

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<sup>1</sup>, 阮建雯<sup>1</sup>, 朱景林<sup>2</sup>, 原桑君<sup>1</sup>, 张骥弟<sup>1</sup>

(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<sup>+</sup>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<sup>2</sup>,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<sup>[1]</sup>。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<sup>[2]</sup>。

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,以为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。

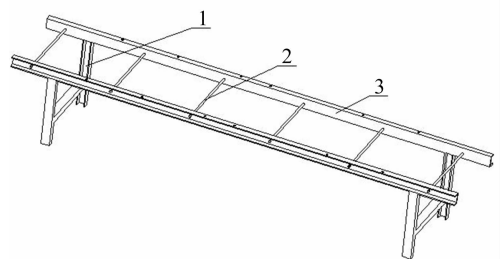
应力和节点位移云图可知,节点位移以及最大应力最小,此时其结构最优。对生物质致密成型的节点位移和应力进行分析,结果显示,生物燃料和活动模具之间的摩擦力作用造成应力分布不均、出现裂纹等缺陷,在模具锥形腔锥角处,其节点位移和等效应力达到最大。通过分析可知,不同位移的接触摩擦力和接触压力不同,在活动模具锥形角处最大,然后向下慢慢变小,趋于稳定。

## 参考文献:

- [1] 陈思加,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默认的模式文件格式,本研究将建立的三维模型转化为“\*.igs”格式的模式文件,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.

## 2 模态分析

### 2.1 分析原理

结构的振动特性包括固有振型  $\phi_i$  和其对应的振动频率  $\omega_i$ , 模态分析是一种计算结构振动特性的数值技术。振型  $\phi_i$  和振动频率  $\omega_i$  有公式 1 所示的关系<sup>[3]</sup>:

$$([\mathbf{K}] - \omega_i^2 [\mathbf{M}]) \{ \phi_i \} = \{ 0 \}。 \quad (1)$$

式中:  $[\mathbf{M}]$  为质量矩阵;  $[\mathbf{K}]$  为刚度矩阵。

### 2.2 定义材料与网格划分

机架的材料为 Q235, 其密度为 7 850 kg/m<sup>3</sup>, 泊松比为 0.3, 弹性模量为 2E11 Pa, 在 ANSYS Workbench 材料库中建立一种名称为 Q235 的材料, 并设置相应的参数, 再将该材料应用到机架上。

网格质量对仿真分析结果的影响非常大, 通常用网格结构和网格密度来衡量网格的质量, 网格密度的增加能在一定范围内提高网格质量, 但是网格密度增加会增加计算机储存空间和计算速度, 较为理想的情况为分析结果不再随网格密度的改变而改变<sup>[4]</sup>。在 ANSYS Workbench 提供了多种不同的网格划分方法, 如自动网格划分、六面体主导网格划分、四面体网格划分、扫掠法等<sup>[5]</sup>。本研究采用六面体主导的网格划分方法, 并将最大网格尺寸设置为 5 mm。划分完成的模型共有 43 766 个单元、255 088 个节点。

### 2.3 约束与求解设置

在水稻秧盘育秧流水线工作过程中, 机架是支架底部是固定在地面上的, 在支架底面上施加由 ANSYS Workbench 提供的固定约束来模拟机架工作时所受到的约束。

在结构的振动过程中, 低阶模态起着主要作用, 相比低阶模态, 高阶模态对结构振动的贡献较小, 且衰减很快, 本研究根据机架的实际工作情况, 采用 Block Lanczos 法计算机架的前 6 阶模态<sup>[6]</sup>。

