

水稻排种器振动板横向振动分析与试验

俞亚新^{1,2}, 张翔^{1,2}, 吴飞^{1,2}, 刘磊^{1,2}

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江省种植装备技术重点实验室, 杭州 310018)

摘要: 为进一步提高超级稻有序排列播种精度,对振动式排种器振动板的横向振动特性进行了研究。首先阐述了振动式排种器的工作原理,建立了振动板横向振动的力学模型,并对稻种在振动板上的跃起运动进行分析;再利用振动测试采集仪等设备对振动板进行振动测试,分析了激振频率、振动板角对振动板横向振动的影响,得到板面的横向振动规律,提出了排种器振动板上导向板布置的区域为:400 mm×300 mm;再连接V型槽输送已定向排序稻种的设计方案。试验结果表明,在激振频率为4.5 Hz、振幅为3.5 mm、振动板倾角为10°、导向板曲率为2.65时,该设计方案可以有效避免稻种的跃起,实现均匀有序播种,满足超级稻有序、连续播种的要求。

关键词: 矩形平板; 横向振动; 水稻; 排种器; 农业机械

中图分类号: S223.2 **文献标志码:** A

0 引言

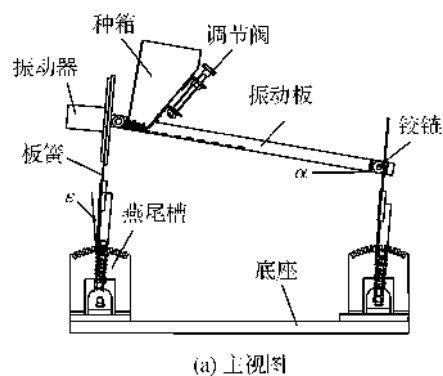
近年来,由于振动式排种具有不伤种、适应不同水稻品种的特点,振动式排种器得到广泛研究与应用,主要有机械振动式、电磁振动式、气力振动式等^[1-4]。振动式排种器的振动参数是播种装置设计与应用的重要参数,很多学者对此开展了研究,如王朝辉等^[5-6]测试和分析了工作参数对超级稻育秧播种效果的影响;刘彩玲等^[7]研究了种盘振动对气吸式精量播种装置工作性能的影响;吴国瑞等^[8]、陈书法等^[9]进行了水稻播种机振动试验研究,得到了满足穴盘精量播种振动频率、振幅的范围。

笔者提出了利用带导向板的振动板来输送超级稻种子,满足种子均匀有序排列播种的要求^[10];对振动式排种器整体进行有限元分析,得到了排种器的固有频率,为排种器激振器工作频率选择提供依据^[11]。然而,在前期试验中^[10]发现板的横向振动会引起种子在振动板面上的跳跃,影响排序播种效果。因此,本文在原有研究^[10]的基础上,对振动板的横向振动特性进行研究,分析水稻种

子在振动板上的跃起规律,为合理布置弧形导向板区域、优化稻种定向排序区域、提高播种的均匀性提供基础。

1 振动式排种器的结构组成与工作原理

振动式超级稻排种器的结构简图如图1所示,主要由振动器、板簧、振动板、种箱、弧形导向板、V型槽、燕尾槽等组成。振动板与振动器、板簧通过铰链连接在一起,振动器安装在振动板的高侧,激振力的方向与板弹簧垂直。振动系统中板簧的长度、振动板的倾角等均可调整。



收稿日期: 2014-05-15

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY12E05028);浙江理工大学 521 人才计划

作者简介: 俞亚新(1974-),女,江苏常州人,副教授,主要从事机构分析、机械动力学方面的研究。

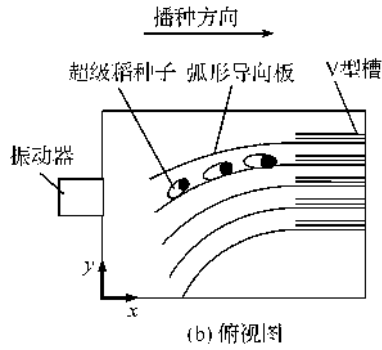


图 1 振动式排种器结构

振动式超级稻排种器基本工作原理是:排种器的振动板在振动器激励下,做往复运动;稻种在重力、牵连惯性力、摩擦力的共同作用下,在振动板上沿着弧形导向板往前运动,实现定向排序(种尖朝胚胎),再通过 V 型槽实现均匀播种^[12]。

