

水利施工中软土地基处理的方法研究

安升学

塔城水利设计研究院有限公司 新疆 塔城 834700

摘要: 本文旨在探讨水利施工中软土地基处理的方法,通过分析软土地基的基本特征及其对施工的影响,提出多种有效的处理技术和策略。文章从换填加固法、排水固结法、化学固结法、物理旋喷法等多个角度详细阐述,确保水利工程质量与施工效率。通过系统性研究,为水利施工中软土地基处理提供科学依据和实用参考。

关键词: 水利施工; 软土地基; 特征; 处理方法

引言

水利工程施工中,软土地基处理是确保工程安全与稳定的重要环节。软土因其高含水量、低抗剪强度、大压缩性等特点,给施工带来诸多挑战。本文通过分析软土地基的基本特征,探讨多种处理技术的原理、应用及优缺点,为水利施工提供全面、专业的指导。

1 水利施工中软土地基的基本特征

1.1 触变性

软土地基的一个显著特征是触变性,这一特性意味着在受到外部振动或力量作用时,软土的结构容易发生破坏。软土中的颗粒间连接较为脆弱,当受到外力扰动时,颗粒间的平衡状态被打破,导致土壤结构迅速变化。这种变化通常表现为地基失稳或沉降,对水利工程的安全构成严重威胁。因此,在施工过程中,必须严格控制对软土地基的扰动,采取有效措施保护地基的稳定性,如限制施工机械的重量和移动速度,避免过度振动等。

1.2 孔隙较大

软土地基的另一重要特征是孔隙较大,这主要是由于其高含水量和颗粒间胶结作用弱所致。软土中的颗粒排列松散,颗粒间存在大量的孔隙,这些孔隙中充满了水分。由于孔隙较大,地基的压实变得困难,导致地基的承载力较低。在处理软土地基时,必须注重排水和压实工作,通过合理的排水措施降低地基中的含水量,同时采用压实方法提高地基的密实度,从而增强地基的承载力和稳定性。

1.3 压缩性较高

软土地基还具有较高的压缩性,这意味着在受到压力作用时,软土容易发生较大的变形。软土中的颗粒间连接较弱,当受到外部压力时,颗粒间的距离会缩小,导致土壤体积减小,从而产生压缩变形。这种变形不仅会影响水利工程的稳定性,还可能导致地基沉降、结构破坏等问题^[1]。因此,在处理软土地基时,必须采取加固

措施,如设置桩基、采用注浆加固等方法,提高地基的承载能力和抗变形能力,确保水利工程的安全和稳定。

2 水利施工中软土地基处理方法

2.1 换填加固法

换填加固法是一种直接且有效的软土地基处理方法,其核心思想是通过替换掉原有的软弱土层,以高强度、低压缩性、良好稳定性的材料来替代,从而显著提升地基的承载能力。此方法广泛应用于各类土木工程中,特别是在水利施工领域,对于确保工程结构的稳定性和安全性具有至关重要的作用。

2.1.1 确定换填深度和范围

在进行换填之前,首要任务是准确确定换填的深度和范围。这通常基于地质勘察报告、现场试验以及工程师的经验判断。换填深度应足够以消除或大幅减少软土层的影响,同时考虑到经济性和施工可行性。范围则需根据工程布局、荷载分布及地基条件综合确定,确保换填区域能够有效支撑上部结构。

2.1.2 软土挖除与材料准备

一旦确定了换填区域,即可开始软土的挖除工作。这一过程通常使用大型挖掘机械进行,以提高效率。挖出的软土需妥善处置,避免对环境造成污染。同时,根据设计要求,准备换填材料,如砂、碎石、矿渣、灰土等,确保材料质量符合标准,特别是粒径分布、含水率等指标。

2.1.3 分层回填与夯实

换填材料应分层回填,每层厚度一般控制在20-30厘米之间,以便于夯实作业。回填时,应注意材料的均匀分布,避免出现空洞或局部堆积现象。夯实是确保换填层密实度的关键步骤,可采用振动压路机、打夯机或人工夯实等方式进行。每层回填后均需进行夯实,直至达到设计要求的密实度。

2.1.4 垫层设置与功能解析

第一层：碎石和矿渣垫层：这一层主要作用是增加地基的透水性和初期强度，帮助排水固结，同时为后续层提供稳定的支撑基础。第二层：灰土和素土垫层：灰土（石灰与土的混合物）和素土垫层用于平衡桩体与桩间土的荷载分布，减少不均匀沉降，同时进一步提高地基的整体稳定性。第三层：砂垫层：作为换填结构的顶部层，砂垫层不仅具有良好的透水性，还能促进下层土质的进一步结固，为最终的地基面提供平整、均匀的支撑面。

