

# 郑州东区基坑支护型式探讨

王荣彦

(河南省地勘局水文二队,河南 郑州 450053)

**摘要:**在分析郑州东区地质、水文地质条件的基础上,总结了近 10 年来在郑州东区常采用的基坑支护型式及特点,分析了基坑支护设计与施工时应注意的问题。

**关键词:**郑州东区;基坑;支护型式

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2006)12-0014-04

**Study of Supporting Type for Foundation Pit in the East Area of Zhengzhou/** WANG Rong-yan (2<sup>nd</sup> Hydrogeology and Engineering Geology Team Under Henan Geology and Resources Survey Bureau, Zhengzhou Henan 450053, China)

**Abstract:** Based on the analysis of geology and hydrogeology conditions in the east area of Zhengzhou, the types often used to support foundation pit in these 10 years were summed up with relative characters together. What should be taken attention in design and construction for foundation pit supporting are also analyzed.

**Key words:** east area of Zhengzhou; foundation pit; supporting type

近 10 年来,郑州市的城市建设有了前所未有的发展,高层建筑的数量和高度逐年增加。根据高层建筑整体稳定及使用功能的要求,需要开挖深大基坑。但郑州东区在地貌单元上属黄河冲积平原,从地质条件来看,该区地下水位较高,且上部 10 m 左右为新近沉积形成的稍密粉土和软塑的粉质粘土,在工程地质条件上属软土,具有承载力低、压缩性高、抗剪强度低(一般粘聚力值在 15~20 kPa,内摩擦角在 10°~16°)的特点;从场地环境条件来看,一般在老城区建设的高层建筑,周围建筑、道路、管线密布,稍有不慎,极易导致周围建筑物、道路、管线不均匀沉降过大甚至拉裂事故。因此基坑开挖中必须采取合适的支护、降水方案,以保证土方开挖、基坑施工正常进行,并确保邻近建筑物、道路及管线的正常使用。

## 1 郑州东区地质及水文地质概况

郑州市区大致以京广铁路线为界分为两个大的地貌单元,京广铁路线以西为黄土丘陵、阶地,以黄土状粉土为主,不在本文论述范围。以东为黄河冲

洪积平原,地形平坦,在勘探深度 30 m 以内为第四系全新统地层,根据其沉积环境与工程地质条件可分为 3 段:第 I 段( $Q_4^{3al}$ )以褐黄、灰黄色粉土为主,呈稍密状态,夹薄层软塑粉质粘土,为新近沉积土,一般厚 8~10 m;第 II 段( $Q_4^{2al+1}$ )由灰色、灰黑色稍密粉土与软塑的粉质粘土互层组成,属静水相沉积,有机质含量在 5%~12% 不等,厚 6~10 m;第 III 段( $Q_4^{1al}$ )以灰色、灰黄色粉砂、细砂为主,局部夹较多薄层粉土,中密~密实,一般厚 8~12 m。I 段、II 段物理力学指标较低,具有承载力低、压缩性高、渗透性差的特点,I 段、II 段内夹有液化土层,场地一般属轻微液化场地;III 段物理力学指标较高,具有承载力高、压缩性低、渗透性好的特点。表 1 为郑州东区 30 m 勘探深度内各段地层物理、力学性质指标及工程地质特征一览表。

根据区域水文地质资料,在 30 m 勘探深度内有 2 个含水层组,即上部浅水含水层组和下部微承压水含水层组。潜水含水层组主要分布在第 I 段、第 II 段的粉土层中,在郑州东部地区水位埋深一般 1~3 m。微承压水分布在地表下 15~19 m 以深,隔

表 1 郑州东区 30 m 深度内各段地层物理、力学性质指标及工程地质特征一览表

工程地质单元	岩性	颜色	厚度 /m	层底厚度 /m	锥尖阻力 $q_c$ /MPa	标贯击数 $N$	承载力特征值 $f_{ak}$ /kPa	压缩模量 $E_s$ /MPa
I 段( $Q_4^{3al}$ )	稍密粉土	黄、褐	8~10	8~10	0.4~1.2	2~6	80~100	3.6~4.9
II 段( $Q_4^{2al+1}$ )	粉土与粉质粘土	灰、灰黑	6~10	14~18	0.7~1.5	3~9	90~120	5.0~8.0
III 段( $Q_4^{1al}$ )	粉砂、细砂	灰黄、黄	8~12	28~33	10.0~18.5	18~40	220~240	18.0~22.0

