

# 箱形基础设计

# 目 录

箱形基础设计.....	1
· 金桥大酒店深埋箱基设计 .....	37
箱基与上部框架结构共同工作分析 .....	47
套箱基础的设计、测试与应用.....	60
超高层建筑的曲线形桩箱基础设计 .....	63
某高层厂房箱形基础设计及一些技术问题的探讨 .....	66
对箱形基础设计规程中两公式应用的探讨 .....	70
结合高层建筑基础修建防空地下室设计中的一些问题 .....	74
桩——箱复合基础在高层建筑中应用 .....	78

# 箱形基础

## 一、箱形基础的基本概念

1、对高层建筑设计成整块的钢筋混凝土刚性基础时，由于基础太厚，可将基础内部挖空，形成空心的刚性基础，整体基础类似一个箱子，所以叫作箱形基础。空心部分结合建筑使用功能设计成地下室。从全部建筑物看去，地下室就成为上层建筑的箱形基础。由于箱形基础具有很大的刚度和整体性，适合上层建筑荷载较大的高层建筑，并能将上层结构较好地嵌固在箱形基础上；同时由于箱形基础埋置较深，可降低整体建筑物的重心，房屋的整体稳定较好。这些特点都有利于建筑抗震。所以很多高层建筑多采用箱形基础。如北京展览馆、电报大楼、民族饭店、中国图片社、北京饭店和其他一些高层旅馆、住宅都采用箱形基础。

2、在箱形基础的两个方向都视作一根刚度很大的空心梁。在上层建筑荷载和地基反力共同作用下产生弯曲内力。即箱形基础和上层结构、下部地基三者之间存在着空间作用协同工作。上层结构的整体工作对箱形基础有“起拱”的效应，尤其是紧临箱形基础上边的四、五层结构起的作用较大。由于箱形基础和上层结构是在施工过程中逐步完成的，地基土逐渐增加压缩沉降，箱形基础的变形和内力也是慢慢建立起来的。基础和地基沉降都是比较复

杂的，致使箱形基础在计算上有一定的近似性。因此设计上不仅要有理论根据，同时还应引用已有的工程实践经验。

## 二、箱形基础的地基计算

### 1、地基容许承载力和地基压力

#### 1) 地基容许承载力

在不考虑地震荷载时，按《工业与民用建筑地基基础设计规范》TJ 7-74 取用  $(R)$  值。当考虑地震荷载时，除按《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11-78 的荷载组合外，并取地基土的容许承载力  $(R)' = \psi (R)$

当  $(R) \leq 12T/M^2$  时，取  $\psi = 1.0$

当  $(R) \geq 30T/M^2$  时，取  $\psi = 1.7$

当  $12T/M^2 < (R) < 30T/M^2$  时，取  $\psi$  为以上的内插值。

当地基为稳定的岩石、碎石类土、砂土时，取  $\psi = 1.25$

箱形基础均满足基础宽度  $B > 3M$ ，基础埋深  $D > 1.5M$ ，

所以仍按规范 TJ 7-74 取地基容许承载能力的修正值为：

不考虑地震荷载时： $R = (R) + m_B \gamma (B-3) + m_D \gamma_p (D-1.5)$

考虑地震荷载时： $R = (R)' + m_B \gamma (B-3) + m_D \gamma_p (D-1.5)$

一般  $B > 6M$ ，所以式中取  $B = 6M$

#### ii) 地基压力

轴心受压时, 
$$p = \frac{N+G}{F} \leq R$$

即基础底面积 
$$F = \frac{N+G}{R}$$

偏心受压时, 
$$p_{\max} = \frac{N+G}{F} + \frac{M}{W} \leq 1.2R$$

$$p_{\min} = \frac{N+G}{F} - \frac{M}{W} \geq 0$$

即基础底面积 
$$F = \frac{N+G}{1.2R - \frac{M}{W}}$$

以上各式中  $N$  —— 上部结构传至箱形基础顶面的竖向荷载。

$G$  —— 箱形基础自重

$M$  —— 作用于箱形基础底面的弯矩。

$W$  —— 在弯矩作用方向箱形基础底面的抵抗距。

(注) ①按《高层建筑箱形基础设计与施工规程》JGJ 6-89

对地震区  $p_{\max} \leq (R)$

②在水平地震荷载作用下, 考虑到基础转动将增大上部结构的自振周期, 又反而对地震荷载产生折减。

## 2. 地基变形计算

在北京地区一般低压缩性的砂卵石层较浅，箱形基础底多埋置在砂卵石层上不远的老土上（ $R_{\pm}=20T/M^2$ 左右），或可直接埋置在砂卵石层上（ $R=30T/M^2$ 左右），可不计算地基变形。否则应按规范TJ7-74和规程JGJ6-80的规定计算地基变形：

1) 沉降计算：——按规范TJ7-74用分层总和法计算基础最终沉降量 $S$ (cm)，但计算沉降公式中的经验系数 $m_s$ 改用 $m_x$ ， $m_x$ 值详规程JGJ6-80附录一的附表A-1，对一般老土取 $m_x=0.5\sim0.9$ ，即将规范TJ7-74中的公式(20)改为：

$$S = m_x \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (Z_i C_i - Z_{i-1} C_{i-1})$$

式中 $n$ ——地基压缩层范围内土的层数

$p_0$ ——基础底面的附加压力(kg/cm<sup>2</sup>)

$E_{si}$ ——基础底面以下第 $i$ 层土的压缩模量(kg/cm<sup>2</sup>)

$Z_i, Z_{i-1}$ ——基础底面至第 $i$ 层和第 $i-1$ 层土底面的深度(cm)

$C_i, C_{i-1}$ ——基础底面计算点至第 $i$ 层和第 $i-1$ 层底面范围内平均附加压力系数。按规范TJ7-74附录五采用。

(注)按以上公式计算箱形基础的沉降量一般较实测值还偏大。

i i) 倾斜计算：——从两点的沉降差可求得房屋的整体倾斜度。因为房屋宽度小于房屋长度，所以一般计算房屋横向整体倾斜 $\alpha$ ，按规程JGJ 6-80的规定在非地震区应控制整体倾斜

$$\alpha \leq \frac{B}{100H}$$

《钢筋混凝土结构》教材提出的

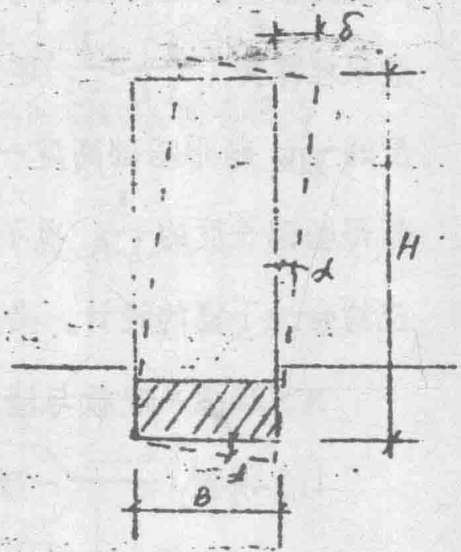
$$\alpha \leq \frac{B}{150H}$$

式中B——箱形基础宽度

H——建筑物高度

由倾斜对房屋顶点产生的

$$\text{侧移 } \delta = H\alpha$$



### 三、箱形基础的结构布置与基本尺寸

#### 1、基础底面面积F

$$\text{按轴心受压计算： } F = \frac{N+G}{R}$$

$$\text{按偏心受压计算： } F = \frac{N+G}{1.2R - \frac{M}{W}}$$

基础底面两边长宽尺寸视建筑物上层结构荷载重心位置确定箱形基础与上层平面的相对关系，尽可能使上部荷载重心与基础底面

其的形心重合。当荷载较大时，箱形基础底板四周可适当设置短悬臂，且可利用两侧不等长的短悬臂调整基础底面 $F$ 的形心位置与上部结构荷载重心重合。如不可避免偏心时，应控制矩形基础的偏心距不大于偏心方向基础底面长度的 $\frac{1}{60}$ 。

2、箱形基础的高度一般即地下室的高度，除应满足基础的刚度要求外，还必须满足埋置深度和地下室使用功能的要求。一般取埋深为 $(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12})$ 建筑物高度，在 seismic 区不宜小于建筑物高度的 $\frac{1}{10}$ 。箱形基础高度一般取 $(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12})$ 建筑物高度，且不小于箱形基础长度的 $\frac{1}{8}$ ，也不小于 $3M$ 。确定箱形基础的埋深和高度应结合地下室的设计，必要时可设置两层或三层地下室。