### 2.4 模态分析结果

经过求解计算和后处理, 得到机架前 6 阶模态的振频和对应的振型, 振频情况见表 1, 前 6 阶的振频范围为 21.668 ~ 94.249 Hz。

表 1 前 6 阶模态分析结果

| 模态阶数 | 频率 (Hz) | 最大值 (位移比值) |        |        |   |        |        |   |        |        |
|------|---------|------------|--------|--------|---|--------|--------|---|--------|--------|
| 1    | 21.668  | 10.748     |        |        |   |        |        |   |        |        |
| 2    | 62.086  | 13.294     |        |        |   |        |        |   |        |        |
| 3    | 63.229  | 4          | 65.395 | 10.058 | 5 | 90.857 | 16.771 | 6 | 94.249 | 17.420 |
| 4    | 65.395  | 10.058     |        |        |   |        |        |   |        |        |
| 5    | 90.857  | 16.771     |        |        |   |        |        |   |        |        |
| 6    | 94.249  | 17.420     |        |        |   |        |        |   |        |        |

机架的第 1 阶模态振型云见图 2 - a, 可见工作平台的中间部分向下塌陷, 最大位移出现在平台的中间位置, 支架的变形较小。机架的第 2 阶模态振型云见图 2 - b, 可见工作平台中间部分向上突起并扭曲, 工作平台同时向内弯曲, 最大位移出现在平台的中间位置, 支架的变形较小。机架的第 3 阶模态振型云见图 2 - c, 可见工作平台中间部分向上突起并扭曲, 最大位移出现在平台的中间位置, 支架的变形较小。机架的第 4 阶模态振型云见图 2 - d, 可见工作平台呈一个“S”形, 最大位移出现在工作平台靠近支架的位置。机架的第 5 阶模态振型云见图 2 - e, 可见工作平台中间部分的变形量较小, 最大变形出现在工作平台的两端, 工作平台的两端均向下偏移。机架的第 6 阶模态振型云见图 2 - f, 可见工作平台中间部分的变形量较小, 最大变形出现在工作平台的两端, 工作平台的一端向上偏移, 另一端向下偏移, 支架的变形较小。

