

螺旋集料装置的结构设计与仿真分析

王志鹏,李永祥,王明旭,王震民,王星

(河南工业大学机电工程学院,郑州450001)

摘要:为了提高大豆螺旋集料装置的工作效率,通过理论分析对螺旋集料装置进行结构设计,采用Solidworks软件三维建模,并导入EDEM软件仿真,模拟大豆在螺旋集料装置中的工作过程,检测螺旋集料装置在运动过程中的稳定性和效率,获得了螺旋集料装置流动状态和流动速度分析图;得到螺旋集料装置质量流量为1.18 kg/s,与理论质量流量1.11 kg/s相比提升了6.3%。研究结果对提高螺旋集料装置的效率和降低维护成本具有实际意义,为后续复杂螺旋机械装置设计提供一定参考。

关键词:大豆;螺旋集料;离散元;质量流量;结构设计;仿真分析

中图分类号:TS223;TP391.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2020)07-0014-05

Structure design and simulation analysis of spiral aggregate device

WANG Zhipeng, LI Yongxiang, WANG Mingxu, WANG Zhenmin, WANG Xing

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of

Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to improve the working efficiency of the soybean spiral aggregate device, the structure of the spiral aggregate device was designed by theoretical analysis. The three-dimensional modeling was established by Solidworks software and imported to EDEM software for simulation. The working process of soybean in the spiral aggregate device was simulated, and the stability and efficiency of the device during the movement were detected. The charts of the flow state and speed of the device were obtained. The simulation results showed that the mass flow rate (1.18 kg/s) of the spiral aggregate device increased by 6.3% compared with the theoretical flow rate 1.11 kg/s. The research results had practical significance for improving the efficiency of spiral aggregate device and reducing the maintenance cost. The study could provide some reference for the design of complex spiral mechanical device.

Key words: soybean; spiral aggregate; discrete element; mass flow rate; structure design; simulation analysis

依据《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020)》,我国对油料原料需求还会继续增长,为了保证油料原料供应充足与安全,在2020年还需新增5000万t。随着机械化程度的提升,在缩短油料原料收割时间的同时延长了油料原料的储存时间,

由于油料原料自身水分比较高,储存时间延长极易发霉变质进而影响油料原料的安全^[1]。目前,国内仓储和大型油料加工企业的清理收集主要通过人工和半自动化设备进行,不仅耗时费力,且维护成本也有较大的增加。郭英洲等^[2]针对我国青贮取料机取料动力小及深度浅的问题,采用模块化、集成化设计方法及与现有设备的优化组合创新设计出了一种新型青贮取料设备。谢伟等^[3]针对联合收获后田间滞留大量水稻“站秆”及“残茬”的问题,运用自动控制技术研发出多功能水稻秸秆收集与连续打捆复式作业机。曾百功^[4]针对玉米根茬后续处理困难的问题,结合玉米根茬与土壤等特性建立数学模型,研发出一种多功能玉米根茬收集装置。

收稿日期:2019-10-11;修回日期:2020-03-05

基金项目:河南省科技厅重点科技攻关项目(182102210096);河南省教育厅自然科学项目(17A460009)

作者简介:王志鹏(1995),男,在读硕士,研究方向为粮食工程(E-mail)448465250@qq.com。

通信作者:王明旭,副教授,博士(E-mail)wmx20032002@163.com。

随着离散元理论及仿真技术的不断完善与发展, EDEM 仿真软件对颗粒及相关设备工程问题上的贡献越来越大^[5]。薛忠等^[6]针对螺旋式排肥器在热带果园中的施肥效果问题,建立了相应颗粒肥料的 EDEM 模型并进行分析,获得了仿真运动轨迹、速度与受力变化曲线图。付静等^[7]针对有机肥在储存过程中黏连的问题,利用 EDEM 软件对其不同含水率的有机肥排肥过程进行仿真分析,为双料箱施肥机设计提供一定的参考。毛娅等^[8]针对颗粒物料在连续立式搅拌机的混合特性,运用 EDEM 软件对其混合过程进行仿真分析获得了比较合适的转速。

为提高大豆螺旋集料装置的工作效率,本文通过理论分析对螺旋集料装置进行结构设计,采用 Solidworks 软件三维建模,并导入 EDEM 软件模拟仿真,分析流动速度与流动状态,检测集料装置的稳定性和效率,得到螺旋集料装置的质量流量。

1 离散元理论

1.1 离散元基本原理

离散元法的基本原理是将研究对象划分为相互独立的单元,根据离散单元之间相互的作用以及牛顿运动定律,运用动、静态松弛法等迭代方法对其进行循环计算,并根据实时的所有单元的受力与位移来更新单元的位置,通过对其单元的微观运动发现研究对象的宏观规律^[9]。

1.2 离散元接触模型

目前,离散元理论的研究对象一般为散粒体,因此接触模型的颗粒接触力学对离散元理论非常重要。在 EDEM 软件中,使用较多的接触模型为 Hertz - Mindlin 无滑动接触模型、Hertz - Mindlin 黏结模型、Hertz - Mindlin 热传导模型,对于不同的仿真对象可以根据具体的使用范围来确定相应的仿真模型^[10-11]。Hertz - Mindlin 无滑动接触模型是 EDEM 的自身默认模型。

在实际运行过程中,离散单元常用的模型是将其颗粒之间以及与边界的接触用振动方程来进行模拟。将颗粒接触的振动运动按照法线和切向方向进行分解^[12]:

$$m_{1,2} \frac{d^2 u_n}{dt^2} + c_n \frac{du_n}{dt} + K_n u_n = F_n \quad (1)$$

$$m_{1,2} \frac{d^2 u_s}{dt^2} + c_s \frac{du_s}{dt} + K_s u_s = F_s \quad (2)$$

$$j_{1,2} \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (c_s \frac{du_s}{dt} + K_s u_s) s = M \quad (3)$$

式中: $m_{1,2}$ 为颗粒的等效质量; u_n 、 u_s 分别为颗粒法向和切向的相对位移; $j_{1,2}$ 为颗粒的等效转动惯

量; θ 为旋转角; s 为旋转半径; F_n 、 F_s 分别为颗粒的法向和切向分量; c_n 、 c_s 分别为接触模型的法向和切向阻尼系数; K_n 、 K_s 分别为接触模型的法向和切向弹性系数。考虑到颗粒间摩擦力的影响,颗粒的切向滑动与滚动的极限判断条件^[12]为:

$$F_s = \mu K_n u_n \operatorname{sgn} \left[K_s \left(u_s + \frac{d\theta}{2} \right) \right] \quad (4)$$

式中: μ 为颗粒摩擦系数; $\operatorname{sgn}[\]$ 为符号函数,且 $\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$ 。

本文仿真物料颗粒为大豆,颗粒之间黏性力较小,采用 Hertz - Mindlin 无滑动接触模型进行仿真模拟。

2 螺旋集料装置结构设计

2.1 螺旋集料装置工作原理

当螺旋集料装置开始工作时,电机带动螺旋轴转动,随着螺旋叶片的推动,两边的大豆颗粒被输送至螺旋中间的叶轮处,由叶轮的转动将大豆颗粒拨动至后方气力输送系统的吸嘴处,由气力输送系统进行输送收集,实现了大豆清理收集的一体化,大大增加大豆清理收集的稳定性。

随着工业高效化、智能化发展,螺旋集料装置的合理设计能够极大改善大豆收集的效率,节约成本,提高寿命,所以设计出安全、高速、稳定的螺旋集料装置对大豆等颗粒的收集具有重要意义。因此,有必要选取最优参数,基于离散元仿真软件 EDEM 对螺旋集料装置的收集输送过程进行分析,实现快速、稳定、安全的螺旋集料,为后续螺旋装置的设计提供一定的理论基础与参考。

2.2 设计要求

已知螺旋集料装置电机功率为 0.25 kW,输送物料为大豆,物料容重(γ)为 0.73 t/m³,物料综合特性系数(A)为 50,物料填充率(φ)为 0.30,螺旋总长度(L)为 1 000 mm,倾斜输送修正系数(C)为 1,螺旋叶片影响系数(K)为 1,螺旋集料装置的生产率为 4 t/h。

