

# 软土地区水利工程软基处理技术的可持续性分析

陈刚

湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司

**摘要：**在软土地区水利工程领域，软基处理技术的可持续性分析引起了广泛关注。软土地区常伴随地基沉降、变形等问题，威胁着水利工程的稳定与安全。本文旨在综合考虑工程设计、施工与运维阶段，结合地质特征、社会效益和经济成本等因素，探讨软基处理技术的可行性与可持续性。涵盖物理、化学及土体加固等方法的技术选择，以及对环境和社区的影响，强调定期检查、维护与修复的重要性。通过深入分析，可为软土地区水利工程的安全稳定与生态平衡提供科学建议，推动该领域的可持续发展。

**关键词：**软土地区；水利工程；软基处理技术；可持续性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.059

## 引言

软土地区作为一类地质环境的代表，由于其土质疏松、水分含量较高以及抗剪强度较低等特点，常常在水利工程建设中引发诸多挑战与问题。水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，其安全性、稳定性和可持续性对于社会经济发展具有重要意义。然而，软土地区的不稳定性和变形性，给水利工程的设计、施工和运维带来了巨大挑战，尤其是软基处理技术的选择与应用问题日益凸显。本文旨在对软土地区水利工程软基处理技术的可持续性进行深入分析，探讨在软土地区水利工程中如何合理选择和应用软基处理技术，以实现工程的长期稳定性、经济效益和环境友好性。

## 一、软土地区水利工程概述

软土地区水利工程是指在软土地基上兴建水利设施或进行水利工程改造的过程。软土地区的特点包括土壤松软、水分含量高、抗剪强度低等，这些特性使得软土地基在水利工程建设中具有较大的不稳定性和变形性。因此，软土地区水利工程的规划、设计、施工和运维都需要针对这些特点采取相应的措施，以确保工程的安全性、稳定性和可持续性<sup>[1]</sup>。软土地区水利工程的成功实施不仅需要科学合理的技术方案，还需要全面考虑环境保护、资源利用以及社会效益等因素，以实现工程的可持续发展。

## 二、软土地区水利工程软基处理技术方法

### （一）物理处理方法

物理处理方法通过改变土体的结构和性质，从而提高其承载能力和稳定性，从而确保水利工程的安全运行。在软土地区水利工程中，常用的物理处理方法包括振动加固、预压加固和土体置换等。振动加固是利用振动设备对软土地基进行震动，从而改善土体的密实度和排水性能，提高其承载力。预压加固则是通过施加预压

荷载，使软土地基发生压实，从而增加其密实度和稳定性。土体置换方法则是将软土地基部分或全部置换为较稳定的土石材料，从而提高地基的整体承载能力。

这些物理处理方法在软土地区水利工程中的应用，能够有效地改善软土地基的工程性质，增强其抗变形能力和承载能力，从而确保水利设施在软土地区的长期稳定运行<sup>[2]</sup>。然而，物理处理方法的选择和应用需要考虑多种因素，包括工程的具体情况、土体性质、施工技术等等，以确保达到最佳的工程效果。

### （二）化学处理方法

化学处理方法在软土地区水利工程中具有独特的优势，能够在短时间内实现土体性质的改良和加固。常见的化学处理方法包括硬化剂应用和化学固化。硬化剂应用是将适量的化学硬化剂注入软土地基，通过化学反应使土体颗粒间形成固结物质，从而提高土体的密实度和强度。化学固化方法则是利用化学反应使土体颗粒间发生胶结，形成固结体，从而增加土体的抗剪强度和稳定性。

这些化学处理方法在软土地区水利工程中能够显著改善土壤的工程性质，快速增加地基的承载能力，缩短工程周期，减少施工风险。然而，化学处理方法的应用需要考虑化学药剂的选择、用量控制、反应机制等因素，以确保处理效果的稳定和可靠性。同时，对于环境保护和资源利用也需要充分考虑，以确保工程在提高土壤稳定性的同时对周边环境造成最小影响。

### （三）土体加固方法

在软土地区水利工程中，常见的土体加固方法包括粒径改进、桩基加固和土钉加固。粒径改进方法通过混合掺入适量的砂、石等颗粒材料，改善软土的颗粒组成，增加土体的密实度和抗剪强度。桩基加固方法则是在软土地基中钻孔并灌注混凝土或钢筋混凝土桩，通过桩与土体的相互作用，提高地基的整体承载能力和稳定性。土钉加固方法则是在软土地基中钻孔并灌注土钉，通过土钉与土体之间的摩擦力或黏结力，增加地基的抗拉强度和稳定性。

