

文章编号:1009-0568(2012)02-0031-06

采棉机摘锭的采摘力学分析及仿真

张有强^{1,2} 马彦^{1*} 周岭^{1,2}

(1 塔里木大学机械电气化工程学院, 新疆 阿拉尔 843300)

(2 现代农业工程重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要 采棉机摘锭性能直接影响到采棉机田间作业的使用效率和经济性,结合摘锭在采摘过程中的工作状态,将摘锭简化为一悬臂梁进行力学分析,采用 Solidworks 软件建立了摘锭的三维实体模型,并对摘锭在脱棉过程中受到的弯曲和扭转变形基于 Solidworks/SimulationXpress 进行有限元分析,呈现了摘锭在此过程的应力、应变和位移分布,数值结果表明摘锭在外部环境变化引起载荷突变作用在其头部时,摘锭杆身变形较大,危险截面约在 8-11 个齿处,其结果为采棉机摘锭的结构设计提供参考。

关键词 采棉机;摘锭;干摩擦;有限元

中图分类号:S225

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1009-0568.2012.02.006

Picking Mechanics Analysis and Simulation of Ingots on Cotton Picker

Zhang Youqiang^{1,2} Ma Yan^{1*} Zhou Ling^{1,2}

(1 School of Mechanical and Electrical Engineering, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

(2 Key Laboratory of Modern Agricultural Engineering, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract The properties of cotton picker ingot directly affected efficiency and economy during picking process in cotton field. Combined with cotton picker ingot working state during picking process, simplified ingots as a cantilever beam and analyzed with mechanics method, the 3D solid model of ingot was established using Solidworks software, based on Solidworks/SimulationXpressfinite, the bending and torsion deformation of ingot during removal of cotton process were investigated by finite element analysis method, the stress, strain and displacement distribution during removal of cotton process were determined. The numerical results showed that the ingot shaft caused a large deformation by changes in the external environment with load in the head, and dangerous section in 8 to 11 teeth, the simulated results could provide reference for structural design of cotton picker ingot.

Key words cotton picker; ingots; dry friction; finite element

采棉机是实施机采棉技术的载体,在中国最大的机采棉基地新疆生产建设兵团机采棉面积不足种植面积的二分之一,可以说我国棉花生产机械化采收水平偏低。目前影响采棉机推广使用的主要因素是种植模式和采摘质量,而影响机采棉采摘质量的

关键因素是采棉机采棉头的核心部件-摘锭,一方面采摘过程中摘锭与棉杆间的摩擦磨损不可避免,是摘锭钩齿失效的主要原因。另一方面实际采摘工况很复杂,可能会导致摘锭受到的载荷突变,应力过大而导致脆性断裂失效,都会影响到采棉机田间作

收稿日期:2012-05-21

基金项目:塔里木大学校长基金项目(TDZKSS201114)

作者简介:张有强(1980-),男,讲师,主要从事含摩擦机械系统动力学研究。

E-mail: zhangyqlzjd@126.com

* 为通讯作者 E-mail: jihua0801@sina.cn

业的采净率和含杂率。

为此吸引了很多学者从摘锭的结构、材料等方面积极开展研究,并取得了一定的成果,提高了采棉机运行的可靠性。毕新胜等^[1,2]对水平摘锭式采棉机的工作原理作了全面的介绍,对摘锭的采棉过程进行了受力分析,并采用虚拟样机技术对采棉滚筒进行运动学分析;祝朋涛^[3]运用 Solidworks 软件对采棉机摘锭进行三维虚拟建模,对摘锭进行有限元分析,并分析结果对设计进行优化和改进。田丰果等^[4]通过 UG 软件对采棉摘锭筒零件进行建模,并进行装配,实现了采棉机摘锭筒的虚拟设计。李小利^[6]对影响采棉质量的因素进行了分析,并通过虚拟装配、仿真得到滚筒导向槽廓形及廓形曲线的数学模型,以及对摘锭座管传动系统的动力学分析;董伟^[7]对梳指式采棉机的结构和核心部件进行研究设计。

