

粮油产品的流化加工研究

刘巍, 杨松祥, 王守芳, 李枫

(南京师范大学 能源与机械工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 针对工业生产中的流态化操作技术,在简要分析了其操作特性及示例了典型工艺流程的基础上,分别围绕着干燥与热解两处理过程,列举了该类技术于当前粮油产品加工领域中的若干应用与研发实例.并重点就实际生产过程中物料停留时间的定量控制问题,探讨了相应的不足之处及提议了初步的改进方向,即宜结合设备结构尺寸的分析、器内流场的模拟及热质传递速率的计算等,进行物料停留时间的系统性工程设计.

[关键词] 流态化,粮油产品,干燥,热解,应用

[中图分类号] TQ028.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2011)01-0080-04

Study on Fluidization Processing of Grain and Oil Product

Liu Wei, Yang Songxiang, Wang Shoufang, Li Feng

(School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: In view of the fluidization operation, one of the industrial production technologies, the operational performance is analyzed in brief and the typical process flows are also shown. Based on it, several application and development examples of this type technology in the present grain and oil product processing are enumerated around the two process operations of drying and pyrolysis, respectively. Furthermore, concerning the quantitative control of material residence time, the relative deficiency is discussed and the preliminary improvement direction is proposed. The concrete suggestion can be summarized as the systemic engineering design should be performed for material residence time by combining with the analyses of equipment structure and dimension, the simulations of flow field in bed and the calculations of heat and mass transfer velocities.

Key words: fluidization, grain and oil product, drying, pyrolysis, application

我国作为一个农业生产大国,是世界上主要的粮油生产与消费国之一,据国家统计局的公报可知,2009 年我国粮食产量已高达 53 082 万 t,油料产量亦增至 3 100 万 t^[1],这一方面极大增强了我国的财力、国力,另一方面亦对该类产品的后续加工与存贮等提出了更高的技术要求和挑战.据文献报道,现阶段我国粮油等农作物产品在其产后运输及加工过程中的损耗现象依然十分严重,部分品种的损耗率甚至高达 30%,而相应发达国家一般均能较好地控制于 5%~20%^[2].围绕着粮油产品的产后高效生产与加工,近些年来,国内外学者们主要集中在两方面开展了大量的研究工作^[3-6],一是基于当前较新兴的生产技术如红外、微波和冷冻干燥等,试图去嫁接或替代传统的粮油生产操作;二是针对部分传统的工程技术方法,通过对相应操作机理的进一步分析、挖掘以及对于工艺流程的局部改进或优化,以最大程度地提升其自身于粮油产品生产中的适应与针对性.

流态化技术即为一类相对传统的工业生产技术,其在当前的粮油产品生产与加工领域有着日益广泛而深入的应用,相关技术研发近年来亦屡见报道.本文拟围绕干燥与热解两类常见的生产处理过程,简要综述一下该类技术于当前粮油产品生产与加工领域中的应用及研发进展.

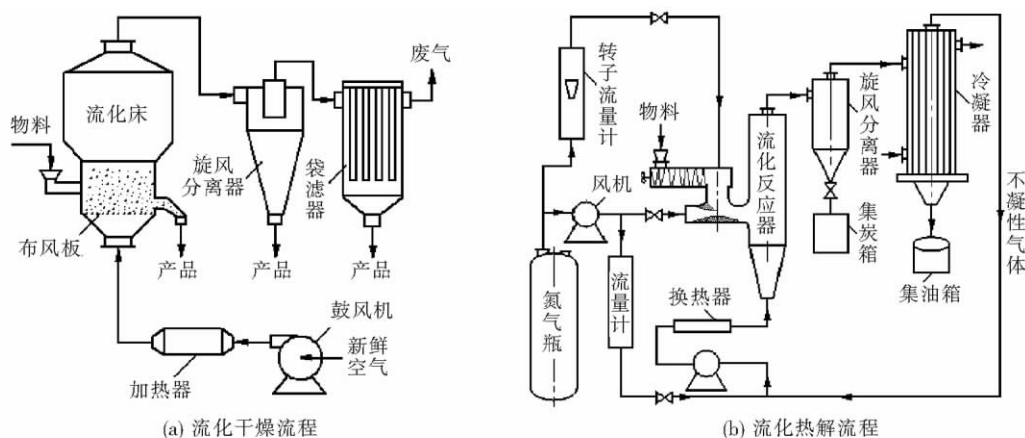
1 流态化操作原理与流程

流态化是指利用流动流体的作用,促使固体颗粒悬浮于流体介质中,从而使得固体颗粒呈现出类似于

收稿日期: 2010-10-19.

