

鼠道犁扰动土壤随机过程研究*

左春桢 陈江南 张守勤

(吉林工业大学)

提 要 通过田间测试鼠道犁的动态随机牵引力, 计算了平均牵引力、动态随机力的傅里叶变换和功率谱密度函数, 研究了牵引力周期性变化与土壤扰动破坏之间的关系。

关键词 随机过程 鼠道犁 土壤

The Study on the Random Process of the Turbulence of Soil Produced by a Mole Plough

Zuo Chun-cheng Cheng Jiang-nan Zhang Shou-qin

(Jilin University of Technology, Changchun)

Abstract The average force, FFT and power spectral density of traction force of a mole plough have been calculated after field test. The relation between the periodical change of traction force and soil fracture produced by the mole plough is also discussed in this paper.

Key words Random process Mole plough Soil

1 引 言

与其它土壤工作部件不同, 鼠道犁的设计要求它对土壤的扰动越小越好, 即要求鼠道具有稳定性, 能够起到长时间排水的功能。但由于鼠道犁对土壤的扰动有许多随机因素存在, 只通过测试和分析鼠道犁的平均牵引阻力并不能揭示出对土壤的扰动规律。因此, 尚需对其动态随机阻力进行深入研究。

Siemens 等人^[1]较早地发现了农机土壤工作部件阻力是被动的, 波动范围约为平均阻力的 30%, Upadhyaya^[2]采用频谱分析方法得出了土壤—圆盘开沟部件作用动力学的关系, 牵引力波动周期与土壤出现裂纹的周期有关。所有研究都认为土壤出现裂纹是土壤工作部件阻力周期性波动的主要原因(D sm an 1964; D lson 1965, Rajaram 1988; Glancey 1989)^[3]。但对鼠道犁扰动土壤随机过程却论述甚少。本文测试了鼠道犁田间动态随机牵引力, 计算了平均阻力、动态随机力的快速傅里叶变换及其功率谱密度函数, 通过和田间土壤扰动破坏观察对照, 分析了动态随机牵引力与土壤扰动破坏之间的关系。

收稿日期: 1997-07-31

* 国家自然科学基金国际合作研究项目(59590131112)

左春桢, 副教授, 博士, 长春市 吉林工业大学农机工程学院, 130025, 现在法国 EN ESAD 从事博士后研究

2 田间测试和统计分析原理

2.1 田间牵引力测试

田间试验是在法国Neuveville 牧场草地上完成的。土壤条件为: 相对湿度 37%, 表观密度 1.2 g/cm^3 , 坚实度指数 130 N/cm , 粘土比例(土壤颗粒直径 $< 2 \mu\text{m}$) 为 47.7%。被试鼠道犁为传统结构形式(参见文献[4])。试验时鼠道犁由 JD 3140 拖拉机(96 kW)牵引。试验条件为: 鼠道深度为 49 cm, 鼠道犁壁厚 6 cm, 鼠道扩充器 $\Phi. 5 \text{ cm}$, 前进速度 1.4 m/s (相当于 5.6 km/h)。鼠道犁的牵引力系拖拉机的负载力, 由法国第戎国立高等农业教育机构农业设备实验室制造并经液压标定试验台标定的应变式传感器测定。传感器的模拟信号经 Somat II 数据处理系统转化成数字信号, 并放大传输给位于拖拉机驾驶室内的便携式 BM 386 计算机, 记录试验数据。采样频率为 600 点/s, 田间数据采集测试长度为 60 m。

2.2 统计分析原理

1) 平均牵引力计算 通过田间试验测取的随机牵引力, 按下式计算平均牵引力:

$$m_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt \quad \text{或} \quad m_x = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k(t)$$

式中 m_x 为平均牵引力; T 为子样统计周期; N 为样本函数个数; $X(t)$ 为随机牵引力变量。

2) 平稳各态历经性检验 为使田间试验测取的随机牵引力样本试验值能够代表整个母体的特征值, 就需要对随机牵引力曲线的平稳性和各态历经性进行检验。在工程实践中, 如果用不同数目的样本函数计算的均值结果一样或接近, 则被认为该随机过程是平稳各态历经的。以上均值计算由数学工具软件 Math CAD 完成。

