

# MTSTOOL 的独立基础辅助设计工具介绍

——MTSTool 钢结构设计工具箱应用（二）

齐军帅<sup>1</sup> 薛明<sup>2</sup>

（上海蓝科钢结构技术开发有限公司；上海国安园林景观建设有限公司）

## 摘要

基础作为独立的部分一般不参与上部结构的分析，作为 MTSTool 钢结构设计工具箱中的一个重要组成部分，MTSTool 基础模块能够独立的完成平台、短柱、杯口和高杯口基础的设计要求，从规范的选择到土层信息的编辑，再到基础尺寸和内力的设定，基础模块很好的遵循常规设计的习惯性和条理性，把复杂的设计理念过程化作简单的参数化操作，通过强大的用户可干预性扩大了用户群体的涉及面，以及不同地域不同设计思路的全面性。

**关键词** 柱下独立基础 基础设计

## 一 概述

在结构设计中，排架和无地下室的框架结构，上部结构一般作为独立的主结构体系进行设计。基础部分不参与上部结构的建模分析，需独立进行设计。对于柱下独立基础，《混凝土结构设计规范》GB50010-2002 相关章节和《建筑地基基础设计规范》GB5007-2002 以及其它地方性基础规范作出了相应的规定。但是，验算部分比较多，而且如果是高杯口基础，构造要求也比较复杂。设计人员手算的话，会有很大不便。因此，设计人员一般采用辅助软件进行设计，然后根据计算书复核审查。

但是目前大部分可以算基础的软件都仅提供给出平台部分基础设计，对于杯口、短柱或高杯口部分人需要设计人员自己考虑。MTSTool 软件的基础模块对于独立基础提供了多种形式的基础设计，使设计人员能够方便快捷的完成独立基础设计。分类清晰，详细的计算书可以很方便的供设计者检查，同时对于初学者，也可以更好的理解相关规范。

本文将介绍 MTSTool 独立基础设计模块。

## 二 柱下独立基础模块介绍

柱下独立基础设计模块目前考虑的基础设计规范有国家规范《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2002）和上海市规范《地基基础设计规范》（DGJ08-11-1999）两种。考虑的上部

结构类型有钢柱和混凝土柱；柱子形式有单柱、双柱、双肢格构柱。基础类型有平台基础，短柱基础，杯口基础和高杯口基础，同时对于单柱双肢格构柱（高）杯口基础，程序还可以让用户是否选取采用双杯口。同时还考虑：

### 1. 地基信息：

用户可以打开地基库对话框，对地基库进行增加、编辑或删除等。选定地基库后，通过土层操作，对地基的土层信息进行编辑，如下图。

### 2. 荷载：

柱下独立基础考虑基本工况内力标准值和组合工况内力设计值两种荷载，还考虑了基础拉梁分担弯矩的百分比，使用户能够很方便地根据自己需要选用。

基本工况标准值主要有：

- (1) 恒荷载;
- (2) 活荷载;
- (3) 风荷载: 包括上部结构传来的左风荷载和右风荷载;
- (4) 地震荷载: 上部结构传来的重力代表值、水平地震和竖向地震;
- (5) 附加荷载: 附加恒荷载和附加活荷载。

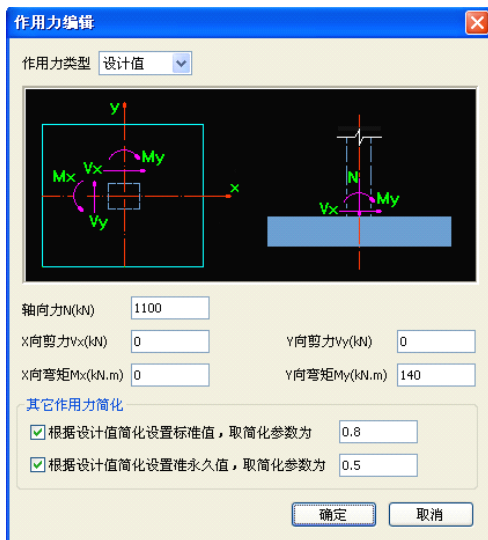
用户可以根据需要进行增加或删除部分基本荷载工况, 上面基本荷载工况界面如下: 组合工况内力设计值主要有:

- (1) 基本组合;
- (2) 标准组合 (选择《地基基础设计规范》DGJ08-11-1999 时, 没有该项荷载组合);
- (3) 准永久组合;

另外用户需要考虑是否进行抗震设计, 组合工况内力设计值输入界面如下。

柱底内力	N (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)
基本组合	1100	0	0	0	140
标准组合	880	0	0	0	112
准永久组合	550	0	0	0	70

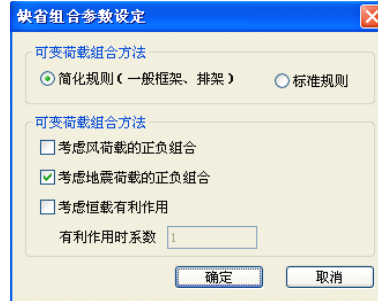
用户可以输入全部的荷载组合值, 也可以通过内力简化输入设置。在下图作用力编辑对话框中仅输入设计值或标准值, 通过设置相应的简化系数, 由程序计算其它组合值。



### 3. 荷载效应组合:

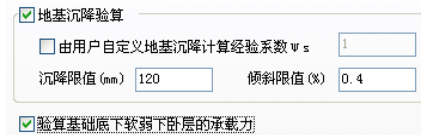
根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2001) 和《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 选用。在“工况组合编辑”对话框中, 列出了基本工况和各组合工况 (略)。用户可以

对已有组合工况进行编辑等操作, 也可自定义新工况。同时程序还提供了修改缺省组合参数 (如下图), 使用户更方便地选择各种组合工况。程序默认组合方法为根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2001) 条文 3.2.4 的简化规则。



### 4. 其它验算:

如下图包括地基沉降验算和软弱下卧层验算 (选择《地基基础设计规范》DGJ08-11-1999 时, 仅有沉降验算)。



## 三 柱下独立基础设计实例

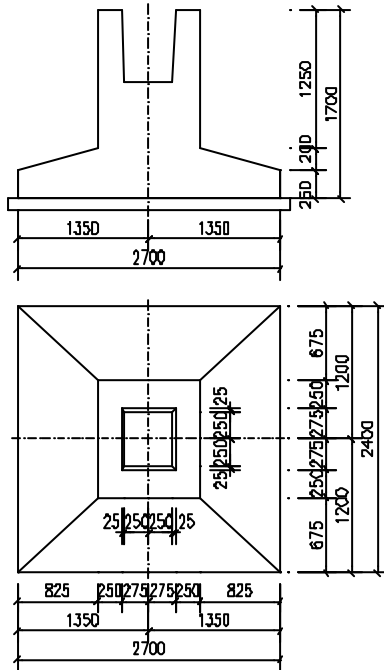
### 1. 基本参数信息:

本工程地基资料为杂填土 (0~1.2m):  $\gamma=16.5\text{kN/m}^3$ ; 粉土 (1.2~5m, 颗粒含量 $\geq 10\%$ ):  $\gamma_{\text{sat}}=16.5\text{kN/m}^3$ ,  $f_{\text{ak}}=135\text{kpa}$ ,  $E_{\text{s1}}=7.5\text{Mpa}$ ; 淤泥质粉土:  $f_{\text{k}}=85\text{kpa}$ ,  $E_{\text{s2}}=2.5\text{Mpa}$ ; 地下水水位 -1.2m。采取锥形高杯口基础, 基础底面尺寸为  $2.7\text{m}\times 2.4\text{m}$ , 如下图。柱底内力基本组合值  $F=900\text{kN}$ ,  $M=140\text{kN}\cdot\text{m}$ , 标准组合值和准永久组合值根据内力简化计算有基本组合值求得。进行抗震设计, 沉降验算和软弱下卧层验算。

### 2. 验算内容:

验算内容包括: 承载力验算, 软弱下卧层验算, 抗冲切验算, 抗剪切验算, 局部受压验算, 底板配筋验算, 基础短柱压/拉弯承载力验算, 短柱配箍验算, 杯口抗弯验算, 变形验算。

MTSTOOL 自动生成图文并茂的详细计算书, 由于篇幅有限, 有局部删减。



### 地基承载力验算

#### 地基承载力特征值计算

地基承载力特征值:

$$\begin{aligned} f_a &= f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5) \\ &= 135 + 0.3 \times 9 \times (3-3) + 1.5 \times 13.5 \times (2-0.5) \\ &= 165.375 \text{ kPa} \end{aligned}$$

地基抗震承载力特征值:

$$f_{aE} = \zeta_a \cdot f_a = 165.375 \times 1.1 = 181.913 \text{ kPa}$$

#### 地基承载力验算

控制工况: 标准组合

工况内力:  $N=720 \text{ kN}$ ;  $V_x=0 \text{ kN}$ ;  $V_y=0 \text{ kN}$ ;

$M_x=0 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ;  $M_y=112 \text{ kN}\cdot\text{m}$

基底作用力标准值计算:

基底竖向合力值:  $F_k+G_k=930.125 \text{ kN}$

基底 Y 向力矩值:  $M_{yk}=112 \text{ kN}\cdot\text{m}$

基底平均压力值:

$$\begin{aligned} P_k &= (F_k+G_k)/A = 930.125/64800 \times 10^4 \\ &= 143.538 \text{ kPa} \leq 181.913, \text{ 满足} \end{aligned}$$

基底最大压力值:

$$\begin{aligned} P_{kmax} &= (F_k+G_k)/A + |M_{yk}|/W_y \\ &= 930.125/64800 \times 10^4 + 112/2916000 \times 10^6 \\ &= 181.947 \text{ kPa} \leq 218.295, \text{ 满足} \end{aligned}$$

#### 基础下卧土层承载力验算

查地基规范(GB 50007-2002)表 5.2.7, 得地基压

力扩散角:  $\theta=23^\circ$

土层顶面处土的附加压力值:

$$\begin{aligned} p_z &= b \cdot l \cdot (p_k - p_c) / (b + 2 \cdot z \cdot \tan \theta) / (l + 2 \cdot z \cdot \tan \theta) \\ &= 29.095 \text{ kPa} \end{aligned}$$

土层顶面处土的自重压力值:

$$p_{cz} = \gamma_m \cdot d_z = 10.8 \times 5 = 54 \text{ kPa}$$

经深度修正后的土层承载力特征值:

$$\begin{aligned} f_{az} &= f_{ak} + \eta_d z \cdot (d_z - 0.5) \cdot \gamma_m = 85 + 1 \times (5 - 0.5) \times 10.8 = 133.6 \text{ kPa} \end{aligned}$$

第 1 个土层压力值:  $p_z + p_{cz} = 83.095 \text{ kPa}$

第 1 个土层承载力特征值:  $f_{az} = 133.6 \geq 83.095$ ,

满足

#### 基础抗冲切验算

控制工况: 基本组合

工况内力:  $N=900 \text{ kN}$ ;  $V_x=0 \text{ kN}$ ;  $V_y=0 \text{ kN}$ ;

$M_x=0 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ;  $M_y=140 \text{ kN}\cdot\text{m}$

基底作用力计算:

基础与覆土自重设计值:  $G=278.07 \text{ kN}$

基底竖向力值:  $F_d = N + G = 1178.07 \text{ kN}$

基底 Y 向力矩值:  $M_{yd} = 140 \text{ kN}\cdot\text{m}$

冲切锥体抗冲切承载力计算:

抗冲切承载力:  $F_h = 0.7 \cdot \beta_h \cdot b_m \cdot H_0 \cdot f_t = 446.6 \text{ kN}$

基底冲切压力值:  $F_l = 169.692 \text{ kN} \leq 446.6 \text{ kN}$ ,

满足

按保守简化方法(均布最大净反力)计算的冲切压力为:

$$F_l = A_l \cdot (p_{max} - G/A) = 176.504 \text{ kN} \leq 446.6 \text{ kN},$$

满足

#### 基础抗剪切验算

控制工况: 基本组合

基底作用力和净压力分布同冲切验算时, 详见冲切验算

抗剪切承载力:  $F_v = 0.7 \cdot \beta_h \cdot A_v \cdot f_t = 635.25 \text{ kN}$

经积分计算, 剪切压力值:  $F_l = 341.015 \text{ kN} \leq 635.25 \text{ kN}$ , 满足

按保守简化方法(均布最大净反力)计算的剪切压力:

$$F_l = A_l \cdot (p_{max} - G/A) = 370.062 \text{ kN} \leq 635.25 \text{ kN}, \text{ 满足}$$

满足

#### 控制工况下基础局部受压验算

按素混凝土验算柱下基础混凝土的局部受压

考虑局部受压面上荷载均匀分布, 取荷载分布

影响系数:  $\omega=1$

基础素混凝土轴心抗压强度设计值:

$$f_{cc}=0.85*f_c=0.85\times 9.6=8.16 \text{ N/mm}^2$$

控制工况: 基本组合

控制内力:  $N=900 \text{ kN}$

局部受压面积:  $A_l=X_c*Y_c=1600 \text{ cm}^2$

强度提高系数:  $\beta_l=(A_b/A_l)^{0.5}=2.625$

柱下局压应力比:

$$\xi=N/(\omega*f_{cc}*\beta_l*A_l)=0.2626\leq 1, \text{ 满足}$$

### 基础底板配筋验算

#### 基础底板X向配筋验算

控制工况、基底作用力和净压力分布同上

基础 X 向最大有效面积:  $A_x=8250 \text{ cm}^2$

基础 X 向实配钢筋面积:  $A_{sx}=18.096 \text{ cm}^2$

基础 X 向配筋率:  $\rho_{sx}=A_{sx}/A_x*100=0.2193\%\geq 0.15\%$ , 满足

底板钢筋总拉力:  $F_s=f_{bx}*A_{bx}*l=380.007 \text{ kN}$

相对受压区高度:  $\xi=x/h_0=27.388/400=0.06847\leq \xi_b=0.614$ , 满足

底板钢筋力臂长度:  $S=h_0-x/2=386.306 \text{ mm}$

第 1 阶抗弯承载力为:  $M_u=F_s*S=146.799 \text{ kN}\cdot\text{m}$

基底净压力对第 1 阶截面弯矩为:  $118.286 \text{ kN}\cdot\text{m}\leq 146.799 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , 满足

按(保守简化方法)均布最大净反力计算的截面弯矩:

$$M=h^2*(2*l+bc)*(p_{max}-G/A)/6=124.029 \text{ kN}\cdot\text{m}\leq 146.799 \text{ kN}\cdot\text{m}, \text{ 满足}$$

#### 基础底板Y向配筋验算

控制工况、基底作用力和净压力分布同上

基础 Y 向最大有效面积:  $A_y=9150 \text{ cm}^2$

基础 Y 向实配钢筋面积:  $A_{sy}=14.137 \text{ cm}^2$

基础 Y 向配筋率:  $\rho_{sy}=A_{sy}/A_y*100=0.1545\%\geq 0.15\%$ , 满足

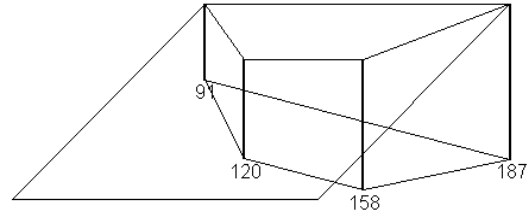
底板钢筋总拉力:  $F_s=f_{by}*A_{by}*l=296.881 \text{ kN}$

相对受压区高度:  $\xi=x/h_0=18.92/400=0.0473\leq \xi_b=0.614$ , 满足

底板钢筋力臂长度:  $S=h_0-x/2=390.54 \text{ mm}$

第 1 阶抗弯承载力为:  $M_u=F_s*S=115.944 \text{ kN}\cdot\text{m}$

抗弯验算取用的基底面积呈梯形分布, 区域内地基净压力分布图(kPa)如下



基底净压力对第 1 阶截面弯矩为:  $68.026 \text{ kN}\cdot\text{m}\leq 115.944 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , 满足

