

# 西安某住宅项目地基基础方案分析

陶雅

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010)

**摘要:**地基基础承受上部结构传来的荷载,地质勘察、地基处理和基础设计和施工质量对整个建筑的安全至关重要。以西安某住宅项目为例,探讨在湿陷性黄土复杂地质条件下地基基础方案选型要点,为其他类似湿陷性黄土地区地基基础方案提供一定参考。从地质勘察报告综合勘察、结构类型、结构荷载等方面入手对建筑物的基础形式进行分析,最终确定基坑开挖采用土钉墙支护,项目纯地下室区域与幼儿园单体直接采用黄土层为持力层,高层建筑区域采用素土挤密桩加素混凝土桩(CFG桩)的复合地基。

**关键词:**地基基础选型;综合勘察;挤密桩法;复合地基

**中图分类号:**TU444

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2023)48-0172-03

## 0 引言

地基基础承担上部结构传来的荷载,承担着整个建筑的安全,地基基础的选型对整个建筑的安全至关重要<sup>[1]</sup>。浅基础在高层建筑的造价一般占建筑造价的15%~20%<sup>[2]</sup>,而深基础在高层建筑的工程造价占比20%~30%。合理的基础方案保证地基基础的安全性和工程造价的经济性,尤其特殊性土,如湿陷性黄土、膨胀土、季节性冻土、软土等。湿陷性黄土主要分布在黑龙江、吉林、内蒙古、山西、陕西、甘肃、宁夏、青海等地,地基湿陷会带来基础沉降的危害,故在湿陷性黄土地区进行基础设计时,需选择适宜的地基处理方法来减少或消除地基的湿陷。

杨校辉等<sup>[3]</sup>在厚度大于36.5m的湿陷性黄土场地进行不同深度的挤密桩处理地基深层浸水载荷试验,不同深度的孔内深层强夯处理地基载荷浸水试验,不打注水孔、埋设TDR水分计的原位浸水试验,从而使得湿陷性黄土地区在处于大厚度自重状态下地基处理深度和湿陷性评价等难题得到解决。余东<sup>[4]</sup>在实际案例中针对银昆高速湿陷性黄土填方路基和挖方路基采取了相应的路基处理方案并进行了路基处理效果分析。韩炎<sup>[5]</sup>结合实际案例,说明了灰土换填的施工原理,并分析与探讨灰土换填处理湿陷性黄土路基施工工艺。张裕平<sup>[6]</sup>结合工程案例,从经济、技术上比选出最佳的处理方案。

在前人研究的基础上,本文以湿陷性黄土复杂地质条件下西安某住宅项目为例,探讨在湿陷性黄土复杂地质条件下地基基础方案选型建议,为类似湿陷性黄土下的其他住宅项目地基基础方案提供一定的参考。

## 1 工程项目概况

拟建的住宅小区项目位于西北某省,拟建项目包

括16栋塔楼及其下部单层地下室、一独立幼儿园,各塔楼均采用剪力墙结构,总高度介于46.6~58m。塔楼范围以外地下室采用框架结构,单层地下室总高度4.2m。

## 2 工程地质概况

### 2.1 地形地貌

拟建场地位于西北某省,场地地形平坦,地面高程介于447.87~449.22m,最大高差1.35m。场地地貌单元为渭北黄土台塬。

### 2.2 地层分布

根据本项目勘探结果,场地地层由人工填土,第四纪晚、中更新世风积黄土和残积古土壤组成。现按层序分述如下:①耕土 $Q_4^{pl}$ :黄褐色,土质结构疏松、杂乱,含植物根系较多。该层层底深度0.3~0.5m,平均层厚为0.36m。②黄土 $Q_3^{ol}$ :褐黄色,土质较为均匀,大孔隙发育,含云母、蜗牛壳及少量氧化铁等。坚硬~硬塑,具中等~强烈湿陷性和自重湿陷性,属中~高压缩性土。该层层底深度9.6~13.5m,平均层厚为10.79m。③古土壤 $Q_3^{el}$ :棕红色,土质较均匀,可见大孔隙,成块状结构,氧化铁及钙质结核少量,钙质结核在底部局部相对富集。硬塑,具轻微~中等湿陷性和自重湿陷性,属中压缩性土。该层层底深度12.2~15.5m,平均层厚为2.79m。④<sub>1</sub>和④黄土 $Q_2^{ol}$ 为褐黄色,土质较均匀,可见针状孔隙发育,偶见钙质结核,含少量氧化铁及黑色铁、锰质斑点。硬塑~可塑或可塑~软塑(水位附近软塑)。属中压缩性土。地下水位主要位于该层顶部。⑤古土壤 $Q_2^{el}$ 为棕红色,土质较均匀,可见针状孔隙,成块状结构,有氧化铁及钙质结核少量,钙质结核含量在底部增多。可塑,属中压缩性土。⑥~⑩地层为黄土和古土壤互层。

