

文章编号: 1004-4353(2018)02-0179-04

# 基于 EDEM 的螺旋输送机数值模拟分析

郭创, 朴香兰\*

( 延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002 )

**摘要:** 以 20°倾斜螺旋输送机为例,基于离散单元法建立了螺旋输送机离散元模型,并通过 EDEM 软件对螺旋输送机输送稻谷的过程进行了数值模拟.运用正交实验得出倾斜螺旋输送机输送稻谷的最佳组合为:转速 200 r/min、螺距 176 mm、填充率 15%,其中影响因素大小依次为转速>螺距>填充率.

**关键词:** 螺旋输送机; 离散单元法; EDEM; 数值模拟

**中图分类号:** TH224

**文献标识码:** A

## Numerical simulation analysis for screw conveyor based on EDEM

GUO Chuang, PIAO Xianglan\*

( College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China )

**Abstract:** On 20° inclined screw conveyor as an example, the screw conveyor discrete element model was established based on the discrete element method theory knowledge, and screw conveyor conveying process of rice are simulated through the EDEM software. Using orthogonal experimental design method, it is concluded that tilt screw conveyor conveying the best combination of rice is the speed of 200 r/min, the pitch is 176 mm, filling rate is 15%, the size of the influencing factors successively are rotational speed, pitch and filling rate.

**Keywords:** screw conveyor; discrete element method; EDEM; numerical simulation

### 0 引言

螺旋输送机被广泛地应用在工农业生产生活中,如粮食、种子、煤炭、化肥、水泥、矿物等物料的运输当中,因此研究螺旋输送机对提高工农业生产效率具有重要作用<sup>[1]</sup>.螺旋输送机依靠螺旋叶片的旋转来推动物料向出料口的方向移动,在出料口设有承接装置,最终达到输送的目的<sup>[2]</sup>.目前,常用的螺旋输送机主要有水平螺旋输送机、垂直螺旋输送机和倾斜螺旋输送机 3 种.在螺旋输送机的相关研究中,大多都是针对水平螺旋输送机和垂直螺旋输送机进行研究的<sup>[3-4]</sup>,而倾斜螺旋输送机的相关研究大多停留在根据经验公式或借鉴水平螺

旋输送机的研究成果进行研究设计<sup>[5]</sup>.经文献检索发现,设计参数对倾斜螺旋输送机输送能力的影响目前还没有相关报道,基于此本文利用离散单元法理论,研究输送机转速、螺距和物料填充率对倾斜螺旋输送机输送能力的影响.

### 1 离散单元法 (DEM)

离散单元法 (discrete element method, DEM) 是由美国学者 Cundall 教授在 1971 年基于分子动力学原理提出的一种颗粒离散体物料分析方法.离散单元法的基本思想是将研究对象划分为一个个相对独立的单元,根据单元之间的相互作

收稿日期: 2018-02-28

\* 通信作者: 朴香兰(1964—),女,博士,教授,研究方向为现代设计理论与方法.

用和牛顿运动定律,采用动态松弛法或静态松弛法等迭代方法进行循环迭代计算,以此确定在每一个时间步长所有单元的受力及位移,并更新所有单元的位置.通过对每个单元的微观运动进行跟踪计算,即可得到整个研究对象的宏观运动规律.离散单元法的应用前提是:选取的时间步长要足够小,使得在一个单独的时间步长内,除了与选定单元直接接触的单元外,来自其他任何单元的扰动都不能传播过来.另外,在任意的时间步长内,速度和加速度恒定,在任意时刻单元所受的作用力只取决于单元体本身及与它直接接触的单元体<sup>[6]</sup>.

不同的接触方式在离散单元法中有着不同的理论依据<sup>[6]</sup>.谷物种子属于干颗粒,其表面无黏附力,在输送过程中颗粒虽然发生剧烈运动,但颗粒基本不会变形,且接触力的变化也是在瞬间发生;因此,只需研究碰撞后的速度大小及方向即可,故本文选取 Hertz-Mindlin 无滑动接触模型.

