

# 深基坑多工艺联合支护的设计与施工

王国庆

(江苏地质基桩工程公司 苏州办事处, 江苏 苏州 215004)



**摘要:**苏州是典型的软土地区,深基坑支护难度较大。粤海广场工程开挖深度深,支护面积大,周边环境复杂,为此,采用放坡、土钉墙及悬臂、锚拉、支撑式挡土排桩支护和高压旋喷止水、轻型井点降水等多种工艺联合支护。介绍了多工艺联合支护的设计和施工情况。

**关键词:**基坑工程;多工艺联合支护;支护结构;放坡;土钉墙;钻孔灌注桩;高压旋喷桩;轻型井点降水

**中图分类号:**TU46+3 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-3746(2001)03-0011-03

## 1 工程概况

苏州粤海广场 4 号地块为一商场、酒楼综合性大厦,是组团式粤海广场的主体建筑物,设计地上 7 层,地下 1 层(局部 1 层半),钢筋砼框架结构,基础采用静压预制桩,基础埋深 -6.20 ~ -8.20 m,3 个电梯井埋深达 -8.80 ~ -10.20 m,基坑平面呈“L”型,东西长 124 m,南北宽 89 m,面积达 9200 m<sup>2</sup>。其开挖深度、支护面积在苏州古城区较为少见。

## 2 工程地质与水文地质条件

场地位于长江三角洲南缘冲湖积平原,上部土层具有填土层厚、富含淤泥质粘土的特点,工程性能差,属典型的软土

地区。在基坑支护桩埋深范围内,自上而下地层为:①杂填土,以碎砖瓦、房渣土为主,局部夹淤泥质填土,结构松散,厚 1.0 ~ 2.6 m;②素填土,软~流塑状,不均匀,厚 0.5 ~ 2.7 m;③a 淤泥质粘土,软~流塑状,夹粉质粘土,底部夹泥炭薄层,厚 2.7 ~ 3.1 m;③粘土,硬~可塑状,局部起伏大,厚 2.2 ~ 3.9 m;④粉质粘土,可塑~软塑状,下部夹粉土,厚 1.2 ~ 2.0 m;⑤粉土,软~流塑状,下部夹粉砂,厚 0.6 ~ 2.5 m;⑥粉砂,稍密~中密,厚 9.0 ~ 11.9 m。各土层的物理、力学性能指标见表 1。

场地地下水主要为上部填土层内的上层滞水及下部粉土、粉砂层内的微承压水,水位深度 0.92 ~ 2.30 m。

表 1 各土层物理、力学性能指标

土层代号	土层名称	含水量 ω/%	重度 γ/(kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙比 e	塑性指数 I <sub>p</sub>	液性指数 I <sub>L</sub>	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	压缩系数 a <sub>1-2</sub> /MPa <sup>-1</sup>	压缩模量 E <sub>s</sub> /MPa	渗透系数 K/(cm·s <sup>-1</sup> )
②	素填土	31.4	18.3	0.960	16.8	0.65			0.4	4.9	1.05 × 10 <sup>-6</sup>
③a	淤泥质粘土				20.2						
③	粘土	27.4	19.6	0.787	19.5	0.28	4.1	10.8	0.27	6.68	7.5 × 10 <sup>-7</sup>
④	粉质粘土	30.2	18.9	0.874	13.4	0.70	31	11.1	0.30	6.28	2.1 × 10 <sup>-4</sup>
⑤	粉土	33.0	18.8	0.903	9.8	1.20	9	21.4	0.25	7.79	1.1 × 10 <sup>-4</sup>
⑥	粉砂	31.3	18.8	0.884	9.7	0.81	11	18.7	0.16	11.05	2.3 × 10 <sup>-4</sup>

## 3 周边环境

工程地处繁华的苏州古城区中心,基坑平面布置如图 1 所示,东侧及西侧北段为待开发的空地,东侧距基坑边约 2 m 有 3 根万伏高压电线杆、变压器;南侧为华联商厦、广州食品商厦、电脑房,西侧南段以平安坊为界与协和商厦为邻;北侧为乔司空巷,乔司空巷靠基坑一侧距坑边约 1.5 m 有 2 根高压电线杆,中心线两侧排有雨水、污水管道。华联、广州、协和商厦均为框架砼结构,设有 1 层地下室,并有围护桩。电脑房为 3 层简易结构,为浅基础型式。

