

京盛广场深基坑支护设计与施工实录

郝永华 王志智

冯科明

(中国兵器工业勘察设计研究院 北京 100053)

(北京矿务局综合地质公司 北京 102300)

【提要】本文通过工程实例,具体介绍了京盛广场深基坑支护设计与施工方法,在参数选用和设计过程中,借鉴了北京地区深基坑支护的一些成功经验,使方案设计更趋合理。最后工程取得了令人满意的效果,同时总结了一些有益的结论。

【Abstract】 This paper introduces the design and construction method of the deep excavation support. The selection of the design parameters is reasonable by using the experience of deep excavation support in Beijing area. We obtained the satisfied results and summarized some useful conclusions.

1 工程概况

北京京盛广场由高低错落的建筑群组成,主楼21层,地下3层,裙楼6层,地下2层,基坑面积为6385m²,基坑开挖深度分别为13.2m和11.3m。

场地位于东直门外大街,东面紧邻亮马河,其余三面和居民区相邻,场地比较狭窄,四周没有放坡条件,基坑必须直立开挖,为了保证周围居民区的安全,对基坑必须进行支护。场地情况见图1。

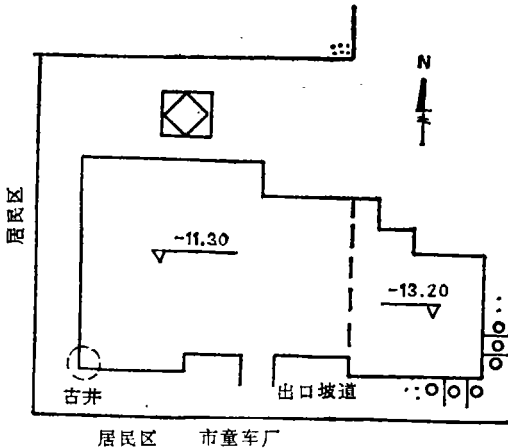


图1 场地位置图

2 场地工程地质条件简述

在设计桩长范围内主要有以下地层:

(1) 表层为杂素填土层:厚度不大且不均。

(2) 粘质粉土层:平均厚度3.70m左右,夹粉质粘土薄层,可塑,饱和。

(3) 粉质粘土层:平均厚度6.70m,夹重粘质粉土层,可塑~硬塑,饱和。

(4) 砂质粉土层:平均厚度3.50m,夹粉砂薄层,可塑,饱和。

(5) 粘土层:平均厚度3.60m,下部为重粘质粉土,可塑~硬塑,饱和。

以上各层土的物理力学指标见表1。

据勘察报告,本场地地下水有三层:第一层为上层滞水,水位埋深在-2.0~-3.0m,由季节性降水补给;第二层和第三层均为潜水,水位埋深分别为-11.0m和-20.0m以下。基坑开挖主要受第一层和第二层水影响。

3 支护方案与设计计算

3.1 支护方案

根据场地条件,基坑大部分地段只能采用单支点锚桩支护。在基坑的西南角处由于施工过程中遇到了古井(勘察报告未提供)而无法成桩,临时改为土钉墙支护处理,另外在基坑南侧中部地段有一个地下车库的出口坡道,由于拆迁未到位,暂时不能放坡,只能垂直开挖,为了避免后期车道出口施工时剔桩困难,也改作土钉墙支护。

3.2 方案设计计算

(1) 计算参数的选择

表 1 各层土物理力学性质一览表

土 层	指 标	重 度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	含 水 量 $w(\%)$	孔 隙 比 e	压 缩 模 量 $E_{s_{1-2}}(\text{MPa})$	压 缩 系 数 $a_{1-2}(\text{MPa}^{-1})$	内 聚 力 $c(\text{kPa})$	内 摩 擦 角 φ (度)
粘质粉土②		20.3	21.5	0.615	12.0	0.132	23.2	17°
粉质粘土③		20.4	20.4	0.605	6.0	0.305	24.9	11°
砂质粉土④		20.6	15.9	0.495	21.5	0.068	16.0*	20°*
粘 土⑤		19.2	34.3	0.858	10.2	0.185	25.0*	18°*

注: *为经验值。

目前, 基坑支护设计计算方法很多, 但不论采用何种计算方法, 设计参数对计算结果有着很大影响, 由于获取精确的土层参数有一定的困难, 地区性经验就显得极为重要, 北京地区由于土质较好, 近几年通过工

程实践, 总结了一定的经验。

根据经验, 土层参数可取 $c=0$, 而内摩擦角 φ 取等效内摩擦角 φ_d , 等效原则为: 考虑 c 值影响和不考虑 c 值影响而产生的土压力相等。并由下式计算:

$$\tan\left(45^\circ - \frac{\varphi_d}{2}\right) = \sqrt{\frac{\gamma H^2 \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 4c \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) + \frac{4c^2}{r}}{\gamma H^2}} \quad (1)$$

另外, 由于北京地区土质较硬, 土层有一定的 c 值, 在基坑上部存在一个临界深度, 其值为 $H_p = \frac{4c}{\gamma \sqrt{k_a}} - \frac{2q}{\gamma}$, 该深度以上侧土压力为零, 因此此部分可以不支护。

依据上述分析, 结合本场地勘察报告, 确定本次设计参数为: 土层参数 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c=0$, $\varphi_d = 38^\circ$, 桩径采用 800, 桩距 1.5m, 桩顶设置在 -2.5m, 锚杆设置在 -4.0m, 倾角为 $15^\circ \sim 18^\circ$ 。地面附加荷载取 10 kN/m^2 , 则桩顶处荷载为 $q = 2.5 \times 19 + 10 = 47.5 \text{ kN/m}^2$ 。

(2) 桩的受力计算及配筋

桩的受力计算采用单支点深埋板桩等值梁法, 计算模型见图 2。梁的一个支点为锚杆作用点, 另一点土压力为零点, 对于深埋桩, 其下端为嵌固支承, 土压力为零点和弯矩零点位置很接近, 因此可将另一点近似为弯矩零点。

桩受侧土压力按朗肯理论求出, 对某一深度 h 处主动土压力和被动土压力分别为:

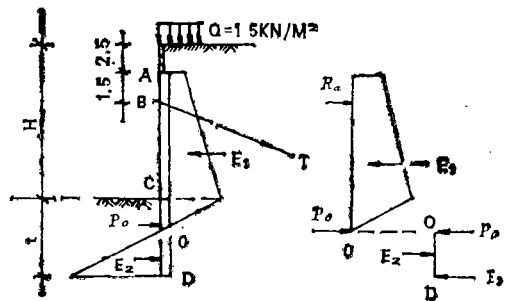


图 2 等值梁法计算简图

$$E_a = (q + \gamma h) \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi_d}{2}\right) \quad (2)$$

$$E_p = (q + \gamma h) \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi_d}{2}\right) \quad (3)$$

这里主动土压力系数和被动土压力系数为

$$K_a = \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi_d}{2}\right) \quad (4)$$

$$K_p = \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi_d}{2}\right) \quad (5)$$

考虑到场地土质较好, 桩土之间存在着摩擦力, 在一定程度上起阻挡坑底土体被挤出的

作用故实际计算中,将 K_r 乘以增大系数 K_r , K_r 一般取2.0。

根据简支梁的一般原理,即可求出桩的内力及锚杆拉力,桩的入土深度 t 由下式求出。

$$t = d + 1.2\sqrt{\frac{6P_0}{\gamma(K_p - K_a)}} \quad (6)$$

桩的最大弯矩一般发生在剪力为零处。

据此,求出-11.3m基坑的桩身最大弯矩发生在-6.80m处,-13.2m基坑发生在-7.63m处(距桩顶),桩身配筋按矩形截面来配,并根据弯矩调整截面配筋,实际配筋为:在最大弯矩处附近2.5m范围内按最大弯矩来配筋,其余按 $0.8M_{\max}$ 来配筋。

由上述求出锚杆的水平拉力,根据下式求出锚杆的有效锚固长度 L_0 。

$$L_0 = \frac{R_a \cdot K}{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot \cos\alpha} \quad (7)$$

式中 R_a ——锚杆水平拉力(kN)(按一桩一锚,锚杆间距1.5m求得);

K ——安全系数取1.35;

α ——锚杆倾角取 15° ;

D ——锚固体直径取150mm;

τ ——锚固体与土层之间的摩阻力(kPa)。

$\tau = K_0 \gamma h \tan\varphi + c$, φ 、 c 为土层的综合内摩擦角及粘聚力, $K_0 = 0.75$, h 为锚杆中点距地表距离。

非锚固段长度(见图3)。

$$L_1 = (H + y - h) \times \frac{\sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\sin\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} + \alpha\right)} \quad (8)$$

锚杆截面面积可按式求出

$$A_s = \frac{KT}{f_y} \quad (9)$$

式中 A_s ——钢筋或钢绞线的截面面积, mm^2 ;

f_y ——钢筋或钢绞线的抗拉强度, N/mm^2 ;

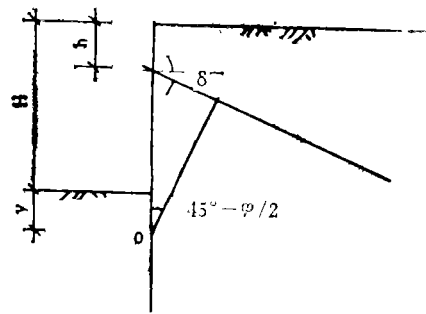


图3 非锚固段计算简图

T ——锚杆设计拉力 $T = R_a / \cos\alpha$;