2.2 排水固结法

排水固结法是一种广泛应用于水利、建筑、交通等领域中软土地基处理的有效方法。该方法通过在地基中设置排水系统，加速软土中水分的排出，从而减小土孔隙比，增加地基密实度，最终达到提高地基承载力的目的。以下是排水固结法的详细步骤及原理：

2.2.1 前期准备

首先，需要对软土地基表面进行清理，去除表层的淤泥、杂草、垃圾等杂物，降低地基的初始含水量，为后续的排水固结创造有利条件。通过地质勘探和土工试验等手段，详细了解软土地基的土质成分、含水量、渗透系数等关键参数，为排水系统的设计和施工提供依据。

2.2.2 排水系统设置

在软土地基表面铺设一层砂垫层或碎石垫层作为水平排水层。这层材料应具有良好的透水性能，以便及时排出地基中排出的水分。砂垫层的厚度和粒径应根据地基条件和设计要求确定，一般厚度在0.3~0.5米之间，粒径以中粗砂为宜。为了进一步加速排水固结过程，通常会在地基中设置竖向排水体，如砂井、塑料排水板等^[2]。竖向排水体能够缩短排水路径，增加排水效率，使地基中的水分更快地排出。砂井的直径和间距、塑料排水板的尺寸和布置方式等均需根据具体工程情况确定。

2.2.3 加压系统实施

在地基表面堆载重物（如土、砂、石料等），对地基施加预压荷载。预压荷载的大小应根据地基条件和设计要求确定，以确保地基在预压期间能够发生足够的固结变形。堆载过程中应控制加载速率，避免过快加载导致地基破坏。在软土地基表面先铺设砂垫层，再在其上覆盖不透气的密封膜。通过真空泵将膜内空气抽出，形成负压状态。负压状态能够加速地基中水分的排出，从而加快地基的固结过程。真空预压法特别适用于透水性较差的软土地基。

2.3 化学固结法

化学固结法是一种利用化学材料对软土地基进行改

良和加固的方法。该方法通过化学反应在软土地基中生成胶凝物质，从而显著提高地基的强度和稳定性。以下是化学固结法中几种常见方法：

2.3.1 灌浆法

灌浆法是利用气压、电化学等原理，将特制的化学浆液（如水泥浆、粘土浆、木质素类浆液等）注入软土地基中。浆液在注入过程中会渗透到地基的孔隙和裂缝中，经过一段时间的凝固和硬化，形成具有一定强度的固结体。这种方法能够显著改善软土地基的承载力，减少地基的沉降变形。灌浆法的具体步骤包括：（1）浆液制备：根据地基条件和设计要求，选择合适的化学材料和配比，制备出满足工程需求的浆液。（2）注浆管埋设：在软土地基中钻孔，并埋设注浆管至预定深度。（3）浆液注入：通过注浆管将浆液缓慢注入地基中，确保浆液均匀分布。（4）固化养护：待浆液完全凝固和硬化后，进行地基的固化养护工作，以提高固结体的强度和稳定性。

2.3.2 硅化加固法

硅化加固法是通过向软土地基中注入硅酸钠（ Na_2SiO_3 ）和氯化钙（ CaCl_2 ）溶液，利用两种溶液在地基中发生化学反应生成胶凝物质（如硅酸钙凝胶），从而加固软土地基的一种方法。生成的胶凝物质能够很好地胶结固化土颗粒，显著提高地基的强度和稳定性。硅化加固法的具体步骤包括：（1）溶液配制：根据地基条件和设计要求，配制合适浓度的硅酸钠和氯化钙溶液。（2）注浆管埋设：在软土地基中钻孔，并埋设带有网状孔眼的注浆管至预定深度。（3）溶液注入：通过注浆管将硅酸钠和氯化钙溶液交替注入地基中，确保两种溶液在地基中充分混合和反应。（4）电渗辅助：为了提高硅化效果，有时还可以采用电渗技术辅助注入过程，通过电场作用加速溶液的渗透和扩散。

2.3.3 深层搅拌法

深层搅拌法是利用特制的深层搅拌机械将水泥或其他固化剂与软土在地基深处就地进行强制搅拌混合，使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的优质地基^[3]。该方法通过水泥的水化反应和物理化学反应，使软土固结成具有整体性和一定强度的加固土。深层搅拌法的具体步骤包括：（1）搅拌机械就位：将深层搅拌机械移至预定位置，并进行调试和准备工作。（2）浆液制备：根据地基条件和设计要求，制备合适浓度的水泥浆或其他固化剂浆液。（3）下沉搅拌：启动搅拌机械，使搅拌头边旋转边下沉至预定深度。（4）提升搅拌与注浆：在搅拌头提升过程中，通过注浆管向地基中注入浆

液,并与软土进行强制搅拌混合。(5)重复搅拌:根据需要可进行多次下沉和提升搅拌过程,以确保浆液与软土充分混合和反应。(6)固化养护:待浆液完全凝固和硬化后,进行地基的固化养护工作,以提高加固土的强度和稳定性。

2.4 物理旋喷法

2.4.1 工作原理

物理旋喷法利用高压泵将水泥浆液(或其他混合加固物质)通过钻杆端头的特制喷头,以高速水平喷入土体。喷头在深入软土底部后,进行缓慢提升的同时高速旋转,喷射出的加固物质与软土颗粒强制搅拌混合,通过物理、化学变化形成不同形状的胶结体。这些胶结体在软土地基中固化后,形成坚固的旋喷桩,有效提高了地基的承载力和稳定性。

2.4.2 施工步骤

(1)准备阶段:确定施工区域,进行地质勘查,了解软土地基的土层分布、含水量、渗透系数等参数。准备旋喷机具、高压泵、注浆管、水泥浆液等材料及设备。(2)钻孔定位:根据设计要求,在软土地基上进行放样定桩位,安装钻机 and 高压泵,准备进行钻孔作业。

(3)钻孔注浆:启动钻机,将带有喷头的注浆管钻进至土层的预定位置。然后开启高压泵,使水泥浆液从喷头中高速喷出,同时钻杆以一定的速度向外退出,形成旋喷桩体。(4)重复旋喷:为确保旋喷桩体的质量和强度,通常需要进行多次旋喷作业。即钻杆在提升过程中多次重复旋喷搅拌,使加固物质与软土颗粒充分混合。

(5)清洗与移机:完成旋喷作业后,清洗注浆管和设备,防止堵塞。然后将机具移至下一个孔位,继续施工。

2.4.3 适用范围与优点

物理旋喷法特别适用于处理淤泥、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地层。其优点在于:一是加固效果显著:通过旋喷形成的旋喷桩体具有较高的强度和稳定性,能够显著提高地基的承载力。二是防渗性能优越:旋喷桩体具有良好的防渗性能,能够有效防止地下水渗透对地基的侵蚀。三是施工灵活:旋喷机具小巧灵活,适用于各种复杂地形和施工环境。四是环保经济:施工过程中无需大量开挖和运输土方,减少了对环境的影响和资源的浪费。

3 水利软土地基处理施工的注意事项

3.1 合理选择处理方法

软土地基的处理方法多种多样,包括排水固结法、化学固结法、物理旋喷法等。在选择处理方法时,必须

充分考虑软土地基的具体特征,如土质类型、含水量、渗透性、压缩性等,以及工程的具体要求,如承载力、稳定性、防渗性能等。通过综合分析比较,选择最适合的处理方法,确保处理效果达到最佳。

3.2 严格控制施工质量

施工质量是软土地基处理效果的关键保障。在施工过程中,必须严格控制材料质量,确保使用的加固材料、排水材料等符合设计要求和质量标准。同时,要严格按照施工工序进行施工,不得随意更改施工顺序或省略施工步骤^[4]。此外,还要加强施工过程中的质量监测和检查,及时发现并处理施工中的问题,确保施工质量达到设计要求。

3.3 注重环境保护

水利软土地基处理施工过程中,环境保护工作同样重要。施工活动往往会对周围环境造成一定影响,如噪音、粉尘、废水等污染物的排放。因此,在施工过程中,必须采取有效的措施来控制这些污染物的排放,保护施工现场的生态环境。具体来说,可以采取以下措施:一是使用低噪音、低振动的施工设备,减少施工噪音对周围居民的影响;二是加强施工现场的粉尘控制,如设置洒水设施、使用防尘网等,降低粉尘对空气质量的污染;三是合理处理施工废水,确保废水排放符合环保标准,避免对水体造成污染。

结语:软土地基处理是水利施工中的重要环节,直接关系到工程的安全与稳定。本文通过分析软土地基的基本特征,详细阐述了换填加固法、排水固结法、化学固结法、物理旋喷法等多种处理方法,并强调了施工注意事项。这些方法在实际应用中需根据具体情况灵活选择,确保水利工程的施工质量与安全。未来,随着技术的不断进步,软土地基处理技术将更加高效、环保和智能化。

参考文献

- [1]陈可德.水利施工中软土地基处理方法探讨[J].河南水利与南水北调,2019,48(11):49-50.
- [2]吴菲菲,朱步纲,黄佃贵.水利工程施工中软土地基处理技术研究[J].水上安全,2024,(07):190-192.
- [3]张传佳.水利工程施工中软土地基处理技术[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(06):144-146.
- [4]雷刚.浅谈水利工程建设软土地基处理方法[C]//河海大学,河北工程大学,浙江水利水电学院,北京水利学会,天津市水利学会.2023(第二届)城市水利与洪涝防治学术研讨会论文集.山东黄河工程集团有限公司;,2023:5.