

建筑结构设计中的基础结构设计分析

李金涛

新疆有色冶金设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：建筑结构设计中的基础结构设计是保障建筑安全与稳定的核心环节。本文系统分析了浅基础（独立基础、条形基础、筏板基础）与深基础（桩基础、沉井基础、地下连续墙）的分类及适用条件，结合地质条件、荷载特征与经济性提出选型原则。通过理论方法（承载力计算、沉降控制、抗震设计）与数值模拟技术优化设计，结合高层住宅工程案例验证方案的可行性。针对不均匀沉降、抗震缺陷等常见问题，提出全生命周期管理、智能化工具应用及绿色设计策略，为复杂地质条件下的基础设计提供参考。

关键词：建筑结构设计；基础结构设计；关键理论与方法

引言：基础结构作为建筑结构体系的根基，其设计合理性直接关乎建筑物的安全性、耐久性与经济性。随着城市化进程加速，高层建筑、复杂地质条件及特殊功能建筑不断涌现，对基础设计提出了更高要求。当前设计实践中，地质条件复杂性、荷载作用多样性及抗震设防严格性成为主要挑战，传统设计方法已难以满足精细化需求。本文聚焦基础结构分类选型、关键理论方法、工程实践应用及改进策略，通过系统分析为提升基础设计水平、保障建筑全生命周期性能提供理论支撑与实践参考。

1 建筑结构设计基础结构类型与适用性分析

1.1 基础结构分类

(1) 浅基础：埋深较浅（通常小于5m），施工简便。独立基础多为柱下单独设置的钢筋混凝土基础，适用于荷载较均匀的低层框架结构；条形基础沿墙体或柱列布置，可分为墙下条形基础（适配砌体结构）和柱下条形基础（用于柱距小、荷载较大场景）；筏板基础为大面积钢筋混凝土板，能均匀传递荷载，适合软弱地基或上部荷载大的建筑。(2) 深基础：埋深大于5m，需特殊施工工艺。桩基础由桩身和承台组成，按受力可分摩擦桩（软土地基）和端承桩（岩层地基）；沉井基础通过井筒下沉形成，适用于地下水位高、荷载大的桥梁或重型厂房；地下连续墙兼具挡土、止水和承重功能，常用于深基坑及复杂地质条件下的高层建筑。

1.2 不同基础类型的适用条件

(1) 地质条件：软土地基易沉降，优先选筏板基础或摩擦桩基础；岩层地基承载力高，宜用独立基础、端承桩基础；地震区需考虑基础整体性，筏板基础、地下连续墙抗震性能更优，避免采用对沉降敏感的条形基础。(2) 上部结构荷载特征：低层、荷载小的建筑（如

住宅）可选用独立基础或墙下条形基础；高层、大荷载建筑（如写字楼）需用桩基础或筏板基础；承受动力荷载（如厂房设备基础）的结构，宜采用桩基础以减少振动影响^[1]。(3) 经济性与施工可行性对比：浅基础施工周期短、成本低，在地质条件好的区域优先选用；深基础成本高、施工复杂，但能适应差地质，当浅基础无法满足承载力要求时采用。例如，软土地区低层建筑用筏板基础比桩基础更经济，而高层建筑因荷载大，桩基础虽成本高但更可行。

2 建筑结构设计基础结构设计关键理论与方法

2.1 地质勘察与荷载分析

(1) 岩土工程勘察内容：需全面探明场地土层分布，明确各土层厚度、物理力学性质（如黏聚力、内摩擦角），确定地基承载力特征值，为基础选型提供依据；同时勘察地下水埋深、水位变化规律及水质腐蚀性，避免地下水对基础材料产生侵蚀或因水位上升引发抗浮问题；对复杂场地还需勘察不良地质现象（如断层、溶洞），评估其对基础稳定性的影响^[2]。(2) 荷载组合与作用效应计算：需考虑不同荷载类型，永久荷载包括结构自重、土压力等长期作用的荷载，计算时需采用实际材料密度精确取值；可变荷载涵盖楼面活荷载、风荷载等，需按规范规定的荷载分项系数进行组合；地震作用需结合场地类别、抗震设防烈度，通过动力分析确定其对基础的作用效应；最终根据“永久荷载+可变荷载”“永久荷载+可变荷载+地震作用”等不同组合工况，计算基础所受的最大弯矩、剪力和轴力，确保基础强度满足要求。

