

水利施工中软土地基处理的方法研究

李 鹏

新疆兵团第八建筑安装工程有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要：在水利工程建设领域，软土地基处理是影响工程质量和安全的关键环节。软土地基具有含水量高、压缩性大、强度低等不良特性，若处理不当，将导致水利工程出现不均匀沉降、渗漏等严重问题，影响工程的正常运行和使用寿命。本文深入探讨了水利施工中软土地基处理的各种方法，包括换填法、排水固结法、强夯法、水泥搅拌桩法等，分析了每种方法的原理、适用范围、施工工艺及优缺点，阐述了不同方法在实际应用中的效果和注意事项。通过研究，旨在为水利施工中软土地基处理提供科学合理的参考依据，提高水利工程建设质量。

关键词：水利施工；软土地基；处理方法

1 引言

水利工程作为国民经济和社会发展的重要基础设施，其建设质量直接关系到人民生命财产安全和社会的可持续发展。在水利施工过程中，常常会遇到软土地基的情况。软土地基是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。这类地基具有天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、触变性和流变性显著等特点，给水利工程建设带来了诸多困难和挑战。软土地基的不稳定性和低承载力会导致水利工程结构物出现不均匀沉降、裂缝、倾斜甚至破坏等问题，严重影响水利工程的安全运行和使用功能。因此，采取科学有效的软土地基处理方法，提高软土地基的承载力和稳定性，减少地基沉降，是水利工程建设中亟待解决的重要问题。

2 软土地基的特性及对水利工程的影响

软土地基以其高含水量、高孔隙比、高压缩性、低抗剪强度、触变性和流变性等特性，对水利工程产生显著影响。其天然含水量大于液限，孔隙比超过1.0，导致结构疏松且在压力下易发生大变形和长时间沉降；抗剪强度低使其易于剪切破坏，影响地基稳定。软土的触变性和流变性意味着它们在受扰动时强度下降并在长期荷载下缓慢变形，加剧建筑物沉降。对于水利工程而言，软土地基引起的不均匀沉降会导致建筑物裂缝或倾斜，威胁使用安全；其低抗剪强度引发的地基失稳如滑坡、坍塌等现象，严重影响工程稳定性；较大的孔隙和较强的渗透性还可能引起渗漏，损害结构并缩短使用寿命。因此，软土地基是水利工程中必须重视的关键问题。

3 水利施工中软土地基处理的主要方法

3.1 换填法

在水利施工中，软土地基处理至关重要，其中换填

法是一种广泛应用的技术。其原理在于移除基础底面下特定范围内的软弱土层，并以强度更高、压缩性更低的材料如砂、碎石等替换，通过分层夯实至设计密实度，从而形成稳固的持力层，提升地基承载能力并减少沉降。此方法特别适用于浅层软弱或不均匀地基的处理，深度通常不超过3米，尤其适合于下方存在优质持力层的薄层软土情况。施工过程包括测量放样、基坑开挖、基底处理、分层回填与夯实及质量检验。首先依据设计要求确定换填范围和深度；接着利用机械或人工方式精确开挖至指定标高，注意控制基坑尺寸与坡度避免超挖；清理基底后进行必要的碾压或夯实；随后分层填充选定材料，每层厚度不超过300mm，并使用合适的设备如蛙式打夯机、振动压路机进行夯实；最后通过环刀法、灌砂法等检测压实度确保工程质量^[1]。换填法的优点在于工艺简单易操作，能显著改善地基性能且成本效益良好，可充分利用当地资源降低费用。然而，它也有局限性，比如处理深度有限，不适合深层软土地基，并且在地下水位较高或场地受限时施工难度加大。尽管如此，在合适的条件下，换填法依然是提高地基稳定性和承载能力的有效手段。

3.2 排水固结法

排水固结法是针对软土地基处理的一种有效方法，其原理在于通过设置竖向排水体（如砂井、塑料排水板等），结合地表施加的预压荷载（堆载或真空预压），促使土中孔隙水排出，减少孔隙体积，使土体发生固结变形，从而增强地基强度与稳定性，并降低后期沉降。此方法特别适用于饱和软粘土地基，尤其是需要控制沉降的大面积深厚软土地基项目。施工工艺首先涉及砂井或塑料排水板的安装。对于砂井，可以通过振动打桩机或柴油打桩机将钢管沉入土中后填充砂料形成；袋装砂

