

犁体阻力离散元仿真分析

王屹峰,李庆达,汪 昊,刘明辉,王晨臣

(黑龙江八一农垦大学 工程学院,黑龙江 大庆 163319)

摘 要:为验证离散元法分析犁体耕作阻力的可靠性,利用离散元仿真对犁体阻力进行分析。通过多组参数的仿真试验,获得在不同含水率土壤条件下进行不同耕深的犁体牵引阻力数据。结果表明,犁体的土壤耕作阻力随着土壤含水率与耕深的增大而增大,与田间耕作结果一致,证明了离散元法分析犁体土壤耕作阻力的可行性,为犁体的耕作模拟仿真研究提供一定参考。

关键词:犁体;离散元;土壤;阻力

中图分类号:S222

文献标识码:A

doi:10.14031/j.cnki.njwx.2024.04.002

Discrete Element Simulation Analysis of Plough Body Resistance

WANG Yifeng, LI Qingda, WANG Hao, LIU Minghui, WANG Chenchen

(College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to verify the reliability of the discrete element method to analyse the plough body ploughing resistance, the plough body resistance was analysed by using discrete element simulation. The data of plough body traction resistance for different ploughing depths under different water content soil conditions were obtained through simulation tests with multiple sets of parameters. The results show that the soil tillage resistance of the plough body increases with the increase of soil water content and ploughing depth, which is consistent with the results of field ploughing, proving the feasibility of the discrete element method to analyse the soil tillage resistance of the plough body, and providing a certain reference for the research of ploughing simulation of ploughshare.

Keywords: plough body; discrete element; soil; resistance

0 引言

随着我国农业的不断发展进步,对农业生产耕作环节要求也越来越高。犁体作为耕作过程中最主要的工作部件,对犁体性能方面的要求也不断升高,许多学者通过多次重复田间试验来检测土壤阻力,消耗大量资源,而离散元仿真分析则可以减少田间试验中不必要的重复次数,节省大量时间^[1]。

离散元法把土壤整体视为不连续的离散介质,可较真实的模拟土壤中颗粒变化^[2]。离散元仿真模型可随时更改各项参数,达到试验需要的土壤效果。近年来,我国农业学者开始频繁运用离散元仿真分析方法进行试验研究,吴正阳^[3]采用一种基于EEPA接触模型的离散元参数标定方法,研究双翼深松铲铲翼张角、入土角对南方湿黏土壤深松作业阻力及土壤扰动的影响规律。鄂智等^[4]利用软件ADAMS对旋耕刀进行反转模拟仿真分析,探究土壤颗粒与旋耕刀之间的相互作用规律。刘明勇等^[5]

利用离散元软件 EDEM 分层建立土壤模型,观察犁体工作后的土壤扰动情况,以及铧式犁前进速度与铧刃角对犁体阻力的影响。大多农业学者研究表明,通过离散元法探究土壤与触土部件相互作用有显著效果,但关于犁体耕作牵引阻力仿真数值的研究还比较少。

本文将采用离散元软件(EDEM)对犁体的耕作阻力进行仿真研究,探究犁体在不同耕深与不同含水率土壤条件情况下土壤阻力的变化,为降低耕作阻力、提升作业效率提供理论依据。

1 模型构建

1.1 犁体三维模型构建

犁体作为耕地作业中与土壤接触的主要工作部件,犁体工作参数不仅影响着土垡的翻转质量,还对土壤耕作过程的牵引阻力大小有很大影响。

导曲线的绘制是建立犁体曲面非常重要的一环。农业学者在进行犁体研究中常用的犁体曲面绘制方法主要有水平直元线法、倾斜直元线法、曲元线法等^[5]。本文采用水平直元线法绘制犁体曲面,以 AB 直线为元线,CD 曲线为导曲线,使直线 AB 沿着曲线 CD 运动改变其夹角 θ ,且始终与 XOY 平面平行,形成犁体曲面^[5],其原理如图 1 所示。

