

# 北京朝阳广场深基坑支护技术

刘兴旺<sup>1</sup>, 周葛源<sup>2</sup>

(1. 北京市机械施工有限公司, 北京 100045; 2. 江西省地质矿产勘查开发局 902 探矿工程大队, 江西 新余 338000)

**摘要:**北京朝阳广场深基坑支护设计尝试采用上部复合土钉墙,下部桩加预应力锚杆的支护形式。上部复合土钉墙较桩锚支护节约成本。土钉墙设计中第三道土钉替换为预应力土钉,有效地限制了土钉墙顶部位移。土钉墙顶面及桩顶连梁上布置变形监测点,采用量距法及经纬仪挑直线的测量方法进行变形监测,实测变形的数据均在规范允许范围内。

**关键词:**深基坑支护;复合土钉墙;预应力锚杆;钢腰梁;护坡桩;支护结构设计;变形监测

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)10-0008-06

**Bracing of Deep Foundation Pit Applied in Chaoyang Square Construction Project/LIU Xing-wang<sup>1</sup>, ZHOU Ge-yuan<sup>2</sup>** (1. Beijing Mechanized Construction Co. Ltd, Beijing 100045, China; 2. No. 902 Team under Jiangxi Bureau of Exploration & Development of Geology & Mineral Resources, Xinyu Jiangxi 338000, China)

**Abstract:** The article introduces the application of bracing of deep foundation pit in Chaoyang Square. The compound soil nailed wall and pre-stressed anchor rod was adopted for the upside and underside wall separately. Soil nailed wall was economical. And in the design, the third layer of soil nail wall was replaced with pre-stressed soil nail to effectively restrict the displacement of the top of soil nailed wall. Monitoring spot was laid on the top of soil nailed wall and the top of pile to measure distortion with theodolite, and all the data measured is in permitted scope of criterion.

**Key words:** bracing of deep foundation pit; compound soil nailed wall; pre-stressed anchor rod; steel beam; slope-shoring pile; shoring structure design; deformation monitoring

## 1 基坑概况

北京朝阳广场工程整个基槽面积约 32000 m<sup>2</sup>, 基坑长约 200 m, 宽约 160 ~ 179 m, 基坑深度 19.31、20.21、22.31 三种。主体结构形式为钢筋混凝土框架-剪力墙结构,共 4 层地下室,基础采用钢筋混凝土筏型基础。基坑周边条件复杂(见图 1),西南角紧靠地铁站房,结构外皮线距离地铁站房外墙最近处仅有 2.5 m,站房埋深约为 4.5 m;基坑西侧有一宽度约 7.0 m 的结构通道,其埋深约为 6.0 m;基坑北侧遗留有长度为 22.4 m 的废弃水池;基坑周边还有各种不明管线、变电箱等障碍物,增加了深基坑支护设计及施工的难度。



图 1 基坑支护周边环境示意图

## 2 工程地质及水文地质条件

现场地形平坦,地层由上而下依次为:厚度约 5.0 m 的房渣及碎石填土,厚度约 3.5 m 的粉粘粘粉土层,厚度约 4.5 m 密实的粉砂细砂土层,厚度约 6.0 m 密实低压缩性的卵石土层、厚度约 7.0 m 的粉粘粘粉混合土层、厚度约 6.0 m 的卵石土层。基

坑深度范围内共有 3 层地下水:第一层为埋深 1.4 ~ 5.0 m 的上层滞水,赋存在填土及粘性土层中;第二层为埋深 15.0 ~ 18.4 m 的层间潜水,赋存于卵石④层;第三层为埋深 21.5 ~ 24.5 m 的承压水,赋存于卵石⑥层。

## 3 工程的特点及难点

本基坑工程具有面积大、地层离散性大、填土层

收稿日期:2006-08-11

**作者简介:**刘兴旺(1981-),男(汉族),黑龙江双城人,北京市机械施工有限公司助理工程师,工民建专业,从事岩土工程设计与施工工作,北京市西城区南礼士路 15 号,13681469694;周葛源(1967-),男(汉族),湖南湘潭人,江西省地质矿产勘查开发局 902 探矿工程大队工程师,探矿工程专业,从事岩土工程施工技术管理工作,江西省新余市北湖西路 18 号,13801058929,zzlf@163.com。