这些土体加固方法在软土地区水利工程中能够有效地改善土壤的工程性质，增强地基的稳定性和抗变形能力。然而，不同的土体加固方法适用于不同的工程情况，需要综合考虑土壤性质、工程需求、施工难度等因素，选择合适的加固方法。在实际应用中，还需要进行严密的施工监测和质量控制，以确保土体加固效果的稳定和可靠性，从而为软土地区水利工程的可持续发展提供坚实的基础。

三、软土地区水利工程软基处理技术的可持续性分析

## （一）环境影响

### 1. 土壤退化与污染

在软土地区水利工程的软基处理过程中，不恰当的处理方法可能导致土壤的退化和污染，进而对生态环境产生长期而严重的负面影响。土壤退化往往源于不适当的土壤处理措施，例如大量的挖掘、填充和搬运土壤等，这可能导致土壤结构破坏、颗粒分散，进而影响土壤的透水性、透气性和保水能力。此外，过度开发和不合理施工可能导致土壤侵蚀和沉积，加剧土壤退化的程度，进而影响水土保持和生态平衡。

污染是另一个严重的问题，特别是在化学处理方法中。不适当的化学药剂应用可能导致土壤中出现有害物质，影响土壤的质量和生态功能。化学物质的渗透和迁移可能对地下水及周边水体造成污染，进而对生态系统和人类健康产生潜在威胁。因此，在软土地区水利工程软基处理技术的选择和应用中，必须充分考虑土壤退化与污染的风险。在工程实施过程中，应采取适当的土壤保护措施，避免土壤结构破坏、侵蚀和污染。

### 2. 生态系统影响

软基处理技术的应用可能对周围生态系统产生直接或间接的影响，因此在工程规划、设计和实施过程中，必须充分考虑生态系统的健康和可持续性。软土地区水利工程的软基处理过程可能涉及土壤开挖、填筑、植被破坏等活动，这些活动可能对当地的生态系统造成破坏。土壤开挖和填筑可能导致植被破坏、土壤侵蚀，进而影响当地的生物多样性和生态平衡。特别是在水域附近的工程，还可能对湿地、水生生态系统造成不利影响，破坏动植物的栖息地。

然而，在软土地区水利工程中，通过合理的生态恢复措施和植被保护策略，可以减轻软基处理技术对生态系统的影响。例如，在工程施工完毕后，可以进行植被恢复和生态修复，种植本地植物，恢复土壤的稳定性和保水性，促进生态系统的再生<sup>[3]</sup>。此外，在软基处理技术的选择中，可以优先考虑对生态系统影响较小的方法，如物理处理方法，以减少对当地生态环境的不良影响。

## （二）经济成本

### 1. 施工与材料成本

在软土地区水利工程中，采用不同的软基处理技术可能涉及不同的施工方法和材料选择，这直接影响着施工成本和材料成本。例如，一些物理处理方法可能需要大量的机械设备和人力投入，而一些化学处理方法可能需要使用特殊的化学药剂，这些都会对施工成本和材料成本产生影响。此外，一些土体加固方法，如桩基加固，可能需要额外的材料投入，如混凝土和钢筋，进一步增加了材料成本。

然而，在考虑施工与材料成本时，必须综合考虑工程的长期效益。虽然一些软基处理技术可能在施工阶段产生较高的成本，但其能够显著提高水利工程的稳定性和可靠性，从而降低后续维护和修复成本。与此同时，

对比不同软基处理技术的经济效益，选择对工程长期运行更有利的方法，可以在经济成本上实现可持续性。因此，在软土地区水利工程软基处理技术的选择和应用中，需要综合权衡施工与材料成本与工程长期效益之间的关系。

### 2. 维护与修复成本

软基处理技术的选择和应用不仅关系到工程的稳定性，还直接关系到工程的长期维护与修复成本，这在可持续性考虑中具有重要意义。软土地区水利工程在长期运行中，受到自然因素和外界影响，可能会出现不同程度的沉降、变形以及地基松动等问题，需要进行维护和修复。不同的软基处理技术对工程的长期维护与修复成本产生不同的影响。一些处理方法可能在初始阶段投入较高，但由于其有效地改善了软土地基的性质，能够降低后续维护和修复成本，从而在整体上降低了工程的经济负担。而另一些处理方法可能初始成本较低，但由于其效果不稳定或持续性差，可能导致后续频繁的维护和修复，增加了工程的经济负担。

