

建筑基坑支护设计^{*}

彭志辉

(东莞市茶山镇规划管理所, 广东 东莞 523380)

摘要: 设计了某建筑工程基坑土钉墙的工程构造, 计算了土钉受拔和抗拔荷载, 设计了土钉的尺寸和验算了基坑侧壁的整体稳定性。

关键词: 工程构造; 基坑支护; 土钉墙; 整体稳定性

中图分类号: U412 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0272-03

土钉墙是目前建筑深基坑支护的主要形式之一, 其起源于20世纪70年代。土钉墙有3个主要特点: ①插筋锚体与基坑边坡土体形成复合体, 插筋锚体构成的骨架, 弥补土体抗拉抗剪强度低的弱点, 发挥了插筋锚体与土体的共同作用, 显著提高了基坑边坡的承载力和稳定性; ②插筋锚体对土体的约束作用, 应力分担作用, 应力传递与扩散作用, 增强了土体变形的延性, 荷载达到一定程度后, 边坡变形速率增加, 但土体仍保持完好的整体性, 而不出现明显滑裂面; ③在基坑边坡破坏阶段, 迫于直立的插筋锚体边坡是由渐进开裂向整体开裂发展, 局部坡脚塌裂破坏, 但仍保持整体性。而素土无插筋锚体, 外荷加到一定程度时, 坡面网状裂缝出现, 沉降急剧增大, 边坡突然崩塌。而土钉复合墙体, 延缓塑性变形阶段为渐进性开裂, 扩展, 直至丧失承载力但不易发生整体性的崩塌, 增加了边坡破坏阶段的安全性。本建筑工程的基础建筑施工已结束。所采用的土钉墙基坑支护方案发挥了安全可靠的保障作用。

1 工程概况

本建筑工程基坑尺寸为长×宽×高=72 m×42 m×12.2 m, 基坑边坡坡度为1:0.13 (即坡角为 $\beta=82.5931^\circ$) 坡面堆放钢筋, 平均超载为16 kN/m², 地质土层分布情况如下: 地面表层是厚为3.8~4.8 m的素填土平均厚度为4.2 m, 粘聚力 $C=17$ kPa, 内摩擦角 $\psi=18^\circ$, 取平均值 $C_1=15$ kPa, $\psi_1=15^\circ$ 。次层为粉质粘土及细砂, 厚度约3.2 m, 粉质粘土 $C=30$ kPa, $\psi=14^\circ$, 细砂 $\psi=30^\circ$, 平均为 $C_2=15$ kPa; $\psi_2=15^\circ$; 第3层为卵石圆砾及重

粉质粘土, 卵石圆砾 $C=0$, $\psi=42^\circ$, 重粉质粘土 $C=30$ kPa, $\psi=15^\circ$, 平均厚度为2.3 m, 取平均值 $C_3=0$, $\psi_3=34^\circ$; 第4层为粉细石及圆砾, 粉细石 $C=0$, $\psi=34^\circ$, 圆砾 $C=0$, $\psi=42^\circ$, 厚度大于4.5 m, 取平均 $C_4=0$, $\psi_4=38^\circ$, 地下水位于基坑底面标高以下约2.5 m。沿基坑深度布置8层土钉, 土钉间距取为 $s_x=s_z=1.5$ m。自坡顶面以下1 m处开始布钉土钉与水平面夹角全部取为 $d_i=10^\circ$, ($i=1, 2, \dots, n$, n 为土钉的总数) 钢筋网选取I级钢筋 $\phi 6@200$ mm×200 mm, 土钉钢筋选II级螺纹钢 $\phi 20$, 钻孔直径为 $D=100$ mm, 喷射混凝土强度等级为 C_{20} , 土钉墙厚为100 mm, 坡顶宽度 $\beta>8$ m。

2 各层土钉受载、抗拔承载及土钉长度

据中华人民共和国行业标准《建筑基坑支护技术规程》, 各层土钉承受土体侧压力引起的受拉荷载按下式计算

$$T_{jk} = \frac{\zeta_k e_{ajk} s_{zj}}{\cos \alpha_j} \quad (1)$$

式中, $j=1, 2, \dots, 8$ 是土钉层号, $k=1, 2, 3, 4$ 是地基层号, α 是第 j 根土钉与水平面的夹角, ζ_k 是土压力折减系数, 由式(2)确定, e_{ajk} 是第 j 根土钉处土的侧压力强度标准值。由式(3)计算, $s_{zj}=s_{xj}=1.5$ (m), ($j=1, 2, \dots, 8$)是土钉的水平与垂向间距。

$$\zeta_k = \frac{\tan \frac{\beta - \psi_k}{2} \left[\frac{1}{\tan [(\beta + \psi_k)/2]} - \frac{1}{\tan \beta} \right]}{k_{ak}} \quad (2)$$

