

## 第3章 连续基础

---

### 3.8 筏形基础和箱形基础

- 筏形基础与箱形基础常用于高层建筑。其设计计算包括地基计算、内力计算、强度计算以及构造要求等方面。
- 在确定筏形基础和箱形基础的平面尺寸时，应根据地基上的承载力、上部结构的布置及荷载分布等因素确定。

- 为满足地基承载力的要求而扩大底板面积，则扩大部位宜设在建筑物的宽度方向。在地基均匀的条件下，单栋建筑物的筏形或箱形基础的基底平面形心宜与结构竖向永久荷载重心重合。当不能重合时，在荷载效应准永久组合下，偏心距 $e$ 宜符合下式要求：

- $$e \leq 0.1 \frac{W}{A} \quad (3-59)$$

- 式中  $W$ ——与偏心距方向一致的基础底面边缘抵抗矩；
- $A$ ——基础底面积。

- 基础底面压力除应符合式 (2-14) 或 (2-19) 的要求外, 对于非抗震设防的高层建筑筏形和箱形基础, 还要求基础底面边缘的最小压力标准值  $P_{kmin}$  满足下式要求:

$$\bullet P_{kmin} \geq 0 \quad (3-60)$$

- 对于抗震设防的建筑, 尚应按式 (10-63) 和 (10-64) 进行地基抗震承载力验算。当基础底面地震效应组合的边缘最小压力出现零应力时, 零应力区的面积不应超过基础底面面积的 15%。对高宽比大于 4 的高层建筑, 则不宜出现零应力区。
- 高层建筑筏基和箱基的埋深一般都较大, 有的甚至设置了 3~4 地下室, 因此在计算地基最终沉降量时, 应将地基的回弹再压缩变形考虑在内。

- 筏基和箱基的允许沉降量和允许整体倾斜值应根据建筑物的使用要求及其对相邻建筑物可能造成的影响按地区经验确定。在非抗震设计时，横向整体倾斜的计算值 $\alpha_T$ 宜符合下式要求：

$$\alpha_T \leq \frac{b}{100H_g} \quad (3-61)$$

- 式中  $b$ ——筏基或箱基的底面宽度；
- $H_g$ ——建筑物高度（室外地面至檐口的高度）。

# 3.8.1 筏形基础

- 1. 构造要求
- 筏形基础的板厚应按受冲切和受剪承载力计算确定。平板式筏基的最小板厚不宜小于400mm，当柱荷载过大时，可将柱位下筏板局部加厚或增设柱墩，也可采用设置抗冲切箍筋来提高受冲切承载能力。12层以上建筑的梁板式筏基的板厚不应小于400mm，且板厚与最大双向板格的短边净跨之比不应小于  $1/4$ 。
- 梁板式筏基的肋梁除应满足正截面受弯及斜截面受剪承载力外，还须验算柱下肋梁顶面的局部受压承载力。肋梁与柱或剪力墙的连接构造见图 3-24 。

