

建筑工程中土建结构桩基结构设计

胡林

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘要：桩基结构是建筑工程土建结构的核心基础，其设计质量关乎建筑整体安全、稳定与耐久。本文系统阐述基础理论，明确不同桩基适用场景及荷载传递规律，深入剖析地质勘察、承载力计算、抗震抗浮设计等关键技术环节。还探讨了基于可靠度理论、数值模拟和绿色理念的优化方法，结合施工控制与验收标准构建完整体系。研究表明，科学设计要融合多方因素，优化与精细管控可提升承载性能和工程效益，对土建基础设计科学化发展意义重大。

关键词：建筑工程；土建结构；桩基设计

引言：在建筑工程领域，土建结构的稳固性是保障建筑安全与长久使用的基石，而桩基结构作为其核心支撑，重要性不言而喻。桩基设计不仅需应对复杂多变的工程地质条件，还要满足建筑多样化的功能需求。从基础理论到关键技术，从优化方法到施工管控，桩基结构设计的每一个环节都紧密关联着工程的质量与效益。深入探究桩基结构设计，对推动建筑工程科学化发展意义重大。

1 建筑工程中桩基结构基础理论

1.1 桩基分类与适用性

桩基依据不同的标准有多种分类方式。按承载性状可分为摩擦型桩和端承型桩，摩擦型桩主要依靠桩侧土的摩擦力来承载，适用于土层分布均匀、桩端持力层较差的场地；端承型桩则主要靠桩端阻力承载，适用于桩端有坚硬土层或岩层的场地。按施工方法可分为预制桩和灌注桩，预制桩施工速度快、质量易控制，但施工时噪声大；灌注桩能适应复杂地质条件，但施工工艺较复杂，质量控制难度大。不同类型的桩基适用于不同的工程地质条件和建筑要求，合理选择桩基类型是确保工程安全与经济的关键。

1.2 荷载传递机制

桩基的荷载传递是一个复杂的过程。当上部结构荷载作用于桩顶时，荷载首先通过桩身传递到桩端和桩侧土体。对于摩擦型桩，大部分荷载通过桩侧与土体之间的摩擦力逐渐向下传递，桩端阻力所占比例较小；而端承型桩，荷载主要由桩端阻力承担，桩侧摩擦力作用相对较小。在荷载传递过程中，桩身会产生压缩变形，土体也会发生相应的变形。理解桩基的荷载传递机制，有助于准确计算桩基的承载力和变形，为桩基设计提供理论依据^[1]。

1.3 设计规范与标准

桩基设计必须遵循相关的规范与标准，这些规范和标准是长期工程实践经验的总结，具有权威性和指导性。我国现行的桩基设计规范对桩基的分类、设计方法、承载力计算、构造要求等方面都做出了详细规定。设计人员进行桩基设计时，要严格按照规范要求进行计算和分析，确保桩基设计满足安全、适用、经济和耐久性的要求。同时，随着工程技术的发展，规范和标准也在不断更新和完善，设计人员应及时掌握最新的规范要求，提高设计水平。

2 建筑工程中桩基结构设计关键技术

2.1 地质勘察与参数确定

地质勘察是桩基设计的前提，其成果直接决定设计参数的准确性与设计方案的合理性，勘察需聚焦岩土特性、水文条件及地质隐患三大核心内容。勘察过程中，需通过钻孔取样、原位测试等手段，获取土层分布、厚度及物理力学参数，如土的天然重度、孔隙比、压缩模量、内摩擦角等，对于软土、砂土液化等特殊地质，需加密勘察点以明确分布范围与严重程度。水文勘察需查明地下水位标高、变化规律及地下水腐蚀性，为桩基防腐设计与施工排水方案提供依据。基于勘察成果，需科学确定桩基设计关键参数：地基承载力特征值需结合原位测试与室内试验结果综合修正，桩侧摩阻力系数需根据土层类型选取对应经验值，桩端阻力则需考虑持力层完整性与埋藏深度。当勘察数据存在不确定性，如局部土层参数缺失时，需采用类比法结合地区经验取值，并在施工阶段通过试桩验证，确保参数选取既符合实际又留足安全储备，避免因勘察偏差导致桩基承载力不足。

2.2 单桩承载力计算

单桩承载力计算是桩基设计的核心环节，需通过理论计算与现场试验相结合的方式确定，确保其能安全承担分配的荷载。理论计算分为竖向承载力与水平承载力

计算：竖向承载力按《建筑桩基技术规范》规定，采用经验参数法计算，公式为单桩竖向承载力特征值=桩侧摩阻力总和+桩端阻力，其中桩侧摩阻力需根据不同土层的侧摩阻力系数与桩身与土层接触面积计算，桩端阻力则由持力层承载力特征值与桩端截面积确定。水平承载力计算需考虑风荷载、地震作用等水平荷载，结合桩身刚度、土层水平抗力系数等参数，采用m法或弹性地基梁法计算，确保桩身水平位移控制在允许范围内。理论计算完成后，必须通过现场静载试验验证，试验采用慢速维持荷载法，分级施加荷载并观测桩顶沉降，当沉降量达到规定值或荷载无法继续增加时，取前一级荷载作为单桩竖向极限承载力，再除以安全系数得到承载力特征值^[2]。对于大型工程或复杂地质，需增加高应变动力测试辅助验证，确保单桩承载力计算结果可靠。

2.3 群桩基础设计

群桩基础由多根单桩与承台组成，其设计需考虑桩群效应与承台协同工作特性，避免因单桩受力不均导致整体失稳。群桩基础的承载力并非单桩承载力的简单叠加，需考虑群桩效应系数，当桩距较小时，桩间土应力叠加会降低桩侧摩阻力，导致群桩效率系数小于1，设计中需根据桩距与桩径比值确定修正系数。承台设计是群桩基础的关键，需具备足够的强度与刚度以传递荷载，承台混凝土强度等级需与桩身匹配，且不得低于C25，承台厚度需满足受弯、受剪承载力要求，通常不小于500mm。桩与承台的连接需可靠，桩顶钢筋伸入承台长度需满足锚固要求，对于大直径桩，需在桩顶设置预埋钢板或锚固筋。群桩基础的平面布置需遵循受力均匀原则，优先采用行列式或梅花形布置，桩距需根据土层挤密效应与施工操作空间确定，一般为3-5倍桩径。同时，需验算群桩基础的整体沉降与差异沉降，通过调整桩长、桩径或桩距优化设计，确保沉降量控制在规范允许范围内。

2.4 抗震与抗浮设计

抗震与抗浮设计是桩基结构应对特殊荷载的重要保障，需结合工程所在地的抗震设防等级与地下水条件针对性开展。抗震设计方面，根据《建筑抗震设计规范》，抗震设防烈度6度及以上区域的桩基需进行抗震验算，重点验证桩身抗剪强度与桩-承台连接节点可靠性。对于液化土层中的桩基，需采用穿越液化层的设计方案，桩端嵌入稳定土层深度需满足规范要求，同时通过加密桩距或采用挤密桩等措施提高地基抗液化能力；高烈度区需强化桩身延性，采用HRB 400及以上级别的钢筋，减少箍筋间距以提高抗剪性能。抗浮设计则针对地下水位较高的工程，当地下水浮力大于结构自重时，需设置抗浮桩

或抗浮锚杆，抗浮桩的承载力需通过抗拔试验确定，桩身配筋需满足抗拔要求，避免桩身开裂。设计中需考虑地下水动态变化，采用最不利水位进行验算，同时可结合排水减压措施降低浮力，实现抗震与抗浮设计的经济合理与安全可靠。

3 建筑工程中桩基结构优化方法

3.1 基于可靠度理论的设计

基于可靠度理论的桩基设计突破传统确定性设计的局限，通过量化设计参数的不确定性，提升桩基结构的安全储备与经济性。该方法以概率统计为基础，分析地质参数、材料性能、施工误差等随机变量对桩基承载力与变形的影响，将设计目标从“满足安全系数”转变为“控制失效概率”。设计过程中，需通过大量试验与工程数据建立参数的概率分布模型，如桩侧摩阻力服从正态分布，混凝土强度服从对数正态分布，再采用一次二阶矩法或蒙特卡洛模拟法计算桩基的可靠度指标。根据建筑结构的安全等级确定目标可靠度指标，如一级建筑桩基的可靠度指标需不低于3.7，通过调整桩长、桩径等参数使实际可靠度指标满足要求。这种设计方法可有效避免传统设计中“过度安全”导致的成本浪费，或因参数离散性导致的安全隐患，实现桩基设计的精准化与优化，尤其适用于复杂地质或重要建筑工程^[3]。

3.2 数值模拟优化

数值模拟技术为桩基设计优化提供了高效精准的工具，通过建立三维力学模型，可直观分析桩基与地基的相互作用及受力变形特性。常用的数值模拟软件包括ABAQUS、FLAC3D等，建模时需根据地质勘察成果还原土层分布与力学参数，采用实体单元模拟桩体与承台，土体则采用摩尔-库仑模型或邓肯-张模型模拟其非线性特性。通过数值模拟可开展多方面优化：分析不同桩型、桩长、桩距下桩基的承载力与沉降规律，确定最优设计参数；模拟地震、基坑开挖等复杂工况下桩基的受力响应，优化抗震与抗变形设计；例如，在软土地基桩基设计中，通过模拟不同桩长对应的沉降曲线，可确定满足沉降要求的最短桩长，降低工程成本。数值模拟还可与现场试验相结合，通过试验数据验证模型准确性，再利用验证后的模型开展多方案比选，大幅提升设计优化效率与可靠性。

3.3 绿色桩基技术

绿色桩基技术以“节能、减排、环保、高效”为核心，通过材料创新、工艺优化与资源循环利用，降低桩基工程对环境的影响。材料方面，推广采用高性能混凝土与再生骨料混凝土，高性能混凝土可提高桩体强度与

耐久性，减少水泥用量，再生骨料则利用建筑废弃物加工而成，降低资源消耗；同时，采用高强度钢材减少钢筋用量，实现材料节约。工艺方面，优先选用振动小、噪音低的施工工艺，如静压预制桩替代锤击预制桩，钻孔灌注桩采用泥浆循环净化系统，减少泥浆排放对土壤与水体的污染；对于临时桩基，采用可回收的钢桩，实现资源重复利用。设计方面，通过精准计算优化桩型与桩参数，避免材料浪费，同时结合地基处理技术，如CFG桩复合地基，减少桩基用量。绿色桩基技术还需考虑全生命周期环保，从材料生产、施工到桩基报废回收，全程控制能耗与污染，实现桩基工程的经济效益与环境效益双赢，符合绿色建筑发展理念。

4 桩基施工技术与质量控制要点

4.1 关键施工工序质量控制

桩基施工质量控制要贯穿全流程，重点把控成孔、钢筋笼制作安装、混凝土浇筑等环节。成孔时，灌注桩要控制钻孔垂直度与孔径，用测斜仪、孔径仪实时监测，垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，孔径 \geq 设计桩径；成孔深度依勘察资料和桩端持力层确定，保证桩端嵌入深度。钢筋笼制作按设计配筋，检查钢筋规格、间距与绑扎质量，控制长度和直径偏差；安装用吊具平稳下放，防碰撞孔壁，准确定位居中，保护层厚度50-70mm。混凝土浇筑是关键，用商品混凝土，坍落度和强度等级符合设计；浇筑前清孔底沉渣，厚度 $\leq 50\text{mm}$ ；用导管法，埋深2-6m，连续浇筑防断桩。预制桩控制沉桩速度与贯入度，用水准仪监测垂直度，防桩身断裂。

4.2 桩基检测技术与验收标准

桩基检测是验证施工质量与承载力的关键，要用多方法结合的检测体系，依验收标准判定质量。承载力检测有单桩竖向抗压（拔）静载试验和高应变动力测试，静载试验按规范选一定比例桩基，结果要满足设计要求；高应变测试可快速评估桩身完整性与承载力，适用于大批量初步检测。桩身完整性检测用低应变反射波法，覆盖全部桩基，分析反射波曲线判断缺陷，III类及IV类桩用钻芯法进一步验证。验收依《建筑桩基技术规范》和设计文件，包括施工记录、检测报告、桩位偏差等，桩位偏差在规范内，如单桩等沿垂直轴线方向偏差 $\leq 100\text{mm}$ 。合格后进行后续工序，不合格的制定专项方案，复核合格

才通过验收^[4]。

4.3 施工安全与环境保护措施

桩基施工需强化安全管理与环境保护，确保施工过程安全可控且符合环保要求。施工安全方面，建立完善的安全管理体系，对施工人员进行专项安全培训，重点培训桩基施工机械操作、高处作业、临时用电等安全知识。施工机械需定期检修维护，确保性能良好，起重机吊装作业需设专人指挥，明确吊装半径与安全距离；成孔作业时需监测孔壁稳定性，设置警示标志防止人员坠入。临时用电需采用三级配电、二级保护系统，电线架空敷设避免破损漏电。环境保护方面，施工场地需设置围挡，减少扬尘扩散；钻孔灌注桩施工产生的泥浆需经沉淀池沉淀后，采用密闭车辆运输至指定地点处理，不得随意排放；施工噪音需控制在规定范围内，夜间施工需办理相关手续并采取降噪措施。同时，施工过程中需保护周边地下管线与构筑物，施工前查明管线位置并采取避让或保护措施，避免施工对周边环境造成破坏，实现安全施工与绿色施工的统一。

结束语

桩基结构设计是建筑工程土建结构安全的核心，设计质量影响建筑全生命周期安全与效益。本文梳理了其基础理论、关键技术、优化方法及施工管控要点，指出设计要以地质勘察为基，结合荷载传递与规范要求，运用可靠度设计、数值模拟等技术优化。施工中全工序质量控制与多方法检测很关键。未来，桩基设计要融入绿色与数字化手段，加强复杂地质条件下的理论研究和创新，完善规范标准，为工程提供更优的桩基方案，推动领域发展。

参考文献

- [1]陈雪.建筑结构设计中剪力墙结构设计难点分析[J].新疆有色金属,2024,47(04):101-102.
- [2]解彪.住宅建筑剪力墙结构优化设计及抗震性能研究[J].江西建材,2024,(05):160-162.
- [3]宣奇辰.建筑结构设计中桩基设计方法及实例分析[J].房地产世界,2020(20):37-39.
- [4]周照.建筑结构设计中的桩基设计探究[J].低碳世界,2021,11(09):138-139.