

刘 扬,曹昕昕,兰海鹏,等. 搅拌工艺参数对糙米混合特性影响的数值模拟[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):214-217.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.057

搅拌工艺参数对糙米混合特性影响的数值模拟

刘 扬^{1,2}, 曹昕昕³, 兰海鹏¹, 唐玉荣¹, 沈柳杨¹, 栗 文¹

(1. 塔里木大学机械电气化工程学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学现代农业工程重点实验室, 新疆阿拉尔 843300;
3. 国网河南省电力公司信阳供电公司, 河南信阳 464000)

摘要:基于离散元法,利用 EDEM 软件对 U 型混合机内糙米颗粒混合特性进行模拟研究,分析搅拌工艺参数对糙米颗粒混合程度的影响,得到不同搅拌工艺参数下糙米颗粒混合过程的能耗。结果表明,转速的增加明显提高了混合速度,对混合终了时的混合度作用不明显;混合初期不同填充率下混合速度相差不大,填充率为 44.2% 时混合终了时的混合度最高。转速对糙米颗粒混合能耗影响不大,填充率与能耗呈线性增长关系。研究结果可为稻谷加工增混设备的改进及操作控制提供依据和参考。

关键词:糙米;混合;EDEM;工艺参数;模拟

中图分类号: S233.5; TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2017)15-0214-03

颗粒物质的特殊性,使其超越了固体、液体和气体的界限,被视为第四态物质^[1-3]。由于不同颗粒的物理性质存在较大差异,不同颗粒的混合过程不同。混合机是利用外力使颗粒体系达到混合均匀的机械设备,但是目前还没有一种混合机能用于混合任意颗粒,往往要根据颗粒物理性质选择合适的混合机和相应的工艺参数^[4]。颗粒的物理性质、混合工艺参数、混合机结构等对混合过程和混合效果均有显著影响^[5]。

颗粒混合运动十分复杂^[6-8],物理混合试验难以获得微观参数信息,具有局限性。目前,离散单元法已经成为研究颗粒混合领域问题的重要工具,基于数值模拟的研究方法具有广阔的发展前景^[9-11]。在固体颗粒混合方面,国内外研究者应用离散元法的研究主要集中在容器回转型混合机内颗粒的运动规律和混合过程,容器回转型混合机主要有滚筒型、V 型、双锥型等。如李少华等对回转窑内颗粒运动规律和混合过程进行了大量的数值模拟研究^[12-14]。赵永志等提出在滚筒内设置十字形内构件的增混方式,得到滚筒内二元颗粒体系的增混机理^[15]。Cleary 等对 V 型混合机内颗粒混合过程和混合机理做了更深入分析,并对混合机进行模拟放大研究^[16]。但是离散元法在容器固定型混合机上的应用研究相对较少,对其内部颗粒的混合特性尚需深入研究,该类研究可为容器固定型混合机的改进及操作控制提供依据和参考。

本试验基于商业软件 EDEM 对糙米颗粒在容器固定型叶片搅拌式混合机内的混合特性进行模拟研究,定量分析转速和填充率等搅拌工艺参数对糙米颗粒混合程度的影响,确定不同搅拌工艺参数下糙米颗粒混合的能耗。

收稿日期:2016-04-04

基金项目:塔里木大学校长基金(编号:TDZKQN201606);塔里木大学现代农业工程重点实验室开放课题(编号:TDNG20150102);新疆生产建设兵团工业科技攻关项目(编号:2015AB039)。

作者简介:刘 扬(1990—),男,黑龙江鹤岗人,硕士,讲师,从事农产品加工与贮藏研究。E-mail:hxtxylove@126.com。

通信作者:兰海鹏,硕士,副教授,从事农产品加工与贮藏研究。E-mail:lanhaipeng@126.com。

1 初始参数定义

1.1 颗粒

模拟的糙米颗粒为文献[17-19]中的干糙米。采用千分尺测量随机选取的 100 粒糙米的长短轴尺寸,最后取平均值确定糙米尺寸。试验测定的颗粒长轴 $L = 3.5 \text{ mm}$,短轴 $D = 1.4 \text{ mm}$ 。糙米外观形态接近椭球体,在仿真软件 EDEM 中生成的糙米颗粒模型如图 1 所示。在仿真模拟中,所有的糙米颗粒尺寸完全相同。糙米颗粒的物性参数为密度 $1\,538 \text{ kg/m}^3$,剪切模量 $1.1 \times 10^7 \text{ Pa}$,泊松比 0.4。

