

高应变检测技术在基桩工程中的应用与研究

叶荣清

中国国检测试控股集团徐州有限公司

摘要：高应变检测技术通过基桩在受力作用下的应变变化，来评估其承载力与桩身完整性。本文首先分析国内外高应变检测技术的应用，并介绍了高应变检测技术的原理，通过试验，详细分析了高应变检测技术在基桩工程中的应用，旨在提高基桩工程检测的精确性。

关键词：基桩；高应变检测；承载力；完整性

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.023

一、引言

在城市高层建筑的兴起中，桩基础作为一种广泛应用的基础形式，以其承载力大、施工工艺简单等特点成为不可或缺的建筑支撑结构。然而在桩基的施工过程中，地下水等不良因素和施工工艺的缺陷常常对各项指标产生严重影响，给工程质量带来挑战。由于桩基工程属于隐蔽工程，无法通过肉眼观察来审查工程质量，因此需要借助有效的检测方法来确定结构的安全可靠。竖向抗压静载试验作为对桩基竖向承载力检测最常用的方法之一，虽然结果可靠，但其费用高、时间长、抽检数量少等缺陷也限制了其在实际工程中的广泛应用^[1]。

为了弥补竖向抗压静载试验的不足，高应变试验成了一种重要的补充手段。高应变试验操作简单、耗时短、成本低，使其在实际工程中备受青睐。尽管其在一些方面相对于竖向抗压静载试验存在一定的局限性，但在整体桩基质量评价中的重要性不可忽视^[2]。本文结合工程实例，对高应变检测技术的原理、操作过程以及试验结果进行了简要论述。通过对比分析，强调了高应变试验在桩基工程中的独特优势，尤其是在解决竖向抗压静载试验的一些不足方面。

二、国内外高应变检测技术的应用

在我国基桩动测研究方面，南京工学院的唐念慈教授团队在基桩动测领域取得了一系列突破性成果，他们不仅进行了静载荷试验法，还开创性地进行了动静对比试验，为国内高应变检测奠定了基础。80年代以后，我国基桩动测技术经历了迅速的发展，武汉岩土所成功研发了RSM基桩动测仪，为我国高应变技术的发展与实践做出了卓越贡献。武汉岩海公司推出的RS基桩动测仪受到高度评价，标志着我国基桩动测设备领域逐步趋于完备。1996年，CCWAPC拟合程序的推出进一步丰富了基桩动测设备的应用领域，为工程领域提供了更为全面和精准的数据支持^[3]。

基桩动测技术规范的制定标志着该技术在20世纪90年代开始受到广泛认可。各地相继制定的规范为基桩动测技术的推广和应用提供了有力的支持，确保了该技术

在实际工程中的可行性和有效性。因此，可以预见基桩动测技术将继续在工程领域发挥重要作用，为基础设施建设和维护提供科学依据。

三、高应变的试验原理

高应变动测是一种有效的方法，利用力和加速度传感器测量桩身的动态响应。在匀质等截面桩中，桩身力学阻抗被认为是一个常量，摩擦力引起的分离现象产生了压力波和拉力波，这两种波分别向上传播和向下传播。这些波的形成与桩身质点速度直接相关。通过观察力曲线和速度曲线随时间的变化，可以明显地识别摩擦阻力的影响。当桩身未受到摩擦力时，力和速度曲线重合，显示出桩身自由移动的状态。然而，在受到摩擦力的情况下，曲线分离，形成压力波和拉力波。通过分析这两种波的传播特性，可以评估桩身摩擦力的程度。通过实时监测和分析桩身的动态响应，准确评估桩基础的稳定性和结构性能^[4]。