较厚、地下水丰富、周边条件复杂、施工周期长等特点,且基坑支护要经历北京冬季、雨季的考验,对支护设计安全性要求很高。工程位于市区内,对基坑施工噪声、粉尘等环保要求高。

#### 4 基坑支护结构设计

北京市深基坑支护形式主要有护坡桩与锚杆支护、上部挡土墙与下部桩锚支护、护坡桩与内支撑支护等几种形式。本工程综合考虑地层条件及周边环境的影响,采用复合土钉墙与桩锚相结合的支护形式,此种支护结构形式既可以发挥复合土钉墙及桩锚支护的优势,又可弥补传统深基坑支护的缺点。基坑支护实际效果如图 2。



图 2 基坑支护效果图

(1) 基坑支护深度为 20.21、19.31 m 时,采用上部 8.0 m 复合土钉墙 + 下部护坡桩 + 2 道预应力锚杆的支护结构,如图 3。基坑支护深度为 22.31 m 的采用上部 8.0 m 复合土钉墙 + 下部护坡桩 + 3 道预应力锚杆的支护结构,如图 4。

(2) 基坑西南角深度为 19.31 m,受临近的地铁站房影响,采用从地面做护坡桩 + 3 道预应力锚杆的支护结构。根据地铁站房的埋深设计第一层锚杆的位置,保证锚杆由地铁站房下侧土体穿出不会影响地铁站房结构。桩身设置预应力锚杆能有效地控制支护结构顶部位移,从而使桩背土体保持稳定的工作状态。如图 5、6。

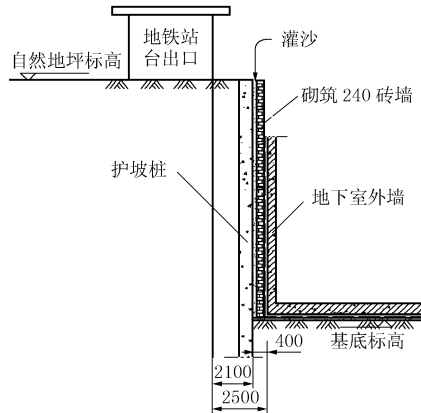


图 5 地铁站房处位置关系图

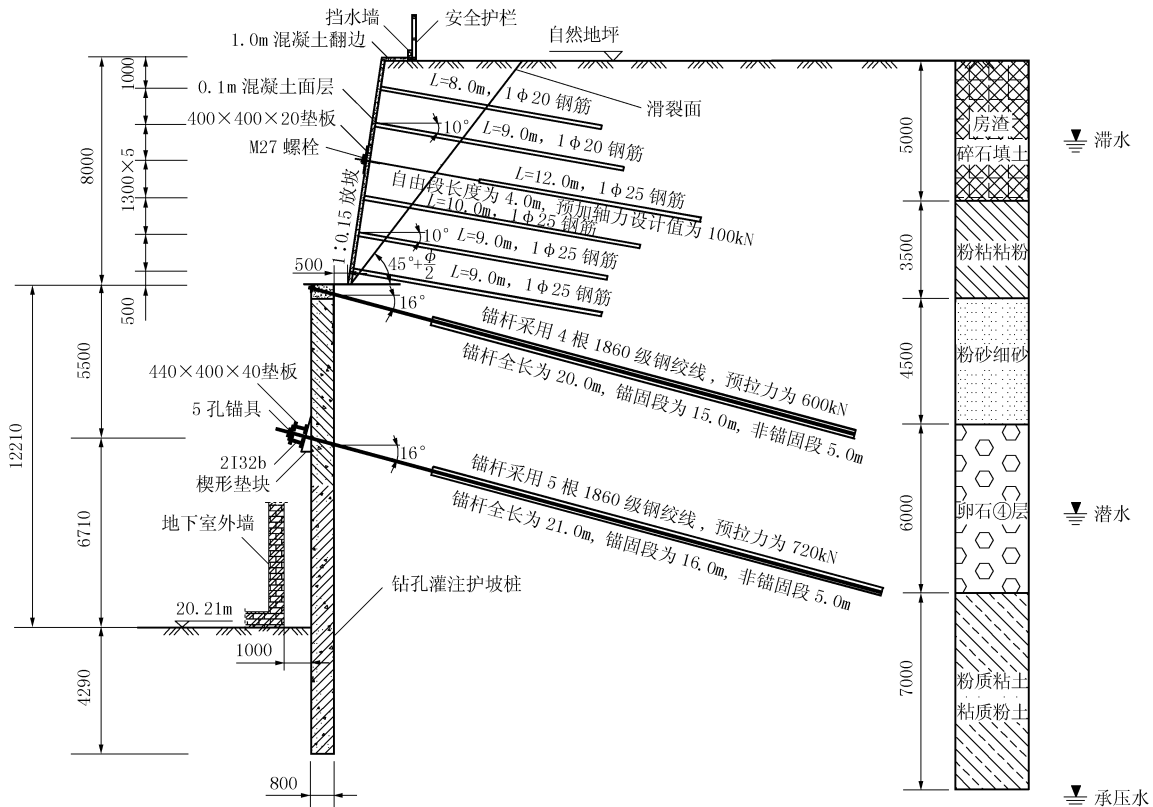


图 3 基坑深度为 20.21 m 的支护剖面图

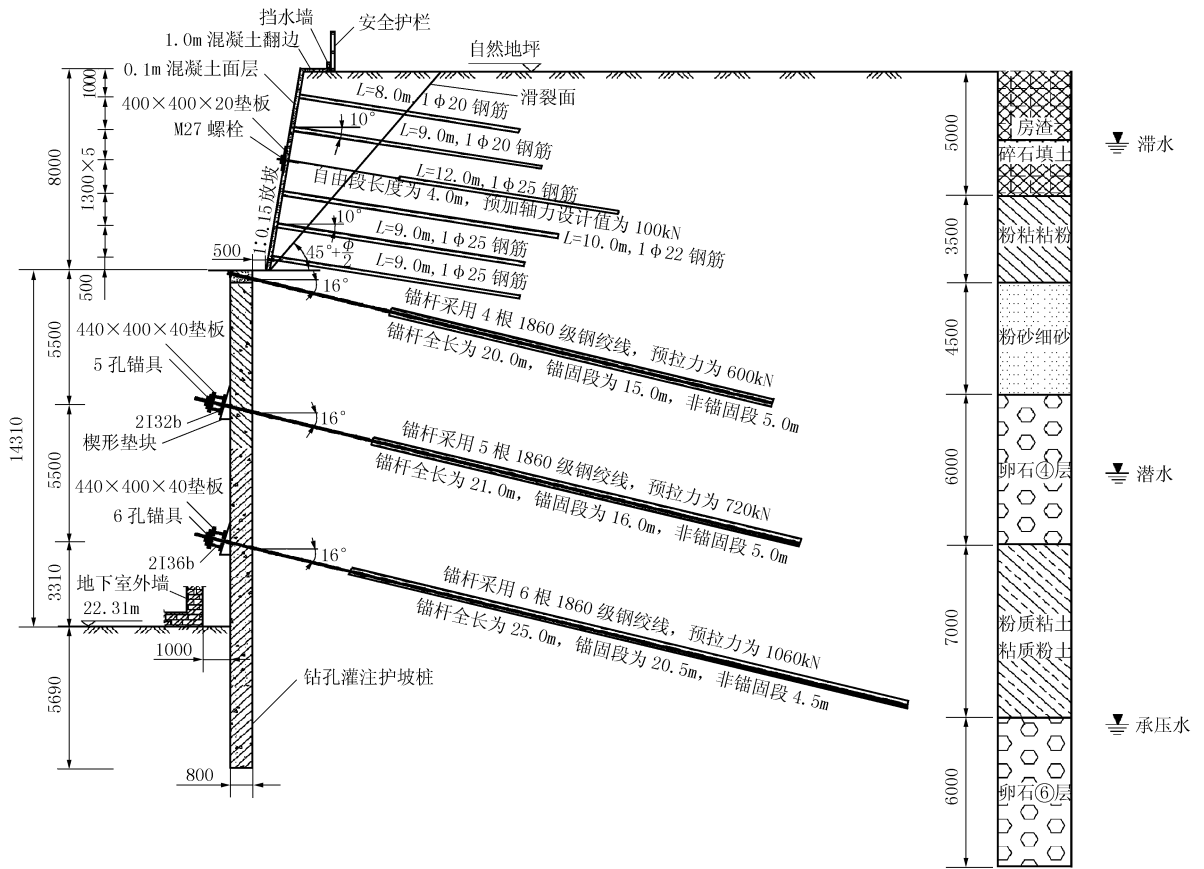


图 4 基坑深度为 22.31 m 的支护剖面图

