

基于 SPH/FEM 法的土壤深松过程仿真研究

袁军, 王景立 (吉林农业大学工程技术学院, 吉林长春 130118)

摘要 通过 Pro/E 软件建立弧形深松铲切削土壤的三维模型, 在 ANSYS Workbench 中对模型进行有限元前处理, 并生成 K 文件, 在 LS-PrePost 软件中对 K 文件进行修改, 生成仿真所需 SPH 粒子模型, 选择 MAT 147 号材料模型作为土壤, 运用 SPH/FEM 耦合方法进行土壤深松进行动态仿真, 仿真结果达到试验预期, 为土壤深松数字化设计提供新的方法。

关键词 深松; 深松铲; SPH 法; 仿真

中图分类号 S126 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)32-11580-02

Simulation of Soil Deep Loosening Process Based on SPH/FEM Method

YUAN Jun, WANG Jing-li (The College of Engineering and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract A three-dimensional model of subsoiler was constructed through Pro/E software, the finite element pre-processing was conducted on the model in ANSYS Workbench, K file was obtained and was modified in the LS-PrePost software, generating the required SPH particle simulation model. Choosing MAT No. 147 material model as soil, dynamic simulation was conducted on soil deep loosening by using SPH/FEM coupling method. The simulation results achieved the experimental expectation, which will provide a new method for soil deep loosening digital design.

Key words Deep loosening; Subsoiler; SPH method; Simulation

土壤深松是保护性耕作中一项关键技术^[1]。作为深松机具的核心部件, 能否满足使用强度要求, 达到减小深松耕作阻力和预期的松土效果是考量一个深松铲产品好坏的重要标准。因此深松铲的优劣标志着深松技术的水平。

传统的农机部件的设计大多采用经验设计与类比设计的方法, 设计的精度和可靠性并不高, 随着 CAD、CAE 技术的不断发展, 涌现出了大量优秀的计算机辅助设计与分析的软件, 例如 PRO/E、CATIA、UG 等三维设计软件和 ANSYS、ADAMS、LS-DYNA 等有限元及多刚体分析软件, 这些软件的出现大大促进了现代机械的设计发展。

为此, 笔者在机械化保护性耕作深松理论的基础上, 运用三维设计软件 Pro/E 建立弧形深松铲切削土壤的三维模型, 并对其进行 FEM-SPH 法分析, 从而建立一种土壤深松过程模拟的新方法, 为深松铲的优化设计提供一种新的途径。

1 SPH 法简介

SPH 法也称为光滑质子动力学法, 是发展比较成熟的一种无网格法, 它以核函数近似为基础, 将连续介质离散为一系列具有质量的粒子, 通过核估计将方程离散。因为光滑粒子法不存在网格, 所以不存在计算大变形引起的困难, 因为粒子本身是 Lagrange 质点, 因此可以跟踪物质运动, 可以记录材料的变形历史和界面运动^[2-3]。

2 土壤深松模型的建立

2.1 土壤深松的 Pro/E 参数化建模 首先, 建立弧形深松铲的 Pro/E 模型, 建模过程中去除圆角和定位孔。其次, 建立土壤的 Pro/E 模型, 内层土壤的长宽高分别为 0.8、0.2、0.4 m, 外层土壤的长宽高分别为 0.88、0.28、0.44 m。最后, 利用 Pro/E 与 ANSYS 的数据接口, 将装配模型导入到 Pro/E