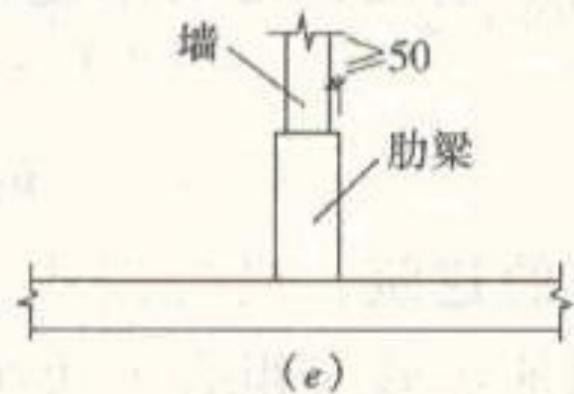
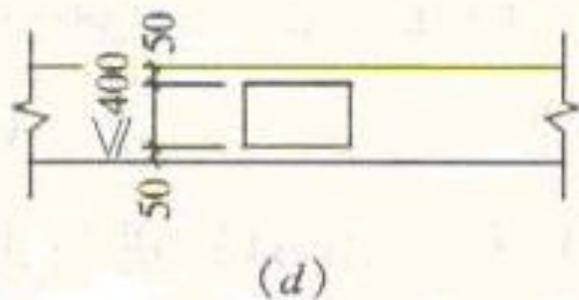
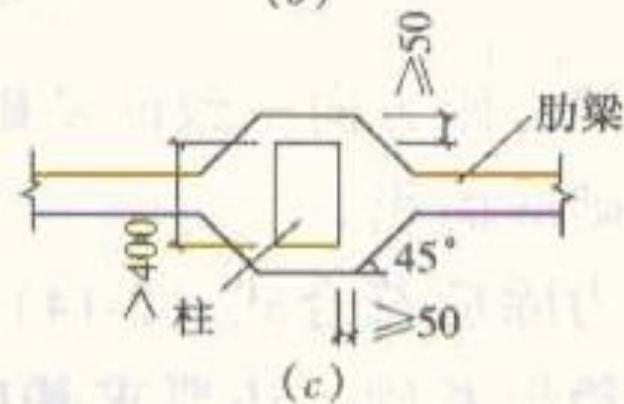
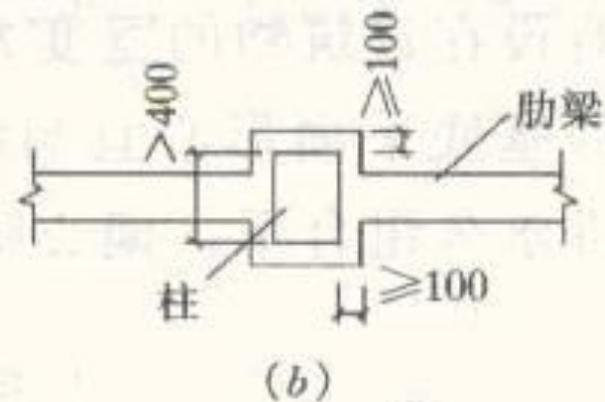
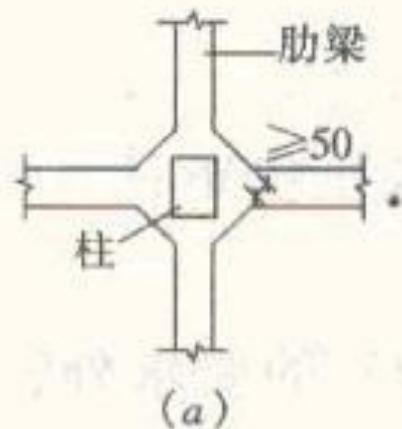


图 3-24 肋梁与地下室底层柱或剪力墙连接的构造

- 在一般情况下，筏基底板边缘应伸出边柱和角柱外侧包线或侧墙以外，伸出长度不宜大于伸出方向边跨柱距的  $1/4$ ，无外伸肋梁的底板，其伸出长度一般不宜大于  $1.5\text{m}$ 。双向外伸部分的底板直角应削成钝角。
- 考虑到整体弯曲的影响，筏基的配筋除满足计算要求外，对梁板式筏基，纵横方向的支座钢筋应有  $1/2\sim 1/3$  贯通全跨，且配筋率不应小于  $0.15\%$ ；跨中钢筋应按计算配筋全部连通。对平板式筏基，柱下板带和跨中板带的底部钢筋应有  $1/2\sim 1/3$  贯通全跨，且配筋率不应小于  $0.15\%$ ；顶部钢筋按计算配筋全部连通。

- 筏板边缘的外伸部分应上下配置钢筋。对无外伸肋梁的双向外伸部分，应在板底配置内锚长度为  $l_r$ （大于板的外伸长度  $l_1$  及  $l_2$ ）的辐射状附加钢筋（图 3-25），其直径与边跨板的受力钢筋相同，外端间距不大于 200mm。

