

# 软土地基上水利水电工程堤岸加固施工技术及其效果评价

张 博

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

**【摘要】**：软土地基因高含水量、高孔隙比等固有特性，导致水利水电堤岸易出现不均匀沉降、开裂、滑坡等结构病害，进而产生隐蔽性强、危害大的工程安全隐患。针对该问题，本文采用软土地基改良、堤岸结构加固及施工病害防控三类关键技术，结合软土特性优化施工工艺。同时构建涵盖力学性能、变形特性等维度的评价模型，依托实测数据分析加固效果，并结合工程实践明确技术适配性调整与质量保障要点。实践表明，所选技术可有效改善软土力学性能，提升堤岸稳定性与抗渗防冲能力，评价方法能精准判定加固效果，为工程安全运行提供技术支撑。

**【关键词】**：软土地基；堤岸加固；施工技术；效果评价；水利水电工程

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.010

## 引言

水利水电工程是保障水资源合理调配、防洪减灾及区域经济发展的核心基础设施，堤岸作为工程的关键防护构件，其稳定性直接决定工程整体运行效能。我国软土分布广泛，软土地基的高含水量、低强度、高压缩性等固有缺陷，使堤岸工程在长期水动力作用与土体自重影响下，易出现沉降、开裂、滑坡等病害，严重制约工程功能发挥并埋下安全隐患。当前，软土地基堤岸加固技术适配性不足、效果评价体系不完善等问题仍较为突出。基于此，本文系统剖析软土地基堤岸工程现存问题及地质诱因，探讨关键加固施工技术，构建科学的效果评价方法，结合工程实践提炼应用要点，为同类工程施工与质量管控提供技术参考。

## 1 软土地基水利水电堤岸工程现存问题剖析

### 1.1 软土地基堤岸常见结构病害

软土地基堤岸在水利水电工程运行过程中，堤身表面及内部会逐步显现多种结构性病害。堤顶位置由于地基不均匀压缩，常出现纵向起伏不平、高程参差不齐的变形现象，局部段落甚至形成明显的高低错台。堤身表面会沿纵向展现出宽窄不一的裂缝，这些裂缝初期较细，随着时间推移逐渐加宽加深，同时横向裂隙交错发育，将堤身切割成若干独立块体。堤坡表面土体在水流冲刷和自重作用下，出现片状剥落、局部凹陷甚至小型滑塌坑洞，坡面平整度严重下降。坡脚区域受地下水位变化和侧向土体挤压，容易产生隆起、挤出变形，防渗结构连接处出现破损渗漏点。堤身内部填筑土体因固结不充分，后期持续发生蠕变沉降，进一步加剧表层裂缝的扩展和坡面变形，各类病害相互叠加交织，严重削弱堤岸的整体防护功能。

### 1.2 堤岸病害的软土地质诱因

软土地质条件对堤岸病害的发生与发展起着根本性控制作用。软土颗粒细小且带有一定负电荷，颗粒间结合水膜较厚，导致土体在受力时排水路径漫长、孔隙水压力难以快速消散。

当堤岸承受上部填土荷载及水压力作用时，软土骨架发生压缩变形，但孔隙水无法及时排出，有效应力增长缓慢，地基承载力长期处于不足状态。软土的结构连接强度主要依靠颗粒间的物理化学力维持，抗剪强度参数中的粘聚力值偏低，一旦受到水位涨落产生的渗透力或风浪冲击荷载，土体内部剪应力容易超过其抗剪强度，引发渐进式剪切破坏<sup>[1]</sup>。软土还具有明显的时间依赖性变形特征，在恒定荷载作用下应变持续增加，这种蠕变效应使堤岸在建成后数年内仍保持缓慢下沉趋势，不断拉裂已完工的防渗层和护坡结构，为渗流通道的形成创造条件。

### 1.3 病害引发的工程安全隐患

软土地基水利水电堤岸病害引发的工程安全隐患具有隐蔽性强、蔓延速度快、危害程度高的特点，直接威胁堤岸工程正常运行及周边人员财产安全。软土自身承载力低、压缩性高的特性，使得堤岸出现沉降、开裂等病害后，易导致堤身结构完整性遭到破坏，雨水、河水易通过裂缝渗入堤体内部，软化堤身土体，进一步降低堤体抗剪强度，引发堤岸滑坡、坍塌等恶性事故。同时，病害会破坏堤岸的防渗体系，导致渗流量增大，形成管涌、流土等渗透破坏现象，若未及时控制，会逐渐掏空堤基，造成堤岸失稳，进而影响水利水电工程的防洪、灌溉、供水等核心功能，严重时还会导致周边农田被淹、基础设施损毁，引发区域性的水利安全事故，对工程周边环境及社会发展造成不可逆的影响。

## 2 软土地基堤岸加固施工关键技术应用

### 2.1 软土地基改良处理技术

软土地基改良处理技术核心是通过物理、化学或复合手段，改善软土的力学性质，降低其压缩性、提高承载力，为堤岸加固奠定坚实基础。针对水利水电工程堤岸软土地基的高含水量、高孔隙比、低强度特性，实际施工中多采用换填垫层法与深层搅拌法相结合的方式，换填垫层选用级配良好的碎石、砂砾等材料，分层铺设并碾压密实，有效置换表层软弱土体，减

少地基沉降变形<sup>[2]</sup>。深层搅拌法则通过专用设备将水泥、石灰等固化剂与软土充分搅拌混合，使软土与固化剂发生化学反应，形成具有一定强度和整体性的复合地基，增强地基抗剪能力和稳定性，同时抑制软土的蠕变特性，避免堤岸在水压力作用下出现不均匀沉降、滑坡等隐患，确保堤岸结构的长期稳定。

## 2.2 堤岸结构加固施工技术

堤岸结构加固施工需结合软土地基承载力低、沉降量大的特性，重点针对堤身、堤脚及堤坡开展针对性施工。施工过程中，采用钢筋混凝土板桩对堤脚进行防护，板桩嵌入软土地基一定深度，有效抵御水流冲刷和地基沉降对堤脚的破坏，同时搭配土工格栅铺设于堤身内部，增强堤身整体性和抗裂性能，避免堤身因软土变形出现裂缝。堤坡加固采用浆砌石护坡工艺，选用强度达标、抗冲刷能力强的石块，按规范要求砌筑成型，坡面铺设土工布减少水土流失，兼顾防护与排水功能，确保堤坡在软土地基变形过程中保持稳定，杜绝滑坡、坍塌等隐患，适配软土地基的受力特点和水利水电工程堤岸的长期运行需求。

## 2.3 施工过程中病害防控技术

软土地基堤岸加固施工期间，需重点防控堤身沉降、裂缝、渗流及局部坍塌等常见病害，结合软土承载力低、渗透性差、沉降量大的特性，采取针对性防控措施。施工中需实时监测堤身沉降速率与水平位移，合理控制分层填筑厚度和碾压强度，避免因荷载集中导致堤身不均匀沉降引发裂缝。同时，做好堤基排水防护，设置完善的排水盲沟和反滤层，及时排出堤身及堤基内的孔隙水，降低孔隙水压力，防止渗流破坏和管涌现象发生。对施工中出现微小裂缝，需及时采用防渗材料填充压实，避免裂缝进一步扩展；对边坡易坍塌区域，可铺设土工格栅增强边坡稳定性，同步控制施工扰动范围，减少对软土地基的扰动，确保加固施工过程安全有序，规避各类病害对堤岸加固效果的影响。

# 3 软土地基堤岸加固效果综合评价方法

## 3.1 加固效果评价核心指标

软土地基堤岸加固效果评价核心指标需紧密贴合堤岸承载能力、变形控制及抗渗防冲核心需求，聚焦软土自身物理力学性质改善与堤岸结构稳定性提升。指标涵盖堤岸沉降量与沉降速率，重点关注加固后堤岸沉降是否趋于稳定，避免因软土压缩性过高导致堤身不均匀沉降引发开裂、滑移<sup>[3]</sup>。堤岸水平位移量是关键指标，需反映堤岸在水压力、土压力作用下的侧向变形情况，确保变形量控制在安全范围内。软土地基承载力指标需体现加固后地基抗剪强度、压缩模量的改善程度，保障堤岸结构能够承受上部荷载与水动力作用。抗渗指标主要包括堤身及地基渗透系数、渗流量，防止因渗透破坏导致堤岸管涌、溃决，同时需考量堤岸表面抗冲刷能力，抵御水流冲刷对堤岸

表层土体的侵蚀，确保加固后堤岸长期稳定运行。

## 3.2 多维度评价模型构建

软土地基堤岸加固效果多维度评价模型构建需立足堤岸加固核心需求，结合软土天然含水率高、压缩性大、承载力低的工程特性，整合力学性能、变形特性、耐久性及环境适应性四大核心评价维度，确保模型贴合实际施工场景与工程运行需求（见图1）。模型构建需选取针对性评价指标，力学性能维度重点纳入堤岸土体抗压强度、抗剪强度及地基承载力等量化指标，采用现场原位测试数据作为核心支撑；变形特性维度聚焦堤岸沉降量、水平位移速率及不均匀沉降差值，通过长期监测数据校准指标阈值；耐久性维度涵盖土体抗渗性、抗冻性及抗侵蚀能力，结合水利工程长期浸水的运行特点设定评价标准；环境适应性维度兼顾施工对周边水体、土体的影响及堤岸抗冲刷能力，实现评价指标与软土地基特性、水利工程功能的深度适配，构建科学、系统且可操作的多维度评价模型，为加固效果精准判定提供核心框架。



图1 软土地基堤岸加固效果多维度评价模型

## 3.3 评价结果精准分析方法

软土地基堤岸加固效果精准分析需依托加固后堤岸的实测数据与现场勘查资料，结合软土的蠕变特性、渗透性变化及堤岸结构受力状态开展系统性分析。通过对堤岸沉降量、水平位移量的连续监测数据进行趋势分析，结合软土固结度的变化规律，判断加固措施对软土地基压缩性的改善程度，排查堤岸是否存在不均匀沉降隐患。同时，结合堤岸土体的力学性能检测结果，分析加固后土体抗剪强度、承载力的实际变化，关联堤岸整体稳定性，判断加固技术是否达到设计要求。此外，需结合水利水电工程的运行工况，分析加固后堤岸的抗渗能力、抗冲刷性能，结合软土地基的排水固结效果，精准识别加固过程中可能存在的薄弱环节，为加固效果的精准判定提供全面、可靠的技术支撑，确保分析结果贴合工程实际且具备实操指导性。

# 4 软土地基堤岸加固工程实践应用要点

## 4.1 施工技术适配性调整要点

软土地基堤岸加固施工技术的适配性调整，需紧密结合堤

岸所处区域软土的天然含水量、孔隙比、压缩系数等核心指标,针对性优化施工工艺参数<sup>[4]</sup>。根据软土分层分布差异,对加固深度进行精准把控,对浅层软土可适当减小加固间距、加密施工点位,对深层软土则需调整加固设备的钻进速度和注浆压力,避免因施工参数不当导致软土扰动加剧,引发堤岸沉降或滑坡。同时,结合堤岸设计荷载及周边水文条件,调整加固材料的配比,比如优化水泥浆浓度、掺入适量外加剂改善浆液流动性和凝结时间,确保加固材料与软土充分结合,提升加固效果。此外,需根据施工过程中监测到的软土地基沉降、位移数据,动态微调施工流程,保障施工技术 with 软土地基特性、堤岸加固需求高度适配,杜绝技术与实际工况脱节导致的加固隐患。

#### 4.2 评价结果导向的施工优化

依托监测数据调整施工参数是加固质量的核心保障,华阳河蓄滞洪区复华段软基处理工程中,渗流数值分析与沉降监测数据显示,堆载预压阶段前两级堆载时平台范围下方地基出现最大竖向变形,第三级堆载阶段新堤主体下方竖向变形呈快速增长态势,据此将原设计连续堆载调整为三级堆载搭配两级稳压模式,每级堆载后设置130~180天稳压期促进超孔隙水压力充分消散,相关监测数据表明1440天左右地基周边超孔压已基本消散。连云港徐圩围堤工程桶式基础安装阶段,高精度定位传感器与实时水文数据构建的“海洋流动态平衡系统”,捕捉到巷道效应造成海流流速较开阔水域上升30%进而引发桶体姿态偏移,随即由1000吨起重船协同4艘锚艇开展多维度受力平衡调控,通过“分级下沉、逐点校准”方式将下沉速率控制在每小时0.5米以内,10个巨型桶体最终安装精度误差

#### 参考文献:

- [1] 张旭林.水利水电工程施工中软土地基处理技术分析[J].科技资讯,2025,23(08):163-165.
- [2] 唐昌金.水利水电工程建设中软土地基加固处理技术研究[J].水利技术监督,2025,(05):160-163+217.
- [3] 耿川,耿长亮.水利水电工程施工中不良地基处理技术研究[J].现代工程科技,2025,4(19):29-32.
- [4] 潘亚辉,付海峰,刘敏.水利水电工程设计中的地基处理技术分析[J].工程建设与设计,2022,(11):116-118.
- [5] 刘婷婷.水利工程软土地基施工技术分析[J].住宅与房地产,2021,(25):216-217.

低于15厘米,优于行业30厘米的标准规范。

#### 4.3 工程应用质量保障措施

软土地基堤岸加固工程应用质量保障需贯穿施工全流程,聚焦软土特性优化管控细节,结合堤岸受力需求落实针对性措施。施工前需对软土地层进行全面勘察,精准测定土层含水量、压缩系数、抗剪强度等核心参数,据此优化加固方案,避免因参数偏差导致施工质量隐患<sup>[5]</sup>。施工过程中严格控制加固材料质量,对水泥、砂石、土工合成材料等进行进场检验,杜绝不合格材料投入使用,同时规范施工工序,严控置换法、排水固结法等核心工艺的施工参数,确保软土置换均匀、排水通道畅通,防止出现加固层分层、沉降不均等问题。同步建立实时监测体系,对堤岸沉降量、水平位移、孔隙水压力等指标进行动态监测,及时调整施工参数,依托常态化质量巡检排查隐蔽工程隐患,确保加固施工每一道工序均符合设计标准,保障堤岸加固质量稳定可靠。

#### 5 结语

软土地基的固有特性决定了水利水电堤岸工程易受病害侵袭,加固施工与效果评价是保障工程安全稳定运行的核心环节。合理运用地基改良、结构加固及施工病害防控技术,可有效改善软土力学性能,提升堤岸承载与抗渗防冲能力。科学构建多维度评价模型,依托实测数据精准分析加固效果,能为施工优化提供可靠支撑。工程实践中,需注重技术适配性调整与全流程质量管控,实现加固技术与软土地质、工程工况的深度契合。未来需结合工程实际持续优化技术工艺与评价体系,推动软土地基堤岸加固技术提质增效,为水利水电工程安全运行筑牢保障。