

王述洋,王 辉,李娣静,等. 基于 ANSYS 的生物质成型机模具的仿真分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):365-369.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.107

基于 ANSYS 的生物质成型机模具的仿真分析

王述洋¹,王 辉¹,李娣静²,张 臣¹

(1. 东北林业大学机电工程学院,黑龙江哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学工程技术学院,黑龙江哈尔滨 150040)

摘要:针对生物质成型机模具磨损过快、寿命短、成本高、更换频率过快等缺点,通过对几种不同入口锥度的活动模具进行建模、静力学分析,比较不同入口锥度活动模具节点位移云图和应力、应变云图,选出最合适入口锥度,优化模具结构。对挤压过程进行有限元分析,揭示成型过程中应力、应变等变化过程,为生物质成型机模具设计提供理论基础。

关键词:生物质;模具;锥度;应力;有限元分析

中图分类号: TK64 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0365-04

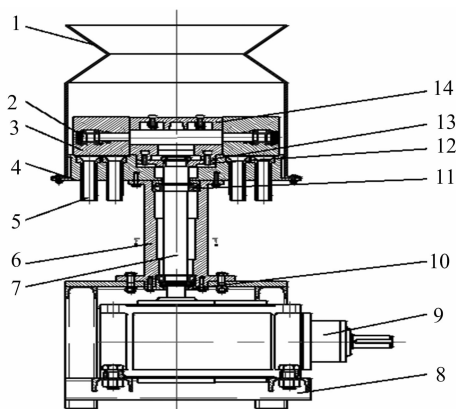
当今世界上的化石能源石油、煤炭等储量越来越少,而我国经济发展越来越快,对能源的需求则越来越大,2014 年中国原油进口量超过 3 100 亿 kg,进口煤炭 2 910 亿 kg。所以,生物质利用技术受到了国家的高度重视,国家发展和改革委员会在关于“‘十二五’生物质致密成型燃料发展规划”中提出,到 2020 年,使秸秆致密燃料成为普遍使用的一种优质燃料^[1],每年消耗致密燃料 500 亿 kg,代替 300 亿 kg 煤,我国拥有丰富的秸秆等生物质,充分利用可代替化石燃料,实现可再生能源利用,保护环境,防止雾霾。但是,秸秆等生物质燃料存在自然堆积密度低、杂乱、松散、收集困难、储运费用过高等问题^[2],生物质致密成型技术是解决这一问题的关键,生物质平模成型机是生物质成型的重要设备^[3],而模具则是成型机核心部件,它决定了产品质量、成型效率以及生产成本,本研究对不同锥度的模具结构进行静力分析,选出最佳锥度,并对成型过程进行非线性静力学分析,观察平模成型过程中应力、应变变化规律。

1 生物质成型机工作原理

生物质平模致密成型机由储料室、直压辊-压辊架系统、活动模具、平模盘、主传动轴、减速器和动力系统等组成。动力通过带轮传递给减速器,通过减速器变向后带动主传动轴转动,进而带动压辊架旋转,压辊架上安装 2 个对称直压辊。在加工过程中,生物质原料充满压辊与平模盘的间隙,直压辊在生物质原料对其摩擦力作用下自转,并实现原料的平铺;在直压辊将生物质原料压入到活动模具中,完成致密成型加工^[4]。据研究,成型压力在 40 MPa 以上,颗粒燃料的密度可达 1 000 kg/m³。

直压辊在旋转过程中把秸秆等生物质压入模具,原料与模具之间产生摩擦力以及模具对原料的压缩力,直压辊在平模无孔处也进行压缩和摩擦,不必要的磨损和能耗浪费缩短

了模具的使用寿命。针对这些缺点,通过对不同锥度的模具进行受力分析,并对成型过程进行模拟仿真,选出最优的锥度模具,提高它的使用寿命、降低能耗、提高生产率和产品质量(图 1、图 2)。



