

# 水利施工中软土地基施工技术探讨

孙所勇

(惠民县恒安水利工程有限公司, 山东 滨州 251700)

**摘要** 在水利工程中, 软土地基处理是关键技术难题, 这一难题会影响工程质量和长期安全运行。并且, 软土天然含水率相对比较高, 压缩性非常大, 抗剪强度相对较低。在施工荷载的作用之下, 软土地基很容易引发一些问题, 如地基沉降、边坡失稳以及结构开裂等情况, 这些问题会直接对水利设施的建设效率和服役寿命形成制约。本文深入探究一些常用技术的施工要点, 包含排水固结法、深层搅拌法、换填垫层法、高压喷射注浆法以及振冲密实法等, 以期对水利工程软基处理方案的优化选择提供有益参考, 进而推动水利建设技术可持续发展。

**关键词** 水利施工; 软土地基; 排水固结法; 置换法; 加筋法

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.015

## 0 引言

水利工程作为国家基础建设领域的重要组成部分, 在水资源调度管理、防洪减灾以及农业灌溉等方面发挥着关键作用。但是在实际施工过程中, 软土地基处理始终是需要重点解决的难题。这类地基具有含水量偏高、承载力较弱、容易压缩变形等特点, 这些特性容易导致地基下陷、边坡滑动甚至建筑物开裂等问题, 直接影响工程的整体质量与安全性能, 因此深入探索水利施工中软土地基施工技术至关重要。

## 1 软土地基概述

软土地基简单来说就是由那些强度不够、容易压缩的软弱土层形成的基础地层。具体分类的话, 常见类型主要包括像淤泥、淤泥质土这些典型类型, 还有像泥炭、泥炭质土这种有机质含量较高的特殊土层<sup>[1]</sup>。例如: 淤泥一般在流速较缓的水体环境中经长期沉积形成, 其含水量极高, 孔隙比通常超过 1.5; 淤泥质土则属于黏性土向淤泥过渡的中间类型, 孔隙比介于 1.0 至 1.5 之间。并且, 软土地基在我国分布广泛, 尤其在东南沿海、长江中下游及河口三角洲地区, 这类土层厚度大、埋藏浅, 常常成为水利工程建设中必须面对的主要工程地质问题。从成因上看, 软土多形成于滨海、湖沼、河谷等静水或缓慢流水环境中的沉积, 有机质含量较高, 土质多呈软塑至流塑状态<sup>[2]</sup>。在水利工程中, 软土地基的存在会对施工期间基坑的开挖以及边坡的稳定产生影响, 而且它还直接和堤防、水

闸等永久建筑物的沉降控制以及防渗安全有关系, 对软土地基进行系统的分析以及合理的处理, 就显得特别关键。

## 2 水利施工中常用的软土地基施工技术

### 2.1 排水固结法

排水固结法的关键之处在于先对软土预先施加一定的荷载, 并且把竖向排水体系结合起来使用, 这样做是为了人为地加快软土孔隙水排出的速度, 让土体在固结的过程当中, 慢慢地变得更加压密。借助这样的方式, 既能够有效地提升地基的承载力, 也能提高地基的抗剪强度, 还可以对工程结束之后的沉降情况进行控制。

在具体实施过程中, 排水固结法的施工通常遵循系统化的作业流程。首先, 在清整后的软土地基表面铺设一层厚度约为 0.5 米至 1.0 米的砂垫层, 作为水平排水通道, 并确保其具有良好的透水性。随后, 根据设计图纸采用打设机械将塑料排水板或袋装砂井有序地打入软土层预定深度, 这些竖向排水体通常按等边三角形或正方形布置, 间距经过计算确定, 以缩短排水路径。在排水系统施工完毕后, 开始进行分级堆载预压<sup>[3]</sup>。堆载材料一般采用土石料或水, 加载速率需严格依据地基土的强度增长情况通过监测数据控制, 防止发生剪切破坏。施工的过程中, 在地基的表面以及不同的深度位置, 需要埋设沉降板、孔隙水压力计等用于监测的仪器设备, 从而能够实时地对沉降的速

作者简介: 孙所勇 (1997-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 水利工程。

率以及孔压的消散程度展开观测。只有当连续多天的沉降量都趋向于稳定,并且固结度也已经达到了设计所提出的要求之后,才可以逐步地将堆载卸除掉。

## 2.2 置换法

置换法应用在水利软基处理过程中,核心操作逻辑围绕以优替劣展开,工程人员取出施工区域原位存在的软弱土层,换填拥有高强度与高稳定性的材料,能从根源调整地基受力状态,优化地基变形性能。在诸多置换工艺中,开挖换填法因其工艺成熟、质量控制直观,成为应对浅层软土最常用的技术手段<sup>[4]</sup>。面对表层分布着淤泥或流塑状泥炭且需处理深度通常在3米以内的工况时,采用此法往往能在成本控制与工程效果之间取得理想的平衡。其施工的精髓在于“挖得干净”与“填得密实”:首先要将设计范围内的软土彻底清除,直至露出相对坚实的下卧层,槽底不得留有积水或扰动;随后根据水文条件和荷载需求遴选填料,比如在排水条件较好的区域中,级配良好的砂砾石拥有棱角咬合结构,同时具备较强透水性,可以在短时间内形成稳定承载结构,对防渗有要求的施工部位,施工方多采用掺入定量石灰的灰土,依靠灰土内部缓慢发生的胶凝反应,让地基板结成相对封闭的整体<sup>[5]</sup>。

