高应变动力测试技术在桩基工程检测中的应用

李　宇,张　勤

(河海大学土木工程学院,江苏 南京　210098)

摘要:结合桩基工程检测实践,介绍了高应变动力测试技术在华能淮阴电厂工程检测中的应用.通过对同一根桩上大量的桩基静载荷试验和高应变动载荷试验的对比研究,分析了高应变测试极限承载力的准确性与可靠性,指出高应变测试极限承载力的精度较高,误差在 3% 以内,并提出了消除高应变测试误差的一些方法和注意事项.

关键词:桩基工程;高应变动力检测;单桩承载力;可靠性;华能淮阴电厂

中图分类号:TU753.3　　文献标识码:B　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0121-03

桩基工程中单桩垂直承载力是否满足设计要求是桩基工程质量检测中的主要问题之一.目前检测单桩垂直承载力是否满足设计要求所采用的主要方法有静载荷试验法和高应变动力检测法.高应变动力检测法确定单桩垂直极限承载力具有独特的优点,即无需静载试验中的锚桩或堆载物,时间短、费用低、效率高,因此应用越来越广泛[1].本文结合桩基工程检测实践,介绍了高应变动力测试技术在华能淮阴电厂工程检测的应用,并对如何提高高应变动力测桩技术的可靠性进行了探讨.

1　工程概况及地质条件

华能淮阴电厂位于江苏省淮安市淮阴区西北的王营镇越河村辖区内,距市中心约 6 km,拟建的三期工程紧靠西侧的二期工程.电厂南临废黄河和越河,北接盐河,东靠活动坝水电站.

受业主委托,河海大学土木工程学院承担了桩基试验工作,检测试桩位置选在岩土工程条件有代表性的两个地段进行,均采用预应力钢筋混凝土管桩,锤击式施工.设计桩径 600 mm,有效桩长 40 m,设计桩身混凝土强度等级为 C20,共计 4 根.高应变动力检测的工程桩桩号分别为 T11 号、T12 号、T13 号,3 根被检测的工程桩单桩设计荷载为 3 000 kN.

根据华能淮阴电厂工程地质勘测资料,主厂房(烟囱)地段各层地基土自上而下依次为:①粉土:黄褐色、灰色,稍湿~很湿,松散,级配一般,较均匀.含少量氧化铁和云母,层理不太明显.厂区局部地段缺失.②粉砂:黄褐色、褐灰色,很湿,松散~稍密,成分以长石、云母为主,颗粒组成均匀,层理不太明显.该层在厂区普遍存在.③-1 粉质黏土:灰褐色、深灰色,软塑~流塑,含氧化铁及少量云母,局部与粉土呈互层状.该层在煤场地段普遍存在.④-1 粉质黏土:灰色、灰褐色,软塑~可塑,含少量氧化铁及云母,层理明显.该层在整个厂区广泛存在.⑤黏土:灰色、褐灰色、灰黄色,可塑~硬塑,含氧化铁、氧化铝和少量云母.该层在厂区普遍存在.⑥黏土:深灰色、褐灰色,软塑~可塑,含少量氧化铁及云母,在垂直方向上状态略有变化,层理较明显.该层在厂区普遍存在.⑦黏土:深灰色、灰色、灰褐色,可塑~硬塑,含氧化铁及少量云母,层理较明显.该层在厂区普遍存在.⑧黏土:上部杂色,下部为灰黄色、灰白色等,硬塑~坚硬,含氧化铁、氧化铝及铁锰结核.该层在厂区普遍存在.

2　高应变动力测桩原理及方法

2.1　高应变动力测桩原理[2]

高应变动力检测是用重锤冲击桩顶,使桩周土体产生塑性变形,实测的力和速度时程曲线将全面反映岩土对桩的阻力作用和桩身力学阻抗的变化.通过波动理论分析得到桩土体系有关性状,具体操作时分两个阶段,一是现场进行数据采集及凯斯法(CASE 法)估算基桩承载力,二是室内进行实测曲线拟合法(CCWAPC 法)确定基桩承载力.本文主要介绍实测曲线拟合法在工程中的应用.

作者简介:李宇(1980—),男,山西晋中人,硕士研究生,从事工程地质研究.

2.1.1 凯斯法测定单桩极限承载力

凯斯法假设桩为等截面桩，土阻力模型为刚-塑性，它是一种建立在一维应力波理论基础上的以确定单桩极限承载力为主的高应变动力试桩方法. 它主要把桩体看作连续的弹性杆件，根据行波理论，将实测到的桩体上部某截面的应变和加速度时程曲线，进行一定的简化，并引进其他有关参数.

2.1.2 实测曲线拟合法确定单桩极限承载力

实测曲线拟合法是一种精确的波动方程数值解法. 具体做法是：将桩分为若干单元，假定每个单元的桩土模型及其参数，以实测的速度作为桩顶边界条件输入，求解波动方程后反算出桩顶力曲线并与实测的桩顶力曲线比较，如果不符合，调整桩土模型及其参数再进行计算，直至达到较好的拟合曲线效果. 这种算法是以实测值作为标准来反演桩土参数. 经过多次拟合，最终得到桩身剖面形状、土参数分布（如土阻沿桩身分布）和根据桩土参数进行静力分析模拟出的静荷载沉降曲线.

