

桩基检测技术在建筑工程中的应用研究

李子荣

广州市建筑材料工业研究所有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020045

摘 要 : 文章旨在系统阐述桩基检测技术在房屋建筑工程中的重要性、方法体系及应用策略。文章从桩基的固有特性出发, 论证实施全面质量检测的必要性; 进而详细论述低应变法、高应变法、静载试验、钻芯法及光纤传感等主流检测技术的原理、特点与适用范围; 最后, 重点探讨如何将这些技术整合应用于施工过程控制、成桩后完整性普查及最终承载力验收等关键环节, 以构建覆盖全过程的质量保障体系, 为工程实践提供清晰的技术路径与方法选择依据。

关 键 词 : 桩基检测技术; 建筑工程; 应用

Research on the Application of Foundation Pile Detection Technology in Construction Engineering

Li Zirong

Guangzhou Building Materials Industry Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper systematically elucidates the significance, methodological framework, and application strategies of pile foundation testing technologies in building construction projects. Starting from the inherent characteristics of pile foundations, it demonstrates the necessity of implementing comprehensive quality testing. Subsequently, it elaborates on the principles, features, and applicability of mainstream testing technologies, including low-strain methods, high-strain methods, static load tests, core drilling methods, and fiber optic sensing. Finally, it focuses on integrating these technologies into critical phases such as construction process control, post-installation integrity surveys, and final bearing capacity acceptance. This approach establishes a comprehensive quality assurance system covering the entire process, providing clear technical pathways and methodological guidance for engineering practice.

Keywords : pile foundation inspection technology; building engineering; application

引言

桩基础作为将上部结构荷载有效传递至深层稳定土体的关键构件, 其质量直接关乎整个建筑项目的安全、耐久与投资效益。尤其在现代房屋建筑向高层、重型化发展的背景下, 对桩基的承载力、沉降控制及长期性能提出了更为苛刻的要求。然而, 桩基工程主体深埋地下, 具有极强的隐蔽性, 一旦建成便难以直观查验, 任何潜在缺陷都可能为整个工程埋下灾难性隐患。因此, 依托科学、可靠的检测技术, 实现对桩基质量的可视化评判与全过程控制, 已成为确保房屋建筑安全基石不可或缺的核心环节。

一、桩基检测技术的重要性

(一) 桩基的特性与广泛应用

桩基础作为一种深基础, 具有承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、沉降稳定快、良好的抗震性能等特性, 因此在各类建筑工程中得到广泛应用, 尤其适用于建造在软弱地基上的各类建(构)筑物, 如高层建筑、大型桥梁、港口码头及重型工业厂房等。不同类型的桩基其施工工艺、质量控制要点和潜在的缺陷模式各不相同。例如, 灌注桩可能面临缩颈、断桩或混凝土离析等问题, 而预制桩则可能遇到接头失效或挤土效应等挑战。

(二) 桩基工程的隐蔽性与质量把控关键

桩基工程是建筑工程项目中的一项比较隐蔽的工程, 其主体结构深埋于地下, 对于建筑工程的整体的质量与安全起着非常重要的影响。一旦上部结构施工完成, 桩基的质量问题将极难被发现, 且修复成本异常高昂, 甚至可能造成灾难性后果。因此, 桩基工程在施工时都必须进行详细的计划安排, 施工过程也要进行严格质量控制, 质量检测结果要确保准确性, 这些都是建筑工程中桩基工程的先决条件。检测技术扮演了“地下眼睛”的关键角色, 它能够穿透覆土, 揭示桩身完整性、岩土阻力的真实情况, 为判断施工质量是否达标提供不可或缺的客观证据, 从而将隐蔽

工程“透明化”^[1]。

（三）检测的核心作用与全程控制必要性

桩基工程技术检测时，我们可以通过对每个单体桩基的承载力大小测试，确定其承受的极限，然后对桩基整体的质量做出一个全方位准确的分析。这些重要的分析，正是衡量桩基工程是否符合设计要求的重要依据。现代桩基检测技术体系完善，包括静载试验、高应变法、低应变法、声波透射法、钻芯法等多种手段，能够从承载力与桩身完整性两个维度对桩基进行全面“体检”。因桩基工程是一项隐蔽的工程，桩基工程的检查审核工作难度也相对加大了，对问题的处理也随之困难了许多。例如，静载试验虽为承载力的直接检测方法，但其成本高、周期长；而低应变、声波透射法等完整性检测方法则高效经济，是发现桩身缺陷的首选。

