

# 软土地基加固技术在高层房屋建筑中的应用研究

周兆泉

毕恩建筑工程咨询(上海)有限公司 上海 200233

**摘要:** 本文聚焦软土地基加固技术在高层房屋建筑中的应用。分析了软土物理力学性质及高层建筑对地基的挑战,接着分类阐述置换法、排水固结法等常见加固技术及其适用性。提出了选型原则,涵盖地质条件、荷载变形、施工经济及环境影响等方面。最后探讨施工过程质量控制要点与加固效果监测方法,旨在为高层建筑软土地基加固提供全面且实用的参考依据。

**关键词:** 软土地基; 高层建筑; 地基加固; 沉降控制

**引言:** 随着我国城市化进程加快,高层房屋建筑不断涌现。然而,软土地基因其高含水量、低强度等特性,给高层建筑带来诸多挑战,如承载力不足、沉降过大等。为确保高层建筑的安全与稳定,合理选择并有效应用软土地基加固技术至关重要。本文将深入剖析软土地基工程特性,系统介绍各类加固技术,探讨选型原则,并阐述施工质量控制与监测方法,为实际工程提供指导。

## 1 软土地基工程特性与高层建筑适应性分析

### 1.1 软土的物理力学性质

软土是一类具有高含水量、高孔隙比、低强度、高压缩性等显著特征的土类,广泛分布于我国沿海、沿江及内陆湖沼地区。其物理性质上,天然含水量通常超过液限,一般在30%~70%之间,部分淤泥质软土含水量可达80%以上;孔隙比多大于1.0,高者甚至超过2.0,土颗粒排列松散,结构孔隙发达。力学性质方面,软土的天然重度较小,约为16~19kN/m<sup>3</sup>,抗剪强度极低,内摩擦角通常在5°~15°之间,粘聚力一般为5~20kPa,导致其承载能力薄弱,天然地基承载力多在50~120kPa。同时,软土具有明显的压缩性,压缩系数 $a_{1-2}$ 多大于0.5MPa<sup>-1</sup>,属于高压缩性土,且固结时间长,在荷载作用下易产生较大的沉降变形,还可能伴随次固结沉降,长期稳定性较差<sup>[1]</sup>。另外,部分软土还具有触变性和流变性,受扰动后强度会显著降低,在外部荷载长期作用下易发生缓慢变形,这些物理力学性质共同决定了软土作为地基的复杂性与特殊性。

### 1.2 高层建筑对地基的挑战

高层建筑因其自身结构特点,对地基提出了一系列严苛要求,形成了多方面的挑战。首先,高层建筑荷载巨大且集中,通常包含上部结构自重、楼面活荷载、风荷载及地震作用等,总竖向荷载往往达到数千甚至上万吨,要求地基具备足够高的承载力,以避免发生地基失

稳或过大沉降。其次,高层建筑对变形控制极为严格,不仅要求地基的总沉降量控制在允许范围内,还对沉降差、倾斜等有高精度要求,一旦地基变形超标,可能导致上部结构开裂、管线损坏,甚至影响建筑的正常使用和安全性能。再者,高层建筑通常带有地下室,基坑开挖深度大,容易引发软土地基的基坑边坡失稳、坑底隆起等问题,同时基坑开挖还可能对周边环境产生影响,如邻近建筑物、道路及地下管线的沉降或变形。高层建筑的抗震性能依赖于地基的稳定性,软土地基的低刚度特性可能导致地震作用下结构响应放大,增加建筑抗震设计的难度,这些挑战都对软土地基的处理提出了更高要求。

## 2 软土地基加固技术分类与适用性

### 2.1 置换法

置换法是软土地基加固中常用的传统技术,其核心原理是将地基中承载力低、压缩性高的软土部分或全部挖除,换填为强度高、稳定性好、压缩性低的置换材料,以提高地基承载力、减少沉降。该技术主要包括换填垫层法、褥垫置换法和振冲置换法等具体形式。换填垫层法通常采用砂石、灰土、粉煤灰等材料作为置换垫层,适用于软土层厚度较薄(一般小于3m)的情况,施工工艺简单、成本较低,能有效提高浅层地基承载力,减少浅层沉降,但对于深层软土处理效果有限。褥垫置换法通过在地基一定深度铺设褥垫材料,调整地基应力分布,适用于软土分布不均的情况,可有效减少不均匀沉降。振冲置换法则利用振冲器的振动和水冲作用,将碎石等粗颗粒材料挤入软土中,形成碎石桩复合地基,适用于处理淤泥、淤泥质土、粉质黏土等软土,能显著提高地基承载力,减少沉降,且施工效率较高。但置换法也存在一定局限性,对于深层软土,置换深度越大,施工难度和成本越高,且置换材料的运输和铺设对周边环境可