中 ANSYS Workbench 中。如图 1 所示。

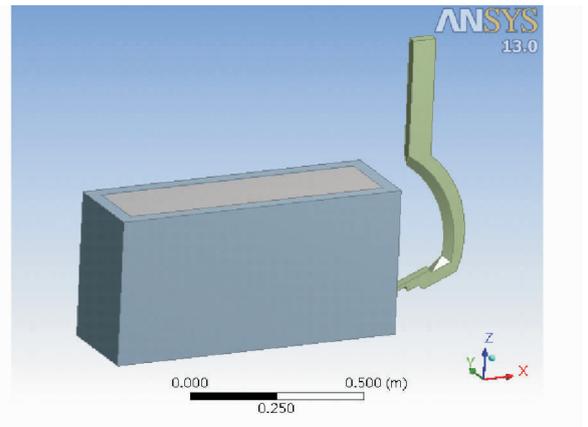


图1 Ansys Workbench 深松系统模型

2.2 深松土壤模型的有限元前处理^[4] 为了简化模型, 在 ANSYS Workbench 中, 取模型 1/2, 作为分析对象, 并设置其动力学参数。

2.2.1 单位定义。 设置模型的单位为 $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

2.2.2 网格划分。 采用自动划分网格法划分深松铲模型, 网格大小定义为 10 mm, 采用六面体网格划分土壤模型, 定义外层土壤网格的大小为 20 mm, 定义内层土壤的网格大小为 10 mm。

2.2.3 约束施加。 定义深松铲的速度方向为 $-X$ 轴, 大小为 3.6 km/h, 土壤底部采用全约束, 定义重力加速度方向沿 Z 轴正向, 大小为 9.8 m/s^2 , 如图 2 所示。

2.2.4 分析设置。 分析的时间为 0.5 s, 时间步安全因素为 0.9。

至此有限元前处理完成, 保存工程, 并导出 LS-PrePost 所需的 K 文件。

2.3 K 文件关键参数定义 用 LS-PrePost 软件对在生成的 K 文件关键参数进行定义, 定义的主要步骤如下。

2.3.1 创建 SPH 粒子。 将建模时的中间土壤模型转换为

基金项目 吉林省科技厅资助项目(20090212)。

作者简介 袁军(1985-), 男, 江苏宿迁人, 助教, 从事农业机械化工程方面的教学与科研工作。

收稿日期 2014-10-09

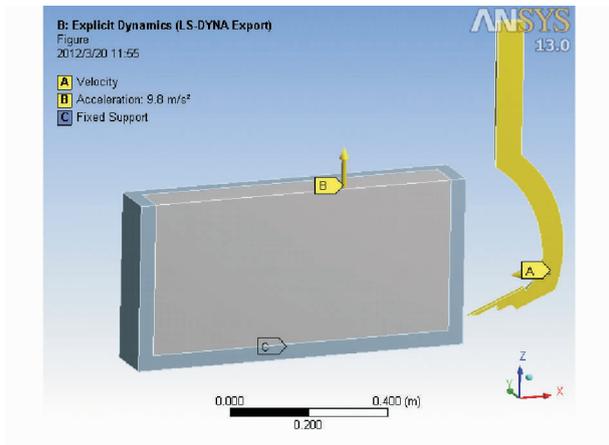


图 2 系统约束施加

SPH 粒子,选的 Method 为 Solid Center,输入土壤的密度设置为 $1\ 873\ \text{kg}/\text{m}^3$,生成 SPH 粒子如图 3 所示。

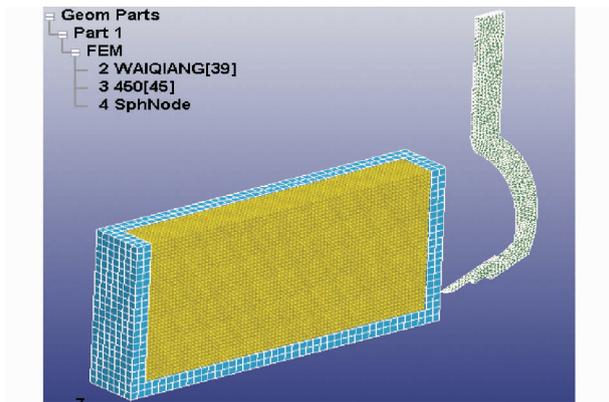


图 3 SPH 粒子的添加

2.3.2 创建点组。通过 *SET_NODE 关键字,定义组 1 为外层土壤底面的节点,定义节点组 2 为所有的深松铲节点,定义组 3 为所有 SPH 节点,定义组 4 为 SPH 的外层节点;通过 *SET_SEGM 关键字,定义组 4 为外层土壤内表面,定义组 5 为外层土壤的外边面。

2.3.3 定义 *BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_RIGID_ID 关键字。定义深松铲材质为刚性体,速度沿着 X 正方向。