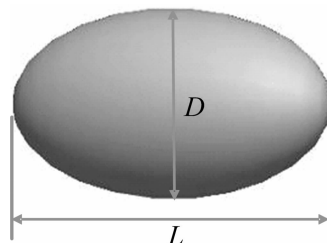


图1 数值模型颗粒构造

1.2 混合机

混合机由 U 型罐体和搅拌叶片组成(图 2)。罐体宽 B 为 82 mm,高 H 为 115 mm,内径 R 为 33 mm。搅拌轴由上下错位等间距排列的 8 个曲状叶片组成,叶片垂直长度 30 mm、弧长 30.3 mm、宽度 10 mm、厚度 1.5 mm,叶片间距 10 mm。模拟中的混合机材质为钢,其物性参数为密度 $7\,800 \text{ kg/m}^3$,剪切模量 $7 \times 10^{10} \text{ Pa}$,泊松比 0.3。糙米颗粒与糙米颗粒、糙米颗粒与混合机之间的碰撞参数如表 1 所示^[17-19]。

2 研究方法

模拟所用的软件为 EDEM,因模拟糙米颗粒为干颗粒,故忽略糙米间的黏附力及液桥力,采用软球碰撞模型,选用 Hertz-Mindlin (no slip) 接触力学模型。

模拟试验的第 1 步就是将糙米颗粒装填到混合机内,先后装填数量相同的糙米颗粒,颗粒分为上下 2 层,上下 2 层的

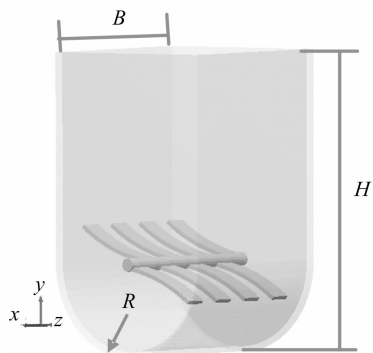
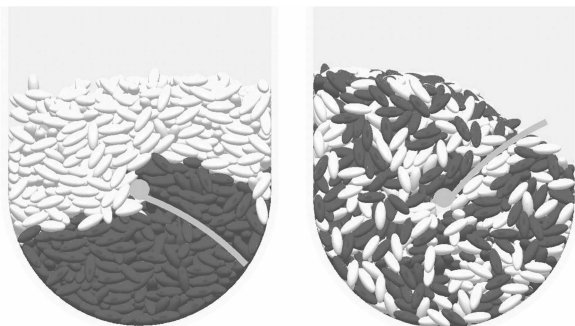


图2 数值模型几何体构造

表1 糙米碰撞参数

参数	数值
颗粒间恢复系数	0.60
颗粒间静摩擦系数	0.43
颗粒间动摩擦系数	0.01
颗粒与混合机的静摩擦系数	0.30
颗粒与混合机的动摩擦系数	0.01
颗粒与混合机的恢复系数	0.60

糙米物理参数完全相同。为便于观察糙米颗粒的运动规律以及混合情况,上层颗粒标记为白色,下层颗粒标记为灰色。待装填完成后,对轴设定不同的转速,轴带动叶片做旋转运动,混合期间糙米颗粒在叶片搅拌作用下发生复杂运动,致使分层的颗粒群混合均匀,如图3所示。



a. 颗粒群运动的初始形态 b. 颗粒群运动的终了形态

图3 颗粒群状态

本试验主要研究在不同工艺参数下分层糙米颗粒的最终混合程度以及颗粒运动所消耗的能量。采用 Lacey 指数评价法^[20]定量分析混合程度。Lacey 混合指数的数学表达式为

