

软土地基上水利工程施工稳定性分析及加固技术

孙显程¹ 鹿丙全² 刘 肖³ 戴兴奇⁴

1. 徐州市水利工程建设管理中心 江苏 徐州 221000
2. 徐州市贾汪区水务保障中心 江苏 徐州 221000
3. 徐州市水利工程运行管理中心 江苏 徐州 221000
4. 徐州市泓瑞水利工程建设有限公司 江苏 徐州 221000

摘要: 软土地基在水利工程中常见,因其孔隙比和天然含水量高、压缩性高、透水性弱、抗剪强度低等特点,对工程的稳定性构成挑战。为确保施工稳定性,需采用有效的加固技术。常用的加固技术包括堤身自重挤淤法、抛石挤淤法、垫层法、预压砂井法、振动水冲法、旋喷法、强夯法以及土工合成材料加筋加固法等。这些技术需根据地基土质特性选择合适的方法,以确保地基稳定,保障水利工程的质量和可持续发展。

关键词: 软土地基; 水利工程施工; 稳定性; 加固技术

引言: 软土地基因其高孔隙比、高含水量、低抗剪强度等特性,在水利工程施工中常导致地基沉降、变形甚至失稳,对工程的长期安全运行构成严重威胁。为确保水利工程的稳定性和耐久性,对软土地基进行深入的稳定性分析及采取科学合理的加固技术显得尤为重要。本文综合探讨软土地基上水利工程施工的稳定性分析方法,并详细介绍多种加固技术的应用,旨在为水利工程建设提供有力的技术支撑,确保工程质量和安全。

1 软土地基的特点及其对水利工程稳定性的影响

1.1 软土地基的定义与特性

软土地基在水利工程建设中是一种常见的地质难题,它主要由高孔隙比和高天然含水量的土体组成,这些特性使得软土地基在工程建设中具有独特的行为表现。(1) 高孔隙比和高天然含水量: 软土地基的孔隙比通常较高,意味着土体中存在着大量的空隙,这些空隙中充满了水分。高天然含水量则导致土体在受到外力作用时容易发生变形,增加了施工的难度。(2) 高压缩性: 由于软土中的颗粒结构较为松散,孔隙率高,因此在外力作用下,土体容易被压缩。这种高压缩性使得软土地基在承受上部建筑物荷载时,容易发生显著的沉降,从而影响工程的稳定性。(3) 弱透水性: 软土的透水性通常较差,这意味着水体在软土中的渗透速度较慢。这一特性不仅增加了排水固结的难度,还可能导致地基长期受到水浸泡,进一步加剧地基的软化和变形。(4) 低抗剪强度: 软土的抗剪强度较低,使得地基在受到水平荷载作用时容易发生剪切破坏。这种破坏往往表现为地基的滑动或坍塌,对水利工程的稳定性构成严重威胁。(5) 高灵敏度: 软土对外部环境的扰动极为敏

感,如施工振动、地下水变化等都可能导致软土的性质发生显著变化。这种高灵敏度增加了工程施工的不确定性,使得软土地基的处理更加复杂。

1.2 软土地基对水利工程稳定性的影响

(1) 结构变形、断裂与坍塌的风险: 由于软土地基的高压缩性和低抗剪强度,水利工程在建造和使用过程中容易发生结构的变形、断裂甚至坍塌。这些现象不仅影响工程的使用功能,还可能对周边环境和人民群众的生命财产安全构成威胁。(2) 沉降不均导致建筑物开裂及损坏: 软土地基的沉降往往是不均匀的,这种不均匀沉降会导致建筑物产生裂缝、倾斜甚至倒塌。特别是在水利工程中,不均匀沉降可能导致堤坝、水闸等关键设施的破坏,影响工程的正常运行。(3) 孔隙水压力升高影响地基压密固结: 在软土地基中,由于水分的存在和渗透性差,施工过程中的排水固结往往难以进行。这会导致地基内部孔隙水压力升高,进一步影响地基的压密固结过程。孔隙水压力的上升会减缓地基土体的固结速度,甚至可能导致地基土体发生隆起或塑性变形,从而影响水利工程的整体稳定性和安全性。

2 软土地基上水利工程施工稳定性分析方法

2.1 地质勘察与现场测试

(1) 地基土质的物理与力学性质分析。地质勘察是水利工程稳定性分析的基础。通过钻探、取样等手段,可以获取地基土质的物理与力学性质数据,包括土的含水量、密度、孔隙比、压缩系数、抗剪强度等指标。这些数据的准确性对于后续稳定性分析至关重要。在取样过程中,需要采用合适的取土器,并严格按照操作规程进行,以确保样品不受扰动、变形或水分流失等影响。

