文章编号: 1000- 0690(2003) 01- 0082- 05

苏州市晚第四纪古地理与工程地质条件研究

姜洪涛, 王富葆, 杨达源

(南京大学城市与资源系, 江苏 南京 210093)

摘要: 根据10余项工程中代表性钻孔岩芯分析, 参照2 000多个工程钻孔资料, 对比了苏州市50 m以浅晚第四纪各沉积层的成因类型、形成时代、岩性及其物理力学性质, 并依地基工程要求, 对沉积层进行了合理划分。阐述了本区4万年来古地理的环境变迁, 绘制多时段的古地理图, 摸清了本区各土层的空间分布规律及结构变化特征, 在此基础上编制出"天然地基工程地质条件分区图"和"桩基工程地质条件分区图", 论述了天然地基和不同桩基区的工程地质条件及施工注意事项。

关 键 词: 苏州市; 晚第四纪; 古地理; 工程地质

中图分类号: P534.63 文献标识码: A

苏州市地处长江三角洲前缘太湖的东北岸, 晚第四纪松散沉积物的厚度达180 m左右, 其岩性和物理力学性质等受沉积动力、海面变化及古气候、古环境等因素的影响, 各沉积层的三维空间分布非常复杂。作为地基土层的晚第四纪沉积物, 其埋藏深度、分布、结构、物理力学性质等方面的差异, 对工程造价及建筑物的稳定性起着决定性的作用。因此, 对浅层第四纪及古地理的研究越来越被人们关注和重视。

本文根据对10多项工程钻孔岩芯的系统分析研究(包括工程力学指标、矿物、粒度、微体古生物、有机质及^{14}C年代等), 明确了本区50 m以浅各土层的成因、时代、沉积环境、物理力学指标等特征, 并根据2 000多项工程勘察资料, 编制了"天然地基工程地质条件分区图"、"桩基工程地质条件分区图"和多幅不同时段的古地理图, 对工程勘察、施工与设计等起到了一定的指导作用。

1 苏州市50 m以浅地层的划分

关于本区和长江三角洲地区第四系的分层及时代的确定问题存在较多分歧, 例如韩友松及其他一些研究者[1~4]把埋深20~40 m的暗绿色粘土作为晚更新统的顶板, 认为全新统的厚度可达20 m以上。方家骅等认为第四纪底界年代为3 Ma a B.P.左右[5], 并认为第四纪以来的气候变化大致可划分为8个冷暖期和7次海侵, 全新世与更新世分界为第8寒冷期河湖相沉积的暗绿色(或棕黄色)硬土层; 早、中更新世的界面位于埋深140~160 m的第6杂色硬土层顶, 时间为730 ka B.P.; 中、晚更新世的分界位于第6寒冷期结束、埋深80~110 m的杂色硬土层顶面, 时代为180 ka B.P.。根据钻孔资料揭示, 本区50 m以浅的第四系主要为冲积相、滨海相、湖沼相等沉积。依其成因类型、时代、岩性及物理力学性质的差异, 考虑到地基工程要求, 将其划分为10个工程地质层及若干亚层, 各沉积层的物理力学性质指标见(表1)。

2 4万年来的古地理环境变迁

4万年来长江三角洲南部平原变化的总趋势与我国东部沿海其它地区相一致。对这一时期古地理环境的认识, 目前仍存在许多分歧。根据我们所取得的资料, 将本区4万年来的古地理环境演化划分为4个时段, 即35 ka B.P.前的海侵时期、33 ka B.P.前后的海退时期、26 ka B.P.前后的海侵时期和18 ka B.P.前后的盛冰期及现代地理过程。

2.1 35 ka B.P.前的海侵时期

已有^{14}C资料表明, 在35 ka B.P.前苏南平原普遍遭受过一次海侵, 方家骅等[5]称之为"隔湖海

收稿日期: 2001- 06- 11; 修订日期: 2002- 07- 06
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(4880012)。
作者简介: 姜洪涛(1962-), 女, 吉林辽源人, 博士生, 副教授, 主要研究方向为第四纪地质、自然地理等。

表 1　土层物理力学性质指标统计表

Table 1　Statistics of physico-mechanical quality of soil layers

层号	土层名称	含水量 w (%)	天然重度 r (KN/m^3)	空隙比 e	饱和度 S_r (%)	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	压塑系数 a_{1-2} (Mpa^{-1})	压塑模量 E_s (Mpa)	粘聚力 C (Kpa)	内摩擦角 φ (rad)	承载标准力值 f_k (Kpa)
1	耕土、填土											
2	灰、褐灰色淤质粘土、粉质粘土	59.4~37.2	18.4~16.8	1.62~1.02	100.0~96.0	24.5~15.9	1.50~0.76	1.48~0.59	3.59~1.59	35.0~11.0	12.5~4.0	90~55
3	灰、青灰色粘土、粉质粘土	35.1~25.5	19.9~18.7	0.98~0.72	100.0~95.0	22.8~12.6	0.95~0.41	0.58~0.25	6.88~3.36	51.0~12.0	13.7~7.5	180~95
4a	褐黄色粘土	29.1~23.1	20.3~18.4	0.79~0.68	100.0~94.7	23.5~16.4	0.44~0.18	0.32~0.12	14.34~5.97	67.0~38.0	14.8~7.8	260~180
4b	褐黄色粉质粘土	34.8~22.7	20.3~18.4	0.96~0.70	99.5~92.7	16.2~11.2	0.88~0.45	0.36~0.18	11.93~5.31	57.0~22.0	19.1~9.5	200~150
4c	褐黄色粉土、粉砂	37.7~30.9	19.2~18.0	1.02~0.84	100.0~95.2	9.5~6.4	1.85~0.97	0.35~0.18	10.64~5.29	31.0~14.0	29.0~17.5	150~100
5a	褐灰色粉土、局部粉质粘土	38.9~31.6	19.3~18.0	1.07~0.82	100.0~96.4	12.1~6.6	1.95~0.80	0.41~0.22	9.80~4.23	35.0~12.0	24.2~10.6	140~100
5b	灰色粉砂	35.8~30.0	19.2~18.5	0.96~0.84	100.0~95.6			0.27~0.12	15.23~6.52	14.0~3.0	29.5~11.5	180~120
6a	灰黄、棕黄色粉质粘土	32.6~27.1	19.8~19.0	0.89~0.74	99.5~94.7	15.4~10.7	0.95~0.45	0.30~0.21	8.26~5.53	37.0~19.0	20.0~9.8	200~145
6b	灰、灰褐色粉质粘土、粉土、粘土及粉砂	38.7~29.5	19.4~18.7	1.04~0.83	100.0~96.3	17.6~6.2	1.78~0.65	0.54~0.23	8.64~3.55	32.0~6.0	28.0~10.2	160~100
7	灰、浅灰色粉砂、粉土夹粉质粘土	33.4~29.5	19.1~18.5	0.96~0.84	100.0~93.6			0.40~0.16	12.45~4.43			200~140
8a	暗绿、黄绿、褐黄色粘土	26.6~21.3	20.5~19.5	0.75~0.62	99.6~94.7	20.9~14.6	0.38~0.17	0.24~0.10	16.28~7.54	74.0~36.0	20.5~14.6	300~240
8b	黄褐、灰黄色粉质粘土	31.3~24.3	20.2~19.2	0.86~0.68	99.1~96.0	15.7~10.5	0.64~0.26	0.26~0.13	14.15~6.90	61.0~27.0	24.5~13.0	280~160
9a	青灰、浅灰色粉质粘土	33.0~24.7	19.8~19.1	0.91~0.73	99.7~97.1	14.3~9.9	0.97~0.56	0.29~0.19	9.90~6.24	34.0~18.0	26.5~13.8	180~120
9b	青灰、灰色粉土、粉砂	30.0~25.1	19.8~19.2	0.82~0.69	99.7~95.2			0.24~0.13	12.45~8.11			220~180
10	褐灰、灰色粉质粘土及粘土、粉土	39.2~28.9	19.3~18.4	1.09~0.82	100.0~96.0	20.8~12.0	1.07~0.64	0.36~0.20	9.47~5.39	41.0~13.0	18.0~11.7	160~100

1)　据苏州市建筑设计院提供的钻孔资料综合。

侵", 我们称之为前太湖海侵。本区海侵时形成古太湖海湾, 在海湾内堆积了厚度大于 10 m 的灰色亚粘土及粘土与粉砂互层的浅海相或泻湖相沉积。

2.2　33 ka B.P. 前后的海退时期

大约自 33 ka B. P. 前开始, 海面开始下降, 同时三角洲平原迅速向海推进, 形成了质地均匀、无层理和粘粒含量达 35% 以上的褐黄色粘土(上部在后期海侵时被还原成暗绿色)。该粘土广布于苏南平原地面下 20~ 27 m 深处, 并以 0. 123% 的坡度向东倾斜, 延伸到东海陆架 60 m 水深处[6], 组成宽广的泛滥平原。暗绿色粘土形成后海面迅速下降, 这时平坦的泛滥平原遭到侵蚀切割, 形成波状起伏的台地。

2.3　26 ka B.P. 前后的海侵时期

此次海侵大约开始于 30 ka B. P. , 当时海面迅速上升, 海侵范围可能超过了前一次, 长江下游南岸平原全被海水浸没, 形成巨大的海湾-古太湖湾。苏南大部分地区成为海湾或泻湖, 苏州东山、无锡

惠山、江阴长山等当时在古海湾中均成岛屿。在这次海侵后期海面开始呈有波动的下降, 三角洲不断向前伸展, 开始形成含有孔虫和富含云母的黄色粉砂, 为河口沙坝或潮汐汊道沉积。以后逐渐变为具薄层理的粉土、粉质粘土沉积, 最后过渡为无层理的棕黄或褐黄色含 Fe、Mn 结核的粘土, 再次形成三角洲泛滥平原, 这时海面已迅速下降, 进入末次冰期的盛冰期。

2.4 18 ka B.P. 前后的盛冰期及现代地理过程

已有资料证明[5~9], 在 18 ka B. P. 前后, 海面已退至- 150 m 的地区, 广大陆架出露海面, 由于侵蚀基面大幅度下降, 致使沿海河流迅速下切。形成于盛冰期前由黄粘土组成的平原遭到切割, 形成顶面平坦的台地地形, 台地间沟谷和坳沟纵横, 在切割较深的地方, 黄粘土被侵蚀缺失。

目前的苏南平原则是在 16 ka B. P. 以来逐渐形成的。大约在 16 ka B. P. 前, 海面开始上升, 在古沟谷谷底上形成溺谷相、滨海相沉积, 低海面时形成的沟谷被填平。本区冰后期的最早沉积见于城北的古宽谷中, 时代为 16 ka B. P. 。以后随着海面的不断上升, 一些浅洼地开始积水形成湖塘, 并接受全新世的灰黑色淤泥质亚粘土沉积, 局部地区堆积了含有孔虫的河口相堆积。大约从 4 ka B. P. 前开始, 海面较稳定并略有下降, 湖塘面积缩小, 沼泽范围扩大, 形成沿沟谷和洼地分布的灰黑色淤泥质软土和泥炭层。部分沟谷和洼地从此淤塞填平, 形成暗塘、暗浜和暗沟。

由上可见, 在 4 ka B. P. 年来, 本区曾经历过两次海陆变迁。海侵时形成古太湖海湾及其浅海相沉积, 海退时形成暗绿色粘土和黄褐色粘土。低海面时期, 沉积物裸露地表并遭受侵蚀切割, 形成了沟谷洼地和台地地形; 当后期海侵开始时, 海水首先沿此沟谷入侵, 并将所携物质淤填其中, 当沟谷和洼地先后被海水所浸没, 形成今日各种不同类型的埋藏地貌。不同的埋藏地貌类型, 其组成物的岩性、厚度、分布特征及物理力学性质等各不相同。而埋藏地貌的发育过程是受古地理环境变化所制约的, 所以说古地理控制着各沉积层的空间分布及物理力学性质。

3 苏州市 50 m 以浅地层的工程地质条件研究

根据 2 000 多项工程勘察资料, 通过编制多时段的古地理分布图, 摸清了本区浅层地基土层空间分布的结构变化规律。综合上述工程地质层的划分, 编制出“天然地基工程地质条件分区图”及“桩基工程地质条件分区图”, 并依不同地层的结构特点, 区分工程地质条件的差异, 以供实际应用。

3.1 天然地基岩土工程地质条件

根据特性分区原则, 考虑本区微地貌特征、表层土的成因类型等因素先划分工程地质区, 再按岩土特征及组合规律进一步划分出亚区。据此将本区划分为 5 个工程地质区及部分亚区(图 1), 其分区及天然地基条件如表 2 所示。

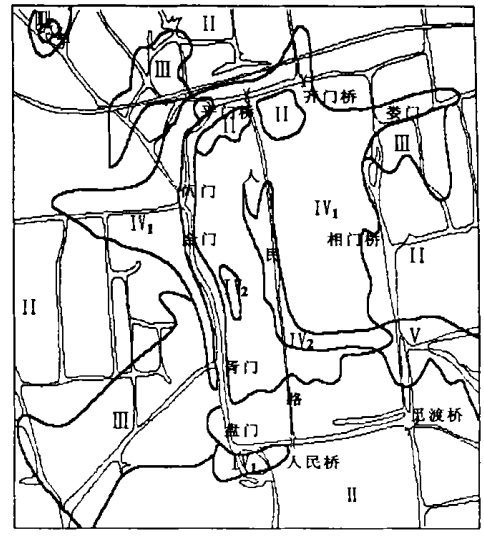


图 1 苏州市天然地基工程地质条件分区图

Fig. 1 Distribution map of engineering geological condition for natural foundation of Suzhou

3.2 桩基工程地质条件

桩基工程是由上部建筑的层数、荷载、基础结构形式、地下室埋深和对变形的要求等多种因数决定的。桩基岩土工程地质条件受多种因数控制, 但地层结构及地基土的性质, 是起着决定性的因数。根据对本区 50 m 深度以内土层分布及性质的分析, 结合实际工程经验, 本区桩尖持力层可分为以下三层:

第一桩尖持力层(Ⅰ): (5b) 灰色粉砂, 埋深 6 ~ 10 m, 厚度 2.5~ 18 m。

第二桩尖持力层(Ⅱ): (8a) 暗绿色粘土和(8b) 褐黄色粉质粘土, 埋深 18~ 24 m, 厚度 2~ 12 m。

第三桩尖持力层(Ⅲ): (9b) 青灰、灰色粉土、粉砂及(7) 灰、浅灰色粉砂、粉土夹粉质粘土。(9b) 层埋深31~ 38 m, 厚度2.5~ 15 m; (7) 层埋深22~

