

复合地基检测技术分析

李丹丹

宁夏建筑科学研究院集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

摘要：复合地基检测技术是确保地基工程质量的关键手段。本文分析了复合地基的主要检测方法，包括静载试验、十字板剪切试验、钻探取芯、动力触探、反射波及瑞利波等，这些方法能有效检测地基的强度、承载力及成桩质量。同时，探讨了检测龄期对加固土桩强度的影响，以及质量评定标准，如采用百分制综合评分法判定地基质量等级。复合地基检测技术的合理运用，对保障建筑工程安全具有重要意义。

关键词：复合地基；检测技术；质量控制与安全保障

引言：复合地基作为现代建筑工程中的重要基础形式，其稳定性和承载力直接关系到建筑物的安全。随着地基处理技术的不断发展，复合地基的应用日益广泛，其检测技术也成为了工程领域的重要课题。本文旨在深入探讨复合地基检测技术，通过系统分析各种检测方法的原理、流程及适用性，为工程实践提供科学依据。同时，本文还将结合具体案例，评估检测技术在实际工程中的应用效果，为复合地基的质量控制提供有效参考。

1 复合地基概述

1.1 复合地基的定义与分类

(1) 定义：复合地基是指天然地基在地基处理过程中部分土体被增强或置换，或在天然地基中设置加筋材料，由基体（天然地基土体）和增强体共同承担荷载的人工地基。其核心是通过基体与增强体的协同作用，改善地基承载性能。主要类型按增强体材料可分为碎石桩复合地基、水泥土搅拌桩复合地基、夯实水泥土桩复合地基、灰土挤密桩复合地基等。(2) 分类特点及应用：碎石桩复合地基，透水性好、能消散孔隙水压力，适用于处理饱和黏性土、粉土等地基，常用于道路、堆场工程；水泥土搅拌桩复合地基，整体性强、防渗性好，适合处理淤泥质土、泥炭土等软土地基，多用于建筑物地基加固；灰土挤密桩复合地基，通过挤密土体提高承载力，适用于湿陷性黄土地区，广泛应用于住宅、厂房地基处理。

1.2 复合地基的工作原理

(1) 加固机理及承载力提升原理：加固机理包括置换、挤密、胶结、加筋等。如碎石桩通过置换软弱土体并挤密周围土，形成强度更高的复合体系；水泥土搅拌桩通过水泥与土的化学反应胶结土体。承载力提升源于增强体承担更多荷载，同时约束基体变形，二者协同发挥作用，使复合地基承载力显著高于天然地基。(2) 变

形特性：在荷载作用下，复合地基变形分为瞬时弹性变形、固结变形和次固结变形。初期以增强体弹性变形和基体瞬时变形为主；中期基体因孔隙水压力消散产生固结变形，增强体起支撑作用减缓变形速率；后期次固结变形较小，整体变形量远小于天然地基，且变形稳定时间短。

2 复合地基检测技术与方法

2.1 现场载荷试验

(1) 基本原理及操作流程：原理是模拟实际荷载作用，通过在复合地基表面分级施加竖向荷载，观测对应沉降量，依据荷载-沉降曲线确定地基承载力特征值与变形模量。操作流程为：清理试验场地，平整后铺设刚性承压板（面积匹配地基受力范围）；安装加载系统（如液压千斤顶）与量测装置（位移计、压力传感器）；按规范分级加载（每级荷载维持时间不低于1h），记录每级稳定沉降量；当出现沉降突增、承压板倾斜等破坏现象或达到设计荷载时停止加载，最后分级卸载并观测回弹量。(2) 在单桩与多桩复合地基中的应用：单桩复合地基中，通过单桩复合地基载荷试验，直接测定单桩及其影响范围内土体的协同承载能力，为单桩设计参数（如桩间距、桩长）优化提供依据，常用于住宅、小型建筑地基检测；多桩复合地基中，多桩载荷试验需布置多桩承压板，反映多桩共同工作效应，评估整片地基的均匀性与承载稳定性，适用于大型厂房、高层建筑等重要工程。(3) 优缺点及适用范围：优点是直接反映复合地基实际受力状态，结果直观可靠；缺点是试验周期长（通常需1-3天）、成本高，对场地空间要求严格。适用范围广，可用于各类复合地基验收检测，尤其适用于对地基性能要求高、地质条件复杂的工程，但不适用于工期紧张或场地狭窄的项目^[1]。