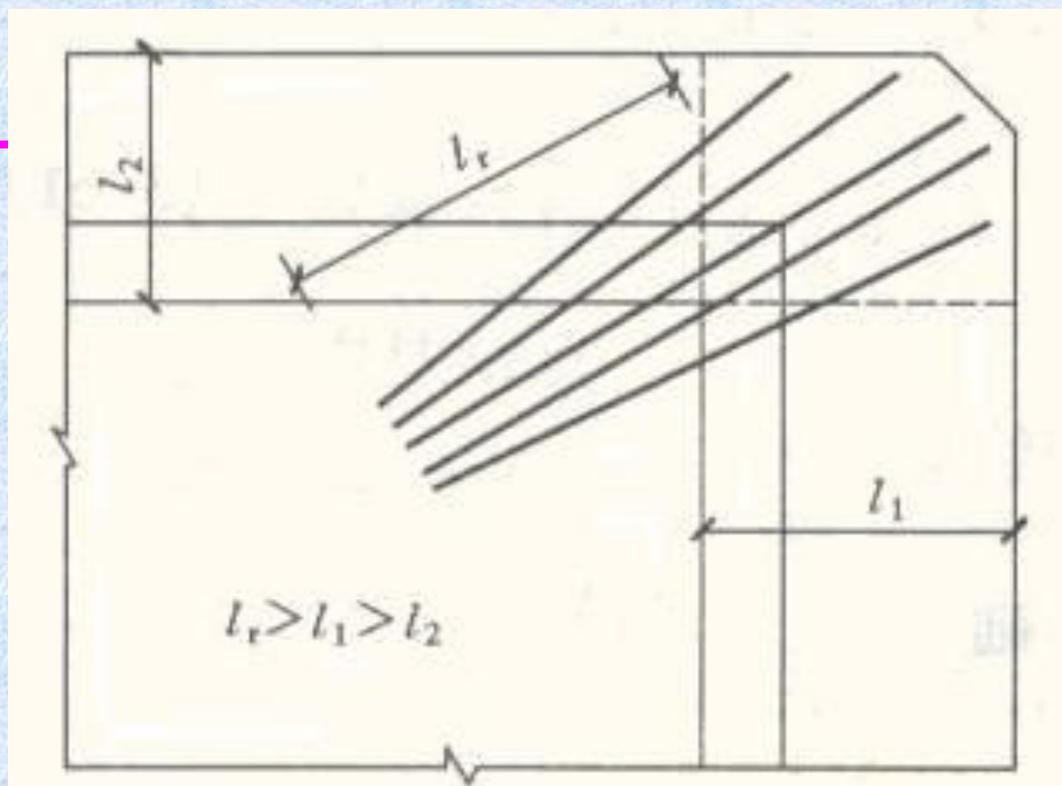


图 3-25 筏板双向外伸部分的辐射状钢筋

- 当筏板的厚度大于 2000mm 时，宜在板厚中间部位设置直径不小于 12mm、间距不大于300mm的双向钢筋网。
- 高层建筑筏形基础的混凝土强度等级不应低于 C30。  
对于设置架空层或地下室的筏基底板、肋梁及侧壁，其所用混凝土的抗渗等级不应小于 0.6MPa。
- 2. 内力计算
  - (1) 简化算法
  - 筏形基础的简化算法分倒楼盖法和静定分析法两种。计算筏板基础内力时假设基底净反力为直线分布，因此要求基础具有足够的相对刚度，并满足式 (3-46) 的条件。

- 当地基比较均匀，上部结构刚度较好、梁板式筏基梁的高跨比或平板式筏基板的厚跨比不小于1/6，且相邻柱荷载及柱距的变化不超过20%时，~~筏形基础可仅考虑局部弯曲作用，按倒楼盖法进行计算。~~
- 对于平板式筏基，可按无梁楼盖考虑。对于梁板式筏基，底板按连续双向板（或单向板）计算；肋梁按连续梁分析，并宜将边跨中弯矩以及第一内支座的弯矩值乘以1.2的系数。
- 如上部结构刚度较差，可分别沿纵、横柱列方向截取宽度为相邻柱列间中线到中线的条形计算板带，并采用静定分析法对每个板进行内力计算。为考虑相邻板带之间剪力影响，当所计算的板带上的荷载 $F_i$ 与两侧邻带的同列柱荷载 $F_i'$ 及 $F_i''$ 有明显差别时，宜取三者的加权平均值

$$\bullet F_{im}=(F_i'+2 F_i+F_i'')/4 \quad (3-62)$$

- 
- 式中  $F_i$  的权为**2**，其余为**1**。由于板带下的净反力是按整个筏形基础计算得到的，因此其与板带上的柱荷载并不平衡，计算板带内力前需要将二者加以调整。
  - **(2) 弹性地基板法**
  - 当地基比较复杂、上部结构刚度较差，或柱荷载及柱距变化较大时，筏基内力宜按弹性地基板法进行分析。对于平板式筏基，可用有限差分法或有限单元法进行分析；对于梁板式筏基，则宜划分肋梁单元和薄板单元，而以有限单元法进行分析。

## 3.8.2 箱形基础

- 1.构造要求
- 箱形基础的内、外墙应沿上部结构柱网和剪力墙纵横均匀布置，墙体水平截面总面积不宜小于箱形基础外墙外包尺寸的水平投影面积的  $1/10$ 。对基础平面长宽比大于 4 的箱形基础，其纵墙水平截面面积不得小于箱基外墙外包尺寸水平投影面积的  $1/18$ 。
- 箱形基础的高度应满足结构承载力、整体刚度和使用功能的要求，其值不宜小于箱形基础长度（不包括底板悬挑部分）的  $1/20$ ，并不宜小于  $3\text{m}$ 。
- 箱基的埋置深度应根据建筑物对地基承载力、基础倾覆及滑移稳定性、建筑物整体倾斜以及抗震设防烈度等的要求确定，一般可取等于箱基的高度，在抗震设防区不宜小于建筑物高度的  $1/15$ 。高层建筑同一结构单上内的箱形基础埋深宜一致，且不得局部采用箱形基础。

