

# 高层建筑结构

## 《地基基础》部分

湖南大学 王贻荪

一九八八年二月

## 编 者 的 话

根据《高层建筑结构设计》讲座的目的——为了提高广大设计人员的技术素质和设计水平，编者编写了针对高层建筑的“地基基础”讲座材料。

这份讲座材料由十部分组成。有关新规范（《建筑地基基础设计规范》）的要点安排在第二部分，此部分内容既适应于高层建筑，也适用于一般工业与民用房屋建筑。有关高层建筑的地基基础问题的材料，大多散布在各种专业期刊及书籍中，现按十一个专题收集汇编了这些材料，它们分别安排在第一部分及第三至第十部分，因涉及的书刊较多，故未一一列出它们的名称和作者。

由于付印匆忙，有关符号体系及编号，尽可能做了统一工作，但仍不完善；内容上也有不当之处，望读者指正为幸。

王 贻 荪

1988年2月

## 目 录

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 一、高层建筑的基础结构概述.....                         | 1   |
| 二、《建筑地基基础设计规范》(新规范)要点.....                 | 11  |
| 三、钢筋混凝土条形基础, 交叉基础, 片筏基础<br>及箱形基础的简化计算..... | 33  |
| 四、地基上梁和板分析的三种实用地基模型.....                   | 58  |
| 五、计算文克尔地基上梁的解析法.....                       | 65  |
| 六、用文克尔地基模型计算柔性基础梁的一些问题.....                | 82  |
| 七、弹性地基上梁板分析的链杆法.....                       | 96  |
| 八、弹性地基上梁的有限差分法及有限单元法.....                  | 113 |
| 九、片筏基础计算.....                              | 137 |
| 十、箱形基础计算.....                              | 151 |
| 十一、高层建筑的基础工程及地下连续墙的几个问题.....               | 175 |

## 一、高层建筑的基础结构概述

高层建筑的上部结构荷载很大，除采用特殊的基础型式外，一般的独立基础是不能满足技术要求的。常用的基础结构型式有：条形基础、片筏基础、箱形基础及桩基础。高层建筑设计中，常用到补偿性基础的概念以及地震区高层建筑的地基基础要点，有关内容也将在这部分介绍。

### （一）常用基础结构型式

条形基础是一般基础型式，且在以后的有关部分会另作介绍，这里只概述片筏基础、箱形基础及桩基础。

#### 1. 片筏基础

这种基础是在建筑物下面采用整片的钢筋混凝土基础，使其具有足够的刚度，可跨过局部软弱或易受压缩的地区。这种基础如不考虑利用挖去土的重量来补偿建筑物的荷载，则沉降较大。如上海展览馆的塔楼，采用这种基础目前已沉降2 m左右。

这种基础分平板式和梁板式两类。平板式片筏基础，可近似按无梁楼盖进行计算，地基反力假定均匀分布。梁板式片筏基础，当上部结构的刚度较大，地基为较均匀的高压缩性土层时，可假定地基反力在两个方向都按直线分布，根据静力平衡条件确定。如果通过调整底板的挑长度，使基础接近中心受荷时，亦可假定地基反力为均匀分布。

当上部结构的柱网接近方形，且在柱网单元内不布置次肋时，则梁板式片筏基础按井式楼盖进行计算。底板按多跨连续双向板计算；纵向肋和横向肋都按多跨连续梁计算。当上部结构的柱网呈矩形，柱网单元内又布置了次肋且次肋间距较小时，则梁板式片筏基础按平面肋形楼盖计算。筏基底板按单向多跨连续板计算；次肋作为次梁，按多跨连续梁计算；纵向肋作为主梁也按多跨连续梁计算。

片筏基础的四角及四边边区格上，地基反力较大，应加强配筋以免产生裂缝。

#### 2. 箱形基础

当高层建筑的上部结构荷载很大，地基软弱，片筏基础仍不能满足要求时，可用箱形基础。有时高层建筑亦需要地下室，做成箱形基础是很适宜的。

箱形基础大部分为补偿性基础，视其基底的实际平均压力的大小可分为全补偿性基础（基底的实际平均压力等于基底的自重压力）或欠补偿性基础，亦称部分补偿性基础（基底的实际平均压力大于基底的自重压力）。我国目前施工的层数较多的高层建筑大多都属于这类基础。

