

文章编号:1671-8879(2006)01-0090-04

多频合成振动压实的机理

姚运仕, 冯忠绪, 董秀辉, 邓丽娜

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 西安 710064)

摘要:为了强化压实过程,讨论了多频合成振动压实的机理,设计和制造了双频合成振动压实样机,进行了“机器-土壤”系统的建模和数值仿真;利用正交试验方法对样机性能进行了试验研究。结果表明,试验土壤在虚铺 35cm、压实 12 遍时,表层压实度达到 90% 以上,表明多频合成振动压实比单频振动压实具有明显的优越性。

关键词:机械工程; 双频振动压实; 试验研究; 数值仿真

中图分类号:U415.521 **文献标识码:**A

Mechanism of Multi-Frequencies Vibrating Compaction

YAO Yun-shi, FENG Zhong-xu, DONG Xiu-hui, DENG Li-na

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of
Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to strengthen the compaction, the mechanism of multi-frequencies composed vibrating compaction is analyzed in theory, a sample compaction machine with double frequencies is made. Based on the mathematical model of machine and soil system, its working process is simulated, its performance is verified by orthogonal test. The results show that when the soil thickness is 35 cm, the compaction degree is more than 90% after 12 times compaction by this machine. Those prove this machine is better than the one with single frequency vibrating compaction. 1 tab, 10 figs, 7 refs.

Key words: mechanical engineering; double frequencies vibrating compaction; experiment; numerical simulation

0 引言

振动压实技术和振动压实机械的出现在压实机械发展过程中具有划时代的意义。目前普遍采用各种方法提高压实作业的生产率和质量,如采用变频变幅压实技术满足多种压实要求,采用非圆冲击压实技术满足大铺层压实要求,采用振荡压实技术满足桥面压实要求等^[1-2]。为了强化压实过程,作者经过多年的研究和实践,提出了多频合成振动压实技

术^[3-4],并完成了双频合成振动压实样机试验与仿真研究。

1 多频合成振动压实的机理

所谓多频合成振动,是指任一时刻都由 2 个以上的间谐波振动复合而成的振动模式,区别于任一时刻仅有一个间谐波振动的调频调幅技术。其中,双频合成的振动压实,利用与被压材料相近的两种主要频率及其振幅,其机构简单,能适应多种被压实材

收稿日期:2005-03-02

作者简介:姚运仕(1979-),男,山东费县人,工学博士研究生。

料,压实效果好,是一种简单而较有效的方法。例如,可以取双频中的高频接近砂质土的固有频率,低频靠近粘土或粉质土的固有频率。

设有 2 个间谐波振动为

$$\begin{aligned}x_1 &= A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \\x_2 &= A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)\end{aligned}\tag{1}$$

如这 2 个间谐波振动在同一方向上,合成时直接将它们相加为

$$\begin{aligned}x &= x_1 + x_2 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \\&A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)\end{aligned}\tag{2}$$

由式(2)可以看到,随着 2 个间谐波振动的振幅比 A_1/A_2 、频率比 ω_1/ω_2 及相位差 $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ 的不同,可以得到不同波形的合成振动。当 2 个间谐波振动的频率不相等,频率比 ω_1/ω_2 为有理数时,由式(2)所表示的振动是 1 个周期运动,周期等于 2 个简谐振动的周期的最小公倍数。图 1 表示频率比 $\omega_1/\omega_2 = 3$,相位差 $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0$ 时,不同的振幅比 ($A_1/A_2 = 1/2, 1, 2$) 相应的合成振动的波形。图 2 表示频率比 $\omega_1/\omega_2 = 2$,振幅比 $A_1/A_2 = 1/2$ 时,不同的相位差 ($\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) 相应的合成振动的波形。

