

低应变反射法在建筑桩基检测中的应用分析

文 / 莫远航 广东省同道工程检测技术有限公司

摘要：随着时代的不断发展与进步，如何确保建筑工程桩基施工质量，充分延长工程项目基础结构的使用寿命，现已成为有关从业技术人员关注的重要课题。本文以锦景华府花园项目为例，分别基于现场考察、设备选定、参数调节、桩头处理、激振点选择、传感器安装、现场检测与数据分析等角度对项目桩基检测过程当中低应变反射法的具体应用流程进行了阐述，同时介绍了确保桩基检测结果准确性的注意事项，旨在为有关技术人员提供参考。

关键词：低应变反射法；建筑工程；桩基检测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.028

引言

桩基是土木工程当中的重要组成部分，承担着传递结构载荷、规避受力风险的作用，强化桩基检测工作，能够使建设者与技术人员及时掌握建筑桩基结构的状态特性，充分了解建筑桩基可能存在的安全风险与缺陷隐患，实现对结构承载力以及桩身完整性的充分识别，并针对桩基的沉降状态进行监控预测，评估建筑桩基结构的沉降性能，进一步保障建筑稳定性。从业者应当从项目实际情况及其建设需求出发，明确低应变反射法在桩基检测过程中的应用优势，并针对建筑桩基检测技术方案进行不断完善与创新，更好地落实桩基检测目标要求。

一、项目概况

为充分明确低应变反射法的应用要求与注意事项，现以锦景华府花园项目为例进行深入分析与研究。案例项目属于较为典型的住宅建筑群，项目总用地面积为51888.0m²，总建筑面积为155548.0m²，建筑基底面积为15502.38m²，一层地下车库面积为29861.0m²，主体结构采用现浇钢筋砼剪力墙结构，选择桩基础施工方案，室内地坪设计标高为4.30-7.40m，按照国家《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）相关规定要求，案例项目场地属于中等复杂场地（二级），地基属于中等复杂地基（二级）。桩基施工完成后，结合现场施工作业环境以及桩基工程施工特点，选择采用适宜技术方案开展桩基检测作业，同时针对桩身裂缝、缩颈等缺陷问题进行及时识别，准确检测项目现场桩身完整性。

二、桩基检测过程中低应变反射法应用流程

（一）现场考察

在正式开展桩基检测之前，需要基于桩基建设规模以及现场工程地质条件开展考察工作。案例项目现场分别采用了钻探、原位测试以及室内土工试验等几种不同技术方案对项目建设施工现场的工程地质环境进行了分析与勘验^[1]。案例项目采用桩基础形式，基础埋深为

4.8m，场地地下未见市政管线分布，场地东、南、西侧分布有地下输电线路与雨污管道，原始地貌以冲积平原为主，场地较为平坦，结合钻探结果能够发现，地基岩土层自上而下分别为第四系人工填土层（素填土）、第四系冲积层（粉质黏土、淤泥质土、粗砂）、第四系残积层（砂质黏性土、风化花岗岩），场地内未见明显地表水，地下水主要以上层滞水、孔隙水以及基岩裂隙水为主，分别以大气降水与侧向径流作为补给来源，地下水初见水位标高为0.70-1.39m，埋深为2.40-3.20m，稳定水位标高为0.50-1.19m，埋深为2.60-3.40m。经针对上述勘测结果以及工程技术资料进行细致挖掘与分析审阅过后，决定采用低应变反射法对案例项目建筑桩基完整性进行检测，实现降本增效的检测目标。

（二）仪器设备选定

在低应变反射法桩基检测过程当中，合理的仪器设备选定对保障最终测定结果准确性与可靠性，缩短检测周期，强化检测效能具有关键性作用。案例项目选用RS-W(P) II基桩动测仪作为检测主体设备，该设备体积较小，便于携带，性能可靠，功能齐全，能够实现噪声数据的有效过滤与针对性处置，能够获取到高信噪比的数据收集结果，单信号存储量能够达到2048字段，借助RS-W(P) II基桩动测仪附带分析软件，能够分别完成桩基界面阻抗分析、时域频域分析、桩身外形仿真等相关功能，其结构与运行工作原理见图1所示。

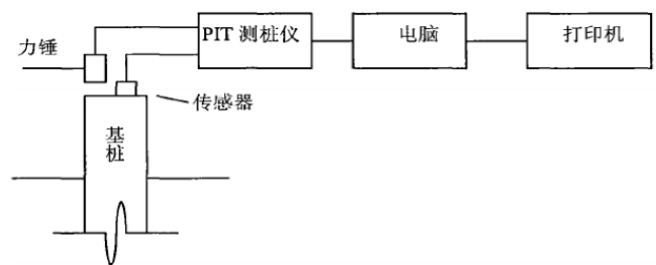


图1 RS-W(P) II基桩动测仪结构与工作原理

基于 RS-W(P) II 基桩动测仪测量反馈波形数据以及案例工程项目现场工程地质条件, 可针对桩体的完整性进行准确识别与分析判断, 同时还能为现场施工质量管控以及缺陷问题定位提供直观的参考依据^[2]。

(三) 检测参数调节

初步完成设备选型工作过后, 为确保设备反馈结果能够更加准确地成为桩体完整性判断的依据, 还需要分别针对低应变检测过程中的关键性参数进行调节。按照相关技术要求与规定, 待测桩桩身混凝土能够达到预设

表 1 RS-W(P) II 基桩动测仪样本采集参数

| 预估波速 | 采样频率 | 放大增益 | 长期变化率 | 滤波频率模式 |
|---------|--------|------|-------|--------|
| 3700m/s | 1000Hz | 80dB | 0.5% | 可调模式 |

(四) 桩头处理

由于建筑桩基工程施工建设过程中的作业环境与作业条件通常较为复杂, 因此其可能会给低应变反射的检测结果造成一定误差, 其中, 当桩头部位浮浆过厚时, 可能会导致波形当中出现较为明显的反射脉冲, 使反射信号出现混乱, 影响波形规律性与可读性, 松散破碎的桩头则可能会导致低应变检测过程中的信号出现大量衰减, 同样容易导致检测结果误差。因此, 在进行检测作业之前, 需结合场地实际情况以及桩基建设施工情况, 及时针对桩头部位进行处理, 关键性检测节点应提前进行打磨, 确保表面光滑洁净, 杜绝桩头部位出现松散、破碎、开裂等现象, 同时针对桩基部位钢筋外露长度进行针对性控制, 避免信号反射过程中可能出现的谐振风险^[3]。检测前还应确保桩顶部位的干燥, 桩顶应高于基坑垫层 10~15cm (见图 2), 避免降水导致的桩头积水影响检测精度。

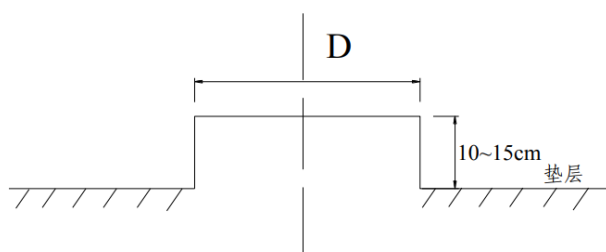


图 2 桩顶与基坑垫层之间的相对位置

(五) 激振点选择

在桩基结构低应变检测过程当中, 激振点主要指的是通过机械或脉冲方式对于桩基结构施加动性载荷的触发点, 激振点的选择对于检测反馈结果以及具体的检测精度具有突出影响, 现场检测技术人员应当结合项目实际情况、建筑桩基结构以及具体的检测目标要求进行合理选定。一般而言, 对于空心桩而言, 应当确保激振点选位与测量传感器位于同一水平面当中, 点位与桩中心连线夹角应控制在 90° , 位置应部署于桩壁厚 50% 处,

强度 70% 过后方能确保检测结果达到精度要求。案例项目低应变检测节点在成桩 14d 后。

此外, 在 RS-W(P) II 基桩动测仪的实际应用过程中, 设备的采样频率将会对反射信号的时域频域分析结果造成一定影响, 为确保信号识别的准确可靠, 在进行设备频率设定时需要考虑到桩身预设强度情况, 本文所述案例项目桩基采用 C25 混凝土为主要材料, 设备采样参数见表 1 所示。

对于实心桩而言, 激振点应与桩体中心相重合, 测量传感器应与桩中心保持一定距离, 激振点与接收点之间的距离应控制在高频干扰影响阈值以外。在本文所述案例项目激振点选位过程中, 桩径在 1000mm 以内的桩体最低部署了两个测点, 桩径在 1000mm 以上的桩体最低部署了四个测点, 同时保障了桩中心与激振点之间的位置合理性, 使不同测点对应结果之间能够实现互相参照, 有效避免了信号误差对于判定结果造成的影响。

(六) 传感器安装

低应变检测过程中, 传感器的安装位置以及安装方式通常会对反馈波形的可读性以及可判定性造成一定影响, 因此在传感器安装之前, 应当明确桩体的结构特性与可能出现的缺陷状态, 同时结合桩身表面的光滑程度与洁净程度对安装选位进行及时调整, 杜绝反向脉冲信号对于桩体浅表缺陷识别定位造成的干扰与影响^[4]。此外, 为减少温湿度以及外部环境因素对于反射曲线识别判定精度产生的冲击, 应当考虑到项目现场环境条件对传感器耦合剂进行合理选择。本文所述案例项目桩基检测现场, 将传感器安装位置与桩芯距离设定为 $2/3R$, 将黄油作为传感器耦合剂, 在保障耦合粘结强度的前提下降低了对于结构表面状态造成的影响。

(七) 现场检测

开展现场检测作业之前, 需要针对周边环境以及检测作业条件进行提前查验, 减少不必要的误差干扰。案例项目开展桩基检测前, 组织了专业力量针对现场施工过程中可能出现的机电干扰源、振动干扰源以及噪声干扰源进行了全方位排查与检测, 同时完成了对设备反馈检测数据的整理与汇总, 为桩基完整性检测工作的开展提供了重要的参考与依据。

(八) 数据分析

完成现场检测过后, 需要利用“预制桩设计施工资料表”结合配属软件针对汇总数据进行整理与分析。结

合曲线状态能够得出结论，案例项目现场大部分桩基检测曲线均呈现出平滑稳定的特点，桩底反射均较为清晰，桩体整体质量与完整性均能够得到保障，大部分桩身均属于 I 类桩，极小部分桩体受人工接桩因素影响，波形上出现轻微的缩颈现象，针对检测曲线进行复核并对现场进行检测后判定桩身缺陷并不严重，对建筑工程结构施工产生的影响较为有限，能够满足现场施工建设与结构使用要求，属于 II 类桩。

三、保障桩基检测结果准确性的注意事项

基于上文可知，在建筑工程桩基质量与完整性检测过程当中，低应变反射法具有广泛的应用价值与应用前景，为使相关检测结果能够较为直观准确地反映出桩基的具体状态，技术团队以及检测人员应当严格遵循标准规范要求，明确桩基检测的相关注意事项，从而为后续的施工与质量管理提供充分保障。

（一）制订完善检测方案

受到项目规模、施工工艺、建设特性等客观因素的影响，导致不同类型的建筑工程项目的桩基形态往往存在一定差异，因此在结合低应变检测法针对建筑工程桩基进行检测之前，应当立足于项目现场勘察反馈结果以及现场应用的相关工艺流程针对具体的检测路径与检测策略进行科学设计与合理安排。一线检测技术人员在组织开展桩基检测工作之前，应当针对桩体工艺、桩体长度、桩体直径、混凝土标号、现场施工条件、桩体灌注施工记录等相关内容进行全方位整合，同时确保检测技术方案的合理性与可行性。其中，对于地质条件较好、桩体结构较为简单的建筑工程项目，可将桩体完整性检测时间设定在成桩后 2 周左右，对于地质条件较差、桩体结构较为复杂的建筑工程项目，一般可缩短上述待检周期，使检测工作的结果更加准确可行。此外，检测开始之前还应提前针对桩头部位的状态进行复核，确保桩头状态与低应变检测方案之间的适配程度，确保桩基工程建设与检测目标的有效达成。

（二）灵活进行传感器布设

基于上文可知，传感器的布设位置与最终的桩体检测精度具有十分紧密的联系，通过传感器设备，能够较为高效地针对桩体回传反射信号进行接收，同时针对混凝土桩当中可能出现的波形信号异常进行分析定位，从而保障最终检测结果的信度与效度。为最大限度保障传感器反馈结果的参考价值，技术团队在针对低应变检测传感器进行布设的同时，应当尽可能拓展传感器信号来源，通过加速度传感器、光传感器等针对不同频率下的反射信号进行汇总比对与系统化分析，使检测技术团队能够更加全面地针对桩基曲线进行判定与识别，加强桩

基缺陷定位分析能力，提升桩基检测工作的准确性与可靠性^[5]。

（三）准确判定振源曲线

在低应变反射检测过程当中，反射曲线的形态特征能够为桩身缺陷的判定提供较为直观的参考。技术团队应当明确不同类型桩体对应的曲线特点，同时强化判定分析结果的准确性与可靠性。按照低应变反射检测结果，不同形态曲线对应的桩体主要包括完整桩、缩颈桩、扩颈桩、离析桩、断裂桩等几种不同类型。其中，完整桩对应反射曲线较为规则，呈较为典型的波形规律，反射波均匀连续，桩底部位反射信号较为显著。缩颈桩反射曲线较为规则，当信号传递至缺陷部位时，受部位特点影响，可能会出现多次反射的现象，通过对重复反射位置进行初步判定，能够在一定程度上实现对缩颈缺陷的定位与分析。扩颈桩反射波形较为规则，但受到桩体形态及其结构变化趋势的影响，可能会导致部分部位出现偏位，进而给反射信号的方向与频率造成偏差与变化。离析桩往往由混凝土状态以及桩体整体结构诱发，其对应的反射波形通常较为杂乱，缺乏可分辨的规律特性，曲线整体波动幅度较低。断裂桩对应的曲线反射信号通常不明显，反射曲线连续性差，难以有效捕捉桩底对应信号。在采用低应变反射法进行桩体完整性检测时，应将实际的曲线状态与上述特性进行比对验证，从而更加直观地了解到目标待测桩的基本特点。

结语

综上所述，在建筑工程项目施工建设过程中，确保桩基检测质量与结果准确性具有关键性作用。技术团队应当明确低应变反射法检测效率突出、检测成本低廉、检测过程便捷等一系列优势，并将其充分应用在建筑项目桩基工程的实际施工作业当中，从而加强技术团队对于桩基部位缺陷的判定与分析能力，有效提升桩体缺陷处置工作针对性，消除影响建筑工程施工质量的结构隐患。

参考文献

- [1] 林金瞧. 基于低应变法的基桩质量检测及缺陷处理研究 [J]. 江苏建材, 2024, (06): 117-118.
- [2] 陈广略. 低应变反射波法在桩基检测中的理论与实际应用 [J]. 广东建材, 2024, 40(12): 68-71.
- [3] 张建平, 周佳豪. 低应变反射波法在建筑工程桩基检测中的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (34): 129-131.
- [4] 黄东炼. 桩基完整性低应变检测与数值模拟研究 [J]. 广东建材, 2024, 40(11): 78-81.
- [5] 许强强. 房建工程桩基检测技术的应用与质量控制策略 [J]. 质量与市场, 2024, (05): 33-35.