2.2 承载力与变形控制设计

(1) 地基承载力理论：太沙基公式适用于条形基础、矩形基础在均质地基中的承载力计算，通过考虑基

础埋深、土的重度及抗剪强度参数,确定地基极限承载力;汉森公式进一步拓展适用范围,可计入基础形状、倾斜角度及水平荷载的影响,更贴合实际工程中基础受力的复杂情况;设计时需将计算得到的极限承载力除以安全系数,得到地基允许承载力,确保基础不会发生剪切破坏。(2)沉降计算方法:分层总和法将地基按土层界面划分为若干分层,分别计算各分层的压缩量,累加得到总沉降量,计算过程简便,是工程中常用的方法;有限元法通过建立地基-基础三维模型,模拟土体的非线性变形特性,能更精准地反映不同土层间的相互作用及基础沉降分布规律,适用于复杂地质条件或对沉降要求严格的建筑(如精密仪器厂房)。(3)抗浮设计:需根据地下水位计算基础所受浮力,确保抗浮稳定系数满足规范要求(通常不小于1.05~1.1);当浮力较大时,可采用抗浮桩或抗浮锚杆,抗浮桩通过桩身与土体的摩擦力抵消浮力,抗浮锚杆则通过锚固段与岩层的粘结力提供抗拔力,设计时需根据场地地质条件选择合适的抗浮构件类型及参数^[3]。

2.3 抗震设计要点

(1)地震作用分析:反应谱法利用规范给出的地震反应谱,结合结构的自振周期和阻尼比,快速计算基础所受的地震作用,适用于大多数多层建筑;时程分析法通过输入实际地震波(如ElCentro波),对基础进行动力时程分析,能更真实地模拟地震过程中基础的受力和变形,常用于高层建筑、大跨度结构等对抗震要求较高的工程。(2)基础隔震与耗能减震技术:基础隔震技术在基础与上部结构之间设置隔震层(如橡胶隔震支座),通过隔震支座的变形消耗地震能量,减少上部结构传递给基础的地震作用;耗能减震技术则在基础关键部位设置耗能构件(如阻尼器),利用构件的塑性变形吸收地震能量,降低基础的地震响应,两者均能有效提升基础的抗震性能^[4]。

2.4 数值模拟与优化设计

(1)有限元软件应用:PLAXIS软件擅长模拟土体的固结、渗流及动力响应,可用于分析基础在长期荷载下的沉降及地震作用下的稳定性;ABAQUS软件具备强大的非线性分析能力,能模拟基础与土体的接触行为、混凝土的开裂及钢材的屈服,适用于精细化的基础结构受力分析,帮助工程师发现设计中的薄弱环节。(2)参数化设计:以基于性能的设计目标(如控制沉降量、提升抗震性能)为核心,通过改变基础尺寸、材料强度、桩长等参数,利用数值模拟工具对比不同设计方案的性能指标与经济性;例如通过调整筏板基础的厚度或桩基础

的桩径,在满足承载力和变形要求的前提下,优化基础造价,实现“安全与经济”的平衡。

3 工程案例分析

3.1 案例背景介绍

本案例为某城市核心区高层住宅项目,建筑功能以住宅为主,配套商业裙房,总建筑面积约8.5万m²,地上32层(高度98m),地下2层(用作车库及设备用房)。场地地质条件复杂,自上而下土层分布为:①素填土(厚度1.2~2.5m,承载力120kPa)、②淤泥质黏土(厚度3.5~5.8m,承载力85kPa,压缩性高)、③粉质黏土(厚度4.0~6.3m,承载力180kPa)、④中风化砂岩(埋深10.8~14.5m,承载力350kPa)。地下水位埋深2.0m,水位年变幅±0.8m,场地抗震设防烈度为7度(0.15g),设计地震分组为第一组。

3.2 基础选型与设计方

(1)方案比选过程:初期对比浅基础与深基础方案。浅基础考虑筏板基础,需将基底置于③粉质黏土层,但淤泥质黏土层压缩性高,计算沉降量达120mm,超出规范限值(80mm),且需处理上部软弱土层,成本增加;深基础选择桩基础,桩端嵌入④中风化砂岩,可有效规避软弱土层影响,计算沉降量仅35mm,满足要求。同时,桩基础抗震性能更优,适配7度抗震设防需求,综合承载力、变形及抗震要求,确定采用深基础方案。(2)最终设计方案详述:采用钻孔灌注桩基础,桩径800mm,桩长12~15m(根据岩层埋深调整),单桩竖向承载力特征值3200kN,共设186根桩;承台采用钢筋混凝土矩形承台,尺寸为3.6m×3.6m×1.2m(柱下独立承台),裙房区域采用联合承台(尺寸6.0m×4.5m×1.5m);桩身混凝土强度等级C35,承台混凝土强度等级C40,受力钢筋采用HRB400E(桩身配筋C16@150,承台配筋上层C22@200、下层C25@180);构造上设置桩顶嵌入承台100mm,承台边缘至桩中心距离不小于1.5倍桩径,同时在地下室外墙与承台间设置止水带,防止地下水渗漏。

