

# 高应变与静载试验结果差异成因及修正探讨

赵明

江苏德高建设工程质量检测有限公司 江苏 苏州 215400

**【摘要】**：高应变与静载试验作为桩基承载力检测的核心手段，二者结果常存在显著差异，直接影响桩基工程质量评定的准确性。差异成因源于多方面叠加效应：试验原理本质不同导致荷载施加方式、受力响应时间维度存在差异，高应变动态激励下桩基及土的力学特性与静载稳态条件存在偏差；试验边界条件、场地环境因素进一步放大偏差；检测设备精度、操作规范性等人因素亦会造成结果离散。基于成因分析，针对性提出修正路径：通过建立动态-静态力学参数转化模型，结合场地土性参数校准试验数据；优化高应变试验参数设定，引入场地环境修正系数；规范检测操作流程与设备校准标准，可有效缩小二者差异，提升检测结果的一致性与可靠性。

**【关键词】**：高应变试验；静载试验；桩基承载力；结果差异；成因分析

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.012

## 引言

桩基作为建筑工程的核心承重构件，其承载力检测精度直接关乎工程结构安全与稳定性。高应变与静载试验因各自独特的技术优势，成为桩基承载力检测的主流手段。然而实践中二者检测结果常存在显著偏差，这一问题不仅干扰桩基工程质量评定的科学性，还可能为工程安全埋下隐患。明确二者结果差异的核心成因，探索切实可行的修正路径，是当前桩基检测领域亟待解决的关键课题，对提升工程检测可靠性、保障工程结构安全具有重要现实意义。

## 1 高应变与静载试验结果差异的核心成因分析

### 1.1 试验原理与荷载施加机制差异

高应变与静载试验的核心原理存在本质区别，这种区别直接决定了检测过程中桩基受力状态的根本性不同，进而成为结果偏差产生的核心源头之一。静载试验以稳态加载为核心技术特征，加载过程遵循分级匀速的基本原则，通过逐步增加荷载并给予充足的稳定时间，使桩基及周边土体能够充分发生力学响应，包括土体的压缩、剪切变形以及桩身的应力传递等，最终获取桩基在静载作用下的极限承载力。其荷载传递过程与桩基在实际工程中承受上部结构荷载时的受力模式高度贴合，能够较为真实地反映桩基的长期承载性能。高应变试验则依托动态冲击加载机制，通过特定重量的重锤从预设高度自由下落冲击桩顶，产生瞬时性的冲击力，随后借助应力波在桩身及土体中的传播规律，通过专业分析软件反推桩基的承载力参数。该加载过程具有显著的瞬时性、动态性特点，荷载作用时间极短，桩基周边土体往往无法充分完成力学响应过程，土体的变形和强度发挥不充分，应力波在传播过程中还可能受到桩身缺陷、界面反射等因素干扰。两种荷载施加机制的差异，使得桩基在不同加载模式下的受力传递路径呈现明显不同，静载下桩身应力沿深度均匀传递且土体约束充分，动态冲击下则存在应力集中与传递滞后现象，土体约束条件也随之变化，这些差异共同作用最终引发检测结果的显著偏差。

### 1.2 桩基与土体动态力学特性偏差

高应变试验的动态加载环境会显著改变桩基及周边土体的力学特性，这种动态特性与静载试验所依赖的稳态力学特性形成明显偏差，成为两种试验结果差异的重要内在因素。在动态冲击作用下，土体作为典型的黏弹塑性材料，其力学参数会随加载速率的变化发生显著调整，其中黏滞性、弹性模量等核心参数的变化尤为突出，进而导致土体呈现出与静态条件下截然不同的抗剪强度和变形特性。动态加载下土体的抗剪强度往往会出现瞬时提升，而变形能力则相应降低，这种特性与静载下土体缓慢变形、强度逐步发挥的状态存在本质区别。与此同时，桩基材料在瞬时冲击荷载的作用下，其应力应变关系也会偏离静态受力状态，桩顶冲击部位及桩身截面突变处容易出现瞬时应力集中现象，这种局部应力集中可能导致桩身材料的力学响应出现非线性变化，甚至产生瞬时弹性变形叠加效应。而在静载试验过程中，桩基与土体始终处于稳态受力状态，荷载增加缓慢，桩身应力分布均匀，土体能够充分完成排水固结和变形发展，其力学特性更接近桩基在实际工程中的长期工作工况。这种动态与静态力学特性的根本性差异，使得两种试验对桩基承载力的评估依据产生本质区别，静载试验基于稳态受力下的极限变形和强度判定承载力，高应变试验则基于动态力学参数反推，最终导致两者检测结果出现明显偏差。