北低,北侧地面标高 -0.40 m,南侧 +0.60 m 左右。业主要求基坑支护须重点保护周边建筑物、高压电线杆的安全,保证乔司空巷道路畅通,并为地下基础施工提供良好的干作业环境。北侧乔司空巷考虑大型车辆(砼运输车)通行,附加荷载取 20 kN/m<sup>2</sup>,东西两侧土建单位堆放物料,附加荷载取 15 kN/m<sup>2</sup>。根据“安全可靠,技术先进,经济合理”的设计原则,设计方案经过多次论证、修改,确定采用“放坡 + 土钉墙 + 排桩挡土 + 坑内管井、轻型井点降水 + 高压旋喷止水”多工艺联合支护方案。基坑支护平面布置见图 1。

## 4 支护结构设计

### 4.1 方案选型

工程 ±0.000 相当于黄海高程 +4.20 m,场地地势南高

### 4.2 放坡支护设计(AB,EF 段)

东侧 AB 段、西侧 EF 段两边具备放坡条件,采用 1:1 放坡支护,中间设置 1.0 m 宽过渡平台。为防止下雨对坡面冲刷,坡面挂 1 目钢丝网、喷 50 mm 厚细石砼。

收稿日期:1999-11-02; 改回日期:2001-03-12

作者简介:王国庆(1964-),男(汉族),江苏武进人,江苏地质基桩工程公司高级工程师,地质专业,从事软基处理、基坑支护、桩基础施工工作,江苏省苏州市桐泾北路彩香新村五区 6 幢 101 室,(0512)8620517。

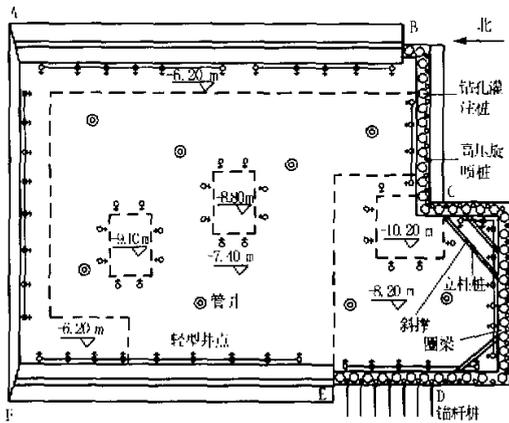


图1 基坑支护平面布置示意图

4.3 土钉墙支护设计(AF段)

北侧乔司空巷AF段1:0.3放坡,坡面喷80mm厚细石砼面层,土钉呈梅花型布设,间距 $S_x \times S_y = 1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$ ,土钉孔径100mm,锚筋1Φ18,倾角15°,网片Φ6.5@200×200。共布设3排土钉,标高分别为-1.0、-2.5、-4.0m,土钉长5.0m。土钉与土钉间设1Φ18(通长)加强筋连接。土钉墙支护见图2。

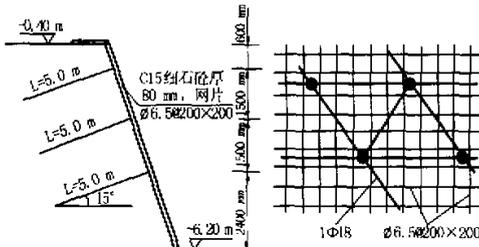


图2 北侧土钉墙支护示意图

4.4 排桩支护及止水帷幕设计

4.4.1 悬臂式排桩支护(BC段)

上部1:1放坡至-3.40m,坡面挂网喷砼护坡。下部为钻孔灌注桩,桩径700mm,桩中心距0.90m,桩间净距0.20m。桩顶标高-3.40m,桩长12.0m,主筋4Φ25+4Φ20,C25砼。桩顶设400mm厚、800mm宽桩顶连梁,梁内配筋6Φ20+2Φ16。电梯井开挖段桩径800mm,桩长17.0m,主筋6Φ25+4Φ20。

4.4.2 斜角支撑排桩支护(CD段)

桩径700mm,桩长15.0m,桩顶标高-2.40,主筋8Φ18,C25砼,桩顶连梁与腰梁合二为一,为一倒卧“L”型(见图3),厚400mm(600mm),宽1000mm,主筋9Φ25+4Φ25+5Φ16。拐折段设钢筋砼水平斜角支撑3根,长12.0、24.0m,截面500mm×600mm,主筋8Φ20+2Φ18,C30砼。在24.0m长斜角撑中间设一根Φ700mm立柱桩。

4.4.3 锚拉式排桩支护(DE段)

桩径700mm,桩长14.0m,桩顶标高-3.40m,主筋8Φ18。在-3.90m处设一层锚杆桩,间距0.90m。锚杆桩

径150mm,长13.20m,其中自由段3.8m,锚固段9.4m,锚筋1Φ32,倾角20°。采用水灰比为0.4的水泥砂浆,一次注浆压力2~3MPa,在终凝前进行二次压浆,压力3~5MPa,用2[25C槽钢作围檩(腰梁),要求锚杆预紧力80kN。锚杆设计抗拔力150kN,共布设锚杆31根。支护剖面见图4。