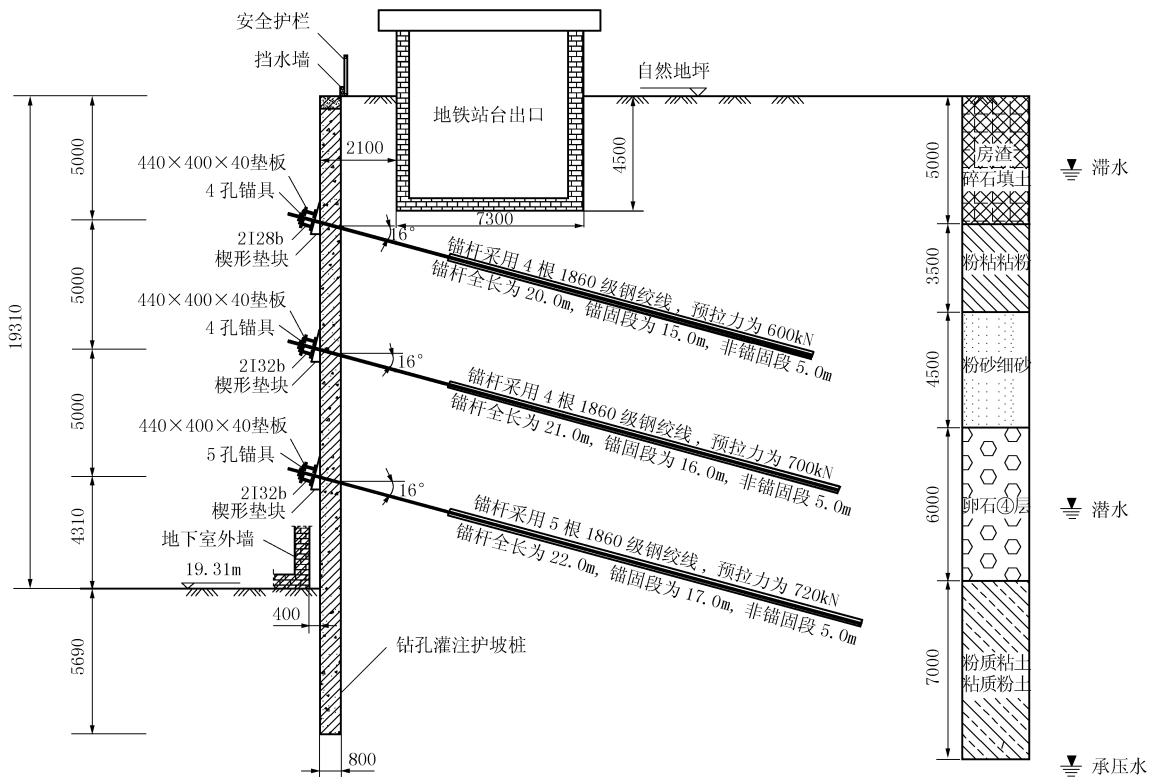


图 6 基坑深度 19.31 m 紧靠地铁站台处支护剖面图

(3) 基坑西侧深度为 19.31 m, 根据结构通道的埋深、宽度等特点对各部分土体分段支护, 其支护结构由上到下依次为 6.0 m 土钉墙 + 2.0 m 挂网喷射混凝土 + 护坡桩 + 2 道预应力锚杆。结构通道部位预留出平台减少了土方回填量。