能产生一定影响,适用于地质条件相对简单、软土层厚度适中的场地。

## 2.2 排水固结法

排水固结法是通过改善软土地基的排水条件,加速软土中孔隙水的排出,促进软土固结,从而提高地基强度、减少沉降的加固技术。其主要包括堆载预压法、真空预压法、真空-堆载联合预压法等。堆载预压法通过在地基表面施加临时堆载,产生附加应力,促使软土孔隙水排出,适用于软土层厚度较大、渗透性相对较好的情况,施工设备简单、成本适中,但需要较长的预压时间,且堆载材料的运输和堆放可能占用较大场地。真空预压法利用真空泵形成负压,加速软土排水固结,无需堆载材料,施工周期相对较短,对周边环境影响较小,适用于淤泥、淤泥质土等渗透性极低的软土,但需要保证密封系统的可靠性,否则会影响加固效果<sup>[2]</sup>。真空-堆载联合预压法结合了两者的优势,既能快速提高地基固结度,又能满足较高的承载力要求,适用于对加固工期和效果要求较高的工程。排水固结法的适用性较强,尤其适用于处理大面积软土地基,如机场跑道、港口堆场、高速公路路基等,但对于存在深厚不透水层或工期要求极紧的工程,其应用受到一定限制。

## 2.3 复合地基法

复合地基法是通过在软土地基中设置增强体,与天然软土共同作用形成复合地基,以提高地基承载力、减少沉降的加固技术,根据增强体类型可分为柔性增强体复合地基、刚性增强体复合地基和半刚性增强体复合地基。柔性增强体复合地基如碎石桩、砂桩等,主要通过挤密、排水作用提高地基承载力,适用于处理淤泥、淤泥质土、松散砂土等软土,施工速度快、成本较低,但增强体刚度较小,对变形控制效果有限。刚性增强体复合地基如CFG桩、素混凝土桩等,增强体刚度大,能显著提高地基承载力和变形模量,适用于处理各类软土,尤其适用于高层建筑地基,可有效控制沉降,但施工工艺相对复杂,成本较高,且对周边环境有一定扰动。半刚性增强体复合地基如水泥土搅拌桩、石灰桩等,通过固化剂与软土发生化学反应形成增强体,适用于处理淤泥、淤泥质土、粉质黏土等软土,施工过程无污染、噪音小,成本适中,但强度增长较慢,对施工参数控制要求较高。复合地基法适应性广,可根据地质条件、建筑荷载要求灵活选择增强体类型,是目前高层建筑软土地基加固中应用较为广泛的技术之一。

## 2.4 桩基技术

桩基技术是通过将桩体植入软土地基深部的持力层

中,将高层建筑的荷载传递至持力层,从而避免软土地基承载力不足和过大沉降问题的加固技术,是高层建筑软土地基处理的重要方式。根据桩的材料可分为混凝土桩、钢桩、木桩等,根据施工工艺可分为预制桩和灌注桩。预制桩如预应力混凝土管桩、方桩等,具有强度高、承载力大、施工速度快等优点,适用于处理软土层较厚、持力层埋藏较深的场地,但施工过程中产生的振动和噪音较大,对周边环境影响较明显,且在坚硬土层中施工难度较大。灌注桩如钻孔灌注桩、冲孔灌注桩等,施工适应性强,可在各类地质条件下施工,尤其适用于复杂地质条件和邻近建筑物的场地,施工振动小、噪音低,能有效控制桩身质量,但施工工艺复杂、工期较长,成本相对较高,且易产生孔壁坍塌、缩颈等质量问题。桩基技术能有效将荷载传递至深层稳定持力层,承载力高、变形小,适用于各类高层建筑软土地基,尤其适用于对变形控制要求极高、荷载巨大的超高层建筑,但桩基工程投资较大,施工质量控制要求严格,需进行详细的地质勘察和专项设计。

## 3 高层建筑软土地基加固技术选型原则

### 3.1 地质条件主导原则

地质条件是高层建筑软土地基加固技术选型的核心。选型要先通过详细勘察,明确软土分布、厚度、物理力学性质、渗透性、地下水位及深层持力层情况等关键参数。若软土层薄(小于3m),地质简单,优先选换填垫层法,施工简便成本低;软土层厚且渗透性好,可用堆载预压法加速固结;软土强度极低、变形要求严且深层有稳定持力层,桩基技术可靠;软土分布不均,复合地基法如CFG桩复合地基更适用。另外,地震烈度、不良地质现象等特殊因素也要考虑,确保加固技术适应地质特殊性,避免加固效果不佳或工程事故。

