

水利工程中软体地基的处理技术探究

徐明刚

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

摘要：水利工程中软土地基处理技术的研究对工程稳定性与安全性具有关键意义。本文聚焦软土地基的特性及其对水利工程的影响，系统分析排水固结法、换填法、强夯法、桩基法、旋喷法及土工合成材料加筋加固法等处理技术的原理与应用场景。研究指出，软土地基因高含水量、高压缩性、低强度等特性，易导致水利工程出现沉降、位移等问题。同时，结合行业发展趋势，提出软土地基处理技术正朝着绿色环保、智能化及新材料应用的方向演进，为水利工程软土地基处理提供理论与实践参考。

关键词：水利工程；软体地基；处理技术

引言：水利工程作为基础设施建设的重要组成部分，其地基稳定性直接影响工程寿命与安全。软土地基广泛分布于河流、湖泊及沿海地区，具有天然含水量高、孔隙比大、抗剪强度低、压缩性强等特点，在水利工程荷载作用下易发生不均匀沉降、边坡失稳等问题，严重威胁堤坝、水闸等构筑物的安全运行。随着水利工程建设向复杂地质条件区域拓展，软土地基处理技术的优化与创新成为工程界关注的焦点。本文通过剖析软土地基的特性及工程影响，梳理现有处理技术的应用现状，探讨其未来发展趋势，为提升水利工程软土地基处理效率与质量提供思路。

1 软土地基的特性及其对水利工程的影响

1.1 软土地基的特性

软土地基是指由淤泥、淤泥质土、泥炭质土等细粒黏性土组成的地基，具有显著的工程特性。其天然含水量高，通常超过液限（30%~50%），孔隙比大（一般大于1.0，甚至可达2.0以上），土体结构疏松且呈蜂窝状或絮状排列，导致压缩性极强，压缩模量多小于4MPa。这类地基的抗剪强度极低，尤其是原状土的不排水抗剪强度常低于20kPa，且随含水量增加呈非线性降低。此外，软土地基透水性差，渗透系数多在 10^{-7} ~ 10^{-5} cm/s之间，水分不易排出，在荷载作用下孔隙水压力消散缓慢。其流变性显著，受荷载后易产生蠕变变形，长期强度衰减明显，且具有触变性，受扰动后强度骤降，静置后可部分恢复。

1.2 软土地基对水利工程的影响

软土地基的特殊性质对水利工程的安全性及稳定性构成多重威胁。首先，高压缩性和低透水性导致地基沉降量大且持续时间长，尤其是不均匀沉降易使堤坝、水闸等构筑物产生裂缝，甚至引发结构性破坏。例如，

堤坝填筑过程中，软土地基的瞬时沉降与次固结沉降叠加，可能导致坝体位移超出安全阈值。其次，低抗剪强度会降低地基承载力，引发边坡失稳事故，如河道护岸或水库大坝在自重与水荷载作用下，可能沿软土层滑动形成滑坡。再者，透水性差使地基排水不畅，在渗透作用下易产生孔隙水压力积聚，增加堤坝渗透破坏风险。此外，流变性导致地基长期变形，使水工结构物的设计应力状态发生改变，影响其长期安全运行^[1]。

2 水利工程中软体地基处理技术

2.1 排水固结法

排水固结法是一种通过在软土地基中构建排水通道并施加预压荷载，加速孔隙水排出、实现土体固结和强度提升的地基处理技术。该技术的核心原理在于缩短土体排水路径，加快孔隙水压力消散，促使土体颗粒重新排列密实。在实际应用中，竖向排水体常选用砂井或塑料排水板，它们被垂直插入软土层，配合水平方向铺设的砂垫层，共同构成完整的排水系统。预压荷载的施加方式主要有三种：堆载预压是通过逐层填筑砂石、土方等材料来增加土体压力；真空预压则利用密封膜覆盖地基表面，借助真空泵抽气形成负压，降低孔隙水压力；联合预压结合了堆载与真空预压的优势，能显著提高地基加固效果。排水固结法特别适用于处理厚度大、透水性差的淤泥质土、冲填土等软土地基，在水库堤坝、河道堤防等大面积水利工程建设中应用广泛。这种方法的优点在于能大幅减少地基的后期沉降量，显著提升地基承载力，且施工工艺成熟，成本相对可控。然而，其缺点也较为明显，处理周期较长，堆载预压需要大量的填筑材料，真空预压对密封系统要求极高，一旦出现漏气，将严重影响加固效果。此外，在处理深厚软土层时，还需精确设计排水体间距和预压时间，确保孔隙水

