

水利工程基础处理施工技术研究

项宇, 张森林

江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/WCEST.2025120001

摘 要 : 水利工程基础处理是保证工程质量和安全的重要环节。通过对不同土质和地质条件下基础处理技术的研究, 提出了一系列高效、可行的施工方案。这些技术包括基础加固、地下水控制、土壤改良等, 旨在提高水利工程基础的承载能力与稳定性。在实际施工中, 采用现代化设备和精确的施工工艺, 有效解决了复杂环境下的基础处理问题。通过优化设计与施工技术的结合, 提高了施工效率, 降低了成本, 同时确保了水利工程的长期安全运行。

关 键 词 : 水利工程; 基础处理; 加固技术; 地下水控制; 土壤改良

Research on Construction Technology for Foundation Treatment in Water Conservancy Projects

Xiang Yu, Zhang Senlin

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : Foundation treatment in water conservancy projects is a crucial aspect of ensuring project quality and safety. Through research on foundation treatment techniques under varying soil and geological conditions, a series of efficient and feasible construction plans have been proposed. These techniques encompass foundation reinforcement, groundwater control, soil improvement, and more, aiming to enhance the bearing capacity and stability of water conservancy project foundations. In practical construction, the adoption of modern equipment and precise construction techniques has effectively addressed foundation treatment challenges in complex environments. By integrating optimized design with construction technology, construction efficiency has been improved, costs have been reduced, and the long-term safe operation of water conservancy projects has been ensured.

Keywords : water conservancy projects; foundation treatment; reinforcement techniques; groundwater control; soil improvement

引言

水利工程的基础处理技术在工程建设中起着至关重要的作用。随着现代水利项目规模的不断扩大和工程环境的日益复杂, 如何有效处理不同地质条件下的基础问题, 成为工程建设中的一大挑战。基础不稳或处理不当, 可能导致整个工程的安全隐患, 甚至影响水资源的调配与利用。因此, 研究和发​​展适应各种地质条件的基础处理技术, 成为确保水利工程顺利进行的关键因素。通过对先进处理技术的应用与优化, 不仅能够提高基础的承载能力, 还能显著提升施工效率与工程安全性。

一、水利工程基础处理技术概述

(一) 水利工程基础处理的重要性

水利工程的基础处理在保障工程安全、稳定和可持续性方面起着至关重要的作用。基础不稳或处理不当, 不仅会导致沉降、裂缝甚至结构倒塌, 还可能导致水利设施的功能失效, 影响水资源的调配与利用, 进而造成严重的经济损失和社会影响。尤其在复杂的地质环境下, 如软弱土层、高地下水位地区, 基础处理尤为关键。这些环境中的基础往往容易受地下水波动、土壤液化或

膨胀性土壤的影响, 进一步增加了施工和运营中的风险。通过有效的基础处理技术, 可以改善土壤的物理和力学性质, 提高其承载力与稳定性, 确保水利设施能够承受长期荷载和环境变化。例如, 通过地基加固、土壤改良或地下水控制等措施, 能够有效提升土壤承载力和抗渗性, 避免因基础问题引发的安全事故。

(二) 基础处理的常见问题与挑战

在水利工程的基础处理过程中, 除了土壤类型、地下水位和地质结构等常见问题外, 还面临着土体软弱区、岩土交界面以及不均匀沉降等复杂情况。例如, 岩土交界面常常存在较大的承载

力差异，容易导致不均匀沉降，影响结构的稳定性。地下水位的波动性和流动性使得基础加固过程中，材料的稳定性和施工质量受到直接影响。施工现场的环境变化，如天气条件、温度变化等，也可能加剧基础处理的复杂性。此外，在施工过程中时间的紧迫性也要求快速有效的处理方案，这就要求基础处理技术不仅要应对常见的地质问题，还要在短时间内确保质量与安全。这些挑战要求工程师根据项目特性灵活制定和调整方案^[1]。