## 3 谐响应分析

在模态振型云图中, ANSYS Workbench 默认的是关于质

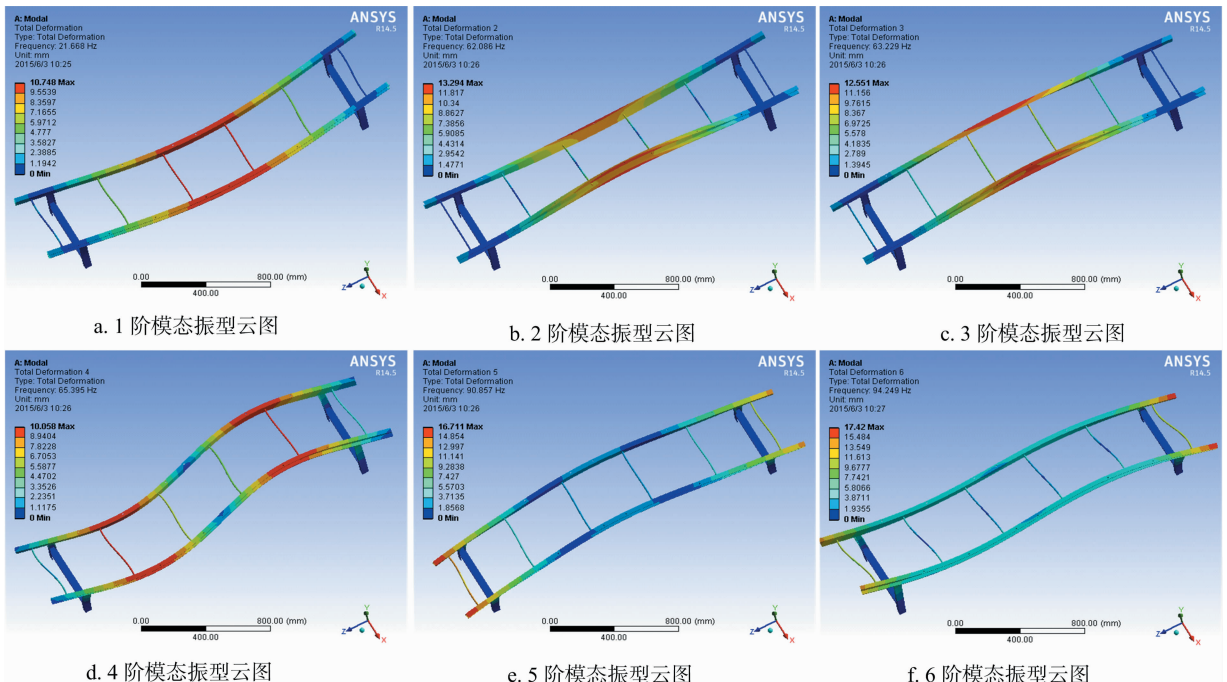


图2 前 6 阶模态振型云图

量矩阵归一化的模态,图中所示数值,并不是真实的位移尺寸,只是点位移的比值<sup>[7]</sup>。为了得到机架更加准确的振动特性,需要对机架进行谐响应分析,得到机架在1个频率范围中频率与位移的关系。

### 3.1 谐响应分析原理

谐响应分析通过对频域的扫描,进而分析结构在不同频率和幅值载荷作用下的响应,从而探测共振。物体的通用力学方程为<sup>[4,8]</sup>:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\}。 (2)$$

式中:[ $M$ ]为质量矩阵; $\{\ddot{x}\}$ 为加速度矢量; $[C]$ 为阻尼矩阵; $\{\dot{x}\}$ 为速度矢量; $[K]$ 为刚度矩阵; $\{x\}$ 为位移矢量。

在谐响应分析中,力 $\{F(t)\}$ 是一个简谐载荷 $\{F_0 \cos(\omega t)\}$ ,将简谐载荷带入公式(2)中,可得:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F_0 \cos(\omega t)\}。 (3)$$

### 3.2 谐响应分析设置

由机架的模态分析可知,前6阶模态的振频范围为21.668~94.249 Hz,由于高阶频率对结构共振的贡献较小,所以在该范围内,机架发生严重振动可能性较大<sup>[9]</sup>。在谐响应分析中,根据模态分析结果将谐响应的求解频率段设置为20~120 Hz,为了得到较为准确的频率与位移之间的关系曲线,频率扫描间隔选择为0.5 Hz,即在求解频率范围内进行200步计算。

