

基桩检测技术的研究现状与展望

周兴平

(厦门鹭路兴绿化工程建设有限公司, 福建 厦门 361009)

摘 要: 动力检测法和声波透射法是目前检验桩基础质量的主要形式。在详细介绍了其基本原理和局限性之后, 结合现代新的信号分析处理方法小波分析和神经网络, 对未来基桩检测技术的发展趋势进行了展望。

关键词: 动力检测, 声波透射, 小波分析, 神经网络

中图分类号: TU473 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-3152(2005)03-0086-04

1 引言

桩基工程除因受岩土工程条件、基础与结构设计、桩土体系相互作用、施工以及专业技术水平和经验等关联因素的影响而具有复杂性外, 桩的施工还具有高度的隐蔽性, 发现质量问题难, 事故处理更难。因此, 桩基检测工作是整个桩基工程中不可缺少的环节, 只有提高桩基检测工作的质量和检测评定结果的可靠性, 才能真正地确保桩基工程的质量与安全。随着人类工程活动的日益增多和科学技术的进步, 这一领域的理论研究和工程运用都得到了较大的发展^[1,2,3]。但是桩基检测是一项很复杂的系统工程, 无论在理论上还是实践中目前都存在很多问题值得进一步研究。如何快速准确地检验工程桩的质量, 以满足日益增长的桩基工程的需要是目前土木工程界十分关心的问题, 也是长期以来国内外许多学者、研究人员和工程技术人员从事的一个研究课题。

2 基桩动力检测

桩基动力检测技术目前应用较广的包括高应变法和低应变法。

2.1 低应变发射波法

目前, 低应变动力测桩是采用低能量的瞬态或稳态激振, 使桩在弹性范围内作低幅振动(应变量为 10^{-5}), 利用振动和波动理论判断桩身缺陷。现在国内低应变动测法主要用于检测桩身完整性。我国低应变动测桩法主要是应力波反射法, 其次还有

机械阻抗法、动力参数法、水电效应法、共振法等。其中应力波反射法在桩身质量检测中应用最广泛, 主要用来检查桩身完整性, 检查缩径、扩径、夹泥、断桩、空洞、离析、沉渣, 并核对桩长、推算桩强度。本文主要介绍低应变反射法。应力波反射法是以应力波在桩身中的传播反射特征为理论基础的一种方法。该方法将桩假定为连续弹性的一维截面均质杆件, 并且不考虑桩周土体对沿桩身传播应力波的影响。当在桩顶施加一瞬态锤击振力, 将在桩内激发应力波, 由于桩与周土之间的波阻抗差异悬殊, 应力波的大部分能量将在桩内传播, 当桩长 $L \gg$ 桩径 D , 应力波波长 $\lambda \gg D$ 时, 桩可以看作一维杆件, 应力波在桩内传播可以采用一维杆波动方程计算。垂直入射的应力波在桩内传播过程中, 当桩内存在有波阻抗差异界面时, 波将产生反射波和透射波, 反射波将沿桩身反向传播到桩顶, 而透射波继续向下传播。桩身的缺陷、桩底均可以根据反射波的相位、振幅、频率特性, 辅以地层资料、施工记录以及实践分析经验, 对其性质做出确切的判断^[4,5]。

应力波反射法动力测桩, 以其测点广、经济、快捷、无损等诸多优点, 成为目前人们所公认的桩基质量检测的有效方法, 但也存在着缺点和不足。(1) 桩周土层对波形曲线的影响, 在对桩基测试曲线进行分析时, 要充分考虑到桩周土层对所采集波形曲线的影响。在桩基动测中, 检测人员往往注意到桩本身的子波叠加而引起的缺陷判断, 而忽略了应力波在桩中传播时, 不仅受桩身材料、刚度及缺陷的影响。桩周土层的土力学性能越好, 应力波在桩周土层中的损耗就越大。同时受桩周土层的模量大小的影响。在硬土层处将会产生为似扩径的反射波, 在