- 箱基顶、底板及墙身的厚度应根据受力情况、整体刚度及防水要求确定。一般底板厚度不应小于300mm，外墙厚度不应小于250mm，内墙厚度不应小于200mm。顶、底板厚区应满足受剪承载力验算的要求，底板还应满足要冲切承载力的要求。
- 墙体内应设置双向钢筋，竖向和水平钢筋的直径不应小于10mm，间距不应大于200mm。除上部为剪力墙外、内、外墙的墙顶处宜配置两根直径不小于20mm的通长构造钢筋。
- 门洞宜设在柱间居中部位，洞边至上层柱中心的水平距离不宜小于1.2，洞口上过梁的高度不宜小于层高的 $1/5$ ，洞口面积不宜大于柱距与箱形基础全高乘积的 $1/6$ 。墙体洞口四周应设置加强钢筋。

- 箱基的混凝土强度等级不应低于 C20 。抗渗等级不应小于 0.6MPa。
- **2. 简化计算**
- 目前采用的分析方法是根据上部结构整体刚度的强弱选择不同的简化计算方法。
- (1) 当地基压缩层深度范围内的土层在竖向和水平方向较均匀、且上部结构为平立面布置且较规则的剪力墙、框架、框架—框架剪力墙体系时，箱基的顶、底板可仅按局部弯曲计算。即顶板以实际荷载（包括板自重）按普通楼盖计算；底板以直线分布的基底净反力（计入箱基自重后扣除底板自重所余的反力）按倒楼盖计算。顶、底板钢筋配置量除满足局部弯曲的计算要求外，纵横方向的支座钢筋尚应有  $1/2 \sim 1/3$  贯通全跨，且贯通钢筋的配筋率分别不应小于 0.15%、0.10%；跨中钢筋应按实际配筋全部连通。

- (2) 对不符合上述条件的箱形基础，应同时考虑局部弯曲及整体弯曲的作用。基底反力可按《高层
- 建筑箱形与筏形基础技术规范》(JGJ6-99)推荐的地基反力系数表确定，该表是根据实测反力资料经研究整理编制的。
- 对粘性土和砂土地基，基底反力分布呈现边缘大、中部小的规律；
- 对软土地基，沿箱基纵向的反力分在呈马鞍形，而沿横向则为抛物线形(图3-26)。软土地基的这种反力分布特点当与其抗剪强度较低、塑性区开展范围较大且箱基的宽度比长度小得多有关。

