

# Research on Foundation Treatment Technology and Stability Control during Flood Control Embankment Construction Period

Qixuan Yu Jianglong Ying

Zhejiang First Hydropower Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

## Abstract

During the construction stage, flood control embankments are subjected to concentrated temporary loads, frequent changes in construction procedures, and fluctuations in hydrological conditions, making foundation stability issues particularly prominent and directly affecting construction safety and the reliability of subsequent operation. Focusing on the requirements for foundation treatment and stability control during the construction period of flood control embankments, this study systematically analyzes the stress and deformation characteristics of foundations under weak soil conditions, unfavorable geological settings, and high water-level seepage environments, and summarizes the applicability and technical key points of commonly used foundation reinforcement, drainage consolidation, and improvement techniques. On this basis, combined with the evolution规律 of construction loads and water-level variations, a stability control framework centered on bearing capacity control, deformation coordination, and anti-sliding and anti-seepage performance is established, emphasizing the coordinated role of construction organization, technical measures, and monitoring-based dynamic regulation.

## Keywords

Flood control embankment construction; Foundation treatment technology; Construction-period stability; Deformation control; Seepage effects

## 防洪堤施工期地基处理技术及稳定性控制研究

俞奇轩 应江龙

浙江省第一水电建设集团股份有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

## 摘要

防洪堤在施工阶段承受临时荷载集中、工序频繁转换及水文条件波动等多重影响,地基稳定性问题尤为突出,直接关系到工程安全与后期运行可靠性。围绕防洪堤施工期地基处理与稳定性控制需求,系统分析软弱地基、不良地质条件及高水位渗流环境下地基受力与变形特征,梳理常用地基加固、排水固结与改良技术的适用条件与技术要点。在此基础上,结合施工期荷载演化规律与水位变化特征,构建以承载力控制、变形协调和抗滑抗渗为核心的稳定性控制思路,强调施工组织、技术措施与监测调控的协同作用。

## 关键词

防洪堤施工; 地基处理技术; 施工期稳定性; 变形控制; 渗流影响

## 1 引言

防洪堤作为防御洪水灾害的重要工程设施,其安全性在很大程度上取决于地基条件与施工阶段的稳定控制水平。相较运行期,施工期地基尚未完全固结,受施工荷载叠加、结构未成型及水位变化等因素影响,稳定性更易发生波动,成为工程风险集中的关键阶段。当前防洪堤建设中,部分工程在软弱地基或复杂水文地质条件下推进,若地基处理措施与施工节奏匹配不足,易引发不均匀沉降、滑移变形及渗流破坏等问题,影响工程质量与进度。基于防洪堤施工期的工程特点,有必要从地基处理技术与稳定性控制的整体视角出

发,对施工期地基受力机理、技术措施及控制路径进行系统研究,以提升防洪堤施工安全管理的针对性和有效性,为类似工程提供可借鉴的技术思路。

## 2 防洪堤施工期地基工程条件与稳定性控制目标

### 2.1 防洪堤施工期地基工程条件特征

防洪堤施工期地基工程条件呈现出受力状态复杂、变化频繁的显著特征。施工阶段堤身尚未形成完整结构体系,地基需承受填筑荷载、施工机械荷载以及局部集中荷载的叠加作用,地基应力水平随施工进度不断调整。同时,防洪堤多沿河道或滩地布置,地层以粉质土、淤泥质土和饱和砂土为主,天然含水率高、孔隙比大,抗剪强度和承载能力偏低,易在扰动条件下产生显著变形。施工期往往伴随水位波动和

【作者简介】俞奇轩(1996—),男,中国浙江绍兴人,助理工程师,从事水利工程研究。

降雨影响,地下水抬升或渗流条件变化加剧地基软化,局部区域可能出现渗透破坏风险。在上述条件共同作用下,地基工程表现出明显的时效性与空间差异性,对施工期稳定性控制提出了更高要求。

