

桥梁桩基础在软弱地基中的承载特性与优化设计

王贤军

陕西兴通监理咨询有限公司 陕西西安

【摘要】软弱地基条件下桥梁桩基础承载特性复杂，直接影响桥梁工程安全与稳定性。聚焦此问题，深入剖析桩土相互作用机制，明确桩基础承载特性受桩身材料、几何尺寸、土体物理力学性质等多因素制约。针对影响因素，提出优化设计方法，包括合理选择桩型、优化桩长桩径、采用复合地基处理技术等，并阐述施工要点，保障优化设计有效实施。研究成果为软弱地基桥梁桩基础设计施工提供科学依据，对提升工程质量、降低建设成本具有重要意义。

【关键词】桥梁桩基础；软弱地基；承载特性；优化设计；施工要点

【收稿日期】2025 年 2 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000118

The load-bearing characteristics and optimization design of bridge pile foundations in soft ground conditions

Xianjun Wang

Shaanxi Xingtong Supervision Consulting Co., Ltd, Xi'an, Shaanxi

【Abstract】 The load-bearing characteristics of bridge pile foundations under soft ground conditions are complex, directly impacting the safety and stability of bridge projects. This paper focuses on this issue, delving into the interaction mechanisms between piles and soil, and clarifying that the load-bearing characteristics of pile foundations are influenced by multiple factors, including pile material, geometric dimensions, and the physical and mechanical properties of the soil. To address these influencing factors, the paper proposes optimization design methods, such as selecting appropriate pile types, optimizing pile length and diameter, and employing composite foundation treatment technologies. It also outlines key construction points to ensure the effective implementation of the optimization design. The research findings provide a scientific basis for the design and construction of bridge pile foundations in soft ground conditions, which is crucial for enhancing project quality and reducing construction costs.

【Keywords】 Bridge pile foundation; Soft ground; Load-bearing characteristics; Optimization design; Construction points

引言

随着交通基础设施建设的持续推进，桥梁工程面临的地质条件愈发复杂，软弱地基的广泛分布给桥梁桩基础设计与施工带来严峻挑战。软弱地基强度低、压缩性高、稳定性差的特性，使桥梁桩基础承载性能难以保障，易引发沉降超限、倾斜等病害。探究桥梁桩基础在软弱地基中的承载特性，开展优化设计研究，对确保桥梁结构安全、延长使用寿命、推动桥梁工程技术发展意义重大。

1 承载特性剖析

在软弱地基的复杂环境中，桥梁桩基础犹如深埋

地下的“沉默巨人”，其承载性能的发挥本质上是桩与土之间持续互动的结果。当桥梁结构的荷载传递至桩顶时，桩身就像一根纽带，将荷载通过侧摩阻力与端承力两种方式逐步分散至周围土体。在浅层土体区域，侧摩阻力率先“发力”，如同无数微小的摩擦力在桩土界面形成抵抗外力的屏障，将荷载横向分散到更广阔的土体范围。而端承力则像坚实的底座，其大小完全依赖于桩端所接触持力层的性质，若持力层足够坚硬，便能为桩基础提供可靠的竖向支撑。

桩基础的承载特性呈现出鲜明的非线性特征，这一特性如同动态变化的交响乐。在荷载较小的初

期阶段, 桩与土宛如默契的伙伴, 共同承担外力作用。此时, 侧摩阻力随着荷载的增加逐渐被激发, 如同缓缓拉开的帷幕, 不断释放承载潜力^[1]。当荷载持续增大, 达到临界值后, 侧摩阻力率先抵达极限状态, 不再能承担更多荷载, 转而由端承力接过“接力棒”, 其占比迅速提升, 成为维持桩基础稳定的主要力量。这一过程中, 桩土之间的受力平衡不断被打破与重建, 展现出复杂而精妙的力学演变。

值得关注的是, 软弱地基土体的流变特性为桩基础的承载性能增添了时间维度的变数。这类土体就像具有“记忆”的特殊物质, 在长期荷载作用下, 会因蠕变现象产生持续变形。随着时间的推移, 土体内部颗粒缓慢调整位置, 孔隙逐渐压缩, 导致桩身沉降持续发展。这种沉降并非短期内能够稳定, 而是如同“慢性侵蚀”, 可能持续数月甚至数年, 对桥梁结构的稳定性构成潜在威胁^[2]。若设计阶段未充分考虑这一特性, 后期可能出现桥面不平顺、结构开裂等严重问题, 影响桥梁的使用寿命与行车安全。