箱形基础由钢筋混凝土底板、顶板和纵横交错的隔墙组成一个空间整体结构，刚性很大，可减少建筑物的不均匀沉降。

箱形基础的计算方法有两种：

第一种方法，是把箱形基础看作绝对刚性的板，不考虑上部结构的共同作用用弹性理论确定地基反力和基础内力。计算顶板和底板时，考虑整体受弯和局部弯曲共同产生的内力。

第二种方法，是把箱形基础作为建筑物的一个地下楼层，不考虑箱形基础整体受弯作用，只按局部弯曲来计算底板内力。地基反力假定均匀分布，底板按倒楼盖计算，隔墙看作支座。顶板按支承在隔墙上的平面楼盖计算。

当箱形基础置于地下水位以下时，要重视施工阶段中的抗浮稳定性。所以施工中往往用钢板桩挡土，用轻型井点降低地下水位。上海施工的很多高层住宅都是这样施工的。如上海四平路12层高层住宅、上海北站康乐路12层高层住宅、上海华盛路13层高层住宅等皆如此。

### 3. 桩基础

桩基础亦是高层建筑常用的基础型式，尤其是在沿海一带软土地基地区应用更多，如上海、广州、深圳等地很多高层建筑都用桩基础。上海解放前施工的国际饭店、锦江饭店、华侨饭店等高层建筑都打的是木桩。近几年施工的上海宾馆、上海电信大楼、华亭宾馆、联宜大厦、荡公寓等高层建筑都是打的钢筋混凝土桩或钢管桩。广州的白天鹅饭店、广州花园酒店等高层建筑也采用了桩基础。

桩基础有预制桩、灌注桩和爆扩桩几种形式。近年来，在高层建筑中除预制桩（钢筋混凝土桩、钢管桩）大量应用外，大直径灌注桩的应用有扩大的趋势。国内外不少的高层建筑都采用了这种桩基础，广州和深圳的一些高层建筑也用了这种桩。

为减少沉降，采用桩基础时最好将桩打入硬持力层。为此，事先应做好地质勘探工作。

在大城市，采用长桩基础，会给后来的地下铁道建设带来困难。国外有的城市在这方面就有限制，如美国的休斯顿，就规定地面下18 m是最大深度。因此，比较著名的52层、高218 m的贝广场大厦亦只能建造18 m深的基础。

## （二）补偿基础概要

### 1. 基本概念

建筑物地基在基底附加压力的作用下，改变了原有的应力状态，便会出现与工程安全有关的变形和强度问题。不妨设想：假使基础有足够的埋深，使得基底的实际压力（扣除了可能有的浮力）等于该处原有的土体自重压力；亦即开挖基坑移去的土体重量，补偿（即替换的意思）了建筑物（包括基础及覆土）的全部重量。这样，就不会改变地基内原有的应力状态。此时，纵使地基极其软弱，似乎也无须担心会有沉降和剪切破坏的问题。这种设想，在理论上是成立的，但必须面对下述二个实际问题：

（一）一般的实心基础，不论埋得多深，开挖基坑移去的土重，始终还不够补偿基础及覆土的重量；

（二）任何建筑物总有一个施工的过程，在建筑物重量产生的基底压力与原有的土体自重应力之间，不可能直接地及时替换。如用开挖的方式建造基础时，地基必然要经历卸荷、再加荷的中间过程。在这一过程中，地基内的应力状态将产生一系列的变化，也就相应带来了各种需要加以研究的变形和强度问题。

