

水利工程施工中软土地基处理技术

王 亨 郭 维 李坤燕

乌兰察布市集宁区农牧水利事业发展中心 内蒙古 乌兰察布 012000

摘 要：水利工程施工中，软土地基因含水量高、压缩性大、强度低等特性，易引发沉降、滑坡等危害，严重影响工程安全与稳定。为应对这些挑战，本文系统梳理了换填法、强夯法、排水固结法、水泥搅拌桩法、高压喷射注浆法、土工合成材料加固法、石灰桩法、预压法、等常用软土地基处理技术，并分析了其适用条件与施工要点。同时，探讨了软土地基处理技术的智能化监测、绿色材料应用及复合地基协同加固等发展趋势，旨在为水利工程建设提供科学、高效、环保的地基处理方案，保障工程安全与可持续发展。

关键词：水利工程；软土地基；处理技术；发展趋势

引言：水利工程建设中，地基的稳定性与承载力是决定工程安全与运行效果的关键因素。然而，软土地基因具有高含水量、低强度、高压缩性及触变性等特性，在水利工程中易引发沉降、不均匀沉降、滑坡等地质灾害，严重威胁工程结构安全与使用寿命。因此，科学合理地选择与实施软土地基处理技术，成为水利工程建设中的重要环节。随着科技的不断进步，软土地基处理技术日益多样化与精细化，不仅涵盖了传统的物理加固方法，还融入了新材料、新技术与智能化监测手段。本文旨在系统介绍水利工程施工中常见的软土地基处理技术，并展望其未来发展趋势，以期为水利工程建设提供有益参考。

1 水利工程施工中软土地基的特性与危害

1.1 水利工程施工中软土地基的特性

软土地基在水利工程中具有显著且独特的工程特性。从物理性质上看，软土含水量极高，往往远超液限，天然孔隙比大，呈现出疏松多孔的结构状态，这使得其密度较低。其土粒间的联结力微弱，抗剪强度极低，在较小外力作用下就可能发生剪切破坏。在力学特性方面，软土具有高压缩性，在荷载作用下会产生较大的沉降变形，且沉降过程往往持续时间长，难以在短期内稳定。同时，软土的渗透性差，水分排出缓慢，导致固结过程漫长。此外，软土还具有触变性和流变性，触变性指软土在受到扰动后强度急剧降低，静置一段时间后强度又有所恢复的特性；流变性则表现为在长期荷载作用下，软土的变形会随时间不断增长，这些特性都给水利工程施工和后期运行带来了极大挑战^[1]。

1.2 软土地基的危害

软土地基对水利工程的危害是多方面且严重的。在施工阶段，由于软土强度低，难以承受施工机械设备的

荷载，易导致机械设备下陷，影响施工进度和安全。同时，软土的高压缩性会使基础产生过大沉降，造成建筑物倾斜、开裂，甚至倒塌，严重影响工程质量。在工程运行期间，软土地基的不均匀沉降会破坏水利设施的结构完整性，如堤坝可能出现裂缝、渗漏，影响防洪安全；水闸、泵站等建筑物的基础沉降不均会导致结构受力失衡，降低其使用功能和耐久性。此外，软土的触变性和流变性可能引发长期缓慢的变形，进一步加剧工程结构的破坏，增加维修和加固成本，给水利工程的长期安全运行带来潜在威胁。

2 水利工程施工中软土地基处理技术

2.1 换填法

换填法是水利工程施工中处理软土地基常用且有效的方法之一。其基本原理是将软土层部分或全部挖除，然后换填强度较高、压缩性较低且性能稳定的材料，如砂石、碎石、灰土等，经分层夯实后形成新的地基持力层。该方法适用于浅层软土地基处理，能有效提高地基承载力，减少地基沉降。施工时，先准确确定换填范围和深度，将软土彻底清除至设计标高。接着选择合适的换填材料，严格控制材料质量，确保其符合工程要求。分层填筑时，每层厚度需根据压实设备和土质条件合理确定，一般不超过300mm，并采用合适的压实机械进行充分压实，保证压实度达到设计标准。换填法施工工艺相对简单，工期较短，但需注意换填材料的运输和堆放，避免对周边环境造成污染，同时要做好边坡防护，防止换填区域边坡失稳。

