

# 水利工程施工中软土地基处理技术

马晓燕<sup>1</sup> 姚 琨<sup>2</sup>

1. 郑州黄河工程有限公司 河南 郑州 450000

2. 郑州黄河河务局荥阳黄河河务局 河南 荥阳 450100

**摘要:** 软土地基具有高含水量、高压缩性、低抗剪强度等特性,严重影响水利工程施工与运行安全。置换法、排水固结法等多种处理技术各有优势与适用场景,施工中需严格把控质量控制要点,并采用现场监督、先进检测等方法保障施工质量。未来,新技术研发应用、多学科交叉融合将推动软土地基处理技术发展,为水利工程建设提供更坚实的技术支撑。

**关键词:** 水利工程;软土地基;处理技术

## 1 软土地基特性及对水利工程的影响

### 1.1 软土地基的定义

软土地基是指在工程建设中,由淤泥、淤泥质土、泥炭土等软土构成的地基。这类地基在自然状态下,具有高含水量、大孔隙比的显著特征。淤泥和淤泥质土通常形成于静水或缓慢流水的环境,如湖泊、沼泽、河流入海口等地,其黏粒含量较高,且含有有机质;泥炭土则是在长期积水和缺氧条件下,由植物残体分解不充分堆积而成。从工程角度定义,当地基土的天然含水量大于液限、天然孔隙比大于1.0(对于淤泥质土)或大于1.5(对于淤泥)时,即可判定为软土地基。这种地基在承受建筑物荷载时,易产生较大的变形和沉降,对水利工程等基础设施的建设与稳定运行构成挑战。

### 1.2 软土地基的物理力学特性

软土地基具有独特的物理力学特性。在物理性质方面,其含水量极高,一般在30%-80%之间,部分淤泥质土甚至超过100%,高含水量使得土体处于流塑或软塑状态。同时孔隙比大,通常在1.0-2.0之间,导致土体密度小、压缩性高。在力学性质上,软土地基的抗剪强度极低,内摩擦角一般小于 $10^\circ$ ,黏聚力也较小,使得土体在受力时极易发生剪切破坏<sup>[1]</sup>。其压缩性强,压缩模量通常在1-5MPa之间,在外部荷载作用下会产生较大的沉降变形,且沉降持续时间长,可能历经数年甚至数十年才能稳定。此外,软土地基的渗透性差,渗透系数一般在 $10^{-7}$ - $10^{-9}$ cm/s之间,孔隙中的水分难以排出,进一步影响地基的固结和强度增长。

### 1.3 软土地基对水利工程施工及运行的影响

在水利工程施工阶段,软土地基给施工带来诸多难题。由于土体强度低,施工机械难以直接在地基上作业,容易发生陷机现象,增加施工难度和成本。在基础

开挖过程中,软土的流变性和触变性会导致边坡失稳、基坑坍塌,威胁施工安全和进度。在运行阶段,软土地基的高压缩性会使水利建筑物产生过大的沉降和不均匀沉降,如堤坝出现裂缝、涵闸倾斜等,影响建筑物的正常使用功能和结构安全。同时,地基的抗剪强度不足,可能引发堤坝的整体滑动破坏,造成溃坝等严重灾害。软土地基的渗透性差,不利于孔隙水压力的消散,在水位变化等外部荷载作用下,易产生超静孔隙水压力,进一步降低地基的稳定性。

## 2 水利工程软土地基处理技术分类

### 2.1 置换法

置换法是一种较为直接且基础的软土地基处理技术,其核心思路是通过“以强换弱”,改善地基承载性能。具体操作时,工程人员会先将软土地基中软弱土层精准挖除,随后换填砂石、灰土、素土等强度高、压缩性低的材料。依据换填材料与施工工艺的差异,置换法可细分为换填垫层法和强夯置换法。换填垫层法施工时,需严格控制软弱土层开挖深度,再分层回填换填材料,通过分层压实形成垫层,利用垫层应力扩散原理,削减地基附加应力,提升地基承载力。强夯置换法则借助强夯设备的强大冲击力,将块石、碎石等粗颗粒材料夯入软土地基,形成复合地基,增强地基承载与抗变形能力。该方法适用于软土层较浅场景,施工工艺相对易懂,但工程量大,且挖出的软弱土若处理不当易造成环境污染。例如在某小型水利堤坝建设中,采用置换法处理浅层软土地基,有效保障了堤坝基础稳定性。

### 2.2 排水固结法

排水固结法针对软土地基孔隙水难以排出、固结缓慢的难题,通过设置排水体加速土体排水固结。施工时,会在软土地基中埋设砂井、塑料排水板等排水体,

为孔隙水排出搭建通道,同时配合加载预压。预压方式分为堆载预压和真空预压,堆载预压是在地基表面堆填填土、砂袋等重物,增加土体有效应力,促使孔隙水排出;真空预压则通过抽真空在地基中形成负压,引导孔隙水向排水体流动。此方法适用于处理厚度较大的软土地基,能显著减少地基后期沉降<sup>[2]</sup>。在某大型水库大坝建设中,运用排水固结法处理深厚软土地基,经过长达两年的预压处理,地基沉降基本稳定,有效保障了大坝运行安全。不过,排水固结法处理周期长,需数月至数年时间,且在预压过程中要持续监测地基变形,及时调整预压荷载与排水参数。