式中, $\beta=83^\circ$ 是基坑侧壁的坡角, $k_{ak}=\tan^2(45^\circ -$

* 收稿日期: 2004-03-28

作者简介: 彭志辉 (1975年生) 男, 助理工程师; E-mail: dghmlgong@163.com

$\psi/2$), $\psi_k(k=1,2,3)$ 是第 k 土层的内摩擦角, 于是可得:

$$\begin{aligned}\zeta_1 &= 0.8385, \zeta_2 = 0.8476, \\ \zeta_3 &= 0.7787, \zeta_4 = 0.7593\end{aligned}$$

土的侧压力强度

$$e_{qk} = (q_0 + \gamma H_j) k_{ak} - 2c_k \sqrt{k_{ak}} \quad (3)$$

式中, $q_0 = 16 \text{ kN/m}^2$ 为坡面超载平均值, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, H_j 是第 j 个土钉所处的深度。将各参数带入式 (3), 得

$$\begin{aligned}e_{a11} &= -1.8233 \text{ kPa}, e_{a21} = 10.1366 \text{ kPa}, \\ e_{a31} &= 25.9725 \text{ kPa}, e_{a42} = 51.1678 \text{ kPa}, \\ e_{a52} &= 68.8316 \text{ kPa}, e_{a63} = 52.5850 \text{ kPa}, \\ e_{a74} &= 51.3864 \text{ kPa}, e_{a84} = 58.5234 \text{ kPa},\end{aligned}$$

这里, e_{a11} 是负值说明第一层土钉处, 土坡自身可以维持稳定平衡。

将上述参数代入式 (1), 得

$$\begin{aligned}T_{11} &= -3.4929 \text{ kN}, T_{21} = 19.4189 \text{ kN}, \\ T_{31} &= 49.7561 \text{ kN}, T_{42} = 99.0870 \text{ kN}, \\ T_{52} &= 13.2932 \text{ kN}, T_{63} = 93.5538 \text{ kN}, \\ T_{74} &= 89.1437 \text{ kN}, T_{84} = 101.5248 \text{ kN}\end{aligned}$$

单根土钉抗拔承载力设计值 T_{ij} 须满足^[1]

$$1.25\gamma_0 T_{jk} \leq T_{ij} \quad (4)$$

这里, γ_0 是基坑侧壁重要性系数, 取为 0.8, T_{ij} 主要取决于土钉进入滑裂面以外的长度、土钉锚固体直径及土体与土钉锚固体之间的摩擦阻力。国家规程^[1] 规定按下式计算:

$$T_{ij} = \frac{1}{\gamma_s} \pi d_{nj} \sum q_{sik} l_i \quad (5)$$

式中, $\gamma_s = 1.3$ 是土钉抗拉分项系数, d_{nj} 是第 j 根土钉锚固体的直径, 本工程以 $d_{nj} = 0.1 \text{ m}(j=1,2,\dots,6)$, q_{sik} 是土钉穿越第 i 层土土体与锚固体之间的极限摩擦阻力标准值, l_i 是土钉进入直线滑裂面以外第 i 稳定土层的长度。滑裂面与算土钉的长度, 须确定基坑侧壁可能滑裂的滑裂面, 由于地基土非均匀 (约为 3 类土层), 滑裂面经 3 类土层的形状不尽一样, 以 3 类土层与滑裂面交界点为界, 将滑动体分为 3 个土条, 各土条的滑裂面水平面夹角为 $\alpha = (\beta + \psi_k)/2$ 。为了确定土钉进入滑裂面以外稳定土体的长度 L_{wj} , 以各土钉穿越的破裂面外各土层的平均极限摩阻力 $\bar{q}_{sj}$ 近似表示, 式 (5) 变为:

$$T_{uj} = \frac{1}{\gamma_s} \pi d_{nj} \bar{q}_{sj} L_{wi}$$

将之代入式 (4), 得

$$L_{wi} \geq \frac{1.25\gamma_0 \gamma_s T_{jk}}{\pi d_{nj} \bar{q}_{sj}} \quad (7)$$

根据《规程》^[1] 中表 6.1.4 及上述土层分布, 近似取

$$\begin{aligned}\bar{q}_{s1} &= \bar{q}_{s2} = 17 \text{ kPa}, \bar{q}_{s3} = 30 \text{ kPa}, \\ \bar{q}_{s4} &= 80 \text{ kPa}, \bar{q}_{s5} = \bar{q}_{s6} = 130 \text{ kPa}, \\ \bar{q}_{s7} &= \bar{q}_{s8} = 100 \text{ kPa}\end{aligned}$$