3.3 施工过程与监测

(1)关键施工步骤:先进行基坑支护,采用“排桩+锚索”支护体系(排桩桩径600mm,间距1.2m,锚索长度12~15m),同步降水至基底以下1.0m;桩基施工采用旋挖钻机成孔,成孔后清孔至沉渣厚度≤50mm,下放钢筋笼后浇筑混凝土,浇筑过程采用导管法连续施工;承台施工前清理桩头,验收桩身完整性(低应变检测合格率100%),再绑扎钢筋、支设模板,浇筑混凝土时分层振捣(分层厚度≤500mm)。(2)现场监测数据:

施工期间布设12个沉降观测点、6个倾斜观测点及8个应力监测点。沉降监测显示,结构封顶后3个月累计沉降量最大为32mm,最小为28mm,沉降差 $\leq 4\text{mm}$,满足规范要求;倾斜监测数据均 $\leq 0.3\text{‰}$ (规范限值 1‰);桩身应力监测最大值为18MPa,小于混凝土轴心抗压强度设计值(23.4MPa),无异常应力集中现象。

3.4 设计效果评估

(1)安全性验证:通过静载试验,单桩竖向极限承载力达6400kN,是设计值的2倍,地基承载力满足要求;沉降量(32mm)远低于规范限值(80mm),无不均匀沉降风险;抗震验算显示,地震作用下桩身最大剪力为120kN,小于抗剪设计值(185kN),基础整体抗震性能达标。(2)经济性分析:材料用量方面,桩基础混凝土用量约2800m³,钢筋用量约320t,相比浅基础(需换填处理软弱土层,混凝土用量增加35%)更节省材料;工期成本方面,桩基施工周期45天,浅基础方案(含换填)需60天,缩短工期25%,减少机械租赁及人工成本约18万元,综合经济性更优。

4 建筑结构基础设计中常见问题与改进策略

4.1 设计中的典型问题

(1)不均匀沉降控制不足:部分设计未充分结合场地土层差异,如在软硬土层交界区域未采取差异化基础措施,导致建筑使用中出现局部沉降过大;或未准确计算相邻基础的荷载差异,引发基础间沉降差超出规范限值,进而造成墙体开裂、管线损坏等问题。(2)抗震设计缺陷:在液化土层分布区域,若未采用振冲碎石桩、水泥土搅拌桩等处理措施,地震时土层液化会导致地基承载力骤降,引发基础失稳;部分设计对地震作用下基础与上部结构的协同工作考虑不足,如隔震支座选型不当,无法有效削弱地震能量传递。(3)施工可行性考虑不足:设计阶段未充分调研现场施工条件,如在狭窄场地设计超深基坑,导致“排桩+锚索”支护体系施工空间不足,增加施工难度;或桩基设计桩长过长,受现场钻机性能限制,无法按设计深度成孔,需频繁调整方案,延误工期。

4.2 优化设计策略

(1)基于全生命周期的设计理念:设计时不仅考虑施工阶段的便利性与安全性,还需预判建筑使用期间的环境变化(如地下水位长期上升),提前采取抗浮加固措施;同时预留后期维护空间,如在桩基础顶部设置监测点,便于长期跟踪基础沉降情况,延长建筑使用寿命。(2)智能化设计工具应用:利用AI辅助基础选型,通过输入场地地质、建筑荷载等参数,快速对比浅基础、深基础的经济性与适用性;借助BIM协同设计平台,整合勘察、设计、施工数据,直观呈现基础与地下管线的空间关系,避免管线与基础冲突,提升设计精度^[5]。(3)绿色设计方向:优先选用低碳材料,如在承台设计中采用再生骨料混凝土,减少水泥用量;推广可回收结构,如抗浮锚杆采用可拆卸式设计,建筑拆除时可回收钢材,降低建筑垃圾产生量,符合绿色建筑发展要求。

结束语

基础结构设计是建筑安全与稳定的关键保障。本文通过深入剖析基础类型选型依据、承载变形控制方法及抗震设计要点,结合工程实践验证了理论方法的适用性。面对复杂地质条件与多样化建筑需求,未来设计需进一步融合智能化技术,强化全生命周期性能监测,同时践行绿色低碳理念,优化材料选用与施工工艺。唯有坚持创新驱动、精益求精,方能构建更安全、经济、环保的基础结构体系,为建筑行业可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]高耀飞,向廷礼.建筑结构设计中的基础设计分析[J].居舍,2024,(27):120-121.
- [2]李霁清.住宅建筑设计中基础设计的分析研究[J].居舍,2023,(18):97-99.
- [3]王振源.房屋建筑设计中的基础设计分析[J].佛山陶瓷,2023,33(06):93-95.
- [4]王庆晓.民用建筑设计中的基础设计研究[J].陶瓷,2023,(01):110-112.
- [5]姬琴琴.房屋建筑结构地基基础工程相关控制技术研究[J].建材发展导向,2022,20(24):29-31.