按(保守简化方法)均布最大净反力计算的截面弯矩:

$$M=h^2*(2*l+bc)*(p_{max}-G/A)/6=91.543 \text{ kN}\cdot\text{m}\leq 115.944 \text{ kN}\cdot\text{m}, \text{ 满足}$$

### 基础短柱压/拉弯承载力验算

短柱按素混凝土构件验算压/拉弯承载力

控制工况和基顶内力: 同上

底部作用力计算:

轴力:  $N_z=N+\rho*g*X*Y*H_z=940.517 \text{ kN}$

Y 向弯矩:  $M_{yz}=M_y+V_z*H_z=140 \text{ kN}\cdot\text{m}$

短柱 X 向尺寸:  $X=1050 \text{ mm}$

短柱 Y 向尺寸:  $Y=1050 \text{ mm}$

短柱计算长度:  $l_0=2*(H_z-H_b)=1200 \text{ mm}$

轴心受压承载力设计值:

$$N_{u0}=\psi*f_{cc}*X*Y=8996.4 \text{ kN}$$

X 向初始偏心距:  $E_{0x}=M_{yz}/N_z=148.854 \text{ mm}$

X 向偏压承载力设计值:

$$N_{ux}=\psi*f_{cc}*Y*(X-2*E_{0x})=6445.632 \text{ kN}$$

短柱压弯应力比:

$$\xi=N_z/N_u=N/\min(N_{u0}, N_{ux})=0.1459\leq 1, \text{ 满足}$$

### 基础短柱配箍验算

#### 短柱抗剪截面验算

控制工况和短柱作用力: 同上

$\max(X, Y)/\min(X, Y)=1\leq 4$ , 取截面抗剪系数为 0.25

截面 X 向不受剪力作用, 满足要求

Y 向截面强度比:  $\xi_y=V_{yz}/(0.25*\beta_c*f_c*X*Y_0)=0\leq 1.0$ , 满足

#### 短柱配箍验算

有效轴力:  $N_a=\min(N, 0.3*f_c*X*Y)=900 \text{ kN}$

取计算截面剪跨比:  $\lambda=1.5$

### 杯口抗弯承载力验算

柱子插入杯口深度:  $h_1=600 \text{ mm}$

**X向抗弯承载力验算**

控制工况和工况内力：同上

柱后下角点弯矩计算：

$$|M_x| = \max(-M_x + V_y * h_1 - 0.5 * N * Y_c, 0) = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

杯口 X 向右侧抗弯承载力计算

杯顶焊接钢筋网抗弯承载力：M<sub>s</sub>=93.566 kN·m

杯壁箍筋抗弯承载力：M<sub>g</sub>=27.445 kN·m

短柱纵筋抗弯承载力：M<sub>z</sub>=101.599 kN·m

杯口抗弯承载力：M<sub>u</sub>=M<sub>s</sub>+M<sub>g</sub>+M<sub>z</sub>=222.61 kN·m

X 向抗弯应力比：ξ=|M<sub>x</sub>|/M<sub>u</sub>=0≤1，满足

**Y向抗弯承载力验算**

控制工况和工况内力：同上

柱左下角点弯矩计算：

$$|M_y| = \max(-M_y - V_x * h_1 - 0.5 * N * X_c, 0) = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

