

# 上海浦东新区工程地质特性及建筑适宜性评价

上海市地质矿产局 龚士良

**【提要】**本文分析了上海浦东新区地基土的工程地质特性，根据土层组合划分了地质结构，对建筑适宜性进行了评价。

**【Abstract】**The engineering geological characteristics of ground soils in Shanghai Pudong area is analysed in this paper. The geological structure is divided by the soil combination and the architectural suitability is appraised.

上海浦东新区扼长江入海口，与上海市区以黄浦江相隔，规划面积518km<sup>2</sup>。具有优越的自然地理条件。然而由于历史原因，长期以来浦江两岸经济发展很不平衡，浦东作为上海半壁江山的各方面优势未能得到充分发挥。开发开放浦东新区，必将为上海及长江流域经济振兴与发展，为进一步树立中国的改革开放形象起巨大的推动作用。

根据规划部署，八五期间为开发的起步阶段，因此，抓住有利时机，超前作好各项地质工作刻不容缓。浦东新区以往的地质勘察研究大多集中于西部黄浦江沿岸一带约150km<sup>2</sup>范围内，而新区腹地仅进行过区域性的概略调查，研究程度很差。本文综合以往研究成果及近期完成的整个区域内1:2万工程地质详查，对浦东新区工程地质特性及建筑适宜性作一分析评价。

## 一、第四系地质特征

上海浦东新区为第四纪长江三角洲冲积平原，地势坦荡，平均地面高在3.5~4.5m之间。浦东新区第四系有300余米厚，以约150m为界，下部以陆相沉积为主，岩性以褐黄为主的杂色硬粘土层及灰白色中、粗砂，

广泛发育、分布稳定，构成区内的下更新统含水系统。尤以水质好（符合饮用矿泉水标准）、水量丰沛、与上部无水力联系而具有极高的开发利用前景。150m以浅则以海相沉积为主，岩性为灰色软粘性土与砂性土互层，构成全新统的潜水含水层及中上更新统的承压含水层系统，彼此水力联系密切。受沉积环境影响，其中咸水-半咸水约占近一半。75m以浅的三个软粘土层天然含水量、孔隙比及压缩系数等物理力学指标均很高，工程地质性质很差，是上海地面沉降的主要层次<sup>[1]</sup>。尤以40m以浅具显著流变特性的第一、二软土层为甚。而浦东新区以第一、二软土层普遍分布为特点，且其流变性较市区更明显<sup>[2]</sup>，使浦东成为典型的软土地基地区。

浦东新区第四系成因类型复杂，粘性土、粉性土、砂性土在垂向上相间分布，具明显的韵律变化。比照浦西地区，人类活动影响，主要产生于80m以浅土层中。本区80m以浅地基土均属第四纪全新世和晚更新世的松散堆积层，根据沉积时代、成因类型及其主要的工程地质特性，可将其划分为九个工程地质层（表1、2）。

表 1 浦东新区地基土划分

沉积时代	成因类型	工程地质层	顶板标高(m)	厚度(m)	土层代号	岩性
Q <sub>3</sub>	滨海—河口	填土层	6.30~3.10	0.20~4.00	①	耕、填土
		表土层	6.00~1.10	0.20~3.50	②	褐黄色粉质粘土、粘土
		第一砂层	5.30~-4.40 0.40~-8.20	1.10~16.40 1.00~19.45	③ ③-1 ③-2	灰色砂质粉土 灰色粉砂
Q <sub>2</sub>	滨海—浅海	第一软土层	3.40~-7.20 -1.70~-14.80	0.50~10.50 2.60~15.90	④ ④-1 ④-2	灰色淤泥质粉质粘土 灰色淤泥质粘土

