

# 西安地区黄土台塬和黄土洼地土层特征分析及桩基工程应用建议

熊维, 唐浩, 柳旻, 魏长刚

(机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710021)

**摘要:** 西安地区地貌单元多, 本文主要基于工程勘察资料对西安地区黄土台塬和底张洼地两种地貌单元的土层工程性质进行了对比, 分析地下水对黄土工程性质的影响。从工程分析可知, 湿陷性黄土受地下水长期浸泡后, 土的物理力学性质发生明显的变化, 含水率变大, 孔隙比变小, 液性指数变大, 湿陷性消失, 可压缩性增大, 压缩模量锐减, 土的强度明显降低。基于底张洼地场地静力触探试验、静载试验成果及桩基工程经验, 对该区域或类似地层情况场地建设小高层或高层建筑物提出了适用的桩型、桩长方案及各土层桩的极限侧摩阻力及端阻力标准值的建议值, 可为类似场地工程建设提供借鉴。

**关键词:** 黄土台塬; 黄土洼地; 湿陷性黄土; 湿陷性消失; 饱和软黄土

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)06-0519-08

## Analysis of soil layer characteristics and application suggestions for pile foundation engineering in loess plateau and loess depressions in Xi'an area

XIONG Wei, TANG Hao, LIU Min, WEI Chang-gang

(China JIKAN Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd., Xi'an 710021, Shaanxi, China)

**Abstract:** Within the Xi'an region, a diversity of geomorphic units exists. The primary focus of this work is to compare the soil engineering properties of two specific geomorphic units in the Xi'an area: the loess plateau and Dizhang depression, utilizing engineering survey data as the basis. The analysis delves into the influence of groundwater on the engineering properties of loess. An engineering analysis reveals that prolonged exposure to groundwater induces substantial alterations in the physical and mechanical properties of collapsible loess. This includes an increase in water content, a reduction in void ratio, an increase in liquidity index, the disappearance of collapsibility, increased compressibility, a sharp reduction in compression modulus, and a significant decrease in soil strength. Based on the findings of cone penetration tests, static loading tests conducted in Dizhang depression, and insights gained from pile foundation engineering experience, this work presents recommendations for the construction of low-rise and high-rise buildings in the study area and similar geological conditions. These recommendations encompass suitable pile types, optimal pile length configurations, and suggested values for the ultimate skin friction and tip resistance standards of piles in various soil layers, providing valuable guidance for engineering construction in analogous settings.

**Key words:** loess plateau; loess depression; collapsible loess; disappearance of collapsibility; saturated soft loess

## 0 引言

随着经济发展, 西安城市建设规模越来越大, 加上北跨渭河发展战略需要, 西安市向渭河以北发展的趋势日益增大。目前, 西安地区渭河北岸秦汉新城、空港新城、泾河新城等发展势头强劲。

西安地区渭河北岸分布有黄土台塬, 黄土台塬

上分布有微地貌黄土洼地。黄土台塬和黄土洼地相应地基土层由于受地下水的影响, 工程性质差异大, 对工程建设影响明显。为今后在该区域更好从事工程勘察工作, 对已完成的相关工程勘察成果进行经验总结分享是有必要的。本文将对黄土台塬和黄土洼地场地的岩土工程勘察工作进行经验总结与分享, 为今后类似工程相关工作的开展提供借鉴。

### 1 西安地区地质地貌简介

受渭河冲积、秦岭山前冲洪积及“三门湖”沉积与萎缩消亡的影响，西安地区主要地貌单元分为：黄土台塬和渭河冲积平原的地貌类型——河漫滩、一级阶地、二级阶地、三级阶地、受“三门湖”沉积与萎

缩消亡影响的冲洪积一级台地—三级台地、秦岭山前冲洪积扇等<sup>[1]</sup>。而在黄土台塬上分布有微地貌单元——黄土洼地，本文将对渭河北岸黄土台塬及底张洼地内的工程进行对比分析。西安地区地貌可见图 1。

黄土台塬和底张洼地均以黄土和古土壤为主，由于地下水位埋深不同，相应土层物理力学性质差异明显，对工程建设影响巨大。

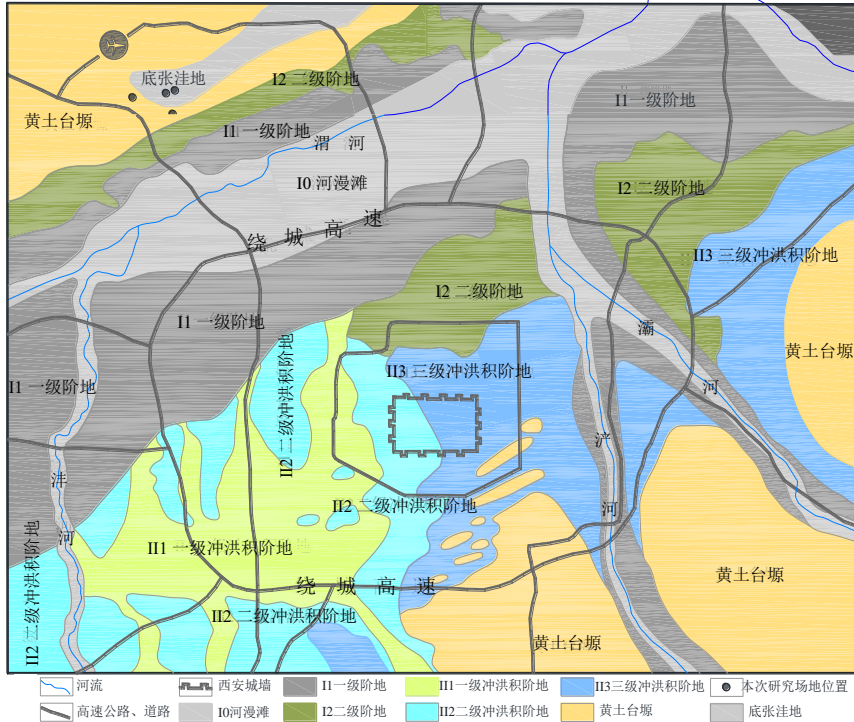


图 1 西安地区地貌简图

Fig. 1 Geomorphologic diagram of Xi'an area

### 2 场地地层结构分析

根据地层分布，将上述区域对应地貌单元的土层结构分布以剖面示意形式绘制出来进行对比分析，具体可见图 2。场地 55 m 深度范围内土层主要为第四系上更新统马兰黄土 (Q<sub>3</sub>) 和中更新统离石黄土 (Q<sub>2</sub>)。考虑到底张洼地地下水位埋深相对浅，地下水位位于上部第四系上更新统马兰黄土 (Q<sub>3</sub>) 中下部。根据地下水位上下土层物理力学性质差异，将底张洼地内第四系上更新统马兰黄土 (Q<sub>3</sub>) 分为 ② 黄土层和 ③ 黄土层。黄土台塬上部第四系上更新统马兰黄土 (Q<sub>3</sub>) 对应的为 ② 黄土层。

根据该区域地形情况，黄土台塬与底张洼地存在明显的地形变化，黄土台塬比底张洼地高 10~20 m 不等。底张洼地地下水位埋深为地面下 8~10 m，相应地下水位高程约 436 m；黄土台塬地下水位埋深为地面下 30~34 m，相应地下水位高程约 434 m。

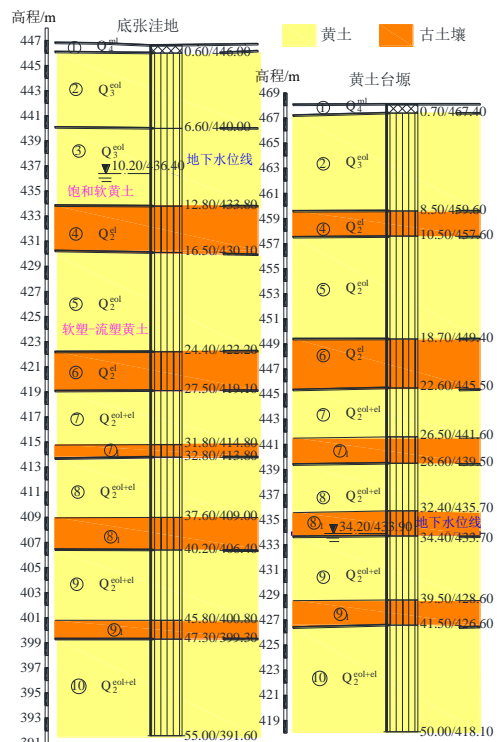


图 2 地层结构剖面示意图

Fig. 2 Profile of stratigraphic structure

### 3 地基土主要物理力学指标统计对比及分析

根据岩土工程勘察资料及《岩土工程勘察规程》(DBJ 61/T 180—2021)<sup>[2]</sup>,将上述区域对应地貌单元的土层主要物理力学指标进行对比分析。数值统计时分别将黄土台塬和底张洼地内的各两个场地工程数值取算术平均值进行对比分析。土层物理力学性质主要指标平均值统计具体可见表1<sup>[3-4]</sup>。

为了更直观地看出不同地貌单元各土层主要物理力学性质的变化规律,便于分析其变化情况,现将两个不同地貌单元的各土层的孔隙比平均值、压缩模量平均值以图的形式表现出来,见图3~4。将两个不同地貌单元各土层的标准贯入试验锤击数平均值以图的形式表现出来,见图5。

由表1和图3~5可知,两个地貌单元地下水位以上②黄土层、地下水位以下⑧黄土层及其以下土层的物理力学性质差别不明显。②黄土层—⑦黄土层由未受地下水浸泡和受地下水长期浸泡后,含水率、孔隙比、液性指数、湿陷系数、压缩系数、压缩模量等变化明显。③黄土层—⑦黄土层含水率明显增大,由硬塑变为可塑—软塑,压缩模量明显减小。尤其具有湿陷性的②黄土层—⑥古土壤层受水浸泡后土的强度明显降低。

根据岩土工程勘察资料及表1,参照《西安城市工程地质图集》<sup>[5]</sup>,饱和软黄土的判别依据为:第一层古土壤( $Q_3^{cl}$ )以上的黄土类土;饱和度平均值 $S_r \geq 80\%$ ;液性指数 $I_L \geq 0.9$ ,呈流塑或近于流塑状态;压缩系数平均值 $\bar{a}_{1-2} \geq 0.4 \text{ MPa}^{-1}$ ,高压缩性或近于高压缩性土;承载力标准值 $f_k < 130 \text{ kPa}$ 。上述5个条件同时具备,即定名为饱和软黄土。

表1 土层物理力学性质主要指标平均值统计表

Table 1 Statistical table for average values of main indicators of soil physical and mechanical properties

层号	分布区域	含水率 $w/\%$	孔隙比 $e$	液性指数 $I_L$	湿陷系数 $\delta_s$	压缩系数 $a_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 $E_{s1-2}/\text{MPa}$	标准贯入试验 实测锤击数/击
②黄土	黄土台塬	17.1	1.084	<0	0.052	0.55	5.3	8
	底张洼地	17.2	0.996	<0	0.056	0.54	5.6	7
③黄土	黄土台塬	指标可对应黄土台塬②黄土层						
	底张洼地	29.6	0.870	1.03	—	0.46	4.1	2
④古土壤	黄土台塬	18.5	0.897	0.08	0.031	0.30	7.4	12
	底张洼地	26.1	0.784	0.68	—	0.29	6.2	8
⑤黄土	黄土台塬	17.3	0.917	0.11	0.037	0.30	6.7	10
	底张洼地	27.3	0.788	0.90	—	0.28	5.4	4
⑥古土壤	黄土台塬	19.7	0.857	0.21	0.027	0.28	7.8	15
	底张洼地	25.6	0.724	0.54	—	0.23	7.1	9
⑦黄土	黄土台塬	20.0	0.798	0.28	0.012	0.28	7.4	13
	底张洼地	26.4	0.735	0.65	—	0.27	6.5	11
⑦ <sub>1</sub> 古土壤	黄土台塬	22.1	0.755	0.36	0.007	0.26	8.1	16
	底张洼地	26.2	0.728	0.58	—	0.25	7.2	14
⑧黄土	黄土台塬	22.3	0.766	0.42	0.009	0.28	7.2	14
	底张洼地	26.6	0.731	0.64	—	0.27	6.8	12
⑧ <sub>1</sub> 古土壤	黄土台塬	23.4	0.723	0.53	—	0.26	7.5	17
	底张洼地	26.5	0.721	0.60	—	0.26	7.4	16
⑨黄土	黄土台塬	24.2	0.728	0.55	—	0.30	7.1	14
	底张洼地	26.2	0.724	0.55	—	0.25	7.0	14
⑨ <sub>1</sub> 古土壤	黄土台塬	24.6	0.703	0.54	—	0.25	7.7	17
	底张洼地	25.9	0.708	0.51	—	0.24	7.5	17
⑩黄土	黄土台塬	24.8	0.693	0.48	—	0.25	7.4	—
	底张洼地	25.6	0.705	0.49	—	0.24	7.2	—

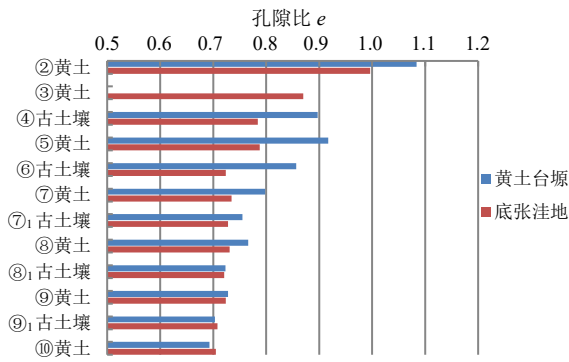


图3 各土层孔隙比平均值对比图

Fig. 3 Comparison chart of average void ratio of each soil layer

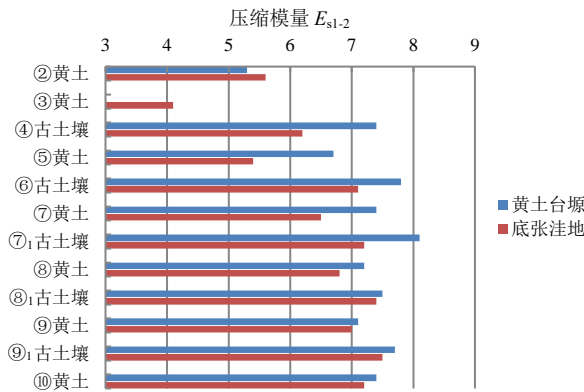


图4 各土层压缩模量平均值对比图

Fig. 4 Comparison chart of average compression modulus of each soil layer

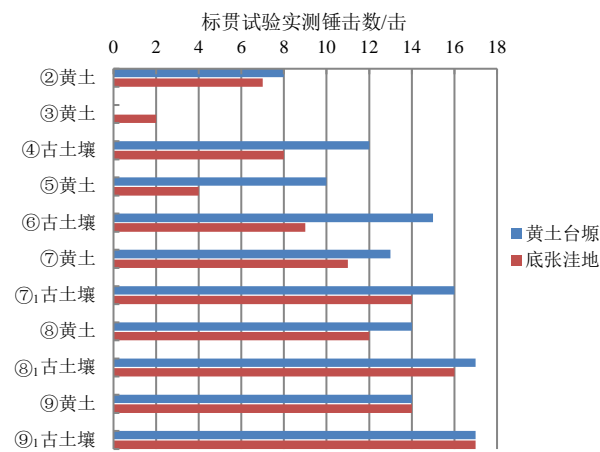


图5 各土层标准贯入试验锤击数平均值对比图

Fig. 5 Comparison chart of average blow counts in standard penetration test of each soil layer

根据底张洼地的地层分布、地下水位情况和土工试验结果,底张洼地揭露的③黄土层( $Q_3^{col}$ )为第一层古土壤( $Q_3^{cl}$ )以上的黄土,饱和度平均值 $S_r=92\%$ , $S_{rmax}=100\%$ ,液性指数 $I_L=1.03$ , $I_{Lmax}=1.46$ ,呈流塑状态,压缩系数 $\bar{a}_{1-2}=0.46\text{ MPa}^{-1}$ , $\bar{a}_{1-2max}=0.72\text{ MPa}^{-1}$ ,为中偏高压缩性或高压缩性土,标准贯入试验锤击数平均值 $N=2$ 击,最小击数为1击,根据工程经验判断承载力标准值 $f_k<130\text{ kPa}$ 。根据以

上条件可以判定底张洼地③黄土层为饱和软黄土。这说明第一层古土壤( $Q_3^{cl}$ )以上的湿陷性黄土受水长期浸泡后,其工程性质变化极其明显。

由上述分析可看出,对于湿陷性黄土层,受地下水浸泡前稍湿-湿、硬塑、具湿陷性,受地下水长期浸泡后变成饱和、软-流塑、无湿陷性,压缩模量锐减。表明湿陷性黄土长期浸水后,土的物理力学性质发生了明显的变化,含水率变大,孔隙比变小,液性指数变大,湿陷性消失,可压缩性增高,土的强度明显降低<sup>[6]</sup>。

#### 4 静力触探试验参数对比分析

根据岩土工程勘察资料及《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)<sup>[7]</sup>,为评价地基土层的密实度、均匀性,分析地基土的桩基参数,进行了静力触探试验。将上述不同地貌单元的土层静力触探试验锥尖阻力和侧壁摩阻力平均值列于表2<sup>[3-4]</sup>。绘制各土层侧壁摩阻力平均值对比图,可见图6。

根据表2数值及图6对比分析,两个不同地貌单元地下水位以上②黄土层、不具湿陷性或地下水位以下⑦黄土层及其以下土层的锥尖阻力和侧壁摩阻力差别不明显;黄土台塬具有湿陷性的②黄土层—⑥古土壤层与其对应的底张洼地土层差异明显。说明具有湿陷性的③黄土层—⑥古土壤层在长期浸水饱和条件下,其锥尖阻力和侧壁摩阻力锐减,这为工程建设地基处理提供了指导性依据。因此,在工程建设地基处理采用桩基础时,宜将具有湿陷性的土层全部采用挤密桩法处理完(或自重湿陷性土层采用侧壁负摩阻力、湿陷性土层需对侧壁摩阻力进行饱和折减)以提高其桩身侧壁摩阻力;采用CFG桩复合地基时,应将具有湿陷性的土层全部采用挤密桩法处理完,并将桩端穿透湿陷性土层。

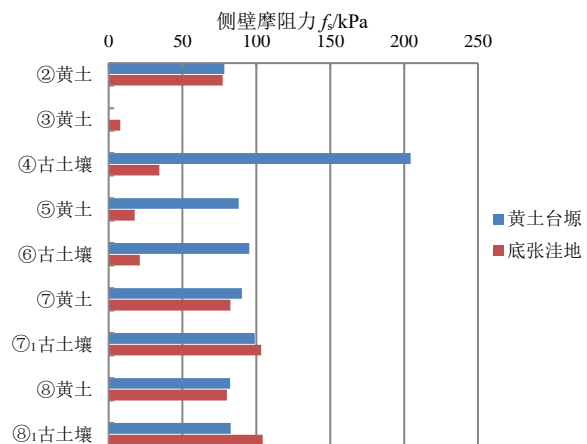


图6 各土层侧壁摩阻力平均值对比图

Fig. 6 Comparison chart of average side wall friction resistance of each soil layer

表2 静力触探试验参数平均值统计表  
Table 2 Statistical table for average values of cone penetration test parameters

层号层名	分布区域	锥尖阻力 $q_c$ /MPa	侧壁摩阻力 $f_s$ /kPa	层号层名	分布区域	锥尖阻力 $q_c$ /MPa	侧壁摩阻力 $f_s$ /kPa
②黄土	黄土台塬	2.33	78.4	⑦黄土	黄土台塬	2.72	90.20
	底张洼地	2.28	77.2		底张洼地	2.65	82.40
③黄土	黄土台塬	指标可对应其②黄土层		⑦ <sub>1</sub> 古土壤	黄土台塬	2.54	98.80
	底张洼地	0.63	7.9		底张洼地	2.90	103.20
④古土壤	黄土台塬	4.78	204.4	⑧黄土	黄土台塬	2.36	82.14
	底张洼地	1.68	34.4		底张洼地	2.66	80.00
⑤黄土	黄土台塬	2.67	88.1	⑧ <sub>1</sub> 古土壤	黄土台塬	2.48	82.60
	底张洼地	1.25	17.6		底张洼地	3.05	104.20
⑥古土壤	黄土台塬	2.45	95.2	备注:静力触探试验深度为40m,本次对比底界为⑧ <sub>1</sub> 古土壤层。			
	底张洼地	1.55	21.0				

### 5 桩基检测结果分析及桩基参数

从工程建设考虑,当采用桩基础时,黄土台塬场地应对上部自重湿陷性土层或湿陷性土层进行预处理。本文通过分析底张洼地工程场地桩基检测结果,为类似工程桩基础设计和施工提供科学依据和建议。本工程建筑物为地上15~17层(建筑物高度48~55m),地下1~2层,基础型式为桩基+筏板基础,基底压力标准组合值为300~340kPa。

#### 5.1 桩型选择分析

底张洼地场地内无特别坚硬持力层,采用桩基时,单桩承载力以侧摩阻力为主,桩型宜按摩擦桩设计。由于底张洼地场地内分布的③黄土层为饱和软黄土、⑤黄土层为软塑-流塑饱和黄土,现场钻探过程中存在缩孔现象。当采用钻孔灌注桩或长螺旋钻孔压灌桩CFG桩复合地基方案时,会发生缩孔、串孔现象,对桩身质量影响大,甚至发生断桩

现象。采用长螺旋钻孔压灌混凝土+后插钢筋笼工艺灌注桩时,易发生混凝土超灌或跑浆。因此,在地基基础方案选择时应考虑饱和软黄土和软塑-流塑饱和黄土的影响。因此,钻孔灌注桩或长螺旋钻孔压灌桩CFG桩复合地基方案或长螺旋钻孔压灌混凝土+后插钢筋笼工艺灌注桩不宜采用,静压预制桩(管桩或方桩)适合。

#### 5.2 试桩试验结果

根据在底张洼地内工程试桩资料,试桩时场地部分开挖或进行清表作业后进行试桩。试桩桩长比设计有效桩长增加相应长度。试桩终止条件为桩身被破坏或终止荷载作用下桩顶沉降量大于上一级荷载作用下桩顶沉降量的5倍,且总沉降量超过40mm。试桩时,已考虑将上部增加桩长的部分进行承载力折减。现将各试桩参数和试验结果列于表3<sup>[8]</sup>。根据试验数据绘制试桩的静载试验成果图, $Q-s$ 曲线和 $s-lgt$ 曲线成果图可见图7~9。

表3 预制桩试桩试验结果一览表  
Table 3 List of test results for prefabricated pile testing

试桩编号	设计桩顶标高/m	试验面标高/m	设计有效桩长/m	试桩桩长/m	极限承载力取值/kN	极限承载力对应桩顶沉降量/mm	折减后承载力极限值/kN	单桩竖向极限承载力平均值/kN	桩端持力层
试桩1	436.85	444.85		46.7	4 160	15.43	3 720		
试桩2	436.85	445.85		47.3	4 160	17.58	3 665		
试桩3	436.85	444.85	40	48.0	4 680	21.75	4 240	3 902	⑩黄土层以下
试桩4	440.05	449.05		49.0	4 500	18.35	4 005		
试桩5	440.05	445.05		45.0	4 000	14.59	3 725		
试桩6	440.65	448.65		48.0	4 500	15.88	4 060		
试桩7	440.85	448.84		43.0	4 000	27.24	3 560		
试桩8	440.85	445.85	35	40.0	4 000	16.43	3 725	3 615	⑩黄土
试桩9	440.85	448.85		43.0	4 000	19.09	3 560		
试桩10	437.40	444.40		27.6	2 160	14.75	1 775		
试桩11	437.40	445.40	22	29.0	2 400	13.52	1 960	1 891	⑧黄土
试桩12	437.40	449.40		34.0	2 600	25.73	1 940		

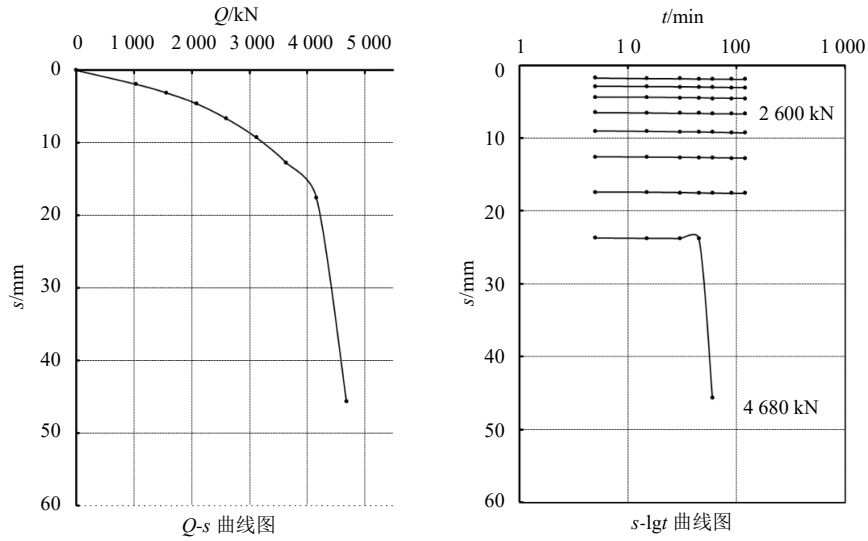


图7 试桩静载试验成果图(40 m 桩长)

Fig. 7 Results of static loading test on test piles (40 m pile length)

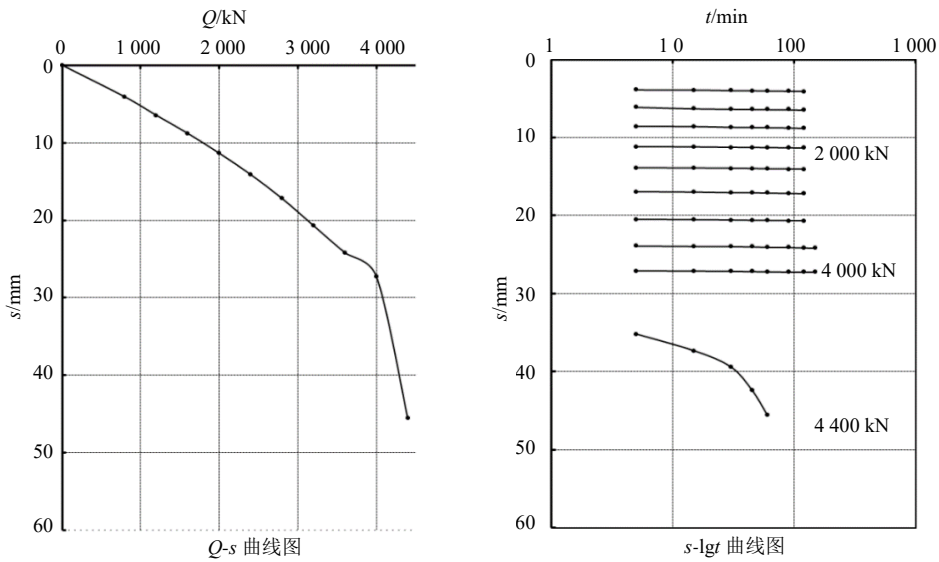


图8 试桩静载试验成果图(35 m 桩长)

Fig. 8 Results of static loading test on test piles (35 m pile length)

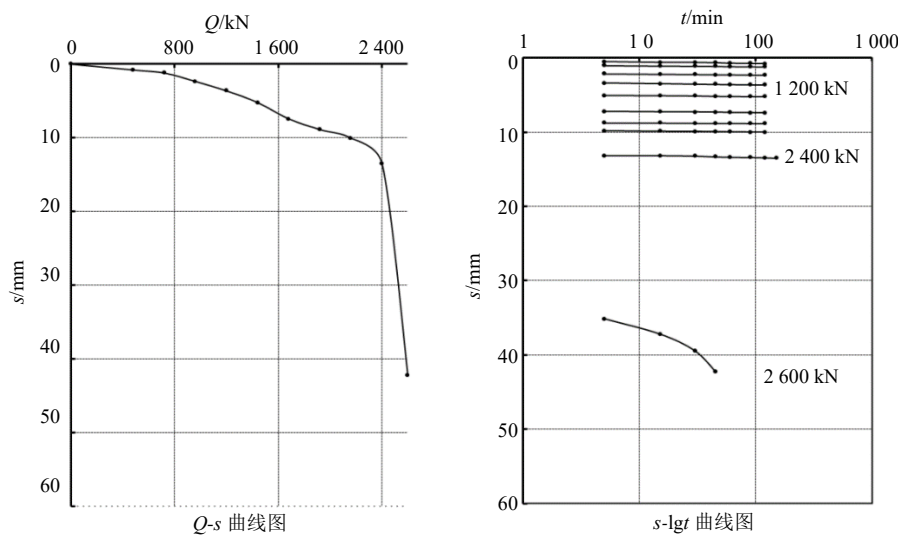


图9 试桩静载试验成果图(22 m 桩长)

Fig. 9 Results of static loading test on test piles (22 m pile length)

根据表3,设计有效桩长40 m时单桩竖向承载力极限值约为3 900 kN;设计有效桩长35 m时单桩竖向承载力极限值约为3 600 kN;设计有效桩长22 m时单桩竖向承载力极限值约为1 890 kN。对于底张洼地此类分布有饱和软黄土或软-流塑黄土的工程场地,桩基设计时应考虑土层侧壁摩阻力发挥问题。由于中上部土层侧壁摩阻力较小,因此需充分考虑中下部土层侧壁摩阻力发挥问题,从工程角度考虑,35~40 m桩长较为适合。

### 5.3 桩基设计参数

根据底张洼地场地土工试验与静力触探测试结果,按照《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB 50025—2018)<sup>[9]</sup>和《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)<sup>[10]</sup>中的有关规定,结合场地内现场单桩竖向静力载荷试验结果,综合确定各层土桩的极限侧摩阻力标准值和极限端阻力标准值供参考,见表4。

表4 桩的极限侧摩阻力标准值和极限端阻力标准值表  
Table 4 Standard value of ultimate skin friction and tip resistance

层号土名	预制桩	
	$q_{sik}/kPa$	$q_{pk}/kPa$
②黄土	20	—
③黄土	12	—
④古土壤	35	—
⑤黄土	20	—
⑥古土壤	30	—
⑦黄土	70	2 200
⑦ <sub>1</sub> 古土壤	80	2 300
⑧黄土	80	2 200
⑧ <sub>1</sub> 古土壤	94	2 400
⑨黄土	86	2 400
⑨ <sub>1</sub> 古土壤	98	2 600
⑩黄土	90	2 600

注:  $q_{sik}$  为桩的极限侧摩阻力标准值;  $q_{pk}$  为桩的极限端阻力标准值; 表中②黄土层参数考虑了后期浸水的可能性,按饱和状态折减。

根据上述分析,底张洼地场地内饱和状态的③黄土层—⑥古土壤层桩侧摩阻力数值较低。在此类场地内工程建设过程中,需考虑桩长相对较长的预制桩,桩身侧摩阻力主要考虑中下部土层,单桩竖向极限承载力不宜超过4 000 kN,否则桩长过长、桩径比过大,且预制桩桩身强度要求过大时易爆桩,施工过程中易出现斜桩、断桩等质量问题,此类工程采用预制桩时,桩长一般为35~40 m,桩径以500 mm和600 mm为宜。

## 6 结论与思考

根据上述分析,我们能更进一步了解西安地区黄土台塬和底张洼地的工程勘察经验数据,为今后类似场地拟建工程积累了经验。通过本文分析后主要总结经验与思考如下:

(1) 湿陷性黄土受地下水长期浸泡后变成饱和、软-流塑、无湿陷性土,其压缩模量锐减,工程性质急剧减弱。

(2) 分布有饱和软黄土、软塑-流塑饱和黄土场地,钻孔灌注桩或长螺旋钻孔压灌桩+后插钢筋笼工艺灌注桩或长螺旋钻孔压灌桩 CFG 桩复合地基方案均不宜采用,易发生缩孔、串孔现象或超灌现象,甚至发生断桩现象,静压预制桩(管桩或方桩)方案适合。

(3) 具有湿陷性的黄土在长期浸水饱和条件下,其锥尖阻力和侧壁摩阻力锐减,湿陷性越强烈,其锐减越明显。

(4) 场地内分布有饱和软黄土、软塑-流塑饱和黄土时,其土层桩侧摩阻力数值较低。在此类场地内工程建设过程中,对于小高层及高层建筑地基基础方案选择时,可考虑采用桩长相对较长的预制桩。桩长应穿透饱和软黄土、软塑-流塑饱和黄土层,桩端持力层应选择在强度相对较高的土层上。

(5) 对于此类工程场地,若后期能进行桩身应力分布测试研究,将对工程建设具有更好的指导意义。

### 参考文献

- [1] 熊维,戚长军,吴学林,等. 西安地区超高层建筑场地勘察、试桩及沉降观测分析与经验总结[J]. 地基处理, 2021, 3(1): 21-28.  
XIONG Wei, QI Chang-jun, WU Xue-lin, et al. Analysis and experience summary of site exploration, pile test and settlement observation of super-high-rise buildings in Xi'an area[J]. Journal of Ground Improvement, 2021, 3(1): 21-28.
- [2] 陕西省住房和城乡建设厅,陕西省市场监督管理局. 岩土工程勘察规程: DBJ 61/T 180—2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.  
Shaanxi Provincial Department of Housing and Urban Rural Development, Shaanxi Provincial Market Supervision Administration. Specification for Investigation

- of Geotechnical Engineering: DBJ 61/T 180—2021[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.
- [3] 西安高新区苏宁置业有限公司西安空港苏宁云著项目[R]. 西安: 机械工业勘察设计研究院有限公司, 2020. Xi'an high tech zone Suning real estate Co., Ltd. Xi'an Airport Suning Yunzhu project[R]. Xi'an: China JIKAN Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd., 2020.
- [4] 西安北至机场城际轨道项目摆旗寨站—艺术中心站区间岩土工程勘察报告[R]. 西安: 中煤西安设计工程有限责任公司, 2014. Geotechnical engineering survey report on the interval between Baiqizhai Station and Art Center Station of Xi'an North to Airport Intercity Rail project[R]. Xi'an: China Coal Xi'an Design Engineering Co., Ltd., 2014.
- [5] 西安市城市规划管理局, 西安市勘察测绘院. 西安城市工程地质图集[M]. 西安: 西安地图出版社, 1998. Xi'an Urban Planning Management Bureau, Xi'an Survey and Mapping Institute. Xi'an Engineering Geological Atlas[M]. Xi'an: Xi'an Map Press, 1998.
- [6] 熊维, 王瑞海, 唐浩, 等. 地下水位上升对黄土地基的影响[J]. 工程勘察, 2013, 41(3): 11-14, 22. XIONG Wei, WANG Rui-hai, TANG Hao, et al. Influence of the rise of groundwater level on loess foundation[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2013, 41(3): 11-14, 22.
- [7] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001[S]. 2009年版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for Investigation of Geotechnical Engineering: GB 50021—2001[S]. 2009 Edition. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [8] 西安高新区苏宁置业有限公司西安空港苏宁云著项目预应力混凝土管桩试验报告[R]. 西安: 陕西机勘检测工程咨询有限公司, 2021. Xi'an high tech zone Suning real estate Co., Ltd. Xi'an Airport Suning Yunzhu project prestressed concrete pipe pile test report[R]. Xi'an: Shaanxi Jikan Testing Engineering Consulting Co., Ltd., 2021.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 湿陷性黄土地区建筑标准: GB 50025—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Standard for Building Construction in Collapsible Loess Regions: GB 50025—2018[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical Code for Building Pile Foundations: JGJ 94—2008[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.