(4) 基坑北侧深度为 20.21 m, 基坑支护设计充分利用周边条件, 借用水池外墙作为支护结构的一部分, 并在下部对支护结构予以加强。采用的支护形式为上部借用水池结构外墙作支护结构 + 下部护坡桩 + 3 道预应力锚杆的支护结构。如图 7。

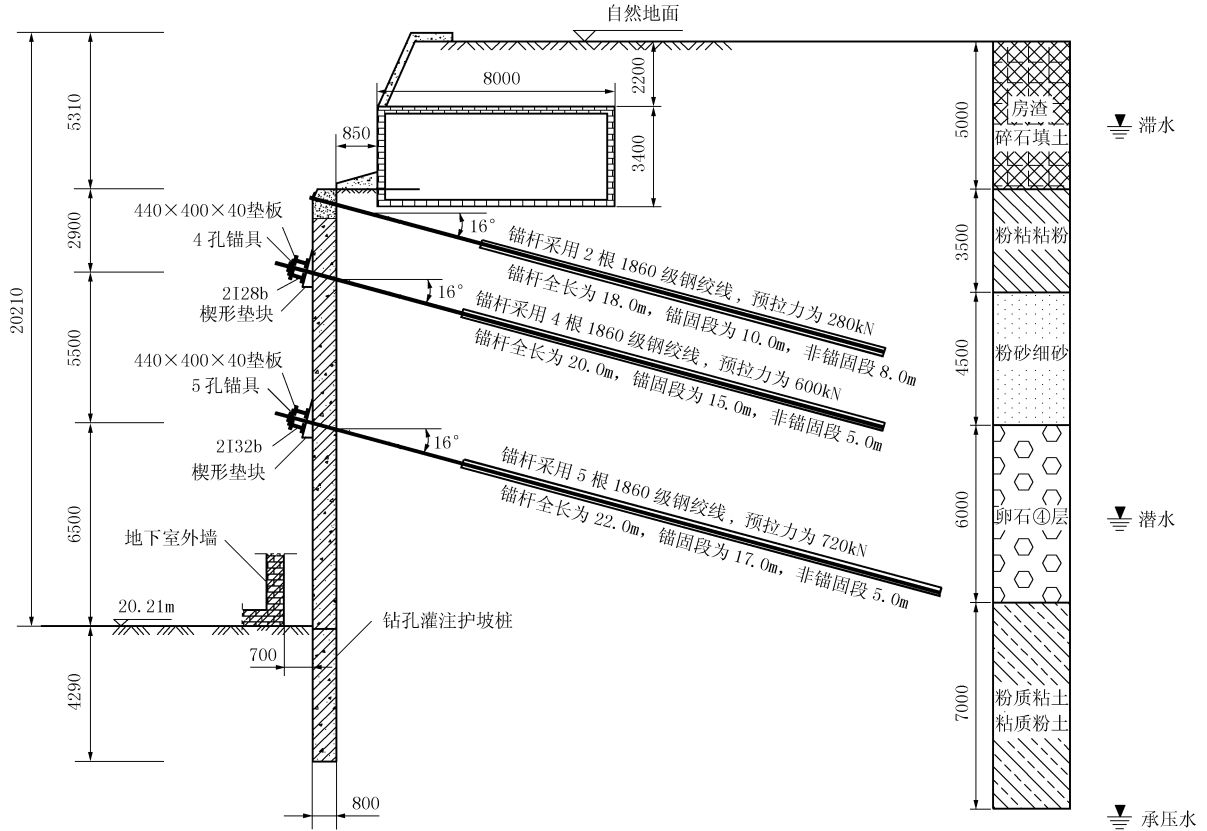


图 7 基坑北侧水池处支护剖面图

### 5 基坑支护结构设计计算

(1) 采用深基坑设计软件进行基坑支护结构的内力计算、位移计算及锚杆支撑拆除计算。

(2) 为有效地控制土钉墙顶部位移, 将上部土钉墙部分的第三层土钉替换为预应力锚杆, 成为复合土钉墙支护形式。上部 8.0 m 复合土钉墙支护设计采用瑞典条分法, 并进行有限元分析, 通过模拟土钉墙的各个施工状态, 来计算土钉墙的内力及变形情况。在设计土钉墙的土钉长度时, 不仅考虑土钉墙自身滑裂面的作用, 还适当加入对整体支护结构大滑裂面的不利影响, 将原有土钉长度加长。

(3) 下部桩锚结合的支护设计应用朗肯库仑土压力理论, 按 M 法计算支护结构位移及内力, 再利用分段等值梁法分析验算。桩锚支护计算中充分考虑上部 8.0 m 土钉墙的荷载和地面超载的作用。其位移及内力如图 8 所示。

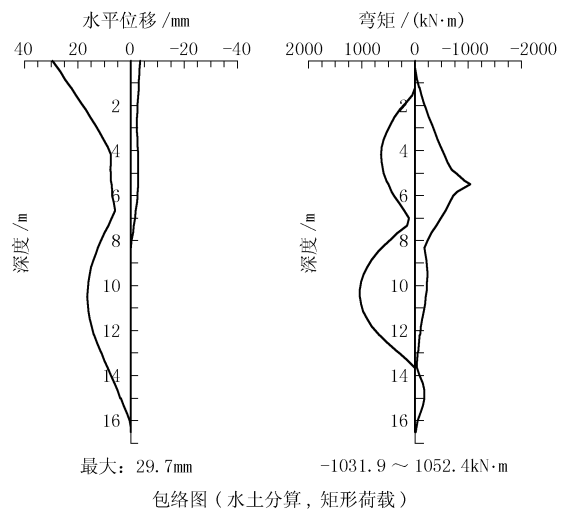


图 8 基坑位移及内力图

(4) 基坑西南角地铁站房处支护设计中, 桩土体考虑地铁站房的附加荷载影响, 将地铁站房结构的荷载进行合理的累加。基坑西侧结构通道部位