## （三）社会效益

### 1. 工程稳定性与安全性

软土地区水利工程的稳定性和安全性是确保工程正常运行的基础。不稳定的软土地基可能导致工程变形、下沉甚至倒塌，进而威胁到工程的安全性。通过合理选择和应用软基处理技术，能够有效地增加软土地基的承载能力和稳定性，确保水利工程在各种外界因素的作用下依然保持良好的稳定性，从而避免潜在的灾害风险，保障人民的生命财产安全。

工程稳定性和安全性的提高还可以为周边社会环境带来积极的影响。水利工程的正常运行不仅影响着工程本身，还关系到供水、防洪、排涝等基本民生需求，直接影响着社会的安定与发展<sup>[4]</sup>。通过有效的软基处理技术，能够确保工程的可靠性，提高社会对水利设施的信任度，促进当地社会的和谐与繁荣。

### 2. 对周边社区影响

软土地区水利工程的软基处理过程可能涉及土地开挖、施工噪音、交通阻塞等，这些活动可能对周边社区造成一定的影响。例如，施工过程中可能产生噪音、尘土，给周边居民带来不便。此外，工程施工可能导致周边交通状况恶化，影响居民出行。因此，在软基处理技术的选择和实施中，必须采取适当的措施，减少对周边社区的干扰和负面影响。

然而，软基处理技术的应用也可能带来积极的社会效益。通过合理的施工安排和环境保护措施，可以减少施工对周边居民生活的干扰，提升周边社区的环境品质。另外，软土地区水利工程的稳定性提高也将为周边社区带来安全保障，减少潜在的灾害风险，提升社区居民的安全感和幸福感。

## 四、可持续软基处理技术推广建议

### （一）工程设计阶段

#### 1. 地质勘察与评估

地质勘察与评估是软基处理技术应用的前提，其准确性和全面性直接影响着技术的有效性和长期稳定性。首先，在工程设计阶段，应进行详细的地质勘察，充分了解软土地区地质特征、土壤性质、水文地质条件等信息。通过采样、试验和监测，获得准确的地质数据，为软基处理技术的选择和应用提供科学依据。同时，地质评估还需要考虑自然环境因素，如降雨、地震等，以预测软基处理后的长期稳定性和抗灾能力。

其次，在地质勘察和评估的基础上，针对软土地区水利工程的具体情况，选择合适的可持续软基处理技术。不同的工程可能需要不同的软基处理方法，如物理处理、化学处理或土体加固等。通过综合考虑地质条件、工程要求、环境影响等因素，选择最适合的技术方案，以确保工程的长期稳定性和可持续性。

此外，在工程设计阶段还应制定详细的施工方案和监测计划，确保软基处理技术的正确实施和效果监测。对施工过程中的地质情况进行实时监测，及时调整施工参数和方法，以保证软基处理效果的达到预期目标。

## 2. 软基处理技术选择

在软土地区水利工程中推广可持续软基处理技术，工程设计阶段的软基处理技术选择是至关重要的环节。在确保工程的长期稳定性和可持续性方面，合理选择软基处理技术具有关键作用。首先，应根据软土地区水利工程的具体特点，充分评估不同软基处理技术的适用性。考虑土壤性质、地质条件、工程要求等因素，结合地质勘察和实验数据，综合分析不同技术的优缺点。例如，物理处理方法如振动加固适用于改善土壤的密实性和排水性能，而化学处理方法如硬化剂应用适用于提高土壤的强度和稳定性。通过对不同技术的评估，选择最适合工程需要的软基处理技术。

其次，软基处理技术的选择还应考虑工程的长期可持续性。除了初始阶段的成本和效果，还需要预测不同技术在工程使用过程中的效果稳定性和耐久性。选择那些能够在工程寿命内保持稳定性的软基处理技术，避免后续频繁的维护和修复，实现经济效益和环境效益的双重收益<sup>[5]</sup>。

此外，软基处理技术的选择也应与其他工程要求相协调。在工程设计中，需要综合考虑软基处理技术与其他工程要素（如结构设计、水文要求等）的匹配性，确保软基处理技术不仅能够满足工程稳定性要求，还能够与整个工程系统相互协调，实现综合性能的提升。

## （二）施工与运维阶段

### 1. 施工监测与控制

在施工阶段，应采用科学合理的监测手段对施工过程中的地质情况、施工参数等进行实时监测。通过地质勘察和实验数据，制定详细的监测计划，及时获取有关软基处理效果的信息。例如，在物理处理方法中，可以通过测量土体的密实度、排水性能等指标，评估处理效果的达到程度。在化学处理方法中，可以监测土壤的强度、稳定性等参数，确保化学反应的有效性。

