

水利设计中软土的处理策略研究

唐远明

桂林市水利电力勘测设计研究院 广西 桂林 541000

摘要: 本文围绕水利设计中软土处理策略展开研究。阐述了软土的物理力学特性及对水利工程的影响,如基础沉降、边坡稳定性等。介绍了物理、化学、生物和复合处理策略的分类与原理,并探讨了处理策略的选择原则与优化方法,包括基于工程需求、软土特性、环境条件、经济性与施工可行性的选择,以及数值模拟、多目标决策分析和动态调整等优化手段,为水利设计中的软土处理提供参考。

关键词: 软土地基; 水利工程; 处理策略; 多目标决策

引言: 在水利工程建设中,软土地基是常见且棘手的问题。软土独特的物理力学特性,如高压缩性、低抗剪强度和低渗透性等,给水利工程带来了诸多工程难题,包括基础沉降、边坡失稳、渗漏渗透变形以及长期稳定性问题等。这些问题不仅影响工程质量,还可能危及工程安全。因此,研究有效的软土处理策略,对于保障水利工程的顺利建设和安全运行具有重要意义。本文将深入探讨软土处理的相关策略。

1 软土特性与工程影响分析

1.1 软土的物理力学特性

软土的主要组成成分包括黏粒、粉粒和有机质等。这些成分决定了软土的独特性质。黏粒含量高使得软土具有较强的吸水性和膨胀性,在湿润环境下容易发生体积变化;粉粒则增加了土体的塑性,使其在受力时表现出较大的变形能力。有机质的存在进一步降低了土体的强度和稳定性,特别是在长期荷载作用下,有机质会分解并导致土体结构的破坏。软土的力学参数特征主要体现在其压缩性、抗剪强度和渗透性等方面。由于软土中含有大量水分且颗粒间孔隙较大,其压缩性通常较高。这意味着在受到外部荷载时,软土会发生显著的沉降现象。抗剪强度是衡量土体抵抗剪切破坏能力的重要指标,软土的抗剪强度相对较低,尤其是在饱和状态下,土体几乎不具备抵抗剪切应力的能力。这使得软土在边坡或基础工程中容易出现滑移或失稳问题^[1]。渗透性方面,软土的孔隙率大但连通性差,导致其渗透系数较小,不利于水分快速排出,从而增加了渗漏和渗透变形的风险。

1.2 软土对水利工程的影响

(1) 基础沉降与不均匀沉降: 软土的高压缩性是引发基础沉降的核心因素。当堤坝、水库等大型水利工程建于软土地基时,土体随时间推移逐渐压缩下沉,易导

致结构物整体或局部沉降。尤其需警惕不均匀沉降,其可能引发结构裂缝甚至破坏,直接威胁工程安全与使用寿命。工程中常采用预压加固、碎石桩加固或深层搅拌法等地基处理技术,以提升地基承载力并减少沉降量。

(2) 边坡稳定性与滑坡风险: 软土的低抗剪强度显著影响边坡稳定性。在堤坝、护岸等水利工程的边坡设计中,若土体以软土为主,雨水冲刷、地震震动等因素可能诱发滑坡事故。例如雨季时,软土边坡因降雨入渗饱和,抗剪强度骤降,易发生大规模滑坡。设计阶段需通过设置排水系统、锚杆支护或植被覆盖等措施,增强边坡抗滑能力。(3) 渗漏与渗透变形: 软土的低渗透性虽能减缓水分流通,但也可能引发渗漏与渗透变形问题。若水利工程存在软土地基,地下水可能沿薄弱部位侵入形成渗漏通道,进而诱发管涌、流土等渗透破坏。由于软土颗粒结合力弱,持续水流会带走细颗粒、破坏土体结构,最终导致地基失稳。工程中需采用铺设土工膜、设置垂直防渗墙等措施,构建可靠的防渗体系。(4) 长期稳定性与耐久性问题: 软土的长期性能劣化不容忽视。随着时间推移,土体中有机质分解会破坏结构、降低承载力,而气候变化、温度波动等环境因素会加速软土老化。为保障水利工程长期稳定运行,需从材料选型、施工工艺到后期维护全流程管控,通过针对性技术手段应对土体性能衰减风险。

2 软土处理策略分类与原理

2.1 物理处理策略

(1) 换填法: 换填法是一种常见的物理处理方法,适用于浅层软土地基的加固。该方法通过挖除一定深度范围内的软土,并用强度较高、压缩性较低的材料如砂石或碎石进行回填。换填法的优点在于操作简单、施工速度快,特别适合于小面积软土地基的处理。其缺点也很明显,主要表现为需要大量优质回填材料,成本较