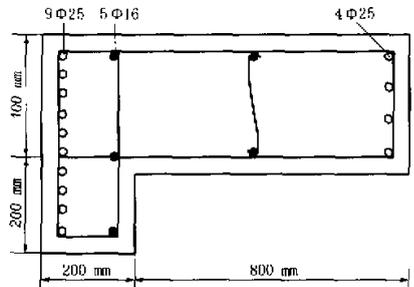


图3 腰梁(连梁)示意图

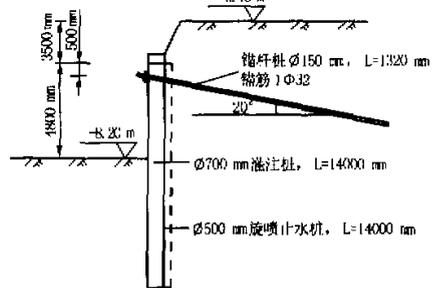


图4 西侧锚拉支护剖面

4.4.4 止水帷幕设计

在钻孔灌注桩间布设高压旋喷桩,与钻孔桩相交组成连续的止水帷幕。旋喷桩桩径500mm,桩长11.0m(BC段)、14.0m(CE段),旋喷压力>20MPa,注浆压力2~3MPa。浆材采用425普通硅酸盐水泥,水灰比0.6。

4.4.5 北侧高压电线杆保护

由于土钉墙支护位移动变形较大,2根高压电线杆距基坑边距离很小,为了确保高压电线杆万无一失,对其进行重点保护。电线杆四周先注浆加固填土层,注浆孔深3.5m。每根电线杆近基坑一侧,设近半圆形分布的钻孔灌注桩5根,圆半径R=1.0m,灌注桩桩径600mm,桩长14.0m,主筋10Φ20。桩顶设300mm厚C30砼整板。

4.5 轻型井点降水设计

井点管间距1.2m,井管滤头埋深-11.0m,井底总管沿坑底环形布设,井管平台设在-4.0m处。鉴于基坑面积较大,中间漏斗半径损失大,在3个电梯井四周布设二级轻型井点系统,井点管滤头埋深-14.0m,每50m左右设井点系统一套。共设一级井点系统8套,二级井点系统3套。

4.6 管井降水设计

在基坑内设降水井8口,井径700mm,井深12.0m,井口标高-1.4m,井管Φ400mm,用12Φ20钢筋制作成钢筋笼,外包80目双层尼龙网制成。管外填料为“绿豆砂”。设计单井日出水量180t。

## 5 支护结构施工

### 5.1 施工顺序(见图5)

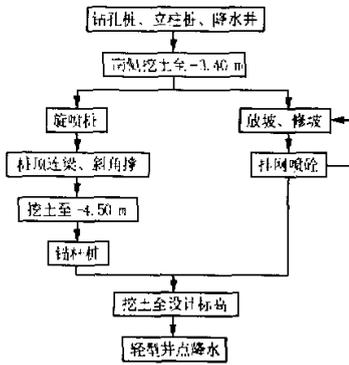


图5 施工流程图

### 5.2 钻孔灌注桩施工

根据场地土层特点,选用无泥浆污染的旋挖钻机成孔。按钻孔灌注桩一般规范,必须隔桩跳打。但支护桩桩间净距仅0.20 m,而上部地层结构松散,孔壁稳定性差,常发生扩径、塌孔,造成后面夹桩施工困难。为此,在施工中大胆采用逐桩连续施工方法,为防止施工时对邻桩的扰动破坏,采取邻桩灌砼结束后待停4~6 h,砼初凝后再施工下一根桩的措施,较好地解决了上述问题。

### 5.3 高压旋喷桩施工

为了保证旋喷桩与灌注桩相交割,组成完整封闭的地下连续止水帷幕,在支护桩间准确定位和保证钻机就位的垂直度偏差是施工关键。在旋喷成桩后8 h,应进行二次补浆,以补偿水泥浆液凝固时的收缩效应。

### 5.4 放坡与土钉墙施工

东西两侧放坡分2次进行。第一次挖至-3.0 m平台处,人工修坡后挂网喷砼。第二次挖至设计标高,修坡挂网喷砼。

北侧土钉墙分层分段施工。第一次挖土至-1.5 m处,施工第一层土钉。施工中由于上部填土松散,成孔性差,改用摩擦锚管方案,锚管采用直径50 mm、壁厚3 mm的钢管,长度不变,在钢管上预留梅花型洞眼,用空压机将钢管击入土,然后注浆,面层挂 $\phi 6.5@200$ 双向钢筋网片,喷射C15细石砼。第二次挖土至-3.0 m,第三次挖土至-4.5 m,第四次挖土至设计标高,重复上述工序,土钉与土钉间用 $1\phi 18$ 钢筋“W”型加强连接,土钉墙施工结束。