2 离散元模型的建立

2.1 螺旋输送机离散元模型的建立

以 20°倾斜角为例建立螺旋输送机的离散元模型,如图 1 所示.螺旋轴的直径为 36 mm,螺旋叶片的直径  $D=176$  mm,螺旋叶片和螺旋输送机内管壁之间的间隙为 1 mm,输送机的长度  $L=2\,000$  mm,螺距长度分别为  $0.8D$ 、 $0.9D$  和  $1D$ ,螺旋叶片的厚度为 1 mm.

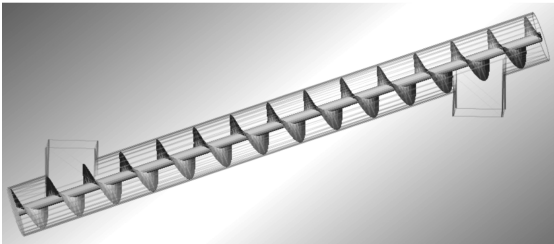


图 1 螺旋输送机的离散元模型

2.2 颗粒模型及参数

输送物料以稻谷为例.由于稻谷形状类似于球形,因此本文用球形替代稻谷,其半径为 1.5 mm,如图 2 所示.稻谷颗粒和输送机材料的参数如表 1 所示.表 2 是稻谷颗粒与稻谷颗粒之间、稻谷颗粒与螺旋输送机之间的接触碰撞参数.

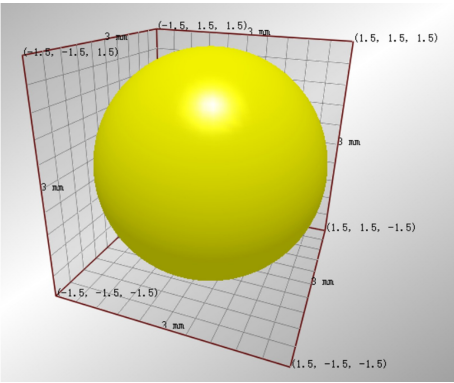


图 2 物料颗粒模型

表 1 材料的属性参数

材料	泊松比	剪切模量/ Pa	密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
稻谷	0.4	$1.1 \times 10^7$	1 053
钢	0.3	$1.0 \times 10^{10}$	7 850

表 2 稻谷颗粒的接触参数

接触方式	恢复系数	静摩擦系数	滚动摩擦系数
颗粒-颗粒	0.6	0.5	0.01
颗粒-几何体	0.6	0.3	0.01

3 模拟仿真与结果分析

3.1 模拟仿真

EDEM 是基于离散单元法的通用 CAE 分析软件,使用 EDEM 软件可以简单快捷地创建固体颗粒系统的参数化模型,然后对其添加物料力学性质和其他物理性质即可.模拟仿真时,本文依据螺旋输送机的设计经验公式<sup>[7]</sup>,选取螺距  $S$ 、填充率  $\varphi$ 、输送机转速  $V$  3 个因素分析螺旋输送机对输送能力的影响,各因素所选择的水平如表 3 所示.

表 3 因素水平表

水平	螺距 $S$ / mm	填充率 $\varphi$ / %	转速 $V$ / ( $\text{r}/\text{min}$ )
1	140.8	15	100
2	158.4	20	150
3	176.0	25	200

模拟仿真需要的一些定义和设置如下:

1)参数设置.设置接触模型为 Hertz-Mindlin (no slip),重力加速度为  $-9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ ,并按表 1 和表 2 设置物料和输送机材料的属性参数及物料颗粒和输送机相互作用的接触参数.

2)定义颗粒模型. 定义物料颗粒的半径大小为 1.5 mm,再选取颗粒材料属性.

3)定义几何体. 导入螺旋输送机几何体模型并设置螺旋轴转速,根据不同的试验条件选择不同螺距的输送机和物料的填充率,同时创建颗粒工厂的起始位置.

4)定义仿真区域. 仿真区域是仿真发生的范围,以刚好容纳离散元模型的区域为仿真区域.

5)设置仿真时间.

