

# 清田整地机碎土辊耙齿有限元分析\*

王旭峰<sup>1</sup> 张学军<sup>2</sup> 马少辉<sup>1</sup> 张宏<sup>1</sup> 王伟<sup>1</sup> 梁建龙<sup>1</sup>

(1. 塔里木大学机械电气化工程学院, 阿拉尔 843300;

2. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052)

**【摘要】** 利用有限元非线性分析法建立了清田整地机碎土辊耙齿的有限元模型,对碎土辊耙齿进行强度和刚度分析,预测了清田整地机工作时碎土辊耙齿构件的受力和变形。分析数据与试验数据对比表明,有限元分析与试验结果一致,有限元分析为耙齿设计提供了可靠依据。

**关键词:** 清田整地机 碎土辊耙齿 非线性有限元

**中图分类号:** S223.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)04-0058-04

## Finite Element Analysis of Clod Crushing Rake Tooth in Field Cleaning Machine

Wang Xufeng<sup>1</sup> Zhang Xuejun<sup>2</sup> Ma Shaohui<sup>1</sup> Zhang Hong<sup>1</sup> Wang Wei<sup>1</sup> Liang Jianlong<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Tarim University, Alar 843300, China

2. College of Mechanical and Traffic, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

### Abstract

A finite element analysis model of the clod crushing rake tooth in field cleaning machine was built by the non-linear finite element analysis method. Based on the analysis of strength and rigidity, the bearing forces and distortion of the rake tooth in work were predicted. Compared with the simulation results, the prediction results calculated by finite element analysis model showed confident with the simulation results and reliable in the design and assessment of rake tooth.

**Key words** Field cleaning machine, Clod crushing rake tooth, Non-linear finite element

### 引言

随着我国地膜覆盖种植面积的不断扩大,大量的残膜污染严重影响作物的生长和发育,需要研究残膜回收机回收残膜。目前研究的残膜回收机主要有苗期残膜回收和收获后残膜回收。清田整地机可以在耕地后、春播前作业用于清除农田中的残膜和残茬<sup>[1-4]</sup>。碎土辊是清田整地机的主要工作部件,用于碎土、抛土和搂膜工作。由于土壤对碎土辊耙齿的作用力比较大,耙齿的受力及变形比较复杂,因此耙齿的设计应有足够的强度和刚度<sup>[5-8]</sup>。本文利用有限元法对耙齿进行模拟研究,采用 ANSYS 软件建立有限元模型并进行非线性有限元分析,得到耙

齿的受力和变形为耙齿设计提供依据。

### 1 碎土辊耙齿力学模型建立

#### 1.1 碎土辊耙齿运动轨迹

如图 1 所示,碎土辊旋转把拥上起膜叉排的土壤和残杂物向后拨动并抛向振动筛,同时将土壤打碎。耙齿的绝对运动由耙齿绕轴心旋转的圆周运动和机器前进的直线运动合成。

耙齿上 A 点运动轨迹的参数方程为

$$\begin{cases} x = v_m t - R \cos \omega t \\ y = R \sin \omega t \end{cases} \quad (1)$$

式中  $v_m$ ——机器前进速度, m/s

$\omega$ ——耙齿的回转角速度, rad/s

收稿日期: 2010-06-28 修回日期: 2010-08-23

\* “十五”国家科技攻关计划资助项目(2005BA901A24)和新疆生产建设兵团高新技术研究发展计划资助项目(2006GJS20)

作者简介: 王旭峰,副教授,主要从事农业机械设计理论研究, E-mail: wxfwyqwy@sina.com

通讯作者: 张学军,教授,主要从事农业机械设计理论研究, E-mail: zhxjau@sina.com

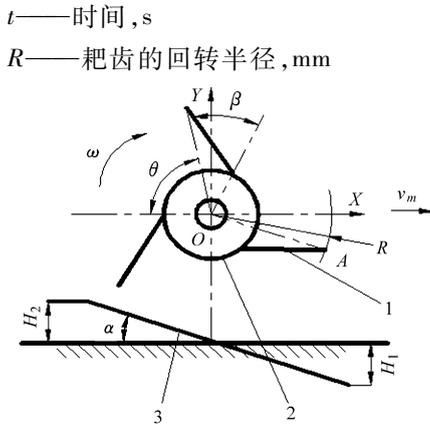


图1 碎土辊结构原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of clod crushing structure