软土层处将会产生由于应力波透射损耗小而产生似缩径的反射波。如果不考虑桩周土层对所采集曲线的影响,不了解桩侧的土质情况,有时会造成误判;(2)较难识别桩身浅部的缺陷,因为无论大桩还是小桩,桩顶近端都不可以完全套用一维应力波理论,应该用三维效应展开讨论^[6,7];(3)缺乏对缺陷程度的定量分析。应力波反射法靠单一的波形特征,要想定量给出离析段厚度、沉渣厚度、裂隙宽度及缩径程度的准确值是不可能的;(4)第二缺陷的判断。当第一缺陷较大时,阻断了信号的上行与下达,给深部缺陷和桩底的识别增加了困难,特别是当第二缺陷为第一缺陷的两倍时更难以识别;(5)渐变的缺陷。对于桩径缓慢变大然后突然缩径的桩,在曲线上往往不能分辨出扩径现象而只看到缩径现象,对于这种突变的桩,在曲线上表现为缩径的信号^[8]。

2.2 高应变法

高应变动力测试是通过在桩顶量测被激发的阻力产生的应力波和速度波,来确定承载力的。目前工程界应用最广泛的高应变法是 CASE 法和波形拟合法。

CASE 法是一种通过一维波动方程计算而获得岩土对桩的支撑阻力的方法。它有三条基本假定:桩身是等阻抗的;桩周与桩尖土对桩的运动阻力分为动阻力和静阻力两部分,动阻力全部集中在桩尖,忽略了桩侧土阻力;静阻力模型为理想刚塑性体,忽略了应力波在传播过程中的能量损耗,包括桩身中内阻尼损耗和向桩周土的逸散。基于以上三条基本假设,由行波理论和波动方程推导出 CASE 法单桩极限承载力公式。公式中有一个很重要的参数就是 J_c ,它是地区性经验系数,土质不同, J_c 凭经验取值的变异性会很大。

波形拟合法目前被认为是确定单桩承载力最准确的方法。它是通过现场把实测力波和速度波输入计算机进行迭代计算,把桩—土系统变为离散的质弹模型,假定各单元桩和土参数,以实测的桩顶速度波(或力波)作为边界条件,用特征线法求解波动方程,反算桩顶力波(或速度波),使计算的波形和实测波形拟合。若两者不吻合,调整桩土参数,再次计算,直至吻合。此时各参数是最佳估算值。最终求得承载力、侧阻分布和计算的 $Q-S$ 曲线^[9]。

高应变法也存在着一些局限性。(1)CASE 法适用于打入桩的施工过程检测和监控,或者在具有一定的经验基础上,用于评定工程桩的验收合格性。但该法的假定条件与基桩施工的实际条件差别较大,首先,假设桩身等阻抗,这对钢桩、预制桩和预

应力管桩在桩身无缺陷的情况下基本适用,而对灌注桩是难以达到;其次,假设动阻力完全集中于桩尖,而实际情况是随着桩的相对位移,桩侧必然产生动阻力,只是相对较小而已;再次,假设静阻力模型为刚塑性体,即桩一旦被打动,则静阻力马上达到极限值,这也与实际不符。CASE 法测桩,必须在桩被打动的前提下,充分发挥土的全部静阻力,并从波形上正确判断桩尖的反射位置,选用恰当的阻尼系数 J_c 才可比较准确地确定单桩极限承载力。而 J_c 值的选取,不但与桩尖土的类别有关,而且与桩的阻抗有关,由此可见,对桩身有缺陷的桩,CASE 法确定单桩极限承载力很不可靠。这也就决定了 CASE 法只适用于钢桩、预制桩和预应力管桩的测试^[10,11]。(2)波形拟合法虽然和 CASE 法一样,也是在柴油锤冲击材质均匀、强度较高、侧面光滑的钢管桩、预制桩等基础上建立起来的,它不象 CASE 法那样严格要求贯入度和侧面光滑与截面的一致性,但当桩间土变形不够充分时,承载力同样偏于保守。而且它假定桩周土体内无变形存在,也极不合理。桩土间的理想弹塑性模型和牛顿粘性体模型与灌注桩、预制桩等桩型存在较大出入^[12]。(3)高应变动力测试数据采集质量直接关系到计算结果的准确性。正确采集信号是良好结果的前提条件。影响采集信号的因素很多,如桩头处理的好坏、锤击位置及能量大小、传感器安装、外界干扰、仪器本身性质等。

3 声波透射法检测

声波透射法是利用声波的透射原理对桩身混凝土介质状况进行检测,因此仅适用于在灌注成型过程中已经预埋了两根或两根以上声测管的基桩。

声波透射法根据波在介质中的传播方式分为横波超声波法和纵波超声波法。基桩声波透射检测通常的振源是纵波脉冲产生的。被检测桩在桩身的 1 根埋管中放入发射换能器、另 1 管中放入接收换能器。基桩的声波透射法检测是根据桩体内确定的埋管间距,测试 2 管间声波的传播声时、振幅、频率等声学参数对桩体进行分析,其中声速为检测分析的主要指标。声速的确定如下

$$V = L/t \quad (1)$$

式中 V ——超声波速;

L ——埋管的间距;

t ——声时。

从实测的声速特征可以反应所穿透的混凝土介

质特性的变化。由(1)式得出,波速小,混凝土强度相对较低;相反,当波速较大,混凝土强度增加,据此判断桩身完整性、缺陷位置及缺陷程度。

振幅测量的目的是比较超声波在混凝土内传播时能量的变化情况。振幅分析是根据检测仪的显示屏所接收的首波波幅进行分析。波幅的高低反应超声波穿透混凝土能力的强弱。在发射声波能量不变的情况下,接收的波幅高说明声波能量的衰减小,反映混凝土质量较好;反之,当接收波波幅明显较低时,说明桩身混凝土介质吸收波的传播能量强,反映出混凝土强度较低,存在缺陷。通过对振幅的对比可以发现桩身存在的缺陷和缺陷的程度。

频率测量是量测接收信号第一个波的周期,再按频率值是周期的倒数的关系计算而得。如果波形畸变,测得频率的误差就较大。

声波透射法检测桩身质量,即利用声时、振幅、频率3个声学参数来综合分析、判断桩身的完整性^[13]。

4 展望

虽然上述桩基检测技术在各种桩基检测工程中得到了广泛的应用,取得了巨大的社会效益和经济效益,但我们也应该清楚地看到,各种桩基检测技术都还存在一些问题。

为了解决这些问题,一方面,要不断改善已有仪器的硬件性能和质量,并努力开发出新的仪器,另一方面,要加强对桩基检测技术理论的研究工作,寻求更精确的物理模型。

对于桩基检测信号的分析处理方面,把现有的桩基检测方法和当今的一些先进的信号分析方法结合起来,将是一个非常重要的研究方向。

小波分析方法是一种窗口大小固定但形状可改变,时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法。即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,所以被称为数学显微镜。小波变换对不同的频率在时域上的取样步长是调节性的,即在低频时小波变换的时间分辨率较差,而频率分辨率较高,在高频时小波变换的时间分辨率较高,而频率分辨率较低,这正符合低频信号变化缓慢而高频信号变化迅速的特点。这便是它优于经典的傅立叶变换和短时傅立叶变换的地方。

我们可以通过选择合适的小波基函数对原始信号进行小波分析,实现信号时频分解,区分出不同物

理本质的信号成分,结合场地条件分辨有效信号与干扰信号,再通过对"噪声"时段及频段的抑制,可以实现信号消噪,改善信号质量,从而提高桩基检测资料分析水平^[14,15]。

人工神经网络(Artificial Neural Network,简称ANN)是在物理机制上模拟人脑信息处理机制的信息系统,它不但具有处理数据的一般计算能力,而且还具有处理知识的思维、学习、记忆能力。它采用类似于"黑箱"的方法,通过学习和记忆而不是假设找出输入、输出变量之间的非线性关系,在执行问题和求解时,将所获取的数据输入给训练好的网络,依据网络学到的知识进行推理,得出合理的答案。

如果将小波分析作为神经网络的前置处理手段,从桩基检测信号小波变换的分量中提取特征,最后将这些特征输入人工神经网络进行训练和分类,则可进而实现桩基质量智能化的分类和缺陷的诊断^[16]。

