

# 桥梁工程设计中桩基沉降问题分析

褚凤军

天津市政工程设计研究总院有限公司 天津 300392

**摘要:** 桥梁工程中, 桩基沉降是一个复杂且关键的问题。桩基沉降的形成主要受到土体压缩、孔隙水压力消散以及桩土共同作用的影响。沉降的发生不仅与地质条件、桩基设计有关, 还与施工工艺、环境因素及荷载条件密不可分。为了准确预测桩基沉降, 研究人员采用了多种方法, 包括基于经验的估算、数值分析和现场实测数据反分析等。

**关键词:** 桥梁; 工程设计; 桩基沉降; 问题分析

## 1 桩基沉降的形成机制

### 1.1 土体压缩与孔隙水压力消散

土体的压缩是指土体在承受外力作用下发生的体积变形, 而孔隙水的压力消散是指土体中孔隙水的压力由高向低的过程。当施加荷载到土体上时, 土体中的颗粒会发生再排列和变形, 导致土体的体积减小, 即土体发生压缩。这是由于外力作用下, 土壤颗粒之间的接触面增加, 排斥水分和气体, 使得孔隙空间减少, 土体密实度增加。压缩过程中, 孔隙水的压力受到限制, 压力较高的孔隙水会被挤出孔隙, 流向压力较低的孔隙空间。随着时间的推移, 孔隙水的压力逐渐消散, 导致土体体积进一步减小。土体的压缩和孔隙水压力消散是一个相互作用的过程, 土体的压缩会导致孔隙水的压力传递, 而孔隙水的压力的消散又会影响土体的压缩行为。在压缩过程中, 孔隙水的运动是通过孔隙通道的连通性来实现的。当孔隙通道不连通或连通性较差时, 孔隙水的压力消散速度较慢, 土体的沉降速度也相对较慢。反之, 当孔隙通道连通性较好时, 孔隙水的压力消散速度较快, 土体的沉降速度也会相对较快。

### 1.2 有效应力原理

有效应力是指在土体中起主导作用的应力, 它与土体的剪切强度和变形性质密切相关。有效应力原理是在桩基沉降问题中的一个重要理论基础, 通过有效应力原理可以更好地理解和解释土体的力学行为。有效应力原理是基于土体的孔隙水压力和有效应力之间的关系提出的。根据有效应力原理, 土体中的孔隙水压力对土体的力学性质和变形具有重要影响。孔隙水的存在会减小土体的摩擦和剪切强度, 使土体变得松弛, 并且增加土体的压缩性。因此, 在桩基沉降问题中, 考虑到孔隙水压力对土体的影响是至关重要的。在有效应力原理的框架下, 有效应力可以通过总应力减去孔隙水压力来计算。总应力是土体中的全部应力状态, 包括自重应力和外界

加载引起的应力。孔隙水压力是土体中孔隙水的压力, 与土体中的孔隙水密度和孔隙水高度有关。因此, 通过对桩周土体和孔隙水的应力和压力进行测量和分析, 可以得到土体中的有效应力分布情况。

### 1.3 桩土共同作用机制

桩土共同作用是指在桥梁工程中, 桩和土体之间相互作用的力学过程。桩土共同作用机制的理解对于解决桩基沉降等问题具有重要意义。在桥梁工程中, 桩的主要作用是将上部结构的荷载传递到土体中去。桩通过与土体接触面的摩擦和土体的支承反力来承担荷载, 并将荷载分散到周围土体中。土体对桩的作用是提供支持力和阻力, 使得桩能够稳定地传递荷载。桩土共同作用机制涉及到桩的侧摩擦、端阻力和土体的沉降特性。侧摩擦是指桩侧表面与周围土体之间的摩擦力, 它可以承担部分荷载并将荷载传递到土体中去。侧摩擦的大小与桩的表面积、桩身的摩擦系数和土体的性质有关。端阻力是指土体对桩底部的阻力力作用, 它是由土体的固结和土与桩的相互作用而产生的。端阻力的大小受到桩与土体之间的接触面积、土体的抗剪强度和桩身与土体之间的摩擦力等因素的影响。除了侧摩擦和端阻力, 土体的沉降特性也在桩土共同作用机制中起到重要作用<sup>[1]</sup>。由于荷载的作用, 土体会发生压实和压缩, 导致沉降。桩的存在会影响土体的沉降行为, 桩基沉降也受到土体的沉降速度和程度的影响。桩土共同作用机制是一个复杂的力学过程, 它涉及到桩的特性、土体的性质、加载条件和周围环境等多个因素的综合影响。深入研究桩土共同作用机制, 不仅可以指导桥梁工程的设计和施工, 还可以解决桩基沉降等问题, 从而保证工程的安全和稳定。