$$M = \frac{S_0^2 - S^2}{S_0^2 - S_R^2} \quad (1)$$

式中: S^2 为 2 色糙米颗粒的实际混合方差, S_0^2 为完全分离状态下的方差, S_R^2 为完全混合状态下的方差。

$$S_0^2 = pq; \quad (2)$$

$$S_R^2 = \frac{pq}{N} \quad (3)$$

式中: p 、 q 分别为 2 色颗粒在混合机内的体积分数, N 为一个样本内的平均颗粒数。

2 色颗粒的实际混合方差为

$$S^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{N_s} k_i (a_i - \bar{a})^2 \quad (4)$$

其中, N_s 为样本的总数, a_i 为 2 色颗粒中任意一色颗粒在样本 i 内的体积分数, \bar{a} 为相应颗粒在混合器内的体积分数, k 可表示为

$$k = \sum_{i=1}^{N_s} k_i \quad (5)$$

式中: k_i 为样本 i 的权重,可表示为

$$k_i = \frac{N_i}{N_t} \quad (6)$$

其中, N_i 为样本 i 内的颗粒数, N_t 为样本内所有颗粒总数。

根据搅拌与混合设备设计选用手册^[21],糙米颗粒运动消耗的能量计算公式为

$$W = 2\pi n T t \quad (7)$$

式中: n 为转速,r/min; T 为最大输出转矩,N·m; t 为混合时间(颗粒体系达到混合均匀的时间)。

其中,只考虑叶片提供颗粒运动所做的功,而不考虑轴承、传动装置摩擦等作用所消耗的能量。

3 模拟结果与分析

通过对糙米颗粒运动情况的观察分析,发现颗粒系统是在对流混合、扩散混合和剪切混合 3 种混合机制的共同作用下混合均匀的。对流混合是指在外力作用下,颗粒团从一处移动到另一处,发生宏观尺度的运动^[22]。扩散混合是指颗粒在运动过程中发生的颗粒尺度的相互穿插和渗透作用^[23]。剪切混合是指颗粒之间由于速度不同发生相对滑动进而改变相对位置所达到的混合^[24]。

3.1 工艺参数对混合度的影响

3.1.1 转速对混合度的影响 图 4 为转速在 10、20、30 r/min 条件下,混合程度与混合时间的关系曲线,此时填充率固定为 44.2%。从图 4 中可以明显看出,在转速参数范围内,随着混合时间的延长,颗粒体系的混合度先快速增大,接着增长速度降低,最后混合度不再发生变化,趋于定值。且转速越大,颗粒体系的混合速度越快,但 3 种转速下最终的混合度值接近,说明转速严重影响混合速度,而与颗粒体系最终的混合程度关系不大。分析其原因为,在混合初期,对流混合起主要作用,对流混合能快速降低颗粒混合体系的不均匀性,达到宏观上的混合均匀,所以混合初期混合速度较快。随着混合的进行,对流混合作用降低,扩散和剪切混合起主要作用,与对流混合相比扩散和剪切混合的混合速度较慢,可实现微观上的混合均匀。最后,在 3 种混合机制的作用下,颗粒体系混合均匀,混合终了时的混合程度无明显变化。随着转速的提高,颗粒的运动能力明显增强,颗粒运动更剧烈,3 种混合机制作用都得到增强,所以转速越高混合速度越快^[25]。

3.1.2 填充率对混合度的影响 图 5 为填充率在 44.2%、55.7%、67.3% 条件下,混合程度与混合时间的关系曲线,此时转速固定为 30 r/min。从图 5 中可以看出,在不同填充率条件下,3 种混合机制的共同作用使得颗粒体系的混合度先快速增加,随后增长速度降低,最后不再发生变化。混合初期 3 种填充率下的混合速度相差不大,但随着混合的不断进行,填充率为 44.2% 时混合速度最快,混合终了时混合度最高。分析其原因可能是在混合初期,不同填充率下对流混合作用都很强烈,所以混合速度相差不大。随着对流混合作用的削