螺旋集料装置设计目标之一是提高螺旋收集的生产率,其公式^[13]为:

$$Q = 47 D^2 \varphi S n \gamma C K \quad (5)$$

式中: Q 为螺旋集料装置的生产率,t/h; D 为螺旋叶片外径,m; φ 为物料填充率; S 为螺旋集料装置的螺距,m; n 为电机转速,r/min; γ 为物料容重,t/m³; C 为倾斜输送修正系数; K 为螺旋叶片影响系数。

2.3 螺旋参数设计

(1)已知螺旋集料装置的生产率(Q),根据公式(5)推算螺旋叶片外径。

$$D = \sqrt{\frac{Q}{47\varphi S n \gamma C K}} \quad (6)$$

式中: $Q = 4 \text{ t/h}$, $\gamma = 0.73 \text{ t/m}^3$, $\varphi = 0.30$, $C = 1$, $K = 1$ 。

(2) 螺旋轴转速的确定应根据物料综合特性来确定, 即^[14]:

$$n \leq n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (7)$$

式中: n 为螺旋轴转速, r/min ; n_{\max} 为螺旋轴的极限转速, r/min ; A 为物料综合特性系数 ($A = 50$)。

(3) 螺旋螺距的计算公式^[15]为:

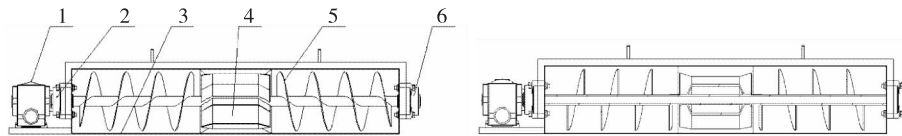
$$S = KD \quad (8)$$

式中: S 为螺旋螺距, m ; K 为螺旋叶片影响系数, 通常取值为 $0.8 \sim 1.0$, 取 $K = 1$ 。

(4) 螺旋轴径 (d) 的计算公式^[16]为:

$$0.2D \leq d \leq 0.35D \quad (9)$$

将 Q 、 γ 、 φ 、 C 、 K 、公式(7)和(8)分别代入公式(6)求得 $D \approx 143 \text{ mm} \approx 140 \text{ mm}$ 。



注: 1. 驱动电机; 2. 左带座轴承; 3. 螺旋机架; 4. 螺旋叶轮; 5. 螺旋叶片; 6. 右带座轴承。

图1 螺旋集料装置二维示意图和局部剖视图

3 离散元仿真

3.1 离散元仿真参数的设定

本文所取大豆颗粒的本征参数, 采用生产厂家提供的检测数据; 螺旋集料装置材料钢的本征参数选自软件自带的材料数据库。本研究中各仿真参数的取值如表1所示^[17]。

表1 离散元仿真参数

仿真参数	数值	仿真参数	数值
大豆密度/ (kg/m^3)	1 236	大豆-大豆碰撞恢复系数	0.30
大豆泊松比	0.23	大豆-大豆最大静摩擦系数	0.39
大豆剪切模量/ MPa	63	大豆-大豆动摩擦系数	0.17
钢泊松比	0.30	大豆-钢动摩擦系数	0.09
钢剪切模量/ MPa	70 000	大豆-塑料动摩擦系数	0.15
钢密度/ (kg/m^3)	7 800	大豆-有机玻璃动摩擦系数	0.10

3.2 离散元仿真模型

利用 Solidworks 软件建立螺旋集料装置的三维模型, 导入离散元软件进行仿真分析前进行模型简

化, 将 A 、 D 代入公式(7)求得 $n = 134 \text{ r/min}$, 圆整为标准转速, 故取 $n = 120 \text{ r/min}$ 。