上面第一个问题是不难解决的。例如只要基础或建筑物的地下部分具有中空、封闭的形式，免去大量的回填土，就可以用来补偿

上部结构的全部或部分重量。实际上，箱形基础或地上室的片筏基础，便是最理想的形式。

关于第二个问题，企图完全消除中间过程中地基应力状态的变化是不可能的。也就是说，不存在那种全无沉降和强度问题的理想情况。但是，现在已经可以在设计和施工上采取必要的措施，来减小施工过程中地基应力状态变化的程度，使之不产生有危害性的影响。这样做的结果，虽然建筑物不免还有沉降，但已大为减小；地基的强度安全，也很容易获得保证。达到上述目的的地基基础设计，可称为补偿性设计，这样设计的基础，称补偿性基础或浮基础。

补偿性基础的概念，早在上一世纪初就有人提出，但作为第一种比较完整和成熟的设计方法，则是在晚近几十年内逐步发展形成的。在这方面，A. 卡沙格兰德 (Casagrande)、L. 西瓦特 (Zeevaert) 及 H. Q. 哥尔德 (Golder) 等人在理论和实践上作出了重要的贡献。目前为止，国外已成功地在深厚的软土地基上采用补偿性基础建造了不少高层建筑物。

通常只是当需要在软土地基上建造较重的建筑物时，经过仔细的方案比较之后，才会考虑用补偿性基础的。软土具有许多不利的力学性质，如压缩性大、强度低、灵敏度高以及具有流变性等。进行补偿性设计时，必须通过土工试验充分掌握地基土的各种力学性质；同时还应具备比较完整的工程地质勘察资料。

## 2、应考虑的几个主要问题

### (1) 地基土压缩特性的考虑

考虑软土的压缩特性时，首先要判明土体是正常固结还是超固结的（欠固结土一般不能作为重大建筑物的天然地基）。它们的压缩曲线型式有明显的区别。对于处在某一深度  $D$  处的正常固结型软土，施加的压力  $P$  开始超过原有的自重应力  $\sigma_c = \gamma_p D$ ，便沿着很陡的压缩曲线压缩（图 1-1 曲线 A），显现出它的高压缩性。为了避免建筑物的大量沉降， $D$  深度处基底的实际压力（总的平均压力减去水的浮力  $\sigma_w$ ）不宜超过原有的自重压力  $\sigma_c$ 。（如图

1—2), 即满足:

$$p - \sigma_w \leq \sigma_c \quad (1.1)$$

对于超固结型的软土, 施加的压力超过了  $\sigma_c$ , 还存在一段再压缩曲线的平坦段 (图 1—1 曲线 B), 直至压力大于它的前期固结压力  $p_c$  之后才进入压缩曲线的陡坡段。因此, 基底的实际压力可以超过  $\sigma_c$ , 但要求满足:

$$p - \sigma_w \leq \sigma_c + \frac{1}{k} (p_c - \sigma_c) \quad (1.2)$$

式中的  $k$  是为了保证压力处于压缩曲线平坦段所需的安全系数, 西瓦特普建议采用 1.5~2.0。

基底实际平均压力等于  $\sigma_c$  时, 称全补偿基础; 小于  $\sigma_c$ , 称超补偿的; 大于  $\sigma_c$  为欠补偿的, 见图 1—2。如果正常固结土的压缩性并非十分高, 且具有一定的抗剪强度, 也可设计成欠补偿的。基础的埋置深度, 可根据所需的补偿压力来决定。

必须指出, 不仅欠补偿基础还会在地基中引起一定的附加应力, 存在变形和强度问题; 即使全补偿甚至超补偿的基础, 当遇到大风或地震时, 基础一侧的压力同样有可能超过补偿压力而在地基中引起附加应力。因此, 设计时有必要针对这些不利情况, 研究地基的强度稳定性和基础发生倾斜的问题。

## (2) 坑底土体的剪切破坏问题

补偿性基础的埋深一般都相当大, 在强度很低的软土中开挖深基坑, 除了必须设置坑壁围护系统 (如打设板桩) 维持坑壁的稳定外, 还必须排除坑底土体剪切破坏向坑内挤出的可能性。

随着基坑的向下开挖, 在坑底水平上, 内、外之间的压力差不断增大 (图 1—3), 开挖到一定深度时, 基坑底下的土体会因剪切破坏而向坑内挤出。于是坑底隆起, 坑外地面下沉, 如图 1—3 所示。如果基坑近旁有建筑物荷载时, 这种情况更易于发生, 而且势必危及这些建筑物的安全。此外, 地基土经过剪切破坏, 强度降