1—储料室; 2—主轴; 3—压辊; 4—平磨盘; 5—活动模具; 6—平模支架; 7—主传动轴; 8—支撑钢架; 9—减速器; 10—轴承; 11—轴承盖; 12—下支撑架; 13—上支撑架; 14—上支撑架盖

图1 生物质平模致密成型机结构

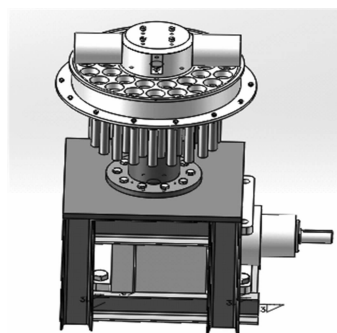


图2 生物质平模致密成型机 3D 结构

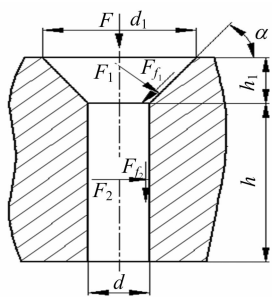
2 成型机模具分析及仿真结果

成型机模具是挤压成型过程中的关键部件,在工作过程中,套筒承受着压辊对生物质的压力,因此对成型机模具进行应力分析可得到模具的变形和受力情况,结果如图 3 所示。

收稿日期:2015-12-01

基金项目:国家“863”计划(编号:2007AA05Z400)。

作者简介:王述洋(1958—)男,黑龙江哈尔滨人,博士,教授,博士生导师,主要从事新能源与特种机械机电一体化研究。E-mail: 742786462@qq.com。



F —压辊对原料挤压的力； F_1 —原料对模具锥面的正压力； F_2 —原料对模具下端面的正压力； F_{f1} —原料对模具锥面的摩擦力； F_{f2} —原料对模具下端圆柱面的摩擦力； α —锥度； d —出口直径； d_1 —入口直径； h —模具出口高度； h_1 —模具入口高度

图3 活动模具受力分析图示

2.1 受力分析

能够完成生物质成型过程需要满足：

$$F \geq \mu_1 F_1 \sin \alpha + F_{f1} \cos \alpha + \mu_2 F_2。$$

式中： F 代表压辊对原料挤压的力，N； F_1 代表原料对模具锥面的正压力，N； F_2 代表原料对模具下端面的正压力，N； F_{f1} 代表原料对模具锥面的摩擦力，N； μ_1 代表模具锥面原料的摩擦系数，取0.6； μ_2 代表模具下端面与原料的摩擦系数，取0.6。

锥面正压力 F_1

$$F_1 = F_2 \frac{h_1 (d_1 + d)}{2 d h \sin \alpha}。$$

下端面正压力 F_2

$$F_2 = \frac{F}{(\mu_1 \sin \alpha + \cos \alpha) h_1 \left(\frac{2 h_1}{\tan \alpha} + 2 d \right) / 2 d h \sin \alpha}。$$

压辊对原料压力 F

$$F = 33.1 e^{-\frac{2.072}{\rho}}。$$

式中： ρ 代表生物质成型燃料密度，g/cm³，取1.2 g/cm³。

由以上公式计算出锥度分别为30°、45°、60°的模具所受正压力、摩擦力大小和模具参数，具体结果如表1、表2所示。

表1 不同入口锥度模具的受力表

锥度 (°)	F_1 (N)	F_2 (N)	F_{f1} (N)	F_{f2} (N)
30	2 140	340	12 830	2 052
45	2 448	390	13 533	2 165
60	3 357	537	15 240	2 438

表2 模具参数表

参数	参数值
入口直径(d_1 , mm)	25
上端面总直径(D_2 , mm)	30
出口直径(d , mm)	15
下端面直径(d_2 , mm)	20
模具出口高度(h , mm)	165
锥度(α , °)	30

2.2 有限元分析

(1) 在SolidWorks 三维软件中建立入口锥度分别为30°、45°、60°的活动模具，如图4所示，然后导入到ANSYS Workbench 模块中对其进行节点位移、应力以及应变分析。(2) 网