2 种子在振动板上的运动分析

2.1 振动板的横向振动分析

本文所设计的振动式排种器的振动板是矩形薄板结构,大小为 $600\text{ mm} \times 460\text{ mm} \times 2\text{ mm}$,刚度较小,在外部激励的作用下会产生变形^[13]。根据播种排序要求,稻种在振动板上不能产生跳跃,以免影响排序播种。

根据薄板弯曲理论,可得到薄板小挠度振动的运动微分方程为^[14]:

$$D \nabla^4 \omega(x, y, t) + \rho h \frac{\partial^2 \omega(x, y, t)}{\partial t^2} = q(x, y, t) \quad (1)$$

式(1)中: $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$,为薄板的弯曲刚度; $\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$; $\omega(x, y, t)$ 为弯曲挠度函数; ρ 为振动板密度; h 为振动板厚度; $q(x, y, t)$ 为边界条件。

设矩形薄板受迫振动微分方程解的形式为:

$$\omega(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} T_{mn}(t) W_{mn}(x, y) \quad (2)$$

式(2)中: $T_{mn}(t)$ 为薄板振动的广义坐标, $W_{mn}(x, y)$ 为振型函数。

从图 1 可以看到,该矩形振动板由 4 根板弹簧连接,属于四边简支的情形。取振型函数为:

$$W_{mn}(x, y) = \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

由能量法可求得矩形薄板的固有频率为:

$$\omega_{mn} = \pi^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (3)$$

式(3)中: a 为板沿 x 方向的长度, b 为板沿 y 方向的长度。

根据振动板参数可知, $\rho = 7\,820\text{ kg/m}^3$ 、 $E = 200\text{ GPa}$ 、 $\mu = 0.28$,可得振动板的固有频率 $\omega_{11} = 79.6\text{ Hz}$ 。

2.2 稻种在振动板上跃起条件分析

图 2 是稻种在振动板导向板位置的受力分析图。 α 是振动板与水平面的夹角, ϵ 是牵连惯性力与水平面之间的夹角。稻种在振动板上受到的力有:振动板对稻种的支撑力 F_{N1} , 振动板与稻种之间的摩擦力 F_{f1} , 弧形导向板与稻种之间的摩擦力 F_{f2} , 牵连惯性力 $F_s = mA\omega^2 \cos(\omega t + \varphi)$ 。

由图 2 可得稻种垂直于板面的平衡方程为:

$$F_{N1} + F_s \sin(\alpha - \epsilon) - mg \cos \alpha = 0.$$

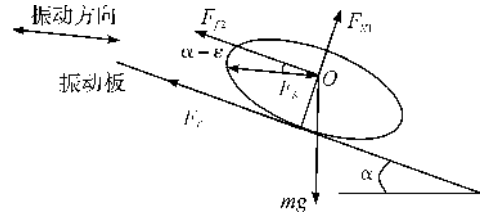


图 2 稻种的振动板导向板段受力分析

种子离开振动板跃起的边界条件为:

$$F_{N1} = 0.$$

所以稻种在振动板上运动时,不产生跃起的加速度条件为:

$$a_s \leq g \cos \alpha.$$

$$\text{其中: } a_s = \frac{F_s \sin(\alpha - \epsilon)}{m}.$$

3 振动测试与结果分析

3.1 试验材料与设备

图 3 是试验台照片。振动板由 4 根厚度为 5 mm $\times 1\text{ mm}$ 支撑板簧,板簧固定在底座上。振动板尺寸: $600\text{ mm} \times 460\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。仪器参数如下:振动器由可变行程、频率的行程控制型比例电磁铁驱动,实现振动器可变振幅、频率的振动;加速度传感器:PCB;分析仪:AVANT MI-7000 系列数据采集与分析仪。