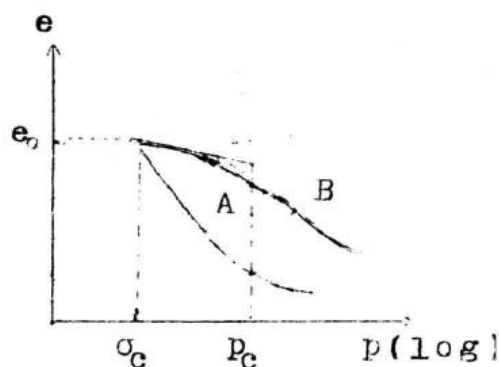


图 1—1 正常固结和超固结软土的压缩曲线

低，压缩性增高，若是高灵敏度软土，情况尤为严重。

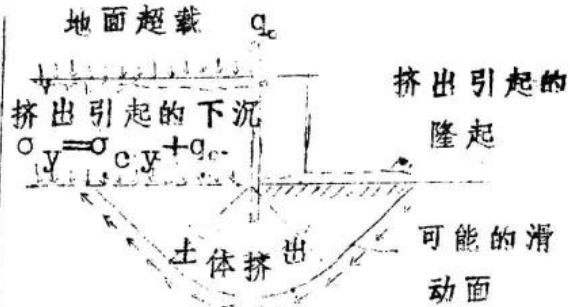
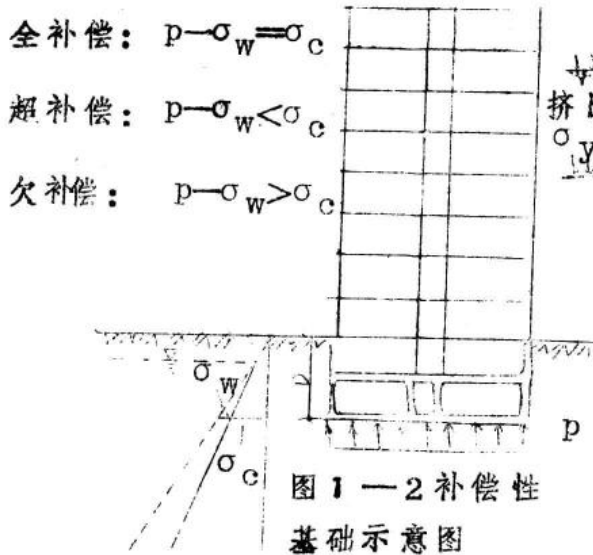


图 1—3 坑底土体的剪切破坏

为了防止坑底土体的剪切破坏，必须限制基坑的开挖深度，即按照地基极限承载力公式，计算出坑内、外容许的压力差，然后据此求出坑基的容许开挖深度。

### (3) 坑底回弹和随后沉降

坑基的开挖（卸荷），解除了坑底以下土中的一部分自重应力，于是土体膨胀，坑底发生回弹；当修筑基础和上部结构时，基坑转入加荷阶段，土体再度压缩，出现随后沉降。

由于土体反复加荷时的压缩曲线是滞后轮回的（见图 1—4 a），

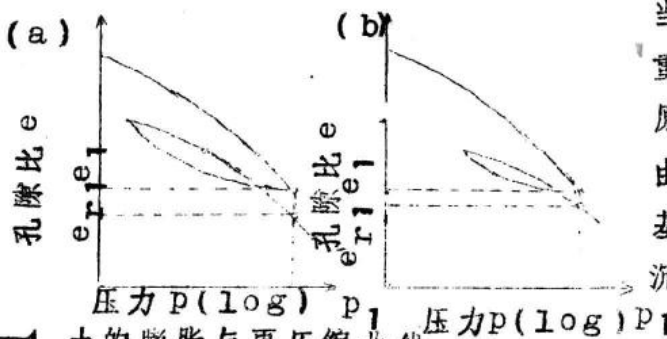


图 1—4 土的膨胀与再压缩曲线

(a) 应力解除较多时；(b) 应力解除较少时

当施加的荷载等于卸走的重量时，发生的沉降要比原来的回弹量大得多。

由此可见，任何补偿性基础，都不免仍有一定的沉降发生。

坑底的回弹是在开挖过程中连续、迅速发生的，因而无法完全避免，

但如能减少应力的解除量，亦即减少膨胀，则再加荷时的随后沉降将显著减小，因为减少应力的解除，再压缩曲线的滞后程度也相应减小（图 1—4）。减少应力解除的方法，在最后一小节介绍。

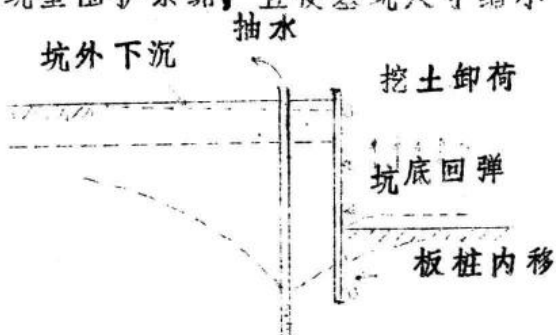
应力解除是随深度递减的，同样可以用计算附加应力分布的弹性理论公式或有关图表来计算，不过荷载取负值而已。确定了各深度处的应力解除值后，便可计算出坑底回弹和随后沉降量。计算方法与分层总和法计算沉降相仿，所不同的是，在计算坑底回弹时，变形参数要用土的弹性模量 $E$ 。测定 $E$ 时，对土样施加的反复应力要和地基内发生的应力变化范围相适应。计算随后沉降时，则采用以再压缩曲线为依据的变形模量。应当再次指出，再压缩曲线的滞后程度及形状，是与应力解除的多少密切相关的，

还有一点值得注意，应力的解除会导致土中粘土颗粒表面的结合水膜增厚，使土体体积膨胀、坑底隆起；结果将加剧基础的随后沉降。预防的办法是，基坑避免长时间浸水并做到开挖后及时修建基础。

#### （4）侧向压缩和坑外下沉

开挖基坑时，在解除竖向自重应力的同时，水平向自重应力亦相应有所解除。坑底以上的土体，因受到具有较大水平压力的外侧土体的挤压，便产生水平压缩，于是板桩内移，并伴随出现坑外地面下沉。此外，人工降低地下水位，会增大坑外土体的竖向和水平向自重应力，造成更大的坑外下沉和板桩内移（图 1—5）。

板桩内移不仅可能破坏坑壁围护系统，且使基坑尺寸缩小（在国外某工程中，曾观察到板桩内移达一米），影响工程的施工；坑外地面下沉，将对邻近建筑物构成威胁，因而有必要根据实际情况采取某些防范措施。例如，加大板桩的入土深度和抗弯刚度、图 1—5 板桩内移和坑外地面下沉  
仔细设置支撑等。



### (5) 减少应力解除的方法

如果能够用建筑物的重量，不断地立刻替换挖土的重量，保持地基内的应力状态不变，则上述的许多问题并不再存在，可惜目前并无这种理想的施工方法。L. 西瓦特工程师在墨西哥的著名高压缩性土（还具有膨胀性）地基上，建造补偿性箱形基础时，运用了一种旨在尽可能减少应力解除的特殊施工方法，使得坑底回弹、随后沉降以及侧向压缩等都减少到可以接受的程度，出色地解决了问题。

该法最大的特点是基坑的分阶段开挖和荷载的逐步替换。第一阶段，基坑只开挖到预定总深度的一半左右，这样既可以减少回弹，且有利于满足坑底土体不致发生剪切破坏的要求。为了进一步减少应力解除，还可以在基坑内布置深井抽水（土层条件合适时），大幅度降低地下水位，目的是增加地基中的自重应力。此时，坑外地面会因土体的固结而下沉，为了不影响邻近建筑物的安全，可在板桩墙外设置回灌井，把抽出的水进行回注（地基中有砂层时），使基坑以外的水位不致下降太多。

第二阶段的开挖，采用重量逐步置换法。即按照箱基隔墙的位置逐个开挖基槽，到达基底标准后，在槽内浇筑钢筋混凝土隔墙，让墙体的重量及时代替挖除的土重。接着建造一部分上部结构，然后次第挖去墙间的土并浇捣底板。形成封闭空格后，立即充水加压。不言而喻，基础的构造要配合这样的施工方法。如果是平板式片筏基础，就只能一次分块开挖来达到重量及时替换的目的。

### (三) 地震区高层建筑的地基基础要点

研究地基基础对建筑抗震能力的影响，作出恰当的选择，已成为高层建筑结构设计的重要内容。本节主要就地震区高层建筑地基基础的一般性问题进行简要的介绍与讨论。

#### 一、建筑场地

建筑场地对震害的影响因素，一般表现在三个方面，即地形条

件、地质构造和场地土性质。

选择对建筑物抗震有利的地段，避开不利的地段，不宜在危险的地段进行房屋建设。

对建筑物抗震不利的地段，一般是指形状突出的山脊，高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡，河岸和边坡边缘，地基持力层在平面上分布上软硬不均、非发震断裂与发震断裂带交汇的附近等地段。含饱和松砂、淤泥和淤泥质土、冲填土、软塑至流塑的软亚粘土、冲填土及其它松软的人工填土的地段，亦应避免。

对建筑物抗震危险的地段，一般是指发震断裂带及地震时可能发生滑坡、山崩、地陷等地段。

经验说明，岩石类土、半岩石类土、砂砾土层和其它坚实均匀的粘性土层和开阔平坦的地形，对建筑物抗震是有利的。场地土由硬至软，反映出震害由轻到重的趋势，已为国内外多次震害所证实。因此，坚实的场地地基条件，对于高层建筑的抗震效果以及经济效果，具有重要的意义。

除上述一般选择场地的原则外，还应该根据高层建筑自身特点来考虑相应的地基条件。震害宏观调查指出，在相同场地土条件下，由于建筑物自身动力特性不同，所产生的震害亦不相同。一般来说，软弱地基上柔性高层建筑的震害是严重的。这是因为柔性高层建筑具有较长的自振周期，软弱地基土具有较长的卓越周期，在地震过程中，两者容易相近而产生共振，从而加剧地震效应。因此，柔性的高层建筑不宜建造在软弱的地基上。

## 二、基础选型

高层建筑的基础类型，应根据地基性质、结构类型、荷载特点、施工条件等因素慎重选择。

(1) 箱形基础是高层建筑中广泛采用的一种基础类型。基础本身具有很大的刚度和整体性。适合在上部结构荷载大而地基土又比较软弱的情况下采用。它能够抵抗并协调由于软弱地基在大荷载作用下

产生的不均匀变形，又能加大基底面积，使上部荷载能够均匀地传递地基土层上去。由于箱形基础本身刚度很大，接近计算中将上部结构视为嵌固于基础的假定，这对于保证上部结构的抗震计算效果是有利的。设置箱形基础，加深了高层建筑的基础深度，因而建筑物重心下移，此外，由于基础周围土体的协同工作，从而增加了建筑物的整体稳定性。因此，地震区的高层建筑，箱形基础是一种可供优先考虑的基础类型。

(2) 桩基也是国内外广泛采用于高层建筑的一种基础类型。实践表明，它具有承载力可靠、沉降小的优点。在软弱地基上及可能液化地基土条件下，采用桩基是适宜的。当为支承桩时，桩应当穿软弱土层或可液化土层支承在坚实可靠的土层上。当为摩擦桩时，桩亦应穿过可液化层，使桩身深入非液化土层内，在计算中应考虑可液化层失去作用时对桩承载力的影响。

(3) 钢筋混凝土筏形基础、十字交叉基础和条形基础的抗震性能是较好的，也可作为高层建筑的基础。在非地震区，当地基土质较好、上部结构荷载不是很大的情况下，砖石刚性基础亦可作为高层建筑的基础；但由于其抗震性能差，在地震区的高层建筑中则应慎重对待；当地基土层为淤泥或可液化土层时，不得采用。

