

基于地基动力测试中电磁激振器的改进应用研究

张开伟^{1,2} 李志勇¹ 马清洲¹

(1 河北建设勘察研究院有限公司,河北石家庄 050031;2 河北省岩土工程技术研究中心,河北石家庄 050031)

【摘要】 基于对传统地基强迫振动激振法测试中激振器所产生的激振扰力不足的问题,提出采用并联双发倍增扰力电磁激振器激振来增强激振扰力的方法。为此,首先通过分析普通机械式激振器的不足之处,提出并联双发倍增扰力电磁激振器的设计和改进方法,然后结合实际工程项目测试数据对比两者之间激励效果的差别,找出不同频点驱动电流与幅频响应之间的函数关系,最后通过不同类型地基实际测试计算结果表明,采用并联双发倍增扰力电磁激振器不但可以满足天然地基土较低频的幅频曲线特性要求也可满足岩质类地基和基桩块体基础较高频的幅频曲线特性要求,其测试得到的频响曲线在较宽阈值范围内都有真实的幅频响应,同时也完善了普通机械式激振器扰力及频带宽度上限低不适于岩质类地基和基桩块体基础振动测试的问题,说明并联双发倍增扰力电磁激振器可以用于常扰力地基土强迫振动测试,进一步也验证并联双发倍增扰力电磁激振器产生的扰力用于基桩块体基础的强迫振动测试也是可行的。

【关键词】 地基强迫振动测试;普通机械式激振器;并联双发倍增扰力电磁激振器;激振扰力;幅频曲线

【中图分类号】 TU 411.8

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2018.03.012

Based on Dynamic Test of Foundation Study on Improvement and Application of Electromagnetic Vibrator

Zhang Kaiwei^{1,2} Li Zhiyong¹ Ma Qingzhou¹

(1. Hebei Research Institute of Construction & Geotechnical Investigation Co., Ltd, Shijiazhuang 050031, Hebei, China;

2. Technology Center of Geotechnical Engineering of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, Hebei, China)

【Abstract】 Based on the problem of insufficient excitation force caused by the excitation of the exciter in the forced vibration excitation test of the traditional ground, a method is proposed to increase the exciting disturbing force by using the parallel double multiplying force electromagnetic excited vibration. To this end, we first analyzed the shortcomings of the common mechanical vibration exciter, puts forward the design and improvement methods of parallel double double force electromagnetic vibration exciter, and then combined with the incentive effect of the difference between the actual project test data comparison, find out the different frequency of driving function between the current and the amplitude frequency response, finally through different types of foundation the actual test results show that the parallel double double force electromagnetic vibrator can not only satisfy the curve of amplitude and frequency characteristics of natural foundation soil with low frequency requirements can meet the requirements of the rock foundation and pile foundation block based high frequency amplitude frequency characteristic curve, the test of frequency response curve the true frequency response in a wide range of threshold, but also improve the mechanical vibration force and low bandwidth limit is not suitable for rock foundation and the pile body block vibration test based problem that parallel double double force electromagnetic vibrator can be used force of foundation soil forced vibration test, further verify the forced vibration tests parallel double double force generated electromagnetic vibration exciter for double force pile block foundation is feasible.

【Key words】 forced vibration tests of foundation ; general mechanical vibrator; parallel-twin double disturbance electromagnetic vibrator; vibration disturbances; amplitude-frequency curve