收稿日期:2006-06-22

作者简介:王荣彦(1965-),男(汉族),河南浉池人,河南省地勘局水文二队副总工程师、注册岩土工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计与治理工作,河南省郑州市南阳路 56 号, wry656890@sohu.com。

水顶板由第Ⅱ段下部的粉质粘土、粉土组成,厚 5 ~ 7 m,含水层为第Ⅲ段粉砂、细砂。水头高度在郑州东部地区为地表下 3 ~ 4 m,比潜水含水层水位低 1 ~ 2 m。上部潜水主要接受大气降雨及灌溉回水补给,主要消耗于蒸发,其动态类型为入渗-蒸发型。下部微承压水主要接受大气降雨、上部潜水的越流补给,主要消耗于人工开采及向下游迳流排泄,其动态类型为入渗、越流-开采型。上部潜水与下部微承压水之间有一定的水力联系。上部潜水及下部微

承压水为  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  及  $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$  型,矿化度一般在 0.3 ~ 1.3 g/L。

## 2 郑州东区常用基坑支护型式

根据郑州东区近 10 年来的支护、降水经验,郑州东区基坑支护方案的选择与基坑开挖深度、场地工程地质、水文地质条件、场地环境条件及当地的经验与技术水平密不可分,表 2 列出了郑州东区近年来所采用的主要基坑支护型式。

表 2 郑州东区近年来部分基坑采用的支护型式一览表

序号	工程名称	基坑深度 /m	环境条件	选用支护型式	支护体水平位移/mm	施工时间	备注
1	省岩矿测试中心办公楼	5.6	东侧 5 m 为 3 层办公楼	水泥土搅拌桩 + 土钉墙	5 ~ 8	2003.12	
2	武警边防总队办公楼	5.5	北侧 1.5 m 为 6 层办公楼	预应力管桩 + 一道锚杆	24 ~ 36	2005.9	对住宅楼基础注浆
3	同洲花园地下车库	5.8	南侧 3.5 m 为 6 层住宅楼	水泥土搅拌桩 + 土钉墙	5	2003.9	
4	中孚广场	7.7	北侧 6 m 为 7 层住宅楼	悬臂钻孔灌注桩	8 ~ 13	2002.4	对住宅楼基础注浆
5	未来 A63 ~ 65 商住楼	8.2 ~ 9.5	周围场地空旷	土钉墙	27 ~ 35	2003.10	
6	天下城	8 ~ 9		加筋水泥土桩锚			
7	省总工会办公楼	10.0	西侧 6 m 为 6 层住宅楼	双排水泥土搅拌桩 + 土钉墙	9 ~ 15	2004.12	
8	思达数码城	9.1	北侧 5 m 为 6 层住宅楼	闭合拱圈挡土结构	24 ~ 32	1998.5	
9	省直 8 号院	6.5	西侧 8 m 为 6 层办公楼	水泥土搅拌桩 + 土钉墙	15 ~ 19	2006.3	
10	大地置业 A47	10.0	场地空旷	土钉墙	35.0	2003.7	
11	郑东新区 A51 ~ 53	9.0	场地空旷	土钉墙	29 ~ 32	2004.9	
12	百脑汇	10.0	北侧 5 m 为主干道	土钉墙	25 ~ 32	2003.6	
13	天一广场	10.0	南、北侧 5 m 为 2 ~ 3 层住宅楼	高压旋喷桩 + 土钉墙	18 ~ 25	2004.2	
14	荣勋大厦	8.5	北侧 8 m 为 7 层住宅楼	微型钢管桩 + 土钉墙		2006.4	正在施工
15	河南信息广场	8.0	场地空旷	土钉墙		2003.10	
16	市长途电信枢纽工程	5.5	场地空旷	土钉墙	15 ~ 19	1999.10	
17	发展大厦	8 ~ 12.8	南侧 17 m 为 7 层住宅楼	钻孔灌注桩 + 二道预应力锚索		2003.11	
18	证券公司金鑫大厦	5.5	北侧 8 m 为 7 层住宅楼	高压旋喷桩 + 土钉墙	9 ~ 13	2004.2	