通讯联系人: 刘巍,博士,副教授,研究方向:干燥技术及其设备制造. E-mail: nsdlw@sohu.com

流体的某些表现特性的过程操作^[7],相应生产设备习惯称为流化床.流态化技术操作时,由于可显著增大床内相间的热传递面积,因此与其他类似的化工单元操作相比,常具有高效率的操作特性,故自 1921 年该类技术首次发明以来^[8],相关的应用研发即受到学者们的高度重视与关注,至今已被成功应用于煅烧、焚烧、冷却、造粒、干燥及热解等^[9]诸多工业生产环节.其中,就粮油产品的生产加工而言,干燥与热解两过程则相对更为常见,图 1(a)和(b)分别示意了其各自典型的工艺流程^[10,11],详细说明分别参见文献[10]和[11],此处不再赘述.

图 1 流态化操作流程^[10,11]Fig.1 Fluidization operation flow^[10,11]

2 粮油产品加工领域中的应用研发

流态化技术因其高效的生产特性,于粮油产品的加工领域有着广泛应用,相关技术研发亦日趋深入.

2.1 流化干燥加工实例

Meeso 等^[12]针对水稻的常压流化干燥过程,辅以远红外线照射,开展了旨在降低产品湿含量及研磨质量的实验考察,并达到了预期效果.尹磊昌等^[13]通过理论分析与试验研究,应用数理统计的方法,建立了一数学拟合模型,可较准确地预测玉米于脉动流化干燥过程中的含水量变化.谢丽芳等^[14]针对小米的流化干燥过程,开展了物料湿含量及床层温度变化的实验考察.结果发现,对系统辅以适当的脉动可更有助于流化操作的节能.Özbey 等^[15]利用涡流进风的流化床,开展了小麦干燥性能的实验考察,结果表明涡流进风可在很大程度上强化体系的热质传递性能.此外,该研究还详细报道了涡流进风流率与温度对于干燥性能的具体影响规律.Nersin 等^[16]采用备有微波辅助加热装置的流化床,开展了小麦的流化干燥实验.结果发现,微波辅助加热可使得物料的干燥时间明显缩短.Hatamipour 等^[17]基于惰性粒子流化小试装置,对玉米等物料进行了干燥实验考察,并最终建立了干燥速率等指标的定量描述模型,且模型对数据的拟合效果较为显著.Izadifar 等^[18]对水稻于错流流化床中干燥性能给予了深入研究,其间通过动量、质量和能量衡算,构建了一可靠度甚高的数学描述模型,从而为相似的工业生产过程提供了较直接的理论指导.杨小静等^[19]针对玉米的流化干燥过程,利用 Page 方程拟合实验数据,结果获得了可反映过程变化特征的数学表达式.类似地,笔者亦在前期工作^[20,21]的基础上,初步开展了玉米的惰性粒子流化干燥实验,效果尚可,目前正待进行进一步的数值模拟与优化.

2.2 流化热解加工实例

柏雪源等^[22]设计制作了以等离子体为主热源的流化床热解液化装置,并以玉米秸秆粉为原料,在不同温度、不同喂料速率下进行了一系列的热解液化试验,并最终获得了优化的工况操作参数.刘焕卫等^[23]以玉米秸秆粉为原料、氩气为流化气体、石英砂为流化介质,在自行设计的流化床上进行了热裂解试验,从而归纳了生物油收集率等指标随操作温度、喂料速率及压差等因素的变化规律.Jung 等^[24]运用装备有碳分离装置的流化床热分解系统,开展了由秸秆中提取生物油的实验研究.结果表明,较小的原料尺寸更加有利于生物油的提取且可有效减少副反应的发生,以及碳分离系统的引入可明显降低生物油产品中的固

体含量. Li 等^[25]于常压流化床中,开展了催化裂化棉籽油提取生物油的实验,其间结合响应面分析法确定了生物油产率最高时的反应操作条件. Wan 等^[26]亦针对流化热解过程,撰文对比了紫檀木、中国冷杉、东北白蜡木和秸秆4种原料提取生物油的可行性,同时构建了相应的数学描述模型,以解释温度对热分解指标的影响,结果与实验数据基本吻合. 冉景煜等^[27]利用热重法研究了稻壳、稻草、玉米芯和玉米秆4种生物物质的热解与动力学特性. 结果表明,热解过程可大致划分成3个阶段,即预热干燥阶段、挥发组分析出阶段和炭化阶段,且热解失重主要发生在挥发组分析出阶段.