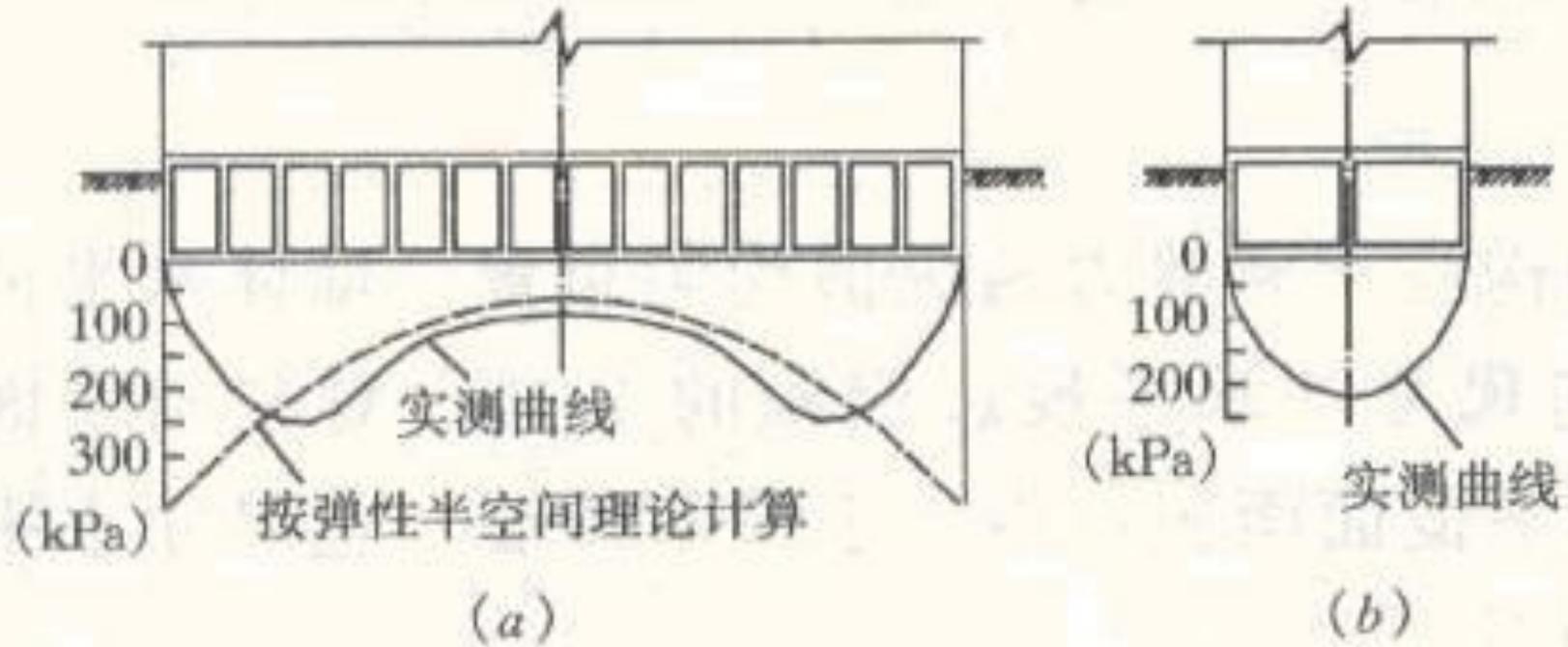


图 3-26 某箱形基础基底反力实测分布图

(a) 纵截面; (b) 横截面

- 计算底板的局部弯矩时，考虑到底板周边与墙体连接产生的推力作用，以及实测结果表明基底反力有由纵、横墙所分出的板格中部向四周墙下转移的现象，底板局部弯曲所产生的弯矩应乘以0.8的折减系数。
- 计算箱基的整体弯曲时，将箱基视为一块空心的厚板，沿纵、横两个方向分别进行单向受弯计算，荷载及地基反力均重复使用一次。先将箱基沿纵向（长度方向）作为梁，用静定分析法可计算出任一横截面上的总弯矩  $M_x$  和总剪力  $V_x$ ，并假定它们沿截面均匀分布。同样地，再沿横向将箱基作为梁计算出  $M_y$ 、 $V_y$ 。弯矩  $M_x$  和  $M_y$  使顶、底板在两个方向均处于轴向受压或轴向受拉状态，压力或拉力值分别为  $C_x = T_x = M_x/z$ 、 $C_y = T_y = M_y/z$ ，见图 3-27；剪力  $V_x$  和  $V_y$  则分由箱基的纵墙和横墙承受。