0 引言

地基动力测试主要用于工业振动基础的设计,

因为动力机器运转时偏心质量的存在会产生周期性的扰力,这些扰力通过基础施加在地基上,地基与机

器基础系统会产生周期性的振动^[3]。不同性质的地基对周期性扰力的响应是不同的,为了使动力机器正常运转,并不对周围环境造成不能忍受的影响,需要根据动力机器的结构、运动特性及地基的刚度系数、阻尼比等动力特性来设计动力机器基础^[4]。常用的地基动力测试仪器设备主要采用普通机械式激振器。普通机械式激振器激振法测试设备主要采用单一激振器激发,激振力较小,尤其是采用机械惯性式激振器时,工作频率范围就更小,一般为几赫兹到60 Hz左右,基本不能满足岩基或桩基础的测试要求,即便是采用频带较宽的单一型电磁式激振器,也不能产生太大的扰力^[5-6]。再者,由于传统的地基强迫振动激振法测试时振动为简谐振动,主要采用速度传感器拾取振动参数,速度传感器虽然可用于测量振动的幅值,但速度传感器由于自身频带宽度的限制,只能准确记录频率在100 Hz以内的振动信号,因此其记录频带宽度也不能满足岩基或桩基础的高幅频测试要求,以上测试设备天然缺陷就凸显普通机械式激振器在扰力和幅频宽度都存在不足^[7]。随着我国工艺技术的进步,高幅频加速度传感器的出现就解决了上述问题,高幅频加速度传感器测试频带上限可以达到几千赫兹,可以记录各种天然地基激振法测试的振动信号,因此当地基共振频率大于100 Hz时,使用高幅频加速度传感器解决了幅频宽度问题,剩下的就是解决电磁激振设备扰力增加问题^[8-9]。本文通过对普通机械式激振器的不足之处进行分析,提出并联双发倍增扰力电磁激振器的设计和改进方法及应用效果^[10]。

1 并联双发组合电磁激振器设计理念及方法

1.1 地基振动测试的理论基础

天然地基激振法测试及地基动力特性参数计算均基于机械振动理论中的单自由度有阻尼强迫振动原理,将激振器+模拟基础假定为无弹性的惯性元件 M (质量),地基假定为无质量且刚度为 K 的弹性元件(弹簧),系统阻尼系数为 C (设阻尼系数与体系振动速度 Z' 成正比),阻尼比为 ζ ,激振器与模拟基础固定在一起,通过激振器向模拟基础施加频率不同、幅值相同或按一定规律变化的简谐力,通过安置在模拟基础上的位移(或速度、加速度)传感器记录地基-基础系统对激振的响应,计算地基的刚度系数、阻尼比及基础参振质量等动力特性参数。激振器、模拟基础、地基形成单自由度有阻尼简谐强迫振动系统^[1-2]。

1.2 并联双发倍增扰力电磁激振器设计理念

并联双发倍增扰力电磁激振器采用同一信号源控制并联的功率放大器,分别驱动电磁激振器(最大扰力1200 N),激振合力等效于一台大功率的电磁激振器,使频带宽度和扰力均满足测试要求。实际上按此原理还可并联组合多达4台同型号电磁激振器,进一步提升激振扰力,由于篇幅限制本文不在此讨论,本文只讨论双发组合模式。并联双发倍增扰力电磁激振器具体的实现过程为:单一共同信号源产生所需频率的规则振动信号,并将信号以并联方式传递给同规格的功率放大器实现同步激励,放大器将放大后的同步信号传递给各自的电磁激振器,以实现对基础的激振。具体设计实现过程大体如图1所示。

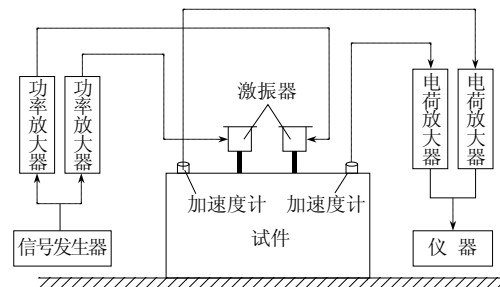


图1 并联双发倍增扰力电磁激振器地基竖向强迫振动激振法测试示意图

1.3 并联双发倍增扰力电磁激振器设计方法

并联双发组合电磁激振器主要设计方法是基于传统的电磁激振器外置连接组合设备进行改造的,由于电磁激振器本身能力受到工艺限制其最大激振扰力是固定的不可能实现重新设计,因此,只能通过并联多个电磁激振器来同步叠加增加扰力。并联双发倍增扰力电磁激振器实现主要改造外设,并联双发倍增扰力电磁激振器外设改造的主要组件包括悬挂支架、悬挂连接装置、可调附加荷载及基础连接装置等,通过对设计图进行多次优化和改进最终定型的设计图如图2所示。