由于采棉机摘锭工作过程的复杂性、环境的不稳定性,因此准确的描述摘锭的力学行为较为困难,本文结合摘锭在采摘过程中的工作状态,将摘锭简化为一悬臂梁进行力学分析,采用 Solidworks 建立摘锭的实体模型,并对摘锭在脱棉过程中受到的弯扭变形基于 Solidworks/SimulationXpress 进行有限元分析,探讨摘锭在此过程的应力、应变和位移分布关

系,尝试阐述摘锭断裂破坏的原因。

1 工作原理及力学分析

采棉机采棉过程可大致分为三个阶段:(1)棉花采摘区,即摘锭从刚开始进入采棉区到完全退出此区域;(2)脱棉区,即摘锭从离开采棉室到完全退出脱棉盘此区域;(3)淋洗区,即从退出脱棉盘后,摘锭与淋润刷相接触进行淋润,并逐渐准备进入采棉区的区域。在采棉过程中,脱棉盘与滚筒沿相同的方向高速旋转,摘锭自采棉区进入脱棉区,逐渐与脱棉盘相接触。脱棉盘是凹凸相间的塑料圆盘,利用凸台与摘锭接触部位的摩擦力及高速的旋转反向将缠绕在摘锭的棉花纤维脱下。由于脱棉盘与摘锭分别作定轴转动且摘锭具有高速自转运动,脱棉盘的凸台与摘锭的接触部位自摘锭头部向根部不断变化。

水平摘锭的一端通过防尘套、耐磨铜套及固定座等固定在机架上,另一端处于自由状态,为了便于计算,忽略摘锭杆身的钩齿、倒槽等结构,将摘锭视为一圆锥形悬臂梁进行研究,其摘锭的简化模型如图1所示。假设摘锭杆圆锥形钩齿部分根部直径为 d_1 ,头部直径为 d_2 ,摘锭在轴上处圆截面的直径为:

$$d(\eta) = d_1 + (d_2 - d_1)/l \cdot \eta \quad (1)$$

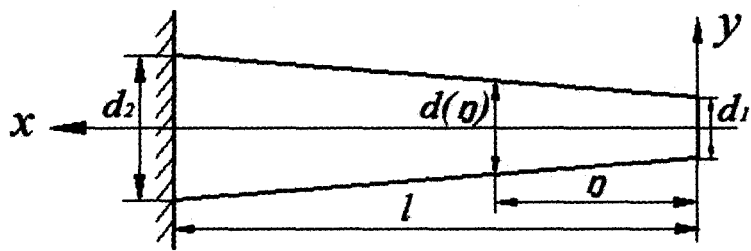


图1 摘锭的简化模型

假设摘锭与脱棉盘接触部位受到力为均布载荷,在任意时刻摘锭受力情况如图2所示。相同的

力作用在摘锭头部时产生的挠度最大,且最大挠度发生在摘锭上离固定端最远处。

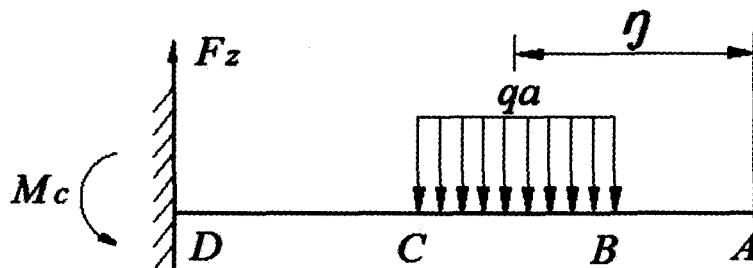


图2 摘锭的受力分析

对摘锭进行受力分析,以截面C为分界面将摘锭分为两段,并以A端为坐标原点,以AD方向为轴正方向,分别求解分界面左右两段的弯矩 $M_{1i}(\eta)$ 、 $M_{2i}(\eta)$ 。

$$M_{1i}(\eta) = -q\eta^2/2 \quad M_{2i}(\eta) = qa^2 - qa\eta \quad (2)$$

i 截面的惯性矩为:

$$I_{xi}(\eta) = \pi d_i^4(\eta)/64 = \pi [d_1 + (d_2 - d_1)\eta/\tau]^4/64 \quad (3)$$

