

基于混沌理论的振动压路机

龙运佳^① 王聪玲 张平 王书茂
(中国农业大学工程基础科学部) (中国农业大学车辆工程学院)

摘要 为将混沌振动理论研究成果转化为技术成果,开发了基于混沌理论的振动压路机。通过数值仿真和部件测试,发现混沌振动压实比简谐振动压实更为有效。

关键词 混沌振动;压路机;激振器

中图分类号 O 322

Vibro-roller Based on Chaos Theory

Long Yunjia Wang Congling Zhang Ping Wang Shumao
(College of Applied Engineering Sciences, CAU) (College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract A vibro-roller designed based on chaos theory is developed. By numerical simulation and component measurements, it is found that the effect of chaotic vibro-compacting is better than that of harmonic.

Key words chaos vibration; roller; vibration exciter

单频振动的振动压路机已广泛应用于高速公路、铁路、水坝、电站、矿山、机场、海港等的建设。在非线性振动系统中,当系统参数满足一定条件时,即使是确定性输入,仍输出不规则的振动,称之为混沌振动^[1]。混沌振动研究早已不是纯数学力学问题,近年来许多研究者已将混沌振动原理引入产品设计中。例如,日本三洋公司的混沌暖风机和松下公司的混沌洗碗机^[2],韩国 LG 公司的混沌空调机、混沌洗衣机现已畅销市场,以其优越的性能极大地提高了产品的竞争力。混沌振动比单频振动频带更宽,速度变化更剧烈,有利于振动压实工况,故笔者在数字仿真与实验测试的基础上,研制出混沌振动压路机。

1 混沌振动压实研究

1.1 混沌激振器研制

本文第一作者研制的 CVE-1 型无簧双偏心混沌激振器,具有很强的几何非线性及物理非线性,1996 年获国家专利,其力学模型见文献[3],状态方程见文献[4],数字仿真振动相轨图见图 1。从相轨的不重复性与复杂性可知,激振器作混沌振动。用丹麦 B&K2034 信号分析仪对 CVE-1 型混沌激振器作整机沿水平方向的实时振动电测,得自相关图及功率谱图,见图 2。从相关图的衰减性及功率谱图的宽频性可知其为混沌振动。

1.2 混沌振动压实试验^[5]

采用河沙,以电动机驱动 CVE-1 型混沌激振器进行振动压实实验。压前压后以大采样括

收稿日期:1997-11-17

①龙运佳,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)74 信箱,100083

刀取样,用天平称量。振动压实前取样 150.4 g,单频振动压实 5 min 后取样称得 152.2 g;混沌振动压实 5 min 后取样称得 162.2 g。

以柴油机驱动 CVE-1 型混沌激振器作振动压实试验。振动压实前,用小采样括刀取样 99.5 g,单频振动压实 1 min 后取样称得 107 g;混沌振动压实 1 min 后取样称得 113 g。

从以上试验数据可知,混沌振动比单频振动有更高的

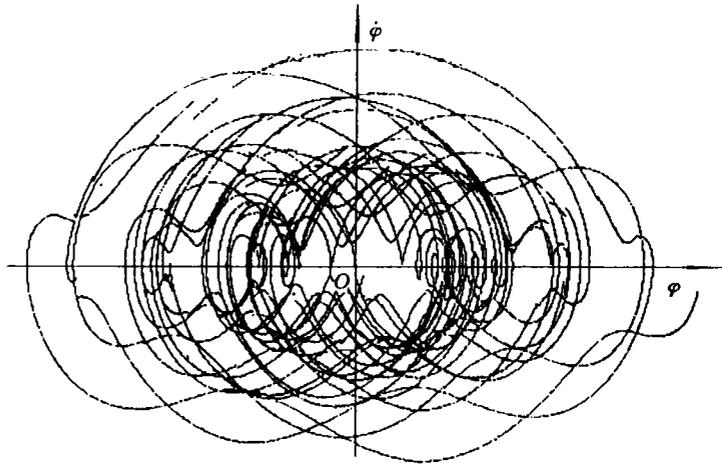


图 1 CVE-1 型混沌激振器相轨图

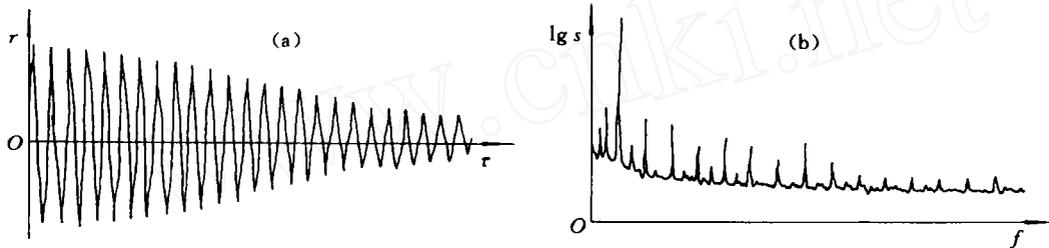


图 2 CVE-1 型混沌激振器自相关图(a)和功率谱图(b)