高；并且对于深层软土问题无法解决，只能处理表层土壤。（2）排水固结法：排水固结法是利用排水措施加速软土中水分排出，从而提高地基强度的一种方法。常见的方式包括竖向排水体（如塑料排水板）、堆载预压和真空预压等。竖向排水体通过增加土壤中的排水路径，加快孔隙水压力消散速度，促进土体固结。堆载预压则是通过在软土地基上施加临时荷载，迫使土体内部水分排出，达到固结效果。真空预压则是在软土地基表面覆盖密封膜，利用抽真空设备降低膜下空气压力，促使水分排出。这种方法适用于大面积软土地基的处理，但施工周期较长，需耐心等待固结完成。（3）振密法：振密法主要包括强夯和振动压实两种方式。强夯法通过重锤从高处自由落下，对地面产生强大的冲击力，使土体结构发生破坏并重新排列，从而提高密实度和承载能力。振动压实则是利用振动机械产生的高频振动，使土颗粒间的摩擦力减小，土体变得更加紧密。这两种方法都具有施工简便、效率高的特点，尤其适用于砂土和粉土等粒状土质的加固。对于黏性较大的软土，效果可能不明显，甚至可能导致土体液化风险增加。

2.2 化学处理策略

（1）深层搅拌法：深层搅拌法是一种将水泥、石灰等固化剂与软土混合，形成具有一定强度和稳定性的复合地基的方法。常见的形式有水泥土搅拌桩和石灰搅拌桩等^[2]。该方法通过专用搅拌设备将固化剂注入软土中，并与土体充分混合，形成坚固的柱状体或墙状体，起到增强地基承载能力和减少沉降的作用。深层搅拌法适用于各种类型的软土地基，尤其是含水量较高的黏性土。在施工过程中需要注意控制固化剂用量和搅拌均匀性，否则会影响处理效果。（2）高压喷射注浆法：高压喷射注浆法是利用高压泵将水泥浆或其他化学浆液通过喷嘴高速喷射到土体中，形成加固体的一种方法。根据喷射方式的不同，可分为单管法、双管法和三管法。单管法仅使用一根喷射管，双管法则同时使用两根管分别输送空气和浆液，而三管法则增加了水的喷射。这种方法能够在不扰动周围环境的情况下，快速有效地加固软土地基，特别适合于城市地下空间开发和既有建筑物基础加固。不过，施工成本相对较高，且对操作技术要求严格。（3）灌浆加固法：灌浆加固法是通过钻孔将浆液注入软土中，填充空隙并胶结土颗粒，以提高地基强度的一种方法。常用的浆液包括化学浆液和水泥浆液。化学浆液具有渗透性强、凝固时间可调等优点，适用于细颗粒土质的加固；而水泥浆液则具有较高的强度和耐久性，适用于较大颗粒土质的加固。灌浆加固法灵活性

大，可以根据不同地质条件调整浆液配方和注入工艺，但施工过程中容易出现漏浆现象，影响加固效果。

2.3 生物处理策略

（1）生物固化法：生物固化法是近年来新兴的一种软土处理技术，主要依靠微生物诱导碳酸钙沉淀（MICP）来增强土体强度。具体过程是将特定种类的细菌引入软土中，细菌代谢过程中会产生尿素酶，将尿素分解为氨和二氧化碳，进而生成碳酸钙晶体，填充土体空隙，提高密实度和抗剪强度。生物固化法绿色环保，无需使用化学药剂，适用于敏感生态环境下的软土加固。目前该技术仍处于研究阶段，实际应用案例较少，需要进一步完善和验证。（2）植物固土法：植物固土法主要是通过植被护坡和根系加固来改善边坡稳定性。植被护坡是指在边坡表面种植草本植物或灌木，利用其根系网络固定土壤，防止水土流失；根系加固则是指树木等深根植物的根系深入土层，增强土体的整体性和抗滑移能力。植物固土法不仅能够美化环境，还能提供长期的生态效益，特别适合于自然保护区或风景区内的边坡防护。但该方法见效慢，短期内难以显著提升地基承载能力，通常作为辅助措施与其他处理方法结合使用。

2.4 复合处理策略

（1）物理-化学联合法：物理-化学联合法是将物理处理技术和化学处理技术相结合，形成更为有效的处理方案。例如，在排水固结的基础上，再实施深层搅拌桩加固，既能加快软土固结速度，又能提高地基整体强度^[3]。这种组合方式能够充分发挥各自的优势，克服单一方法的局限性，适用于复杂地质条件下的软土地基处理。然而，施工难度和成本也会相应增加，需要精心设计和和管理。（2）多级处理技术：多级处理技术是根据不同深度或阶段的软土特性，分层次、分阶段进行加固处理。例如，在处理深厚软土地基时，可以先采用浅层换填或振密法处理表层土壤，然后在中层和深层分别实施排水固结或深层搅拌桩加固。这样可以逐步提升整个地基的承载能力和稳定性，避免一次性处理带来的施工难题和安全隐患。多级处理技术强调精细化设计和施工组织，能够灵活应对各种复杂的工程需求。