K ——安全系数取1.5。

据此,本工程护坡桩计算结果如下:

-11.3m的基坑桩长12.10m,最大弯矩 $M_{\max} = 892.40 \text{ kN} \cdot \text{m}$,最大弯矩处配 $7\Phi 25 + 3\Phi 20$,其余位置配 $6\Phi 25 + 2\Phi 20$,锚杆拉力为370kN,长度为17.20m,倾角 15° ,采用3根1570级预应力钢绞线;-13.2m基坑桩长15.50m,最大弯矩 $M_{\max} = 1018.20 \text{ kN} \cdot \text{m}$,最大弯矩附近配 $8\Phi 25 + 3\Phi 20$,其余位置配 $7\Phi 25 + 2\Phi 20$,锚杆拉力为470kN,长度为21.70m,倾角 15° ,采用2根1860级预应力钢绞线。腰梁采用2[286槽钢。

(3) 土钉墙的设计

本设计计算模型采用内支撑挡墙结构模型,其土压力分布形式为Terzhiga和Peck建议的形式,见图4。

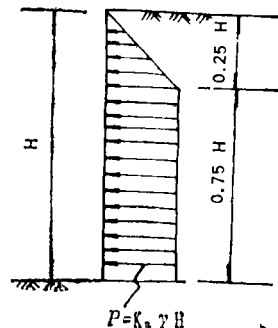


图4 土压力分布图

土钉墙受到的最大侧土压力为 $E = K_a \gamma h$,

$$K_a = 1 - \frac{4c}{\gamma h}$$

对本工程： $H=11.3\text{m}$ ， $\gamma=20\text{kN/m}^3$ ， $c=16.5\text{kPa}$ ，则 $E=160\text{kN/m}^2$ ，土钉平面布置按 1.2m (纵向) $\times 1.2\text{m}$ (横向)，则单根土钉所要承担拉力 $E_{\max}=1.2\times 1.2\times E=230\text{kN}$ ，按下式求出土钉的有效长度 L_0 。

$$L_0 = \frac{E_{\max} \cdot K}{\pi \cdot D \cdot \tau \cos \alpha} \quad (10)$$

式中 K ——安全系数，取1.2；

D ——土钉锚固体直径，取0.15；

τ ——锚固体与土层之间的摩阻力，

$\tau = \gamma h \tan \varphi + c$ 。（ c 、 φ 为土层的内摩擦角及粘聚力，参照表1取值， h 为计算点距地表距离）。

最后算得土钉长度为6.5m，土钉布置为 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ ，倾角为 10° ，土钉头与挂网相连，挂网为 $20\text{cm} \times 20\text{cm} \phi 6$ 焊制，面层厚 10cm ，为现场喷射豆石混凝土 C_{10} ，土钉拉杆为 $\phi 25$ 钢筋或预应力钢绞线，见图5。

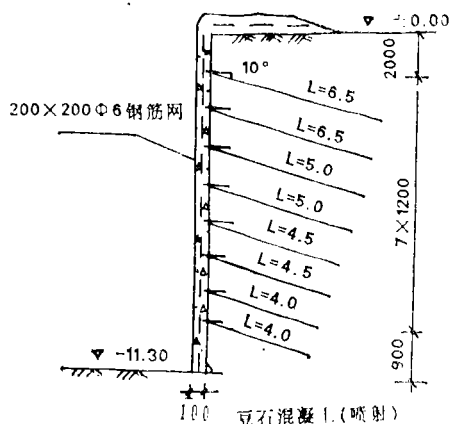


图5 土钉墙结构图

4 施工及检测效果

4.1 护坡桩施工

护坡桩施工起初采用正、反循环钻机成孔，水下导管灌注混凝土成桩，此方法施工进度慢，而且要排放大量泥浆，随着土方开挖不断推进，场地越来越狭窄。工期也越来越紧，后期施工全部改用长螺旋钻机成孔。

对长螺旋钻机干法试钻发现干钻无法成孔，在 $6\sim 8\text{m}$ 位置塌孔严重，最后决定用长螺旋压浆护壁成孔技术，获得了成功。其施工工艺流程是：（1）长螺旋钻机钻至设计深度后稍稍提起；（2）通过与螺旋钻机的螺旋杆连接的注浆管用压力泵把水泥从孔底压入，边压边提螺旋杆至高出塌孔位置约 1m 处停止提杆，这时再停留一段时间压浆，提出螺旋杆，钻机移到下一个孔位；（3）立即下放钢筋笼进行混凝土灌注。采用此法每天可成桩 $15\sim 18$ 根，效率高，场地干净，工期得到了保证。

