

文章编号:1671-6833(2004)02-0028-04

受限的桩锚与土钉联合支护结构的计算模式

郭院成, 童怀峰, 秦会来, 阳平坚

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 桩锚支护结构主要依靠锚杆预应力承载并显著减小坑壁侧移, 土钉支护主要依靠对坑壁土体的加强来减小土体侧压力并承载, 将二者有机地联合起来成为一个共同承载的整体是目前基坑支护工程中常用的结构形式. 在坑壁土压力及地面超载作用下, 桩锚与土钉作为一个整体共同抵抗荷载和变形, 但实际工程中基坑支护结构的可用空间常受到场地限制. 根据桩锚和土钉联合支护结构的受力特点、施工特点及设计规范的相应要求, 考虑预应力锚杆自由段长度与土钉直线破裂面间的协调关系, 按照总锚固力等效原则, 研究总结了受限的联合支护结构的设计计算方法, 对受场地条件限制的基坑工程支护和开挖具有一定的理论指导意义.

关键词: 岩土工程; 基坑支护; 联合支护; 计算模型

中图分类号: TU 470⁺.3 **文献标识码:** A

0 引言

桩锚支护结构是通过设置单层或多层预应力锚杆, 使排桩坑底的嵌固深度显著降低, 排桩沿竖向应力分布趋于均匀, 并有效减小主动侧压力产生的水平侧移. 锚杆预应力水平较高时常要求实际锚杆长度较大, 而通常情况下城区地理系统非常复杂, 或基坑周边有较重要的建筑或构筑物时(如图 1 所示), 对坑外可使用空间限制严格, 常使锚杆预应力水平难以达到要求.

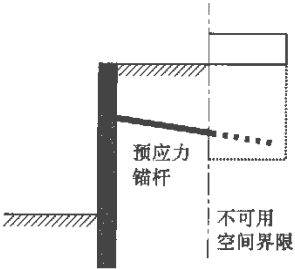


图 1 外支撑地下空间示意图

Fig. 1 Sketch of underground space with exterior support

土钉支护结构通过加固边壁土体, 使边壁土体成为支护结构的一部分. 使土钉支护结构所需要的地下空间相对较小. 根据静力等效原则, 将不满足规范要求的预应力锚杆代之以土钉, 形成土钉与桩锚的联合支护结构, 通过合理设计, 可实现

桩锚结构和土钉支护结构的协调受力和变形. 同时, 土钉支护结构将土体荷载作为支护结构承载的优点, 使其与桩锚构成一个整体结构共同受力时, 可有效降低桩锚结构中的桩体嵌入深度和锚杆预应力水平.

1 桩锚与土钉联合支护结构^[1]

土钉与桩锚联合支护结构由桩锚支护和土钉支护结构共同构成, 在基坑边壁土压力作用下, 土钉与桩锚作为一个整体结构共同承担荷载和变形.

对桩锚支护而言, 土钉支护的底部与下层土体接触, 在水平土压力作用下, 土钉结构与土体间可被动地产生较大的水平摩擦力, 从而有效地减小主动区土压力对排桩的作用, 不仅可以降低上部桩体的水平侧移量, 而且显著地提高支护结构的抗倾覆稳定性, 缩短桩体在土中的嵌固深度, 降低锚杆的预应力水平, 减小施工难度.

对土钉支护而言, 由于桩体抗剪强度较高, 且存在较高水平的锚杆预应力, 使土钉支护结构内部稳定性更易满足规范设计要求, 同时可显著提高土钉支护结构的施工速度^[2].

采用土钉和桩锚联合支护结构, 可根据不同的场地环境条件和工程地质条件, 协调桩锚和土

收稿日期:2004-01-15; 修订日期:2004-03-15

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(0211063200)

作者简介:郭院成(1965-), 男, 河南省辉县人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事复合地基与深基坑工程方面的研究.

钉的构成特点,控制坑壁稳定性和变形,充分发挥土钉支护结构和桩锚支护结构的优点,使两种支护结构共同受力,协调变形.因此,工程中现已取得了实践应用.

2 受限的桩锚与土钉联合支护结构

实际工程中,常由于地下空间的限制,使得桩锚结构中的预应力锚杆长度受到限制,此时预应力锚杆的长度可以预先确定,也即锚杆预应力水平是预先确定的,在此条件下进行联合支护结构的设计计算.

桩锚支护结构中锚杆预应力采用等值梁法计算^[3],如图2所示.

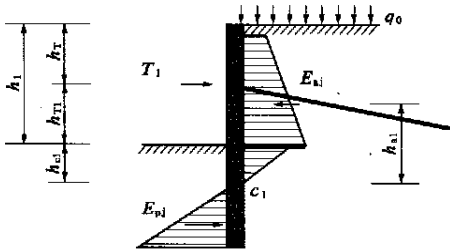


图2 单支点桩锚支护结构

Fig. 2 Hle anchor retaining structure with single fulcrum

当锚杆预应力水平已知为 T_1 时,可开挖深度 h_1 为

$$h_1=h_T-h_{c1}+\frac{h_{a1}\sum E_{aj}}{T_1} \tag{1}$$

若 $h_1<h$,则理论上可通过设置多道预应力锚杆来满足承载力要求,此时可按多道预应力锚杆设计方法来计算所需锚固力 T_2,T_3,\cdots ,但当 T_1 较小时,通常存在 $h_{T1}<2.5\text{ m}$,不能满足规范要求.如图3所示,可由等效土钉来代替第2道锚杆.

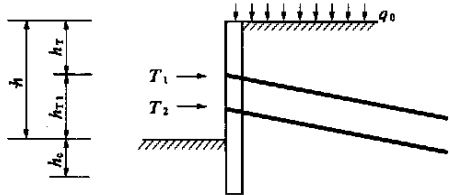


图3 多支点桩锚支护结构

Fig. 3 Hle anchor retaining structure with multi fulcrum

2.1 求土钉的假设集中力 T_s

如图4所示,土钉设置高度中点的位置可由式(1)中的 h_1 来确定.基坑的最终开挖深度为 h_2 ,此时可根据开挖深度和第一层锚杆设计预应力的水平,运用等值梁法求得假设集中力 T_s .

2.1.1 求开挖深度为 h_2 时土压力分布集度零点 c_2 到开挖底面的高度 h_{c2}

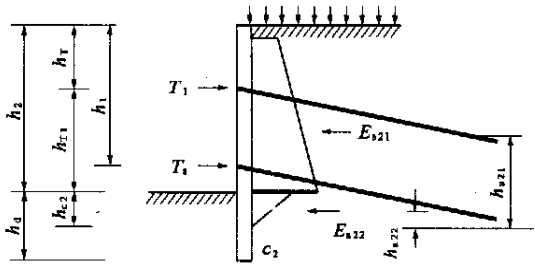


图4 多支点桩锚支护结构

Fig. 4 Hle anchor retaining structure with multi fulcrum
 h_{c2} 由式(2)求出:

$$e_{p2k}=e_{a2k} \tag{2}$$

式中: e_{p2k},e_{a2k} 分别为水平抗力标准值和水平荷载标准值.

2.1.2 根据双层锚杆支护结构计算方法,运用等值梁法求土钉的假设集中力 T_s

由 c_2 点的弯矩平衡得式(3)求得 T_s :

$$T_s(h_{T1}+h_{c2})+T_s(h_2-h_1+h_{c2})=E_{a21}h_{a21}+E_{a22}h_{a22} \tag{3}$$

式中: h_{c2} 为土压力分布集度零点 c_2 到开挖底面的高度; E_{a21},E_{a22} 为开挖底面以上、以下的土压力合力; h_{a21},h_{a22} 为土压力分布集度零点到 E_{a21},E_{a22} 作用点的距离;

2.2 土钉的设置计算

2.2.1 求土钉的设置高度 H_s

假设土钉在高度方向上等距离设置,则土钉的设置高度 H_s 由式(4)求出:

$$H_s=\frac{T_s s_v s_H}{T_{uj} s_{T_s}} \tag{4}$$

式中: T_{uj} 为土钉的抗拉承载力设计值; s_H,s_v 为土钉的水平间距和垂直间距; s_{T_s} 为预应力锚杆水平间距.

由求出的土钉设置高度的中点和土钉设置的高度值 H_s 就可以确定土钉在垂直方向的设置范围.

2.2.2 土钉的长度 L

(1) 土钉的锚固长度 L_a

土钉的锚固长度 L_a 可由式(5)~(7)联立求出:

$$1.25\gamma_0 T_{jk}\leq T_{uj} \tag{5}$$

$$T_{jk}=e_{ajk} s_H s_v / \cos \varphi \tag{6}$$

$$T_{uj}=\frac{1}{\gamma_s} \pi d_{nj} \sum q_{sik} l_i \tag{7}$$

式中: γ_0 为建筑基坑侧壁重要性系数; T_{jk} 为第 j 根土钉受拉荷载标准值; T_{uj} 为第 j 根土钉的抗拉承载力设计值; e_{ajk} 为第 j 根土钉位置处的基坑水平荷载标准值; q 为第 j 根土钉与水平面的夹角;

s_H, s_V 为土钉的水平间距和垂直间距; γ_s 为土钉抗拉抗力分项系数, 取 1.3; d_{nj} 为第 j 根土钉锚固体直径; q_{sik} 为土钉穿越第 i 层土土体与锚固体极限摩阻力标准值; l_i 为第 j 根土钉在直线破裂面外穿越第 i 层稳定土体内的长度.

