

水泥土搅拌桩的设计探讨

何光飞 喻成豪

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

摘要：本文旨在深入探讨水泥土搅拌桩的设计原理、设计参数、施工关键控制点以及设计优化与实践。通过对水泥土搅拌桩的详细分析，揭示了其在软土地基处理中的重要作用和应用价值。文章首先介绍了水泥土搅拌桩的基本原理，随后详细阐述了设计参数的选择与确定，接着讨论了施工过程中的关键控制点，并提出了设计优化的建议。最后通过实际工程案例展示了水泥土搅拌桩的应用效果和发展趋势。

关键词：水泥土搅拌桩；设计原理；设计参数；施工控制；优化实践

引言：水泥土搅拌桩作为一种有效的软土地基处理方法，近年来在建筑工程、道路工程、桥梁工程等领域得到了广泛应用。该方法通过将水泥浆与土体混合搅拌，形成具有一定强度和稳定性的水泥土复合地基，从而提高了地基的承载力和稳定性。然而，水泥土搅拌桩的设计和施工过程涉及多个复杂因素，需要综合考虑地质条件、设计要求、施工工艺等多方面因素。因此，本文将对水泥土搅拌桩的设计进行探讨，以期对相关工程实践提供理论支持和指导。

1 水泥土搅拌桩设计的基本原理

水泥土搅拌桩作为一种重要的地基处理技术，在土木工程领域得到了广泛应用。其基本原理是通过特制的深层搅拌机，将水泥浆与土体混合搅拌，利用水泥与土体之间产生的一系列物理化学反应，使土体固结，形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土桩。

1.1 作用机制

水泥土搅拌桩的作用机制主要基于水泥与土体之间的化学反应和物理作用。当水泥浆被注入土体后，水泥颗粒表面的矿物很快与土体中的水发生水解和水化反应，生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水铝酸钙及含水铁酸钙等化合物。这些化合物形成了悬浮的溶液，具有胶结作用，凝结后形成水泥土的胶结强度。同时水泥中的硫酸钙与铝酸三钙一起与水发生反应后，生成一种被称为“水泥杆菌”的化合物，这种化合物以针状结晶的形式在比较短的时间里析出，把土体中的大量自由水以结晶水的形式固定下来。随着水泥各种化合物的生成，有的水化物自身硬结，形成水泥石骨架；有的水化物则与其周围具有一定活性的粘土颗粒发生作用，形成新的矿物。这些作用还包括离子交换与团化作用、凝硬作用、碳酸化作用等。在实际施工操作中，由于施工机械是切削搅拌，不可能将水泥与土体搅拌得充分均匀。因此，

水泥土中留有一些未被粉碎的小土块，在搅拌水泥后将出现水泥包裹土块的现象。土块之间的大孔隙基本上已被水泥颗粒所充盈，所以实际加固后的水泥土中形成了大量的水泥较多的微区，而在小土块的内部没有水泥。只有经过比较长的时间后，土块内的土颗粒在周围的水泥水解化合物渗透作用后，才能逐渐改变其性质。

1.2 适用范围

水泥土搅拌桩主要适用于加固各种成因的饱和软黏土，如淤泥、淤泥质土、粉土、饱和黄土等。这些土层通常具有较低的承载力和较高的压缩性，对建筑物的稳定性和安全性构成威胁。通过水泥土搅拌桩的加固处理，可以显著提高土层的承载力和稳定性，减少地基沉降和变形。具体来说，水泥土搅拌桩适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、素填土、黏性土、饱和黄土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基^[1]。对于含水量较高且地基承载能力标准值不大的黏性土，水泥土搅拌桩也能取得良好的加固效果。然而对于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、硬塑及坚硬的粘性土、密实的砂类土以及地下水渗流影响成桩质量的土层，水泥土搅拌桩的适用性较差。

1.3 设计依据

水泥土搅拌桩的设计需要遵循一系列标准和规范，以确保加固效果和施工质量的可靠性。主要的设计依据包括：（1）《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）：该规范详细规定了水泥土搅拌桩的设计、施工和验收要求，包括桩径、桩长、桩间距、水泥掺量等关键参数的选择与确定。（2）《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》（JTG/T D31-02-2013）：该细则针对公路软土地基的处理提供了具体的技术指导，包括水泥土搅拌桩在公路路堤设计中的应用和施工技术要求。（3）其他相关标准和规范：如《建筑地基基础设计规范》、