将上部6.0 m高土体重力及地面超载折合为附加荷载作用到桩锚支护上。基坑北侧有一段受水池影响未能施工降水井,采用在护坡桩间施工止水帷幕将地下水截到基坑外侧。此部位支护结构考虑水压力的影响,采用水土合算的计算模式,桩身设置了3道预应力锚杆。

(5) 预应力锚杆端部的钢腰梁需具有足够的强度和刚度,按水平方向上的受弯构件进行计算,其计算采用三跨连续梁的计算模型,桩身的预应力锚杆力即为连续梁的集中荷载,考虑到侧向坑壁的支撑作用,以第三边跨中正弯矩和第三边支座负弯矩较大者作为弯矩设计值,验算腰梁是否满足设计要求。

(6) 预应力锚杆为临时性锚杆,其原理为利用拉杆材料与注浆体之间的粘结力将拉杆中的拉力传递于注浆体中,再通过注浆体传递于土体中,达到锚杆加固土体的作用。锚杆设计中考虑与护坡桩支护的共同作用,根据锚固体与地层、注浆体与筋体间的粘结强度计算锚杆锚固段长度。根据滑裂面理论确定锚杆非锚固段长度,达到最优设计效果。

(7) 护坡桩的配筋计算根据桩身所承受的最大弯矩,按圆形截面均匀配筋进行设计。

(8) 周边采用管井降水使渗透性较大土层(砂、卵石)的土体抗剪强度提高,作用到支护结构的土压力减小,此部分作为支护结构设计的安全储备。

## 6 基坑变形监测

### 6.1 监测点的布置

为保证基坑支护的安全性,深基坑支护结构水平位移监测尤为关键。本工程在土钉墙翻边及护坡桩桩顶连梁处分别设置水平位移及沉降监测点;靠近地铁站房位置水平位移及沉降监测点只布置在桩顶部位。监测点间距为30 m,采用50 mm×3 mm的角钢,下侧埋入小型地脚螺栓进行固定。监测点的布置如图9、10所示。

