

****基坑工程设计计算书**

设计依据：《国家行业标准—建筑基坑支护技术规程(JGJ120-99)》

******勘察设计研究院有限公司**

2011. 6. 15

(采用同济启明星基坑软件计算)

1 工程概况

该基坑设计总深10.7m，按一级基坑 、选用《国家行业标准—建筑基坑支护技术规程 (JGJ120-99)》进行设计计算，计算断面编号：1。

1.1 土层参数

序 号	土层名 称	厚 度 (m)	γ (kN/m ³)	c (kP a)	ϕ (°)
1	11	3.40	18.0	8.00	13.00
2	12	0.50	18.0	8.00	3.00
3	13	0.50	18.0	12.00	10.00
4	21	1.80	18.8	11.00	28.00
5	22	2.70	18.7	10.00	25.00
6	31	1.70	16.8	13.00	12.00
7	32	2.70	17.8	17.00	12.00
8	51	6.20	18.2	12.00	13.00
9	52	5.80	18.2	2.00	28.00
10	63	6.20	18.8	35.00	30.00

续表

序号	土层名称	厚度 (m)	γ (MN/m ³)	K _{max} (MN/m ³)	分算 /合算
1	11	3.40	2.9	0.0	分算
2	12	0.50	0.7	0.0	分算
3	13	0.50	2.2	0.0	分算
4	21	1.80	8.0	0.0	分算
5	22	2.70	9.0	0.0	分算
6	31	1.70	3.0	0.0	合算
7	32	2.70	3.4	0.0	合算
8	51	6.20	3.3	0.0	合算
9	52	5.80	3.3	0.0	合算
10	63	6.20	6.5	0.0	分算

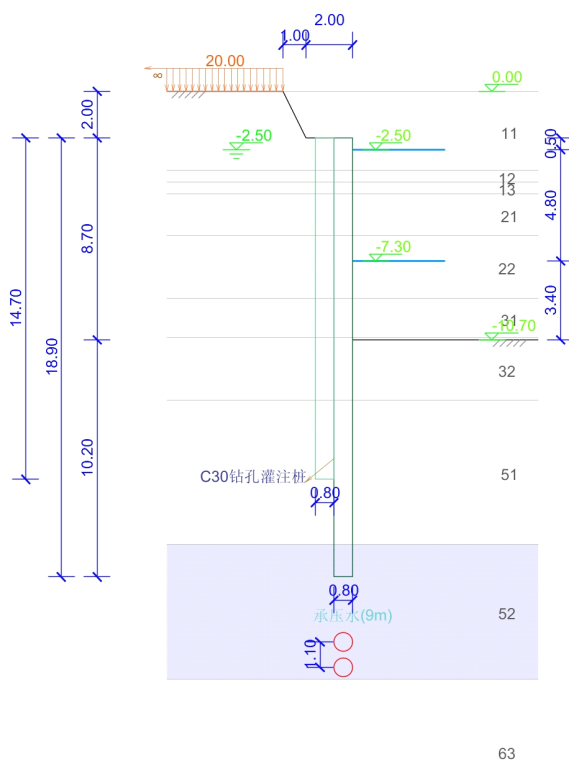
地下水位埋深：2.50m。 第9层为承压含水层，坑外承压水水位：3.0m；坑内承压水水位：6.0m。

1.2 基坑周边荷载

地面超载：20.0kPa

2 开挖与支护设计

基坑支护方案如图：



XX基坑工程基坑支护方案图

2.1 挡墙设计

- 挡墙类型：钻孔灌注桩；
- 嵌入深度：10.2m；
- 露出长度：0.000m；
- 桩径：800mm；
- 桩间距：1100mm；
- 混凝土等级：C30；
- 止水帷幕厚度：0.800m；
- 止水帷幕嵌入深度：6.000m

2.2 放坡设计

2.2.1 第1级放坡设计

坡面尺寸：坡高2.00m；坡宽1.00m；台宽2.00m。

放坡影响方式为：一。

2.3 支撑(锚)结构设计

本方案设置2道支撑(锚), 各层数据如下:

第1道支撑(锚)为平面内支撑,距墙顶深度0.500m,工作面超过深度0.300m,预加轴力0.00kN/m,对挡墙的水平约束刚度取50000.0kN/m/m。该道平面内支撑具体数据如下:

- 支撑材料：钢筋混凝土撑；
- 支撑长度：30.000m；
- 支撑间距：5.000m；
- 与围檩之间的夹角： 90.000° ；
- 不动点调整系数：0.500；
- 混凝土等级：C30；
- 截面高：800mm；
- 截面宽：600mm。

计算点位置系数: 0.000。

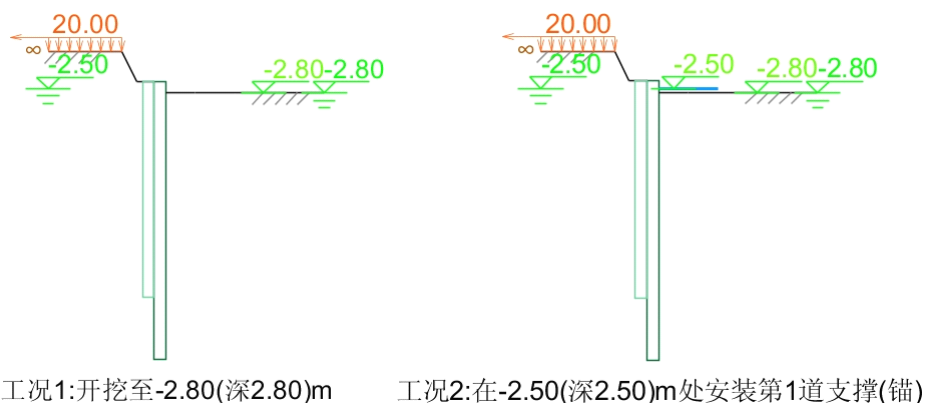
第2道支撑(锚)为平面内支撑,距墙顶深度5.300m,工作面超过深度0.300m,预加轴力0.00kN/m,对挡墙的水平约束刚度取50000.0kN/m/m。该道平面内支撑具体数据如下:

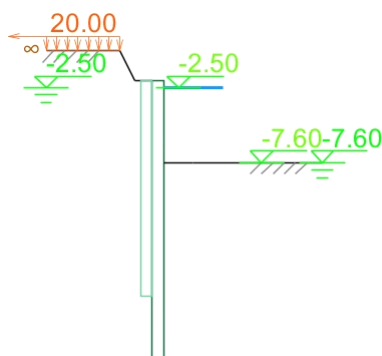
- 支撑材料：钢筋混凝土撑；
- 支撑长度：30.000m；
- 支撑间距：5.000m；
- 与围檩之间的夹角： 90.000° ；
- 不动点调整系数：0.500；
- 混凝土等级：C30；
- 截面高：800mm；
- 截面宽：600mm。

计算点位置系数: 0.000。

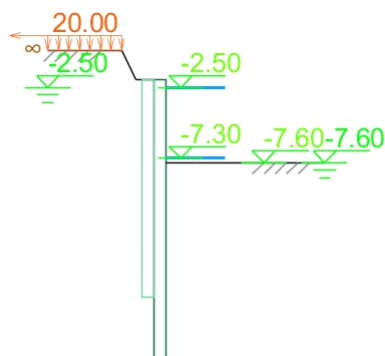
2.4 工况顺序

该基坑的施工工况顺序如下图所示:

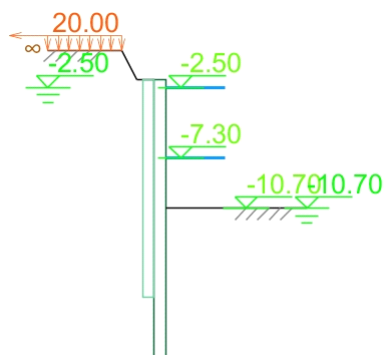




工况3:开挖至-7.60(深7.60)m



工况4:在-7.30(深7.30)m处安装第2道支撑(锚)



工况5:开挖至-10.70(深10.7)m

3 计算原理描述

3.1 围护墙主动侧土压力计算

3.1.1 朗肯主动土压力

深度 z 处第 i 层土的主动土压力强度的标准值 $e_{ak,i}$ 按下列公式计算:

采用水土合算或计算点在水位以上时:

$$e_{ak,i} = (q + \sum_{j=1}^i \gamma_j \Delta h_j) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (\text{小于0取0})$$

$$K_{a,i} = \tan^2(45^\circ - \varphi_i / 2)$$

采用水土分算且计算点在水位以下时:

$$e_{ak,i} = [q + \sum_{j=1}^i \gamma_j \Delta h_j - (z - h_{wa,i}) \gamma_w] K'_{a,i} - 2c'_i \sqrt{K'_{a,i}} \quad (\text{小于0取0})$$

$$K'_{a,i} = \tan^2(45^\circ - \varphi'_i / 2)$$

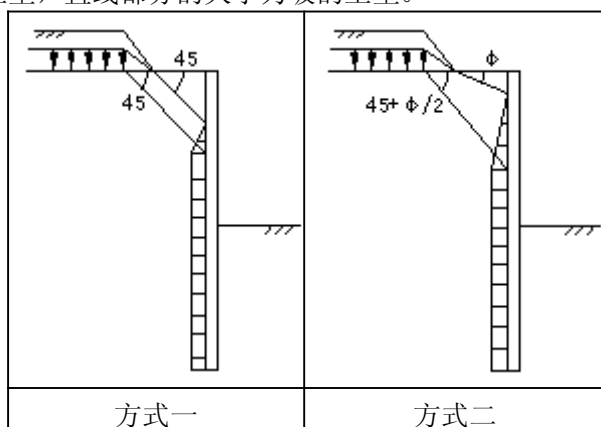
对于 矩形土压力 模式, 自重部分须扣除坑内土的自重(对水位以下的分算土层, 扣除有效自重; 坑内水位取坑底位置, 天然水位在坑底以下就取天然水位)。

式中：

- γ_j — 第j层土的天然重度；
 γ_w — 水的重度，取10kN/m³；
 Δh_j — 第j层土的厚度；
 $h_{w,i}$ — 地下水位；
 c_i 、 c'_i — 第i层土的内聚力、有效内聚力；
 ϕ_i 、 ϕ'_i — 第i层土的内摩擦角、有效内摩擦角；
 —
 q — 超载。

3.1.2 放坡的影响

将放坡模拟成等效荷载，荷载的大小为坡的土体自重，按照假定的方式将这部分土重增加到围护墙体范围内土体的自重中。如下图是两种增加土体自重的方式，阴影部分即为增加的土重，直线部分的大小为坡的土重。



3.2 围护墙被动侧土压力计算

被动侧土压力采用简化库伦土压力公式：

采用水土合算或计算点在水位以上时：

$$e_{pk,i} = \sum_{j=1}^i \gamma_j \Delta h_j K_{p,i} + 2c \sqrt{K_{ph,i}}$$

$$K_{p,i} = \frac{\cos^2 \phi_i}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi_i + \delta_i) \sin \phi_i}{\cos \delta_i}}\right]^2}, \quad K_{ph,i} = \frac{\cos^2 \phi_i \cos^2 \delta_i}{[1 - \sin(\phi_i + \delta_i)]^2}$$

采用水土分算且计算点在水位以下时：

$$e_{pk,i} = \left[\sum_{j=1}^i \gamma_j \Delta h_j - (z - h_{wp,i}) \right] \cdot K'_{p,i} + 2c' \sqrt{K'_{ph,i}}$$

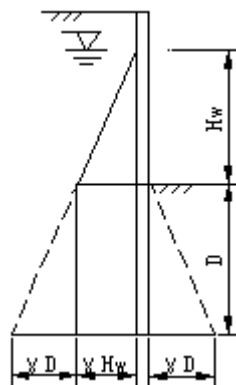
$$K'_{p,i} = \frac{\cos^2 \varphi'_i}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi'_i + \delta'_i) \sin \varphi'_i}{\cos \delta'_i}}\right]^2}, \quad K'_{ph,i} = \frac{\cos^2 \varphi'_i \cos^2 \delta'_i}{[1 - \sin(\varphi'_i + \delta'_i)]^2}$$

式中：

- $h_{wp,i}$ — 坑内地下水位；
 δ_i, δ'_i — 第*i*层土与墙体的摩擦角和有效摩擦角，
 — 取 $(2/3 \sim 3/4) \phi$ 或 ϕ' 。

3.3 水压力计算

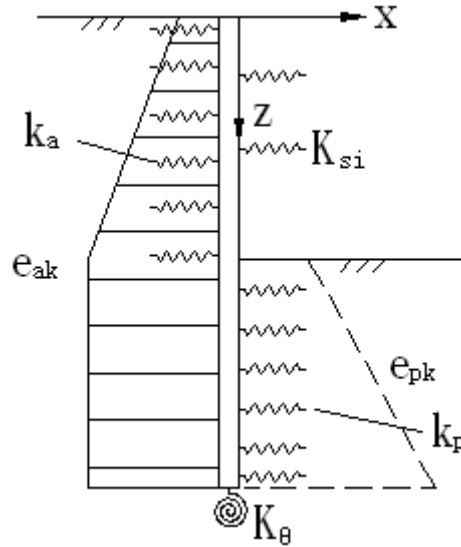
3.3.1 静止水压力



图中：

- γ — 水的重度 10 kN/m^3 。

3.4 围护墙内力变形计算



计算简图

围护墙的基本方程:

内力变形关系:

$$M = EI\rho = -EI \frac{d^2 x}{dz^2}$$

平衡方程:

$$Q = \frac{dM}{dz} = -EI \frac{d^3 x}{dz^3}$$

$$-\frac{dQ}{dz} = EI \frac{d^4 x}{dz^4} = e_{ak} b_z - k_a b_0 x - k_p b_0 x$$

支撑处边界条件:

$$Q_{z_{si}} = -EI \frac{d^3 x}{dz^3} \Big|_{z=z_{si}} = -K_{si} b_z (x_{z_{si}}^m - x_{z_{si}}^{m-1}) - T_{0i}$$

桩端处边界条件:

$$M_{z_L} = -EI \frac{d^2 x}{dz^2} \Big|_{z=z_L} = -K_{\theta} \frac{dx}{dz} \Big|_{z=z_L}$$

式中:

M— 桩身弯矩;

EI 围护墙抗弯刚度, E为墙体材料的弹性模量, I截面惯性矩 ;

—

ρ 曲率;

—

x— 水平位移;

z— 深度;

Q— 桩身剪力;

e_{ak}	主动侧水土压力；
k_a	基底以上土的水平向基床系数，见“土体水平向基床系数计算”。当位移为正是取0；
k_p	基底以下土的水平向基床系数，见“土体水平向基床系数计算”。
—	可考虑坑底土的塑性性质，当 $k_p x > e_{pk}$ 时，取 $k_p = e_{pk} / x$ ， e_{pk} 为坑底极限被动土压力，见“围护墙被动侧土压力计算”；
b_s	主动侧水土压力计算宽度，对板桩、连续墙、搅拌桩取每延米，对排桩、SMW工法桩取桩中心距；
b_0	土体抗力计算宽度。墙式围护取每延米；
—	对圆形排桩围护： $b_0 = 0.9(1.5d + 0.5)$ ， d 为桩径；
	对方形排桩围护： $b_0 = 1.5b + 0.5$ ， b 为边长；
	计算值超过桩间距时 b_0 取桩间距；
z_{si}	第 <i>i</i> 道支撑的深度。
K_{si}	第 <i>i</i> 道支撑每延米的水平刚度。见“支撑/锚的水平刚度计算”；
$Q_{z_{si}}$	第 <i>i</i> 道支撑处的墙体剪力。
$x_{z_{si}}^m$	第 <i>i</i> 道支撑处第 <i>m</i> 工况的水平位移。
T_{0i}	第 <i>i</i> 道支撑每延米的水平向预加轴力。
z_L	墙底端的深度。
M_{z_L}	墙底端的墙体弯矩
K_0	墙底端旋转约束刚度，模拟墙底土对墙底的约束作用，对于较厚的搅拌桩，可考虑这种作用，对于其他厚度较薄的围护墙，可忽略这种作用。 $K_0 = 1 \times b^3 \times k_p(D) / 12$ ， D 为嵌入深度。

上述微分方程可用有限单元法求解，解得水平位移后，可求出桩身内力。

3.4.1 土体水平向基床系数的计算

3.4.1.1 m法

$k_p = mz$ ， m 为土层的水平向基床系数随深度增长的比例系数， z 为计算点距离开挖面的深

度（对于主动侧就是距桩顶的距离）；

3.5 地表沉降计算

3.5.1 同济抛物线模式

地表沉降范围 x_0 与三角形模式相同。

各点的沉降：

$$\delta_x = 4\delta_m \frac{x_0 - x}{x_0^2} + \Delta\delta \frac{x_0 - x}{x_0}$$

$$\Delta\delta = 0.5(\delta_{w1} + \delta_{w2})$$

$$\delta_m = \frac{1.6S_w}{x_0} - 0.3\Delta\delta$$

上列式中：

S_w — 支护结构侧移面积；

H — 基坑开挖深度；

δ 支护结构顶端位移；

w_1 —

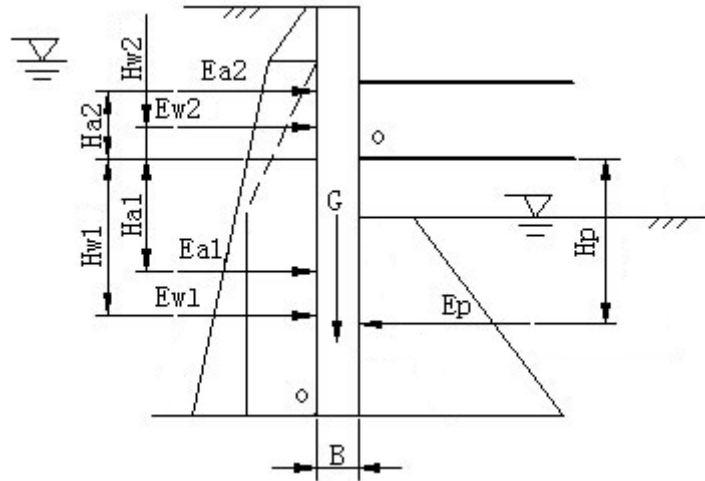
δ 支护结构底端位移；

w_2 —

D — 基坑开挖面以下支护结构的长度；

3.6 抗倾覆计算

3.6.1 带撑抗倾覆计算



当不记支撑点以上土压力时：

$$K_o = \frac{E_p H_p + GB/2}{E_{a1} H_{a1} + E_{w1} H_{w1}}$$

记入支撑点以上土压力时：

$$K_o = \frac{E_p H_p + GB/2}{E_{a1} H_{a1} + E_{w1} H_{w1} - E_{a2} H_{a2} - E_{w2} H_{w2}}$$

式中

o— 倾覆转点，最下道支撑位置处；

E_{a1} 、 E_{a2} — o点以下、以上主动侧土压力合力；

E_{w1} 、 E_{w2} — o点以下、以上水压力合力；

H_{w1} 、 H_{a1} — o点以下水压力、主动侧土压力合力作用点离o点的距离；

H_{w2} 、 H_{a2} — o点以上水压力、主动侧土压力合力作用点离o点的距离。

3.7 整体稳定计算

对于单个圆弧滑面的整体稳定安全系数计算方法如下。

3.7.1 瑞典条分法-总应力法

$$K_s = \frac{\sum [c_i l_i + (Q_i + G_i) \cos \theta_i \tan \varphi_i] + N_j}{\sum [(Q_i + G_i) \sin \theta_i]}$$

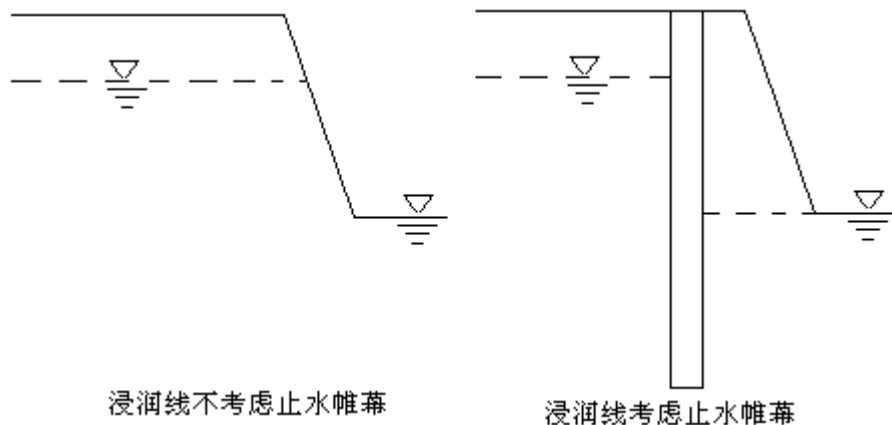
上列式中：

$$N_j = \sum \zeta T_{Nj} \cos(\theta_i + \alpha_j) + \zeta T_{Nj} \sin(\theta_i + \alpha_j) \tan \varphi_i / S_j + N_p$$

$$N_p = \cos \theta_p \sqrt{\frac{2M_c \gamma_p h_p (K_p - K_a)}{S_p}}$$

式中：

- K_s — 整体稳定安全系数；
- N_j — 土钉、锚杆、微型桩、排桩在滑弧上产生的抗滑力标准值；
- c_i — 第*i*分条滑裂面处土体(或水泥土， 乘折减系数后的*c*)的粘聚力；
- ϕ_i — 第*i*分条滑裂面处土体(或水泥土， $\tan \phi$ 乘折减系数后的 ϕ)的内摩擦角；
- K_a — 主动土压力系数；
- L_i — 第*i*分条滑动面弧长；
- G_i — 第*i*分条土条(包括水泥土)重量；
- W_i — 第*i*分条土条受到的水浮力；
- W_i' — 第*i*分条土条受到坑内水位以下那部分水的水浮力 （当地下水位高于开挖面时，坑内水位取开挖面，否则取地下水位）；
- u_i — 第*i*分条土条底部中心处的孔隙水压力，即为该点处的静水压力；若考虑土性，则对水土合算的土层取0；静水压力与浸润线有关，当地下水低于开挖面时，浸润线就是地下水位线；当地下水高于开挖面时，浸润线如下：



- Q_i — 超载和邻近荷载在第*i*分条上分布的总力；
- T_{Nj} — 第*j*道土钉/锚杆在滑裂面外的部分的抗拔力标准值和杆体抗拉强度标准值中的小值，见“公式”；
- S_j — 第*j*道土钉/锚杆的水平间距；
- θ_i — 第*i*分条滑动面切线与水平面之间的夹角；
- α_j — 第*j*道土钉/锚杆与水平面之间的夹角。
- ζ 、 ξ — 土钉或锚杆切向力折减系数、法向力折减系数。

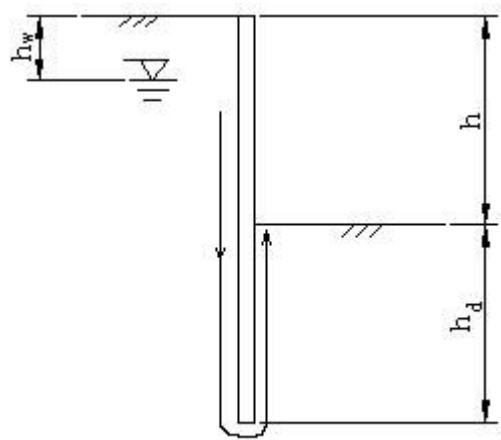
—

- N_p — 滑弧切过排桩或连续墙时桩墙的抗滑力；
- θ_p — 滑弧切桩点切线与水平面的夹角；
- M_c — 桩墙抗弯承载力设计值；
- h_p — 切桩点到坡面的深度；
- γ_p — h_p 范围内土的平均重度；
- S_p — 排桩间距，连续墙取1m。

3.8 抗渗流稳定计算

3.8.1 简易法

根据水位和嵌入深度来确定安全系数：

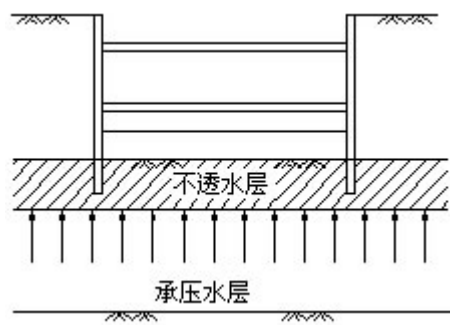


$$K_s = \frac{h_d}{h - h_w}$$

式中

K_s 抗渗流安全系数。

3.9 抗承压水稳定计算



$$K_y = \frac{p_{cz}}{p_{wy}}$$

式中：

p_{cz} 基坑开挖面以下至承压水层顶板间覆盖土的自重压力；
 p_{wy} 承压水层的水头压力；

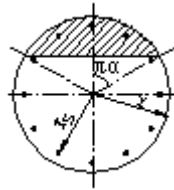
K_y 抗承压水稳定安全系数。

—

3.10 配筋计算

3.10.1 灌注桩配筋计算

采用《混凝土结构设计规范》GB50010-2010的方法。



配筋计算简图

$$\alpha \alpha_t f_c A [1 - \sin(2\pi\alpha) / 2\pi\alpha] + (\alpha - \alpha_t) f_y A_s = 0$$

$$[2\alpha_t f_c A r \sin^3(\pi\alpha)] / (3\pi) + f_y A_s r_s [\sin(\pi\alpha) + \sin(\pi\alpha_t)] / \pi = M_d$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha$$

式中：

M_d 弯矩设计值, $M_d = \gamma \eta M_k$, M_k 为弯矩标准值, γ 为设计值系数, η 为弯矩折减系数;

—

A 圆形截面面积;

—

A_s 全部纵向钢筋的截面面积;

—

r 圆形截面的半径;

—

r_s 纵向钢筋重心所在圆周的半径;

—

α 系数, 按混凝土结构设计规范的规定自动计算;

—

α 对应于受压区混凝土截面面积的圆心角(rad)与 2π 的比值;

—

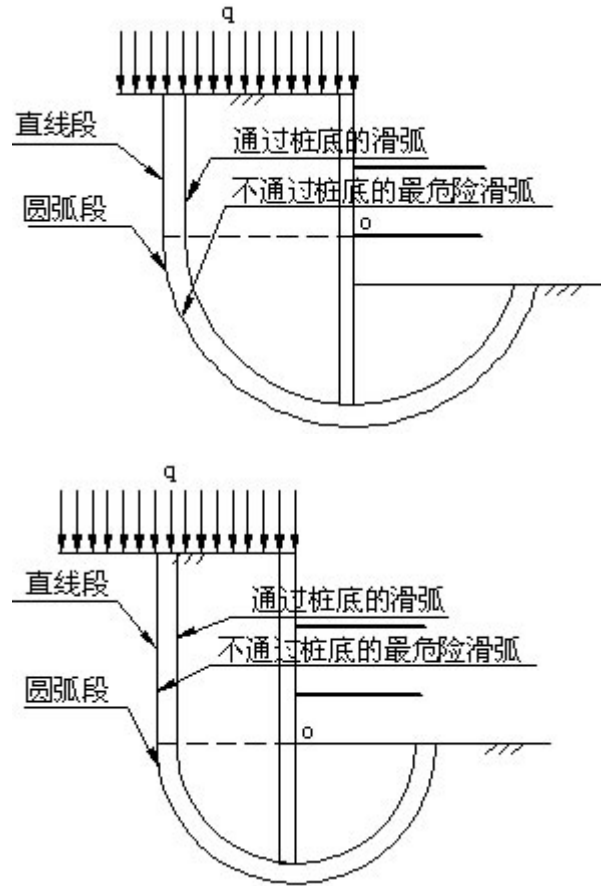
α_t 纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值, 当 $\alpha > 0.625$ 时, 取

$\alpha_t = 0$ 。

求解上面方程组, 可求出 A_s 。

3.11 坑底抗隆起计算

坑底抗隆起的计算同整体稳定，破坏面为如下图所示的组合滑面，其圆弧部分的圆心可以假定为最下到支撑处或者坑底，其半径可以假定为经过桩底，也可往下搜索，找出最危险的滑面。



中心在最下到支撑点处的圆弧组合滑面 中心在坑底的圆弧组合滑面

$$K_L = \frac{F_R}{F_S}$$

$$F_S = \int_{\text{弧段}} \sigma \cos \theta \sin \theta ds$$

$$F_R = \int_{\text{弧段}} [c + \sigma(1 + K_a \tan^2 \theta) \cos^2 \theta \tan \phi] ds + \int_{\text{直线段}} (\sigma K_a \tan \phi + c) ds + M_u / R$$

(总应力法)

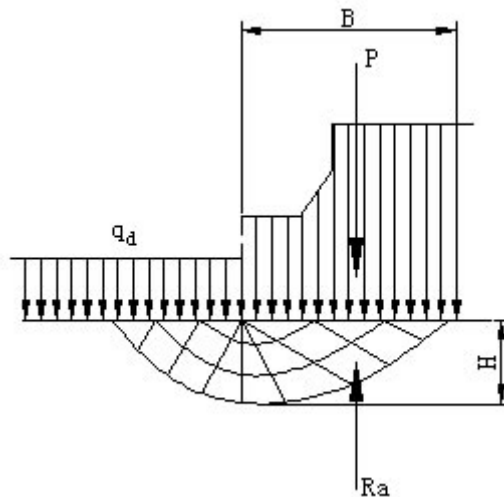
$$F_R = \int_{\text{弧段}} [c' + (\sigma(1 + K'_a \tan^2 \theta) \cos^2 \theta - u) \tan \phi'] ds + \int_{\text{直线段}} [(\sigma K'_a - u) \tan \phi' + c'] ds + M_u / R$$

(有效应力法)

式中：

- K_L — 整体稳定安全系数；
 F_R 、 K_S — 抗滑力和下滑力；
 c 、 ϕ — 计算点处土体的内聚力和内摩擦角，总应力指标；
 c' 、 ϕ' — 计算点处土体的内聚力和内摩擦角，有效应力指标；
 K_a 、 K_a' — 计算点处主动土压力系数，分别用总应力指标和有效应力指标求得。
 θ — 弧段上计算点处切线与水平面的夹角；
 R — 圆弧半径；
 u — 计算点处的孔隙水压， $u = \gamma_w z_w$ ， γ_w 为水的重度； z_w 为计算点处的水深；
 M_u — 桩墙每延米所能承受的极限弯矩。

3.12 墙底抗隆起计算



$$K_q = \frac{R_a}{P}$$

式中：

- K_q — 墙底抗隆起安全系数；
 P — 墙底以下验算断面上坑外侧隆起宽度B范围内的总荷载（土重和超载）；
 R_a — 墙底以下验算断面上坑外侧隆起宽度B范围内的极限承载力的合力，
 $R_a = r_a B$ ， r_a 为极限承载力，由以下公式计算。

式中：

- q_d — 验算断面上坑内侧的土重；
 c 、 ϕ — 验算断面以下隆起深度范围内土体的内聚力和内摩擦角平均值；

4 内力变形计算

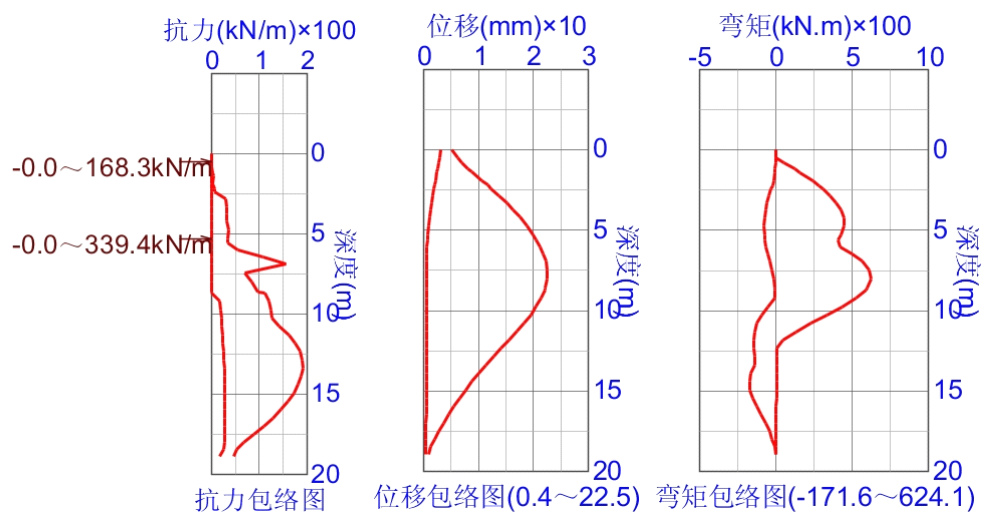
4.1 计算参数

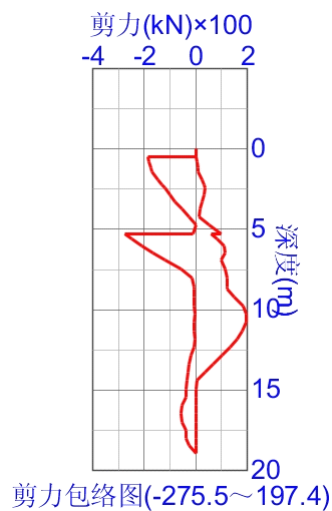
水土计算（分算/合算）方法：按土层分/合算；
水压力计算方法：静止水压力，修正系数：1.0；
主动侧土压力计算方法：朗肯主动土压力，分布模式：矩形，调整系数：1.0，负位移不考虑土压力增加；
被动侧基床系数计算方法：“m”法，土体抗力不考虑极限土压力限值；
墙体抗弯刚度折减系数：1.0。

4.2 计算结果

4.2.1 内力变形结果

每根桩抗弯刚度 $EI=603186\text{kN}\cdot\text{m}^2$ 。
以下内力和土体抗力的计算结果是每根桩的；支撑反力是每延米的。





支(换)撑反力范围表

抗力		相对桩顶深度 (m)	最小值 (kN/m)	最大值 (kN/m)
支 撑	第1道支 撑	0.50	-0.0	168.3
	第2道支 撑	5.30	-0.0	339.4

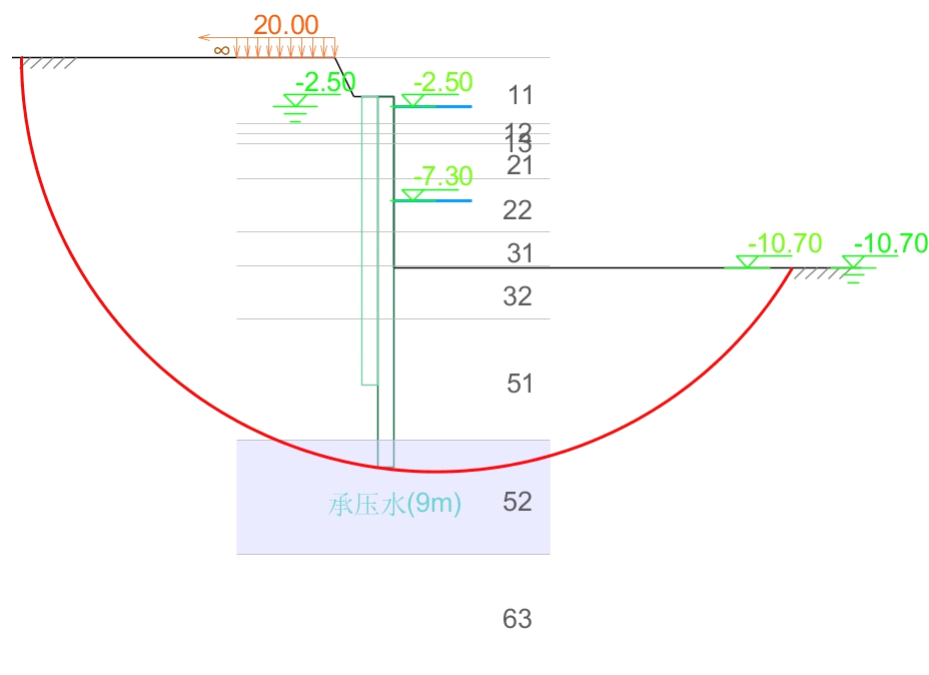
5 整体稳定计算

5.1 计算参数

整体稳定计算方法：瑞典条分法；
 应力状态计算方法：总应力法；
 土钉法向力折减系数： $\xi = 0.5$ ；
 土钉切向力折减系数： $\xi = 1.0$ ；
 锚杆法向力折减系数： $\xi = 0.0$ ；
 锚杆切向力折减系数： $\xi = 0.0$ ；
 桩墙抗滑考虑方式：滑面绕桩；
 浸润线不考虑止水帷幕；
 滑弧搜索不考虑局部失稳；
 考虑开挖工况；
 搜索范围：坡顶：全范围；坡底：全范围；
 搜索方法：遗传算法。

5.2 计算结果

5.2.1 开挖至-10.70m(深10.70m)



滑弧：圆心(5.13m, -0.00m)，半径：21.10m， 起点(-15.97m, 0.00m)， 终点(23.33m, 10.70m)， 拱高比0.764；
下滑力：2035.93kN/m；
土体(包括搅拌桩和坑底加固土)抗滑力：3376.93kN/m；
土钉/锚杆抗滑力：0.00kN/m；
桩墙的抗滑力：0.00kN/m；
安全系数：1.66， 要求安全系数：1.3。

6 配筋计算

6.1 计算参数

采用《混凝土结构设计规范GB50010-2010》的方法。
设计值系数：1.375。
弯矩折减系数：1.0。

6.2 计算结果

混凝土等级：C30。
各段配筋表：

段	段	Mk	Md	钢筋	As	需	实
---	---	----	----	----	----	---	---

号	长 (m)	(kN. m)	(kN. m)	类型	(mm 2)	配 根 数	配 根 数
1	12. 00	624. 1	858. 2	HRB335- 20	982 9	32	32
2	6.9 0	171. 6	236. 0	HRB335- 20	234 7	8	8