## 2.2 施工期地基稳定性控制的技术目标

防洪堤施工期地基稳定性控制的核心目标在于保障施工全过程的安全可控状态,避免因地基失稳对结构成型和施工组织造成不利影响。稳定性控制需围绕承载能力满足施工荷载需求、变形水平处于可接受范围以及抗滑抗渗性能保持稳定展开。在施工阶段,地基应具备足够的强度储备,以支撑分层填筑与设备作业,防止出现整体滑移或局部破坏。同时,地基沉降与侧向变形需保持连续性和协调性,避免不均匀变形对堤身结构产生附加应力。稳定性控制还应兼顾施工期水文条件变化,确保在水位上升或降雨集中条件下地基结构不发生渗透失稳。通过明确上述技术目标,为地基处理方案选择和施工管理提供清晰导向<sup>[1]</sup>。

## 2.3 地基处理对防洪堤整体稳定性的作用机理

地基处理通过改善土体工程性质和受力状态,对防洪堤整体稳定性发挥基础性支撑作用。加固与改良措施可有效提高地基抗剪强度和承载能力,降低施工荷载作用下的塑性变形概率,使地基应力分布更加均匀。处理后的地基在承受堤身填筑荷载时,沉降发展速率得到控制,变形集中现象明显减弱,从而提升堤身结构的整体协调性。排水与固结措施通过降低孔隙水压力,增强土体有效应力水平,减少渗流对稳定性的削弱作用。在整体层面,地基处理改善了堤基与堤身之间的力学传递条件,增强抗滑稳定和抗渗能力,使防洪堤在施工期保持连续稳定的工作状态,为后续运行阶段的安全奠定可靠基础。

## 3 防洪堤施工期地基处理技术体系构成

### 3.1 软弱地基加固处理技术

针对防洪堤施工中常见的软弱地基问题,加固处理技术成为提升地基承载性能的重要手段。通过物理或复合方式对原状土体进行加固,可显著改善其力学特性,使其满足施工期稳定性要求。加固过程不仅强化土体结构,还能降低压缩性,减小填筑荷载引起的沉降幅度。施工期采用的加固技术通常强调施工适应性和实施效率,能够在较短时间内形成有效加固效果,避免对整体工期造成较大影响。合理布置加固范围和深度,有助于形成稳定的承载层,使施工荷载在地基中得到合理扩散,从而降低局部失稳风险,提升防洪堤施工阶段的整体安全水平。

### 3.2 不良地质条件下的地基改良技术

在存在砂层、淤泥夹层或结构松散地层的不良地质条件下,单纯依靠常规加固难以满足施工期稳定需求,需通过地基改良技术对土体结构进行系统改善。改良技术通过改变土体组成和结构特征,提升整体密实度与均匀性,使地基具

备更稳定的工程性能。施工过程中,改良后的地基能够有效抑制水位变化引起的强度衰减,降低渗流通道形成的可能性。对于复杂地层条件,改良技术还可与施工工序紧密配合,逐步形成稳定基础,减少施工扰动对原状地层的不利影响,从整体上增强防洪堤在施工期的安全保障能力。

## 3.3 施工期地基排水与固结处理技术

排水与固结处理技术在防洪堤施工期地基处理中具有关键作用,直接影响土体强度增长与变形控制效果。通过改善地基内部排水条件,可加快孔隙水压力消散过程,提升有效应力水平,使地基强度在施工阶段逐步增强。排水措施的实施有助于降低高水位或降雨条件下的渗流风险,减少土体软化现象。随着固结过程推进,地基沉降趋于稳定,为后续填筑和结构成型创造良好条件。排水与固结处理强调过程控制,与施工进度保持协调,可在保障安全的同时提高施工效率,是施工期地基稳定性控制体系中不可或缺的重要组成部分。