### 2.3 加筋法

加筋法通过在软土地基中加入筋材,构建筋材-土体协同工作体系,提升地基整体性能。常用筋材包括土工格栅、土工织物、金属材料等,这些筋材与土体相互作用,约束土体侧向变形,增强土体整体性与抗剪强度,同时分担部分荷载,减小地基沉降。加筋法常见应用形式有加筋土挡墙和加筋垫层。加筋土挡墙利用筋材与填土间摩擦力,将填土和筋材组成整体结构,提高挡墙稳定性;加筋垫层则在换填垫层中铺设筋材,增强垫层承载能力。该方法施工简便,对周边环境影响小,适用范围广。在河道护岸工程中,采用加筋土挡墙处理软土地基,既保证护岸结构稳定,又减少土方开挖量,降低施工成本,同时施工过程中对河道生态环境影响轻微。

### 2.4 夯实法

夯实法借助夯击设备对软土地基施加冲击力,促使土体密实,从而提升地基强度与承载力。依据夯击能量大小,可分为重锤夯实法和强夯法。重锤夯实法使用1-3t的夯锤,落距2-4m,适用于浅层软土地基和湿陷性黄土地基处理,通过夯击在土体表面形成密实层,提高表层强度。强夯法采用8-40t的夯锤,落距可达6-25m,能有效处理深层软土地基,强大的夯击力使土体产生剧烈振动与挤压,破坏土体结构,排出孔隙水,实现土体密实。在某沿海水利工程中,运用强夯法处理深厚软土地基,处理后地基承载力大幅提升,满足了工程建设要求。但强夯法施工过程中产生的振动和噪声较大,可能对周边建筑物和居民生活造成影响,因此需提前采取隔振、降噪措施,并严格控制施工时间与夯击参数。

### 2.5 桩基法

桩基法作为一种可靠的软土地基处理方式,通过在地基中设置桩基础,将上部结构荷载传递至深层坚硬土层或岩层。根据施工方法,桩基础分为预制桩和灌注桩。预制桩在工厂或施工现场预先制作,再通过锤击、

静压等方式沉入地基;灌注桩则先在地基成孔,后在孔内浇筑混凝土成桩。桩基承载能力强、稳定性高,适用于对地基沉降要求严苛的水利工程,如大型水闸、泵站等。在某大型排涝泵站建设中,采用桩基法处理软土地基,有效保证了泵站在运行过程中的稳定性,避免了因地基沉降导致的设备损坏。然而桩基法施工技术要求高,施工过程需严格控制成孔质量、桩身混凝土强度和桩体垂直度等参数,且成本相对较高,同时灌注桩施工可能产生泥浆污染,需做好泥浆处理工作,以保护环境。

### 2.6 灌浆法

灌浆法是利用钻孔将浆液注入软土地基,通过物理化学反应改善地基性能的技术。根据灌浆材料不同,可分为水泥灌浆和化学灌浆。水泥灌浆是常用方法,依靠水泥浆液胶凝作用,填充土体孔隙,胶结土体颗粒,提升地基强度与防渗性能。化学灌浆采用环氧树脂、聚氨酯等化学浆液,具有良好渗透性与固结性能,适用于特殊地质条件下的软土地基处理。在某水利堤坝防渗加固工程中,运用灌浆法处理渗漏的软土地基,通过注入水泥-水玻璃双液浆,有效封堵了渗漏通道,提高了堤坝防渗能力。但灌浆法施工效果受地质条件和施工工艺影响大,需精确控制灌浆压力、灌浆量和灌浆时间等参数。施工前要进行现场试验,确定合理灌浆参数,施工过程中要实时监测灌浆情况,确保灌浆效果满足工程要求。

## 3 水利工程施工中软土地基处理施工质量控制

### 3.1 施工质量控制要点

在水利工程软土地基处理施工中,质量控制要点如同精密仪器的关键零件,贯穿于施工全过程,任何环节的疏忽都可能引发工程质量隐患。施工前期,详细勘察地基土的物理力学性质是重中之重,需采用钻探、原位测试等多种手段,获取地基土的含水量、孔隙比、抗剪强度等参数,为设计方案提供精准数据支撑,确保设计方案与实际地质条件高度契合。同时对换填材料、筋材、水泥等施工材料进行严格检验,从原材料的采购源头把控质量,通过抽样检测其强度、级配等指标,保证材料符合设计要求。施工过程中,针对不同处理技术需落实差异化控制要点<sup>[3]</sup>。置换法要精确控制换填材料的级配,确保其均匀性,同时严格把控压实度和换填厚度,通过环刀法、灌砂法等检测手段保证压实效果;排水固结法需保证排水体的埋设深度、间距精准无误,确保排水体畅通性,并严格控制预压荷载的大小和加载速率,防止地基失稳;加筋法要确保筋材的铺设位置准确,搭接长度符合规范,锚固质量可靠;夯实法需精准控制夯击次数、夯击能量和夯点间距,避免出现夯击不足或过

