

桥梁桩基沉降计算方法研究

李宗霖

安徽省建筑科学研究设计院 安徽 合肥 230031

摘要：随着交通建设步伐加快，桥梁工程日益增多。本文聚焦桥梁桩基沉降计算方法展开研究。首先阐述桥梁桩基沉降计算基本理论，接着详细介绍分层总和法、弹性理论法、荷载传递法等常见计算方法。分析地质条件、桩基设计参数、施工工艺与质量、荷载作用特性等因素对沉降计算的影响。最后探讨该领域发展趋势，包括数值模拟技术应用拓展、与现场监测数据融合以及智能化计算方法探索，旨在为桥梁桩基沉降计算提供更准确、科学的方法与思路，保障桥梁工程安全与稳定。

关键词：桥梁桩基；沉降计算；计算方法；影响因素；发展趋势

引言：桥梁作为交通基础设施的关键部分，其安全性和稳定性至关重要。桩基作为桥梁的重要支撑结构，其沉降情况直接影响桥梁的整体性能和使用寿命。准确的桩基沉降计算对于桥梁设计、施工及后期维护具有重大意义。然而，由于地质条件的复杂性、桩基设计参数的多样性以及施工工艺的差异性等因素，桥梁桩基沉降计算面临诸多挑战。目前虽有多种计算方法，但各有局限。因此，深入研究桥梁桩基沉降计算方法，分析影响因素并探索发展趋势，对提升桥梁工程质量与安全性具有迫切的现实需求。

1 桥梁桩基沉降计算基本理论

桥梁桩基沉降计算是确保桥梁结构安全与稳定的关键环节，其基本理论建立在土力学与基础工程学的基础之上。（1）从力学角度而言，桩基沉降本质上是桩与周围土体相互作用的结果。当上部结构荷载传递至桩基时，桩身会产生轴向压力，该压力通过桩侧摩阻力和桩端阻力传递给周围土体。土体在受力后会发生变形，进而导致桩基沉降。（2）土体的变形特性是桩基沉降计算的核心依据。土体具有非线性、弹塑性和各向异性等特点，其应力-应变关系复杂。在荷载作用下，土体先产生弹性变形，当应力超过一定限度后，会进入塑性变形阶段。不同类型土体（如黏性土、砂性土）的变形特性差异显著，这直接影响了桩基沉降的计算方式。（3）弹性理论为桩基沉降计算提供了重要基础。它将土体视为弹性介质，运用弹性力学原理分析桩-土体系的应力与变形。通过假设土体的弹性模量和泊松比等参数，可推导出桩基沉降的解析解。然而，实际土体并非理想弹性体，该理论存在一定局限性^[1]。

2 常见桥梁桩基沉降计算方法

2.1 分层总和法

分层总和法是桥梁桩基沉降计算中较为传统且应用广泛的方法之一。其基本原理是将桩基下的土体沿深度方向划分为若干水平土层，假定每一土层仅在竖向发生压缩变形，且在计算沉降时，不考虑土层之间的相互挤压影响。计算过程中，首先根据地质勘察资料确定各土层的厚度、压缩模量等参数。然后，依据桩基所承受的荷载，计算出土层中附加应力分布。对于每一土层，利用该土层的压缩模量和附加应力，通过相应的公式计算出该土层的压缩量。最后，将各土层的压缩量进行累加，得到桩基的总沉降量。分层总和法的优点在于概念清晰、计算相对简便，能够考虑土层的分层特性对沉降的影响。然而，该方法也存在一定局限性。它忽略了土体的侧向变形以及桩土之间的相互作用，对于复杂地质条件和大型桥梁桩基，计算结果可能与实际情况存在一定偏差。尽管如此，分层总和法仍为初步估算桥梁桩基沉降提供了有效的手段，在工程实践中具有重要的参考价值。

2.2 弹性理论法

弹性理论法基于弹性力学原理来计算桥梁桩基沉降，它将桩周土体视为连续、均质、各向同性的弹性体。该方法通过建立桩-土体系的弹性力学模型，运用布辛奈斯克解等经典理论，来分析桩在荷载作用下对周围土体产生的应力分布，进而计算桩基的沉降。计算时，需确定土体的弹性模量和泊松比等参数，这些参数反映了土体的弹性性质。弹性理论法的优势在于理论推导严谨，能够从力学本质上分析桩基沉降与土体弹性性质之间的关系。它适用于土体处于弹性变形阶段的情况，对于一些地质条件相对较好、荷载较小的桥梁桩基沉降计算较为适用。不过，实际土体并非理想的弹性体，存在非线性和弹塑性特征，且该方法未充分考虑桩土界面的

