

# 土钉与锚杆组合式支护技术在深基坑工程中的应用

代国忠

(长春工程学院 土木工程系,吉林 长春 130021)

**摘要** 结合北京海淀区某基坑支护工程实际,介绍了土钉墙与锚杆桩墙组合支护技术方案的设计、施工及应用情况,较好地解决了因深基坑开挖引起临近建筑物沉降过大的问题。

**关键词** 土钉;锚杆;基坑支护;深基坑

中图分类号: TU46+3 文献标识码: B 文章编号: 1000-3746(2001)05-0011-02

近几年来,土钉墙(包括锚喷支护)因施工速度快、操作简便、经济适用、安全可靠,在深基坑支护工程中被广泛采用,支护深度一般为5~20 m。但对于基坑周围临近建筑物沉降要求比较严格的情况,单独使用土钉墙作为深基坑支护方法,往往造成基坑边坡侧向位移过大,影响周围建筑物的正常使用。如果采用土钉与锚杆组合式支护技术,可以较好地解决此类基坑的支护问题。为此,本文结合北京海淀区某基坑支护工程实际,着重介绍土钉与锚杆组合式支护技术的应用情况。

## 1 工程概况

### 1.1 地理环境

该工程拟建建筑物主楼23层,地下3层,基坑平面呈不规则长方形,开挖尺寸约为40 m×90 m,基坑开挖深度14.9 m(地面为±0.00)。基坑北侧4 m外为马路;东侧距一座5层住宅楼及地下车库仅4 m,南侧距地铁通风口7 m;西侧距2座高层住宅楼10 m。因此,本工程不具备大面积放坡开挖的条件,基坑开挖前必须进行支护,且应严格控制支护后基坑边坡的水平位移。

### 1.2 地质条件

根据勘察报告,拟建场地地层自上而下主要是第四系粘性土、粉土、砂类土及碎石类土的交互层(详见表1),地下水静止水位埋深为-20 m。

表1 场地地层自上而下分布及主要力学指标

序号	地层	容重 ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	内聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )	层厚 /m
1	素填粘质粉土	20	15	20	1.8
2	粉质、砂质粘土互层	18.4	24.8	19.6	7.0
3	粉砂	19.5	0	30	0.5
4	砂质粉土	20	17	11.5	0.4
5	粉砂	19	0	30	1.4
6	卵石	20	0	40	5.2
7	中砂	20	0	32	0.3
8	粉质粘土	19.7	15	48	2.2
9	卵石	20	0	45	6.4

## 2 基坑支护方案选择

根据基坑地质条件及周边环境,可供选用的支护方案主要有内撑式围护结构、锚杆桩墙、土钉墙等。内撑式围护结构占据了基坑内作业面,不利于基坑开挖及大厦基础施工。如完全采用锚杆桩墙支护体系,由于基坑开挖深度达15 m,按等间距形式布置经计算至少需要3层锚杆,且护桩所承受的水平力过大,为满足受弯要求需增加护桩的配筋。如完全采用土钉墙支护,土钉杆分布的密度及长度过大,且基坑边坡的水平位移过大,造成临近建筑物过大的不均匀沉降,最终影响其正常使用。

经过综合研究及计算,本工程采用土钉与锚杆组合式支护方案,即基坑开挖深度内上部6 m采用土钉墙支护,共布置4排土钉;下部8.9 m采用一排锚杆与护桩组成的桩墙支护。这样将2种支护方式有机地结合起来,减少了2排锚杆,最大限度地降低基坑支护的成本,并确保基坑临近建筑物的使用安全。按北京市建筑工程定额计算,本工程如完全采用锚杆桩墙支护体系,直接材料费为138万元;而采用土钉与锚杆组合式支护方案,直接材料费仅为113万元,比前者节约近25万元,并能缩短工期15天。限于篇幅,本文仅以基坑东侧为例对支护结构参数设计进行介绍。

## 3 支护结构参数设计

### 3.1 土钉墙支护

土钉支护深度 $H=6.0$  m,坡角 $\beta=84^{\circ}$ ,土层加权平均重度 $\gamma=19$   $\text{kN}/\text{m}^3$ ,内摩擦角 $\varphi=21^{\circ}$ ,内聚力 $c=20$  kPa。结合深基坑设计规范,按国内王步云同志的有关建议,选取土钉几何尺寸,并对土钉的内部稳定性及外部稳定性进行验算,最终确定出的土钉墙结构参数如下(如图1所示)。

(1)土钉长度 $L=6$  m,全长注浆,混凝土强度等级C20。

(2)土钉钻孔直径 $d_h=150$  mm,水平、上下排间距 $s_x=s_y=1.4$  m,共布置4排土钉。

(3)土钉加筋杆直径 $d_b=28$  mm,筋杆材料为热轧II级螺纹钢。

(4)土钉倾角 $\alpha=10^{\circ}$ (自水平向下倾斜)。

收稿日期: 2000-07-31

作者简介:代国忠(1963-),男(汉族),吉林长春人,长春工程学院土木工程系岩土工程教研室主任,副教授,探矿工程专业,硕士,从事岩土工程专业教学和施工技术管理工作,吉林省长春市同志街80号(0431)6690857。

(5)土钉面层混凝土喷射厚度为 100 mm,强度 C20,挂  $\phi 6.5@200 \times 200$  钢筋网。

### 3.2 锚杆桩墙支护

按库仑土压力有关公式计算得主动土压力系数  $K_a = 0.26$  被动土压力系数  $K_p = 10.6$ ,将地面临近建筑物及土钉墙支护的土体折算成地面荷载  $q = 124$  kPa。根据边坡稳定计算得知,采用 1 排锚杆及护桩对基坑下部开挖深度进行支护即可满足要求(如图 1 所示)。

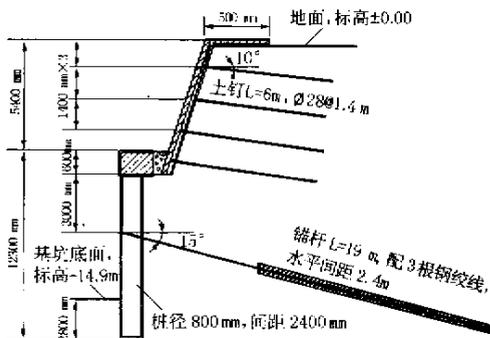


图 1 基坑支护土钉墙与锚杆桩墙布置

(1)锚杆布置:上层锚杆头部距桩顶(即土钉墙底部)3.0 m,水平间距 2.4 m,锚孔孔径 140 mm,锚杆向下倾斜  $15^\circ$ 。

(2)护坡桩入土深度:按盾恩法计算护桩插入基坑底深度为 2.52 m,实际选取 2.8 m。

(3)锚杆承载力:锚杆轴向拉力设计值为  $N_t = 435.3$  kN,若取锚杆抗拔安全系数  $K = 1.5$ ,则锚杆的极限抗拔力  $T_u = 653$  kN。

(4)锚杆长度:经计算锚杆非锚固段长度  $L_0 = 5.0$  m,锚固段长度  $L_c = 14$  m,故锚杆实际总长度为 19 m。

(5)锚杆材料:选择 3 根  $d = 15$  mm (7 $\phi 5$ )的钢绞线做锚杆,钢绞线的抗拉强度标准值为  $f_k = 1470$  kPa,其拉杆总横截面积为 412 mm<sup>2</sup>。

(6)锚杆横梁设计:按简支梁,锚杆横梁的最大弯矩为拉杆与横梁的作用点处,其值为  $M = 261.2$  kN·m,采用 2 根 40a 的槽钢背靠背布置(间距为 250 mm),即可满足锚杆横梁抗弯强度要求。

(7)护坡桩设计:护坡桩长度(含桩顶帽梁高度 0.6 m)为 12.3 m,桩间距为 2.4 m,桩身直径为 800 mm。经计算护坡桩的最大弯矩  $M_{max} = 560$  kN·m,其作用点距离桩顶 5.4 m,由此确定护坡桩主筋为 12 $\phi 22$ ,钢筋笼主筋分布圆直径  $d = 680$  mm,实际配筋率为 0.9%,满足“适筋梁”的工作条件,箍筋配筋为  $\phi 6.5@200$ ,架立箍筋配筋为  $\phi 14@1500$ ,钢筋材料均为热轧 II 级钢筋,护坡桩混凝土标号为 C25。

(8)桩顶帽梁设计:帽梁截面积为 900 mm  $\times$  600 mm,混凝土标号为 C25,主筋为 12 $\phi 14$  II 级螺纹钢,箍筋为双肢  $\phi 6.5@200$ 。

## 4 施工技术方案

本工程护坡桩总周长(以桩体轴线计算)为 237 m,基坑上部为土钉墙支护,下部为桩锚支护结构。总的施工顺序为:施工准备  $\rightarrow$  开挖土方  $\rightarrow$  土钉墙施工  $\rightarrow$  护坡桩施工  $\rightarrow$  桩顶

帽梁施工  $\rightarrow$  开挖土方  $\rightarrow$  锚杆施工  $\rightarrow$  开挖土方。

### 4.1 土钉墙施工技术

(1)首次开挖土坡深度 2 m 左右,修整好坡面后,用混凝土喷射机对坡面进行初喷,喷射混凝土面层厚度控制在 30 ~ 70 mm。混凝土配合比为:水灰比 0.4 ~ 0.5,水泥:砂子:石料 = 1:(2 ~ 2.4):(2 ~ 2.4),并可加入水泥质量 3% 左右的速凝早强剂。

(2)待初喷混凝土凝结强度达到 5 MPa 后,即可在坡面上进行土钉施工作业。采用人工洛阳铲或锚杆钻机成孔至设计深度,然后将组装好的土钉拉筋置入孔内,向孔内注入水灰比为 0.6 的水泥净浆,注浆压力控制在 0.5 ~ 1 MPa,浆体设计强度为 C20,并根据浆液漏失情况进行适时补浆。

(3)按配筋要求进行壁面挂网,待土钉孔内水泥浆强度达到 5 MPa 后,采用  $\phi 14$  mm 钢筋(做成双向弯钩)将壁面钢筋网与土钉拉接。

(4)对壁面进行混凝土复喷至面层设计厚度,将坡面钢筋网及土钉杆完全覆盖住,混凝土配合比与初喷相同。

(5)继续开挖土坡,重复上述步骤,直到 6 m 深度的土钉墙(4 排土钉)施工作业完毕。

### 4.2 锚杆桩墙施工技术

#### 4.2.1 护坡桩施工

$\phi 800$  mm 的护坡桩采用长螺旋钻机成孔,或用钻头(人力、机械)取土成孔;成孔后下入钢筋笼,然后用混凝土输送泵将混凝土直接送入桩孔成桩,桩体上部 5 m 范围内的混凝土用振捣棒振捣密实。

#### 4.2.2 锚杆施工

锚杆施工采用 QDG-2 型锚杆钻机长螺旋钻进成孔,亦可采用冲击回转挤密法成孔。成孔后将组装好的钢绞线直接下入锚孔内,然后分批进行锚固段注浆,水泥浆液的水灰比为 0.6,注浆压力 0.8 MPa 左右。锚杆钢绞线组装时锚固段每隔 1.5 m 设置一个塑料架线环,在 3 根钢绞线中间安放一根  $\phi 20$  mm 的塑料注浆管,钢绞线最下端装有入孔引导器;钢绞线的非锚固段外套一根  $\phi 50$  mm 的塑料管进行防腐,在钢绞线的锚固段与非锚固段分界处用水泥袋及塑料布进行包扎,形成一直径 110 mm、长度 300 mm 的止浆塞。待锚固段浆体凝结强度达到 15 MPa 后,进行锚杆的张拉锁定,锁定锚具选用 QM15-3 型,锚杆锁紧预应力为 350 kN。

## 5 结论

本基坑支护工程设计方案比较新颖、独特、合理,施工质量全部合格,15 m 深的基坑开挖后其地面最大沉降量及边坡水平位移均符合规定要求。经观测边坡最大水平位移不足 30 mm,达到了基坑变形控制保护等级的特级标准,使基坑临近建筑物的使用安全得到了保障。土钉与锚杆组合式支护技术在本基坑支护工程中得到了成功的应用,无疑是技术创新的结果,这样也扩大了土钉墙的适用范围,为今后类似的基坑支护问题的解决提供了成功经验。

### 参考文献:

- [1] 叶书麟,韩杰.地基处理与托换技术(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.