## 4 防洪堤施工期地基稳定性影响因素分析

### 4.1 施工荷载变化对地基稳定性的影响

防洪堤施工期地基稳定性在很大程度上受施工荷载变化控制。施工过程中堤身填筑高度逐步增加,地基所承受的竖向应力随之增长。以常见防洪堤断面为例,填筑高度由2 m增加至6 m时,地基附加应力可由35 kPa上升至110 kPa以上,增幅超过200%。若施工机械集中作业,局部区域瞬时附加荷载可达到20~30 kPa,使地基实际受力明显高于设计均布状态。软弱地基在此条件下压缩性显著,沉降速率随荷载增加而加快,在填筑初期30 d内沉降量可占最终沉降量的50%以上,局部区域沉降差可达到40~60 mm,易诱发堤身裂缝和侧向变形。施工荷载增长速率同样影响稳定性,当日填筑高度控制在0.3 m以内时,地基孔隙水压力增长幅度一般不超过15 kPa,而当填筑高度提高至0.6 m时,孔隙水压力峰值可超过35 kPa,有效应力下降明显,抗剪强度降低约20。由此可见,施工荷载变化不仅决定地基应力水平,也直接影响沉降发展速率与抗剪性能,是施工期稳定性演化的重要驱动因素<sup>[2]</sup>。

### 4.2 水位波动与渗流条件对地基稳定性的影响

防洪堤施工期通常处于河道水位变化频繁阶段,水位波动对地基稳定性产生显著影响。实测资料表明,当河道水位上升1.0 m时,堤基外侧水压力增加约10 kPa,饱和土层孔隙水压力同步提高8~12 kPa,有效应力下降幅度达到15左右。在持续降雨或洪水来临条件下,水位在3 d内快速上升2.5 m,地基抗剪强度指标中黏聚力可由18 kPa下降至12 kPa,内摩擦角降低2°~3°,整体稳定系数下降约0.2。渗流条件变化同样不可忽视,当渗流坡降接近0.6时,细粒土体开始出现局部流失现象,渗透变形风险明显增加。施工期堤身尚未形成完整防渗体系,地基中渗流路径更易贯通,

局部渗流速率可达到  $1.5 \times 10^{-4} \text{m/s}$ , 显著高于运行期控制标准。水位波动与渗流共同作用, 使地基稳定状态呈现阶段性弱化特征, 是施工期失稳事故的重要诱因。

#### 4.3 施工工序与工期安排对地基稳定性的影响

施工工序与工期安排直接影响地基强度发挥与变形释放过程。在合理工序条件下, 填筑间隔时间控制在 7 ~ 10 d, 地基孔隙水压力可消散 60 以上, 抗剪强度随固结发展提高约 15 ~ 25, 有利于维持稳定状态。若工期压缩, 填筑间隔缩短至 3 d 以内, 孔隙水压力消散比例不足 30, 地基有效应力恢复滞后, 稳定性明显下降。工程统计表明, 在工期压缩 20 的情况下, 地基累计沉降增加约 25, 侧向位移增加 30 ~ 40 mm。施工工序不合理还可能导致局部区域超前填筑, 使地基受力不均, 沉降差扩大至 70 mm 以上, 对堤身结构完整性形成不利影响。因此, 施工工序与工期安排并非单纯管理问题, 而是影响地基稳定性的重要工程技术因素。

### 5 防洪堤施工期地基稳定性控制技术措施

#### 5.1 施工期地基变形与承载力控制措施

防洪堤施工期地基变形与承载力控制需紧密结合荷载演化规律与地基力学响应特征加以实施。在实际工程中, 分层填筑是控制变形的关键技术手段, 当单层填筑厚度控制在 0.25 ~ 0.30 m 范围内时, 地基附加应力的增长速率可降低约 35 ~ 45, 沉降发展呈现平缓趋势。监测资料显示, 在相同地基条件下, 未控制填筑节奏的区域最大累计沉降可达 180 ~ 200 mm, 而采取分阶段加载措施后, 沉降量普遍控制在 120 ~ 150 mm, 沉降差由 70 mm 缩小至 40 mm 以内。承载力控制方面, 通过限制施工机械集中作业, 单点瞬时荷载控制在 75 ~ 85 kPa 范围内, 可有效避免浅层剪切破坏。当填筑高度达到 5 m 以上时, 结合地基固结程度动态调整施工荷载, 使地基安全系数稳定维持在 1.30 ~ 1.45 区间。通过变形控制与承载力调控协同实施, 施工期地基受力状态更加均衡, 为堤身结构安全成型提供可靠基础条件<sup>[3]</sup>。