2 影响因素探究

桩基础在软弱地基中的承载特性, 如同精密仪器的运行, 受到自身参数与地基土体条件的双重调控。从桩基础自身角度来看, 桩身材料的选择如同为其赋予“生命特质”。高强度材料凭借卓越的抗压与抗变形能力, 能够有效抵御荷载作用下的压缩变形, 确保桩身始终保持结构完整性。而弹性模量则决定了桩身的“柔韧程度”, 合适的弹性模量使桩在受力时既能适度变形以协调桩土共同作用, 又不会因过度变形导致承载失效。这种材料特性的差异, 直接影响着桩基础在复杂受力环境下的表现。

桩长与桩径作为桩基础的关键几何参数, 对荷载传递起着“战略布局”的作用。桩长决定了荷载传递的深度, 就像探索未知领域的触角, 合理的桩长能够使桩端精准嵌入坚实持力层, 将荷载可靠地传递至稳定地层。若桩长不足, 如同根基不稳的大厦, 无法充分利用深层土体的承载能力; 而桩长过长则会造成材料与成本的浪费^[3]。桩径的大小则影响着荷载传递的范围, 增加桩径就如同拓宽道路, 能够显著提高桩侧摩阻力与端承力, 增强桩基础的整体承载能力。但过大的桩径也会带来施工难度增加、成本上升等问题, 需在设计中权衡利弊。

地基土体条件堪称桩基础的“生存环境”, 其物理力学指标对桩土相互作用产生直接影响。含水量与

孔隙比如同土体的“湿度计”与“疏松度标尺”, 直接改变土体的密度与抗剪强度, 进而影响桩土界面的摩阻力。黏聚力与内摩擦角则决定了土体自身的“团结程度”与“抗滑移能力”, 直接关系到土体对桩基础的支承效果^[4]。软弱土层的厚度与分布犹如隐藏在地下的“暗礁”, 其不均匀性会导致桩基础受力不均, 引发倾斜、差异沉降等问题。只有全面掌握这些土体特性, 才能为桩基础设计提供科学依据。

3 优化设计方法

提升软弱地基中桥梁桩基础的承载性能, 需要从多维度构建优化设计策略。在桩型选择环节, 需依据实际地质条件“量体裁衣”。预制桩以其工厂化生产的优势, 施工质量易于把控, 如同标准化的“工业产品”, 适合地质条件相对简单、对施工进度要求较高的工程。灌注桩则凭借其强大的“适应能力”, 能够灵活应对复杂地质环境, 无论是穿越软硬不均的地层, 还是在狭窄空间内施工, 都能展现出独特优势。组合桩则如同“跨界融合”的创新产物, 通过结合不同桩型的特点, 实现优势互补, 为特殊地质条件提供定制化解决方案。

优化桩长与桩径的过程, 恰似一场精准的“地下布局”。设计人员首先需对地基勘察数据进行多维度剖析, 借助钻探取芯样本分析土体物理力学性质, 利用原位测试数据建立三维地质模型, 如同解读地下世界的“密码”。在确定桩长时, 既要依据地基土分层特性定位坚实持力层, 确保桩端持力安全系数满足规范要求, 又需通过沉降计算校核桩长是否能够有效控制基础变形。当遇到深厚软土层时, 需采用桩端后注浆技术增强端承力, 或采用变刚度调平设计优化群桩布置^[5]。优化桩径则需建立复杂的力学平衡方程, 综合考虑桩侧摩阻力与端承力的协同效应。通过有限元软件模拟不同桩径下的荷载传递规律, 分析桩土相互作用机理, 在满足承载要求的前提下, 避免因盲目加大桩径造成资源浪费。实际工程中常引入经济指标比选, 对比混凝土用量、施工成本与承载能力提升的关系, 寻求技术经济性最优解。

复合地基处理技术为软弱地基加固开辟了新路径, 如同为地基注入“强心剂”。水泥土搅拌桩通过将水泥与软弱土体强制搅拌, 使其发生物理化学反应, 形成强度较高的水泥土桩体, 如同在软弱地基中构建“微型承重墙”, 有效改善土体物理力学性质。碎石桩则利用其良好的透水性与挤密效果, 如同在土体

中搭建“排水通道”，加速土体固结，提高地基承载力^[6]。这些技术的应用能够显著改善地基条件，减少桩基础承受的荷载，降低桩基础沉降风险。在群桩设计中，需充分考虑群桩效应，合理布置桩位，如同精心编排的“阵列士兵”，通过优化桩间距与排列方式，降低桩间相互影响，确保桩基础整体协同工作，提升结构稳定性。