### 3.3 求解与后处理

通过求解之后可以得到整个模型任意节点的频率与位移

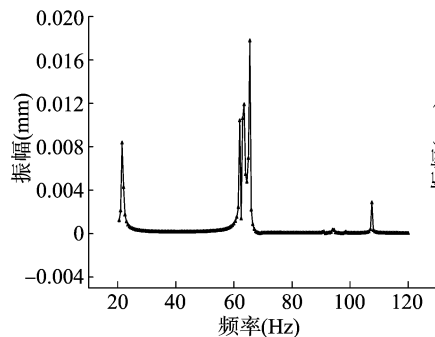


图3 频率-节点沿x轴方向的位移关系曲线

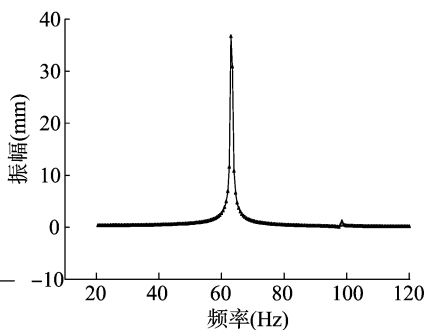


图4 频率-节点沿y轴方向的位移关系曲线

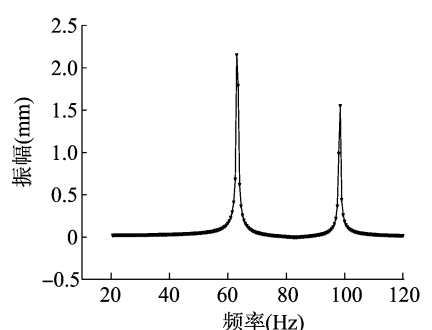


图5 频率-节点沿z轴方向的位移关系曲线

之间的关系,但是育秧播种机的排种工作主要由排种机构完成,为了准确分析排种机构受机架振动的影响,选取排种机构所在的节点进行后处理,分别得出排种机构所在节点的频率与节点沿x轴方向的位移关系曲线、频率与节点沿y轴方向的位移关系曲线、频率与节点沿z轴方向的位移关系曲线。

节点在x轴方向的位移主要影响种子在x轴方向的相对距离,频率与机架沿x轴方向的位移关系曲线见图3,该曲线由多个极值,其中在20.0~65.5、90.0~91.0、93.0~94.5 Hz范围内会出现相对较大位移,但是位移的最大值只有0.0178 mm。

节点在y轴方向的位移主要影响种子的落种距离,频率与机架沿y轴方向的位移关系曲线见图4,该曲线有3个极值,其中在52.5~70.5 Hz范围内会出现相对较大位移,最大的位移值为36.6 mm。

节点在z轴方向的位移主要影响种子在z轴方向的相对距离,频率与机架沿z轴方向的位移关系曲线见图5,该曲线有3个极值,其中在50.0~70.5、92.0~105.0 Hz范围内会出现相对较大位移,位移的最大值为2.16 mm。

从上述分析可以看出,排种机构所在的节点沿x轴方向的位移较小,不会对播种密度和均匀度造成太大的影响;当频率在50.0~70.5、92.0~105.0 Hz范围时,排种机构所在节点沿y轴和z轴方向位移较大,会对落种质量产生较大影响;虽然在排种机构所在的节点沿y轴方向的位移不会直接影响种子密度和均匀度而造成直接的影响,但是过大位移还是会间接影响播种的质量,同时过大位移同时可能对育秧播种机其他机构造成一定的影响。

## 4 结论

通过对某型号水稻秧盘育秧流水线机架的振动特性进行分析,得到如下结论:(1)为了保证育秧播种机的正常工作运行,应当避免使用振动频率在50.0~70.5、92.0~105.0 Hz范围内的驱动电机。(2)机架工作平台的中间部分一般是变形的最大区域,可以在平台与支架之间增加横梁构成三角形结构,或者增加支架的数量,来增强平台的稳定性。

### 参考文献:

- [1] 孙勇飞,吴崇友,张文毅,等. 水稻育秧播种机的发展概况与趋势[J]. 农机化研究,2013(12):210-215.
- [2] 杜雄,王营,刘伟. 水稻育秧播种机设计[J]. 装备制造技术,2014(3):219-221,223.

- [3] 王玲,李慧琴,李燕,等. 自走式谷物联合收割机车架的有限元分析[J]. 江苏农业科学,2012,40(11):385-387.
- [4] 丁欣硕,凌桂龙. ANSYS Workbench 14.5 有限元分析案例详解[M]. 北京:清华大学出版社,2014:87-92.
- [5] 李吉成,果霖,张天会. 基于流固耦合联合收割机横流风机叶轮的功率特性分析[J]. 农机化研究,2015,9(9):234-240.
- [6] 王军锋,陈峰,陈俊杰. 刮板式花生脱壳机转轴部件的模态分析[J]. 江苏农业科学,2012,40(12):376-378.
- [7] 李燕平. 离心风机叶轮的有限元分析及优化[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012:23-24.
- [8] 赵运才,黄书烽. 立式粉磨机立柱模态与谐响应分析[J]. 矿业研究与开发,2012(6):94-97.
- [9] 刘涛,王卫辉,鹿飞,等. 基于Workbench的箱形伸缩臂模态及谐响应分析[J]. 制造业自动化,2015(4):80-82,97.