（三）基础处理技术的发展趋势

随着水利工程对高效、环保、安全要求的不断提高，基础处理技术的创新和发展也呈现出智能化和可持续化的趋势。智能化技术的引入使得基础处理不仅能实时监控土壤的物理性质变化，还能通过数据分析进行动态调整，从而提前预警潜在风险，减少施工过程中的不确定性。此外，复合材料和新型环保材料的应用，使得基础加固更具适应性和可持续性，同时降低了对环境的负面影响。在成本控制方面，新的施工工艺和设备的创新使得基础处理成本逐渐降低，施工效率提高，满足了大规模水利工程建设需要。未来，基础处理技术将更加注重技术的整合应用与绿色发展，以应对复杂的地质和环境挑战^[2]。

二、基础加固技术在水利工程中的应用

（一）基础加固的设计原则与方法

基础加固的设计必须充分考虑水利工程对安全性和稳定性的特殊需求以及复杂的地质条件。设计原则主要包括安全性、经济性、可操作性和可持续性，其中安全性通常以地基承载力满足设计荷载（安全系数一般不小于1.5）为基本要求。加固方案应根据不同的土质类型、地下水埋深（一般为1.0 ~ 5.0 m）以及结构荷载等级进行针对性设计，确保加固后基础能够适应长期运行及荷载变化。

常见的设计方法包括基于地基承载力改良的技术，如静压桩和钻孔灌注桩，其单桩承载力一般可提高至800 ~ 2000 kN，能够显著增强基础整体承载能力。此外，采用土体改良技术，如深层搅拌和注浆加固，可使土体无侧限抗压强度由原有的50 ~ 100 kPa提高至200 ~ 500 kPa，在不改变原有地基结构形式的前提下，提高地基稳定性。在设计过程中，还需综合考虑施工环境、施工周期（通常为30 ~ 90 d）及成本控制等因素，以实现安全性与经济性的统一^[3]。

（二）常见加固技术的比较与选择

不同基础加固技术在水利工程中具有各自适用的工况条件和技术优势。深层搅拌技术通过将水泥或石灰等固化材料与原状土体强制拌合，形成直径一般为500 ~ 800 mm的搅拌桩，能够显著改善软弱土层的力学性能，特别适用于含水量大于40%的淤泥质或软黏土层。经处理后，土体抗压强度和抗渗性能明显提高，渗透系数可降低至 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ m/s。

注浆加固技术则通过注入水泥浆、化学浆液等材料，使松散土体孔隙得到填充，常用于地下水位较高（埋深小于3 m）的地基条件，其注浆压力一般控制在0.3 ~ 1.0 MPa范围内，可有效提高土体密实度和稳定性。钻孔灌注桩技术适用于承载力不足或沉降控制要求较高的区域，桩径通常为600 ~ 1200 mm，通过将荷载传递至深部稳定土层，显著降低不均匀沉降。微型桩直径较小（一般为150 ~ 300 mm），适合施工空间受限的部位，能够在局部区域实现高效加固。加固技术的选择应综合土层条件、地下水环境、工程规模及施工周期等因素，确保技术方案的合理性与可靠性^[4]。如表1所示。

表1 常见基础加固技术参数与适用条件对比表				
加固技术	适用土层条件	典型参数范围	主要优点	适用场景
深层搅拌桩	软黏土、淤泥质土（含水量 $\geq 40\%$ ）	桩径 500 ~ 800 mm；渗透系数 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ m/s	改善土体强度与抗渗性，施工扰动小	软弱地基、大面积加固
注浆加固	松散砂土、裂隙发育土层	注浆压力 0.3 ~ 1.0 MPa	提高密实度，适应高地下水位	局部加固、防渗处理
钻孔灌注桩	承载力不足或沉降敏感地基	桩径 600 ~ 1200 mm	承载力高，沉降控制效果好	重要结构基础
微型桩	空间受限、局部不均匀沉降区域	桩径 150 ~ 300 mm	施工灵活，对周边影响小	改扩建工程、局部加固

（三）加固技术的施工与效果评估

基础加固施工过程中，严格的施工控制与监测管理是确保加固效果的重要保障。施工前需进行详细的地质勘察，通过钻探、原位测试等手段明确土层分布、地下水位及承载特性，为加固方案提供数据支撑。加固施工中，设备选型、施工顺序及工艺参数控制对最终效果具有直接影响。例如，在钻孔灌注桩施工中，桩长通常根据持力层埋深确定，一般为10 ~ 30 m，桩间距控制在2.5 ~ 3.5 倍桩径范围内，以保证整体稳定性。