犁体主要由犁铧、犁壁、犁侧板、犁托、犁柱等几部分组成,由于犁托、犁柱在工作时并未与土壤

基金项目:黑龙江八一农垦大学“三纵”科研支持计划重点专项(ZDZX202102)

作者简介:王屹峰(1998—),男,黑龙江虎林人,硕士研究生,研究方向为农机部件的阻力研究。

通讯作者:李庆达(1982—),男,辽宁辽阳人,博士,教授,研究方向为金属材料的摩擦磨损与防护。

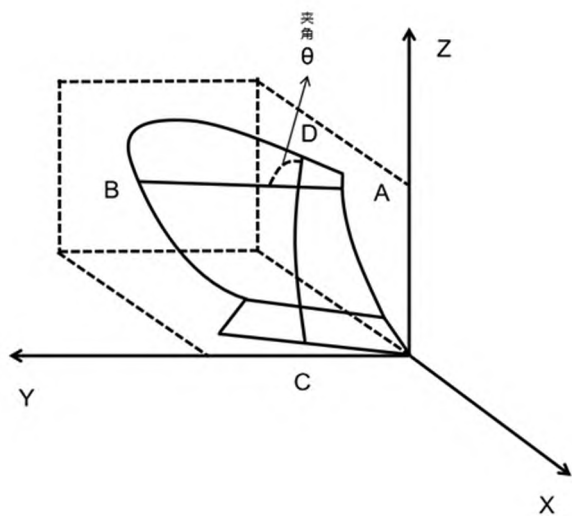
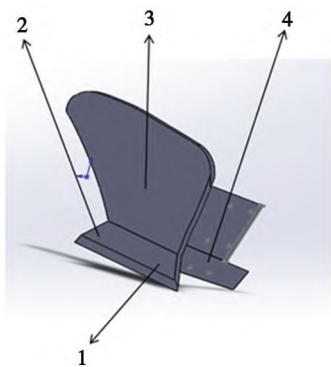


图1 水平直线法原理图

直接接触,本研究建立犁体模型并未添加犁托、犁柱。犁体组成部件中的犁铧由犁铲和犁尖组成,可以在模型中视作一个整体。通过查阅资料获取犁体数据参数后在 SolidWorks 软件中绘制出犁壁与犁侧板。将建好的犁体曲面与犁侧板进行装配得到犁体三维建模并将模型导出,建立模型如图 2 所示。



1. 犁尖;2. 犁铲;3. 犁壁;4 犁侧板

图2 犁体三维模型

1.2 土壤颗粒接触模型

犁体工作时,犁体深入土层内部运动,直接用三向传感器实时检测犁体所受三向阻力值十分困难,通过离散元模拟仿真可有效测定犁体阻力值。研究表明,离散元法在探究触土部件与土壤颗粒相互作用领域具有很好的应用前景。

仿真分析触土部件与土壤的相互作用时,选定土壤的接触模型十分重要,不同接触模型会出现不同的结果。东北土壤多为黑色黏土,土壤含水率高、黏性强,在 EDEM 中无法设定含水率这一参数,为表现土壤特性,可使用 Hertz – Mindlin withJKR 模

块对土壤颗粒添加约束力^[6]。这种约束力能够阻止颗粒间的相对运动,当产生相对运动的力达到设定的约束力时,约束被破坏,颗粒之间才被视为对彼此产生作用力,该模块可有效表现出土壤颗粒的含水率。本研究选择半径为 3,4,5 mm 的 3 种圆球混合添加作为土壤颗粒模型,如图 3 所示。建立好土壤颗粒模型后在离散元软件 EDEM 中建立一个 1 m × 1 m × 0.5 m 的土槽模型,并将建立好的土壤颗粒模型按照 1:1:1 的比例混合添加到土槽模型中。

1.3 土壤参数确立

使用离散元法对土壤与犁体仿真模型相互作用的过程进行求解,设定土壤与犁体的各项参数非常重要。离散元仿真参数主要分为材料参数和接触参数两大类,其中材料参数包括土壤、犁体的密度、泊松比和剪切模量等;接触参数包括土壤 – 土壤、土壤 – 犁体的静摩擦因数、滚动摩擦因数和恢复系数等^[7]。本研究通过查询文献资料确认仿真参数,参数详见表 1。

