

建筑工程软土地基处理技术研究

赵占国¹, 姜玲玲²

(1. 山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250000;

2. 山东鲁新设计工程股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 土地资源紧张是城市化进程下的重要难题, 随着人口向城市的快速聚集, 不仅居住空间变得紧张, 城市的功能性建筑的负荷也快速增加, 无法有效满足居民的日常生活需求。在城市内部空间日益饱和的形势下, 许多城市开始将目光放到城市外围, 对城市外围空间进行深度开发通常涉及在软土区域进行工程建设。但软土地基的高压缩性、低承载力容易导致建筑沉降、滑移, 必须进行处理, 才能保障土层的稳定。本文从建筑工程软土地基的施工难点和注意事项出发, 探讨建筑工程软土地基处理技术, 以期为现代化城市的建设提供参考。

关键词 软土地基; 建筑工程; 换填法; 预压排水法; 桩基础技术

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.10.038

0 引言

建筑工程软土地基处理技术有其自身的发展过程, 早期的软土地基处理通常使用换填法和预压法。换填法是挖除软土并替换为砂石、灰土等稳定材料, 这种处理方法能够很好地处理浅层的软土, 但工程量大、成本高。预压法是通过堆载或真空预压加速软土排水固结, 适用于低荷载项目, 但耗时长。随着现代科学技术的不断发展, 建筑材料、机械工艺也在不断地升级突破, 建筑工程软土地基处理技术进入多样化的发展阶段, 表现出复合化、精细化的特点。当前, 高压注浆、桩基组合、环保固化等技术已经成为应对软土挑战的核心手段, 在高层建筑、地铁、桥梁等复杂工程的建设中发挥着巨大的作用。

1 建筑工程软土地基施工难点

1.1 沉降控制与固结困难

地基沉降是建筑工程施工的常见问题, 但软土地基建筑工程施工中的地基沉降问题更加复杂, 除了沉降速度快和沉降深度大外, 还存在由于软土分布不均或荷载不均导致的沉降速度和深度存在显著差异的问题, 更容易导致建筑的倾斜或开裂, 必须使用分层填筑、预压排水等手段精细控制^[1]。同时, 软土地基的渗透性比较差, 固结速度相较于正常地基更加缓慢, 需要使用排水井加快软土固结, 但一旦出现排水井堵塞, 就会延长固结周期。并且, 软土地基在施工后仍可能持续沉降, 并且沉降周期会比较长, 需要进行长期的监测, 并根据实际情况进行动态的设计调整。

1.2 施工情况复杂程度高

建筑工程软土地基在施工中需要面对多种复杂情况, 在多个环节施工中都有极容易出现的难题。在桩基施工中, 深层软土中桩基易出现“悬浮桩”“负摩阻力”, 需要对柱型进行优化, 并选择合适的施工工艺。在地基处理施工环节, 需要协调复合地基, 确保水泥搅拌桩、注浆等与土体协同受力, 注浆压力、配比等参数的偏差会直接影响地基的稳定性。软土层的地质条件也更复杂多变, 其中经常夹杂着粉砂、淤泥等成分, 且流变特性显著, 长期荷载会发生蠕变变形, 对加固方案的精确程度要求极高。

1.3 施工安全风险突出

基于软土地基的性质, 在软土地基上开展建筑工程作业的风险系数更高。在进行机械作业时, 打桩机、压路机在软土上容易发生下陷或侧滑, 需要铺设钢板或碎石垫层提高软土地基的承载能力, 为机械作业创造良好的施工环境。在开挖或填筑软土边坡时, 存在边坡失稳的隐患, 需要对软土边坡加设抗滑桩、土钉墙等临时支护, 以降低边坡坍塌风险。

1.4 适用材料与环保限制高

由于软土地基的特殊性质, 许多传统工程中的常用施工材料无法很好适用软土地基上的施工。比如石灰、水泥等传统固化剂对于有机质软土的固化作用十分有限, 需要不断地进行实验, 对配比进行反复优化, 或者开发生物酶新型固化剂。除此之外, 软土地基上的工程建设对于环保性有更好的要求, 换填法弃土量大, 注浆技术可能污染地下水, 这些传统的施工方法

和技术已经不再适应现代化城市的建设，需要进一步推广真空预压、纳米固化等绿色技术，减少施工对生态环境的影响，满足城市居民的宜居需求。

2 建筑工程软土地基施工注意事项

软土地基具有高含水量、低承载力、高压缩性及渗透性差等特性，施工中需要把握好不同施工环节的重难点，以确保工程安全、经济与可持续性。

2.1 前期勘察与设计阶段

建筑工程软土地基需要更加精细化的地质勘察，首先，准确测定地质、土质的各项参数，包括含水率、孔隙比、压缩系数、抗剪强度等各项软土的物理力学指标，尤其是软土中的有机质含量和渗透系数，对固化效果和最终的排水方案设计有决定性的影响，需要重点把握。其次，对软土进行分层调查，明确软土层厚度、分布及下卧硬层位置，确定好需要进行处理的地基深度。比如根据软土夹粉砂层的位置和范围，调整桩基长度和注浆范围。最后，针对不同层次和区域的土层特质，开展差异化设计。一是要优化土层的荷载分布，根据建筑结构特点设计有针对性的地基处理方案，如在高层建筑施工中，核心筒和裙楼的地基承载负荷明显不同，设计差异化的地基处理方案，能够有效减少差异沉降风险。二是预留一定的安全冗余，针对软土层的长期蠕变特性，在设计时需要增加沉降预留量。

2.2 软土地基处理技术选择与施工控制

选择合适的软土地基处理技术，往往能起到事半功倍的效果，不仅能够确保工程的施工质量，还能够有效地控制施工时长，降低工程成本。对于不同层次的软土地基，应当适用不同的处理技术。在处理浅层软土时，换填法和预压排水法还有一定的适用空间，这两种方法在浅层软土的处理中成本更低，但需要注意的是，使用这两种方法会产生废土、塑料等固体建筑垃圾，需要做好后续的处理工作，降低对环境的负面影响。在处理深层软土时，可以采用桩基或复合地基，这两种方法在深层软土的处理中效果更好，但需要辅以精确的计算，确定桩基负摩阻力对承载力的削弱^[2]。

同时，要确保施工技术的应用效果，还要控制好各项施工参数。比如在注浆作业中，使用高压旋喷注浆，需要严格地控制浆液配比、注浆压力和提升速度，避免浆液扩散不均。在桩基施工环节，打桩要严格遵循“先深后浅、先密后疏”的顺序，防止发生挤土效应引发邻桩偏移，一般情况下打桩采用静压桩机能够减少振动对软土的扰动。在排水与固结管理工作中，需要合理设置排水系统，铺设砂垫层并配合塑料排水板构建排水通道，加速超孔隙水压力消散。

2.3 施工过程安全与风险防控

建筑工程安全事故的破坏力大，不仅会增加施工成本，还会拖慢工程进度，最为严重的是会给施工人员带来巨大的生命财产损失。因此，安全生产一直是各项建筑工程的重中之重。首先，要保护好机械作业人员的人身安全。比如在软土区进行机械作业时，可以铺设钢板或级配碎石垫层，分散机械荷载，避免设备下陷。其次，要做好重点内容的动态监测与预警。在施工区域布设沉降观测点，采用静力水准仪或 GPS 监测，当沉降速率过快时，需要暂停施工并排查原因^[3]。通过埋设渗压计，对孔隙水压力进行监测，控制预压加载速率，确保孔隙水压力不超过土体抗剪强度的 70%。

2.4 环保与材料适配性管理

环保是现代工程建筑和生态宜居城市建设的共同要求，在软土地基建筑工程的设计处理中应当广泛地使用绿色施工技术。在使用换填法时，做好对弃土的回收利用，换填产生的软土可掺入石灰，对其性质进行改良后用于路基的填筑，既能够减少污染，又能够降低外运的成本。注浆作业中使用硅酸盐类的无毒化学浆液替代传统水泥浆，避免对地下水产生污染。在对软土进行固化时，优化固化剂配比，针对高有机质软土，采用“石灰+粉煤灰”或生物酶固化剂，通过无侧限抗压强度试验确定最佳配比。固化作业尽可能选择就地固化，减少不必要的开挖作业，比如使用深层搅拌桩机将固化剂与软土强制拌合，最高可以满足 20 米以内的土层固化需求。

2.5 工程后期维护与长期监测

软土地基具有长期沉降的性质，在工程建设结束后，要持续跟踪沉降情况。竣工后保持两到三年的持续监测，监测的重点在于差异沉降，相邻点之间的沉降大于 20 毫米时需要进行再次加固。要做好工程结构的健康诊断，使用反射波法对桩基进行低应变检测或静载试验，评估桩身完整性及长期承载力变化。

3 建筑工程软土地基处理技术应用分析

软土地基因其高含水量、低承载力、高压缩性及渗透性差等特性，对建筑工程处理技术提出了特殊挑战。以下从应用原则、主流技术及发展趋势三个方面，系统分析软土地基处理技术。

3.1 建筑工程软土地基处理技术应用原则

软土地基建筑工程的应用主要有以下四个原则：一是承载力提升，各项加固技术的应用的首要目标就是提高地基承载力，满足工程的地基设计标准，避免后期出现建筑因承载力不足而倾斜的问题。二是控制地基沉降，软土地基建筑工程的总沉降量要在标准范围以内，不同区域之间的差异沉降也要控制在合理范

围内。三是加速排水固结，为了保证工程施工进度，以及缩短软土固结时间，从而降低工后沉降风险，需要使用预压排水或竖向排水体加速软土地基的排水，使软土地基快速固结。四是保持建筑工程的长期稳定，这一点是出于对软土流变特性和可能存在的外部荷载变化的考虑，在进行软土地基处理时需要有长远的目光，预留一定的安全冗余。