## 2.1 主要基坑支护型式

### 2.1.1 桩锚支护结构

适合基坑开挖深度较大(一般在 6 ~ 8 m 以上),且场地环境条件狭窄(临近建筑物多在 0.5 ~ 1.0 倍基坑深度内),环境条件对基坑变形有严格要求时采用,该种方案具有造价高、工序复杂、工期长的特点。按当前市场价格估算(支护桩按钻孔灌注桩),单价在 1100 ~ 1300 元/m<sup>2</sup>。

### 2.1.2 悬臂桩(钻孔灌注桩)支护结构

当基坑开挖深度不大(一般小于 6.0 m),且场地环境条件比较宽敞(临近建筑物距离一般在 1 倍基坑深度以外),场地对变形要求不甚严格时采用,该方案具有造价相对较高、工期较长、支护体变形较大的特点。

### 2.1.3 水泥土挡墙支护结构

当基坑开挖深度不大(一般小于 6.0 m),且场地环境条件比较宽敞(临近建筑物距离一般在 1 倍基坑深度以外),场地对变形要求不甚严格时采用。

该支护结构施工时要求水泥土挡墙厚度一般大于 0.4 倍基坑深度,即 2.2 ~ 2.4 m 的水泥土挡墙厚度。该方案具有造价相对较高、工期较长、变形较大的特点。在 20 世纪 90 年代初有一定应用,现在应用较少。

### 2.1.4 复合土钉墙支护结构

复合土钉墙是指土钉墙与竖向微型钢管碎石桩、水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、小直径钻孔灌注桩等结合组成的基坑支护结构,其中的竖向微型桩提前植入土层,对基坑土层起超前支护、超前控制基坑变形的作用,这种方案最大的特点是安全度较高,控制基坑变形较好,成本不高(与桩锚支护方案比较)、施工工艺相对简单且在郑州地区有成功和成熟经验。该方案具有造价较低(成本一般在 430 ~ 520 元/m<sup>2</sup>)、工期较短的特点。一般当周围小于 0.5 ~ 1.0 倍基坑深度内有需要保护的建筑物时,多采用土钉墙与水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等结合构成复合土钉墙;当基坑较深(如 8 ~ 15 m 甚至更深)

但周围较空旷时,多采用土钉墙与竖向微型钢管桩结合的支护型式。

### 2.1.5 土钉墙支护结构

当基坑开挖深度不大,场地环境条件比较宽敞,场地对变形要求不甚严格时采用,该方案具有造价低、工期短、工艺简单的特点。成本一般在 180 ~ 220 元/m<sup>2</sup>。

### 2.1.6 加筋水泥土桩锚支护

自 2004 年以来,加筋水泥土桩锚支护在郑州东区部分基坑有少量应用,积累经验较少。

### 2.1.7 闭合拱圈挡土结构

1998 年从珠海引进,当时在郑州东区有少量应用。由于其工艺比较复杂、工序要求严格,到目前为止,应用不多,积累经验较少。

## 2.2 主要基坑支护型式的特点及发展趋势

(1)土钉墙与复合土钉墙支护型式在郑州东区应用最为广泛,占基坑数量的 70% ~ 80%。原因是:安全性较高,造价低,施工方便、工序简单。

(2)桩锚支护:常采用水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等作止水帷幕,在郑州东区多应用于 8 m 以上、场地条件较差的深大基坑,近年来在施工中也出现不少问题。

(3)水泥土桩锚支护技术在 2002 ~ 2003 年引入郑州,在市区中部有少量应用,但在郑州东区灰色软土分布地区可否适用于 10 m 以深大基坑,有待实践检验。

(4)预应力管桩桩锚支护作为桩锚支护技术的一种,与传统的钻孔灌注桩支护体比较具有安全、经济、环保、工期较短的特点。在郑州东区武警河南边防总队 6 m 左右基坑首次应用并取得成功,积累了一定经验。单就经济性而言,采用高强度预应力管桩按照当前市场价格,单价一般在 180 ~ 200 元/m<sup>2</sup>,而采用钻孔灌注桩支护(按 6 m 左右基坑估算)按 Ø800 mm 间距 2.0 m、桩长 15.0 m 计算,综合单价在 500 元/m<sup>2</sup>,其经济优势显而易见。

(5)单排或双排钻孔灌注桩 + 土钉墙支护技术近年来在郑州部分深大基坑中有少量应用,也是复合土钉墙的一种,其适应的基坑深度更深一些。关于这方面积累的资料不足,有待进一步积累。

## 3 郑州东区基坑支护设计时应注意的问题

### 3.1 基坑支护等级的确定

郑州市多年的支护经验表明,基坑支护等级的确定直接关系到方案的选择及支护成本的大小。基

坑支护等级与基坑深度、地质条件、地下水条件、环境条件密切相关,笔者建议以文献[6]第 3.0.3 条作为划分标准,考虑问题全面且可操作性强。

### 3.2 设置止水帷幕的问题

(1)郑州市多年的降水监测经验表明,在支护体未发生变形前,临近建筑物沉降均为地下水位下降引起土层固结造成,一般地下水位每下降 1 m 引起的地面附加沉降在 2 ~ 3 mm;而按照分层总和法对粉土层、粘土层进行沉降量估算,公式为:

$$S = [\alpha / (1 + e_0)] \Delta P H$$

式中:  $S$ ——计算的粉土层、粘土层沉降量, mm;  $\alpha$ ——压缩系数,郑州东区为高压缩性土,取  $\alpha = 0.55$ ;  $e_0$ ——土层原始孔隙比,取  $e_0 = 0.900$ ;  $H$ ——计算土层厚度, m;  $\Delta P$ ——由于地下水位变化施加于土层上的平均荷载, kPa。

经计算,当基坑外水位下降 1 m 时,估算沉降量约为 2.89 mm。实际监测结果与有关文献的理论计算值比较吻合。依此预测临近建筑物沉降或倾斜,若满足要求可不设止水帷幕。

实际上,根据郑州市支护经验,一般当临近建筑物层数 > 6 层时,多为条形基础,筏板或条基 + 水泥土搅拌桩基础,基础刚度整体性较好,其抵抗变形能力也好。当临近建筑物与基坑距离大于 1 倍基坑深度或大于 5 m 时,可不设止水帷幕即敞开降水,但应加强沉降监测,必要时及时采取回灌措施。

(2)若设置水泥土搅拌桩止水帷幕,在保证足够的水泥含量同时,按照文献[6]要求桩垂直度 < 1%,但事实上,即使保证桩垂直度 < 1%,按照文献[6]的水泥土搅拌桩搭接厚度一般在 150 ~ 200 mm,若桩长按 10 m 最不利因素组合,则至桩底二根桩可能偏差到 20 cm。事实上,郑州市许多基坑采用单排水泥土搅拌桩,当基坑开挖至 7 ~ 10 m 时,下部桩体都有程度不同的“开衩”现象,造成基坑涌沙,而基坑涌沙又进一步导致桩体变形。如郑州东部某基坑深 8.0 m,桩体在开挖至 -7.0 m 前桩体水平位移在 28 mm 左右,再向下开挖时桩体“开衩”较多,基坑大量涌沙,次日搅拌桩体变形已达 65 mm,一日之间变形量达 37 mm,险些造成基坑事故。另一方面,设置水泥土搅拌桩止水帷幕使基坑外保持高水位,洛阳铲难以成孔,通常改为 Ø48 mm × 3.5 mm 击入式注浆花管,由于工艺上的原因,浆液往往难以充填在土体与管体之间的环状间隙内,注浆质量不易控制,使土体提供的摩阻力有较大折扣,故锚管长度要比原设计的土钉长度多 1/3 以上方可保证

土钉墙安全度,以弥补因注浆质量不易控制而可能造成的隐患,显然土钉墙成本加大。

### 3.3 基坑涌沙问题

主要原因:一是设置单排水泥土搅拌桩在7~8 m以下极易“开衩”造成基坑涌沙,存在设计缺陷或隐蔽工程施工质量问题;二是施工工艺不当造成基坑涌沙,又没有采取及时、有效的处置措施。多年的实践证明,控制涌沙最有效的方法就是挖土堆沙袋反压,然后在桩体背后采取低压与高压相结合的注浆措施。基坑涌沙对支护体变形影响巨大,基坑涌沙控制不好,则支护体变形一般大于规范规定,接近警戒值甚至出现事故。

