

水利工程施工中软土地基处理技术研究

周 阳

黄河勘测规划设计研究院有限公司岩土工程事业部工程公司 河南 洛阳 471000

摘 要：本文聚焦水利工程软土地基处理。先阐述软土地基基本特性，包括高含水量、低承载力等。接着说明处理的核心要求与前期准备，涵盖核心目标、勘察工作及前期准备要点。详细介绍常用处理技术，如换填垫层法、排水固结法、挤密加固法的原理、适用范围与施工要点。随后强调质量控制与注意事项，从施工质量控制要点、施工注意事项及常见质量问题处理措施三方面展开。旨在为水利工程软土地基处理提供全面、专业的指导，确保工程质量和安全，提升地基处理效果，保障水利工程的长期稳定运行。

关键词：水利工程；软土地基；处理技术

引言：在水利工程领域，软土地基是常见且需重点攻克的对象。其独特的基本特性，如高含水量、低承载能力、不良渗透性等，给水利工程施工和长期运行带来诸多挑战。若处理不当，极易引发地基失稳、构筑物开裂渗漏等严重问题，影响工程安全与使用寿命。因此，科学合理地处理软土地基至关重要。本文将深入探讨水利工程软土地基处理的核心要求、前期准备、常用技术，以及质量控制与注意事项，为实际工程提供全面、系统的理论支持与实践指导。

1 软土地基的基本特性

在水利工程施工领域，软土地基是较为常见且需重点处理的对象。它主要由淤泥、淤泥质土、泥炭土以及其他高压缩性土构成，其形成与地下水浸泡、土质颗粒组成、沉积环境等多种因素紧密相关，具备独特且鲜明的特性，准确把握这些特性是科学选择合理处理技术的关键前提。（1）软土地基含水量颇高，显著高于土质的塑限含水量。这使得土体颗粒间的联结力大幅削弱，土体结构呈现出松散状态，为后续的工程处理带来诸多挑战。其孔隙比也较大，较高的孔隙率赋予了土体极强的压缩性。在水利工程构筑物荷载的作用下，软土地基极易产生显著的压缩沉降，并且这种沉降过程持续时间较长，对工程结构的稳定性构成潜在威胁。（2）软土地基的承载能力极为有限，天然地基承载力通常难以满足工程需求，无法承受水利构筑物自身重量以及运行过程中产生的水压力、土压力等各类荷载。若直接将其作为工程地基使用，极易引发地基失稳问题，严重影响工程安全。（3）软土地基渗透性不佳，土体中的孔隙多为细小毛细孔隙，水分难以快速排出。在施工过程中，排水不畅会降低地基处理效率，而且水分长期滞留会进一步加剧土体软化，导致地基的稳定性和承载能力持续下降。

同时，软土地基抗剪强度低，内摩擦角小且黏聚力弱，在外部荷载扰动下，极易发生剪切破坏，进而引发地基滑动等严重的安全问题^[1]。

2 水利工程软土地基处理的核心要求与前期准备

2.1 核心处理要求

水利工程软土地基处理的核心目标是改善软土地基的物理力学性能，提升地基的承载能力和稳定性，控制地基沉降量和沉降速率，确保地基能够承受水利构筑物的各类荷载，满足工程施工和长期运行的要求。具体而言，处理后的地基承载力需达到工程设计标准，能够有效抵抗构筑物自重、水压力、风浪压力等各类荷载的作用，避免出现地基失稳；地基沉降量需控制在设计允许范围内，且沉降速率需均匀，防止因不均匀沉降导致构筑物开裂、渗漏。

同时，软土地基处理需兼顾施工可行性和经济性，结合地基土质特性、工程规模和施工条件，选择技术成熟、操作简便、成本合理的处理技术，避免过度处理造成成本浪费，或处理不到位留下安全隐患。此外，处理后的地基需具备良好的抗渗性能和耐久性，适应水利工程长期处于水环境中的工作特点，防止因水分渗透导致地基再次软化，影响工程使用寿命。

2.2 前期勘察工作

软土地基处理前，必须开展全面、细致的地基勘察工作，全面掌握地基土质的分布范围、物理力学指标、含水量、孔隙比、渗透性、抗剪强度等核心参数，为处理技术的选择和施工方案的制定提供准确依据。勘察工作需覆盖整个水利工程施工区域，重点排查软土地基的分布厚度、埋藏深度，明确软土与其他土层的分层界限，避免因勘察遗漏导致处理方案不合理。

