

高层建筑与裙房差异沉降控制探讨

熊凯

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

摘要: 进入二十一世纪以来, 随着城市化进程的不断加快, 高层建筑越建越高, 超高层建筑比比皆是, 裙房越建越大, 解决主楼与裙房之间的沉降差异成为工程设计的重中之重。论文着重从设置沉降缝、沉降后浇带、减小主楼沉降(采用后注浆钻孔灌注桩)、加大裙楼沉降、调整筏板刚度和桩刚度、选择良好桩端持力层、严控施工质量、跳仓法施工等方面介绍主楼和裙房之间的差异沉降措施。

关键词: 沉降后浇带; 沉降缝; 差异沉降; 变刚度调平; 桩端持力层; 跳仓法

Discussion on Differential Settlement Control between High-rise Buildings and Podiums

Kai Xiong

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract: Since the beginning of the 21st century, with the continuous acceleration of urbanization, high-rise buildings have been built higher and higher, and super high-rise buildings are everywhere. Podiums have been built larger and larger. Solving the settlement difference between the main building and the podium has become a top priority in engineering design. The paper focuses on introducing differential settlement measures between the main building and skirt building, including setting settlement joints, post grouting belts, reducing the settlement of the main building (using post grouting bored piles), increasing the settlement of the skirt building, adjusting the stiffness of the raft and pile, selecting a good pile end bearing layer, strictly controlling construction quality, and using the jumping method for construction.

Keywords: post settlement pouring belt; settlement joints; differential settlement; variable stiffness leveling; pile end bearing layer; jumping warehouse method

1 引言

随着社会的高速发展, 人们对房屋建筑的品质要求越来越高, 为了确保建筑物的质量和使用年限, 对建筑物的沉降差异控制显得尤为重要。根据近些年相关工程案例发现, 设置了沉降缝的建筑, 由于缝宽不够, 在地震后出现了两侧结构的碰撞破坏、由于主楼沉降过大, 主裙楼屋面连接处防水被拉裂的现象出现。没有设置沉降缝的建筑, 由于主裙楼差异沉降过大的问题, 在主裙楼部位的梁板出现拉裂裂缝, 严重影响工程安全。减小主裙楼的差异沉降, 对于结构安全、建筑美观意义重大。

2 高层与裙房沉降差处理办法

高层建筑大部分由主楼和裙房组成, 主楼、裙房的荷载、刚度都有很大差异, 导致基础的沉降变形差异也很大。所以, 高层建筑的设计必须考虑差异沉降的问题, 将差异沉降控制在规范允许范围内。降低结构差异沉降对结构的影响方法主要有以下几种: 设置沉降缝、设置沉降后浇带、变刚度调平, 控制主裙楼沉降差, 选择良好桩端持力层, 严控施工质量, 用跳仓法施工等。

2.1 设置沉降缝

设置沉降缝的设计要点是在主裙楼之间设置沉降缝,

将主楼和裙楼结构彻底脱开, 主楼基础埋深应该比裙楼基础埋深约 2m 左右。设置变形缝的优点: 设计思路清晰, 抵抗不均匀沉降导致内力变化可以忽略不计; 安全可靠, 消除沉降变形对建筑物的不利影响。缺点基础处的沉降变容易引起防水拉裂, 地下室漏水; 影响建筑物美观, 双梁、双柱、双墙给使用带来不便; 立面变形缝由于沉降变形拉裂影响美观。

2.2 设置沉降后浇带, 不设置沉降缝

当高层建筑主楼和相连的裙楼之间不设置沉降缝时, 应采取减小主楼和裙楼差异的措施。

减小主楼的沉降的技术措施有:

①采用压缩模量较高的中密以上砂类土或卵石层作为地基持力层, 厚度一般不小于 4m, 并较均匀且无软弱下卧层。

②主楼采取整体式基础, 并通过“挑边”等技术措施, 适当扩大基础底面积, 减小基础附加压力。

③当采用天然地基效果不明显或经济性较差时, 主楼可采用地基加固方法, 以适当提高地基承载力并减少沉降量。

④当采用地基加固方法效果仍不理想时, 主楼可采用桩基础(如钻孔灌注桩, 并采用后压浆技术, 当仅为减少主楼沉降时, 也可采用减沉复合疏桩基础等), 以提高地基承

载力和减少沉降量。

适当加大裙楼沉降的技术措施有：

①裙楼基础采用整体性较差、沉降量较大的独立基础或条形基础，不宜采用满堂基础。

②当地下水位较高时，可采用独立基础加防水板或条形基础加防水板，防水板下（局部）应设置软垫层。

③应严格控制独立基础或条形基础的底面积不宜过大。

④裙楼部分的埋置深度可小于主楼，以使裙楼地基持力层土的压缩性高于主楼地基持力层的压缩性。

⑤裙楼可以采用和主楼不同的基础形式，如主楼采用地基处理或桩基础，裙楼采用天然地基（注意，可不执行 GB50011《建筑抗震设计规范》第 3.3.4 条的规定，以满足差异沉降控制要求为第一需要）。

当前一般高层建筑的地下室层数，有愈来愈多的趋势，4 层地下室已经不罕见。高层建筑的裙房，地面以上的层数，一般不超过 5 层，这样裙房部分的建筑物重量，往往小于其挖除土的重量。所以该部分建筑的沉降量，常仅为地基土的回弹再压缩。对北京第四纪中密以上的土，此值仅为 10~20mm 左右。对于高层部分的沉降量，如果层数较多或土质不是很好，常大大超过此值，如果不好好处理，两部分之间的沉降差将可能过大。所以，设计时应设法减小高层部分的沉降量，还应设法使裙房部分的沉降量不致过少。因为减小高层部分的沉降量的各种方法，如打桩、加固地基土等，常常是造价高、工期长，而设法增加基底面积的方法（如筏板四周向外多挑）对于较高的高层建筑，常不易奏效。所以，设法使裙房部分的沉降不致太少，是一个很重要的减小高低层之间沉降差的方法。有的设计，裙房做成筏板基础，既增加了造价又会使高低层之间的沉降差过大。因此，我们提倡在裙房部分优先选用独立柱基或条形基础，以减小该部分的基底面积，从而可以减小高低层之间的沉降差。

高层与裙房之间不设置沉降缝，则应设置后浇带，一般设于主楼与裙房交接处的裙房柱一侧，后浇带的浇灌时间一般在高层主体结构完工以后，但如有沉降观测，根据观测结果证明高层建筑之沉降在主体结构完工之前已经趋向稳定，也可以适当提前。

①后浇带做法：见图 1 设置于跨中 1/3 部位（弯矩和剪力都不太大的地方），带宽 800mm 左右，带内钢筋可以连通，混凝土后浇筑。后浇混凝土采用高一个标号的无收缩混凝土浇筑。