### 3、顶板、底板与墙体厚度

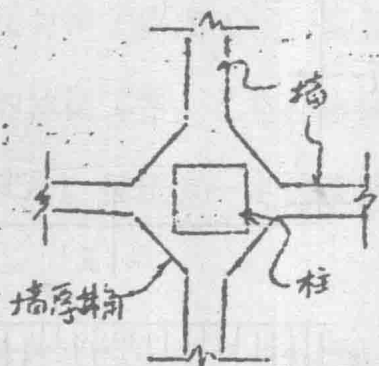
i) 顶板：——一般从顶板上的使用荷载和板的跨度大小确定板厚。但考虑到箱形基础的整体工作，当按空心梁计算时，顶板主要起受压作用，所以也不宜太薄，应取顶板厚度不小于 $20cm$ 。

ii) 底板：——箱形基础底板比顶板更为重要，为加大底板的刚度，宜适当加厚。根据整体建筑物的荷载大小，地下室墙体布置间距等因素，一般取用底板厚度为 $50cm \sim 100cm$ 。

iii) 墙厚：——墙体是连接顶板与底板使整个箱形基础形成

空心梁的腹板，按墙体的长度计算时，在基础底面面积内的壁重应不小于  $40\text{cm}/\text{M}^2$ 。墙厚除根据承受上层墙、柱荷载和地基反力要求外，从保证箱形基础的整体刚度考虑，也必须使墙体有足够的强度和刚度。一般墙厚取  $25\text{cm} \sim 40\text{cm}$ ，内墙厚  $\geq 20\text{cm}$ ，外墙厚  $\geq 25\text{cm}$ ，且控制全部墙体的水平截面总面积不小于基础底面积的十分之一。其中纵墙不得少于  $60\%$ 。

上层结构的柱子应支承在箱形基础的纵横墙相交处，且结合柱的截面尺寸将纵横墙相交处加抹角扩大，不得使柱子截面跨在墙外。（如图所示）此外墙体的布置还应使顶板与底板的板跨尺寸构成双向



板，仅局部较小跨度的板可用单向板。

iv) 门洞口的开设：——箱形基础的墙体除承受竖向压力外，同时承受箱形基础整体弯曲的剪力。因此门洞口的开设位置和洞口大小应同时考虑以上的要求。门洞口位置应控制洞口边至柱中心的距离不小于  $1.20\text{M}$ 。

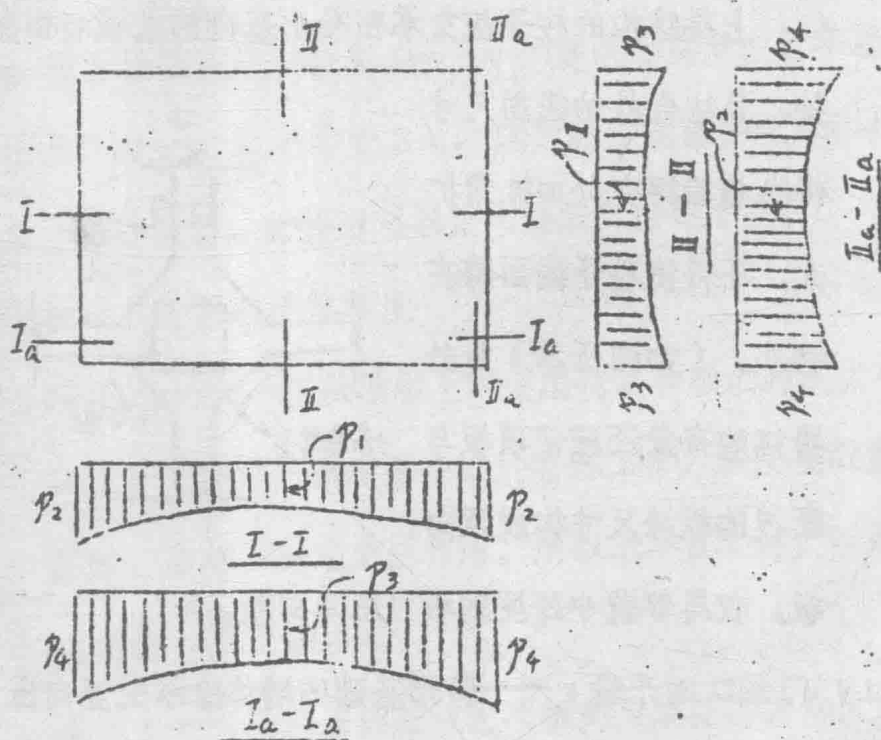
洞口大小应满足  $r = \frac{\text{开口面积}}{\text{墙体面积}} \leq 0.5$