《建筑抗震设计规范》等，这些规范也对水泥土搅拌桩的设计和施工提出了相应的要求和建议。在进行水泥土搅拌桩设计时，设计人员需要熟悉并遵循这些标准和规范，以确保加固方案的科学性、合理性和安全性。同时还需要根据具体的工程地质条件、施工条件和设计要求，进行针对性的设计和优化，以满足工程的实际需求。

2 水泥土搅拌桩的设计参数

水泥土搅拌桩的设计参数是确保其加固效果和施工效率的关键因素。这些参数包括桩径与桩长、桩间距与布置、水泥掺量与强度等。

2.1 桩径与桩长

桩径的选择范围通常根据工程的具体需求和地质条件来确定。在实际应用中，常见的桩径有50cm、70cm等。桩径的选择不仅影响桩体的承载力和稳定性，还关系到施工设备的选择和施工效率。一般来说，较大的桩径可以提供更大的承载力，但也会增加施工难度和成本。桩长的确定原则主要基于地基的承载力和变形要求。在软土地基处理中，桩长通常需要根据地基的土层分布、土层性质以及建筑物的荷载要求来确定。为了确保桩体能够穿透软弱土层并达到稳定的持力层，桩长一般不宜小于4m。同时，考虑到施工难度和经济性，最大桩长通常不超过20m。在实际工程中，需要根据具体情况进行综合考虑，以确定最合适的桩长。

2.2 桩间距与布置

桩间距的确定方法主要基于桩体的相互作用和整体稳定性。为了确保桩体之间的相互作用不会相互影响，最大间距通常不超过4d（d为桩径），中心间距不超过5d。这样的布置原则可以确保桩体之间的相互作用在可控范围内，从而提高整体稳定性。桩的布置原则主要根据建筑物的荷载分布和地基条件来确定^[2]。在荷载较大的区域，需要布置更多的桩体以提供足够的承载力。同时，还需要考虑桩体的布置方式，如矩形布置、梅花形布置等，以优化桩体的受力性能和施工效率。

2.3 水泥掺量与强度

水泥掺量的选择范围通常根据土体的性质、加固要求和施工条件来确定。一般来说，水泥掺量在12%~20%之间较为常见。较高的水泥掺量可以提供更高的强度，但也会增加施工成本和环境影响。因此，在确定水泥掺量时，需要综合考虑加固效果、经济性和环境影响等因素。水泥土搅拌桩的强度要求通常根据工程的具体需求来确定。例如，在建筑工程中，要求28天龄期的水泥土搅拌桩强度（ d_{28} ）大于4MPa。为了确保达到这一强度要求，需要通过计算确定具体的水泥用量。在计算过程

中，需要考虑土体的性质、水泥掺量、搅拌工艺等因素对强度的影响。

3 水泥土搅拌桩的施工关键控制点

水泥土搅拌桩作为一种有效的地基加固方法，广泛应用于各类土木工程中。其施工质量的优劣直接关系到工程的安全与稳定。因此，在施工过程中，必须严格控制各个环节，确保施工质量。

3.1 施工准备

施工准备是水泥土搅拌桩施工的首要环节，主要包括（1）场地平整是施工准备的基础。在施工前，需要对施工场地进行清理，去除杂物、树根等，确保施工场地平整、坚实。对于低洼处，需要进行抽水清淤，并分层回填粘性土填料，压实整平。（2）障碍清除是确保施工顺利进行的重要步骤。在施工前，需要清除施工区域内的地下管线、电缆等障碍物，避免在施工过程中对障碍物造成损坏，影响施工进度和质量。（3）测量放线是确保施工准确性的关键。根据施工图纸和设计要求，使用全站仪、水准仪等测量工具进行桩位放样，确定搅拌桩的准确位置。同时，还需要对测量结果进行复核，确保测量结果的准确性。

3.2 施工工艺

水泥土搅拌桩的施工工艺流程主要包括：（1）搅拌桩机的安装是施工的第一步。在施工前，需要选择合适的搅拌桩机，并根据施工现场的实际情况进行安装调试。确保搅拌桩机的转速、空气压力及计量设施均处于正常状态。（2）水泥浆的注入是施工的关键环节。根据设计要求，制备合适浓度的水泥浆，并通过注浆管将其注入到地基土中。在注入过程中，需要控制注浆压力和注浆速度，确保水泥浆能够均匀注入到地基土中。（3）搅拌头的旋转与提升是施工的核心步骤^[3]。在注入水泥浆的同时，启动搅拌头进行旋转和下钻，将水泥浆与地基土进行强制搅拌。当搅拌头达到预定深度后，开始提升搅拌头，同时继续注入水泥浆进行搅拌。在搅拌过程中，需要控制搅拌头的旋转速度、提升速度和搅拌深度，确保搅拌的均匀性和充分性。

