DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2025.04.008

基于DEM的非连续折边螺旋输送机谷物颗粒群高效输运研究

朱永乐[1, 2], 马征[1, 2*], 卢中华[3], 李耀明[1, 2], 李宇飞[1, 2]

(1. 江苏大学农业工程学院,江苏镇江,212013; 2. 江苏大学智能农机装备理论与技术重点实验室,江苏镇江,212013; 3. 江苏林海动力机械集团有限公司,江苏泰州,225300)

摘要:谷物输送作为联合收获机作业中的关键环节,其输运性能的优劣直接关乎整机作业效率的高低。然而,传统螺旋输送机在输送谷物过程中普遍存在效率低下的问题,这已成为制约收获机整体性能提升的瓶颈。为解决这一问题,研究聚焦于改进螺旋输送机的关键部件结构参数,旨在提高其输送性能。创新性地提出非连续型折边结构,同时基于离散元法和正交试验设计,以折边宽度B、折边轴向长度L、折边轴向间距S为试验因素,质量流率q为性能评价指标,通过极差分析确定最优的结构参数组合。为验证该优化方案的可靠性,通过台架试验和高速摄影,对比分析优方案与传统螺旋输送机的输送效率和物料运动状态变化。研究结果表明,在正交仿真试验中,非连续折边结构参数组合优方案为:B=5 mm、L=20 mm、S=0 mm;台架试验结果中,优化后的非连续折边结构螺旋输送机的输送效率相比原型机提高了5.41%~7.47%,高速摄影分析进一步揭示非连续折边结构能够有效改变颗粒的流动状态,增大轴向速度与合速度的比值,从而使轴向输送速度更大,促进谷物颗粒的轴向输送,减少能量损失。研究设计非连续型折边结构的螺旋输送机,提升了谷物颗粒的输送性能,为螺旋输送机的结构优化提供了坚实的理论依据和实践指导。

关键词:折边导流结构;螺旋输送机;DEM仿真;参数优化;谷物输送性能;联合收获机

中图分类号:S225.4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-7217(2025)04-0084-07

朱永乐, 马征, 卢中华, 李耀明, 李宇飞. 基于DEM的非连续折边螺旋输送机谷物颗粒群高效输运研究[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2025, 6(4): 84-90

ZHU Yongle, MA Zheng, LU Zhonghua, LI Yaoming, LI Yufei. Research on efficient transport for grain particle groups in non-continuous folded edge spiral conveyors based on DEM [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2025, 6(4): 84-90

0 引言

谷物输送是联合收获机收获谷物过程中至关重要的一环,其中籽粒和杂余通常由螺旋输送机定向输送,其输送效率直接影响整机作业效率[1-3]。因此,提高螺旋输送器的谷物输送性能对于提升联合收获机作业效率、减少输粮时间和能耗具有重要意义。

针对螺旋输送机输送散体颗粒的机理及结构、运动参数对输送性能的影响,已有研究进行了深入探讨[4-7]。螺旋输送机的输送性能受多种结构参数影响,合理匹配这些参数可有效提高输送稳定性和效率[8-11]。此外,离散元法(discrete element method, DEM)已成为研究螺旋输送机内部颗粒流动规律的重要工具,能够高效分析不同结构参数对输送性能的影响。

流体在经过机械表面时,其运动方向会因表面形状改变而发生变化。通过合理设计机械表面形状可以使机械对流体的流动状态产生一定积极影响[12-14]。现有研究主要聚焦于气流控制[15-17],对颗粒输运过程关注较少。籽粒输运遵循流体力学,借鉴气流优化设计法,合理设计折边结构,改变颗粒流动路径,减少阻力和能耗,提高输送效率。因此,将折边结构引入螺旋输送机。

针对传统籽粒螺旋输送机输运性能较低的问题,本研究利用折边导流作用,创新设计非连续折边结构的螺旋输送机,基于正交试验设计,以非连续折边结构的折边宽度B、折边轴向长度L和折边轴向间距S为试验因素,颗粒质量流率q为指标,采用极差分析法筛选

收稿日期:2025-04-07 修回日期:2025-08-31

基金项目:国家自然科学基金(52375249)