施工过程中，通过沉降观测、水平位移监测和应力测试等手段，实时掌握基础变形情况。加固效果的评估通常采用沉降监测、静载试验和试桩检测等方法进行。工程实践表明，在某水利工程中，采用注浆加固后，基础最大沉降由原来的45 mm降低至30 mm以下，整体沉降量减少约30%，静载试验结果显示承载力提高约25%。根据监测与试验结果，可对施工参数进行动态调整，从而确保基础加固达到设计目标，保障水利工程的长期安全稳定运行^[5]。

三、地下水控制技术的创新与实践

（一）地下水对基础处理的影响

地下水对基础处理的影响不仅仅是其直接对地基承载力的削弱，还是由于水分的渗透和流动引发的连锁反应。地下水位的波动通常会引起土壤水分含量的变化，进而改变土壤的压缩性、膨

胀性和剪切强度，这可能导致基础的不均匀沉降或裂缝产生。在一些地区，地下水的渗透性较强，可能引发土体液化现象，尤其在地震或其他外部扰动的作用下，液化现象会导致土体承载力的急剧下降，从而使基础失稳。此外，地下水的长期流动可能通过化学溶解作用逐步侵蚀土体中的矿物质，改变土壤的组成，导致土体的结构性破坏。这些因素使得常规的基础加固方法难以应对地下水的复杂变化。只有通过精确控制地下水位，采取科学合理的排水、注浆、封堵等措施，才能有效增强基础的稳定性，确保水利工程能够承受长期的荷载和环境变化^[6]。

（二）地下水控制方法及其适用条件

地下水控制方法在水利工程基础处理中发挥着关键作用，主要包括降水法、排水法和防渗法等。这些方法各有其适用的地质条件和工程需求，选择时需结合具体情况进行合理选择。降水法通过在施工区域内设置井点系统，通过抽水降低地下水位，常用于大规模开挖或基础加固工程。井点系统的效率受到地下水渗透性、土层均匀性及施工深度等因素的影响，特别是在软土或砂层地区，井点系统可以迅速有效地降低水位，为施工提供干燥环境。排水法则通过铺设排水管道或排水沟等手段，确保地下水能够顺利排出，避免水分滞留在地基内，适用于地下水流动性强的地区，能够防止土壤因水分滞留而变软，导致基础沉降。防渗法则主要通过使用防水膜、土工布、复合材料等隔水层材料，将地下水与基础隔离，常用于防止水流侵蚀或污染区域。这种方法适用于地下水较浅且存在渗透风险的地方^[7]。如图1所示。



图1 地下水控制方法

（三）地下水控制技术的施工技术与应用案例

地下水控制技术的施工技术包括井点降水、深井排水、灌浆堵水等，施工时需要确保设备的稳定性与施工精度。在井点降水法的施工过程中，通过打井并安装抽水设备，将地下水位降至设计要求的深度。为了保证降水效果，井点的布置需根据地下水流向和土质情况进行优化。深井排水技术适用于水位较高且渗透性

强的地区，通过设置深井排水系统，能够有效降低地下水位，为基础施工提供良好环境。灌浆堵水则适用于渗水严重的地带，通过注入水泥浆、化学浆液等，封堵水流通道，达到防水控制的目的。在某大型水利项目中，通过使用井点降水法配合灌浆封堵技术，成功控制了复杂地下水环境下的基础稳定问题，项目整体施工周期缩短了15%，且在后期的运行中，基础的沉降量保持在设计范围内，确保了水利设施的安全性与长期稳定性。