充分排出,防止因固结不充分引发地基失稳。

2.2 换填法

换填法是将地基浅层的软弱土或不良土层挖除,替换为强度高、压缩性低的材料(如砂石、灰土、素土等),并分层压实,从而形成复合地基的处理技术。根据换填材料的不同,可分为砂石垫层法、灰土垫层法等。砂石垫层法通常采用级配良好的碎石、砾石或中粗砂作为换填材料,利用其高透水性和高强度的特点,加速地基排水,有效扩散上部结构传来的荷载;灰土垫层法则是通过石灰与土之间发生的物理化学反应,改善土体的力学性能,显著提高地基的承载力。该方法适用于软土层较薄(一般不超过3米)、处理面积较小的水利工程场景,如水闸底板下的局部软土处理、小型渠道的基础加固等。在某小型水闸建设中,采用砂石垫层法对地基进行处理,有效解决了地基承载力不足的问题。换填法的优点在于施工操作简单,无需使用复杂的施工设备,对周边环境的影响较小。但它也存在明显的局限性,换填深度有限,当软土层较厚时,经济性较差;而且换填材料的大量开挖和运输,可能会引发一系列环境问题。此外,换填材料的压实质量直接关系到处理效果,施工过程中必须严格控制材料的含水量、摊铺厚度以及压实遍数,确保垫层的均匀性和密实度,否则可能因压实不足导致地基沉降过大,影响工程安全。

2.3 强夯法

强夯法是利用重锤(通常重量在8-40吨之间)从高处自由落下产生的巨大冲击能,对地基土进行强力夯实,促使土体颗粒重新排列、孔隙压缩,进而提高地基强度、降低压缩性的地基处理技术。在夯击过程中,重锤产生的冲击波和动应力会破坏土体原有的结构,加速孔隙水压力的消散,促进土体固结。施工时,需要根据地基土的性质、处理深度等因素,精确确定夯击能、夯击次数以及夯点间距,一般采用分遍夯击的方式,逐步加密夯点,以达到最佳的加固效果。强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土等多种类型的地基,对于软土地基,通常需要结合排水措施(如设置砂井)使用。在某水库大坝地基处理工程中,采用强夯法结合砂井排水,有效提高了地基的承载力和稳定性。该方法的显著优点是加固效果明显,能够大幅提高地基承载力,有效减少地基沉降量。然而,强夯施工过程中会产生较大的振动和噪声,对周边建筑物和环境会造成一定影响,因此需要采取相应的隔振、降噪措施。此外,强夯法在处理软土地基时存在一定局限性,若夯击能量过大,可能导致土体发生侧向挤出或隆起,反而影响地

基的稳定性,所以施工过程中必须严格控制夯击参数^[2]。

2.4 桩基法

桩基法是通过将桩体打入或压入软土地基中,将上部结构的荷载传递至深层坚硬土层或岩层的地基处理技术。根据施工方法的不同,可分为预制桩(如混凝土预制桩、钢桩)和灌注桩(如钻孔灌注桩、沉管灌注桩)。预制桩一般通过锤击、静压等方式沉入地基,具有施工速度快、桩身质量易于控制的优点;灌注桩则是先成孔,然后下放钢筋笼,再灌注混凝土形成桩体,其优势在于能够根据具体地质条件灵活调整桩长和直径,适应性较强。在水利工程中,桩基法常用于水闸、泵站等对地基承载力和稳定性要求较高的建筑物基础处理。桩基法的优势在于能够有效控制地基沉降,承受较大的竖向和水平荷载,尤其适用于深厚软土层或存在液化土层的地基。但该方法也存在一些缺点,施工成本相对较高,预制桩施工过程中可能产生挤土效应,对周边土体和建筑物造成不利影响;灌注桩施工时则容易出现塌孔、缩颈等质量问题。此外,桩基设计需要准确掌握详细的地质资料,合理选择桩型、桩径和桩长,并确保桩体与上部结构的可靠连接,否则可能因桩基承载力不足导致建筑物倾斜或破坏。

2.5 旋喷法

旋喷法是利用高压喷射设备,将水泥浆或其他固化剂通过钻杆端头的喷嘴以高速喷射至软土地基中,同时钻杆边旋转边提升,使浆液与土体充分搅拌混合,经过凝结硬化后形成圆柱状或板墙状的加固体,从而提高地基强度和防渗性能的处理技术。根据喷射方式的不同,可分为单管法、二重管法和三重管法。其中,三重管法分别喷射高压水、压缩空气和水泥浆,能够形成较大直径的加固体,加固效果最佳。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土等软土地基,在水利工程中广泛应用于水闸防渗墙、堤坝地基加固以及建筑物地基纠偏等工程。旋喷法的优点在于施工设备较为灵活,能够在狭小空间内作业,对周边环境影响较小,而且加固后的土体强度较高,防渗性能良好。但该方法也存在不足之处,施工成本较高,水泥用量较大,喷射过程中容易产生冒浆现象,不仅造成材料浪费,还可能对环境产生污染。此外,旋喷桩的质量受土层性质、喷射压力、提升速度等多种因素影响较大,施工过程中必须严格控制各项工艺参数,确保加固体的均匀性和完整性,以达到预期的加固效果。

2.6 土工合成材料加筋加固法

土工合成材料加筋加固法是将土工格栅、土工织物

等具有高强度和高韧性的合成材料铺设于软土地基中，通过材料与土体之间的相互作用，限制土体的侧向位移，增强土体的整体性和抗剪强度的处理技术。其中，土工格栅凭借其独特的网格结构，与土体形成嵌锁作用，能够有效分散荷载，提高地基承载力；土工织物则具有隔离、排水、加筋等多种功能，可以改善地基的排水条件，减少地基沉降。在水利工程中，该方法常用于堤坝填筑、河道护坡以及软土地基浅层加固等工程。土工合成材料加筋加固法的优点十分突出，施工操作便捷，能够减少土方开挖和换填量，从而降低工程造价，同时对环境较为友好。然而，该方法也存在一定的局限性，土工合成材料的耐久性容易受到紫外线照射、化学腐蚀等因素的影响，因此需要选择抗老化性能良好的材料。此外，加筋材料的铺设位置、层数以及连接方式需要根据工程实际需求和地基条件进行合理设计，确保加筋效果得到充分发挥，避免因材料强度不足或连接失效导致地基失稳，影响工程的安全性和耐久性。

3 软土地基处理技术的发展趋势

3.1 绿色环保

软土地基处理技术正朝着绿色环保方向转型，以降低对生态环境的影响。一方面，减少高耗能、高污染材料的使用，推广可循环材料与低碳工艺。例如，利用工业废料（如粉煤灰、矿渣）替代部分水泥用于旋喷法加固，既能降低碳排放，又实现废弃物资源化。另一方面，优化施工工艺，减少噪音、振动及泥浆污染。如真空预压法替代强夯法，可避免强夯产生的噪音与振动；新型环保泥浆处理设备的应用，能高效分离旋喷法施工产生的废弃泥浆，降低水体污染风险。

3.2 智能化

智能化成为软土地基处理技术发展的重要趋势。通过物联网、大数据与人工智能技术，实现施工过程的实时监测与精准控制。例如，在排水固结法中，借助传感器实时采集孔隙水压力、沉降数据，结合算法模型预测

地基固结进程，动态调整预压时间与荷载，提高处理效率与质量。同时，智能化机械设备的应用逐步普及，如智能强夯机可自动调节夯击能量与次数，避免因人为操作误差导致的地基处理不足或过度问题^[3]。

3.3 新材料应用

新材料的研发与应用为软土地基处理注入新活力。高性能土工合成材料不断升级，新型纳米改性土工格栅具有更高强度与抗老化性能，可显著提升加筋效果；生物降解型土工织物在完成地基加固后能自然分解，减少长期环境影响。此外，新型固化剂与注浆材料不断涌现，微生物诱导碳酸钙沉淀（MICP）技术利用微生物代谢生成碳酸钙，实现土体原位固化，具有低能耗、环境友好的特点；纳米复合注浆材料则可渗透至微小孔隙，增强土体强度与防渗性。

结束语

软土地基处理技术在水利工程中至关重要，其发展关乎工程安全与行业进步。从传统排水固结、换填等方法，到如今绿色环保、智能化与新材料的创新应用，技术不断迭代升级。未来，随着环保要求提升、数字技术深化及材料科学突破，软土地基处理将更高效、智能且可持续。这些技术的革新与完善，不仅能保障水利工程质量与安全，也为复杂地质条件下的基础设施建设提供坚实支撑，助力水利事业迈向更高水平。

参考文献

- [1]杜建伟,王连超.水利工程建设中不良地基基础处理方法研究[J].建筑技术开发,2022,46(15):146-147.
- [2]杨棚程.路桥工程施工中的软土地基处理技术[J].住宅与房地产,2020(4):246.
- [3]张彩哲.水利工程施工中软土地基处理技术研究[J].绿色环保建材,2022(5):179.
- [4]李忠民.建筑工程施工中不良地基土的改造技术[J].工程技术研究,2020,5(16):50-51.