



水平转盘与转鼓微波干燥均匀性的实验研究

王瑞芳, 李占勇

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 针对微波干燥存在的主要问题——干燥的不均匀性, 提出利用改变物料在微波场中的位置来改善物料对微波能吸收的均匀性, 从而达到微波干燥的均匀性. 以黄豆为物料, 比较了水平转盘与转鼓两种结构在不均匀的微波场中对物料干燥均匀性的影响. 结果表明: 转鼓微波干燥比水平转盘微波干燥更加均匀, 对于不均匀的微波场, 利用物料的随机运动可改善微波干燥的均匀性, 从而提高干燥产品的品质.

关键词: 微波干燥; 均匀性; 转鼓; 水平转盘; 黄豆

中图分类号: TQ051.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2009)04-0058-04

Experimental Study on Microwave Drying Uniformity in Rotating Turntable and Rotary Drum

WANG Rui-fang, LI Zhan-yong

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Focusing on the inherent problem, which is microwave drying non-uniformity, the changes of the materials' location in microwave field will improve the uniformity of microwave energy absorbed and then improve the uniformity of microwave drying. The uniformity of microwave drying was compared in rotating turntable and rotary drum conditions. Retweeted soybeans were dried in experiments. Experiments show that the drying uniformity in microwave rotary drum is better than that in rotating turntable. The random movement of the materials will improve the drying uniformity in the non-uniform microwave field and hence improve the quality of product.

Keywords: microwave drying; uniformity; rotary drum; rotating turntable; soybean

微波是一种频率在 0.3 ~ 300 GHz 之间, 波长范围为 0.001 ~ 1 m 的电磁波. 微波干燥是利用微波可被极性分子(比如:水)吸收的特点, 将微波能转化为热能, 使物料中的水分被整体加热, 达到干燥的目的. 与传统干燥相比, 微波干燥具有干燥时间短、设备紧凑以及环保等特点^[1], 被广泛应用于化工、食品等行业. 但在微波干燥的研究与应用中, 人们发现干燥不均匀性^[2-6]是影响微波干燥产品品质的主要因素. 因此, 解决微波干燥的不均匀性是微波干燥的研究热点.

目前, 改善微波干燥不均匀性的措施主要是通过改变微波腔内电磁场的模式来提高电磁场分布的均

匀性, 从而提高微波干燥的均匀性. 如: 增加馈能口的数量^[7]、安装模式搅拌器^[8-9]、使用多种频率不同的微波源^[10-11]、应用脉动微波加热^[12]、安装运动的微波辐射器^[13]以及合理设计微波腔的形状与大小等等. 但在微波干燥过程中, 物料干燥是否均匀除了受微波腔中电磁场(以下简称微波场)分布的影响外, 还受物料本身的形状、大小与介电特性等因素的影响, 而且, 微波场的分布随着物料的放入与干燥过程的进行不断的发生变化. 因此, 利用改变微波场的均匀性来改善微波干燥的均匀性是很困难的.

本文通过对水平转盘与转鼓微波干燥均匀性的实验研究, 指出在干燥过程中通过改变物料在微波场

收稿日期: 2009-03-19; 修回日期: 2009-05-20

基金项目: 天津科技大学科学研究基金资助项目(20070202)

作者简介: 王瑞芳(1974—), 女, 内蒙古人, 讲师, 博士研究生, wangruifang@tust.edu.cn.

中的位置可以提高微波干燥的均匀性.事实上,微波干燥的均匀性主要取决于物料对微波能吸收的均匀性.即使在不均匀的微波场中,物料位置不断改变也可提高物料对微波能吸收的均匀性,从而弱化了微波干燥均匀性对微波场分布均匀性的依赖.同时,实验对比了两种运动形式对微波干燥均匀性的改善程度.

1 材料与方 法

1.1 物料与仪器

物料选用干黄豆,将黄豆在室温条件下(24℃)的水中浸泡30min后放入密闭的聚乙烯袋子中,在4℃的环境下恒温72h,然后选出其中表面完好的黄豆作为实验材料.

微波源采用市售微波炉,工作频率为2450MHz,有5档可调的功率:126W、252W、406W、567W、700W;采用AR1140型电子天平(最小分度0.1mg)计量;以冰箱作为恒温室;绝干物料采用DL-101-3BS型电热鼓风干燥箱进行测量.

1.2 干燥均匀性的确定方法

为了减少由于实验样本的质量不同和含水量偏差引起的差别,干燥效果以湿含量降低率 E 表示.干燥均匀性通过干燥不均匀率 δ 来表示.

$$E = \frac{h_0 - h_t}{h_0} \quad (1)$$

式中: h_0 为初始干基湿含量; h_t 为干燥后的干基湿含量.

$$\delta = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\text{av}}} \quad (2)$$

式中: E_{\max} 为最大湿含量降低率; E_{\min} 为最小湿含量降低率; E_{av} 为平均湿含量降低率.

1.3 水平转盘干燥实验^[14]

实验装置如图1所示,9个盛放物料的开口容器(高约20mm)分为三层并依次沿横向均匀摆放,编号为*j-i*(*j*为列,*i*为层).每列间距约为70mm,每层间距约为65mm.让微波炉中水平转盘转动从而带动

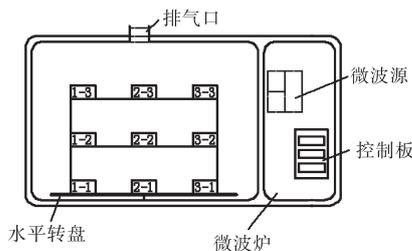


图1 水平转盘微波干燥实验容器放置示意图

Fig.1 Schematic of the sample position in rotating turntable microwave drying experiment

盛放黄豆的容器作水平转动,转盘转速为5r/min.实验中采用126W的功率,每个容器中放入黄豆120粒(实验中物料的总质量为270g,初始干基湿含量为30%),每隔4min将容器中的黄豆取出称重,并快速放回,总干燥时间为32min.

1.4 转鼓干燥实验

实验装置如图2所示.用有机玻璃制成的转鼓直径为150mm,高度为200mm,内有6个均匀分布的与转鼓轴平行的抄板,其长度为200mm,宽度为5mm.转鼓壁上开有若干直径为3mm的小孔,以便于排除水汽.转鼓轴由调速电动机带动,转速定为5r/min.实验中,将一定的通风量(室温)引入转鼓,加速蒸发水汽的排除.在转鼓中放入270g黄豆(初始干基湿含量为28.65%),其中取90粒为实验样本,将90粒分为3组,每组30粒,用不同的颜色标记.实验中采用126W的功率,每隔4min将3组黄豆取出称重,并快速放回,总干燥时间为32min.

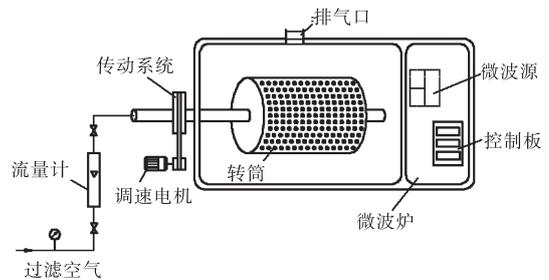


图2 转鼓微波干燥实验装置示意图

Fig.2 Schematic of microwave rotary drum drying experiment

2 结果与分析

2.1 水平转盘干燥

图3(a)—图3(c)分别为水平转盘微波干燥实验中每一层($i=1,2,3$)的三个位置的湿含量降低率曲线.图中显示,每一层的位置1与位置3的湿含量降低率随时间的变化曲线接近于平行或重合,这表明每一层的位置1与位置3的物料干燥效果比较均匀.主要原因是在干燥过程中,每一层的位置1与位置3的物料随着转盘的旋转占据相同的位置,从而受到了相同的微波辐射.这表明对于不均匀的微波场,可以通过改变物料的位置达到干燥的均匀性.而每一层的位置2(中间位置)的湿含量降低率与位置1、3(周边位置)明显不同,这是由于在转盘的转动过程中,位置2与位置1、3占据的电场不同,由于电场的不均匀而造成位置2与位置1、3对微波能吸收的不均匀,最终导致其干燥效果的不均匀.