复杂接触特性，在处理复杂地质条件和大荷载作用下的桩基沉降时，计算结果可能与实际存在一定差异，但仍是桥梁桩基沉降计算的重要理论基础。

2.3 荷载传递法

荷载传递法是分析桥梁桩基沉降的常用方法，其核心思想是将桩身划分为多个单元，通过建立桩侧摩阻力与桩身位移之间的荷载传递函数，来模拟桩-土体系的荷载传递过程。该方法假定桩侧任一点的摩阻力仅与该点桩身的位移相关，利用现场试验或经验公式确定荷载传递函数。计算时，从桩顶开始，依据桩顶荷载和桩身各单元的平衡条件，逐步向下推导各单元的轴力和位移，进而得到桩身各截面的沉降。荷载传递法的优点在于概念直观，能较好地反映桩-土界面的非线性特性，计算过程相对简便。它可以考虑桩侧土体的分层特性以及桩端阻力对沉降的影响。然而，该方法也存在一定不足，荷载传递函数的确定较为关键且具有一定难度，不同函数形式对计算结果影响较大，同时它未能充分考虑土体的连续性，在分析群桩效应时存在局限性，但在单桩沉降计算中仍具有较高的实用价值。

2.4 剪切位移法

剪切位移法为桥梁桩基沉降计算提供了一种独特且有效的思路。该方法基于这样一个假设：当桩受到竖向荷载作用时，桩侧土体的变形主要表现为剪切变形，且剪切变形会沿着桩身径向向外传播。它把桩周土体划分成一个个薄圆环，通过分析每个薄圆环的剪切变形，建立起桩身位移与土体位移之间的关系。在计算过程中，利用土体的剪切模量等参数，结合桩的几何尺寸和所受荷载，推导出桩身各位置的沉降表达式。剪切位移法的优势在于，能够较为直观地反映桩侧土体的变形机制，尤其适用于计算桩侧土体处于弹性或弹塑性阶段时的桩基沉降。它考虑了桩土相互作用的连续性，计算结果相对合理。不过，该方法假设土体变形仅为剪切变形，忽略了土体的其他变形模式，在处理复杂地质条件或大变形问题时存在一定局限性，但在一般地质条件下的桥梁桩基沉降初步计算中具有重要应用价值。

2.5 有限单元分析法

有限单元分析法是桥梁桩基沉降计算中功能强大且应用广泛的方法。它将桩-土体系离散为有限个单元，通过节点相互连接，把连续体的问题转化为离散单元的集合问题。在分析过程中，能够充分考虑桩和土体的材料非线性、几何非线性以及桩土界面的接触特性。可以模拟不同地质条件下土体的复杂应力-应变关系，以及桩在荷载作用下的各种力学行为。通过建立合理的本构模

型，如摩尔-库伦模型、邓肯-张模型等，更准确地反映土体的实际力学性质。有限单元分析法的优点在于计算精度高，能处理复杂的边界条件和几何形状，可全面分析桩基在不同荷载工况下的沉降情况。然而，该方法也存在一些不足，如计算过程复杂、计算量大，对计算机硬件要求较高，且模型的建立和参数的选取对结果影响较大，需要丰富的工程经验和专业知识，但仍是研究桥梁桩基沉降的重要手段^[2]。

3 影响桥梁桩基沉降计算的因素

3.1 地质条件因素

地质条件是影响桥梁桩基沉降计算的关键因素。不同地层具有截然不同的物理力学性质，例如软土层，其压缩性高、强度低，在荷载作用下会产生较大的压缩变形，导致桩基沉降明显；而坚硬岩层则压缩性小，能为桩基提供良好的支撑，沉降相对较小。土层的分布情况也至关重要，若存在多层不同性质的土体，各层土体的压缩模量、泊松比等参数差异会使桩基沉降计算变得复杂。此外，地下水位的高低对土体性质影响显著，地下水位上升会使土体含水量增加，强度降低，压缩性增大，进而增大桩基沉降。

3.2 桩基设计参数

桩基设计参数对桥梁桩基沉降计算有着直接影响。桩长是重要参数之一，较长的桩能够深入更稳定的土层，减少沉降，但过长桩可能导致施工难度增加且成本上升；桩径大小也影响沉降，增大桩径可提高桩的侧摩阻力和端阻力，增强桩的承载能力，从而减小沉降，不过桩径过大可能引发“尺寸效应”，使计算结果产生偏差。桩的布置形式同样不可忽视，群桩基础中桩的间距、排列方式等会影响桩间土的应力分布和群桩效应，若桩距过小，桩间土的应力叠加可能导致沉降增大。此外，桩身材料的选择和弹性模量等参数也会对桩基的变形和沉降计算产生影响，不同材料在受力时的变形特性不同，进而影响最终沉降结果。

