

深厚软土地基中桩基承载力时效性研究

杨开国 黄小军

天津华北地质勘查局核工业二四七大队 天津 301800

摘要: 深厚软土天然含水量高、压缩性强,对桩基承载稳定性影响大。桩基承载力时效性指其极限承载力随时间变化的特性,源于软土排水固结等过程。本文分析深厚软土地基特性与桩基承载机理,探究软土特性、桩基设计施工、环境运营等因素对时效性的影响及多因素耦合作用。对比现有预测模型,提出改进模型。最后从设计、施工、运营期提出控制措施,为深厚软土地基桩基工程的设计、施工及运营提供理论与技术支持。

关键词: 深厚软土; 桩基承载力; 时效性

引言: 在深厚软土地基上进行桩基工程建设时,桩基承载力的稳定性至关重要。深厚软土因其独特工程特性,使得桩基承载力并非一成不变,而是随时间呈现时效性变化。这种变化不仅关乎工程初期的安全设计,更影响工程长期的稳定运营。深入研究深厚软土地基中桩基承载力时效性,明确其影响因素、变化规律并建立有效预测模型,进而提出针对性的工程控制措施,对保障桩基工程质量、提高工程经济效益与社会效益具有重大意义。

1 深厚软土地基特性与桩基承载机理基础理论

1.1 深厚软土核心工程特性

深厚软土是指分布厚度大于10m、天然含水量高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低的特殊土体,多形成于滨海、河湖沉积环境。其核心工程特性体现在物理学指标的显著劣性:天然含水量通常超过液限,孔隙比大于1.5,饱和重度介于16-18kN/m³,压缩系数 a_{1-2} 大于0.5MPa⁻¹,属于高压缩性土。同时,软土具有明显的结构性和触变性,受扰动后强度急剧下降,静置后可部分恢复;渗透系数极小,多为10⁻⁸-10⁻¹⁰cm/s,排水固结过程缓慢,易产生长期沉降和不均匀变形。另外,深厚软土往往存在成层分布特征,夹层性质差异较大,进一步增加了工程处置的复杂性,对桩基工程的承载稳定性构成重要影响。

1.2 桩基承载基本机理

桩基作为深厚软土地基中常用的基础形式,其承载机理本质是通过桩身将上部结构荷载传递至深层稳定土层或通过桩侧与桩端与土体的相互作用承担荷载,分为桩侧摩阻力和桩端阻力两部分协同作用。桩侧摩阻力源于桩身与周围土体的接触挤压,使土体产生剪切变形,进而形成沿桩身分布的摩阻力,其大小与土体抗剪强度、桩土接触面积、桩身表面特性及荷载作用方式密切相关^[1]。桩

端阻力则是桩端对持力层土体的挤压作用产生的反力,取决于持力层土体的承载力、桩端受力面积及桩端进入持力层的深度。在深厚软土地基中,若桩端未穿透软土层,桩端阻力贡献较小,荷载主要由桩侧摩阻力承担;若穿透软土层抵达硬土层或岩层,桩端阻力成为主要承载部分。

1.3 承载力时效性的核心内涵

桩基承载力时效性是指深厚软土地基中,桩基安装完成后,其极限承载力随时间推移发生变化的特性,核心源于软土在桩基施工扰动后发生的排水固结、结构重塑及强度增长过程。施工过程中,桩体沉入会挤压周围软土,破坏土体原有结构,产生超孔隙水压力,此时桩侧摩阻力和桩端阻力处于较低水平。随着时间延长,超孔隙水压力逐渐消散,软土颗粒重新排列、密实度提高,抗剪强度逐步恢复并增长,桩土接触界面的摩阻力随之提升;软土的次固结效应及桩土间的长期相互作用,也会使承载力持续变化。时效性通常表现为承载力随时间递增,最终趋于稳定,但其增长速率受软土性质、施工工艺、排水条件等因素影响。明确承载力时效性内涵,可为桩基工程的设计取值、施工时机选择及运营期安全评估提供重要依据,避免因忽视时间效应导致设计偏于保守或存在安全隐患。

2 深厚软土地基桩基承载力时效性影响因素分析

2.1 软土自身特性因素

软土自身特性是决定桩基承载力时效性的核心内因,主要体现在物理学指标及结构性特征对时效过程的主导作用。天然含水量和孔隙比越大,软土的压缩性越强,排水固结所需时间越长,承载力增长周期也随之延长;反之,含水量较低、孔隙比较小的软土,时效增长速率更快,更早达到稳定承载力^[2]。软土的抗剪强度指标直接影响摩阻力的增长幅度,初始抗剪强度越高,时效增长后的摩阻力极限值越大。软土的结构性强弱决定了施工扰

动后的强度恢复能力,结构性强的软土,扰动后强度衰减明显,但静置后结构重塑效果显著,承载力时效增长潜力大;而结构性弱的软土,强度恢复能力差,时效效应相对微弱。同时软土的渗透系数决定了超孔隙水压力消散速度,渗透系数越大,排水固结越快,承载力增长速率越高,这一规律在成层软土中因夹层渗透特性差异会更加复杂。

2.2 桩基设计与施工因素

桩基设计与施工环节通过改变桩土相互作用条件,间接影响承载力时效性。设计方面,桩型选择至关重要:预制桩桩身表面光滑,初期摩阻力较小,时效增长空间较大;灌注桩桩身粗糙,与土体结合紧密,初期摩阻力较高,时效增长幅度相对平缓。桩长、桩径及桩间距直接影响桩土接触面积和土体应力分布,桩长越长、桩径越大,承载时效效应越显著;桩间距过小会导致土体相互挤压,抑制承载力增长。施工方面,沉桩工艺对软土扰动程度不同,静压桩扰动较小,超孔隙水压力消散快,时效增长速率快;锤击桩扰动剧烈,超孔隙水压力峰值高,消散时间长,承载力稳定周期延长。施工过程中的桩身垂直度、桩端持力层平整度等质量控制指标,也会影响桩土受力均匀性,进而改变承载力的时效发展规律。

2.3 环境与工程运营因素

环境与工程运营因素通过改变软土的物理学状态,对桩基承载力时效性产生外部调控作用。环境温度变化会影响软土的孔隙水压力和强度,低温环境会减缓水分渗透和土体固结,延长承载力稳定时间;高温环境则可能加速水分蒸发,短期内提升土体密实度,但长期易导致土体干裂,影响桩土接触稳定性。地下水位变动是关键影响因素,地下水位上升会增加软土含水量,降低抗剪强度,抑制承载力时效增长;地下水位下降则会促进软土排水固结,加快承载力提升,但过度降深可能导致桩周土体沉降,产生负摩阻力。工程运营期的上部荷载大小及作用方式也会影响时效过程,荷载长期稳定作用可促进桩土间应力重分布,加速承载力趋于稳定;而荷载频繁波动会扰动土体结构,延缓时效增长,甚至导致承载力出现波动。

2.4 多因素耦合作用分析

深厚软土地基桩基承载力时效性并非单一因素作用的结果,而是软土自身特性、桩基设计施工、环境运营等多因素相互耦合、协同影响的过程。软土自身特性是耦合作用的基础,决定了时效性的基本趋势,而设计施工与环境因素则作为调节变量,改变时效发展速率和最终稳定值。例如,高含水量、低渗透系数的软土,若采

用静压桩施工且处于地下水位稳定区域,超孔隙水压力消散速度与土体固结速率匹配,承载力时效增长效果显著;若同时遭遇地下水位上升和荷载波动,会抵消部分固结效应,延缓承载力稳定。多因素耦合存在正负协同效应:合理的桩型设计与施工工艺可弱化软土不良特性的影响,加速承载力增长;而不利环境因素与不合理施工的叠加,会加剧软土扰动,延长时效周期。明确耦合作用机制,需结合具体工程场景,量化各因素的影响权重,为针对性防控措施提供依据。

3 深厚软土地基中桩基承载力时效性预测模型

3.1 现有模型对比

目前针对深厚软土地基桩基承载力时效性的预测模型主要分为经验公式法、固结理论法和数值模拟法三类,各模型在适用场景、精度及实用性上存在差异。经验公式法基于大量工程实测数据拟合得出,形式简洁,计算效率高,如基于时间和初始承载力的指数增长模型,适用于工程初步设计阶段的快速估算,但受地域软土特性和工程条件限制,通用性较差,难以考虑多因素耦合影响^[3]。固结理论法以Terzaghi固结理论、Biot固结理论为基础,通过分析软土排水固结过程推导承载力增长公式,能较好反映时效性的本质机理,适用于渗透性较差、固结主导时效过程的软土地场,但假设条件较多,对复杂成层软土的适应性不足。数值模拟法借助有限元、有限差分软件,可综合考虑多因素影响,模拟桩土相互作用的动态过程,预测精度较高,但对参数取值依赖性强,计算成本高,多用于复杂工程的精细化分析,难以广泛应用于常规工程。

3.2 改进的桩基承载力时效性预测模型:创新突破与多元适配

在桩基工程领域,现有模型在承载力时效性预测方面存在诸多不足,难以精准满足实际工程需求。基于此,改进的桩基承载力时效性预测模型应运而生,它以Biot三维固结理论为核心框架,深度融入多因素耦合影响机制,在精度与实用性之间实现了精妙平衡。模型在软土本构关系优化上迈出关键一步。传统模型往往忽视软土结构性,而改进模型引入结构性参数和触变系数,能精准量化施工扰动对软土强度的影响以及后续的恢复过程,有效弥补这一缺陷,为准确预测承载力奠定基础。考虑到工程实际条件的多样性,模型将桩型、桩长、施工工艺等设计施工因素纳入考量。通过设置修正系数,把这些因素巧妙融入承载力增长公式,使模型能够适配不同工程场景,大大增强了模型的通用性和实用性。环境因素对桩基承载力时效性影响显著,改进模型引入环境因

素动态变量,建立地下水位、温度与软土渗透系数、抗剪强度之间的关联方程,实现环境变化影响的动态模拟,让预测结果更贴合实际情况。模型采用分段函数形式,科学划分不同阶段:前期以超孔隙水压力消散为主导因素;中期充分考虑次固结效应;后期趋近稳定承载力。借助工程实测数据对模型参数进行校准,进一步提升预测精度。该模型既保留了固结理论法的机理合理性,又具备数值模拟法的多因素适配能力,能为工程设计和运营提供更为可靠的依据。

4 工程控制措施与建议

4.1 设计阶段优化

设计阶段优化是控制深厚软土地基桩基承载力时效性的前提,核心在于结合时效特性合理确定设计参数,提升工程适应性。首先,开展详细的地质勘察,精准获取软土分层特性、物理力学指标及渗透系数,明确承载力时效增长潜力,为模型取值和桩型选择提供依据。针对高压缩性软土,优先选用预制桩或大直径灌注桩,增加桩侧接触面积,提升时效增长空间;若软土渗透系数极小,可设计排水桩复合地基,加速桩周土体固结,缩短承载力稳定周期。合理确定桩长和桩端持力层,确保桩端穿透软土层抵达稳定硬层,同时控制桩间距,避免土体相互挤压影响固结。另外,设计中需预留承载力时效增长余量,结合预测模型估算不同时间节点的承载力,避免初期承载力取值过高导致安全风险,或过于保守造成投资浪费,实现经济性与安全性的统一。

4.2 施工阶段控制

施工阶段控制的关键的是减少软土扰动、加速超孔隙水压力消散,为承载力时效增长创造有利条件。施工工艺选择需适配软土特性,对结构性强的软土,优先采用静压桩施工,降低沉桩过程中的土体扰动;若采用锤击桩,需控制沉桩速率,设置间歇时间,为超孔隙水压力初步消散提供空间。施工过程中严格控制桩身垂直度和沉桩深度,避免桩身倾斜导致桩土受力不均,影响时效增长的均匀性。针对成层软土,可在桩周设置排水板,加快桩周土体排水固结,提升桩侧摩阻力的时效增长速率。加强施工过程质量监测,实时监测沉桩力、超孔隙水压力

变化,根据监测数据调整施工参数,若发现超孔隙水压力累积过高,及时暂停施工,待压力消散后再继续作业,确保施工过程对软土结构的扰动控制在合理范围。

4.3 运营期监测与维护

运营期监测与维护是保障桩基承载力时效稳定、防范安全风险的重要环节,需建立全周期监测体系,动态跟踪承载力变化。设置桩顶沉降观测点、桩身应力监测点及地下水位监测井,定期采集数据,分析沉降速率、桩身受力分布及地下水位变动与承载力时效的关联规律,若发现沉降异常或承载力增长停滞,及时排查原因^[4]。针对环境因素影响,加强场地排水系统维护,防止地下水位大幅波动;在温度变化剧烈区域,采取保温或降温措施,稳定软土物理力学状态。定期对桩基进行外观检测和完整性评估,排查桩身裂缝、腐蚀等病害,及时采取修补、加固措施,避免桩身结构损伤影响承载性能。建立监测数据预警机制,结合改进的预测模型,预判承载力长期发展趋势,为运营期荷载调整、维护方案优化提供科学依据,确保桩基工程长期稳定运行。

结束语

深厚软土地基中桩基承载力时效性研究,涉及多学科知识,对工程实践意义重大。本文虽分析了影响因素、提出改进预测模型与控制措施,但深厚软土复杂多变,研究仍有局限。未来需进一步结合更多实际工程,深入探究多因素耦合机制,优化预测模型,提升精度与实用性。同时,持续完善工程控制措施,加强全周期监测,以更好地应对工程挑战,保障深厚软土地基桩基工程安全稳定,推动相关领域技术发展。

参考文献

- [1]吴平春.桩基竖向抗压承载力检测与加固分析[J].江西建材,2023,(04):65-67.
- [2]李建鹏.建筑桩基检测的主要内容与方法[J].散装水泥,2023,(02):191-193+196.
- [3]路阳,张婷婷.长短桩复合地基在深厚软土地基处理中的应用[J].红水河,2024,43(03):133-136+148.
- [4]吴亮.深厚软土地区水泥土搅拌桩复合地基施工技术应用[J].科技创新与应用,2023,13(27):54-57.