在填充率为 25%、螺距为 140.8 mm 的条件下,以 3 个不同转速(100、150、200 r/min)模拟螺旋输送机的输送状况,如图 3 所示. 图 3 中,物料颗粒颜色的深浅表示物料所具有的不同速度,颜色越深代表速度越小,颜色越浅代表速度越大,且  $V_{max}=2\text{ m/s}$ ,  $V_{min}=0\text{ m/s}$ . 从图 3 中可以看出,随

着螺旋输送机转速的增加,物料颗粒的颜色迅速变浅,说明物料颗粒的运动速度在迅速增加,即说明螺旋输送机的输送能力得到迅速提高.

在螺旋输送机的转速为 150 r/min、螺距为 140.8 mm 的条件下,以 3 个不同的填充率(15%、20%、25%)模拟出的稳定输送图如图 4 所示. 从图 4 中可以看出,物料颗粒的颜色随着输送机填充率的增加而逐渐变深,说明输送机中物料颗粒的速度在逐渐减小,即说明螺旋输送机的输送能力随填充率的增加而逐渐变小.

在螺旋输送机的转速为 150 r/min、填充率为 25%的条件下,以 3 个不同的螺距(140.8、158.4、176.0 mm)模拟出的稳定输送图如图 5 所示. 从图 5 可以看出,随着螺距的增加,物料颗粒的颜色逐渐变浅,说明物料颗粒所具有的速度在增加,即