勘察过程中，需通过钻孔取样、原位测试等方式，

获取软土地基的各项物理力学指标,明确地基的承载力、压缩模量、渗透系数等关键参数,判断软土地基的不良程度。同时,需排查地基范围内的地下水分布情况、地下水位高程及变化规律,分析地下水对软土地基稳定性的影响,为后续排水、降水等处理环节提供参考^[2]。勘察结果需形成完整的勘察报告,明确软土地基的特性、分布情况及处理重点,为处理技术的选择和施工工艺的优化提供科学支撑。

2.3 施工前期准备

在完成地基勘察并确定处理方案后,需做好施工前期准备工作,确保软土地基处理施工顺利开展。首先,需清理施工区域内的杂物、杂草、浮土等,平整施工场地,划分施工分区,明确各分区的处理范围和施工顺序,搭建必要的施工临时设施,保障施工人员和机械设备的正常作业。其次,需根据处理技术的要求,准备齐全施工所需的机械设备、材料,对机械设备进行调试和检修,确保设备性能良好,避免施工过程中出现设备故障影响施工进度;对施工材料进行质量检验,确保材料符合施工标准,杜绝不合格材料投入使用。

同时,需做好施工人员的技术交底工作,明确处理技术的原理、施工要点、操作规范及质量控制标准,提升施工人员的技术水平和操作规范性,避免因操作不当导致处理质量不合格。此外,需根据施工区域的地质条件和地下水情况,制定合理的排水、降水措施,提前降低地下水位,减少地下水对软土地基处理施工的影响,为施工创造良好的作业条件。

3 水利工程常用软土地基处理技术

3.1 换填垫层法

换填垫层法在水利工程软土地基处理中应用极为广泛,操作相对简便。其基本原理为,把软土地基表层的软弱土层挖除,用性能优良的材料替换,形成垫层,以此提高地基承载能力、减少沉降并增强稳定性。该技术适用于软土层厚度较薄且埋藏浅的软土地基,在水利工程堤坝、渠道、小型水闸等构筑物地基处理中优势明显。(1)换填垫层材料的选择要综合考量工程需求与当地资源状况。常用材料有级配砂石、灰土、素混凝土、粉煤灰等,级配砂石因强度高、渗透性好、取材便捷、成本低,在水利工程中备受青睐。(2)施工时,先依据勘察结果确定软弱土层挖除的厚度与范围,用挖掘机等设备分层挖除,挖除过程中要控制好开挖坡度,防止边坡坍塌。挖除后,对基坑底部平整、夯实,保证其平整坚实。接着将换填材料分层铺入基坑,每层铺设后,用压路机、打夯机等设备分层夯实,夯实度需满足设计要

求,确保垫层密实,提升强度与承载力。换填垫层宽度要大于构筑物基础宽度,每侧通常超出基础边缘一定距离,以有效扩散荷载,避免基础边缘应力集中引发地基破坏。同时,要严格把控换填材料铺设厚度与夯实质量^[3]。

3.2 排水固结法

排水固结法借助软土地基自身渗透性,设置排水系统排出其中水分,加速土体固结,以此减少地基沉降,提升承载能力与稳定性。此技术适用于含水量高、孔隙比大且渗透性差的软土地基,对淤泥、淤泥质土等软弱土层处理效果显著,在水利工程堤坝、码头等大型构筑物地基处理中应用广泛。(1)构建完善的排水与加压系统是排水固结法的关键。排水系统分竖向和水平排水体,竖向排水体常用塑料排水板、砂井,水平排水体常用砂垫层。塑料排水板排水效率高、质量轻、施工便捷、成本低,在水利工程竖向排水体中应用最广;砂井适用于软土层厚、渗透性极差的地基,排水效果稳定。

(2)施工时,先在软土地基表面铺级配良好的中粗砂砂垫层作水平排水通道。接着用专用设备将竖向排水体插入软土地基至设计深度,使其与水平砂垫层连通形成完整排水系统。之后通过堆载预压或真空预压施加外部荷载,使水分在压力下经竖向和水平排水体排出,加速土体固结。堆载预压是逐步堆放土石等荷载;真空预压是铺密封膜,用真空泵抽气形成负压排水。施工要控制荷载施加速度和真空度,实时监测地基沉降量和速率,依结果调整参数,确保固结效果达标。

3.3 挤密加固法

挤密加固法借助机械设备对软土地基实施挤压与振动,排出土体里的空气和水分,降低土体孔隙比,提高土体密实度,进而增强地基承载能力与稳定性。此技术适用于软土层厚度适中且含一定颗粒含量的软土地基处理,常用方法有振冲挤密法、夯实挤密法等,在水利工程小型构筑物地基处理中应用较多。(1)振冲挤密法利用振冲器的振动作用,对软土地基进行振动挤压,促使土体颗粒重新分布,减小孔隙比,排出空气和水分,提升土体密实度与抗剪强度。施工时,先将振冲器对准处理点位,依靠其振动与自重插入软土地基至设计深度,之后缓慢提升,同时向周围填入砂石等填料,借助振动将填料挤密形成砂石桩。砂石桩与周围挤密土体构成复合地基,增强地基承载能力。(2)夯实挤密法采用重锤夯实机等设备,对软土地基表面进行重锤夯实。通过重锤冲击力挤压、夯实软土地基,排出空气和水分,减小孔隙比,增加密实度。施工要根据软土地基特性确定重锤重量、夯实次数与深度,夯实过程中控制速度与间