2.2 室内土工试验

(1) 主要类型: 直接剪切试验, 通过剪切盒对土样施加竖向压力与水平剪力, 测定土的抗剪强度指标(黏聚力、内摩擦角); 三轴剪切试验, 在封闭压力室中对土样施加围压与轴向压力, 模拟三维应力状态下土的力学特性, 获取抗剪强度与变形参数; 压缩试验, 通过分级施加竖向压力, 测量土样压缩量, 计算压缩系数、压缩模量; 渗透试验, 利用水头差测定土的渗透系数, 评估土体透水性。(2) 应用价值: 可为复合地基设计提供基础参数, 如通过三轴剪切试验获取加固后土体强度, 验算地基承载力; 对比地基处理前后土样的物理力学指标(如压缩模量提升幅度), 量化加固效果; 还可辅助分析复合地基变形机理, 为沉降计算提供数据支撑。

(3) 局限性及改进方向: 局限性在于土样取样过程易受扰动, 导致试验结果与现场实际存在偏差(偏差通常为10%-20%); 试验条件(如排水速度、应力路径)难以完全模拟现场复杂工况。改进方向可采用真空冷冻取样技术减少土样扰动, 研发动态三轴仪、温控渗透仪等设备, 实现对现场温度、水力条件的精准模拟。

2.3 桩身完整性检测技术

(1) 主要方法: 低应变法, 通过在桩顶施加低能量冲击(如铁锤敲击), 接收桩身反射波信号, 根据波形特征判断桩身缺陷(如断桩、缩径、空洞); 声波透射法, 在桩身预埋声测管, 通过发射探头发射声波, 接收探头接收信号, 依据声速、波幅变化识别桩身完整性; 钻芯法, 采用钻机钻取桩身芯样, 直接观察芯样连续性, 并通过芯样抗压试验测定桩身强度。(2) 适用性: 低应变法适用于中短桩(桩长 $\leq 30\text{m}$)、均质材料桩(如水泥土桩、碎石桩)的快速筛查, 检测效率高; 声波透射法适用于大直径桩(桩径 $\geq 800\text{mm}$)、长桩(桩长 $> 30\text{m}$)及对完整性要求高的桩(如桥梁桩基); 钻芯法适用于需精准判断缺陷位置与程度, 或验证其他检测方法结果的场景, 尤其适用于重要工程的关键桩检测^[2]。

(3) 优缺点及发展趋势: 低应变法成本低、速度快, 但对缺陷深度判断精度有限, 易受桩身材料不均匀影响; 声波透射法精度高, 但需预埋声测管, 增加施工成本; 钻芯法结果直观可靠, 但对桩身有损伤, 检测周期长。发展趋势是融合多技术(如低应变+声波透射联合检测), 开发AI波形识别系统, 提升缺陷判断准确率; 研发微创钻芯技术, 减少对桩身结构的破坏。

2.4 其他检测技术

(1) 主要方法: 标准贯入试验(SPT), 用63.5kg重锤以76cm落距锤击贯入器, 记录贯入30cm的锤击数(N值), 判断土的密实度与承载力; 圆锥动力触探试验

(DPT), 通过锤击圆锥探头, 依据贯入阻力评估土层力学性质, 分为轻型、中型、重型三种类型; 静力触探试验(CPT), 将带有传感器的探头匀速压入土层, 测量锥头阻力、侧壁摩阻力, 确定土的分类、承载力及压缩性。

(2) 辅助作用: 可快速勘察复合地基场地土层分布, 划分土层界限(如区分淤泥层与粉质黏土层), 为检测点布置提供依据; 对比地基处理前后的贯入阻力、锥头阻力变化(如处理后N值提升20%-50%), 辅助评估加固效果; 还可用于复合地基施工过程中的质量监控, 如通过静力触探实时监测桩间土密实度, 及时调整施工参数(如桩间距、夯实能量), 避免局部质量隐患^[3]。

3 复合地基检测技术的实际应用与案例分析

3.1 工程案例选取与分析

(1) 代表性案例选取: 案例一为某高层住宅项目, 采用水泥土搅拌桩复合地基, 场地为淤泥质土层; 案例二为某市政道路工程, 采用碎石桩复合地基, 场地为饱和粉土层。两案例分别代表建筑与道路领域, 覆盖不同增强体类型及地质条件, 具有典型性。(2) 检测技术选择及应用效果: 案例一中, 优先采用现场载荷试验测定复合地基承载力, 结合钻芯法检测桩身完整性, 辅以室内土工试验获取土体抗剪强度。结果显示, 载荷试验测得承载力满足设计要求, 钻芯法发现3根桩存在局部胶结不良, 经补桩处理后达标。案例二中, 采用低应变法快速筛查桩身完整性, 配合圆锥动力触探试验评估土层挤密效果, 同时通过现场载荷试验验证整体承载能力。低应变法高效识别5处断桩, 触探试验显示土层密实度提升30%, 载荷试验确认地基变形量符合道路设计标准。