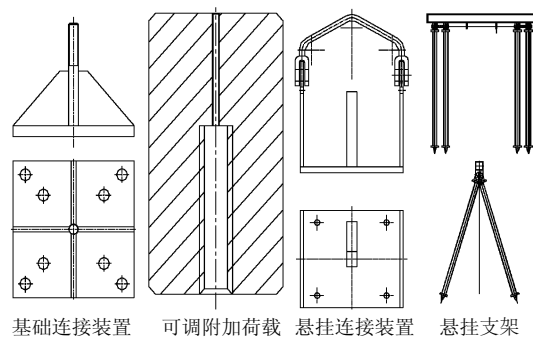


图2 并联双发组合电磁激振设备改进设计示意图

2 实测数据分析

2.1 天然地基土试验结果分析

山西某电厂厂房位于天然地基土上,在该地基附近相似的地基土上,选择采用普通机械式激振器和并联双发倍增扰力电磁激振器在同一测试地点、采用相同发射功率同一频率(24 Hz)分别进行了竖向强迫振动测试。普通机械式激振器测试得到的地基土竖向强迫振动时间-速度时程图及自功率谱激励效果曲线如图 3、图 4 所示,并联双发倍增扰力电磁激振器测试得到的地基土竖向强迫振动时间-速度时程图及自功率谱激励效果曲线如图 5、图 6 所示,并联双发倍增扰力电磁激振器测试得到的不同驱动电流激振器测试效果如图 8 所示。

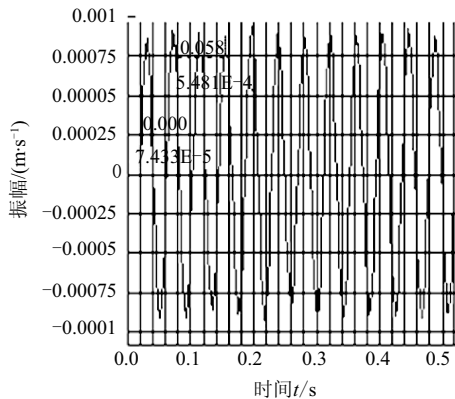


图 3 普通机械式激振器时间-速度时程图(24 Hz)

1)普通机械式激振器测试得到的地基土竖向强迫振动时间-速度时程图及自功率谱激励效果对比

从以上普通机械式激振器测试得到的地基土竖向强迫振动时间-速度时程图(见图 4)及自功率谱激励效果曲线图(见图 5)可以看出普通机械式激振器得到的速度幅值在 $+0.000875 \sim -0.000875$ m/s 之间,速度谱曲线叠加程度一般,曲线光滑连续性一般,普通机械式激振器得到的自功率谱最大幅值在 3.9×10^{-7} m/s 左右。

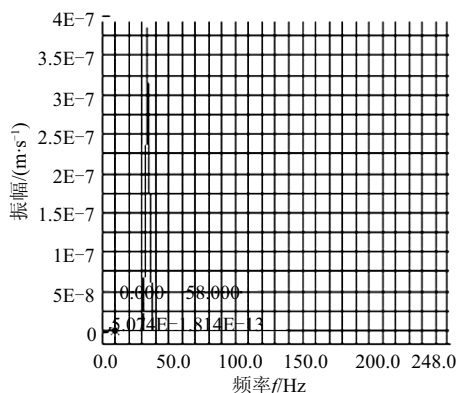


图 4 普通机械式激振器自功率谱曲线图(24 Hz)

2)并联双发倍增扰力电磁激振器测试得到的地基土竖向强迫振动时间-速度时程图及自功率谱激励效果对比

从以上并联双发倍增扰力电磁激振器测试得到的地基土竖向强迫振动时间-速度时程图(见图 5)及自功率谱激励效果曲线图(见图 6)可以看出并联双发倍增扰力电磁激振器得到的速度幅值在 $+0.004 \sim -0.004$ m/s 之间,测试幅值较普通机械式激振器测试幅值增加较多,速度谱曲线叠加程度较高,曲线光滑连续性好,并联双发倍增扰力电磁激振器得到的自功率谱最大幅值在 7.9×10^{-7} m/s 左右,自功率谱能量增加较大。

