

桩基础在软土地基处理中的应用与优化研究

陈 晨

中煤长江基础建设有限公司 江苏 南京 210046

摘 要：文章聚焦桩基础在软土地基处理中的应用与优化。阐述了软土地基特性，其含水量高、压缩性大、抗剪强度低等，并介绍桩基础承载、挤密、置换、排水等作用机制。分析了常见桩基础类型，包括预制桩、灌注桩、复合桩基和新型桩型及其适用性。指出桩基础在软土地基处理中存在桩型选型不合理、施工技术缺陷、设计参数取值偏差、成本与效益失衡等典型问题。最后提出优化策略，涵盖桩型选型、施工工艺、设计参数和成本控制优化，旨在提高桩基础在软土地基处理中的效果，实现成本与效益平衡。

关键词：桩基础；软土地基处理；应用效果；优化策略

1 软土地基特性及桩基础作用机制

1.1 软土地基工程特性

软土地基由淤泥等高压缩性土层构成，工程特性复杂。物理性质上，软土含水量40%-90%，天然孔隙比大于1.0，极软易变形，干密度1.3-1.5g/cm³，天然重度15-19kN/m³，强度低。力学性质方面，压缩性极高，压缩系数 a_{1-2} 大于0.5MPa⁻¹，沉降大且持续久；抗剪强度低，不排水抗剪强度小于20kPa，灵敏度高，扰动后强度大幅下降，易致建筑物不均匀沉降。渗透性差，渗透系数10⁻⁶-10⁻⁸cm/s，排水固结慢，影响强度增长与沉降稳定。另外，软土有触变性和流变性，触变性使扰动后强度降低、静置后恢复；流变性致恒定应力下缓慢变形，威胁地基长期稳定。

1.2 桩基础在软土地基中的作用机制

桩基础是常用深基础，在软土地基处理中作用重大。承载作用上，桩身将上部荷载传至深层硬土或岩层，穿透软弱土层到持力层，减少建筑物沉降与不均匀沉降，如高层建筑用桩基础传荷载至地下坚硬土层^[1]。挤密作用方面，挤密桩成桩时挤压周围土体，使其密实，孔隙比减小、密度增大，提高强度和承载力，改善排水条件，加速固结排水，如饱和软黏土地基施工砂桩可提高桩周土不排水抗剪强度。置换作用中，复合地基的桩体置换部分软土，提高整体承载力，如水泥搅拌桩将软土硬结成桩体与周围软土共同承重。排水作用上，某些桩基础作竖向排水通道，加速固结排水，常与堆载或真空预压结合，加快固结速度、缩短工期。

2 软土地基处理中常见桩基础类型及适用性

2.1 预制桩

预制桩是在工厂或施工现场预先制成的桩，常用的有钢筋混凝土预制桩和钢桩。钢筋混凝土预制桩具有制

作方便、强度高、耐久性好等优点。其施工方法主要有锤击法和静压法。锤击法是利用锤击的冲击能量将桩打入土中，施工速度快，但会产生较大的噪声和振动，对周围环境有一定影响；静压法是通过静力压桩机将桩压入土中，无噪声、无振动，对周围环境影响小，但施工速度相对较慢。钢筋混凝土预制桩适用于多层和高层建筑、桥梁等工程，尤其适用于软土层较厚、持力层埋深适中的地基。钢桩具有强度高、重量轻、能承受较大荷载、施工方便等优点，常见的钢桩有钢管桩和H型钢桩。钢管桩可采用锤击、振动或静压等方法施工，能穿透较硬的土层，适用于对承载力要求较高、地质条件复杂的工程，如大型桥梁、码头、高层建筑等；H型钢桩一般采用锤击法施工，其截面模量大，抗弯能力强，适用于承受水平荷载较大的工程，如挡土墙、抗滑桩等。

2.2 灌注桩

灌注桩是在施工现场的桩位上成孔后，放入钢筋笼并灌注混凝土而成的桩，根据成孔方法的不同，可分为钻孔灌注桩、沉管灌注桩、人工挖孔灌注桩等。钻孔灌注桩是采用机械钻孔或人工挖孔的方式成孔，然后灌注混凝土形成桩。它具有对周围环境影响小、能适应各种地质条件、桩长和桩径可根据设计要求灵活调整等优点，广泛应用于高层建筑、桥梁、港口等工程。但钻孔灌注桩施工工艺复杂，质量控制难度较大，容易出现塌孔、缩颈、桩底沉渣过厚等质量问题。沉管灌注桩是利用锤击或振动将带有桩尖的钢管沉入土中，然后边灌注混凝土边拔管形成桩。该桩型施工设备简单、施工速度快、造价较低，适用于软土层较厚、地下水位较高的地区，常用于多层住宅、中小型厂房等工程。但沉管灌注桩在施工过程中易产生桩身缩颈、断桩、桩尖进水进泥等质量问题，且对周围土体有一定的挤压作用，可能引

