=10mm

需要注意的是,无论是球还是圆柱体的微波解冻曲线都具有以下特征:

a) 在相变区以前的解冻阶段,沿径向的温度分布为越靠近中心点温度越低。这是因为解冻首先在材料表面附近开始。解冻后,水吸收大量的热,微波能的影响主要在表面附近。而在

中心区域附近材料尚未解冻,导热是介质中温度升高的主要原因。

b) 在相变区域,由于解冻后的水吸收大量的热,内热源的强支配作用使得潜热释放很快,因而相变区域狭窄。尤其是对于直径较小的球,中心温度与边界温度值相差很小,解冻曲线几乎重合。

c) 在解冻后的升温阶段,中心区域的温度变化率很大, $T-\tau$ 曲线呈上凹趋势;而外层区域的温度变化率较小, $T-\tau$ 曲线呈上凸形状,亦即 $(dT/d\tau)_{中心} > (dT/d\tau)_{外部}$ 。在一定时间后中心区域的温度达到最高,这有别于表面对流解冻加热的规律。

为了便于比较食品材料微波解冻与空气自然解冻的规律,我们将直径为20mm的球形Tylose材料的微波解冻曲线与空气自然解冻曲线绘在同一张单对数坐标图7上。从图中可以看到,微波解冻可以大大缩短解冻时间(10倍左右),由此可带来降低食品营养成分损失等诸多优点。同时相变区域在整个解冻过程中所占比例对微波解冻较之于自然解冻要小得多。

4 结 论

对Tylos食品测试材料在微波能($P_0=83.3w$)辐射条件下解冻的一维传热实验研究,得出以下结论:

1) 在分析微波解冻过程中微波能作用的基础上,提出了描述微波解冻传热规律的支配性焓方程(2)式。从而为计算与分析微波解冻的传热过程提供了方便。

2) 由于食品材料在已解冻区与未解冻区对微波能的吸收率差异较大,在微波解冻曲线上相变区域狭窄,相变过程不明显,潜热释放很快。这是因为在相界面附近,已解冻材料中的水份吸收大量的热,导致相变区迅速解冻。

3) 在解冻后的升温阶段,中心区域的温度变化率大于周围区域的温度变化率。亦即, $(dT/d\tau)_{中心} > (dT/d\tau)_{外部}$ 。在 $T-\tau$ 曲线上表现为前者为上凹,后者为下凹。到一定时间后,中心温度超过周围温度。

4) 微波解冻较之于空气自然解冻方式有明显的优势。主要表现为:解冻时间大大缩短,加热浸透效果极佳,营养成分流失减少等。

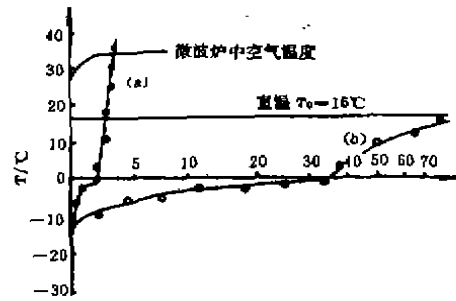


图7 球($D=20mm$)体微波解冻与自然解冻的比较
(a)微波解冻 $P=83.3W$ (b)空气自然解冻。

符 号 表

D 直径	q 微波能源项	K 导热系数
R 测点距离	H 焓	T 温度
P 功率	Z 微波穿透距离	τ 时间

参 考 文 献

- 1 Osepchuk J M. A History of Microwave Heating Application. IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques, 1984, VOL. MTT-32, No. 9:1200~1221
- 2 Schiffmann R F. Food product Development for Microwave Processing, Food Technology, 1986, 40(6):94
- 3 Rosenberg U and Bogl W. Microwave Thawing, Drying, and Baking in the Food Industry. Food Technology, 1987, 11(6):85
- 4 Mudgett R E. Microwave Properties and Heating Characteristics of Foods, Food Technology, 1986, 40(6):81
- 5 Bialod D, Jolion M and Legoff R. Microwave Thawing of Food Products Using Associated Surface Cooling. Journal of Microwave Power, 1978, 13(3)
- 6 曾欣, 辛明道. 食品工程中微波加热解冻的传热研究报告. 重庆大学工程热物理研究所, 1988
- 7 Riedel L. Eine Prufsubstanz fur Gefrierersuche. Kaltetchnik, 1960, 12:220~228
- 8 Bonacma G. et al. On the Estimation of Thermophysical Properties in Nonlinear Heat Conduction Problems. Int. J. Heat Mass Transfer, 1974, 17:861
- 9 Von Hippel A R. Dielectrise and Wave, M. I. T. Press, Cambridge, M A, 1954