

既有建筑地基基础加固中微型钢管桩 承载特性与施工控制技术

李 梦

(山东晓晨建筑工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 本研究基于微型钢管桩的力学特性, 分析不同地基条件下的承载性能, 并探讨长期荷载作用下的变形规律, 针对施工过程中可能出现的质量问题, 提出优化的施工控制技术, 并结合现场试验数据验证加固效果。研究表明, 合理的施工参数控制可显著提升地基承载力并降低沉降风险。微型钢管桩在复杂地质条件下的应用具有良好的工程价值, 以期为既有建筑地基加固提供科学依据和实践指导。

关键词 既有建筑; 地基基础加固; 微型钢管桩; 承载特性; 施工控制技术

中图分类号: TU473.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.005

0 引言

我国城市化进程不断加快, 既有建筑使用年限延长, 地基基础病害问题日益凸显, 影响结构安全和使用功能。地基不均匀沉降、承载力不足等问题需要采取有效的加固措施。微型钢管桩因其施工扰动小、承载性能优越、适用范围广, 成为既有建筑地基加固的重要技术之一。不同地质条件对微型钢管桩的承载力影响较大, 合理的施工工艺和质量控制技术对加固效果至关重要。研究微型钢管桩的承载特性与施工控制技术, 有助于提升既有建筑地基加固的可靠性和安全性, 为工程实践提供技术支持。

1 微型钢管桩的承载特性分析

1.1 微型钢管桩的力学性能

微型钢管桩是一种小直径和高强度的桩基加固方式, 其承载性能主要取决于桩身材料特性、桩径、桩长、施工工艺及桩土相互作用。钢管桩通常采用 Q345B 或 Q235 钢材制造, 具有较高的抗压以及抗拉和抗弯强度, 可以有效承受竖向荷载和水平荷载。桩体内可根据灌注高强度水泥浆形成复合桩体, 进一步增强承载能力。微型钢管桩的承载机理包括端承作用和侧阻作用, 其中端阻力主要取决于桩端与地基土的接触面积, 土体强度侧阻力则由桩侧摩阻力提供。研究表明, 在竖向荷载作用下, 桩身变形呈现非线性特征, 荷载传递路径受到土体密实度及桩侧摩阻变化的影响。考虑到钢管桩的受力特性, 需要合理选择桩径和桩长及施工工艺, 以保障桩基在长期使用过程中具备足够的承载能力和稳定性 (见图 1)。

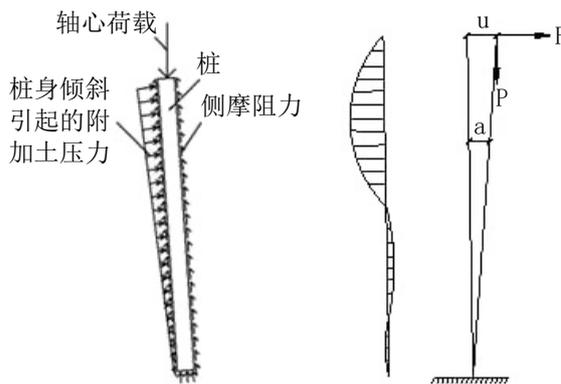


图 1 微型钢管桩受力示意图

1.2 微型钢管桩在不同地基条件下的承载表现

微型钢管桩在不同地质条件下的承载力表现存在显著差异。砂土层由于颗粒排列松散, 桩侧摩阻力主要由砂粒与桩身表面的接触摩擦提供, 承载力随桩深增加呈指数增长, 但当桩长超过一定范围后端阻力提升有限, 表现出“极限承载力”特征。在饱和软黏土条件下, 桩侧摩阻力受负摩擦效应影响, 桩体可能因土体沉降而承受额外荷载, 施工过程中应采取预压或注浆加固措施以提高侧阻力。回填土或杂填土地基中由于地层不均匀性导致桩身受力复杂, 局部存在承载力突变现象, 可能引起桩体偏斜或沉降超限。采用合理的灌浆压力和桩间距及施工工艺, 可优化微型钢管桩在复杂地基条件下的承载表现, 提高整体稳定性。不同地基条件下需要结合土体参数确定桩基布置方式及设计参数, 以保障微型钢管桩的可靠承载能力^[1]。

1.3 微型钢管桩的长期承载性能与变形分析

微型钢管桩长期受力性能主要受施工质量 and 荷载特性以及地基沉降及环境因素影响。长期荷载作用下,钢管桩可能因桩身材料疲劳和土体蠕变及地下水位变化等因素产生承载力衰减。桩体变形规律通常表现为短期刚性变形和长期塑性变形并存,在软土地基中这一趋势尤为明显。试验监测结果表明,在饱和黏土地层中,微型钢管桩的沉降曲线呈现缓慢增长态势,数月甚至数年后仍可能出现额外沉降。地基土的剪切强度和孔隙水压力变化对桩基变形具有显著影响,特别是在高地下水位区域,长期浸泡可能导致钢管桩腐蚀及强度下降,影响整体承载力。针对长期承载性能优化,可采用外涂防腐层和注浆强化桩侧摩阻力以及设置桩端扩底等措施,提升长期稳定性。长期变形监测对微型钢管桩应用至关重要,可借助静载试验、分布式光纤传感等技术跟踪变形规律,优化施工参数与加固策略,以保障桩基长期安全运行^[2]。

2 既有建筑地基基础加固中微型钢管桩施工控制技术

2.1 施工工艺流程与关键技术

微型钢管桩施工工艺主要包括场地准备和测量放线以及成孔和插桩与注浆还有养护及质量检测等环节,每个环节对桩基承载能力和稳定性均有直接影响。场地准备阶段需要清理施工区域,并进行地质勘察明确地下水位和土层分布及周边建筑情况,为施工提供基础数据。测量放线阶段需使用全站仪精确放样,保障桩位符合设计要求并考虑既有建筑基础位置,避免施工过程中对原结构产生不利影响。成孔阶段采用旋喷钻进以及冲击钻进或螺旋钻进等方式,根据地质条件选择适合地钻进工艺,控制钻孔直径和孔壁稳定性及钻进速度,避免塌孔或偏位现象。插桩工序中钢管桩需垂直插入孔内,并保障底端与持力层充分接触,部分软弱地基可采用扩底技术增强端阻力^[3]。

注浆阶段是提升桩侧摩阻力和桩端承载力的关键工序,常采用一次或二次高压注浆工艺,浆液以水泥浆或水泥-膨润土浆为主,注浆压力一般控制在0.5~2.0 MPa,保障浆液充分渗透周围土体,提高桩土黏结力。在养护过程中,注浆后需保持适宜湿度,防止浆液过快失水导致强度降低,通常养护7~14天后进行承载力测试,以验证加固效果。质量检测包括声波透射法、静载试验及钻芯取样等方式,评估桩体完整性及承载力,保障施工质量满足设计要求。合理优化施工工艺,

可提高微型钢管桩的承载性能,减少地基沉降和结构变形,提升既有建筑加固的可靠性^[4]。

2.2 施工质量控制方法

施工质量直接影响微型钢管桩的承载能力和长期稳定性,在施工过程中需要建立全过程质量控制体系,保障各环节符合标准要求。钻孔施工质量控制重点在于孔径以及孔深及孔壁稳定性,钻孔直径偏差应控制在±5 mm以内,孔深偏差不超过2%,避免因钻孔误差导致桩基承载力降低。插桩阶段应保障钢管桩垂直度,垂直度偏差不得大于1%,避免桩身受力不均导致桩体弯曲或承载能力下降。

注浆施工质量控制包括浆液配比、注浆量及注浆压力的监测,常规水泥浆水灰比为0.45~0.55,浆液强度应达到C30以上,保证有足够的黏结力。注浆量控制在设计量的95%~105%范围内,注浆过程中监测压力变化,防止浆液渗漏或回流影响桩土结合质量。施工完成后,采用非破损检测手段进行桩体完整性检测,声波透射法检测结果表明,密实完整的桩体波速在3 500~4 200 m/s之间,若波速低于3 000 m/s,需进一步检查是否存在夹层、空洞等质量缺陷。静载试验是评估承载力的重要手段,微型钢管桩单桩竖向承载力通常控制在500~1500 kN范围内,试验荷载分级加载,沉降速率稳定后继续加载,最终承载力应满足设计要求。质量控制措施可有效减少施工误差,提升微型钢管桩的承载性能,为地基加固提供可靠保障^[5]。

2.3 施工安全与环境影响评估

施工安全管理涉及人员安全、机械设备运行及既有建筑结构安全,在施工过程中需要采取针对性措施,减少施工对周围环境的不利影响。微型钢管桩施工可能引发振动、噪声及地下水位变化,对周围建筑物产生不同程度的影响,需进行环境影响评估,优化施工工艺,降低不良影响,详见表1所示。

表1 不同工艺施工对环境的影响评估

施工工艺	振动强度 (mm/s)	噪声强 度(dB)	地下水位 变化(m)	对周围建 筑影响
旋喷钻进	0.8~1.2	75~85	0.3~0.5	轻微影响
冲击钻进	1.5~2.5	85~95	0.5~1.0	中等影响
螺旋钻进	0.5~1.0	70~80	0.2~0.4	轻微影响
高压注浆	0.3~0.7	60~75	0.8~1.5	轻微影响

3 微型钢管桩加固效果评估——某老旧商业建筑地基加固案例分析

3.1 工程概况与加固方案

某老旧商业建筑建成已有 30 余年，因长期使用导致地基承载能力下降，建筑物出现明显的不均匀沉降，部分区域沉降达到 15 mm，导致墙体出现裂缝，楼板产生弯曲变形，影响正常使用。地质勘察结果显示，建筑基础下部为软黏土层，厚度约为 5 m，持力层埋深约 10 m，现有地基承载能力不足，难以满足既有建筑结构的安全需求。由于建筑位于商业繁华区域，周边已有多个高层建筑，常规地基加固方式可能引发施工扰动，影响周边建筑安全。综合考虑施工便捷性、承载力提升需求和环境适应性，选用微型钢管桩作为加固方案，以提高基础承载能力，并控制不均匀沉降。设计采用桩径 100 mm 的微型钢管桩，桩长 8~12 m，桩间距 1.5 m，单桩竖向承载力标准值设定为 800 kN。在施工过程中，采用旋喷钻进成孔，并结合高压注浆技术，提高桩土结合质量，增强桩侧摩阻力。施工前进行详细测量放线，保障桩位精确，钻进过程中控制孔径与深度，避免塌孔和偏位。插桩后采用高压注浆，注浆压力控制在 0.8~1.5 MPa，保障浆液充分渗透软土，提高地基整体承载能力。施工后进行静载试验、变形监测和桩体质量检测，验证加固效果。

3.2 承载力提升效果分析

微型钢管桩施工完成后，为客观评估地基承载能力的提升效果，采用静载试验和原位地基承载力测试进行数据采集。静载试验依据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014)，采用慢速维持加载方式，根据逐级加荷测定微型钢管桩的极限承载力，并记录荷载—沉降曲线。地基承载力测试采用平板载荷试验，选取典型加固区和未加固区进行对比，测试承载力提高情况。桩侧摩阻力数据来源于高应变法测试，根据埋设应变计监测桩体受力变化，计算摩擦阻力的提升幅度。试验数据经过多次测量取平均值，以保障测试的可靠性和数据的代表性。测试数据如表 2 所示。

表 2 加固前后承载力对比

试验项目	加固前承载力 (kPa)	加固后承载力 (kPa)	提升幅度 (%)
地基承载力	120	320	166.7
单桩竖向极限承载力	350	980	180
桩侧摩阻力	20	65	225

3.3 地基变形控制与长期稳定性评估

地基加固完成后为监测建筑沉降控制效果，采用精密水准测量和分布式光纤监测技术进行长期变形观测。监测点均匀布设于建筑四周及内部关键结构部位，水准测量采用电子精密水准仪，每月定期测量并记录沉降数据。分布式光纤传感系统布设在关键桩基及基础结构中，实时监测沉降变形趋势，并结合地基应力分布进行分析。沉降数据采集周期为 12 个月，测量精度控制在 ±0.1 mm 以内，以保障数据的准确性。长期监测数据如表 3 所示。

表 3 加固前后建筑沉降监测数据

监测时间	加固前累计沉降 (mm)	加固后累计沉降 (mm)	沉降速率降低 (%)
1 个月	3.8	1.2	68.4
3 个月	8.7	2.6	70.1
6 个月	12.3	3.5	71.5
9 个月	14.5	4.1	71.7
12 个月	15.2	4.3	71.7

4 结束语

微型钢管桩在既有建筑地基加固中表现出优越的承载特性和稳定性，可以有效提升地基承载能力，减少沉降变形，增强建筑结构的长期安全性。工程案例表明，合理的桩径、桩长、注浆参数和施工工艺优化，可显著提高加固效果，保障地基均匀沉降，改善桩土相互作用。长期监测数据验证了微型钢管桩的稳定性，沉降速率显著降低，建筑基础得到了可靠加固。微型钢管桩适用于多种复杂地质条件，具备良好的工程适应性。

参考文献:

- [1] 王志华. 加固施工技术在建筑地基基础中的应用[J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 59-61.
- [2] 阎志迎, 司占峰, 肖月圆. 建筑地基基础施工及加固工艺的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(03): 129-131.
- [3] 王海峰. 大口径钢管静压桩在地基基础加固工程中的应用[J]. 建筑安全, 2025, 40(01): 53-56.
- [4] 周培阳. 岩溶地区城市高层建筑小区地基设计与施工研究[J]. 新城建科技, 2024, 33(12): 144-146.
- [5] 谢森, 张博, 卢金生, 等. 房屋建筑地基基础加固工程施工技术[J]. 价值工程, 2024, 43(36): 60-62.