长沙现代大厦复合土钉墙基坑支护方案设计

高林渊，张喜文
(华冠实业总公司，河北 三河 065201)

摘　要：分析了长沙现代大厦基坑的岩土工程条件及周边环境条件，在此基础上对几种基坑支护方案进行了分析论证，并对所采用的复合土钉墙支护方案进行了设计计算。

关键词：基坑支护；桩锚；土钉；复合土钉墙
中图分类号：TU473.2　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1672－7428(2004)08－0015－04

Project Design of Combined Soil Nail Supporting to Foundation Pits of Changsha Modern Mansion/*GAO Lin-yuan*, *ZHANG Xi-wen* (Huaguan Industrial Corporation, Sanhe Hebei 065201, China)

Abstract: The rock and soil conditions of and circumstances around the foundation pits of Changsha Moern Mansion were analyzed. Further several foundation pit supporting plans were analyzed and approached. Finally the adopted combined soil nail wall supporting plan was calculated and designed.

Key words: foundation pit supporting; pile anchor; soil nail; combined soil nail wall

1　工程概况

长沙市现代大厦位于两繁华路交汇处的西南角，由一栋 26 层的宾馆楼(高 110.9 m)和一栋 21 层的写字楼(高 94.7 m)和 7 层裙楼组成，设有 3 层地下室，地下室埋深 12.40 m。总建筑面积为 83445 m^2，其中地下室面积 21112 m^2。基坑周长约 370 m，坑底周长约 340 m，基坑支护面积 4458 m^2。各层地下室的形状和建筑面积均不相同。

根据招标文件和岩土工程初勘报告及两次赴现场踏勘，调查了解了周边环境条件、施工条件和现场钻探取样情况，然后进行初步方案分析，在确定初步方案的基础上，利用两套专业设计软件进行反复设计计算，并结合手算，进行方案比选，最后确定了“北向 MAB 段采用桩锚支护，其它各向各段采用土钉或土钉加土层锚杆的复合土钉墙支护方案”。根据本基坑的规模和周边环境条件，本基坑支护安全等级确定为Ⅰ类基坑，取重要性系数 $\gamma_0 = 1.1$。

2　场地岩土工程条件及周边环境条件分析

2.1　场地地形地貌

拟建现代大厦所在地场地地形平坦，地面标高约 45.00 m，地貌单元属于湘江二级阶地。

2.2　地层分布及岩土性质

根据勘察报告中 5 个钻孔揭露，场地内自上而下有以下岩土层：

①杂填土(Q_4^{ml})：上部主要为砼地面，下部以粘性土为主，饱和，含砖块、瓦片、灰渣等杂质占 20%～40%，粘性土为软塑状，该层全场分布，平均厚度 3.50 m 左右；

②淤泥质粉质粘土(Q_4^{b})：灰～灰黑色，饱和，软塑状，含少量有机质，该层仅见于 3 个钻孔，为薄层状，厚 0.40～2.0 m，层顶标高 40.40～43.85 m；

③粉质粘土(Q_2^{al})：上部为可塑状，下部为可塑～硬塑状，厚度 2.0～2.80 m，层底标高 39.0～40.0 m，该层工程性质较好；

④粘土(Q_2^{al})：顶部褐黄色，下部褐红色，硬塑～坚硬状，具网纹状结构，局部粉质粘土，全场分布，层厚 3.50～5.70 m，层底标高 34.4～35.0 m，说明该层层位稳定，且工程性质较好；

⑤砾砂(Q_2^{al})：褐黄色，湿，中密状态，级配较差，有粉细砂充填，泥质胶结，局部含粒径 60～80 mm 卵石，各孔均见该层，厚度 0.60～1.50 m；

⑥残积粉质粘土(Q^{el})：紫红色，硬塑～坚硬状态，为泥质粉砂岩风化残积产物，各孔均见，层厚 0.90～2.40 m，该层工程性质较好；

⑦强风化泥质粉砂岩(K)：紫红色，厚层状，泥质胶结，节理裂隙发育，层厚 2.30～16.40 m，层顶标高 31.10～32.85 m，局部夹中风化岩；

⑧中风化泥质粉砂岩(K)：紫红色，节理裂隙较发育，层厚约 10 m，层底标高 6～8 m，该层工程性质

收稿日期：2004－03－26

作者简介：高林渊(1968－)，女(汉族)，河北丰南人，华冠实业总公司河北中色华冠岩土工程勘察有限公司技术处主任、工程师，工业与民用建筑专业，从事岩土工程及勘察技术工作，北京东燕郊开发区京哈路北 45 号(065201)，(010)61597724，gaolinyuan@sina100.com。

万方数据

好,部分挡土桩下端嵌入该层。

2.3 地下水

场区内水文地质条件简单,上层滞水赋存于①层填土中,主要受大气降水和排污水补给,且水量有限。⑤层砾砂为强透水层,含少量孔隙水,且水量小。因为本场地无地下水径流,地层给水度小,因此基坑设计时可不考虑基坑止水或降水措施。

2.4 不良地质现象

对于基坑支护工程来说,本场地工程地质条件简单,涉及到的不良地质现象主要有以下 3 点:

(1)①层杂填土和②层淤泥质粉质粘土工程性质相近,坑壁稳定性差,两层合计平均厚度约为 4.5 m,是基坑支护时应特别注意处理的地层。

(2)⑥层残积粉质粘土及⑦层强风化泥质粉砂岩,遇水极易软化,基坑坑壁及坑底将会遇到⑥层和⑦层,长时间暴露或浸水软化,可能造成基坑失稳事故。因此,施工时应尽量减少暴露时间,及时排水和封闭暴露表面。

(3)工程所在地为老城区,支护工程施工时可能遇到古井、人防工程或条石等地下障碍物。

2.5 基坑特点及周边环境条件

(1)基坑深度大。拟建物有 3 层地下室,第 3 层地下室底板标高在⑤轴线以东为 -11.10 m,以西为 -11.60 m,暂按基础底板厚度 800 mm 计,则基坑深度达 -12.40 m。

(2)基坑面积大。地下一层建筑面积为 7935 m^2,加上施工空间,基坑面积达 8300 m^2,基坑周边长度达 370 余米。

(3)基坑平面及剖面形状复杂。平面为不等边多边形,有直线边,也有弧线边;剖面上有 2 ~ 3 级台阶,成为多级边坡。

(4)基坑四周环境复杂。四周不仅有道路,而且有多种地下管线及沉泥井、检修井或闸门井等,特别是北向临近大道,不仅行人车辆多,而且有多种地下管线干线,如上下水道、煤气管道、电力及通讯电缆等,西向和南向不仅有电力及通讯架空电缆,还有大量高低不等的房屋建筑,因此,基坑支护设计和施工时应特别注意以下几点:①严格控制基坑内外变形和位移,防止路面、房屋下沉或开裂;②避开地下管线,严防发生破坏事故;③施工不能妨碍周边道路的交通。

3 基坑支护方案分析论证

基坑支护有多种结构类型和多种施工方法,结合本基坑的特点和场地岩土条件及周边环境条件,本基坑支护工程可供选择的主要支护方案有以下几种。

3.1 桩锚支护结构

桩锚支护结构是由挡土桩、预应力锚杆和压顶梁构成。主要特点如下:

(1)桩锚支护结构适用于坑深 >8 m 的深基坑,嵌固深度、桩径、配筋率可大大减小,在深基坑中,桩锚支护成本低于悬臂式排桩结构。

(2)桩顶位移量大大减小,提高了基坑安全性。可根据周边环境的要求,增减锚杆的数量、长度、位置来有效地控制基坑围护结构变形位移量,而且在基坑开挖过程中,根据变形值的大小和发展趋势,可方便地调节施加于锚杆的预应力值,因而有利于信息化施工和变形控制。

(3)与悬臂式排桩结构一样,其本身不具备止水功能。因此,一般只适用于地下水位以上的基坑。当地下水位高于基坑底板时,则需要增设止水帷幕或采用基坑降水措施。

桩锚支护结构是当前我国基坑支护结构的主要形式之一,也是本基坑工程重点考虑选择的方案之一。特别是北向临近大道,变形控制要求严格,地下管线多,有的管线埋深可能达 2.5 m 以上,又因场内无地下水径流,地层给水度小,不必考虑采用止水或降水措施,更是本基坑支护结构的首选方案。

桩锚支护中的挡土桩有多种施工方法,如大口径钻冲孔钢筋混凝土灌注桩,人工挖孔钢筋混凝土灌注桩。因人工挖孔桩相对钻孔桩造价低 30% 左右,而且,人工挖孔施工无需大型设备,可在狭窄场地施工,施工噪声小,可多班组、多工作面同时施工,工期进度容易控制,占用基坑施工工期少;本场地无流砂层,地下水少,加之长沙地区人工挖孔桩技术水平较高,施工质量有保证。因此,本方案拟采用人工挖孔挡土桩。

相对来说,桩锚支护结构造价仍较高,经计算,本基坑若全部采用桩锚支护结构形式,其工程总造价约为 550 万元。

3.2 土钉墙支护结构

土钉墙结构由钢筋拉杆、注浆土钉体、钢筋网片和喷射混凝土面层以及原位土体共同构成。

3.2.1 土钉墙支护结构特点

(1)工程造价低。是目前各种基坑支护方法中造价最低的一种。

(2)适应地层范围广。土钉支护在长沙的最大

万方数据

深度达 18 m。

(3)便于信息化施工。因为土钉支护是边开挖、边支护、边进行基坑变形观测,可以根据已支护面的变形大小和发展趋势,及时灵活地调整下层土钉的长度、间距等设计参数,达到及时控制基坑变形的目的,有利于提高基坑的稳定性和安全性。

(4)施工方法简便,无须大型施工机械。特别适用于基坑狭长或场地狭小的基坑工程。

(5)支护施工占用工期少,可大大减少基坑工程施工工期,相对其它支护方法可缩短工期 1/3 以上。

由于土钉支护具有以上特点,而且长沙地区土钉支护结构设计和施工技术很成熟,工程实例多。因此土钉支护也是本方案设计首选方案之一。基坑东西南三向拟采用土钉支护。

3.2.2　选择土钉墙支护方案的原因

(1)根据现场调查和踏勘,基坑东西南三向地下管线较少,只有自来水管道和排污管道,而无电力和通讯电缆,而且上下水道非干线管道,一般自来水管道直径小,埋深浅,对土钉施工无影响。

(2)西向和南向的街道狭窄,人流较多,而且地下一层建筑物边线距用地控制线最小距离仅 1.6 m,根本无大型机械施工的空间。

(3)施工第一排土钉时,可能钻遇排污管道或沉泥井,为防止破坏排污管道,第一排土钉施工时,可采用人工洛阳铲成孔,当遇到管道和沉泥井,则容易感觉到而不易破坏,因而可采取变更孔位和土钉倾角等措施避让。这样返工量少,对工程的工期、造价影响甚小,而且在 -5.0 m 以浅为杂填土和淤泥质土,人工洛阳铲打孔速度甚至比机械施工更快,且费用低得多。

3.2.3　支护方案

土钉支护属于被动支护方式,一般相对于桩锚支护方式,基坑侧向变形较大,为了减小深度和边长均较大的基坑位移变形量,可采用土钉加预应力锚杆的复合土钉墙支护方式。因此,本设计方案拟在南向 HI 段和东向 BC 段采用复合土钉支护方式。东西南三向其它各段因地下建筑物边线不重合,在地下一层或地下二层处有台阶,台阶宽度 4.1 ~ 7.5 m,相当于分级放坡,其自身的稳定性高于单级坡,因此只需采用单一土钉支护即可,而且土钉排数相对减少,甚至在 E′ED′段 -9.00 m 以深可以不设土钉,以降低工程造价,因为其坡高只有 2.90 m,坡宽达到 8.4 ~ 18 m,且土质较好。

3.3　本基坑支护结构方案

经以上分析论证确定本基坑支护方案为:

北向 MAB 段为桩锚支护结构;

南向 HI 段和东向 BC 段为土钉加预应力锚杆的复合土钉支护结构;

其余各段为二级台阶放坡的土钉支护结构。

基坑支护示意图见图 1。

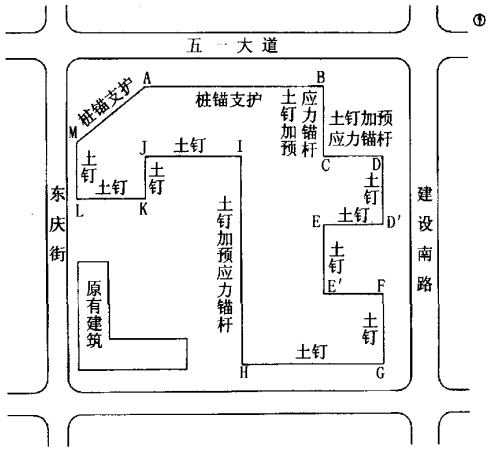

图 1　基坑支护示意图

4　支护结构设计

4.1　设计采用的岩土参数

鉴于长沙市勘测设计研究院提供的只是初勘报告,不仅钻孔数量少,而且土工试验样本数量少,达不到有关规范规定的最少试样数量,因此我们在采用岩土参数时,以初勘报告为基础,结合其它规范和我们以往经验进行选取。此外,由于钻孔数量少,无法按基坑边线绘制地层剖面图。因此,对各地层厚度作了简单的概化处理。根据业主的电传资料,将原报告中的①层杂填土和②层淤泥质粉质粘土合并为一层土来考虑。我们设计计算采用的岩土性能参数见表 1。

4.2　支护结构的荷载计算

根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120 - 99)等规范规定,荷载计算时,粘性土按水土合算,砂性土按水土分算的原则进行水土压力的计算。当支护结构位移变形有严格要求并且按库仑定律计算时,应对被动土压力系数进行修正,其修正方法是:被动土压力系数乘以 0.5 ~ 0.7 的系数。坑外地面建筑物荷载按叠加法计算。本设计中坑外坡肩的地面超载均按 q_0 = 20 kPa,距坑口边线 1.5 m(土钉)或 1.0 m(桩锚)计算。

4.3　支护结构设计计算及结构参数的确定

万方数据

表 1 岩土性能参数

土层序号	土层名称	土层厚度/m	重度/(kN·m^{-3})	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	砂浆体摩阻力 τ/kPa	土抗力 m 值/(MN·m^{-4})	岩 性
①	淤泥质杂填土	4.5	18	10	10	15	3.0	粘土含量高
②	粉质粘土	2.5	18.5	30	20	45	14.0	可塑~硬塑
③	粘土	5.0	18.5	35	22	50	15.0	硬塑~坚硬
④	砾砂	0.8	20	0	35	65	30.0	中密状
⑤	残积土	1.2	18.5	30	26	50	40.0	硬塑状
⑥	强风化岩	10.0	21	35	25	70	50.0	

4.3.1 桩锚支护结构

在确定桩径、桩心距、嵌固长度、锚杆孔径、锚杆道数等选择参数的前提下,计算挡土桩的最大正负弯矩、最大剪应力、配筋面积、锚杆抗拔力、锚杆长度、拉杆直径等参数。MAB 段桩锚结构参数如表 2。

应用程序计算时采用了极限平衡法和弹性抗力法(即 m 法)两种方法。综合两种计算结果,依据经验最后确定结构参数见表 3 和表 4。

表 2 MAB 段桩锚参数

桩径/m	桩心距/m	嵌固长度/m	锚杆排数	锚杆间距/m	锚杆孔径/m	锚杆倾角/(°)	预应力/kN
1.2	2.0	3.6	2	2.0	130	15	180

表 3 锚杆技术参数

锚杆道号	锚杆标高/m	轴力计算值/kN	承载力计算值/kN	锚杆材料	杆件直径/mm	杆件数量/根	自由段长度/m	锚固段长度/m	锚杆总长/m	备 注
1	-3.6	304.7	418.9	Ⅱ级钢筋	32	2	6	18	24	锚杆共 43 根
2	-8.0	229.6	315.7	Ⅱ级钢筋	28	2	4	14	18	锚杆共 43 根

表 4 挡土桩(人工挖孔桩)技术参数

混凝土强度等级	最大正弯矩/(kN·m)	最大负弯矩/(kN·m)	最大正弯矩点标高/m	最大负弯矩点标高/m	最大剪应力/kN	最大剪应力位置/m	纵向钢筋 直径/mm	纵向钢筋 根数	纵向钢筋 截面积/mm^2	箍筋 直径/mm	箍筋 间距/mm	抗滑稳定安全系数	桩顶最大位移/mm
C30	642.6	653.1	-10.7	-7.5	196.8	-3.6	25	25	12700	8	150	1.82	21.6

根据计算,最大正、负弯矩分别为 642.6 和 653.1 kN·m,最大剪应力为 196.8 kN,纵向钢筋计算面积为 11024 mm^2,实际配筋总截面积为 12756 mm^2,整体抗滑稳定安全系数 1.82,桩顶位移最大值 21.3 mm,基坑安全及变形量控制符合规范要求。

4.3.2 土钉支护结构

在确定土钉孔径、拉杆直径、坑底标高、放坡级数、各级坡高、放坡宽度等参数之后,确保局部稳定系数 $K_i > 1.2$,整体安全系数 $K > 1.4$ 的前提下,调整土钉纵横间距或土钉排数等参数,以最大限度地减少土钉排数或土钉长度,达到最优化设计目的。各坑段各级边坡均按 80°倾角放坡,拉杆均采用Ⅱ级 Ø25 mm 螺纹钢,土钉孔径 130 mm,采用人工或机械打孔,第一、二级坡高按地下一、二层板底标高加 0.4 m 板厚计算,地面标高按 -0.15 m 考虑。各坑段土钉支护结构参数见表 5。

表 5 各坑段土钉支护结构参数

段号	坑底标高/m	放坡级数	各级坡高/m	各级坡宽/m	土钉孔径/mm	纵向间距/m	横向间距/m	拉杆直径/mm	土钉排数	平均土钉长度/m	整体稳定系数 K 值
西向 ML 段	-12.4	3	8.85、0、3.40	1.6、4.1、0.6	130	1.5	1.5	25	8	10.9	1.40
南向 KJ 段	-12.4	3	4.35、0、7.90	1.0、7.5、1.2	130	1.3、1.5	1.3、1.5	25	8	8.4	1.45
南向 HI 段、BCD 段	-11.9	1	11.75	2.0	130	1.4	1.4	25	8	11.4	1.44
东向 GFE′、DD′段	-11.9	3	8.85、0、2.9	1.6、3.5~8.4、0.6	130	1.4	1.4	25	8	9.9	1.48
东向 E′ED′段	-11.9	2	8.85、2.90	8~18.6、0.6	130	1.4	1.4	25	6	10.33	1.44

4.3.3 基坑位移变形计算及其控制标准

基坑支护结构水平位移变形值控制,目前国内尚无统一标准,例如建设部规范《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-99)中就没有规定变形控制指标。广州市标准《建筑基坑支护技术规定》(GJB 02-98)中规定Ⅰ级基坑支护结构的最大水平位移不宜超过 2.5‰坑深或 30 mm,取两者之中较小值作为控制标准。本设计采用理正 F-SPW 基坑支护设计软件,按弹性支点法计算得桩顶的最大水平位移

(下转第 22 页)

万方数据

移开孔口,利于下部的处理工作。但钻头仍被砂子埋卡在 32.0 m 处。

2.2 清理钻头,保住桩孔

经现场技术人员研究,采用重型冲击钻来处理该孔钻头。考虑基于两点:如果能取上钻头,该孔便可顺利成桩。若取不上,则将钻头砸碎,继续冲击至设计孔深。

实际操作中,我们加工了一个内径 1.6 m、高 2.0 m、下部开成"马蹄口"(斜口)的角状冲击钻头。将该钻头冲击至 32.0 m(旋挖钻头底部)时,钻头四周松动,下入一个钢板割制的钩子至钻头顶面的两个空心孔中,其中一个能钩住即可直接把埋住的旋挖钻头从孔底捞上来。并用冲击钻顺利地打到孔底,既保证了该桥台孔的顺利成桩,又可把捞上的钻头修复再用,减小了经济损失。