起邻近建筑物的沉降和倾斜^[2]。人工挖孔灌注桩是采用人工挖掘成孔,然后安装钢筋笼、灌注混凝土形成桩。它具有施工设备简单、成本低、单桩承载力高、成孔直观等优点,适用于地下水位较低、土质较好、能形成稳定孔壁的地区,常用于高层建筑、桥梁等工程。

2.3 复合桩基

复合桩基是由基桩和承台下的地基土共同承担上部荷载的桩基础。在软土地基中,当天然地基承载力不能满足设计要求时,采用复合桩基可以充分发挥桩间土的承载能力,减少桩的数量,降低工程造价。常见的复合桩基形式有疏桩基础、减沉桩基础等。疏桩基础是在满足地基变形控制要求的条件下,适当减少桩的数量,使桩间土承担一定比例的上部荷载,通过桩和土的共同作用来提高地基的承载力和稳定性。减沉桩基础则是在建筑物沉降较大的部位设置一定数量的桩,以减少建筑物的沉降和不均匀沉降,同时利用桩间土的承载能力分担部分上部荷载。复合桩基适用于地基承载力较低、上部结构对沉降要求不太严格的工程,如多层住宅、中小型商业建筑等。

2.4 新型桩型

随着建筑技术的不断发展,一些新型桩型在软土地基处理中得到了应用,如CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)、PHC管桩(高强度预应力混凝土管桩)、静钻根植桩等。CFG桩是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌和形成的高黏结强度桩,它与桩间土、褥垫层一起构成复合地基。CFG桩具有承载力高、沉降小、施工方便、造价较低等优点,广泛应用于多层和高层建筑的地基处理。PHC管桩是采用先张法预应力工艺和离心成型法制成的一种空心圆筒型混凝土预制桩,具有强度高、耐久性好、施工速度快、质量稳定等优点,适用于各种地质条件的软土地基,尤其适用于对承载力要求较高、工期要求紧的工程。静钻根植桩是一种新型的桩基础形式,它结合了钻孔灌注桩和预制桩的优点,先采用钻机钻孔,然后在孔内注入水泥浆,再将预制桩植入孔中,使桩与水泥浆、周围土体形成紧密结合的整体,具有承载力高、施工无噪声、无振动、对周围环境影响小等优点,适用于城市建筑密集区、对环境要求较高的工程。

3 桩基础在软土地基处理中存在的典型问题

3.1 桩型选型不合理

在软土地基处理中,桩型选型不合理是一个常见问题。一些设计人员在进行桩型选择时,没有充分考虑工程的地质条件、上部结构特点、荷载大小、施工条件等因素,仅凭经验或盲目追求新桩型进行选型,导致所选

桩型不能很好地适应工程实际需求。例如,在软土层较厚且地下水位较高的地区,选择了人工挖孔灌注桩,由于地下水位高,人工挖孔过程中容易发生塌孔、涌水等问题,不仅影响施工安全和质量,还会增加施工难度和成本;又如,对于上部结构荷载较大、对沉降要求严格的工程,选用了承载力较低的桩型,导致建筑物沉降过大,影响结构安全和正常使用。

3.2 施工技术缺陷

施工技术缺陷也是影响桩基础质量的重要因素。在桩基础施工过程中,由于施工人员技术水平不高、施工设备落后、施工工艺不合理等原因,容易出现各种质量问题。例如,在锤击预制桩施工中,锤击能量控制不当,可能导致桩身损坏或桩头破碎;在钻孔灌注桩施工中,泥浆比重控制不好,可能引起塌孔或缩颈;在灌注混凝土时,导管理深过浅或过深,可能导致混凝土离析或夹泥等质量问题;在静压桩施工中,压桩力控制不准确,可能使桩身受到损坏或达不到设计要求的承载力^[3]。

3.3 设计参数取值偏差

设计参数取值偏差会直接影响桩基础的设计质量和安全性。在进行桩基础设计时,需要确定一系列设计参数,如桩长、桩径、桩间距、单桩承载力等。这些参数的取值需要依据地质勘察报告、现场试验结果和相关规范标准进行合理确定。然而,在实际工程中,由于地质勘察不准确、试验数据不准确或对规范理解不透彻等原因,设计参数取值往往存在偏差。

3.4 成本与效益失衡

在软土地基处理中,桩基础的成本较高,如何实现成本与效益的平衡是一个重要问题。一些工程在桩基础设计和施工过程中,过于注重安全性,采用了过于保守的设计方案和施工方法,导致桩基础造价过高,而实际效益提升不明显;相反,一些工程为了降低成本,盲目减少桩的数量或降低桩的承载力标准,导致建筑物出现沉降过大、不均匀沉降等问题,影响结构安全和正常使用,后期维修加固成本增加,反而造成了更大的经济损失。