续表

沉积时代	成因类型	工程地质层	顶板标高(m)	厚度(m)	土层代号	岩 性
Q <sub>4</sub>	滨海—溺谷—沼泽	第二软土层	-11.20~-22.50	1.10~21.00	⑤	⑤-1 灰色粘土、粉质粘土 ⑤-2 灰色粉质粘土夹粉砂 ⑤-3 灰(黑灰)色粉质粘土、粘土
			-13.40~-36.40	1.30~39.00		
			-26.60~-62.00	0.20~22.10		
Q <sub>3</sub>	河—湖	硬土层	-25.70~-60.40	0.50~8.70	⑥	⑥-1 灰绿色粉质粘土、粘土暗 ⑥-2 绿—褐黄色粉质粘土、粘土
			-18.50~-27.80	0.50~12.20		
	河口—滨海	第二砂层 (第一承压含水层)	-24.20~-48.10	1.20~39.30	⑦	⑦-1 草(褐)黄色粉砂、砂质粉土 ⑦-2 灰色粉砂、砂质粉土
			-23.60~-62.60	0.70~28.90		
滨海—浅海	第三软土层	-25.60~-63.30	1.50~34.90	⑧	⑧-1 灰色粉质粘土(粘土)真粉砂 ⑧-2 灰色粉质粘土与粉砂互层	
		-53.10~-69.20	1.40~20.00			
Q <sub>3</sub>	滨海—河流	第三砂层 (第二承压含水层)	-52.00~-78.90	未 穿	⑨	灰色细、中砂

表 2 各工程地质层物理力学指标

土层代号	天然含水量 w(%)	天然重度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	孔 隙 比 e	液 限 $w_L(\%)$	塑性指数 $I_P(\%)$
②	24.8~37.9	18.3~19.9	0.708~0.978	31.8~42.1	12.3~20.3
	31.3	19.1	0.844	36.3	16.1
③-1	27.0~36.1	18.2~19.6	0.737~1.019		
	31.4	19.0	0.869		
③-2	25.5~38.2	18.0~19.8	0.765~1.062		
	30.5	18.9	0.876		
④-1	37.0~47.5	17.2~18.6	1.051~1.307	31.1~37.5	11.4~16.3
	42.2	17.9	1.174	34.2	13.9
④-2	45.1~55.0	16.8~17.6	1.316~1.525	40.6~50.4	18.7~25.7
	50.0	17.2	1.413	45.5	22.2
⑤-1	32.7~45.6	17.5~18.8	0.936~1.291	30.6~47.0	11.9~23.3
	39.1	18.1	1.108	38.6	17.5
⑤-2	30.3~38.6	17.7~18.7	0.918~1.087	29.6~38.5	10.5~16.8
	34.4	18.2	1.005	33.7	13.5
⑤-3	29.4~40.7	17.7~19.2	0.810~1.131	29.4~43.8	11.5~20.8
	34.8	18.3	0.986	36.4	15.8
⑥-1	21.7~28.0	19.4~20.5	0.612~0.739	28.0~35.9	10.9~18.7
	24.1	20.0	0.672	32.2	14.7
⑥-2	22.5~29.7	19.2~20.4	0.643~0.824	30.6~38.6	11.5~19.9
	25.2	19.9	0.713	34.6	15.8
⑦-1	21.8~33.1	18.6~20.4	0.611~0.925		
	27.2	19.5	0.766		
⑦-2	18.9~31.6	18.4~20.6	0.556~0.910		
	25.0	19.5	0.738		
⑧-1	30.0~41.7	17.8~18.9	0.876~1.183	28.6~44.4	11.5~22.0
	36.4	18.3	1.030	36.3	16.5
⑧-2	27.4~36.3	18.2~19.6	0.809~1.036	24.0~34.6	10.2~14.6
	31.3	18.9	0.916	29.1	12.2
⑨	18.9~29.9	18.8~20.8	0.507~0.848		
	24.3	19.7	0.701		