格划分以及施加约束和载荷。活动模具材料选定为45钢，其性能参数为：弹性模量 $E = 210 \text{ GPa}$ 、密度 $\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$ 、泊松比 $\mu = 0.29$ 。划分网格时设定划分网格单元大小为5 mm，总共生成节点数14 421个，单元数7 934个。(3) 求解分析。本研究对不同入口锥度活动模具的节点位移以及活动模具应力变化云图进行分析比较，其求解结果如图5至图10所示。

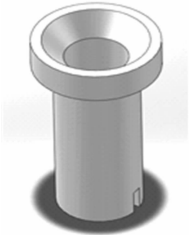


图4 模具3D结构

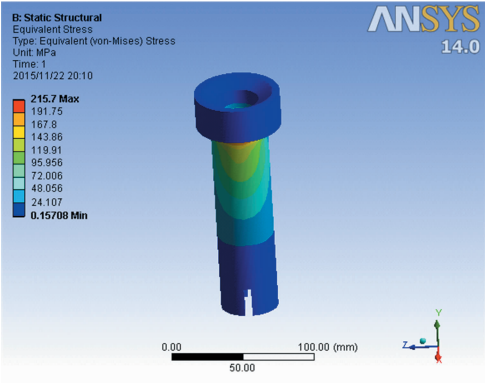


图5 30° 锥度活动模具应力分布云图

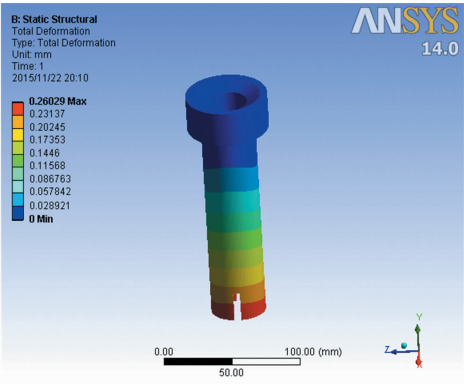


图6 30° 锥度活动模具节点位移云图

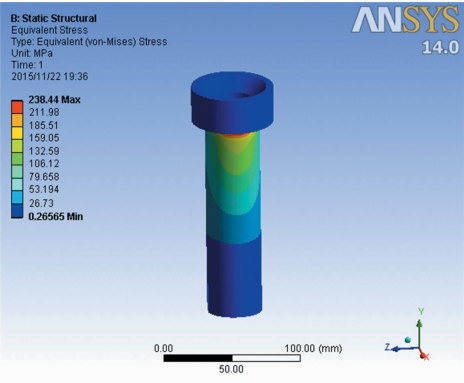


图7 45° 锥度活动模具应力分布云图

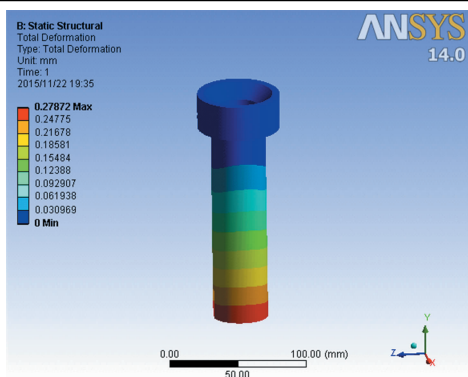


图8 45° 锥度活动模具节点位移云图示

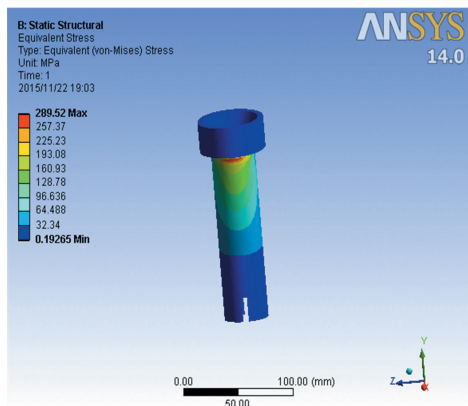


图9 60° 锥度活动模具应力分布云图示

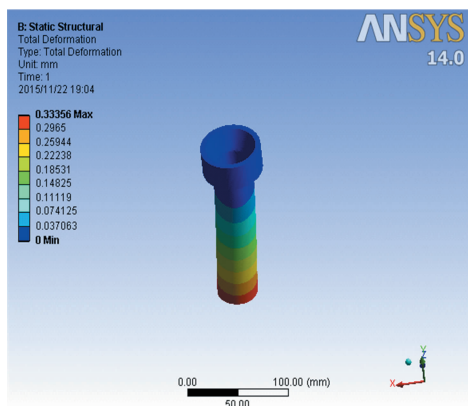


图10 60° 锥度活动模具节点位移云图示

由节点位移云图可知,随着模具入口锥度增加,节点位移不断增大,沿中心轴线自上而下逐渐增大。3 种不同入口锥度对活动模具节点位移影响较大,即当入口锥度为 30° 时,活动模具节点最大位移为 0.260 29 mm;当入口锥度为 45° 时,模具节点最大位移为 0.278 72 mm;当入口锥度为 60° 时,活动模具节点最大位移为 0.333 56 mm,3 种不同入口锥度对活动模具节点位移的影响从大到小依次为 60° > 45° > 30°。由应力分布云图可知,随着入口锥度增加,活动模具所受最大应力不断增大,沿中心轴线由下至上逐渐增大,且在模具上端圆台端面处所受应力最大。当入口锥度为 30° 时,模具所受最大应力为 215.7 MPa;当入口锥度为 45° 时,模具所受最大应力为 238.44 MPa;当入口锥度为 60° 时,模具所受最大应力为 289.52 MPa。当活动模具入口锥度为 30° 时,节点位移以及

