

# 一种简易碎土筛土机的设计

王丽伟, 蒋德云\*, 孔晓玲, 陈林

(安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

**摘要:** 介绍了一种简易碎土筛土机的设计与改进。基于 CATIA 对该机进行了三维实体建模, 研制了样机, 并针对样机试验中出现的土块回弹、土块堆积以及碎土率不高等问题进行了研究。对加料斗结构设计的改进, 解决了土块回弹现象。加料斗下端与筛筒实现了平滑连接, 从而使土块顺利进入破碎室。刀轴前端增加了螺旋推进刀片, 在碎土的同时起到了螺旋推进的作用。通过对加料斗以及刀片的改进明显改善了土块回弹和堆积现象, 提高了碎土率。利用 ANSYS 软件对刀轴进行了有限元分析, 用以确定刀轴的结构设计与选材满足工作强度需求。

**关键词:** 碎土; 筛土; CATIA; ANSYS

中图分类号: S223

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)01-0164-05

## Design and improvement of a simple type of clod pulverizer

WANG Li-wei, JIANG De-yun, KONG Xiao-ling, CHEN Lin

(School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** In this paper, we introduced the design and improvement of one simple clod-crushers and clod-riddlers. An three-dimensional solid model was established based on CATIA (computer aided tri-dimensional interface application), and an improvement was made on clod rebound, clod accumulation and low crushing rate based on the prototype during the experiment. The structural design of the feed inlet was modified to solve the clod rebound considerably and manufacturing-safety issue. The improved connection between the rock-bottom of the feed inlet and the sieve tube is smooth so that the clods can successfully reach the crush room. The propeller blade added in front of the blade shaft plays a great role of spiral advance while crushing clods. The improvement of the blade and feed inlet can increase the pulverizing rate. The blade shaft was analyzed with finite element based on ANSYS software so as to determine that the structure design and material selection could meet the intensity of the work request.

**Key words:** clod-crusher; clod-riddler; CATIA; ANSYS

简易式碎土筛土机主要用于水稻育秧配套的工厂化育苗及纸筒育苗用土的破碎和筛选以及果树、蔬菜、林业等采用营养袋育苗的苗土破碎和筛选。

目前国内同型的土壤破碎机有江苏宜兴车辆厂生产的 ST-2000 型碎土机以及配套的 CT-2000 筛土机, 江苏镇江振华路面机械生产的 XTP-500 型碎土机, 安徽白湖机械厂生产的 BJCT-2200 型碎土机以及配套的 BJST-2200 筛土机等<sup>[1]</sup>, 其中江苏宜兴车辆厂和安徽白湖机械厂生产的土块破碎机为碎土筛土分开的配套机械, 生产过程中操作不方便且成本较高。江苏镇江振华路面机械生产的 XTP-500 型碎

土机是用于道路用土的大型机械。作者研制的碎土筛土机是一种集碎土筛土于一体的土块破碎机, 其特点是使用方便操作简单、价格便宜、动力消耗小、生产效率高, 符合农用机械的要求。

## 1 三维实体建模

### 1.1 碎土筛土机的结构设计

碎土筛土机的样机结构参见图 1, 由进料斗、传动系统、碎土部件、筛土部件和出料口组成。

在工作过程中, 土块从加料口被加入, 沿着加料斗进入破碎室, 电动机由带轮传动将动力输送到

收稿日期: 2012-08-22

作者简介: 王丽伟, 男, 硕士研究生。E-mail: 313892608@qq.com

\* 通信作者: 蒋德云, 男, 博士, 教授。E-mail: cnjdy@126.com

刀轴, 刀片在刀轴的带动下高速转动, 土块进入破碎室时与第一个有螺旋推进功能的螺旋推进刀片相遇, 刀片与土块的高速碰撞下土块被切入和击碎, 从而达到破碎土块的效果。

土块经过破碎以后, 需要进行筛选, 一般要求土块破碎后的直径 $\leq 4\text{ mm}$ 。滚筒式筛网以链轮传动的形式在电机的带动下低速转动, 土块在进入滚筒内与刀片碰撞破碎后, 在筛筒转动下符合要求的土粒由筛筒的网眼掉落进入出料口, 不符合要求且最终不能完全破碎的土块由粗料口落下<sup>[2-4]</sup>。

