

深基坑水泥搅拌桩软土处理技术

章军

中国中铁长沙市规划设计院有限责任公司

摘要：深基坑工程对于稳定性要求非常高，在具体施工阶段由于我国地质条件不同，很多区域存在软土土质，使得深基坑工程施工时出现沉陷、塌方等问题。所以为保证深基坑工程稳定性进行，本文结合某项目工程为例，对三轴水泥搅拌桩技术在深基坑软土处理中的施工方法进行探究。研究表明，将水泥与软土充分混合，该技术显著提升软土的承载能力、抗沉降性能以及整体稳定性，为深基坑工程提供可靠的地基加固方案。

关键词：深基坑；水泥搅拌桩；软土地基；处理技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.015

引言

从现状分析发现，在软土地区进行深基坑施工常常会存在地基承载力不足、沉降风险大等问题。三轴水泥搅拌桩是一种加固软土地基的方法，即利用水泥、石灰等材料作为固化剂的主剂，通过特制的搅拌机械就地软土和固化剂（浆液状或粉体状）强制搅拌，利用水泥和软土之间所产生的一系列物理化学反应，使软土硬结成具有整体性，水稳定性和一定强度的复合地基，从而提高地基承载力，减少软土地基的沉降量，满足工程建设要求。

一、三轴水泥搅拌桩技术概述

该技术是一种专门用于软土地基的地基处理方法，目的在于改善软土地基的承载能力、稳定性和抗沉降性能。软土地基的地基通常由高含水量的粉状颗粒物质组成，其工程性能较差，容易产生沉降、侧移等问题，限制建筑物的安全和稳定。为解决这些问题，三轴水泥搅拌桩技术应运而生。三轴水泥搅拌桩技术是将水泥与软土进行混合，形成一个稳定、坚固的土体。在施工过程中，首先将水泥和水按照一定的比例混合成水泥浆液，然后将浆液钻杆注入到软土地基中。在注入过程中，钻杆会不断旋转，使水泥浆液与软土充分混合，形成一个均匀的混凝土土体。与传统的灌注桩相比，三轴水泥搅拌桩技术具有更高的混合效率和更均匀的混凝土分布。三轴水泥搅拌桩技术在搅拌过程中使用的是三根钻杆，分别对应于转速、旋转角度和钻杆推进速度，从而实现三轴的控制，这种多轴控制的方式能够更好地保证混合的均匀性和一致性，使得软土与水泥能够充分融合，形成具有良好力学性能的复合地基。同时，三轴水泥搅拌桩技术还根据不同的软土情况，调整三轴的参数，以实现最佳的混合效果^[1]。

二、深基坑水泥搅拌桩软土处理技术应用

（一）工程概况

（1）概况

某高层建筑项目总建筑面积约为10万平方米，所选取的结构类型为框架剪力墙结构，而施工方案则采用静力压桩的作业方式。该项目地处于冲击海积平原地区，在多年的填平处理后，地面高程范围从3.51到4.53米。经过现场勘察，最大钻探深度约为80米，全部属于第四系沉积物。综合考量形成年代、成因、物质组成等因素，现场地质条件被分为9个工程地质层。针对这些地质层，对现场进行钻探分析和室内土工实验检测，得出以下结论。地基结构埋深超过17.0米的区域呈现海绵状结构，其特点为含水量较低、容重较小、强度较低、压缩性较强。而在17米到31米之间的区域则呈现单粒结构，表现出较低的含水量、较大的容重以及较高的强度。值得注意的是，在现场地质条件下，黏土层的厚度相对较薄。基坑支护施工过程中，最大厚度为13米的淤泥质土层结构是需要特别关注的区域。

（2）土质情况

根据现场勘察和钻探数据，该高层建筑项目的土质情况为：表层土壤（0-15米）：主要为填土层，包括砂、粉土和碎石混合，属于非坚硬土层，较容易开挖。黏性土层（15-30米）：紧贴填土层之下，含有较高的黏性成分，属于黏土类型。在施工中可能会有较大的黏附性，需要注意支护和排水措施。粉砂质黏土层（30-50米）：相对于黏性土层而言，具有一定的承载能力，但仍然属于粉砂质黏土类型，需要针对其特性进行施工设计。砂质黏土层（50-80米）：较为稳定的地层，由砂质黏土组成，具有一定的承载能力，适合用于静力压桩的施工。

