

文章编号:1671-6833(2004)03-0052-04

桩锚与土钉联合支护结构中的土压力分配模式

郭院成¹, 秦会来¹, 王立明²

(1. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘 要: 桩锚与土钉联合支护结构中, 土压力在桩锚和土钉之间的分配是联合支护结构设计的关键所在. 土钉对土体的加强将使直接作用于桩锚结构上的土压力得到显著减小, 从而降低桩锚结构中的锚杆应力水平, 减短排桩插入土中深度. 通常情况下桩锚与土钉联合支护结构的基坑边壁侧移很小, 土钉长度范围内一般不会出现显著的破裂面, 此时土钉支护部分可视为土压力向桩锚结构传递过程中的中间单元. 据此可计算桩锚与土钉联合支护结构中土压力在二种支护结构间的分配及联合支护结构的协调变形问题. 通过工程实例基坑边壁侧移的计算和监测结果对比, 验证了土压力分配模式的工程适用性, 对同类支护结构的设计计算具有一定的参考价值.

关键词: 岩土工程; 基坑支护; 联合支护结构; 土压力计算

中图分类号: TU 470⁺.3

文献标识码: A

0 引言

桩锚支护结构^[1]在基坑内外土压力作用下, 桩体处于受弯状态, 锚杆处于受拉状态. 通过预先施加锚杆预应力, 使桩锚支护结构在基坑开挖过程中, 显著降低坑壁水平侧移、有效提高抗倾覆稳定性, 缩短桩体在土中的嵌固深度, 降低施工难度和工程投资, 因此桩锚支护结构在可预见的时间内将是工程实践中常用的支护结构形式. 但排桩在土压力作用下跨中附近通常会发生较显著的弯曲变形和侧移.

土钉支护结构的特点是通过对其对基坑边壁土体强度的加强和提高, 使基坑产生荷载的土体成为支护结构的一部分. 基坑在开挖支护过程中, 随着边壁邻空高度的增加, 土体侧压力增大的同时, 支护结构的抗力水平相应提高, 使边壁土体强度得到最大限度的使用^[2]. 但土钉支护结构中的土钉拉力依靠土体的侧移而产生, 这导致土钉支护结构的水平侧移通常较大.

将桩锚与土钉支护结构联合使用^[3], 构成一个整体共同受力. 土钉支护结构部分土体产生水平侧压力的同时, 也使作用于桩锚结构上的水平侧压力的分布特征发生改变, 土钉墙底部水平摩

擦阻力的存在还可有效地降低桩锚结构中桩体嵌入深度和锚杆预应力水平; 此外, 桩锚结构强度的预先形成, 可显著提高土钉支护结构的施工进度, 并有效提高土钉结构的内部稳定性. 目前, 桩锚和土钉联合支护结构在工程中已取得了较为广泛的实践应用, 但二者共同作用的机理以及选型原则、设计计算方法等方面的研究还存在很多有待解决的问题, 其中土压力在桩锚支护结构和土钉支护结构间的分配模式是联合支护结构设计计算的关键, 并对联合支护结构的优化选型、协调二者变形, 促进受力合理性起关键作用.

1 桩锚与土钉联合支护结构的受力变形机理^[2,3]

对一般地下水层丰富的复杂地质条件, 当基坑边壁直线长度较大时, 最易发生的破坏模式是近似圆弧滑动破坏面, 如图 1 所示. 在土钉施工过程中, 边壁土体邻空高度较大时, 近基坑土体最可能沿优势滑动控制线发生破坏, 土钉在优势滑裂面两侧的锚固力(被动产生)方向相反, 自成平衡, 且越靠近滑裂面, 土钉的拉力越大. 因此土钉锚固体直径和长度主要决定于优势滑裂面两侧土体性质以及基坑临空高度、顶面超载等.

收稿日期: 2004-04-06; 修订日期: 2004-06-11

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支护方面的研究工作.

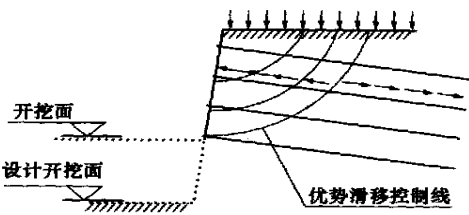


图 1 土钉施工过程中的圆弧型破坏面
Fig. 1 Circular failure surface occurring in the construction of soil nailing

桩锚支护结构中的锚杆预应力由锚固段的锚固力提供,锚固段长度决定于土体性质及设计锚固力.锚杆设计锚固力根据排桩结构的力矩平衡条件计算而得,排桩长度根据整体抗倾覆稳定性条件计算得到.排桩在土压力和锚固力共同作用下处于弯曲受力状态,如图 2 所示.一般情况下,锚杆预应力水平越高,则排桩插入土中长度就越小.

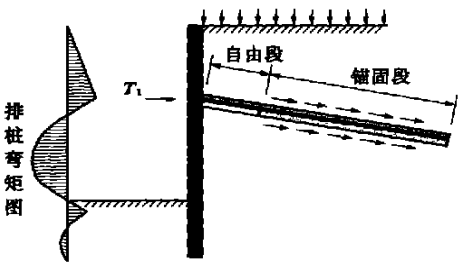


图 2 桩锚支护结构受力示意图
Fig. 2 Sketch for pile-anchor retaining structure under load

将桩锚与土钉构成联合支护结构,如图 3 所示.一般情况下在锚杆施工前,相对于开挖深度而言,排桩插入深度很大,因此此时悬臂排桩是可以满足支护结构设计要求的,水平侧移也很小;另外从挖至设计坑深位置时的假定直线破裂面可以看出,上层土钉的大部分位于破裂面之前,破裂面后面的土钉锚固长度很小,所以当排桩顶端伸至地面时,预应力锚杆以上的土钉从受力角度来看,是无需设置的.但土钉使此部分土体整体性得到加强后,其所产生的侧压力将变小,更有利于支护结构.

预应力锚杆位置以下的土钉大部分位于直线破裂面之后,中下部土钉是在预应力锚杆之后施工的,根据土钉的变形受力机理,故可以认为此部分土钉将承担一部分土压力,使作用于排桩结构上的土压力得到显著降低;此外,预应力锚杆的自

由段末端位置必须与土钉的破裂面位置一致,以协调锚杆预应力和土钉的变形和合理受力.

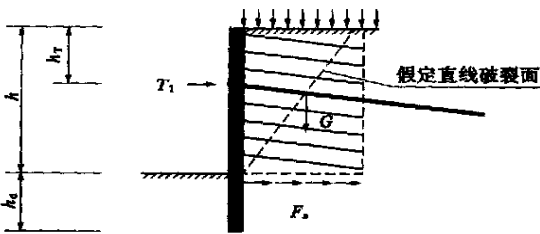


图 3 桩锚与土钉联合支护结构
Fig. 3 Combined retaining structure of pile-anchor and soil nailing

2 桩锚与土钉联合支护结构中的土压力分配模式

将联合支护结构中的土钉支护部分视为土压力传至桩锚结构中间单元,则土钉部分隔离体的受力如图 4 所示.

由 $\sum x = 0$ 可得

$$E_a' = E_a - \psi F_a - F_c \quad (1)$$

式中: E_a 、 E_a' 分别为土压力等效集中力和作用于桩锚支护结构上的土压力合力; F_a 为土钉支护结构底部的水平摩擦力合力; ψ 为土钉底部水平摩擦力发挥系数; F_c 为土钉支护结构底部的粘聚力提供的水平抗剪力.

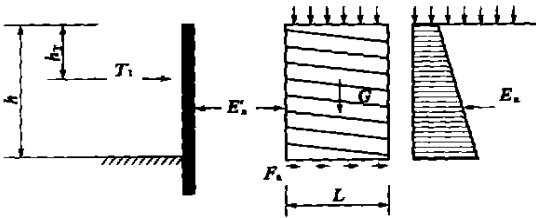


图 4 桩锚与土钉联合支护结构的隔离体图
Fig. 4 Segment diagram of the combined retaining structure

由于土钉的整体效应影响,使作用于桩锚支护结构上的土压力得到显著减小,相应地桩锚支护结构上的锚杆预应力水平得到相应减小.此时桩锚与土钉联合支护结构中土压力的分配关系决定于土钉在联合支护结构中所起作用的大小.

这里假定土钉支护部分的整体性,即在墙后土压力作用下,土钉长度范围内不会首先出现内部稳定性破坏.若出现内部稳定性破坏则由土钉承担的土压力考虑按比例进行折减.如图 5 所示,假定联合支护结构在土压力作用下出现土钉长度内的直线破裂面,则由土钉所提供的水平摩阻力

极限值为

$$F_a' = \frac{l_1}{l_2 + l_1} F_a \tag{2}$$

与直线破裂面相交的土钉所提供的水平方向锚固力合力为

$$R_a' = \sum_i R_i' \cos \theta \tag{3}$$

式中： R_i' 为与直线破裂面相交的第 i 个土钉所提供的极限抗拉力； θ 为与直线破裂面相交的第 i 个土钉与水平面的夹角。

此时作用于桩锚支护结构上的土压力合力则表达为

$$E_a' = E_a - (\psi F_a' + R_a' + F_c) \tag{4}$$

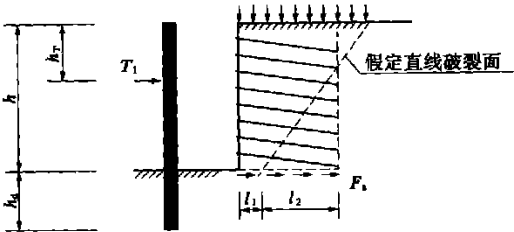


图 5 联合支护结构的内部稳定性破坏情况
Fig. 5 Interior failure of the combined retaining structure

3 工程实例

3.1 联合支护结构设计

某基坑工程深 11.29 m，平面尺寸 45 m × 145 m，场地工程地质条件如表 1 所示。

表 1 工程地质勘察报告

Tab. 1 Engineering geology reconnaissance report

层号	岩性	埋深/m	$\gamma /$ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	$c /$ kPa	$\varphi /$ ($^{\circ}$)	$f_{ck} /$ kPa	$q_{sk} /$ kPa
1	杂填土	0.0~1.5	—	—	—	—	—
2	粉土	1.5~5.4	17.5	10	18	120	20
3	粉土	5.4~9.5	18.7	15	20	135	25
4	粉土夹粉砂	9.5~14.8	18.0	10	25	95	30
5	粉砂夹粉土	14.8~21.2	18.5	0	30	130	35

采用单支点桩锚与土钉联合支护结构，如图 6 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 10Φ20，箍筋为 Φ8@200；预应力锚杆位于自然地面下 5.5 m 处，同排间距为： $s = 1.5 \text{ m}$ ，锚杆预应力设计值为： $T_d = 165 \text{ kN}$ ，采用 Φ54×3.5 无缝钢管施加预应力，总长度为 $L = 25 \text{ m}$ ；

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 Φ48×3.0 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。

取土钉底部水平摩擦力的发挥系数 $\psi = 0.8 \sim 0.5$ ，按桩锚支护结构锚固点侧移计算方法，可计算得桩顶压梁水平侧移为：6~12 mm。

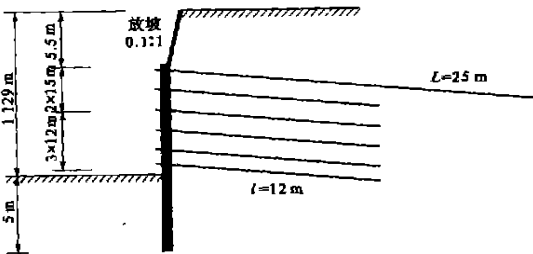


图 6 桩锚与土钉联合支护结构示意图
Fig. 6 Sketch of combined retaining structure of pile-anchor and soil nailing

3.2 基坑施工检测结果

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。计算中未考虑开挖过程中坑外水位下降对土体固结的有利影响，因此可认为计算值与实测值基本相符，说明本文所提供的联合支护结构土压力分配模式基本符合工程实际情况。

4 结束语

桩锚和土钉联合支护结构的工作机理研究尚不完善，缺乏统一的设计计算方法，目前实际工程中常采用分别设计计算再折减的方法，但土钉与桩锚支护结构之间是协同工作的。一方面，土钉结构部分的使用可有效的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，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。本文基于土钉与桩锚支护结构联合使用的协同工作机理，建议了土压力的一种分配模式，对桩锚和土钉联合支护结构的工程应用具有参考价值，但其中还存在许多问题有待进一步深入、系统的研究。

参考文献：

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 郭院成, 周同和, 宋建学. 土钉与桩锚联合支护结构的工程实例[J] . 郑州大学学报工学版, 2003, 24(2) : 26 ~ 28.

The Admeasurement Mbdel of Earth Pressure in the Combined
Structure of Hle anchor and Soil Nailing

GUO Yuan -cheng¹, QIN Hui -lai¹, WANG Li -ming²

(1.College of Civil Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China ; 2.Department of Geotechnical Engineering ,Tongji University ,Shanghai 200092,China)

Abstract : It is the key problem for the combined retaining structure to distribute the soil pressure to the pile - anchor and the soil nailing reasonably . For soil nailing , the soil of the retained section is strengthened by soil nails . If pile - anchor and soil nailing (PASN) are combined together , the prestress level will be reduced and the embedded depth of soldier pile be shortened , for the earth pressure acting on the pile - anchor retaining structure is observably lessened due to the strengthening action of soil nails to the soil . Generally , the side displacements of combined structure of PASN are very small and failure surface will not occur within the length of soil nails . So the section of soil nailing can be treated as a middle element during the earth pressure transferring to pile - anchor retaining structure , based on which we can admeasure the earth pressure in the combined structure of PASN and analyze the harmonious deformation between them . By comparing the calculation result of the side displacement and the observed result of the foundation pit side wall of an constructed project , the applicability of the soil pressure distribution model is verified and this can provide some reference for the designing and calculating of the congener retaining structure .

Key words : geotechnical engineering ; retaining and protection of foundation excavation ; combined retaining structure ; calculation of earth pressure