

Optimization Strategy of Soft Land Foundation Treatment in Water Conservancy Embankment Project

Zhenwei Liu

Liaoning Haide Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

Abstract

In recent years, the expansion trend of the construction scale of water conservancy levees is remarkable, and ensuring the lasting and stable operation of levee projects has become a key issue to be solved urgently. Among them, the accurate implementation of foundation treatment, as the core step to ensure the stability of the project, has immeasurable value for preventing the foundation instability and maintaining the overall structure safety of the dike. In view of the unique nature of soft soil foundation, it is necessary to pay great attention to its treatment technology during the implementation of hydraulic dike projects, and strive to make the foundation performance reach the established standards through high standard treatment operations, thus improving the overall efficiency of the project and extending its service life.

Keywords

water conservancy embankment; dike works; soft soil foundation; processing technology

水利堤防工程软土地基处理环节的优化策略

刘振伟

辽宁省海德水利建筑工程有限公司, 中国·辽宁 葫芦岛 125000

摘要

近年来, 水利堤防建设规模的扩张趋势显著, 确保堤防工程的持久稳定运行已成为亟待解决的关键议题。其中, 地基处理的精准执行作为保障工程稳固性的核心步骤, 对于预防地基失稳、维护堤防整体结构安全具有不可估量的价值。鉴于软土地基的独特性质, 水利堤防项目的实施过程中, 必须对其处理工艺给予高度关注, 力求通过高标准处理作业, 使地基性能达到既定标准, 进而提升工程整体效能, 延长其服务寿命。

关键词

水利堤防; 堤防工程; 软土地基; 处理技术

1 引言

鉴于社会经济发展对水利设施支撑作用的迫切需求, 水利堤防工程的建设步伐不断加快。在此情境下, 软土地基的处理技术成为了施工环节中不可或缺的关键要素, 其处理成效直接关系到工程项目的质量优劣与长期安全性能。回顾历史项目经验, 不难发现软土地基处理过程中面临的技术难题复杂多样, 因此, 采用科学合理的处理策略并进行持续优化, 成为了确保工程顺利推进与高质量完成的重要路径^[1]。

2 软土及其基本特性分析

2.1 软土

软土作为一种独特的自然地质构成, 主要经由海洋、河流、湖泊等水域环境的长期沉积作用而形成, 其类型广泛,

包括但不限于高压缩性土、杂填土、充填土以及典型的软粘土。此外, 那些易于发生液化且结构松散的粉细砂层, 也被视为软土的一部分。在软粘土的细分中, 淤泥与淤泥质土尤为显著, 它们因不利的工程地质特性而在工程实践中备受关注。界定上, 以天然孔隙比不小于 1.5 作为淤泥的划分标准, 而孔隙比位于 1.0~1.5 之间的粘土则被归类为淤泥质粘土。

2.2 软土的基本特性

第一, 高水分含量与多孔性: 软土的一个显著标志是其高水分含量, 这一特征使得其天然含水量普遍超过 40%, 部分极端情况下甚至可达 200%, 远超土壤的液限阈值。同时, 软土的自然孔隙比普遍大于 1.0, 极端条件下更可超过 2.0, 这种高孔隙比特性直接关联到其压缩性能和结构稳定性。

第二, 显著的压缩特性: 软土展现出强烈的压缩性, 其压缩系数多超过 0.5MPa^{-1} , 并且随着液限的增加而呈现增大趋势。这一特性在水利堤防工程中尤为关键, 因为过度的压缩可能导致地基沉降, 影响工程的安全与稳定。

【作者简介】刘振伟 (1976-), 男, 中国辽宁葫芦岛人, 本科, 副高级工程师, 从事水利水电研究。

第三,低抗剪切性:软粘土的抗剪切强度相对较低,其快剪凝聚力通常小于 20kPa,多数情况下趋近于 10kPa;同时,内摩擦角普遍较小,一般不超过 5°,而固结摩擦角则介于 15°~20° 之间。值得注意的是,软粘土的抗剪切强度受排水条件影响显著,良好的排水环境有助于随时间推移逐步提升地基的抗剪切能力。

第四,弱渗透性:软粘土的渗透系数极低,通常位于 10^{-8} ~ 10^{-6} cm/s 的范围内,这一特性导致地基固结过程缓慢,沉降稳定所需时间延长。特别是在加载初期,由于超静孔隙水压力的消散速度缓慢,有效应力的增长也相对滞后,从而可能引发地基强度不足及稳定性问题。

第五,高灵敏度特性:特别是针对海相沉积的软粘土而言,其原始结构未受破坏时往往具备一定的抗剪切强度。然而,一旦受到外界扰动,其抗剪切强度会急剧下降。灵敏度作为衡量软土强度降低特性的关键指标,在水利堤防工程中,对于高灵敏度软土地基的处理需特别谨慎,以避免扰动对地基稳定性的不利影响^[2]。

3 水利堤防工程软土地基处理环节的优化策略

3.1 表层处理法

3.1.1 砂垫层强化技术

在水利堤防工程处理软土地基时,采用顶面铺设砂垫层的技术策略,提高浅层土体的排水效率,促进软土在路堤自重压迫下的水分快速排出,进而缩短地基的固结周期。此方法虽不直接改变基底应力的分布模式或沉降量的变化趋势,但其优势在于灵活应对多种施工场景,包括路堤高度未达极限高度两倍限制的区域,以及在地基含天然软土且基底加固受限的情况下,通过加速施工策略保障路堤填筑达到最大设计高度。此外,该技术还适用于软土层浅薄、表面覆盖低渗透性硬壳,或软土层稍厚但自然排水条件良好的地质环境。施工上,砂垫层铺设简便,无需复杂设备,占地面积小,但需精确调控加载速率,确保地基排水固结过程充分进行,因此更适用于工期宽裕、砂源充足且运输成本低的施工条件。

3.1.2 反压护道构建技术

为增强路堤的稳定性,需采用在路堤两侧构建特定规格的反压护道的策略,其核心在于通过提高路堤的整体质量分布,提升抗滑稳定性,诱导路堤下软基沿两侧适度隆起,以达到力学平衡状态。此技术尤其适用于路堤高度介于极限高度 1.5~2 倍的施工区域,在非耕作区及土源丰富的地带得到广泛应用。反压护道的构建过程简单,无需特殊施工机械,占地面积相对较小,但需注意其土方用量较大,可能对后期地基沉降产生影响,需增加相应的维护措施。

3.1.3 土工聚合物应用技术

在路堤底部构造中,引入土工聚合物(特别是土工布)铺设技术,是一种有效提升路基稳定性的方法。土工布凭借

其多重功能,如促进排水、分散应力、隔离不同土层及加筋补强,显著增强了路基结构的整体性能。在连接土工布时,可采用搭接法或直接缝接法,缝接法进一步细化为一般缝法、丁缝法及蝶形法等,以适应不同的施工环境和要求。土工格栅的应用则侧重于通过其与土体的相互作用,特别是增强格栅与土界面间的摩擦力,利用格栅结构特性稳定土层,限制土壤颗粒的侧向移动,从而大幅度提升土体的稳定性。相较于其他土工材料,土工格栅在加固土层方面的效果更为突出,不仅能够提高地基承载能力,保障施工进度的顺利推进,还能有效减缓软土地基的沉降速率,缩短工程周期,确保水利堤防工程的高效完成^[3]。

3.2 换填法

3.2.1 开挖与回填

在水利堤防工程中,针对软土地基的处理,开挖换填法以其直接而有效的特点成为重要手段。该方法的核心在于精确界定并移除软弱土层,随后采用高透水性材料(诸如砂砾、钢渣等)进行填充,以优化地基性能。此策略不仅操作直观,技术掌握难度低,尤其适宜于浅层泥沼等软基环境的治理。然而,面对深层软基或是对沉降控制要求严苛的路基、桥涵、引道结构,需细致评估其适用性,必要时应采取更为精细化的加固措施,以确保工程安全与质量。

3.2.2 抛石挤淤技术

抛石挤淤技术作为一种经济高效的软基处理策略,通过向地基地部精准投掷适宜尺寸的片石,借助其自重与挤压力迫使基底淤泥排出,从而提升地基的承载性能。该方法在积水难排、泥炭层流动性强且表层无硬壳的软土区域,以及机械作业受限的软弱地面,展现出独特的优势。此外,在石料供应充足且运输成本可控的条件下,抛石挤淤法不仅施工便捷,且经济成本较低,为水利堤防工程提供了切实可行的解决方案。

3.2.3 爆破排淤与回填技术

爆破排淤法,凭借其强大的能量释放特性,能够迅速分离软土或泥沼,随后通过回填高强度、高渗透性的土壤(如砂砾与碎石的混合土)来实现地基的加固。这一技术特别适用于换填深度大、工期紧张且对施工效率有较高要求的场景,如深厚软土、泥沼等地基条件。在淤泥层稠密、厚度大,且路堤设计高程较高、工期紧迫,同时路段内无关键构造物,允许适度整体沉降而不影响整体功能的情境下,爆破排淤法成为优选方案。根据具体地质条件与施工需求,该方法可灵活采用先填后爆或先爆后填的实施模式,前者更适用于软土稠度大的情况,后者则对回淤速度较慢、稠度较小的地质环境更为有效,从而实现换填技术的精细化应用与优化^[4]。

3.3 预压法

在水利堤防工程领域,预压法作为处理软土地基的核心技术之一(图1),其精髓在于通过精密设计的加压与排水系统协同作业,有效促进地基土中孔隙水的排出,进而提

升地基的密实度与承载能力。当前,排水系统多元化,包括排水砂沟、水平铺设的排水垫层以及高效的塑料排水板等,而加压系统则灵活多样,涵盖了降低地下水位、真空预压、堆载预压等多种技术手段。特别地,真空预压与堆载预压的联合应用,即真空联合堆载预压法,展现了更为卓越的软土地基处理效能。

施工流程的优化与细化如下:彻底清理待处理区域内的表土与植被,为后续工作奠定坚实基础;随后,铺设一层均匀的砂垫层,作为水平方向上的高效排水通道;紧接着,采用垂直插入技术精准布置塑料排水板,同时在砂垫层内巧妙布置横向排水管,以全面优化地基的排水效率与性能;之后,在砂垫层表面铺设密封膜,并利用真空泵将膜内空间抽至真空状态(气压低于80kPa),借助负压效应加速地基内部孔隙水的排出过程。

尽管预压法在加固效果上表现出色,但其固有的长周期特性及对抽真空处理范围的限制,使得该方法更适宜于工期相对宽裕且对地基处理质量有严格要求的淤泥或淤泥质土地基项目。为此,进一步优化预压技术的实施策略显得尤为重要,包括但不限于精确调控排水与加压系统的布局与运行参数,以最大化提升处理效率与成果质量,从而为水利堤防工程的长期稳定性与安全性构筑起坚实的基础。预压法概示意图如图1所示。

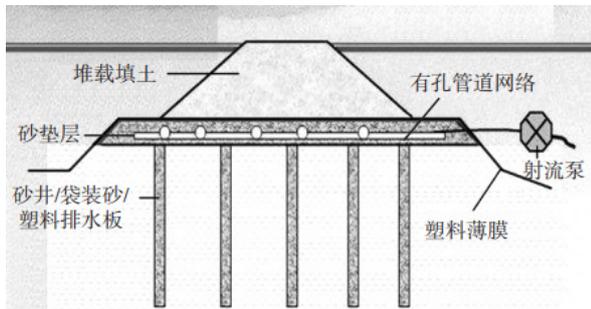


图1 预压法概示意

3.4 复合地基法

在水利堤防工程领域,复合地基技术通过精心设计的桩体布置于软土地基之中,显著提升了天然地基的抗剪强度,构建了由桩体与桩间土协同作用的复合承载体系。此体系中,桩与桩间土紧密配合,共同承担上部荷载,有效增强了地基的整体承载效能。针对碎石桩与砂桩的应用,关键在于利用冲击或振动技术精确成孔,随后分层填充碎石或砂料,并辅以夯实或振实工艺,以实现地基的稳固加固。值得注意的是,此类方法要求地基土具备一定的初始强度基础,以避免加固过程中产生不利变形,故不适用于极度软弱的淤泥或淤泥质土层。对于二灰桩与石灰桩技术,其核心在于向

桩孔内注入生石灰或其与粉煤灰、火山灰等材料的混合物,利用生石灰的膨胀特性和高吸水性,对桩周土体实施有效挤密,从而显著提升地基的加固效果。在深层搅拌桩技术层面,搅拌机深入不同土层深度,将石灰、水泥等固化材料与地基土充分混合搅拌,形成高强度桩体。而旋喷桩技术则通过特制喷嘴的注浆管深入土层,利用高压喷射技术将固化液浆与土体紧密结合,固化后形成高强度桩体。这些桩体相较于原状土体,展现出更低的压缩性和更高的强度特性,因此特别适用于软粘土、冲填土等复杂地质条件的加固处理。然而,当地基土中有机质含量较高时,上述技术的加固效果可能受到一定影响,故在泥灰土、塘泥土等高有机成分地层中的应用需谨慎^[9]。

3.5 垂直排水固结法

垂直排水固结法作为处理软土地基的有效手段,其核心在于通过砂井的设置构建高效的排水通道。施工过程中,振动打桩机(冲击式或振动式)与下部桩管协同作业,确保砂井的精确形成。为确保施工质量,需严格控制“缩颈”现象的发生,并尽量减少对土层的扰动。具体而言,套管法通过带有活瓣管尖或端靴的套管下沉至预定深度,随后灌砂并拔出套管,形成规则的砂井。根据施工实际情况,可选择静压沉管或振动沉管等适宜工艺。水冲孔法则利用高压水流的冲击力实现成孔,清理后灌砂成井,此法尤其适用于砂性土层。螺旋钻成孔法则以其独特的动力螺旋钻技术实现精确钻孔,灌砂后形成稳定的砂柱。该方法在陆上施工中表现出色,能有效避免“缩颈”与塌孔问题,但需注意根据地基条件灵活调整灌砂质量,以确保成桩效果。

4 结论

综上所述,水利堤防工程中,软土地基处理是保障工程质量与长期稳定性的关键环节。针对多样化的地质条件与工程需求,应深入研究并优化复合地基技术与垂直排水固结法等软土地基处理技术,制定科学合理的解决方案,以确保施工安全、提升工程质量。

参考文献

- [1] 林添勋.水利堤防工程软土地基处理环节的优化措施[J].工程技术研究,2021,6(15):191-192.
- [2] 曾岑.水利堤防工程软土地基处理方案比选[J].珠江水运,2021(13):23-24.
- [3] 杨锦行.垫层法在水利堤防工程软土地基处理中的应用研究[J].农家参谋,2020(12):243-244.
- [4] 朱彦博.垫层法在水利堤防工程软土地基处理中的应用分析[J].工程建设与设计,2020(4):56-57.
- [5] 邓艳.软土地基施工技术在河道堤防工程中的应用[J].珠江水运,2019(9):29-30.