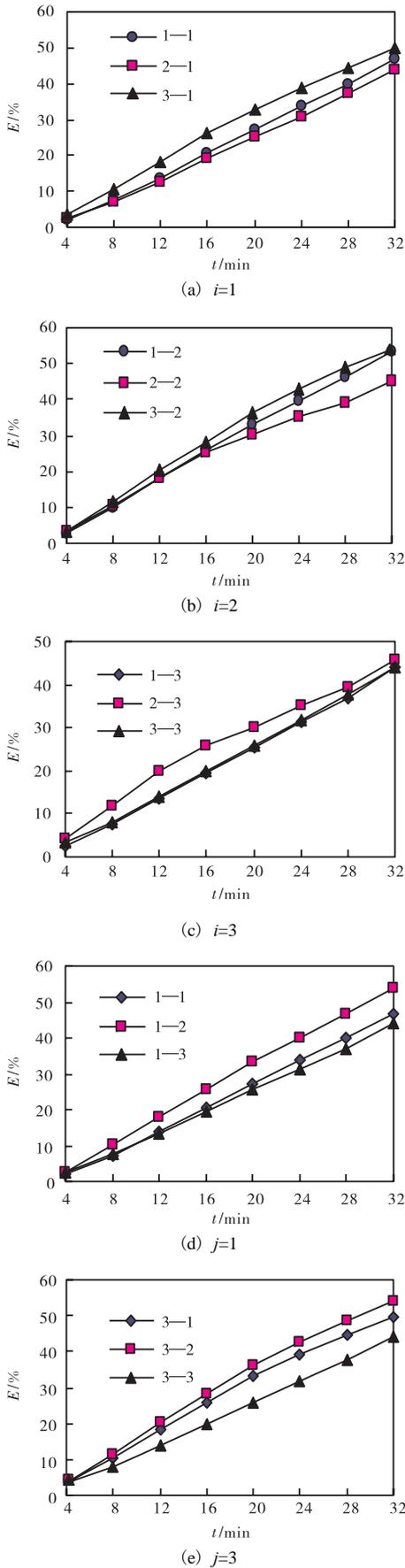


图3 转盘微波干燥湿含量降低率曲线

Fig.3 Rotating turntable microwave drying curve

另取干燥效果比较均匀的位置 1 和位置 3,分别作其在各层的湿含量降低率曲线,如图 3(d)和图 3(e)所示. 在竖直方向,不同层的同一位置的湿含量降低率均不同. 这主要是由于在竖直方向各层不均匀的电磁场分布造成了不均匀的干燥效果.

水平转盘微波干燥实验表明:在不均匀的微波场中,通过水平转盘转动改变物料在微波场中的位置可以改善微波干燥的不均匀性,但只通过水平转动转盘而物料相对静止来改变物料对微波能吸收的均匀性是非常有限的. 转盘的转动只能提高物料在同一层的热均匀性,对于物料的不同层,其热不均匀性仍然明显.

2.2 转鼓干燥

转鼓微波干燥实验结果如图 4 所示. 3 组实验样本的湿含量降低率随时间的变化曲线非常接近,这表明转鼓微波干燥的干燥效果比较均匀. 主要原因是物料随着转鼓的转动而作随机运动,在物料随机运动的过程中,可占据微波场的不同位置,从而吸收近似相同的微波能,达到干燥的均匀性.

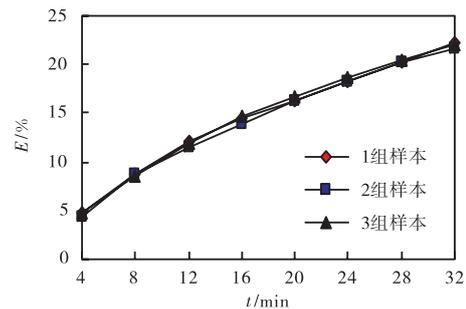


图4 转鼓微波干燥湿含量降低率曲线

Fig.4 Rotary drum microwave drying curves

2.3 水平转盘与转鼓微波干燥均匀性比较

针对水平转盘可提高物料在同一层的热均匀性,图 5 比较了水平转盘各层与转鼓微波干燥的均匀性. 在近似相同的实验条件下(功率质量比(W:g)均为 0.467,初始干基湿含量约为 30%),转鼓微波干燥的不均匀率远小于水平转盘微波干燥中各层的不均匀率. 这进一步表明转鼓微波干燥利用物料的随机运动大大降低了微波干燥的不均匀性. 转鼓微波干燥的干燥不均匀率随着时间(或湿含量)的变化很小,接近于恒定值,这表明在整个干燥过程中,转鼓微波干燥的干燥效果是相近的,对提高产品的品质非常有利. 对于水平转盘的各层,其不均匀率各不相同,主要是因为不同层的微波场强度及分布不同^[4]. 第 2 层的不均匀率较小且比较稳定,与第 2 层的微波场分布比较均匀有关. 第 1 层与第 3 层的不均匀率随着湿

含量的降低而降低.当物料湿含量较高时,物料中的极性分子吸收的微波能差异大,从而导致高的不均匀率.随着湿含量的不断降低,物料中极性分子的减少降低了对微波能吸收的差异,不均匀率也随之降低.

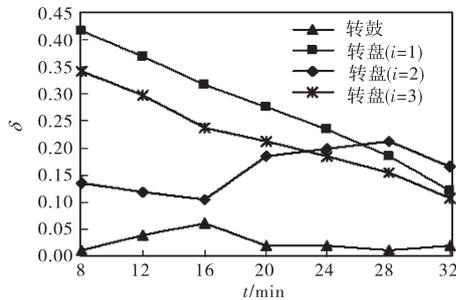


图5 水平转盘与转鼓微波干燥均匀性比较

Fig.5 Comparison of drying uniformity in rotating turntable and rotary drum microwave drying

3 结论

解决微波干燥的不均匀性,关键在于解决物料对微波能吸收的不均匀性.通过在干燥过程中改变物料的位置来弱化对电磁场分布的依赖性,即使在一个不均匀的微波场中,通过物料位置的不断改变也可提高物料对微波能吸收的均匀性,从而改善微波干燥的不均匀性,提高干燥产品的品质.但物料不同的运动形式对微波干燥均匀性的改善程度不同.水平转盘微波干燥只能提高物料同一层的干燥均匀性,而对于物料的不同层,其干燥效果是不均匀的.转鼓微波干燥利用物料在转鼓内作随机运动,物料在微波场中可占据不同的位置而吸收近似相同的微波能,大大提高了物料干燥的均匀性.

参考文献:

- [1] Zhang M, Tang J, Mujumdar A S, et al. Trends in microwave related drying of fruits and vegetables[J]. Trends Food Sci Tech, 2006, 17: 524-534.
- [2] Ohlsson T, Risman P O. Temperature distribution of microwave-heating spheres and cylinders[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1978, 13(4): 303-309.
- [3] Manickavasagan A, Jayas D S, White N D G. Non-uniformity of surface temperatures of grain after microwave treatment in an industrial microwave dryer[J]. Dry Technol, 2006, 24(12): 1559-1567.
- [4] Vadivambal R, Jayas D S, Chelladurai V, et al. Temperature distribution studies in microwave-heated grains using a thermal camera[C]//2007 ASABE/CSBE North Central Intersectional Conference. St Joseph, Michigan: The American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.
- [5] Goksoy E O, James C, James S J. Non-uniformity of surface temperatures after microwave heating of poultry meat[J]. J Microwave Power E E, 1999, 34(3): 149-160.
- [6] Zielonka P, Gierlik E. Temperature distribution during conventional and microwave wood heating[J]. Holz Roh Werkst, 1999, 57(4): 247-249.
- [7] Dominguez-Tortajada E, Plaza-Gonzalez P, Diaz-Morcillo A, et al. Optimisation of electric field uniformity in microwave heating systems by means of multi-feeding and genetic algorithms[J]. International Journal of Materials & Product Technology, 2007, 29(1-4): 149-162.
- [8] Plaza-Gonzalez P, Monzo-Cabrera J, Catala-Civera J M, et al. New approach for the prediction of the electric field distribution in multimode microwave-heating applicators with mode stirrers[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2004, 40(3): 1672-1678.
- [9] Plaza-Gonzalez P, Monzo-Cabrera J, Catala-Civera J M, et al. Effect of mode-stirrer configurations on dielectric heating performance in multimode microwave applicators[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(5): 1699-1706.
- [10] Bows J R. Variable frequency microwave heating of food[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1999, 34(4): 227-238.
- [11] Kashyap S C, Wyslouzil W. Methods for improving heating uniformity of microwave ovens[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1977, 12(3): 223-230.
- [12] Yang H W, Gunasekaran S. Comparison of temperature distribution in model food cylinders based on Maxwell's equations and Lambert's law during pulsed microwave heating[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 64(4): 445-453.
- [13] Anfinogentov V I, Garayev T K, Morozov G A. Optimization of dielectric microwave heating by moving radiator[C]//12th International Conference on Microwave and Telecommunication Technology Proceedings. Sevastopol-Moscow, Russia: Weber Publishing, 2002: 2.
- [14] 苏伟光, 王瑞芳, 曹斌, 等. 静置及水平转盘条件下黄豆微波干燥实验研究[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(4): 236-239.