

## 基于 ANSYS 的揉切机刀片有限元分析

赵毅彬 张文波 华磊 何伟宁

秸秆加工机械主要有铡草机、粉碎机、揉碎机、鲜草深加工设备、新型揉切机等。秸秆经切断、粉碎后，加大了反刍动物瘤胃内微生物与草的接触面积，有利于降解发酵，从而提高秸秆消化利用率。同时，将秸秆、草料铡碎并揉搓成丝状，提高了饲料的适口性和利用率，应注意秸秆不易加工的过粗或过碎。一些设备在切块茎、根时切的不够碎，用这些茎、根喂牛，往往会发生食道梗塞。秸秆切碎后，既能减少咀嚼饲料时能量的消耗，又可以减少饲料的浪费（减少 20%~30%），而且容易和其它饲料配合利用，增加采食量。而有些加工粉碎过细，家畜咀嚼不全，唾液不能充分混匀，马易发生疝痛；牛、羊则易引起反刍停滞，又加快了饲料通过瘤胃的速度。粗料在瘤胃停留时间缩短，发酵不全，则达不到粉碎的目的。因此，机械加工质量对秸秆的利用是非常重要的。近年来，我国秸秆加工机械迅猛发展，但仍存在不少问题，满足不了畜牧业发展需要。因此，加快发展秸秆加工机具，重点解决提高生产率，降低能耗等问题，以适应我国畜牧业发展。

新型秸秆揉切机是一种集揉搓、铡切和混料为一体的新型粗饲料加工机械，是国家“九五”科技攻关成果和国家级重点推广新产品，其相关研究比较少，而有限元法是现代设计理论中强有力的设计方法之一，它可以解决用传统设计理论所不能解决的大量工程问题及科研问题。为了合理地设计构件，就需要知道构件在受力后各点处的位移、应力、应变、速度等物理量的数值及变化规律。ANSYS 软件提供了多种单元类型，可解线性、非线性的静力和动力等问题，能真实地反映实际情况。它完善的前后处理功能，可方便地显示结构的应力集中部位，为广大工程设计人员提供一个很好的计算、设计、分析平台。

根据国内实际生产的需要，在原有的 9LRZ-80 型秸秆揉切机的基础上，本文着重对 9LRZ-80 型揉切机的关键部件进行分析研究，具体分析了动刀片受力问题，并提出改进措施。9LRZ-80 型秸秆揉切机是一种新型的秸秆粗饲料加工机具，克服了铡草机和揉搓机的缺点，同时兼顾了它们各自的优势。揉切机动刀片是其关键的工作部件之一，但在推广中，发现揉切机切碎器的动刀片很容易磨钝，甚至有的用户上午装上新刀，加上揉切机才半天，到下午刀就钝得不能用了。尤其在秸秆青贮季节，动刀片的锋利与否直接影响到青贮的效率和质量，所以对动刀片进行分析研究是非常有意义的。刀片是秸秆揉切机的核心工作部件，它的性能直接影响揉切机的性能与寿命。金属的疲劳断裂主要由于局部应力集中引起的，而大部分机械零件的截面都是变化的（如零件上有螺纹、键槽、轴肩等）易出现应力集中，即在变化处的局部出现应力突然增大。这种存在局部应力集中，在循环载荷作用下，会引起疲劳微裂纹萌生和扩展，从而导致裂纹发生。引起秸秆揉切机应力集中的原因有很多，如材料的材质不良，加工有裂纹、瑕疵，机器的结构、安装等。若采用



ANSYS 软件对动刀片进行有限元分析则会对制造产生重大意义。

## 1 有限元分析法

有限元方法作为一种通用的数值分析方法，是目前研究复杂受力问题最为可靠和有效的手段。在产品过程中，根据提出的产品原形建立相应的计算机仿真模型和虚拟工作环境。利用计算机仿真程序检验产品的各种功能、特性，测试产品能否实现预期的功能。结构分析的有限元法已经成为必不可少的分析和优化技术，为产品的可靠性和高效性提供技术保证；同时避免大量试验验证过程，降低设计成本，提高设计效率，缩短开发周期，最终达到提高产品竞争力的目的。

静强度分析计算在固定不变的载荷作用下结构和部件的效应。计算载荷作用引起的位移、应力和应变。它不考虑惯性和阻尼的影响，静强度分析可以计算那些固定不变的惯性载荷对结构的影响(如重力和离心力)，以及那些可以近似为等价静力作用的随时间变化的载荷。对于切碎器上的刀片而言，设计时必须保证刀片在各种设计工况下的载荷响应满足刀片材料的许用要求，即刀片所受最大应力必须低于材料的许用应力，以保证整个机组能够安全运行。