在本工程中，技术人员采用了实测曲线拟合法，利用凯斯法确定边界条件，其中 $Z \cdot V(t)$ 等条件被纳入计算中。波动方程计算是我们的计算工具，以便于可以获取目标曲线的数值。接着，通过对各种参数值的设定，能够更精准地模拟实际情况。而通过实测-设定-计算-比较循环，逐步优化这些参数，确保计算结果与实测曲线的吻合度达到最优^[5]。在工程中，重点关注了单桩承载力，即桩独立承受荷载的能力，需要考虑桩身完整性，即桩体结构的完整程度。同时，桩侧摩擦阻力和桩端阻力也是我们关注的重要参数，涉及桩与周围土壤之间的摩擦力和底部受到的阻力。最后，通过实测曲线拟合法，确定高应变条件下的承载力，并通过多次循环逐步优化了参数，使计算结果与实测曲线吻合。这为工程提供了可靠的数据基础，确保了结构在高应变条件下的稳定性和安全性^[6]。

（一）桩头处理

在进行桩基检测时，预制桩要保证桩头完整，灌注桩首要步骤涉及对桩顶部的处理。为了确保后续检测的有效性，必须先凿掉桩顶部的浮浆和夹杂有土块的混凝土。随后，对桩头进行清洗，以确保与后续施工接口的质量。在此基础上，采用高标号混凝土是至关重要的一步，其强度等级应比桩身混凝土提高1~2个等级，不得低于C30。为了进一步增强桩头的强度和早期强度，可以加入早强剂和减水剂，并在捣接桩头的过程中确保充分混合。为了增加桩的整体抗压能力，需设置箍筋，其距桩帽顶的范围应为桩径的1.5倍，且间距不得大于100mm。此外，桩帽顶面内还应布置钢筋网片，采用三

层布置，间距为100mm。这一步骤将有效地提升桩的受力性能，确保其在使用过程中能够承受各种外部荷载。

(二) 安装传感器

高应变检测是土木工程领域中一项关键的试验，为了准确测量试验过程中的力和加速度变化，应用了应变式力传感器和加速度传感器。在试验中，采用了两种传感器，每种传感器均配备两个，以确保数据的准确性和可靠性。为了保持传感器的固定和稳定，工程试验中采用了对称固定的方法。传感器被安装在打磨面上，该打磨面距离桩顶的距离约为桩径的2倍。打磨面的平整光滑且无缺陷，这是为了确保传感器能够准确地测量力和加速度，而不受外部因素的干扰。在试验的锤击过程中，传感器被精确地固定在打磨面上，以防止任何滑移的发生。这确保了测量的准确性，并提供了可靠的试验数据。为了获取试验过程中产生的关键信息，传感器通过连接到基桩动测仪进行数据测量。

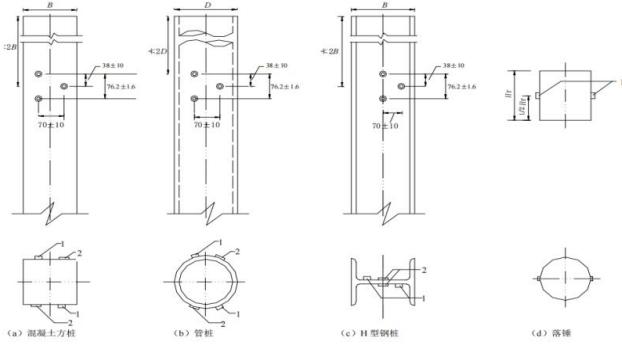


图1 传感器安装示意图 注：单位为mm。

1-加速度传感器；2-应变传感器；B-矩形桩的边宽；
D-桩身外径；Hr-落锤锤体高度

(三) 锤击

在本工程的高应变试验中，使用了一枚质量为6t的钢制重锤。该重锤通过吊车悬挂，并在悬挂到离桩顶0.25-1m的高度后自由落下，每根桩都会受到1~3次的重锤冲击，具体见图2。



图2 锤击现场施工图

四、高应变检测波形质量分析

(一) 整体铸造锤试验分析

在进行工程桩的高应变检测时，锤上测力法是一种常用的手段，然而在实际应用中，我们发现一些关键问题，其中之一便是高频集簇撞击导致的震荡干扰。在一次锤击过程中，桩与锤之间发生了高频集簇撞击，这在实测波形中显现为明显的震荡干扰，如图3所示。通过软件输出的实测波形分析，我们观察到在落距较高的击打过程中，实测力波产生了较小幅度的震荡干扰。这种现象可能对于对桩的力学性质进行准确评估造成不良影响。为解决这一问题，需要对原始曲线进行波形分析，以评价实测波形的质量并找出引起该干扰的原因。集簇撞击是一个关键的影响因素，尤其在高落距的情况下表现得更为突出。为了提高测力方法的可靠性和准确性，必须有效管理这些干扰因素。