由公式(8)求得 $S = 140 \text{ mm}$ 。

由公式(9)取 $d = 0.3D$, 则求得 $d = 42 \text{ mm} \approx 40 \text{ mm}$ 。

综合可得: $D = 140 \text{ mm}$, $n = 120 \text{ r/min}$, $S = 140 \text{ mm}$, $d = 40 \text{ mm}$ 。

2.4 叶轮设计

根据螺旋集料装置功能需要, 最终设计的螺旋集料装置如图1所示。中间叶轮的设计为: ①叶轮的厚度与螺旋叶片的厚度设置相同, 为 2 mm , 保证叶轮与叶片的强度与刚度相同; ②叶轮的水平和倾斜长度根据叶片参数确定为 140 mm 和 40 mm ; ③为了减少两边螺旋叶片输送过来的物料后退程度, 设计倾斜角度为 120° ; ④叶轮的叶片与叶片之间应有足够的空间供物料进来, 为了叶轮受力均匀以及效率更高, 将其角度设为 45° , 即分为 8 组叶片。

化, 导入 EDEM 软件进行仿真^[18]。考虑到时间以及计算机性能的限定, 对仿真过程进行简化处理, 颗粒仿真采用软球模型, 以球形颗粒代替大豆, 大小随机正态分布, 不考虑螺旋集料装置的移动情况, 产生颗粒堆后, 直接对叶轮、叶片、轴设定转速, 主要观察颗粒流运动速度、状态能否达到设计要求。颗粒生成方式为 Dynamic, 先以快速填充方式使物料充满料斗, 静止 1 s , 待物料处于静止状态, 对螺旋体转速进行设置, 步长设为 0.05 s , 仿真时间设为 10 s , 待仿真结束后, 通过后处理中 geometry bin 对输送的颗粒速度、质量流量进行采集, 三维模型如图2所示。

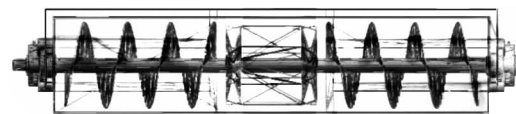


图2 螺旋集料装置三维模型图

3.3 螺旋集料装置流动状态仿真

先对大豆在螺旋集料装置中的流动状态进行仿真分析, 待仿真结束后, 采用后处理中上色功能, 对物流进行着色处理, 螺旋外部设有外壳, 为了更好地便于观察螺旋在运动过程中大豆颗粒的运动状态, 在导入模型时对其螺旋外壳进行删除。仿真结果如图3所示。