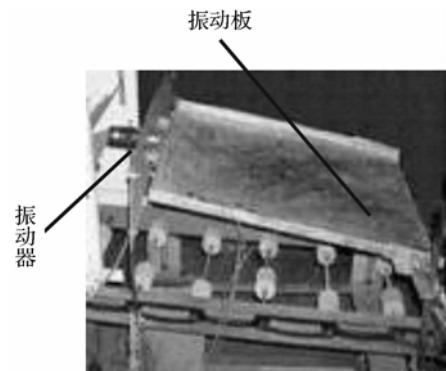


图 3 试验台照片

3.2 试验设计

测试连接图如图4所示。加速度传感器安装在由振动器激励的振动板各测点处,经放大器和信号采集仪将信号传递给计算机。

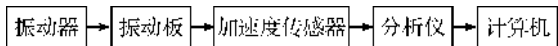


图4 测试连接

板面上的导向板和V型槽对板面的振动情况影响较小,振动测试时去除。为反映整块振动板的振动情况,采用均匀布置测试点的方法,如图5所示。

测试点为 6×5 共30个点。其中 x_1 到 x_6 的坐标分别为80、180、280、380、480、580 mm。 y_1 到 y_5 的坐标分别为50、140、230、320、410 mm。因为所设计的试验台须考虑有序播种的情况,根据预试验的结果^[10], α 取值小于稻种在振动板上的摩擦角,选

取 10° 、 15° 三个水平;振动器频率的取值为:4、4.5、5 Hz,振幅取3.5 mm。

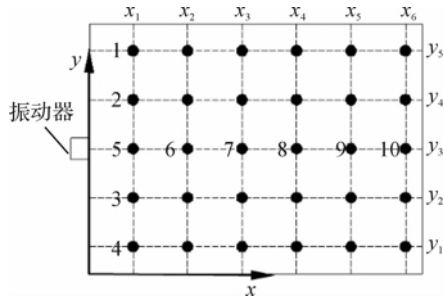


图5 振动板测试点布局

3.3 测试结果与分析

图6是振动式播种器中 x_1 线上5个点和 y_3 线的6个点在 α 分别为 5° 、 10° 、 15° 时,振动频率分别为4、4.5、5 Hz时各测点的情况。

