

# 预应力管桩在郑州东区某软土基坑中的应用

王荣彦

(河南省地勘局水文二队,河南 郑州 450053)

**摘要:**郑州东区软土基坑的支护型式较多,但采用预应力管桩作为支护体在郑州尚属首次。介绍了这种支护体的设计、施工与监测,提出在郑州东区 5~6 m 软土基坑中采用预应力管桩作为支护体是可行的,在距离邻近建筑物较近时采用预应力管桩作支护体比采用传统的桩锚支护体具有明显的经济优势,具有节省工期、成本明显较低、不污染环境的优点。

**关键词:**预应力管桩;郑州东区;软土基坑;基坑支护

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)09-0022-04

## 1 工程概况

拟建基坑位于郑州市区东部金水路与 107 国道交叉口附近。拟建办公楼设计地上 15 层,地下 1 层,裙楼地上 2 层,地下 1 层。基坑长 60 m,宽为 48 m,基坑深度为自然地坪向下 5.7 m。

### 1.1 场地工程地质条件

拟建场地地形相对平坦。所处地貌单元为黄河冲积泛滥平原。场地 35.0 m 深度范围内均为第四系全新统冲积物( $Q_4^{al}$ ),分为两个大的地质单元,0~18.5 m 为稍密粉土和软塑的粘性土组成,细分为 11 个工程地质单元;18.5~35.0 m 为中密、密实粉细砂。各层土的物理力学性能指标见表 1。

表 1 各层土物理力学性能指标统计表

层号	岩土名称	厚度 /m	含水量 $w/\%$	重度 $\gamma /(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	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 $I_p$	压缩模量 $E_{s1-2}/\text{MPa}$	承载力特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$	粘聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
①	杂填土	1.5												
②	粉土	1.3	22.3	20.1	0.903	94	25.7	17.5	8.8	0.63	4.2	90	16	15
③	粉土	2.2	23.4	20.0	0.912	95	25.8	16.8	8.5	0.78	3.6	75	10	10
④	粉土	1.6	22.7	20.1	0.766	94	25.4	17.0	8.2	0.67	5.8	110	19	19
⑤	粉土	2.4	23.8	20.0	0.776	96	27.1	18.1	9.0	0.69	6.1	120	18	20
⑥	粉质粘土	1.2	23.7	20.1	0.683	95	28.6	17.0	11.6	0.55	3.7	90	25	12
⑦	粉土	1.5	23.5	20.2	0.651	98	26.3	17.7	8.6	0.68	7.5	140	19	21
⑧	粉质粘土	1.5	28.9	19.5	0.808	97	35.5	18.6	13.3	0.61	4.1	100	18	15
⑨	粉土	0.8	21.3	20.0	0.641	90	25.9	17.2	8.7	0.47	10.5	150	18	22
⑩	粉质粘土	1.6	31.8	19.2	0.824	94	35.0	21.6	13.9	0.49	4.9	120	15	12
⑪	粉土	0.9	20.3	20.2	0.611	92	26.0	17.0	9.0	0.42	11.5	160	18	24
⑫	粉细砂	10~13	16.6	20.6	0.512	86					21.0	200	0	28

### 1.2 场地水文地质条件

场地地下水类型:上部约 13 m 以浅为上层滞水和潜水,杂填土与粉土接触面中的水为上层滞水,其补给来源主要为大气降水及下水管道渗流水;潜水含水层为 13 m 以浅粉土,勘察期间拟建场地潜水地下水位埋深 1.8 m;承压水含水层为埋藏在 19~35 m 的粉细砂,其隔水顶板为埋藏在 14~19 m 的粘性土,水位埋深为 3.5 m 左右。据有关长观井资料,历史最高水位地下水埋深 1.0 m 左右,场地内潜水主要受季节和人为活动影响,年变化幅度为 1.5 m 左

右。建议粉土的渗透系数取值  $K=0.4 \text{ m/d}$ ,粉细砂的渗透系数取值  $K=5 \text{ m/d}$ 。据水质分析资料,本场地地下水对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋均无腐蚀性。