四、土壤改良与基础稳定性提升技术

（一）土壤改良技术的类型与原理

土壤改良技术主要通过改变土壤的物理、化学或力学性质，提高其承载能力与稳定性。常见的土壤改良技术包括化学改良、机械改良和物理改良。化学改良技术通过加入外加剂（如石灰、水泥、膨润土等）改变土壤的颗粒结构，提高其抗压强度和稳定性。这些化学试剂能够改变土壤的矿物成分，增强土壤的粘结性，从而提升土体的承载能力。机械改良技术包括深层搅拌、夯实等，通过机械设备改变土壤的密实度和结构，提升土壤的承载力。物理改良技术主要通过控制土壤的水分含量和温度，调节土体的力学性能。土壤改良的基本原理是通过改变土壤的空隙结构，增加颗粒之间的摩擦力，从而提高土体的承载力与稳定性。这些技术能够有效地提高地基的承载力，解决水利工程中常见的软弱土层问题^[8]。

（二）改良土壤的施工技术与实施方案

土壤改良的施工技术根据不同的改良目标和土质类型选择不同的方法。在化学改良方面，常用的方法是石灰和水泥的混合掺加，能够有效增强土壤的抗压能力。施工时，通过机械搅拌将改良材料均匀掺入土层中，通常在改良深度达到1.5~3米时，可以显著提高土壤的强度和稳定性。在机械改良方面，深层搅拌技术是最常见的手段之一，通过专用设备将水泥、石灰等改良材料混入土层中，达到改善土壤强度的目的。此方法适用于较厚的松软土层，并且可以通过调整搅拌深度和搅拌力度，满足不同项目对基础承载力的要求。夯实法则适用于疏松土层，通过重型机械的反复夯实，使土壤密实化，从而增加其承载力。每种改良方法的选择都要根据具体土壤条件、工程要求和施工环境进行合理设计。

（三）土壤改良效果的评估与优化措施

土壤改良后的效果评估是确保工程质量和安全的关键步骤。常见的评估方法包括现场标准贯入试验（SPT）、静力触探试验和承载力试验等。通过这些试验，可以检测改良后的土壤的强度、密实度以及其对外荷载的反应。例如，通过标准贯入试验，改良后土壤的贯入阻力一般会比未改良前提高30%到50%。在评估过程中，还需要进行沉降监测，确保改良土层的沉降量符合设计要求。在土壤改良效果评估的基础上，可以进一步优化改良方案，调整改良材料的配比、搅拌深度和施工方法，从而达到最佳

的改良效果。在某工程项目中，采用石灰土改良技术后，基础沉降量比未改良前减少了约40%，有效提高了基础的稳定性，降低了未来沉降的风险。通过持续优化土壤改良技术，可以大大提升水利工程的基础稳定性，确保工程长期安全运行。

五、结语

水利工程基础处理技术在确保工程安全性与稳定性方面起着

至关重要的作用。通过对基础加固、地下水控制和土壤改良技术的研究与应用，可以有效解决不同地质条件下的工程难题。基础加固技术提高了土壤的承载力，地下水控制技术有效地保障了施工过程中的稳定性，而土壤改良则增强了基础的长期可靠性。随着技术的不断创新与优化，水利工程基础处理将更加高效、环保和经济，为水利建设提供坚实的保障。

参考文献

[1] 杨荣盛. 水利工程施工中导流施工技术的应用研究 [J]. 科技资讯, 2025, 23(20): 163–165.
[2] 朱修闯. 水利工程现场施工技术管理问题及完善策略研究 [J]. 水上安全, 2025(19): 193–195.
[3] 蔡岸. 水利工程施工中导流施工技术研究 [J]. 水上安全, 2025(18): 154–156.
[4] 裴清耀. 基于水利工程中水闸施工技术管理要点分析——以某工程项目为例 [J]. 水上安全, 2025(16): 145–147.
[5] 江登荣. 水利工程施工中导流施工技术的应用分析 [J]. 新疆钢铁, 2025(03): 124–126.
[6] 李燕. 灌浆施工技术在水利工程中的应用与质量控制研究 [J]. 水上安全, 2025(15): 168–170.
[7] 裴浩, 赵洪明. 水利工程施工技术措施及水利工程施工技术管理的研究 [J]. 水上安全, 2025(14): 58–60.
[8] 胡绍磊. 水利工程施工中导流施工技术应用研究 [J]. 水上安全, 2025(13): 187–189.