

技术讲座

深基坑工程技术讲座(4)

沈保汉

(北京市建筑工程研究院)

第四讲 一般粘性土地区常用支护结构类型

4.1 一般粘性土的特性

我国东北、华北地区及西北的大部分地区多属一般粘性土、粉土及砂土地区(以下简称一般粘性土地区),而且多数地区的地下水位较深。现以北京地区的地基土为代表,加以简单说明。

北京城区及近郊位于山前洪冲积平原上。旧城区及关厢一带杂填土一般厚度3~5m,淹废古河道处包括淤泥、沉积泥和洼地等杂填土,厚度有的超过10m,压缩性高,土层厚度分布不均匀,承载力较低,大部分有湿陷性。在旧城区及东、西、北郊一带相当大的平原地区内,杂填土以下是第四纪早全新世(Q_4)及其以前形成的洪冲积土层,即北京所称的第四纪老土,其土质较均匀,压缩性较低,强度较高,层次分布较有规律。

大部分地区在杂填土以下为粉质粘土和粉土组成的互层,厚度一般在3.4m至7.8m,局部地区有薄有厚,密实度一般为中下密~密实,硬度一般为较软~较硬。

在粘性土层下,即地表以下5.6m至10m左右处有一层由粉细砂至粗砂或砂卵石依次组成的砂类土层,其密实度大都是密实的,层面比较平整,厚度一般为2~10m或以上,工程性能好。

除上述的第四纪老土层外,还有一类第四纪晚全新世(Q_4)形成的洪冲积层,北京称为新近代土。主要分布在南郊一带以及西北郊个别地区,此外在郊区也有几片。此类土密度较低,强度较低,压缩性较高,层次分布规律也较凌乱。

近二十年来,北京旧城区内地下水位大幅

度下降,连同原西部水位较深地区,常年水位埋深都超过10m,东郊、南郊和北郊水位较高,埋深约2~4m。

粘性土颗粒细,矿物成份和颗粒结构复杂,具有一定的粘聚强度,且强度随含水量及应力历史等一系列因素而变化。由于粘性土的粘聚强度等因素,支护结构中实际的土压力往往小于按库伦—朗金理论计算的主压力值。在多数情况下,地下水位深,既不需要计算静水压力,也不需要采取防水或降水措施。因此,就挡土支护结构类型的选择及其受力状况的分析而言,一般粘性土地区与软土地区差别很大。现举例说明。深圳市国商大厦地下车库,处于软土地区,基坑深8m,采用 $\phi 800\text{mm}$ 悬臂式灌注桩,开挖后实测桩的钢筋应力 200MPa ,桩顶位移 90mm ;北京市北京医院急诊楼,地基主要土层为粉质粘土,基坑深8.4m,采用 $\phi 800\text{mm}$ 悬臂式灌注桩,开挖后实测桩的钢筋应力 27MPa ,桩顶位移 10mm 。

4.2 确定一般粘性土地区挡土支护结构类型的基本原则

(1)从总体上考虑,必须从基坑各部位的具体情况出发,根据基坑周边场地条件和地质条件接近或不同的情况,采用同一或多种挡土支护结构类型。

位于北京市北闹市口的中国工商银行营业大楼工程,基坑平面尺寸为 $135 \times 135\text{m}$,基坑深度 14.35m ,整个工程分两期。经方案比较确定在一、二期交界处采用插筋补强护坡,其余三面采用桩锚挡土支护结构。

(2)从场地条件考虑,如坑周场地较为开阔,则可采用上段放坡开挖,下段采用悬臂桩或

桩锚挡土支护结构;如坑周场地较为狭窄并且邻近又有重要建筑物需要保护时,则可采用地下连续墙加锚杆或支撑方案。

位于石家庄市的人防九二九工程,基坑深度-11.3m,自上而下的土层为粉土、粉砂和粉土,地表以下6m范围采取放坡开挖,下段采用d600mm悬臂式钢筋混凝土螺旋钻孔灌注桩,悬臂长度5.3m,入土锚固深度4.0m(图4.1)。

