

# 水利工程中软土地基桩基础设计与变形分析

文 / 蒋国芸 河北省水利规划设计研究院有限公司

**摘要:** 本文探讨了水利工程中软土地基桩基础设计与变形分析的重要性及具体方法。软土地基因其特殊性质给水利工程带来挑战, 桩基础设计成为提升工程稳定性的关键。文章分析了软土地基的定义、分类、成因与分布, 以及其对水利工程的影响。随后, 详细阐述了桩基础设计的原则、单桩承载力计算、结构形式选择、布置与施工要点。此外, 还深入分析了软土地基中桩基础的变形机制、类型、预测方法与控制措施。通过科学合理的设计与施工, 可有效保障水利工程的安全稳定运行。

**关键词:** 水利工程; 软土地基桩基础设计; 变形

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.107

## 引言

水利工程中软土地基的处理是确保工程稳定性和安全性的重要环节。桩基础作为常用的地基处理方式, 其设计与变形分析对于提升工程整体性能至关重要。本文旨在探讨软土地基桩基础的设计与变形特性, 为水利工程实践提供理论指导。

### 一、软土地基桩基础设计与变形对于提升水利工程的必要性

在水利工程建设实践中, 软土地基带来的挑战颇为复杂, 而桩基础的设计与变形分析则成为提升工程整体性能与稳固性的关键所在。软土地基因其高含水率、低透水性、易压缩性和稳定性差等特点, 在荷载作用下容易发生形变, 这对水利工程的整体稳定性构成了严重威胁。

桩基础设计的核心在于, 根据科学原理合理规划桩的布局与结构形式, 以期达到增强地基承载力和抗变形能力的目的。桩作为一种深入地下的结构, 能够有效地将上部结构的重量传递到更深层的稳定土层中, 从而减小地基的沉降和变形。在软土环境中进行桩基础设计时, 必须充分考虑地基土壤的工程特性, 如土层的分布、厚度以及物理力学性质等, 以确保桩在承受荷载时能够保持稳定, 满足工程的实际需求。

变形分析在桩基础设计中具有重要地位。对施工及运营期间桩基础的变形情况进行细致观察和深入分析, 有助于及时发现并预测潜在问题, 为工程的安全运行提供有力保障。变形分析不仅关注桩基础的沉降量, 还综合考虑桩身的水平位移、倾斜度等指标, 以全面评估桩基础的稳定性。结合工程的实际情况, 采用先进的计算方法和监测技术, 对桩基础的变形进行精确预测和控制, 是确保水利工程长期稳定运行的重要措施。

### 二、软土地基特性分析

#### (一) 软土地基定义与分类

水利工程中软土地基指的是低强度、高压缩性、透

水性差且富含水分的土层, 主要由黏土、粉土、有机质土、泥炭和松散砂等微细颗粒组成。这些土层的物理力学性质复杂, 给水利工程带来挑战。根据软土的成因、成分和工程特性, 可将其细分为淤泥、淤泥质土、泥炭土等类型。淤泥的天然孔隙比大于1.5, 显示出高压缩性; 淤泥质土的天然孔隙比在1至1.5之间, 同样具有较高压缩性。此外, 软土地基通常地下水位较高, 导致建筑物或构筑物稳定性差, 易发生沉降。

在分类软土地基时, 需综合考虑土层的物理性质、对建筑物的影响及工程表现。实际工程中处理软土地基的策略需结合地质条件、水文环境和工程需求来确定。借鉴国内外高等级公路设计规范对软土地基的定义和分类, 应重视填方形状、施工条件等因素在处理软土地基时的作用, 并在水利工程实践中全面考虑这些因素, 以保障工程的稳定性和安全性。

#### (二) 软土地基成因与分布

软土地基的形成源于多种自然过程, 如河流冲洪积、湖泊沉积、海滨沉积以及沼泽化, 这些过程促使细小土壤颗粒在特定区域不断积累, 逐渐形成软土层。此外, 人为活动也是不可忽视的因素, 排水系统不畅、地下水过度开采以及不恰当的填筑方法都可能加速或加剧软土层的形成。地理位置上, 软土地基广泛存在于沿海、沿江、沿湖区域及内陆平原, 尤其在地势低洼、排水条件差的地区更为常见。

对于水利工程中的桩基础设计而言, 充分理解软土地基的成因与分布至关重要。因为不同的成因和分布特征会直接影响软土层的物理力学性质, 从而对桩基础的稳定性、承载能力以及变形特性产生影响。

#### (三) 软土地基对水利工程的影响

软土地基因其独特的物理力学特性, 给水利工程的建设和运营带来了不少困难。低强度导致软土地基难以支撑重型水利建筑物的重量, 可能引发结构不稳定或沉降, 对工程的安全性和使用寿命构成威胁。同时, 软土