井则是用聚丙烯编织袋装砂并沉入土中。塑料排水板则使用插板机直接插入土中至设计深度。之后,在这些竖向排水体顶部铺设水平砂垫层,以加速孔隙水排出。加载预压阶段可通过堆载预压方式分层堆放材料施加荷载,或采用真空预压技术,即在砂垫层上铺设密封膜并通过抽气产生负压促进排水。排水固结法的优势在于能够显著提高软土地基的承载能力,适合大规模应用,且设备相对简单,成本较低。然而,这种方法也有局限性:固结过程较长,需较长时间才能达到预期效果,期间可能引起地基沉降,对周边建筑物和地下设施造成影响。尽管如此,对于需要严格控制沉降量的工程而言,排水固结法依然是一个高效的选择。

3.3 强夯法

强夯法是一种通过使用起重设备将重锤提升至10-40米高度后自由落下,利用其强大的冲击能量和振动来压密和振密地基土,从而提高地基强度、降低压缩性并改善振动液化条件的方法。它适用于碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土等多种地基类型。对于高饱和度的粉土与黏性土,可通过在夯坑内回填块石或粗颗粒材料进行强夯置换形成复合地基以取得良好效果。施工流程包括场地平整、测量放样确定夯点位置(可采用正方形、等边三角形或梅花形布置)、起重机就位调整至正确位置后进行夯击作业。每遍夯击完成后需整平场地并测量高程,随后按设计要求间隔时间重复夯击直至满足规定的夯击次数和沉降量^[2]。主夯结束后进行满夯,通常采用低能量夯击,并确保夯印搭接不少于1/4夯锤直径。质量检验则在施工结束后1-4周进行,通过标准贯入试验、静力触探试验及载荷试验等方式检测地基处理效果。强夯法的优点在于显著的加固效果,能有效提升地基承载力、减少沉降,且施工工艺简单、速度快、工期短,适用于多种土质,成本相对较低。然而,该方法施工时产生的振动和噪音对周边环境有影响,在饱和软土地基中的效果有限,可能需要结合其他方法使用,同时对夯击能量控制要求较高,不当操作可能导致地基土出现液化或橡皮土等不良现象。尽管如此,强夯法依然是地基处理中一种高效实用的技术手段。

3.4 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法是一种常用的软土地基加固技术,其原理是利用水泥作为固化剂,通过深层搅拌机械将软土与水泥强制混合,促使其发生物理化学反应,形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥加固土桩体。这些桩体与桩间土共同作用,构成复合地基,从而显著提高地基承载力并减少沉降。该方法适用于处理淤泥、淤泥

质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土地基,但不适用于天然含水量低于30%或高于70%的土质,以及地下水pH值小于4的情况。施工过程包括场地平整、测量放样确定桩位(偏差不得超过50mm)、搅拌机就位并对中,确保搅拌轴垂直度偏差不大于1%。随后进行预搅下沉,控制下沉速度,避免冲水影响桩身质量。在搅拌机下沉过程中同步制备水泥浆,并在到达设计深度后开始喷浆搅拌提升,确保水泥浆均匀喷入并与原土充分拌和。为提高搅拌均匀性,通常进行二次搅拌。每根桩完成后移位至下一桩位,依次施工。施工结束后28天,采用轻型动力触探、静力触探或标准贯入试验等方式对桩体质量进行检测,抽检数量不少于总桩数的1%,并可通过钻芯取样进行抗压强度测试。水泥搅拌桩法的优点在于施工无振动、无噪声、无污染,环境友好;可根据土质灵活调整水泥掺量和工艺,加固效果良好;桩体均匀、整体性强,能有效提升地基承载能力。缺点是受施工机械高度限制,在狭窄或低净空场地应用受限;桩体质量易受施工操作影响,存在强度不均或夹泥等风险;且加固深度一般不超过20m,适用范围有一定局限。尽管如此,该方法仍是水利工程中处理软土地基的重要选择之一。

4 应用案例分析:某水库除险加固工程中的换填法应用

某水库除险加固工程中,大坝基础存在局部软弱土层,软土层厚度约为1.5-2.0m,下部为较好的粉质黏土层。为提高大坝基础的承载力,减少地基沉降,决定对该软弱土层采用换填法进行处理。首先,根据设计要求,测量放出换填范围,采用挖掘机将软弱土层挖除至设计标高。基坑开挖完成后,对基底进行清理和平整,去除杂物和积水。然后,选用级配良好的砂砾石作为回填材料,分层填入基坑内,每层填筑厚度为250mm,采用振动压路机进行夯实,每层夯实后进行压实度检测,确保压实度达到设计要求的96%以上。回填至设计标高后,进行表面整平处理。经过换填法处理后,对大坝基础进行了沉降观测。观测结果表明,大坝基础的沉降量明显减小,且沉降均匀,未出现不均匀沉降现象。同时,通过载荷试验检测,换填后的地基承载力达到了设计要求的200kPa以上,满足了水库大坝的安全运行要求。

5 水利施工中软土地基处理方法的选择原则及注意事项

5.1 处理方法的选择原则

(1) 因地制宜原则:根据工程场地的地质条件、水文条件、周边环境等因素,结合各种软土地基处理方法的适用范围和特点,选择最适合本工程的处理方法。例

如,对于浅层软土地基,可优先考虑换填法;对于大面积深厚软土地基,排水固结法可能是较为合适的选择。

(2)经济合理原则:在满足工程质量和安全的前提下,应充分考虑工程成本,选择经济合理的处理方法。不同处理方法所需的材料、设备、工期等成本差异较大,需要进行综合比较和分析,选择性价比最高的方案^[3]。

(3)技术可行原则:所选用的处理方法应具有成熟的技术和丰富的施工经验,施工工艺简单可靠,易于操作和控制。同时,要确保施工过程中能够达到设计要求的质量标准,保证地基处理效果。(4)环境保护原则:在软土地基处理过程中,应尽量减少对周边环境的影响。例如,强夯法施工会产生较大的振动和噪声,应避免在靠近居民区、学校等对环境敏感的区域使用;排水固结法中的堆载预压可能会对周边建筑物和地下管线产生影响,需要采取相应的防护措施。

5.2 注意事项

(1)施工前准备:在软土地基处理施工前,应进行详细的地质勘察,准确掌握地基土的物理力学性质指标和分布情况,为处理方法的选择和设计提供可靠依据。同时,编制科学合理的施工组织设计,明确施工工艺、质量标准、安全措施等内容,并对施工人员进行技术交底和安全培训。(2)施工过程控制:严格按照设计要求和施工规范进行施工,加强对施工过程的监控和管理。例如,在换填法施工中,要控制好回填材料的质量和分层填筑厚度,确保夯实质量;在排水固结法施工中,要保证塑料排水板或砂井的施工质量,控制好堆载预压的加载速度和间隔时间;在强夯法施工中,要准确控制夯击能、夯击遍数和夯沉量等参数;在水泥搅拌桩法施工中,要严格控制水泥掺入比、搅拌时间和提升速度等^[4]。

(3)质量检验与监测:软土地基处理完成后,应按照相关规范要求严格的质量检验,采用多种检测方法综合评价地基处理效果。同时,在工程建设过程中,要对地基的沉降、变形等进行长期监测,及时掌握地基的稳定性状况,发现问题及时采取措施进行处理。

结语

水利施工中软土地基处理是一项复杂而重要的工作,直接关系到水利工程的质量和安​​全。本文对水利施工中常用的软土地基处理方法,包括换填法、排水固结法、强夯法、水泥搅拌桩法等进行深入研究,分析了每种方法的原理、适用范围、施工工艺及优缺点,并结合实际工程案例阐述了不同方法在实际应用中的效果和注意事项。在实际工程中,应根据工程场地的具体地质条件、工程要求、周边环境等因素,综合考虑各种处理方法的优缺点,因地制宜地选择最合适的处理方法。同时,在施工过程中要严格控制施工质量,加强质量检验和监测,确保软土地基处理达到设计要求,为水利工程建设提供可靠的地基基础。随着科技的不断进步和工程实践的积累,软土地基处理技术也将不断创新和完善,为水利工程建设的发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1]张腾,王大伟.浅谈水利工程施工中软土地基处理技术[J].治淮,2025,(03):49-50+67.
- [2]江东伟.水利堤防施工软土地基处理方法研究[J].现代工程科技,2024,3(18):37-40.
- [3]洪伟城.水利大坝施工过程中软土地基处理方法分析[J].工程技术研究,2023,8(17):220-222.
- [4]张旭林.水利水电工程施工中软土地基处理技术分析[J].科技资讯,2025,23(08):163-165.