## 荷载及内力计算

土层参数计算依据表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩土层分布（从上至下）及分布特征序号 | 土层名称 | 厚度(m) h | 重度(kN/m3) γ | 黏聚力(kPa) c | 内摩擦角(°) Ψ | 计算方式 |
| 1 | 素填土 | 1.2 | 19.2 | 10.0 | 14.0 | 水土合算 |
| 2 | 粉质粘土 | 7.1 | 19.6 | 15.0 | 16.0 | 水土合算 |
| 3 | 淤泥质粉质粘土 | 4.2 | 19.7 | 18 | 18 | 水土合算 |
| 4 | 砂质粉土 | 6.6 | 20.1 | 25 | 14 | 水土合算 |
| 5 | 淤泥质粉质粘土 | 15 | 21 | 20 | 25 | 水土合算 |

土压力系数表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 土层名称 | Ka | √Ka | Kp | √Kp |
| 1 | 素填土 | 0.61 | 0.78 | 1.64 | 1.28 |
| 2 | 粉质粘土 | 0.56 | 0.75 | 1.77 | 1.33 |
| 3 | 淤泥质粉质粘土 | 0.53 | 0.73 | 1.90 | 1.38 |
| 4 | 砂质粉土 | 0.61 | 0.78 | 1.64 | 1.28 |
| 5 | 淤泥质粉质粘土 | 0.41 | 0.64 | 2.46 | 1.57 |

根据《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）规定：对地下水位以下的黏性土、黏质粉土，可采用土压力、水压力合算方法。具体公式如下：

$P\_{ak}=\sigma\_{ak}K\_{a,i}-2c\_{i}\sqrt{K\_{a,i}}$

$K\_{a,i}=\tan^{2}\left(45^{\circ}-\frac{\varphi\_{i}}{2}\right)$

$P\_{pk}=\sigma\_{pk}K\_{p,i}+2c\_{i}\sqrt{K\_{p,i}}$

$K\_{p,i}=\tan^{2}\left(45^{\circ}+\frac{\varphi\_{i}}{2}\right)$

式中，$P\_{ak}$—支护结构外侧，第i层土中计算点的主动土压力强度标准值（kPa）；当$P\_{ak}$＜ 0时，应取$P\_{ak}$ = 0；

${\sigma}\_{ak}$、${\sigma}\_{pk}$—分别为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa）；

$K\_{a,i}$、$K\_{p,i}$—分别为第i层土的主动土压力系数、被动土压力系数；

$C\_{i}$、$\varphi\_{i}$—分别为第i层土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）；

$P\_{pk}$—支护结构内侧，第i层土中计算点的被动土压力强度标准值（kPa）。

## 第1工况:

第1工况参数表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基坑挖深(m) | 5.4 | 均布荷载(kPa) | 20.0 |
| 坑内水位(m) | 0.0 | 坑外水位(m) | 0.0 |
| 支撑位置(m) | 0.4 | | |

### 主动土压力

$P\_{ak}=\sigma\_{ak}K\_{a,i}-2c\_{i}\sqrt{K\_{a,i}}$

第1层土：

$P\_{ak1}=20.0 \times 0.61-2 \times 10.0 \times 0.78=-3.40kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak1}=(20.0+19.2 \times 1.2) \times 0.61-2 \times 10.0 \times 0.78=10.65kPa$

第2层土：

$P\_{ak2}=(20.0+19.2 \times 1.2) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75=1.60kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak2}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75=79.53kPa$

第3层土：

$P\_{ak3}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1) \times 0.53-2 \times 18 \times 0.73=70.29kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak3}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2) \times 0.53-2 \times 18 \times 0.73=114.14kPa$

第4层土：

$P\_{ak4}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78=122.61kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak4}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78=203.54kPa$

第5层土：

$P\_{ak5}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6) \times 0.41-2 \times 20 \times 0.64=137.42kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak5}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6+21 \times 15) \times 0.41-2 \times 20 \times 0.64=266.57kPa$

### 被动土压力

$P\_{pk}=\sigma\_{pk}K\_{p,i}+2c\_{i}\sqrt{K\_{p,i}}$

第2层土：

$P\_{pk2}= 2 \times 15.0 \times 1.33=39.90kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk2}=(19.6 \times 2.90) \times 1.77+ 2 \times 15.0 \times 1.33=140.51kPa$

第3层土：

$P\_{pk3}=(19.6 \times 2.90) \times 1.90+ 2 \times 18 \times 1.38=157.68kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk3}=(19.6 \times 2.90+19.7 \times 4.2) \times 1.90+ 2 \times 18 \times 1.38=314.88kPa$

第4层土：

$P\_{pk4}=(19.6 \times 2.90+19.7 \times 4.2) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28=292.91kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk4}=(19.6 \times 2.90+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28=510.47kPa$

第5层土：

$P\_{pk5}=(19.6 \times 2.90+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6) \times 2.46+ 2 \times 20 \times 1.57=732.51kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk5}=(19.6 \times 2.90+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6+21 \times 15) \times 2.46+ 2 \times 20 \times 1.57=1507.41kPa$

### 土压力零点计算

设土压力零点位于已开挖基坑底面以下x米处。

$\Delta{e\_{2}}=1.6-39.9=-38.30Kpa$

$\Delta{\mathrm{e}^{\prime}}\_{2}=47.7-39.9=7.80Kpa$

$(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times (x+4.20)) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75=(19.6 \times x) \times 1.77+ 2 \times 15.0 \times 1.33$

求解得：x=0.33m

故土压力强度零点位于已开挖基坑底面以下x米处以下0.33m。

零点处主被动土压力强度：51.35Kpa

### 土压力合力及作用点计算

计算方法按照前面计算得到的主被动土压力强度按以下公式计算：

设a为土层顶面的土压力强度，b为土层底面的土压力强度，h为所计算的那一层土的土层厚度。

#### 4.1主动土压力合力及作用点位置

第1层主动土顶面压力：-3.4Kpa;主动土底面压力：10.65Kpa

合力计算公式：$E\_{a}=\frac{{{b^2} \times h\_{n}}}{{2\left(\left|a\right| + b\right )}}$；作用点位置公式：$h\_{a}=\frac{b}{{\left|a\right| + b}}\times\frac{{2 \times h\_{n}}}{3}$

$E\_{a1}=\frac{{{10.65^2} \times 1.2}}{{2 \times \left(\left| -3.40 \right| + 10.65 \right)}}=4.84kN/m$

$h\_{a1}=\frac{10.65}{{\left|-3.40\right|+10.65}}\times\frac{{2 \times 1.2}}{3}=0.61m$

第2层主动土顶面压力：1.6Kpa;主动土底面压力：51.32Kpa

合力计算公式：$E\_{a}=\frac{{a + b}}{2} \times h\_{n}$；作用点位置公式：$h\_{a}=\frac{{2 \times a + b}}{{a + b}} \times \frac{h\_{n}}{3}$

$E\_{a2}=\frac{{1.60 + 51.32}}{2} \times 4.53=119.86kN/m$

$h\_{a2}=\frac{{2 \times 1.60 + 51.32}}{{1.60 + 51.32}} \times \frac{4.53}{3}=1.56m$

#### 4.2被动土压力合力及作用点位置

第2层被动土顶面压力：39.9Kpa;被动土底面压力：51.35Kpa

合力计算公式：$E\_{p}=\frac{{a + b}}{2} \times h\_{n}$；作用点位置：$h\_{p}=\frac{{2 \times a + b}}{{a + b}} \times \frac{{h\_{n}}}{3}$

$E\_{p2}=\frac{{39.90 + 51.35}}{2} \times 0.33=15.06kN/m$

$h\_{p2}=\frac{{2 \times 39.90 + 51.35}}{{39.90 + 51.35}} \times \frac{{0.33}}{3}=0.16m$

### 支撑处水平力计算

支反力计算通过如下公式：

$T\_{c1}=\frac{{{h}\_{a1}}\sum{{{E}\_{ac}}-{{h}\_{p1}}\sum{{{E}\_{pc}}}}}{{{h}\_{T1}}+{{h}\_{c1}}}$

$h\_{p1}$—被动合力至反弯点的距离；

$\sum{{E}\_{pc}}$—各层土的被动合力；

$T\_{c1}$—轴向支反力；

${h}\_{T1}$—支点至基坑底面的距离；

${h}\_{c1}$—基坑底面至反弯点的距离；

$h\_{a1}$—主动合力至反弯点的距离；

$\sum{{E}\_{ac}}$—各层土的主动合力；

结合土压力合力带入公式可得：

$T\_{c1}=\frac{(4.84 \times 5.14+119.86 \times 1.56-15.06 \times 0.16)}{(5.73-0.4)}=39.30kN$

## 第2工况:

第2工况参数表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基坑挖深(m) | 9.8 | 均布荷载(kPa) | 20.0 |
| 坑内水位(m) | 0.0 | 坑外水位(m) | 0.0 |
| 支撑位置(m) | 4.9 | | |

### 主动土压力

$P\_{ak}=\sigma\_{ak}K\_{a,i}-2c\_{i}\sqrt{K\_{a,i}}$

第1层土：

$P\_{ak1}=20.0 \times 0.61-2 \times 10.0 \times 0.78=-3.40kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak1}=(20.0+19.2 \times 1.2) \times 0.61-2 \times 10.0 \times 0.78=10.65kPa$

第2层土：

$P\_{ak2}=(20.0+19.2 \times 1.2) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75=1.60kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak2}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75=79.53kPa$

第3层土：

$P\_{ak3}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1) \times 0.53-2 \times 18 \times 0.73=70.29kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak3}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2) \times 0.53-2 \times 18 \times 0.73=114.14kPa$

第4层土：

$P\_{ak4}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78=122.61kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak4}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78=203.54kPa$

第5层土：

$P\_{ak5}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6) \times 0.41-2 \times 20 \times 0.64=137.42kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak5}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 6.6+21 \times 15) \times 0.41-2 \times 20 \times 0.64=266.57kPa$

### 被动土压力

$P\_{pk}=\sigma\_{pk}K\_{p,i}+2c\_{i}\sqrt{K\_{p,i}}$

第3层土：

$P\_{pk3}= 2 \times 18 \times 1.38=49.68kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk3}=(19.7 \times 2.70) \times 1.90+ 2 \times 18 \times 1.38=150.74kPa$

第4层土：

$P\_{pk4}=(19.7 \times 2.70) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28=151.23kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk4}=(19.7 \times 2.70+20.1 \times 6.6) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28=368.79kPa$

第5层土：

$P\_{pk5}=(19.7 \times 2.70+20.1 \times 6.6) \times 2.46+ 2 \times 20 \times 1.57=519.99kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk5}=(19.7 \times 2.70+20.1 \times 6.6+21 \times 15) \times 2.46+ 2 \times 20 \times 1.57=1294.89kPa$

### 土压力零点计算

设土压力零点位于已开挖基坑底面以下x米处。

$\Delta{e\_{3}}=70.29-49.68=20.61Kpa$

$\Delta{\mathrm{e}^{\prime}}\_{3}=85.95-150.74=-64.79Kpa$

$(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times (x+1.50)) \times 0.53-2 \times 18 \times 0.73=(19.7 \times x) \times 1.90+ 2 \times 18 \times 1.38$

求解得：x=1.34m

故土压力强度零点位于已开挖基坑底面以下x米处以下1.34m。

零点处主被动土压力强度：99.84Kpa

### 土压力合力及作用点计算

计算方法按照前面计算得到的主被动土压力强度按以下公式计算：

设a为土层顶面的土压力强度，b为土层底面的土压力强度，h为所计算的那一层土的土层厚度。

#### 4.1主动土压力合力及作用点位置

第1层主动土顶面压力：-3.4Kpa;主动土底面压力：10.65Kpa

合力计算公式：$E\_{a}=\frac{{{b^2} \times h\_{n}}}{{2\left(\left|a\right| + b\right )}}$；作用点位置公式：$h\_{a}=\frac{b}{{\left|a\right| + b}}\times\frac{{2 \times h\_{n}}}{3}$

$E\_{a1}=\frac{{{10.65^2} \times 1.2}}{{2 \times \left(\left| -3.40 \right| + 10.65 \right)}}=4.84kN/m$

$h\_{a1}=\frac{10.65}{{\left|-3.40\right|+10.65}}\times\frac{{2 \times 1.2}}{3}=0.61m$

第2层主动土顶面压力：1.6Kpa;主动土底面压力：79.53Kpa

合力计算公式：$E\_{a}=\frac{{a + b}}{2} \times h\_{n}$；作用点位置公式：$h\_{a}=\frac{{2 \times a + b}}{{a + b}} \times \frac{h\_{n}}{3}$

$E\_{a2}=\frac{{1.60 + 79.53}}{2} \times 7.1=288.01kN/m$

$h\_{a2}=\frac{{2 \times 1.60 + 79.53}}{{1.60 + 79.53}} \times \frac{7.1}{3}=2.41m$

第3层主动土顶面压力：70.29Kpa;主动土底面压力：99.94Kpa

合力计算公式：$E\_{a}=\frac{{a + b}}{2} \times h\_{n}$；作用点位置公式：$h\_{a}=\frac{{2 \times a + b}}{{a + b}} \times \frac{h\_{n}}{3}$

$E\_{a3}=\frac{{70.29 + 99.94}}{2} \times 2.84=241.73kN/m$

$h\_{a3}=\frac{{2 \times 70.29 + 99.94}}{{70.29 + 99.94}} \times \frac{2.84}{3}=1.34m$

#### 4.2被动土压力合力及作用点位置

第3层被动土顶面压力：49.68Kpa;被动土底面压力：99.84Kpa

合力计算公式：$E\_{p}=\frac{{a + b}}{2} \times h\_{n}$；作用点位置：$h\_{p}=\frac{{2 \times a + b}}{{a + b}} \times \frac{{h\_{n}}}{3}$

$E\_{p3}=\frac{{49.68 + 99.84}}{2} \times 1.34=100.18kN/m$

$h\_{p3}=\frac{{2 \times 49.68 + 99.84}}{{49.68 + 99.84}} \times \frac{{1.34}}{3}=0.60m$

### 支撑处水平力计算

支反力计算通过如下公式：

$T\_{c2}=\frac{{{h}\_{a2}}\sum{{{E}\_{ac}}-{{h}\_{p2}}\sum{{{E}\_{pc}}}}}{{{h}\_{T2}}+{{h}\_{c2}}}$

$h\_{p2}$—被动合力至反弯点的距离；

$\sum{{E}\_{pc}}$—各层土的被动合力；

$T\_{c2}$—轴向支反力；

${h}\_{T2}$—支点至基坑底面的距离；

${h}\_{c2}$—基坑底面至反弯点的距离；

$h\_{a2}$—主动合力至反弯点的距离；

$\sum{{E}\_{ac}}$—各层土的主动合力；

结合土压力合力带入公式可得：

$T\_{c2}=\frac{(4.84 \times 10.55+288.01 \times 5.25+241.73 \times 1.34-100.18 \times 0.60)-39.30 \times 10.74}{(11.14-4.9)}=225.13kN$

### 桩体内最大弯矩计算

$T\_{c1}$~$T\_{c2}$之间最大弯矩$M\_{max1}$计算。

已知$T\_{c1}=39.30kN/m$，设剪力*Q*=0的点位于2层土顶面以下*x*米处。

$P\_{ak2}=1.60kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak2}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times x) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75$