### 6.2 监测方法

根据基坑四周形状选择不同的水平位移监测方法:基坑东侧边线不规则以弧线为主,采用钢卷尺量距法测量水平位移;而基坑其余几侧形状规则以直线为主,采用经纬仪挑直线的测量方法。基坑坡顶沉降采用高精度水准仪利用标高控制点进行量测。监测均以周边的测量控制网为量测基准,并保证观测通透性。经过1年来的观测,支护结构顶部的水平位移均在4~22 mm范围内,累积沉降量最大处约为14 mm。连梁顶部与土钉墙顶部的水平位移基

本一致,均满足支护结构变形要求。通过实测数据绘制的曲线图见图11。

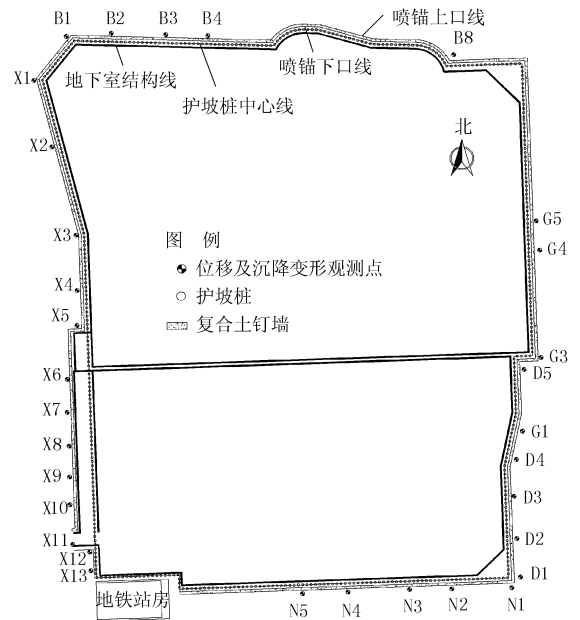


图9 基坑周边位移监测点平面布置图

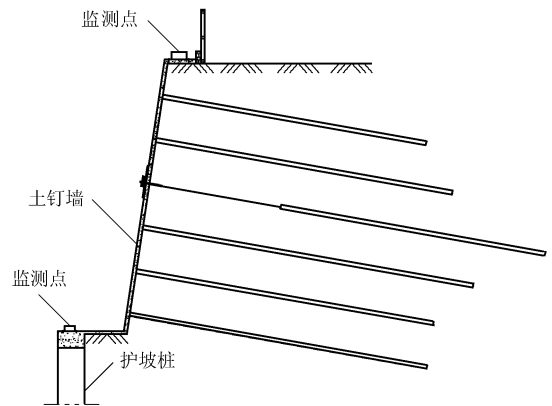


图10 基坑位移监测点位置图

### 6.3 监测点位移变形规律

经各监测点位移比较,基坑北侧、东侧阴角(B1、D1)处水平位移较小,而中间部位(B2、B3、B4; D2、D3、D4)的位移逐渐增大;基坑东侧的阳角位置(D5)水平位移较其它阴角及中间部位的监测点位移大。各监测点的水平位移随时间的延续而增加,位移变化较大的时间主要集中在土钉墙、预应力锚杆工作面土方开挖未支护的阶段,基坑开挖完成后位移趋于稳定。支护结构位移随深度的增加而逐渐减小,位移最大处主要集中在上部8.0 m土钉墙的中部。各监测点实际测出的水平位移较理论计算位移小,其主要原因为基坑周边降水效果较好,改善了支护结构背后土体的土层参数,避免了水压力对支护结构的影响。

