

桩基动力检测技术新世纪展望

曹宇春 周 健 黄茂松

(同济大学地下建筑与工程系,上海 200092)

【摘要】 简要回顾了各种桩基动力检测方法,提出了目前桩基动力检测技术的一些关键性问题并给出了相应建议。从多个方面重点对桩基动测技术在新世纪的发展动向进行了展望。

【关键词】 桩基;动测;高应变;低应变

【中图分类号】 TU473.16

the Perspective in New Century for Dynamic Pile Testing Techniques

【Abstract】 Dynamic testing approaches to piles are briefly reviewed. Some important subjects on the dynamic pile testing to be solved are presented and the corresponding proposals are given for further studies. Moreover, in several aspects, the emphases herein are placed on the perspective for future development of dynamic pile testing techniques.

【Key words】 piles; dynamic pile testing; high strain; low strain

1 概 述

桩基动力检测技术是岩土工程学科领域的重大课题,是保证基础工程质量的重要手段。20世纪80年代以来,随着我国工程建设的迅速发展,桩基础作为土木工程中一种常用的基础型式在高层建筑、铁路、公路、港口码头、电力、海上石油钻井平台、水利工程等领域得到了广泛应用,尤其是一桩一柱大直径灌注桩的采用,对成桩质量的可靠性提出了更高的要求,因此引起了科研、设计、施工、质检和政府管理部门的高度重视,促进了对桩基检测技术的原理、方法和可靠性的试验与研究。

桩的动力测试技术已有100余年的历史。最初是利用能量守恒定理和牛顿撞击定律,根据打桩时测得的贯入度与打桩所消耗的能量建立关系式,推算桩的极限承载力。这种关系式称为动力打桩公式,其中著名的有海利(Hiley)打桩公式、格尔谢凡诺夫(H·M)公式、《工程新闻》公式、修正《工程新闻》公式等^[1]。此

外还有众多其它的动力打桩公式。

近代的桩基动测技术是以应力波理论为基础发展起来的。1931年伊萨克斯(D·V·Isaacs)首先提出桩顶受到桩锤冲击后,冲击能量是以波动形式传至桩底,因此可用一维波动方程来描述。1938年福克斯(E·N·Fox)作了许多简化假定后,对打桩过程进行了粗略的分析,得出了用于打桩分析的波动方程解答。1960年史密斯(E·A·Smith)发表了“打桩分析的波动方程法”这一著名论文,从而使波动方程分析方法进入实用阶段^[2]。随后在1970年高贝尔(G·G·Goble)等发表了“关于桩承载力的动测研究”一文。1975年发表了“根据动测确定桩的承载力”的研究报告^[3]。

桩基动测技术研究在我国始于20世纪70年代。1972年,湖南大学的周光龙提出了桩基参数动测法,对开创我国桩的动测方法的研究,起了积极的推动作用。1978年东南大学的唐念慈应用波动方程法进行了渤海12号

平台钢管桩的动力测试获得成功。自20世纪80年代以来,机械阻抗法、水电效应法、共振法、锤击贯入法等10余种方法相继问世,并在各地纷纷进行试验研究和应用^[2]。

桩基动力检测技术包括高应变法和低应变法。当作用在桩顶上的能量较大,直接测得的打击力与设计极限值相当时,这便是高应变法;作用在桩上的能量较小,仅能使桩土间产生微小扰动,这类方法称为低应变法。目前高应变法主要有动力打桩公式法、波动方程法、Case法、曲线拟合法、锤击贯入法和动静法等。低应变法主要有机械阻抗法、应力波反射法、球击法、动力参数法和水电效应法等^[2~5]。

桩基动测具有费用低、快速、轻便、适于普查等优点,这大大地促进了桩基动测技术的研究和应用。然而,由于桩基动测技术在基础理论、测量分析技术、工程应用等方面有很大难度,因此该技术尚存在不少问题,有待于在新的世纪进一步研究和发展。

2 桩基动测技术新世纪展望

新的世纪,桩基动测技术也应向高质量、规范化、标准化的方向发展。除了不断开发和改善动测分析的硬件设备外,更应不断完善软件分析和理论研究等。具体说来,应在以下几方面取得突破:

2.1 桩基动测理论

目前桩基动测的理论模型依然是波动理论和动力参数理论,随着人们对桩土作用机理研究的不断深入,以下三个方面可能成为桩基振动理论研究的突破点。

(1)桩、土材料力学特性及它们之间相互作用模型的研究:桩土材料的本构关系及桩土界面相互作用的力学机理是桩基动测法的根本依据。大量的研究表明,因为现有的振动理论对桩周土模型考虑过于简单化,不能真实揭示桩与土的相互作用规律,得到的结论有局限性。实际上,桩周土阻力以及桩土之间的相对位移为非线性关系。如今,在砧材料和土的本构关系方面已经取得较大进展,可以考虑在分