根据:$\sum{{T}\_{c}}=\sum{{E}\_{a}}$得下式：

$39.30=4.84+\frac{{1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times x) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}}{2} \times x$

解得：*x=*2.36

则有：

$E\_{a2}=\frac{{1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 2.36) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}}{2} \times 2.36=34.34kN/m$

$h\_{a2}=\frac{{2 \times 1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 2.36) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}}{{1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 2.36) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}} \times \frac{2.36}{3}=0.83m$

对剪力零点取矩（顺时针为正）：

$x+39.30 \times 3.16=4.84 \times 2.97+34.34 \times 0.83$

解得：$81.31kN \cdot m$

$T\_{c2}$~基坑底面之间最大弯矩$M\_{max2}$计算。

已知$T\_{c2}=225.13kN/m$，设剪力*Q*=0的点位于2层土顶面以下*x*米处。

$P\_{ak2}=1.60kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak2}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times x) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75$

根据:$\sum{{T}\_{c}}=\sum{{E}\_{a}}$得下式：

$39.30+225.13=4.84+\frac{{1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times x) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}}{2} \times x$

解得：*x=*6.73

则有：

$E\_{a2}=\frac{{1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 6.73) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}}{2} \times 6.73=259.34kN/m$

$h\_{a2}=\frac{{2 \times 1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 6.73) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}}{{1.60 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 6.73) \times 0.56-2 \times 15.0 \times 0.75}} \times \frac{6.73}{3}=2.29m$

对剪力零点取矩（顺时针为正）：

$x+39.30 \times 7.53+225.13 \times 3.03=4.84 \times 7.34+259.34 \times 2.29$

解得：$348.66kN \cdot m$

基坑底面以下最大弯矩$M\_{max3}$计算

经试算，基坑底面以下最大弯矩的位置位于4层土中，设剪力*Q*=0的点位于4层土顶面以下*x*米处。

$P\_{ak4}=122.61kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{ak4}=(20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times x) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78$

$P\_{pk4}=151.23kPa$

${\mathrm{P}^{\prime}}\_{pk4}=(19.7 \times 2.70+20.1 \times x) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28$

根据:$\sum{{T}\_{c}}+\sum{{E}\_{p}}=\sum{{E}\_{a}}$得下式：

$39.30+225.13+270.57+\frac{{151.23 + (19.7 \times 2.70+20.1 \times x) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28}}{2} \times x=4.84+288.01+387.30+\frac{{122.61 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times x) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78}}{2} \times x$

解得：*x=*2.61

则有：

$E\_{a4}=\frac{{122.61 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 2.61) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78}}{2} \times 2.61=361.78kN/m$

$h\_{a4}=\frac{{2 \times 122.61 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 2.61) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78}}{{122.61 + (20.0+19.2 \times 1.2+19.6 \times 7.1+19.7 \times 4.2+20.1 \times 2.61) \times 0.61-2 \times 25 \times 0.78}} \times \frac{2.61}{3}=1.25m$

$E\_{p4}=\frac{{151.23 + (19.7 \times 2.70+20.1 \times 2.61) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28}}{2} \times 2.61=506.99kN/m$

$h\_{p4}=\frac{{2 \times 151.23 + (19.7 \times 2.70+20.1 \times 2.61) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28}}{{151.23 + (19.7 \times 2.70+20.1 \times 2.61) \times 1.64+ 2 \times 25 \times 1.28}} \times \frac{{2.61}}{3}=1.21m$

对剪力零点取矩（顺时针为正）：

$x+39.30 \times 14.71+225.13 \times 10.21+270.57 \times 3.73+506.99 \times 1.21=4.84 \times 14.52+288.01 \times 9.22+387.30 \times 4.54+361.78 \times 1.25$

解得：$436.93kN \cdot m$