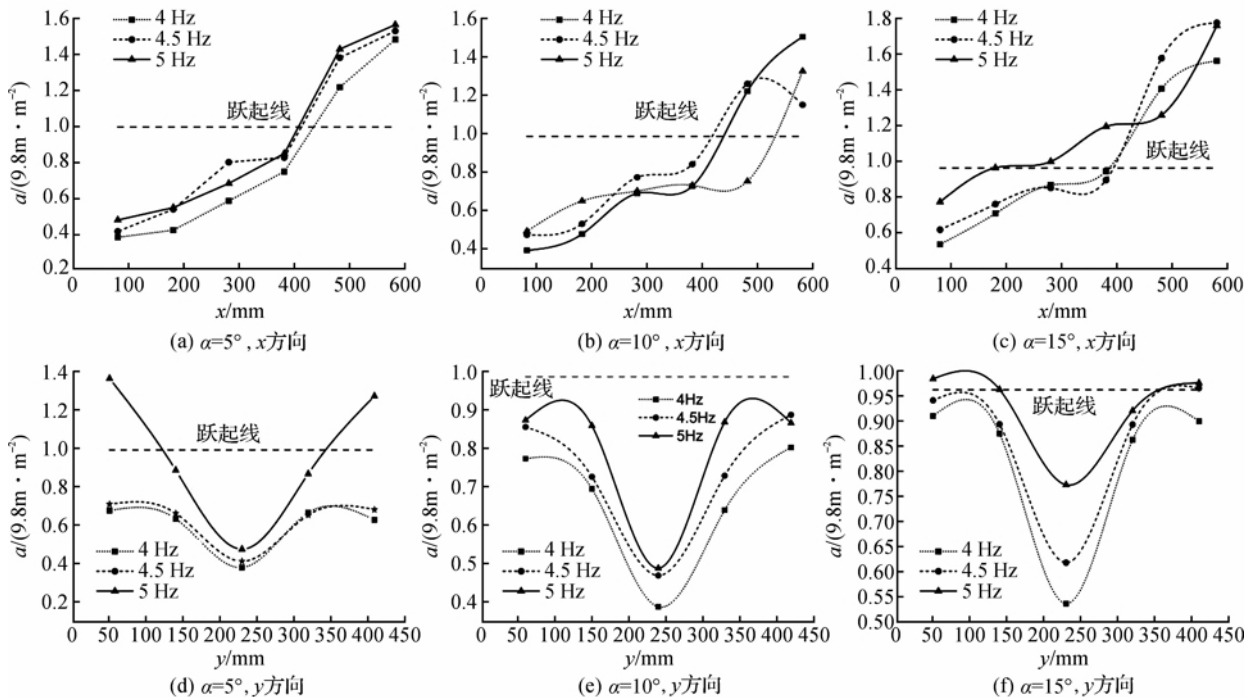


图6 各测试点测试结果

从图6(a)—图6(c)中可以看出,振动板的 x 方向上,离振动器越远,振动越强。产生上述情况的原因是远离振动器的支撑板簧的晃动容易引起扭曲变形,共振等问题,振动会加剧。从图6(a)中可以看出,当 $\alpha=5^\circ$ 时,跃起临界线与加速度线的交点在离振动器400 mm左右的位置,即在 $x < 400$ mm区域种子在振动板上不跃起。从图6(b)、(c)中可以看出:随着 α 增大,除个别点外,交点普遍往振动器方向偏移,即板面跃起区域增加。

从图6(d)—图6(f)中可以看出, y 方向的振动

情况以振动器为中心呈现对称分布,远离振动器振动逐渐加强,而在振动器正对的位置振动最弱。产生这种情况的原因是沿振动板 y 向的两端,受到支撑板簧和侧面挡板的约束,使振动板产生了变形,但强度较 x 方向末端要弱很多。

4 播种试验

图7是试验研究的振动式排种器。振动板上的弧形导向板及对应的V型槽各设为4条,V型槽对准秧盘中的沟槽,保证稻种落入秧盘成行。试验中

采用标准育秧盘,规格为 $580\text{ mm} \times 280\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 。试验所用的超级稻种为国稻6号。

4.1 试验参数的确定

根据振动试验结果和综合稻种排序要求^[10],试验参数为:振动板角 $\alpha=10^\circ$,振动方向角 $\epsilon=10^\circ$,振动频率为 4.5 Hz ,振幅为 3.5 mm ,导向板表面高摩擦系数材料为 $2\ 000^\#$ 砂纸,弧形导向板的曲率为 $\rho=2.65$ 。导向板的尾端连接光滑的V型槽,V型槽尾端靠近育秧盘。

4.2 试验结果

从图7中可以看出,种子基本能按照条状均匀有序的分布在种床上,育秧盘中4行稻种总数为368粒(按20行进行育秧,则每个秧盘可以达到1 850粒),满足育秧盘能够形成毯状秧苗的所需要不少于 $1\ 400\sim 1\ 700$ 粒稻种的要求。

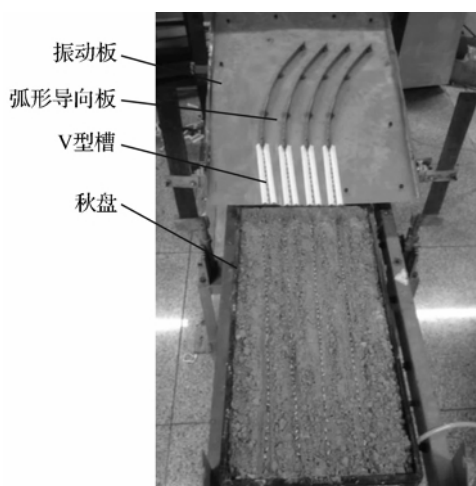


图7 振动式播种器

实测超级稻的定向排序率为 87.3% ,运动速度为 0.017 m/s ,折合成标准育秧盘盘数每小时可以达到105盘左右。

5 结 论

本文所设计的排种器中振动平板为矩形薄板结构,刚度较小,外部纵向激励下易产生横向变形等问题,从而引起种子在振动板面上的跳跃,影响排序播种效果。本文对振动板横向进行理论分析与试验研究,得到如下结论。

a) 振动板面 x 和 y 方向的不同位置点对种子的跃起有影响,表现为远离振动器振动加强。

b) 振动频率和板面角与种子的跃起呈正向变化。随着激振频率或振动板倾角的增大,种子的跃起程度也增加。

c) 为了实现稻种的排序运动,导向板设置在种

子不产生跳跃的区域进行。本排种器中,在激振频率 4.5 Hz 左右,振动板倾角 10° 左右,导向板设置的区域为: $x < 400\text{ mm}$, $30\text{ mm} < y < 350\text{ mm}$ 。

d) 根据理论分析和试验结果,提出在 $x > 400\text{ mm}$ 区域采用V型槽来保证已排序的稻种形成均匀的种子流。试验结果证明弧形导向板和V型槽的设计能有效保证稻种有序排列及达到连续均匀的播种。

参考文献:

- [1] 周海波,马旭,姚亚利. 水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 301-306.
- [2] 吴慕春,吕恩利,杨文武,等. 气力振动式超级稻穴盘精量播种装置的设计与试验[J]. 农机化研究, 2009, 31(9): 75-77.
- [3] 张石平,陈进,李耀明,等. 振动气吸式穴盘精播装置振动条件理论分析与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 56-59.
- [4] 夏静,张石平,陈进,等. 振动气吸式穴盘育秧精密播种装置吸种运动研究[J]. 现代农业装备, 2007(9): 45-48.
- [5] 王朝辉,马旭. 超级稻精密播种器种层振动测试与分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 68-72.
- [6] 王朝辉,马旭,贾瑞昌. 工作参数对超级稻育秧播种部件吸种性能的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 88-92.
- [7] 刘彩玲,宋建农. 种盘振动对气吸振动式精量播种装置工作性能的影响[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(2): 12-14.
- [8] 吴国瑞,李耀明. 水稻播种机振动试验研究[J]. 江苏理工大学学报, 1997, 18(6): 12-17.
- [9] 陈书法,张石平,李耀明. 压电型振动气吸式穴盘育苗精量播种机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 15-20.
- [10] 俞亚新,赵匀,张斌,等. 基于稻种胚胎定向排列的排种器及参数优化[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2008, 29(3): 194-197.
- [11] 俞亚新,李剑敏,邵鑫超,等. 振动式排种器的模态分析与试验研究[J]. 浙江理工大学学报, 2011, 28(1): 69-72.
- [12] 俞亚新,邵鑫超,赵匀. 弧线型导向板超级稻定向播种装置: 中国, ZL201010608577.2[P]. 2012-07-04.
- [13] Li W L. Vibration analysis of rectangular plates with general elastic boundary supports[J]. Journal of Sound and Vibration, 2004, 273(3): 619-635.
- [14] 向建华,廖日东,蒲大宇. 带集中质量块薄板的移频数值仿真[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(11): 82-86.

(下转第134页)

Weighted Integrability under MVBV Condition

GUO Yan-rong

(School of Sciences, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper generalizes MVBV condition of coefficient series to MVBV condition of function, gives sufficient and necessary condition of sine integral and cosine integral under MVBV condition respectively, and utilizes Cauchy convergence criterion, integration by parts, suitable scaling and other mathematical methods for confirmation so as to further perfect the integrability theory of trigonometric series.

Key words: weighted integrability; sine integral; cosine integral; bounded variation of mean value

(责任编辑: 康 锋)

(上接第 81 页)

Analysis and Test of Transverse Vibration of Vibrating Plate of Rice Seed Metering Device

YU Ya-xin^{1,2}, ZHANG Xiang^{1,2}, WU Fei^{1,2}, LIU Lei^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University,
Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Province Key Laboratory of Transplanting Equipment
and Technology, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The transverse vibration feature of the vibrating plate of vibrating-type seed metering device is studied with a view to further improve the seeding accuracy in an ordered arrangement of super hybrid rice. The design scheme is as follows. Firstly, the operational principle of vibrating type seed metering device is stated, a mechanical model of transverse vibration of vibrating plate is built, and analysis on the leaping movement of rice seed on vibrating plate is made; then vibration test of vibrating plate is made with vibration test acquisition instrument and other equipment, the effect of excitation frequency and the angle of vibrating plate on transverse vibration of vibrating plate is analyzed, and the laws of transverse vibration of plate are drawn, and it is pointed out that the area for arranging guide plate on vibrating plate of seed metering device is: 400×300 mm; a V-shaped trough is connected for conveying rice seeds that have been arranged in a certain direction. Experimental results show that when excitation frequency is 4.5 Hz, amplitude is 3.5 mm, the inclination of vibrating plate is 10° , and the curvature of guide plate is 2.65, implementing the design scheme can effectively prevent rice seed from leaping, realize uniformly and orderly seeding, and meet the requirements for ordered and continuous seeding of super hybrid rice.

Key words: rectangle plate; transverse vibration; rice; seed metering device; agricultural machinery

(责任编辑: 康 锋)