3 进一步研发建议

综上所述,围绕着粮油产品的流态化生产,各国学者已立足于诸多方面开展了大量深入而细致的研究,取得的成果亦相当丰硕. 作为补充或参考,笔者拟针对该类操作的进一步研发问题,提出自己的一点建议,即关于物料于反应器内停留时间的定量控制问题. 就粮油产品的流化生产而言,为避免产品于高温环境下变质或色泽变焦,务必在确保生产达标的前提下尽可能地减少物料于器内的停留时间,而相关的理论研究尚鲜见报道,目前企业界仍多是依赖经验、半经验或简单地依据风速大小对设备的尺寸加以设计,进而实现对物料停留时间的控制. 显然,该种控制法难以满足现代“精密化”工业生产的要求,即易导致出口产品指标的不均一,尤其当不同批次原料的形状、尺寸等出现差异时尤为如此. 可见,寻找一种更为可靠的物料停留时间控制法实乃必要,但新方法的建立,无疑又是一项极为复杂、繁琐的系统性工程计算命题,需涉及设备结构尺寸的分析、器内流场的模拟,以及热质传递速率的计算等诸多子课题. 随着现代计算机模拟技术的日益发展以及多相流化机理研究的日臻成熟,诸如物料停留时间的控制等一系列生产与实践难题均可得以克服和解决,届时流态化技术势必在包括粮油产品加工等众多领域中得到更为广泛的应用.

[参考文献](References)

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2009年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2010-02-25]. http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgnd/tjgb/t20100225_402622945.htm.
National Bureau of Statistics of China. The statistical bulletin of the 2009 national economic and social development of the people's republic of china [EB/OL]. [2010-02-25]. http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20100225_402622945.htm. (in Chinese)
- [2] 徐晓东, 崔政伟. 农产品和食品干燥技术及设备的现状和发展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 172-174.
Xu Xiaodong, Cui Zhengwei. Status and development of drying technology and equipment for agricultural products and food production [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(12): 172-174. (in Chinese)
- [3] 刘春山, 杨海, 刘洪义, 等. 谷物干燥过程数学模型的建立与参数分析[J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 55-57.
Liu Chunshan, Yang Hai, Liu Hongyi, et al. Mathematical model establish and parameter analysis of grain drying process [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4): 55-57. (in Chinese)
- [4] Özbey M, Söylemez M S. Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(9/10): 1495-1512.
- [5] 胡智清, 张岚, 辛继红. 谷物流化床干燥器设计[J]. 农机化研究, 2008, 30(10): 75-78.
Hu Zhiqing, Zhang Lan, Xin Jihong. Design on fluid-bed desiccator for corn [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(10): 75-78. (in Chinese)
- [6] Souraki B A, Mowla D. Simulation of drying behaviour of a small spherical foodstuff in a microwave assisted fluidized bed of inert particles [J]. Food Research International, 2008, 41(3): 255-265.
- [7] 姚玉英, 陈常贵, 刘邦孚, 等. 化工原理[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2004.
Yao Yuying, Chen Changgui, Liu Bangfu, et al. Principles of Pharmaceutical and Chemical Engineering [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2004. (in Chinese)
- [8] 伍沅. 干燥技术的进展和应用[J]. 化学工程, 1995, 23(3): 47-57.
Wu Yuan. Advances and applications of drying technologies [J]. Chemical Engineering, 1995, 23(3): 47-57. (in Chinese)
- [9] 时钧, 汪家鼎, 余国琮, 等. 化学工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996.
Shi Jun, Wang Jiading, Yu Guocong, et al. Handbook of Chemical Engineering [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1996. (in Chinese)
- [10] 王志祥, 史益强, 黄德春. 制药化工原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