利用有限元方法并借助于有限元分析计算软件对刀片进行静强度分析，可以比较精确地计算出各种受力下刀片的应力、应变及位移状况。并且通过对分析计算的数据进行后处理，利用计算机比较准确、直观地描述出刀片不同部位的应力、应变情况，为刀片进行优化设计提供了必要的依据。

## 2 刀片有限元模型的建立及分析过程

有限元分析的最终目的必须是针对一个物理原型准确的数学模型，利用有限元方法进行分析计算。首先，要建立所要分析对象的合理的有限单元模型。广义上讲，有限单元模型包括所有的节点、单元、材料属性、实常数、边界条件，以及其它用来表现这个物理系统的特征；狭义来说，模型生成的过程一般是指利用节点和单元表示空间体、域及实际系统连接的生成过程。

### 2.1 刀片 3D 模型的生成

由于 ANSYS 能与多数 CAD 软件接口，实现数据的共享和交换，如 Pro/Engineer、Nastran、Solidedge、UG 等。大家可根据各自的喜好利用不同软件建模，本文采用 UG 建立三维模型，然后导入 ANSYS。在建立和引入实体模型时，要对刀具实体模型进行简化处理。由于模型中的细节将限制细节处及其附近的网格大小，影响整个结构的网格质量和分布，增加网格的数量，使模型过于复杂。因此，通常对于实体模型的细节进行一定的几何简化，尽量忽略一些不必要的细节。例如在分析中，处于结构低应力区的细节一般可以忽略。对于要分析的刀具，在实体造型的过程中或进入 ANSYS 结构分析模块中，为了减少有限元模型网格划分



的复杂程度，加快有限元分析的速度，对实体模型进行了适当的简化，如去掉那些对分析影响不大的特征（如一些倒角等），如图 1。



图 1 刀片 3D 模型

## 2.2 单元选择及网格划分

进行有限元分析计算，合理的单元类型和形状的选择以及网格的安排与布置是十分关键的。根据分析对象的物理属性，可以选择固体力学单元、流体力学单元、热传导单元等。在固体力学单元类型中，还可以根据对象的几何特点，选择三维实体单元，梁、板、壳结构单元等。分析刀片本文选用 SOLID45。划分单元网格时，选用四面体 10 节点单元（四面体 10 节点单元具有较高的刚度以及较高计算精度）。从运算时间和精度上考虑，设置单元尺寸大小为 5，采用自由网格划分单元。同时，在刀片可能出现应力集中的区域应布置较密的网格，如孔、弯角区；在应力变化平缓的区域，布置较稀疏的网格。这样做可以同时满足精度与效率两方面的要求。从而生成刀具的有限元模型，其有限元模型有单元 7 557 和节点 1 968 个，如图 2。



图 2 刀片有限元网格划分

## 2.3 刀具材料属性及边界条件

我们知道，在任何给定的工程问题中，存在两组影响系统行为的参数，首先，存在有关表示给定系统自然行为信息的参数，即描述问题自然特性的物理属性，在有限元分析计算中即为我们所要定义的材料属性；其次，系统存在着产生扰动的参数，这类参数包括外力、力矩、介质的温度差和流体的压力差等，在有限元分析计算中即为我们所要设定的边界条件。



在对刀片进行静强度分析时，所要定义的材料属性有：刀片材料所选为 65Mn，材料属性为弹性模量  $E=210\text{GPa}$ 、泊松比为 0.3、密度为  $7800\text{kg/m}^3$ 。

#### 2.4 刀片静强度分析

动刀片所受力的确定。据测定:切碎秸秆一次所需功率为  $35.28\text{W}$ ，本揉切机共装定刀 6 组，实际刀滚转速为  $860\text{r/min}$ 。粗略求出刀片刀刃所受力约为  $21\text{N/mm}$ 。

将作用在动刀刀刃上的载荷简化为均布载荷  $21\text{N/mm}$  施加在动刀刀刃上，约束加载。ANSYS 分析模型如图 3 所示。随后进行求解运算，其结果可显示变形形状、节点位移云图（见图 4）、Von Mises 应力（见图 5）。





图3 刀片施加约束和施加载荷



图4 刀片变形及节点位移



图5 刀片Von Mises 应力

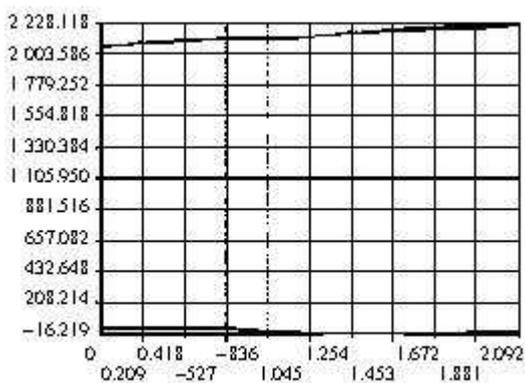


图6 节点数据、应力变化反映

为了直观地看到刀片最大处的受力情况，利用路径操作将其结果项映射到模型中指定的路径上（路径是模型上一系列节点或位置定义的轨迹，对路径可以执行各种数学运算和微积分运算，获取许多具有工程意义的计算结果）。通过路径可以观察路径上某结果项的分布状态，并利用曲线、图形、列表方式显示它们，



