

住宅建筑 CFG 桩复合地基承载力检测方法与结果分析

文 / 雷 锦 广东稳固检测鉴定有限公司

摘要：本文针对住宅建筑 CFG 桩复合地基承载力检测问题，阐述 CFG 桩复合地基的技术原理与结构特性，重点分析静载试验、动力触探与低应变检测、无损检测等核心检测方法的原理、操作流程及适用场景。结合某剪力墙结构住宅项目案例，通过现场静载荷试验验证 CFG 桩复合地基的承载性能，试验结果显示复合地基承载力特征值达 320kPa，满足设计要求，且桩-土协同作用良好。研究表明，综合运用传统检测与无损检测技术可全面评估地基质量，为住宅建筑地基工程的安全可靠性提供科学依据。

关键词：CFG 桩；复合地基；承载力检测；静载试验

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.015

引言

随着我国城镇化进程的加速，住宅建筑对地基承载性能的要求日益严苛。软土、粉土等复杂地质条件下，传统地基处理技术常面临沉降控制难、承载力不足等问题，严重影响建筑结构安全与使用寿命^[1]。CFG 桩（水泥粉煤灰碎石桩）复合地基作为一种经济高效的地基处理方案，通过桩体与桩间土的协同承载作用，可显著提升地基刚度并控制沉降，在住宅建筑中应用广泛^[2]。本文基于 CFG 桩复合地基的技术原理，系统梳理静载试验、动力触探、低应变检测及无损检测等多维度检测手段，结合工程案例分析其实际应用效果，为住宅建筑地基承载力检测提供科学、高效的技术路径，保障工程建设的安全性及经济性。

一、CFG 桩复合地基技术原理与结构特性

CFG 桩是一种由水泥、粉煤灰、碎石及水按特定比例混合而成的半刚性桩体，通过振动沉管或长螺旋钻机成孔后灌注形成。桩体材料的高强度特性使其直接承担上部荷载，并通过桩身压缩变形传递至桩端持力层；桩顶铺设的褥垫层（通常为 150-300mm 厚碎石）通过变形协调作用，将部分荷载转移至桩间土，形成桩-土共同承载体系；碎石的透水性促进桩间土排水固结，提高地基整体刚度。该技术尤其适用于软土、粉土、砂土等地质条件，在住宅建筑中可有效控制沉降（总沉降量通常小于 50mm）并提升地基承载力特征值至 200-500kPa^[3]。

二、住宅建筑 CFG 桩复合地基承载力检测方法

（一）静载试验

静载试验是 CFG 桩复合地基承载力检测的核心方法，其核心原理是通过逐级施加荷载至桩顶，模拟实际工程中地基的受力状态（图 1），并实时记录荷载与沉降的对应关系。

试验过程中需采用反力系统提供稳定荷载，通常包括锚桩法或堆载平台，其中堆载平台需确保堆载量足够覆盖最大试验荷载。加载装置一般采用液压千斤顶，配合高精度压力传感器实时监测荷载值，确保加载过程的可控性。沉降测量则通过位移传感器完成，传感器需固定于桩顶中心位置，避免因偏心加载导致数据偏差^[4]。

试验中需严格遵循分级加载规范，首级加载量通常为设计值的较小比例，后续每级增量逐步调整，每级荷载维持一定时间以观察沉降稳定性。终止加载的条件包括沉降量突增、总沉降量超过限定值或荷载达到设计值的倍数要求，确保试验安全并获取可靠的承载力特征值。

