

建筑工程在软土地基条件下的深层搅拌桩施工技术研究

文 / 黄海波 合肥昌华建筑安装工程有限责任公司

摘要: 为研究建筑工程在软土地基条件下的深层搅拌桩施工技术,采用阐述施工过程、分析技术难点及提出对策的方法。分析了深层搅拌桩施工的基本流程,包括施工步骤、设备材料选择、精度与质量要求等,明确了土体抗剪强度差异、水位变化、设备适配性、工程环境及气候条件、工程监控与质量控制等技术难点。结果表明,通过提高土体抗剪强度的优化设计、控制水位波动与水土保持、适配设备与技术创新、应对特殊气候条件及加强施工监控与质量管理等对策,可有效提升软土地基深层搅拌桩施工技术水平。

关键词: 软土地基; 深层搅拌桩; 施工技术; 地基处理; 技术难点

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.029

引言

在建筑工程领域,软土地基广泛分布且具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低等特性,给工程建设带来诸多难题。若地基处理不当,易导致建筑物沉降、倾斜甚至坍塌,严重影响工程质量与安全。深层搅拌桩施工技术作为一种高效的软土地基处理手段,通过将固化剂与软土强制搅拌,使软土硬结,从而提高地基的承载能力与稳定性。然而,在实际施工中,该技术面临着诸多挑战,如土体抗剪强度差异影响搅拌均匀性,水位变化干扰固化效果,施工设备需适配不同地质条件,复杂工程环境及气候条件制约施工进度与质量,工程监控与质量把控难度较大等。鉴于此,深入研究软土地基条件下的深层搅拌桩施工技术具有重要的现实意义。

一、建筑软土地基深层搅拌桩施工技术的基本过程

(一) 施工步骤与关键技术

深层搅拌桩施工从场地准备阶段便需严谨对待。首先,要彻底清除施工现场的障碍物、杂草及表层腐殖土等,将场地平整至设计标高,为桩机平稳作业创造条件。紧接着,运用全站仪等高精度测量仪器,依据设计图纸精确测量放线,确定每根搅拌桩的桩位,桩位偏差需严格控制在极小范围内。桩机就位后,启动搅拌下沉环节,搅拌头高速旋转,切削并搅松软土。下沉速度需根据软土的物理力学性质精准调控,一般维持在0.6-0.8m/min,确保软土被充分破碎。当搅拌头抵达设计深度,随即开启喷浆系统,以恒定压力将水泥浆均匀注入软土中,同时搅拌头反向旋转并匀速提升,提升速度通常设定在0.35-0.45m/min,使水泥浆与软土充分混合。为进一步强化桩体质量,往往还需进行二次搅拌下沉与提升操作。此过程中的关键技术,一是搅拌头的结构与旋转速度的协同,确保软土与水泥浆在三维空间内均匀交融;二是喷浆系统的稳定性与精准性,依靠高精度的流量计与压力控制系统,保障水泥浆的喷射量与压力符合设计要求,从而使桩体各部位强度均匀且达标。

(二) 设备与材料的选择

搅拌桩施工设备的选择直接关系到施工的质量和效率。根据工程规模,软土性质,设计桩径和桩长,选择合适的搅拌桩机。例如,对于大面积软土地基,为确保长桩施工和坚硬土层作业,应优先选择具有高功率、大扭矩的桩机。搅拌头作为软土地基的核心部件,其形状、尺寸和叶片布置需针对不同土壤条件进行优化设计,如在黏性软土层中,采用带有螺旋叶片的搅拌头,可以提高搅拌效果和泥浆扩散范围。材料方面,固化剂以水泥为主,一般选择42.5级或更高强度的普通硅酸盐水泥。同时,还可以在水泥土中加入适量的外加剂,如减水剂可以降低水泥浆的水灰比,提高桩的强度;早强剂能加快水泥水化进程,缩短施工时间;在原材料进场之前,要对水泥、掺合料等原材料进行质量检查,并对生产厂家的资质、产品合格证书和各项性能测试报告进行检查,以保证材料的质量满足国家有关标准和工程设计的要

(三) 施工精度与质量要求

施工精度关乎深层搅拌桩能否精准发挥承载作用。桩位偏差需严格控制在50mm以内,这要求测量放线过程中,测量人员具备丰富经验与严谨态度,多次复核桩位坐标。桩机就位时,借助水准仪、经纬仪等测量工具,实时调整桩机的水平度与垂直度,保证桩身垂直度偏差不超过1%,避免因桩身倾斜影响桩体承载性能。在质量要求上,桩体应无断桩、缩颈、离析等缺陷,确保桩身完整性^[1]。施工过程中,对每根桩的水泥用量、搅拌时间、喷浆压力、提升速度等关键参数进行详细记录,形成完整的施工档案,以便后续追溯与质量分析。成桩后,通过多种检测手段对桩身质量进行全面检验。在成桩7天内,采用轻便触探法,依据触探击数初步判断桩身强度是否达到设计要求;成桩28天后,进行钻芯取样检测,直观观察桩身完整性,测定桩身不同部位的强度,确保桩体强度及质量满足建筑工程对软土地基处理的高标准要求,为上部结构的稳定奠定坚实基础。

二、建筑软土地基深层搅拌桩施工中的技术难点

(一) 土体抗剪强度差异对施工的影响

软粘土地基的抗剪强度常有较大的差别。在搅拌桩施工过程中,通过不同强度的土层时,搅拌头的受力是不均匀的。在软弱土层中,搅拌头容易切入,但容易造成搅拌不均,水泥浆扩散不充分,影响桩体强度均匀性;但在高剪切强度土层中,搅拌头会遇到较大的阻力,导致桩机扭矩不足,搅拌深度不能满足设计要求^[2]。同时,土体剪切强度的突然变化也会导致搅拌头偏斜,导致桩身垂直度失控,进而影响桩体承载力和稳定性。如在粉质土和粉质粘土相间分布的地层中施工时,土层频繁变化(见图一),不仅增加了施工难度,降低了施工效率,而且很难保证桩身质量的一致性,给后续工程带来安全隐患。



图一: 土层变化

(二) 水位变化对施工效果的影响

软土地基通常含水量高且地下水位变化频繁。在深层搅拌桩施工过程中,若地下水位上升,桩体周围的水压增大,会干扰水泥浆与软土的正常混合。一方面,较高的水压可能将水泥浆稀释,降低其固化效果,使桩体强度无法达到设计标准;另一方面,水流可能携带部分水泥浆流失,导致桩体出现空洞、断桩等缺陷。相反,当地下水位下降,土体可能因失水而收缩,引起桩体与周围土体之间出现缝隙,降低桩土之间的摩擦力,削弱桩体对地基的加固作用。此外,季节性水位波动还会对长期处于地下水环境中的桩体产生侵蚀作用,影响桩体的耐久性,缩短建筑物的使用寿命。

(三) 施工设备适配性问题

深层搅拌桩施工设备的适配性至关重要。不同的软土地基条件,如土层厚度、硬度、含水量等差异较大,对施工设备的性能要求也各不相同。若设备选型不当,例如在深厚软土层中采用功率较小的桩机,可能无法满足搅拌深度与搅拌均匀性的要求。搅拌头的结构和尺寸若与土质不匹配,在粘性土中可能出现搅拌不充分,在砂性土中则可能导致水泥浆流失过快^[3]。此外,设备的

稳定性也不容忽视,在复杂地形或土质松软区域,设备易发生倾斜、下沉,影响施工精度。而且,老旧设备的故障率较高,维修保养困难,会导致施工进度延误,增加工程成本。施工设备与工程实际需求的不匹配,严重制约了深层搅拌桩施工技术的有效应用。

(四) 工程环境及气候条件对施工的制约

深层搅拌桩的施工环境和气候条件对其施工有很大的影响。在城区施工时,周围建筑密集,地下管线复杂,场地狭小,桩机的停放、搬运和堆放物料都十分不便。同时,施工时产生的噪声、振动等会影响到周边居民的正常生活及原有建筑,从而引起投诉和纠纷。在恶劣天气条件下,如暴雨天气,场地容易积水,不仅会影响设备的正常使用,而且会造成已建桩受到雨水的冲蚀;在大风天气下,桩机工作不稳定,影响施工精度。在寒冷地区,由于气温过低,水化反应减慢甚至停止,使桩的强度增长速率减慢;在高温地区,由于水分快速蒸发,水泥浆的工作性和养护效果受到影响,使其施工面临诸多挑战。

(五) 工程监控与质量控制难度

深层搅拌桩施工过程隐蔽性强,工程监控与质量控制难度较大。在施工过程中,难以实时直观地监测水泥浆的喷射量、搅拌均匀程度以及桩身的完整性。虽然可以通过记录施工参数来间接把控质量,但参数的准确性易受设备故障、人为操作失误等因素影响。例如,流量计故障可能导致水泥浆喷射量记录不准确,从而影响桩体强度^[4]。成桩后的质量检测也存在一定局限性,轻便触探只能检测桩体浅层强度,钻芯取样虽能直观反映桩身质量,但属于抽检方式,无法全面覆盖每一根桩。此外,施工队伍的技术水平参差不齐,质量管理体系不完善,也增加了质量控制的难度,难以确保每一根搅拌桩都能满足设计要求,保障工程质量安全。

三、建筑软土地基深层搅拌桩施工的技术难点的对策

(一) 提高土体抗剪强度的优化设计方法

在设计阶段,需综合考虑软土地基的土层分布、物理力学性质等因素,对深层搅拌桩进行优化设计。对于土体抗剪强度差异较大的区域,可采用变桩径、变桩长设计。在抗剪强度低的软土层,适当增大桩径,增加桩体与土体的接触面积,提高承载能力;在抗剪强度较高的土层,调整桩长,使桩端嵌入更稳定的持力层。同时,合理布置桩间距,通过数值模拟分析,确定既能保证桩体共同工作,又能有效提高土体整体抗剪强度的最佳间距。此外,选用合适的固化剂并优化配合比,根据土质特性添加适量的外加剂,如在粘性土中加入石灰,可改善土体结构,增强固化效果,提高桩体及周边土体的抗剪强度。在施工前,对场地进行预加固处理,如采用堆

载预压法,使土体提前排水固结,提高其抗剪强度,为后续搅拌桩施工创造有利条件。

(二) 控制水位波动与水土保持技术

为了有效地控制施工过程中水位的涨落,可以在施工场地周围设置降水井或隔水帷幕。在施工过程中,通过抽排地下水,降低地下水位,保证桩体在无水或低水位条件下,不会因水泥浆的稀释和流失而影响桩体的正常使用。止水帷幕能有效地阻止地下水渗入施工区,减小水位变动对桩基的扰动。同时,要合理安排施工工期,尽量避开雨季和地下水上升时段。施工期间,应加强对地下水位的监测,及时调整施工参数,如增加水泥浆浓度、提高桩体抗渗性能等^[5]。另外,还要注意水土保持,在场地周围修建排水沟、沉淀池,对施工过程中产生的废水、泥浆等进行沉淀处理,达到达标排放的目的,预防水土流失,保护周围的水环境,保持施工区域的水土平衡,保证搅拌桩施工的顺利进行和桩体质量的稳定。

(三) 适配设备与技术创新解决方案

针对施工设备适配性问题,在施工前需对软土地基进行详细勘察,根据土质、土层厚度、地下障碍物等情况,精准选型施工设备。对于深厚软土层,选用大功率、高扭矩且具备自动垂直度调节功能的深层搅拌桩机,确保搅拌深度和桩身垂直度。研发新型搅拌头,根据不同土质设计特殊结构,如在砂性土中采用带翼片的搅拌头,增强水泥浆的搅拌与扩散效果。同时,利用智能化技术,对施工设备进行升级改造。通过安装传感器,实时监测设备运行参数,如扭矩、转速、喷浆压力等,实现施工过程的自动化控制与远程监控。一旦设备出现故障或参数异常,系统能及时报警并自动调整,提高施工效率与质量。此外,积极探索新技术,如采用高压旋喷与深层搅拌相结合的施工工艺,针对复杂地质条件,发挥两种技术的优势,提升地基处理效果。

(四) 应对特殊气候条件下的深层搅拌桩施工技术

特殊气候条件给深层搅拌桩施工带来诸多挑战,需针对性制定施工技术。在暴雨天气,施工前应完善场地排水系统,提前设置足够数量的排水泵与排水沟,确保积水能迅速排出。对已完成的桩体及时覆盖塑料薄膜等防护材料,防止雨水冲刷导致水泥浆流失,影响桩体强度。同时,密切关注天气预报,在雨势减弱间隙,迅速组织人员进行桩机设备的清洁、调试,为恢复施工做准备。遭遇大风天气时,要着重强化桩机的稳定性。通过增加地锚数量、加固支撑结构等方式,确保桩机在强风下不发生倾斜、位移。此外,可在桩机操作区域设置防风围挡,降低风力对施工精度的影响,保障搅拌作业的顺利进行。在严寒地区,低温会严重影响水泥的水化反应。此时,可对水泥浆进行加热处理,如采用热水搅拌水泥,同时在施工现场搭建保温棚,维持棚内温度适宜,促进水泥正常水化,使桩体强度能够稳步增长。而在高温地区,

水分蒸发过快,易导致水泥浆干涸、和易性变差。因此,可在水泥浆中添加适量缓凝剂,延长水泥的凝结时间,并且增加桩体的洒水养护频次,保持桩体湿润,确保深层搅拌桩施工质量不受特殊气候条件的过度干扰。

(五) 加强施工过程监控与质量管理手段

强化施工过程监控与质量管理是保障深层搅拌桩施工质量的关键。建立完善的质量管理制度,明确各施工环节的质量标准与责任人。在施工过程中,利用先进的监测设备,如高精度流量计、压力传感器等,实时监测水泥浆喷射量、喷浆压力等关键参数,并与预设值对比,一旦出现偏差,立即停机调整。安排专业技术人员旁站监督,对每根桩的施工过程进行详细记录,包括搅拌时间、提升速度、桩位等信息。成桩后,加大质量检测力度,增加抽检比例,除常规的轻便触探、钻芯取样检测外,引入低应变检测等新技术,全面检测桩身完整性。同时,加强对施工队伍的技术培训与考核,提高施工人员的质量意识与操作水平,从人员、设备、材料、工艺等多方面入手,全方位加强施工过程监控与质量管理,确保深层搅拌桩施工质量符合设计要求。

结语

综上所述,本研究通过对建筑工程在软土地基条件下深层搅拌桩施工技术的深入探究,采用阐述施工过程、剖析技术难点及提出针对性对策的研究方法。明确了施工流程中的关键环节,以及土体抗剪强度差异、水位变化等诸多技术难题。研究表明,通过优化设计以提高土体抗剪强度、控制水位波动并做好水土保持、适配设备并推动技术创新、应对特殊气候条件以及强化施工监控与质量管理等一系列有效措施,能够切实提升软土地基深层搅拌桩的施工技术水平,为建筑工程在软土地基上的安全、稳定建设提供有力支撑,保障工程质量与耐久性。

参考文献

- [1] 曹辉,陈超. 建筑基础工程建设中软土地基施工技术分析[J]. 中华建设, 2024, (09): 130-132.
 - [2] 苟周. 房屋建筑工程软土地基施工技术探究[J]. 砖瓦, 2024, (08): 150-152.
 - [3] 于建波. 建筑工程施工中软土地基处理及固化技术[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(四). 威海鼎辰建设工程有限公司; , 2024: 2.
 - [4] 何坤. 建筑工程软土地基施工处理方法分析[C]//《建筑科技与管理》组委会. 2015年3月建筑科技与管理学术交流会议论文集. 河北山泰建筑安装有限公司; , 2015: 2.
 - [5] 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.
- 作者简介: 黄海波(1985年11月), 男, 汉, 安徽肥东人, 工程师, 本科, 专业: 建筑工程。