式中：墙体面积=柱子中距×箱形基础全高。

#### 四、基底反力

##### 1、基底反力的分布

把箱形基础视作刚性板块，地基土为密实的半空间匀质弹性体，基底反力是中部小，四边大，四角更大。如图所示。



计算反力可采用多种方法。譬如按刚性矩形板的计算方法，按刚性板梁的计算方法。由于地基视作连续弹性体，在一定距离内基础沉降与基底反力是互相影响的，需要用高次幂多项式（一般取

4~10次幂多项式)计算反力。为了节省箱形基础的工程计算时间,可根据基础平面尺寸的长宽比 $\frac{L}{B}$ 的变化编制成基底反力图表(参看郭尔布诺夫——波沙道夫著的《弹性地基上结构物的计算》)日莫契金用连杆法求得刚性板承受对称荷载的基底反力系数,可直接应用,比较简单。

以上的各种计算方法计算基底反力均未考虑上层结构与箱形基础的协同工作,边角部的反力偏大。考虑上层结构与箱形基础协同工作是近二十多年来国内外积极展开的研究工作。国内对北京、上海一些高层建筑箱形基础的基底反力作了实测工作,实测的反力客观上包括了上层结构与箱形基础的协同工作,已有初步统计分析资料,并在规程JGJ 6-80中采用。但还有一定的局限性,有待进一步充实。

(注)温克尔的地基基础理论为将地基视作多个彼此不相关连的独立弹簧,每个弹簧的压缩变形决定于所受的压力和基床系数。日莫契金的理论为将地基视作半无限的匀质弹性连续体,任一点地基的压缩沉降都影响临近的地基。实测表明,这种理论较接近实际情况。

## 2、日莫契金的基底反力系数

日莫契金把整体箱形基础视作刚性板块,按基础边长比值为1~2的底面划分成15~25个等面积的区域,每个区域内近似地

视作均匀分布的基底反力，用连杆法求得各区格的反力系数如下表

(用连杆法计算基底反力可参看《钢筋混凝土结构》教材第十二

例 12-5，此处从略)

$\frac{L}{B}$	基础底面划分 $n$ 个区格	各区格基底反力系数 $p_i$					
		$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$
1		0.472	0.578	1.062	0.638	1.100	1.670
$\frac{5}{3}$		0.495	0.937	0.510	0.967	1.020	1.421
2		0.531	0.941	0.549	0.972	1.143	1.425

将建筑物全部重量  $N$  与基础自重  $G$  平均分配到  $n$  个区格时，每个区格的平均基底反力  $\bar{P} = \frac{N+G}{n}$ ，再乘以各区格的反力系数  $p_i$ ，

即为该区格的基底计算反力

$$P_i = p_i \bar{P}$$

例：已知箱形基础底面尺寸为  $50\text{M} \times 45\text{M}$ ，包括基础自重和上层建筑荷载为  $22500\text{T}$ 。计算基底反力。

