

软土地基区域建筑基础施工加固技术应用分析

林 聪

麻城市能源投资开发集团有限公司 湖北 麻城 438300

摘 要：软土地基因工程特性差，在建设易引发沉降、失稳等危害，对建筑物安全稳定影响大。本文分析软土地基工程特性与加固需求，阐述排水固结法中堆载预压、真空预压等技术应用，介绍复合地基加固里水泥搅拌桩、CFG桩等技术，以及深层搅拌与注浆加固技术。通过研究这些加固技术，为软土地基区域建筑基础施工提供科学有效的加固方案，保障工程质量与安全。

关键词：软土地基；基础施工；加固技术；复合地基；排水固结

引言：在建筑基础施工领域，软土地基是常见且棘手的问题。软土具有高压缩性、低抗剪强度、渗透性差等特性，在工程建设中易引发沉降、失稳等危害，严重影响建筑物的安全性和稳定性。为确保工程顺利进行和建筑物的长期安全，必须采取有效的加固措施。本文将深入分析软土地基的工程特性与加固需求，详细探讨多种加固技术在软土地基区域建筑基础施工中的应用，为实际工程提供参考。

1 软土地基工程特性与加固需求分析

1.1 软土的工程分类与鉴别指标

软土是工程建设中常见的不良地基类型，主要分为淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土四大类，其分布广泛且工程性质差异较大。鉴别软土需结合多项核心指标，确保分类精准以指导后续工程设计。主要鉴别指标包括天然含水量、孔隙比、液限、塑限及压缩系数，其中天然含水量通常大于液限，孔隙比大于1.0，淤泥类土孔隙比更是大于1.5，压缩系数大于 0.5MPa^{-1} ，属于高压缩性土。此外，软土的抗剪强度极低，内摩擦角一般小于 15° ，黏聚力通常在 10kPa 以下，渗透系数较小，多在 $10^{-6}\sim 10^{-8}\text{cm/s}$ 之间，承载力特征值普遍低于 100kPa 。通过室内试验和现场原位测试相结合的方式，可准确鉴别软土类型及各项指标，为后续地基加固方案的制定提供可靠依据，避免因分类偏差导致加固措施不当。

1.2 软土地基的工程危害特征

软土地基因其自身的工程特性，在工程建设中易引发多种危害，严重影响建筑物的安全性和稳定性。第一，软土具有高压缩性，在建筑物荷载作用下会产生较大的沉降和不均匀沉降，导致建筑物墙体开裂、结构变形，甚至影响其正常使用，尤其对高层建筑、桥梁等大型构筑物危害更为明显^[1]。第二，软土抗剪强度低，承载力不足，易发生地基失稳，引发建筑物倾斜、坍塌等严重事故，增

加工程安全风险。第三，软土渗透系数小，排水性能差，在施工过程中易出现基坑涌水、边坡滑坡等问题，不仅影响施工进度，还可能造成人员和财产损失。同时，软土的触变性和流变性较强，长期受荷载作用会产生蠕变沉降，导致建筑物后期沉降持续发展，进一步加剧工程隐患，因此必须采取有效的加固措施规避上述危害。

1.3 基础加固的技术需求

基于软土地基的工程特性和潜在危害，基础加固需满足明确的技术需求，确保地基承载力、沉降量及稳定性达到工程设计标准。首先，需通过加固提高软土地基的承载力，使其能够承受建筑物的荷载，避免地基失稳，通常要求加固后地基承载力特征值提升30%以上，具体需结合建筑物类型和荷载大小确定。其次，需有效控制地基沉降，减少不均匀沉降，将沉降量控制在设计允许范围内，一般工业与民用建筑的总沉降量不超过 100mm ，不均匀沉降差不大于 $0.002L$ （ L 为相邻柱基中心距离）。另外，加固技术需具备良好的排水性能，加速软土固结，缩短工期，同时兼顾经济性和环保性，避免对周边环境造成破坏。针对不同类型的软土和工程场景，需选择适配的加固技术，确保加固效果持久、可靠，满足工程长期使用的需求，为建筑物的安全运营提供保障。

2 排水固结法加固技术应用

2.1 堆载预压法

堆载预压法是排水固结法中应用最广泛的一种软土地基加固技术，其核心原理是通过在软土地基表面分级施加堆载，利用荷载作用使软土中的孔隙水逐渐排出，孔隙体积压缩，从而实现软土固结、提高地基承载力。该方法施工工艺简单、成本较低，适用于淤泥、淤泥质土等渗透性较弱的软土地基，尤其适合大面积软土地基的加固处理，如道路路基、机场跑道、堆场等工程。施工过程中，需先铺设水平排水垫层，再设置竖向排水体（如

砂井、塑料排水板), 确保孔隙水顺利排出, 然后分级堆载, 控制堆载速度, 避免因荷载增加过快导致地基失稳^[2]。堆载预压时间通常为3~6个月, 具体根据软土厚度和固结系数确定, 加固后地基承载力可提升50%~80%, 沉降量可有效控制, 能够满足中低层建筑物和构筑物的地基要求。

2.2 真空预压法

真空预压法是一种无堆载的排水固结加固技术, 其原理是通过在软土地基表面铺设密封膜, 利用真空泵抽取膜内空气, 形成负压环境, 使软土中的孔隙水在大气压作用下排出, 实现软土固结。该方法无需施加额外堆载, 施工周期短、对周边环境影响小, 适用于软土厚度较大、承载力极低的地基, 尤其适合城市周边和敏感区域的工程。施工时, 需先清理场地、铺设排水垫层和竖向排水体, 再铺设密封膜并密封周边, 确保膜内真空度稳定在80kPa以上, 持续抽真空直至软土达到设计固结度。与堆载预压法相比, 真空预压法加固效率更高, 固结时间可缩短30%~50%, 加固后地基沉降均匀, 抗剪强度提升明显, 可有效解决软土地基承载力不足和沉降过大的问题, 广泛应用于港口、码头、高速公路等工程。

2.3 排水固结效果检测与评价

排水固结法加固效果的检测与评价是确保工程质量的关键环节, 需结合现场原位测试和室内试验, 全面评估地基加固后的各项性能指标。现场检测主要包括孔隙水压力监测、沉降观测、承载力测试和渗透系数测试, 其中孔隙水压力监测可反映软土固结过程, 沉降观测可验证沉降量是否达到设计要求, 承载力测试采用静载试验测定加固后地基承载力特征值, 渗透系数测试评估排水效果。室内试验主要测定加固前后软土的含水量、孔隙比、压缩系数、抗剪强度等指标, 对比分析加固效果。评价标准需满足: 地基承载力达到设计值, 总沉降量和不均匀沉降量控制在允许范围内, 软土固结度不低于85%, 渗透系数满足工程要求。通过系统的检测与评价, 可及时发现加固过程中的问题, 调整施工参数, 确保排水固结加固达到预期效果, 保障工程安全。

3 复合地基加固技术应用

3.1 水泥搅拌桩技术

水泥搅拌桩技术是复合地基加固中常用的柔性桩加固技术, 其原理是通过深层搅拌机械将水泥浆与软土就地强制搅拌, 使水泥与软土发生一系列物理化学反应, 形成具有一定强度和整体性的水泥土搅拌桩, 与天然软土共同作用形成复合地基, 提高地基承载力。该技术施工速度快、噪音小、对周边环境影响小, 适用于淤泥、淤泥质土、粉质黏土等软土地基, 可用于高层建筑

地基、道路路基、基坑支护等工程^[3]。施工时, 需控制搅拌桩的桩长、桩径、水泥掺量和搅拌均匀度, 水泥掺量通常为软土质量的10%~20%, 桩径一般为500~800mm, 桩长根据软土厚度确定。加固后复合地基承载力可提升60%~100%, 能够有效控制地基沉降, 且施工成本适中, 是目前软土地基加固中应用最广泛的技术之一。

3.2 CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)技术

CFG桩是一种由水泥、粉煤灰、碎石、砂和水按一定比例混合制成的刚性桩, 属于复合地基加固技术, 其核心是通过CFG桩与桩间土、褥垫层共同作用, 发挥桩体的承载作用和桩间土的辅助承载作用, 显著提高软土地基承载力。该技术承载力提升幅度大、沉降量小, 适用于各种类型的软土地基, 尤其适合高层建筑、重型构筑物的地基加固, 如写字楼、厂房、桥梁基础等。施工采用振动沉管法或长螺旋钻孔压灌法, 桩径通常为400~600mm, 桩长一般为8~20m, 桩间距根据地基承载力要求确定。CFG桩加固后, 复合地基承载力可达到150~300kPa, 沉降量可控制在50mm以内, 且兼具经济性和可靠性, 相比纯桩基工程成本可降低30%~50%, 在工程建设中应用日益广泛。

3.3 预应力管桩技术

预应力管桩技术是一种刚性桩复合地基加固技术, 采用工厂预制的高强度预应力混凝土管桩, 通过打桩机械将其沉入软土地基一定深度, 利用管桩的高强度和高承载力, 与桩间软土共同形成复合地基, 有效解决软土地基承载力不足的问题。该技术桩体强度高、承载力大、施工效率高, 适用于软土厚度较大、荷载较大的工程, 如高层建筑、重型厂房、港口码头等。施工时, 需根据软土地质条件选择合适的打桩机械, 控制管桩的沉入深度、垂直度和桩间距, 确保桩体与地基结合紧密。预应力管桩的桩径通常为300~600mm, 桩长可达30m以上, 加固后复合地基承载力可提升100%~200%, 沉降量小且稳定性好, 但其施工过程中噪音较大, 对周边建筑物有一定影响, 需合理规划施工区域和施工时间。

3.4 复合地基检测与验收

复合地基加固后的检测与验收是保障工程质量的重要环节, 需严格按照相关规范要求, 对复合地基的承载力、桩体质量、沉降量等指标进行全面检测。检测内容主要包括桩体质量检测、复合地基承载力检测、沉降观测和桩身完整性检测, 其中桩体质量检测采用低应变法或超声波法, 检测桩身是否存在断桩、缩颈等缺陷; 复合地基承载力检测采用静载试验, 确保承载力达到设计要求; 沉降观测需持续一定时间, 验证沉降量是否控制在允许范围内; 桩身完整性检测确保桩体施工质量符合

规范。验收标准需满足：桩体质量合格，复合地基承载力达到设计值，沉降量和不均匀沉降量符合设计要求，施工资料完整。通过严格的检测与验收，可确保复合地基加固效果，避免因施工质量问题引发工程隐患，保障建筑物的安全稳定。

4 深层搅拌与注浆加固技术

4.1 深层搅拌桩（双轴/三轴）

深层搅拌桩（双轴/三轴）是在普通水泥搅拌桩基础上发展而来的深层加固技术，分为双轴深层搅拌桩和三轴深层搅拌桩，其原理是通过双轴或三轴搅拌机械，将水泥浆与软土在深层范围内就地强制搅拌，形成连续的水泥土搅拌桩体，提高地基承载力和稳定性。该技术搅拌均匀度高、加固深度深，双轴搅拌桩加固深度可达15m，三轴搅拌桩可达30m以上，适用于深厚软土地基、基坑支护、止水帷幕等工程。施工时，双轴搅拌桩采用双搅拌轴同步搅拌，三轴搅拌桩采用三轴搅拌轴，可同时完成搅拌、喷浆、提升等工序，水泥掺量控制在15%~25%，桩径通常为600~1200mm。加固后，地基承载力可提升80%~150%，且具有良好的止水效果，可有效防止基坑涌水、边坡滑坡，在深厚软土地基工程中应用广泛。

4.2 高压旋喷桩技术

高压旋喷桩技术是一种高压喷射注浆加固技术，其原理是通过高压注浆泵将水泥浆或水泥砂浆以高压（20~40MPa）喷射出去，冲击、切割软土，同时旋转喷射管并缓慢提升，使水泥浆与软土充分混合，凝固后形成具有高强度、高整体性的旋喷桩，从而达到加固地基的目的。该技术加固效果好、适应性强，可用于各种类型的软土地基，尤其适合处理淤泥、淤泥质土、砂土等地基，还可用于基坑支护、止水帷幕和地基补强等工程。施工时，需控制高压喷射压力、旋转速度和提升速度，根据地质条件选择单管、双管或三管法施工，桩径通常为500~1000mm，加固深度可达20m以上。高压旋喷桩加固后，桩体强度可达5~15MPa，地基承载力可提升100%~180%，能够有效解决软土地基承载力不足和沉降

过大的问题。

4.3 劈裂注浆与渗透注浆

劈裂注浆与渗透注浆是两种常用的注浆加固技术，均通过向软土地基中注入浆液，填充孔隙、胶结土体，从而提高地基承载力和稳定性，适用于不同类型的软土地基加固。劈裂注浆是利用高压浆液将软土劈裂，形成浆脉，浆液凝固后与土体胶结形成整体，提高地基强度，适用于渗透性差、孔隙小的软土，如淤泥、淤泥质土，可用于地基补强、基坑支护等工程^[4]。渗透注浆是利用浆液的渗透作用，将浆液注入软土的孔隙中，不破坏土体结构，适用于渗透性较好的软土，如粉质黏土、砂质软土，可用于提高地基承载力和止水效果。施工时，需控制注浆压力、注浆量和注浆速度，确保浆液均匀扩散，劈裂注浆压力通常为1.5~3.0MPa，渗透注浆压力为0.3~1.0MPa。两种技术均具有施工灵活、对周边环境影响小的特点，可根据软土地质条件和工程需求选择使用，加固后地基承载力可提升50%~100%。

结束语

软土地基区域建筑基础施工加固技术对保障工程质量与安全意义重大。排水固结法、复合地基加固技术以及深层搅拌与注浆加固技术等各有优势与适用范围。在实际工程中，需依据软土特性、工程需求等合理选择加固技术。未来，随着技术发展，应不断探索创新，优化现有技术，提高软土地基加固效果，推动建筑行业在软土地基区域实现更高质量、更安全的发展。

参考文献

- [1]于永杰,薛斐.软土地基不同加固技术应用效果对比研究[J].现代工程科技,2025,4(5):137-140.
- [2]方昉.复合受力条件下软土地基既有基础新增锚杆静压桩加固分析[J].安徽建筑,2024,31(8):127-128.
- [3]刘洋.工业厂房软土地基基础施工及加固技术[J].散装水泥,2026(2):115-117.
- [4]黄士朋,刘嫻嫻.房屋建筑地基基础加固工程施工技术[J].模型世界,2025(7):204-206.