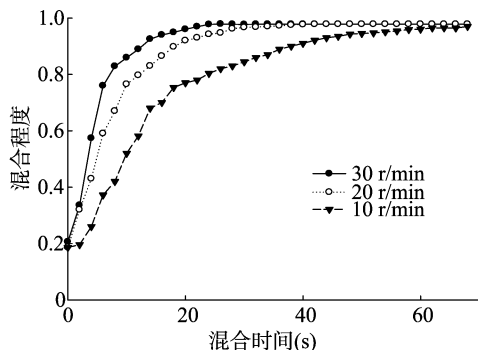


图4 不同转速下混合程度随混合时间的变化

弱,填充率越低,叶片每旋转 1 圈颗粒翻滚的次数越多,颗粒运动更加活跃,促进了扩散混合和剪切混合的作用,所以填充率最低时混合度最高。

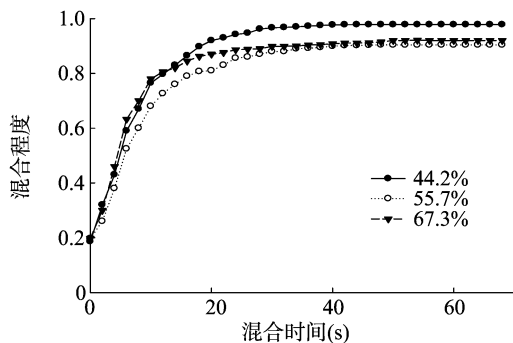


图5 不同填充率下混合度随混合时间的变化

3.2 工艺参数对能耗的影响

为得到不同搅拌工艺参数对能耗的影响,对颗粒混合均匀时能耗随工艺参数的变化进行分析,如图 6、图 7 所示。

3.2.1 填充率对能耗的影响 图 6 为计算得到的混合机内糙米颗粒混合均匀时能量消耗随叶片转速的变化,此时填充率固定为 44.2%。由图 6 可见,在 3 种转速下,转速为 20 r/min 时颗粒运动能耗最小,但能耗值相差不大。为得到不同转速下能量消耗偏离平均值的程度,求得 3 种转速下能耗值的变异系数 $CV=0.0315$,说明能耗波动值很小,能耗值接近。

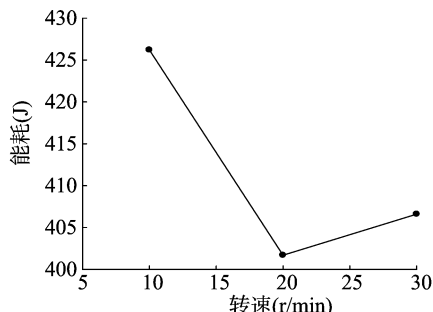


图6 转速对能耗的影响

3.2.2 填充率对能耗的影响 图 7 为计算得到的混合机内糙米颗粒混合均匀时能量消耗随填充率的变化,此时叶片转速固定为 30 r/min。

从图 7 可以看出,随着填充率的增加,颗粒运动消耗的能量增多,且填充率与能耗呈线性增长关系。分析其原因可能是填充率越大颗粒数量越多,搅拌叶片带动颗粒运动就越困难,混合时间变长,所以填充率增加时能量消耗增多。为进一

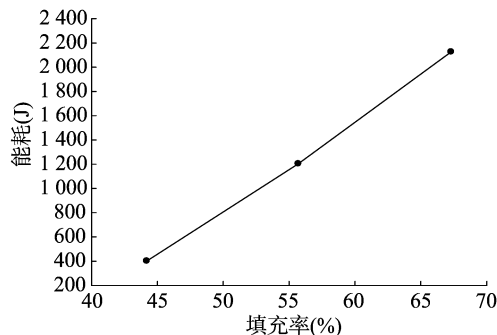


图7 填充率对能耗的影响

步建立其数学模型,采用 SigmaPlot 软件中 Linear 模型拟合填充率与能耗的数学关系。数学模型为

$$W = w_0 + a\varphi. \quad (8)$$

式中: W 为能量消耗; φ 为填充率; w_0 、 a 为模型系数, $w_0 = -2\,918.21$, $a = 7\,468.2$ 。

采用数学模型[式(8)]拟合后的方程决定系数 $R^2 = 0.9986$,方程拟合优度较好,表明该模型能很好地表征填充率与能耗的关系。能耗与填充率的关系表达式如下:

$$W = -2\,918.21 + 7\,468.2\varphi. \quad (9)$$

4 结论

本试验基于离散元法对糙米颗粒在容器固定性混合机内的混合特性进行了模拟研究。分层糙米颗粒间混合是在对流混合、扩散混合和剪切混合的共同作用下完成的。随着转速增加,混合速度明显提高,混合终了时的混合度与转速关系不大;随着填充率降低,混合速度相差不大,但混合终了时的混合度提高。搅拌工艺参数转速对能耗影响不大,填充率与能耗呈线性增长关系。

参考文献:

- [1] 欧阳鸿武,黄誓成,彭政,等. 颗粒物质的堵塞行为[J]. 粉末冶金材料科学与工程,2008,13(5):260-268.
- [2] 欧阳鸿武,黄誓成,刘卓民,等. 颗粒物质的堵塞行为与非晶相变[J]. 稀有金属材料与工程,2009,38(7):1310-1316.
- [3] 欧阳鸿武,黄立华,程亮,等. 低速转鼓中颗粒流态的滞后转变行为[J]. 粉末冶金材料科学与工程,2013,18(2):155-162.
- [4] 欧阳鸿武,何世文,廖奇音,等. 圆筒型混合器中颗粒混合运动的研究[J]. 粉末冶金材料科学与工程,2003,8(4):278-284.
- [5] Brone D, Wightman C, Connor K, et al. Using flow perturbations to enhance mixing of dry powders in V-blenders[J]. Powder Technology, 1997, 91(3):165-172.
- [6] Brone D, Muzzio F J. Enhanced mixing in double-cone blenders[J]. Powder Technology, 2000, 110(3):179-189.
- [7] Shinbrot T, Alexander A, Muzzio F J. Spontaneous chaotic granular mixing[J]. Nature, 1999, 397(6721):675-678.
- [8] 欧阳鸿武,何世文,陈海林,等. 粉体混合技术的研究进展[J]. 粉末冶金技术,2004,22(2):104-108.
- [9] Radl S, Brandl D, Heimburg H, et al. Flow and mixing of granular material over a single blade[J]. Powder Technology, 2012, 226(8):199-212.
- [10] Cleary P W. Particulate mixing in a Plough share mixer using DEM

唐英姿,蒋 峰. 远程无线高精度温室大棚环境监控系统设计[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):217-222.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.058

远程无线高精度温室大棚环境监控系统设计

唐英姿¹, 蒋 峰²

(1. 广西师范学院, 广西南宁 530001; 2. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

摘要:温室大棚种植技术对现代化的农业生产具有重大的意义,是一种全新的农作物种植技术。为实现对温室大棚的多通道、高精度控制,设计了1种基于ARM处理器、多级组网模式的远程无线高精度温室大棚环境监控系统。该系统以数字传感器采集温室大棚环境数据,通过ZigBee无线通信技术以及全球移动通信系统(GSM)技术实现与远程电脑(PC)终端以及无线手持监控终端的远程通信控制。试验表明,该系统具有环境参数控制精度高、响应时间快、无线通信距离远以及操作方便等优点,为实现农业的集团化种植及精准控制提供了借鉴。

关键词:温室;ZigBee;高精度;GSM;环境监控

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0217-06

温室大棚突破了传统农作物种植受气候、自然条件、地域环境等多种因素制约的限制,对现代化的农业生产具有重大的意义,是一种全新的农作物种植技术^[1]。对于温室大棚里面的农作物而言,大棚中的温度、空气湿度、光照度、CO₂浓度等因素将严重影响产量,因此,实现对这些因素的智能控制是当前温室大棚种植的关键问题和研究热点^[2],对中国这个人