（二）三轴水泥搅拌桩工艺技术

1. 现场定位

在项目现场施工过程中，采用液压平衡装置的应用，为现场作业提供关键支持。这一装置的运用，确保搅拌设备能够保持良好的平衡状态，从而为施工工作创造更加稳定的环境。此外，借助专业的检测仪器，对立柱和搅拌轴的垂直度进行全面检测。在检测过程中，如果发现偏差情况，能够迅速进行校正处理，以确保结构的垂直度达到要求。同时，对槽壁进行整体加固处理，进一步提升结构的稳定性。在具体实施中，旨在确保垂直度偏差不超过1/300的标准成为关键目标。特别是在基坑内进行现场加固桩的施工过程中，更是严格控制垂

直度，要求达到1/200以内。

2. 水泥搅拌桩设计参数

该项目展开槽壁加固、裙边加固等应用三轴搅拌桩，基坑外侧止水帷幕应用双轴水泥搅拌桩，表1。

表1 施工参数

序号	内容	要求
1	规格	A850@600（三轴搅拌桩）
2	平面允许偏差	±40mm
3	垂直度	坑内加固（1/200）；槽壁加固（1/300）
4	水灰比	坑内加固（1.5）；槽壁加固（1.2~1.5）
5	搅拌下沉速度	$V_1 < (0.5\text{m}/\text{min})$
6	提升速度	$V_2 < (1.0\text{m}/\text{min})$

3. 水泥浆制备

（1）在材料堆放区域，应设立专门的水泥储存罐，确保水泥的合理储存。同时，在区域边缘搭建拌浆台，以便进行后续的工艺操作。在执行设计方案时，必须严格控制水灰比，确保混凝土配制的比例符合规定。随后，利用泥浆泵和输浆管等设备将预先制备的浆液注入孔内。此时，应确保浆搅拌机恰当放置在指定位置，以保证浆液配制的准确性，以满足技术参数所要求的标准。（2）在进行水泥加固施工时，必须严格遵守一系列比例控制要求。水泥的加入比例不得低于土体结构质量的20%，而水灰比则应在1.2至1.5之间。在土体结构的加固施工过程中，务必确保混合土体在28天时的无侧限抗压强度达到 $P \geq 0.8\text{MPa}$ ，从而保证工程质量和结构的稳固性。（3）为防止加入比例不合格，通常需要采用流量计、液压装置等专业设备进行水泥浆液的准确计量与控制，以确保混凝土浆液的配比能够满足性能标准的要求。

4. 搅拌桩施工

在搅拌桩钻杆的现场施工过程中，需要充分注意各个环节的操作，以确保施工质量和工程稳定性。（1）在上升和下沉的过程中，必须注入适量的水泥浆液材料，确保搅拌桩的均匀作业。在水泥初凝前，应对水泥浆液进行充分的搅拌处理，以确保土壤和水泥能够充分混合，从而保证工程建设的质量符合要求。（2）在搅拌桩的长度控制方面也需要加强管理，确保搅拌桩的长度不小于桩体长度，并且满足设计标准。为避免现场施工导致桩体密实度不合格，必须严格控制下沉环节，以达到均匀搅拌的效果。在上升环节，应关闭气体喷浆，以保持施工环境的清洁。（3）在每个施工环节结束后，需要利用清水对管道内部的水泥浆液进行全面清洗，彻底清理搅拌头、钻具、钻杆、钻头等部位的黏土残留，确保清洗效果达到良好的状态。此外，在水泥搅拌桩的施工阶段，垂直度的控制至关重要，偏差必须控制在1%以内，整体桩体直径的偏差应在4%以内。在移动钻机时，必须达到规定的桩位，确保偏差不超过50mm。

（4）在钻杆工作过程中，应注重实现均匀且缓慢的下沉效果，同时确保上层土壤得到充分的搅碎。根据现场的试验和检测，应加强对下降速度的控制，确保施工作业能够满足要求。（5）对于不同类型的土壤，有相应的施工参数需要严格控制，以确保搅拌桩施工的质量和稳定性。对于灰色淤泥黏土而言，必须将设备的下沉速度控制在 $0.65\text{m}/\text{min}$ 以内，而在处理褐黄色黏土时，下沉速度则应限制在 $0.75\text{m}/\text{min}$ 以内。如果桩体达到设计标高部位，接下来应进行注浆施工，确保注浆时间超过30秒，从而赋予桩体结构更高的稳固性。（6）在进行钻杆提升注浆作业时，必须谨慎操作，确保设备的升高操作与土体的均匀性相符合标准。根据不同的土层地质特征，必须调整搅拌设备的提升速度，以满足实际施工需求，保障工程的标准要求得以实现。在注浆提升操作的过程中，除非遇到特殊情况或停电等原因造成的停止运行，再次启动施工时，钻机应重新下沉到停注点以下500mm位置，然后谨慎提升，以防止发生断桩等问题^[2]。

5. 喷粉成桩

在粉喷桩的实际施工过程中，必须严格按照设计标高的要求进行喷粉成桩操作。在此过程中，尤其需要强化对成桩高度的精确控制，确保叠加标高在1米以上，以确保桩体的直径符合设计规范。对于粉喷桩的质量和尺寸参数，绝不能妥协。如果在粉喷桩施工过程中发现技术参数未达到合格标准或质量未达到设计要求，必须立即停止施工。在停工期间，必须进行技术参数的调整和校准，直至确保最终验收合格后方可继续施工投入使用。

6. 清洗

采用清水进行管道内部冲洗处理，主要目的是将搅拌头和钻具上附着的水泥浆彻底清除，确保不含任何干扰施工的杂质。

三、处理结果分析

经过深基坑水泥搅拌桩软土处理技术的应用，基坑软土情况得到有效改善。在施工过程中，水泥搅拌桩通过将水泥、土壤充分混合，形成坚实的桩体，使软土的承载力、稳定性和抗沉降性得到显著提升。处理后的软土变得更加坚实，有效避免了因软土松散而导致的塌方、滑坡等安全隐患。通过基坑底部的加固，其对整个基坑的稳定产生了显著的有利影响。水泥搅拌桩不仅加强了软土的支撑能力，还增加了土体的整体刚性，从而有效控制了基坑变形和沉降。这种加固方式不仅能够保障基坑周边建筑物的安全，还能够为后续的施工提供稳定的施工条件，降低了施工风险和工期。总之，深基坑水泥搅拌桩软土处理技术的应用使得软土得到强化和加固，显著提升了其承载能力和稳定性。通过基坑底部的加固，对整个基坑的稳定产生了积极的影响，为工程的顺利进行提供了可靠的基础保障。

四、软土出处理三轴搅拌桩施工要点

(1) 在搅拌机进入现场施工之前, 必须进行全面的检测和验收, 只有在检测结果合格的情况下方可投入使用。这一严格的检测流程旨在确保搅拌机的性能和状态符合技术要求, 从而保障后续的施工质量和顺利进行。这种检测程序, 能够有效降低搅拌机投入使用后出现问题的风险, 减少不必要的维修和调整工作。在进行槽壁加固桩施工时, 对于垂直度的控制要求非常严格。根据标准规定, 槽壁加固桩的垂直度偏差应在 $1/300$ 以内, 而坑内加固桩的垂直度偏差要求更高, 应在 $1/200$ 以内。这意味着在施工过程中, 必须采取适当的措施确保桩的竖直性, 以免偏差过大影响工程的稳定性和安全性。另外, 在加固桩的安装位置方面也有明确的要求。位置偏差限制在 40mm 以内, 这要求施工人员在桩的布置和安装过程中要保持高度的精确性和谨慎性。只有准确地控制桩的位置, 才能确保加固桩在实际工程中发挥出预期的效果。

(2) 在加固工程中, 为确保施工的质量和稳定性, 水泥浆的比例控制是确保加固桩施工质量的重要因素之一。合适的水泥浆比例保证水泥与土壤充分混合, 从而形成坚固的桩体结构。然而, 如果水泥浆比例不合适, 会导致桩体的强度不足或者不稳定, 从而影响整个工程的质量和安全性。当发现水泥浆的参数不符合要求时, 必须立即采取措施进行废弃处理, 不能将不合格的水泥浆用于施工。否则, 不合格的水泥浆会影响加固桩的承载能力和稳定性, 进而对工程的产生严重影响^[3]。

(3) 在搅拌桩的施工过程中, 无论是三轴搅拌桩还是双轴搅拌桩, 下沉和上升的速度都是需要严格控制的重要因素之一。这是因为下沉和上升的速度直接影响着搅拌桩施工中土体与浆液的混合程度和均匀性。在下沉过程中, 如果速度过快, 土体与浆液的混合不够充分, 从而影响桩体的质量和稳定性。相反, 如果速度过慢, 会造成施工效率低下, 增加工程周期。因此, 下沉速度必须严格控制在设计要求范围内, 以确保土体与浆液能够充分混合均匀, 从而形成坚固的桩体结构。同样, 在上升过程中也需要保持合适的速度。上升速度过快导致已经混合的土体和浆液分离, 影响桩体的一致性和质量。而上升速度过慢则会浪费时间, 降低施工效率。因此, 上升速度也需要根据设计要求进行严格的控制, 以保证土体与浆液能够持续混合, 从而实现桩体结构的均匀性和稳定性。

(4) 在搅拌桩的施工过程中, 为确保浆液的连续性和稳定性, 管道的通畅性显得尤为重要。如果管道出现堵塞或者其他问题, 会导致断浆的情况发生, 进而影响整个施工的质量和进度。因此, 在施工中必须要保证管道达到通畅性标准, 以避免断浆的情况发生。为预防断桩的问题, 施工过程中应该充分关注管道的状态。如

果发现管道有堵塞或者其他异常情况, 施工人员应及时采取措施进行处理, 确保浆液能够持续流动。在处理管道问题的过程中, 需要停浆几十秒的时间, 以便清除管道内的障碍物, 恢复正常的浆液流动。虽然这会稍微延长施工时间, 但却能够有效地避免断桩问题的发生, 保证整个搅拌桩施工的质量和稳定性。此外, 施工人员在管道检查和维护时, 还需要保持高度的警惕性。定期检查管道是否通畅, 是否有积聚的杂质等, 以便及时发现并解决潜在问题。

(5) 在双轴搅拌桩的水泥浆制作过程中, 中间的停滞时间需要在2小时以内, 以确保浆液的连续性和稳定性。同时, 在双轴搅拌桩的施工中, 相邻桩的搭接间隔时间应在10小时以内。这种安排确保相邻桩之间的浆液不会发生太大的差异, 从而保证整体工程的稳定性和一致性。如果间隔时间较长, 不能及时进行下一节的搭接施工, 采取局部补桩的方式, 以保持施工的连续性和质量^[4-5]。在三轴搅拌桩的施工过程中, 需要加强对质量的控制。如果在施工过程中存在质量问题, 应当及时进行补强处理, 以防止未来发生渗水等问题。对于出现质量问题的桩体, 应当进行检测和评估, 并采取适当的措施进行加固, 确保桩体的稳定性和可靠性。

五、结语

综上分析, 深基坑三轴水泥搅拌桩软土处理技术作为一种常见地基加固方法, 已经在城市建设中发挥巨大的作用。在具体施工环节主要将水泥浆液与软土充分混合, 使软土得到有效的强化和改良, 提高地基的承载能力和抗沉降性能, 从而为深基坑施工提供稳定可靠的地基支撑。往后, 还要结合项目实际需求, 对三轴水泥搅拌桩技术进行研究创新, 且重视施工现场的科学部署, 确保软土地基问题得到改善。

参考文献

- [1] 石彦明. 预应力管桩与水泥搅拌桩组合技术在深基坑支护中的应用[J]. 工程建设, 2020, 52(07): 54-58.
- [2] 陈清华. 水泥搅拌桩止水帷幕施工技术在深基坑边坡支护中的运用[J]. 建材与装饰, 2019(08): 25-26.
- [3] 韩超越. 深基坑中压喷射水泥搅拌桩施工技术研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2021, 54(S1): 144-147.
- [4] 张明, 张九龙, 袁茂生等. 水泥搅拌桩支护条件下的深基坑土方开挖关键施工技术[J]. 建筑施工, 2015, 37(10): 1152-1153+1166.
- [5] 徐富宁. 预应力管桩与水泥搅拌桩组合技术在深基坑支护中的应用研究[J]. 低碳世界, 2021, 11(07): 138-139.