3.3 质量控制

质量控制是水泥土搅拌桩施工的重要环节，直接关系到施工质量的好坏。在施工过程中，需要严格控制：（1）水泥用量的控制是确保施工质量的关键。在施工过程中，需要根据设计要求严格控制水泥浆的比重、喷浆压力和施工时长，确保水泥用量满足设计要求。同时还需要定期对水泥浆进行质量检测，确保其符合施工要求。（2）施工顺序的合理性是确保施工效率和质量的

要因素。在施工过程中,需要合理规划搅拌桩的施工顺序,避免出现漏打、重打等现象。同时还需要注意搭接位置的处理,确保相邻搅拌桩之间的搭接质量。(3) 泥浆沟的设置是确保施工场地整洁和安全的重要措施。在施工过程中,需要设置泥浆沟进行导流,避免水泥浆溢出施工区域造成污染。并且还需要定期对泥浆沟进行清理和维护,确保其畅通无阻。(4) 质量检测是确保施工质量的重要手段。在施工过程中,需要对搅拌桩进行质量检测,包括桩身质量检验(完整性、连续性、竖直度等)和强度检验(抗压强度、单桩及复合地基承载力)。通过质量检测,可以及时发现和纠正施工中的问题,确保施工质量符合设计要求。

4 水泥土搅拌桩设计的优化与实践

4.1 设计优化

设计优化是提升水泥土搅拌桩性能的重要手段。第一,在桩径方面,通过合理的选择,可以平衡承载力与施工成本。例如,在地质条件较差的区域,适当增大桩径可以有效提高承载力,但过大的桩径也会增加施工难度和成本。因此,需要根据具体工程条件进行综合考虑。第二,桩长的优化同样重要。在确保穿透软弱土层并达到稳定持力层的前提下,合理缩短桩长可以降低施工成本。同时桩长的选择还需考虑建筑物的荷载分布和地基变形要求,以确保整体稳定性。第三,桩间距的优化也是设计优化的重要方面。通过合理的桩间距布置,可以充分利用桩体的相互作用,提高整体承载力。在实际工程中,需要根据地基条件、荷载分布和施工工艺等因素进行综合考虑,确定最佳的桩间距。

4.2 工程实践

在实际工程中,水泥土搅拌桩广泛应用于地基处理和基坑支护等领域。例如,在高层建筑和桥梁工程中,通过水泥土搅拌桩加固地基,可以有效提高地基承载力和稳定性,确保工程安全。在基坑支护方面,水泥土搅拌桩也发挥着重要作用^[4]。通过形成连续的搅拌桩墙,

可以有效防止基坑坍塌和地下水渗漏,保障施工安全。然而在实践中也遇到了一些问题。例如,施工过程中的质量控制问题、水泥浆注入不均匀等。为了解决这些问题,需要加强对施工过程的监管和控制,确保施工质量和安全。

4.3 发展趋势

随着科技的不断进步,水泥土搅拌桩技术也在不断发展。新型搅拌桩机的研发使得施工过程更加高效、环保。同时施工工艺的改进也提高了施工质量和效率。未来,水泥土搅拌桩技术将继续向智能化、自动化方向发展。通过引入先进的传感器和控制系统,可以实现对施工过程的实时监测和控制,进一步提高施工质量和安全性。另外随着对地基加固技术的深入研究,水泥土搅拌桩的应用范围也将不断扩大。例如,在地下空间开发、海洋工程等领域,水泥土搅拌桩将发挥更大的作用。

结语

综上所述,水泥土搅拌桩作为一种有效的软土地基处理方法,在建筑工程、道路工程、桥梁工程等领域具有广泛的应用前景。通过对水泥土搅拌桩的设计原理、设计参数、施工关键点以及设计优化与实践的深入探讨,本文为相关工程实践提供了理论支持和指导。未来,随着新型材料和施工工艺的不断涌现,水泥土搅拌桩的设计和施工将更加完善,为地基处理领域的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]肖晓.碎石桩和塑料排水板在沿海软基处理中的应用[J].四川建材,2022,48(12):103-105.
- [2]卢荣富.预应力管桩与水泥土搅拌桩在软基处理中的应用[J].价值工程,2022,41(33):112-114.
- [3]赵旭.高速公路软基处理中薄壁管桩施工技术的应用[J].交通世界,2022(33):68-70.
- [4]周宇宽.水泥搅拌桩处理道路软土地基施工实例分析思路构建[J].中国设备工程,2023(4):263-265.