度夯击；桩基法要保证桩的成孔质量，控制孔深、孔径和垂直度，严格把控桩身混凝土强度；灌浆法需准确控制灌浆压力、灌浆量和灌浆时间，防止出现漏灌、过灌现象。施工完成后，对地基处理效果进行全面检测，通过地基承载力检测、沉降观测等手段，监测地基的实际性能指标，确保处理后的地基满足设计要求，为水利工程的安全稳定运行筑牢根基。

### 3.2 施工质量控制方法

为确保软土地基处理施工质量达到高标准，需综合运用多种科学有效的质量控制方法，构建全方位、多层次的质量保障体系。在施工过程管理层面，强化现场监督是关键，组建专业的监督团队，严格按照施工规范和设计要求，对每道工序进行实时监督，建立严格的质量检验制度，实行“三检制”，即班组自检、施工队复检、项目部终检，只有每道工序检验合格后，方可进入下一道工序施工。借助先进的检测技术，如静力触探、动力触探、载荷试验等，能够对地基处理效果进行实时、精准检测和评估。一旦检测发现问题，及时组织专家团队分析原因，制定科学合理的整改措施，确保问题得到妥善解决。建立详细完善的施工质量档案同样不可或缺，记录施工过程中的各项数据，包括材料检验报告、施工日志、检测数据等质量检验结果，形成完整的质量追溯链条，便于后续对工程质量进行分析和总结。加强施工人员的培训和教育，定期组织专业技能培训和质量意识教育活动，提升施工人员的操作技能和责任意识，使其深刻认识到施工质量的重要性，确保施工工艺严格符合规范要求，从人员层面为施工质量提供坚实保障。

## 4 水利工程软土地基处理技术发展趋势与展望

### 4.1 新技术的研发与应用

随着科技的不断进步，水利工程软土地基处理技术不断涌现新成果。例如，纳米材料在地基处理中的应用逐渐受到关注，纳米材料具有独特的物理化学性质，将其添加到灌浆材料或地基加固材料中，能够显著提高材料的性能，增强地基的加固效果。微生物诱导碳酸钙沉淀技术（MICP）也在软土地基处理领域展现出潜力，该技术利用微生物的代谢活动，在土体中生成碳酸钙沉淀，胶结土体颗粒，提高土体强度和防渗性能。智能监测技术在软土地基处理中的应用越来越广泛，通过传感器实时监测地基的变形、应力等参数，实现对地基处理

效果的智能化评估和预警。

### 4.2 多学科交叉融合

未来软土地基处理技术将呈现多学科交叉融合的发展趋势。地质学、岩土力学、材料科学、计算机科学等多学科的知识将相互渗透，为软土地基处理技术的创新提供理论支持<sup>[4]</sup>。例如，利用计算机模拟技术，结合地质勘察数据和岩土力学理论，能够更准确地预测地基的变形和稳定性，优化地基处理方案。材料科学的发展将为地基处理提供新型材料，如高强度、高耐久性的复合材料，提高地基处理的效果和耐久性。同时多学科交叉融合还将促进施工工艺的创新，实现软土地基处理的自动化和智能化施工。

### 4.3 对未来水利工程建设意义

软土地基处理技术的发展对未来水利工程建设具有重要意义。新技术的应用和多学科交叉融合将提高软土地基处理的效果和效率，降低工程成本，减少对环境的影响。更准确的地基处理方案设计和施工质量控制，能够有效保障水利工程的安全稳定运行，延长工程使用寿命。同时先进的软土地基处理技术将为水利工程在复杂地质条件下的建设提供技术支持，拓展水利工程建设范围，促进水利事业的可持续发展，为水资源的合理开发和利用提供坚实的基础保障。

### 结束语

水利工程软土地基处理技术关乎工程建设质量与运行安全。从剖析软土地基特性，到阐述各类处理技术、质量控制措施，再到展望未来发展趋势，系统展现了该领域的重要内容。随着技术创新与学科融合，软土地基处理技术将不断突破，为水利工程在复杂地质条件下的建设开辟更广阔空间，有力推动水利事业迈向高质量发展新阶段。

### 参考文献

- [1]高洪堂.水利施工中的软土地基处理技术[J].中国新技术新产品,2020,(17):254-255.
- [2]卢斐,贾海.浅谈水利软土地基的处理及路基防护方法[J].砖瓦世界,2021,(3):251-252.
- [3]李焯.水利工程施工中软土地基处理技术[J].石河子科技,2023(03):35-36.
- [4]尹晓元.水利工程施工中软土地基处理技术[J].建筑与预算,2021(06):80-82.