第一作者:朱永乐,男,1996年生,山东临沂人,博士研究生;研究方向为现代农业机械设计及理论。E-mail: 2017429651@qq.com

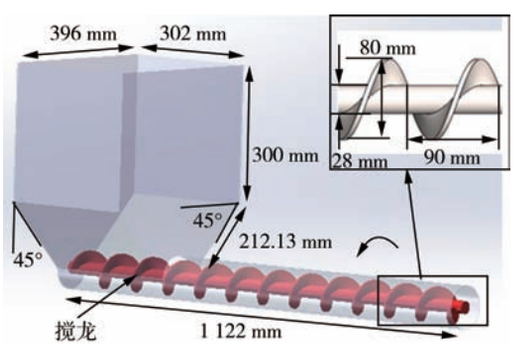
*通信作者:马征,男,1984年生,江苏泰兴人,博士,教授,博士生导师;研究方向为现代农业机械设计及理论。E-mail: mazheng123@ujs.edu.cn

出优方案。通过台架试验与高速摄影技术对原型结构和优化方案进行对比验证。

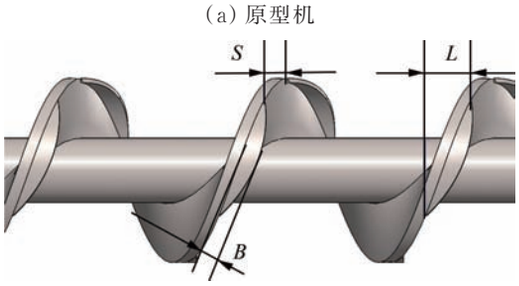
1　螺旋输送机仿真正交试验

1.1　传统和折边结构的螺旋输送器模型

以水平螺旋输送机为代表，利用SOLIDWORKS创建传统螺旋输送机，输送间隙为6 mm，其他形状和尺寸如图1(a)所示，称原型机。为提高输运效率，在原型机结构基础上，参考前人的研究[15,17-18]，对搅龙的螺旋叶片进行改进，在螺旋叶片外径处设置非连续折边导流结构，如图1(b)所示。在不改变输送间隙前提下，折边厚度设为2 mm。B表示折边宽度，L表示折边轴向长度，S表示折边轴向间距，为实现折边的导流作用，根据谷物籽粒最大平均尺寸[19]，将参数B范围设为5～10 mm，参数L范围设为10～20 mm，在上述基础上，考虑非连续结构体间距不宜过大，将参数S范围设为0～10 mm。



(a) 原型机



(b) 非连续型折边结构

图1　水平螺旋输送器模型

Figure 1　Horizontal screw conveyor model

1.2　水稻籽粒模型及仿真参数设置

基于前人研究，稻谷颗粒通常被建模成对称性椭球，可在一定程度上简化模拟颗粒模型，较大地减少仿真所需要的时间[19-20]。在EDEM中通过7个直径和位置不一的单球形颗粒重叠组合，建立椭球形的水稻籽粒模型，在3个轴上的平均尺寸，分别为7 mm、3 mm、3 mm，如图2所示。

EDEM模拟螺旋输送机输送水稻颗粒时，接触参数和材料参数如表1、表2所示[21-23]。

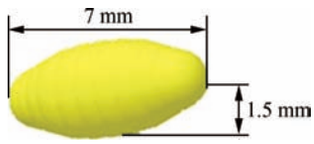


图2　水稻颗粒的离散元模型

Figure 2　Discrete element model of rice grains

表1　材料力学特性参数

Table 1　Characteristic parameters of materials

材料	泊松比	剪切模量/Pa	密度/(kg·m^{-3})
水稻	0.3	2.5×10^{6}	9.0×10^{2}
钢	0.3	8.0×10^{10}	7.8×10^{3}

表2　材料接触属性

Table 2　Contact property parameters of materials

相互作用材料	恢复系数	静摩擦因数	滚动摩擦因数
水稻与水稻	0.61	0.49	0.07
水稻与钢	0.64	0.34	0.02

1.3　试验方案

将原型机导入EDEM中，依据表1、表2设置仿真参数，如图3所示，颗粒工厂尺寸为386 mm×286 mm×1 200 mm，采用动态生成方式生成水稻籽粒4.5×10^{5}颗，设置输送轴的转速为300 r/min，进行螺旋输送过程仿真试验，接触模型采用Hertz-Mindlin (No Slip)模型，仿真时长为10 s，时间步长为0.01 s。以B、L和S为试验因素，颗粒质量流率q为指标，因素取3水平，如表3所示。正交设计方案如表4所示。

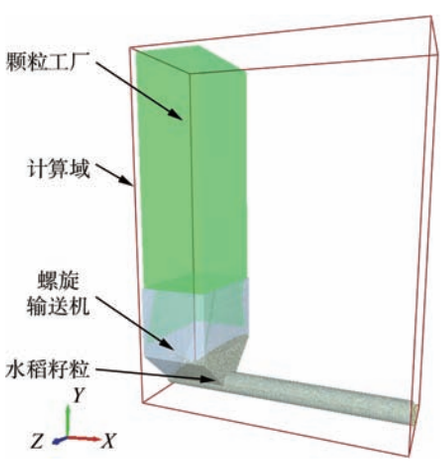


图3　EDEM仿真参数设置

Figure 3　EDEM simulation parameter settings

表3　非连续折边结构各试验因素水平

Table 3　Test factors for discontinuous folded-edge structural

水平	B/mm	L/mm	S/mm
1	5	10	0
2	7.5	15	5
3	10	20	10

表 4 正交设计试验方案

Table 4 Orthogonal design experimental scheme

试验组别	B/mm	L/mm	S/mm
1	10(3)	20(3)	0(1)
2	5(1)	15(2)	10(3)
3	10(3)	10(1)	10(3)
4	5(1)	20(3)	5(2)
5	7.5(2)	20(3)	10(3)
6	10(3)	15(2)	5(2)
7	7.5(2)	15(2)	0(1)
8	7.5(2)	10(1)	5(2)
9	5(1)	10(1)	0(1)

1.4 数据处理

按照表 4 所设计的正交试验方案,在 EDEM 中依次设置各组试验参数,进行仿真试验。通过 EDEM 后处理的 Grid Bin Group 功能,设置一个 Mass Flow Sensor,对传统结构和折边结构下螺旋输送器的输送效率(即质量流率 q)监测和采集,数据采样间隔为 0.01 s,如图 4 所示。

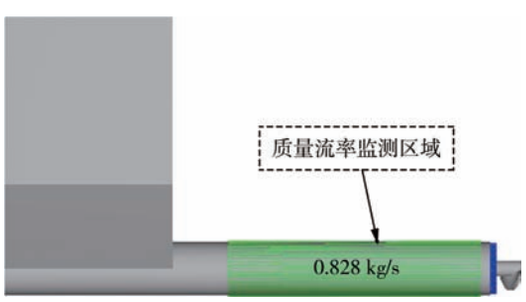


图 4 质量流率 q 的监测区域

Figure 4 Monitoring area for mass flow rate q

2 正交试验结果与分析

2.1 仿真试验结果

图 5 显示非连续折边螺旋输送机输送水稻颗粒时质量流率随时间的变化:3~5 s 流率逐步增加(未稳定),5 s 后趋于稳定。

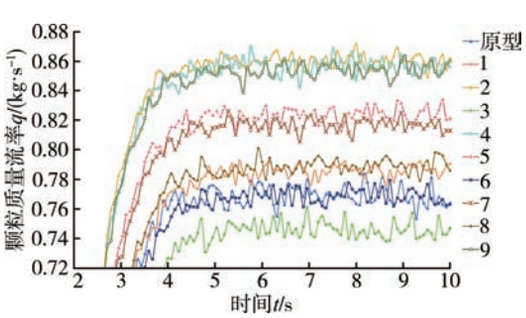


图 5 颗粒质量流率变化

Figure 5 The variation of mass flow rate of particles over time

9 组试验中,第 2 组流率最高,第 3 组最低,差值约 0.12 kg/s。通过对每组试验 5 s 后的质量流率取平均值,得到图 6 的稳定输送状态下的质量流率对比:试验组 1、2、4、5、7、9 的流率高于原型机,组 3、6、8 低于原型机。

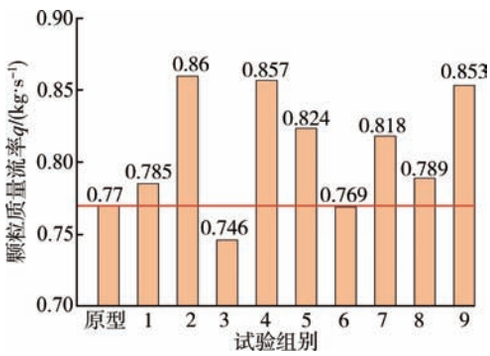


图 6 稳定状态下颗粒质量流率对比

Figure 6 Mass flow rate comparison of particles on stable state

2.2 仿真试验极差分析

根据图 6,对 B,L,S 如何影响 q 进行极差分析,结果如表 5 所示。

表 5 颗粒质量流率计算结果

Table 5 Calculation results of particle mass flow rate

试验组别	B/mm	L/mm	S/mm	q/(kg·s^{-1})
1	10(3)	20(3)	0(1)	0.785
2	5(1)	15(2)	10(3)	0.860
3	10(3)	10(1)	10(3)	0.746
4	5(1)	20(3)	5(2)	0.857
5	7.5(2)	20(3)	10(3)	0.824
6	10(3)	15(2)	5(2)	0.769
7	7.5(2)	15(2)	0(1)	0.818
8	7.5(2)	10(1)	5(2)	0.789
9	5(1)	10(1)	0(1)	0.853
K_1	2.570	2.389	2.457	
K_2	2.431	2.447	2.415	
K_3	2.300	2.466	2.430	
k_1	0.857	0.796	0.819	
k_2	0.810	0.816	0.805	
k_3	0.767	0.822	0.810	
R	0.270	0.077	0.042	

k_i 的公式如式(1)所示。

$$k_i = K_i / c \tag{1}$$

式中:k_i——任一列试验因素水平取 i,试验结果算术平均值;

K_i——任一列试验因素水平取i，试验结果之和，i=1，2，3；

c——任一列各水平出现的次数。

极差R的计算方程如(2)所示。

$$R=max\{k_1, k_2, k_3\}-\min\{k_1, k_2, k_3\} \quad (2)$$

式中：R——极差。

当B=5 mm时流率最大，为0.857 kg/s，且随B增大递减；L=20 mm时流率最高，为0.822 kg/s，随L增大递增；S=0 mm时流率为0.819 kg/s，略高于其他。最优方案(B=5 mm、L=20 mm、S=0 mm)结果显示流率为0.86 kg/s，较原型机提升11.73%，验证了非连续折边结构的参数对输送性能的可靠性。

3　螺旋输送机台架试验

3.1　材料与方法

图7为螺旋输送机输送水稻颗粒的试验台架，外筒由不锈钢和有机玻璃两部分组成。



图7　螺旋输送机试验台架

Figure 7　Test bench for screw conveyor

1. 螺旋输送装置　2. 驱动装置　3. 转速传感器　4. 无线扭矩传感器　5. 工业相机　6. 接料箱

台架试验的电机转速取300～700 r/min，间隔100 r/min，其他试验条件不变，为减少随机性误差，每种结构螺旋输送机在不同转速下的台架试验均做3组，结果取平均值。不同结构螺旋输送机的试验顺序依次为传统螺旋输送搅龙、非连续折边结构的螺旋输送搅龙，螺旋叶片如图8所示。

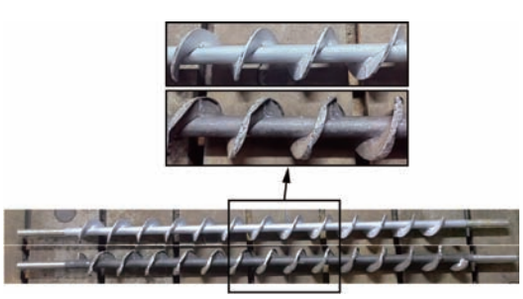


图8　传统结构和非连续折边结构

Figure 8　Traditional structure and discontinuous folded structure

搅龙螺旋叶片的非连续折边结构的参数选择B=5 mm，L=20 mm，S=0 mm。电机驱动搅龙转动，变频器调节转速，通过接料箱收集谷物籽粒，电子秤称量籽粒重量，计时器记录所用时间，计算输送效率q_t；通过工业相机观察不同结构螺旋输送机的有机玻璃处的颗粒运动状态差异。

3.2　试验结果与分析

3.2.1　输送效率对比

由图9可看出，原型机、非连续折边结构螺旋输送机的输送效率均随电动机转速的增加而增加，这是由于转速提升，螺旋叶片对物料的推动力增强，物料输送速度加快。其中非连续折边结构螺旋输送机的输送效率较高，原型机的输送效率最低。在300～700 r/min的试验条件下，非连续折边结构螺旋输送机比原型机的输送效率提高了5.41%～7.47%，这是由于非连续折边结构优化了物料流动状态。与非连续折边结构螺旋输送机输送水稻颗粒的仿真试验得到的结论一致，验证了非连续折边结构在提升输送效率方面的有效性。

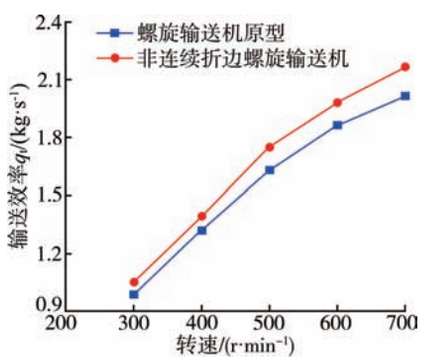


图9　螺旋输送机输送效率

Figure 9　The conveying efficiency of screw conveyors

3.2.2　水稻颗粒流动状态对比

结合图9中螺旋输送机输送效率随转速的变化特性，使用工业相机装置观察台架试验下水稻颗粒在原型、非连续折边结构螺旋输送机中的流动状态。图10为电动机转速为300 r/min时，水稻颗粒在2种不同结构螺旋输送机稳态输送下的运动状态。水稻颗粒的流动轨迹与螺旋输送机轴向方向成一定夹角，相较于原型机的53.13°，优化结构中颗粒流动轨迹与轴向的夹角为47.15°，减小了5.98°，使轴向速度分量占比从原型机的60.0%提升至68.01%。夹角越小，说明水稻颗粒轴向速度与水稻颗粒速度的比值越大，越利于水稻颗粒的输送。原型机稳态输送时，水稻颗粒轴向速度与总速度的比值较小，即流动轨迹与轴向夹角较大，解释了图9中原型机输送效率较低的原因；非连续折边结构的螺旋输送机改变了水稻颗粒的流动状态，减小了流动轨迹与轴向的夹角，增大了轴向速度占比，产生了积极效果，这与图9中的结果相互验证。

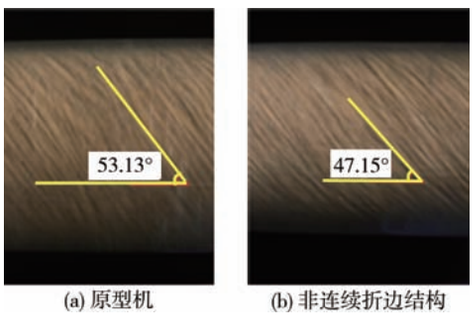


图 10 颗粒流动轨迹

Figure 10 The flow trajectory of particles

4 结论与展望

针对传统螺旋输送机在颗粒输运过程中效率低、能耗高的问题,创新提出了折边导流结构的螺旋输送机设计。主要结论如下:

1) 非连续型折边结构参数优方案 B=5 mm,L=20 mm,S=0 mm时输送性能提升较大。

2) 非连续折边结构螺旋输送机使输送效率提升5.41%~7.47%,通过改变颗粒流动状态,增大轴向速度与合速度比值,有效提高谷物轴向输送速度。

3) 本研究在非连续折边结构螺旋输送机方面取得了进展,未来将进一步研究不同作物以及工况下折边结构参数的适应性。

参 考 文 献

[1] 刘春飞, 李艳洁, 王玉. D形截面螺旋输送机输送颗粒物料的实验研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(8): 141-146.
LIU Chunfei, LI Yanjie, WANG Yu. Experimental study on particles conveying in screw conveyor of D-shape cross section [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(8): 141-146.

[2] ISAEV Y M, ZLOBIN V A, SEMASHKIN N M, et al. Spiral screw as the working body of a conveyor [C]// AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022, 2503(1): 030033.

[3] FERNANDEZ J W, CLEARY P W, MCBRIDE W. Effect of screw design on hopper drawdown of spherical particles in a horizontal screw feeder [J]. Chemical Engineering Science, 2011, 66(22): 5585-5601.

[4] 蔡文源, 王利强, 徐立敏. 基于CFD-DEM的超细碳酸钙螺旋输送仿真分析[J]. 中国粉体技术, 2024, 30(3): 100-111.
CAI Wenyuan, WANG Liqiang, XU Limin. Simulation analysis of ultrafine calcium carbonate spiral transportation based on CFD-DEM [J]. China Powder Science and Technology, 2024, 30(3): 100-111.

[5] 李超, 欧笛声. 水平螺旋输送机输送效率与能耗优化探究[J]. 装备制造技术, 2023(3): 102-105, 125.

[6] 陈岁繁, 张小猛, 李其朋, 等. 垂直螺旋输送机输送特性及其参数优化研究[J]. 机电工程, 2023, 40(5): 746-756.
CHEN Suifan, ZHANG Xiaomeng, LI Qipeng, et al. Conveying characteristics and parameter optimization of vertical screw conveyor [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2023, 40(5): 746-756.

[7] MA Z, WU Z, LI Y, et al. Study of the grain particle-conveying performance of a bionic non-smooth-structure screw conveyor [J]. Biosystems Engineering, 2024, 238: 94-104.

[8] 郭华, 周健, 张金建, 等. 基于离散单元法的氢氧化锂粉末螺旋输送机优化设计[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2023, 49(2): 237-245.
GUO Hua, ZHOU Jian, ZHANG Jinjian, et al. Optimization design of the lithium hydroxide powder screw conveyor based on the discrete element method [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Natural Sciences), 2023, 49(2): 237-245.

[9] 贾宏禹, 吴帮雄, 孙文斌. 水平螺旋输送机输送规律及摩擦系数的影响研究[J]. 机械设计与制造, 2017(9): 236-239.
JIA Hongyu, WU Bangxiong, SUN Wenbin. Research on effect of friction coefficient on mass flow rate in horizontal screw conveyor [J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(9): 236-239.

[10] ZHANG H. Analysis of coal transportation efficiency of horizontal screw conveyor based on EDEM [J]. International Journal of Frontiers in Engineering Technology, 2023, 5: 58-64.

[11] KOKIEVA G E, VOINASH S A, KHAMAROVA S V, et al. Research of high-speed high-performance and small-sized screw conveyors-grain loaders [C]// Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020, 1679(4): 042030.

[12] CHEN Y, YANG S, WU J, et al. Impact of helical baffle structure on heat transfer performance of vertical condensers [J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 115: 9-16.

[13] 李博竑, 李骅, 齐新丹, 等. 基于CFD-DEM的排种器仿真及参数优化[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2021, 2(2): 26-41.
LI Bohong, LI Hua, QI Xindan, et al. Simulation and parameter optimization of seed metering device based on CFD-DEM [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization (in Chinese and English), 2021, 2(2): 26-41.

[14] 赵维松, 陈永生, 王振伟, 等. 粉碎玉米秸秆输送装置设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2021, 2(1): 1-12.

ZHAO Weisong, CHEN Yongsheng, WANG Zhenwei, et al. Design and experimental verification of conveying device for crushed cornstalks [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization (in Chinese and English), 2021, 2(1): 1－12.

[15] 朱荣生，苏保稳，王秀礼，等. 折边对旋流泵性能影响的数值计算与试验[J]. 排灌机械工程学报，2010，28(5)：398－401.
ZHU Rongsheng, SU Baowen, WANG Xiuli, et al. Numerical simulation and experiment of influence of hem on performance of vortex pump [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2010, 28(5): 398－401.

[16] 杨浩男. 弧形导流板在空调通风中的应用研究[J]. 制冷与空调，2022，22(2)：43－51.
YANG Haonan. Application of arc-shaped deflector in ventilation and air conditioning [J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2022, 22(2): 43－51.

[17] 王明超，陈亚平，吴嘉峰. 折边螺旋折流板电加热器换热强化[J]. 工程热物理学报，2016，37(10)：2206－2210.
WANG Mingchao, CHEN Yaping, WU Jiafeng. Heat transfer enhancement of folded helical baffle electric heaters [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2016, 37(10): 2206－2210.

[18] 落峻铭，陈峙，梁万吉，等. 螺旋叶片对装运性能的影响与结构优化[J]. 科学技术与工程，2024，24(27)：11631－11637.
LUO Junming, CHEN Zhi, LIANG Wanji, et al. Effects of spiral blades on shipping performance and structural optimization [J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(27): 11631－11637.

[19] 朱永乐，马征，陈树人，等. BP神经网络预测变振幅防堵筛分性能研究——基于EDEM-RecurDyn仿真[J]. 中国农机化学报，2022，43(11)：75－80.
ZHU Yongle, MA Zheng, CHEN Shuren, et al. Study on BPNN prediction of variable amplitude anti-blocking screening performance: Based on EDEM-RecurDyn simulation [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(11): 75－80.

[20] ELSKAMP F, KRUGGEL-EMDEN H, HENNIG M, et al. A strategy to determine DEM parameters for spherical and non-spherical particles [J]. Granular Matter, 2017, 19(3): 46.

[21] LI T, LI C, LI C, et al. Porosity of flowing rice layer: Experiments and numerical simulation [J]. Biosystems Engineering, 2019, 179: 1－12.

[22] 姜鑫，尹文庆，浦浩，等. 基于结构光三维视觉的螺旋输送器谷粒体积的测量方法[J]. 南京农业大学学报，2019，42(2)：373－381.
JIANG Xin, YIN Wenqing, PU Hao, et al. Measurement method of grain volume on screw conveyor based on structured light of 3D vision [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2019, 42(2): 373－381.

[23] 付国皓. 联合收获机高位卸粮装置中物料运动分析与结构优化[D]. 镇江：江苏大学，2019.
FU Guohao. Material movement analysis and structure optimization in high-level unloading unit of combine harvester [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.

Research on efficient transport for grain particle groups in non-continuous folded edge spiral conveyors based on DEM

ZHU Yongle[1, 2], MA Zheng[1, 2*], LU Zhonghua[3], LI Yaoming[1, 2], LI Yufei[1, 2]

(1. *School of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang* 212013, *China*; 2. *Key Laboratory for Theory and Technology of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment, Jiangsu University, Zhenjiang* 212013, *China*; 3. *Jiangsu Linhai Power Machinery Group Co., Ltd., Taizhou* 225300, *China*)

Abstract: The conveying of grains is a critical process in the operation of combine harvesters, and the performance of this conveying system directly affects the overall operational efficiency of the harvester. However, traditional screw conveyors often suffer from low conveying efficiency during grain transport, which has become a bottleneck limiting the improvement of harvester performance. To address this issue, this study focuses on optimizing the structural parameters of key components in screw conveyors with the aim of enhancing their conveying performance. A novel discontinuous folded-edge structure was

innovatively proposed. Based on the discrete element method (DEM) and orthogonal experiments design, folded-edge width B, axial folded-edge length L_x, and axial spacing between folded-edges S_x were systematically investigated with mass flow rate q as the performance evaluation indicator. The optimal combination of structural parameters was determined through range analysis. To verify the reliability of this optimization scheme, bench tests and high-speed photography were conducted to compare the conveying efficiency and material motion characteristics between the optimized design and the traditional screw conveyor. The research results indicate that, orthogonal simulation experiments identified the optimal parameter combination for the discontinuous folded-edge structure: B=5 mm, L=20 mm, S=0 mm. Bench tests confirmed the reliability of the optimized structure, demonstrating a 5.41% to 7.47% improvement in conveyance efficiency compared to the prototype. High-speed photography analysis further revealed that the discontinuous folded-edge structure effectively alters the flow state of particles, increasing the ratio of axial velocity to resultant velocity. This results in a higher axial conveying speed, enhances the axial transport of grain particles, and reduces energy loss. This study designed a screw conveyor with a discontinuous folded-edge structure, which improved the conveying performance of grain particles. The findings provide a solid theoretical basis and practical guidance for the structural optimization of screw conveyors.

Keywords: folded-edge guide structure; spiral conveyor; DEM simulation; parameter optimization; grain transport performance; combine harvester

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (52375249)

First Author: ZHU Yongle, E-mail: 2017429651@qq.com

* **Correspondence Author:** MA Zheng, E-mail: mazheng123@ujs.edu.cn