4.2 锚杆施工

锚杆施工是在开挖第一步土后进行，采用液压螺旋锚杆钻机成孔，人工插入拉杆，最后高压注浆完成。锚杆通过的土层为粉质粘土夹粘土薄层。起初采用干法钻进，在钻进过程中发现，钻机进尺缓慢，孔内有地下水渗漏，且泥浆过厚，显然是降水效果差所致（降水施工为另一单位分包），这时我们意识到未用此法锚杆的抗拔力不能保证，随后向甲方提出了改用清水钻进施工方法，但甲方以工期紧和基坑不能积水为由，要求我们继续干法施工，为了保证工程质量，我们决定对先施工的锚杆（达到7天龄期）进行张拉试验，结果表明锚杆拉力很低，例如 117° 锚杆抗拔力只有 98kN ，而 120° 、 122° 则更低，抗拔力只有 32kN 和 40kN ，把这锚杆拔出后发现：孔壁及钢绞线周围均裹了一层厚厚的泥浆，从而降低了孔壁的侧摩阻力。在这种情况下，甲方同意了我们的意见，改为清水钻进，彻底清除孔内泥浆，同时我们还采取了提高注浆压力和多次高压注浆等措施，结果表明：采用此法施工的锚杆，其抗拔力均达到了设计要求。值得一提的是：在此之前，应甲方要求，还对增加钢绞线根数及锚杆长度进行了抗拔试验，结果锚杆的抗拔力提高不大。

（下转第5页）

处理至基础底面下 -5m 左右即可,所需的费用与前述桩基础(包括承台)相比较,可以减少50%以上。

5 术语

根据我国行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94),桩基(即桩基础)是由基桩和连接于桩顶的承台共同组成。所谓基桩,是指群桩基础中的单桩。

本文中的一切由柱形体(或与国际一致称为基桩)进行处理后的复合地基称之为“桩地基”,它与前述桩基础的含意不同之处,仅在于桩基础中的基桩是属于基础的一部分,而在桩地基中的基桩则与桩间土一起构成复合地基。如果在仅采用一根桩的情况下,则对桩基而言应称为单桩基础,而对复合地基而言,则应称为单桩地基。这里应当注意的是,不可将桩地基简称为桩基,因为桩基一词早已为一般人理解为桩基础了。另外,《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)中的复合基桩,是属于包含承台底阻力的基桩,但它考虑承台底土阻力时,与桩地基不同,一般值都很小,因此,不可将其理解为复合地基。

本文中的复合桩地基,是指同一地基或同一桩体上下部由不同的材料,不同的桩径与桩间土形成的桩地基。“复合”二字是用

来形容桩用的,说明是一种复合桩。

6 桩的临界长度

复合桩地基中的桩体是根据地基中原有土层的性质和处理要求设计的。当要求提高地基承载力时,则根据地基受力层深度内各土层的承载力标准值以及土层可能加密的情况而进行设计。故桩体的各段的用材和直径可能都不一样。如果是为了处理土层的不良性质,例如可液化性,则根据土层需挤密的程度和夯填料可掺入桩间土的数量进行设计。因此,整个桩体都是有效的。

在一般桩地基中,由于桩体从上而下都采用同一材料,同一桩径,例如碎石桩,在桩的顶部一段,由于承担的荷载比其下部大,如桩体材料的抗剪强度不高,再加以桩间土的侧压力不足,在桩体上部自然形成鼓胀。而在桩体中、下部,由于压力随深度的扩散等作用,桩体所受的荷载相对减少,而桩间土有所改善且由于深度增加,提供的侧限压力增大,就不致于产生鼓胀了。解决桩上部鼓胀的办法可有两方面,一是改善桩侧土,使其强度增加,提供足够的侧限压力。二是在桩上部采用与下部不同的材料或采用比下部更大的桩直径。这正是本文第一作者采用复合桩法来处理地基的独特之处,也就是对于复合桩地基,并不存在临界桩长问题。

(上接第9页)

4.3 检测情况

在塔吊附近及基坑长边的中部分别选择了两根桩,在桩的内侧埋设了土压力盒,基坑开挖过程对桩的受力进行了观测,通过把测量的土压力换算成该处的弯矩值,桩实际的弯矩值并未超过设计值,说明设计是合理的,根据经验而进行折减也是合理的。

基坑开挖和地下室施工正值雨季,日前该工程已建至地面,在此期间,基坑没有发生任何问题,附近居民建筑物没有受到任何影响。采用土钉墙处理的两边坡也安然无

恙,经受了雨季的考验。

5 结束语

(1) 在深基坑设计与施工中,由于目前还没有规范可循,根据具体条件适应借鉴地区经验显得尤为重要。

(2) 在有地下水或降水效果不好的情况下,处于非理想地层(如砂、卵石层)的土层锚杆的抗拔力不应当估计过高,单纯增加锚固长度及拉杆根数其效果并不理想,为了提高抗拔力,可采用清水钻进并配合高压二次注浆施工工艺。