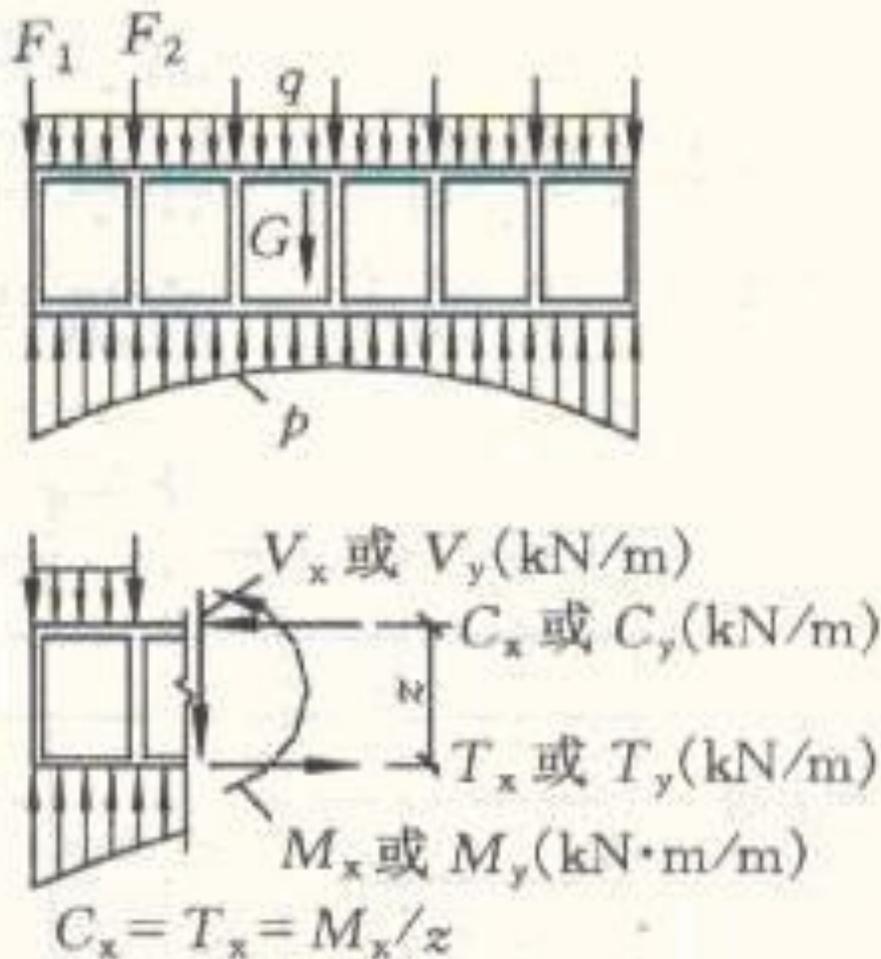


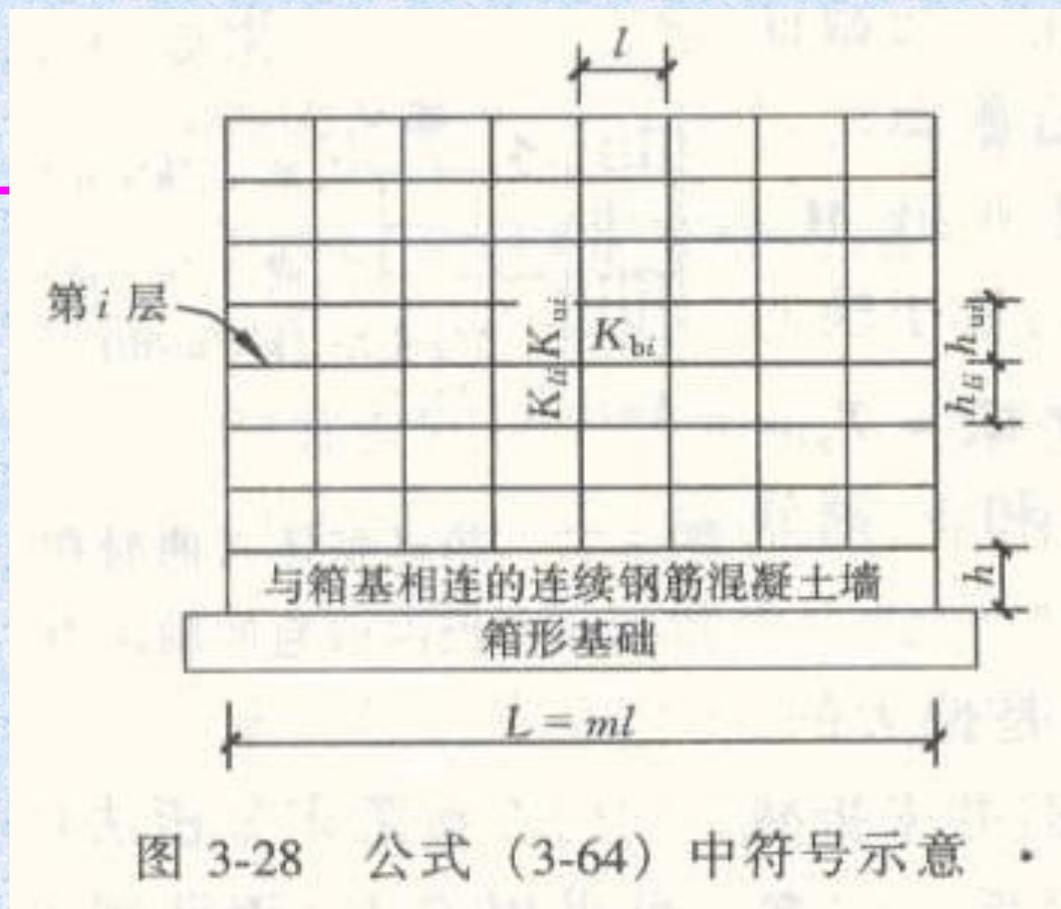
图 3-27 箱基整体弯曲时在顶板和底板内引起的轴向力

- 显然，按上述方法算得的整体弯曲应力显偏大的，因为把箱基当作梁沿两个方向分别计算时荷载并未折减，同时在按静定分析法计算内力时也未考虑上部结构刚度的影响。对后一因素，可采用G.G.迈耶霍夫（Meyerhof、1953）提出的“等代刚度梁法”将  $M_x$ 、 $M_y$  分别予以折减，具体计算公式如下：

$$M_F = \frac{E_F I_F}{E_F I_F + E_B I_B} \cdot M \quad (3-63)$$

式中  $M_F$ ——折减后箱基所承受的整体弯矩；  
 $M$ ——不考虑上部结构刚度影响时，箱基整体弯曲产生的弯矩，即上述的  $M_x$  或  $M_y$ 。

- $E_F I_F$ ——箱基的抗弯刚度，其中  $E_F$  为箱基混凝土的弹性模量， $I_F$  为按工字形截面计算的箱基截面惯性矩，工字形截面的上、下翼缘宽度分别为箱基顶、底板的全宽，腹板厚度为在弯曲方向的墙体厚度的总和；



- $E_B I_B$ ——上部结构的总折算刚度，按下式计算（图3-28）：

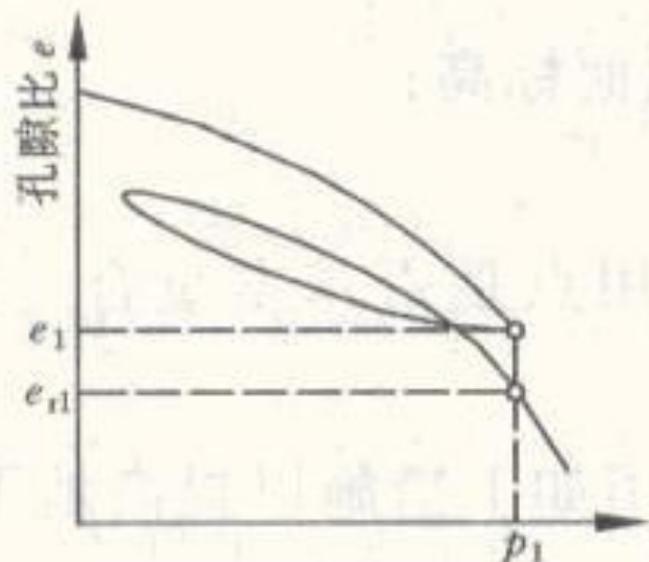
- 式中
- $E_b$  — 梁、柱的混凝土弹性模量；
- $K_{ui}$ 、 $K_{li}$ 、 $K_{bi}$  — 第*i*层上柱、下柱和梁的线刚度，其值分别为  $I_{ui}/h_{ui}$ 、 $I_{li}/h_{li}$ 、 $I_{bi}/l$ ；
- $I_{ui}$ 、 $I_{li}$ 、 $I_{bi}$  — 第*i*层上柱、下柱和梁的截面惯性矩；
- $h_{ui}$ 、 $h_{li}$  — 第*i*层上柱及下柱的高度；
- $l$  — 上部结构弯曲方向的柱距；
- $E_w$ 、 $I_w$  — 在弯曲方向与箱基相连的连续钢筋混凝土墙的弹性模量和截面惯性矩， $I_w = th^3/12$ ，其中 $t$ 、 $h$ 为墙体的总厚度和高度；
- $m$  — 在弯曲方向的节间数；
- $n$  — 建筑层数。不大于8层时， $n$ 取实际层数，大于8层时， $n$ 取8。

- 上式适用于等柱距的框架结构。对柱距相差不超过 20% 的框架结构也适用，此时， $l$  取柱距的平均值。
- 将整体弯曲和局部弯曲两种计算结果相叠加，使得顶、底板成为压弯或拉弯构件，最后进行配筋计算。
- 箱基内、外墙和墙体洞口过梁的计算和配筋详见上述有关规范。其中外墙除承受上部结构的荷载外，还承受周围土体的静止土压力和静水压力等水平荷载作用。

### 3.8.3 地下室设计时应考虑的几个问题

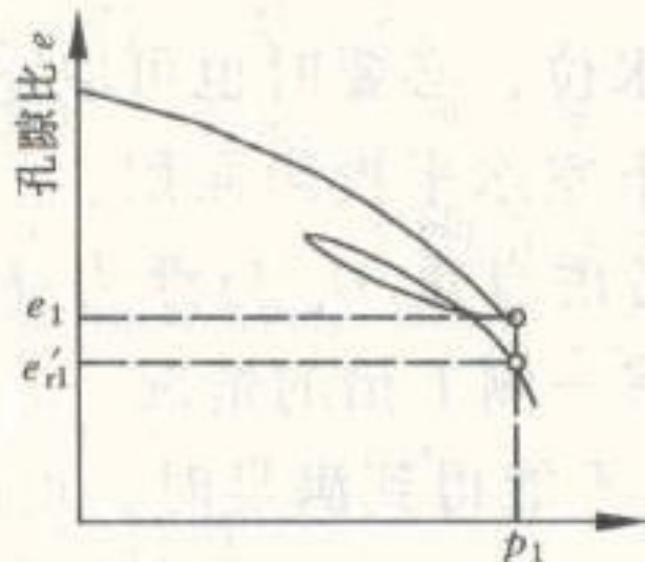
- 1. 地基基础的补偿性设计概念
- 在软弱地基上建造采用浅基础的高层建筑时，常常会遇到地基承载力或地基沉降不满足要求的情况。采用补偿性基础设计是解决这一问题的有效途径之一。
- 按照上述原理进行的地基基础设计可称为补偿性基础设计，这样的基础，称为补偿性基础。当基底实际平均压力  $P$ （已扣除水的浮力）等于基底平面处土的自重应力  $\sigma_c$  时，称全补偿性基础；小于  $\sigma_c$  称超补偿地基；大于  $\sigma_c$  为欠补偿地基。箱形基础和具有地下室的筏形基础是常见的补偿性基础类型。例如美国纽约的Albany电话大楼，上部结构为11层，由于电话交换系统对沉降很敏感要求建筑物不能有不均匀沉降。经过方案比较，最后采用了筏形基础上设置3层地下室的补偿性基础方案。