口大国的农业现代化生产以及解决人们的菜篮子需求具有深远意义。目前,我国温室大棚控制系统主要有2种模式:(1)利用单片机为控制核心的独立控制系统模式^[3-4],该模式控制简单,实时性差,不能远距离控制,且人机界面不友好,操作复杂。(2)利用无线网络^[3-4]构成的智能控制系统模式,但这种模式主要是以1个大棚为主,缺乏对多个大棚的集约化控制,且对面积过大的大棚而言,其数据采集量不够,控制精度不高,同一大棚内其环境参数变化较大,误差较高。本研究根据现有温室大棚智能控制技术的现状^[5-8],结合无线传感技术,设计了1种基于ARM处理器的、多通道、远程无线高精度温室大棚环境监控系统,该系统通过ZigBee协议进行无线组网。

收稿日期:2016-10-21

基金项目:湖南省重点研发计划国际与区域科技合作项目(编号:2016WK2023);湖南省教育厅科学研究项目(优秀青年项目)(编号:15B251);中南林业科技大学引进高层次人才科研启动基金(编号:104-0357)

作者简介:唐英姿(1968—),女,福建安溪人,讲师,研究方向为电工电子技术、自动控制技术。E-mail:tangyingzi@163.com。

通信作者:蒋 峰,湖南衡阳人,博士,副教授,研究方向为嵌入式系统应用、生物信息技术、物联网技术。E-mail:j09mail@163.com。

with realistic shaped particles [J]. Powder Technology, 2013, 248 (2): 103-120.

[11] Lemieux M, Léonard G, Doucet J, et al. Large-scale numerical investigation of solids mixing in a V-blender using the discrete element method [J]. Powder Technology, 2008, 181 (2): 205-216.

[12] 李少华,张立栋,张 轩,等. 回转式干馏炉内影响颗粒混合运动因素的数值分析 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31 (2): 32-38.

[13] 李少华,朱明亮,张立栋,等. 回转装置内三组元颗粒径向混合评价方法分析 [J]. 化工进展, 2013, 32 (6): 1224-1229.

[14] 李少华,张 轩,张立栋,等. 回转窑内颗粒轴向混合运动的数值模拟 [J]. 中国粉体技术, 2011, 17 (2): 23-26.

[15] 赵永志,张宪旗,刘延雷,等. 滚筒内非等粒径二元颗粒体系增混机理研究 [J]. 物理学报, 2009, 58 (12): 8386-8393.

[16] Cleary P W, Sinnott M D. Assessing mixing characteristics of particle-mixing and granulation devices [J]. Particuology, 2008, 6 (6): 419-444.

[17] 韩燕龙,贾富国,唐玉荣,等. 颗粒滚动摩擦系数对堆积特性的影响 [J]. 物理学报, 2014, 63 (17): 165-171.

1 系统总体架构组成

为实现对多个大棚的集约化控制,整个系统由无线传感

[18] 刘 扬,韩燕龙,贾富国,等. 椭圆颗粒搅拌运动及混合特性的数值模拟研究 [J]. 物理学报, 2015, 64 (11): 264-271.

[19] 贾富国,韩燕龙,刘 扬,等. 稻谷颗粒物料堆积角模拟预测方法 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (11): 254-260.

[20] Lacey B C. Developments in the theory of particle mixing [J]. Journal of Applied Chemistry, 1954, 4 (5): 257-268.

[21] 陈志平,章序文,林兴华. 搅拌与混合设备设计选用手册 [M]. 北京:化学工业出版社, 2004.

[22] Sudah O S, Coffin - Beach D, Muzzio F J. Quantitative characterization of mixing of free-flowing granular material in Tote (bin) - blenders [J]. Powder Technology, 2002, 126 (2): 191-200.

[23] McCarthy J J, Khakhar D V, Ottino J M. Computational studies of granular mixing [J]. Powder Technology, 2000, 109 (1/2/3): 72-82.

[24] 朱明亮. 多组元颗粒径向混合实验研究 [D]. 吉林:东北电力大学, 2013.

[25] 江茂强. 双锥型混合器内颗粒混合及增混机理研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2010.