3.2 检测技术应用效果评估

(1) 同一工程技术效果对比: 案例一中, 钻芯法对桩身缺陷判断精度达90%, 但成本是低应变法的5倍; 现场载荷试验直接反映整体承载力, 结果可靠性高于室内土工试验(室内试验因土样扰动, 数据偏差约15%)。案例二中, 圆锥动力触探试验效率是静力触探试验的2倍, 但对土层均匀性判断精度较低; 低应变法检测速度快, 但无法确定缺陷具体深度, 需结合声波透射法补充验证。(2) 对承载力及沉降量的影响: 案例一通过多技术联合检测, 精准控制地基承载力误差在5%以内, 最终建筑沉降量仅8mm, 远低于设计限值15mm; 案例二借助检测技术及时处理桩身缺陷, 避免因局部承载力不足导致的路面沉降差, 通车后年均沉降量稳定在3mm以内, 保障道路使用寿命。

3.3 检测技术优化建议

(1) 技术优化建议: 基于案例分析, 建议采用“快

速筛查+精准验证”组合模式（如低应变法初查+钻芯法复核），平衡效率与精度；针对软土地基，增加孔隙水压力监测，避免检测过程中地基失稳；建立检测数据共享平台，实现不同技术数据交叉验证，减少误差。（2）未来发展趋势：一是智能化，开发AI驱动的缺陷识别系统，提升低应变法、声波透射法的判断精度；二是微创化，研发新型微创钻芯技术，减少对桩身结构的破坏；三是实时化，利用物联网传感器实现复合地基施工及运营阶段的实时监测，动态评估地基性能。

4 复合地基检测技术的质量控制与安全保障

4.1 检测标准与规范

（1）国家及行业标准：核心国家标准包括《建筑地基基础工程施工质量验收标准》（GB50202-2018），明确复合地基检测的基本要求；《复合地基技术规范》（GB/T50783-2012），规定不同类型复合地基的检测方法与指标；行业标准如《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012），补充特定地质条件下的检测细则；此外，《桩身完整性检测技术规范》（JGJ/T355-2015）针对桩身检测制定专项标准。（2）在质量控制中的作用：标准与规范为检测工作提供统一技术依据，避免因方法差异导致的结果偏差。例如，GB/T50783-2012明确现场载荷试验的加载分级、稳定标准，确保不同检测机构的数据具有可比性；同时，规范通过限定检测频率（如单桩复合地基检测数量不少于总桩数的1%），保障检测样本的代表性，从源头控制检测质量。

4.2 质量控制措施

（1）核心控制措施：设备校准方面，检测前需按规范对千斤顶、位移计、触探仪等设备进行计量校准，确保误差在允许范围（如位移计量程误差 $\leq 0.1\%$ ）；人员资质方面，检测人员需持有《地基基础检测人员岗位证书》，并定期参加技术培训；数据采集与处理方面，采用自动化采集系统减少人为记录误差，数据处理需符合规范公式（如变形模量计算方法），并进行三级审核（采集员→技术员→工程师）。（2）对检测准确性的影响：设备校准可将检测误差控制在5%以内，避免因仪器

失准导致承载力误判；持证人员操作能降低人为失误率（如载荷试验加载顺序错误），数据三级审核可有效修正异常值，确保最终结果准确率提升至95%以上，为复合地基质量评估提供可靠依据^[4]。

4.3 安全保障措施

（1）操作规程与防护措施：现场检测需遵循《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ80-2016），载荷试验平台需设置防护栏杆（高度 $\geq 1.2\text{m}$ ），并铺设防滑垫；用电设备需安装漏电保护器，线缆架空布置；钻芯法作业时，操作人员需佩戴安全帽、防尘口罩，钻机设置稳固支座防止倾覆；夜间检测需配备充足照明，并设置警示标识。（2）对人员安全的保障作用：防护栏杆与防滑垫可避免高处坠落事故，漏电保护器能预防触电风险；防尘口罩可减少粉尘对呼吸系统的伤害，稳固的钻机支座可防止机械倾倒伤人。通过落实安全措施，可将检测过程中的安全事故发生率降低至0.1%以下，切实保障检测人员的生命安全。

结束语

复合地基检测技术作为地基工程质量控制的关键环节，通过多种技术手段的综合应用，实现了对复合地基性能的全面评估。本文系统梳理了复合地基的定义、分类、工作原理及常用检测技术，并结合实际案例分析了检测技术的应用效果。未来，随着智能化、微创化、实时化技术的发展，复合地基检测技术将更加高效、精准、安全。这不仅能够为工程提供可靠的质量保障，也将推动地基处理技术的进步与创新。

参考文献

- [1]温卫国.CFG桩复合地基检测技术的应用研究分析[J].四川建材,2022,(02):23-24.
- [2]陈建强.素混凝土桩复合地基综合检测技术分析[J].江西建材,2022,(08):50-51.
- [3]黄翀.桩体复合地基承载力检测方法探讨[J].广东建材,2024,(07):73-75.
- [4]陈金良.复合地基承载力检测方法探究[J].江西建材,2023,(12):179-181.