### 2.3 地下水

本项目地下水为潜水类型,水位位于④黄土层顶

部。以地下径流和大气降水补给为主,并通过地下径流和自然蒸发排泄。勘察期间属平水期,水位埋深介于15.00~16.90m,水位标高介于436.41~439.00m。根据已有地勘资料,本项目地下水位年变化幅度为1~2m。

### 3 项目地勘地基基础方案建议

拟建场地分布的②黄土、③古土壤和④<sub>1</sub>黄土均具湿陷性和自重湿陷性。据探井土样的室内土工试验结果,拟建场地湿陷性和自重湿陷性黄土的下限分布深度为13.20~16.00m。按《湿陷性黄土地区建筑标准》计算的自重湿陷量为 $\Delta z_s=221\sim 346\text{mm}$ ,判定本项目场地属自重湿陷性黄土区域,地基湿陷等级为II(中等)级。部分建筑物不能直接采用天然地基方案,必须进行地基处理。

根据《湿陷性黄土地区建筑标准》3.0.1条应将项目中的高层建筑划分为乙类建筑,对于自重湿陷性黄土地基处理厚度不应小于湿陷性土层厚度的2/3,且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于150mm。勘察报告建议高层住宅楼可先采用素土挤密桩法预处理地基,然后再采用桩基础或素混凝土桩(CFG桩)方案。素土挤密桩处理深度应至④<sub>1</sub>黄土层中上部,以消除地基全部湿陷性。拟建高层住宅楼也可直接采用墙下桩基础方案,桩基设计时应考虑上部自重湿陷性土层对桩的负摩阻力。

#### 3.1 素混凝土桩复合地基

当采用此方案时,应先消除地基全部湿陷性,然后再采用CFG桩方案。桩端宜至⑤古土壤层或其下地层中。在施工前,复合地基须进行专门设计并在小范围的现场进行试验,以此来确定桩长、桩径、桩间距等设计参数和其适宜性。桩的极限侧阻力和端阻力标准值建议如表1所示。设计时桩侧阻力特征值 $q_{si}$ 与端阻力特征值 $q_p$ 可按表1中相应的 $q_{sik}$ 和 $q_{pk}$ 建议值除以2使用。复合地基承载力应通过现场载荷试验确定,施工与检测应符合现行规范、规程的规定。按类似条件下的工程经验,预计拟建建筑物的实际沉降量将不会大于50mm。

#### 3.2 桩基础方案

桩基持力层选择根据土工分析结果、标准贯入试验结果,场地内分布的⑤古土壤及其下土层的工程性能较好,均可作为桩端持力层使用,可采用桩基方案或素土挤密后的桩基方案。

#### 3.3 桩型与桩基设计应注意问题

(1)由于项目分布的地层③古土壤层底部钙质结核较多,如果采用预制桩(或PHC管桩),会发生沉桩困难的可能性。

(2)采用钻孔灌注桩方案时,应选择适宜的设备,

表1 桩的极限侧阻力和端阻力标准值建议

层号	地层名称	混凝土预制桩		泥浆护壁钻孔桩	
		极限端阻力标准值 $q_{pk}$ /kPa	极限侧阻力标准值 $q_{sik}$ /kPa	极限端阻力标准值 $q_{pk}$ /kPa	极限侧阻力标准值 $q_{sik}$ /kPa
②	黄土	—	-30(75)	—	-20(70)
③	古土壤	—	-20(75)	—	-15(70)
④ <sub>1</sub>	黄土	—	-15(75)	—	-10(70)
④	黄土	—	57	—	66
⑤	古土壤	2800	80	1000	78
⑥	黄土	2800	74	1000	72
⑦	古土壤	3800	82	1200	80
⑧	黄土	3800	76	1200	74
⑨	古土壤	—	—	1300	80
⑩	黄土	—	—	1300	76