析中引入一些先进的模型对桩基动测进行理论模拟,如土的(粘)弹塑性模型(剑桥模型、界面模型、结构性模型、颗粒流模型等),可以考虑土的应变硬化、软化及结构性破坏的影响,这符合土的实际本构关系。在分析中,可以把桩、界面和桩周土视为一个系统,采用有限元的方法分析,这比常规的一维分析模型有很大的进步。当然由于有限元方法比较复杂,分析计算成本较高,在实际推广应用中,可以首先考虑在一些大型的工程项目中应用。

(2)桩土作用阻尼特性的研究:由于桩埋置于岩土中,桩和岩土间的相互作用是桩基承载力得以发挥的重要因素;且桩与岩土系统的动力响应是大阻尼动力响应,而在波动方程中没能有效地考虑桩与岩土介质间的阻尼效应,这是波动理论的最大缺陷,由此造成测试结果的准确度不高。实际上桩与岩土组成的系统是一个多自由度、摩擦阻尼材料等组成的一个复杂系统。用等效粘性阻尼来模拟桩与岩土阻尼特性已不符合该系统的动力特性,用此阻力特性来模拟描述桩土的动力响应已难以真正把握岩土体系的动力响应。因此,对桩土作用阻尼特性的研究已成为研究桩土系统动力响应理论模型的关键^[6]。

(3)桩周土成层特性和各向异性的振动研究:桩的振动问题的解析理论还很不成熟,很多问题有待进一步研究。其中很重要的一个方向就是发展合理考虑桩周土的成层特性和各向异性的振动理论,土的各向异性包括微观结构的变化引起的各向异性和由应力体系引起的各向异性,土的各向异性对土的强度影响较大,这一点对于高应变动测法尤其重要。

2.2 分析方法

国内外已有人开始将神经网络和腺系统用于桩基动测^[6~8],有些单位甚至已编制了相应的应用程序;也有单位将边界元、无限元、三维有限元,甚至边界层理论用于桩基动测之中,但是这种分析目前仍停留在研究摸索状态,尚不能步入成熟应用阶段^[7]。

地质雷达在桩基检测中的应用,也是一个新的发展动向,但仍需进一步研究和总结。

2.3 桩基动测结果的信号分析处理

信号分析包括两个内容:一是信号处理技术,二是信号分析结果的正确解释,两者同时又是密切相关的^[6]。

(1)由于桩土系统的复杂性及外界噪声的影响,从而使有用信号难以直观把握,因此采用良好性能的信号分析技术,提取有用信号是最终正确判断桩身特性的基础之一。在经典谱分析中主要采用了FFT变换、倒频谱分析及希尔伯特变换。对于不同特性的信号,分别选用不同的分析技术,就会改善信号判断的难易。因此,进一步改善谱分析技术是桩基信号分析的重点研究方向。目前,人们已经意识到经典谱分析技术难以完全适应信号分析的要求,从而提出了时序分析技术的应用问题。时序分析法系指现代的、非传统的时间序列方法。同传统的时序法不同,该方法不是直接利用观测数据来获得数据的统计特性,而是对观测数据拟合一个参数模型,再利用这个参数模型对观测数据及产生这一数据的系统进行分析、研究与处理^[9]。在目前普遍使用的仪器设备中,并没有时序分析技术的应用程序,有待进行研究开发。

(2)信号分析中的另一个关键问题是结果解释,这和采用的理论模型密切相关,不同的理论模型对相同的测量结果可能产生完全不同的解释。即使采用相同的理论,在不同的地质条件、不同的桩土系统下,相似信号分析结果的解释也不一致。问题主要存在于不完整桩上。这样使人们对桩基动测的结果产生怀疑,因此,如何智能化地解释动测桩信号是还没有解决的问题。对于仪器使用者而言,信号分析技术知之甚少,如何使使用者方便地使用和掌握动态测桩技术,分析时减少人工干预,依然是人们关心的一个问题。因此设计出智能化分析系统也是急需研究的一个课题。

2.4 采用先进的数学方法

桩土及外界环境组成了桩基动测的大系统。传统的解析法、因果关系难以准确完整地描述这样一个大系统。如高应变的曲线拟合法是目前公认确定承载力的最先进动测法,其中有多种动力参数需确定;同一曲线,采用不同的土动力系统均可拟合动测曲线,说明拟合参数确定不唯一,则桩基承载力的确定也不唯一。用如此高应变动测结果分析的结论,难以令人信服。