当软土层较厚或荷载极大时,单纯的浅层换填便难以奏效,此时强夯置换法则展现出其独特优势。该技术并非简单地将软土挖除,而是利用高能量夯锤反复起落产生的巨大冲击和振动,将碎石、矿渣等粗颗粒骨料强行“砸入”软土中,形成一个个与周围土体共同作用的碎石桩体。这一过程既是物理置换,也是深层挤密,高夯击能使桩体向四周排开软土并与之紧密嵌固,形成竖向增强体。这些坚固的碎石桩不仅像“销钉”一样将上部荷载传递至深层持力层,其自身构成的排水通道还能加速桩间土固结,最终形成承载力大幅提升的复合地基<sup>[6]</sup>。在水利堤防或水闸地基处理中,两种置换方法适用场景不同,施工人员会结合现场地质条件,匹配工程结构特点,选择对应方法,也可将两种方法组合使用,共同保障水利工程基础长期稳固。

## 2.3 加筋法

加筋法在水利软基处理中遵循的是一种“复合增强”的力学逻辑,通过将高抗拉强度的筋材植入土体,借助筋土界面的摩擦与咬合作用,弥补土体抗剪强度不足的天然缺陷,从而构建出能协同受力的复合地基<sup>[7]</sup>。在面对淤泥质土或高含水量的流塑状软土时,这种方法往往能有效约束土体的侧向滑移与隆起变形,其效

果类似于在素混凝土中配置钢筋,虽不改变土的基本性质,却能显著提升整体的结构稳定性。

工程实践中应用最广的当属土工合成材料加筋,其中土工格栅凭借其网格状结构能与土颗粒形成强有力的嵌锁效应,尤其适合应用于受力方向明确的堤坝底部或挡土墙墙背;而土工织物除了具备一定的加筋功能外,其良好的过滤与排水特性,还能在加固的同时加速软土中超静孔隙水压力的消散,对控制工后沉降大有裨益。

在具体施工时,多数施工选择水平铺设或分层铺设,首层直接铺设完成清表作业的软基面之上,后续各层依照设计间距,分层埋入填筑体内部,施工过程中的核心控制内容为搭接长度。通常纵向搭接不小于30厘米、横向搭接不小于50厘米,并在其上及时覆盖填料,避免暴晒老化或被施工机械直接碾压损伤<sup>[8]</sup>。无论是用于提高防洪堤边坡的抗滑稳定性,还是增强水闸底板下软土的抗冲切能力,加筋法的核心,是借助筋材与土体共同受力,改变松散土体原有的力学特性,让土体呈现类似柔性板梁的受力状态,在水利工程长时间运行过程中,完成变形协调,分散外部荷载。

## 3 提升软土地基处理效果的施工策略

### 3.1 深化地质勘察与工艺方案优化

软土地基处理最终实现的效果,取决于对地下实际情况的掌握,地质勘察不应当仅作为施工开始前的一道程序性工作,需要贯穿方案设计的整个过程,成为技术判断的依据。以排水固结法为例,如果勘察时只摸清了软土的大致厚度,却忽略了中间可能存在的薄砂夹层或透镜体,那么设计出来的排水井间距就可能偏大或偏小,直接影响固结效率<sup>[9]</sup>。在实际操作中,遇到淤泥质土深厚且分布不均的工况,可以在常规钻探基础上加密静力触探孔,借助连续贯入的阻力曲线精准划分软土的力学分层,把那些容易被人忽视的粉土薄层也识别出来,这些薄层恰恰可能成为水平排水的天然通道。对于计划采用高压喷射注浆法的区段,有必要专门做抽水试验查明地下水的流速和流向,因为当地下水流速过快时,水泥浆液还没凝固就被冲走了,这时候就需要调整注浆压力或者掺入适量的速凝剂。同样,在考虑振冲密实法处理可液化砂基时,绘制颗粒级配曲线环节必须精确到特征粒径,以此判断振动挤密作业的实施难度,细颗粒含量超出限定范围时,单独用振冲工艺达不到工程要求,可以换用置换率更高的碎石桩方案。

### 3.2 强化关键工序的质量精细化管控

软土地基处理是典型的隐蔽工程，它的质量形成于每一道工序之中，这些工序看似普通，最终效果需要承受水工建筑物长期荷载的检验，管控工序质量的精细化方向，本质是把设计图纸标注的技术参数，转换为施工现场能够操作，能够检查，能够追溯的行为准则，让工程建设的每一个环节都有规则可依，有专人负责。

在换填材料铺筑现场，常常出现填料级配失控的情况，有的施工队为了赶进度，直接从料场拉来混配料就卸入基坑，结果大粒径石块集中在一侧，细料填充不足，压实后空隙率偏高。遇到这种情况，就应该在填料进场时安排专人目测初筛，定期取样做颗粒分析，一旦发现超粒径颗粒过多或含泥量超标，立即要求退场。分层碾压时，松铺厚度必须用钢钎插入法随时抽检，不能轻信现场的目测估算，尤其是靠近边坡或结构物边缘的部位，大型压路机难以到位，必须辅以小型振动夯或平板夯逐层夯实，直到边缘压实度达到设计要求才能继续向上填筑。加筋材料铺设作业中，土工格栅或土工织物长时间在阳光下暴露，会出现老化变脆问题，铺筑完成后，当天必须完成上层填料覆盖，作业过程中要检查搭接位置绑扎是否牢固，确认材料是否因为填料推移出现褶皱或悬空。

### 3.3 完善全过程动态监测与信息反馈机制

软土地基处理存在复杂性，施工过程无法完全依照既定图纸不变更推进，施工阶段进行的动态监测，可及时掌握地基的真实变化，辅助工程推进调整，监测数据并非为满足存档填报要求生成，可直接服务于施工调整，验证设计方案的合理性，提前判断施工过程中可能出现的风险。

在堆载预压现场，沉降板和孔隙水压力计埋设的位置和深度要有代表性，每天定时观测沉降速率和孔压消散情况，如果发现沉降突然加快或孔压急剧上升，就意味着加载速率太快了，土体可能接近极限状态，这时候必须暂停加载，等孔压消散一些再继续。测斜管的布设能直观反映深层土体的侧向位移，一旦位移速率超过警戒值，就得考虑放缓填筑速度或增设反压护道。强夯置换施工中，可以通过夯沉量和夯坑周围隆起情况判断置换效果，如果连续夯击若干次后单次夯沉量依然很大，说明底下软土还没挤开，可能需要补料继续夯。监测反馈的价值不仅在于防止失稳，还在于优化后续施工参数。比如在前期对排水板进行孔

压监测，从得到的数据中能发现，实际的固结速度比设计时预想的要快，在这种情况下，就能够适当地把预压时间缩短一些，从而提前去开展下一道工序。在进行高压喷射注浆施工的时候，可以采用围井的方式或者开挖检查取芯，借助这样的方式来验证桩体的直径以及强度，如果发现桩体的直径偏小，那就必须对喷射压力和提升速度进行调整。

## 4 结束语

软土地基处理是水利工程建设的关键环节，其技术选择是否合理和施工质量的高低，直接影响工程整体安全和耐久性。本文系统梳理了排水固结、置换、加筋等常用软基处理技术的核心要点，明确了各技术的适用条件，结合梳理内容整理出了多类施工策略，内容涉及深化地质勘察，强化工序管控，完善动态监测等，可帮助提高软土地基处理效果。实际应用中，把符合场地条件的技术方案和严格的过程管理结合，可应对软土高压缩性、低强度等不利特性，保证地基承载力和变形控制符合设计要求。未来，新材料新工艺不断出现，软土地基处理技术将持续优化，为水利事业高质量提供坚实的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 李雨才. 水利工程施工中软土地基处理技术的研究与应用[J]. 中国设备工程, 2025(S2):266-269.
- [2] 李海林. 浅谈水利工程施工中软土地基处理[J]. 水电科技, 2024,07(05):10.
- [3] 张腾, 王大伟. 浅谈水利工程施工中软土地基处理技术[J]. 治淮, 2025(03):49-50.
- [4] 郭鸿超. 水利建设的软土地基施工处理质量管理探究[J]. 水电科技, 2024,07(02):25.
- [5] 潘增翼. 振冲碎石桩在水利工程软土地基处理中的应用: 以卫河干流治理工程为例[J]. 四川水泥, 2025(11):31-33.
- [6] 吕绪明, 杨冠婷. 软土地基处理技术在大型水利工程施工中的应用[J]. 大众科学, 2025,46(19):173-175.
- [7] 李秉宏. 水利水电工程基础处理施工技术的分析[J]. 水上安全, 2024(12):46-48.
- [8] 黄平志. 无砂混凝土小桩复合路基预防性养护施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(08):142-144.
- [9] 李思峰. 水利施工中软土地基处理技术的分析[J]. 中国房地产业, 2025(04):186-189.