尽可能采用干作业工艺减少沉渣过厚问题,以提高单桩承载力。

(3)根据地区类似工程经验,若采用长螺旋钻机成孔,管内泵压混凝土后插筋工艺或采用旋挖钻机干作业成孔施工,单桩承载力将比参数估算值有明显提高。当采用泥浆护壁成孔时,应注意泥浆的有序排放,防止对环境的污染。

(4)从经济技术条件考虑,应尽可能采用墙下或柱下布桩形式。

(5)为了减小桩长,提高桩基承载力,建议对湿陷性土层进行预挤密处理。

(6)④黄土层呈可塑~软塑状态,尤其水位附近成孔时可能发生缩孔现象,施工时应采取预防措施。

(7)无论采用哪种桩型,全面沉桩施工前均应进行试桩,从而最终确定桩长、桩的竖向承载力和适宜的施工工艺。工程桩施工完成后,应按有关规定对桩基进行检测,以确保成桩质量。

#### 3.4 桩机沉降估算

桩基沉降估算,按地区类似条件下的桩基沉降观测资料,预计拟建住宅楼(15F~20F)的实际沉降量将不会大于40mm。

### 4 设计地基基础选型

《湿陷性黄土地区建筑标准》中对湿陷性黄土地基的处理方式主要有:垫层法、强夯法、预浸水法、挤密法、注浆法,其中垫层法适用于地下水位以上,处理深度1~3m较为经济;强夯法适用于 $S_r \leq 60\%$ 的湿陷性黄土,处理深度介于3~12m;挤密法适用于 $S_r \leq 65\%$ 、 $\omega \leq 22\%$ 的湿陷性黄土,处理深度介于5~25m;预浸水法适用于湿陷程度中等~强烈的自重湿陷性黄土地场,处理深度 $\leq 6\text{m}$ ;注浆法适用于可灌性较好的湿陷性黄土,注浆效果需要现场确认。案例项目地基处理方案主要基于以下考虑因素,最终确定高层建筑采用素土挤

密消除黄土湿陷性后增设 CFG 桩的地基处理方案,基础形式考虑结构类型、结构荷载大小等因素采用 1100mm 的筏板基础;对于幼儿园与纯地下室部分考虑基底压力均小于湿陷性黄土的湿陷起始压力,采用天然地基作为基础的持力层,基础采用独立基础。

(1) 自重湿陷性黄土厚度主要分布于 9~10m。

(2) 项目位于闹市区不允许采用对周边环境产生较大干扰与破坏的处理方案。

(3) 保证施工进度的要求。

《湿陷性黄土地区建筑标准》规定挤密法处理后的平均挤密系数 $\geq 0.93$ ,大面积置换率时可采用预钻孔挤密法,预钻孔直径宜为 0.30m~0.60m,挤密后成桩直径宜为 0.40~0.80m。

案例项目因大面积置换,设计要求预钻孔 0.40m,挤密后桩体直径 $\geq 0.55$ m,桩长 10m。桩间土经成孔挤

密后的平均挤密系数应 $\geq 0.93$ ,最小挤密系数应 $\geq 0.88$ ,桩体夯实平均压实系数 $\geq 0.97$ ,素土桩间距  $S$  的计算如式(1)所示。

$$S=0.95 \cdot [(\eta_c \cdot \rho_{dmax} \cdot D^2 - \rho_{d0} \cdot d^2) / (\eta_c \cdot \rho_{dmax} - \rho_{d0})]^{0.5} \quad (1)$$

取素土桩间距  $S$  为 0.90m。

因案例项目所在位置的湿陷性黄土自身地基承载力特征值  $f_{ak}$  已接近 180kPa,与《建筑地基处理技术规范》对于素土挤密桩地基处理后地基承载力特征值接近,因此,素土挤密桩的作用主要考虑为消除黄土湿陷性,地基承载力的提高仅考虑 CFG 桩的作用。结合各高层建筑基底压力,最终确定 CFG 桩桩径 0.40m、桩间距 2.0m、有效桩长 22m 且应穿透⑤古土层后以⑥黄土层为持力层,最终形成的复合地基承载力特征值  $f_{ak} \geq 370$ kPa,单桩承载力特征值  $R_a \geq 1000$ kN。