### 1.3 基坑工程周围环境分析

拟建工程基坑周边环境较复杂,北侧已建 5 层办公楼(筏板基础,基础埋深 1.5 m)距基坑开挖线为 3.00 m,西北角食堂距基坑开挖线为 3.20 m,南侧 2 层建筑物距基坑开挖线为 1.80 m,其他均为宽阔场地。详见图 1。

收稿日期:2006-01-04

作者简介:王荣彦(1965-),男(汉族),河南沁池人,河南省地勘局水文二队高级工程师、国家注册岩土工程师,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。

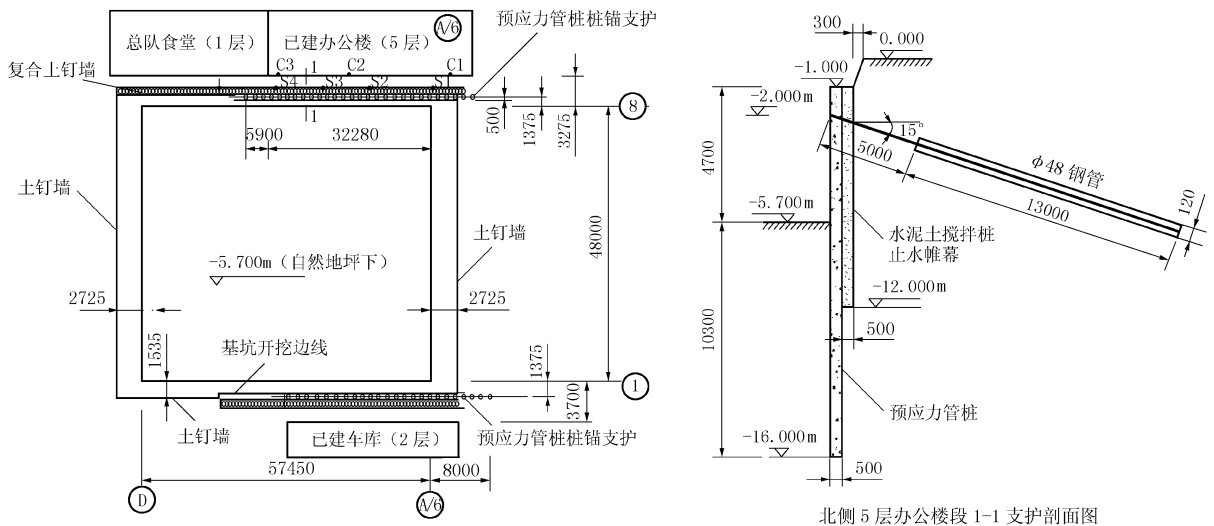


图 1 基坑平面布置图

## 2 基坑支护、降水方案的选择

### 2.1 基坑支护等级的确定

按照《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202-2002)第 7 条规定,北侧 5 层办公楼、东南侧 2 层车库地段因其距离远小于 1 倍基坑深度,确定为一级基坑,其余地段均按三级基坑进行设计。

### 2.2 基坑支护方案分析及选择

根据国家有关规程、规范并结合郑州东区在类似基坑中的设计、施工经验,目前郑州东区采用的支护形式主要有:桩锚支护结构、悬臂桩支护结构、复合土钉墙支护结构与土钉墙支护结构等。

(1) 桩锚支护结构:当基坑较深(一般在 5~15 m),距离周围建筑物较近(一般在 0.5~1 倍基坑深度内)对变形要求较高时采用。具有施工工艺复杂、工期较长、成本较高的特点。以往,桩锚支护结构中,桩多采用钻孔灌注桩作支护体;近年来,随着预应力管桩在郑州高层、小高层建筑基础中的应用愈来愈广泛,把预应力管桩应用于支护体,无疑是有益的尝试。据测算,本工程部分地段若采用钻孔灌注桩作支护体,约需 30 万元,而采用预应力管桩作支护体,仅需约 14 万元,仅支护费用就可节省 50%,其经济优势显而易见。

(2) 悬臂桩支护结构:基坑深度不大(5~6 m),距离周围建筑物较远(一般大于 1 倍基坑深度)对变形要求不高时采用。与后两个方案比较,具有施工工艺相对复杂、工期相对较长、成本相对较高的特点。