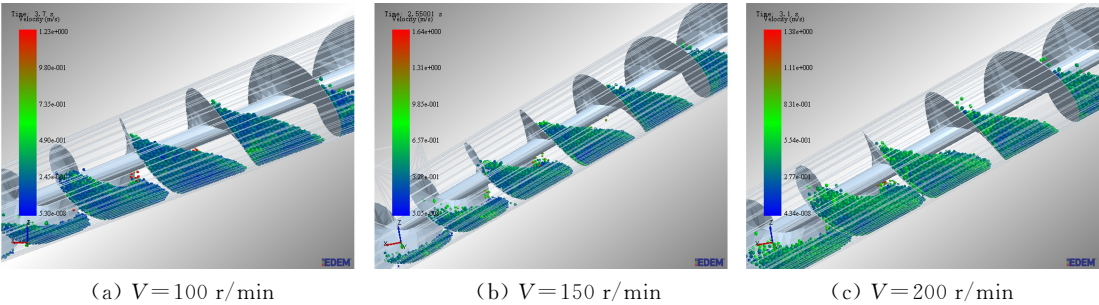


图 3 不同转速下螺旋输送机的仿真模拟图

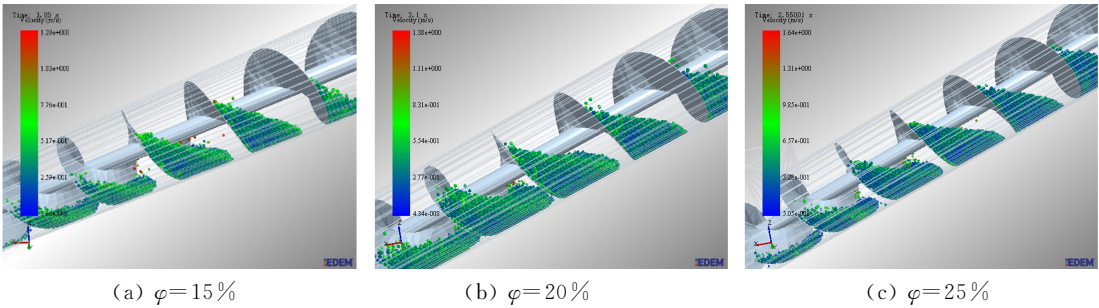


图 4 不同填充率下螺旋输送机的仿真模拟图

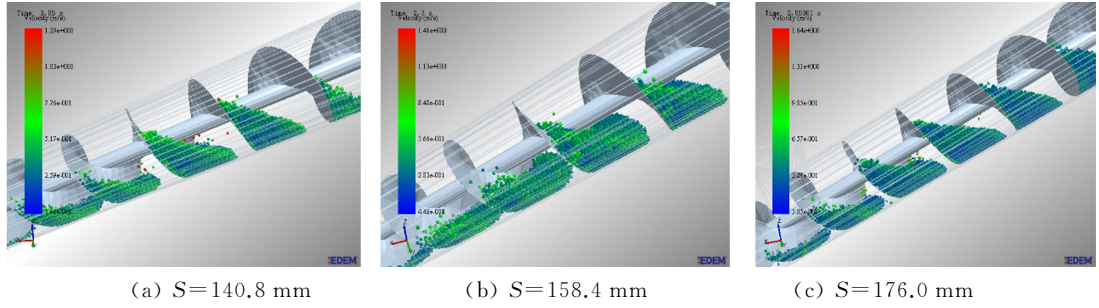


图 5 不同螺距下螺旋输送机的仿真模拟图

说明螺旋输送机的输送能力得到提高.

3.2 实验结果与分析

根据前述的影响因素及选定的水平,选用正交表  $L_9(3^4)$  进行模拟试验,结果如表 4 所示.从表 4 中可以看出,各列的极差值具有较大的差异,说明各因素水平对螺旋输送机的输送能力有很大影响.极差值越大,代表该因素对螺旋输送机的输送能力的影响越大.各因素影响输送能力的大小顺序为: $V(\text{转速}) > S(\text{螺距}) > \varphi(\text{填充率})$ ,其中最优组合方案为: $V_3 S_3 \varphi_1$ ,即转速 200 r/min,螺距 176.0 mm,填充率 15%.

表 4 试验方案及试验结果

实验号	螺距 $S$	填充率 $\varphi$	转速 $V$	输送能力
1	1	1	1	0.248
2	1	2	2	0.371
3	1	3	3	0.495
4	2	2	3	0.551
5	2	3	1	0.276
6	2	1	2	0.409
7	3	3	2	0.453
8	3	1	3	0.611
9	3	2	1	0.303
$K_1$	1.114	1.269	0.827	
$K_2$	1.236	1.225	1.233	
$K_3$	1.367	1.224	1.657	
$k_1$	0.371	0.423	0.276	
$k_2$	0.412	0.408	0.411	
$k_3$	0.456	0.408	0.552	
极差 $R$	0.253	0.045	0.831	

4 结论

本文基于离散单元法对倾斜螺旋输送机的性能进行了研究,结果表明:①螺旋输送机的输送能力随螺距和转速的增加而增加,随填充率的增加而降低.②3 个因素对输送能力影响大小的顺序为转速 $>$ 螺距 $>$ 物料填充率,最佳组合为速度 200 r/min、螺距 176.0 mm、填充率 15%. 本文研究结果可为螺旋输送机的设计提供参考.在今后的研究中,将进一步考虑功率消耗因素对螺旋输送机性能的影响,并通过增加参数水平因数的数值选择,进一步探讨最佳的组合方案,以完善本文方法.

参考文献:

[1] 吴超,胡志超,吴努. 基于离散单元法的螺旋输送机数值模拟与分析[J]. 农机化研究,2015,37(2):57-61.

[2] 赵翠莲,张坤峰,李博宇,等. 两种螺旋输送装置的粉料传送精度分析[J]. 机械设计与制造,2016(3):18-21.

[3] 范召,胡国明,方自强,等. 水平螺旋输送机性能的离散元法仿真分析[J]. 煤矿机械,2014,35(11):89-91.

[4] 郭宇航. 基于 EDEM 不同叶片形状垂直螺旋输送机的结构设计[J]. 内燃机与配件,2017(24):37-38.

[5] 郎福林. 倾斜螺旋输送机机体设计的简要概述[J]. 黑龙江科学,2013(9):105.

[6] 王国强,郝万军,王继新. 离散单元法及其在 EDEM 上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2010.

[7] 向冬枝,徐余伟. 螺旋输送机设计参数的选择和确定[J]. 水泥技术,2010(1):29-33.