压实效率,相同时间内提高压实(对沙)功效 1.3~1.8 倍。这是由于在主频附近许多振动频率同时联合作用下,各种颗粒间的摩擦力显著变小,呈现流动状态而充填间隙,比单频振动的振动减摩机制和压实质量更好。本试验与以前的调频(或称为变频)的单频振动压实试验有本质上的不同,它是各种不同频率振动的同时作用;因此,所得到的新结论不能用变频的单频振动压实试验的旧结果替代。

2 混沌振动压路机研制

在试制 14 t 的 YZH-14 型混沌振动压路机(由中国农业大学、上海工程机械厂制造,1998 年 2 月在上海机电产品检测中心完成整机测试)之前,笔者先研制出装有本文第一作者专为压路机设计的 CVE-2 型混沌激振器的混沌振动压路机。其技术参数如下:

| | | | |
|--------|------------------------|--------|---------------------------|
| 工作质量 | 0.735 t | 激振机构 | CVE-2 型混沌激振器 |
| 主振频率 | 48 Hz | 振动频带宽 | 0~400 Hz |
| 压轮直径 | 405 mm | 压轮宽度 | 600 mm |
| 轴距 | 470 mm | 离地间隙 | 275 mm |
| 行走速度 | 2.5 km·h ⁻¹ | 最小转弯半径 | 2.7 m |
| 爬坡能力 | 40% | 总长度 | 2 500 mm |
| 总宽度 | 790 mm | 总高度 | 1 050 mm |
| 转向机构型式 | 手扶式 | 柴油机型号 | R175N |
| 功率 | 3.7 kW | 柴油机转速 | 2 200 r·min ⁻¹ |

本机适用于做农村道路、公路路肩、人行道、工地沟槽、建筑物内部庭院、公园小路等的碎土压实工作,并可作为市政道路修补作业机械之用。

CVE-2 型混沌激振器为无簧三偏心式,见图 3。图中: q_1, q_2 为广义坐标; ω 为恒定角速度。几何偏心 $OO_1 = e_1, O_1O_2 = e_2$; 质量偏心 $OC_1 = E_1, O_1C_2 = E_2, O_2C_3 = E_3$ 。

CVE-2 型混沌激振器的 Lagrange 函数为

$$L = c_0 + c_1 \dot{q}_1^2 + c_2 \dot{q}_2^2 + c_3 \dot{q}_1 \cos(\omega t - q_1) + c_4 \dot{q}_2 \cos(\omega t - q_2) + c_5 \dot{q}_1 \dot{q}_2 \cos(q_1 - q_2) + c_6 \cos q_1 + c_7 \cos q_2 + c_8 \cos \omega t \quad (1)$$

其中 $c_0 = 0.5(J_{C_1} + m_1 E_1^2 + m_2 e_1^2 + m_3 e_1^2) \omega^2 - g(m_1 E_1 + m_2 e_1 + m_3 e_1) - g(m_2 E_2 + m_3 e_2) - g m_3 E_3$

$$c_1 = 0.5(J_{C_1} + m_2 E_2^2 + m_3 e_2^2)$$

$$c_5 = m_3 E_3 e_2$$

$$c_2 = 0.5(J_{C_2} + m_3 E_3^2)$$

$$c_6 = g(m_2 E_2 + m_3 e_2)$$

$$c_3 = e_1 \omega(m_2 E_2 + m_3 e_2)$$

$$c_7 = g m_3 E_3$$

$$c_4 = \omega e_1 m_3 E_3$$

$$c_8 = g(m_1 E_1 - m_2 e_1 - m_3 e_1)$$

式中: m_1, m_2, m_3 分别为第 1 件、第 2 件和第 3 件的质量; $J_{C_1}, J_{C_2}, J_{C_3}$ 分别为第 1 件、第 2 件和第 3 件对相应质心 C_1, C_2 和 C_3 的转动惯量。

将式(1)代入 Lagrange 方程

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0 \quad (i=1, 2)$$

得到 CVE-2 混沌激振器的动力学方程

$$A\mathbf{Q} = \mathbf{B} \quad (2)$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \mathbf{Q} = (\ddot{q}_1, \ddot{q}_2)^T, \mathbf{B} = (b_1, b_2)^T$$

其中

$$a_{11} = 2c_1, a_{12} = a_{21} = c_5 \cos(q_1 - q_2), a_{22} = 2c_2$$

$$b_1 = \omega c_3 \sin(\omega t - q_1) - c_5 \dot{q}_2^2 \sin(q_1 - q_2) - c_6 \sin q_1, b_2 = c_4 \omega \sin(\omega t - q_2) + c_5 \dot{q}_1^2 \sin(q_1 - q_2) - c_7 \sin q_2$$

从式(2)可得

$$\ddot{q}_1 = H_1/H \quad (3)$$

$$\ddot{q}_2 = H_2/H \quad (4)$$

其中

$$H = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}, H_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} \\ b_2 & a_{22} \end{vmatrix}, H_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 \\ a_{21} & b_2 \end{vmatrix}$$