杯口 Y 向右侧抗弯承载力计算

杯顶焊接钢筋网抗弯承载力：M<sub>s</sub>=93.566 kN·m

杯壁箍筋抗弯承载力：M<sub>g</sub>=27.445 kN·m

短柱纵筋抗弯承载力：M<sub>z</sub>=101.599 kN·m

杯口抗弯承载力：M<sub>u</sub>=M<sub>s</sub>+M<sub>g</sub>+M<sub>z</sub>=222.61 kN·m

Y 向抗弯应力比：ξ=|M<sub>y</sub>|/M<sub>u</sub>=0≤1，满足

**基础沉降验算**

**基础沉降验算**

控制工况：准永久组合

工况内力：N=450 kN；V<sub>x</sub>=0 kN；V<sub>y</sub>=0 kN；

M<sub>x</sub>=0 kN·m；M<sub>y</sub>=70 kN·m

基底竖向力值：F<sub>c</sub>=N+G<sub>k</sub>=450 kN

基底中心压力值：P<sub>z</sub>=F/A=101.871 kPa

基底中心自重压力：P<sub>c</sub>=27 kPa

基底中心附加压力：P<sub>0</sub>=P<sub>z</sub>-P<sub>c</sub>=74.871 kPa

基底下各层土的压缩情况如下：

Z <sub>i</sub> (m)	α <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub> α <sub>i</sub> (m)	ΔZ <sub>i</sub> α <sub>i</sub> (m)	S <sub>i</sub> (mm)	ΣS <sub>i</sub> (mm)
0	0.25	0	—	—	—
3	0.1596	0.479	0.479	19.117	19.117
13	0.0503	0.653	0.175	20.923	40.039

$$\Delta s_3 = 1.255 > 0.025 \sum S_i = 1.001 \text{ mm}$$

依 GB50007—2002 公式 5.3.6，用户提供的土层深度不够，沉降量计算结果偏小

基底下土层的压缩模量当量值为：4.887 Mpa

按地基规范 GB5007-2002 表 5.3.5 的沉降计算

经验系数：ψ<sub>s</sub>=0.9113

基础总沉降量：s=ψ<sub>s</sub>\*Σs<sub>i</sub>=36.487 mm ≤ 120，

满足

**基础倾斜验算**

控制工况和工况内力：同上

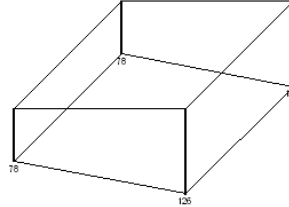
基底作用力计算：

基底竖向力值：F<sub>c</sub>=N+G<sub>k</sub>=450 kN

基底 X 向力矩值：M<sub>xc</sub>=0 kN·m

基底 Y 向力矩值：M<sub>yc</sub>=70 kN·m

基底压力分布图(kPa)如下



四角点附加压力 (kPa)：P<sub>max</sub>=98.877，

P<sub>minX</sub>=50.866，P<sub>minY</sub>=98.877，P<sub>mir</sub>=50.866

基底压力可分解为以下三部分作用的叠加：

第一种：以 P<sub>min</sub> 为压力值的均布荷载作用

第二种：以 P<sub>minX</sub>-P<sub>min</sub> 为边缘最大压力值的 Y 向三角分布荷载作用

第三种：以 P<sub>minY</sub>-P<sub>min</sub> 为边缘最大压力值的 X 向三角分布荷载作用

基底角点最大沉降差等于 '二、三' 两种情况下 '1、2' 点沉降差之和

三角分布作用下各层土的压缩情况如下：

层号	Z <sub>i</sub> α <sub>i</sub> x1	Z <sub>i</sub> α <sub>i</sub> x2	Z <sub>i</sub> α <sub>i</sub> y1	Z <sub>i</sub> α <sub>i</sub> y2	ΔS <sub>i</sub>
1	0.149	0.495	0.179	0.483	2.213
2	0.406	0.813	0.426	0.797	1.163

(除 ΔS<sub>i</sub> 单位为 mm 外其余为 m)

第二种作用的最大边缘压力为零，取两端点距离：L=B<sub>y</sub>l=2400 mm

基础沉降计算经验系数：ψ<sub>s</sub>=0.9113(计算过程参基础沉降验算)

基础沉降倾斜值(%)：ξ=ψ<sub>s</sub>\*ΣΔS<sub>i</sub>/L=0.1282% ≤ 0.4，满足

(欢迎到 [www.lankesoft.com](http://www.lankesoft.com) 下载试用版)

讨论 MTS 的 QQ 群号：45460868