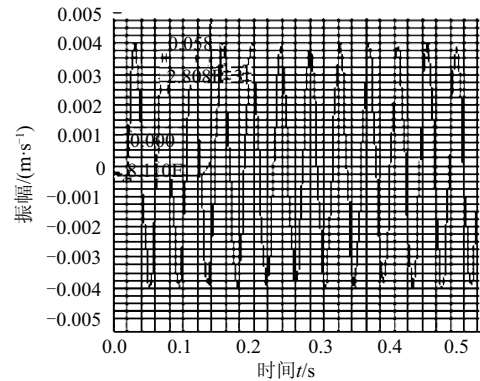


图 5 并联双发倍增扰力电磁激振器时间-速度时程图(24 Hz)

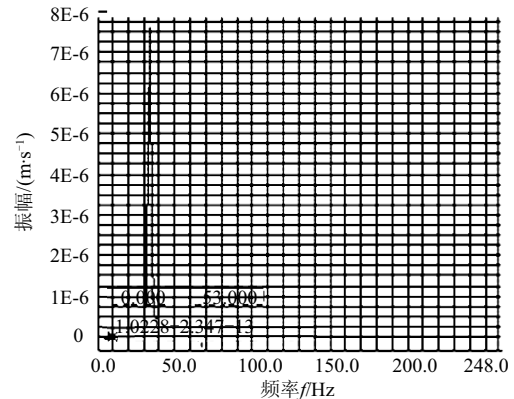


图 6 并联双发倍增扰力电磁激振器自功率谱曲线图(24 Hz)

3)普通机械式激振器与并联双发倍增扰力电磁激振器全频点幅频响应曲线对比

由图 7 普通机械式单激振器与并联双发倍增扰力电磁激振器全频点幅频响应对比曲线可以看出采用双发并联激振器倍增扰力后,实测速度响应幅频特性幅值显著放大,共振峰峰值更加清晰可辨,信号信噪比也明显提高。

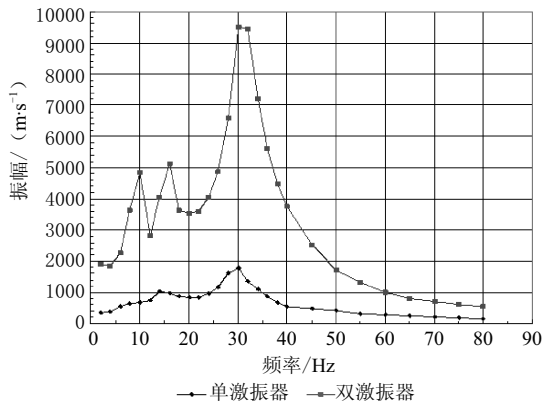


图7 普通机械式激振器与并联双发倍增扰力电磁激振器全频点幅频响应对比曲线

4) 并联双发倍增扰力电磁激振器不同频点激振电流与响应振幅关系

为了获取并联双发倍增扰力电磁激振器在不同频点驱动电流与响应幅值的关系,找到最佳的工作频点驱动电流,分别进行了多种频点驱动电流的测试,测试结果如图8所示。图8中不同频点激振电流与响应振幅关系曲线显示在不同频点,激振响应与激振电流呈线性关系,通过多组不同频段数据曲线拟合统计计算可以得到共振频率阈值范围公式,其有效阈值宽度函数关系公式介于式(1)~式(2)之间,越靠近共振频率其激振响应与激振电流越匹配,幅值峰峰值越突出。