代入式 (7), 有

$$\begin{aligned}L_{w1} &= 1 \text{ m}, L_{w2} = 5.5 \text{ m}, L_{w3} = 8.58 \text{ m}, \\ L_{w4} &= 6.41 \text{ m}, L_{w5} = 5.30 \text{ m}, L_{w6} = 3.72 \text{ m}, \\ L_{w7} &= 4.61 \text{ m}, L_{w8} = 4.04 \text{ m}\end{aligned}$$

为了计算各层土钉的总长, 需要确定滑裂面的形状。依《规程》说明, 视滑裂面为平面, 并与水平面夹角为

$$\alpha = \frac{\beta + \psi}{2} \quad (8)$$

其中, $\psi = 23^\circ$ 是各土层内摩擦角的平均值。于是直线滑裂面水平面成角 $\alpha = 53^\circ$ 。记 x_i 为第 i 根土钉孔口至直线滑裂面的水平面距离, 则各土钉在滑裂面以内的长度分别为:

$$\begin{aligned}L_{n1} &= 8.32 \text{ m}, L_{n2} = 6.61 \text{ m}, L_{n3} = 5.59 \text{ m}, \\ L_{n4} &= 4.57 \text{ m}, L_{n5} = 3.55 \text{ m}, L_{n6} = 2.52 \text{ m}, \\ L_{n7} &= 1.50 \text{ m}, L_{n8} = 0.48 \text{ m}\end{aligned}$$

各土钉总长度 $L_i = L_{ni} + L_{wi}(i=1,2,\dots,8)$ 为

$$\begin{aligned}L_1 &= 9.32 \text{ m}, L_2 = 12.19 \text{ m}, L_3 = 14.48 \text{ m}, \\ L_4 &= 10.98 \text{ m}, L_5 = 8.85 \text{ m}, L_6 = 6.24 \text{ m}, \\ L_7 &= 6.11 \text{ m}, L_8 = 4.52 \text{ m}\end{aligned}$$

《规程》要求 $0.5 \leq L_i/H \leq 1.2$ (H 为基坑深度), 取 $L_8 = 6.1 \text{ m}$, 则 $L_{w8} = 5.62 \text{ m}$ 。

3 土钉墙的整体稳定性

土钉墙的整体稳定性要求^[2] 下式成立

$$\begin{aligned}s \sum_{i=1}^n c_{ik} s_i + s \sum_{i=1}^n (w_i + q_0 b_i) \cos \theta_i \tan \psi_k + \\ \sum_{j=1}^m T_{nj} [\cos(\alpha_j + \theta_j) + 0.5 \sin(\alpha_j + \theta_j) \tan \psi_k] - \\ s \gamma_k \gamma_0 \sum_{i=1}^n (w_i + q_0 b_i) \sin \theta_i \geq 0 \quad (9)\end{aligned}$$

式中, γ_k 是整体滑动分项系数, 取 $\gamma_k = 1.3$, $\gamma_0 = 0.8$ 是基坑侧壁重要性系数, $w_i, b_i, c_{ik}, \psi_k, \theta_i, s_i$ 分别是第 i 土条质量、宽度、第 i 土条滑裂面处土体固结不排水 (快) 剪切粘聚力、内摩擦角、中点切线与水平面夹角及滑裂面弧长, α_j, T_{nj} 是第 j 根土钉与水平面的夹角及圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力, $s = 1.5 \text{ m}$ 是计算滑动体单元厚度, $n = 3$ 是滑动

土条数, $m = 8$ 是土钉数, 式(9) 中,

$$s \sum_{i=1}^n c_{ik} s_i = 208.58 \text{ kN}$$

$$s \sum_{i=1}^n (w_i + q_0 b_i) \cos \theta_i \tan \psi_k = 382.8618 \text{ kN}$$

$$\sum_{j=1}^m T_{nj} [\cos(\alpha_j + \theta_j) + 0.5 \sin(\alpha_j + \theta_j) \tan \psi_k] = 702.65 \text{ kN}$$

$$s \gamma_k \gamma_0 \sum_{i=1}^n (w_i + q_0 b_i) \sin \theta_i = 1152.45 \text{ kN}$$

可见, 式 (9) 得到满足。

4 结 语

考虑到坡顶面超载不太大, 取基坑侧壁重要性系数为 0.8。目前该工程施工已完成, 说明本设计方案安全可靠且较经济合理。

参考文献:

[1] 中国建筑科学研究院. 建筑基坑支护技术规程[S] . 中华人民共和国建设部批准, 1999.
[2] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M] . 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.

Retaining and Protecting for Foundation Excavation Design of Some Building

PANG Zhi hui

(Chashan Program Manage Institute of Dongguan City, Dongguan 523380, Guangdong, China)

Abstract: The engineering structure of Foundation excavation soil nailing wall of some building engineering is designed. The tension and the resistance tension are computed. And the sizes of the soil nailing are designed. And the entirety stability of the side of foundation pit is checked.

Key words: retaining and protecting for foundation excavation; soil nailing wall; entirety stability; engineering structure