## 2 影响桩基沉降的因素

### 2.1 地质条件

地质条件包括土层分布与性质以及地下水位等。  
(1) 土层的分布和性质直接影响桩基沉降的发生和发

展。不同土层的特点决定了其固结和压缩性质的不同,从而对桩基的变形和沉降产生影响。常见的土层类型包括砂层、黏土层、淤泥层等。砂层通常具有较好的承载能力和排水性能,因此,在砂层中建造的桩基通常沉降较小。黏土层由于其较高的含水量和粘性特性,容易发生固结和压缩,从而导致较大的沉降。淤泥层由于其较高的含水量和较低的抗剪强度,容易发生流变变形,导致较大的沉降。当土层厚度较小时,桩基的承载能力受到限制,沉降较大。而过渡层的存在会导致土体的变形和沉降动态变化,进一步影响桩基沉降的发展。(2) 地下水位是指地下水表面与地下土体接触面的高度差。地下水位对桩基沉降有直接的影响。当地下水位较高时,孔隙水压力会增加,土壤的固结性质会受到影响,从而导致桩基沉降。当地下水位高于桩基底部时,桩基底部会受到孔隙水的上承压和侧向渗流的影响,使得沉降较为显著。当地下水位接近桩基顶部时,桩基全长都会受到孔隙水压力的作用,沉降较为均匀。

## 2.2 桩基设计

在桥梁工程中,桩的径向和纵向尺寸以及桩的布置方式会直接影响桩基的承载能力和沉降性能。(1) 桩径、桩长和桩型的选择是桩基设计的重要考虑因素。桩径和桩长的选择必须满足承载力和沉降要求。较大的桩径和较长的桩长可提供更大的侧面摩擦力和端阻力,增强桩基的承载能力。然而,较大的桩径和桩长也可能增加建设成本。因此,需要在设计中进行综合考虑。此外,不同的桩型,如钻孔桩、灌注桩和挤浆桩等,具有不同的承载机制和沉降性能,其选择应根据具体工程条件来决定。(2) 群桩效应与布置方式:群桩效应是指由多个桩共同作用引起的桩基承载能力的增强。群桩效应的主要机制包括侧面阻力的增加和孔隙水压力的减小。在桥梁工程中,合理的群桩布置方式能够充分发挥群桩效应,提高桩基的承载能力,减小桩基的沉降。常见的群桩布置方式包括等距排列、非等距排列和交错排列等。等距排列是指将桩等距离地布置在一条线上,此布置方式较为简单,但在一定程度上可能限制了群桩效应的发挥。非等距排列是指按照一定的规律或地质条件,在桩基区域内非等距地布置桩。此布置方式可以更好地适应地质条件和桥梁布置,以最大程度地发挥群桩效应。

## 2.3 环境因素与荷载条件

首先,温度变化是影响桩基沉降的环境因素。随着季节和日夜温差的变化,土体和桩体会发生体积的变化,从而引起桩基的沉降。当温度升高时,土体和桩体膨胀,导致桩基相对抬升;而当温度下降时,土体和桩

体收缩,导致桩基相对沉降。温度变化还会导致土体的孔隙水压力变化,对桩基沉降产生影响。其次,交通荷载是桩基沉降中的一种重要荷载条件。桥梁承受车辆荷载时,其作用通过桩基传递给土体,使土体发生变形和沉降。大型交通工具和频繁的运输活动会引起更大的荷载作用,从而导致桩基沉降的加剧。地震作用是桥梁工程中的另一个重要荷载条件。地震会引发土体的动态响应,产生水平和竖向的地震力,进而影响桩基的承载性能和沉降特性。强烈的地震动力会导致土体液化、摩擦破坏等现象,进而加剧桩基的沉降。最后,长期蠕变是指土体在长时间内持续加载下发生的渐进性变形。在桩基沉降中,土体的长期蠕变会导致桩基的沉降增加<sup>[2]</sup>。土体的蠕变行为受到土质性质、孔隙水压力、应力历史等因素的影响。环境侵蚀是指外界环境因素对土体和桩基的侵蚀作用。例如水力侵蚀、风化侵蚀、化学侵蚀等都会导致土体和桩体的松散和破坏,从而增加桩基的沉降。

## 3 桩基沉降的预测方法

### 3.1 基于经验的估算方法

基于经验的估算方法是一种常用的桩基沉降预测方法,通过借鉴和总结历史工程实例的经验数据,对桩基沉降进行估算和预测。这种方法基于已有工程实例的实际数据,将类似条件下的桩基沉降特性应用于新的工程,从而达到沉降预测的目的。基于经验的估算方法的优势在于简便易行、运算速度快、适用范围广。它不需要特殊的试验和复杂的计算,只需要依赖已有的工程数据和经验总结即可进行估算。这种方法的使用不受工程规模和时间限制,可以应用于不同类型的桥梁工程,包括各种桩型、土层条件和荷载条件。然而,基于经验的估算方法也存在一些限制和不足。首先,这种方法仅仅是根据过去的工程数据进行推断,不能保证估算结果的准确性。因此,在应用该方法时,需要谨慎选择参考工程案例,并结合实际情况进行修正。其次,桩基沉降是一个复杂的过程,受到多种因素的综合影响。基于经验的估算方法较难考虑所有的影响因素,容易出现较大的误差。因此,该方法主要适用于初步预估和快速评估,并不适用于精确的工程设计。在实际应用中,基于经验的估算方法常用于初步设计和预算阶段,并结合其他方法进行综合分析和验证。例如,可以将经验估算方法与数值模拟方法结合,进行桩基沉降的初步预测,并在实际施工过程中进行监测和调整,以提高预测的准确性。