研究结果项的分布规律。由于孔处应力较大，这里选择了孔附近编号为 399 和 86 的节点定义路径，从而可从路径上反映数据、应力变化，如图 6 所示。

根据上面所建立的动刀片有限元模型，计算了刀片在  $P=21\text{N/mm}$  条件下的位移和应力，计算结果见表 1。

表 1 揉切机动刀片分析结果

载荷条件 (N/mm)	最大位移 DMX(mm)	最小等效应力 SMN(N/mm <sup>2</sup> )	孔处最大等效应力 SMX(N/mm <sup>2</sup> )	最大等效应力 SMX(N/mm <sup>2</sup> )
P=21	0.113E-03	39 906	0.369E+08	0.111E+09

## 2.5 强度校核

$$\text{检验条件: } [\sigma] > \sigma_{\max} \quad (1)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{0.2}}{\gamma_M} \quad (2)$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_j \times \alpha_k \quad (3)$$

式中： $[\sigma]$ ——材料的许用应力；

$\sigma_{\max}$ ——实际计算出的最大应力；

$\gamma_M$ ——材料的安全系数；

$\sigma_{0.2}$ ——材料的抗拉强度；

$\sigma_j$ ——实际计算出的节点的最大应力；

$\alpha_k$ ——相应的区域形状系数。

揉切机动刀片的材料为 65Mn 钢，查表可知，材料的抗拉强度为  $7.35 \times 10^8 \text{N/m}^2$ ，则其许用应力由公式 (2)

得：

$$[\sigma] = \frac{\sigma}{\gamma_M} = \frac{7.35 \times 10^8}{2} \approx 3.68 \times 10^8 \text{ N/mm}^2。$$

根据实际计算的应力由公式 (3) 得：

$$\sigma_{\max} = \sigma_j \times \alpha_k = 1.11 \times 10^8 \times 1.2 = 1.33 \times 10^8 \text{ N/mm}^2。$$

因此  $[\sigma] > \sigma_{\max}$ 。可见动刀片在左上端应力最大处计算的应力结果  $\sigma_{\max}$  小于材料的许用应力  $[\sigma]$ ，所以此刀具有足够的强度和稳定性。

## 3 小结



根据以上对揉切机动刀片的计算结果和检验分析，可以得出以下结论。

3.1 如图 4 节点位移，位移分布层次比较清晰，最大位移处于动刀片的下端，其位移最大值为 0.113mm。

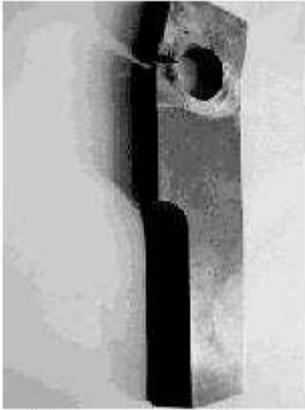


图 7 动刀片断裂实例

3.2 揉切机动刀片应力分布层次也比较清晰，左上端处应力集中严重，最大等效应力为 111GPa；固定孔处、刀刃圆角处应力也较大，最大等效应力约为 36.9GPa；其余部分应力分布则趋于均匀、分散。这与实际生产中动刀的左上端磨损严重，且固定孔处出现断裂相吻合（见图 7）。因而说明采用有限元方法建立模型能够有效地反映动刀的形状和特性，比较精确地反映动刀应力、应变的变化规律。

3.3 材料的磨损与其所受力的载荷成正比，在正常情况下，动刀的磨损程度可以从刀片的 Von Mises 应力分布云图（图 5）以及路径图（图 6）来推知。这与实际生产中动刀磨损相似。但也有不同的情况，这是因为刀片的磨损是多种因素作用的结果，不能只考虑受力，刀片的受力分析有助于磨损情况的预测，如果刀片受力均匀，则刀片的磨损也会趋于缓和，可在一定程度上减少刀片的失效。

3.4 由图 6 可知，孔附近编号为 399 和 86 的节点受 Y 方向最大应力为 22.26GPa；X 方向最大应力约为 0.16GPa，位移约为 0.02mm。从而可得孔附近节点所受 Y 方向的应力大。

3.5 由于此次有限元分析当中，没有考虑其它因素引起的变形、内应力和强度以及材料的内部缺陷等，所以计算的结果会偏小。因此，以上的分析结果和建议可以为实际设计和制造提供辅助手段。