距,防止夯实不均、土体隆起,保证地基挤密效果。

(3) 挤密加固法施工速度快、成本低、效果显著,但对施工机械设备要求高,需严格把控施工参数,防止操作不当引发地基局部问题,影响处理质量^[4]。

4 软土地基处理技术的质量控制与注意事项

4.1 施工质量控制要点

软土地基处理质量关乎水利工程施工质量与运行安全,需建立完善质量控制体系,严格把控各环节。(1) 材料质量控制是基础。施工所用换填、排水、填料等材料,须经质量检验,各项性能指标要符合设计要求,杜绝不合格材料入场。像砂石材料,要控制级配与含泥量,以防含泥量过高影响强度和渗透性。(2) 施工工艺控制是核心。不同处理技术要依施工方案和操作规程施工,精准控制参数。如换填垫层法控制开挖与换填铺设厚度、夯实度;排水固结法控制排水体插入深度、砂垫层厚度及荷载施加速度;挤密加固法控制振冲器振动频率、重锤重量与夯实次数。安排专业人员实时检测,及时纠偏。地基处理完成后,经质量验收,指标达标方可进行后续施工,不达标则整改直至合格。

4.2 施工注意事项

水利工程软土地基处理施工时,要结合地基特性与施工条件,关注细节,规避隐患与质量问题。(1) 做好排水、降水工作。在含水量高、渗透性差的软土地基处理中,要及时排出施工区域内的地下水和雨水,防止土体因长期浸泡软化,影响施工质量和安全。且要根据地下水位变化,及时调整排水、降水措施,保证排水效果。(2) 避免过度扰动软土地基。其抗剪强度低,过度扰动会破坏土体结构,降低承载能力和稳定性。像开挖软弱土层、插入排水体、振冲挤密施工时,都要控制力度和速度。(3) 做好沉降监测,实时掌握地基沉降量和速率,依结果调整参数。若沉降异常,立即停工分析,采取加固措施。同时,做好人员安全防护,定期检修机械设备。

4.3 常见质量问题及处理措施

软土地基处理施工受多种因素影响,易出现质量问题,需及时有效处理。常见问题有垫层夯实不密实、排

水体插入深度不足、地基不均匀沉降、土体隆起。(1) 垫层夯实不密实,多因换填材料铺设过厚、夯实力度不够。处理方法是拆除不密实垫层,重新分层铺料,控制铺设厚度,加大夯实力度,保证夯实度达标。(2) 排水体插入深度不足,会使排水系统无法有效排水,影响地基固结。需重新插入排水体至设计深度,并检查其与砂垫层的连通情况,确保排水系统畅通。(3) 地基不均匀沉降,常由施工参数控制不当、材料分布不均导致。要加强沉降监测,依据结果对沉降大的区域补充加固,如增加换填厚度、增设排水体等,调整地基承载能力,使沉降均匀。(4) 土体隆起,主要是荷载施加过快、施工扰动过大所致。应立即停工卸载减压,平整、夯实隆起土体,待地基稳定后逐步恢复施工,同时调整施工参数,控制速度和力度^[5]。

结束语

水利工程软土地基处理是一项复杂且关键的工作。从准确把握软土地基特性,到明确处理核心要求与做好前期准备,再到合理选用常用处理技术,每个环节都紧密相连、至关重要。施工过程中的质量控制与注意事项更是不容忽视,严格把控材料、工艺,关注排水、扰动等细节,及时处理常见质量问题,才能确保处理效果。未来,随着水利工程不断发展,软土地基处理技术也需持续创新与完善。我们应不断总结经验,提升技术水平,以更好地应对各种复杂情况,为水利工程建设筑牢坚实基础,保障水利事业的长远发展。

参考文献

- [1] 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(3):49-50.
- [2] 范海营.水利工程施工软土地基处理技术研究[J].收藏,2022(8):85-87.
- [3] 许要英.水利工程施工软土地基处理技术探究[J].新丝路(下旬),2021(8):256-256.
- [4] 王红东.水利工程施工中软土地基处理技术应用分析[J].地下水,2025,47(05):266-267+289.
- [5] 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.