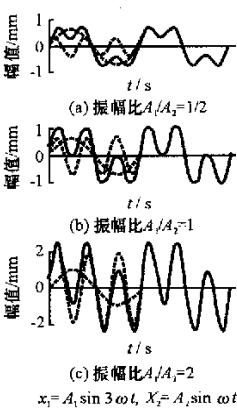


图 1 不同的振幅比时合成振动的波形

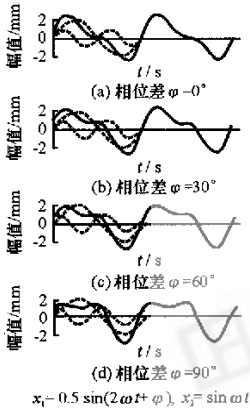


图 2 不同的相位差时合成振动的波形

分析式(2)可知,当 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ 时,合成振动仍是一间谐波振动,其振动频率没有改变,只是振幅 A 和 φ 相应变化。因此,合成后依旧是单频振动。当 2 个频率不等,频率差 $\Delta\omega$ 是一小值时,从合成振动的振幅随时间变化来看,不利于压实机保持稳定的压实质量和工作速度,且拍振动可能使压实机产生“跳振”现象,故不宜采用。因此,双频振动的 2 个谐波分量频率应不等,频率比值为—有理数,其中,高频取为 45~65 Hz,另一频率与路基压实的要求相适应,为低频的基波频率。为了使得合成振动仍具

有一定的周期,2 个激振频率应为 2 个间谐波振动的叠加,且 $\omega_1/\omega_2 = Z$ (Z 最好为整数)。

2 样机设计

为了进行双频振动压实的试验研究,设计和制造了试验样机。滚轮结构可有效地提高压实度,且压实影响深度较平板式结构要深,同时轮式机构也易于大型化,样机采用了轮式结构,并考虑了陀螺效应^[5-6]。样机结构的主要特点是适用于多种试验研究目的,例如频率对比试验、频率相位角对比试验、振幅对比试验和与普通振动压实的对比试验等,外观如图 3 所示,主要参数见表 1。

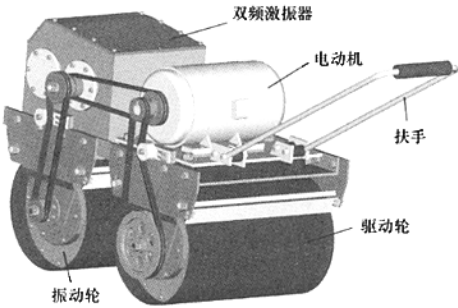


图 3 多频振动压实机外观图

表 1 试验样机主要参数

性能参数		数值	备注
整机质量/kg		526	不包括润滑油
总体尺寸(长×宽×高)/mm		2 755×990×690	—
双频激振器质量/kg		136	不包括润滑油
两轮轴距/mm		480	—
振动(驱动)轮直径/mm		420	—
振动(驱动)轮宽度/mm		580	—
额定功率/kW		4	电动机型号 Y132M1-6
高频	振动频率/Hz	48	偏心距、振动频率、理论振幅几个参数仅给出初定值,试验过程中,将按试验要求做适当调整。
	理论振幅/mm	0.30	
低频	振动频率/Hz	24	
	理论振幅/mm	1.203	

3 试验研究

样机试验的主要内容包括不同激振方式、不同振动频率和振幅下的机器性能、压实效果等方面的对比,运行距离 5 m。试验研究中,通过测试压实机工作速度(碾压速度)、所耗功率、表面沉降量、压实度以及压实机的动态性能参数等,为参数优化和进

一步研究奠定基础。

3.1 工作速度测试

振动压实机的工作速度对压实效果影响特别明显,且影响压实工作效率。在建立“压实机-土壤”系统动力学模型时,工作速度也是一个很重要的变化参数。在压实机实际工作过程中,“压实机-土壤”是一个变化的系统,被压实土壤的刚度 k 和阻尼 c 均随着压实遍数变化,因此工作速度也会随着压实遍数而变化,在一定程度上反映压实度随压实遍数增加而增加的情况。

图4是某两种工况的“时间-压实遍数”曲线图。因时间和速度呈反比,如果时间较少,说明速度较大。从图4可以看出,振动压实1~6遍时,工作速度呈增大趋势,随着压实遍数的增加,工作速度变化趋于平缓。表明:压实前6遍过程中,被压实土壤的刚度 k 和阻尼 c 变化明显,其中 k 在增大, c 在减小;而到了压实第6遍以后, k 和 c 趋于稳定。换言之,振动压实机压实6遍就达到了较好的效果。