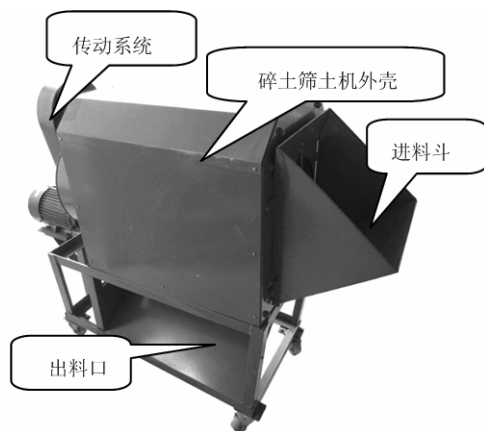
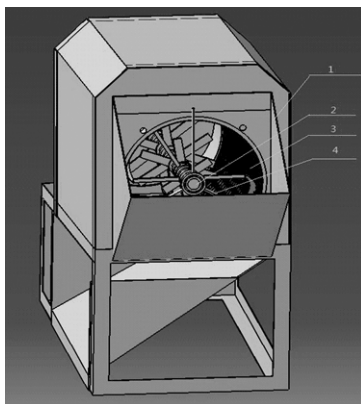


图 1 碎土筛土机样机  
Figure 1 Prototype of clod pulverizer



1. 进料斗 Loading hopper; 2. 刀轴 Blade shaft; 3. 筛筒 Sieve tube; 4. 轴承座 Bearing block

图 2 碎土筛土机三维图

Figure 2 Three-dimensional models of clod pulverizer

## 1.2 三维实体建模

利用计算机的实体造型技术实现设计思想, 进行结构优化。设计过程中根据样机的设计图纸采用“自下而上”的思想, 即是首先在 CATIA 的零件设计环境下, 通过拉升、旋转、多截面实体等操作对每一个单独的零件进行建模, 然后在装配设计环境下对每个部件进行装配, 完成对整机的三维实体建

模<sup>[5-6]</sup>。装配完之后, 还需对整机进行爆炸、干涉检查等操作, 找出设计不合理之处, 以及对部分部件进行有限元分析, 对相应部分的结构设计进行修改, 最终实现优化设计<sup>[7-8]</sup>。碎土筛土机的基本结构如图 2 所示, 由刀轴 2、筛筒 3 和轴承座 4 等主要部件组成。

## 2 碎土筛土机结构改进

针对样机试验中出现的土块回弹、土块堆积以及碎土率不高等问题进行了分析研究, 并对碎土筛土机的结构进行了设计和改进。

### 2.1 土块回弹

土块回弹是由于土块进入破碎室后与旋转的刀具碰撞而通过加料口蹦出现象, 既不安全也影响碎土率。在破碎过程中部分土块从加料口蹦出, 从而使得进入破碎室的土块减少, 使得破碎率降低<sup>[9-10]</sup>。在现有的碎土机中, 大部分都会出现尘土回弹造成工作环境较差的问题。因此对加料口的结构设计做了改进, 将原有的方形、敞开式加料口改为半封闭式且减小了加料口的倾斜角度, 控制了土块回弹现象, 土块回弹率从改进前的 3%以上下降到目前的 0.5%以下 (图 3)。



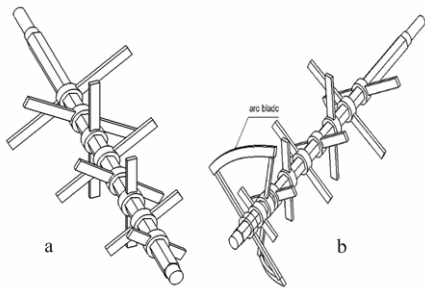
a. 改进前 Before modification; b. 改进后 After modification

图 3 加料斗的改进前后形状

Figure 3 Improvement of loading hopper

### 2.2 土块堆积

试验过程中出现了土块堆积的现象, 造成土块堆积的主要原因是加料斗下端与筛筒连接处设计不合理, 加料斗最下端与筛筒连接不平滑存在高度差。土块堆积在加料口处, 使部分土块不能进入破碎室进行破碎, 从而导致碎土率偏低。其主要问题在于加料口与筛筒连接处连接不平滑。针对这一问题的解决方法是在加料口内侧增加了 2 个圆弧形引导槽 (图 3), 改进后将加料口下端与筛筒平滑连接, 从而达到土块顺利到达破碎室的目的。改进后将加料斗下端与筛筒平滑连接, 从而达到土块顺利到达破碎室的目的。



a. 改进前的刀片 Straight blade;  
b. 改进后的刀片 After amendment

图 4 碎土刀片  
Figure 4 Crush blade

2.3 碎土率不高

碎土率不高造成的主要原因有 3 点：一是加料斗的结构设计不合理造成土块回弹和拥堵而导致碎土效率不高。二是筛筒的倾斜角度及晃动角度不合理，筛筒倾斜角度决定土块在筛筒中轴向位移的速度和时间，对碎土率有直接的影响，合理的筛筒倾斜角度可以有效的提高碎土率。三是土块与刀片的碰撞不充分，对于刀片的改进是在刀轴前端增加了一个螺旋推进刀片，在破碎的同时也起到了搅拌和螺旋推进的作用，更有利于土块与刀轴上后端刀片的碰撞接触。针对以上 3 点，对碎土筛土机的结构设计进行了改进，从而达到提高碎土率的目的。

2.3.1 刀片的改进 在碎土过程中有 3 种碎土形式存在，一种是刀片与土块的碰撞，一种是土块与土块之间的碰撞，还有一种是土块与筛筒的碰撞和摩擦。

碎土刀片为 8 对长度依次递增的直刀片，在土块进入破碎室后土块不能很好的与刀片碰撞且一定程度上造成土块回弹影响碎土率。针对这一问题在刀轴前端增加了一个圆弧刀片，在碎土的同时起到了螺旋推进的作用，缩短了土块进入筛筒与直刀片碰撞的时间，对土块堆积问题有很大的改善，改进后使土块更有效的与刀片碰撞破碎，提高碎土率。刀片结构如图 4 所示，刀轴上固定有 8 对刀片，每个相邻直刀片成 60° 排列，从而增大刀片与土块的碰撞概率。在刀轴最前端装有一个螺旋推进刀片，其兼有破碎和搅拌功能。

2.3.2 筛筒倾斜角度的确定 筛筒倾斜角度决定土块在筛筒中轴向位移的速度和时间，对碎土率有直接的影响，合理的筛筒倾斜角度可以有效的提高碎土率。所谓碎土率就是破碎后筛筒滤过所得碎土的质量与破碎前土块质量的比值。比值越大说明破碎效果越好。表 1 是实际试验过程中，得到的不同倾斜角值对应的碎土率。试验设计为每一倾斜角度对应做 10 组，取其平均值。

表 1 土块样本破碎数据  
Table 1 The data of broken clod samples

筛筒倾斜角/° Tilt angle of sieve tube	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 Mean
6.6	26.20	28.30	27.60	28.50	27.60	28.40	29.10	27.90	28.50	27.10	27.92
7.9	32.30	31.80	30.10	32.50	33.20	31.00	32.10	32.60	32.30	30.40	31.83
9.1	38.60	37.80	38.10	39.20	37.10	36.90	37.30	36.40	39.10	38.50	37.90
10.4	45.20	44.10	44.70	46.20	45.30	40.10	42.60	45.60	44.30	43.90	44.20
11.7	37.50	36.40	40.10	34.80	38.20	39.20	37.60	39.10	38.70	41.40	38.30
14.2	21.10	22.10	21.80	21.50	23.20	20.70	21.60	22.40	21.90	20.60	21.69

由试验数据可以得出：当角度为 10.4°时破碎效果最好，在设计过程中筛筒的倾斜角度应取 9.1 至 11.7°之间。

3 刀轴的受力分析

碎土筛土机的工作过程是：电动机输出转矩  $M_1$ ，通过带轮传动输入刀轴的转矩为  $M_2$ ，在  $M_2$  的作用下，刀轴带动刀片转动，旋转的刀片与由加料口进入的土块进行破碎。在此运动过程中，刀轴主要受驱动力矩  $M_2$ ，即产生驱动力矩的有效拉力  $F_1$ ，2 个轴承作用在主轴上的作用力  $F_2$ 、 $F_3$ ，刀片负载作