取回的样品需进行室内试验,包括无侧限抗压强度试验、三轴剪切试验等,以获取土的抗压强度、抗剪强度等关键力学参数^[1]。(2)地下水位与渗透系数的测定。地下水位与渗透系数是影响软土地基稳定性的重要因素。通过水文地质勘察,可以测定地下水位的深度、变化规律以及地下水的补给与排泄条件。同时,还需进行渗透试验,以测定土的渗透系数,了解地下水在土中的渗透速度和对地基稳定性的影响。

2.2 稳定性计算方法

(1)极限平衡理论的应用。极限平衡理论是水利工程稳定性分析中最常用的方法之一。该方法通过假设地基土体沿某一滑动面发生滑动,并计算该滑动面上的抗剪强度与剪应力之间的平衡关系,从而判断地基的稳定性。在实际应用中,极限平衡理论可以进一步细化为多种方法,如瑞典圆弧法、简化毕肖普法、摩根斯坦-普赖斯法等。这些方法各有优缺点,需要根据具体工程条件和要求选择合适的方法进行计算。在计算过程中,需要考虑地基土体的自重、上部结构的荷载以及地下水压力等因素。同时,还需根据滑动面的形状和位置,计算滑动面上的剪应力和抗剪强度,并据此判断地基是否满足稳定性要求。(2)安全系数的计算与评估。安全系数是衡量地基稳定性的重要指标。它表示地基在受到一定荷载作用下,抵抗滑动破坏的能力。安全系数的计算通常基于极限平衡理论,并考虑多种因素的影响。在实际工程中,安全系数的取值需要根据工程的重要性、地基土质的特性以及施工条件等因素进行综合考虑。一般来说,对于重要的水利工程,安全系数的取值应相对较高,以确保工程的安全性。同时,还需对安全系数进行动态评估。随着施工进度的推进和地基土体的变化,安全系数可能会发生变化。因此,需要定期对地基进行稳定性监测和评估,及时调整施工方案和措施。

2.3 考虑多因素影响的稳定性分析

(1)降雨、水位降落、地震等动荷载的影响。降雨、水位降落和地震等动荷载是影响软土地基稳定性的重要因素。降雨和水位降落会导致地基土体容重的增加和渗流力的产生,从而降低地基的稳定性。而地震则会产生强烈的水平荷载和振动效应,对地基造成严重的冲击和破坏。在分析过程中,需要考虑降雨强度、降雨量、水位变化速度以及地震烈度等因素对地基稳定性的影响。同时,还需采用合适的动力分析方法,如时程分析法、反应谱法等,对地基在地震作用下的动力响应进行计算和评估。(2)粘土夹层软化、气候变化等因素的考虑。粘土夹层软化是软土地基稳定性分析中的另一个

重要问题。粘土夹层在遇水后会软化,导致抗剪强度降低和变形量增加。这种变化会对地基的稳定性产生不利影响。在分析过程中,需要考虑粘土夹层的分布范围、厚度以及遇水后的软化程度等因素。同时,还需采用合适的模型和方法对粘土夹层的软化过程进行模拟和计算^[2]。此外,气候变化也会对软土地基的稳定性产生影响。例如,气温的变化会导致地基土体的热胀冷缩现象,从而产生附加应力和变形。在分析过程中,需要考虑气候变化对地基稳定性的影响,并采取相应的措施进行应对。

3 软土地基上水利工程施工的加固技术

3.1 换填技术

(1)适用范围。换填技术主要适用于地基表层存在软弱土层,且该土层厚度较小、易于开挖的情况。此外,该技术也适用于地基浅层有不良地质现象(如滑动面、泉眼等)需要处理的情况。(2)垫层材料的选择与设计。垫层材料的选择应根据地基土层的特性和工程要求进行综合考虑。常见的垫层材料有中粗砂、碎石、灰土等。在选择垫层材料时,应考虑其强度、压缩性、透水性和施工便利性等因素。同时,垫层的厚度、宽度和压实度等设计参数也应根据工程要求进行合理确定。(3)排水与压实技术的应用。在换填过程中,排水和压实是关键环节。排水措施可以加速垫层材料的固结和压实过程,提高垫层的强度和稳定性。常见的排水措施有设置排水沟、排水井和铺设排水材料等。压实技术则是通过机械或人工方式对垫层材料进行压实处理,以提高其压实度和承载力。在压实过程中,应严格控制压实速度和压实遍数,以确保垫层达到规定的压实度标准。

3.2 添加剂技术

(1)水泥、生石灰等添加剂的使用。水泥和生石灰是常用的添加剂材料。水泥可以与地基土中的水分发生化学反应,生成胶凝物质,提高地基土的强度和稳定性。生石灰则可以降低地基土的含水量和压缩性,提高地基土的承载力和稳定性。在实际应用中,应根据地基土质的特性和工程要求选择合适的添加剂种类和掺量。(2)改变地地质成分与土壤结构。添加剂的加入可以改变地基土质的成分和结构。通过化学反应和物理作用,添加剂可以与地基土中的成分发生相互作用,生成新的矿物成分和胶凝物质,从而提高地基土的强度和稳定性。同时,添加剂的加入还可以改善地基土的透水性和抗渗性,降低地基土的变形和沉降量。(3)提高地基坚固性与稳定性。通过添加剂技术的处理,可以显著提高地基的坚固性和稳定性。添加剂的加入可以增强地基

土的力学性能和耐久性,提高地基的承载力和抗变形能力。同时,添加剂的加入还可以降低地基土的含水量和压缩性,减少地基的沉降和变形量,为水利工程的长期稳定运行提供有力保障^[3]。

3.3 硅化加固技术

(1) 硅酸钠溶液灌入土层中的方法。在实际操作中,硅酸钠溶液通过注浆管等设备注入到软土层中。注浆过程需要严格控制注浆压力、注浆速度和注浆量,以确保溶液能够均匀、充分地渗透到土层中。此外,注浆前应对土层进行预处理,如钻孔、排水等,以提高注浆效果。(2) 利用胶凝物质增强土层与灌入材料间的联系。硅酸钠溶液与土壤中的水分和矿物成分发生化学反应后,会生成硅酸钙等胶凝物质。这些胶凝物质能够填充土壤孔隙,增强土壤颗粒间的粘结力,从而提高土层的强度和稳定性。同时,胶凝物质还能将土壤颗粒与灌入的硅酸钠溶液紧密地结合在一起,形成一个整体性强、稳定性好的地基结构。(3) 提高地基抗压强度与硬度。硅化加固技术能够显著提高软土地基的抗压强度和硬度。通过化学反应生成的胶凝物质,增强了土壤颗粒间的相互作用力,使得地基在承受荷载时能够保持较好的稳定性和承载能力。此外,硅化加固还能改善地基的透水性和抗渗性,减少地基的变形和沉降量,为水利工程的稳定运行提供有力保障。

3.4 加筋土技术

(1) 使用高强度、高韧性的人工合成材料。加筋土技术中选用的加筋材料应具有高强度、高韧性、耐腐蚀和耐老化等优良性能。在实际应用中,常用的加筋材料有土工格栅、土工布、土工膜等。这些材料能够有效地增强地基的承载力和稳定性,提高地基的整体性能。(2) 通过高压产生的摩擦使材料与软土相结合。在加筋土技术的实施过程中,需要通过高压或压实设备将加筋材料紧密地嵌入到软土层中。在压实过程中,加筋材料与软土之间会产生摩擦力,从而确保两者之间的紧密结合。这种紧密结合能够有效地增强地基的抗剪强度和刚度,提高地基对荷载的承载能力。(3) 降低地基变形与触变现象的发生。加筋土技术能够显著降低地基的变形和触变现象。加筋材料的加入能够增强地基的抗变形能力,减少地基在荷载作用下的沉降和变形量。同时,加

筋材料还能改善地基的透水性和排水性,降低地基土体的含水量和压缩性,从而减少触变现象的发生。

3.5 灌浆技术

(1) 使用气压、电化学等原理进行填充与灌浆。灌浆技术的实施依赖于气压、电化学等原理。在灌浆过程中,通过注浆管等设备将特定材料注入到软土层中。注浆压力和注浆速度需根据软土层的特性和加固需求进行精确控制,以确保注浆材料能够充分填充土层孔隙并达到预期的加固效果。(2) 利用木质素类等化学材料加固软土地基。木质素类浆液是灌浆技术中常用的一种注浆材料。它具有良好的渗透性、固化性和环保性等优点,能够有效地填充软土层中的孔隙和裂缝,提高土层的强度和稳定性。在实际应用中,应根据软土层的特性和加固需求选择合适的灌浆材料和注浆工艺。(3) 适用于淤泥质黏性土等土质的加固处理。灌浆技术特别适用于淤泥质黏性土等土质的加固处理。这些土质通常具有含水量高、压缩性大、透水性差等特点,传统加固方法难以取得理想效果。而灌浆技术能够利用注浆材料的渗透性和固化性,有效地填充土层孔隙并增强土层的强度和稳定性,从而满足水利工程的加固需求。

结束语

综上所述,软土地基对水利工程施工稳定性具有显著影响,但通过科学的稳定性分析和合理的加固技术,可以有效提升地基承载力和稳定性。本文介绍的换填、添加剂、硅化加固、加筋土和灌浆等技术各具特色,适用于不同地质条件的软土地基加固。未来,随着材料科学和工程技术的不断发展,软土地基加固技术将更加高效、环保。水利工程从业者应持续关注新技术、新方法,确保工程施工质量和安全,保障水利事业的可持续发展。

参考文献

- [1]张硕文.水利堤防工程软土地基处理环节的优化措施[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(04):43-44.
- [2]吴兴,何文兵.水利工程建设软土地基施工处理质量管理[J].建筑技术研究,2023,(12):94-96.
- [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.