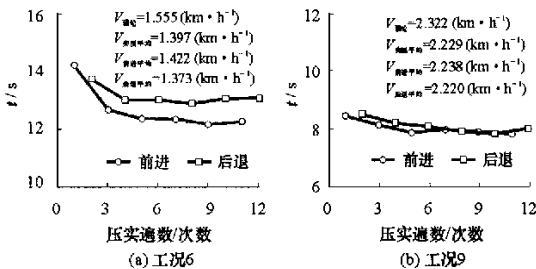


图4 某两种工况的“时间-压实遍数”曲线

3.2 功率测试

振动压实机工作所需功率是评判其性能的一项重要指标,同速度变化一样,随压实遍数的增加,振动压实机所耗功率的变化也应能大致反映出“压实机-土壤”系统的动态变化趋势。图5是某种工况下功率随压实遍数增加的变化趋势曲线图;图6是各

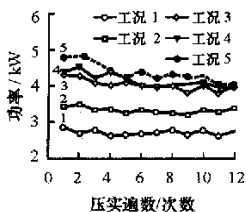


图5 某种工况下功率随压实遍数增加时变化趋势曲线图

分析测试结果可以看出,无论何种工况,振动压实机前进平均功率和后退平均功率值相差不大,而某一工况下不同压实遍数的功率变化也是比较平缓的,这表明振动压实机行驶的稳定性较好;某一工况下,功率随压实遍数的增加,呈先减小后基本稳定,其中,前6遍的减小明显,这和工作速度随压实遍数的变化是一致的。

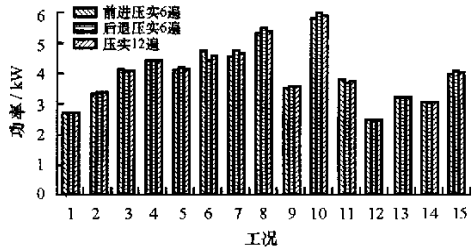
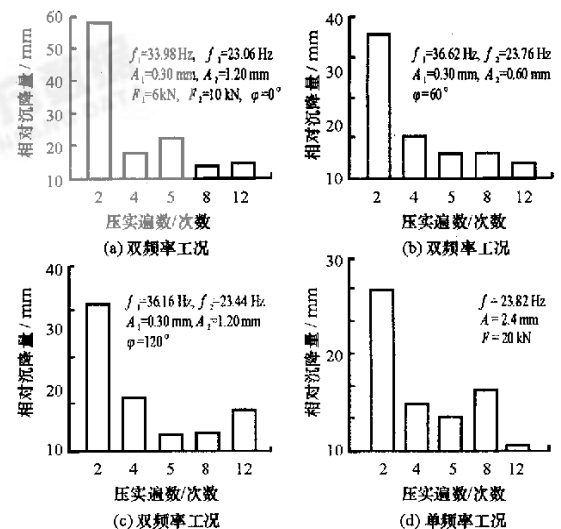


图6 各工况平均功率对比图

3.3 表面沉降量和压实度测试

压实效果直接影响后续施工质量,是评定振动压实机性能的一项重要指标,可由振动压实机的最大压实度值和一定的工作速度下达到最大压实度的遍数来评定。为了更好地反映样机压实效果,还选取了被压实土壤表面沉降量作为衡量压实效果的另一项指标。

现场试验在大型土槽中进行,试验土壤虚铺层厚度为35 cm。图7是试验中某4种工况下相对沉降量与压实遍数关系曲线图,其中图7(a)、(b)、(c)为双频率工况,图7(d)为单频率工况。图8是试验中某5种工况下压实度随压实遍数的变化规律曲线图。由图7(a)、(b)、(c)3种工况可以看出,双频率及其比值、双振幅及其比值、双频率的相位差等都对压实效果产生明显的影响;4种工况的对比表明,双频振动压实的效果明显优于单一频率振动压实的效果。结合图7和图8可知,在压实1~6遍过程中,土壤的压实度和沉降量增加十分明显,压实到第8



注: f_1, f_2 为双频工作频率; A_1, A_2 为双频工作振幅; F_1, F_2 为双频工作对土壤的作用力; f 为单频工作频率; A 为单频工作振幅; F 为单频工作对土壤的作用力。