- Wang Zhixiang, Shi Yiqiang, Huang Dechun. Principles of Pharmaceutical and Chemical Engineering [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [11] 董健. 笋壳流化床快速热解制取生物油的研究 [D]. 福州: 福建农林大学食品科技学院, 2009.
Dong Jian. Bio-oil prepared by Rapid pyrolysis of bamboo shoot shell in fluidized bed [D]. Fuzhou: College of Food Science and Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, 2009. (in Chinese)
- [12] Meeso N, Nathakaranakule A, Madhiyanon T, et al. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(2): 293-301.
- [13] 尹磊昌, 王相友, 杨文. 玉米脉动流化干燥数学模型的建立与验证 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 251-255.
Yin Leichang, Wang Xiangyou, Yang Wen. Modeling of drying corn in pulsed fluidized bed and test validation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(10): 251-255. (in Chinese)
- [14] 谢丽芳, 张长勇, 程榕, 等. 脉动流化干燥过程的实验研究 [J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(1): 27-30.
Xie Lifang, Zhang Changyong, Cheng Rong, et al. Research on pulsed fluidized drying process [J]. Drying Technology and Equipment, 2007, 5(1): 27-30. (in Chinese)
- [15] Özbey M, Söylemez M S. Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46 (9/10): 1 495-1 512.
- [16] Nesrin K L, Serpil S, Gulum S. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(2): 159-169.
- [17] Hatamipour M S, Mowla D. Drying behavior of maize and green peas immersed in fluidized bed of inert energy carrier particles [J]. Food and Bioproducts Processing, 2006, 84(3): 220-226.
- [18] Izadifar M, Mowla D. Simulation of a cross-flow continuous fluidized bed dryer for paddy rice [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 58(4): 325-329.
- [19] 杨小静, 刘春元. 流化床干燥玉米的理论及试验结果分析 [J]. 河北工业大学学报, 2003, 32(1): 90-93.
Yang Xiaojing, Liu Chunyuan. The theoretical and experimental analysis on dried corn in a fluidized bed dryer [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2003, 32(1): 90-93. (in Chinese)
- [20] 刘巍, 李建国, 汤文成. 惰性粒子流化床干燥器中干燥强度的关联模型 [J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2005, 29(6): 705-708.
Liu Wei, Li Jianguo, Tang Wencheng. Correlation formula of drying intensity for inert particles fluidized bed drier [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005, 29(6): 705-708. (in Chinese)
- [21] 刘巍, 汤文成. 气体分布板开孔结构对流化床干燥性能的影响 [J]. 中国工程科学, 2006, 8(2): 47-50.
Liu Wei, Tang Wencheng. Effects of structure of opening hole in gas distributor on drying property for fluidized bed drier [J]. Engineering Science in China, 2006, 8(2): 47-50. (in Chinese)
- [22] 柏雪源, 易维明, 王丽红, 等. 玉米秸秆在等离子体加热流化床上的快速热解液化研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 127-130.
Bai Xueyuan, Yi Weiming, Wang Lihong, et al. Fast pyrolysis of corn stalk for bio-oil in a plasma heated fluidized bed [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(12): 127-130. (in Chinese)
- [23] 刘焕卫, 易维明, 柳善建, 等. 流化床热裂解影响因素的研究 [J]. 农机化研究, 2007, 29(9): 137-139.
Liu Huanwei, Yi Weiming, Liu Shanjian, et al. Influence of the operating parameters on pyrolysis of the fluidized bed [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(9): 137-139. (in Chinese)
- [24] Jung S H, Kang B S, Kim J S. Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2008, 82(2): 240-247.
- [25] Li H, Shen B, Kabalu J C, et al. Enhancing the production of biofuels from cottonseed oil by fixed-fluidized bed catalytic cracking [J]. Renewable Energy, 2009, 34(4): 1 033-1 039.
- [26] Wang S, Fang M, Yu C, et al. Flash pyrolysis of biomass particles in fluidized bed for bio-oil production [J]. China Particulate, 2005, 3(1): 136-140.
- [27] 冉景煜, 曾艳, 张力, 等. 几种典型农作物生物质的热解及动力学特性 [J]. 重庆大学学报, 2009, 32(1): 76-81.
Ran Jingyu, Zeng Yan, Zhang Li, et al. Pyrolysis and kinetics characteristics of typical crop biomasses [J]. Journal of Chongqing University, 2009, 32(1): 76-81. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]