(2) 直线破裂面前的土钉长度 L_f

示意图见图 5.

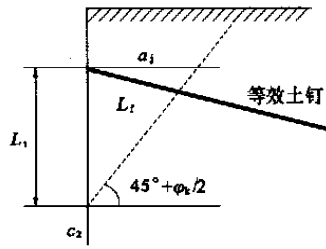


图 5 等效土钉构成示意图

Fig. 5 Sketch of the composing of equivalent soil nailing
 $L_f = L_1 \sin(45^\circ - \phi_k/2) / \sin(45^\circ + \phi_k/2 + \theta)$ (8)
式中: L_1 为土钉外端点至土压力分布集度零点 c_2 的垂直距离; ϕ_k 为土体各土层厚度加权内摩擦角标准值.

可得土钉的总长度: $L = L_a + L_f$.

2.3 排桩的嵌固深度设计值 h_d

排桩的嵌固深度采用两种方法进行计算, 取两种方法中计算结果较大者作为排桩的嵌固深度设计值.

2.3.1 等值梁法

等值梁法是把土钉对土体的作用力简化为一集中力, 由式 (9) 求解排桩的嵌固深度设计值:

$$T(h_2 + h_d - h_T) + T_s(h_2 - h_1 + h_d) + E_p h_p - 1.2 \gamma_0 E_a h_a \geq 0 \quad (9)$$

式中: h_d 为排桩的嵌固深度设计值; E_p 为排桩前被动土压力合力; h_p 为 E_p 作用点到排桩底部的距离; E_a 为排桩后主动土压力合力; h_a 为 E_a 作用点到排桩底部的距离.

2.3.2 整体稳定性验算法^[4]

排桩的嵌固深度计算值 h_0 按整体稳定性条件采用圆弧滑动简单条分法计算如图 6 所示.

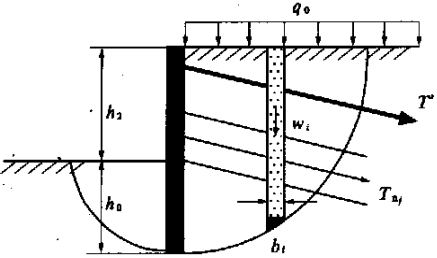


图 6 圆弧滑动条分法示意图

Fig. 6 Sketch of the method of slices

$$\begin{aligned} & T'_s [\cos(\alpha_T + \theta_T) + \sin(\alpha_T + \theta_T) \tan \varphi_k] + \\ & \sum_{i=1}^n c_{ik} L_i + \sum_{i=1}^n (w_i + q \cos \theta_i) \cos \theta_i \tan \varphi_k + \\ & \sum_{j=1}^m \frac{T_{wj}}{s_H} [\cos(\theta_j + \vartheta) + \sin(\theta_j + \vartheta) \tan \varphi_k] - \\ & \gamma_k \gamma_0 \sum_{i=1}^n (w_i + q \cos \theta_i) \sin \theta_i \geq 0 \quad (10) \end{aligned}$$

式中: n 为滑动体分条数; m 为滑动体内土钉数; T' 为滑弧破坏面外锚杆锚固力值; α_T 为锚杆与水平面之间的夹角; θ_T 为预应力锚杆和滑裂面交点所属滑动条的中点切线与水平面的夹角; φ_k 为预应力锚杆和滑裂面交点处土体固结不排水(快)剪内摩擦角标准值; ϑ 为土钉和可能滑动面交点所属滑动条的中点切线与水平面的夹角; c_{ik} , φ_k 为第 i 分条滑裂面处土体固结不排水(快)剪粘聚力标准值、内摩擦角标准值; L_i 为第 i 分条滑裂面处弧长; w_i 为第 i 分条土重, 滑裂面位于粘性土或粉土时, 按上覆土层的饱和重度计算; 滑裂面位于砂土或碎石类土中时, 按上覆土层的浮重度计算; b_i 为第 i 土条宽度; q 为土钉与水平面之间的夹角; θ 为第 i 土条弧线中点切线与水平面的夹角; γ_k 为整体稳定分项系数, 根据经验确定, 无经验时可取 1.3.

2.3.3 桩的总长 H

桩的总长: $H = h_2 + 1.2 h_d$.

3 工程实例分析

3.1 受限联合支护结构设计

周围环境条件提供的外支撑空间为基坑边沿外伸 20 m, 基坑开挖施工过程中, 不允许产生较大水平侧移和地面沉降. 支护结构拟采用桩锚结构, 考虑到地下水位较浅, 基坑深度较大, 桩锚结构在自然地面下 5.5 m 和 9.5 m 处设置两层预应力锚杆. 按规范规定的等值梁法计算, 要求第一层锚杆预应力设计值为 270 kN, 相应地, 锚杆长度为 25 m; 第二层锚杆预应力设计值为 407 kN, 相应地, 锚杆锚固长度为 32 m, 显然施工难度过大, 且现场条件不允许.

实际工程中, 采用单支点桩锚与土钉联合支护结构, 如图 7 所示. 排桩直径为 0.8 m, 间距为 1.5 m, 桩长 12.4 m, 纵筋配置为 10 $\Phi 20$, 箍筋为 $\Phi 8@200$; 预应力锚杆位于自然地面下 5.5 m 处, 同排间距为 $s = 1.5$ m, 锚杆预应力设计值为: $T_{c1} = 165$ kN, 采用 $\varnothing 53 \times 3.5$ 无缝钢管施加预应力,

总长度为 $L=20\text{ m}$.

土钉支护结构采用同排间距为 1.5 m, 竖向排距为 1.2~1.5 m, 土钉采用 $\varnothing 48 \times 3.0$ 无缝钢管, 长度为 12 m, 自自然地面下 7 m 开始共设置 5 排土钉。

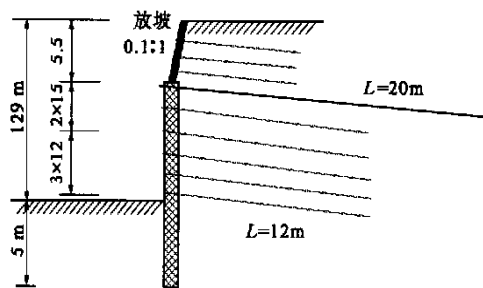


图 7 受限桩锚与土钉联合支护结构设计图

Fig. 7 Combined design of anchored pile soil nailing in limited environment

3.2 基坑施工检测结果

基坑施工过程中采用测斜仪、高精度水准仪、经纬仪、深层沉降仪等精密仪器对施工全过程进行监控,以验证设计方法的合理性和施工方案的可行性.

自基坑开挖施工至地下3层地下室出地面,共历时9个月,测得基坑施工过程中,附近地面最大沉降量为17.6 mm,基坑顶部土体最大水平侧移量为12 mm,桩顶压梁水平侧移量为5 mm,开挖至设计标高时坑底最大反弹位移量为7 mm.基本与计算值相符,符合规范对基坑变形控制的设计要求.

4 结束语

土钉与桩锚联合支护结构是城市建设过程中由于地理环境等客观因素的制约,基坑支护结构型式的一个新的发展。通过合理的设计,可使土钉与桩锚协同工作。一方面,土钉结构部分的使用可有效降低桩锚结构中桩体的嵌固深度和锚杆预应力水平,减小施工难度,加快施工进度;另一方面,桩锚结构部分的使用,也使土钉支护结构的开挖支护速度得以加快,坑底桩体较高的抗剪强度和上部锚杆预应力的存在使土钉支护结构的内部稳定性系数显著提高,并且也使其外部稳定性得到了加强。本文从理论上分析了土钉支护结构与桩锚支护结构联合使用的工作机理、设计计算的主要内容和方法。其中还存在许多问题有待进一步深入、系统地研究。

参考文献:

- [1] 郭院成, 宋建学, 周同和. 桩锚与复合土钉联合支护结构的工程设计[J]. 建筑施工, 2001, 21(6): 27~29.
- [2] 陈肇元, 崔京浩. 土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 黄 强. 建筑基坑支护技术规程应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] 郭院成, 王立明, 郑秀丽. 土钉与桩锚联合支护结构的计算模式[J]. 河南科学, 2003, 21(3): 287~291.

Calculation Model of the Combined Hit Retaining Structure of Anchored pile and Soil nailing

GUO Yuan -cheng , TONG Huai -feng , QIN Hui -lai , YANG Bing -jian

(College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : Earth pressure is carried and displacements of pit side are controlled in pile anchor retaining structure mainly by prestressing the anchor and in soil nailing earth pressure is reduced and carried mainly depending on the strengthening functions of soil nailing to soil .Combining pile anchor retaining structure and soil nailing into a whole to bear loads is often used in retaining and protection of foundation excavations now .Under the actions of earth pressure and other kinds of loads the SNPA as a whole bears loads and controls deformations .But in practice the construction space available for retaining structure is often limited .According to the construction and load carrying features of the combined retaining structure of SNPA under limitation ,considering the harmonious relationship between the free length of anchor and linear failure surface of soil nailing and based on the equivalent principle of total anchoring force the design method ,which satisfies the requirements of the code is studied and summarized in this paper .What we do here may provide some guidance for retaining and excavation of foundation pit under limited ground conditions .

Key words : geotechnical engineering ; pit retaining structure ; combined pit retaining structure ; calculation model