

# 复杂环境条件下深厚砂层基坑支护方案设计及监测

陈全礼<sup>1</sup>, 王荣彦<sup>2</sup>, 张志敏<sup>1</sup>

(1. 河南省水利勘测有限公司, 河南 郑州 450008; 2. 河南省地矿局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450053)

**摘要:** 桩锚支护和复合土钉墙支护等是基坑支护的常用方案, 从经济性和控制变形效果来看二者各有优缺点。通过工程实例, 探讨了深厚砂层等复杂环境条件下既安全又经济的土钉墙与竖向微型桩、预应力锚杆等结合组成的基坑支护方案, 并通过变形监测数据验证其支护效果。

**关键词:** 复杂环境条件; 深厚砂层; 基坑支护; 土钉墙; 竖向微型桩; 预应力锚杆

中图分类号: TU473.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2012)08-0054-03

**Design of Foundation Pit Supporting Scheme for Deep and Thick Sand Layer under Complex Conditions and the Monitoring/CHEN Quan-li<sup>1</sup>, WANG Rong-yan<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-min<sup>1</sup>** (1. Henan Province Water Conservancy Survey Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450008, China; 2. No. 2 Team of Hydrology and Engineering Geology, Henan Bureau of Investigation and Development of Geology and Mineral Resources, Zhengzhou Henan 450053, China)

**Abstract:** Pile-anchor retaining and compound soil nailing support are the common schemes for the foundation pit supporting. In the view of the economy and deformation control, each scheme has its advantages and disadvantages. With the engineering case, the discussion was made on the safe and economical supporting scheme by composition of soil nailing wall with vertical micro-pile and pre-stressed anchor, and the supporting effect was verified by the deformation monitoring data.

**Key words:** complex conditions; deep and thick sand layer; foundation pit supporting; soil nailing wall; vertical micro-pile; pre-stressed anchor

## 1 工程概况

拟建工程位于郑州市西区, 场地呈近矩形, 长约 65 m, 宽约 50 m, 地上 25~26 层酒店, 框架剪力墙结构; 北侧为 3F 裙房。地下 2 层, 建筑面积约 5.6 万 m<sup>2</sup>, 基坑开挖深度约 12.5 m。该基坑在闹市区, 在基坑 0.5H (其中 H 为基坑的深度) 范围内紧邻道路及 20 世纪 60 年代多层建筑, 其中尤以东侧环境条件最复杂。拟建基坑周边环境条件见表 1。

表 1 基坑场地周边临建距基坑边线距离一览表

| 所在场地位置 | 邻近建筑物或道路名称  | 最近距离 /m | 备注              |
|--------|-------------|---------|-----------------|
| 场地东部   | 2F~3F 多层住宅楼 | 4.9~5.5 | 埋深 1.0 m, 脆性基础  |
| 场地西部   | 百花路路边线      | 7.0     |                 |
| 场地北部   | 多层住宅楼       | 6.5     | 埋深约 1.0 m, 脆性基础 |
| 场地南部   | 道路路边线       | 17.0    |                 |

具体情况详见图 1。

## 2 场地工程地质条件及荷载取值

拟建场地地貌单元属黄河山前丘陵地带与黄河冲洪积平原的交接部位, 地形平坦。场地内与本基

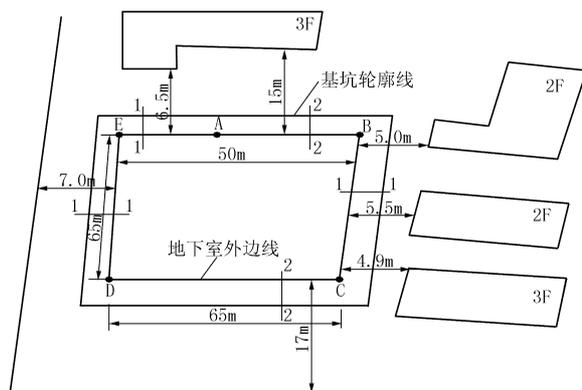


图 1 郑州西区某基坑环境及支护平面布置图

坑支护有关的工程地质层如下:

- ①杂填土(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>), 以建筑垃圾为主, 大部分已经挖除, 层底深度 1.9~3.10 m, 平均厚度 2.50 m;
- ②粉砂夹粉土, 黄色, 稍密, 层底深度 8.6~9.20 m, 层厚 5.5~7.3 m, 平均厚度 6.6 m;
- ③粉砂夹粉土, 黄色, 中密, 层底深度 14.0~17.3 m, 层厚 5.10~8.6 m, 平均厚度 7.1 m;
- ④粉土(Q<sub>4</sub><sup>al</sup>), 褐黄色, 稍湿, 中密, 层底标高

收稿日期: 2012-04-05

**作者简介:** 陈全礼(1963-), 男(汉族), 河南扶沟人, 河南省水利勘测有限公司总工程师、高级工程师、注册土木工程师, 水文地质工程地质专业, 从事岩土工程(含基坑工程)的勘察、设计与治理工作, 河南省郑州市经三路北 7 号; 王荣彦(1965-), 男(汉族), 河南浉池人, 河南省地矿局第二水文地质工程地质队副总工程师、高级工程师、注册岩土工程师, 工程地质与水文地质专业, 硕士, 从事岩土工程、水资源、地质灾害方面的研究工作, 河南省郑州市南阳路 56 号, wangrongyan168@126.com。

79.46~82.71 m,层底深度 21.60~26.60 m,层厚 7.5~9.30 m,平均厚度 8.5 m。

场地地下水类型为潜水,勘察期间承压水水位埋深 23.0 m 左右,埋藏较深。

与本基坑支护有关的支护参数详见表 2,基坑东侧临建及附加超载取值情况见表 3。

表 2 与本次基坑开挖、支护有关的土层主要参数一览表

| 层号 | 岩性    | 平均厚度 /m | 承载力特征值 /kPa | 重度 /( $kN \cdot m^{-3}$ ) | 粘聚力 /kPa | 内摩擦角 /( $^{\circ}$ ) | 摩阻力标准值 /kPa |
|----|-------|---------|-------------|---------------------------|----------|----------------------|-------------|
| ①  | 杂填土   | 2.5     |             | 19.5                      | 3        | 5                    | 30          |
| ②  | 粉砂夹粉土 | 6.6     | 160         | 19.8                      | 3        | 29                   | 55          |
| ③  | 粉砂夹粉土 | 7.1     | 220         | 19.8                      | 2        | 32                   | 80          |
| ④  | 粉土    | 8.5     | 160         | 19.9                      | 19       | 22.0                 | 60          |

表 3 基坑东侧临建及附加超载取值情况

| 超载序号 | 超载类型 | 超载值 /kPa | 距坑边距离 /m | 作用宽度 /m | 距地面深度 /m |
|------|------|----------|----------|---------|----------|
| 1    | 2    | 10.00    | 4.00     | 5.00    | 0.00     |
| 2    | 2    | 45.00    | 3.40     | 15.00   | 1.00     |

### 3 基坑支护方案选型及支护方案确定

#### 3.1 基坑支护方案选型

限于篇幅,以下仅对基坑东侧的支护方案选型及确定进行分析。

根据本基坑开挖深度、工程地质及周边环境,按照文献[1]确定本基坑工程侧壁支护等级为一级。本基坑工程具有以下特点:(1)基坑较深,达 12.5 m;周围环境条件较复杂,身处闹市,基坑侧壁等级为一级;(2)基坑虽无地下水,但基坑上部约 2.5 m 为杂填土,其下稍密粉砂,该地层直立性差,地质条件差,稍有不慎,极易导致出现基坑局部坍塌或塌方事故,严重的会危及临建安全及人员安全;(3)应对基坑及周边建筑进行变形监测,并做好巡视工作。

#### 3.2 基坑支护方案的分析与确定

按照国家及行业有关规范<sup>[2~4]</sup>,并结合本基坑工程的特点及当地经验<sup>[5]</sup>,适合本工程的基坑支护方案有桩锚支护方案和复合土钉墙支护方案。

根据以往在当地设计、施工经验分析:(1)经济性比较:采用桩锚支护方案,单米周长成本约为 1.8~2.5 万元/m;采用复合土钉墙支护方案,单米周长约为 0.6~0.9 万元/m;(2)从控制变形效果来看,采用桩锚支护方案比采用复合土钉墙支护方案效果好;(3)从性价比看,采用复合土钉墙支护方案显然占有优势。因此,确定采用竖向微型桩与土钉墙及

预应力锚杆结合的复合土钉墙支护方案,其中的竖向微型桩(直径 200 mm,内置直径 89 mm 钢管)提前植入土层,对基坑土层起超前支护、超前控制基坑变形的作用,施工工艺相对简单且在郑州地区有成功和成熟经验。

#### 3.3 设计方案简述

采用土钉墙+1排竖向微型桩(直径 200 mm)+2排预应力锚杆的复合土钉墙支护方案。采用上部 2.0 m 放坡,以下 10.5 m 直立开挖。具体设计参数见表 4,本工程支护结构见图 2,监测点布置见图 3。

表 4 1-1 剖面土钉墙参数一览表

| 序号    | 土钉长度 /m | 土钉倾角 /( $^{\circ}$ ) | 水平间距 /m | 竖向间距 /m | 土钉直径 /mm | 杆体直径 /mm | 备注          |
|-------|---------|----------------------|---------|---------|----------|----------|-------------|
| 第 1 排 | 12      | 10                   | 1.5     | 1.5     | 100      | 20       |             |
| 第 2 排 | 11      | 10                   | 1.5     | 1.5     | 100      | 20       |             |
| 第 3 排 | 18      | 10(15)               | 3.0     | 1.5     | 100(150) | 22(32)   | 施加预应力 80 kN |
| 第 4 排 | 12      | 10                   | 1.5     | 1.5     | 100      | 22       |             |
| 第 5 排 | 15      | 10(15)               | 1.5     | 1.5     | 100(150) | 22(32)   | 施加预应力 80 kN |
| 第 6 排 | 10      | 10                   | 1.5     | 1.5     | 100      | 20       |             |

注:第三排与第五排土钉与锚杆间隔布置,括号内分别为锚杆倾角和直径,仅对锚杆施加预应力。

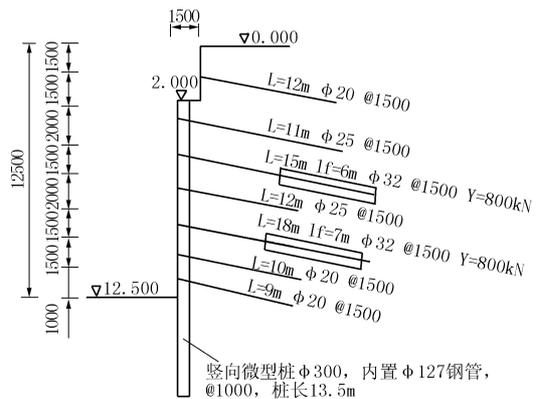


图 2 支护结构剖面图

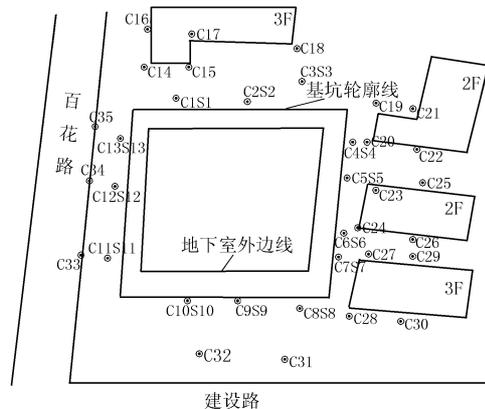


图 3 监测平面布置图

### 3.3.1 竖向微型桩设计

采用潜孔钻成孔,成孔直径 200 mm,桩间距 1.0 m,桩顶标高 -0.000 m,桩底标高 -15.000 m,有效桩长 15.00 m,成孔后,安置 Ø89 mm 钢管,下部 3 m 设花眼。填入碎石,并注浆,要求注浆量  $\leq 60$  kg/m。进行 2 次注浆,第一次注浆压力 0.2 ~ 0.4 MPa,第二次注浆压力 2.0 MPa 左右。

### 3.3.2 土钉墙

采用分层开挖挂土钉,每层开挖高度 1.5 m,每段开挖长度不超过 15 m。土钉共分 6 层,其中对第 3 排和第 5 排为提高支护体整体性,安置 18 号作腰梁,分别施加预应力 80 kN。注浆采用水灰比 0.55 ~ 0.65 的纯水泥浆。

### 3.3.3 面层

挂 Ø10 钢筋网@300 × 300 mm,加强筋为 Ø16,间距 2 m,然后喷射细石砼 C20 厚 100 mm 护面。

### 3.4 土方开挖设计及基坑挡、排水要求

坚持“小步跳挖、严禁超挖、预留支(土)墩,交叉支护、勤于监测、及早处理”的原则进行土方开挖设计。

(1)除对开挖的常规要求外,基坑开挖必须分层分段开挖,除第 1 层开挖高度 2.0 m 外,控制在 0.8 ~ 1.2 m,9.0 m 以下控制在 1.5 m,但每隔 10 m 预留土墩,严禁超挖。

(2)至 5.0 m 以下每段开挖长度  $\geq 10$  m,间隔掏孔及时注浆,掏孔、注浆、挂网交叉进行。土钉注浆、挂网完毕 3 天达到一定强度后方能进行下一层开挖。

(3)做好坡顶、坡底及坡面的挡水、排水工作。雨期前应检查现场的排水系统,做好基坑周边地表水及基坑内积水的排汇和疏导,防止基坑被雨水浸泡。

### 3.5 计算结果

(1)土钉墙内部稳定性分析是指边坡土体中可能出现的破坏面发生在支护内部并穿过全部或部分土钉。取单位长度采用条分法进行分析,按照理正基坑支护软件 4.31 版进行验算,结果表明,基坑土钉墙支护体稳定安全系数在 1.31 ~ 2.23。

(2)对该土钉墙外部稳定性分析:其中抗水平滑移稳定性安全系数为 2.6 ~ 3.3,大于 1.2,满足设计要求;抗倾覆稳定性安全系数为 1.32 ~ 1.43,大于 1.3,满足设计要求;抗隆起稳定性验算:按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007 - 2002)附录 V,因基坑底部持力层为③层粉砂,该层土属中密砂土,

故不必验算;墙底承载力验算:按照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120 - 99)应用指南,只要满足抗隆起验算,墙底承载力即可满足上部土钉墙荷载要求。

### 3.6 变形监测方案

#### 3.6.1 基坑监测内容

(1)坡顶支护体水平位移监测:坡顶支护体水平位移每边不少于 3 个点,共计 13 个点;

(2)邻近建筑物与地面道路沉降观测:邻近建筑物每栋不少于 4 个点;地面道路每侧不少于 3 个点,共计 35 个点。

#### 3.6.2 监测标准

(1)对支护体①按照文献[5]第八章规定,基坑顶部的侧向位移与当时的基坑开挖深度之比一般为 3‰,该基坑深度为 12.5 m,因此基坑顶部的侧向位移应为 40 mm;按照文献[1]第 7 章规定,对一级基坑,其围护结构墙顶位移监测值为 3.0 cm,围护结构墙顶最大位移监测值为 5.0 cm。综合上述规定,确定基坑坡顶支护体水平位移累计不大于 40 mm。按照文献[6]第 9 章有关规定,确定每天位移速率不大于 2 mm。

(2)对邻近建筑物沉降观测:建议每天沉降不大于 2 mm,累计沉降量  $\geq 30$  mm,且基础倾斜  $< 3‰$ 。

(3)对地面道路沉降观测:每天沉降最大不大于 2 mm,累计沉降量  $\geq 30$  mm。监测标准详见表 5。

表 5 监测标准一览表

| 序号 | 监测内容       | 累计量/mm           | 速率/(mm·d <sup>-1</sup> ) |
|----|------------|------------------|--------------------------|
| 1  | 墙顶水平位移     | $\leq 40$        | $\leq 2.0$               |
| 2  | 临近建筑物沉降或倾斜 | $\leq 30$ (或 3‰) | $\leq 2.0$               |
| 3  | 道路沉降       | $\leq 30$        | $\leq 2.0$               |

(4)因本工程为深厚砂土基坑,稍有不慎,极易出现局部坍塌,因此在开挖及施工中还要定人观察、经常巡视。

(5)观测频率及上报要求:原则每天观测 1 次,出现报警值或暴雨季节时,每天观测 2 次。及时预报。遇异常情况或接近报警值立即与甲方、设计和监理单位联系并采取相应措施。

## 4 施工情况及监测结果

项目施工开始于 2010 年 2 月,至 2010 年 6 月底挖至坑底,施工期间基本能够按照设计要求施工。期间经历 4 月 11 日、22 ~ 23 日,7 月 12 日、19 日及 8 月 8 ~ 10 日等几场大雨,支护体正常工作,墙顶位

(下转第 60 页)

于安全,当采用文中方法时,可使计算值接近并略大于实测值。

导致复合模量、沉降变形的如此差异,至少有以下几点原因。

(1)承载力深宽修正问题。文献[1]规定经过人工处理的地基只作深度修正,不作宽度修正,且修正系数均取1.0,而研究表明<sup>[6-8]</sup>:在有边载作用下,复合地基承载力将大大提高。

(2)实际布桩数问题。由于种种原因,实际布桩数要大于理论计算数,一般要多6%左右<sup>[6]</sup>,对于独立基础下的布桩还要远高于此数。

(3)天然地基承载力问题。用载荷试验确定承载力目前还不普遍,勘察单位推荐的承载力多偏于保守,而复合地基载荷试验的最大加荷量一般为设计值的2倍,并未压至破坏或极限承载力,即复合地基承载力仍有潜力可挖。

(4)褥垫层厚度与模量问题。在复合地基载荷试验的变形中,有多半都是褥垫层贡献的,因载荷试验的影响深度一般为承压板直径或边长的2~3倍。即真正的桩土复合部分变形很小,复合模量也要高于计算值。

## 5 结语

(1)从单桩复合地基载荷试验及案例中沉降观测资料可知,在CFG桩复合地基变形计算中,采用式(4)计算的复合模量,在计算复合地基变形时较为合理。

(上接第56页)

移及东侧临近建筑物沉降均在设计要求之内。近6个月的监测表明,支护体墙顶东侧3个点水平位移在16~25 mm;东侧临近建筑物沉降量在5~9 mm。远远小于设计要求。

## 5 体会和建议

笔者认为,该项目取得成功主要取决于以下因素。

(1)设计方案大胆,为业主节约大量工程投资。据测算,仅施工费一项就为业主节约了200余万元,远远小于桩锚支护体系的费用。目前郑州西区因土质较好,采用复合土钉墙支护方案也较多,采用桩锚支护体系的方案也较多。但在深厚砂土基坑中采用此方案却不多见。

(2)严格按设计要求施工:对注浆体的注浆质量

(2)复合地基的变形计算极为复杂,文中的复合模量是通过载荷试验和沉降实测资料而来,其中已经综合了褥垫层等各种因素,在变形计算时可不再考虑其他因素的影响。

(3)文中的面积比法计算复合模量时从表面上看并未考虑桩长和桩间距的影响,实际从 $E_p$ 的取值上已充分考虑了其影响。

(4)文中的复合地基载荷试验及工程实例的变形观测资料都是基于一般第四系粉土、粘性土、砂土地基处理的结果,对于软土等特殊土地基,以上公式可能不适用。

(5)规范法在变形计算中,规定当压缩模量大于某一数值时,沉降经验系数不变,可以发现,当桩间土及复合地基的压缩模量较高时,采用两种方法对变形计算结果影响不大。

## 参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 韩焯,王玉娥.对复合地基设计方法的几点探讨[J].工程勘察,2000,(4):10-13.
- [3] 黄仙枝.CFG桩弹性模量的试验研究[J].太原工业大学学报,1997,28(4):96-98.
- [4] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].
- [5] GB 50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [6] 阎明礼,张东刚.CFG桩复合地基技术及工程实践[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [7] 张泽勤.复合土层压缩模量讨论[J].河南科学,2003,21(5):599-601.
- [8] 李春灵.边载作用下CFG桩复合地基性状分析[J].建筑科学,1999,15(4):19-23.

控制较好;土方开挖严格按设计要求认真贯彻执行。

(3)监测到位:期间开展了对支护体、临近建筑物及道路的变形监测,并及时预报,实现了信息化施工。

## 参考文献:

- [1] GB 50202-2002,建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [2] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] YB 9258-97,建筑基坑工程技术规范[S].
- [4] SJG 05-96,深圳地区建筑深基坑支护技术规范[S].
- [5] CECS 96:97,土钉支护技术规程[S].
- [6] 高大钊,等.深基坑工程(第二版)[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [7] 王荣彦.郑州东区基坑支护型式探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(12).
- [8] 王荣彦.土钉支护技术在松散砂土基坑中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(3).
- [9] 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.