### 5.5 轻型井点降水施工

在基坑挖至设计标高及承台挖土前,施工轻型井点,井点成孔采用水冲法,下入井管后,四周填入干净砂料,上段0.5 m用粘土填实。50 m为一台套,连接总管,安装抽水设备。抽水采用射流泵轻型井点系统,运行中应保证真空度 $\leq 60$  kPa。发现漏气、漏水等,及时采取措施,保证降水效果。

### 5.6 变形监测及应急处理

基坑开挖前,在周邻重要建(构)筑物上设沉降观测点,在支护桩顶按20 m左右间隔设置位移观测点,在基坑开挖及地下室施工中进行位移、沉降监测。在南侧靠华联大厦

一侧,挖土至约-5.6 m粉质粘土层时,坑内距坑壁2~3 m处出现了2个涌砂点,应急堵漏后,在其它地方又出现了新的涌砂点,位移监测显示该段支护桩桩顶位移速率增大,最大达20 mm/天。涌砂原因是粉质粘土层中粉土、粉砂夹层与下卧粉土层相遇所致。涌砂后,坑内被动土体受到破坏,被动土压力减小,且桩墙外侧有大块土堆,附加荷载较大,导致桩墙位移速率加快。根据上述分析,及时实施轻型井点降水,并对桩墙外土堆卸载。降水后1天位移即稳定。

其余桩墙段位移最大32 mm,邻近建筑物、高压电线杆沉降最大8 mm,满足建(构)筑物安全要求,基坑支护效果是好的。

### 5.7 边坡失稳及加固处理

(1)东侧放坡支护完成后,由于土建施工单位需建塔吊基础,在中段坡面上垂直开挖,直立面深约5.0 m,宽约4.5 m,且未采取任何支挡措施,造成中段塌方,并向两侧蔓延,造成东侧坡面整体失稳滑移。边坡失稳的原因除直立开挖外,还有以下几个原因:①坡面超载,在直立坡附近堆有塔吊机械,增加了地面集中荷载。②边坡外侧原来是一条古河道,地层条件较差,坡面粘土层仅是一个薄壳,该河道因工勘点未达基坑外一定范围而未发现。③气候因素,中段垂直开挖后不久,下了一场中雨,雨水渗入地下后,引起土体侧压力增加,加速了坡面的滑移失稳。④中段垂直开挖,将面层破坏,导致东侧坡面整体性受到破坏。

(2)坡面失稳后,本着力保高压电线杆、变压器的安全,利于土建基础施工的原则,对坡面进行加固处理:①在电线杆、变压器周围0.8 m范围内各布5个注浆钢管桩,管长6.0 m,以加固电线杆周围土体。②清理坡脚松土,在坡脚打一排钢管( $\phi 50$  mm $\times$ 3 mm),长2.0 m,间距0.5 m,击入坑底1.5 m,并注浆,以加固坑底土体,增强抗滑性能。③钢管外侧阶梯状堆放土袋,高2.0 m。④土袋至自然地面,人工修整坡面后挂网喷砼。⑤在高压电线杆5 m宽范围,在-1.5 m处按1.0 m间距布一排 $\phi 50$  mm $\times$ 3 mm钢管土钉,长8.0 m。

坡面经加固后,达到了预期效果。

## 6 体会与建议

(1)本工程基坑支护面积大,开挖深度深,土层条件差,周邻环境复杂,根据不同挖深及周邻不同环境,采用多种支护工艺,方案安全可靠,较为经济合理,工程总造价仅128万元,其社会经济效益十分显著。

(2)苏州古城有“东方威尼斯”之誉,古河道发育,地质条件差,对一些大型深基坑工程,工程地质勘察布孔应对外围也有一定延伸。

(3)土方开挖也是基坑工程的一个组成部分,目前相当一部分工程基坑支护一般由专业公司施工,而土方工程通常由土建总包施工,从利于基坑工程的统筹协调角度,土方工程由基坑支护专业公司总包较为合理、科学。

(4)信息化施工是基坑工程发展的一个方向,今后应加强这方面工作。

致谢:本工程是集体的结晶,方案设计是在江丕光教授级高级工程师具体指导下完成的,参加方案设计的还有顾万才、郑国珍、王中夫等同志,在此一并致谢。