项目最终的 CFG 复合地基方案(局部)如图 1 所示。

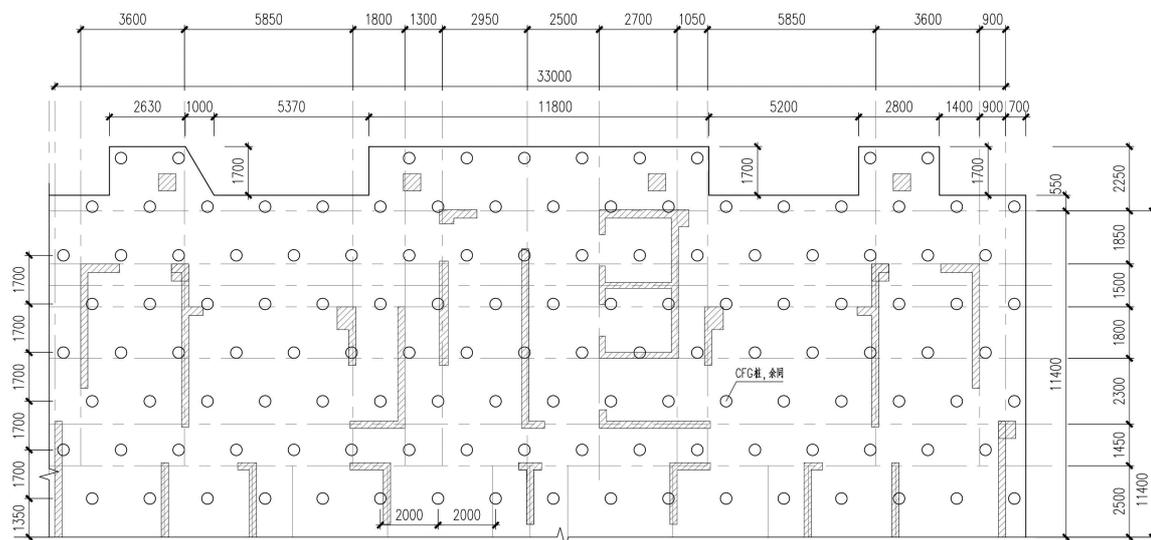


图 1 CFG 复合地基布置(局部)(单位:mm)

目前案例项目已竣工投入使用,基础沉降值与设计估算值吻合度较高,均处于规范限值内,地基基础处于安全状态。

## 5 结语

文章结合工程地质勘察资料详细介绍项目土层特性并根据土层特性依据规范进行地基基础选型设计,文末形成如下建议以供其他设计人员参考:①自重湿陷性黄土场地应根据其湿陷性类别及等级进行相应的地基处理。②湿陷性地基的处理方案可结合项目自身特点从规范建议的处理方式中选取,以免设计不当。③湿陷性黄土场地地基基础设计应注重工后沉降观测,密切掌握沉降发展态势并与预估沉降走势对比来验证是否与设计成果一致。

## 参考文献

[1] 刘丽萍,翟菊云.基础工程[M].北京:中国电力出版社,2007:

2-5.

- [2] 杨迎晓,朱向荣.地基基础价值工程研究与应用[J].土木工程学报,2002(5):105-110.
- [3] 杨校辉,黄雪峰,朱彦鹏,等.大厚度自重湿陷性黄土地基处理深度和湿陷性评价试验研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(5):1063-1074.
- [4] 余东.湿陷性黄土地基处理方法分析及在工程中的应用[J].科学咨询(科技·管理),2019(10):39-40.
- [5] 韩焱.灰土换填处理湿陷性黄土路基施工工艺[J].技术与市场,2020,27(3):85-86.
- [6] 张裕平.湿陷性黄土地基处理方案优选的研究[J].建材与装饰,2017(44):193-194.

作者简介:陶雅(1991—),女,汉族,湖北麻城人,硕士研究生,工程师,主要从事岩土设计相关工作。