用在主轴上的反力矩  $M_3$  即作用力  $F_4$ ，刀片作用在主轴上的重力  $F_5$ ，带轮的重力  $G_1$ 、 $G_2$ 。



图 5 刀轴  
Figure 5 Cutter shaft

3.1 力矩及载荷的计算

碎土筛土机刀轴上排列有带轮 1、碎土刀片，分别位于图 5 的 1、2 位置。由于实际过程中的土块

破碎过程非常复杂, 所以采用转矩分配的方法进行受力简化。在转矩分配时不考虑系统的摩擦、阻尼等因素的影响。

已知电动机的输出额定转速即小带轮的转速  $n_1=1\ 400\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ , 输出功率为 1.5 kW, 小带轮直径  $d_1=120\ \text{mm}$ , 大带轮直径  $d_2=130\ \text{mm}$ , 由公式:

$$V_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000}$$

可求得小带轮的线速度  $v_1$  为  $8.792\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 由

$$n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$$

可求得小带轮转速  $n_2=1\ 292.3\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ; 由公式  $P=F_e v_1$ , 可得有效拉力  $F_{e1}=170.6\ \text{N}$ , 则作用在刀轴上的驱动力矩  $M_2=F_e d_2/2$ ; 根据已知条件可求得  $M_2=11.09\ \text{N}\cdot\text{m}$ ,  $F_{e2}=1\ 848.3\ \text{N}$ 。

已知刀轴转速即大带轮的转速  $n_2=1\ 292.3\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ , 刀片质量  $m_1=3.18\ \text{kg}$ , 由于刀片从 0 加速到  $1\ 292.3\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$  所需时间为 2.8 s, 刀片直径取 195 mm, 根据公式:

$$V_3 = \frac{\pi d_3 n_2}{60 \times 1000}$$

可得  $v_3=13.19\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 则刀片的角加速度

$$\beta = \frac{2v_3}{d_3 t}$$

求得  $\beta=48.31\ \text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$ , 转子的转动惯量  $J=1/8 m d_3^2$

求得  $J = 0.015\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$ , 刀片作用在主轴上的反力矩  $M_3=J\beta$

可得  $M_3=0.72\ \text{N}\cdot\text{m}$ ,  $F_4=45\ \text{N}$ 。

由于轴承反力  $F_2$ 、 $F_3$  的作用, 主轴在碎土筛土机样机的工作过程中处于平衡状态。对转子主轴进行有限元分析时, 对轴承中心所在的平面进行约束, 故不需要计算轴承反力  $F_2$ 、 $F_3$  的大小。根据计算可得带轮 1、带轮 2 质量分别为  $G_1=43.05\ \text{N}$ ,  $G_2=7.20\ \text{N}$ 。

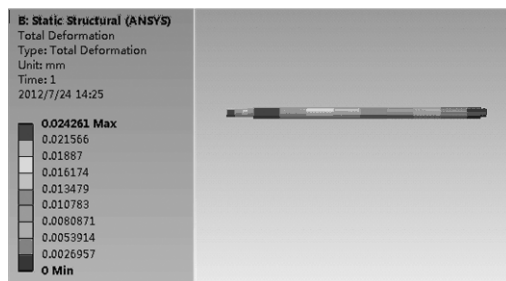


图 6 变形图

Figure 6 Deformation diagram

### 3.2 有限元分析

在 CATIA 中建立轴的几何模型; 在 ANSYS

WORKBRNCH 中建立有限元模型。使用的是经过简化的有限元模型。主轴选用的材料为 45 号钢。在 WORKBRNCH 中添加约束条件, 加载扭矩, 进行分析<sup>[11-12]</sup>。可得轴的变形图以及应力云图。有限元模型总共有 124 800 个节点以及 31 841 个单元。