与此同时，在施工监测的基础上，及时调整施工控制策略，以保证软基处理技术的效果达到预期目标。根据监测结果，对施工参数、方法等进行调整和优化，确保软基处理的效果稳定和持久。例如，根据实时监测数据，可以适时调整施工设备的振动频率和振幅，以达到最佳的土壤改良效果。

另外，在运维阶段，应建立健全的长期监测体系，持续追踪软基处理技术的效果变化。定期进行工程稳定性和变形监测，对软基处理效果的长期稳定性进行评估。通过监测数据的分析，及时制定维护和修复计划，以保障工程的可持续运行。

### 2. 定期检查与维护

在软土地区水利工程的可持续软基处理技术推广中，结合施工与运维阶段，定期检查与维护是确保技术长期稳定性和可持续性的重要手段。在工程的整个生命周期内，定期检查与维护对于保障软基处理效果和工程稳定性具有关键意义。

首先，在施工阶段完成软基处理后，应制定详细的定期检查计划。定期检查应包括对软基处理区域的地质状况、土体性质、工程结构等方面进行综合性的检查。通过地下水位、土壤含水量、应力分布等参数的测量，评估软基处理效果的长期稳定性。同时，定期检查还可以发现工程可能存在的隐患，及时采取措施予以解决，避免问题扩大化。

其次，在定期检查的基础上，制定合理的维护计划，对软基处理区域进行必要的维护和修复。维护工作包括土体的加固、植被的恢复、排水系统的保养等，旨在保障软基处理效果的持久性。例如，在物理处理方法中，定期检查后可以采取加固措施，确保土体的稳定性和紧密性。在化学处理方法中，可以根据土壤测试结果进行适时的补充药剂，维持土壤的强度和稳定性。

此外，在运维阶段，定期检查与维护同样至关重要。通过定期监测软基处理区域的变形情况，识别出问题并采取相应措施。及时维护和修复可以有效延长软基处理技术的寿命，减少后续维护成本和工程风险。

## 五、成桩风险性评价及排除风险措施

各种不同的桩型，因地质条件及周边环境条件不同，存在一定的成桩风险。以珠海市斗门区乾务大涌闸重建工程为例，其基础下卧月26m深厚淤泥。

大涌闸闸基如果单独采用PHC桩（预应力管桩）。该类型桩能进行大批量生产或购买，桩的质量稳定，强度大。施工成桩较简单，成桩快，桩长调整较方便，能大大缩短工期，且工程造价相对较低。

但PHC桩施工存在一些缺点。简述如下：

（1）预应力混凝土管桩对运输和临时堆放要求高。

（2）预应力混凝土管桩对地下水或土层腐蚀性介质的防腐要求高。

（3）在饱和黏性土地基施工时，压桩过程和基坑开挖对施工方案的技术措施要求高，质量控制难度较

大。

(4) 预应力混凝土管桩如穿越较厚的粉土、粉砂层或硬塑黏土层时成桩困难，严重情况下会出现管桩压不下或压力过大导致桩身碎裂。

(5) 用柴油锤施打管桩时，震动剧烈，噪音大，挤土量大，会造成一定的环境污染和影响。采用静压法施工，就无震动，无噪音，但挤土作用仍然存在。

(6) 打桩时送桩深度受限制，在深基坑开挖后截去余桩较多，但用静压法施工，送桩深度可以加大，余桩就较少。

(7) 以花岗岩作持力层、在“上软下硬、软硬突变”的地质条件下，不宜采用锤击法施工。

综上，PHC桩在施工中存在风险，桩基施工应注意如下问题：

(1) PHC桩施工在深厚软土层中容易倾斜，因此在桩基施工前，需采取相应的措施，搭建平整、坚实作业平台，以便施工机械能平稳安全的进行基础施工。

(2) PHC桩端难以进入坚硬岩层，并可能存在突变，易造成成桩困难、发生断桩，该类桩型在受拉、受弯的工况下易发生断桩，影响成桩质量。需采取相应的检测措施以及时调整。