摘锭受均布载荷时,在x轴上任意截面i的弯曲转角 $\theta_i(x)$,弯曲挠度为 $\omega_i(x)$:

$$\theta_i(x) = -(\int M_i(x)/I_i(x) dx + K)/E \quad (4)$$

$$\omega_i(x) = -[\int \int M_i(x)/I_i(x) dx dx + Cx + D]/E \quad (5)$$

式(4)、式(5)中,E为材料的弹性模量,K、C、D均为积分常数。

对摘锭的AB、BC两段分别进行分析,由悬臂梁固定端的特性可知:

$$\theta_2(0) = 0 \quad \omega_2(0) = 0 \quad (6)$$

由于刚体具有连续性,所以摘锭上任意截面的变形也是连续的。已知梁在A点处挠度 ω 最大,即 $\omega_{max} = \omega_{1i}(0)$ 。

摘锭的材料以20CrMnTi为例,弹性模量 $E = 205.67 \text{ GPa}$,泊松比为0.27,切变模量为 $G = 80.94 \text{ GPa}$,密度为 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,拉压强度为 $1.1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$,屈服强度为 8.5×10^8 。一般在装配过程中要求脱棉盘和摘锭之间的安装间隙为0.1 mm,经估算求得约为 $5 \times 10^4 \text{ N}$ 以上。

通过对摘锭所受力分析可以看出,摘锭在正常采摘的情况下,所受的载荷不能使之发生明显的变

形,即不可能产生相互干涉而造成摘锭破坏的现象。

2 摘锭的有限元分析

基于SolidWorks/SimulationXpress对摘锭进行有限元分析。SolidWorks软件中的SimulationXpress为初步应力分析工具,提供了广泛的分析工具来检验和分析复杂的零件和装配体,能够进行应力分析、应变分析、线性 and 非线性分析、设计优化等。

2.1 建立实体模型及施加约束与载荷

运用Solidworks软件对采棉机摘锭进行建模,如图3所示。摘锭实体由摘锭杆、锥齿轮、防尘套、耐磨铜套、固定座和后座套等零件组成。摘锭杆的采棉、脱棉部分呈圆锥形,头部球面直径为5.4 mm,根部直径为12 mm,其长度为70 mm。模型为各项同性连续的刚性材料,且不考虑自重的影响,材料选为20GrMnTi。

2.2 施加约束与载荷

摘锭被固定在机架的连接板上,在三维空间内对摘锭添加约束,模拟摘锭固定的情况。以水平摘锭式五行采棉机为例,可知每个滚筒上有12-14根摘锭座管,每根座管上有18个摘锭,根据各性能参数可得,采摘头在额定状态下单个滚筒上摘锭的功率为3.67 kw,扭矩为7560 N·m^[6]。因此,单个摘锭的功率为12.74 w,扭矩为26.25 N·m,转速为140.7 rad/s,摩擦力为22.6 N。结合摘锭的工作参数在三维实体模型中对工作区施加外部载荷。

2.3 网格划分

将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组成的离散域即有限元网络划

分。网格划分的单元越小(网络越细),则离散域的近似程度越好,计算结果也越精确,但计算量及误差都将增大。网络划分时软件将对摘铤实体模型实施

评估并通过特征消除、理想化等,使模型满足网格划分的需要,最后通过四面体填充实体体积完成网格划分,其网络划分结果如图3所示。

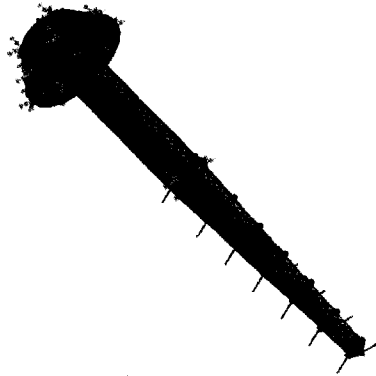
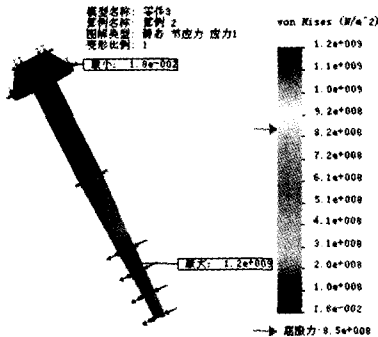


图3 摘铤的建模及网络划分

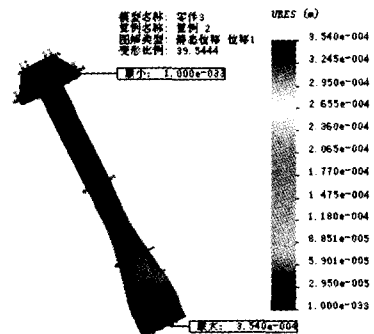
2.4 计算分析

运行 SolidWorks/SimulationXpress。迭代解算器计算过程中的自由度是指有限单元网格中单元节点

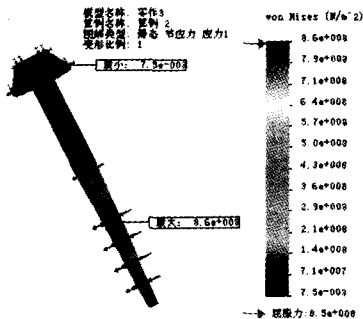
的自由度。其中,摘铤实体单元的每个节点有三个自由度,节点的位移为各分量的几何合成矢量。



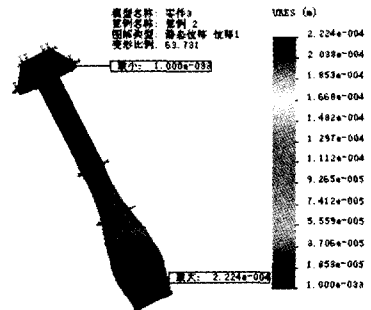
(a) 头部应力分布图



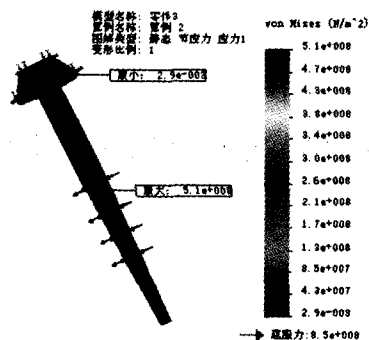
(b) 头部位移变形图



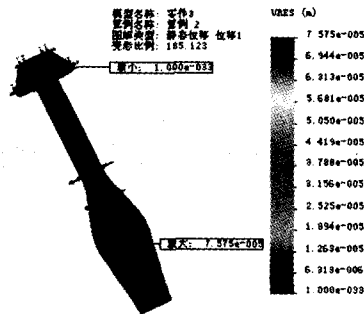
(c) 中部应力分布图



(d) 中部位移变形图



(e) 根部应力分布图



(f) 根部位移变形图

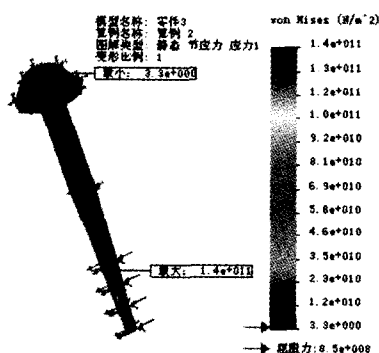
图4 应力分布图及位移变形

由于脱棉盘的脱棉区宽度约为30,所以脱棉的过程是摘锭从头部到根部与脱棉区逐渐结合与脱离的过程。假设将摘锭杆的工作区分为头部(从摘锭根部起第8-14个齿),中部(第5-11个齿处)、根部(第1-6个齿处)三个区进行分析。

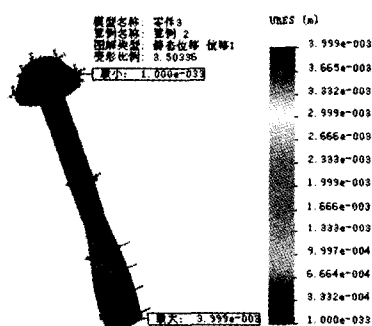
从图4(a)、(c)、(e)反映了摘锭在脱棉区不同位置的受力变形情况。图示颜色的变化反映了零件内部应力(位移)的分布情况,图右方的颜色滑竿所对应的应力(位移)数值及颜色分布与实体模型中的颜色对应。随着脱棉盘与摘锭的接触部分不断变化,摘锭杆上承受的应力随之发生改变,且最大应力始终发生在载荷作用范围内距摘锭根部最近处;位

移分布图随着载荷的移动也发生变化,变化较大部分集中在摘锭自根部起第8个齿至顶部范围。

从图4可以看出当载荷作用在摘锭头部时,出现最大应力与位移,在正常的采摘和脱棉的过程中,摘锭主要是勾齿磨损失效,不可能产生断裂破坏。但是在田间作业受外界干扰物影响,如当有石头或金属杂质窜入滚筒内部与摘锭接触时,瞬间作用力很大。假定在此种情况下摘锭所承受的外力突变为5000,扭矩为5000,再对摘锭头部进行有限元分析如图5所示,摘锭杆出现较大的变形,超过一定极限时摘锭将可能发生断裂破坏,其危险截面约在8-11个齿处。



(a) 头部应力分布图



(b) 头部位移变形图

图5 应力分布图及位移变形

3 结论

3.1 在力学分析可以看出,摘锭正常的采摘过程

(特别是脱棉过程)中,载荷作用在摘锭的不同部位变形趋势有所不同,头部变形较为明显,但不会产生

变形过大引起破坏,主要是摘锭钩齿与棉杆之间摩擦磨损失效。

3.2 当外部采摘环境发生变化引起载荷瞬间突变时,摘锭杆出现较大的变形。当载荷部位作用在摘锭头部时变形较明显,其危险截面约在8-11个齿处,与实际观测到的断裂摘锭的截面较为吻合。

参考文献

- [1] 毕新胜,王维,新武传宇,等. 采棉机水平摘锭的工作原理及采摘力学分析[J]. 石河子大学学报,2007,25(6):786-789.
- [2] 马娟,王维新,赵岩. 滚筒式采棉机采摘头的设计与研究[J]. 农机化研究,2010(2):120-122.
- [3] 祝朋涛,魏敏,张宏文. 采棉机摘锭的三维虚拟建模及有限元分析[J]. 农机化研究,2011(4):39-42.
- [4] 田丰果,吴锦行,吴艳英,等. 基于UG的采棉摘锭筒的三维建模与装配[J]. 南方农业,2011,5(7):42-43.
- [5] 王伟,孙文磊. 采棉机摘锭的逆向反求与五轴联动数控加工仿真[J]. 农机化研究,2010(9):33-36.
- [6] 李小利. 水平摘锭式采棉机采摘机理及摘锭运动规律的研究[D]. 新疆大学,2011.
- [7] 董伟,孙文磊. 梳指式采棉机的设计与关键技术研究[D]. 新疆大学,2009.