2.2 强夯法

强夯法是水利工程施工中处理软土地基的一种强力夯实技术。它通过重锤从高处自由落下，对地基土施加巨大的冲击能量，使土体产生强烈的振动和挤压，从

而降低土的孔隙比,提高其密实度,增强地基的承载能力,减少沉降变形。强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土等地基。施工前,需进行现场试夯,确定合适的夯击能、夯击次数、夯击间距等参数。施工时,将重锤提升至预定高度后自由落下,按照设计要求的夯击顺序和次数进行夯击。强夯过程中,土体中的水分和空气会被迅速排出,土颗粒重新排列,形成较为密实的结构。该方法具有施工设备简单、施工速度快、加固效果显著等优点,能有效改善软土地基的工程性质。不过,强夯时会产生较大的振动和噪声,施工前需对周边环境进行评估,采取相应的防护措施,避免对周围建筑物和人员造成影响^[2]。

2.3 排水固结法

排水固结法是水利工程施工中针对软土地基的一种有效处理方法。其核心原理是在地基中设置排水通道,如排水砂井、塑料排水板等,然后通过加载预压,使地基土中的孔隙水逐渐排出,土体发生固结变形,强度随之提高。该方法适用于处理饱和软黏土地基。施工时,先按设计要求布置排水系统,确保排水通道畅通且分布合理。接着施加预压荷载,预压荷载的大小和加载方式需根据工程实际情况确定,可采用堆载预压、真空预压或真空-堆载联合预压等方式。在预压过程中,密切监测地基的沉降、孔隙水压力等变化情况。随着孔隙水压力的消散,土体有效应力增加,地基逐渐固结稳定。排水固结法能有效减小地基的工后沉降,提高地基承载力,但施工周期相对较长,需合理安排施工进度,同时要注意预压荷载的均匀施加,避免地基出现不均匀沉降,影响工程质量。

2.4 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法是水利工程施工中处理软土地基的常用技术,它借助水泥作为固化剂,利用深层搅拌机械,将水泥与软土进行强制搅拌,使软土与水泥充分混合。水泥与软土中的水分发生水化、水解反应,生成一系列水化物,这些水化物与软土颗粒相互胶结,形成具有一定强度和整体性的水泥加固土桩体,众多桩体相互搭接,构成复合地基。该方法适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土等地基。施工时,先进行场地平整,确定桩位,然后启动搅拌机械,使钻头边旋转边下沉至设计深度,同时通过喷浆管向土体中喷射水泥浆。到达设计深度后,再提升钻头并继续搅拌,确保水泥与土体充分混合。水泥搅拌桩法能有效提高地基承载力,减少沉降,且施工时振动小、噪声低,对周围环境影响较小,但需严格控制水泥掺量、搅

拌深度和提升速度等参数,以保证加固质量。

2.5 高压喷射注浆法

高压喷射注浆法是水利工程施工中用于软土地基加固的先进技术。它借助高压喷射流(一般为水泥浆液或化学浆液),以高速冲击切割土体,使浆液与土颗粒强制搅拌混合。在高压喷射流的强大动力作用下,土体结构被破坏,浆液填充其中,经过凝固后形成具有一定强度的固结体,如旋喷桩、定喷墙或摆喷板等,这些固结体可有效增强地基承载力,减少地基沉降。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、人工填土等地基。施工时,先按设计要求钻孔至预定深度,然后将注浆管插入孔底,以高压喷射浆液,同时旋转或提升注浆管,使浆液与土体充分混合。高压喷射注浆法具有施工设备简单、适用范围广、加固效果好等优点,能形成连续的防渗帷幕,但施工过程中需严格控制喷射压力、提升速度等参数,确保成桩质量,同时要注意浆液对周边环境的影响。

2.6 土工合成材料加固法

土工合成材料加固法是水利工程施工中处理软土地基的常用且有效手段。该方法利用土工合成材料,如土工格栅、土工布、土工膜等,将其铺设于软土地基中或表面,通过其独特的物理和力学性能,改善地基的工程特性。土工格栅具有较高的抗拉强度,铺设在软土中能与土体产生嵌锁作用,有效约束土体的侧向变形,提高地基的整体稳定性;土工布可起到过滤、排水和反滤的作用,防止土颗粒流失,同时让水分顺利排出,加速地基固结;土工膜则主要用于防渗,阻止水分渗透,保护地基和周边环境。施工时,需根据工程需求选择合适的土工合成材料,并确保其铺设平整、搭接合理、固定牢固。土工合成材料加固法施工简便、工期短、成本较低,且对环境影响小,能显著提高软土地基的承载能力,减少沉降和不均匀沉降,保障水利工程的长期稳定运行。