### 3.2 建筑荷载与变形控制要求

高层建筑荷载特征和变形控制要求是加固选型重要依据。先准确计算总竖向、水平荷载及地震作用等,明确地基承载力标准值。荷载大、体型复杂的超高层,桩基或刚性复合地基法合适;荷载小、体型规则且地质允许,可选排水固结或柔性复合地基法。变形控制是关键指标,高层对总沉降量、沉降差、倾斜等有严格限制,变形要求高选刚度大、变形小的技术,要求宽松则选排水固结或柔性复合地基法。还要考虑使用功能,对变形敏感建筑,要采用可靠加固技术,确保不影响设备运行和使用舒适度<sup>[3]</sup>。

### 3.3 施工条件与经济性

施工条件与经济性是高层建筑软土地基加固选型的

现实因素。施工条件方面,结合场地地形、周边环境、交通、设备可达性等选型。城市中心建筑密集、管线多,选振动小、噪音低、影响小的技术;场地开阔、交通便利,选施工速度快的技术;工期紧张,选周期短的技术。经济性上,综合考虑前期设计、材料、施工、设备租赁及后期维护成本,全面经济分析。满足要求下优先选成本低、性价比高的技术,但重要工程要在安全、可靠和经济间平衡,不能单纯追求低成本,确保工程质量和长期稳定。

### 3.4 环境影响评估

高层建筑软土地基加固选型需重视环境影响评估。施工污染控制是关键,选污染物排放少、环保性能好的技术,如换填垫层、堆载预压法要清运弃土、降尘;预制桩在城市核心区谨慎用;高压喷射注浆、水泥土搅拌桩法环境友好。要考虑对地下水资源影响,排水固结法可能致水位下降,评估潜在影响。还要考虑对既有设施影响,选扰动小的技术并制定防护措施。同时关注加固材料环保性,优先选无毒、无害、可降解材料,减少对土壤和地下水污染,确保工程建设符合环保法规标准。

## 4 软土地基加固施工质量控制与监测

### 4.1 施工过程质量控制要点

软土地基加固施工过程的质量控制是保障加固效果的关键,需从多方面制定控制要点。施工准备阶段,组织技术人员熟悉设计文件与地质报告,明确参数要求和质量标准,编制详细施工方案;平整清理场地,为设备进场和作业提供空间;调试校验施工设备,保证性能达标;检验原材料,如水泥、砂石等,严禁不合格材料入场。施工工艺控制上,严格按方案和规范执行,重点把控关键参数,像置换法的换填厚度与压实度、排水固结法的预压荷载等。加强现场巡查与旁站监督,及时处理换填垫层压实不足、桩位偏移等问题。做好施工记录,详细记录参数、时间、材料使用情况,为验收提供依据。

### 4.2 加固效果监测方法

软土地基加固效果监测是检验加固技术有效性、保

障工程安全的重要举措,需制定科学方案,选对方法与仪器,全面监测加固过程及加固后的地基性能。沉降监测是核心,在地基表面和建筑物关键部位设沉降观测点,用水准仪、全站仪等定期观测沉降量与速率,分析沉降规律,判断是否满足设计要求,监测持续至沉降稳定,软土地基监测周期可能长达数月甚至数年。承载力监测主要用静载荷试验,在加固地基上分级施加荷载,观测沉降变形,确定承载力特征值,判断是否达标,试验要选有代表性部位,数量符合规范<sup>[4]</sup>。水平位移监测适用于基坑和边坡加固,在周边设观测点,用测斜仪等监测位移量和速率,防止边坡失稳或设施损坏。孔隙水压力监测是在软土地基埋设压力计,监测加固中孔隙水压力变化,判断固结程度和排水效果,为调整施工参数提供依据。还可根据实际进行土压力、桩身内力监测等。监测数据要及时整理分析,超预警值应立即采取暂停施工、调整参数等应急措施,确保工程安全。

### 结束语

软土地基加固技术在高层房屋建筑中意义重大,关乎建筑的安全与稳定。通过全面分析软土特性与高层建筑需求,合理选型加固技术,并严格把控施工过程质量与监测加固效果,能有效解决软土地基带来的问题。未来,随着技术不断进步,软土地基加固技术将更加完善,为高层建筑建设提供更可靠的支撑,推动城市建筑向更高质量、更安全的方向发展。

### 参考文献

- [1]王明海.房屋建筑工程软土地基处理技术分析[J].江西建材,2021(8):174+176.
- [2]王中旗,树文韬,王晓东.软土地基处理技术在房屋建筑工程中的应用[J].中国建筑金属结构,2021(6):104-105.
- [3]王敏,梁晔华,张发明.软土地区高层住宅地基处理技术应用[J].江苏建筑,2022,(05):100-103.
- [4]林学丽.软土地基加固技术在市政道路路基施工中的应用[J].工程技术研究,2023,8(12):49-51.