

高层建筑大直径桩基承载特性及桩基沉降变形控制措施研究

王文明

山东昌舜岩土工程有限公司 山东 济南 250000

摘要：随着高层建筑物高度不断提升，建筑上部荷载持续增大，大直径桩基凭借承载力强、入土深度大、整体稳定性好等优势，成为高层建筑基础施工的主流形式。本文围绕高层建筑大直径桩基的承载特性与沉降控制问题展开系统研究，从地质土层条件、桩体设计参数深入剖析引发桩基沉降变形的各类影响因素与常见病害成因。并结合工程管控逻辑，从前期勘察设计、精细化施工、桩体土体加固、全过程质量管控等方面，提出一套完整的沉降变形控制技术措施。

关键词：高层建筑；大直径桩基；承载特性；桩基沉降；变形控制

引言

在实际工程建设过程中，大直径桩基的受力机制更为复杂，桩侧阻力与桩端阻力的发挥状态容易受到场地地质变化、设计方案差异、现场施工水平等因素干扰，桩基沉降变形问题始终是基础工程管控中的重点和难点。很多建筑出现的结构开裂、墙体变形、构件错位等病害，根源大多来自桩基沉降超标或沉降不均匀。现阶段行业内针对桩基承载力的研究较为成熟，但针对大直径桩基沉降机理的系统性梳理、全过程防控体系的研究仍存在补充空间

1 高层建筑大直径桩基沉降变形影响因素及病害分析

1.1 桩基沉降变形主要类型

(1) 瞬时沉降，也属于桩基加载初期产生的弹性沉降。这种沉降主要出现在桩基承受上部结构荷载的瞬间，土体在竖向压力作用下发生即时的弹性压缩位移。该变形产生速度快，变形数值相对较小，主要来源于桩身自身的弹性压缩以及桩周土体的瞬时剪切形变^[1]。瞬时沉降一般在施工加载阶段就会完成，整体变形具备可逆性特征，不会随时间持续发展，是高层建筑桩基最基础的沉降表现形式。(2) 固结沉降，也是大直径桩基长期沉降的主要组成部分。桩基持续承受竖向荷载后，桩端深层土体内部的孔隙水会逐步排出，松散土体结构会慢慢压实固结。大直径桩基桩端受力面积大，对深层土体的压缩作用更为显著，土体固结过程周期更长。这类沉降发展速度缓慢，延续时间久，是桩基投入使用后长期沉降的核心诱因，也是影响高层建筑整体沉降稳定性的关键因素。(3) 次固结沉降，属于土体蠕变引发的滞后变形。在土体固结基本完成后，土体骨架依旧会在长期

恒定荷载作用下，产生缓慢的塑性流变形变。该类沉降不受孔隙水压力变化影响，主要由土体自身的蠕变特性导致。大直径桩基荷载作用持续且稳定，会加剧土体的长期蠕变效果，这类变形数值偏小但持续时间极长，容易造成建筑后期出现不均匀沉降，影响建筑结构的整体平整度与使用安全性。

1.2 地质土层参数对沉降的影响

(1) 土层压缩性是影响桩基沉降最核心的参数。天然土体内部普遍存在孔隙结构，压缩性较高的土层在长期竖向荷载作用下，土体孔隙会逐步被挤压闭合，整体土层体积出现收缩，最终引发明显的桩基沉降现象。大直径桩基的受力覆盖范围更广，对桩周及桩端土体的压缩作用更为均匀且强烈。高压缩性土层分布厚度越大，桩基完成固结沉降需要的时间就越久，最终产生的沉降总量也会随之增加。(2) 土层密实度与承载力强弱，同样会左右桩基的沉降稳定性。密实度较高的土层，土体颗粒排列紧密，整体结构稳定性更强，在外力荷载作用下产生的形变幅度极小。对应的桩基沉降量整体偏低，变形状态也更加稳定。反之，松散度较高的土层整体承载能力薄弱，受力后容易出现颗粒滑移与结构重组。这类土层无法有效抵抗上部荷载带来的挤压作用，会让桩基出现持续性的沉降变形。(3) 土层含水率与孔隙特征也会间接影响沉降发展趋势。土体内部水分含量过高，会降低土颗粒之间的摩擦力与粘结力，削弱土层整体的抗变形能力。在外荷载持续作用下，含水土层会出现排水固结的过程，进而产生持续性的压缩沉降。同时，土层分布的均匀性也不容忽视。场地土层如果存在软硬交替、层厚不均的情况，会让桩基不同位置的受力支撑效

果失衡,极易引发不均匀沉降。这类沉降问题对高层建筑的结构稳定性危害极大,也是桩基变形管控中需要重点关注的地质因素。

1.3 桩体设计参数对沉降的影响

(1) 桩径的大小会直接改变桩基的受力接触面积,进而影响沉降变形效果。大直径桩基凭借更大的桩身截面,能够有效分散上部结构传递的竖向荷载,降低桩端土体承受的单位压力^[2]。在同等荷载条件下,合理增大桩径可以提升桩端的承载能力,减少土体压缩变形产生的沉降量。如果桩径设计取值偏小,桩基承载储备不足,土体承压应力会大幅提升,后续固结沉降和塑性变形会更加明显。(2) 桩长参数对桩基沉降的调控作用同样十分关键。桩身入土深度的增加,可以让桩基穿过浅层稳定性较差的土层,将荷载传递至深部力学性能更优的持力层。更长的桩身能够充分发挥桩侧摩阻力的作用,分担桩端土体的承载压力,有效弱化桩端土层的压缩变形。浅层短桩设计会过度依赖桩端承载力,土层压缩变形集中,整体沉降数值会显著增大,无法满足高层建筑的沉降控制标准。(3) 桩间距的设计合理性,会影响群桩基础的叠加沉降效应。多根桩基共同承担上部荷载时,桩体间距过小会让桩间土体应力相互叠加,形成应力集中区域。土体承受的复合压力大幅提升,会加剧整体土层的固结压缩,引发群桩基础的整体沉降偏大问题。合理的桩间距设计可以规避应力叠加带来的负面影响,保证每根桩基独立发挥承载作用。(4) 桩身刚度的设计匹配度也会间接影响沉降均匀性,刚度适配土层条件的桩基,受力变形更加均匀。刚度失衡会造成桩身局部形变差异,诱发桩基不均匀沉降,长期作用下会影响高层建筑整体结构的安全稳定性。

2 高层建筑大直径桩基沉降变形控制措施

2.1 前期勘察与桩基设计优化措施

前期勘察与桩基优化设计是从源头控制大直径桩基沉降变形的核心手段,也是高层建筑基础工程质量管控的前置关键环节。多数桩基后期出现的沉降超标以及不均匀变形问题,大多源自前期场地勘察数据不够精准以及设计参数匹配度不足的问题。通过精细化勘察工作和科学化设计优化,可以从根本上降低桩基沉降隐患,提升基础结构的整体稳定性。(1) 工程场地勘察工作是桩基设计的基础依据,必须做到全面细致且数据真实可靠。勘察阶段需要系统探明场地内部各土层的分布状态,精准获取不同土层的物理力学指标。工作人员需要逐层核查土层的密实程度 压缩特性以及含水状态,准确区分软弱夹层和不均匀土层的分布范围。同时全面掌握

地下水的埋藏条件和动态变化规律,充分预判水文环境对后期土体固结沉降的影响。精准的勘察数据能够帮助设计人员清晰掌握场地地质短板,避免因地质判断偏差造成桩基选型和参数设计不合理的问题。(2) 基于精准的勘察成果开展桩基设计优化,是实现沉降可控的核心步骤。设计人员需要结合高层建筑的荷载等级和场地地质条件,科学选配桩基的基础形式。合理确定大直径桩基的桩径 桩长以及有效入土深度,保证桩端能够稳定落在力学性能优良的持力层当中,最大限度利用深部土层的承载优势,削弱土体压缩带来的沉降变形。(3) 设计阶段还需要合理规划群桩布局,科学把控桩体间距与整体布桩范围。规避桩间应力叠加引发的附加沉降问题,保障各桩基受力均匀且荷载分配合理。针对场地存在的软弱土层、土层分布不均等不利条件,设计环节可以提前调整桩体参数,平衡整体基础的受力变形状态。

2.2 精细化施工工艺控制措施

(1) 在桩基成孔施工阶段,需要严格把控成孔的垂直度与孔径稳定性。大直径桩基成孔深度大、孔径尺寸广,施工过程极易对周边土体结构产生扰动。施工操作需要保持施工参数的稳定性,避免机械作业幅度波动造成孔壁坍塌或者土体松动的情況^[3]。尽量减少对桩周原状土结构的破坏,维持土体原有的密实度与力学性能,防止土体松动引发后期压缩沉降。同时需要规范清孔作业流程,分阶段完成孔内残渣清理工作,严格控制桩端沉渣厚度,沉渣过厚会大幅降低桩端承载能力,加剧桩基的竖向沉降幅度。(2) 混凝土灌注环节的工艺把控,直接决定桩身整体强度与结构完整性。施工过程需要保障灌注作业的连续性,杜绝中途停顿造成桩身夹渣、断桩以及分层离析等质量缺陷。合理控制混凝土的灌注速度与导管理深,保障桩身混凝土能够均匀密实成型。完整密实的桩身结构可以均匀传递上部荷载,避免桩身局部强度不足出现形变压缩,有效降低桩基自身形变带来的沉降增量。(3) 施工阶段还要注重保护桩周土体的原始结构。施工过程中要规避大范围土体浸水、机械碾压扰动等问题,减少土层力学参数的人为衰减。严格遵循规范化的成桩养护流程,保障桩身混凝土强度稳步提升,让桩基在投入受力前达到设计承载标准。通过全流程精细化施工管控,可以最大程度规避人为施工缺陷造成的沉降隐患,有效提升大直径桩基的成型质量与长期变形稳定性。

2.3 桩端、桩侧加固改良技术措施

(1) 桩端加固改良是抑制桩基竖向沉降最直接的技术手段。大直径桩基的桩端承担着上部结构的大部分

荷载,桩端持力层的密实度与整体强度,对最终沉降量起到决定性作用。针对桩端土体松软、孔隙较大、承载力不足的问题,可以通过专业加固技术填补土体内部空隙,压实松散的土层结构。经过加固处理的桩端土层,整体压缩性会显著降低,土层抵抗竖向压力的能力能够得到大幅提升。可以有效减少荷载作用下的土体固结压缩变形,避免因桩端土体软弱引发的持续性沉降问题,大幅提升桩基端部的承载稳定性。(2)桩侧土体加固同样不可或缺,能够显著优化桩侧摩阻力的发挥效果^[4]。桩侧土体如果结构松散、强度偏低,会导致桩身与土体之间的接触作用力不足,桩基整体受力状态失衡。对桩侧周边土体进行改良加固,可以让桩周土体结构更加密实,提升土体与桩身接触面的粘结强度。稳定可靠的桩侧摩阻力能够分担更多上部竖向荷载,减轻桩端土层的承压压力,间接弱化桩端土体的压缩形变,有效控制整体沉降的发展幅度。通过桩端与桩侧双向加固改良,能够全方位优化桩土受力体系。这类技术措施可以弥补天然地质条件存在的先天缺陷,解决常规施工手段无法改善的土体性能短板。既可以规避土体扰动带来的沉降隐患,也能提升大直径桩基长期服役过程中的变形稳定性,最大限度控制桩基整体沉降量和不均匀沉降问题,满足高层建筑对基础变形精度的严苛要求。

2.4 桩基施工质量全过程管控措施

(1)施工前期的质量准备管控,是筑牢桩基施工基础的首要环节。正式开工前需要全面核对场地勘察资料与桩基设计参数,结合现场实际条件调整施工方案,排查施工设备的运行状态。同时做好施工技术交底工作,让施工人员充分掌握大直径桩基的施工标准和质量要求,明确各岗位的质量管控职责。提前排查场地土层、地下水等潜在影响因素,提前制定对应的防控预案,从源头规避准备工作不到位引发的施工质量问题。(2)施工中的动态质量管控是整个体系的核心部分。在成孔、清渣、钢筋笼安装、混凝土灌注等各个核心工序中,需要落实实时监督与标准化作业要求^[5]。严格把控成孔深度、孔径规格以及孔底整洁度,杜绝沉渣堆积、孔壁扰动等质量缺陷。规范钢筋笼安装的位置与固定标

准,防止钢筋偏移影响桩身结构强度。全程监控混凝土灌注的施工节奏,保证桩身浇筑均匀密实,杜绝各类结构性缺陷。每一道工序完成后都需要开展质量自查,确认合格后方可进入下一施工环节。(3)施工完成后的验收与养护管控同样不可忽视。桩基成桩后需要严格按照规范开展养护工作,保障混凝土强度稳步增长,避免早期受力引发桩身变形。同时落实完工质量检测工作,全面核查桩身完整性和桩基施工质量,及时发现并整改隐蔽性质量问题。通过前期筹备、中期管控、后期验收的闭环管理模式,彻底规避施工质量隐患,有效控制桩基沉降变形,保障高层建筑桩基工程长期稳定运行。

结语

总之,桩基沉降控制属于系统性工程,无法依靠单一技术手段实现根治,必须坚持源头治理、过程管控和后期保障相结合的原则。在未来的高层建筑桩基工程建设中,需要持续优化设计方案,严格落实标准化施工流程,不断完善土体加固技术与质量管控体系。通过全方位提升大直径桩基的成桩质量与承载稳定性,有效抑制沉降变形发展,保障高层建筑工程长期安全、稳定、可靠运行,为高层基础工程的标准化、精细化建设提供技术支撑。

参考文献

- [1]肖立,杜风雷,赵铭睿,等.大直径超长嵌岩桩承载及变形特性现场试验研究[J].岩土工程学报,2026,48(5):1101-1110.
- [2]陈春秋.现代高层建筑抗浮水设计与桩基础选型研究[J].居业,2026,(1):126-128.
- [3]陈泳全.深厚软土地基新型复合桩基承载特性与沉降控制研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026,(1):021-024.
- [4]康衡珍,吴荣吉.大直径深长桩基水下混凝土浇筑施工工艺优化及质量控制措施[J].工程建设与设计,2026,(9):166-168.
- [5]于文华.承台桩PHC管桩竖向承载特性与稳定性研究[J].水利与建筑工程学报,2026,24(1):50-56+165.