4 施工要点把控

施工环节是将优化设计蓝图转化为现实工程的关键“桥梁”，每个细节都关乎工程成败。在桩基施工前，详细的地质勘察是不可或缺的“前期调研”。技术人员需综合运用钻探、物探等多种勘察手段：通过钻探获取岩芯样本，借助显微镜观察土颗粒结构、分析孔隙比与液塑限指标；利用地质雷达、高密度电法等物探技术，以非侵入方式探测地下溶洞、暗河等不良地质体的分布范围。这些工作如同绘制精确的“地下地图”，不仅能明确不同深度土层的压缩模量、抗剪强度等力学参数，还能捕捉地层突变界面，为确定桩位与桩长提供可靠依据。实际工程中，某跨海大桥曾因勘察阶段未探明深层透镜体夹层，导致部分桩基嵌入持力层深度不足，通车后出现不均匀沉降。此类案例警示我们，若地质勘察不充分，不仅可能导致桩位偏差、桩长不足等问题，还可能引发桩身断裂、承载力折减等严重后果，对桥梁全生命周期安全构成威胁。只有构建“初勘-详勘-施工勘察”三级验证体系，动态修正地质模型，才能确保后续施工沿着正确方向推进，为软弱地基上的桥梁桩基础筑牢安全根基。

灌注桩施工过程如同一场严谨的“地下建造艺术”，成孔质量是其中的核心环节。施工时需严格控制成孔工艺，防止塌孔、缩径等问题发生。塌孔如同“地下塌方”，会破坏桩孔形状，影响钢筋笼下放与混凝土浇筑；缩径则会导致桩身截面减小，降低承载能力。为避免这些问题，需合理选用护壁泥浆，控制钻进速度与压力，确保成孔过程稳定^[7]。在混凝土浇筑阶段，必须保证浇筑的连续性与密实度，如同为桩身注入“生命血液”。任何中断或振捣不密实，都可能在桩身内部形成空洞或蜂窝麻面，削弱桩基础强度。施工人员需全程监控，确保每一道工序符合设计要求。

预制桩施工则更注重沉桩工艺的精准把控，如同操控精密的“地下打桩机器”。合适的沉桩工艺是保证桩身质量的关键，无论是锤击法、静压法还是振动

法，都需根据地质条件与桩型特点合理选择。施工过程中，需严格控制沉桩速率与垂直度，沉桩速率过快可能导致桩身承受过大冲击力而损坏，垂直度偏差则会使桩基础受力不均^[8]。加强施工监测如同为工程安装“安全卫士”，通过实时监测桩基础沉降、位移等数据，及时发现异常情况并调整施工参数。只有将施工要点落实到每一个细节，才能确保优化设计方案顺利实现，打造出安全可靠的桥梁桩基础工程。

5 结语

对桥梁桩基础在软弱地基中承载特性与优化设计的研究，明确了影响因素与优化方向，形成有效设计施工策略。未来，随着桥梁建设向更复杂地质区域拓展，需进一步深化对桩土相互作用机制的研究，结合新型材料与技术，完善优化设计方法。加强施工过程智能化监测与控制，提高施工质量与效率，为软弱地基桥梁工程建设提供更可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 孟晓莉,郝瑞娇,李忠献,等.哑铃型承台群桩基础波浪荷载特征研究[J/OL].工程力学,1-11[2025-06-23].
- [2] 田淑钰,李松洛羽,王楷泽.桥梁桩基竖向抗压承载能力的有限元分析[J].价值工程,2025,44(13):108-111.
- [3] 左森虎,张熙胤,吕旭浩,等.考虑参数变异性的多年冻土区桥梁桩基础竖向承载力可靠度分析[J/OL].工程科学与技术,1-11[2025-06-23].
- [4] 石磊,王传军,窦创战.桥梁桩基础的钻孔灌注桩孔壁稳定性分析研究[J].山西建筑,2025,51(09):170-173+178.
- [5] 徐楠.堤防加固工程小型涵闸软弱地基基础处理[J].水利技术监督,2024,(11):264-267.
- [6] 赵洪斌.地基处理技术在房屋建筑工程施工中的应用分析[J].居舍,2023,(33):66-69.
- [7] 黄宏波,包火明,王中宽.道路桥梁施工中的软弱地基处理措施[J].工程技术研究,2023,8(10):207-209.
- [8] 万家豪.道路桥梁建筑施工中的软弱地基处理方法研究[J].人民交通,2020,(01):76-77.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS