

强夯法加固地基的机理及施工要点分析

罗 杨

吴忠市顺通建筑工程有限公司 宁夏 吴忠 751100

摘要：强夯法作为一种有效的地基加固技术，其机理主要基于动力固结理论，通过压实与挤密效应、土体结构的破坏与重塑以及排水与加速固结作用来提升地基承载力。施工要点涵盖施工前准备、夯击参数的精确确定、施工过程中的质量控制以及施工后的效果检验与维护。本文深入分析了强夯法加固地基的机理及施工要点，旨在为地基处理工程提供理论参考和实践指导。

关键词：强夯法；加固地基；机理；施工要点分析

引言

地基处理是土木工程领域的核心环节，其质量直接关系到建筑物的稳定性和安全性。在众多地基加固技术中，强夯法以其经济高效、加固效果显著而广受赞誉。该方法通过重锤的自由落体对地基进行夯实，不仅能提高地基的承载力，还能有效减少地基沉降。本文旨在全面剖析强夯法加固地基的机理及施工关键要素，旨在为地基处理工程提供更加精准、科学的理论依据和实践指导，推动地基处理技术的持续发展和创新。

1 强夯法加固地基的机理

1.1 动力固结理论基础

强夯法作为一种高效的地基加固技术，其核心理论基石在于动力固结理论。这一理论深刻揭示了强夯过程中土体内部应力状态的变化及其对地基加固效果的直接影响。在强夯法的实施过程中，巨大的夯锤能量以极短的时间作用于地基土表面，产生强烈的振动效应。这种振动不仅频率高，而且幅值大，足以打破土体原有的结构平衡状态^[1]。对于饱和土而言，这种强烈的动应力作用尤为显著。动应力作用下，饱和土体的孔隙水压力急剧上升，导致土颗粒间的有效应力瞬间减小。这种变化使得土体呈现出类似流体的“液化”状态，土颗粒之间的相对位置变得容易调整。在这一阶段，土颗粒在孔隙水压力的作用下开始重新排列，向着更加紧密、稳定的方向移动。随着孔隙水压力的逐渐消散，有效应力开始恢复并增大。在新的应力场作用下，土颗粒之间逐渐紧密咬合，形成更加稳定、密实的土体结构。这一过程不仅提高了地基土的密实度，还显著增强了其承载力和抗变形能力。动力固结理论不仅解释了强夯法加固地基的机理，还为实际施工提供了重要的理论指导。在强夯法的设计和施工过程中，需要充分考虑地基土的土质特性、含水量、孔隙比等因素，以及夯锤的重量、落距、夯击

次数等施工参数。通过合理的参数选择和施工控制，可以确保强夯法达到预期的加固效果。

1.2 土的压实与挤密效应

在非饱和土的地基加固中，强夯法的作用机制主要表现为压实与挤密效应。夯锤下落的巨大冲击力直接作用于浅层土体，产生强烈的压实作用。这一过程中，土体内部的空气被迅速挤出孔隙，土颗粒之间的间隙逐渐减小，土体变得更加紧密。随着夯击次数的增加，这种压实作用逐渐深入土体内部，使得整个地基土的密实度得到显著提升。除了直接的压实作用外，强夯还通过波的传播引起周围土体的径向位移。这种位移如同多米诺骨牌效应，使得土体颗粒之间相互挤压、填充孔隙，形成更为密实的结构。这一过程不仅增强了土体的整体稳定性，还提高了其抗剪强度和承载能力。在砂性土等颗粒较粗、透水性良好的地基土中，强夯法的挤密效果尤为明显。由于砂性土的颗粒间空隙较大，且颗粒本身具有一定的强度和刚度，因此强夯过程中产生的冲击力能够更有效地将颗粒挤压在一起，填充孔隙，形成更加紧密的结构。这种结构的改变不仅显著提高了地基土的承载能力，还增强了其抗变形能力，使得地基在受到外部荷载作用时能够更加稳定地承载。

1.3 土体结构的破坏与重塑

在强夯加固地基的过程中，土体结构的破坏与重塑是一个至关重要的环节。高强度的冲击能量不仅作用于土体表面，更深入地影响了土体的内部结构，实现了从破坏到重塑的转变。在夯击的瞬间，巨大的冲击能量足以破坏土体中原有的软弱结构面，如裂隙、层理等。这些结构面往往是土体中的薄弱环节，容易在外力作用下发生破坏^[2]。强夯的冲击能量正是针对这些薄弱环节进行作用，使土体结构碎片化，为后续的重塑过程创造了条件。随着夯击能量的持续作用，破碎的土体颗粒开

