

# 水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土的加固效果研究及其应用

杨晓春<sup>1</sup> 李超<sup>2</sup> 唐超<sup>3</sup> 戈玉田<sup>3</sup>

1. 宁波市交通规划设计研究院有限公司 浙江 宁波 315100

2. 浙江科鼎岩土工程有限公司 浙江 宁波 315100

3. 宁波市天一建筑设计有限公司 浙江 宁波 315100

**摘要:** 文章深入研究了水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土的加固效果。通过试验设计与实施,评估了加固体的物理力学性质、变形性能和长期稳定性。研究表明,水泥搅拌桩能够显著提高加固体的强度和地基承载力,有效改善高含水量和高塑性指数软土的力学性质。本文还探讨了加固技术的优化方向,为实际工程应用提供了可靠的技术支持和理论依据。

**关键词:** 水泥搅拌桩;高含水量软土;高塑性指数软土;加固效果;地基处理

引言:高含水量和高塑性指数软土是地基工程中常见的难题,对工程建设的安全性和稳定性构成了严重威胁。水泥搅拌桩作为一种有效的软土地基加固方法,在实际工程中得到了广泛应用。对于高含水量和高塑性指数软土的加固效果仍需深入研究。本文旨在探讨水泥搅拌桩对这类软土的加固效果,并为其在实际工程中的应用提供理论依据和技术支持。

## 1 水泥搅拌桩加固机理

### 1.1 水泥加固土的物理化学反应过程

水泥加固土的过程是基于一系列物理和化学的反应。这些反应主要发生在水泥与土壤颗粒之间。当水泥与土壤混合时,水泥中的水化产物会与土壤中的矿物质发生化学反应,形成不溶于水的稳定化合物。这些化合物逐渐硬化,从而提高了土体的整体强度。水泥加固土的物理化学反应过程包括几个方面:(1)凝硬作用。水泥浆水化反应会析出大量的 $\text{Ca}^{2+}$ 离子。在土体碱性环境中,这些离子与土内矿物质进行化学反应,生成不溶于水的稳定的结晶化合物。这些化合物逐渐硬化,从而增大了加固体的强度。(2)碳化作用。水泥水化物中的氢氧化钙能吸收水中的二氧化碳,发生化学反应生成不溶于水的碳化钙。这种反应虽然使加固体增加的强度较慢,但也是一种有效的加固方式。此外水泥加固土的过程中还会形成“晶边-晶面结合”的蜂窝状结构,这种结构将土中的矿物颗粒包络于其中,从而进一步提高了土体的整体强度。

### 1.2 水泥搅拌桩的加固原理

水泥搅拌桩的加固原理是基于水泥加固土的物理化

学反应过程,利用机械设备将水泥喷入待处理的软土地基内,并不断上下搅拌均匀。通过这一过程,水泥与土发生水解水化反应并形成凝胶体,最终形成一种稳定的结构整体。这种结构整体具有较高的强度和较好的变形性能,从而提高了软土地基的整体承载力和稳定性。水泥搅拌桩的加固原理包括几个方面:(1)利用深层搅拌机械将水泥和软土进行强制拌和,使水泥与土充分混合。(2)通过水泥与土之间的物理化学反应,生成具有高强度和稳定性的水泥土桩体<sup>[1]</sup>。(3)这些水泥土桩体与周围的土体共同构成复合地基,从而提高整个地基的承载力和稳定性。在实际应用中,水泥搅拌桩加固技术已经得到了广泛的应用和验证。通过合理的施工方法和工艺控制,可以有效地提高软土地基的承载力和稳定性,满足各种工程需求。

## 2 高含水量和高塑性指数软土的特性分析

高含水量是软土的一个重要特性,它直接影响了软土的力学性能和工程性质。由于软土中孔隙比大,含水量高,导致软土的压缩性高,且长期不易达到稳定。这种高压缩性使得软土在受到荷载作用时容易产生较大的变形,且变形稳定历时长。高含水量还导致软土的透水性低,垂直层面几乎是不透水的,这对排水固结不利,进一步加剧了软土变形和沉降的问题。在处理高含水量软土时,需要采取适当的排水和固结措施,以提高其承载力和稳定性。

高塑性指数是软土的另一个重要特性,它综合反映了软土的矿物成分、颗粒大小和结构特性,由于软土的触变性和流变性显著,一旦受到扰动或荷载作用,其结

构容易破坏，强度迅速降低。

### 3 水泥搅拌桩加固效果的影响因素分析

#### 3.1 软土性质的影响

水泥搅拌桩加固效果首先受到软土性质的影响。软土的含水量、塑性指数、有机质含量以及颗粒级配等特性，均会对水泥与土的混合均匀度、水泥水化反应的进程以及最终加固体的强度产生显著影响。例如，高含水量会降低水泥与土之间的粘结力，影响加固效果；高塑性指数虽然可能提高土的抗剪强度，但也会增加施工难度和成本。软土中的有机质会与水泥发生化学反应，消耗水泥中的有效成分，从而降低加固体的强度。

#### 3.2 施工工艺参数的影响

施工工艺参数也是影响水泥搅拌桩加固效果的重要因素。搅拌深度、搅拌速度、水泥掺入比、注浆压力以及施工顺序等参数，均会对加固体的均匀性、密实度和强度产生影响。例如，搅拌深度不足会导致加固深度不够，影响整体加固效果；搅拌速度过快则可能导致水泥与土混合不均匀，形成局部软弱层；水泥掺入比过低则无法形成足够的强度，而过高则可能增加成本并导致加固体开裂<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 环境因素的影响

环境因素同样对水泥搅拌桩加固效果具有重要影响。温度、湿度、降雨以及地下水位等环境因素，均会对水泥水化反应的进程、加固体的干燥收缩以及长期稳定性产生影响。例如，高温会加速水泥水化反应，但也可能导致加固体过快干燥收缩而产生裂缝；降雨和地下水位上升则可能导致加固体受到浸泡，降低其强度和稳定性。

### 4 水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土的加固效果研究

#### 4.1 试验设计与实施

为了深入研究水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土的加固效果，设计并实施了一系列精心规划的试验。试验的目标是通过对比分析，明确水泥搅拌桩在不同条件下的加固机理和效果，为实际工程应用提供理论依据和技术支持。首先，选择了具有代表性的高含水量和高塑性指数软土作为试验对象。这些软土样本取自不同地区，涵盖多种地质条件，确保试验结果的广泛适用性。在试验前，对这些软土样本进行了详细的物理和力学性质测试，以获取其基本的物理力学参数，包括含水量、塑性指数、密度、抗剪强度等。接下来，设计了多种水泥搅拌桩的加固方案。这些方案考虑不同的水泥掺入比、搅拌深度、搅拌速度等参数，以探究这些参数对

加固效果的影响。为了对比水泥搅拌桩与其他加固方法的优劣，我们还设计对照组试验，采用其他常用的软土地基加固方法，如换填垫层法、塑料排水板堆载预压法等。在实施试验时，严格按照设计方案进行操作。首先，对试验场地进行了平整和预处理，确保试验条件的一致性。然后，按照预定的参数进行水泥搅拌桩的施工，包括水泥的掺入、搅拌和注浆等步骤。在对照组试验中，也采用相应的加固方法进行施工。在施工过程中，记录了各项施工参数，并对加固体的质量进行实时监测。

#### 4.2 加固效果评估指标

为了客观评估水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土的加固效果，研究团队选择了多个评估指标，这些指标全面涵盖了加固体的物理力学性质、变形性能和长期稳定性等方面。研究团队测量了加固体的无侧限抗压强度，这是评估加固效果最直接且最重要的指标之一。通过测量加固体的抗压强度，可以清晰地了解水泥搅拌桩对软土的加固程度以及加固体的承载能力。进行了地基承载力的测试。地基承载力是衡量地基稳定性的关键指标，能够反映地基在荷载作用下的变形和破坏情况。通过这一测试，可以评估加固后地基的稳定性和安全性<sup>[3]</sup>。研究团队还测量了加固体的变形性能，包括沉降量、水平位移等，这些指标能够反映加固体在荷载作用下的变形情况，从而进一步评估加固效果的好坏。同时为确保加固效果能够持久有效，还对加固体的长期稳定性进行了持续的监测和评估。

#### 4.3 试验结果与分析

经过一系列精心设计和实施的试验，我们获得了丰富的试验数据。通过对这些数据的分析和处理，得出了以下结论：首先，水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土具有明显的加固效果。在不同参数条件下，加固体的无侧限抗压强度均得到了显著提高，且地基承载力也得到了有效提升。这表明水泥搅拌桩能够有效改善软土的力学性质，提高其承载能力和稳定性。其次，水泥掺入比、搅拌深度等参数对加固效果具有显著影响，随着水泥掺入比的增加，加固体的强度逐渐提高，但过高的掺入比可能导致成本增加和加固体开裂等问题。搅拌深度的增加也能够提高加固效果，但过深的搅拌可能会增加施工难度和成本。在实际工程中，需要根据具体情况选择合适的参数进行加固设计。另外，还发现，水泥搅拌桩的加固效果与软土的性质密切相关。对于含水量较高、塑性指数较大的软土，加固效果可能相对较差。这可能是因为这些软土中的水分和有机质含量较高，影响

了水泥与土之间的化学反应和粘结效果。因此在处理这类软土时,需要采取额外的预处理措施,如排水、晾晒等,以提高加固效果。

## 5 水泥搅拌桩加固技术的优化与创新

### 5.1 加固技术的改进方向

水泥搅拌桩加固技术作为一种有效的软土地基处理方法,在实际工程中得到了广泛应用。随着工程技术的不断进步和工程需求的日益多样化,传统的水泥搅拌桩加固技术也面临着一些挑战和限制。因此对加固技术进行改进和优化成为了一个重要的研究方向。针对高含水量和高塑性指数软土的加固难题,需要进一步优化水泥搅拌桩的施工参数。例如,通过调整水泥掺入比、搅拌深度和搅拌速度等参数,可以更有效地提高加固体的强度和稳定性。还可以考虑采用分段搅拌、多层搅拌等新型施工方法,以更好地适应不同地质条件和工程需求。在加固材料方面,可以探索使用新型固化剂和添加剂来替代或补充传统水泥。这些新型材料可能具有更高的反应活性、更好的粘结性能和更强的耐久性,从而能够显著提高加固体的力学性能和长期稳定性。例如,一些高分子聚合物、无机盐类固化剂以及纳米材料等,都有可能成为未来水泥搅拌桩加固技术的重要发展方向。在加固工艺方面,还可以考虑引入一些先进的施工技术,如真空预压、振动压实等。这些技术可以与水泥搅拌桩加固技术相结合,形成复合加固体系,从而进一步提高加固效果和施工效率。

### 5.2 新型固化剂与添加剂的应用

随着材料科学的不断进步,越来越多的新型固化剂和添加剂被开发出来,并应用于水泥搅拌桩加固技术中。这些新型材料不仅能够显著提高加固体的强度和稳定性,还能够改善其耐久性、抗渗性和环保性能。例如,一些高分子聚合物固化剂可以与水泥发生化学反应,形成具有更高强度和更好粘结性能的复合体。这些复合体不仅能够有效提高加固体的抗压强度和抗剪强度,还能够增强其抗渗性和耐久性。一些无机盐类固化剂也可以与水泥发生化学反应,生成具有特殊性能的化合物,从而进一步提高加固体的性能。除了固化剂外,添加剂的应用也是水泥搅拌桩加固技术优化的一个重要方向。通过添加适量的外加剂,如减水剂、速凝剂、缓凝剂等,可以显著改善水泥浆体的流动性、凝结时间和硬化性能。这些添加剂不仅能够提高施工效率和质量,

还能够减少水泥用量和降低成本。需要注意的是,新型固化剂和添加剂的应用需要充分考虑其与环境、土壤和水泥的相容性。在实际工程中,需要进行充分的试验和研究,以确保这些新型材料的安全性和有效性。

### 5.3 智能化施工与监测技术的发展

随着信息技术的不断发展,智能化施工与监测技术已经成为水泥搅拌桩加固技术优化的一个重要方向。通过引入智能化设备和系统,可以实现对施工过程的实时监测和精确控制,从而提高施工质量和效率<sup>[4]</sup>。在智能化施工方面,可以采用自动化搅拌设备、远程控制系统和智能监测系统等技术手段。这些设备和系统能够实时监测施工过程中的各项参数,如水泥掺入比、搅拌深度、搅拌速度等,并根据实际情况进行自动调整和优化。这不仅可以提高施工精度和效率,还可以减少人为因素对施工质量的影响。在智能化监测方面,我们可以利用传感器、物联网和大数据分析等技术手段,对加固体的变形、沉降和应力等参数进行实时监测和分析。通过实时监测数据,可以及时发现和解决施工过程中的问题,确保加固效果达到设计要求。同时还可以利用大数据分析技术对监测数据进行深入挖掘和分析,为未来的工程设计和施工提供有价值的参考信息。

### 结束语

本文通过对水泥搅拌桩对高含水量和高塑性指数软土的加固效果进行深入研究,揭示了其加固机理和效果。研究成果不仅为这类软土地基加固提供了有效的技术手段,也为工程实践提供了重要的理论依据。未来,将继续探索更加高效、环保的加固技术和方法,以应对更加复杂多变的工程地质条件,为工程建设的安全性和稳定性提供更加坚实的保障。同时也期待更多学者和工程师加入到这一领域的研究和应用中来。

### 参考文献

- [1] 兰承维.软土深基坑支护措施研究[J].安徽建筑,2021,28(10):172-173.
- [2] 蔡训.深厚软土地基深基坑支护坑内墩式加固模式及效果评价[D].苏州科技大学,2021.000161.
- [3] 岑勇.深层水泥搅拌桩在基坑支护中的应用[J].住宅与房地产,2021(09):209-210.
- [4] 胡青.软土地基中水泥搅拌桩施工试验设计实证研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2021,39(02):81-86.