参 考 文 献

- [1] 刘明贵,蔡忠理,余诗刚. 桩基与场地检测技术[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1995.
- [2] 徐牧在,刘兴满. 桩的动测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [3] 柴华友,刘明贵,白世伟,李祺. 应力波在承台-桩系统中传播数值分析[J]. 岩土工程学报,2003,5.
- [4] 方志香,吴亚平. 反射波法在桩基完整性检测中的应用[J]. 岩土工程界,2000,8.
- [5] 宋锡波等. 关于桩基低应变动测技术的探讨[J]. 土工基础,2002,16(1).
- [6] 张金龙. 低应变检测桩身浅部缺陷的认识[J]. 西部探矿工程,2003,6.
- [7] 潘冬子,章光等. 应力波反射法测混凝土桩完整性的数值模拟及试验研究[J]. 公路交通科技,2004,10.
- [8] 柴华友,贺怀建. 阻尼对应力波传播的影响[J]. 岩土力学,1994,1.
- [9] 郑柱坚. 高应变实测曲线拟合法的基本原理及其应用[J]. 云南大学学报,2000,22.
- [10] 王怀元,李德新. 高应变动力测桩法在桩基检测中的技术探讨[J]. 地质与勘探,1999,35(6).
- [11] 孟达,黄龙元. 高应变测桩技术和存在的问题[J]. 岩土工程界,2000,3(8).
- [12] 柴华友,贺怀建等. 桩土相互作用模型及模型试验[J]. 岩土力学,1993,6.
- [13] 刘明贵. 基于新概念的RSM工程声波仪设计[J]. 仪器仪表学报,仪器仪表学会第五届全国青年学术会议特辑,2003.
- [14] 潘冬子,章光等. 基于小波分析的桩基浅部缺陷检测[C]. 03全国桩基、无损检测及岩土工程新技术研讨会论文集,2003.
- [15] 张良均,王靖涛等. 小波变换在桩基完整性检测中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2002,11.

[16] 王靖涛. 桩基应力波检测的小波分析[J]. 中国科学(E辑),

2003,1.

The Research Present Situation and Prospect of Test Technology of Pile Foundation

ZHOU Xing-ping

(Xiamen LuLuXing virescence Eng. Co., Ltd., Xiamen 361009, China)

Abstract In order to ensuring the security and reliability of the pile foundation, the quality test is very important. The dynamical test and the ultrasonic transmission are the main tests of the pile foundation now. The principal theory and short coming of the two tests are introduced, and then the prospect of pile foundation's testing technique is mentioned through combining the test technique with wavelet analysis and artificial neural network.

Key words dynamic test, ultrasonic transmission, wavelet analysis, artificial neural network

(上接第 79 页)

右时,梁两端支点处弯矩值用两种方法计算结果相近;当柔度系数大于 0.53 时,采用弹性地基梁计算出的弯矩值相比较小;当柔度系数小于 0.53 时,结果相反。

e、当框架支点较多时,采用连续梁法计算较为复杂,采用弹性地基梁计算则更为迅速。

4 结束语

该工点自 1999 年施工至今,经过 5 年的检验,防护结果良好,边坡未发生任何变形,证明加固方案

合理,计算方法正确。本文计算中没有考虑跨度大小对计算结果的影响,仅讨论了柔度系数对弹性地基梁计算结果的影响,下一步应加大试验力度,对其它各种边界条件下的计算结果进行比较,合理确定两种计算方法的适用条件,为设计提供可靠的依据。

参 考 文 献

- [1] 铁道部第一勘测设计院. 路基(修订版)[M]. 北京:中国铁道出版社,1992.
- [2] 沈珠江. 理论土力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.

Preliminary Discussion of the Calculation of Framing Staly Rope Structure

WU Shi-min

(4th Survey & Design Inst., Min. of Railway, Wuhan 430063, China)

Abstract Two basic calculations for the framing stress in framing stay rope are introduced in this paper. The Design and adoptability of two methods are explained in detail.

Key words concrete framing, stress calculation, slope protection