4 软土地基处理中桩基础的优化策略

4.1 桩型选型优化

桩型选型优化对于保障桩基础在软土地基中的稳定性和有效性起着决定性作用。在开展桩型选择工作时,需全面考量诸多因素。工程地质条件是基础,不同土层的性质、厚度等直接影响桩型的适用性;上部结构特点决定了桩所承受的荷载分布;荷载大小关乎桩的承载力要求;施工条件包括场地空间、施工设备等;环境要求则涉及对周边生态、居民生活的影响等。通过细致的

技术经济比较, 权衡各桩型的优劣。在软土层厚、地下水位高的区域, PHC管桩施工便捷、效率高, 静钻根植桩对环境干扰小, 是优先之选; 上部结构荷载大、沉降要求严时, 钢桩承载力高, CFG桩复合地基能有效控制沉降; 地质复杂、有坚硬夹层或孤石处, 钻孔灌注桩和旋挖桩穿透能力强, 能适应复杂地质, 保障桩基础稳定。

4.2 施工工艺优化

施工工艺优化是提升桩基础质量、降低施工成本的关键路径。桩基础施工时, 严格遵循施工规范和操作规程是根本, 加强施工过程的质量控制不可或缺。对于锤击预制桩施工, 锤击能量和次数需合理把控, 能量过大或次数过多易致桩身损坏, 影响桩的承载性能; 钻孔灌注桩施工中, 泥浆比重关乎孔壁稳定, 钻孔垂直度影响桩的垂直受力, 钢筋笼安装位置准确才能保证结构稳定性, 混凝土灌注质量决定桩身强度, 这些关键环节都要严格监控; 静压桩施工里, 压桩力和速度的精准控制是桩身质量的重要保障。同时积极推广新技术、新工艺、新设备意义重大。旋挖钻机成孔速度快、质量佳且环保, 能提升钻孔灌注桩施工效率; 自动化压桩设备提高静压桩施工精度, 推动桩基础施工向高效、优质方向发展。

4.3 设计参数优化

设计参数优化是提高桩基础设计质量与经济性的重要举措。桩基础设计前, 加强地质勘察工作至关重要, 准确可靠的地质勘察数据是合理确定设计参数的基石, 能为后续设计提供坚实依据。设计过程中, 要紧密结合现场试验结果和相关规范标准, 对设计参数进行科学优化取值^[4]。

4.4 成本控制优化

成本控制优化是实现桩基础成本与效益平衡的核心环节。在桩基础建设和施工全过程中, 树立强烈的成本意识, 加强成本管理势在必行。设计阶段, 进行多方案

比较是关键, 综合考虑技术可行性和经济合理性, 选择最优桩基础方案, 从源头上控制成本; 施工阶段, 合理安排施工进度, 优化施工组织设计, 避免施工过程中的窝工、返工等现象, 减少不必要的费用支出。材料管理方面, 挑选质量可靠、价格合理的材料, 在保证质量的前提下降低材料成本; 机械设备管理上, 提高机械设备的利用率和完好率, 减少设备闲置和维修费用。加强质量管理和安全管理不容忽视, 质量问题可能导致返工维修, 安全事故会造成巨大经济损失, 只有确保质量和安全, 才能避免这些额外成本, 实现桩基础建设经济效益和社会效益的最大化。

结束语

桩基础在软土地基处理中扮演着至关重要的角色, 其合理应用对于保障建筑物的安全与稳定意义重大。然而, 当前在桩基础的应用过程中仍存在诸多问题, 这些问题不仅影响工程质量, 还关乎工程成本与效益。通过对桩型选型、施工工艺、设计参数以及成本控制等方面的优化策略研究, 为解决这些问题提供了有效途径。在实际工程中, 应综合考虑各方面因素, 科学合理地运用这些优化策略, 以提升桩基础在软土地基处理中的性能, 推动建筑行业在软土地基处理领域的技术进步与发展, 为建设高质量的工程项目奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 万强. 市政道路工程软土地基桩基施工技术[J]. 工程机械与维修, 2023, (01): 214-216.
- [2] 赵亮, 刘建国. 桩基础在软土地基加固中的应用效果分析[J]. 地基与基础工程, 2020, 45(2): 56-63.
- [3] 陈明. 地基处理技术在软土地基基础工程中的应用及效果研究[J]. 土木工程学报, 2021, 45(3): 432-445.
- [4] 张磊, 刘洋. 软土地基问题特性及处理技术综述[J]. 岩土工程学报, 2020, 38(2): 215-228.