表1 仿真参数^[5]

项目	数值
犁体密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	7865
犁体剪切模量/Pa	7×10^7
犁体泊松比	0.3
土壤颗粒密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2680
土壤剪切模量/Pa	2.5×10^7
土壤泊松比	0.33
土壤颗粒半径/mm	3~5
土壤 – 土壤静摩擦因数	0.5
土壤 – 犁静摩擦因数	0.3
土壤 – 土壤动摩擦因数	0.05
土壤 – 犁动摩擦因数	0.25
土壤 – 土壤恢复系数	0.6
土壤 – 犁恢复系数	0.2

2 离散元仿真分析

2.1 离散元耕作过程仿真分析

仿真分析需要在 EDEM 软件前处理器模块,依次对接触参数、材料参数、土壤颗粒模型、边界模型和犁体模型导入,对颗粒工厂等进行设置。仿真试验为单因素试验,为观察阻力规律,需要对犁体模型的不同运动情况进行设置^[8]。本文通过改变耕深进行 9 组试验,仿真分析含水率分别为 17%, 20%, 23%, 耕深分别为 200, 250, 300 mm 的条件

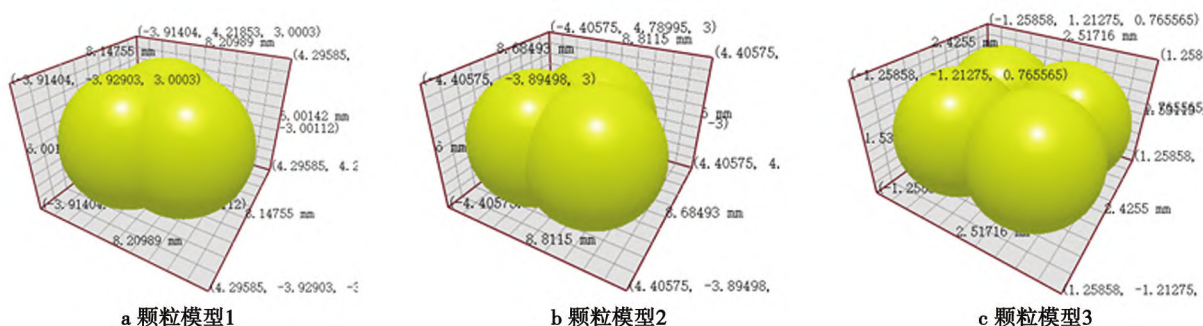


图 3 颗粒模型图

下,9 组试验犁体的工作情况和受到阻力的大小。在 EDEM 求解器模块对仿真时步、仿真时间、数据保存间隔时间等进行设置,仿真开始时生成土壤颗粒,待颗粒沉降稳定后犁体开始运动直至仿真结束,如图 4 所示。土壤颗粒颜色代表受力大小,由蓝色—绿色—红色变化(受力增大),在耕作作业时土壤颗粒受力增大,图中颜色分布状况也代表了犁体各个点的受力情况^[9],如图 4 中红色的颗粒都集中于犁铧处,代表犁铧处受力最大,说明仿真过程中犁体各部位受力不同。

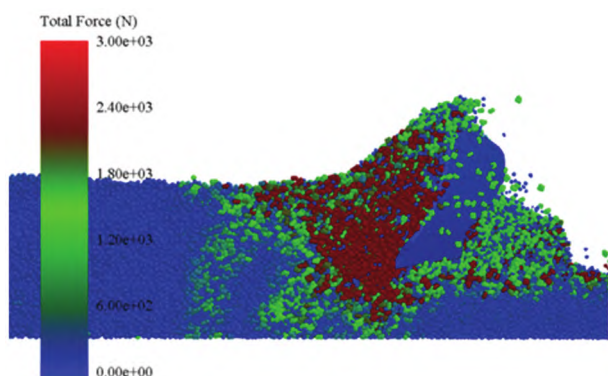


图 4 仿真模型

2.2 离散元结果分析

在 EDEM 软件中设置力的梯度颜色变化、土壤显示方式与切割平面后,进行仿真模拟结果分析。由图 4 可以看出与犁体表面接触的土壤颗粒颜色较深,说明颗粒间作用力大,耕作后的土壤颗粒颜色较浅,说明颗粒间的作用力减小。犁体周围土壤颗粒虽并未与犁体直接接触,但受到间接挤压使局部颜色由蓝色变成绿色,与犁壁、犁侧板直接接触的土壤颗粒则变为绿色,与犁铧部位接触的土壤颗粒变为红色。这表明土壤受犁体挤压切削时,犁体所受阻力不断增加,犁体在土壤中运动时对土壤进行扰动,并开出犁沟,此时土壤颗粒完全淹没犁体,犁体受到最大土壤耕作阻力。耕作后的土壤所受阻

力逐渐降低,土壤颜色渐渐变回蓝色。

通过 EDEM 导出工具,得到仿真过程的数据结果,如表 2 所示。通过表 2 牵引阻力数据可以得到,犁体在土壤中耕作受到的牵引阻力与耕深和土壤含水率成正相关。

表 2 牵引阻力表

耕深/mm	土壤含水率/%	牵引阻力/N
200	17	1405.5
200	20	1501.4
200	23	1653.0
250	17	1954.8
250	20	2019.2
250	23	2263.3
300	17	2731.6
300	20	2859.4
300	23	3034.8

将离散元软件得到的随时间变化的阻力数据绘制成折线图(图 5)。当耕深为 200,250,300 mm 时,不同土壤含水率下犁体仿真耕作阻力的大小及分布趋势分别如图 5a、图 5b、图 5c 所示。由图 5 可以看出,在耕深一定的情况下,随着土壤含水率的增大,耕作阻力不断增加,该结论与其他学者研究结果相一致。

3 结论

利用离散元法对犁体在不同耕深、不同土壤含水率的工况下进行了阻力分析。仿真结果可知,在耕深一定的情况下,土壤阻力随着土壤含水率的增加而增大。在土壤含水率一定的情况下,土壤阻力随着耕作深度的增大而增大,与田间实际情况相符,犁体在耕深为 200 mm、土壤含水率为 17% 的工况下牵引阻力最小,为 1 405.5 N,证明了离散元法

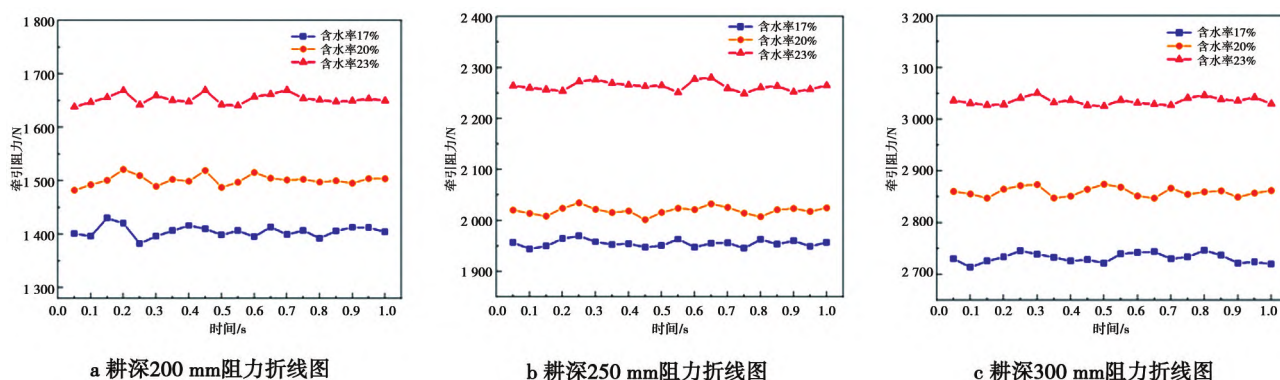


图5 阻力折线图

分析犁体在土壤中耕作阻力的可行性,为犁铧的耕作模拟仿真研究提供一定参考。

参考文献:

- [1] 贾洪雷,王万鹏,陈志,等.农业机械触土部件优化研究现状与展望[J].农业机械学报,2017,48(7):1-13.
- [2] 熊平原,杨洲,孙志全,等.基于离散元法的旋耕刀三向工作阻力仿真分析与试验[J].农业工程学报,2018,34(18):113-121.
- [3] 吴正阳.基于离散元法的双翼深松铲作业阻力研究[D].长沙:湖南农业大学,2021.
- [4] 鄂智,王霜,陈思旭,等.IT245旋耕刀正反转功耗有限元数值分析[C]//四川省机械工程学会.四川省机械工程学会第三届学术年会论文集.四川大学机械工程学院;江苏清淮机械有限公司,2018:7.

- [5] 刘明勇,胡成龙,谢柏林.基于离散元法的铧式犁仿真优化分析及试验[J].浙江农业学报,2022,34(11):2542-2552.
- [6] UCGUL M, SAUNDERS C, FIELKE J M. Discrete element modelling of top soil burial using a full scale mould-board plough under field conditions[J]. Biosystems Engineering, 2017, 160: 140-153.
- [7] 邓佳玉,胡军,李庆达,等.基于EDEM离散元法的深松铲仿真与试验研究[J].中国农机化学报,2016,37(4):14-18.
- [8] 梁晓彤.基于数值模拟的深松铲耕作阻力研究[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [9] 谢方平,吴正阳,王修善,等.基于无侧限抗压强度试验的土壤离散元参数标定[J].农业工程学报,2020,36(13):39-47.

(02)

(上接第7页)

部分处于 $-0.1 \sim 0.1$ mm之间,逆向建模精度符合要求。同时对插秧机浮板进行逆向结构优化设计,经过逆向设计结构优化后的插秧机浮板结构强度更加稳定,吹塑成型时,开模制造工艺更加科学合理,且可外接辅助浮板,增加浮力,适应更多的工作环境需求。

本文将逆向三维建模技术应用到农业领域,可有效缩短农机产品的设计研发生产周期、减少产品开发技术费用、提升偏差检测精度。为实现农业机械零件逆向优化设计建模和快速精确偏差检测提供了理论和实践参考。

参考文献:

- [1] 马立广.地面三维激光扫描测量技术研究[D].武汉:武汉大学,2005.
- [2] 吕乃光,孙鹏,娄小平,等.结构光三维视觉测量关键技术的研究[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2010,25(1):1-5.
- [3] 马晓伟,刘彩霞,陈小文,等.3D打印技术应用现状及其在农业中的发展前景[J].现代农业科技,2018(20):253-254.

- [4] 王瑞锋.面向3D打印的工业机器人+三维扫描应用技术研究[D].大连:大连理工大学,2018.
- [5] 赵秀艳,张亚雷,张开兴,等.基于视觉特征的农业机械三维模型相似性评价[J].山东农业大学学报(自然科学版),2016,47(6):879-884.
- [6] 张秀丽,侯朝鹏,叶芳,等.逆向工程对勾轮式排种器的三维模型优化[J].中国农机化学报,2019,40(1):18-21.
- [7] 杜立彬,高晓辉,王昊,等.逆向工程各关键技术的研究进展[J].机械制造,2004,42(6):41-45.
- [8] 张志伟.水稻插秧机浮板的作业性能及分析[J].农机化研究,1987,9(2):24-28.
- [9] 马立广.地面三维激光扫描仪的分类与应用[J].地理空间信息,2005,3(3):60-62.
- [10] 李清泉.三维空间数据的实时获取、建模与可视化[M].武汉:武汉大学出版社,2003.
- [11] 赖啸,郭晟.基于Geomagic DesignX的门把手反求设计与加工[J].机械工程师,2017(4):64-66.
- [12] 韩立洋,郭旭红.逆向工程技术在机械领域的应用[J].苏州大学学报(工科版),2008,28(4):58-60.
- [13] 吴荣.The Research and Application of Automobile Engine Airway Reverse Modeling Technology[D].贵阳:贵州大学,2010.

(02)