

# 北京东花市九区商住楼基坑支护 设计与施工

孙艳林 周舟 王志春 夏向东  
(中兵勘察设计院 北京 100053)

**【提要】** 本文通过工程实例,探讨了基坑支护的设计、施工和监测工作,特别是土钉墙技术的应用,并与护坡桩作了对比。

**【关键词】** 土钉墙 护坡桩 锚杆

**【Abstract】** This paper discusses the design, construction and monitoring test of foundation pit protect through practical cases. Especially about the application of soil-nail wall technique and compared with the revetment pile.

**【Keywords】** Soil-nail wall, Revetment pile, Anchor rod

## 0 前言

东花市九区商业住宅楼,位于北京市崇文区,地上6~15层,地下2~3层,占地面

积约212m×45m,基础埋深为-11.00~-13.95m。基坑周边已有建筑物相对位置见图1。

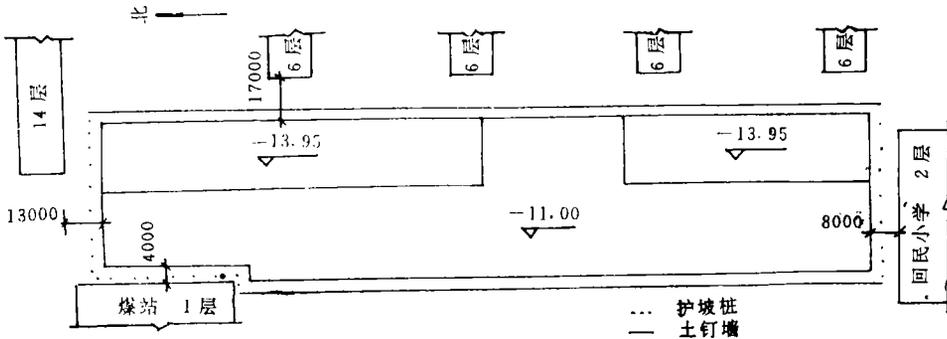


图1 基坑平面图

针对具体工程地质条件和支持用地的实际情况,采用土钉墙和护坡桩联合支护方案。南、北两侧和西北角42m长部分,因基坑距地面已有建筑较近,采用一道锚杆护坡桩;东西两侧有放坡场地,采用土钉墙支护。土钉墙技术近年来在北京地区发展较快,以其施工设备尺寸小、轻便、噪音低、占用支护空间小、用水用电量少及投资省等优点而受到青睐。本工程在较深基坑中应用土钉墙技

术,对其以后更加的合理地应用和发展不乏指导意义。

## 1 工程设计

### 1.1 工程地质条件

该场地位于永定河冲洪积扇的中下部,场地土质较均匀,各土层参数如下:

填土:厚3.40m,可塑, $c=8\text{kPa}$ , $\varphi=26^\circ$ , $\gamma=18\text{kN/m}^3$ ,综合内摩擦角为 $26^\circ$ ;

砂质粉土:厚2.90m,可塑, $c=20\text{kPa}$ ,

作者简介:孙艳林,男,岩土工程师。1991年毕业于同济大学地下建筑与工程系。主要从事基坑支护与地基处理设计工作。

$\varphi = 31^\circ$ ,  $\gamma = 19.4\text{kN/m}^3$ , 综合内摩擦角为  $36^\circ$ ;

粉质粘土: 厚3.20m, 可塑,  $c = 25\text{kPa}$ ,  $\varphi = 29^\circ$ ,  $\gamma = 20.3\text{kN/m}^3$ , 综合内摩擦角为  $34^\circ$ ;

粉、细砂: 厚约5.00m, 中密~密实,  $c = 0$ ,  $\varphi = 35^\circ$ ,  $\gamma = 21.0\text{kN/m}^3$ ;

圆砾: 厚约1.50m, 中密~密实,  $c = 0$ ,  $\varphi = 42^\circ$ ,  $\gamma = 22.0\text{kN/m}^3$ ;

粉质粘土: 厚度大于9.00m, 可塑,  $c = 25\text{kPa}$ ,  $\varphi = 20^\circ$ ,  $\gamma = 20.0\text{kN/m}^3$ , 综合内摩擦角为  $30^\circ$ 。

地下水位埋深为11.0m左右, 需先行降水, 降水采用大口井抽降。

### 1.2 设计原理

#### 1.2.1 土钉设计

土钉内部稳定性验算采用布赖德尔 (Bridle) 建议的方法。先按条分法确定边坡潜在滑裂面, 求出不平衡力矩  $\Delta M$ , 如图2所示。

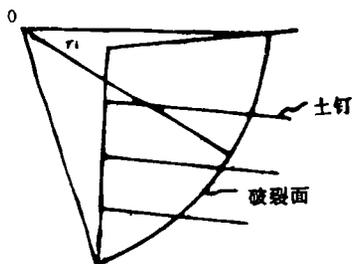


图2 条分法示意图

$$M_R = \sum [c r_i d\theta / \cos\varphi + W_i \sin(\theta_i - \varphi) \tan\varphi] r_i \cos\varphi$$

$$M_T = \sum W_i r_i \cos\theta_i$$

$$\Delta M = M_T - M_R$$

$W_i$ ——第*i*土条的自重;

$r_i$ ——滑弧的半径;

$\theta_i$ ——滑弧法线与水平面的夹角;

$c, \varphi$ ——土的内聚力和内摩擦角。

此不平衡力矩由土钉穿过滑裂面来平衡, 进一步可求得土钉的直径、长度等设计值。

土钉外部整体稳定性分析采用重力式挡墙理论。将土钉复合体看作一重力式挡墙, 分别进行抗倾覆、抗滑移和地基土容许承载力验算。

#### 1.2.2 护坡桩设计

护坡计算采用等值梁法, 主动土压力采用朗肯理论, 被动土压力采用库仑理论, 考虑了桩土间摩擦角, 等值梁法原理如图3所示。

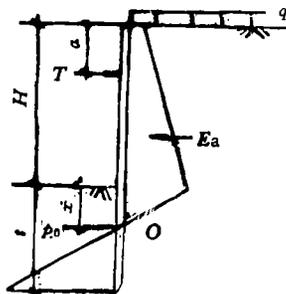


图3 等值梁法原理示意图

先求出土压力零点0和主动土压力  $E_a$ , 对0点取矩,  $M_0 = 0$ , 求得T; 然后按力的平衡求得  $P_0$ , 则入土深度为:

$$t = x + 1.2\sqrt{6 P_0 / (K_p - K_a)} \gamma$$

进一步可求出弯矩和桩身配筋。

### 1.3 设计结果

土钉孔径13cm, 间距1.2m×1.6m, 倾角  $10^\circ \sim 15^\circ$ , 长5~8m, 土钉杆选用  $1\Phi 22$  的钢筋, 按基坑深度不同采用不同的设计, 如图4所示。对于基坑较深部分, 原设计地表下10m以上采用土钉护坡, 以下4m采用悬臂桩, 后根据监测结果全部采用土钉护坡。

护坡桩桩径800mm, 间距1.5m, 桩顶位于地表下2.0m, 做一道联梁, 联梁以上用砖墙围护, 具体设计结果见图5。桩身最大配筋为  $12\Phi 25$ , 异形配筋, 锚杆配筋为  $4\Phi 12$  的钢绞线。

## 2 工程施工

本工程场地狭长, 面积大, 护坡桩和土钉同时施工, 且可连续出土, 因而工程进展很顺利。1995年6月初进场, 11月上旬完工,

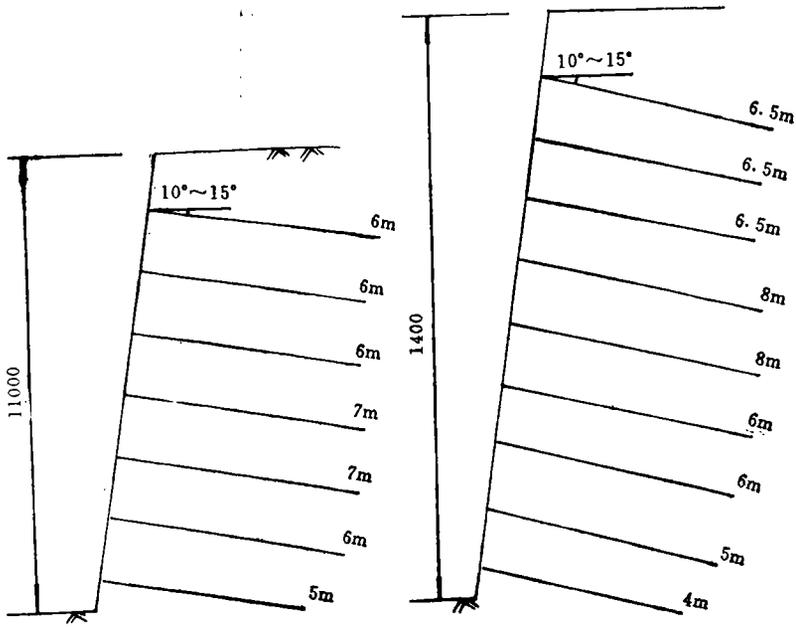


图 4 土钉布置

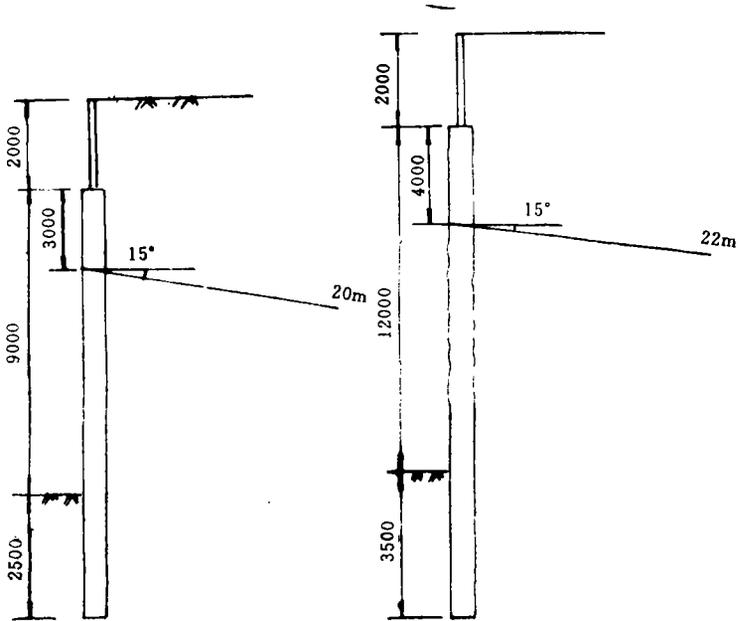


图 5 护坡桩设计

总工期6个月，除去雨季等因素拖延两个月外，仅用净工期4个月完成全部约6000m<sup>2</sup>护坡和13万m<sup>3</sup>土方开挖。

### 2.1 护坡桩施工

开挖2m土后，在基坑内进行护坡桩施

工。施工采用反循环钻机成孔，泥浆护壁；部分采用人工挖孔，砼护壁。吊放钢筋笼时，在顶端做好标记，注意方向不能放反。灌注商品砼，砼灌注至桩顶设计标高以上0.5m，然后将此部分浮浆清除，清干净残

渣、浮土和渍水，浇注联梁，上部2m用24砖墙砌至地面。

### 2.2 锚杆施工

挖土至锚杆设计标高以下约0.5m后，用锚杆钻机成孔，插入加工好的钢绞线，压力注入水泥浆，7天后张拉锁定，锁定值为锚杆设计拉力的50%。锚杆腰梁选用2 [22，背对背用钢板焊接在一起。

### 2.3 土钉施工

土钉施工挖土→成孔→插筋→灌浆→挂网→土钉端座固定→喷砼→挖土等过程循环进行，直至基底设计标高。

挖土 土方开挖必须与土钉施工相配合，每步挖深不大于1.5m，且开挖边坡尽可能与设计边坡接近，然后人工修整坡面。

成孔 用洛阳铲人工成孔，施工方便，相对于机械而言对场地平整程度要求较低。

插筋、灌浆 成孔后插入1Φ22的钢筋，钢筋上设定位器以确保其在孔内居中，钢筋端头预留出坡面15cm；常压灌浆，灌浆材料为水泥浆加膨胀剂。

挂网及土钉端座处理 削坡后挂钢筋网Φ6@200×200，外配1Φ16的横向加强筋，加强筋和土钉端头焊接牢固。

喷射砼 喷层厚度不小于10cm，采用干式喷法，砼配比为水泥：砂：石子=1：2：2。土钉按“信息施工法”施工，根据施工中地质条件的不同和监测结果，对施工方案加以改进和补充，对土钉的长度和间距做适当调整，使设计更为合理。

对于局部边坡渗水，先在坡面打水平辐射井，用塑料管将水引出，坡面适当位置亦预留水平引水孔。

## 3 工程效果评价

### 3.1 监测结果

深基坑工程是很复杂的，如果发生事故将损失巨大，所以监测工作决不能忽视。

本工程在施工中对土钉墙坡顶和坡面位移、护坡桩顶位移、锚杆拉力、土钉墙面板压力及土钉杆轴力等均进行了监测，以下是其中的部分监测结果。图6为监测点平面布置图。

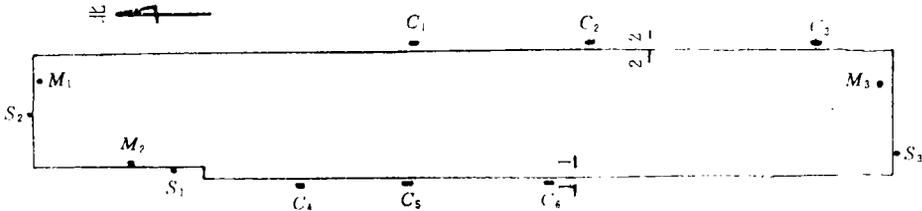


图6 监测点平面位置

·S<sub>1</sub>~S<sub>3</sub>——桩顶侧向变形观测点；C<sub>1</sub>~C<sub>6</sub>——土钉墙顶侧向变形观测点；·M<sub>1</sub>~M<sub>3</sub>——锚杆测力计安装位置  
/—/——土压力盒及钢筋应力计安装断面；·-·-——多点伸长计（位于地表下4.5m）

#### 3.1.1 土钉墙坡顶位移

图7为土钉墙坡顶位移图。由图7可见，土钉墙能很好地控制边坡的位移，但由于施工中超挖等因素引起的小塌方，能使边坡变形显著增大。

#### 3.1.2 护坡桩桩顶位移

图8为护坡桩桩顶位移图。当11月15日基坑挖至设计标高时位移仅为5.0~10.7mm，并在随后相当长时间内基本稳定，但

在第2年的1月17日测得位移最大达17mm，可见冬季冻胀对位移的影响很大，尤其是S<sub>3</sub>点，地表经常渗水，使得位移增加了12mm。

#### 3.1.3 锚杆拉力

在锚杆端部锚具与腰梁之间设锚杆测力计，监测锚杆拉力变化。由于对钢绞线施加预应力方法有些问题，测得施加的预应力仅为60~100kN，远小于设计值，但基坑开挖

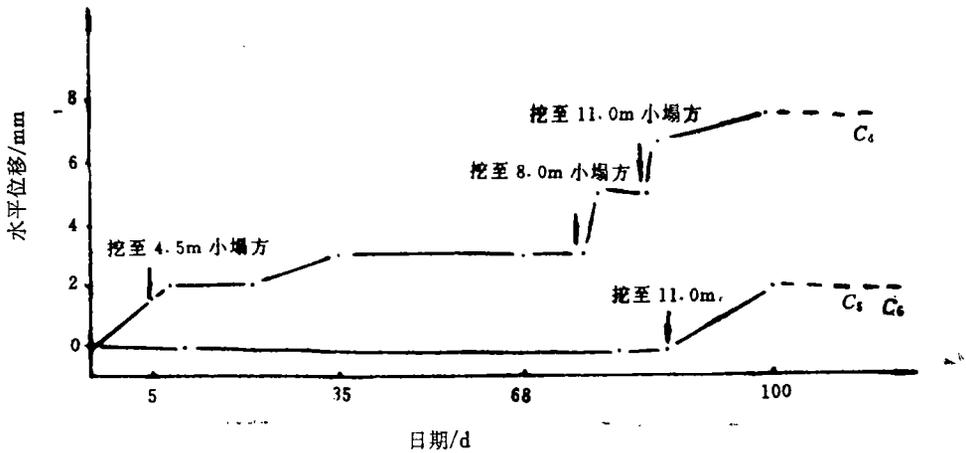


图 7 土钉墙坡顶位移

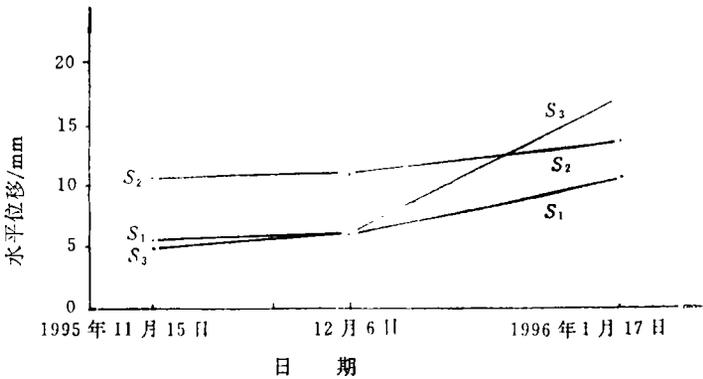


图 8 护坡桩桩顶位移

至设计标高及以后的两个月时间内，测得锚杆拉力变化幅度仅为0~20kN，即锚杆的实际工作拉力仅为设计拉力的1/3~1/4。可见在土质条件较好、降雨较少的情况下，锚杆在设计上还是很保守的。在北京地区，超过10m的基坑采用悬臂桩支护已有成功的实例。

### 3.2 效益比较

由于土钉墙成本较低，相对于桩锚体系可节约造价25%左右，且护坡完成时，土方开挖也相应完成，大大缩短了工期，效益十分明显。

### 4 几点体会和建议

(1) 对于北京地区较好的土质条件，护坡设计采用朗肯土压力理论是相当保守的。一般在桩体配筋设计时对最大弯矩乘以0.7的系数，建议设计锚杆拉力时也可相应

乘以一个折减系数。

(2) 对于面积较大的基坑，因为土方开挖与护坡施工相对冲突较小，所以应先选用土钉护坡方案，不但节约造价，还可大大缩短工期。

(3) 具有一定坡度的土钉墙，能很好地控制边坡位移，甚至比锚杆护坡桩更有优越性。

通过本工程实践，我们认识到，对于这种较大型的基坑支护工程，设计、施工和监测工作同等重要。合理的设计可减少造价，缩短工期；精心的施工管理可节约成本；监测工作又可反过来指导设计与施工。这种桩锚体系和土钉墙相结合的基坑支护形式以其较强的适用性将会得到越来越广泛的应用。

收稿日期：1996-08-30