(4) 单独柱基础。由于这种基础间缺乏联系，抗震性能较差，采用时，柱基之间应沿建筑平面纵横两个方向设置水平拉梁。

箱形基础、筏形基础、十字交叉基础、条形基础，以及设置有双向拉梁的单独柱基，均不宜直接置于可液化土层上，而必须加以可靠处理，例如采取换土、振动密实或将其支承在桩上。

### 三、问题讨论

在高层建筑基础设计中，从理论分析、震害调查和设计施工实践中取得了若干值得认真借鉴的结论和经验。现介绍如下：

(1) 基础应该有一定的埋置深度，因为这有利于吸收地震能量，减轻上部结构的地震反应、增强建筑物整体稳定性。国内外许多高

层建筑设计实例，都严格遵循这一要求。一般说来，建筑物地下部分深度宜为地上部分高度的  $1/8 \sim 1/12$ 。北京饭店东楼地上部分约为 80 米高，基础埋置深度为 11 米。北京民族文化宫顶层楼面高度为 54 米，屋脊高度为 62 米，基础埋置深度为 6.20 米。北京建国门外 16 层公寓地上部分为 57 米，有一层地下室，并采用预制桩基础，桩顶距首层地面为 3.70 米，桩尖打入砂层深度距首层地面 9.70 米。近年来，我国高层建筑设计，尤其在地震区，大多结合城市规划要求，安排人防面积或其它辅助使用房间，设置一层或多层地下室。

(2) 不同的基础类型有着不同的地震反应。在同一结构单元内，不应当采用两种或多种基础类型。在高层建筑中，还应当特别注意避免在一个结构单元内设置局部地下室。

(3) 基础底面标高应一致，避免高低差异过大。采用桩基，桩尖宜处于同一土层，以避免地震过程中对基础和上部结构的不利影响。

(4) 在框架—剪力墙结构中，由于剪力墙为承受水平荷载的主要构件，应特别保证剪力墙基础的可靠性。箱形基础对于框架—剪力墙结构是适宜的。当采用其它基础类型时，例如桩基础、交叉基础时，应对剪力墙下基础进行专门的核算。当上部结构协同计算中假定基础无转动，则应对剪力墙基础转角变位进行严格限制，否则，在协同计算中应考虑基础转动的影响。由于剪力墙基础失效，在地震过程中剪力墙失去对框架部分的加劲作用，甚至加剧建筑物的破坏，已为过去多处震害事例所证实。

## 二、《建筑地基基础设计规范》(新规范)要点

### (一) 设计原则

#### 1、建筑物安全等级及对地基设计的要求

根据地基损坏造成建筑物破坏后果(危及人的生命、造成经济损失、造成社会影响及复修的可能性)的严重性，设计时应根据具

体情况，将建筑物分为三个安全等级（表 2·1）。

建筑物安全等级

表 2·1

| 安全等级 | 破坏后果 | 建筑类型                                                                    |
|------|------|-------------------------------------------------------------------------|
| 一级   | 很严重  | 重要的工业与民用建筑物；20层以上的高层建筑；体型复杂的14层以上高层建筑；对地基变形有特殊要求的建筑物；单桩荷载在4000KN以上的建筑物。 |
| 二级   | 严重   | 一般的工业与民用建筑物                                                             |
| 三级   | 不严重  | 次要的建筑物                                                                  |

根据建筑物安全等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，地基设计应按下列要求进行：

- 一、各级建筑物地基均应进行承载力计算；
- 二、一级建筑物及表 2·2 所列范围以外，尚应进行变形计算；
- 三、对经常受水平荷载作用的高层建筑和高耸结构，以及建造在斜坡上的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。

