

免耕播种机缺口圆盘刀有限元静强度分析*

杨帆 李问盈 李洪文 苏艳波

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 采用 ANSYS 软件对免耕播种机缺口圆盘刀进行了有限元静强度分析。通过定义单元类型、材料属性,对圆盘刀进行了网格划分,从而生成了圆盘刀的有限元模型,载荷为切割作物秸秆的切割阻力以及切破地表、挤开土壤的切土阻力。通过求解圆盘刀的有限元模型,得到刀片的应力分布图,为缺口圆盘刀的设计和 optimization 提供了理论依据。

关键词: 免耕播种机 缺口圆盘刀 有限元法 强度分析

中图分类号: S223.2⁺4; O241.82 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)06-0053-03

Finite Element Analysis for Gap Disc of No-till Planter

Yang Fan Li Wenying Li Hongwen Su Yanbo

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In order to obtain better anti-blocking device on no-till planter, a finite element analysis on gap disc with ANSYS was conducted. Through element type selecting and material properties setting, ANSYS could transfer gap disc image into mesh size and generate a finite element model, in which loadings consisted of straw-cutting resistance and soil-penetrating resistance. Then the gap disc model was calculated, a series figure of different components of stress was obtained. Theoretical basis of further modification and optimization for gap disc was given.

Key words No-till planter, Gap disc, Finite element method, Strength analysis

引言

免耕播种机是在有作物秸秆和残茬覆盖的免耕地上作业的,要求具有较好的防堵性能^[1~3]。目前,免耕播种机的防堵装置主要有切断型和分开型。本文研究的缺口圆盘刀属于切断型主动式防堵装置。圆盘刀先切断秸秆后入土,进而切开地表,它是靠圆盘刀切断覆盖于地面的秸秆,避免秸秆因缠挂在开沟器上或夹在两开沟器之间而造成堵塞。

由于作物秸秆分布、秸秆含水率、土壤质地变化,加之土壤有诸如石块等扰动因素的影响,要准确计算圆盘刀在工作过程中的受力情况是不可能的。在工作过程中,圆盘刀形成不同的应力区,采用人工

计算圆盘刀的应力状态以及对其进行强度校核计算也是非常困难的,本文利用有限元软件 ANSYS 对圆盘刀进行应力分析计算,获得刀片应力分布图,为圆盘刀的设计和 optimization 提供理论依据。

1 建立缺口圆盘刀有限元模型

1.1 建立几何模型

在 ANSYS 中建立模型有 3 种方法,分别是直接建模、实体建模以及输入到计算机辅助系统(CAD)中创建实体模型。本文通过从 CAD 系统中输入实体模型。首先在三维软件 UG 中建立圆盘刀模型,然后将此模型转成 IGES 格式,通过 ANSYS 与 IGES 格式之间的接口,将模型导入 ANSYS 中。图 1 为导

收稿日期: 2009-04-17 修回日期: 2009-12-08

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD28B04)和中国农业大学科研启动基金资助项目(2009JS17)

作者简介: 杨帆,硕士生,主要从事保护性耕作技术与机具研究,E-mail: yangfandoudou@163.com

通讯作者: 李问盈,教授,主要从事保护性耕作技术与机具研究,E-mail: wyyli@cau.edu.cn

入 ANSYS 中的缺口圆盘刀图形。

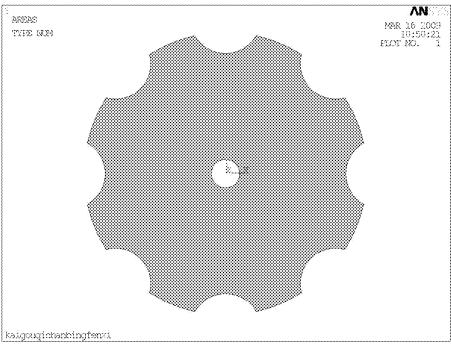


图1 导入 ANSYS 中的缺口圆盘刀图形

Fig.1 Original image of gap disc imported into ANSYS

1.2 设置材料属性

为了增加圆盘刀的耐磨性和锋锐性,减少切割阻力,圆盘刀材料选用 65Mn 钢。其抗拉强度为 735 MPa,屈服强度为 430 MPa^[4],泊松比为 0.3,弹性模量为 210 MPa^[5]。