续表

土层代号	液性指数 $I_L$	压缩系数 $a_{1-2}(\text{MPa}^{-1})$	压缩模量 $E_{s1-2}(\text{MPa})$	内摩擦角 $\varphi$ (度)	内聚力 $c(\text{kPa})$	标贯 $N_{63.5}(\text{击})$
②	$\frac{0.30\sim 0.91}{0.59}$	$\frac{0.21\sim 0.44}{0.32}$	$\frac{4.27\sim 7.85}{5.87}$	14.9	15	
③-1		$\frac{0.09\sim 0.31}{0.18}$	$\frac{5.88\sim 18.86}{11.87}$	22.7	6	$\frac{3\sim 14}{8}$
③-2		$\frac{0.11\sim 0.28}{0.18}$	$\frac{7.40\sim 16.35}{11.31}$			$\frac{4\sim 18}{9}$
④-1	$\frac{1.17\sim 1.98}{1.56}$	$\frac{0.45\sim 0.91}{0.68}$	$\frac{2.31\sim 4.33}{3.18}$	16.1	6	
④-2	$\frac{1.04\sim 1.53}{1.25}$	$\frac{0.69\sim 1.34}{0.99}$	$\frac{1.72\sim 3.28}{2.41}$	8.1	10	
⑤-1	$\frac{0.80\sim 1.16}{0.97}$	$\frac{0.33\sim 0.78}{0.52}$	$\frac{2.75\sim 5.69}{4.15}$	12.2	11	
⑤-2	$\frac{0.71\sim 0.99}{0.86}$	$\frac{0.26\sim 0.47}{0.37}$	$\frac{4.14\sim 7.26}{5.43}$	18.9	7	
⑤-3	$\frac{0.59\sim 1.00}{0.81}$	$\frac{0.25\sim 0.48}{0.36}$	$\frac{4.07\sim 7.50}{5.50}$	16.8	11	
⑥-1	$\frac{0.27\sim 0.68}{0.46}$	$\frac{0.16\sim 0.32}{0.24}$	$\frac{5.13\sim 10.09}{7.25}$	15.2	24	
⑥-2	$\frac{0.19\sim 0.57}{0.37}$	$\frac{0.14\sim 0.30}{0.21}$	$\frac{5.69\sim 11.79}{8.47}$	16.7	23	
⑦-1		$\frac{0.09\sim 0.19}{0.14}$	$\frac{9.12\sim 18.02}{13.34}$	25.6	3	$\frac{20\sim 50}{33}$
⑦-2		$\frac{0.09\sim 0.22}{0.14}$	$\frac{8.19\sim 18.00}{13.11}$	26.2	2	$\frac{23\sim 68}{44}$
⑧-1	$\frac{0.66\sim 0.98}{0.84}$	$\frac{0.25\sim 0.47}{0.36}$	$\frac{4.13\sim 7.67}{5.63}$	17.7	10	
⑧-2	$\frac{0.58\sim 0.96}{0.81}$	$\frac{0.26\sim 0.40}{0.32}$	$\frac{4.73\sim 6.86}{5.83}$	20.1	9	
⑨		$\frac{0.07\sim 0.18}{0.12}$	$\frac{9.08\sim 21.89}{15.30}$	27.5	2	$\frac{32\sim 75}{54}$

注:表中数据上为变化区间、下为算术平均值;  $\varphi$ 、 $c$ 为算术平均值。

## 二、地质结构分区

浦东新区内埋深70m以下土层分布比较均匀,而70m以浅土层受后期河流冲刷切割及其它地质条件频繁变迁的影响,空间展布存在很大差异。根据地基土各工程地质层的组合情况,对浦东新区地层进行结构分区。

第一砂层在区内呈条带状分布于北部及东部沿江一带,基本与海岸线平行,由稍密的粉性土和粉砂组成,与上部呈可塑态的褐黄色粘性土表土层工程地质性质比较一致,故在以往工作中两者同作为表土层<sup>[3]</sup>。考

虑到区内表土层厚度对第一砂层存在与否具有一定的补偿性,即第一砂层存在的地区,表土层较薄,反之则较厚,故在进行结构分区时,两者合并为表土层。而深部的第三砂层普遍分布,故主要以第一、二软土层(其连续沉积,作为一个层组考虑)、硬土层、第二砂层及第三软土层四个层组的产出情况,将新区地层分为单层、双层、三层、四层四个结构类型区,其中双层、三层结构区中又分两个亚区。各区的土层组合及面上分布见表3与图1。

表 3 浦东新区地质结构土层组合

地质结构	土层组合	表土层	第一、二软土层	硬土层	第二砂层	第三软土层	第三砂层
单层结构	I	存在	存在	缺失	缺失	缺失	存在
双层结构	II	II <sub>1</sub>	存在	缺失	缺失	存在	存在
		II <sub>2</sub>			存在	缺失	
三层结构	III	III <sub>1</sub>	存在	缺失	存在	存在	存在
		III <sub>2</sub>		存在		缺失	
四层结构	IV	存在	存在	存在	存在	存在	存在

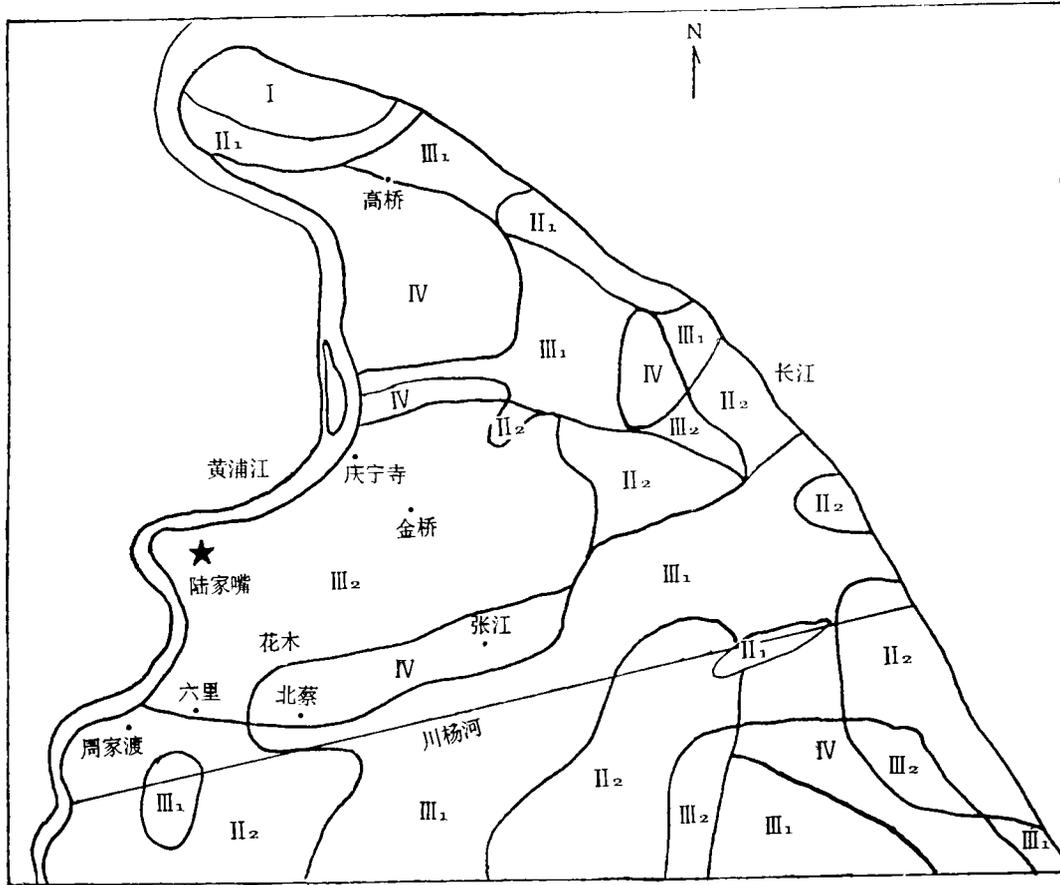


图 1 浦东新区地质结构分区图(1 : 250000)

### 三、建筑适宜性评价

#### 1. 建筑条件分析

80m以浅地基土的工程地质特性各异，故其建筑条件互不相同。表土层是本区浅基础天然地基持力层，容许承载力80~125 kPa，大部分为90~110kPa；第一砂层具有一定的液化性，但仍可作箱基持力层或短桩

桩基持力层。如与天然地基共同组成复合型基础，更能有效发挥地基土的承载能力；第一软土层呈流塑态，是天然地基软弱压缩层；第二软土层为软塑态，其中⑤-2层为粘性土与粉砂呈层状产出，局部地段相变为粉砂夹粘性土，具有一定的强度，可作为桩基持力层；硬土层呈可塑—硬塑态，是理想的