7 抗渗流稳定计算

7.1 计算参数

抗渗流计算方法：简易法。

7.2 计算结果

抗渗流稳定安全系数： $6.0/8.200=0.73$ ，要求安全系数：1.320。

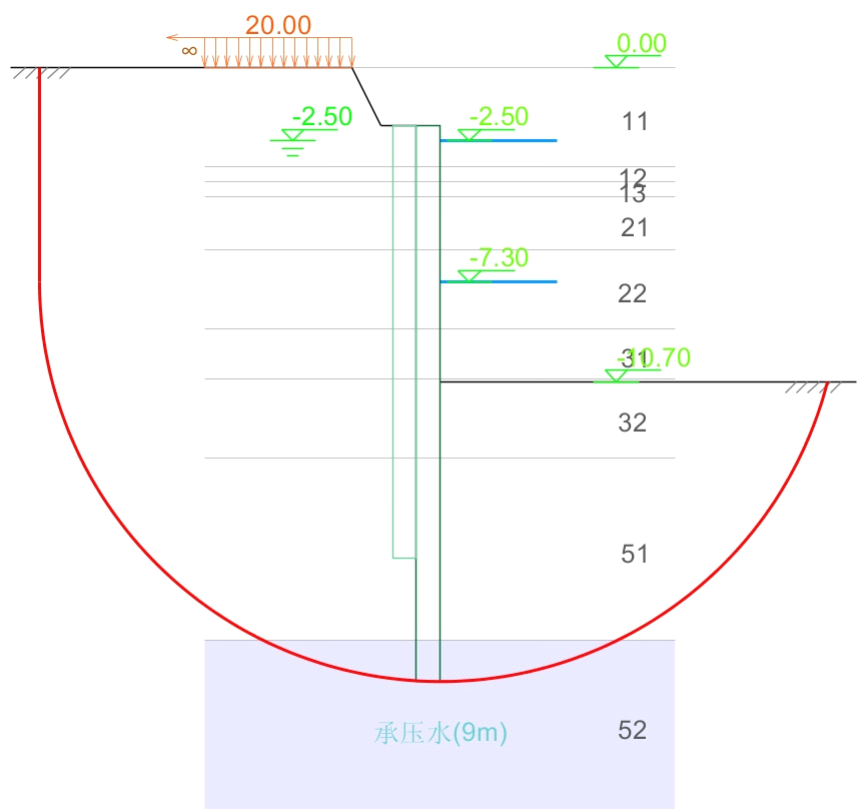
8 其他计算

8.1 坑底抗隆起计算

8.1.1 计算参数

滑弧中心：最下道支撑；
滑弧位置：通过桩底；
应力状态计算方法：总应力法；
桩墙弯曲抗力：不考虑；
垂直滑面阻力：忽略；
滑面水平应力：不考虑。

8.1.2 计算结果



下滑力：1424.2kN/m;
 抗滑力：2487.2kN/m;
 安全系数：1.75 。

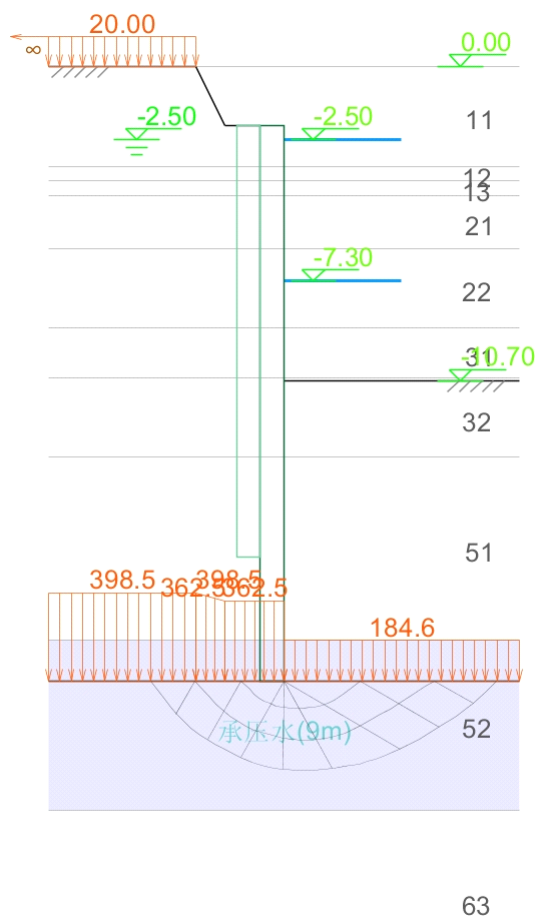
8.2 墙底抗隆起计算

8.2.1 计算参数

计算公式：Prandtl;
 考虑隆起土层不均匀性厚深比：0.0;
 考虑放坡影响宽深比：1.0。

8.2.2 计算结果

8.2.2.1 墙底



坑内侧向外10.7m范围内总荷载：4173.6kN/m；

验算断面处土体内聚力：2.0kPa；内摩擦角：28.0°。

地基承载力：

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = e^{\pi \tan 28.0^\circ} \tan^2(45^\circ + 28.0^\circ/2) = 14.72$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan \varphi} = \frac{(14.72 - 1)}{\tan 28.0^\circ} = 25.80$$

$$R_u = qN_q + cN_c = 184.6 \times 14.72 + 2.0 \times 25.80 = 2768.9$$

安全系数：2768.9×10.7/4173.6=7.10。

8.3 抗倾覆计算

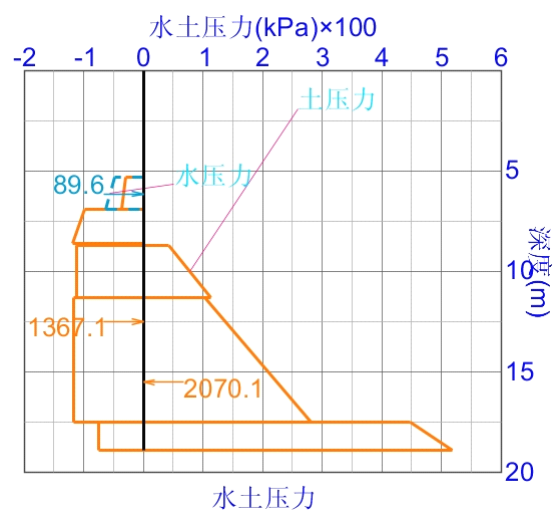
8.3.1 计算参数

水土计算（分算/合算）方法：按土层分/合算；

主动侧土压力分布模式：矩形；

水压力计算方法：静止水压力。

8.3.2 计算结果



抗倾覆安全系数： $\frac{2070.1 \times 10.21}{1367.1 \times 7.19 + 89.6 \times 0.84} = 2.14$ 。

8.4 抗突涌稳定计算

8.4.1 计算结果

上覆土重：159.1kPa；
抗突涌稳定安全系数： $159.1 / [(19.50 - 6.00) \times 10] = 1.18$ 。

8.5 地表沉降计算

8.5.1 计算参数

地表沉降计算方法： 同济抛物线法。

8.5.2 计算结果