### 3.2 数值分析方法

数值分析方法是一种基于数学模型和计算机仿真的桩基沉降预测方法,通过建立桩-土相互作用的数学模

型,利用数值计算技术对桩基沉降进行模拟和预测。在桥梁工程设计中,有限元法(FEM)、有限差分法(FDM)和无单元法(EFM)是常用的数值分析方法。首先,有限元法是一种广泛应用的数值分析方法,在桥梁工程中常用于桩基沉降的模拟和预测。该方法将桩基和土体分割成有限数量的小元素,通过数学方程和力学原理描述每个元素的变形和应力分布。通过求解离散方程组,可以得到桩基沉降的数值解。有限元法能够考虑复杂的土体本构关系、非线性行为、边界效应等因素,提供较为准确的沉降预测。其次,有限差分法是一种将物理问题离散化为差分方程的数值计算方法,在桩基沉降分析中也得到广泛应用。该方法通过将空间和时间上的连续性方程转化为离散的差分方程,利用数值迭代方法求解该方程组,从而得到桩基的沉降结果。有限差分法适用于各种边界条件和复杂土体特性的分析,具有计算规模灵活、数值解稳定等优点。最后,无单元法是一种相对较新的数值分析方法,它不需要对材料进行网格化,而是通过替代土体力学参数的方式,采用局部附着力和弹性模量来描述土体的变形和应力行为。由于不需要进行网格剖分和单元划分,使得该方法在处理复杂边界条件和非线性问题上更加高效。无单元法也具有较好的适应性,既可以处理桩基的水平变形又可以处理竖向沉降。

### 3.3 新技术与方法的应用

在桩基沉降预测领域,新技术和方法的应用为工程带来了更加精准和可靠的预测和监测手段。其中,BOTDA技术、高压注浆技术和其他智能监测技术是近年来常用的新技术,它们对于桩基沉降的预测和监测起到了积极作用。首先,光纤布拉格光栅传感(BOTDA)技术是一种基于光纤传感器的测量方法,可用于监测桩基沉降。该技术通过在桩身周围布设光纤传感器,利用光纤中的布拉格光栅原理测量应变和变形,从而实时监测桩基沉降情况。BOTDA技术具有高灵敏度、长测距和实时性好的特点,能够提供高精度的沉降监测数据。

其次,高压注浆技术是一种在桩基周围注入高压水泥浆料,以增加地层密实度和提高桩基承载力的方法。该技术在桩基施工后,通过压力监测和位移监测仪器对注浆效果进行实时监测。通过监测注浆前后的沉降和承载力变化,可以评估桩基的沉降性能和预测未来的沉降情况。除了BOTDA技术和高压注浆技术,还有其他的智能监测技术被广泛应用于桩基沉降的预测和监测。例如,无线传感器网络(WSN)技术、GPS定位技术和数字图像处理技术等,这些智能监测技术通过布设传感器和监测设备,实时采集土体及桩基的变形和应力数据,并将数据传输到中央管理系统进行分析和预测。这些技术具有实时性强、数据准确度高、无需人工干预等优点,能够提供全面和可靠的桩基沉降信息。新技术与方法的应用对于桩基沉降预测和监测起到了重要作用<sup>[1]</sup>。BOTDA技术、高压注浆技术和其他智能监测技术等新技术的应用,为工程提供了更加准确和可靠的桩基沉降数据。这些技术不仅可以实时监测沉降情况,还可以提供预测和评估的依据,帮助工程师进行合理的设计和施工措施的制定。随着科技的不断发展,新的技术与方法的应用将进一步提升桩基沉降预测与监测的准确性与效率。

结语:通过深入分析桩基沉降的形成机制、影响因素和预测方法,我们可以为桥梁工程设计提供更为科学和可靠的依据。同时,随着科技的不断进步,新的设计理念、施工技术和监测手段将不断涌现,为解决桩基沉降问题提供更多可能性。未来,我们应继续加强桩基沉降问题的研究,努力提高桥梁工程的安全性和耐久性,为人类的交通出行提供更为可靠的保障。

### 参考文献

- [1]陈春华.(2020).桥梁工程设计中桩基沉降问题分析.建筑结构,(10),14-17.
- [2]王海燕.(2021).桥梁工程设计中桩基沉降预测方法研究.公路与汽运,(5),7-10.
- [3]李明哲.(2022).桥梁工程设计中桩基沉降问题及对策探讨.工程技术研究,(6),7-9.