1. 耙齿 2. 连齿辊 3. 起膜叉排

### 1.2 剩余土埂高度

剩余土埂高度为

$$a = R \left[ 1 - \cos \left( \frac{\pi}{z(\lambda - 1)} \right) \right] \quad (2)$$

其中  $\lambda = \frac{R\omega}{v_m}$

式中  $\lambda$ ——运动速比  $z$ ——耙齿数

## 2 碎土辊耙齿有限元分析

### 2.1 碎土辊耙齿几何模型确立

清田整地机碎土辊为圆柱形,耙齿对称分布焊接在圆柱辊子表面,模拟时以单个耙齿为对象,以减少运算的复杂程度<sup>[9]</sup>。

### 2.2 有限元模型的建立

以清田整地机碎土辊耙齿为研究对象,耙齿为 50 mm × 50 mm × 5 mm 的角钢,长度为 250 mm,与轴焊接。材料为 Q235,屈服极限  $\sigma_s = 235$  MPa,弹性模量  $E = 200$  GPa,泊松比  $\mu = 0.3$ ,密度  $\rho = 7.8 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>。以碎土辊耙齿方向为 X 轴,建立碎土辊耙齿几何模型<sup>[10-11]</sup>如图 2 所示。

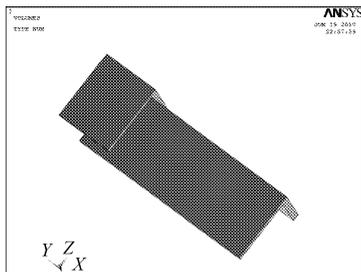


图2 碎土辊耙齿几何模型

Fig.2 Geometric model of clod crushing rake tooth

定义横截面类型和单元坐标系,对模型进行网格划分,生成有限元单元、节点,得到有限元分析的实体模型,然后施加荷载和约束。这里选取 Pro/E 实体单元对模型进行有限元网格划分<sup>[12]</sup>。碎土辊

耙齿有限元实体模型如图 3 所示,共划分 19 172 个实体单元,共计 35 932 个节点。

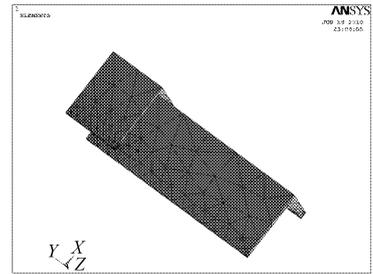


图3 网格划分后的碎土辊耙齿

Fig.3 Lattice treatment of clod crushing rake tooth

### 2.3 加载与约束

ANSYS 的求解就是解方程。通过各类求解器,求解由有限元方法建立的联立方程组,其结果是得到节点的自由度解,并进一步得到单元解。对碎土辊耙齿施加 ALL FOF 方向的约束,即限制了端面的所有自由度<sup>[13]</sup>,如图 4 所示。

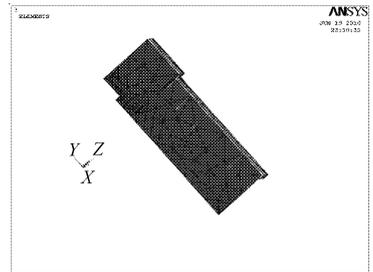


图4 碎土辊耙齿上自由度约束和杆上施加的力

Fig.4 Degree restriction of freedom and imposition of force on bar of clod crushing rake tooth

### 2.4 结果分析

通过后处理,可以读入原有的数据文件和恢复其他数据项,也可以通过后处理器,以多种方式显示分析结果,这样可以查看所加载荷在所建模型上产生的影响<sup>[14-15]</sup>。

图 5 为等效应力分布云图。由图可知,等效应力从耙齿端部到根部线性增大,耙齿根部应力最大, X 方向等效应力为 1 276 Pa,变形或断裂的机会最大,所以要进行加强处理。图 6 为碎土辊耙齿受载荷后的变形情况。由图可以看出,耙齿端部变形最