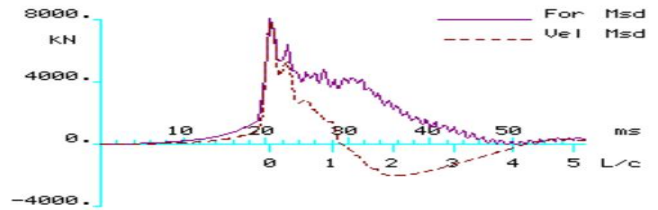


图3 整体铸造锤实测曲线图

(二) 组合锤试验分析

在检测工程中，研究人员还采用了一种重量约为6吨的组合锤，该锤由两个轻锤组成。在锤击过程中，我们注意到由两锤之间的刚性碰撞引起的高频集簇撞击，具体见图4。这一现象导致了振动波形的震荡干扰，可能对桩基检测的准确性产生负面影响。

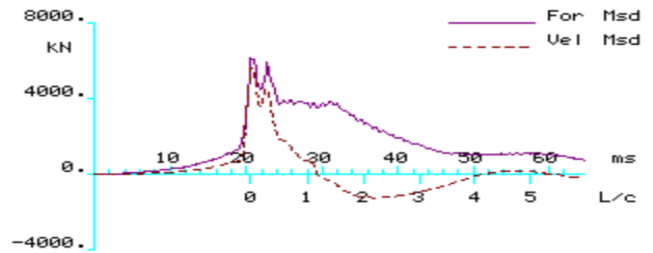


图4 组合锤实测曲线图

为了更全面地满足桩基检测的需求，我们进行了两种方式的比较，分析了它们在同一工程桩上获得的原始曲线。从研究中可以得出以下几点结论：

(1) 组合锤的有效性：在桩基检测中，组合锤被证明也是一种有效的工具，但需要注意轻锤组合可能引起的高频集簇撞击问题。

(2) 刚性碰撞的影响：刚性碰撞引起的震荡干扰可能对桩基检测的准确性产生负面影响。因此，在桩基施工中，需要采取相应的措施来处理由刚性碰撞引起的问题，以确保准确的检测结果。

(3) 综合考虑锤子重量和组合方式：在选择锤子

的重量和组合方式时，需要充分考虑桩基检测的需求，以确保获得可靠的原始曲线。合理的选择可以降低高频集簇撞击和波形震荡干扰的风险。

(4) 多种测力方法的综合使用：为了提高桩基检测的准确性和可靠性，建议综合使用多种测力方法。通过综合考虑来自不同方法的数据，可以更全面地评估桩基的性能。

在集簇撞击及锤上测力法的研究中，我们发现集簇撞击对锤上测力法的影响相对更为显著。这一现象主要归因于锤的刚度较大，导致在撞击过程中锤的震荡运动更为剧烈，形成小幅度的震荡力波。相比之下，桩身测力所得到的波形则表现得更为平滑。在撞击过程中，锤的震荡运动不仅产生力波，而且对测力的准确性产生了一定的干扰。为了减小这种干扰，我们提出了“重锤低击”原则，建议在锤击过程中适度降低落距。通过这种方式，可以有效减缓锤的震荡运动，使测得的力波波形更为稳定，从而消除由于锤的震荡运动引起的干扰，提高测力法的准确性。因此，在进行桩基检测工程中，特别是在集簇撞击的情况下，应谨慎选择测力方法，并在实际操作中遵循相关原则以确保准确可靠的测力结果。这些研究成果为桩基检测工程领域提供了有益的指导，为工程实践提供了技术支持。

五、结果分析

高应变动力试验是一种用于单桩承载力与桩身完整性检测的先进方法，通过应用大的变形量，能够提供更准确、直观的信息。这种测试特别适用于大直径桩和桩长较长的情况，与传统的低应变测试相比，具有更大的能量。在高应变动力试验中，采用重锤进行击发脉冲信号，这些信号是短暂而高能量的，能够同时激发出土阻力和桩身阻抗变化信息。相对于低应变测试，高应变法在对桩身完整性进行评估时更为可靠。在低应变测试中，桩侧土阻力信息相对较小，可能导致对桩身完整性的判断信息模糊。而高应变动力试验通过引入更大的能量，能够全面而深入地了解桩的动态响应。这使得在实际工程中，特别是在处理大直径桩和桩长较长的情况下，高应变法能够提供更为全面和可信的桩身完整性信息。测试曲线是描述测试中各参数随时间或其他变量的变化曲线，通过分析这些曲线，可以更直观地了解桩的动态行为。高应变动力试验产生的脉冲信号强度大且传播距离远，这为测试曲线提供了更为丰富的信息，使得桩身完整性的检测更加全面。

在承载力检测领域，高应变法作为一种有效的检测手段，在实际工程中展现了其独特的优势。尽管相对于传统的静载试验而言，高应变法在准确性上存在一些差异，但其在效率、经济性和科学性计算等方面的显著特点使其成为工程质量保障的可靠选择。首先，高应变法在实际工程中表现出的效率高是其引人注目的优势之

一。通过采用高应变试验分析，工程人员能够迅速获取有关土体承载力的关键信息，从而加快工程进展。这高效的检测方式有助于及时发现问题，提高工程施工的整体效率。其次，高应变法的经济实惠性质使其在实际应用中更为受欢迎。相对于耗费较大的静载试验，高应变法的成本相对较低。这使得在有限的预算内，工程项目仍能够进行充分的承载力检测，从而确保工程的经济可行性。同时，高应变法的科学性计算成果也是其备受推崇的特点之一。通过先进的计算技术，可以对高应变试验数据进行深入分析，为工程提供更为精确的承载力信息。这种科学性计算不仅有助于工程设计的精细化，也为后续施工提供了可靠的数据支持。在高应变动力检测技术方面，其可用于大面积检测的特性使其在工程桩的检测中具备独特优势。同时，作为静载试验的有效补充，高应变动力检测技术在一定程度上填补了传统检测方法的不足。

六、结语

在桩基检测领域，高应变检测技术日益凸显其在提高可靠性、简化操作、并在时间与财力上取得显著成本优势方面的优越性。通过对大量工程实例的综合分析，这一先进技术在竖向抗压静载试验中展现出卓越的性能。尤其值得注意的是，相较于传统的竖向抗压静载试验，高应变检测技术的时间和财力成本仅为其1/3，使其成为桩基检测领域的颠覆性技术之一。

鉴于高应变检测技术在桩基检测中所表现出的卓越性能，未来的桩基检测应该进一步推广和采用这一先进技术。通过大规模应用高应变检测技术，不仅可以提高桩基检测的整体效率，还能显著降低相关成本，为工程实践提供更为可行和经济的解决方案。因此，借助高应变检测技术的推广，我们有望在桩基检测工程中取得更为显著的技术和经济成果，推动行业向更为可持续和创新的方向发展。

参考文献

- [1] 黄建辉. 基于改进实测曲线拟合法的基桩高应变检测技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(18): 39-41.
- [2] 张旭, 李文. 基桩检测技术在炼油改扩建工程项目中的应用[J]. 城市地质, 2023, 18(03): 76-82.
- [3] 张鑫. 桩承载力检测在粉砂土层中的应用[J]. 黄河科技学院学报, 2022, 24(05): 25-27.
- [4] 侯传相. 基于高应变检测下桩的动态响应性能分析研究[D]. 广东工业大学, 2021.
- [5] 罗济杭. 基于实测曲线拟合法的基桩高应变检测技术的基础研究[D]. 华南理工大学, 2021.
- [6] 罗飞跃. 基于高应变检测及水平静载试验的钢管桩稳定性研究[J]. 建筑科技, 2021, 5(01): 44-47+51.