设 $y_1 = q_1, y_2 = q_2, y_3 = \dot{q}_1, y_4 = \dot{q}_2$, 则式(3)和(4)可写成状态方程组

$$\left. \begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_3 \\ \dot{y}_2 &= y_4 \\ \dot{y}_3 &= H_1/H \\ \dot{y}_4 &= H_2/H \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

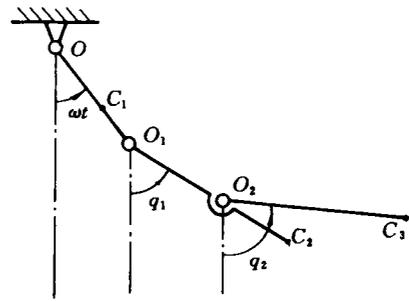


图 3 CVE-2 型混沌激振器机构简图

借助数字仿真软件 MATLAB^[6],用 Runge-Kutta 法对式(5)进行仿真,得出主要激振部件的相图(y_2, y_4),即(q_2, \dot{q}_2)图,见图4。由此图的复杂性可知激振器有混沌振动。

3 整机振动测试

用丹麦产 B&K2034 型信号分析仪对振动压路机整机作沿垂直方向的振动电测,得自相关图、功率谱图和 Poincare 图(图5)。从图5(a)的衰减性、图5(b)的宽频性和图5(c)的混沌海可知此压路机作混沌振动。

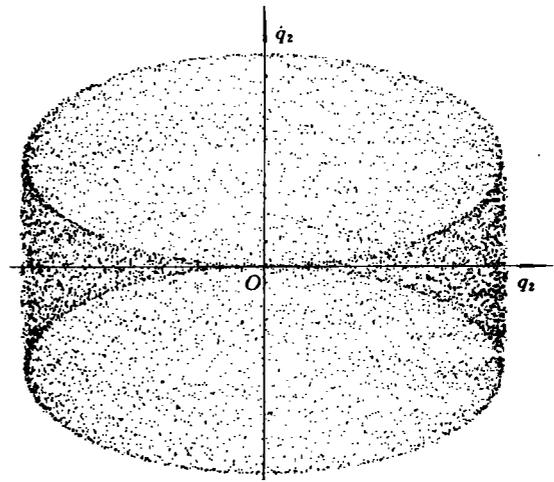


图4 CVE-2型混沌激振器相图

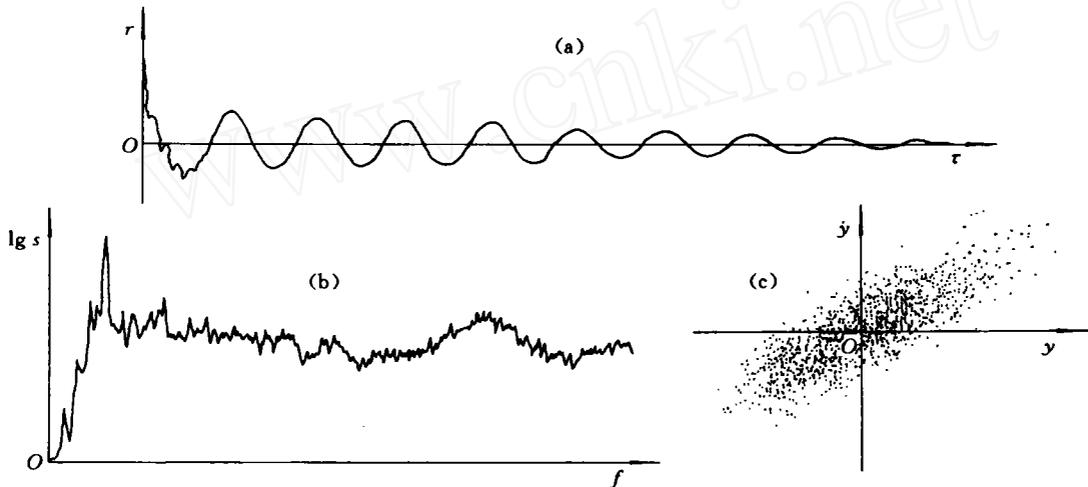


图5 混沌振动压路机振动自相关图(a)、功率谱图(b)和 Poincare 图(c)

4 结 论

混沌振动压实比单频振动压实有更高的功效。

参 考 文 献

- 1 龙运佳. 混沌振动研究: 方法与实践. 北京: 清华大学出版社, 1997. 1~4
- 2 Kazuyuki Aihara, Ryu Katayama. Chaos engineering in Japan. Communications of the ACM, 1995, 38(11): 103~107
- 3 龙运佳. 混沌振动的研究与实践. 见: 庄逢甘主编. 现代力学与科技进步(第1卷). 北京: 清华大学出版社, 1997. 447~450
- 4 龙运佳, 张平, 苏元升, 等. 强非线性宽频带混沌激振器及其应用. 农业工程学报, 1995, 11(4): 43~47
- 5 龙运佳, 张平, 王聪玲, 等. 无簧混沌振动器. 力学与实践, 1997, 19(1): 42~44
- 6 张志涌, 刘瑞桢, 杨祖樱. 掌握和精通 MATLAB. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997. 306页