解：基底接近正方形，可按  $\frac{L}{B} \approx 1$  划分为 25 个区格，求各区格的基底反力。

各区格的平均基底反力

$$\bar{P} = \frac{N+G}{n} = \frac{22500}{25} = 900\text{T}$$

每个区格的基底反力：

6	5	3	5	6	5×9=45M
5	4	2	4	5	
3	2	1	2	3	
5	4	2	4	5	
6	5	3	5	6	
5×10=50M					

$$P_1 = p_1 \bar{P} = 0.472 \times 900 = 424.8\text{T}$$

$$P_2 = p_2 \bar{P} = 0.578 \times 900 = 520.2\text{T}$$

$$P_3 = p_3 \bar{P} = 1.062 \times 900 = 955.8\text{T}$$

$$P_4 = p_4 \bar{P} = 0.638 \times 900 = 574.2\text{T}$$

$$P_5 = p_5 \bar{P} = 1.100 \times 900 = 990.0\text{T}$$

$$P_6 = p_6 \bar{P} = 1.696 \times 900 = 1526.4\text{T}$$

$$\begin{aligned}\sum P_i &= P_1 + 4(P_2 + P_3 + P_4 + P_6) + 8P_5 \\ &= 424 \cdot 8 + 4 \times (520 \cdot 2 + 955 \cdot 8 + 574 \cdot 2 + 1526 \cdot 4) \\ &\quad + 8 \times 990 = 22651 \cdot 2T \approx 22500T(N+G)\end{aligned}$$

### 3. 北京和上海地区实测的基底反力系数

北京和上海地区对建造在第四纪粘性土和软土上的部分高层建筑箱形基础的基底反力进行实测研究分析。客观上都考虑了上层结构、箱形基础和地基三者之间的空间协同工作，所以对同类型的高层建筑箱形基础设计可供参照使用，但实测建筑的箱形基础多为上层荷载分布比较均匀，基础平面尺寸长宽比为  $\frac{L}{B} = 3 \sim 8$  的矩形平面，所以还有待继续补充  $\frac{L}{B} < 3$  的箱形基础基底反力系数。目前对  $\frac{L}{B} = 1 \sim 2$  的箱形基础还可采用日莫契金的基底反力系数。兹摘录规程 JGJ 6-80 附录二的基底反力系数如下（基底划分为 40 个区格）

一般第四纪粘性土基底反力系数

$$\frac{L}{B} = 3 \sim 4$$

1.282	1.043	0.987	0.976	0.976	0.987	1.043
1.143	0.930	0.881	0.870	0.870	0.881	0.930
1.129	0.919	0.869	0.859	0.859	0.869	0.919
1.143	0.930	0.881	0.870	0.870	0.881	0.930
1.282	1.043	0.987	0.976	0.976	0.987	1.043

$$\frac{L}{B} = 4 \sim 6$$

1.229	1.042	1.014	1.003	1.003	1.014	1.042
1.096	0.929	0.904	0.895	0.895	0.904	0.929
1.082	0.918	0.898	0.884	0.884	0.898	0.918
1.096	0.929	0.904	0.895	0.895	0.904	0.929
1.229	1.042	1.014	1.003	1.003	1.014	1.042

$$\frac{L}{B} = 6 \sim 8$$

1.215	1.058	1.018	1.008	1.008	1.018	1.058	1.215
1.083	0.939	0.903	0.899	0.899	0.903	0.939	1.083
1.070	0.927	0.892	0.888	0.888	0.892	0.927	1.070
1.083	0.939	0.903	0.899	0.899	0.903	0.939	1.083
1.215	1.058	1.018	1.008	1.008	1.018	1.058	1.215

教土地区基底反力系数

0.906	0.966	0.814	0.738	0.738	0.814	0.966	0.906
1.124	1.197	1.009	0.914	0.914	1.009	1.197	1.124
1.235	1.314	1.109	1.006	1.006	1.109	1.314	1.235
1.124	1.197	1.009	0.914	0.914	1.009	1.197	1.124
0.906	0.966	0.814	0.738	0.738	0.814	0.966	0.906

## 五、上层结构与箱形基础协同工作的折算刚度

箱形基础在上层建筑荷载与基底反力共同作用下将产生整体弯曲。当上层结构为刚度较大的剪力墙结构体系，且剪力墙与箱形基础的墙体均上下对正贯通连成整体时，箱形基础的整体刚度将得到很大的加强，为了简化计算，可不考虑箱形基础的整体弯曲。但上层结构为框架结构体系（包括有少量剪力墙的框架——剪力墙结构体系）时，框架结构的整体刚度较弱，箱形基础在上层建筑荷载与基底反力共同作用下将有较大的整体弯曲，但由于框架结构有一定的整体刚度，较不考虑框架参加工作的箱形基础整体弯曲将有所折减。框架结构的折算刚度分析如下。设有  $n$  层  $m$  跨框架结构如下：

