基坑支护新技术锚管桩的计算

蔡昌斌
(温州旧城改造指挥部)

[摘 要] 本文扼要介绍基坑支护新技术——锚管桩。计算了锚管抗拉承载力、设计值及土体整体稳定性的验算。

[关键词] 基坑支护;锚管桩;抗拉;计算;稳定性;验算

CALCULATION OF ANCHORED TUBULAR PILE AS A NEWSHORING TECHNIQUE FOR FOUNDATION PIT

CAI Chang-bin

[Abstract] This paper briefly introduces a new shoring technique for foundation pit-anchored tubular pile. The tension resisting capacity and its design value of the anchored tube and the overall stability of the soil body are calculated.

[Key words] Foundation pit shoring; Anchored tubnlar pile; Tension resist; Calculation; Stability; Checking computations

锚管桩是利用管壁穿孔的钢管,在一定压力下向内注入掺有外加剂的水泥砂浆与纯水泥浆,迫使浆体从壁孔外渗至一定范围内的土体中,形成以钢管为核心(作为锚杆)外裹浆体的粗糙圆柱体,与土体间产生粘结摩阻力,从而使锚入土中的钢管拉住水平围檩(槽钢)与竖向排桩(槽钢),以平衡基坑边壁土产生的主动侧压力,即用注浆锚管拉住槽钢排桩的一种新型支护方案。其深度可达 9 m。下面是锚管抗拉承载力的计算。

1 计算条件

地面施工荷载 $q_0 = 15 kN/m^2$

土层分为两层:

土粘聚力 $C_1 = 16 kN/m^2$

内摩擦角 $\Phi_{K1} = \Phi_1 = 8.2°$

土粘聚力 $C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 9 kN/m^2$

内摩擦角 $\Phi_{K2} = \Phi_{K3} = \Phi_{K4} = \Phi_{K5} = \Phi_2 = \Phi_3 = \Phi_4 = \Phi_5 = 7.4°$

土体重度 $\gamma = 16 kN/m^3$,挖土深度为 $H = 5.23$ m

2 抗拉承载力计算

锚钢桩、锚管、联接件剖面如图 1 所示,锚管根数为 4 排。

2.1 锚管抗拉承载力计算

$1.25\ \gamma_0 T_{jk} \leqslant T_{uj}$(基坑侧壁重要性系数 γ_0 取 1) ①

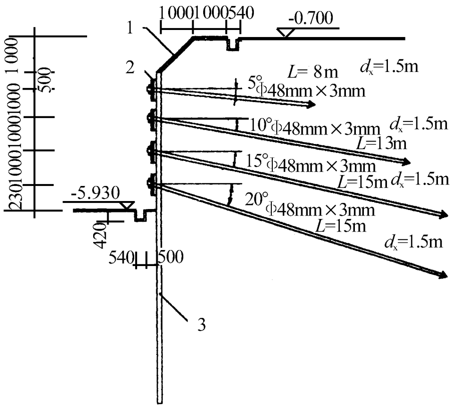

图 1 锚钢桩、锚管、联接件剖面

1 —C20 细石混凝土;$h = 100$;2 - [20#;

3 —[24# $L = 11$ m 扣打

T_{jk}—第 j 根锚管受拉荷载标准值;

T_{uj}—第 j 根锚管抗拉荷载设计值。

(1) 单根锚管受拉荷载标准值计算

$$T_{jk} = \xi_j e_{ajk} S_{xj} S_{zj} / \cos \alpha_j \quad ②$$

e_{ajk}—第 j 个锚管位置处的基坑水平荷载标准值;

S_{xj}、S_{zj}—第 j 根锚管与相邻锚管的平均水平、垂直间距,现均取 1 m;

α_j—第 j 根锚管与水平面之间的夹角。

(2) 荷载折减系数

$$\xi = \mathrm{tg}\frac{\beta - \Phi_k}{2}\left(\frac{1}{\mathrm{tg}\frac{\beta + \Phi_k}{2}} - \frac{1}{\mathrm{tg}\beta}\right) \Bigg/ \mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\Phi}{2}\right) \quad ③$$

收稿日期:2000-05-18

β为锚管坡面与水平面夹角；

根据已知条件，代入分别得

$$\xi_1 = \text{tg}\frac{\beta_1-\varphi_{k1}}{2}\left(\frac{1}{\text{tg}\frac{\beta_1+\varphi_{k1}}{2}}-\frac{1}{\text{tg}\beta_1}\right)\Big/\text{tg}^2\left(45°-\frac{\varphi_1}{2}\right)$$

$$=\text{tg}\frac{90°-8.2°}{2}\left(\frac{1}{\text{tg}\frac{90°+8.2°}{2}}-\frac{1}{\text{tg}90°}\right)\Big/$$

$$\text{tg}^2\left(45°-\frac{8.2°}{2}\right)=1$$

$$\xi_2 = \text{tg}\frac{\beta_2-\varphi_{k2}}{2}\left(\frac{1}{\text{tg}\frac{\beta_2+\varphi_{k2}}{2}}-\frac{1}{\text{tg}\beta_2}\right)\Big/\text{tg}^2\left(45°-\frac{\varphi_2}{2}\right)$$

$$=\text{tg}\frac{90°-7.4°}{2}\left(\frac{1}{\text{tg}\frac{90°+7.4°}{2}}-\frac{1}{\text{tg}90°}\right)\Big/$$

$$\text{tg}^2\left(45°-\frac{7.4°}{2}\right)=1$$

因 $\beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta_4=90°$

$\varphi_2=\varphi_3=\varphi_4=\varphi_{k2}=\varphi_{k3}=\varphi_{k4}=7.4°$

所以 $\xi_1=\xi_2=\xi_3=\xi_4=1$

(3)第 j 根锚管位置处的基坑水平荷载标准值 e_{ajk} 及计算。根据朗金理论土压力公式：$K_{aj}=\text{tg}^2(45°-\varphi/2)$

有 $K_{a1}=\text{tg}^2(45°-8.2°/2)=0.750$

$K_{a2}=K_{a3}=K_{a4}=\text{tg}^2(45°-7.4°/2)=0.772$

而 $e_{ajk}=q_0+K_{aj}\gamma h_j-2c_1\sqrt{K_{aj}}$ ④

$e_{a1k}=q_0+K_{a1}\gamma h_1-2c_1\sqrt{K_{a1}}$

$=5+0.750\times16\times1.5-2\times16\sqrt{0.750}$

$=5.29\text{kN/m}^2$

$e_{a2k}=q_0+K_{a2}\gamma h_2-2c_2\sqrt{K_{a2}}$

$=15+0.772\times16\times2.5-2\times9\sqrt{0.772}$

$=30.06\text{kN/m}^2$

$e_{a3k}=q_0+K_{a3}\gamma h_3-2c_3\sqrt{K_{a3}}$

$=15+0.772\times16\times3.5-2\times9\sqrt{0.772}$

$=42.42\text{kN/m}^2$

$e_{a4k}=q_0+K_{a4}\gamma h_4-2c_4\sqrt{K_{a4}}$

$=15+0.772\times16\times4.5-2\times9\sqrt{0.772}$

$=54.76\text{kN/m}^2$

(4)根据剖面所示，$\alpha_1=5°$，$\alpha_2=10°$，$\alpha_3=15°$，$\alpha_4=20°$

$\cos\alpha_1=0.996$，$\cos\alpha_2=0.984$，$\cos\alpha_3=0.966$，$\cos\alpha_4=0.940$

(5)单根受拉荷载标准值(T_{jk})计算，公式见②

$T_{1k}=\xi_1 e_{a1k}S_{x1}S_{z1}/\cos\alpha_1=1\times5.29\times1\times1/0.996=5.31\text{kN}$

$T_{2k}=\xi_2 e_{a2k}S_{x2}S_{z2}/\cos\alpha_2=1\times30.06\times1\times1/0.984=30.55\text{kN}$

$T_{3k}=\xi_3 e_{a3k}S_{x3}S_{z3}/\cos\alpha_3=1\times42.42\times1\times1/0.966=45.91\text{kN}$

$T_{4k}=\xi_4 e_{a4k}S_{x4}S_{z4}/\cos\alpha_4=1\times54.76\times1\times1/0.940=58.26\text{kN}$

2.2 锚管抗拉承载力设计值

(1) $T_{uj}=\frac{1}{\gamma_s}\pi d_{nj}\sum q_{sik}l_{ni}$ ⑤

γ_s—锚管抗拉抗力分项系数，取1.3；

d_{nj}—第 j 根锚管锚固体直径；

q_{sik}—锚管穿越第 i 层土土体与锚固体极限摩阻力标准值，根据温州淤泥土抗拔试验定为 15kN/m^2；

l_{ni}—第 j 根锚管在直线破裂面外穿越第 i 稳定土体内的长度，破裂面与水平面的夹角为 $\frac{\beta+\varphi_k}{2}$。

d_{nj}注浆后，$d_{nj}=0.15\text{m}$。

(2) I_{fj}为非锚固段长度，根据作图法：

$L_{f1}=3.9\text{m}$，$L_{f2}=2.7\text{m}$，$L_{f3}=1.6\text{m}$，$L_{f4}=0.7\text{m}$

现锚管总长设计为

$L_{1总}=6\text{m}$，则 $I_1=6-3.9=2.1\text{m}$

$L_{2总}=10\text{m}$，则 $I_2=10-2.7=7.3\text{m}$

$L_{3总}=12\text{m}$，则 $I_3=12-1.6=10.4\text{m}$

$L_{4总}=15\text{m}$，则 $I_4=15-0.7=14.3\text{m}$

(3)锚管抗拉承载力的设计值(T_{uj})

$T_{uj}=\frac{1}{\gamma_s}\pi d_{nj}\sum q_{sik}l_{ni}$见公式 ⑤

计算 T_{uj}和公式①比较，可得

$T_{u1}=\frac{1}{1.3}\times3.14\times0.15\times15\times2.1=5.4\times2.1$

$=11.43\text{kN}\geqslant1.25\times1\times5.31=6.64\text{kN}$(安全)

$T_{u2}=\frac{1}{1.3}\times3.14\times0.15\times15\times7.3=5.4\times7.3$

$=39.67\text{kN}\geqslant1.25\times1\times30.55$

$=38.19\text{kN}$(安全)

$T_{u3}=\frac{1}{1.3}\times3.14\times0.15\times15\times10.4=5.4\times10.4$

$=56.52\text{kN}\geqslant1.25\times1\times43.91$

$=54.89\text{kN}$(安全)

$T_{u4}=\frac{1}{1.3}\times3.14\times0.15\times15\times14.3=5.4\times14.3$

$=77.71\text{kN}\geqslant1.25\times1\times58.26$

$=72.83\text{kN}$(安全)

3　土钉墙整体稳定性验算(采用圆弧滑动简单条分法)

$$\sum_{i=1}^{n}C_{ik}L_{is}S + S\sum_{i=1}^{n}(W_i + q_0 b_i)\cos\theta_i \mathrm{tg}\Phi_{ik} + \sum_{j=1}^{m}T_{nj} \times [\cos(\alpha_j+\theta_j) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_j+\theta_j)\mathrm{tg}\Phi_{ik}] - S\gamma_k\gamma_0\sum_{i=1}^{n}(W_i + q_0 b_i)\sin\theta_i \geqslant 0 \quad ⑥$$

式中:n—滑动土体分条数;

m—滑动土体内锚管数;

γ_k—整体滑动分项系数,可取 1.3;

γ_0—基坑侧壁重要性系数,取 1.0;

W_i—第 i 分条土体重度;

b_i—第 i 分条土体宽度;

C_{ik}—第 i 分条滑裂面处土体固结不排水(快)剪贴聚力标准值;

Φ_{ik}—第 i 分条滑裂面处土体固结不排水(剪)内摩擦角标准值;

θ_i—第 i 分条滑裂面处中点切线与水平面夹角;

L_{iS}—第 i 分条滑裂面处弧长;

S—计算滑动体单元厚度;

T_{nj}—第 j 根锚管在圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力($T_{nj} = r_k T_{uj}$)。

3.1　根据作图法

3.1.1　按比例绘出边坡的截面图(见图 2)

1)将边坡分为 5 条,取条宽 $b = 1.04$ m,各条的编号如图 2 所示;