始与周围土体充分混合。这一过程类似于土壤的搅拌作用,使得土体颗粒在三维空间内重新分布,形成了更为均匀、致密的土体结构。颗粒间的相互作用力也逐渐增强,土体的整体稳定性得到提升。在重塑过程中,新的、更为稳定的结构体逐渐形成。这些结构体不仅具有更高的强度和刚度,还能够更好地抵抗外部荷载的作用。重塑过程还显著改善了土体的力学性能,如抗剪强度、压缩模量等,使得地基土更加适应上部结构的需求。更重要的是,重塑过程减少了地基土的不均匀性。在原始土体中,由于存在各种软弱结构面和颗粒分布不均等问题,地基土往往呈现出不均匀性。而强夯法通过破坏与重塑过程,使得土体结构更加均匀、稳定,为上部结构提供了均匀稳定的支撑。

1.4 排水与加速固结作用

强夯法在地基处理过程中,不仅通过冲击能量实现土体的压实与重塑,还显著促进了地基土的排水与加速固结。在夯击的瞬间,高强度的冲击能量导致土体内部孔隙水压力急剧上升。这一变化迫使孔隙水快速排出,为土体的固结过程创造了有利条件。随着孔隙水的排出,土体中的有效应力逐渐增加,土颗粒间的相互作用力增强,土体的密实度和强度也随之提升。强夯过程中形成的竖向排水通道,如夯坑,以及土体受冲击后产生的裂隙发育,进一步改善了地基土的排水条件。这些通道和裂隙为孔隙水的消散提供了更为畅通的路径,加速了土体的固结进程。通过排水通道的引导,孔隙水能够在较短时间内被排出土体,有效应力得以更快地增长,地基土的稳定状态得以迅速达到。值得注意的是,排水与加速固结作用是相互关联的。排水条件的改善加速了孔隙水的消散,进而促进了土体的固结;而土体的固结又使得土体结构更加紧密,进一步改善了排水条件。这种良性循环使得强夯法在地基处理中能够取得显著的加固效果。

2 强夯法施工要点分析

2.1 施工前准备工作

强夯法地基处理施工前,各项准备工作至关重要,它们直接关系到后续施工的顺利进行以及工程质量的保障。以下是对施工前准备工作的详细阐述:(1)地质勘察精细化是不可或缺的一步。在工程选址确定后,必须立即开展全面且细致的地质勘察工作。通过钻探、原位测试(如静力触探、标准贯入试验等)以及土工试验等多种手段,精准获取地基土的类型、分层厚度、物理力学性质(包括含水量、孔隙比、压缩模量等)以及地下水位等关键信息。这些数据不仅是设计强夯参数的重要

依据,更是确保施工安全与质量的基础,为后续施工提供有力支撑。(2)场地平整与清理工作同样不容忽视。强夯施工场地需具备一定的平整度,以确保夯锤能够平稳起落。因此,在施工前,必须清除场地内的所有障碍物,如大块石头、树根、垃圾等,以防止夯锤偏击或卡锤现象的发生。对于存在积水的场地,应采取有效的排水措施,如开挖排水沟、设置集水井等,确保场地干燥,防止积水对夯击效果产生不良影响。(3)强夯设备的选型与调试也是施工前准备工作的关键环节。根据工程地质条件、设计夯击能以及场地规模,合理选择夯锤质量、落距以及起重机型号。夯锤应选用圆形且底面平整的材质,并具备足够的强度与耐磨性,以确保夯击能量能够有效传递。起重机的起吊能力应满足夯锤提升的要求。在施工前,还应对设备进行全面调试,检查各部件的运行状况,确保施工过程能够顺利进行,避免因设备故障而导致的施工延误或安全事故。

2.2 夯击参数确定

夯击参数的设计是强夯法施工中的核心环节,直接关系到地基加固的效果与质量。夯击能的设计至关重要,它直接决定了加固的深度与效果。夯击能由夯锤质量与落距的乘积计算得出,设计时需全面考虑地基土的性质、加固深度的要求以及上部结构的荷载等因素。针对浅层软土地基,可采用较低的夯击能进行多次夯击;而对于深厚软土或需处理至较大深度的地基,则需增大夯击能,但需注意避免过度夯击,以防土体结构破坏或周围环境受到过大扰动,夯击次数的确定需结合现场试夯试验,通过观察地基土的压实度、沉降量等指标来合理判定^[3]。通常,初始几次夯击会导致土体沉降量较大,但随着夯击次数的增加,沉降量会逐渐减小。当连续两次夯击的沉降量小于一定值(如50mm),且土体压实度满足设计要求时,可认为夯击次数已达标。夯点间距的布置也需精心规划,应根据地基土的性质、夯击能大小以及加固目的来合理选择。通常夯点间距在3至6米之间,采用正方形、梅花形等规则布置方式,确保地基土在平面上得到均匀加固。