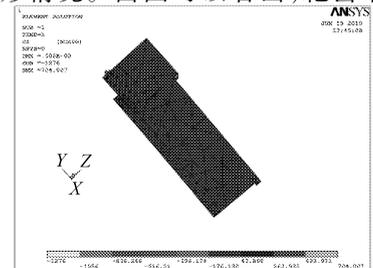


图5 碎土辊耙齿应力分布云图

Fig.5 Simulative bearing force distribution of clod crushing rake tooth

大,  $X$  方向最大变形为 0.586 mm。

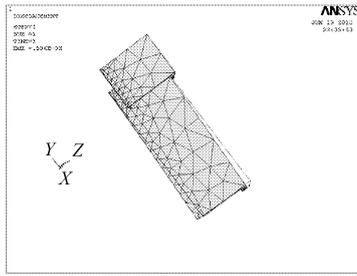


图6 碎土辊耙齿变形图

Fig.6 Simulative distortion of clod crushing rake tooth in work

### 3 试验验证

在犁后棉花地用该清田整地机进行田间试验, 试验土壤为南疆地区种植棉花的沙性土壤, 含水率为 28.9%。使用测力器、金属应变传感器等仪器进行试验。对耙齿进行等分确定 A、B、C、D、E 测试

点, 对每个测试点进行 5 次测定, 计算平均值, 测得碎土辊耙齿的受力情况如图 7 所示, 测试点受力和变形如表 1 所示。

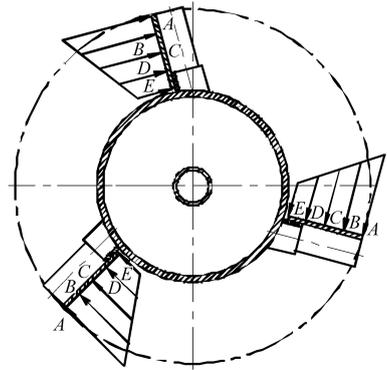


图7 碎土辊耙齿的受力情况

Fig.7 Bearing force of the clod crushing rake tooth in field test

由表可知, 碎土辊耙齿变形从端部到根部逐渐减小, 耙齿端部变形最大为 0.572 mm。

表 1 测试点的受力和变形结果

Tab.1 Results of bearing forces and distortion

项目	测试点				
	A	B	C	D	E
试验测得各点平均受力/N	218	153	100	58	46
试验测得各点平均变形/mm	0.572	0.468	0.360	0.264	0.154
有限元分析得到各点变形/mm	0.586	0.478	0.365	0.257	0.150
有限元分析与试验实测变形相对误差/%	2.4	2.1	1.4	2.7	2.7

### 4 结论

(1) 实测与有限元模拟结果对比, 各测试点变形的最大误差为 2.7%。

(2) 通过对清田整地机碎土辊耙齿的非线性有限元分析及实际捡残膜试验, 表明用非线性有限元对碎土辊耙齿模拟是一种有效的方法。

### 参 考 文 献

- 张学军, 吴成武, 马少辉, 等. 残膜回收机搂膜连杆机构模糊优化设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 55~58.  
Zhang Xuejun, Wu Chengwu, Ma Shaohui, et al. Fuzzy optimization design of the links mechanism with film rake of remnant plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 55~58. (in Chinese)
- 张学军, 吴成武, 王伟, 等. 齿形刮板式残膜与残茬输送装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 49~51.  
Zhang Xuejun, Wu Chengwu, Wang Wei, et al. Design and experiment on the zigzag scraper transportation device for remnant plastic film and stubble[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 49~51. (in Chinese)
- 张学军, 王旭东, 马少辉, 等. 清田整地机械的设计[J]. 塔里木农垦大学学报, 2002, 14(1): 1~4.  
Zhang Xuejun, Wang Xudong, Ma Shaohui, et al. Design of a field clearing machine [J]. Journal of Tarim University of Agricultural Reclamation, 2002, 14(1): 1~4. (in Chinese)
- 王旭峰, 张学军, 李永奎. 清田整地机械起膜和碎土装置的运动仿真——基于 Pro/E 软件[J]. 农机化研究, 2008, 30(2): 49~51.  
Wang Xufeng, Zhang Xuejun, Li Yongkui. Dynamic simulation of device about film uncovering and clod crushing of field—clearing machinery based on Pro/E [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(2): 49~51. (in Chinese)