3) 快速傅里叶变换分析 把时间域的脉动牵引力信号通过快速傅里叶变换转化到频域进行分析。该项计算由数学工具 Math CAD 的 FFT 标准程序完成。

4) 牵引力的功率谱密度 S_f 的计算 为把连续脉动的随机受力频谱中各种频率分量的分布搞清楚, 直接观察从平稳数据得到的功率谱密度函数更为方便, 其计算公式为

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t)X(t+\tau) dt$$

$$S_f = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

式中 $X(t)$ 为鼠道犁随机牵引力变量; T 为子样统计周期; ω 为角频率; $R(\tau)$ 为时间自相关函数。

以上计算由数学工具软件 Matlab 完成。计算结果传输到 Excel 软件中进一步作图。

2.3 土壤扰动及破坏记录

通过三种方法观察和记录鼠道犁对土壤的扰动及破坏。对于出现在土壤表面大裂纹, 直接在田间统计出现裂纹的规律。对于未达到土壤表面的裂纹, 通过在鼠道犁工作时, 顺空心犁壁贯入鼠道聚脂泡沫, 待凝固后, 根据泡沫形状及分枝判断出现裂纹的情况。对于较小的土壤孔隙变化, 根据土样切片, 用电子显微镜摄取土样切片图像, 图像输入计算机后对比鼠道犁通过前后的变化情况, 确定土壤的扰动程度^[4]。

3 试验结果和分析

3.1 鼠道犁对土壤扰动的形式

试验结果表明鼠道犁对土壤扰动后出现裂纹的形式主要有以下三种(如图 1)。

1)A 型: 可在土壤表面看到这种裂纹。在鼠道表面裂纹宽约 2~ 3 cm, 越接近土壤表面, 裂纹宽度越窄(图 1(A))。该裂纹与鼠道中心线成 45 角, 倾斜方向与犁前进方向相反。

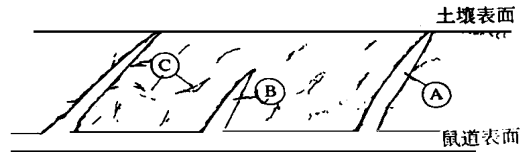


图 1 鼠道周围出现裂纹的形式

2)B 型: 如图所示, B 型裂纹基本与 A 型类似, 但高度未达到地面。

3)C 型: 如图所示, C 型裂纹呈现随机性, 裂纹位置、方向和大小都很复杂, 本文不再详述, 将另文论述。

3.2 平均牵引力

图 2 所示为鼠道犁牵引力的时间历程和平均牵引力。从图中可以看出, 信号历程中具有极强的周期性信号, 而且脉动牵引力的周期是有大有小的, 大周期的脉动中叠加有小周期的脉动。

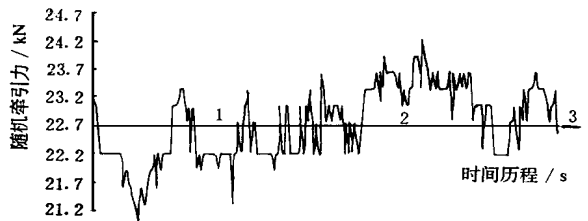


图 2 随机牵引力的时间历程和均值

其平均牵引力为 22.7 kN, 波动幅值为平均值的 15%。

3.3 随机牵引力的平稳各态历经性

图 3 所示为沿鼠道犁前进方向的不同采样区间。采样频率为 600 点/s, A₁ 和 A₂ 相差一个采样点。而 A 和 B 区相差 100 个采样点, 也就是说相差 0.16 s, 相当于相差 20 cm 的距离, C 和 D 区以此类推。根据不同采样区间计算出的平均牵引力值如表 1 所示。

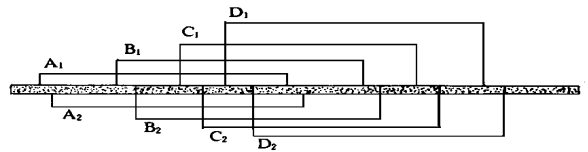


图 3 沿鼠道犁前进方向的不同采样区间

表 1 按不同采样区间计算出的平均牵引力

序号	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂
平均牵引力/kN	22.77	22.87	22.93	23.00	23.09	23.13	23.13	23.12

从表 1 中可以看出, 不同采样区间计算出的平均牵引力相对误差为 1.6% (平均牵引力为 22.7 kN)。在工程实践中可以认为鼠道犁随机牵引力是平稳各态历经的。