### 3.4 降水不当导致周边建筑物不均匀沉降、道路沉降问题等

这里不再详述。

### 3.5 基坑周边环境调查问题

基坑周边环境条件务必查清、查准,除通常要求外,还应注意2点。

(1)查清临近建筑物的基础型式、埋深,这直接牵扯到支护方案的选择及支护工程成本的大小。如临近建筑物为筏板基础或复合地基,其整体性一般较好,抗变形能力较好,即使离基坑较近,经慎重分析和计算后,若能满足倾斜要求,不做水泥土搅拌桩止水帷幕也可,这样支护成本显然要小一些。

(2)基坑周边上下水管道的距离、走向、埋深、结构、向外排水情况等有时直接影响到支护工程的成败。当污水管线为脆性结构,离基坑较近时应仔细分析其对支护体稳定性的影响。一方面,任何支护体都有一定的变形量,而这个变形量对支护体和周围建筑物来说可能是安全的,但对临近管线尤其接头处往往是不允许的,可能造成接头处大量漏水;另一方面,多年的污水管线很少有不漏水的,这种漏

水又对基坑稳定构成隐患,二者相互作用,再加上一些外来因素如突遇暴雨、外排水管道堵塞等不利因素组合,极易导致基坑失稳而影响周边建筑物安全。

### 3.6 变形监测问题

既要注意累计变形量问题,更要注意变形速率问题,一旦连续二三天变形速率超过警戒值2 mm/d,往往是事故的先兆,应立即采取措施。

多年的实践证明,对基坑临近建筑物基础进行超前补强加固可起到事半功倍的效果,可提前较好地控制临近建筑物不均匀沉降。

## 4 结语

十几年来在郑州东区采用的基坑支护型式主要有7种,其中土钉墙、复合土钉墙及桩锚支护为常见的支护型式。在郑州东区基坑支护设计与施工时应注意止水帷幕的设置、基坑涌沙、变形监测等问题。限于资料,对支护体受力特点等分析较少,建议今后应加强这方面的研究工作;另外限于经验及认识水平,对上述问题也只是初步的分析与总结,错误、缺点难免,敬请指正。

### 参考文献:

- [1] CECS 96:97, 基坑土钉支护技术规程[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] 桂业琨,等. 建筑地基基础工程施工质量验收规范[M]. 北京:中国计划出版社,2002.
- [5] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [6] SLG 05-96, 深圳地区建筑深基坑支护技术规范[S].
- [7] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].

致谢:本文撰写过程中得到了刘明林高级工程师、余建民副教授、李海广高级工程师、许录明高级工程师等的资料支持,在此表示谢意。

## “2006 中国(上海)国际地质技术装备展览会暨论坛”隆重召开

**本刊讯** 由中国地质调查局、上海市科学技术协会共同主办的“2006 中国(上海)国际地质技术装备展览会暨论坛”,于2006年11月21~23日在上海光大会展中心隆重召开。国土资源部党组成员、中国地质调查局局长孟宪来,上海市政府有关领导,国家自然科学基金委员会副主任、上海市科学技术协会主席沈文庆为展览会开幕式剪彩。

这次展览会是贯彻国务院《关于加强地质工作决定》精神、加强我国地质工作能力建设的一次重要活动。

这次展览会是国内地质领域近年来规模最大、规格最高的一次展览会。在为期3天的展览会中,来自中国、美国、德国、英国、法国、日本等10余个国家的100余家地质技术装备知名厂商,集中展示了国际国内先进的地质仪器和设备;为我国地勘单位了解世界地质仪器和设备的发展现状和趋势提供了一个机会;为国内外厂商和用户

的互相交流、沟通搭建了一个平台。

为了让国内外厂商和地质勘查单位更好地了解中国的地质工作和市场建设情况,更好地交流、探讨地质装备产品如何更加适应地质工作的需要,还同时举办了国际地质技术论坛。论坛由中国地质调查局、上海市科学技术协会、中国工程院能源与矿业工程学部共同主办,论坛以主旨报告、中国探矿工程科技发展分论坛、城市地质与海洋地质分论坛、地学仪器发展分论坛、国外专家技术报告等组成,其中中国探矿工程科技发展分论坛内容丰富,报告有:《中国大陆科学钻探工程主要技术成果与展望》(王达),《我国钻掘技术的最新进展》(刘三意),《岩心钻探设备的现状与发展》(刘跃进),《金刚石绳索取心钻进技术的应用现状及地质钻探设备与技术发展方向》(张永勤),《中国煤层气钻进设备及钻进技术的应用现状》(孙建平),《中国水文水井钻探技术及装备应用现状》(许刘万)。