 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i6.10633

Settlement Deformation Law and Prevention Measures of High-rise Building Foundation

Kezhi Shi

Middling Coal Jiangnan Construction Development Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510170, China

Abstract

Due to their large self-weight, deeply buried foundations, and sensitivity to differential foundation settlement, high-rise buildings place a significant emphasis on controlling the settlement of their foundations during architectural design and construction. This paper summarizes the development process and causes of foundation settlement in high-rise buildings. It elucidates the factors leading to foundation settlement by discussing the compressibility of foundation soil, the load effects on the upper structure of the building, changes in groundwater levels, and the impact of adjacent construction activities. Subsequently, based on practical experiences, corresponding preventive measures are proposed during the survey and design phase, construction phase, and operational phase. These measures include adopting appropriate foundation forms and bearing strata, limiting the load during construction, establishing settlement observation points, and promptly adopting grouting methods for treatment. The research results indicate that the foundation settlement of high-rise buildings can be divided into three periods: instantaneous settlement, primary consolidation settlement, and secondary consolidation settlement. Controlling differential foundation settlement is crucial for ensuring the safety and reliability of buildings.

Keywords

high-rise building; foundation; settlement deformation; differential settlement; prevention and control measures

高层建筑地基基础沉降变形规律与防控措施

史可志

中煤江南建设发展集团有限公司，中国·广东 广州 510170

摘　要

高层建筑由于自重较大、基础深埋且对地基差异沉降十分敏感，在其地基基础沉降控制方面是建筑设计施工的重点内容。本文总结归纳了高层建筑地基基础沉降的发展过程及其原因，通过对地基土体压缩性、建筑物上部结构荷载作用、地下水位的变化以及邻近工程施工的影响进行阐述来说明导致高层建筑地基基础沉降的原因。然后结合实际分别在勘察设计期、施工期以及使用期间提出相应的预防对策措施，如采用合适的基础形式和持力层、限制施工过程中荷载大小、建立沉降观测点并及时采取注浆方法处理等。研究结果表明，高层建筑的地基沉降可分为三个时期，即瞬时沉降、主固结沉降和次固结沉降。而控制地基差异沉降则是保证建筑物安全可靠的关键。

关键词

高层建筑；地基基础；沉降变形；差异沉降；防控措施

1 引言

随着城市化进程的不断加快，高层建筑成为城市发展的主要形式。建筑物的高度不断提高给地基基础带来更大的压力以及对地基基础沉降量的要求。而地基基础是建筑物的基础部分，它承受着上面建筑物的重量及作用在其上的各种荷载，它的沉降特性会影响到建筑物的安全性和正常使用功能等。从实际工程来看，大量的工程问题都是由地基基础沉降所引起的，轻则造成墙体裂缝、管道破裂等问题，严重时会导致建筑物发生倾斜或者倒塌。而在高层建筑中，地基基础沉降的问题更严重，主要原因是：其一，高层建筑的竖向荷载很大，地基中的土体受到很大的额外压力，产生很大的压缩变形；其二，高层建筑对于不均匀沉降较为敏感，很小程度的不均匀沉降就会给建筑带来很大的额外内力；其三，高层建筑的基础埋得很深，在施工过程中会有大量的土方被挖出后又重新填入，这样使得沉降预测变得非常困难。近年来，国内外对于地基沉降的研究较多，在沉降计算方法、数值分析手段以及监测技术等方面都取得了一定的进步与发展。但是由于地基土壤性质非常复杂且施工过程复杂，导致沉降机理尚未完全弄清楚，实际工程中经常出现预测沉降量与实际情况不符的情况。因此研究高层建筑地基基础沉降变

【作者简介】史可志（1989–），男，中国安徽亳州人，本科，工程师，从事地基基础研究。

形的原因并采取有效的措施进行预防具有重要的现实意义。

2 高层建筑地基基础沉降变形的内在规律

2.1 沉降变形的时空演化特征

高层建筑地基基础沉降变形具有明显的时间性和空间性特点。从时间上看，沉降可分为三个时期：瞬时沉降发生在加载瞬间，是由于土体骨架发生弹性变形以及土中气体被压缩，瞬时沉降量较小且较快，在施工加载几个小时内结束；主固结沉降是沉降的主要部分，伴随着土中孔隙水逐步消散，水慢慢排出，土体体积随之减小而产生的沉降，这个过程较长，和土壤类型及排水条件有关，对于粘性土地基来说，主固结可能需要几年时间；次固结沉降发生于主固结之后，土体在恒定的有效应力作用下由于土颗粒重新排列以及结合水薄膜变薄而导致的一系列蠕变变形，次固结沉降速度很小但是时间很长 [1]。从空间上看，沉降在平面上表现为盆状分布，建筑物中部下沉最大，向外逐渐减小；而在竖直方向上，附加应力随着深度递减，靠近表面的土层对沉降的影响较大，而在深厚软弱土地区，深层土体的压缩也不容忽视。

2.2 差异沉降的形成机理

差异沉降是高层建筑地基基础最重要的一个控制项目，而造成差异沉降的原因主要有以下三点：第一，由于地基中各土层分布不均匀，使得不同位置地基土压缩模量不同，在天然地基情况下，由于持力层厚度或者性质的变化，会导致建筑物不同柱下基础沉降量不同；第二，上部结构荷载分布不均匀也会引起差异沉降，在高层建筑中，一般核心筒所受荷载较大，而外围框架柱所受荷载较小，因此荷载大小不同就会造成沉降不同；第三，施工顺序以及加载速度对差异沉降也有影响，在施工过程中如果主楼和裙房、地下室等不同部位施工时间不同步，则会对地基产生一种非均匀、逐步加载的过程，如果处理不当很容易造成主裙楼交接处出现较大的沉降差。当差异沉降过大时会使得上部结构受到额外弯矩以及剪力的作用，严重时会造成结构裂缝甚至倒塌。

2.3 不同基础型式的沉降响应差异

高层建筑一般采用筏板基础、箱型基础以及桩基础等几种基础形式，而不同基础形式所对应的沉降机理存在很大区别。筏板基础、箱型基础属于浅基础，其沉降主要是由于地基土体整体压缩，沉降较大且易于受到地基土质的影响。箱型基础由于自身刚度较大并且有较好的补偿作用，在一定程度上可以起到减少差异沉降的作用，但是不能完全消除。桩基础则是把荷载传到较深部位更硬一些的土层或者岩石上从而大大减少了总的沉降量，对于摩擦桩来说，其沉降主要是由桩本身压缩以及桩周土体剪切引起的，而对于端承桩而言，则是以桩底以下土层压缩为主。如果采用桩筏或者桩箱联合基础，那么桩土相互作用使得沉降更加复杂，桩间土承受一部分荷载的同时也进行着沉降，合理分配桩土之间荷载才是最有效的措施来减小沉降。

3 高层建筑地基基础沉降变形的主要影响因素

3.1 地基土体物理力学性质的影响

地基土体工程性质是造成沉降变形的主要原因。由于各种土质不同，其压缩性能差别很大：砂类土透水性强，在施工期内大部分固结沉降已完成，工后沉降较小；而粘性土尤其是软粘土透水性差，固结较慢，次固结明显，易产生较大工后沉降。土体压缩模量及变形模量反映土体抵抗压缩变形能力，模量越大，在相同荷载下产生的沉降就越小；另外，土体受力历史对沉降也有很大影响，正常固结土受到附加压力后立即发生压缩，而超固结土则是先略有膨胀再压缩；土层分布情况也非常重要，均匀地层沉降易于确定，但当有多种地层时，由于不同地层之间相互影响使得沉降计算变得困难，其中软弱夹层往往是沉降控制关键。

3.2 上部结构荷载与基础刚度的耦合作用

上部结构传来的竖向荷载是沉降产生的主要原因，其大小、位置以及施加的方式会影响沉降程度。荷载越大，地基附加应力就越大，压缩层越厚，沉降也就越大。荷载的位置不同会造成地基内应力的不同分布，在集中荷载作用下地基内应力衰减较快但是峰值较高，在均布荷载作用下地基内应力较为平缓但是影响范围较广。而基础的刚度起到连接上下的作用 [2]。刚性基础可以把上部荷载较好地向地基传递，使地基反力比较均匀，减少差异沉降；柔性基础易发生弯曲变形，对于地基土质的不均匀更敏感。现实中大多数的基础介于这两者之间，在满足承载力的前提下使基础具有适当的刚度以适应地基条件，这是控制沉降的关键。

3.3 地下水渗流与相邻施工扰动

地下水位的变化对地基沉降有很大影响。地下水位下降会使土体有效应力增大，类似于上部加载而发生压缩变形，在一定区域内地下水位长期下降会引起较大范围的地表下沉，从而造成高层建筑物沉降；而地下水位上升会使土体强度降低，尤其是遇水易软化的土层。在进行基坑降水过程中，由于水位骤降所造成的沉降不容忽视，如果降水措施不合理会造成附近建筑物倾斜甚至管道破裂等问题。另外，在城市发展中不可避免存在邻近基坑开挖卸载、盾构隧道通过以及打桩振动挤土等因素，这些因素都会对面临基坑上方的高层建筑物产生附加变形。深基坑开挖使坑底卸载回弹，坑外土体向坑内移动造成邻近建筑物桩基负摩阻力或者附加沉降；而盾构法施工由于产生地层损失及卸载作用也会引起地面出现一个下沉槽，对于位于该下沉槽中的建筑物形成安全隐患。

4 高层建筑地基基础沉降变形的系统化防控措施

4.1 勘察设计阶段的主动控制措施

勘察设计阶段是沉降控制的关键，需做好以下三项工作。第一，开展详细岩土工程勘察工作，增加勘探点数量，

在地层变化大的地方增加勘探孔的数量，在得到土体各项物理力学性质的基础上，还要注意土体应力历史以及地下水位等因素的影响，为后续沉降计算提供准确依据。第二，正确选择基础形式及其所依托的土层条件，在软弱土层较厚的场地宜采用桩基础或者复合地基，使桩端位于较硬土层上；对于荷载差异较大的建筑物，可以利用变刚度调平思想，通过改变桩长、桩径或桩距来达到各部分沉降基本一致的目的。第三，进行多种工况下的沉降分析和预测，可以运用分层总和法、弹性理论法以及有限元数值模拟等多种方式进行比较分析，考虑施工过程中的加载方式和时间效应，在此基础上留出一定的沉降空间，在结构设计中采取设置后浇带、加大连接部位柔性等手段以适应可能发生的沉降变形。因此，勘察设计阶段必须树立“主动控制”的理念，将沉降风险防范的关口前移。只有充分认识地质条件的复杂性与荷载分布的差异性，才能从源头制定出既安全又经济的沉降调控方案。

4.2 施工阶段的动态调控措施

施工期要贯彻动态管理理念，依据检测到的实际沉降情况及时调整施工方案。基坑开挖时应限制降水深度以及速度，在基坑内部进行降水的同时，在外围采取回灌的方法以保证地面以下的水位基本保持不变；对于深大基坑需设置止水帷幕隔断基坑内外部水分流通路径。施工期间施加荷载的速度也会影响主要固结沉降量大小，在软土地基上施工时应采用分阶段施加荷载的方式，每次施加荷载之后等到沉降趋于平稳后再继续下一阶段荷载施加，让土壤有充足的时间进行排水固结，防止过早施加大荷载造成地基破坏或者沉降过大[3]。后注浆可以有效抑制工程竣工后沉降的发生，在地下室底板施工结束后或者建筑物完工后可进行注浆作业，利用浆液填充土壤中的空隙以及紧邻土壤颗粒之间的小缝隙进而增强地基的整体性和刚性，而且施加的压力还会起到一定的抬升作用，可以弥补由于前期不均匀沉降造成的损害。施工过程中还应在现场设立观测点，按照相关规定的要求定期检查，绘制出荷载—沉降—时间关系图，以便尽早发现问题。施工期的每一寸沉降数据，都是地基与建筑之间无声的对话。只有听懂这种对话并及时作出回应，才能让脚下的土地稳稳托举起地上的万千楼宇。

4.3 运营维护阶段的长期监测与维护

建筑使用后运营管理期是沉降控制的延续，也是保证建筑物使用寿命的重要环节。长期沉降观测应根据建筑类别及地基情况决定观测周期。一般情况下，一类高层建筑需观测到沉降基本趋于稳定方可停止观测，这通常需数年时间。观测次数应随着沉降速度减小而减少，但遇到地下水位剧烈变化或者附近有大量施工时，应及时增加观测频率。观测成果整理应建立沉降数据库，绘制沉降线图以及时间—沉降关系图；采用双曲线法、指数曲线法等经验公式预测最终沉降值及残余沉降量，以此来判断建筑是否达到基本稳定状态。当地基为厚层软黏土地基时，次固结沉降可能长达几十年甚至更长时间，需对其进行跟踪观测。对于已经出现超限沉降或不均匀沉降的情况，应从原因出发进行相应的治理工作。地基注浆加固主要是针对土体压缩过大的情况；千斤顶顶升纠偏用于解决由于不均匀沉降造成的建筑物倾斜问题；增设锚杆静压桩则用于沉降尚未稳定的情况。在临近高层建筑新建工程施工之前，要对其影响范围和影响程度进行评估，必要时对现有建筑物基础采取打设隔离桩、加固或者预注浆等防护措施。沉降观测不是竣工后的收尾工作，而是贯穿建筑全生命周期的“健康守夜人”。每一次数据的采集、每一条曲线的绘制，都是对建筑未来几十年甚至上百年安全使用的郑重承诺。

5 结语

高层建筑地基基础沉降是一个涉及土力学、结构力学及施工技术等多个学科，受综合影响因素的问题。研究表明，高层建筑地基沉降具有“瞬时沉降—主固结沉降—次固结沉降”的发展过程；而且对于高层建筑物，差异沉降比总沉降更重要。有效的控制措施需要贯穿整个工程建设过程，即在勘察设计中注重事先预测并合理选择；在施工期间加强现场监控，严格限制其速度；在使用期内持续关注，及时采取应对措施。这三方面的内容环环相扣、逐级递进，构成了一个完整的管理体系。未来的工作重点应在提高预测准确性、改进土体本构关系方面下功夫，并研发相应智能化监测报警装置来保障超高层建筑安全使用。

参考文献

[1] 梁松廷,王方玉.超高层建筑岩土勘察与伪劣地基基础材料隐患及质量控制研究[J].中国品牌与防伪,2026,(08):205-207.

[2] 刘震.超高层建筑地基基础静载变形检测技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(14):55-57.

[3] 王亚楠.高层带裙房建筑的地基基础优化设计研究[J].科技资讯,2025,23(12):110-112+116.