3.4 FFT 分析

图 4 所示为牵引力信号的 FFT 频率分析图。从图中可以看出存在着波动幅值最大的优势频率。由计算知一次谐波为 0.59 Hz, 这个频率对应的周期性土壤断裂之间的距离为 2.37 m。由于这个距离远大于鼠道犁的长度, 没有实际意义。较大幅值的第 2 次谐波频率为 2.93

Hz, 其对应的周期性土壤断裂距离为 48 cm, 正好符合田间观察到的 A 型土壤扰动裂缝之间的距离 40~ 50 cm。可以认为 2.93 Hz 的谐波是由 A 型土壤扰动引起的。第 3、4 次谐波频率分别为 4.1 Hz 和 5.56 Hz, 考虑到对应的幅值不大和 FFT 分析的重叠性, 我们认为可以忽略。第 5 次优势谐波频率为 7.03 Hz, 对应的周期性土壤断裂距离为 20 cm。这个数值非常接近实际观测到的 B 型土壤扰动裂缝之间的距离 21~ 23 cm。因此, 认为 7.03 Hz 的优势谐

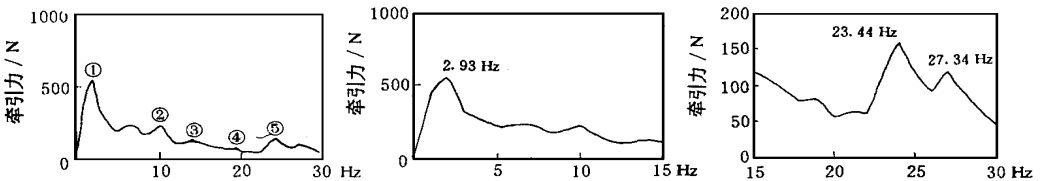


图 4 牵引力的 FFT 频率分析曲线

波频率主要是由 B 型土壤扰动引起的。其它优势频率, 如 23.44 Hz 和 27.34 Hz 似乎与土壤随机扰动无关。根据 Summers^[5]的研究, 它是由拖拉机振动和牵引系统引起的。

3.5 牵引力的功率谱密度

图 5 所示为随机牵引力信号的功率谱密度曲线。从图中可以看出类似于 FFT 分析的结果, 计算出的第二次优势峰值频率为 2.54 Hz, 接近于 FFT 的 2.93 Hz。第 3、4、5 次优势频率分别为 4.29、5.46 和 7.22 Hz, 都与 FFT 分析结果类似。但功率谱密度曲线比 FFT 曲线更清楚, 更适合于研究鼠道犁对土壤的随机扰动。

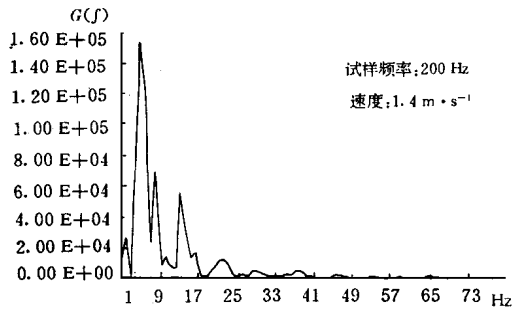


图 5 牵引力的功率谱密度曲线

4 结论

- 1) 鼠道犁牵引力随机信号具有平稳各态历经性;
- 2) 牵引力功率谱密度分析更适合于研究鼠道犁对土壤的随机扰动;
- 3) 鼠道犁产生的 A 型和 B 型土壤裂缝的频率分别对应于牵引力的周期性变化的频率。

参 考 文 献

- 1 Siemans J C. Mechanics of soil as influenced by model tillage tools Trans A SA E, 1964, 8(1): 1~ 7
- 2 Upadhyaya S K. Dynamics of soil tool interaction. Soil & Tillage Res, 1987(9): 187~ 206
- 3 Glancey K L. An instrumented chisel for the study of soil tillage dynamics soil & Tillage Res, 1989 (14): 1~ 24
- 4 陈江南, 左春桢, 张守勤. 鼠道犁扰动土壤的研究. 农业机械学报, 1996, 27(增刊): 170~ 173
- 5 Summers J D. Frequency analysis of tillage tool forces. Proceedings of the international conference on soil dynamics as related to tillage machinery systems, 1985, 2: 377~ 383