2.3 施工过程质量控制

在强夯法地基处理施工过程中,质量控制是确保加固效果与工程安全的关键。第一,合理的夯击顺序不仅能提高加固效果,还能减少对已夯区域的扰动。对于大面积场地,通常采用“由边到中、隔行跳打”的原则进行夯击。先夯击场地周边区域,再逐步向中心推进,这样可以有效避免相邻夯点同时夯击导致的能量相互抵消或土体侧向挤出。特别是在有相邻建筑物或地下管线的

区域, 夯击顺序的规划需更加谨慎, 需采取必要的防护措施, 以防止对周边设施造成损害。第二, 夯击深度的实时监测是确保加固质量的关键环节。在施工过程中, 应使用水准仪、全站仪等测量仪器, 精确测量每次夯击前后夯坑的深度变化。结合地质勘察资料, 可以判断夯击是否达到设计加固深度。一旦发现夯击深度不足, 应立即调整夯击参数, 如增加夯击能或夯击次数, 以确保地基土得到有效加固。第三, 定期对加固后的土体进行密实度检测也是必不可少的。可以采用环刀法、灌砂法等标准土工试验方法, 测定不同深度处土体的干密度、压实度等指标。将施工后的土体密实度指标与设计要求进行详细对比, 是评估地基加固效果的关键步骤。若实测密实度未能达标, 必须深入剖析原因, 可能是夯击能量不足、夯击次数不够或夯点布局不合理等。针对这些问题, 需采取针对性的补救措施, 如增加补夯次数、优化夯点间距或调整夯击能, 以确保土体密实度达到设计要求, 从而满足承载力和变形控制标准, 为上部结构的安全稳固奠定坚实基础, 保障整体工程的可靠性和耐久性。

2.4 施工后效果检验与维护

强夯施工完成后, 效果检验与维护工作是确保地基加固成效与后续工程安全的关键步骤。(1) 地基承载力检测不可或缺。按照相关规范要求, 需采用静载荷试验、动力触探试验等方法对地基承载力进行全面检测。静载荷试验通过逐级加载, 观测地基土的沉降情况, 从而准确确定地基的极限承载力与容许承载力^[4]。动力触探试验则能迅速获取地基土不同深度的密实程度与承载能力变化, 为评估加固效果提供重要依据。根据检测结果, 若地基加固未达到预期目标, 需深入分析原因, 并采取补救措施, 如增加夯击次数或调整夯击能等, 以确保地基满足设计要求。(2) 变形监测同样重要。应对加固后的地基进行长期变形监测, 设置沉降观测点, 并

定期观测地基的沉降变形情况。施工结束后的初期, 沉降速率通常较快, 但随时间推移会逐渐趋于稳定。通过监测数据, 能够及时发现可能存在的不均匀沉降问题, 为上部结构施工与使用提供安全保障。若发现异常沉降, 需立即排查原因, 如地基土二次固结、地下水位变化等, 并采取相应的处理措施, 防止对上部结构造成损害。(3) 场地维护与管理也不容忽视。强夯后的场地在一定时期内仍需进行精心维护, 避免重型车辆随意碾压、雨水冲刷等不利因素对加固效果产生影响。应对场地表面进行适当硬化处理, 并设置有效的排水设施, 防止积水渗入地基土, 确保地基的长期稳定。通过科学的维护与管理, 能够延长地基的使用寿命, 为上部结构的安全使用提供有力保障。

结语

综上, 强夯法在地基加固领域展现出了卓越的性能和广泛的应用潜力。通过精细的施工控制及严格的质量管理, 该技术能够确保地基加固达到预期效果, 提升建筑物的整体稳定性。展望未来, 随着技术的持续进步与创新, 强夯法在地基处理中的应用将更加多样化、高效化, 为土木工程领域带来更多可能性, 助力构建更加安全、稳固的建筑环境, 推动行业持续健康发展。

参考文献

- [1]王二宝,常伟世,黄磊.强夯法加固地基的机理及施工要点分析[J].建筑工程技术与设计,2020(5):1082.
- [2]王继慧.强夯法加固地基的机理及施工要点[J].装饰装修天地,2020(7):261.
- [3]马勇.强夯法加固公路地基的设计要点分析[J].交通世界(下旬刊),2020(11):55-56.
- [4]殷键威.公路工程路基强夯施工及应用研究[J].建筑工程技术与设计,2020(13):2093.