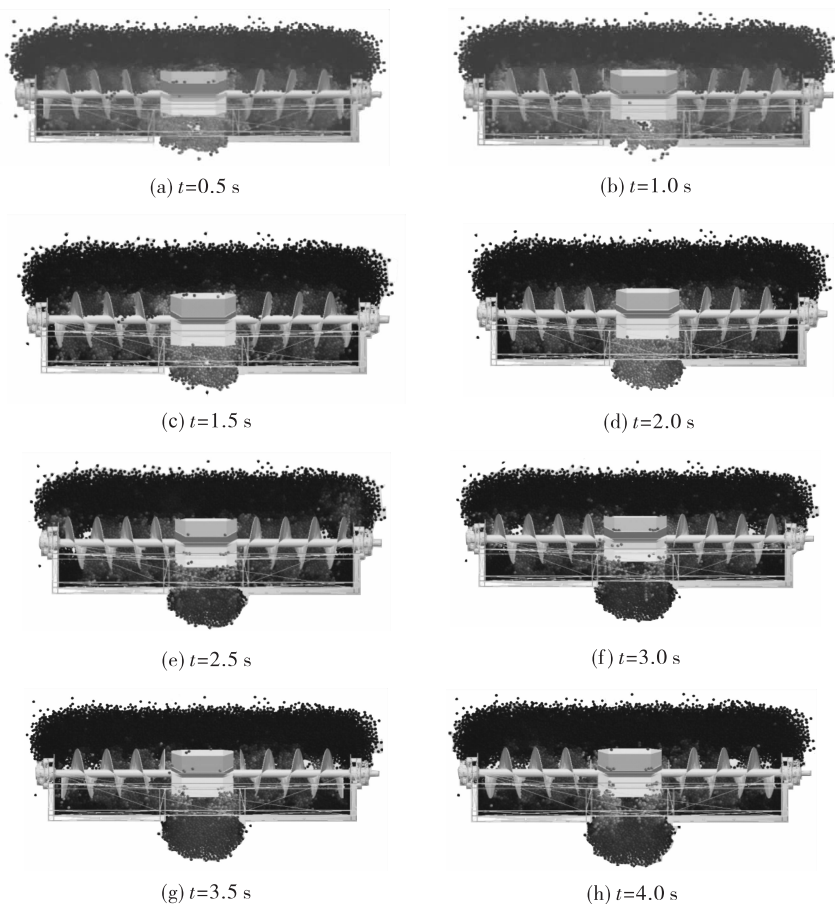


图3 螺旋集料装置流动状态仿真图

由图3可知,螺旋体与物料直接接触,根据参数设置模拟了大豆在螺旋集料装置中的流动状态。大豆随着螺旋的转动被两端的螺旋叶片推至叶轮处;随后,大豆在叶轮的转动下被输送至螺旋后侧。可

以清晰看到,随着时间的延长,大豆颗粒逐渐被输送至螺旋后侧,达到了预期的设计效果。

3.4 螺旋集料装置流动速度仿真(见图4)

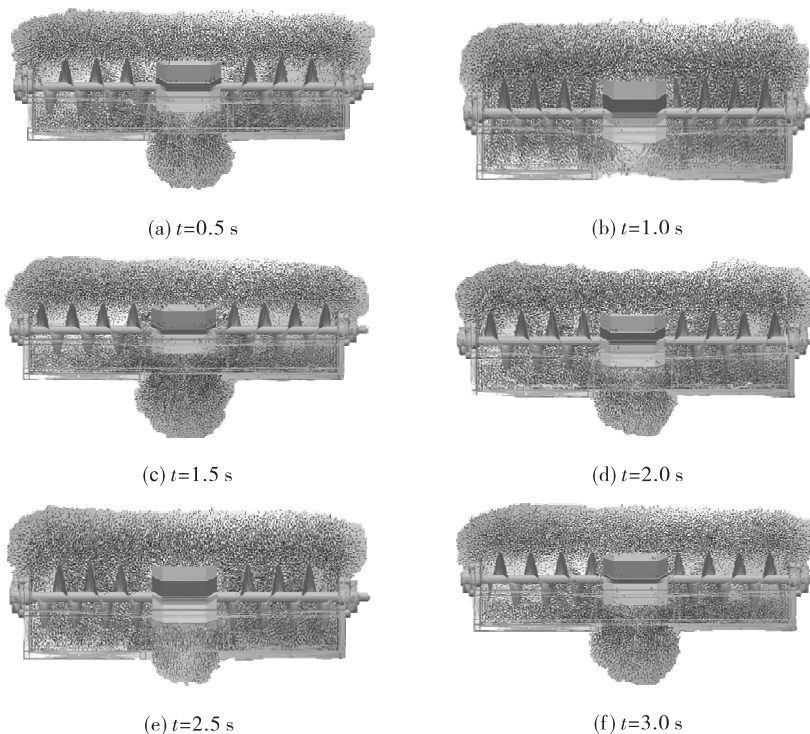


图4 螺旋集料装置流动速度仿真图

结合流动速度分析图4,对大豆螺旋集料装置的颗粒速度进行分析。采用后处理中上色功能对物料颗粒速度大小进行标记,较大值标记为红色,中间值标记为蓝色,较小值标记为绿色。由图4可以清楚地看出物料运动中的速度分布情况,装置未向前移动时,前方物料基本处于稳定的较低速度状态;在螺旋转动的过程中,叶轮中心的物料速度越来越大,在叶轮的转动下,物料被输送至螺旋后侧。

3.5 螺旋集料装置质量流量(见图5)