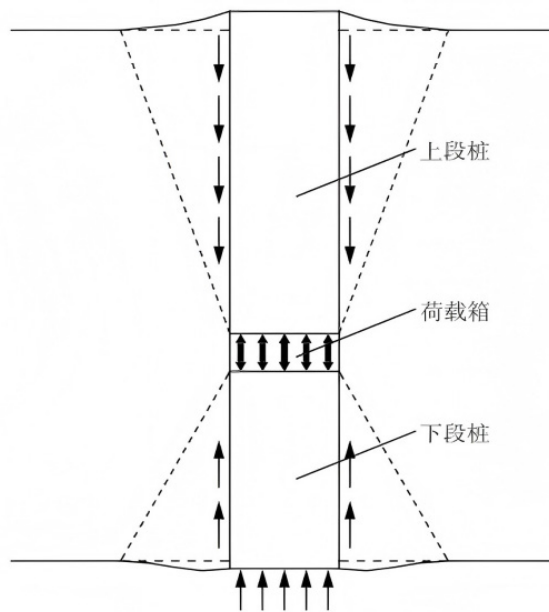


图 1 静载试验荷载传递

（二）动力触探与低应变检测

动力触探与低应变检测是 CFG 桩复合地基承载力检测的快速辅助手段，二者通过不同物理原理评估桩身完整性及承载性能。动力触探（DPT）利用标准重锤自由落体冲击桩顶，通过记录贯入一定深度所需的锤击数间接反映桩身强度，锤击数与桩体材料密实度呈正相关，适用于初步筛查桩身缺陷区域。低应变动力试桩（PIT）则基于应力波反射原理，通过在桩顶施加瞬态冲击力，利用加速度传感器采集桩身各界面反射的应力波信号，分析波速、频率及能量衰减特性，从而识别桩身缩颈、离析或断裂等缺陷。低应变检测对桩顶处理要求较高，需清除浮浆并保持表面平整，以确保应力波传播路径的准确性。两种方法操作简便、效率高，但动力触探更侧重

桩身整体强度评估，低应变检测则对局部缺陷的定位精度更高，二者常结合使用以提高检测结果的可靠性。

(三) 无损检测技术

无损检测技术为CFG桩复合地基承载力检测提供了非破坏性评估手段，主要包括红外热像检测与超声波透射法。红外热像检测通过红外热像仪扫描桩身表面温度场，利用桩体与缺陷区域热传导性能的差异识别内部缺陷，如混凝土离析或空洞会导致局部温度异常，该方法无需接触桩体且检测速度快，但对环境温度变化敏感，需在稳定条件下进行。超声波透射法通过在桩内预埋声测管，向桩身发射高频超声波并接收透射或反射信号，分析声波传播时间、波幅及主频变化，可精确判定桩身完整性及缺陷位置，尤其适用于长桩或深桩的检测。超声波检测对桩身混凝土均匀性要求较高，需确保声测管平行且无堵塞，检测过程中需多次重复测试以排除干扰因素^[5]。无损检测技术虽无法直接测定承载力，但能有效补充传统检测方法的不足，为桩身质量评估提供多维数据支持。

三、案例分析

(一) 工程概况

某建筑项目采用剪力墙结构，基础形式为筏板基础，地下一层，地上层数经设计优化后确定。地基处理方式选用CFG桩复合地基，桩体直径400mm，间距2m，呈正方形布桩，有效桩长约18m，以卵石层作为持力层。桩身混凝土强度等级设计为C25，施工阶段根据实际需求对总桩数进行了增补，部分新增桩体分别布置于基础内部及北侧外部区域。场地位于山前丘岗地貌单元，地形整体起伏较小，地势开阔平坦，交通便捷，周边环境无复杂干扰因素，该项目地质调查情况见表1所示。勘探范围内未发现地下水分布，故地基施工无需考虑地下水影响。场地环境分类为II类，地基土对混凝土结构及钢筋混凝土中的钢筋存在一定腐蚀作用。场地及周边区域不存在岩溶、采空区、地面沉降等不良地质现象，亦无古河道、孤石等影响地基稳定性的隐患。

表1 地质地层分析表

土层编号	岩土名称	含水率 (%)	重度 (kN/m ³)	孔隙比	塑性指数	液性指数	压缩模量 (MPa)	地基承载力特征值 (kPa)
①	杂填土	21.5	17.8	0.82	-	-	4.2	85
②	淤泥质黏土	58.3	16.2	1.65	28.6	1.2	2.8	65
③	粉质黏土	26.7	18.6	0.78	15.4	0.62	6.5	145
④	全风化花岗岩	18.2	20.3	0.56	-	-	25	320

(二) 该建筑CFG桩复合地基承载力检测方法 with 结果

1. 复合地基载荷试验设计

为验证CFG桩复合地基的承载性能，本工程选取3个代表性桩位进行现场静载荷试验。试验采用慢速维持荷载法，装置采用主梁、次梁、锚头与植筋、千斤顶等协同工作的方式，满足试验荷载需求(图2)。