层具有较高的压缩性，在受到荷载作用时，地基容易发生较大的变形，这不仅会损害建筑物的结构，还可能对水利工程的正常运行产生不利影响。另外，软土地基的透水性较差，容易造成地基排水不畅，增加了地基的不稳定性。因此，在水利工程规划和设计阶段，必须对软土地基的影响进行全面评估，并制定相应的地基处理措施，以保障工程的稳定性和安全性，确保水利工程能够长期稳定运行。

### 三、软土地基桩基础设计原则与方法

#### （一）设计原则概述

在水利工程中，首要原则是保证桩基础拥有足够的承载力，能稳固地支撑上部结构，防止因软土的低强度特性引起沉降或结构失稳。设计时还需重视桩基础的变形控制，确保在承受荷载时，桩的变形量保持在允许限度内，以保障建筑物的正常使用及结构安全性。另外，桩基础的设计应同时考虑耐久性和经济性，合理选定桩型、桩径、桩长和桩的布置方式，既要满足工程实际需求，又要实现经济合理。总而言之，软土地基桩基础的设计原则需全面衡量承载力、变形控制、耐久性和经济性，以确保水利工程的安全、稳定和高效运作。

#### （二）单桩承载力计算与分析

水利工程中软土地基上的桩基础设计，关键在于精确计算出单桩的承载力。单桩承载力，简而言之，就是单根桩在特定条件下能够承受的最大荷载，它直接关系到桩基础的稳固性和安全性。

在计算单桩承载力时，必须全面考虑多个因素。这包括软土的物理力学性质，桩的几何参数如桩径和桩长，桩端土层的特性，以及桩侧摩阻力等。为了得到准确的承载力值，通常采用理论计算与现场试验相结合的方法。

理论计算方面，需要利用软土的抗剪强度和压缩模量等参数，结合桩的几何形状和土层分布，选择适当的力学模型进行计算。而现场试验则包括静载试验和动力触探等，这些试验能够提供实际数据，用于验证和修正理论计算结果，从而确保承载力的准确性。在分析单桩承载力时，还需要注意荷载的长期效应、桩身材料的蠕变性质，以及软土地基的固结沉降等因素对承载力的影响。

#### （三）桩基础结构形式选择

在水利工程软土地基的设计过程中，桩基础结构的选择对保障工程的稳固与安全至关重要。这一过程需全面考量地基状况、荷载需求、施工环境与经济因素。针对软土地基的特性，如土层分布、厚度及土质，需精心

挑选桩型。在软土层深厚且土质不佳的情况下，长桩或深层搅拌桩因其能有效提供必需的承载力与稳定性，往往成为优选。

荷载需求同样是决定桩基础结构的关键因素。必须依据工程所需承受的荷载量级、分布特征及荷载性质，选定能够胜任的桩型与桩径。同时，桩的排列方式与间距也需仔细规划，以确保桩基础的整体性能。

施工环境对桩基础的选择同样具有重要影响。施工现场的地质状况、可用设备、技术水平及工期要求，均需在选择施工方法与桩型时予以充分考虑。在地质复杂、施工难度大的场景下，预制桩或灌注桩可能因能简化施工流程并提高效率而被采用。

经济性亦是不可忽视的考量因素。在满足工程所有要求的基础上，应全面评估不同桩型的成本、施工时长及后续维护费用，力求选出性价比最优的桩基础结构。

#### （四）桩基础布置与施工要点

桩基础在水利工程软土地基中的应用，是确保结构稳固的关键。在布置阶段，必须全面考虑工程荷载的分布、地基的实际情况以及桩型的特性。为了精确确定桩的位置、间距和数量，需要进行详细的计算，以确保桩基础能够均匀承受荷载，避免因局部压力过大而导致的基础失稳。此外，桩与周围土体的相互作用以及桩群效应对整体承载力的影响，也是布置时需要考虑的重要因素，需进行细致分析以优化布置方案。

在施工方面，充分的施工前准备是必不可少的。这包括对施工现场的详细勘察，以掌握地质、水文等关键信息；施工设备的精心选择与调试，确保性能满足施工要求，及施工材料的严格筛选与储备，保障施工过程的顺利进行。

## 四、软土地基桩基础变形特性分析

#### （一）变形机制与类型

在水利工程建设中软土地基上桩基础的变形是一个核心问题，它直接关联到工程的安全与稳定。软土地基因强度低、压缩性大和透水性差，导致桩基础在荷载作用下易产生变形。这些变形不仅影响工程本身，还可能对周边环境和建筑物造成不良影响。

软土地基中桩基础的变形原理，主要包含以下几个方面：

##### （1）土体回弹与固结

桩基施工时，桩体的插入会挤压周围土体，导致土体回弹。随着荷载的增加，桩周土体开始固结，孔隙水压力逐渐消散，有效应力增大，引起土体固结变形。在软土地基中，这一过程因土体的高压缩性而更为显著，固结时间也相对较长。

### (2) 桩体压缩

桩体在承受上部结构荷载时,会发生弹性或塑性压缩。压缩的程度与桩体材料、截面尺寸、长度和荷载大小有关。在软土地基中,由于地基承载力低,桩体往往需要承受更大的荷载,因此压缩变形更为明显。

### (3) 桩侧摩阻力影响

桩体与周围土体间的摩阻力是桩基础承载力的重要部分。但在软土地基中,由于土体抗剪强度低,桩侧摩阻力可能随荷载增加而减弱,导致桩体侧向位移或倾斜。同时,桩侧摩阻力分布不均也可能引起桩体弯曲变形。

根据变形特性的不同,软土地基中桩基础的变形类型主要分为:

#### (1) 均匀沉降

当桩基础整体承载能力均匀分布,且地基土性质均一时,桩基础主要表现为均匀沉降。这种变形对建筑物的整体稳定性和安全性影响较小。

#### (2) 差异沉降

由于地基土性质不均、桩体长度或直径差异,以及施工误差等因素,桩基础可能发生差异沉降。这种变形会在建筑物中产生附加应力,严重时可能导致结构开裂或破坏。

#### (3) 侧向位移或倾斜

当桩侧摩阻力分布不均,或地基土抗剪强度较低时,桩基础可能发生侧向位移或倾斜。这种变形对建筑物的稳定性和安全性构成严重威胁,必须采取有效措施进行控制和预防。

### (二) 变形预测与分析方法

精确评估软土地基中桩基础的变形,对保障水利工程安全稳定至关重要。为此,需采用科学合理的预测与分析技术,包括理论计算、数值模拟、现场监测及经验公式应用等。理论计算方面,需基于土力学与弹性力学原理,结合软土地基与桩基础特性,构建数学模型预测变形。此方法能准确反映桩基础在荷载下的变形趋势,但前提是准确测定土体参数与桩基础参数。

数值模拟,如有限元分析,能全面考虑土体非线性、桩与土体相互作用及施工因素,精确预测桩基础变形。借助数值模拟,可直观展示桩基础在不同条件下的变形,为工程设计与施工提供依据。

现场监测是获取实际变形数据的关键手段。通过在桩基础与周围土体中设置监测仪器,可实时获取变形数据,及时调整设计与施工方案。同时,现场监测能验证理论计算与数值模拟的准确性,为后续工程提供可靠

参考。另外,根据工程实践经验,可总结经验公式用于变形预测。这些公式基于简化假设与条件,能快速给出接近实际的变形结果。但应用时需注意其适用范围与条件,保证预测结果的准确性。

### (三) 变形控制措施

在水利工程行业中针对软土地基条件下的桩基础设计,变形分析与控制机制是保障工程稳定性和安全性的核心环节。在工程项目启动之前,必须执行详尽的地质勘探,以全面了解软土地基的特性和可能存在的变形风险,为精确的结构设计打下牢固的基础。施工过程中,应严格管理施工质量和进度,避免不当施工行为,例如过度挖掘或荷载超重,这些行为可能引发地基下沉和结构体变形。在此过程中,采用尖端的监测技术变得极为重要,它能实现对施工过程中变形情况的实时、精确监控与分析。如果发现任何异常或不利发展趋势,必须立即采取相应的纠正行动。此外,对施工团队进行专业培训和管理同样不可忽视,提高他们在变形控制方面的意识和技能水平,是保证各项控制措施能够有效执行的关键。

### 结束语

本文通过对水利工程中软土地基桩基础设计与变形分析的深入探讨,揭示了桩基础在提升工程稳定性方面的重要作用。研究表明,科学合理的设计与施工方法能够有效控制桩基础的变形,保障水利工程的安全稳定运行。本文的研究结果不仅具有理论价值,还能为实际工程提供有益的参考和指导。未来应进一步加强软土地基桩基础变形机理的研究,探索更为高效、经济的地基处理方法,以推动水利工程行业的持续发展。

### 参考文献

- [1]姚力铭,钟瑾.水利工程中软土地基桩基础设计与变形分析[J].科技创新与应用,2023,13(23):132-135.
- [2]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.
- [3]马雪娇.水利工程中软土地基桩基础设计与变形分析[J].珠江水运,2022,(18):58-60.
- [4]张蔚雯.软土地基处理技术在水利施工中的应用[J].河北水利,2021,(11):43-44.
- [5]郭国辉.试析水利施工中软土地基处理的方法[J].珠江水运,2021,(13):34-36.
- [6]黄善缙.水利工程中软土地基处理的施工技术探讨[J].智能城市,2020,6(11):208-209.