2.3.4 定义 *BOUNDARY_SPC_SET 关键字。深松铲的所有自由度中除 X 方向都施加固定约束。

2.3.5 定义 *CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE_ID 关键字。设置 SPH 粒子与深松铲有限元模型接触方式为自动点面接触,其中主接触面为深松铲,从接触点为 SPH 粒子。

2.3.6 添加 *CONTACT_TIED_NODES_TO_SURFACE_OFFSET_ID 关键字。设置 SPH 粒子与外层土壤进行点面位置约束,主接触面为外层土壤,从接触点为 SPH 粒子。

2.3.7 定义 *CONTROL_CONTACT 关键字。定义 SLSFAC 为 1,定义接触面罚函数为 1。

2.3.8 定义 *CONTROL_SPH 关键字。采用三维 SPH 粒子计算。

2.3.9 定义 *CONTROL_TERMINATION 关键字。设置运算结束时间为 0.5 s。

2.3.10 添加深松铲材料 *MAT_RIGID_TITLE 关键字。深松铲为刚性材质,定义密度为 $7\ 800\ \text{kg}/\text{m}^3$,弹性模量约为 $2.1\ \text{e}11\ \text{Pa}$,泊松比为 0.3。

2.3.11 添加土壤材料 *MAT_FHWA_SOIL 关键字。定义水密度为 $1\ 000\ \text{kg}/\text{m}^3$,定义土壤的密度为 $1\ 837\ \text{kg}/\text{m}^3$,土壤比重为 2.65,定义土壤剪切模量 G 为 2.73 MPa,体积模量为 K 为 5.92 MPa,土壤的内摩擦角为 0.42,黏塑性参数为 1.1,土壤的含水率设置为 34%,内聚力为 12 KPa,定义最大主失效应力为 0.8。

2.3.12 添加 *SECTION_SPH 关键字。定义 SPH 粒子光滑长度为 1.2。

保存修改后的 K 文件,利用 Mechanical APDL Product Launcher 中的 LS-DYNA 求解器进行求解运算,计算结果如图 4 所示。

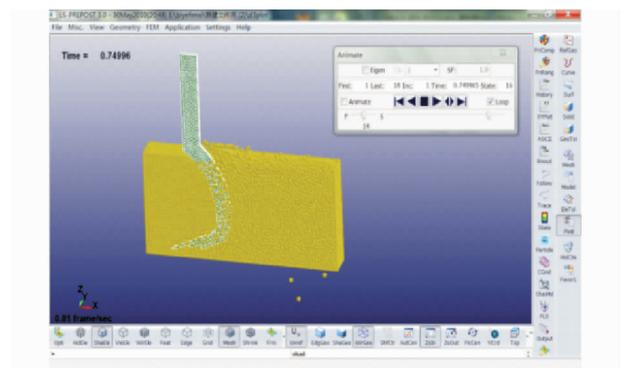


图 4 弧形深松铲切削土壤仿真

2.4 仿真结果分析 仿真结果显示,深松铲工作过程中,深松深度达到 40 cm,与铲头接触部分的土壤被紧密地压缩,铲身两侧的土壤也同时被压缩,表层土壤在耕作过程中向上隆起,但受到弧形铲刃的切削和压力作用而无法呈块状翻起,达到了松土而不翻土的目的,同时深松后的土壤内部较深松前要疏松。

3 结语

该研究运用三维设计软件 Pro/E 建立弧形深松铲切削土壤的三维模型,并对其进行 FEM - SPH 法仿真,仿真结果与田间试验的结果基本吻合,达到了预期的目的。

该研究建立了一种土壤深松过程模拟的新方法,为深松铲的优化设计提供一种新的途径,并为土壤深松数字化设计提供新的方法。

参考文献

- [1] 朱凤武,王景利,潘世强,等.土壤深松技术研究进展[J].吉林农业大学学报,2003,25(4):457-461.
- [2] 张刚明.光滑粒子法及其在冲击动力学中的应用[D].合肥:中国科学技术大学,2002.
- [3] LIU G R,LIU M B.光滑粒子流体动力学——一种无网格粒子法[M].韩旭,杨刚,强洪夫,译.长沙:湖南大学出版社,2005.
- [4] 袁军.基于土壤动力学的弧形深松铲数字化设计[D].长春:吉林农业大学,2012.