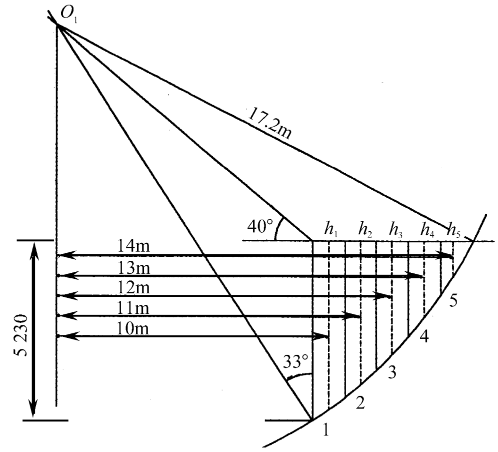

图 2　分条法划分边坡的截面

2)量出各条的中心高度 h_i 和弧度 l_i,计算 $\sin\theta_i = \frac{d_i}{R}$(如图 2 所示)。

$h_1 = 5$ m　$h_2 = 4.2$ m　$h_3 = 3.3$ m　$h_4 = 2.3$ m　$h_5 = 1.1$ m

$l_1 = 1.3$ m　$l_2 = 1.4$ m　$l_3 = 1.5$ m　$l_4 = 1.6$ m　$l_5 = 2.1$ m

$d_1 = 10$ m　$d_2 = 11$ m　$d_3 = 12$ m　$d_4 = 13$ m　$d_5 = 14$ m

3)列表计算(O_1 点)(见表 1)

表 **1**

分条编号	h_i(m)	$\sin\theta_i = d_i/R$	$\cos\theta_i = \sqrt{1-\sin^2\theta_i}$	$h_i\sin\theta_i$(m)	$h_i\cos\theta_i$(m)	l_i(m)
1	5	0.581	0.814	2.905	4.07	1.3
2	4.2	0.640	0.768	2.688	3.226	1.4
3	3.3	0.698	0.716	2.303	2.363	1.5
4	2.3	0.756	0.655	1.739	1.507	1.6
5	1.1	0.814	0.581	0.895	0.639	2.1
				$\sum$10.53	$\sum$11.805	$\sum$7.9

4)将各已知值代入下式计算相应于滑动圆心 O_1 时的稳定安全系数

$$K_{O1} = \frac{\gamma b \mathrm{tg}\Phi\sum_{i=1}^{n}h_i\cos\theta_i + cl_i}{\gamma b\sum_{i=1}^{n}h_i\sin\theta_i} = \frac{16\times1.04\times\mathrm{tg}8.2°\times11.805 + 9\times7.9}{16\times1.04\times10.53} = 0.56$$

3.1.2　1)找出更危险的滑动圆心 O_2,根据作图法;

2)将边坡分为 5 条,条宽取 $b = 0.9$ m,各条编号如图 3 所示

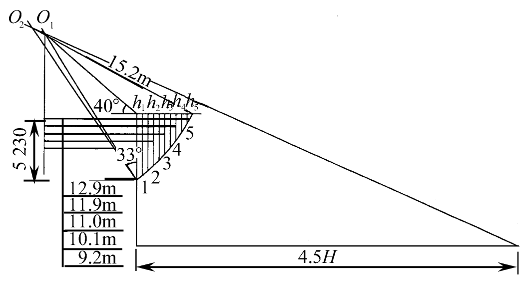

图 3　找出危险滑动面

$h_1 = 5.1$ m　$h_2 = 4.4$ m　$h_3 = 3.4$ m　$h_4 = 2.4$ m　$h_5 = 1$ m

$l_1 = 1.25$ m　$l_2 = 1.35$ m　$l_3 = 1.45$ m　$l_4 = 1.6$ m　$l_5 = 2.2$ m

$d_1 = 9.2$ m　$d_2 = 10.1$ m　$d_3 = 11$ m　$d_4 = 11.9$ m　$d_5 = 12.9$ m

3) 列表计算 (O_2 点) (见表 2)

表 **2**

分条编号	$h_i(m)$	$\sin\theta_i = d_i/R$	$\cos\theta_i = \sqrt{1-\sin^2\theta_i}$	$h_i\sin\theta_i(m)$	$h_i\cos\theta_i(m)$	$l_i(m)$
1	5.1	0.605	0.796	3.086	4.060	1.25
2	4.4	0.664	0.748	2.922	3.291	1.35
3	3.4	0.724	0.690	2.462	2.346	1.45
4	2.4	0.738	0.674	1.771	1.618	1.6
5	1	0.849	0.528	0.849	0.528	2.2
				$\sum 11.90$	$\sum 11.843$	$\sum 7.85$

4) 将已知值代入下式,计算相应于滑动圆心 O_2 时的稳定安全系数 K_{02}

$$K_{O2} = \frac{\gamma b \mathrm{tg}\,\Phi \sum_{i=1}^{n} h_i\cos\theta_i + c l_i}{\gamma b \sum_{i=1}^{n} h_i \sin\theta_i}$$

$$= \frac{16\times0.9\times\mathrm{tg}8.2°\times11.843+9\times7.85}{16\times0.9\times11.090} = 0.596$$

$K_{O1} \leqslant K_{O2}$,选取 K 值小的 K_{O1} 作为最危险滑动面。

3.2　代入公式⑥,计算公式⑥各分项的值

a 项: $\sum_{i=1}^{n} C_{ik}L_{is}S = (C_{1k}L_1 + C_{2k}L_2 + C_{3k}L_3 + C_{4k}L_4 + C_{5k}L_5)S$

$= (16\times1.3+9\times1.4+9\times1.5+9\times1.6+9\times2.1)\times1$

$= 80.2$ kN

b 项: $S\sum_{i=1}^{n}(W_i + q_0 b_i)\cos\theta_i \mathrm{tg}\,\Phi_{ik}$

$= 1\times(16+15\times1.04)[(0.814\times\mathrm{tg}8.2°) + (0.768+0.716+0.655+0.581)\mathrm{tg}7.4°]$

$= 14.85$ kN

c 项: $\sum_{j=1}^{m} T_{nj}\times[\cos(\alpha_j+\theta_j) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_j+\theta_j)\mathrm{tg}\,\Phi_{ik}]$

$T_{n1}\times[\cos(\alpha_1+\theta_1) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_1+\theta_1)\mathrm{tg}\,\Phi_{1k}]$

$= 14.83\times[\cos(5+31)° + \frac{1}{2}\sin(5+31)°\mathrm{tg}8.2°]$

$= 12.6$ kN

$T_{n2}\times[\cos(\alpha_2+\theta_2) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_2+\theta_2)\mathrm{tg}\,\Phi_{2k}]$

$= 51.57\times[\cos(10+40)° + \frac{1}{2}\sin(10+40)°\mathrm{tg}7.4°]$

$= 35.74$ kN

$T_{n3}\times[\cos(\alpha_3+\theta_3) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_3+\theta_3)\mathrm{tg}\,\Phi_{3k}]$

$= 73.4\times[\cos(15+44.3)° + \frac{1}{2}\sin(15+44.3)°\mathrm{tg}7.4°]$

$= 41.53$ kN

$T_{n4}\times[\cos(\alpha_4+\theta_4) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_4+\theta_4)\mathrm{tg}\,\Phi_{4k}]$

$= 101.0\times[\cos(20+49.1)° + \frac{1}{2}\sin(20+49.1)°\mathrm{tg}7.4°]$

$= 42.16$ kN

d 项: $S\gamma_k\gamma_0\sum_{i=1}^{n}(W_i + q_0 b_i)\sin\theta_i$

$= 1\times1.3\times1\times(16+15\times1.04)\times(0.581+0.640+0.698+0.750+0.814)$

$= 143.1$

将各项合并,计算⑥式:

$\sum_{i=1}^{n} C_{ik}L_{is}S + S\sum_{i=1}^{n}(W_i + q_0 b_i)\cos\theta_i\mathrm{tg}\,\Phi_{ik} + \sum_{j=1}^{m} T_{nj}\times[\cos(\alpha_j+\theta_j) + \frac{1}{2}\sin(\alpha_j+\theta_j)\mathrm{tg}\,\Phi_{ik}] - s\gamma_{ik}\gamma_0\sum_{i=1}^{n}(W_i + q_0 b_i)\sin\theta_i$

$= 80.2 + 14.85 + (12.62 + 35.74 + 41.53 + 42.16) - 143.1 = 84 > 0$　(整体稳定性符合要求)