### 1.3 试验边界条件与场地环境影响

试验所处的边界条件与场地环境因素并非直接产生两种试验结果差异的源头，而是通过叠加效应进一步放大已有的差异，对检测结果的准确性产生显著干扰。边界条件方面，静载试验对加载反力装置的稳定性和刚度有着极高要求，常用的堆载法或锚桩法中，反力支撑体系的整体刚度、构件连接可靠性以及变形特性等，都会直接影响荷载施加的均匀性和准确性<sup>[1]</sup>。若反力体系存在刚度不足或变形过大的情况，会导致实际施加于桩顶的荷载无法精准匹配预设值，进而影响荷载-位移曲线的真实性。高应变试验则主要受桩顶约束条件、锤击点偏差以及

桩顶垫层设置等边界因素影响,桩顶约束过强或过弱都会改变应力波的传播特性,锤击点偏离桩顶中心则会产生偏心冲击,引发扭转应力波,导致应力波在桩身传播过程中出现反射、折射异常,使得采集到的应力波信号失真,影响后续承载力反演的准确性。场地环境方面,地下水水位的变化会直接改变土体的有效应力状态和抗剪强度参数,对两种试验的影响程度和作用机制存在明显差异。高水位环境下,动态冲击产生的孔隙水压力瞬时变化会加剧土体力学特性的波动,而静载试验中则主要表现为土体排水固结速率的变化。此外,场地周围的土体扰动情况。

## 2 基于成因导向的试验结果修正策略构建

### 2.1 基于试验原理差异的动态-静态参数转化修正

针对试验原理与荷载施加机制的本质差异,核心修正方向为建立动态与静态力学参数的精准转化模型,通过参数关联与算法优化实现两种试验结果的基准统一。结合两种试验的加载特性,引入加载速率影响系数,该系数需基于不同加载速率下的对比试验数据进行拟合确定,通过系统分析不同加载速率下桩基受力响应的关联规律,明确动态冲击荷载与稳态静荷载之间的等效关系,进而构建应力波参数与静载荷载-位移参数的一一对应关系。对于高应变试验数据,需以静载试验的稳态受力特征为基准进行系统性修正,重点补偿动态加载下土体力学响应不充分的影响,通过引入土体延迟变形修正项,修正因加载时间过短导致的承载力评估偏差。同时,优化高应变试验的反演算法,将静载试验中获取的桩基荷载传递实际规律融入算法模型,调整应力波传播速度、桩土相互作用系数等关键参数的取值标准,使动态反推的承载力更贴合稳态工况下的真实承载能力。

### 2.2 结合力学特性差异的土-桩相互作用模型校准

针对桩基与土体动态、静态力学特性的偏差,需通过土-桩相互作用模型的精准校准实现修正,核心思路是建立统一的力学特性评估基准,消除动态与静态工况下的参数差异。基于场地土体的物理力学参数,包括天然含水率、干密度、孔隙比等基础指标,建立考虑加载速率效应的动态本构模型,通过室内动态三轴试验、共振柱试验等手段,系统测定不同加载速率下土体黏滞性、弹性模量的变化规律,明确速率相关系数的取值范围,并将其纳入高应变试验的数据分析体系,实现对动态加载下土体力学参数的精准修正<sup>[2]</sup>。同时,通过室内试验获取不同工况下桩基材料的动态与静态应力应变关系,重点测定瞬时冲击荷载下桩身材料的弹性模量、泊松比等参数变化,建立桩基材料动态力学参数修正模型,修正高应变试验中桩基应力集中的影响偏差,确保桩身应力计算的准确性。对于静载试验数据,可适当引入动态力学特性的关联参数,优化承载力评估模型,通过补充动态-静态参数转化系数,使静载试验的承载力评估不仅考虑稳态受力特性,还能兼顾动态工况下的力学响应

差异。通过这种双向校准的方式,使两种试验的评估依据形成统一基准,有效降低力学特性差异带来的结果离散,提升检测结果的一致性。

### 2.3 统筹边界与环境因素的试验条件标准化修正

针对试验边界条件与场地环境的影响,需通过规范试验条件、引入环境修正系数的方式实现系统修正,从试验实施环节消除外部因素对结果差异的放大效应。边界条件方面,首先明确静载试验反力支撑体系的刚度标准与安装要求,根据试验桩的预估承载力确定反力装置的最小刚度值,采用刚度校核计算确保反力体系在最大荷载下的变形量控制在允许范围内,并建立反力装置变形的补偿计算方法,通过实时监测反力装置的变形数据,对施加于桩顶的实际荷载进行修正。对高应变试验则重点规范桩顶约束条件、锤击点定位标准,明确桩顶垫层的材料类型、厚度及铺设要求,确保锤击力的均匀传递,避免偏心冲击;同时优化应力波传播路径的修正算法,引入桩顶约束修正系数和锤击偏心修正系数,对采集到的应力波信号进行预处理,减少反射、折射异常导致的数据失真。场地环境方面,根据地下水水位变化规律,结合不同土层的渗透性参数,建立不同水位条件下的土体力学参数修正公式,通过现场水位监测数据实时调整修正系数,补偿水位变化对土体有效应力和抗剪强度的影响<sup>[3]</sup>。针对土体扰动情况,划分扰动等级并设定对应的承载力修正系数,通过前期场地勘察明确土体扰动范围和程度,对处于扰动区域内的试验桩进行针对性修正。通过统一试验条件与环境影响补偿,系统性削弱边界与环境因素对两种试验结果的放大效应,提升检测数据的可比性。