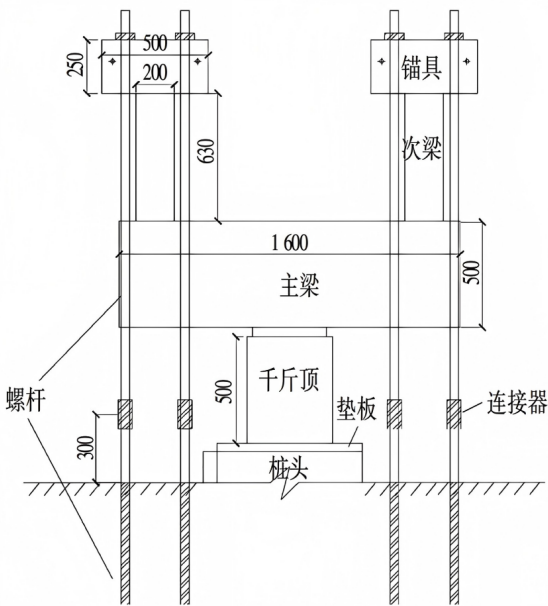


图2 静载荷试验加压装置

试验方案设计需综合考虑场地地质条件、桩体设计参数及规范要求，确保检测结果能真实反映复合地基的实际承载力。试验区域的选取需避开基础边缘及地质异常区域，优先选择桩身完整性好、施工记录完整的桩位，每个试验点间距不小于3倍桩径，且远离基坑开挖影响范围。试验前需对承压板尺寸、传感器精度及加载设备进行校验，确保符合《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)要求。

2. 复合地基载荷试验实施方法

试验加载分级按预估极限承载力的1/8~1/10设置，本次试验每级加载80kPa，最大加载压力达640kPa(为设计值的2倍)。加载过程中采用自动液压千斤顶稳压，每级荷载施加后需维持稳定，待沉降速率满足规范要求后再进行下一级加载。卸载阶段按加载级数的一半分级进行，每级卸载量为160kPa，卸载后间隔30分钟观测回弹量。荷载施加过程中需实时观察油压表读数及承压板沉降，确保加载速率均匀，避免瞬时荷载过大导致桩体损伤。卸载阶段重点记录回弹曲线特征，通过回弹量与残余变形的比值评估桩体弹性恢复能力，为后续承载力分析提供依据。

沉降观测采用高精度百分表，分别布置在承压板的对称位置，量程不小于50mm，精度0.01mm。加载初期(0~1小时)每5~15分钟读数一次，1小时后每30分钟观测一次，直至沉降稳定。稳定标准为连续两次观测沉降量差值小于0.1mm/小时，此时可判定该级荷载下地基达到稳定状态。

观测数据需实时记录并绘制荷载-沉降(Q-S)曲线,重点关注曲线拐点及斜率变化。当荷载达到设计值320kPa时,需延长观测时间,确保沉降稳定后再继续加载。卸载阶段每级荷载下观测回弹量,最终计算回弹率及残余变形,评估地基的变形恢复特性。

试验终止条件需满足以下任一情况:承压板累计沉降量超过其宽度的6%;荷载-沉降曲线出现明显陡降段,沉降速率突增;桩间土出现挤出或承压板周边隆起;最大加载压力达到设计值的2倍且沉降仍稳定增长。本次试验中,当荷载加至640kPa时,沉降量未达到终止标准,故按最大加载值控制试验结束。终止加载后需持续观测3小时,记录残余变形量。若沉降仍未稳定,需延长观测时间至24小时,确保获取完整的变形数据。试验终止后及时整理设备,避免基坑暴露时间过长影响数据准确性。