最大应力最小,此时其结构最优。

3 致密成型过程有限元分析

生物质在平模成型机模具中被挤压过程中,生物质和活动模具之间的接触属于刚体-柔体面-面的接触,这是高度非线性的,为了高效的计算过程和准确的计算结果,须要建立合理的有限元模型。线性的有限元法进行非线性的问题数值模拟计算中最有效的方法之一,在挤压成型过程中,非线性接触包括几何非线性、材料非线性和边界非线性等,非线性问题正常是用一系列带校正系数的线性方法来近似求解,常把载荷分解成一系列的载荷增量,然后在多个载荷步内或者是 1 个载荷步中多个子步上施加载荷增量。

3.1 建立模型

生物质致密成型过程是非线性的,属于接触问题分析,接触类型为摩擦,通过 Solidworks 建立三维模型,模具的锥度为 30°,为了便于研究问题、简化模型,选择模具和生物质的 1/2 作为研究对象,导入到 ANSYS Workbench 中^[5-6]。

3.2 设置材料属性建立接触对

生物质原料与活动模具之间的接触为柔性-刚性面接触,将活动模具表面定义为目标面,秸秆原料表面定义为接触面,接触对摩擦系数为 0.19。确定材料参数,选用玉米秸秆为研究对象^[7-8],玉米秸秆应力和应变的表达式为:

$$\sigma_{eq} = 104.9(0.36 + \varepsilon)^{3.18}$$

式中: σ_{eq} 代表材料等效应力; ε 代表等效应变。

选定的玉米秸秆和活动模具的参数见表 3。

表3 材料属性参数

类型	弹性模量 E (GPa)	密度 ρ (g/cm ³)	泊松比 μ
生物质原料	8	400	0.19
模具	210	7 870	0.29

3.3 网格划分

生物质挤压成型过程属于非线性应变,对网格密度要求较高,采用 Automatic Method 方式,因为在压缩成型过程中,玉米秸秆存在塑性变形,网格划分要比活动模具更细密,秸秆单位尺寸设置为 2 mm,活动模具单位尺寸设置为 4 mm,效果如图 11 所示。

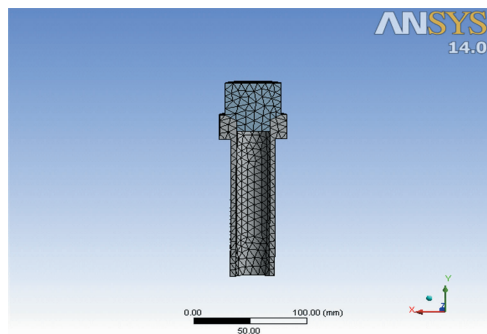


图11 网格有限元模型

3.4 施加载荷约束并求解

对活动模具下端及右侧施加固定约束,左侧施加对称约束;秸秆上端施加沿 Y 轴方向的位移约束,左侧施加对称约束。生物质原料受到沿 Y 轴负方向载荷 10 MPa,模具上表面

受到压力 555 Pa, 为保证分析结果的收敛, 打开 Analysis setting 选项, 其中 Number of Sunsteps 设置为 15, Step End Time 设置为 10, Large Deflection 设置为 on 以激活大应变效应, 点击 Solution (B6) 选择 Solve (求解) 进行求解, 具体结果如图 12 至图 17 所示。

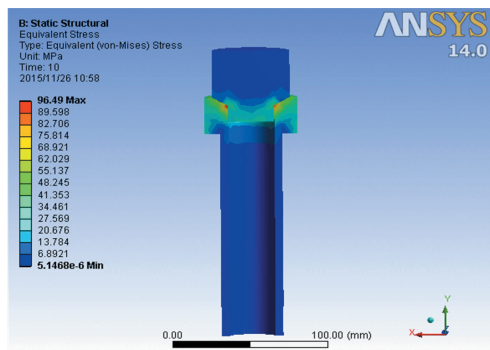


图12 等效应力图示

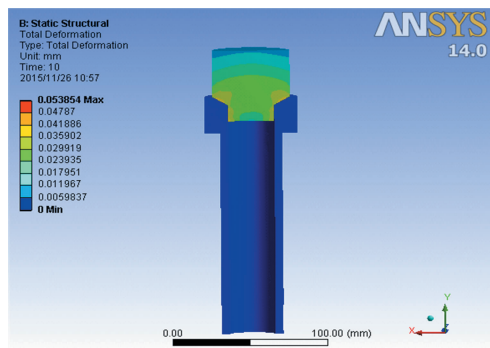


图13 节点总位移图示

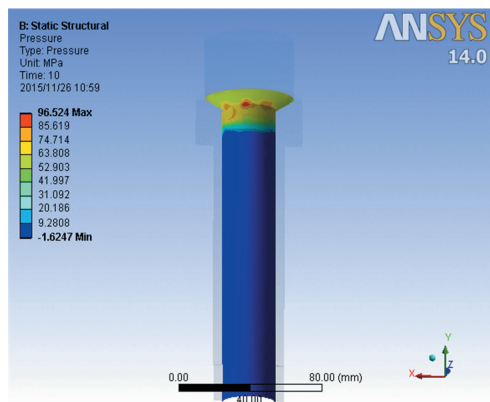


图14 接触压力图示

通过图 12、图 13 可看到, 生物质成型过程中所受应力最大的地方是活动模具上端锥面, 最大应力为 96.49 MPa, 节点总位移最大为 0.053 854 mm; 由图 14、图 15 可知, 生物质原料与活动模具接触对间应力、节点间滑移量沿锥面接触面向下逐渐增加, 在锥面与圆柱面接接口处最大, 此时接触对间应力值为 96.524 MPa, 摩擦应力物料在压力的作用下进入活动模具, 与模具壁产生摩擦, 生物质被压缩进模具, 当物料进入锥形区时, 摩擦力增大, 并在锥形角处摩擦力值达到最大, 达到 16.592 MPa; 秸秆原料与模具锥面接触处的应变达到最大值

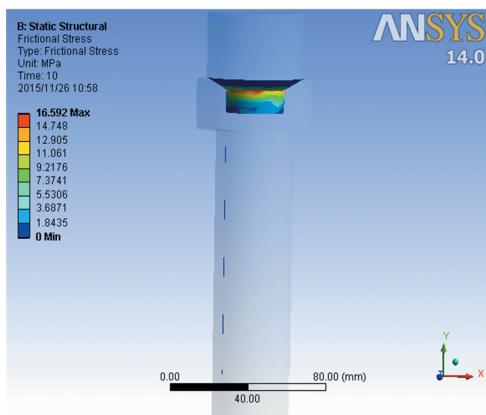


图15 摩擦应力图示

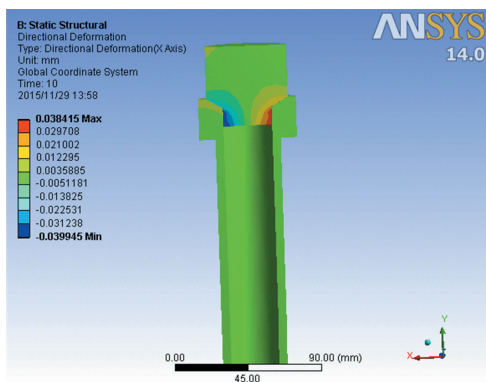


图16 x方向应变图示

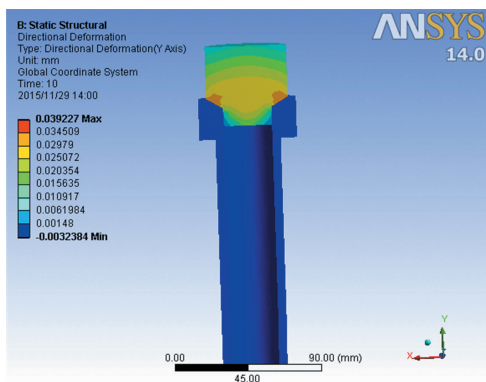


图17 y方向应变图示

0.038 415 mm 时, 因为受剪应力的影响秸秆原料中部位置应变较小; y 方向应变的最大值在模具锥面与下部连接处, 为 0.039 428 mm, 此处摩擦力最大, 磨损最严重, 最小值位于模具入口物料处。

4 结论

生物质成型过程中, 活动模具容易磨损或变形, 会降低生产率、提高生产成本, 为了提高生产率、降低生产成本, 通过对活动模具的受载荷情况进行静力学分析以及成型过程进行仿真分析, 对不同锥度活动模具应力、节点位移进行分析, 得到成型过程中等效应力、节点位移、接触摩擦力以及 x、y 方向的应变情况。通过对比活动模具入口锥度分别为 30°、45°、60°

蔡明青,阮建雯,朱景林,等. 水稻秧盘育秧流水线机架的模态及谐响应分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):369-371.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.108

水稻秧盘育秧流水线机架的模态及谐响应分析

蔡明青¹, 阮建雯¹, 朱景林², 原桑君¹, 张骥¹

(1. 云南农业大学机电工程学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省楚雄州农机推广站, 云南楚雄 675000)

摘要:水稻工厂化机械育秧具有成本低、秧苗生长整齐等特点, 由于水稻种子具有体积小、质量小等特点, 育秧播种机的振动会对落种的密度和均匀度造成较大的影响。针对该问题, 以某型号水稻秧盘育秧流水线机架为研究对象, 建立机架的参数化模型, 并对其进行模态及谐响应分析, 得到机架前 6 阶模态振动特性以及播种机构所在节点在各个方向上的位移与频率的关系等数据。结果表明: 当外界的激励频率在 50 ~ 70.5、92 ~ 105 Hz 范围内时, 播种机构所在的节点会产生较大的位移, 对落种质量产生较为严重的影响。研究结果可为水稻秧盘育秧流水线的优化设计提供理论依据。

关键词:水稻秧盘育秧流水线; 模态分析; 谐响应分析; 精密播种

中图分类号: S223.1⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0369-03

水稻是中国主要的粮食作物, 种植面积高达 3 000 万 hm^2 , 随着农业结构的不断调整和农业机械化的不断推进, 水稻工厂化机械育秧得到了广泛推广, 具有成本低、秧苗生长整齐等特点^[1]。育秧盘上种子密度、均匀度等因素对育秧质量有着重要的影响, 由于水稻种子具有体积小、形状结构差别大、质量小等特点, 给工厂化育秧机械的落种精度提出了更高的要求。水稻工厂化育秧多采用流水线式的水稻秧盘育秧流水线进行育秧, 该育秧机的落种部分一般由落种机构、驱动电机、覆土机构、洒水机构等组成, 驱动电机工作时伴随着振动, 若其振动频率和机架的固有频率相接近, 会发生共振, 将严重影响落种质量^[2]。

以某型号的水稻秧盘育秧流水线的机架为研究对象, 利用 ANSYS Workbench 对机架进行模态及谐响应分析, 得到机架的振动特性, 以期对育秧播种机的优化设计提供理论依据。

收稿日期: 2015-06-15

基金项目: 云南省政府系统决策咨询研究(编号: 2013-34)。

作者简介: 蔡明青(1989—), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事 CAD/CAE、农业机械的研究。E-mail: caimingqing365@126.com。
通信作者: 阮建雯, 硕士, 教授, 主要从事农业机械研究。E-mail: 13888978851@163.com。

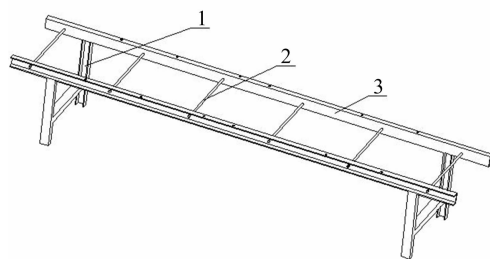
应力和节点位移云图可知, 节点位移以及最大应力最小, 此时其结构最优。对生物质致密成型的节点位移和应力进行分析, 结果显示, 生物燃料和活动模具之间的摩擦力作用造成应力分布不均、出现裂纹等缺陷, 在模具锥形腔锥角处, 其节点位移和等效应力达到最大。通过分析可知, 不同位移的接触摩擦力和接触压力不同, 在活动模具锥形角处最大, 然后向下慢慢变小, 趋于稳定。

参考文献:

- [1] 陈忠加, 俞国胜, 王青宇, 等. 柱塞式平模生物质成型机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 31-38.
- [2] 宫娜, 孙嘉燕, 王述洋. 田间秸秆收集处理新技术的研究与探

1 机架模型

水稻秧盘育秧流水线机架采用槽钢焊接而成, 主要由支架、工作台、横梁组成, 其中工作台长度为 2 400 mm, 工作台宽度为 545 mm, 支架高度为 390 mm。落种机构、驱动电机、覆土机构、洒水机构通过螺栓安装固定在工作平台上。利用 Creo 建立机架的三维模型(图 1)。由于 ANSYS Workbench 无法直接使用 Creo 默认模型文件格式, 本研究将建立的三维模型转化为“*.igs”格式模型文件, 并导入到 ANSYS Workbench 中。



1—支架; 2—横梁; 3—工作台
图1 水稻秧盘机架模型

- 索[J]. 森林工程, 2013, 29(6): 92-94+101.
- [3] 陈艳霞. ANSYS Workbench15.0 有限元分析[D]. 北京: 电子工业出版社, 2015
- [4] 王凤辉, 常龙, 李游. 秸秆压缩成型过程仿真分析[J]. 农机化研究, 2014(12): 58.
- [5] 谷志新, 郑文超, 赵林. 秸秆燃料平模成型机平模模孔仿真研究[J]. 生物质化学工程, 2013(3): 44-47.
- [6] 杜晓龙, 葛正浩, 李成平, 等. 秸秆燃料成型机平模的结构改进及寿命分析[J]. 农机化研究, 2014(11): 241-243.
- [7] 丁宁, 邢艳硕, 孙勇, 等. 玉米秸秆致密成型燃料挤压过程有限元分析[J]. 农机化研究, 2014(2): 48-51.
- [8] 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.