## 3 修正策略的实践验证与应用优化

### 3.1 多工况试验验证体系构建

为保障修正策略的有效性和普适性,需构建覆盖不同地质条件、桩型参数的多工况试验验证体系,通过系统性的现场试验获取数据支撑,全面检验修正策略的适配性。试验场地选取需兼顾典型性与复杂性,涵盖黏性土、砂土、碎石土等不同土类场地,同时纳入地下水富集区域、土体分层不均场地、既有扰动场地等复杂环境,确保试验工况能够反映实际工程中常见的场地条件<sup>[4]</sup>。桩型参数方面,针对不同直径、不同长度、不同施工工艺的桩基开展试验,包括预制桩、钻孔灌注桩等主流桩型,覆盖不同承载力等级的桩基范围。试验实施过程中,对同一试验桩同步开展高应变与静载试验,严格控制试验条件,确保两种试验的桩身状态、场地环境保持一致,分别采集未修正与经修正后的两组承载力数据。通过对比分析修正后高应变试验数据与静载试验基准数据的契合程度,重点验证动态-静态参数转化、土-桩相互作用模型校准、边界环境修正等策略的实际效果。同时,重点关注复杂场地环境下的验证效果,排查修正策略在特殊工况下的适用边界,分析修正效果不佳的具体原因,为后续修正策略的优化完善提供详实的数据支撑,确保修

正策略能够在不同实际工况下均能有效缩小两种试验结果的偏差。

### 3.2 试验数据对比与修正效果评估

基于多工况试验获取的数据集，建立系统的对比分析框架，开展修正效果的量化评估，明确各修正策略的实际作用效果，为策略优化提供依据。评估体系从数据偏差程度、离散性、稳定性三个核心维度构建，偏差程度通过修正后高应变试验结果与静载试验基准结果的差值及相对误差进行表征，离散性通过同一工况下多次试验修正结果的标准差、变异系数进行衡量，稳定性则通过不同工况下修正效果的波动幅度进行评估。通过对比分析，明确各修正策略对不同成因偏差的补偿效果，判断动态-静态参数转化策略、土-桩相互作用模型校准策略等分别对哪种类型的偏差修正效果更为显著<sup>[5]</sup>。针对验证过程中出现的偏差异常情况，建立问题追溯机制，从修正模型参数设置、试验条件控制、数据采集精度等多个环节排查问题根源，

判断是修正模型参数设置不合理导致修正不足或过度修正，还是试验条件控制存在疏漏导致数据失真。基于评估结果，建立修正效果评估指标体系，制定不同工况下修正策略的适配性判定标准，筛选出适配不同地质条件、不同桩型的最优修正方案组合，进一步提升修正策略的针对性与可靠性，确保修正后的试验结果能够准确反映桩基的真实承载力水平。

## 4 结语

高应变与静载试验结果差异源于试验原理、力学特性、边界环境及设备操作多方面因素叠加。基于成因构建的多维度修正策略，经多工况验证可有效缩小差异，提升检测一致性。后续可聚焦复杂地质与特殊桩型的修正模型细化，结合智能化检测技术优化参数反演精度，推动修正体系的标准化与精细化发展，为桩基工程质量检测提供更坚实的技术支撑，助力提升工程结构安全保障水平。

## 参考文献:

- [1] 付李文.高应变法检测大直径灌注桩单桩竖向承载力适用性探讨[J].建材发展导向,2025,23(21):22-24.
- [2] 何结华.高应变检测技术在预制桩承载力评估中的应用研究[C]//江西省工程师联合会.第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集(二).江苏省海洋地质调查院,2025:237-240.
- [3] 林杰昶.静载试验法与高应变法在桩基检测中的综合比较研究[J].工程建设,2025,57(04):81-86.
- [4] 霍攀,王勇.静载试验和高应变法在桩基承载力检测中的对比试验[J].石材,2024,(07):105-107.
- [5] 吴紫盛.浅谈高应变曲线拟合法在预应力管桩中的应用[J].江西建材,2023,(10):119-121.