②此种后浇带应自基础开始，每层皆留。如果因为种种原因，后浇带不能留在跨中部位，则应注意对于梁的抗剪承载力的影响，必要时可在梁内该部位增设型钢以加强抗剪承载力。

③在施工图应注明，施工单位应将后浇带两侧的构建稳妥支撑，并注意由于留后浇带可能引起各部分结构的承载力问题和稳定问题。见图 2，说明由于设置后浇带，使

裙房挡土墙的侧压力不能传到高层主楼，可能导致工程事故的发生。

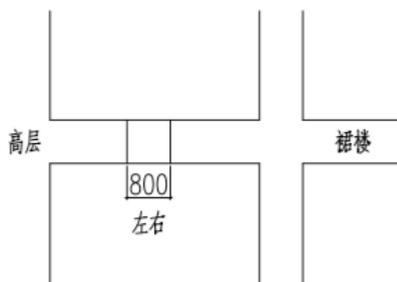


图 1 后浇带做法之一

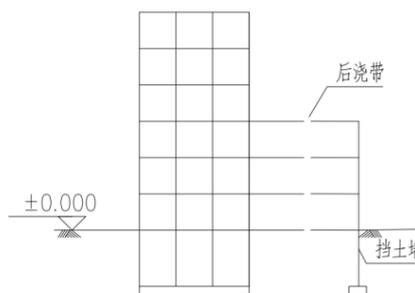


图 2 施工图中的注明

④由于建筑施工时间较长，因此后浇带存在的时间也较长。在此期间，施工垃圾掉入带内在所难免，施工带内垃圾应在浇筑前及时清理干净，避免影响后浇带浇筑质量。

⑤除了控制高低层之间的沉降差以外，还应加强裙房与高层连接的梁、板的构造，如梁的配筋上下等量，箍筋加密，增加腰筋等。

2.3 变刚度调平，控制主裙楼之间的沉降

①我司设计的天津滨海新区于家堡金融区起步区项目 03-21 地块，总用地面积 10600m²；总建筑面积 118492m²，其中地上 88900m²；容积率 8.4；地上 34 层，地下 3 层；总建筑面积 156.75m（见图 3）。本项目定位为中国一类商务写字楼，辅以商业配套。地块西北角是三十三层的主塔楼，总高 156.75m。主要功能是办公，避难层设在十九层。西南角是四层的商业裙楼。东南角是八层的裙楼，一、二、三、四层是商业，五至八层是餐饮，东北角是三、四层的商业裙楼。

②主塔采用内筒与外框架组成的框架—核心筒结构体系，最大柱距 12m，最小柱距 9m。核心筒由钢筋混凝土剪力墙构成，外框架主要由型钢混凝土框架柱与混凝土框架梁构成，楼盖为普通的钢筋混凝土梁板体系。外框架柱钢骨从基础延伸至 12 层（51.500m）。

主塔楼基础采用桩筏基础，采用 $\phi 800$ 钻孔灌注桩，桩端采用后注浆。由于核心筒下的竖向荷载较大，如果均匀布桩，则会出现核心筒区域与外围较大的差异沉降，即中间沉降大，外围沉降小，呈现蝶形差异沉降，超出高层建筑整

体倾斜的限制。加大筏板刚度的做法并不明显，并且会造成较大的浪费。为了避免产生碟形差异沉降，桩基采用变刚度调平设计。核心筒部分均匀布桩，桩长 53m；外框柱采用柱下布桩，桩长 48m。采用这种布桩方式加大了核心筒下的基础刚度，减小了核心筒的沉降，使整个筏板沉降趋于均匀。

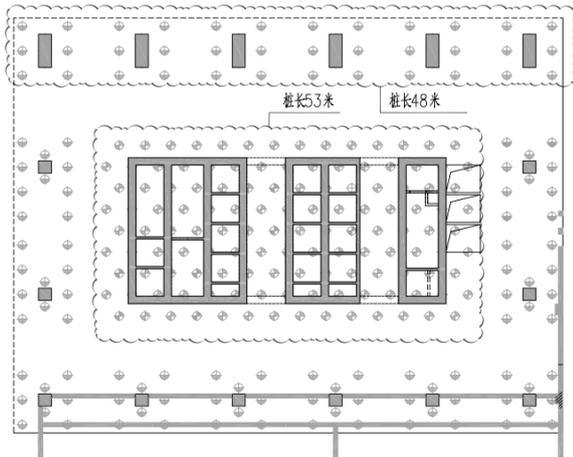


图 3 于家堡金融区

2.4 选择良好的桩端持力层

2.4.1 桩端持力层的选择

在桩基设计中，持力层的选择至关重要，事关安全问题、造价问题、施工进度问题，需兼顾考虑。

持力层应选择桩端阻力较高的土层，也可理解成较硬的土层，即使为摩擦桩，也要选择较好的桩端持力层。在实际工程中，桩基往往有多个可选择的持力层，持力层一般为粘性土、粉土、砂土、砾石土、碎石土、强风化岩、中风化岩等。