- 5 Kim T H, Reid S R. Multiaxial softening hinge model for tubular vehicle roll-over protective structure[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2001, 43(9): 2147 ~ 2170.
- 6 Ciark B J, Thambiratnam D P, Perera N J. Analytical and experimental investigation of a roll over protective structure[J]. Institution of Structural Engineers, 2006, 84(1): 29 ~ 34.
- 7 Cheng Xinhua, Wu Chengwu. Trial analysis on constitutive relation and finite element method analysis of unsaturated cultivatable soils[C]//Proc. 1st Conf. ISTVS Beijing, China, 1986: 101 ~ 114.
- 8 Chi L, Kuxhwaha R L. Three-dimensional, finite element interaction between soil and tillage tool[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(2): 361 ~ 366.
- 9 孙清, 白红春, 赵旭, 等. 蜂窝状生物质燃料固化成型有限元分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 107 ~ 109.  
Sun Qing, Bai Hongchun, Zhao Xu, et al. Finite element analysis of honeycomb biomass fuel press briquetting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 107 ~ 109. (in Chinese)
- 10 杨光. 2CZ-21型甘蔗种植机机架的力学分析与优化[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 87 ~ 88.  
Yang Guang. Mechanical analysis and optimum of vehicle frame of 2CZ-21 sugar cane planter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 87 ~ 88. (in Chinese)
- 11 李勇, 施光林, 陈兆能. 低速大扭矩液压马达连杆的 ANSYS 有限元分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 137 ~ 139.  
Li Yong, Shi Guanglin, Chen Zhaoneng. FEM analysis of connecting-rod in low speed high torque hydraulic motors with ANSYS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 137 ~ 139. (in Chinese)
- 12 Ciark B J. The behaviour of roll over protective structures subjected to static and dynamic loading condition [D]. Brisbane: Queensland University of Technology, 2006.
- 13 傅程, 王延荣. 风力发电机风轮叶片三维有限元建模研究[J]. 机械设计, 2009, 26(9): 50 ~ 53.  
Fu Cheng, Wang Yanrong. Research of 3D finite element modelling on wind wheel blade of wind power generator[J]. Journal of Machine Design, 2009, 26(9): 50 ~ 53. (in Chinese)
- 14 王国强. 实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2000.
- 15 夸克工作室. 有限元分析基础篇 ANSYS 与 Mathematica[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

(上接第 52 页)

#### 参 考 文 献

- 1 赵匀, 俞高红, 武传宇, 等. 机构数值分析与综合[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- 2 赵匀. 农业机械计算机辅助分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- 3 李福生. 非圆齿轮[M]. 北京: 机械工业出版社, 1975.
- 4 吴序堂, 王贵海. 非圆齿轮及非匀速比传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- 5 俞高红, 谢仁华, 赵匀. 椭圆齿轮传动后插旋转式分插机构运动分析和实验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 45 ~ 48.  
Yu Gaohong, Xie Renhua, Zhao Yun. Kinematic analysis and experiment of backward rotary transplanting mechanism with elliptical gears transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 45 ~ 48. (in Chinese)
- 6 李革, 赵匀, 俞高红. 椭圆齿轮行星系分插机构的机理分析和计算机优化[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 78 ~ 80.  
Li Ge, Zhao Yun, Yu Gaohong. Theoretical analysis and parameters optimizing of separating-planting mechanism with planetary elliptic gears [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 78 ~ 80. (in Chinese)
- 7 武传宇, 赵匀, 陈建能. 水稻插秧机分插机构人机交互可视化优化设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 46 ~ 49.  
Wu Chuanyu, Zhao Yun, Chen Jianneng. Optimization design of transplanting mechanism of rice transplanter based on visualization human-computer interaction[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 46 ~ 49. (in Chinese)
- 8 俞高红, 钱孟波, 赵匀, 等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星系分插机构运动机理分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 81 ~ 84.  
Yu Gaohong, Qian Mengbo, Zhao Yun, et al. Analysis of kinematic principle of transplanting mechanism with eccentric gears and non-circular gears [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 81 ~ 84. (in Chinese)