1.3 定义单元类型

本文采用 PLANE 42 单元。PLANE 42 单元是二维四节点四边形单元。在进行平面产品的网格划分时,四边形单元得到的分析结果要比三角形单元好,采用四边形离散的单元数远远小于三角形单元离散的单元数。所以在单元类型界面中选取 Solid 下的 Quad 4node 单元。

1.4 划分网格

网格划分有自由网格划分和映射网格划分两种,自由网格划分计算结果不准确,但网格划分比较简单;映射网格划分计算结果比较准确,但划分比较复杂^[6]。本文选择映射网格划分,共划分了 8 000 个单元,得到了 8 568 个节点。因为对圆盘刀的分析主要在刃口处,所以对刃口的网格划分得比较密,其他地方的网格相对刃口处比较稀疏。对单元进行质量检测,所有单元均未发生畸变。

2 施加约束和载荷

2.1 加约束

因为刀轴和圆盘刀是通过均匀分布在圆盘刀中心孔周围的螺栓连接的,为了分析刀片在极限时的应力状态,将约束施加于中心孔的边缘上。在位移受约束的节点上,根据实际情况设置约束条件。中心孔周围受到 6 个约束,因此将圆盘刀中心孔周围的所有节点的全部自由度加以约束。在求解时,ANSYS 程序自动将约束转换到有限元模型上,这样可使加载简单。图 2 为圆盘刀的网格划分结果及施加的约束。

2.2 加载荷

圆盘刀主要受到切断地表作物秸秆的切割阻力

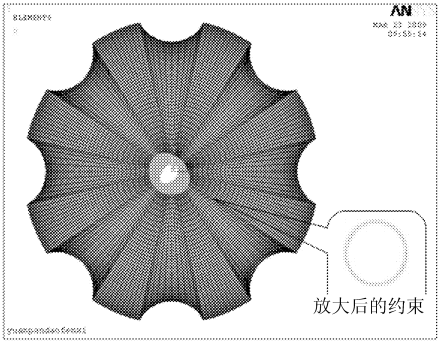


图2 网格划分及施加的约束

Fig.2 Interface of simulate constraints on mesh-sized gap disc

(切割力)和切破地表、挤开土壤的切土阻力^[7],所以载荷分为切割力和切土力的计算。

切割阻力不但与秸秆的机械物理性质、切刀的材料、几何参数等有关,而且与秸秆的支承方式、圆盘刀的切割速度等有很大的关系。试验表明:有支承切割的圆盘刀速度应在 0.8 m/s 以上,而无支承切割时圆盘刀的速度应在 34 ~ 40 m/s^[8]。主动式圆盘刀对覆盖地表的作物秸秆采用有支承切割,即刀齿刃口首先对铺放在地表的作物秸秆压向地面,再在地表的支承下进行切割,这种有支承切割对圆盘刀的速度要求较低,切断效果好。圆盘刀在切断作物秸秆后,随圆盘刀继续转动,切开地表,这时圆盘刀刃口受到阻碍作用,土壤对圆盘刀刃口产成了阻力;同时划过土壤,圆盘刀受到两侧土壤的挤压作用,土壤对刀齿侧刃产生阻力。

在工作过程中,圆盘刀在各点的切割力和切土力随圆盘刀转角的变化而不同,但静强度分析主要考虑的是强度校核,所以只在载荷最大的工况下进行计算,并且最大的切割阻力不随圆盘刀位置而变化,如图 3 所示。最大切土阻力是在圆盘刀的切割深度达到最大的位置时产生的,如图 4 所示。根据理论分析和计算得出,切割阻力为 250 N,切土阻力为 1 946 N。

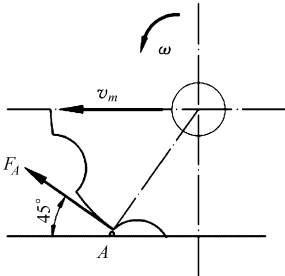


图3 切割阻力

Fig.3 Straw-cutting resistance

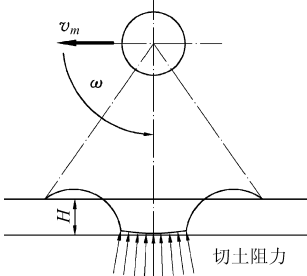


图4 切土阻力

Fig.4 Soil-penetrating resistance

在 ANSYS 的圆盘刀模型中,切割秸秆的节点 A

上分别施加 X 方向和 Y 方向大小为 250 N 的切割阻力,而切土阻力主要是施加在当圆盘刀到达地表层最大深度时与土壤接触的刀刃处的线上,大小为 1 946 N。图 5 是施加了载荷的有限元图形。

3 有限元分析结果

通过对圆盘刀的静态有限元分析,圆盘刀的变形情况和各部分的应力分布状况如图 6 所示,最大和最小应力如表 1 所示。

由图 6a 可知,在以孔中心为原点的坐标系中,

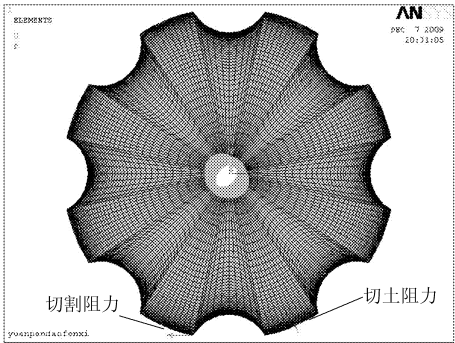


图 5 施加载荷的有限元图形
Fig.5 Finite element picture of applying loading

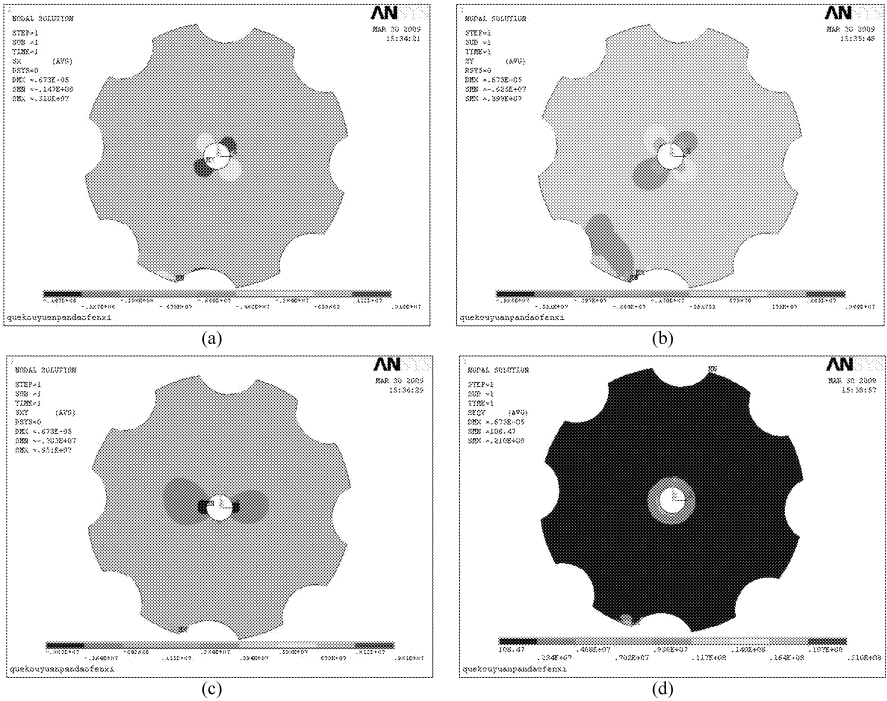


图 6 圆盘刀模拟的应力云图

Fig.6 Stress of simulation of gap disc

(a) X 方向应力云图 (b) Y 方向应力云图 (c) XY 平面内剪切应力云图 (d) 等效应力云图

表 1 最大与最小应力值

Tab.1 Maximum stress and Minimum stress Pa				
参数	X 方向 应力	Y 方向 应力	XY 平面 剪切应力	等效应力
最小值	-1.47×10^7	-6.25×10^6	-3.03×10^6	108.47
最大值	3.10×10^6	3.99×10^6	9.51×10^6	2.10×10^7

在 X 方向第一、三象限区域的应力特征为拉应力,最大值为 3.1 MPa,应力沿中心孔边缘向外逐渐减小;第二、四象限为压应力,最大值 14.7 MPa,出现在切草刃口端部。由图 6b 可知,在孔中心 Y 方向第一、三象限区域为拉应力,第二、四象限区域为压应力,圆盘刀大部分处于应力过渡区,压应力和拉应力的最大值均出现在切草刃口端部,分别为 6.25 MPa 和 3.99 MPa。由图 6c 可知, XY 平面内大部分处于正、负剪应力过渡区,最大正剪应力为 9.51 MPa,分

布在切草刃口端部;负剪应力主要分布在中心孔周围,最大值为 3.03 MPa。由图 6d 可知,计算结果表明最大应力为 21 MPa,最小为 108.47 Pa。除孔周围有较大的应力集中外,其他部分应力较小。从整体来看,圆盘刀的应力集中主要分布在中心孔周围,为此必须设计夹紧法兰盘。法兰盘的直径和厚度是保证圆盘刀刚度的主要因素,依据圆盘刀应力强度分布云图和应力等值线云图,法兰盘的直径取为 80 mm,厚度为 6 mm,材料为灰口铸铁。

4 结论

(1) 从整个圆盘刀片的应力分布来看,圆盘刀受交变应力作用,最大正剪应力为 9.51 MPa,最大压应力为 14.7 MPa,从应力强度云图上看,最大应力值为 21 MPa,由于圆盘刀的材料为 65Mn 钢,其屈服

7 Tipping M E. Bayesian inference: an introduction to principles and practice in machine learning[M]. Lecture Notes in Computer Science, Vol.3176; Advanced Lectures on Machine Learning, Heidelberg: Springer Berlin, 2004: 41 ~ 62.

8 Yuan J, Wang K S, Yu T, et al. Integrating relevance vector machines and genetic algorithms for optimization of seed-separating process[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2007, 20(7):970 ~ 979.

9 Chen S, Gunn S, Harris C. The relevance vector machine technique for channel equalization application[J]. IEEE Trans. Neural Networks, 2001, 12(6):1 529 ~ 1 532.

10 Yao X, Xu Y. Recent advances in evolutionary computation[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2006, 21(1):1 ~ 18.

11 陶雷,何雄奎,曾爱军,等. 开口双圆弧罩盖减少雾滴飘失效果的 CFD 模拟[J]. 农业机械学报,2005, 36(1):35 ~ 37.
Tao Lei, He Xiongkui, Zeng Aijun, et al. CFD simulation of open doubled-foil shield on reducing spray drift [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(1):35 ~ 37. (in Chinese)

12 Tsay J R, Liang L S, Lu L H. Evaluation of an air-assisted boom spraying system under a non-canopy condition using CFD simulation[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(6): 1 887 ~ 1 897.

13 Zhang L, Liang Y, Jiang J, et al. Uniform design applied to nonlinear multivariate calibration by ANN[J]. Analytica Chimica Acta, 1998, 370(1):65 ~ 77.

14 Deb K, Agrawal S, Pratap A, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2):182 ~ 197.



(上接第 55 页)

极限强度为 430 MPa,大于切刀的最大应力,因此圆盘刀强度储备充足。

(2) 刀片大部分处于应力过渡区,应力较小,工

作安全可靠。

(3) 因为应力集中主要分布在圆盘刀中心孔周围,为了消除应力集中,设计夹紧法兰盘直径和厚度分别为80 mm和 6 mm,材料为灰口铸铁。

参 考 文 献

1 李洪文,陈君达,邓键. 旱地玉米机械化保护性耕作技术及机具研究[J]. 中国农业大学学报,2000,5(4):68 ~ 72.
Li Hongwen,Chen Junda,Deng Jian. Study on technology and machines of mechanized conservation tillage for dryland maize [J]. Journal of China Agricultural University,2000,5(4):68 ~ 72. (in Chinese)

2 马洪亮,高焕文,李洪文,等. 驱动圆盘刀切断玉米秸秆和根茬的土槽试验[J]. 农业机械学报,2007,38(5):47 ~ 50,54.
Ma Hongliang, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Experimental study on corn stalk and rootstalk cutting by driven disc[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(5):47 ~ 50,54. (in Chinese)

3 王庆杰,何进,姚宗路,等. 驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(6):68 ~ 72.
Wang Qingjie, He Jin, Yao Zonglu, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(6):68 ~ 72. (in Chinese)

4 杨黎明,黄凯,李恩至,等. 机械零件设计手册[M]. 北京:国防工业出版社,1980.

5 成大先,王德夫,姜勇,等. 机械设计手册:第一卷[M]. 北京:化工工业出版社,1993.

6 龚曙光. ANSYS 基础引用及范例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2003.

7 吴建民. 河西走廊绿洲农业区保护性耕作技术及关键机具的研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.
Wu Jianmin. Research on technology of conservation tillage and crucial implement in Hexi corridor arid oasis agricultural area [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese)

8 北京农业工程大学. 农业机械学:下册[M]. 北京:中国农业出版社,1995.