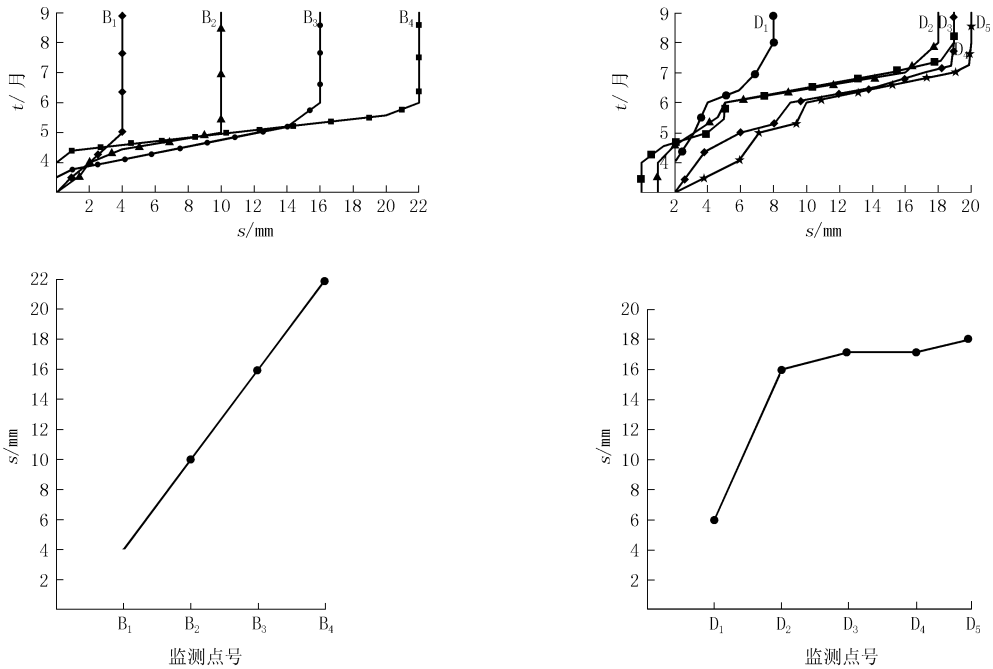


图 11 基坑典型监测点位移与时间曲线及各监测点最终位移对比图

试采用上部土钉墙下部桩锚结合的支护结构是可行的,并取得了较好的经济效益。本工程中上部土钉墙较桩锚支护结构节约成本单价 737.55 元/m<sup>2</sup>。

### 7 经济效益

实践证明,对于北京地区的超大深基坑支护,尝

(上接第 7 页)

### 3 结语

(1) 针对防治垃圾填埋场沥出液渗漏的特点,研究的一种水泥基膨润土-粉煤灰-水泥浆材(BFC)具有良好的可灌性和稳定性,其固结体渗透性低,符合规范要求。但固结体对沥出液中污染物的吸附阻滞性的强弱有待实验测试。

(2) 针对垃圾填埋场沥出液防渗漏的特点,笔者已开始研究另一种抗压强度低、塑性好的粘土基膨润土-粉煤灰-水泥浆材(BFC),并已取得了较好的效果。

(3) 为了提高浆材固结体对垃圾填埋场沥出液中污染物的吸附阻滞性,特别对有机污染物的吸附

阻滞性能,笔者着手开展掺入有机膨润土的垃圾填埋场防渗浆材研究。

(4) 针对所研究的浆材应进行污染物阻滞机理和其在结石体内运移规律的研究。

### 参考文献:

- [1] 熊孝波,施斌,等. 国外城市垃圾填埋场岩土工程研究的最新进展[J]. 工程地质学报,2000,8(3):345-350.
- [2] 姜桂兰,张培萍. 膨润土加工与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [3] 赵雅芝,杨凤林,等. 粉煤灰、建筑垃圾、粘土对垃圾渗透液吸附行为的研究[J]. 环境保护科学,1994,20(4):32-36.
- [4] 朱国营,赵永胜. 粉煤灰在垃圾淋滤液循环处理中的作用[J]. 长春科技大学学报,2000,30(3):262-265.
- [5] 靖向党. 钻孔工程[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.