

圆盘开沟器动力学振动模型的研究

毛艳辉 宋建农 刘建军 彭旭

(中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要 为改善圆盘开沟器的振动性能,建立了圆盘开沟器的动力学振动模型,利用 MATLAB 软件对该模型进行仿真分析。结果表明:当播种机前进速度由 2.65 m/s 提高到 4.15 m/s 时,开沟器谐振振幅由 37.2 dB 增加到 38.1 dB,谐振频率由 14.5 Hz 上升到 19.6 Hz。田间试验结果表明,相同速度条件下,安装液压阻尼器可提高开沟器与土壤作用时的减震性能,同时播种覆土均匀性也得到改善。

关键词 开沟器;播种质量;动力学;振动模型;MATLAB

中图分类号 S 223.2

文章编号 1007-4333(2006)01-0044-03

文献标识码 A

Study on dynamic vibration models of disc opener of the planter

Mao Yanhui, Song Jiannong, Liu Jianjun, Peng Xu

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to improve the vibration characteristics of disc opener, the dynamic vibration models of disc opener was developed and simulated by means of MATLAB. The simulation results showed that with the working speed increased from 2.65 m/s to 4.15 m/s, the resonance amplitude was increased from 37.2 dB to 38.1 dB and resonance frequency increased from 14.5 Hz to 19.6 Hz. The field experiments showed that installing damper will improve the performance of reducing effect of seismic action during the interaction of the soil and the opener at the same operation speed, and evenness of seeding depth will also be improved.

Key words opener; sowing quality; dynamics; vibration model; MATLAB

开沟器的主要功能是在播种时开出种沟或掘出种穴,引导种子或肥料进入种沟内,并使湿土覆盖完好^[1]。常用的开沟器种类很多,如圆盘式、铲式、铧式等,其中圆盘开沟器由于圆盘周边有刃口,滚动时类似滑刀切削入土块,能切断草根和残茬,即使在整地条件差和土壤湿度较大时也能正常工作,而且在开沟过程中不易粘土、堵塞,上下土层相混现象较小^[2],以及切割残茬能力强等优点而得到广泛应用^[3];但其受力时的平衡状况对其入土性能及工作稳定性影响较大。国内外学者对播种圆盘开沟器的型式和播种技术做了很多研究工作^[4-5],但很少从动力学角度研究圆盘开沟器运动特性对播种质量的影响。笔者拟从动力学角度建立圆盘开沟器的振动模型,采用 MATLAB 软件对圆盘开沟器在不同前

进速度下的振动性能进行仿真分析,并对改善开沟器的振动性能提出解决方案,以期圆盘开沟器的设计和推广应用提供参考。

1 圆盘开沟器动力学振动模型的建立

播种作业时,圆盘开沟器开出种沟,将种子放置在种沟底并覆盖土壤,这一过程是由带悬挂架的开沟器和土壤这两个元件组成的复合模型共同作用的结果。为研究其振动性能,假设开沟器和悬挂架为线性动态系统,将地面不平度 $Z(t)$ 和土壤残茬阻力 $R(t)$ 看作输入变量,将这两者变化引起的开沟器相对于播种机架在纵向平面内的角摆动 $\theta(t)$ 看作圆盘开沟器的输出变量(地面不平度 $Z(t)$ 对角摆动 $\theta(t)$ 的影响通过播种机机架振动产生,由行走轮承

收稿日期: 2005-09-02

基金项目: 国家“十五”科技攻关重点项目(2004ba524-01)

作者简介: 毛艳辉,硕士研究生;宋建农,教授,博士生导师,主要从事农业装备工程研究, E-mail: songjn@cau.edu.cn

受此影响), 则圆盘开沟器动力学振动数学模型为^[6]

$$\sum_{j,m=1}^k (a_{jm} \ddot{q}_m + b_{jm} \dot{q}_m + c_{jm} q_m) = \sum_{i=1}^n (d_{mi} \dot{f}_i + m_{mi} f_i) \quad (1)$$

式中: q_m 、 \dot{q}_m 和 \ddot{q}_m 分别为广义坐标下的位移及其一、二阶导数; f_i 和 \dot{f}_i 为外部力及其导数; a_{jm} 、 b_{jm} 、 c_{jm} 、 d_{mi} 和 m_{mi} 为常系数; k 为广义坐标数; n 为输入作用数。在该模型中广义坐标和输入变量各 1 个, 故 $k=1, n=2$, 令 $q_1=c, a_{11}=J_c$, 其中 J_c 为开沟器相对悬挂轴的惯性矩。此条件下式 (1) 为

$$J_c \ddot{c} + b_{11} \dot{c} + c_{11} c = d_{11} \dot{z} + m_{11} z + d_{21} \dot{R} + m_{21} R \quad (2)$$

进一步整理得

$$T_2^2 \ddot{c} + T_1 \dot{c} + c = z \dot{z} + k_z z + R \dot{R} + k_R R \quad (3)$$

式中: $T_2^2 = J_c / c_{11}$; $T_1 = b_{11} / c_{11}$; $z = d_{11} / c_{11}$; $k_z = m_{11} / c_{11}$; $R = d_{21} / c_{11}$; $k_R = m_{21} / c_{11}$ 。将式 (3) 进行拉普拉斯变换, 可得圆盘开沟器微量摆动的传递函数方程

$$c(s) = W_z(s) z(s) + W_R(s) R(s) \quad (4)$$

其中 $W_z(s)$ 和 $W_R(s)$ 的传递函数表示为

$$W_z(s) = \frac{z + k_z}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} \quad (5)$$

$$W_R(s) = \frac{R s + k_R}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} \quad (6)$$

2 圆盘开沟器动力学振动模型的分析

在仿真分析与试验研究中, $W_z(s)$ 可简化为

$$W_z(s) = \frac{k_z}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$$

其系数值用最小二乘法求出, 圆盘开沟器传递函数的系数值见表 1。

将圆盘开沟器传递函数 $W_z(s)$ 中的 s 换为 j , 则可得到系统的频率特性 $W_z(j)$ 。系统频率特性可唯一地确定系统的性能, 因此对系统的频率特性进行分析, 即可得到系统的相关性能。频率分析方法就是通过分析频率特性 $W_z(j)$ 的两大要素幅频和相频与输入信号频率的关系, 建立系统的结构参数与系统性能的关系。幅频峰值越大, 阶跃响应

的输出超调量也越大, 系统的相对稳定性越好。谐振频率越大, 带宽越宽, 响应速度越快^[7]。

采用 MATLAB 编程^[8]得到系统的频率响应曲线, 即伯德 (Bode) 曲线和奈奎斯特 (Nyquist) 曲线 (图 1)。从图 1 可知, 当播种机前进速度由 2.65 m/s 提高到 4.15 m/s 时, 圆盘开沟器的谐振频率从 14.5 Hz 提高到 19.6 Hz, 其幅频峰值从 37.2 dB 增加到 38.1 dB, 系统稳定性提高。

播种作业时, 圆盘开沟器的振动对种子覆土深度会造成相应的波动, 从而影响播种机的播种质量。有两种措施可改善圆盘开沟器的振动性能: 改变悬挂结构或安装液压阻尼器提高圆盘开沟器与土壤作用时的减震性能。前者具体做法是将圆盘开沟器的悬挂机构改为六连杆机构, 并在活动和支承环节之间加上弹簧, 成为弹性连接^[9]。本研究对后一种改进方法进行了田间试验。由试验结果分析得出改进后的圆盘开沟器传递函数的系数见表 1。从表 1 可以看出, 当播种机前进速度分别为 2.65 和 4.15 m/s 时, 改进后的阻尼比分别为 0.36 和 0.31, 与改进前 (0.15 和 0.10) 相比, 分别增大了 2.4 和 3.1 倍, 降低了圆盘开沟器的震动性, 同时播种覆土均匀性得到了一定程度的改善。

表 1 传递函数的系数

Table 1 Coefficient of transfer function

| 开沟器 | v/ (m/s) | k_z / (g/mm) | T_1 /s | T_2 /s | 阻尼比 |
|-----|-------------|-------------------|----------|----------|------|
| 标准 | 2.65 | 0.037 | 0.02 | 0.065 | 0.15 |
| | 4.15 | 0.025 | 0.01 | 0.050 | 0.10 |
| 改进 | 2.65 | 0.034 | 0.05 | 0.070 | 0.36 |
| | 4.15 | 0.025 | 0.04 | 0.065 | 0.31 |

注: 阻尼比 $\zeta = 0.5 T_1 / T_2$

3 结束语

本研究建立了圆盘开沟器的动力学振动模型, 采用 MATLAB 软件编程, 从频率分析角度对圆盘开沟器的运动特性进行了分析。田间试验数据分析表明: 该模型较真实的反映了圆盘开沟器的运动性能, 说明从动力学角度建立圆盘开沟器的振动模型是切实可行的。试验结果还表明, 圆盘开沟器的振动性能对播种覆土的均匀性有一定的影响。

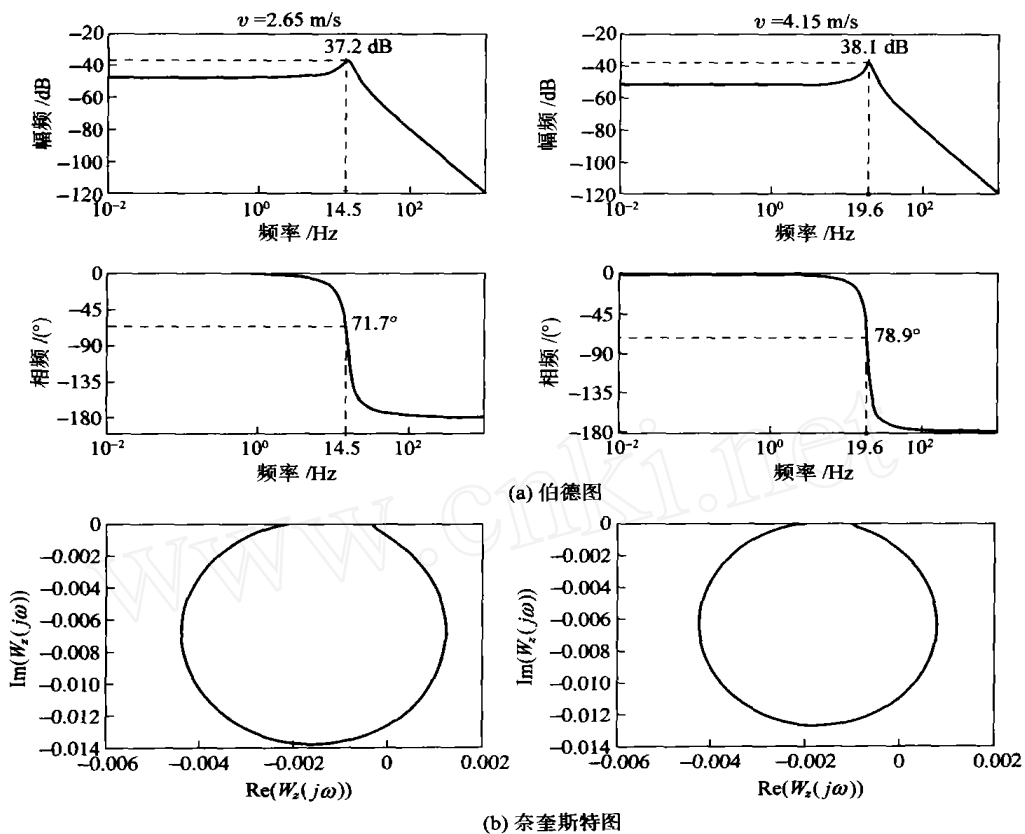


图1 2种速度下圆盘开沟器频率响应特性曲线

Fig. 1 The responding characteristics curve of disc opener frequency at different speed

参 考 文 献

- [1] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 66-68
- [2] 吴相军, 韩奎福, 庞喜泉, 等. 双圆盘开沟器性能的研究[J]. 山东农机, 2004(2): 15-16
- [3] 张守勤, 左春怪, 马成林. 圆盘开沟器受力模型的研究[J]. 农业机械学报, 1998, 29(增刊): 64-71
- [4] 陈君达, 王兴文, 李洪文. 旱地农业保护性耕作体系与免耕播种技术[J]. 北京农业工程大学学报, 1993, 13(1): 27-33
- [5] 杜兵. 小麦免耕播种机种几个结构参数的设计计算[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(4): 30-34
- [6] 卢里耶 A, 格罗姆勃切夫斯基 A A. 农业机械的设计和计算[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983: 41-44
- [7] 胡国清, 刘文艳. 工程控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 120-206
- [8] 陈晓平, 李长杰. MATLAB 及其在电路与控制理论中的应用[M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 2004: 124-140
- [9] 侯志刚, 宋建农. 免耕播种机运动的线性模型的建立与分析[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(6): 31-33