(3) 复合土钉墙支护结构:一般基坑深度 5~10 m,距离周围建筑物较远(一般大于 1 倍基坑深度),对变形要求较高时采用。与上述方案比较,具有施

工工艺相对简单、工期较短、成本相对较低的特点。

(4) 土钉墙支护结构:一般基坑深度 5~10 m,距离周围建筑物较远(一般大于 1 倍基坑深度)或周围无建筑物对变形无特殊要求时采用。该方案具有施工工艺简单、工期短、成本低的特点。

经综合分析确定,北侧 5 层办公楼地段与东南侧 2 层车库地段对基坑变形要求严格,为本次支护的重点,故采用桩锚支护结构;其余地段采用土钉墙或复合土钉墙支护结构。本文仅介绍基坑北侧办公楼处的支护方案(东南侧与此相同)并进行分析;另外对基坑降水、止水方案作简要介绍。

基坑北侧的支护方案包括:(1)采用 PHC-AB500(100)-15 与 PHC-AB500(100)-5 预应力管桩作支护体,桩顶标高 -1.0 m,桩底标高 -19.0 m,桩间距 1.60 m,长度 18.0 m,并设预应力锚杆 1 排,其标高 -2.0 m,水平间距为 1.60 m,自由段长度为 5.00 m,锚固段长度为 13.00 m,施加 60.00 kN 预应力,用 12 号槽钢梁将锚头连接;桩顶做 700 mm×500 mm 的钢筋混凝土压顶梁一道。(2)在基坑开挖前对北侧 5 层办公楼基础进行超前补强加固。紧邻基础外侧布一排注浆孔,间距 1.00 m,孔径 100 mm,孔深 7 m,采用 XY-1 型钻机钻孔,安置 Ø48 mm 注浆钢管进行高压注浆,压力控制在 2.0 MPa 以内。实践证明,对办公楼基础进行超前补强加固,较好地控制了办公楼不均匀沉降,沿基础短边方向最大沉降量 19 mm,最小沉降量 8 mm,最大倾斜 0.9‰。

### 2.3 基坑降水、止水方案简述

郑州市多年的降水经验表明,对 1 层地下室的基坑,降水幅度一般为 5~6 m,多采用管井与一级轻型井点相结合的降水方案。对本工程而言,采用

一级轻型井点主要疏干 13 m 以浅粉土中的潜水,采用管井降水主要对承压水进行减压降水,因此共布置 6 眼管井和 7 组一级轻型井点进行降水。具体为:管井井径 600 mm,井深 26.00 m,内安装内径 400 mm 的水泥滤管,井间距 10~15 m;轻型井点沿基坑周边封闭布置,井点管间距 1.5 m,可安装 QPD-60 轻型井点设备 7 套,井点管在基坑开挖之前 7~10 天开始安装进行降水。

基坑降水必然导致降水影响半径范围内土体重重新固结,产生固结沉降,进而导致临近建筑物的不均匀沉降,因此在基坑北侧设置一排水泥土搅拌桩止水帷幕,具体为:桩径 500 mm,桩心距 350 mm(咬合 150 mm),桩顶标高 -1.0 m,桩底标高 -12.0 m,水泥用量为 50 kg/m。要求桩位偏差  $\geq 50$  mm,垂直度偏差  $\geq 1\%$ 。

## 2.4 基坑监测方案设计

### 2.4.1 支护体水平位移监测

沿基坑北侧桩顶设置 10 个水平位移观测点,间距 10 m,采用全站仪测量。监测标准:累积水平位移  $\geq 40$  mm,位移速率  $\geq 2$  mm/d。

### 2.4.2 邻近建筑物沉降观测

在邻近建筑物上共设置 6 个沉降观测点,监测标准:累积沉降  $\geq 30$  mm,沉降速率  $\geq 2$  mm/d,对筏板基础的办公楼要求倾斜  $\geq 4\%$ ,对独立基础的食堂要求倾斜  $\geq 3\%$ 。

### 2.4.3 肉眼巡视

经验表明,在开挖过程中,每日进行的基坑周围的巡视有着重要作用,肉眼看出的周围变化直观明显,易于判断其发展趋势,这是一项十分重要的工作,必须由有一定工作经验的监测人员进行。

### 2.4.4 帷幕外地下水位监测

在基坑北侧帷幕外施工 2 眼观测孔,在基坑施工期间,每天进行 2 次观察,动态地掌握帷幕外地下水位的变化情况。监测标准:累积水位降深  $\geq 2.0$  m,每天水位降深  $\geq 0.2$  m。

### 2.4.5 建立警戒制度

水平位移或沉降速率  $\geq 2$  mm/d 或支护水平位移  $\geq 40$  mm 时,该变形值视为警戒值,此时应立即停止施工,分析原因,采取进一步加固措施。

## 2.5 应急方案设计

### 2.5.1 边坡塌方或踢脚失稳损坏

首先停止基坑开挖,在已开挖尚未发生踢脚失稳段,应在坑底桩墙前堆砂袋土或土料反压,同时对桩顶适当卸载,或对被动区土体采用钢管注浆加固

(采用钢管注浆,或在挡土桩内侧补打大角度短锚管等进行处理)。

### 2.5.2 支护体的渗水和漏水

(1) 渗水量较小时可用速凝剂封堵;渗水量稍大,但没有泥砂带出,在不影响施工和周围环境的情况下,可安设滤水管、导水管导入坑底设置的排水沟。

(2) 对渗漏水量很大且有泥砂的情况,立即采取相应措施:首先在坑底桩墙前堆砂袋土或土料反压,然后如漏水位置在离地面不深处,在支护墙后用密实混凝土进行封堵;如漏水位置埋深较大,则可在墙后采用钢管压密注浆方法。

## 3 基坑工程施工简介

### 3.1 静压预应力管桩施工应注意的问题

(1) 第一节管桩起吊就位后垂直度偏差  $\geq 0.5\%$ ,并宜用长条水准尺或其他测量仪器校正,否则,宜拔出重插。

(2) 施打中,桩锤、桩帽、桩身中心线应重合,否则,应找出原因并设法纠正;当桩尖进入硬土层后,严禁用移动桩架等强行回扳的方法纠偏。

(3) 在较厚的粘土、粉质粘土层中施工管桩,应将每一根桩一次连续压到设计位置,尽量减少中间歇时间。

### 3.2 水泥土搅拌桩止水帷幕施工时注意事项

(1) 严格按照设计的水泥含量  $\leq 50$  kg/m 施工,垂直度  $< 1\%$ ,桩位偏差  $< 50$  mm。

(2) 施工前先清除上部杂填土。

### 3.3 预应力锚杆(锚管)施工

(1) 钻孔前应根据施工设计图确定孔位,误差  $\geq 100$  mm,遇特殊情况,可适当进行孔位调整。

(2) 采用螺旋钻钻穿止水帷幕后,再用打管机打入锚管。

(3) 浆体应按设计配制,一次灌浆宜选用水灰比 0.65~0.7 的水泥浆,必要时可进行二次高压注浆。

(4) 锚杆的张力与施加预应力(锁定)应符合以下规定:①锚固段强度  $> 15$  MPa 并达到设计强度等级的 75% 后方可进行张拉;②锚杆张拉顺序应考虑对邻近锚杆的影响;③锚杆宜张拉至设计荷载的 0.9~1.0 倍后,再按设计要求锁定。

## 4 北侧办公楼支护体变形特征及影响因素分析

本工程开始于 2005 年 9 月 12 日,11 月 1 日支护结束,经过近 2 个月对北侧预应力管桩支护体的 4 个监测点监测结果表明,其中 S2 点累计水平位移

达 36 mm, 位移速率一般 0.5 ~ 1.0 mm/d; S4 点变形较大, 累计水平位移 62 mm, 位移速率一般 0.5 ~ 1.0 mm/d。详见图 2。

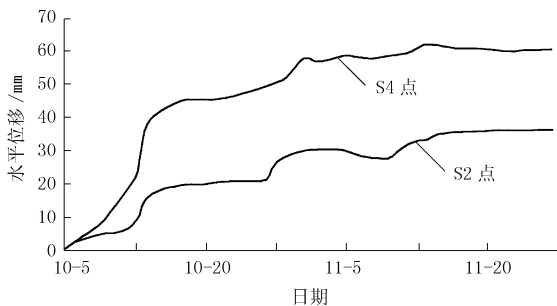


图 2 水平位移-时间关系曲线

由图 2 并结合基坑开挖、施工具体情况得出如下几点看法:

(1) S4 点变形较大, 累计水平位移达 62 mm, 已超过规范规定及设计要求。主要原因是该处有一根搅拌桩搅拌不匀, 开挖至 -3.5 m 发生涌砂现象, S4 点水平位移在短短 3 天内由 12 mm 增至 39 mm, 占整个施工期间位移量的近 50%; 而邻近的 S1 ~ S3 点在此期间位移量仅增加 7 ~ 11 mm。显然, 基坑涌砂对支护体变形影响较大, 搅拌桩止水帷幕施工质量直接关系到支护的成败。

(2) S2 点累计水平位移在 36 mm, 位移速率一般 0.5 ~ 1.0 mm/d, 个别时段位移速率 3 ~ 5 mm/d, 小于但接近规范规定及设计要求, 运行平稳。

(3) 2005 年 10 月 10 日前基坑开挖至 -2.5 m 时, S4 点变形达 12 mm, 而 S1 ~ S3 点水平位移仅 4 ~ 5 mm。这是因为 S4 点距西侧基坑阳角仅 10 m, 显然, 基坑阳角处位移要大一些, 因此对基坑阳角应慎重处理。

(4) 虽然 S4 点累计水平位移达 62 mm, 已超过规范规定及设计要求并超出警戒值, 但搅拌桩止水帷幕并未发生剪断或失效现象, 说明搅拌桩止水帷幕在与刚性桩结合起支护作用时, 尚有一定的抗剪断能力。

(5) 实践证明, 对办公楼基础进行超前补强加固, 较好地控制了办公楼不均匀沉降, 沿基础短边方

向最大沉降量 19 mm, 最小沉降量 8 mm, 最大倾斜 0.9‰, 远小于设计和规范要求。虽然 S4 点支护体变形较大, 但该处办公楼沉降监测点沉降仅 19 mm。

## 5 结论与建议

(1) 监测结果表明, 在整个基坑开挖期间, 除异常点外大部分监测点水平位移在 24 ~ 36 mm, 小于或接近国家规范及设计要求, 因此, 在郑州东区 5 ~ 6 m 深软土基坑中采用预应力管桩作为支护体是可行的, 与以往钻孔灌注桩支护体比较, 具有节省工期、成本明显较低、不污染环境的优点。就本工程而言, 其部分地段若采用钻孔灌注桩作支护体, 约需 30 万元, 而采用预应力管桩作支护体, 仅需 14 万元, 仅支护费用就可节省 50%, 其经济优势显而易见。因此在郑州东区对 5 ~ 6 m 深的软土基坑且邻近建筑物较近时采用预应力管桩作支护体比采用传统的桩锚支护体具有明显的经济优势, 对郑州东区类似基坑的设计与施工有明显的借鉴作用。

(2) 预应力管桩支护体水平位移的变形与基坑深度、地质、地下水条件、支护体刚度等密切相关, 也与止水帷幕施工质量、止水效果好坏密切相关。现场实践表明, 一旦止水帷幕搭接不好, 极易出现涌砂事故, 即使时间较短, 也将导致支护体水平位移有较大突变, 一般数小时内可增加 10 ~ 20 mm; 而过大的支护体位移有可能导致止水帷幕剪断、失效, 又进一步加剧支护体水平位移, 如此形成恶性循环。建议今后应加强对预应力管桩支护体应力、变形及影响因素的研究工作。

(3) 预应力管桩支护体属高强度刚性桩, 但配筋较少, 可否用于 8 ~ 10 m 及以深基坑有待进一步探索。

## 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] GB 50007 - 2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] 龚晓南. 第七届地基处理学术讨论会论文集[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 知识产权出版社, 2002.

(上接第 21 页)

## 7 结语

随着我国国民经济的发展, 城市高层建筑和重型建(构)筑物的日益增多, 桩基荷载加大、桩孔加深, 大直径超长钻孔灌注桩得到了广泛地应用。本

工程实践在于使用常规设备, 通过改进工艺, 做好各工序间的质量控制, 使大直径超长灌注桩能够满足在复杂地质条件下建造大型建筑物的基础需要, 其所表现出的单桩承载力高、稳定性好、适应性强、施工方便、无噪声等优点, 必将在我国地基基础技术进步和建设事业发展中起到积极的作用。