表 2 · 2

二级建筑物可不作地基变形计算的范围

| 地基主要受力层的情况             | 地基承载力标准值<br>$f_k$ (kp <sub>a</sub> ) | $60 \leq f_k < 80$ | $80 \leq f_k < 100$ | $100 \leq f_k < 130$ | $130 \leq f_k < 160$ | $160 \leq f_k < 200$ | $200 \leq f_k < 300$ |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 各土层坡度 (%)              | $\leq 5$                             | $\leq 5$           | $\leq 5$            | $\leq 10$            | $\leq 10$            | $\leq 10$            |                      |
| 砌体承重结构 (层数)            |                                      | $\leq 5$           | $\leq 5$            | $\leq 5$             | $\leq 6$             | $\leq 6$             | $\leq 7$             |
| 单层吊车的额定重量 (t)          | 5 ~ 10                               | 5 ~ 10             | 10 ~ 15             | 15 ~ 20              | 20 ~ 30              | 30 ~ 50              | 50 ~ 100             |
| 多层排架结构厂房的跨度 (m)        | $\leq 12$                            | $\leq 12$          | $\leq 18$           | $\leq 24$            | $\leq 30$            | $\leq 30$            | $\leq 30$            |
| 多层排架结构吊车的额定重量 (t)      | 3 ~ 5                                | 3 ~ 5              | 5 ~ 10              | 10 ~ 15              | 15 ~ 20              | 20 ~ 30              | 30 ~ 75              |
| 多层排架结构厂房的跨度 (m)        | $\leq 12$                            | $\leq 12$          | $\leq 18$           | $\leq 24$            | $\leq 30$            | $\leq 30$            | $\leq 30$            |
| 烟囱高度 (m)               | $\leq 30$                            | $\leq 30$          | $\leq 40$           | $\leq 50$            | $\leq 75$            |                      | $\leq 100$           |
| 水箱高度 (m)               | $\leq 15$                            | $\leq 15$          | $\leq 20$           | $\leq 30$            | $\leq 30$            |                      | $\leq 30$            |
| 水箱容积 (m <sup>3</sup> ) | $\leq 50$                            | $\leq 50$          | 50 ~ 100            | 100 ~ 200            | 200 ~ 300            | 300 ~ 500            | 500 ~ 1000           |

注：①地基主要受力层系指条形基础底面下深度为  $3b$  ( $b$  为基础底面宽度)，独立基础下为  $1.5b$ ，厚度均不小于  $5m$  的范围（二层以下的民用建筑除外）

②地基主要受力层中如有承载力标准值小于  $130kp_a$  的土层时，兼中砌体承重结构的设计，应符合软弱地基的有关要求。

③表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑。对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合或与相当的民用建筑层数。

④表中额定吊车起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大容许值，设计时，应按地基承载

力标准的高低值相应选用。

⑤ 表内各建筑物如有下列情况仍应作变形验算：

- 1) 地基承载力标值小于  $130\text{kPa}$ ，体型复杂的建筑；
- 2) 在基础上及其附近有地面堆荷载差异较大，引起地基产生过大的不均匀沉降时；
- 3) 软弱地基上的相邻建筑如距离过近，可能发生倾斜时；
- 4) 地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成时。

⑥ 当地基承载力标准值大于  $300\text{kPa}$  时，可不作变形验算。

## 2、地基计算的荷载值

按地基承载力确定基础面积及埋深时，传至基础底面上的荷载应采用设计值并按最不利条件组合，基础设计时，荷载应采用设计值。

计算地基变形时，传至基础底面上的荷载采用标准值，按长期效应组合。风荷载不参加组合，也不考虑地震作用。

计算挡土墙的土压力、地基稳定及滑坡推力时，荷载采用标准值。

## 3、沉降观测的要求

对一级建筑物应在施工期间及使用期间进行沉降观测，并以实测资料作为建筑物地基基础工程质量检查的依据之一。观测方法及要求详见规范。

### (二) 地基土(岩)的划分

作为建筑地基的有碎石、碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土等。颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理裂隙的岩体称为岩石。岩石按坚固性可分为硬质和软质；按风化程度可分为微风化、中等风化和强风化。

粒径大于  $2\text{mm}$  的颗粒含量超过全重  $50\%$  的土称为碎石土。根据粒组含量及颗粒形状按表 2.3 碎石土可分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾。