

# 土钉支护技术在松散砂土基坑中的应用

王荣彦

(河南省地质工程公司,河南 郑州 450053)

**摘要:**以某松散砂土基坑为例,介绍了土钉支护技术在此类基坑中的应用特点,并对设计与施工中存在的有关问题进行了探讨。

**关键词:**土钉支护 松散砂土 基坑

中图分类号: TU473.2 文献标识码: B 文章编号: 1672-7428(2006)03-0019-03

基坑支护型式的选择与基坑深度、环境条件、场地地质、水文地质条件密切相关。土钉支护技术因其占用的施工空间较少、施工速度快、成本低,近年来在郑州市区得到了广泛的应用。但在松散砂土地层中的应用却不多,而且当周围环境条件复杂时,如不采取特殊的工程措施或施工工艺稍有不慎,极易造成边坡坍塌,轻则造成浪费,重则造成临近道路、建筑物开裂。本文以郑州市某松散砂土基坑为例介绍土钉支护技术在此类基坑中的应用。

## 1 工程概况及场地环境条件

该基坑工程位于郑州市紫荆山路与航海路交叉口附近,拟建小高层住宅楼高 18 层,框剪结构,设 1 层地下室,预估基础埋深为 5.6 m,采用 CFG 桩复合地基。基坑总体呈矩形,东西长 135.0 m,宽 19.0 m,但局部存在小阳角。距南侧 4.5 m 为临建,距东侧 2.6 m 为围墙(外侧为道路),距西侧围墙约 3.7 m(外侧为道路),距北侧围墙约 6.0 m,拟堆放钢筋等建筑材料。

与本基坑支护有关的土层主要在 10 m 深度内,为第四系全新统和上更新统冲洪积地层,岩性为杂填土、粉土及粉砂层,分述如下。

第①层( $Q_4^{ml}$ )杂填土,杂色,稍密,含大量建筑垃圾及生活垃圾,以粉土充填,层底深度 0.5~1.9 m,层厚 0.5~1.9 m,平均厚度 1.16 m;

第②层( $Q_4^{al}$ )粉土,褐黄色,稍密,稍湿,层底深度 3.0~4.5 m,平均厚度 3.0~4.4 m;

第③层( $Q_3^{al}$ )粉砂,黄色,稍湿,稍密~中密,层底深度 5.3~7.4 m,该层在基坑北侧、西侧分布厚达 1.5~1.8 m,东侧、南侧较薄,厚 0.3~0.4 m;

第④层( $Q_3^{al}$ )粉土,黄色,稍湿,中密,层底深度 11.6~14.2 m,平均厚度 3.0 m。

根据场地工程地质条件,结合邻近场地经验,基坑支护结构设计选用参数见表 1。

表 1 基坑支护结构设计选用参数

层号	岩性	重度 $\gamma$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	含水量 $W$ /%	孔隙比 $e$	饱和度 $S_r$ /%	液限 $W_L$ /%	塑限 $W_P$ /%	液性指数 $I_L$	塑性指数 $I_P$
①	杂填土	17.5	15.0						
②	粉土	18.0	11.7	0.853	55.8	24.2	16.4	-0.4	7.5
③	粉砂	17.4	10.3	0.815					
④	粉土	18.1	12.9	0.802	54.0	24.5	16.8	-0.5	7.6

场地地下水类型为潜水,其补给来源主要为大气降水,勘察期间为丰水期,地下水位埋深 18.0 m。

基坑边坡设计所用各层土的设计参数见表 2。

表 2 基坑边坡设计所用各层土的设计参数

层序	岩性	天然重度 ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^\circ$ )
②	粉土	18.0	18	21
③	粉砂	17.4	3	26
④	粉土	18.1	19	23

## 2 支护方案选择及监测标准确定

### 2.1 支护方案选择

考虑场地的工程地质条件、周边环境及基坑开挖深度、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202-2002)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-99)有关规定确定本基坑工程四周侧壁支护等级为二级,基坑四周采用土钉墙支护方案。但北侧、西南侧基坑底部为砂土,应采取特殊工程措施并应加强监测。

### 2.2 基坑支护等级与变形标准的确定

收稿日期 2005-09-22

作者简介:王荣彦(1965-)男(汉族),河南浉池人,河南省地质工程公司高级工程师、注册岩土工程师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计、治理及地热资源的勘探、开发工作,河南省郑州市南阳路 56 号,13598085518。

国内有关规范、规程及文献对土钉支护中基坑支护等级和变形标准的规定或建议侧重点各有不

同,有的也不详细,详见表3。

表3 有关规范、规程、文献对土钉支护中基坑支护等级和变形标准的规定或建议

序号	规范、规程及文献	基坑支护等级	变形标准
1	建设部《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-99)	二级	无明确
2	冶金部《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258-97)	二级	无明确
3	《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》(SJG 05-96)	西侧、北侧一级,东侧、南侧二级	西侧、北侧0.5% <i>H</i> ;东侧、南侧1.0% <i>H</i>
4	《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202-2002)	东侧、西侧一级,南侧、北侧二级	一级监测值30 mm,二级监测值60 mm
5	《基坑土钉支护技术规程》(CECS 96-97)		砂土中报警值3% <i>H</i> ,粘土中4% <i>H</i>
6	陈肇元著《土钉支护在基坑工程中的应用》		砂土中报警值3% <i>H</i> ,粘土中4% <i>H</i>
7	高大钊著《深基坑工程》	由累积变形量与变形速率控制	一级30 mm及2 mm/d,二级50 mm及3 mm/d

笔者认为《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》(SJG 05-96)和高大钊著《深基坑工程》中的规定或建议比较适用,可操作性较强。综合考虑上述规定或建议并结合该工程特点,确定由累积变形量与变形速率控制土钉墙支护体变形,其中在砂土基坑中变形控制标准为:累积变形量3%*H*,变形速率 $\geq 2.0$  mm/d;在粉土基坑中变形控制标准为:累积变形量4%*H*,变形速率 $\geq 3.0$  mm/d。并且要求以变形速率作为第一控制标准。

## 2.3 设计方案简介

### 2.3.1 场地东、西侧土钉墙方案

场地东、西侧空间狭小,采用近直立土钉墙方案,具体参数为:布3排土钉,长度分别为7、6、5 m,竖向间距1.2~1.5 m,水平间距1.5 m,土钉墙杆体选用 $\varnothing 18$  II级钢筋,孔径100 mm。

### 2.3.2 场地北侧土钉墙方案

场地北侧空间较大,采用一级放坡土钉墙方案,后考虑到将来堆放钢筋等建筑材料,设计荷载40 kPa,故设计的土钉较长,具体参数为:布3排土钉,长度分别为8、7、6 m,竖向间距1.2~1.5 m,水平间距1.5 m,土钉墙杆体选用 $\varnothing 18$  II级钢筋,孔径100 mm。

### 2.3.3 场地南侧土钉墙方案

场地南侧空间较大,采用一级放坡土钉墙方案,设计荷载20 kPa,具体参数为:布3排土钉,长度分别为7、6、5 m,竖向间距1.2~1.5 m,水平间距1.5 m,土钉墙杆体选用 $\varnothing 18$  II级钢筋,孔径100 mm。

经验算,以上方案其整体安全系数在1.25~1.35,满足设计要求。

另外,为及时排出边坡渗水,在施工土钉墙喷射面层前,按间距3.0 m $\times$ 3.0 m呈梅花形设置排水塑料管。同时坡顶做好排水沟,防止雨水进入基坑。

## 2.4 监测内容及具体要求

对本工程而言,监测内容主要为基坑坡顶位移

监测,具体要求如下。

(1)沿基坑顶根据周边情况每隔15~25 m设置一个变形(位移)观测点,本工程共在坡顶设置20个位移监测点,通过其它目测、巡查等多种方法对基坑变形进行全面了解和监控。