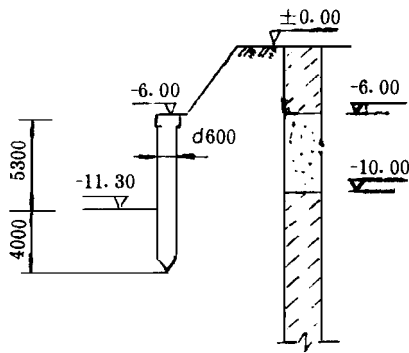


图 4.1 石家庄人防 929 工程基坑护坡

(3)从基坑开挖深度与范围考虑,开挖深度不大时,可采用悬臂式挡土支护结构、土钉墙或喷锚支护等结构;开挖深度较大时,可视情况采用挡土桩加单层锚杆或多层锚杆型式。

(4)从土层地质条件考虑,土质较好的情况可采用土钉或喷锚支护结构;土质较差的情况,则可采用桩锚结构或锚杆加地下连续墙等型式。

(5)从场地的地下水位考虑,如地下水位较低时,可采用土钉或喷锚支护结构及稀疏桩排挡土支护结构;如地下水位较高时,可采用支护桩+水泥土桩(旋喷桩,深层搅拌桩等)或地下连续墙等。

表 4.3 一般粘性土地基挡土支护结构类型选择表

表 4.1 列出了一般粘性土地基部分挡土支护结构可能选择的类型。

4.3 实例

表 4.2 列出了一般粘性土地基深基坑挡土支护结构实例。从表 4.2 中可以看出:

(1)因一般粘性土地区,其边坡土质较好,

且地下水位较低,可利用土拱作用,故排桩法支护成为这类地区最常用的挡土支护结构类型。所谓排桩法系指由呈队列式间隔布置(即稀疏桩排)的钢筋混凝土挖孔、钻孔、冲孔和压力注浆等灌注桩以及 H 型钢桩和工字钢桩组成的挡土结构;依其结构型式又可分为悬臂式和支锚(支撑、锚杆或水平拉杆)式支护结构;从布桩型式又可分为单排桩和双排桩(含刚架护坡桩)布置。

一般粘性土地基部分挡土支护结构类型选择表
表 4.1

支护型式	结 构 类 型	基坑深度(m)				
		< 6	6~ 10	10~ 15	15	
悬臂式支护	钢板桩或钢筋混凝土预制桩	√				
	H 型钢桩或工字钢桩	√				
	单排灌注桩	√	√			
	双排灌注桩	√	√			
	刚架桩	√	√			
	水泥土重力式挡墙	√	√			
	钢筋混凝土地下连续墙	√	√			
锚杆式支护	钢板桩		√			
	H 型钢桩或工字钢桩			√	√	
	单排灌注桩		√	√	√	
	双排灌注桩			√	√	
	钢筋混凝土地下连续墙			√	√	
内撑式支护	钢板桩		√			
	H 型钢桩或工字钢桩		√	√		
	单排灌注桩		√	√		
	双排灌注桩		√	√	√	
	水泥土重力式挡墙		√	√		
	钢筋混凝土地下连续墙		√	√	√	
水平拉结式支护	H 型钢桩或工字钢桩		√			
	单排灌注桩		√			
主动制约	土钉墙	√	√	√		
机制挡土	插筋补强	√	√			
支护结构	喷锚	√	√			
组合式支护	土钉墙- 悬臂桩			√		
	土钉墙- 锚杆- 支护桩			√	√	
	插筋补强- 悬臂桩			√		
	插筋补强- 锚杆- 支护桩			√	√	
自支护	逆作法	√	√	√	√	
	半逆作法	√	√	√	√	
	沉井	√	√			

注 1. 内撑式支护中的支撑数及锚杆式与组合式支护中的锚杆数,视不同情况由计算确定。

注 2. √表示“适用”,“可以使用”。

一般粘性土地基高层建筑深基坑挡土支护结构一览表

表 4.2

序号	工程名称	基坑深(m)	挡土支护施工做法
1	兆龙饭店	11.12	地表至- 6.2m 段放坡, 以下采用 d500 单排悬臂钻孔桩
2	石家庄人防 929 工程	11.30	地表至- 6.0m 段放坡, 以下采用 d600 单排悬臂钻孔桩
3	北京医院急诊楼	8.40	d800 单排悬臂挖孔桩
4	大兴高层综合楼	9.00	d800 单排悬臂挖孔桩, 局部范围在顶部水平拉结, 桩长 13.5m
5	中国银行北京分行	10.00	d800 单排悬臂挖孔桩
6	北京邮政通信枢纽	10.50	d800 单排悬臂挖孔桩
7	中国建研院主楼	10.50	d800 单排悬臂挖孔桩
8	国际艺苑假日皇冠饭店	10.30	d800 单排悬臂挖孔桩, 桩长 14.80m, 桩距 1.5m
9	太原唐槐商厦	12.50	d800 单排悬臂挖孔桩, 桩长 24.00m, 桩距 1.8m
10	长富宫大厦	14.33	d800 单排悬臂挖孔桩, 悬臂 9m, 桩长 13.6m, 桩顶以上 5.33m 放坡
11	全国总工会工人之家	11.50	d1000 单排悬臂挖孔桩, 地表至- 1.5m 段放坡, 桩距 1.5m
12	科技情报中心	7.00	d500 单排钻孔桩加单层锚杆(- 3.8m 处), 桩距 1.25m
13	友谊医院医技楼	10.00	d500 单排钻孔桩加单层锚杆(- 4.5m 处), 桩距 1m
14	隆福大厦	12.00	d500 单排钻孔桩加单层锚杆, 桩距 0.7m
15	国际信托公司大厦	13.50	d500 单排钻孔桩加单层锚杆(- 6.95m 处), 桩距 1m
16	北纬饭店	11.00	d600 单排钻孔桩加单层锚杆
17	沈阳中山大厦	13.00	d800 单排挖孔桩加单层锚杆(- 4.5m 处), 桩距 1.5m
18	金朗大酒店	13.50	d800 单排挖孔桩加单层锚杆
19	故宫地下构筑物	13.50	d800 单排挖孔桩加单层锚杆(在桩顶承台梁处), 桩距 1.5m
20	新桥饭店	14.00	d800 单排挖孔桩加单层锚杆
21	建华花园大厦	18.00	d800 单排钻孔桩加单层锚杆(- 8.0m 处), 桩距 1.6m
22	新华社主楼	19.60	d800 单排挖孔桩加单层锚杆, 桩距 1.6m, 上部采取放坡
23	华府大厦	13.40	d1000 单排挖孔桩加单层锚杆(局部两层), 桩距 1.6m
24	中环广场大厦	17.50	d1000 单排挖孔桩加单层锚杆(- 7.5m 处), 桩距 1.5m
25	中国人民银行金融大楼	13.80	d1300 单排挖孔桩加单层锚杆(- 7.0m 处), 桩距 1.8m
26	万方商城大厦	14.00	d600 单排钻孔桩加两层锚杆(承台梁及- 6.5m 处), 桩距 1.0m
27	东黎广场(A 型 B 型)	19.30	d600 单排钻孔桩加两层锚杆(- 5.9m 及- 11.9m 处), 桩距 1.1m
28	东黎广场(C 型, 距 18 层楼 30m)	19.30	d600 单排钻孔桩加三层锚杆(- 2.5m、- 8.3m 及- 14.3m 处), 桩距 1.1m
29	西直门消防中心	10.50	d600 单排钻孔桩加水平拉杆(桩顶处)
30	新世纪饭店	14.00	d800 单排挖孔桩加水平拉杆(桩顶处)
31	方庄小区芳城园 1 区 6 号楼	9.80	d600 双排悬臂钻孔桩, 入土深度 4.6m, 桩距 2m, 排距 1.2m, 梅花形布桩
32	安定门外华侨公寓	14.64	d600 双排悬臂钻孔桩, 桩顶以上 7m 放坡, 桩入土深度 5.56m 桩距 2m, 排距 1.2m
33	科技活动中心	10.50	d400 双排钻孔桩, 桩顶以上 1.8m 放坡, 桩入土深度 3m, 单层锚杆(- 5.8m 处)
34	新大都饭店	13.30	d400 梅花形双排钻孔桩, 大部单层锚杆, 局部两层锚杆
35	农贸中心大厦	15.10	d400 双排钻孔桩, 桩顶做双排宽连梁, 单层锚杆, 局部两层锚杆
36	糖业烟酒公司批发市场	3.84	d200 钻孔桩, 前桩长 6m, 后桩长 5m, 桩距 1m, 排距 1m
37	北京汽车摩托车制造厂	5.60	d300 钻孔桩, 前桩长 7.6m, 后桩长 6.6m, 桩距 2m, 排距 1m
38	北京服装学院教学楼	7.65	d400 钻孔桩, 前、后桩长均为 12.85m, 桩距 2m, 排距 1m
39	宣威大厦	12.63	d800 钻孔桩, 桩顶以上 2.6m 放坡, 前桩长 15.6m, 后桩长 14.1m, 桩距 4m, 排距 1.8m
40	左家庄综合办公大楼	12.20	H 型钢桩加单层锚杆
41	京城大厦	23.50	488H 型钢桩加三层锚杆(- 5m、- 12m、- 18m 处), 桩长 27m, 桩距 1.1m
42	渔阳饭店	11.60	H 型钢桩加水平拉杆(- 2m 处)
43	中国专利局	15.00	488H 型钢桩加水平拉杆
44	京西宾馆	11.00	56C 钢板桩加单层锚杆(- 2.4m 处), 桩长 0.93~ 1.2m
45	国际饭店	14.30	63 号工字钢桩, 间距 0.7m, 桩长 17m, 桩顶拉锚
46	王府井穆斯林贸易大厦	9.00	地下连续墙(600mm 厚), 单层锚杆, 墙入土深度 6.55m
47	王府饭店	16.00	地下连续墙(600mm 厚), 墙入土深度 4m, 4 层锚杆
48	京广中心	18.50	地下连续墙(600mm 厚), 墙入土深度 5m, 5 层锚杆
49	庄胜商业中心	14.80	土钉墙, 土钉长 10~ 13m, 共十层, 土钉纵横间距 1.5 × 1.5m
50	新亚华侨旅馆综合楼	15.20	土钉墙, 土钉长 10~ 13m, 土钉纵横间距 1.5 × 1.5m
51	北京教育中心科研楼	10.58	插筋补强, 插筋纵横间距(0.8~ 1.2) × (1~ 1.5)m, 共十层
52	中国工商银行营业大楼	14.35	插筋补强, 插筋纵横间距 1.1 × 1m, 共十二层

注 1. 除序号 2、9、17 外, 均为北京市深基坑工程。注 2. 序号 36~ 39 挡土支护结构为刚架护坡桩。

当基坑深度不大时,悬臂式支护结构由于施工简便,往往是首选方案,但其选用主要是根据基坑周边的土质条件和环境条件的复杂程度,对以单排布置的悬臂桩来说,其技术关键之一一是严格控制嵌入深度。根据北京地区的经验,悬臂式支护结构适用于基坑深度一般不超过10m的粘性土层及不超过8m的砂类土层;当超过上述深度时,则地表以下一定深度范围内需采取放坡措施(如序号为1、2、10和11的深基坑工程)。

模型试验和工程实测结果表明,在同样桩数的前提下,将悬臂式单排桩每隔一根移至后排形成悬臂式双排桩(含刚架护坡桩),由于双排桩的整体刚度大,加上前后排桩形成与土压力反向作用的力偶的原因,使双排桩的位移明显减小,同时桩的内力也有所下降,并变成交变应力。因此,从施工简便并在对基坑支护结构的位移有一定限制的要求下,悬臂式双排桩是一种很有应用价值的挡土支护结构类型。序号39、37和36的刚架护坡桩,基坑开挖后的最大位移分别为4mm、10mm和12mm。

当基坑深度较大(10m以上),并且邻近基坑边有建筑物或地下管线需要保护时,往往采用桩锚式挡土支护结构,其优缺点见本技术讲座(2)表2.2。根据北京地区的经验,采取一定的技术措施单层锚杆式支护的基坑深度可达16~18m,这样可以加快挖土进度。基坑深度大于15m,一般采用多层锚杆。

当基坑深度在10~15m之间,如果场地条件许可,也可采用水平拉结式支护(序号29、30工程)。内支撑排桩结构,由于挖土工作面不开阔,地下结构施工不方便等原因,目前在北京地区应用很少。但在特殊情况下(见本技术讲座(2)表2.2)则此类结构具有显著优点。

当地下水位较深或地下水位较浅但周边环境允许降水时,通常采用稀疏桩排,当地下水位较浅但周边环境不允许降水时,则需在相邻桩之间增设止水桩。

(2)地下连续墙支护集挡土、支护和防水于一体,有很多优点,但其显著缺点是工期长,造

价高,见本技术讲座(2)表2.2,所以业主对此常持谨慎态度。但如果基坑周围施工宽度狭小,邻近基坑边有重要建筑物或密集的地下管线需要保护时,则往往选用地下连续墙。北京地区的有些工程(序号46~48)以及地铁车站采用此种结构。

(3)土钉墙与插筋补强均为原位加固土技术,属主动制约机制挡土支护结构。土钉墙是系由注浆钢筋钉、带钢筋网的喷射混凝土面层、钉体与支护面层相连接的金属垫板等联结件和被加固的土体组合成的复合土体挡土支护结构,其优缺点见本技术讲座(2)表2.2。插筋补强是系由注浆钢筋(钉)、带金属丝网的水泥土面层、锚板和被加固的土体组合成的复合土体挡土支护结构。前者的挡土支护能力显然高于后者。北京地区土钉墙的基坑深度可达16~17m,插筋补强的基坑深度可达13~14m。需要注意的是,这些优势只有在一定条件下方能得以发挥,否则会有很大风险性。近二年多来,土钉墙技术在北京地区推广使用,并取得若干新进展。

(4)当单一支护结构型式难以满足工程安全或经济要求时,可考虑采用组合式支护结构,以充分发挥所选各结构单元的特长。北京新峰广场大厦基坑深度14.10m,采用插筋补强加锚杆加支护桩的组合式支护结构,见图4.2。北京远洋大厦基坑深度16.75m采用土钉墙(6.75m高)加锚杆加支护桩(护土高度10m)的组合式支护结构。

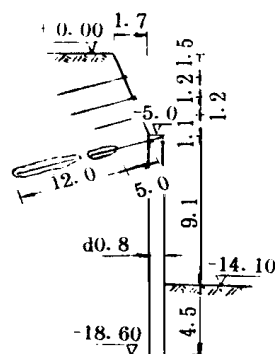


图4.2 新峰广场大厦深基坑工程

(下转44页)

年以上时间内仍保持稳定高真空的板式透明结构。他们在 23mm 间隔距离内使用了 0.35mm 直径的玻璃支承圆柱方阵,表面涂盖发射率为 0.07 的 $TiO_2-Al_2O_3-TiO_2$ 涂层,光学性质很好,测试所得综合热流率仅为 $0.6W/(m^2 \cdot K)$,预计今后投入实际使用的关键是降低生产成本。

5. 填气窗

在双层玻璃间充填导热率低于空气的气体,如氦、氖、氩等惰性气体,就会增加窗户的隔热性能。氦气的导热率比空气低 1/3,价格又较其他惰性气体低廉,充氦气的玻璃窗已上市销售。

6. 蜂窝窗

标准双层玻璃窗两层玻璃的间距约 10mm,如增加间距,气体导热热阻增加,但由于将引起空腔内的气体对流,传热量反而会增大。希望能找到一种导热率低、不会引起空气对流且又能透光的材料放置在两层玻璃的间隙内。具有高孔隙率的蜂窝材料满足了这种性能。70 年代初,德国 OKLalut 公司用小直径透明管轴向平行粘制的蜂窝状隔热窗已投入市场。1984 年,以色列 Arel 能量公司制成正方形聚碳酸酯蜂窝材料,130mm 厚的蜂窝材料隔热性能与 50mm 厚的玻璃纤维层相当,而可见光透过率可达 60%。