3. 试验结果分析

该工程复合地基载荷试验结果见图3-图5所示。

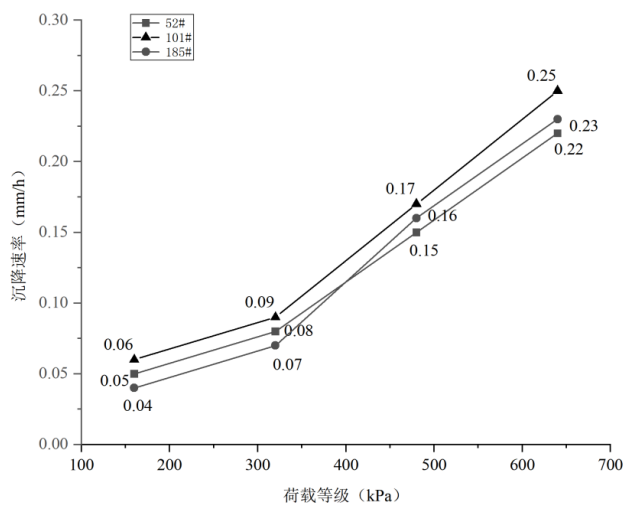


图3 不同荷载等级下的沉降速率对比

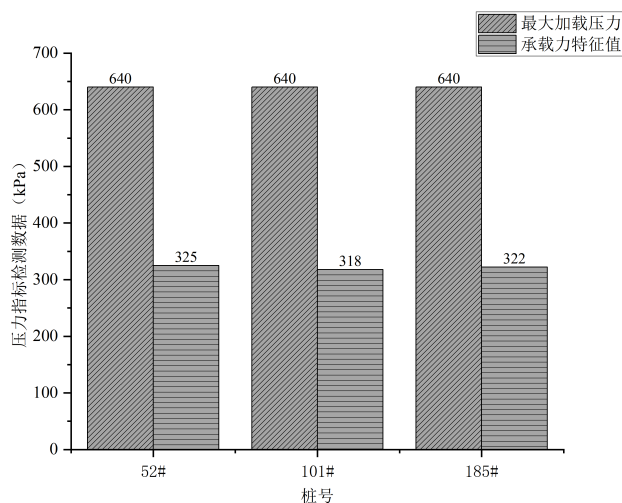


图4 不同压力指标检测数据

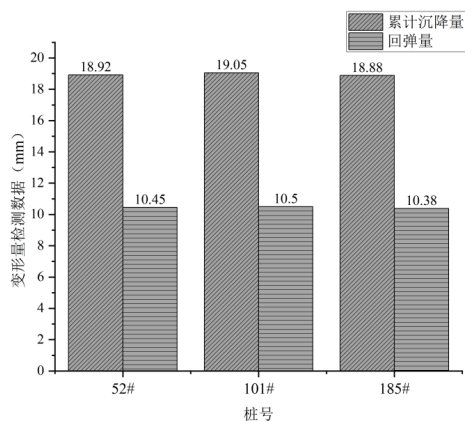


图5 变形量检测数据

通过对3个试验点的Q-S曲线分析,复合地基在加载过程中沉降随荷载增长呈非线性变化,初始阶段(荷载 ≤ 320 kPa)沉降速率较慢,曲线斜率平缓;当荷载超过480kPa后,沉降速率加快,曲线曲率增大。卸载后平均回弹率为55.12%,残余变形量较小,表明地基具有较好的弹性恢复能力。3个试验点的承载力特征值分别为325kPa、318kPa、322kPa,平均值321.7kPa,极差为7kPa,未超过平均值的30%,故综合判定该工程复合地基承载力特征值为320kPa,满足设计要求。试验结果同时显示,桩间土与增强体协同作用良好,荷载传递均匀,验证了CFG桩复合地基在该场地的适用性。

结语

综合分析表明,CFG桩复合地基通过桩体高强度特性与褥垫层的变形协调作用,可有效形成桩-土共同承载体系,适用于软土、粉土等复杂地质条件下的住宅建筑地基处理。工程案例验证显示,采用“静载试验+辅助检测”的综合方案,不仅可确保承载力检测结果的可靠性,还能全面反映地基整体性能。因此,在实际工程中,根据地质条件、项目需求及检测成本科学选择检测方法组合,可以精准评估CFG桩复合地基的质量,为住宅建筑的安全运营奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 谢山杰. CFG桩复合地基在宁德沿海深厚软基处理中的应用[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(05): 131-133.
- [2] 李洪远. 住宅建筑工程CFG桩复合地基承载力的检测分析[J]. 中国住宅设施, 2024, (04): 73-75.
- [3] 罗春旺. 静载试验在水泥搅拌桩复合地基承载力检测中的应用分析[J]. 交通世界, 2023, (30): 62-65.
- [4] 张洛, 杨彦飞, 杜珊, 等. CFG桩复合地基的设计及检测试验分析[J]. 四川水泥, 2023, (04): 77-79.
- [5] 宋德朝, 郑燕, 常勤慧, 等. CFG桩复合地基质量问题的检测与分析[J]. 岩土工程技术, 2023, 37(03): 314-319.

作者简介:雷锦(1996.08--),男,广东省雷州市人,本科,助理工程师,主要研究方向:工程地基、桩基检测。