实际上桩土间及其与外界环境中各种参数间多数是灰色的,人们对其特性的语言描述多半又是模糊的,外界环境具有极大的随机性,故桩土系统是一灰色模糊的随机系统。此外桩土系统又是一个能量耗散系统,如此复杂的桩土作用系统用简单的因果关系已不能正确表述^[6]。因此在思维方式上需要大开放,引入灰色理论、模糊数学、人工神经网络理论、可靠性理论等新的理论和方法,并针对桩土系统的特殊性分别加以描述,以组成桩土系统的可控性,才是我们需要研究的一个关键问题。关于完整桩轴向极限承载力 Q_u 与桩长 L 、桩径 d 、桩的阻尼自振基频 f_1 、桩的应力波波速 c 以及桩的单位动刚度 K_d 等参数,只知道 Q_u 的大小与上述5个参数存在一定的关系,但这种关系既不明确,也无法用数学模型描述,它们构成的系统便是一个灰色系统^[10]。桩的实际承载力值离散性很大,并非是一个定值。因此,用数量很少的试桩所得出的承载力,很难代表整个工程桩的实际承载力;造成桩的承载力值离散的原因很多,除了同一场地内土层有变化外,还因为各桩的实际入土深度(或进入持力层的深度)不等,实际的桩径不等(灌注桩),各桩的垂直度的偏差,桩底处沉渣厚度不等以及有无障碍物等因素造成的。对打入桩而言,打入的先后次序和该桩在群桩中的位置,有时也影响该桩的承载力的大小。桩的水平承载力则还受表层土条件的影响;因此,桩的承载力值是个随机变量,应该按照可靠度

理论的方法来处理,一般情况下可将桩承载力的分布曲线近似看作为正态分布^[2]。关于采用模糊数学和人工神经网络理论进行桩基动测的分析研究,也有人论述过,关于这两种理论分析桩基动测结果的步骤,感兴趣的读者可参考文献[6]。将这些先进的数学理论应用到桩基动测技术中是一个很大的进步,但是这些方法同样需要在实践中加以检验并不断总结各种方法对问题分析的适应性。如何应用新理论新方法完整地描述桩土系统是桩基动测当前应研究的又一个重点。

2.5 桩基动测技术的规范化、标准化

目前,许多国家都建立了有关桩基动测的技术规范和规程,实现了桩基动测的规范化、标准化。由于篇幅所限,这里不能叙述世界上主要国家目前采用的桩基承载力和完整性的动力测试规范(规程),有兴趣的读者可通过<http://web.pile.com/>查询。

在未来几年,世界各国可能会有更多的规范、规程出台,以规范各国桩基动测技术的工程应用,而且,随着桩基动测理论研究和工程实践的不断深入,原来的规范(规程)可能会作出合理的修订。

2.6 提高动测人员素质,规范动测市场

桩基动测是土动力学、波动理论、振动理论、动态力学测试、数值计算、计算机、电子学、结构动力学、土力学与地基基础等学科交叉的一项技术,并且要与桩基工程实践密切结合^[5]。因此,对于每一个动测人员,仅掌握动测仪器的操作是远远不够的,必须具备较高的理论水平和丰富的实践经验。故对动测人员必须进行深层次的技术培训。为了确保动测法检测桩基的高质量,减少误判带来的不必要的损失,一方面应注意到,增进学术交流,使广大工程技术人员就目前动测法的理论和应用水平取得共识的重要性;另一方面更迫切地需要建立、健全动测技术标准、规程和严格的人

员考核制度,规范动测市场,确实使动测技术的发展步入健康、有序的轨道。

3 结 论

在新世纪里,桩基动测技术将在理论研究、测试技术、信号处理及解释、先进的数学数值分析方法的使用以及规范化、标准化方面有所突破和进展。这里需要重点指出的是:任何先进的数值数学方法的使用,都要建立在正确的理论模型及测量技术和测试信号解释的基础之上,所以,作者认为,将来桩基动测研究的重点应该是:①桩土在动力作用下的力学机理及相关理论的建立;②先进测量技术的发展和测试信号的正确解释。

随着新的世纪桩基检测理论和实践的不断发展,桩基动测的整体水平必将迈上新的台阶,可以使这项技术更好地为工程建设服务。

参 考 文 献

- 1 高大钊. 岩土工程的回顾与前瞻. 北京:人民交通出版社,2001. 269~456
- 2 徐攸在,刘兴满. 桩的动测新技术. 北京:中国建筑工业出版社,1989. 1~337
- 3 王雪峰,吴世明. 桩基动测技术. 北京:科学出版社,2001. 1~7
- 4 史佩栋. 实用桩基工程手册. 北京:中国建筑工业出版社,1999. 837~921
- 5 黄 强. 桩基工程若干热点技术问题. 北京:中国建材工业出版社,1996. 253~263
- 6 刘兴远,康景文,林文修. 桩基工作特性分析的神经网络模型. 北京:中国建筑工业出版社,1999. 162~168
- 7 柳祖亭等. 桩基振动分析与质量检测. 南京:东南大学出版社,1995. 220~274
- 8 刘和元等. 动力测桩的BP网络分析. 岩土工程学报,1998,20(2):59~62
- 9 黄世霖. 工程信号处理. 北京:人民交通出版社,1986. 324~383
- 10 雷林源. 桩基动力学. 北京:冶金工业出版社,2000. 230~245