7. 气凝胶窗

气凝胶是直径仅几纳米的粒子以不规则的品格状态悬浮于空气层的多孔结构。孔隙率高达 90% 以上,而

空位直径又比空气对流胞小得多,因此就具有了高透光性,近似于空气的低导热率,又不产生空气自然对流的优良性能。日本名古屋工业技术试验所 1991 年制成硅气凝胶,9.5mm 厚的试样太阳光透过率为 87%,导热率低于 $0.04W/(m \cdot K)$ 。其缺点是易碎裂,且吸水率高,吸收空气中的水分后,隔热性能明显下降。目前瑞典 Airlas 公司生产的硅气凝胶已上市销售,其大小为 $60cm \times 60cm$,两面覆玻璃板,端面完全密封,内部抽真空,但成本太高,难以普及。BASF 公司生产了低成本的直径为几毫米的气凝胶小球,装置于双层玻璃内能做成窗户,但透明性较差。因此,气凝胶窗技术尚待完善和发展。

8. 动力窗

瑞士洛桑技术研究院最近研制成功一种薄膜式的透明太阳电池。它由具有光电效应的光敏物质膜、吸收电子的二氧化钛薄膜和可向外部电路传输电流的氧化锡薄膜组成,放置于双层玻璃窗内,并在薄膜空气充填碘基电介质。由于薄膜都很薄,能透光。这种窗户可以将入射太阳能的 10% 转换成电能,故称动力窗,其隔热性能也优于普通窗。

参考文献

- 1 エネルギー资源 Vol1 12,NO. 3(1991),11~ 16
- 2 Sun World Vol 15,NO. 2(1991)
- 3 Solar Energy Vol 48,NO. 4(1992) 227~ 230
- 4 黄志成等. 太阳能. 1996(1) 11~ 12

(上接 52 页)

(5) 近年来,一些深基坑工程还降低了桩顶标高,在桩顶圈梁上砌筑 2~ 8m 高的挡土墙,一般砌 370mm 厚砖墙,其中设置钢筋混凝土框架柱梁,以减少锚杆层数,并作基坑挡水用。建华花园工程(序号 18),基坑深度 18m,桩顶圈梁设置在 - 8.0m 处,其上 8m 范围为多层钢筋混凝土框架加砖墙(370mm 厚),锚杆设在圈梁处。

(6) 自支护结构体系是近十年来发展起来的方法,主要利用各层地下室楼盖作为护坡桩的水平内支撑杆系,使反向土压力相互抵消,当两个侧墙处土压力大小不平衡时,可借助于桩外产生被动土压力使之平衡,从而改善了护坡桩的受力条件,使之能支护较深的基坑;如果利用桩墙结合的方法,使护坡桩成为永久性侧墙的一部分,则可较大幅度降低造价。例如,沈阳华美科技大厦(基坑深 9.8m)、抚顺饮食服务公

司大厦(基坑深 9.0m)采用逆作法施工,北京华侨公寓地下车库(基坑深 7.8~ 11.3m)采用桩墙合一半逆作法施工,均取得了显著的技术经济效益。

首都国际机场新航站楼和东环广场工程 列为全国第二批示范工程

【本刊讯】为将 10 项新技术推广应用工作落到实处,建设部日前公布了第二批“全国建筑业新技术应用示范工程”名单,并宣布了奖励办法。

第二批示范工程有 40 项。建设部要求有关施工单位要采取有效措施,认真落实全国示范工程新技术应用的实施计划,强化管理,建成质量优、效益好、施工进度快的样板工程。这批工程一旦通过验收,将获得建设部“全国建筑业新技术应用示范工程”称号及奖牌。所获奖牌将作为审定或调整建筑施工企业资质时的主要业绩。这批示范工程是:北京的首都国际机场新航站楼、东环广场;天津的金钢桥改建工程、泰达大厦;上海的八万人体育场、金茂大厦、南北高架六标段、森茂国际大厦。