确定桩型后，先选择埋深较小的持力层，以最小布桩间距看是否满足承载力要求。不满足的话改换桩型或改换较深的持力层，反复比较，考虑承载力、施工可行性等各种因

素，没有固定的方法，只能在工程实践中逐渐积累经验。

2.4.2 桩端进入持力层的深度

桩基规范中规定的桩端进入持力层最小深度：

粘性土、粉土 2d，砂土 1.5d，碎石土 1d。桩端进入液化土层下稳定土层的深度，碎石土、砾石、粗砂、中砂、密实粉土、坚硬粘性土不小于 2~3d，其他非岩石土不小于 4~5d。

嵌岩桩嵌入倾斜的完整、较完整岩石深度不小于 0.4d 且不小于 0.5m。倾斜度大于 30% 的中风化岩，根据倾斜度及岩石完整性适当加大嵌岩深度。如烟台世茂 $\phi 1200$ 灌注桩，本要求按最低点进入微风化岩 0.5m，因无法判断最低点，改为按超前钻微风化岩标高进入 1.2m。嵌入平整、完整的坚硬、较硬岩不小于 0.2d 且不小于 0.2m。

在实际工程中，桩端进入持力层深度除满足最小深度外尚应考虑下列因素：

①为满足承载力要求，加大进入持力层深度。例如，南京河西中低价房桩基，桩长较大的桩进入中风化岩深度为 1m，桩长较小的桩进入中风化岩深度则为 2.5m、3m。

②桩端为中风化岩、微风化岩时，因施工速度较慢，在满足最小深度的前提下应尽可能小。例如，烟台世茂桩基，桩端入微风化岩，冲击成孔速度很慢，入 1m 需要 1d 的时间。再如南京河西中低价房钻孔灌注桩，控制桩端进入中风化岩深度不大于 3m，入岩 3m 需要 6h 以上。

③变刚度调平设计，如天津于家堡 Y-1-19 地块，核心筒下的桩比外围的桩加长 5m，意在加大核心筒下桩的抗压刚度，避免沉降的“锅底效应”，即核心筒下沉大于外围的沉降。

④如持力层下存在软弱下卧层时，需保证桩端下持力层厚度不小于 3d，否则易发生刺入式破坏，即桩的沉降突然增加。

⑤当遇溶洞时，保证桩端到溶洞顶面不小于 3d 及 5m，以防桩对溶洞顶板发生冲切破坏。

2.5 灌注桩施工的几个关键要求

2.5.1 沉渣厚度

桩基规范规定，钻孔达到预定深度，钢筋笼放置并清孔完成后，灌注砼之前，孔底沉渣厚度应符合下列规定：端承型桩：不应大于 50mm；摩擦型桩：不应大于 100mm；抗拔桩、抗水平力桩：不应大于 200mm。沉渣厚度大的话不仅影响阻力的发挥，也影响侧阻力的发挥，常用的桩端后注浆主要就是固化桩端沉渣问题。

2.5.2 超灌高度

泥浆护壁的灌注桩，砼是通过导管自下往上浇灌，顶部的砼是跟泥浆混在一起的，此部分砼达不到设计要求，如果砼灌到设计桩顶标高处停止的话，桩顶砼强度等级会大大低于设计强度等级，因此需要超灌不小于 0.8~1.0m，根据实际土层情况可能更大，原则是凿出泛浆后桩顶设计标高处

砼达到设计强度等级,超灌部分在施工承台前予以凿除。

长螺旋成孔的压灌桩因没有泥浆护壁,超灌高度不小于 0.3~0.5m。

干作业人工挖孔灌注桩,因顶部砼可采用插入式振捣器振实,如同上部结构砼的施工,不存在浮浆层的问题,可不超灌,只是顶面不平整时适当凿平即可。

2.5.3 充盈系数

充盈系数即灌注桩每根桩浇灌的砼量与桩孔体积之比,此系数如小于 1.0,则表明出现了缩径、夹泥的现象,桩身完整性出现了问题,因此此系数应不小于 1.0。不同的土质条件,不同的施工工艺,充盈系数差别较大。如南京河西中低价房灌注桩充盈系数在 1.1~1.15(软土中成桩),烟台世茂桩(采用冲击成孔桩径不规则)充盈系数在 1.2 左右,北京土质较好(一般为粉质粘土),充盈系数一般在 1.05~1.1。

2.5.4 混凝土试块

桩身砼强度等级的判断是根据室内标准试块的抗压强度进行的,桩身砼灌注的同时,应以相同台板的砼留取标准试块。

直径大于 1m 或单桩砼量超过 25m³ 的桩,每根桩砼留一组试件,其他情况每个灌注台班留一组试件。一组试件为 3 件,试件为标准 150mm 立方体,标准养护 28d,试验其抗压强度,用来判断桩身砼强度。非标准试件的抗压强度应乘以换算系数换算为标准试件抗压强度,200mm 立方体换算系数为 1.05,100mm 立方体换算系数为 0.95。

2.6 跳仓法施工

2.6.1 跳仓法概述

在大体积混凝土工程施工中,在早期温度收缩应力较大的阶段,将超长的混凝土块体分为若干小块体间隔施工,经过短期的应力释放,在后期收缩应力较小的阶段再将若干小块体连成整体,依靠混凝土抗拉强度抵抗下一段的温度收缩应力的施工方法。

2.6.2 跳仓法原理

根据结构长度与约束应力的非线性关系,即在较短范围内结构长度显著的影响约束应力,超过一定长度后约束应力随长度的变化趋于恒定,所以跳仓法采用先放后抗,采用较短的分段调仓以“放”为主以适应施工阶段较高温差和较大收缩,其后再连成整体以抗为主以适应长期作用的较低温差和较小收缩。跳仓间隔时间 7~10d。

跳仓法和后浇带的设计原则是一致的,都是“先放后抗”,只是后浇带改变成为施工缝。后浇带法没有利用混凝土的抗拉强度,偏于安全。

2.6.3 跳仓法优点

①仓间施工缝清理简易,混凝土结合有保证。利用仓间混凝土的浇筑时间间隔短、施工缝处混凝土强度较低,后浇仓的钢筋尚未绑扎完成之前,垃圾杂物较少,易于边施工边清理,这就有利于仓体间混凝土的结合。

②可将本工程原设计后浇带分割成的“大块”重新细分为较小的跳仓法“小块”,而“小块”“停滞”一定时间可释放本身的大部分早期升温收缩变形、减少约束,即先“放”;经过一定时间后,再合拢连成整体,剩余的降温及收缩作用将由混凝土的抗拉强度来抵抗,即后“抗”,做到“抗放兼施,先放后抗”,最后“以抗为主”的原则控制裂缝。

③跳仓法施工方法是以“缝”代“带”,其关键是“跳仓”间隔浇筑。底板、楼板及侧墙钢筋、模板、混凝土均可“小块”分仓流水施工,流水节拍缩短从而可缩短工期。

2.6.4 “跳仓法”以施工缝代替沉降后浇带可行性分析

施工缝代替沉降后浇带的前提条件是主楼沉降与地库沉降差不太大,主楼与地下车库相邻柱基差异沉降均小于 2L/1000(L 为相邻墙、柱基中心距离)。如果主楼采用的是桩基础,桩端持力层是中风化或微风化,施工质量控制较好或是采取了桩端后注浆处理,最后进行试桩时沉降较小,主楼和裙房之间的沉降差满足规范要求,则可取消沉降后浇带用施工缝代替,加强了建筑物的整体性。

3 结语

综上所述,为了减小主楼与地库沉降差太大造成的不利影响,设置沉降缝、沉降后浇带、减小主楼沉降、加大裙楼沉降、变刚度调平设计、选择良好桩端持力层、严控施工质量、跳仓法施工等方法都是需要考虑的诸多因素,我们在差异沉降控制的道路上任重而道远。

参考文献:

- [1] 程懋堃.创新思维结构设计:程懋堃设计大师文稿集[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 中国建筑设计院有限公司.结构设计统一技术措施[Z].
- [3] 王铁梦.工程结构裂缝控制:“抗与放”的设计原则及其在“跳仓法”施工中的应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.