

高层建筑桩基础设计和施工阶段的结构安全问题探析

尹宏志¹, 胡五兵²

(1. 山东齐诚工程技术有限公司, 山东 济南 250100;
2. 山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要 高层建筑桩基础是建筑结构里承担承重功能的关键部分, 设计方案的合理性、施工过程质量控制的落实情况, 直接决定了整体建筑结构安全性能的稳定性和使用寿命的长短。高层建筑工程桩基础设计阶段常存在地质勘察数据精度达不到设计需求、荷载计算有偏差、桩型选择和工程实际条件适配性低等问题; 施工阶段则存在成孔质量控制措施落实不足、钢筋笼安装产生偏差、混凝土浇筑出现缺陷等安全隐患。本文结合工程实践经验与当前新型勘察技术、施工工艺, 提出针对性安全管控措施, 以期为高层建筑桩基础设计和施工阶段的结构安全保障提供具有可操作性的参考方案, 进而助力提升高层建筑工程整体安全水平。

关键词 高层建筑桩基础设计; 地质勘察数据; 荷载计算; 桩型选择; 结构安全

中图分类号: TU973

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.032

0 引言

城市化进程持续推进, 高层建筑建设数量不断增加, 这类建筑有着高度大、结构承受荷载大、结构体系复杂的特点, 这对基础工程的承载能力和稳定性提出更严格的要求。桩基础因具备承载能力强、结构沉降量小、对不同地质条件适应性广的优势, 成为高层建筑基础工程中常用的主要形式。高层建筑桩基础工程实施包含地质条件勘察、设计方案计算、施工工艺选择等多个环节, 其中任一环节出现问题, 都可能影响桩基础的结构安全, 进而影响整个建筑工程的安全性能。因此, 深入分析高层建筑桩基础设计和施工阶段的结构安全问题, 提出科学有效的管控措施, 对保障高层建筑工程安全具有重要的现实意义。

1 高层建筑桩基础设计阶段的结构安全问题分析

1.1 地质勘察数据精度不足, 影响设计参数合理性

地质勘察数据的精度是桩基础设计方案科学性的前提。当前部分设计项目中, 勘察单位为缩短工期、降低成本, 减少勘察孔数量或缩短勘察深度, 导致勘察数据无法全面反映场地地质分层、岩土力学性能参数及地下水位变化规律, 使设计人员难以准确掌握场地实际地质条件。部分勘察报告对岩土参数取值笼统, 未结合场地实际针对性分析, 对不同深度土层的侧摩阻力系数、端阻力特征值等关键参数统一取值, 忽视土层物理力学性能差异, 造成桩基础承载力计算结果

与实际偏差较大, 影响设计的安全性与经济性平衡。

1.2 荷载计算偏差, 导致桩基础承载能力匹配不足

高层建筑桩基础需承受上部结构传递的竖向荷载、水平荷载及地震作用, 荷载计算准确性直接影响设计合理性。

在部分项目设计中, 设计人员对上部结构荷载计算存在偏差, 一方面对活荷载、风荷载等可变荷载取值不符合规范, 未按建筑使用功能确定活荷载标准值, 或对风荷载的体型系数、风压高度变化系数取值不当, 导致荷载计算结果偏小; 另一方面忽视结构自重计算精度, 对墙体、楼板等构件自重计算遗漏部分荷载, 或对混凝土密度、钢材重度等材料参数取值偏差, 使总荷载计算值低于实际, 导致桩基础超载^[1]。

1.3 桩型选择与场地条件适配性低, 降低结构安全储备

桩型选择需结合场地地质条件、建筑荷载要求及施工环境综合确定, 直接关系到结构安全储备。当前部分设计项目中, 设计人员对桩型选择合理性重视不足, 存在经验化设计现象, 未按场地实际进行多方案比选, 导致所选桩型与场地条件适配性低。部分设计人员对新型桩型性能特点了解不足, 仍采用传统桩型设计, 无法发挥新型桩型优势, 不仅可能提高工程成本, 还可能因桩群布置过密影响地基土稳定性, 降低结构安全储备。

2 高层建筑桩基础施工阶段的结构安全问题分析

2.1 成孔质量控制不当, 影响桩基础力学性能

成孔质量直接决定了桩身完整性与承载能力。在施工过程中, 成孔质量控制不当问题突出: 一是成孔垂直度偏差过大, 因施工设备安装不平整、钻杆刚度不足或钻进速度控制不当, 导致桩孔垂直度超规范允许范围, 使桩身受力不均; 二是孔底沉渣厚度超标, 因清孔不彻底或清孔后放置时间过长, 孔底残留杂质, 减少桩端与持力层接触面积。

2.2 钢筋笼制作与安装偏差, 削弱桩身结构强度

钢筋笼作为桩身主要受力构件, 其制作与安装质量直接影响桩身结构强度。在施工过程中, 钢筋笼制作常存在钢筋规格不符、箍筋间距偏差大、焊接质量不合格等问题, 导致钢筋笼抗弯、抗剪能力下降; 在安装过程中, 因起吊设备选型不当、起吊点设置不合理或操作不规范, 易出现钢筋笼变形、偏移或上浮, 使桩身受偏心, 或导致桩顶钢筋保护层厚度不足影响耐久性。

2.3 混凝土浇筑缺陷, 降低桩身承载能力与耐久性

混凝土浇筑质量直接决定桩身完整性与力学性能。在施工过程中, 混凝土浇筑缺陷常见, 配合比设计不合理, 导致混凝土强度不达标或工作性差, 浇筑速度控制不当, 易引发孔壁坍塌、气泡残留或冷缝。

3 高层建筑桩基础设计与施工阶段结构安全的管控措施

3.1 设计阶段: 强化地质勘察管理, 优化设计方案

1. 加强地质勘察过程管控, 提升勘察数据精度。随着建筑行业的快速发展以及高层建筑数量的不断增加, 建筑工程质量的标准也在不断提高。桩基础的设计与施工作为建筑物荷载传递至地基的关键部分, 直接关系到建筑的安全性与稳定性。所以, 桩基础的设计与施工过程必须达到严格的技术标准, 保证可以承受施工荷载的要求, 确保建筑结构的整体安全性与稳定性。针对地质勘察数据精度不足导致设计参数不合理的问题, 建设单位需将地质勘察质量作为桩基础安全管控的核心, 优先选择具备相应资质且有类似工程经验的勘察单位, 在勘察合同中明确勘察范围、深度与技术要求, 确保勘察孔覆盖场地所有地质分区, 尤其是软弱夹层、断层等特殊区域, 全面反映地质分层、岩土力学参数及地下水变化规律。勘察单位应结合地质雷达、钻孔电视等先进技术与传统钻探手段, 通过地质雷达连续探测地下土层分布, 钻孔电视观察孔壁岩土性状, 提高数据分辨率与准确性; 同时对岩土参数开展现场与室内双重试验验证, 如现场载荷试验确定地基承载力特征值, 室内土工试验测定压缩模量、

黏聚力等参数, 避免经验取值的主观偏差, 为设计提供可靠地质依据^[2]。

2. 优化荷载计算方法, 确保荷载与承载能力匹配。为解决荷载计算偏差引发的承载能力不匹配问题, 设计人员需依据现行建筑结构荷载规范, 结合高层建筑使用功能、结构体系及地域气候与地震环境, 构建精细化荷载计算模型。在竖向荷载计算中, 严格区分恒荷载与活荷载, 按功能区域确定活荷载标准值, 同时考虑设备、装修等附加荷载; 在水平荷载计算中, 结合建筑高度、平面形状确定风荷载体型系数, 按海拔与地貌选取风压高度变化系数, 准确计算风荷载水平作用力, 再依据地震设防烈度、设计基本地震加速度, 用反应谱法或时程分析法计算地震荷载影响。此外, 设计人员需用有限元软件建立桩基础三维受力模型, 模拟荷载组合下桩身内力、桩顶沉降与位移, 验证承载能力是否满足需求, 修正计算偏差, 避免承载不足引发安全风险。

3. 科学选择桩型与优化布置, 提高结构安全储备。为有效解决高层建筑桩基础设计与施工中的技术难题, 建筑行业开始引入并推广创新技术。创新技术是指涵盖先进的理论基础、规划设计理念、施工工艺以及技术方法, 乃至建筑专业知识的多学科融合应用。这些技术的发展体现在新的施工技术与方法上, 包括对设计理念的更新以及专业技术的跨领域整合。为改善桩型与场地条件适配性低的问题, 设计人员需建立“地质条件分析—荷载需求测算—施工可行性评估”的桩型选择体系, 依据勘察报告对预制混凝土桩、钻孔灌注桩、挤扩支盘桩、PHC 管桩等进行多维度比选, 优先选择技术成熟、适配性强且经济合理的桩型。同时, 结合桩基础受力特性优化桩群布置, 按上部荷载分布确定桩间距、桩长与桩径, 避免群桩效应过强或受力集中; 桩位布置需保证桩群形心与荷载合力中心重合, 减少偏心受力, 通过调整桩长使桩端嵌入中风化或微风化岩层等稳定持力层, 提高结构安全储备以应对荷载变化^[3]。

3.2 施工阶段: 加强质量管控, 规范施工操作

1. 严格控制成孔质量, 保障桩身基础条件。针对成孔质量不佳影响桩基础力学性能的问题, 施工单位需依据勘察报告制定专项成孔方案, 按土层特性选择设备与工艺。成孔前, 全面调试与校准设备, 检查钻杆直线度、钻头与设计孔径匹配性, 确保设备稳定; 平整压实地面, 用水平仪调整钻机水平度, 避免设备倾斜导致垂直度偏差。成孔中, 用测斜仪每钻进 5 m 监测垂直度, 偏差超规范 1% 时, 调整钻进参数或回填重钻; 成孔至设计深度后, 用换浆法或抽浆法清孔, 控制泥浆比重 1.15 ~ 1.25、含砂率 ≤ 8%, 确保端承

桩孔底沉渣 ≤ 50 mm、摩擦桩 ≤ 100 mm,为混凝土浇筑创造条件。

2. 强化钢筋笼制作与安装质量管控,确保桩身受力性能。为解决钢筋笼制作与安装偏差削弱桩身强度的问题,施工单位需建立全流程管控机制,按设计要求采购钢筋,核查进场钢筋规格、型号、合格证与检测报告,抽样检验抗拉、屈服强度,不合格材料禁用。钢筋笼制作时,用专用工装保证主筋与箍筋间距,主筋与箍筋采用双面搭接焊,检查焊缝避免夹渣、咬边等缺陷,全数测量钢筋笼直径与长度,确保尺寸合规。起吊安装时,按钢筋笼长度与重量确定起吊点,用专用吊具防止变形,竖直缓慢下放避免碰撞孔壁;安装后用定位钢筋固定在孔口护筒,保证钢筋笼中心与桩孔中心偏差 ≤ 50 mm,混凝土浇筑前用加重块或反拉装置防止钢筋笼上浮,确保桩顶钢筋保护层厚度达标,避免锈蚀影响耐久性。

3. 优化混凝土浇筑工艺,提升桩身完整性与耐久性。针对混凝土浇筑缺陷降低桩身性能的问题,施工单位需按桩基础类型与施工环境确定配合比,水下浇筑混凝土坍落度 $180 \sim 220$ mm,选用级配良好骨料与高效减水剂、缓凝剂,确保和易性、抗离析性与设计强度。浇筑前,检查搅拌质量,用坍落度与扩展度试验验证工作性,偏差超 ± 20 mm的混凝土禁用。浇筑中,普通钻孔灌注桩控制浇筑速度 $2 \sim 3$ m/h,避免过快导致孔壁坍塌或气泡残留,过慢形成冷缝;用插入式振捣器按“快插慢拔”原则振捣,振捣点梅花形布置,至表面浮浆不再下沉,避免振捣不足或过度。水下浇筑时,控制导管埋深 $2 \sim 6$ m,过浅易形成夹泥层,过深易堵塞导管,需测量混凝土面高度及时调整,确保混凝土质量均匀完整^[4]。

3.3 全过程:建立协同管理机制,强化安全监督

1. 建立多方协同管理机制,实现设计与施工无缝衔接。为解决设计与施工脱节的管控漏洞,建设单位需牵头搭建设计、施工、监理协同平台,明确各方职责与流程,形成“设计指导—施工反馈—监理监督”闭环。设计单位施工前组织技术交底,解读图纸、设计意图、关键参数与质量要点,制定地质变化的设计调整预案;施工单位定期报送进度与质量记录,发现地质与勘察报告不符时暂停施工并反馈,待设计调整后施工;监理单位对成孔、钢筋笼安装、混凝土浇筑等关键工序旁站监督,发现违规或隐患立即制止,要求整改并复核。设计单位派专业人员驻场,参与关键工序验收,依据实际地质与施工条件优化设计,确保设计与施工匹配。

2. 加强施工人员培训与安全教育,提升操作与安

全意识。针对施工人员操作不规范的问题,施工单位需制定系统化培训计划,按成孔、钢筋笼制作、混凝土浇筑等工序开展专项培训,邀请专家讲解工艺要点、质量标准与问题处理方法,组织实操训练提升设备操作熟练度与质量判断能力。同时定期开展安全教育,通过事故视频、现场演示普及孔壁坍塌、吊装坠落、触电等风险,教授防范与应急方法;建立安全考核奖惩制度,将安全意识、操作规范与绩效挂钩,奖励合规者,处罚违规者并再培训,从源头减少人为安全事故。

3. 采用信息化技术管控,实现质量动态监测与追溯。为提升管控精细化水平,施工单位需引入BIM、物联网技术,构建全生命周期信息化体系。设计阶段用BIM建立三维模型,分析桩位布置,检测与地下管线、周边建筑基础的碰撞风险,优化方案与流程;施工阶段用物联网传感器,将数据传至云端平台,管理人员实时查看参数,超规范时自动预警并调整,实现动态管控。同时建立质量追溯体系,数字化归档勘察报告、设计图纸、施工与检测记录,为每根桩设唯一追溯编码,便于后期质量检查、事故分析与责任认定,为结构安全提供支撑^[5]。随着新材料、新工艺及智能化技术的持续发展,桩基础设计将朝着更加高效、精细、环保的方向发展,进一步提升建筑结构的安全性与可持续性。

4 结束语

高层建筑桩基础设计与施工阶段的结构安全管理具有系统工程的属性,包含设计、施工、监督等多个关键环节,涉及建设、设计、施工、监理等多方参与主体,需要从根本上防范结构安全风险,从设计源头落实管控要求,严格执行施工过程的质量标准,构建覆盖全周期的协同管理机制。当前工程实践中,设计阶段常存在地质勘察数据精度不足、荷载计算有偏差的问题,施工阶段则面临成孔质量控制不当、混凝土浇筑有缺陷的情况,这些问题需通过加强勘察管理、优化设计方案、规范施工操作、强化安全监督等针对性措施逐步解决。

参考文献:

- [1] 胡兵,曹飞.高层建筑工程施工中桩基础施工技术分析[J].建筑与装饰,2020(36):156-158.
- [2] 周文娟.基于高层建筑工程施工中桩基础施工技术分析[J].砖瓦世界,2022(08):7-9.
- [3] 朱凌宇.探讨高层建筑工程施工中桩基础施工技术[J].建筑·建材·装饰,2021(13):80-81.
- [4] 李建亭.高层建筑工程施工中桩基础施工技术分析[J].城镇建设,2021(01):65.
- [5] 赵曦.高层建筑工程施工中桩基础施工技术研究[J].砖瓦世界,2021(02):279.