

水利工程施工中软土地基处理技术

李 芮 苏 浩

山东中鲁技术服务集团有限公司 山东 菏泽 274000

摘 要：本文系统论述了水利工程软土地基处理技术及其施工应用要点。首先分析了软土地基含水量高、孔隙比大、压缩性强、承载力低、抗渗性差五大核心特性，明确了地基沉降控制难、抗渗要求高、施工干扰因素多三大施工难点。其次阐述了换填垫层、排水固结、夯实挤密三类常用处理技术的核心原理、适用条件与施工流程。在此基础上，从场地勘察、技术选型、施工质量管控三个角度提出了施工应用要点，强调了前期勘察数据对技术选型与参数设定的支撑作用。最后针对地基密实度不达标、不均匀沉降、地基渗漏三类常见问题，提出了分级管控措施，为水利工程软土地基处理施工提供了系统化技术参考。

关键词：水利工程；施工；软土地基；地基处理技术

引言：水利工程建设中，软土地基因含水量高、压缩性强、承载力低等固有特性，施工中极易引发地基沉降、渗漏、失稳等质量问题，直接威胁堤防、水闸、泵站等构筑物运行安全。当前软土地基处理涉及换填垫层、排水固结、夯实挤密等多种技术，工艺环节复杂，质量控制要求严格。传统施工管理中存在勘察数据不充分、技术选型不当、工序管控松散、养护措施缺失等突出问题，导致加固效果不达标，后期运行中频繁出现沉降开裂、管涌渗漏等病害。本文围绕软土地基核心特性与施工难点、常用处理技术、施工应用要点及常见问题管控四个层面展开论述，旨在构建系统化技术管理框架，为水利工程软土地基处理施工提供技术指导。

1 水利工程软土地基核心特性与施工难点

1.1 核心特性

(1) 含水量与孔隙比高。软土土层长期与水体接触，天然含水量普遍远超普通土层，土体内部孔隙数量多、孔隙体积大，土体结构松散，整体密实度极低。(2) 压缩性强。在上部构筑物荷载作用下，软土孔隙极易被压缩，土体体积大幅收缩，引发地基沉降变形，且沉降过程持续时间长、沉降量不均匀。(3) 承载力极低。松散的土体结构无法承受较大竖向荷载与水平荷载，直接施工易出现地基失稳现象。四是抗渗性与稳定性差。软土土体黏聚力小，遇水易软化、流动，在水流渗透、水压力作用下，易出现土体流失、边坡滑移等问题^[1]。

1.2 主要施工难点

(1) 地基沉降控制难度大。软土地基沉降具有不均

匀性、持续性特点，施工中难以精准预判沉降范围与沉降量，易导致构筑物墙体开裂、结构错位等质量缺陷。(2) 抗渗施工要求高。水利工程长期处于水环境，软土地基易产生渗透通道，引发地基渗漏、管涌等病害，破坏地基整体稳定性。(3) 施工干扰因素多。软土土质均匀性差，同一施工区域土层厚度、土质性能存在较大差异，难以采用统一施工工艺，增加了施工管控难度。

2 水利工程常用软土地基处理技术

2.1 换填垫层处理技术

换填垫层技术是软土地基处理中最基础、应用最广泛的浅层处理技术，主要适用于软土层厚度较小、地基浅层软弱问题突出的施工场景。该技术的核心施工原理为：人工或机械清除地基表层松软、承载力不足的软土层，选用碎石、砂石、素土、灰土等强度高、稳定性好、抗渗性佳的硬质材料进行分层回填、碾压夯实，替换原有不良土层，形成高强度、高密实度的垫层，从而提升地基表层承载力，减少地基不均匀沉降。具体施工流程为：(1) 开展场地清理，清除施工区域表层杂草、淤泥、杂物，平整施工场地；(2) 精准开挖软弱土层，严格控制开挖深度与范围，避免超挖、欠挖；随后分层铺设回填材料，每层铺设厚度控制在 20 至 30 厘米，铺设完成后采用压路机、打夯机进行反复碾压，确保每层土体密实度达标；最后对垫层整体平整度、密实度进行检测，合格后开展后续施工。(3) 该技术操作简单、施工周期短、质量可控性强，多用于小型水闸、渠道、小型堤坝等轻型水利工程的浅层软土地基处理。

2.2 排水固结处理技术

排水固结技术主要针对含水量极高、土层厚度大的深层软土地基，核心原理是通过人工设置排水通道，加速软土内部孔隙水排出，降低土体含水量，促使土体固结沉降，提升土体密实度与地基承载力，从根本上改善软土的力学性能。该技术主要包含砂井排水、塑料排水板排水两种常用施工形式。（1）砂井排水施工是在软土地基中按照规范间距钻孔，向孔内填充洁净砂石，形成竖向排水砂井，同时在地基表层铺设砂垫层，构建竖向、横向结合的排水体系，配合上部堆载加压，加速孔隙水通过砂井、砂垫层排出，促使土体固结。（2）塑料排水板排水是采用专用插板设备，将塑料排水板打入软土层深处，替代传统砂井形成排水通道，具备施工便捷、成本更低、排水效果均匀的优势。该技术适用于大型堤坝、库区、大型泵站等厚层软土地基施工，能够有效解决深层软土含水量过高、固结缓慢的问题^[2]。

2.3 夯实挤密处理技术

夯实挤密技术属于物理压实加固技术，核心原理是利用机械外力冲击、挤压软土地基，破坏软土原有松散结构，压缩土体内部孔隙，排出土体中的空气与自由水，使土体颗粒重新排列、紧密贴合，从而提升地基密实度与整体稳定性。水利工程施工中常用的主要为强夯法与重锤夯实法。重锤夯实法适用于浅层软土加固，通过小型重锤反复起落夯实地基表层土体，操作简便，对场地设备要求低；强夯法采用大吨位夯锤，从高空自由下落产生强大冲击力，可对深层软土进行强力挤密加固，有效改善深层土体松散问题。该技术无需更换土体、无需添加辅助材料，施工效率高、加固效果显著，多用于大面积、地形平整的水利场地软土地基加固，不适用于周边有精密构筑物的狭小施工区域。

3 软土地基处理技术施工应用要点

3.1 强化施工前期场地勘察

施工前期需对施工区域软土地基进行全面、细致的勘察，系统采集地基土层厚度、土质类型、含水量、孔隙比、压缩模量、天然承载力等核心物理力学参数，精准判定软弱土层的分布范围、埋深及变化规律。同时重点排查施工区域的水文条件，包括地表水流速度、地下水位高度及季节性变化趋势、地下水化学成分对地基土体的潜在影响等环境指标。根据勘察数据，综合分析地基软弱层分布范围、各土层物理力学性质差异及潜在施工隐患点，明确地基处理的重点区域与难点段落。在此基础上，结合工程设计要求与现场实际条件，合理选型

软土地基处理技术，科学设定施工参数，编制针对性施工方案，避免因勘察数据偏差或遗漏导致施工工艺选型不当、加固范围不足、处理效果不达标等问题，为后续施工提供精准、可靠的数据支撑与技术依据。

3.2 科学选用施工工艺技术

不同软土地基工况适配的处理技术存在显著差异，需结合地基土质条件、软土层厚度、含水量、工程规模及周边环境等实际情况精准选型。对于软土层厚度小于3米的浅层软弱地基及小型水利构筑物地基，优先选用换填垫层技术，采用碎石、砂砾等透水性材料替换软弱土层，有效提升地基承载力与密实度。对于软土层厚度大、含水量极高、压缩性强的深层地基及大型堤坝地基，选用排水固结技术，通过设置竖向排水体加速孔隙水排出，促进地基土体固结沉降，提高抗剪强度。对于大面积平整场地、无周边构筑物限制的软土地基，采用夯实挤密技术，利用重锤或强夯设备对地基土体进行高能量冲击，提高土体密实度与承载力。同时，面对地质条件复杂、单一技术难以满足加固要求的工况，可采用多种技术组合施工，如换填与排水固结联合、夯实挤密与桩基加固联合等方式，弥补单一技术的加固短板，协同提升地基整体稳定性与承载性能。

3.3 严格把控现场施工质量

施工过程中需严格落实工艺标准，细化各环节质量管控，确保每道工序满足设计要求。换填施工需把控回填材料的级配、含泥量与强度指标，严格控制分层铺设厚度不超过30cm，逐层碾压至设计密实度，每层碾压完成后进行压实度检测，不合格区域立即返工。排水固结施工需保证排水通道的埋设深度、间距与滤膜包裹质量达标，确保排水体系畅通无阻，砂垫层铺设厚度与平整度满足规范要求。夯实施工需精准控制夯锤落距、夯击次数与夯点布置间距，保证夯实范围全覆盖，避免出现漏夯、欠夯区域。施工过程中需实时监测地基沉降量、土体密实度、孔隙水压力、渗透系数等关键指标，数据异常时及时调整施工参数，杜绝质量隐患。此外，需做好施工现场防水与排水防护，设置临时截水沟与集水坑，避免施工期间地表水、地下水浸润未固化的地基土体，防止土体含水量升高影响加固效果^[3]。

4 施工常见问题与管控措施

4.1 地基密实度不达标及管控措施

地基密实度不达标是软土地基处理施工中的常见问题，多出现于换填垫层与夯实挤密施工过程中。该问题主要由分层铺设厚度过大、碾压夯击次数不足、回

填材料粒径级配不均、含水量控制不当等原因导致,直接影响地基承载力与抗变形能力。(1)管控过程中,需严格规范分层施工厚度,换填施工单层铺填厚度控制在30cm以内,夯实施工根据锤型与土质确定单遍夯击能,逐层铺设、逐层检测。同时筛选粒径均匀、级配合理、性能稳定的回填材料,根据地基承载力设计要求确定碾压遍数与夯击参数,施工前开展试验段验证。(2)施工完成后采用环刀法、灌砂法或动力触探等专业设备逐点检测地基密实度,检测频率满足规范要求。对密实度不达标的区域及时返工补夯、补压,直至检测数据满足设计标准,确保整体地基密实度均匀一致、统一达标^[4]。

4.2 地基不均匀沉降及管控措施

地基不均匀沉降是软土地基处理施工中的核心质量风险,主要由地基土质分布不均、各区域加固施工强度差异、排水固结不同步等原因引发。(1)软土地基本身存在土层厚度变化、含水量差异、压缩性不一致等固有特征,若施工前未针对性处理,极易导致地基各部位沉降量差异过大,引发上部结构开裂、倾斜等严重后果。(2)施工前需对勘察发现的局部土质极差区域进行单独预处理,采用换填、桩基或注浆加固等方式消除地基土质差异,统一各区域地基初始条件。施工中严格保证各区域施工工艺与施工参数一致,换填材料级配、分层厚度、碾压遍数、排水体间距等关键指标统一执行,避免因局部加固强度不足导致沉降差异。施工完成后需预留充足的固结沉降观测期,采用沉降板、分层沉降仪等设备持续监测各部位沉降数据,待地基沉降速率趋于稳定且差异量满足设计允许值后,方可开展上部构筑物施工,有效规避后期不均匀沉降风险。

4.3 地基渗漏及管控措施

地基渗漏是水利工程软土地基处理中的常见质量问题,主要由加固后土体孔隙未完全闭合、排水通道接口处残留缝隙、防渗层铺设不连续或搭接不严密等原因导致。(1)软土地基经排水固结或换填处理后,土体内部仍存在微细孔隙与渗透通道,加之软土本身渗透系数较低但孔隙连通性较强,若未进行有效封堵处理,地下水或库区水流将沿渗透路径持续侵入地基内部,逐步降低土体有效应力与抗剪强度,长期作用下易引发管涌、流土等渗透破坏,严重影响堤坝整体防渗性能与结构安

全。(2)在地基加固施工完成后,需对地基表层进行系统防渗处理。可通过铺设黏土防渗垫层、复合土工膜或水泥土防渗墙等方式,封堵土体内部残存渗透通道,保证防渗层的连续性、完整性与搭接密封性,防渗层搭接宽度须满足规范要求。同时采用表层压实密封工艺,对防渗层上部土体进行碾压密实,消除表层松散孔隙。施工后期需开展地基防渗检测,采用注水试验、抽水试验或渗透系数测试等方法系统排查渗漏隐患点,对检测发现的渗漏区域及时采用水泥注浆封堵、补设防渗层或增设排水减压设施等措施进行加固处理,保障地基抗渗性能全面满足水利工程设计使用要求^[5]。

结束语

水利工程软土地基处理是保障堤防安全与工程耐久性的核心环节,其施工质量取决于前期勘察的精准性、技术选型的科学性、过程管控的严格性及问题处置的及时性。本文系统梳理了换填垫层、排水固结、夯实挤密三类核心技术的适用条件与施工要点,构建了涵盖场地勘察、工艺选型、质量管控与问题处置的完整技术体系。针对密实度不达标、不均匀沉降、地基渗漏三类常见问题,提出了分级管控措施,强调了试验段验证与实时监测在质量控制中的关键作用。后续施工中应进一步强化信息化监测手段的应用,推动施工管理由经验驱动向数据驱动转变,持续提升软土地基处理效果与水利工程整体运行安全性。

参考文献

- [1] 郑德良. 水利工程施工中软土地基处理技术[J]. 建材发展导向,2026,24(5):49-51.
- [2] 赵兴棚. 水利工程施工中软土地基处理技术[J]. 散装水泥,2026(5):131-133.
- [3] 王文湘. 水利工程施工中软土地基处理技术的应用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(4):104-107.
- [4] 邓孝宏. 水利工程施工中软土地基处理技术[J]. 中国科技期刊数据库工业B,2026(2):085-088.
- [5] 万星. 水利工程施工中软基基础处理技术研讨[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(2):113-116.