桩基持力层；第二砂层为中密的砂性土，强度高、压缩性低，是本区理想的主要桩基持力层；第三软土层具中等压缩性，是桩基主要下卧压缩层；第三砂层可作桩基持力层。

浦东新区浅部地基土多为海相沉积的软弱土层，故在今后大规模建设过程中，中型及以上建筑物无疑都会采用桩基。由于钢筋混凝土预制桩具有桩长和截面可以任意选择，制作经验丰富、运输堆放方便，沉桩机械设备型号齐全，基础施工工期短、预见程度高及已有丰富的建筑经验等优点，考虑新区建设特点，今后它将是各种建筑物的首选桩型。综合土工试验指标 $e_0$ 、静探 $p_s$ 、标贯试验及室内外测定的抗剪强度确定了钢筋混凝土预制桩的单桩承载力计算参数，即桩周极限摩阻力 $q_s$ 和桩端极限端承载力 $q_p$ (表4)。

表 4 浦东新区单桩承载力计算参数综合建议值

土层代号	$q_s$ (kPa)	$q_p$ (kPa)
②	15	
③-1	30-50	1000-1500
③-2	40-55	1500-2000
④-1	15-30	
④-2	15-40	
⑤-1	45-60	
⑤-2	45-60	1750-2000
⑤-3	50-65	
⑥-1	60-75	1500-2500
⑥-2	75-90	2500-3500
⑦-1	75-100	4500-6000
⑦-2	105-120	6500-8000
⑧-1	55-65	
⑧-2	65-75	
⑨	115-120	9000-10000

## 2. 建筑适宜性评价

以地质结构分区为基础，以大型建筑物桩基条件相对优劣程度为主要依据，可将新区的建筑适宜性分为五个区。最佳区A对应于地质结构分区中的Ⅲ<sub>2</sub>、较佳区B对应于Ⅳ、中等区C对应于Ⅱ<sub>2</sub>、D对于Ⅲ<sub>1</sub>、较差区E对应于Ⅰ及Ⅱ<sub>1</sub>。

### (1) A(Ⅲ<sub>2</sub>)—工程地质条件最佳区

区内⑥、⑦层均可作为理想桩基持力层，桩基下卧压缩层为第三砂层⑨层，其性质良好。此区内兴建大型建筑物具有基础投资少、造价低等优点，因而技术经济条件最为优越。

### (2) B(Ⅳ)—工程地质条件较佳区

区内⑥、⑦层均可作为桩基持力层，但桩基下卧压缩层为⑧层，其土质相对较软弱。此区内兴建大型建筑物虽具基础投资少及造价低等优点，但当⑦层厚度较薄时(如北部的局部地段)，对荷重很大、变形要求高的建筑物，不能满足要求。

### (3) C(Ⅱ<sub>2</sub>)—工程地质条件中等区

区内桩基持力层为⑦层，桩基下卧压缩层为⑨层，但⑦-1层缺失，作为桩基持力层的⑦-2层埋藏较深，虽其下卧压缩层性质良好。但须采用长桩或超长桩。基础投资较大，

### (4) D(Ⅲ<sub>1</sub>)—工程地质条件较差区

区内桩基持力层为⑦层，桩基下卧压缩层为⑧层，相对较为软弱。同C区一样，本区亦缺失⑦-1层，作为桩基持力层的⑦-2层埋藏深且厚度薄，除局部地段外，大型建筑物的桩基持力层须采用埋深很大的⑨层。

### (5) E(Ⅰ、Ⅱ<sub>1</sub>)—工程地质条件最差区

区内70m以浅地基土均为软弱土层，大型建筑物的桩基持力层均须采用⑨层，因此基础投资大，造价高。

由此，以大型—特大型建筑物为主的工商业区，应尽可能规划布局在A、B区，不宜建在D区，避开E区；以中—小型建筑物为主的学院区、居民住宅区及绿化地带，可考虑布局在工程地质条件较差或差的地区。