(2)观测精度不低于三等精度要求。

(3)基准点应在基坑开挖前3天设置,开挖前至少观测2次位移,作为基准值。开挖过程中每天测量一次,挖至坑底10天后每2~4天测量一次,如位移、沉降趋于稳定则10天测量一次或更长,基坑回填至地坪一般可停止观测。

(4)当出现以下情况之一时,应及时与甲方、设计和监理单位及时联系并采取相应措施:土钉墙支护边坡水平位移速率或累计水平位移大于以上标准,或位移不稳定、不收敛且超过规范要求,坡顶、地面出现异常或较大裂缝等。

(5)按规范要求,应作好其它项目的检验和监测工作(如水泥、钢材试验等)。

## 3 松散砂层施工中采取的工程措施

该场地大部分地段地质条件为松散砂层,松散、稍密,其自立高度较小,按 $H = 2c/r \cdot \text{tg}(45^\circ + \varphi/2)$ ,确定 $H = 0.4 \sim 0.5$  m,为此制定如下施工措施。

(1)基坑北侧、西南侧施工至地面下3.0 m见砂层时先沿开挖线打入 $\varnothing 48$  mm钢管或短木桩以超前支护,沿开挖面做较缓的斜坡,安置土钉后注浆。

(2)砂土中土钉长度比一般粉土地层要大,其间距要小,该工程北侧、西南侧土钉长度一般选基坑高度的1.3~1.5倍即7~8 m。另外基坑在东西方向较长,在基坑中部的土钉比两端土钉一般加长1 m。砂土中的土钉间距按0.6~0.8 m考虑,粉土中土钉间距按1.2~1.5 m考虑。

(3)加强监测,并以变形速率作为第一控制标准。一旦发现变形速率 $> 2.0$  mm/d,立即停工,查

找原因,采取工程措施后方可进行下道工序施工,并加密观测。

#### 4 监测结果及分析

在作好第一道土钉后立即布设支护体水平位移监测点及基准点,本基坑共布置 20 个支护体水平位移监测点,图 1 为该基坑支护体部分水平位移监测点及累计位移值。

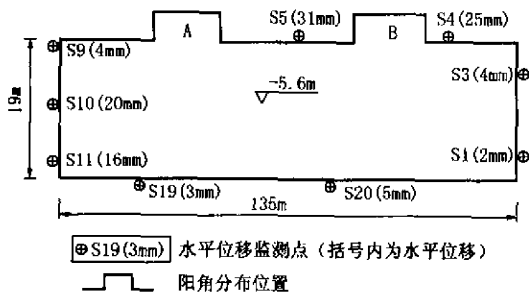


图 1 某基坑监测点平面布置示意图

图 2 显示东侧基坑侧壁 S3 点与北侧基坑侧壁 S4 点在相同开挖深度、相同坡率条件下,不同岩性组成的基坑边坡变形差别迥异。S3 点所在的东侧壁 3 m 以下为粉土,自立性好,其变形速率在 0 ~ 1 mm/d 间 20 天内累计变形位移仅 2 mm,而 S4 所在的北侧壁挖至 3 m 以下为砂土,其变形速率一般在 2 ~ 5 mm/d,最大达 13 mm/d,累计水平位移达 25 mm,超过 3‰H 的标准(16.5 mm),同时在坡顶可看到有裂隙发生,所幸附近无建筑物,也未造成塌方事故。

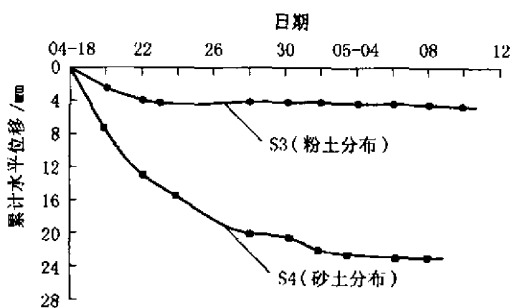


图 2 东侧基坑侧壁与北侧基坑侧壁水平位移比较

图 3 显示同一基坑侧壁(西侧)处在相同开挖深度、相同坡率条件下不同岩性分布条件下基坑边坡位移比较。S9 点所在边坡岩性为粉土,其水平位移速率一般在 1 ~ 2 mm/d,最大 2 mm/d,累计水平位移 4 mm,而 S10 点所在边坡岩性为稍密粉砂,其边坡位移速率在 2 ~ 3.5 mm/d,最大达 11 mm/d,且坡顶处有小裂缝出现,宽 3 ~ 5 mm,其累计水平位移达 22 mm。后者位移是前者的 5.5 倍,已超过规范

规定的 3‰H,即 16.8 mm。

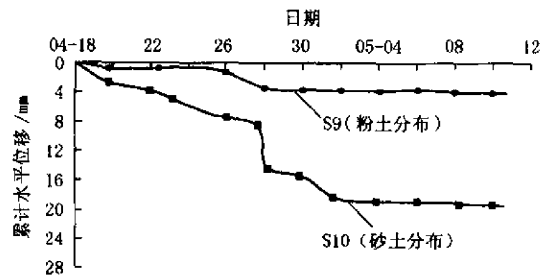


图 3 西侧基坑侧壁不同位置水平位移比较

#### 5 经验与探讨

(1)充分认识到松散砂层自立高度差的特点,除了在设计上采取每层开挖高度严格控制在 0.5 m 以内,加长土钉、缩小间距以外,并在施工工艺上采取分段跳挖、超前施工微型桩等工程措施,较好的保证了本基坑工程的正常运行。

(2)关于监测标准问题。

本工程的设计与实践表明,砂土基坑与粉土基坑在相同开挖深度、相同开挖坡度且周围环境条件近似条件下,其变形特征差别较大,在本工程中砂土基坑边坡累计变形量是粉土基坑的 4 ~ 5 倍,其变形速率较大,是粉土基坑的 2 倍以上,具有突发性的特点。这样就引出 2 个问题:①规范的标准问题;②砂土基坑中的变形应采用何标准?

笔者认为:①《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202 - 2002)对砂土基坑偏于不安全,《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120 - 99)、《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258 - 97)则没有明确规定,《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》(SJG 05 - 96)和高大钊著《深基坑工程》中的规定或建议比较适用,可操作性较强,但分别属于地区规范或教科书,《基坑土钉支护技术规程》(CECS 96 - 97)规定的标准比较合适,但没有明确变形速率问题。②在砂土基坑中建议由累积变形量与变形速率作为控制土钉墙支护体变形的控制标准,且以变形速率作为第一控制标准。其中在砂土基坑中变形控制标准为:变形速率  $\geq 2.0$  mm/d,累积变形量  $\geq 3\% H$ 。

(3)一旦发现下部砂层呈片状脱落,为基坑坍塌的先兆,必须立即停止施工,马上采取相应措施(如采取砂袋反压等措施)。

(4)做好上部坡顶及坡面的排水工作,上部坡顶作好排水沟,坡面上安装塑料排水管,一旦雨水渗入可及时排出。

(下转第 23 页)

土,在外荷载和浸水作用下会产生湿陷变形。复合地基载荷试验正值旱季,也未做浸水载荷试验,故载荷试验未能模拟实际工作条件,结果偏高。上部结构施工正值雨季,地面无排水措施,大量地表水浸入地基,加剧了地基变形。

#### 4 树根桩托换加固设计和施工

##### 4.1 树根桩托换加固设计

根据地质资料,树根桩桩长设计为 22~24 m,进入硬塑残积土 1~2 m,桩径 0.15 m,桩身采用 C25 混凝土,配筋 3 $\Phi$ 14 螺纹钢,箍筋  $\Phi$ 6@100~200,单桩承载力 180 kN。根据振冲碎石桩填料量反算原复合地基承载力仅 120 kPa 左右(设计要求 160 kPa),因而整座建筑物仍有 20320 kN 的荷载需由树根桩来托换,经计算需布树根桩 113 根。树根桩和碎石桩与地基土构成新的复合地基共同工作,达到新的平衡。

##### 4.2 加强树根桩与原基础连接的措施

(1)树根桩压浆完毕后,在桩顶(混凝土基础底板下)1 m 范围内用花管进行二次注浆,以增大桩身上部直径。

(2)在混凝土基础梁顶面(370 mm 砖墙上)凿 40 cm $\times$ 40 cm 孔洞,现浇混凝土托梁横穿砖墙并与桩顶连接,把桩分担荷载传至承重砖墙上。

##### 4.3 树根桩的施工

施工设备采用 GXY-1A 型工程地质钻机,由于是室内施工,房间净高仅 3.0 m,原钻机三角架经改造后才满足室内施工要求,主钻杆和钻杆均加工成 1~2 m 长,注浆泵采用 BW120 型泥浆泵,开孔采

(上接第 21 页)

(5)加强施工监测并采取信息化施工措施,在松散砂土层中进行土钉墙施工时,每天一次(必要时 2 次)变形监测工作非常必要,一旦发现变形速率  $>2$  mm/d 应立即停止施工,查找原因,采取必要的工程措施后方可进行下道工序施工,否则,轻则造成边坡裂缝,重则造成基坑坍塌。

(6)施工经验表明,建筑基坑的阳角(放置塔吊位置,如图 1 中 A、B 所在位置的 4 个阳角)在砂土基坑中一般应做成缓坡,否则应加长土钉以确保基

用金刚石钻头,钻穿混凝土底板后改用硬质合金钻头,钻至设计深度后空转钻机 30 min 洗孔,直至孔口返出清水为止,然后分段安放钢筋笼并焊接,注浆管(采用优质塑料管)绑在钢筋笼内一并放入孔内,注浆管下端用胶布封住,以防泥砂堵塞。注浆管和钢筋笼安放完毕后,将干净的粒径 5~10 mm 砾石缓缓投入孔内并轻击钢筋。在充填石子的同时,应保证注浆管不停地注入清水。石子充填完毕并清洗干净后,立即压入制备好的水泥浆(水灰比 0.5~0.6,由 425 普通硅酸盐水泥制成),待孔口溢出新鲜水泥浆后停止注浆,停歇 30 min 后,重新插入注浆花管,在基底下 1 m 范围内二次注浆。

#### 5 加固效果

加固工程从 2003 年 8 月 20 日开工,历时 2 个月,完成树根桩的托换加固,施工期间每 7 d 沉降观测 1 次,从开工到 10 月 10 日,建筑物的沉降已明显收敛,7 个观测点的沉降速率分别由 1~2 mm/d 下降至 0.07~0.2 mm/d。加固工程结束后,连续观测 12 个月,结果表明,建筑物已明显趋于稳定。

#### 6 结语

(1)振冲碎石桩加固深厚淤泥土层应慎重采用,如设计考虑不周或施工控制不严都可能造成不良后果。

(2)采用强配筋、压力注浆施工(tree根桩),具有较高承载力,可承受压力、拉力和水平力。其施工噪声小,占用空间少,设备灵活方便,可在室内外施工,施工过程中不改变原建筑物的静力平衡状态。

坑阳角安全。

#### 参考文献:

- [1] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] YB 9258-97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [3] SJG 05-96, 深圳地区建筑深基坑支护技术规范[S].
- [4] CECS 96-97, 基坑土钉支护技术规程[S].
- [5] GB 50202-2002, 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [6] 陈肇元,等.土钉支护在基坑工程中的应用(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [7] 高大钊,等.深基坑工程(第二版)[M].北京:机械工业出版社,2003.