图7 某4种工况下相对沉降量与压实遍数关系

遍,被压实土壤基本密实。此后,密实主要向深度扩展,使得样机具有较大的影响深度,压实12遍后,部分工况表层压实度达到90%以上。

4 样机建模及仿真

根据“样机-土壤”系统的数学模型和试验研究结果,利用MATLAB的Simulink仿真环境实现了数值仿真^[7]。图9是仿真得到的双频率与振动压路机对土壤的作用力 F_t 的关系;图10是仿真结果与试验结果的对比。由图9、图10可知,仿真结果与试验结果基本一致,为进一步优化研究奠定了基础。

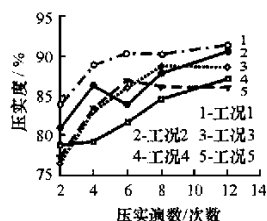


图8 某5种工况下压实度随压实遍数的变化曲线

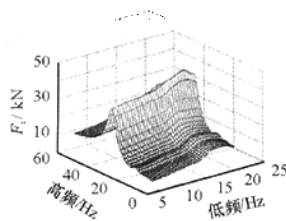


图9 低频、高频频率与 F_t 的关系曲面

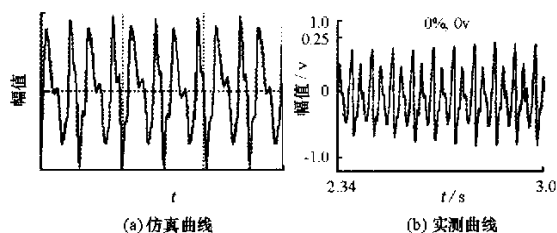


图10 仿真曲线与实测曲线对比

5 结 语

(1)同一工况下,前进和后退速度差别不大,功率变化平缓,土压力沿深度方向衰减缓慢,表明样机性能稳定,压实深度较深。

(2)在压实1~6遍时,各层压实效果增长明显,7~12遍时,中下层压实度增长明显。

(3)与单频振动相比较,双频振动的各工况都有较好的压实效果,平均生产率比同等工作质量的平板夯提高了40.7%,工作效率高。

参考文献:

References:

- [1] 杨人凤,张永新,赵新荣.土的冲击压实试验研究[J].中国公路学报,2003,16(3):31-34.
YANG Ren-feng, ZHANG Yong-xin, ZHAO Xin-rong. Research on Test of Impact Compaction About Soil[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003,16(3):31-34.
- [2] 孙祖望,卫雪莉,王 鹤.振荡压实的动力学过程及其响应特性的研究[J].中国公路学报,1998,11(2):117-126.
SUN Zu-wang, WEI Xue-li, WANG Que. The Dynamic Process of Oscillatory Compaction and its Response Characteristic[J]. China Journal of Highway and Transport, 1998,11(2):117-126.
- [3] 肖 刚.双频振动压实机的设计及性能试验[D].西安:长安大学,2001.
XIAO Gang. Designing of Double-frequencies Vibrating Pressing Machine and its Properties Test[D]. Xi'an: Chang'an University, 2001.
- [4] 董秀辉.双频振动压实作业参数的试验研究[D].西安:长安大学,2003.
DONG Xiu-hui. The Experiment Study of the Working Parameters of Double Frequency Pressing[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.
- [5] 车胜创.基于陀螺理论的振动压实机械的力学特性和性能[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(4):79-81.
CHE Sheng-chuang. Dynamic Characteristics and Capability of Vibration Road Roller Based on Peg-top Theory[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(4):79-81.
- [6] 董秀辉,冯忠绪,陈 魁.小型压实机械研发探讨[J].建筑机械,2003,23(6):39-41.
DONG Xiu-hui, FENG Zhong-xu, CHEN Kui. Development and Research of Small Compaction Machine[J]. Construction Machinery, 2003,23(6):39-41.
- [7] 邓丽娜.双频振动压实作业参数优化及动态仿真[D].西安:长安大学,2004.
DENG Li-na. Parameters Optimization of Double Frequencies Pressing and its Dynamic Simulation[D]. Xi'an: Chang'an University, 2004.