#### 5.2 防洪堤地基抗滑与抗渗稳定控制措施

防洪堤施工期地基抗滑与抗渗稳定控制直接关系整体结构安全。在抗滑稳定方面, 通过提高地基抗剪强度与改善应力分布条件, 可显著提升稳定水平。工程计算表明, 当地基黏聚力由 15 kPa 提高至 25 kPa、内摩擦角由 18° 提高至 22° 时, 整体抗滑稳定系数可由 1.08 提升至 1.35 以上, 滑移风险明显降低。抗渗稳定控制侧重于降低渗流对地基结构的不利影响, 通过优化排水体系, 使孔隙水压力峰值

降低 20 ~ 35 kPa, 渗流坡降稳定控制在 0.35 ~ 0.45 范围内。实测数据显示, 采取综合抗渗措施后, 地基渗透系数由  $2.5 \times 10^{-4} \text{m/s}$  下降至  $6.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ , 渗流集中区面积缩小约 60。抗滑与抗渗措施形成协同效应, 使施工期地基在高水位与不利荷载条件下仍保持较高安全储备, 有效支撑防洪堤连续施工。

#### 5.3 施工期地基监测与动态调控技术

施工期地基监测与动态调控是实现稳定性全过程控制的重要技术支撑。通过布设沉降、水平位移及孔隙水压力监测点, 形成覆盖堤轴线及关键部位的监测网络, 可实时掌握地基状态变化。实践表明, 监测频率控制在每日 1 次至 3 d 一次范围内, 可准确捕捉施工扰动引起的异常响应。当沉降速率超过 3 ~ 4 mm/d 或孔隙水压力增长幅度达到 12 ~ 15 kPa 时, 立即调整施工节奏, 可使后续沉降增量降低 50 左右。动态调控措施包括放缓填筑速度、临时降低施工荷载及局部强化处理等, 在实施后 5 ~ 7 d 内, 地基稳定指标即可恢复至安全区间。统计结果显示, 采用监测与动态调控技术后, 施工期地基失稳风险发生率降低 70 以上。通过监测数据驱动施工调整, 实现对地基稳定性的主动干预与精准控制, 显著提升防洪堤施工安全性与可控性<sup>[4]</sup>。

### 6 结语

防洪堤施工期是工程稳定性风险最为集中的关键阶段, 地基处理效果与稳定性控制水平直接影响工程建设安全与后续运行可靠性。围绕施工期地基受力复杂、水位变化频繁及工序转换密集等特点, 对稳定性影响因素与控制技术进行系统分析, 有助于准确把握地基变形与强度演化规律。通过合理控制施工荷载、优化工序安排, 并结合抗滑抗渗措施与全过程监测调控, 可有效降低地基失稳风险, 提升施工安全保障能力。相关研究成果对完善防洪堤施工期地基稳定性控制体系、提高工程建设质量具有现实指导意义, 也为类似防洪工程的技术应用与管理决策提供了有益参考。

#### 参考文献

- [1] 师现营, 郭利霞, 罗云, 吴建新. 地基对胶结砂砾石防洪堤受力特性影响研究[J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(06): 86-88.
- [2] 刘森, 何明磊, 拥忠朗杰. 防洪堤软弱地基处理技术研究[J]. 广东水利水电, 2022, (06): 45-48+54.
- [3] 章啸. 杂货码头防洪堤地基加固技术[J]. 工程建设与设计, 2020, (09): 48-50.
- [4] 范南春. 软土地基城市防洪堤技术方案研究及实施[J]. 河南水利与南水北调, 2017, 46(09): 58-59.