- 虽然补偿性基础设计使得基底附加压力  $p_0$  大为减小，由  $p_0$  产生的地基沉降自然也大大减小甚至可以不予考虑。但基础仍然存在沉降问题，因为在深基坑开挖过程中所产生的坑底回弹及随后修筑基础和上部结构的再加载可能引起显著的沉降。
- 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，因为减小应力的解除，再压缩曲线的滞后呈度也将相应减小（图3-29）。



压力  $p$  (对数坐标)

(a)



压力  $p$  (对数坐标)

(b)

图 3-29 土的膨胀与再压缩曲线

(a) 应力解除得较多时; (b) 应力解除得较少时

## 2. 地下室的抗浮设计

---

- 在地下室底板(箱基底板或筏板)完工后,上部结构底下几层完工前这一期间,如果可能出现地下水位高出底板标高很多的情况,那么就应当对地下室的抗浮稳定性和底板强度进行验算。
- (1)地下室的抗浮稳定性验算
- 地下室的整体抗浮稳定性安全系数 $K$ 应符合下式要求:

$$K = G_k / F_w \geq 1.05 \quad (3-65)$$

- 式中  $G_k$ —地下室及已建上部结构自重;
- $F_w$ —地下水对地下室的浮托力。  $F_w = \gamma_w h_w A$ ;
- $\gamma_w$ —水的重度;

- $h_w$ —地下水位至底板的距离。地下水位取施工期间可能出现的最高水位，必要时也可取室外地面标高；
- $A$ —地下室水平投影面积。
- 此外，还需考虑自重 $G_k$ 与浮力 $F_w$ ，作用点是否基本重合。如果偏心过大，可能会出现地下室一侧上抬的情况。
- 当式（3-65）不能得到满足时，可以采用如下措施以相高地下室的抗浮稳定性：
  - ①尽快施工上部结构，增大自重；
  - ②在格格内充水、在地下室底板上堆砂石等重物或在顶板上堆土，作为平衡浮力的临时措施；
  - ③将底板由地下室外墙向外延伸，利用其上的填土压力来平衡浮力；
  - ④在底板下设置抗拔桩或抗拔锚杆。当基坑周围有支护桩（墙）时，可将其作为抗拔桩来加以利用。

## (2) 底板强度验算

---

- 地下室在施工期间,须确保其底板在地下水浮力作用下具有足够的强度和刚度,并满足抗裂要求。
- 地下室底板(这里特指筏基)在使用期间通常是按照倒楼盖法进行内力分析的。但在施工期间,由于上部结构尚未建造,或上部结构已建造但其刚度尚未形成,故底板的内力计算不能按倒楼盖法进行,应结合具体情况选择合适的计算简图。如果底板的截面尺寸过大或配筋过多,可考虑在底板下设置抗拔锚杆或抗拔桩以改变底板的受力状态。

# 3. 后浇带的设置

- 地下室一般均属于大体积钢筋混凝土结构。为避免大体积混凝土因收缩而开裂,当地下室长度超过现**40m**时,宜设置贯通顶、底板和内、外墙的后浇施工缝,缝宽不宜小于**800mm**。在该缝处,钢筋必须贯通。
- 为减少高层建筑主楼与裙房间的差异沉降,施工时通常在裙房一侧设置后浇带,后浇带的位置宜设在距主楼边柱的第二跨内。后浇带混凝土宜根据实测沉降值并在计算后期沉降差能满足设计要求后方可进行浇筑。后浇带的处理方法与施工缝相同。
- 施工缝与后浇带的防水处理要与整片基础同时做好,并虽采取必要的保护措施,以防止施工时损坏。