(3) 若采用静压法施工预应力管桩，静压桩机设

备较大和重，在软弱地基上施工，容易出现机身因地基不均匀沉降而歪倾，需及时检测调整。

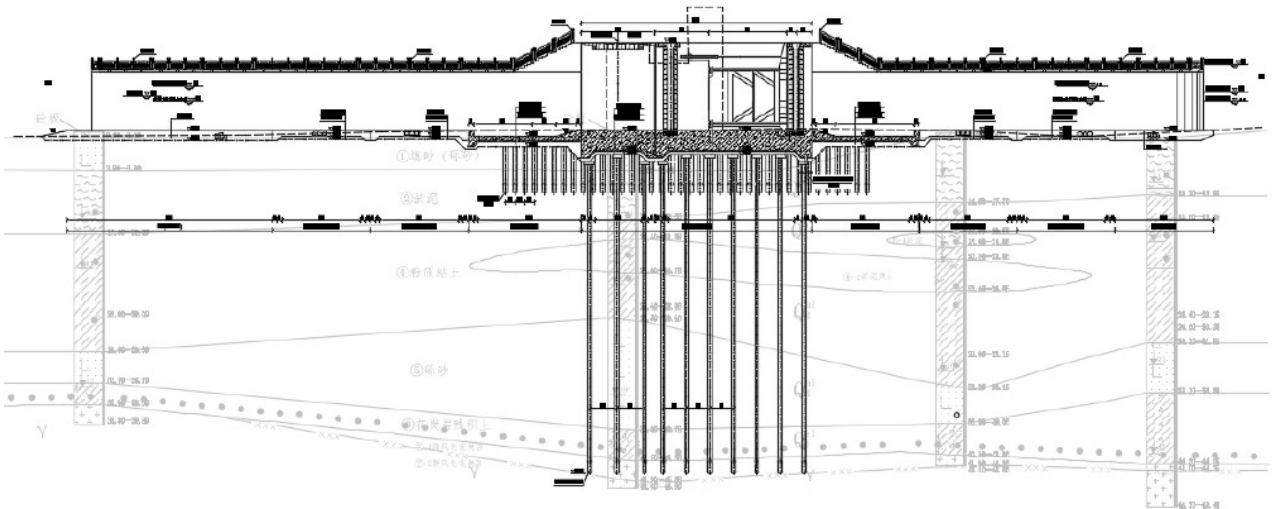
(4) 该类桩型每根桩的接头数量不宜超过3个。摩擦桩摩阻力需通过现场试桩进行校核，以满足桩基承载力和变形要求。

如单独采用水泥搅拌桩，则其地基承载力可满足设计要求，但期沉降难以控制，达不到设计要求。

鉴于上述原因珠海市斗门区乾务大涌闸重建工程，因其水闸闸基基础坐落在第②层淤泥层上，地基承载力远达不到要求，必须进行地基处理。根据闸基地质条件和上部荷载特点，地基处理方案为水泥搅拌桩复合地基+预应力管桩。闸基淤泥属于高压缩性土，需进行沉降变形计算并采取相应工程措施。闸基基本不存在渗漏及渗透稳定问题，但砂石垫层属于较强透水层，应采取措施防止其贯通闸基上下游，另外刚性桩基础易造成地基脱空，形成渗漏通道的情况。

通航孔坐落于②淤泥层上，地基承载力远达不到要求，必须进行地基处理。根据地质条件和上部荷载特点，最终地基处理方案为水泥搅拌桩复合地基+预应力管桩。

本水闸采用了水泥搅拌桩与管桩相结合的方式，确保了成桩的可靠性并结合地排除了风险。



大涌闸通航孔纵剖面图

## 六、结论

软土地区水利工程软基处理技术的可持续性分析表明，在选择和应用软基处理技术时，必须综合考虑地质特征、工程要求、环境影响等多重因素。物理处理方法适用于保护生态环境，化学处理方法需谨慎使用以防污染。工程稳定性、社会效益、经济成本和维护需求相互交织，强调在工程设计、施工和运维中科学监测、合理控制，以确保软基处理技术的可持续性，实现工程安全稳定和生态环境的和谐共生。

## 参考文献

[1] 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, 2023 (05): 44-46.

[2] 朱巍, 宋伟庆. 微探水利工程施工中软基基础的处理技术[J]. 中国设备工程, 2021 (20): 250-252.

[3] 刘雪山. 软基处理施工技术在水利工程施工中的应用[J]. 建筑技术开发, 2021, 48 (07): 151-152.

[4] 杨维东. 公路工程中的软基处理技术研究[J]. 运输经理世界, 2021 (08): 45-46.

[5] 李国超. 探究公路工程施工中应用软基处理技术[J]. 砖瓦, 2021 (02): 181-182.

[6] 王洪乾. 公路工程软基处理技术[J]. 交通世界, 2020 (18): 68-69.