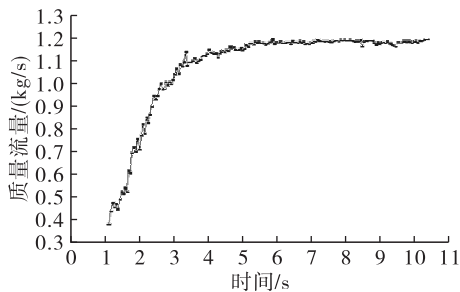


图5 螺旋集料装置质量流量

由图5可知,螺旋集料装置的质量流量随着时间延长逐渐增加,最终稳定在1.1~1.2 kg/s之间,表明螺旋集料装置最终趋于平缓,具有一定的稳定性,平均质量流量为1.18 kg/s,与理论质量流量1.11 kg/s相比提升了6.3%,表明螺旋集料装置具有一定的优越性。

4 结论

针对大豆螺旋集料装置收集效率低的问题,首先通过理论分析对螺旋集料装置进行结构设计,然后采用Solidworks软件三维建模,并导入EDEM软件仿真,获得了大豆螺旋集料装置流动状态分析图和速度分析图,得到螺旋集料装置质量流量为1.18 kg/s,与理论质量流量1.11 kg/s相比提升了6.3%,表明螺旋集料装置具有一定的优越性。研究结果对提高螺旋集料装置的效率和降低维护成本具有实际意义,为后续复杂螺旋机械装置设计提供一定参考。

参考文献:

[1] 王少英. 玉米粒收后清理干燥一体化设备的研发[D].

郑州:河南工业大学,2017.

- [2] 郭英洲,曾庆辉,李存斌,等. 9QZ-2.0型自走式青贮取料机的研究[C]//中国奶业协会. 中国奶业协会年会论文集2009(上册). 北京:中国奶业协会,2009.
- [3] 谢伟,李旭,方志超,等. 水稻秸秆收集与连续打捆复式作业机设计[J]. 农业工程学报,2019,35(11):19-25.
- [4] 曾百功. 玉米根茬收集装置研制及关键机构机理分析[D]. 长春:吉林大学,2013.
- [5] 闫莉,贾咏琳. 探究EDEM软件在农业物料学中的应用[J]. 科技资讯,2018,16(25):172-173.
- [6] 薛忠,赵亮,王凤花,等. 基于EDEM的螺旋式排肥器排肥性能研究[J]. 农机化研究,2020,42(6):87-95.
- [7] 付静,张富贵,曾以明,等. 基于EDEM的有机肥排肥性能分析与试验[J]. 农机化研究,2019,41(12):51-57.
- [8] 毛娅,范雄,江智. 基于EDEM的连续性立式搅拌机混合特性研究[J]. 计算机仿真,2018,35(12):181-184,415.
- [9] 罗英浩. 不同接触模型下剪切颗粒体系强度和声速的离散元模拟[D]. 贵阳:贵州大学,2018.
- [10] 冯腾飞. 基于离散元理论的局部粮情处理机器人机构研究[D]. 郑州:河南工业大学,2017.
- [11] 邱化龙. 基于离散元法的椭球颗粒多尺度建模方法[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [12] 冯启飞. 基于离散元理论的旋回破碎机破碎性能分析及腔型优化[D]. 长沙:湖南大学,2014.
- [13] 井宝丰. 大倾角螺旋输送机设计参数研究[J]. 中国新技术新产品,2015(20):64.
- [14] 张东海. 螺旋输送机的优化研究[D]. 辽宁大连:大连理工大学,2006.
- [15] 王东霞. 螺旋输送机的数值分析及优化设计的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2012.
- [16] 程韦武,庞莲香,蓝同平. 螺旋输送机的设计[J]. 现代制造技术与装备,2018(4):1-3.
- [17] 张涛,刘飞,赵满全,等. 大豆种子与排种器接触物理参数的测定与离散元仿真标定[J]. 中国农业大学学报,2017,22(9):86-92.
- [18] 李飞翔,李永祥,徐雪萌,等. 变螺距螺旋结构的螺距设计与仿真分析[J]. 包装工程,2019,40(13):214-221.



油脂加工精准适度

《中国油脂》宣