3.2 建筑工程软土地基常用处理技术

3.2.1 换填法

软土不足以支撑建筑工程的重量，在超负荷下会发生坍塌或侧滑，而换填法就是通过把软土替换为稳定材料的方式来增强地基承载能力，是一种操作简单的处理方法，只需要挖除浅层软土，再铺设砂石、灰土或碎石等稳定材料。需要遵循的要求就是必须完全替换，换填的材料要直接与硬质地基衔接，换填的材料也要进行压实。这种方法适用于比较低矮的建筑或者道路施工，但会产生大量的废弃软土，如何处理这些软土是这一处理技术应用的重难点。

3.2.2 预压排水法

预压排水法也是一项应用起来比较简单的处理技术，大多数软土性质松软的关键原因在于其中的水分较多，预压排水就是通过堆载给软土加压，或者以抽真空形成负压，将软土中的水分快速排除，相较于换填法，这一施工方法的优势在于对周围环境和建筑物的影响更小。

3.2.3 桩基础技术

桩基础就是从建筑的地基桩入手，提高软土地基上建筑工程的稳定性。常用的桩基础技术有摩擦桩、端承桩和复合桩基几种。摩擦桩就是利用桩身与软土的摩擦力提高地基的承载力，在使用摩擦桩技术时桩要穿透软土层进入硬土层，设计合适的桩直径和桩间距，精确计算负摩阻力，这一技术能够适应深厚软土区的施工需求。端承桩是指将桩端嵌入硬岩或密实砂层，更好地利用端阻力，使用这一桩基础技术需要确保桩端持力层厚度大于三倍桩径，并且不能出现桩端没有达到硬土层的“悬浮桩”^[4]。复合桩基是将不同功能和性质的桩柱组合使用，以刚性桩和柔性桩构建复合地基，不仅能够提高地基的承载力，还能够在一定程度上提高建筑物对于变形的适应协调能力。

3.2.4 注浆加固技术

注浆加固技术是通过对软土层的土质进行改造来实现软土地基承载能力和稳定性提升的一种施工技术。当前常用的注浆加固技术有高压旋喷注浆和渗透注浆两种。高压旋喷注浆是以高压浆液对土层进行分割，然后使浆液与土层充分混合并固化，形成硬度更高、承载力更强的加固体。在使用这一注浆加固技术时，

要控制好浆液配比，保证注浆速度，这一技术常用于对局部软土层的改造，或者已经成型的建筑地基的二次加固。渗透注浆则是一种在低压力状态下，将浆液渗入土体孔隙中，在软土层中形成网状胶结。这一注浆技术对软土的主要成分和渗透系数有一定的要求，常用的渗透浆液通常选择硅酸盐或者环氧树脂^[5]。

3.3 建筑工程软土地基处理技术发展趋势

随着科学技术的不断发展，越来越多的新技术和新材料应用到建筑工程领域，软土地基建筑工程的处理技术也呈现出新的发展趋势。例如：生物固化技术，通过微生物诱导碳酸盐沉淀来实现对软土层的固化，其原理就是利用尿素分解菌生成碳酸钙胶结土颗粒，达到提升土层强度的目的。相较于以往的软土地基处理技术，生物固化技术不仅能够满足有机质软土的强化需求，而且更加的环保。同时，现代信息技术在建筑领域的应用，大幅度提高了软土地基的建筑工程施工的智能化水平，通过有限元分析对土层的沉降进行预测，并评估土层的稳定性，为桩基布置与预压方案的优化提供数据支撑。物联网监测技术能够实时监测沉降、孔隙水压力数据，动态调整施工参数，大幅度提升了软土地基建筑工程的施工风险防范能力^[6]。

4 结语

建筑工程软土地基处理技术是进一步推动城市化发展的重点内容，在对软土地基进行处理时，需要遵循“因地制宜、技术适配、安全经济”原则，对于浅层软土和深厚软土选择科学合理的处理手段。持续推动软土地基处理技术的创新发展，实现绿色与高效施工，通过精准设计、严格施工与动态监测，有效化解软土地基的工程风险，推动现代化城市建设的进一步发展。

参考文献：

- [1] 帅青.在软土地基中旋挖灌注桩的施工管理探讨[J].城市建设理论研究:电子版,2024(29):130-132.
- [2] 曹辉,陈超.建筑工程中软土地基施工技术分析[J].中华建设,2024(09):130-132.
- [3] 石鑫.建筑工程施工中软土地基处理及固化技术[J].陶瓷,2024(06):158-160.
- [4] 李志鸿.住宅建筑施工中的软土地基处理技术[J].居舍,2024(10):48-51,116.
- [5] 孙必祥,黄诚.软土地基处理技术在基础工程建设中的应用[J].新城建科技,2024,33(01):145-147.
- [6] 马秀颖.建筑工程软土地基加固施工技术[J].江苏建材,2023(05):98-100.