

劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用

王世林

上海水石建筑规划设计股份有限公司，上海 200235

DOI:10.61369/ADA.2025010017

摘 要： 随着城市化进程的加速和土地资源的日益紧张，高层建筑已成为现代城市发展的重要组成部分。然而，高层建筑对地基承载力和变形控制的要求极高，传统的桩基础形式往往难以满足这些要求。近年来，劲性复合桩作为一种新型的地基处理技术，逐渐在高层建筑基础设计中崭露头角。它通过刚性桩与柔性桩的结合，有效平衡了承载力与变形控制的需求，展现出显著的技术优势和经济效益。本文旨在探讨劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用，以期为相关工程实践提供有益的参考。

关 键 词： 劲性复合桩；高层建筑；基础设计；有效应用

Optimization Application of Stiff Composite Piles in Foundation Design of High-rise Buildings

Wang Shilin

Shanghai Shuishi Architectural Planning and Design Co., Ltd. Shanghai 200235

Abstract： With the acceleration of urbanization and the increasing scarcity of land resources, high-rise buildings have become an important component of modern urban development. However, high-rise buildings have extremely high requirements for foundation bearing capacity and deformation control, and traditional pile foundation forms are often difficult to meet these requirements. In recent years, as a new type of foundation treatment technology, rigid composite piles have gradually emerged in the design of high-rise building foundations. It effectively balances the requirements of bearing capacity and deformation control through the combination of rigid piles and flexible piles, demonstrating significant technical advantages and economic benefits. This article aims to explore the optimized application of stiff composite piles in the design of high-rise building foundations, in order to provide useful references for related engineering practices.

Keywords： rigid composite pile; high rise building; basic design; effective application

引言

随着城市化进程的加速推进，高层建筑凭借其土地利用率高、空间利用充分等优势，成为城市建筑的主要发展方向。在高层建筑建设中，基础工程作为建筑结构的关键部分，直接关系到建筑的整体安全与稳定性。传统的基础形式在面对复杂地质条件和高荷载需求时，逐渐暴露出局限性，难以满足现代高层建筑的建设要求。劲性复合桩作为一种新型桩基础形式，融合了刚性桩和柔性桩的优点，具有承载能力高、变形小、施工效率高显著特点，在高层建筑基础设计中得到了广泛应用。然而，在实际应用过程中，劲性复合桩仍存在设计不合理、施工质量不稳定等问题，影响其优势的充分发挥。因此，深入研究劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用，具有重要的理论意义和工程实用价值^[1]。

一、劲性复合桩的工作原理与技术优势

（一）工作原理

劲性复合桩是由刚性桩（如预应力混凝土管桩）和柔性桩（如水泥土搅拌桩）组合而成的复合桩基础。在施工过程中，先施工柔性桩，形成水泥土桩体，然后在水泥土桩体未完全硬化前，将刚性桩插入其中，使刚性桩与柔性桩共同工作，形成一个整体

的承载体系^[2]。

在承受上部荷载时，刚性桩凭借其较高的强度和刚度，迅速承担大部分荷载，并将荷载传递至深部土层；柔性桩则通过与周围土体的摩擦力，发挥侧摩阻力作用，辅助刚性桩共同承担荷载。同时，柔性桩对周围土体具有一定的挤密加固作用，可改善土体的物理力学性质，提高地基土的承载力。通过刚性桩和柔性桩的协同工作，有效提高了基础的整体承载能力和稳定性。

（二）技术优势

与传统桩基础形式相比，劲性复合桩具有多方面的技术优势。首先，承载能力高。劲性复合桩通过刚性桩和柔性桩的协同作用，充分发挥了两种桩型的优势，能够承受高层建筑带来的巨大竖向荷载和水平荷载。在相同地质条件和荷载要求下，劲性复合桩的单桩承载力明显高于传统灌注桩或预制桩^[3]。

其次，变形控制能力强。由于刚性桩和柔性桩的共同作用，劲性复合桩在承受荷载时能够有效控制基础的沉降和不均匀沉降，满足高层建筑对基础变形的严格要求。特别是在软土地基等不良地质条件下，劲性复合桩的变形控制优势更为突出。

再者，施工效率高。劲性复合桩施工工艺相对简单，可采用常规的桩基础施工设备进行施工，且施工过程中对周边环境的影响较小，噪音低、无泥浆污染。同时，其施工速度快，能够有效缩短工期，降低建设成本。此外，劲性复合桩还具有材料利用率高、适应性强等特点，可根据不同的地质条件和工程需求，灵活调整桩长、桩径等参数，满足多样化的工程应用场景。

二、劲性复合桩在高层建筑基础设计中存在的问题

（一）设计参数选取不够精准

在劲性复合桩设计过程中，设计参数的选取对桩基础的承载性能和经济性起着关键作用。目前，设计人员在确定桩长、桩径、刚性桩与柔性桩的配合比等参数时，往往依据经验公式和工程类比，缺乏对地质条件的深入分析和精确计算。例如，在确定桩长时，未充分考虑土层分布和各土层的力学性质，导致桩长过长或过短，既浪费材料又影响基础承载能力^[4]。

对于刚性桩与柔性桩的配合比，由于缺乏统一的设计标准和计算方法，不同设计人员的取值差异较大，难以实现刚性桩和柔性桩的最佳协同工作效果。此外，在考虑荷载组合和作用效应时，对高层建筑复杂的受力状态分析不够全面，导致设计的桩基础在实际使用过程中存在安全隐患。

（二）施工质量难以保证

劲性复合桩的施工质量直接影响其承载性能和使用寿命。在实际施工过程中，存在诸多影响施工质量的因素。首先，施工工艺控制不严。在柔性桩施工时，水泥浆的配比不准确、搅拌不均匀，会导致水泥土桩体强度不足；刚性桩插入时，若插入时间控制不当，在水泥土桩体硬化后插入，会破坏水泥土桩体结构，影响刚性桩与柔性桩的协同工作^[5]。

其次，施工设备和施工人员技术水平参差不齐。部分施工单位使用的施工设备陈旧、性能不稳定，无法满足劲性复合桩的施工要求。施工人员缺乏专业培训，对施工工艺和技术要点掌握不熟练，容易出现操作失误，如桩位偏差过大、垂直度不达标等问题，严重影响桩基础的施工质量。

此外，施工现场管理混乱，质量监督体系不完善，对施工过程中的关键环节缺乏有效的监督和控制，导致施工质量问题无法及时发现和整改^[6]。

（三）检测与评估体系不完善

目前，针对劲性复合桩的检测与评估方法相对滞后，无法全面、准确地评价桩基础的质量和承载性能。传统的桩基检测方法，如低应变法、高应变法和静载试验等，在应用于劲性复合桩检测时存在一定的局限性。低应变法主要用于检测桩身完整性，难以准确判断刚性桩与柔性桩的结合情况；高应变法和静载试验虽然能检测桩的承载力，但成本高、周期长，难以大规模应用。

同时，缺乏对劲性复合桩长期性能的监测和评估。劲性复合桩在长期荷载作用下，其承载性能和变形特性可能会发生变化，但目前尚未建立完善的长期性能监测体系，无法及时掌握桩基础的工作状态，为工程的安全使用带来隐患。此外，检测标准和规范不统一，不同地区、不同工程对劲性复合桩的检测要求和方法存在差异，给检测结果的准确性和可比性带来影响^[7]。

三、劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用策略

（一）优化设计参数选取

加强地质勘察工作，提高地质勘察的精度和深度。在设计前，应采用多种勘察手段，如钻探、物探、原位测试等，详细了解场地的地质条件，包括土层分布、岩土力学性质、地下水情况等。根据地质勘察结果，结合高层建筑的荷载特点和结构形式，运用先进的计算理论和方法，对劲性复合桩的设计参数进行精准计算和优化。

在确定桩长时，应综合考虑持力层的位置、厚度和承载力，确保桩端进入可靠的持力层，并满足最小桩长要求。对于桩径的选择，要根据荷载大小和土体性质进行合理确定，在保证承载能力的前提下，尽量减小桩径，降低成本。在刚性桩与柔性桩的配合比设计方面，可通过建立数值分析模型，模拟不同配合比下桩基础的受力和变形情况，结合工程实际经验，确定最佳的配合比方案，实现刚性桩和柔性桩的协同工作最优化^[8]。

同时，在设计过程中，要充分考虑高层建筑的风荷载、地震作用等水平荷载的影响，对劲性复合桩的水平承载性能进行验算，确保桩基础在复杂受力状态下的安全性。

（二）改进施工工艺与加强施工管理

优化施工工艺，制定科学合理的施工流程和操作规范。在柔性桩施工时，严格控制水泥浆的配比和搅拌时间，确保水泥土桩体的均匀性和强度。采用先进的搅拌设备和施工技术，如深层搅拌技术、高压旋喷技术等，提高水泥土桩体的施工质量。在刚性桩插入过程中，要准确控制插入时间，在水泥土桩体初凝前完成插入，并确保插入过程的垂直度和深度符合设计要求。

加强施工设备管理，定期对施工设备进行维护和保养，确保设备性能稳定。引进先进的施工设备和技术，提高施工效率和质量。同时，加强对施工人员的培训和管理，提高施工人员的专业素质和操作技能。定期组织施工人员进行技术培训和安全教育，使其熟悉劲性复合桩的施工工艺和技术要点，掌握正确的操作方法。建立健全施工质量管理体系，加强施工现场的质量监督和管

理^[9]。对施工过程中的关键环节，如桩位放样、成桩过程、桩体质量检测等，进行严格的质量控制，确保施工质量符合设计要求和相关标准。

（三）完善检测与评估体系

研发和应用先进的检测技术和方法，提高对劲性复合桩质量和承载性能的检测准确性。结合低应变法、高应变法、静载试验等传统检测方法的优点，探索新的检测技术，如声波透射法、钻孔取芯法等，实现对劲性复合桩桩身完整性、刚性桩与柔性桩结合情况以及桩端持力层质量的全面检测。

建立对劲性复合桩长期性能的监测体系，在工程建设过程中，对劲性复合桩的沉降、位移、应力等参数进行长期监测。通过实时监测数据，掌握桩基础在长期荷载作用下的工作状态，及时发现潜在问题并采取相应的处理措施。同时，加强对劲性复合桩检测标准和规范的研究和制定，统一检测方法和评定标准，提高检测结果的可比性和可靠性。鼓励开展对劲性复合桩检测技术的研究和创新，推动检测技术的发展和进步。

四、劲性复合桩在高层建筑基础设计中的应用案例分析

（一）案例概况

某高层建筑位于城市中心区域，地上20层，地下2层，建筑高度80米，总建筑面积4万平方米，框筒结构。该建筑场地地质条件复杂，表层为3-5米厚的杂填土，其下为8-10米厚的淤泥质土，再往下为粉质黏土和砂卵石层，桩基持力层砂卵石层。设计要求基础的单桩承载力特征值不低于3000kN，沉降量不超过50mm。

（二）基础设计方案

考虑到场地地质条件和建筑荷载要求，经综合比选，最终采用劲性复合桩作为基础形式。设计参数如下：柔性桩采用水泥土搅拌桩，桩径900mm，桩长27米，水泥掺量20%；刚性桩采用先张法预应力混凝土管桩，桩径600mm，桩长27米，插入水泥土桩体内27米。刚性桩与柔性桩的间距为2.1米，核心筒按正方形布置，柱下根据轴力大小分别布置4~8根不同桩数的独立承台，基础

计算按桩筏有限元模型计算^[10]。

（三）优化应用措施

在设计阶段，通过对地质勘察数据的详细分析，结合数值模拟计算，对劲性复合桩的设计参数进行了优化调整。将刚性桩与柔性桩的配合比进行了多次模拟试验，确定了最佳的插入深度和间距，提高了桩基础的承载能力和协同工作性能。

在施工过程中，严格按照优化后的施工工艺进行施工。采用新型的深层搅拌设备和高精度的桩位定位系统，确保了水泥土桩体的搅拌质量和桩位的准确性。加强对施工人员的培训和管理，对每道施工工序进行严格的质量检验，保证了施工质量。

在检测阶段，采用低应变法、声波透射法和静载试验相结合的检测方法，对劲性复合桩的桩身完整性和承载性能进行了全面检测。同时，在建筑内部和基础周边设置了沉降监测点，对基础的沉降进行长期监测。

（四）应用效果

工程竣工后，经过检测和监测，劲性复合桩的各项指标均满足设计要求。单桩承载力检测结果显示，平均单桩承载力特征值达到3500kN，超过设计要求。基础沉降监测数据表明，建筑竣工一年后，最大沉降量为35mm，沉降均匀，满足设计规定的沉降控制标准。该工程的成功应用表明，通过优化设计和施工，劲性复合桩能够在复杂地质条件下为高层建筑提供可靠的基础支撑。

五、结语

劲性复合桩凭借其独特的技术优势，在高层建筑基础设计中具有广阔的应用前景。然而，当前在应用过程中存在设计参数选取不精准、施工质量难以保证、检测与评估体系不完善等问题，制约了其优势的充分发挥。通过采取优化设计参数选取、改进施工工艺与加强施工管理、完善检测与评估体系等一系列优化应用策略，并结合实际工程案例的实践验证，能够有效提高劲性复合桩在高层建筑基础设计中的应用水平，保障建筑结构的安全与稳定。在未来的高层建筑建设中，应进一步加强对劲性复合桩的研究和应用，不断探索创新，推动劲性复合桩技术的发展和完善，为高层建筑基础工程提供更优质、更可靠的解决方案。

参考文献

[1] 郭栋. 基于模糊综合模型的高层建筑工程安全风险评价 [J]. 河南科技, 2023, 42(24): 155-158.
[2] 韩朋华. 高层建筑工程中的装配式施工工艺 [J]. 工程建设与设计, 2023, (24): 133-135.
[3] 范祥, 郭瑞华, 王杰, 等. 基于云模型及 BIM 技术的高层建筑施工风险管理研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 291-296.
[4] 李梦瑶, 周国燕, 张建华. 基于有限单元法的劲性复合桩抗拔承载力研究 [J]. 河南城建学院学报, 2024, 33 (06): 56-63.
[5] 张波, 任宝森. 劲性复合桩研究进展与趋势 [J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2024, 26 (06): 19-25.
[6] 苏刚, 陈信升, 李志越, 等. 劲性复合桩承载性能现场试验研究 [J]. 甘肃科学学报, 2024, 36 (04): 76-82.
[7] 郑云, 李亚鑫, 贺玥森, 等. 劲性复合桩在砂土地基中的应用 [J]. 四川建筑, 2024, 44 (03): 74-76.
[8] 朱海超, 孔德坤, 来武清, 等. 劲性复合桩在超高层建筑中的应用 [J]. 重庆建筑, 2022, 21 (S1): 307-310.
[9] JGJ/T 327-2014 劲性复合桩技术规程 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
[10] 基于价值工程与改进模糊层次分析法的基坑工程绿色施工方案优选研究 [J]. 戴文奎; 韩丽娟. 江西建材, 2023(12).