二、房屋建筑中常用的桩基检测技术

（一）低应变动力检测技术

低应变动力检测法是桩基完整性检测中广泛应用的一种无损测试方法。检测时需在桩顶预设位置安装高灵敏度传感器，并通过手锤或激振器施加瞬态激励。在锤击作用下，桩身内部将激发应力波传播，传感器可实时接收由桩体反射回来的振动信号，进而借助波动理论对信号进行解析与判读。通过分析反射波的传播速度、频率特征及波形形态等参数，可有效识别桩身阻抗变化，从而判断桩基是否存在缺陷并评估其完整性状态。该方法具有操作便捷、检测效率高、对桩体无损伤等突出优点。只要获取到充分且清晰的波形记录，便可在较短时间内完成单桩检测与初步诊断。实际检测中，需依据桩径尺寸并参照现行技术规范合理布设测点。测点位置可根据信号质量动态调整，并非固定不变。传感器的安装质量直接影响数据可靠性，因此需在检测前彻底清理桩顶表面，去除积尘、浮浆等干扰物，并采用耦合剂（如黄油、石蜡等）确保传感器与桩体表面紧密贴合。为提高检测结果的可信度，通常需在同一激振点进行不少于3次的重复测试。通过对多次采集的波形数据进行对比与综合分析，可有效排除偶然误差，最终获得真实反映桩身质量的检测结论^[2]。

（二）高应变动力检测法

高应变动力检测法基于应力波传播理论，通过测量桩顶受到冲击后产生的应力波在桩身中的传播与反射情况，对工程桩的完整性和承载力进行判断。在设备选用阶段，需结合工程地质条件、桩型及设计承载力等参数综合选定检测系统，其中重锤的质量通常不应低于基桩预估极限承载力的1%。试验过程中，重锤需以自由落体方式冲击桩顶，同时遵循“重锤低击”原则，即锤重较大而落距相对较低，以获取清晰的桩身响应信号。该方法通过在桩顶施加瞬态竖向冲击荷载，激发桩侧及桩端岩土阻力充分发挥。在冲击能量作用下，桩土体系产生相对位移，通过安装在桩顶附近的传感器可同步采集桩身应变和加速度数据。由于检测过程中产生的冲击能量较大，可能对桩体结构安全构成潜在风险，因此必须严格遵循规范要求，制定详细的检测方案与安全保障措施。

整个检测流程应事先进行标准化设计，确保高应变法在基桩质量评价中科学、有效地应用。



图1 高应变动力检测试验图

（三）静载试验方法与应用

单桩竖向抗压静载试验是现场测定桩基承载力的常用方法之一。该试验通过对桩顶逐级施加竖向压力，准确测量桩身的沉降响应，从而确定其极限抗压强度和实际承载性能，如图2。试验中采用的加载反力系统主要包括锚桩反力法、堆载平台法以及地锚反力装置等多种形式。在试验数据采集完成后，需对记录信息进行系统处理与分析。通常绘制荷载-位移关系曲线（Q-S曲线）或时间-沉降曲线（S-logt曲线），通过分析相邻级数间的沉降差异，科学判定桩身的实际承载状态。静载试验技术具有多项显著优势：测试结果可靠性高，能够直观反映桩土相互作用机制，适用范围广泛，是目前国际上公认的获取单桩竖向抗压承载力最直接的方法。在实际工程检测中，需严格遵循规范要求，合理选择具有代表性的基桩进行试验。尽管该方法能够获得权威性较强的检测数据，但其操作过程存在一定局限性，检测设备笨重，需要较大的作业场地，且检测周期较长、成本较高。因此，在场地受限或工期紧张的施工现场，往往更倾向于采用操作便捷、效率更高的无损检测方法作为补充手段，以实现桩基承载性能的快速评估^[3]。



图2 单桩竖向抗压静载试验图

（四）钻孔取芯检测技术

在实施基桩质量检测时，需预先明确待检测桩体的具体位置，并收集相关设计及施工参数。随后，由具备资质的检测人员操作专业钻机，在选定位置进行钻孔作业，提取桩身混凝土芯样作为检测对象。取样完成后，需由经验丰富的技术人员借助先进仪器设备对芯样开展系统检测。通过对芯样的物理性能和结构特征进行分析，可有效评估基桩混凝土的浇筑质量、均匀性与强度等级，从而为桩体整体性能的判断提供可靠依据。此外，还应细致检查芯样的连续性 & 完整性，确认基桩是否存在缺陷，是否符合设计规范要求。钻孔取样过程中，必须严格控制钻进压力与转速，保持钻机平稳、匀速地进入桩体内部。根据规范要求，每个检测点的有效取样深度通常不应少于两米，以保证获取具有代表性的桩身质量信息。在基桩施工阶段，宜同步开展过程质量控制；待施工结束后，则需进行竣工验收检测。所有检测环节均需详细记录原始数据，并及时录入数据库管理系统，便于后续查询与追溯。

（五）光纤传感技术在桩基检测中的应用

光纤传感技术作为一种先进的监测手段，在集成至相应设备后便形成光纤传感器。这类传感器具备优异的抗电磁干扰性能，测量结果准确度高，响应灵敏，且因其材质特性不易受环境腐蚀影响，能够有效监测温度与应力等关键参数。该技术结构简洁，无需复杂的传感元件，仅依靠普通光纤即可实现信号传输与感知功能。光纤材料柔韧性良好，能够灵活布设于结构体内部，与受监测构件的变形保持同步，从而真实反映其受力状态。例如，埋入桩基的感测光缆可实时采集结构内部的温度及应变数据，为评估桩基承载力提供依据，如图2。随着技术发展，光纤传感凭借其独特优势逐步获得工程界认可，尤其是分布式光纤传感技术，已成为目前监测体系中的重要组成部分，并被广泛引入桩基工程实测任务中。光纤传感技术适用范围广、抗干扰能力强，将其融入桩基检测体系中，有助于快速、精确地判定桩基承载性能。然而，目前该技术在工程中的推广仍显不足，多数仍停留在现场试验与理论探讨阶段，尚未在施工过程中实现规模化应用^[4]。

三、当下基桩检测技术在房屋建筑当中的应用

（一）施工过程质量控制检测

在房屋建筑工程中，对桩基施工实施全过程监控是确保质量的根本。质量控制始于成孔阶段，需在成孔后立即系统检测孔径、孔深、垂直度及孔底沉渣厚度等关键指标，这些数据直接决定了桩基的有效承载面积与端部阻力，为后续混凝土浇筑工艺提供依据，从源头上避免承载力缺陷；此外，在混凝土灌注过程中，通过监测导管埋深与混凝土面上升速度等手段，可间接评估桩身的连续性与均匀性，实现对缩颈、断桩等潜在缺陷的预防性控制。

（二）成桩后桩身完整性检测

桩身完整性普查是成桩后质量评定的关键环节，其中低应变动力检测法因其高效、经济成为首选，现场应用时需规范布设测点、确保传感器与桩头良好耦合，并通过多次重复测试比对信号，以准确分析反射波特征，从而高效筛查缩颈、离析或断桩等缺陷；对于大直径灌注桩，则普遍采用声波透射法，通过预埋声测管构建桩身完整性剖面，实现缺陷的精准定位；而当上述方法发现疑似严重缺陷时，则需采用钻芯法进行最终验证，通过直接观察混凝土芯样，为工程处置提供直观、可靠的决策依据^[5]。



图3 桩身完整性（低应变）检测

（三）单桩承载力验收检测

承载力是评估单桩能否满足设计要求的最终指标，静载试验作为公认最权威的检测方法，通过逐级施加荷载并精确测量沉降，能直接揭示桩土体系的荷载传递机理与极限状态，为设计验证提供核心数据；然而，因其成本高、周期长，在工程中常辅以高应变动力检测法作为补充，后者通过重锤冲击激发桩周土阻力，利用波动理论分析采集的力与速度信号，可对桩身完整性及承载力进行综合评估，在具备良好地区经验的前提下，能实现对工程桩承载性能的快速、经济评价。

四、结束语

综上所述，桩基检测技术是确保房屋建筑安全与稳定的生命线。面对桩基工程的隐蔽性挑战，必须建立从勘察设计到竣工验收的全过程质量管理体系。未来桩基检测技术将向着更加智能化、精细化与一体化的方向发展，特别是如光纤传感等新型监测技术的深度开发与规模化应用，有望实现对桩基工作状态的长期、分布式实时监控，从而将桩基工程质量与安全控制水平提升至新的高度。

参考文献

- [1] 张学军. 桩基检测技术在建筑工程中的应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(16): 103-104.
- [2] 潘祥亮. 桩基检测技术在高层建筑工程中的应用[J]. 建筑·建材·装饰, 2024(3): 193-195.
- [3] 田鹏. 桩基检测技术在高层建筑工程中的应用探讨[J]. 建材与装饰, 2024, 20(12): 10-12.
- [4] 葛栋材. 建筑工程中桩基检测技术的应用及过程分析[J]. 安徽建筑, 2025, 32(9): 171-174.
- [5] 贺子豪. 房屋建筑桩基工程施工质量检测技术的应用与实践[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(6): 157-159.