3 经验教训及预防措施

3.1 旋挖钻进成孔机理不同于常规回转钻进

常规钻进中泥浆的功效主要是通过高压泥浆强制的动态携带钻屑,平衡地层压力,维护孔壁。而旋挖钻进泥浆在地表配制好,通过泥浆泵注入孔内,静态地平衡地层压力,携粉及护壁能力都较差。因此,泥浆的各项性能指标要求高于常规回转钻进泥浆,如果泥浆性能略为变差,就很容易在复杂地层导致埋钻事故的发生。在砂性为主的地层中尤其要注意泥浆的性能。水位较高时,还应考虑筑岛(保持钻机孔口距水位 2.0 m 以上),人为地加大压差及加大泥浆的密度。

3.2 严格交接班制度

各班在现场交接班时应把泥浆性能指标作为一个主要环节,泥浆不合格时严禁继续钻进。要有一套严格评判泥浆性能的手段,切实落实到各班(岗)。

尤其夜班交接班,灌注砼结束后返回的泥浆均要做测试。含砂量较高时,必须停止使用。重新换浆,配制符合要求的优质膨润土泥浆。

3.3 应注意配制泥浆的水质

河套地区地下水质是造成土地盐渍化的主要因素之一,当地百姓采用黄河水浇地,就是平抑地下水对土地盐渍化的浸蚀。因此应采用黄河中性水源配制泥浆,既节约费用,也提高了泥浆的质量。

3.4 旋挖钻机不易在双极限状态下工作

我们在施工中使用的 R-412 型旋挖钻机极限状态最大施工口径 1.50 m,深度 45 m 左右。在 3 号孔施工中,钻机基本上已处在孔径与孔深的双极限状态下,稍遇阻力,钻机的储备能力已用尽,很难再产生强拉力、强扭矩来控制钻头。这也是发现埋钻迹象时不能及时自救的原因之一。无论从钻机的安全性和工作寿命上来讲,都要求我们在今后的桩基施工中认真对待。

(上接第 18 页)

值为 15.3 mm,以此作为 MAB 段(北向基坑壁)的控制标准和警戒值。至于其它各向的土钉支护结构的水平位移量,因目前尚无很好的计算方法进行设计计算,只能依靠基坑施工中的监测和信息化施工来控制,其警戒值取 30 mm。

另外,坑外地面沉降量,因基坑外 9 m 范围内无建筑物,无需进行沉降计算,北向和东向距离主车道均在 10 m 以上。

4.4 基坑内部稳定性验算

基坑内部稳定性包括坑底抗隆起稳定性和管涌稳定性。本基坑底板以下为强风化和中风化泥质粉砂岩,为相对隔水地层,厚度达到 20 m 以上,且其下无承压含水层,不会有流砂管涌和基坑隆起发生。基坑开挖后,其底板将可能产生一定量的回弹。至于坑壁发生管涌的可能性也很小,因为本场地范围内无粉细砂地层,尽管有一层砾砂层,有粉细砂充填,但因其厚度小(0.6~1.5 m),又有粘土质胶结,即使有少量渗水,也不至于发生管涌,只需设置泄水孔即可。

5 结语

深基坑支护结构设计较为复杂,受多种因素影响,如地基土类别、地下水位的高低、土的物理力学性质、基坑周围环境等。深基坑支护结构设计方案的好坏直接影响到基坑工程的成败。所以设计应在尽量遵循建筑基坑支护相关规范规程的基础上,结合基坑工程的复杂性和综合性,对比参照多个规范,进行多种支护方案的技术经济分析论证,优化设计方案。支护结构选择合理,就能做到"安全、经济、可行",并从稳定、强度、变形三方面都能满足要求。基坑施工中设计和施工是完全相互依据、密不可分的,施工每一阶段,结构体系和外载均在变化,因此必须加强施工管理,并在施工过程中跟踪活动,对基坑周围地层位移和附近建筑物变形及受力情况进行监测。

万方数据