2.2 高应变动力测桩方法

试验采用 FEI-C5 型桩基动系统，主要由便携式微机、数据采集放大仪，两只工具式应变力传感器与两只放大式雅典加速度传感器、中锤组成. 工作流程见图 1.

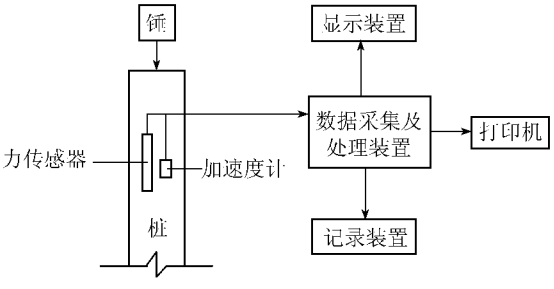


图 1 高应变仪器工作流程

3 测试结果及分析

该工程共进行 3 根工程桩高应变动载荷试验复核单桩极限承载力，测试严格按照 JGJ106—2003《建筑基桩检测技术规范》进行. 应用行波理论，视所测桩为 Maxwell 材料构成的均匀黏弹性杆. 根据实测 F-V 曲线，结合该工程的地质情况及施工记录，利用 CAPWAPC 软件，将所测桩分成若干单元，再建立单桩相邻的土阻力模型，以实测的波速作为边界条件，对实测信号进行拟合计算，得出单桩极限承载力[3]. 3 根试桩单桩极限承载力均在 6000 kN 左右，见表 1.

表 1 高应变估算的单桩竖向极限承载力和端阻力

桩号	极限承载力标准值/kN	测点位置/m	极限土阻力/kN		单桩极限承载力/kN
			桩侧	桩端	
T11	6000	39.5	4883	1247	6130
T12	6000	39.5	4883	1247	6019
T13	6000	39.5	4883	1247	5937

4 静载试验与高应变动力测试实验对比分析

在测试所得的各项指标中，承载力显得尤为重要. 由于静动两种方法解决问题的原理、途径有根本的不同，高应变动力测试实验依然存在很多有待解决的问题，它不可能完全取代静载荷试验. 所以进行两种试验方法的对比分析，找出高应变测试的误差原因具有一定的实际工作意义[4]. 图 2 是 3 根桩径 600 mm，桩长 40 m 的试桩的竖向静荷载 Q-s 曲线. 表 2 是这 3 根试桩静载荷试验结果与高应变动力测试结果的对比情况. 对静动对比的误差值统计可以得出：高应变极限承载力测试值相对于静载荷的极限承载力测试值的误差普遍在 3% 以内，可见高应变测试的精确度还是比较高的.

表 2 静载荷试验结果与高应变动测结果对比情况

桩号	极限承载力标准值/kN	静载荷承载力/kN	最大沉降量/mm	高应变承载力/kN	误差/%
T11	6000	6000	21.73	6130	2.2
T12	6000	6000	21.73	6019	0.3
T13	6000	6000	26.57	5937	-1.1

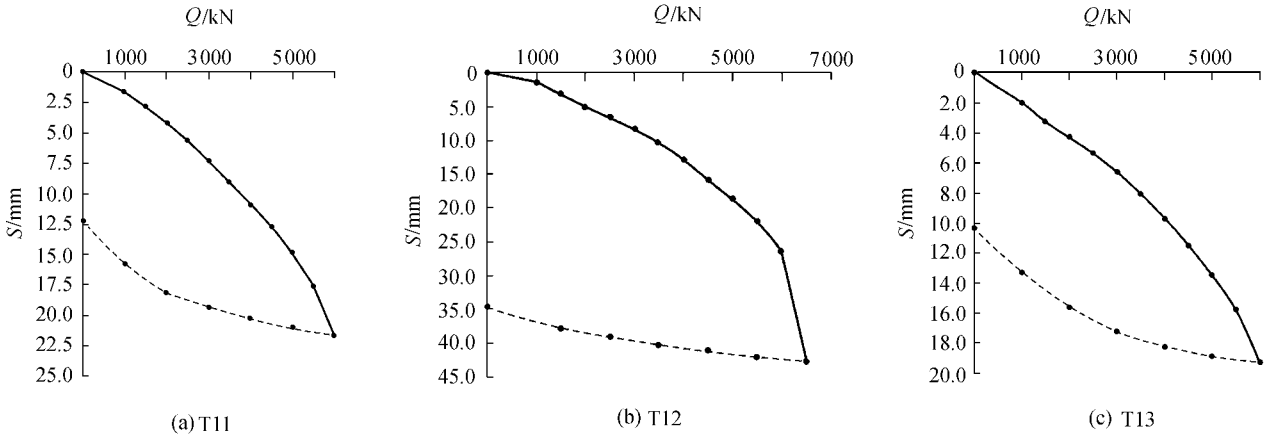


图 2 试桩 Q-s 曲线

5 结 语

桩基工程高应变动力检测实践表明该方法具有速度快、耗资低等优点，从而得到广泛的应用.但要提高高应变动力测桩技术的可靠性，仍有许多问题有待研究.

a. 高应变动力测试时，锤击能量大，对桩头的处理要求也更高，一定要高度重视认真对待.

b. 在高应变动力测桩过程中要特别重视不同场地、不同桩型的动静对比试验，对一个工程或一个地区，把高应变检测同静载试验结合起来，在高应变动力测桩的同时做好静载试验.

c. 确定一种检测方法的可靠性，必须立足于大量、可靠、全面的对比材料，然后做科学的统计分析，得出定量的总体评定指标.大量工程实践表明，高应变动测承载力和静载试验有一定的相关性[5]，在掌握了高应变动力测试的基本理论、相关知识，掌握丰富的动静对比、参数的取值经验的情况下，高应变动测结果和静载结果将有较好的一致性.

参考文献：

[1] 汪风泉.基础结构动态诊断[M].南京：江苏科技出版社，1992.

[2] 中国建筑科学研究院.JGJ106—97，基桩高应变动力检测高程[S].北京：中国建筑工业出版社，1997.

[3] 刘超英，陈夷，苏全.高应变动力测试技术在桩基工程检测中的应用[J].中国农村水利水电，2004(5)：48-49.

[4] 陈桂科.锤击管桩静载与高应变检测结果的对比分析[J].广东土木与建筑，2001(6)：77-79.

[5] 徐攸在.动力测定桩承载力的若干问题[J].工业建筑，1996，26(2)：3-7.

(收稿日期：2004-12-16 编辑：骆超)

(上接第118页)

作为路堤柔性荷载的地基时，可将桩间距适当取大，设计为疏桩形式，以充分发挥桩间土的承载作用.

c. 根据路堤填土施工前静载荷试验的结果，该桥头过渡路段的CFG桩单桩极限承载力为600 kN，折算后的单桩承载力标准值为300 kN.而CFG桩顶应力的测试表明，在超载预压的后期，桩顶平均应力也只有239.5 kPa，据此计算的单桩实际承载为30.2 kN左右，大大小于300 kN的单桩承载力标准值.尽管可能存在仪器精度及测试误差的因素，但从技术经济的角度考虑，CFG桩复合地基作为路堤荷载的地基时，桩体设计强度还可以取得低一些.

4 结 语

本文以佛山市某高等级公路桥头过渡路段CFG桩复合地基处理为试验研究背景，通过填土施工期的桩、土应力和表面沉降现场试验，对路堤柔性荷载下桩、土承载作用的变化和成因进行了研究，并据此对一些设计参数的合理性进行了反分析.主要结论如下：

a. 桩、土变形及承载作用方面.①在路堤荷载作用下，CFG桩、桩间土最终可达到变形协调，共同发挥承载作用；②桩、土应力比及应力差与桩、土沉降差有着密切的关系，桩、土沉降差使桩体顶部填土中出现土拱效应，导致桩顶应力集中，桩、土应力比及应力差增大；③桩间不同位置土压力分布不同，两桩中间土压力大于四桩中心的；④土工格栅对调整桩、土应力比及荷载分配具有非常明显的作用；⑤在CFG桩设计桩间距较大的疏桩形式下，桩间土承担着大部分荷载.

b. CFG桩复合地基设计参数方面：①设计桩间距较大的疏桩形式下，褥垫层厚度应适当取大；②作为路堤荷载的地基时，可设计为桩间距较大的疏桩形式；③作为路堤荷载的地基时，桩体设计强度可以取得低一些.

参考文献：

[1] 陈冠雄，黄国宣，洪宝宁. 广东省高速公路软基处理实用技术[M]. 北京：人民交通出版社，2005：143-145.

[2] 叶书麟，韩杰，叶观宝.地基处理与托换技术[M].北京：中国建筑工业出版社，1994：96-98.

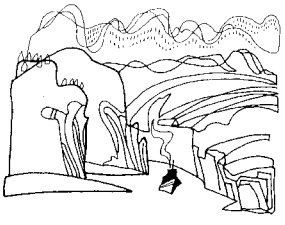
[3] 阎明礼，张东刚.CFG桩复合地基技术及工程实践[M].北京：中国水利水电出版社，2001：9-11.

[4] 龚晓南.复合地基[M].杭州：浙江大学出版社，1992：81-82.

[5] 李海芳，温晓贵，龚晓南.低强度桩复合地基处理桥头跳车现场试验研究[J].中南公路工程，2003(3)：27-30.

[6] 秦建庆，叶观宝，费涵昌.水泥土桩复合地基桩土分担荷载的试验研究[J].工程勘察，2000(1)：35-37.

[7] 马时冬.水泥搅拌桩复合地基桩土应力比测试研究[J].土木工程学报，2002(2)：48-51.

[8] 中国建筑科学研究院.JGJ79-91，建筑地基处理技术规范[S].北京：中国计划出版社，1992.

(收稿日期：2005-11-24 编辑：马敏峰)