2.7 石灰桩法

石灰桩法是水利工程施工中处理软土地基的一种有效方法。它是利用生石灰与软土发生一系列物理化学反应来加固地基。施工时,先通过机械成孔,将生石灰按一定比例与掺合料(如粉煤灰、火山灰等)混合后填入孔中,形成石灰桩。生石灰遇水消解产生大量热量,使周围土体温度升高,加速土中水分的蒸发,降低土的含水量。同时,消解后的石灰与土中的活性二氧化硅、氧化铝等发生化学反应,生成胶凝物质,将土颗粒胶结在一起,形成具有一定强度的桩体。石灰桩与周围软土共

同构成复合地基，能有效提高地基承载力，减少地基沉降。该方法适用于处理软黏土、淤泥质土等软土地基，具有施工设备简单、造价较低的优点。但施工过程中要注意控制石灰的质量和掺量，以及成孔的垂直度和间距，确保石灰桩的加固效果，保障水利工程的稳定与安全。

2.8 预压法

预压法是水利工程施工中处理软土地基的常用技术，其核心原理是在地基上施加荷载，促使土体中的孔隙水缓慢排出，土体逐渐固结，从而提高地基承载力、减少工后沉降。预压法主要分为堆载预压和真空预压两种。堆载预压是在地基表面堆放重物，如土石方、砂袋等，施加竖向荷载；真空预压则是通过在砂垫层上铺设密封膜，用真空泵抽气形成负压，使地基土体处于负压状态而固结。该方法适用于处理饱和软黏土地基。施工时，需先进行场地平整，铺设排水砂垫层和竖向排水体（如塑料排水板），为孔隙水排出提供通道。预压过程中，要密切监测地基的沉降、孔隙水压力等变化。预压法能有效改善地基的工程性质，但施工周期较长，需合理安排工期。同时，堆载预压要注意荷载的分级施加，避免地基失稳；真空预压则要确保密封良好，保证真空度稳定，以达到理想的加固效果^[3]。

3 水利工程施工中软土地基处理技术的发展趋势

3.1 智能化监测与信息化施工

随着科技发展，智能化监测与信息化施工成为软土地基处理技术的重要趋势。智能化监测利用传感器、物联网等技术，能实时、精准获取地基的沉降、孔隙水压力、应力应变等数据，及时掌握地基状态变化。信息化施工则借助大数据、云计算等手段，对监测数据进行分析处理，为施工参数调整提供科学依据。通过智能化监测与信息化施工，可实现施工过程的动态控制，提前发现潜在问题并采取措施，提高施工质量和效率，降低安全风险，保障软土地基处理工程顺利实施。

3.2 绿色材料与环保技术

在环保理念日益深入人心的背景下，绿色材料与环保技术在软土地基处理中备受瞩目。绿色材料如生物固化剂、工业废渣等，不仅具有良好加固效果，还能减

少对自然资源的依赖，降低环境污染。环保技术则注重施工过程中的节能减排，如采用低能耗施工设备、优化施工工艺以减少扬尘和噪音。同时，对施工过程中产生的废弃物进行合理处理和回收利用。绿色材料与环保技术的应用，有助于实现水利工程施工与生态环境的和谐共生，推动行业可持续发展。

3.3 复合地基与协同加固技术

复合地基与协同加固技术是软土地基处理的发展方向。复合地基通过将多种加固方法有机结合，如振冲桩与排水板结合，充分发挥不同加固方法的优势，提高地基承载力和稳定性。协同加固技术则强调多种加固手段在时间和空间上的协同作用，使地基加固效果更均匀、更持久。例如，预压法与真空预压协同，可加速地基固结^[4]。这些技术能根据不同地质条件和工程要求，灵活组合加固方式，有效解决复杂软土地基问题，提升水利工程的安全性和耐久性。

结束语

在水利工程蓬勃发展的当下，软土地基处理技术至关重要。从传统方法的不断优化，到智能化监测、绿色材料、复合加固等新兴技术的涌现，我们见证了该领域技术的持续进步与创新。这些技术不仅有效解决了软土地基承载力低、沉降大等难题，保障了水利工程的稳定与安全，还顺应了环保、高效的时代要求。未来，随着科技的不断突破，软土地基处理技术必将朝着更加智能化、绿色化、综合化的方向迈进，为水利工程建设提供更坚实的技术支撑，推动水利事业迈向更高质量的发展阶段。

参考文献

- [1]王芝法.水利工程施工中软基基础处理技术要点探析[J].安徽建筑,2022,26(04):125-126.
- [2]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.
- [3]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.
- [4]刘祥恒.水利工程施工中软基基础解决措施[J].科技创新导报,2022,16(24):51-52.