3.3 施工工艺与质量

施工工艺与质量对桥梁桩基沉降计算有着不可忽视的作用。在成孔施工过程中，若采用不同的成孔方法，如钻孔灌注桩和人工挖孔桩，其对周围土体的扰动程度不同。钻孔灌注桩成孔时，泥浆护壁可能使孔壁土体性质发生改变，导致土体强度降低，进而影响桩基沉降；而人工挖孔桩对周围土体扰动相对较小。桩基浇筑质量也至关重要，混凝土浇筑不密实，存在孔洞、蜂窝等缺陷，会降低桩身的强度和刚度，使桩在荷载作用下产生更大的变形和沉降。此外，施工过程中的垂直度控制不

当,导致桩身倾斜,会改变桩-土体系的受力状态,使桩侧摩阻力和端阻力分布发生变化,最终影响桩基沉降计算结果。

3.4 荷载作用特性

荷载作用特性对桥梁桩基沉降计算影响显著。荷载大小是首要因素,随着上部结构荷载的增加,桩基所承受的压力增大,土体中的应力水平提高,导致土体压缩变形加剧,桩基沉降也随之增大。荷载的作用时间同样重要,长期持续荷载作用下,土体会发生蠕变变形,使桩基沉降随时间不断增长,这种时效性在软土地基中尤为明显。荷载的分布形式也会影响沉降,集中荷载会使桩基局部应力集中,产生较大的局部沉降;而均匀荷载则使桩基整体受力相对均匀,沉降分布也较为均匀。此外,动荷载如车辆荷载的反复作用,会引起土体和桩基的疲劳损伤,导致桩基沉降逐渐累积,对桥梁的长期使用性能产生不利影响。

4 桥梁桩基沉降计算方法的发展趋势

4.1 数值模拟技术的应用拓展

随着计算机技术的飞速发展,数值模拟技术在桥梁桩基沉降计算中的应用不断拓展。有限元法作为主流的数值模拟方法,能够更精准地模拟桩-土体系的复杂力学行为。它可以考虑土体的非线性、各向异性以及桩土界面的接触特性,通过建立精细的三维模型,深入分析桩基在不同地质条件和荷载作用下的沉降规律。除了有限元法,离散元法在模拟颗粒状土体与桩基相互作用方面展现出独特优势,可有效处理土体的大变形和破坏问题。此外,边界元法在处理无限域问题时具有计算效率高的特点。

4.2 与现场监测数据的融合

将桥梁桩基沉降计算方法与现场监测数据深度融合是重要发展趋势。现场监测能够实时获取桩基在实际运营过程中的沉降数据,这些数据真实反映了桩基的工作状态和环境影响。通过建立计算模型与监测数据的反馈机制,可对计算模型进行不断修正和优化。一方面,利用监测数据验证计算方法的准确性,发现计算中的偏差和不足,及时调整模型参数和计算假设;另一方面,

基于监测数据反演土体参数,提高对复杂地质条件下桩基沉降的预测能力。这种融合方式能够使计算结果更贴近实际情况,为桥梁的安全评估、维护决策提供可靠依据,实现从理论计算到实际应用的有效衔接。

4.3 智能化计算方法的探索

智能化计算方法在桥梁桩基沉降计算领域具有广阔探索空间。人工智能技术,如机器学习、深度学习等,为解决复杂的桩基沉降问题提供了新途径。通过收集大量的桩基工程数据,包括地质资料、设计参数、施工信息和沉降监测数据等,构建智能计算模型。这些模型能够自动学习数据中的内在规律和特征,实现对桩基沉降的快速、准确预测。与传统的计算方法相比,智能化计算方法具有更强的适应性和泛化能力,能够处理非线性、不确定性问题。此外,结合专家系统和知识图谱技术,可集成领域专家的经验和知识,为桩基沉降计算提供智能决策支持,推动桥梁桩基沉降计算向更加高效、智能的方向发展^[3]。

结束语

综上所述,桥梁桩基沉降计算方法的研究对于保障桥梁结构的安全与稳定意义重大。从传统的分层总和法、弹性理论法,到荷载传递法、剪切位移法,再到功能强大的有限单元分析法,每种方法都有其独特的原理、适用范围与优缺点。随着工程技术的发展,我们应不断探索和创新,将数值模拟与现场监测深度融合,引入智能化计算手段,以提升计算的准确性和可靠性。未来,期待能有更完善、高效的计算方法出现,为桥梁建设提供坚实的理论支撑,推动桥梁工程向更高质量、更安全的方向发展。

参考文献

- [1]张桂娟.预压法的沉降计算方法研究.电力系统及自动化,2021.165-167
- [2]吴绍县.滑坡路段桥梁桩基设计计算方法分析.工程地质学,2022.198-199
- [3]谢益凯,郑毅.超高层建筑桩基沉降计算方法的探讨.建筑设计及理论,2021.210-214