3 软土处理策略选择与优化

3.1 处理策略选择原则

（1）工程需求：工程需求主要包括荷载要求、变形控制和稳定性保障三个方面。不同类型的工程项目对地基的要求各不相同。例如，高层建筑通常需要较高的承载能力和较小的沉降量；而堤坝或道路工程则更关注整体稳定性和抗滑移性能。在选择处理策略时，必须根据

具体工程的需求来确定合适的加固方法。对于高荷载要求的项目,可能需要采用桩基础或深层搅拌法来增强地基承载力;而对于变形敏感的项目,则应注重预压加固或复合地基技术的应用。(2)软土特性:软土的物理力学特性如厚度、分布范围及含水量等也是选择处理策略的重要依据。软土层较厚且分布广泛时,传统的浅层处理方法往往难以达到预期效果,此时需考虑深基础或深层加固技术。如果软土中含水量较高,排水固结法可能是较为合适的选择,它可以通过加速水分排出来降低土体压缩性和增加强度。(3)环境条件:环境条件包括地下水位高度和周边环境敏感度等因素。地下水位直接影响到施工难度和处理效果。在高水位地区,处理过程中需要特别注意防水措施,防止地下水涌入影响施工质量。周边环境敏感度也是一个不可忽视的因素,特别是在城市中心或生态保护区附近进行施工时,必须采取环保型加固方法,避免对周围环境造成破坏。例如,采用振动小、噪音低的技术手段,并尽量减少对既有建筑物的影响。(4)经济性与施工可行性:在选择处理策略时,还应充分考虑经济成本和施工可行性。一方面,要确保所选方案具有较高的性价比,即在满足工程需求的前提下,尽量降低成本。另一方面,要考虑施工过程中的实际操作难度和时间要求^[4]。有些处理方法虽然理论上效果显著,但实施起来可能面临诸多困难,如施工设备难以进场、工艺复杂等问题。在制定处理方案时,需结合实际情况,选择既经济又可行的技术手段。

3.2 处理策略优化方法

(1)数值模拟与参数优化:数值模拟是优化软土处理策略的重要工具之一。通过有限元分析(FEA)和离散元模拟(DEM),可以对软土地基及其处理过程进行全面建模和仿真。这些模拟不仅可以预测不同处理方法下的应力-应变关系、沉降情况和稳定性状态,还能帮助工程师优化设计参数。例如,在桩基础设计中,利用有限元分析可以确定最优桩长和桩间距,以达到最佳承载效果。同样,离散元模拟可用于研究颗粒材料的微观行为,为改进软土加固技术提供理论支持。(2)多目标决策分析:多目标决策分析是一种系统化的决策支持工

具,用于平衡处理策略中的多个目标,如成本、效益和风险。在软土处理中,常需要权衡经济效益与环境保护之间的关系。例如,某些高效的加固方法虽然能显著提高地基性能,但可能带来较大的环境负担;而一些环保型技术虽然对环境友好,但在短期内可能无法满足所有工程需求。通过多目标决策分析,可以找到一个兼顾各方面利益的最佳解决方案。该方法通常基于层次分析法(AHP)、模糊综合评价等数学模型,通过对各项指标进行量化评估,得出最优决策方案。(3)动态调整与反馈机制:动态调整与反馈机制强调在施工过程中实时监测和及时修正的重要性。由于软土性质复杂多变,施工过程中可能出现各种意外情况,如超预期沉降、局部失稳等。为此,建立一套完善的施工监测体系至关重要。例如,在预压加固过程中,通过安装传感器网络,可以实时监控地基沉降、孔隙水压力变化等情况。一旦发现异常现象,立即启动应急响应机制,采取相应措施进行调整。这种动态调整与反馈机制不仅能提高处理效果,还能有效预防潜在风险,确保工程质量。

结束语

水利设计中软土处理策略研究对于保障水利工程质量与安全至关重要。本文深入剖析软土特性及其对水利工程的影响,系统阐述各类处理策略的原理与应用。通过提出处理策略选择原则与优化方法,为工程实践提供理论支持。未来,应进一步探索创新处理技术,加强理论与实践结合,不断提升软土处理水平,推动水利工程建设迈向新高度。

参考文献

- [1]张蔚雯.软土地基处理技术在水利施工中的应用[J].河北水利,2021(11):43-44.
- [2]荣庆.水利工程软土地基处理施工质量管理探讨[J].居业,2021(11):198-199.
- [3]郭国辉.试析水利施工中软土地基处理的方法[J].珠江水运,2021,(13):34-36.
- [4]李学奎.水利工程中软土地基处理技术要点分析[J].珠江水运,2022(5):44-46.