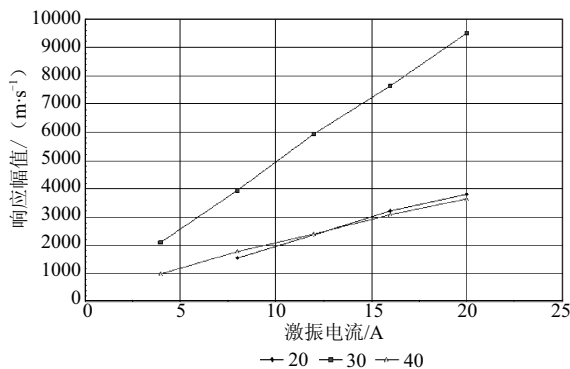


图8 不同频点激振电流与响应振幅关系曲线

$$Y = 462.9 \times X + 272.1 \quad (1)$$

$$Y = 165.7 \times X + 391.5 \quad (2)$$

式中: X 单位为幅值; Y 单位为 m/s。

综合以上普通机械式激振器与并联双发倍增扰力电磁激振器在天然地基土竖向强迫振动测试结果对比可以看出,同一测试点普通机械式激振器与并联双发倍增扰力电磁激振器前后同频点、同电流激励效果,时域信号形态相似,周期相同,测试主频均

与信号源输入频率相同,说明信号传递过程中都能够保持输入信号主频形态。并联双发倍增扰力电磁激振器测试得到的地基土竖向强迫振动速度幅值较之普通机械式激振器速度幅值提高约 4.6 倍,自功率谱幅值提高约 2.0 倍,幅频特性幅值提高约 5 倍,可知并联双发倍增扰力电磁激振器在同电流输出获得的激励幅值明显提高,证明并联双发倍增扰力电磁激振器组合激励可大幅提高扰力幅值,工作时其工作频率应控制在最佳频带阈值宽度以内。

2.2 桩块体基础试验结果分析

桩块体基础的振动特性介于岩质地基与土质地基之间,其竖向共振频率经验证多在 40 Hz 以上,而普通机械式激振器能量大(10 kN 以上),频带范围窄 10~50 Hz,难以完成水平回转、扭转测试,竖向振动共振峰接近或超过 40 Hz 则难以获得共振峰,无法满足测试要求。而采用常规电磁激振器+加速度计的组合模式频带虽然可满足,但扰力偏低,参振质量不够易获得假频资料。所以我们借鉴了以上天然地基强迫振动试验中采用并联双发倍增扰力电磁激振器的方法,以增强激发扰力,获得了理想的效果。图9、图10是在内蒙古某电厂工程桩块体基础采用并联双发倍增扰力电磁激振器进行强迫振动测试中获得的结果。

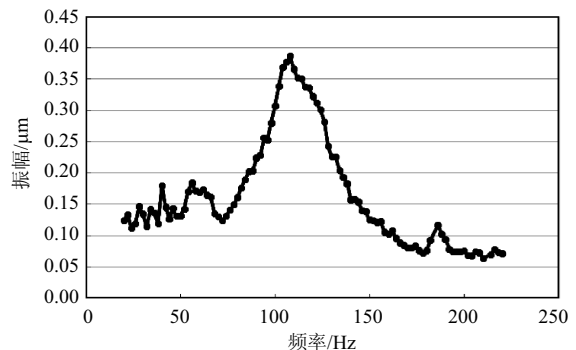


图9 13# 桩基础并联双发倍增扰力电磁激振器幅频响应曲线

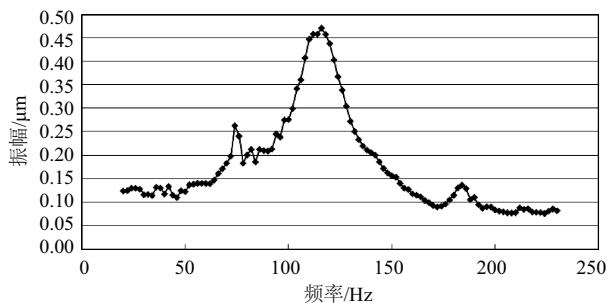


图10 17# 桩基础并联双发倍增扰力电磁激振器幅频响应曲线

从图9、图10可以看出,通过两个桩基础强迫振动实际试验结果证明,采用并联双发倍增扰力电磁激振器产生的扰力明显增强,振幅响应主峰峰值明显突出,可以准确判定振动主频,试验结果能够满足设计要求。

3 结 语

通过对传统电磁激振器的改进及在不同类型地基基础上动力测试的结果可知:

1)采用并联双发倍增扰力电磁激振器不但可以满足天然地基土较低频的幅频曲线特性要求同时也可满足岩质类地基和基桩块体基础较高频的幅频曲线特性要求,其测试得到的幅频响应曲线在较宽阈值范围内都有真实的频响反应,峰值清晰明显,同时也完善了普通机械式激振器扰力及频带宽度上限不适于岩质类地基和基桩块体基础振动测试的问题。证明并联双发倍增扰力电磁激振器用于常扰力强迫振动测试是可行的,用并联双发倍增扰力电磁激振器产生的振动扰力可用于基桩块体基础频响较高的强迫振动测试。

2)并联双发倍增扰力电磁激振器,解决了由于速度传感器由于自身频带宽度的限制,只能准确记录频率在100 Hz以内的振动信号的弊端,当地基共振频率大于100 Hz时,可以使用加速度传感器进行测试,振动扰力产生频带宽度满足加速度传感器及力传感器的要求。

3)对于多组倍增扰力电磁激振器测试产生的扰力效果及频响曲线影响关系的研究本文未能揭示仍

需进一步研究,对于多组倍增扰力电磁激振器同频点、同电流激励效果及不同频点,激振响应与激振电流函数阈值范围关系还需进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50269—97 地基动力特性测试规范[S]. 北京:中国计划出版社,1998.
- [2] GB 50040—96 动力机器基础设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1997.
- [3] Singiresu S R. 机械振动[M]. 李欣亚,张明路译. 北京:清华大学出版社,2009.
- [4] 雷剑锋. 基于磁吸力的电磁激振器研究[D]. 成都:西南交通大学,2015.
- [5] 潘林有,王 军. 振动频率对饱和软粘土相关性能的影响[J]. 自然灾害学报, 2007(6): 204-208.
- [6] 郭 莹,贺 林. 振动频率对饱和砂土液化强度的影响[J]. 防灾减灾工程学报, 2009(6): 618-623.
- [7] 吴邦达,应怀樵. 用强迫振动速度响应曲线分析地基阻尼比[J]. 建筑结构, 2010(8): 103-105;98.
- [8] 王 岚,吕景权,朱文久,等. 天然地基强迫振动测试与分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2011(2): 84-88.
- [9] 李友鹏,汤 勇,苏 强,等. 块体基础强迫振动测试技术及工程实例[J]. 工程勘察, 2012(6): 81-85.
- [10] 孙瑛琳,孙革军,黄 茜. 天然地基竖向强迫振动研究——以激振法测试工程为例[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2014(15): 13-17.

收稿日期:2018-04-13

(上接第139页)

4)根据工程场区及其所在区域的相关资料,分析区域和工程场区水文地质条件,建立区域地下水渗流模型和场区地下水压力渗流分析模型,计算出本工程基底的抗浮设防水位标高可按照不低于35.5 m考虑。

5)鉴于场地特殊的地质条件,采用变刚度调平基础设计方法,进行了地基-基础-上部结构协同沉降计算,大约一年半时间的建筑物底板沉降观测表明封顶时底板最大沉降量不超过21 mm,对超高层建筑采用天然地基方案进行了大胆尝试。

参 考 文 献

- [1] 赵 兵,黄 荣. 成都地区砂卵石的抗剪强度探讨

[J]. 价值工程, 2011, 18(6): 60-61.

- [2] SL 237—043—1999 土工试验规程[S].
- [3] 赵鸿儒,郭铁栓,等. 工程多波地震勘探[M]. 北京:地震出版社,1996.
- [4] 张在明,孙保卫,徐 宏. 地下水赋存状态与渗流特征对基础抗浮的影响[J]. 土木工程学报, 2001, 34(1): 73-78.
- [5] 陈祥福. 超高层建筑深基础沉降计算[A]//中国科协第二届学术年会论文集. 北京:中国科学技术出版社,2000.

收稿日期:2018-03-28