## 3. 规划方案评价

新区规划中率先进行开发的五个综合小区总面积为177km<sup>2</sup>，基本上均处于规划中的外环线以内，紧靠黄浦江。五个小区发展各有

(下转第39页)

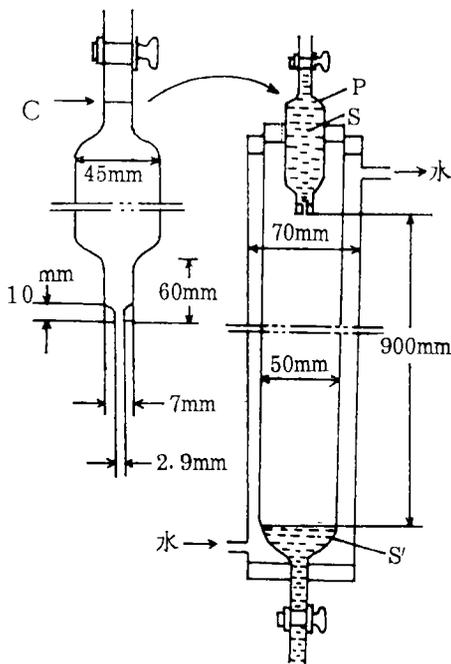


图 5 Ross-Miles 仪结构示意图

注: P. 泡沫移液管; G. 200ml 刻度; S. 试液(200ml); S'. 试液(50ml)。

从实验结果可以看出,不同浓度的 ABS 水溶液其发泡力和产生泡沫的稳定程度均不同。从发泡力看,当 ABS 的浓度为 0.4% 时,其产生泡沫的最初体积为 422ml,位居六者

表 7

发泡剂	浓度 (%)	发泡力 (ml)	5min 后泡沫体积 (ml)
ABS	0.1	372	367
	0.2	358	355
	0.3	383	365
	0.4	422	400
	0.5	408	383
	1.0	420	398

之首。因此,0.4% ABS 水溶液其发泡力最强;同样可以看出,ABS 型泡沫剂在其浓度为 0.4% 时稳定性也最好。

总之,在钻探过程中,选择其泡沫剂时应从施工现场影响发泡性能的因素、发泡剂发泡效果以及当时市场销售经济性等综合因素进行总体考虑,从而达到提高钻速效益、降低生产成本的目的。随着人们对其性能研究的不断深入想必在未来生产过程中将日益发挥出其极大的潜力。

#### 参 考 文 献

- 1 周祖康.胶体化学基础.北京大学出版社
- 2 赵国玺.表面活性剂物理化学.北京大学出版社
- 3 段世铎、谭逸玲.界面化学.高等教育出版社

(上接第 28 页)

侧重,由北向南依次为以现代化港区及保税区为主的外高桥—高桥综合区、以出口加工为主的庆宁寺—金桥综合区、以金融贸易为主的陆家嘴—花木综合区、以高科技为主的北蔡—张江综合区及以住宅、加工为主的周家渡—六里综合区。其间要兴建数百幢高层建筑,其中超高层 30 余幢,包括远东第一高度的东方明珠电视塔(主体结构已封顶)已动工兴建,其中大部分集中于上海外滩对岸的陆家嘴地区。根据前述分析,五个综合小区的总体规划布局基本合理,但从建设适宜性考虑,周家渡—六里综合区内一般不宜兴建大型—特大型建筑,特别是南部地段建设

条件更差;陆家嘴地区存在第一砂层,适于兴建以此为持力层的中型建筑,大型建筑施工条件复杂;外高桥港区为基础投资很大的地区,但由于第一砂层发育,较适于兴建以第一砂层为持力层的中型建筑,对大型以上建筑,除确需配套设置,采用⑨层为持力层外,一般应尽可能移至其后援基地—高桥综合区。

#### 参 考 文 献

- 1 Gong Shiliang. Quantitative study of land subsidence in Shanghai. Proc. 6th congress of IAEG, Amsterdam, 1990
- 2 龚士良. 上海浦东新区地面沉降分析. 上海地质, 1994(3)
- 3 上海城建局. 上海市地基基础设计规程 (DBJ08-11-89). 上海科学技术出版社, 1990