此图是刀轴的受力变形图, 对刀轴的受力加载分析, 从图中可以看出最大变形。红色区域为最大变形区域, 最大变形为 0.024 mm, 变形很小符合使用要求。

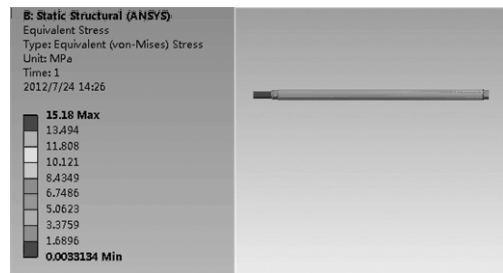


图 7 应力分布

Figure 7 Stress distribution

图 7 刀轴应力分布结果显示, 轴端最大应力为 15.18 MPa。针对直径  $d = 24\ \text{mm}$ , 选用材料为 45 号钢的刀轴, 通过对其应力分析以及变形图可以得出, 其最大变形量为 0.024 mm, 刀轴整体变形量符合工作要求。轴端最大应力为 15.18 MPa, 根据设计手册可得许用应力为 30 MPa, 由分析结果可知刀轴符合应力要求。结构设计以及选材可以满足工作要求。

## 4 结论

主要对一种简易碎土筛土机进行了设计, 针对试验过程中出现的土块回弹、土块拥堵和碎土率不高的问题进行了研究。将原先方形敞开式加料口改为方形半封闭式加料口且减小了加料斗的倾斜角度, 土块回弹率从改进前的 3%以上下降到目前的 0.5%以下。对加料斗下端与筛筒实现了平滑连接, 使得土块能够顺利的到达破碎室, 解决了土块拥堵问题。刀轴前端增加的螺旋推进刀片, 其在碎土的同时可以对土块起到螺旋推进的作用。在样机的试验中得到了筛筒倾斜角度在  $9.1$  至  $11.7^\circ$  之间时碎土率最高。通过对刀片的改进和筛筒的倾角确定提高了碎土率。对刀轴的有限元分析可以得出, 该设计的刀轴符合工作要求。但是该碎土筛土机还有待在生产实践中进行检验与改进。文中所述工作为该机的后期改进提供了有力依据。

## 参考文献:

- [1] 余进海, 孔晓玲. 基于 Solid Works 的水稻盘育秧用土处理机的虚拟设计[J]. 包装与食品机械, 2006, 24(2): 31-33.
- [2] 邵陆寿, 王继先. 优化设计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 1-20.
- [3] 唐敬麟. 破碎与筛分机械设计选用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991: 526-615.
- [4] 李瑞涛, 方涓, 张文明. 虚拟样机技术的概念及应用[J]. 机电一体化, 2000(5): 17-19.
- [5] Tushar H D, Rajit G. Creation of concept shape design via a virtual reality interface[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8): 555-563.
- [6] Chi-Cheng P C, Tushar H D, Rajit G. Multisensory user interface for virtual reality-based computer-aided design system[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(10): 709-729.
- [7] 贾仁耀, 刘湘伟. 建模与仿真的校核与验证技术综述[J]. 计算机仿真, 2007, 24(4): 49-51.
- [8] 张文. 转子动力学理论基础[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-4.
- [9] 中南矿冶学院选矿教研组. 破碎筛分[M]. 北京: 中国工业出版社, 2001: 35-104.
- [10] 曾德超. 机械土壤动力学[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1995: 438-532.
- [11] 曾攀. 有限元分析及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 3-5.
- [12] 刘涛, 杨风鹏. 精通 ANSYS[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 125-134.

## 更正

姜峰, 等: 基于清单分析的江苏省农业面源污染时空特征及源解析, 安徽农业大学学报, 2012, 39(6): 961; 通信作者崔春红性别应该是“男”; 基金项目应改为“江苏省太湖污染治理项目(TH2011210)和江苏省社会发展项目(BE2009671)共同资助”。

侯森林, 等: 盐城自然保护区射阳河口越冬期鸕鹚类生境选择, 安徽农业大学学报, 2012, 39(6): 986; 调查区域的面积, 应该是“500 hm<sup>2</sup>”。

以上3处错误特此更正, 向读者和作者一并诚挚道歉!