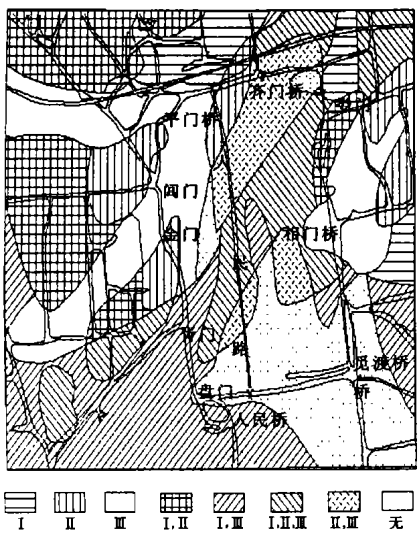
表 **2**　天然地基分区与地基条件

Table 2　The natural foundation distribution and foundation condition

分区		地基条件
Ⅰ构造剥蚀低山丘陵工程地质区	Ⅰ$_1$ 基岩工程地质亚区	工程地质条件简单。可将基础置于中等风化基岩之上。
	Ⅰ$_2$ 坡积工程地质亚区	工程地质条件较好。勘察设计时应注意不均匀性。
Ⅱ冲洪积平原工程地质区		浅基工程地质条件良好。应尽量利用(4a)层粘土的工程特性; 对箱基、深埋筏板基础应考虑地基承载力、基坑降水及边坡稳定等问题。
Ⅲ湖积碟形浅洼地工程地质区		浅基工程地质条件一般。注意不均匀性; 深基础时应高度重视降水及基坑边坡稳定问题。
Ⅳ人工堆积地貌工程地质区	Ⅳ$_1$ 古城区工程地质亚区	工程地质条件较复杂。在无暗塘的情况下, 对 5 层及其以下的一般工民建筑利用杂粘土作持力层, 应进行压实、夯实等加固处理
	Ⅳ$_2$ 埋藏河床及暗塘暗浜工程地质亚区	工程地质条件不良。除 3~ 4 层以下、荷载不大的民用房屋可建于经过夯实等加固处理的上部杂粘土层之上外, 其它建筑物均需考虑基础落深、桩基等问题。
Ⅴ湖沼低地工程地质区		工程地质条件较差。除低层荷载不大的房屋可考虑作砂石垫层等处理外, 对多数建筑应考虑作基础落深等处理。

28 m, 厚度 3~ 34 m。

根据这三层持力层的空间组合情况, 编制出本区桩基工程地质条件分区图(图 2)。



Ⅰ为第一桩尖持力层分布区; Ⅱ为第二桩尖持力层分布区; Ⅲ为第三桩尖持力层分布区; Ⅰ、Ⅱ为具有第一、第二桩尖持力层分布区; Ⅰ、Ⅲ为具有第一、第三桩尖持力层分布区; Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ为具有第一、第二、第三桩尖持力层分布区; Ⅱ、Ⅲ为具有第二、第三桩尖持力层分布区, "无"为没有桩尖持力层分布区。

图 2　苏州市桩基工程地质条件分区图[7]

Fig. 2　Distribution map of engineering geological condition for pile foundation of Suzhou

4　结　论

通过上述研究, 可得出以下几点结论:

1) 苏州市 50 m 以浅晚第四纪沉积层分为 10 层及若干亚层。

2) 4 万年来, 本区曾经历过两次海陆变迁。海侵时形成浅海相沉积, 海退时形成暗绿色粘土和黄褐色粘土, 古地理控制着各沉积层的空间分布及物理力学性质。

3) 本区天然地基分为五个工程地质区, 各区的地基条件不同。

4) 本区桩尖持力层分为三层, 其空间组合状况对桩基工程地质条件影响很大。

此项工作不仅为苏州市工程勘察、设计和施工提供了可靠的科学依据, 而且对长江三角洲南部平原的城市建设亦有重要的参考价值。

参考文献:

[1] 韩有松, 孟广兰, 王少青, 等. 太湖平原第四纪古地理环境演变若干问题的探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, **7**(1): 91~ 103.

[2] 严钦尚, 洪雪晴. 长江三角洲现代沉积[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.

[3] 李全安, 严钦尚. 长江三角洲现代沉积[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.

[4] 陈庆强, 李从先. 长江三角洲地区晚更新世硬粘土层成因研究[J]. 地理科学, 1998, **18**(1): 53~ 57.

[5] 方家骅, 邵国光, 韦兴星, 等. 长江三角洲地区第四纪地质及环境地质研究[J]. 江苏地质, 1989, (4): 29.

[6] 杨文达. 长江口外陆架砂的形成时代与沉积动力特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, **3**(2): 42~ 43.

[7] 曹琼英, 王富葆. 苏州浅层第四系与工程地质条件研究[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993.

[8] 于世永, 朱　诚, 王富葆, 等. 太湖流域全新世气候——海面短期振荡事件及其对新时器文化的影响[J]. 地理科学,

2000, **20**(4): 33~ 335.

[9] 林 拓, 张修桂. 上海南江地区环境变迁与经济开发及其政区演变的相关研究[J]. 地理科学, 2001, **21**(6): 531~ 535.

A Study on Paleo-geography of Late Quaternary and Engineering Geological Condition of Suzhou Urban District

JIANG Hong-Tao, WANG Fu-Bao, YANG Da-Yuan

(*Department of Urban & Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu* 210093)

Abstract: Based on the analysis of the bore cores of more than 10 projects and the drilling materials of more than 2000 bores, the shallow soil layers within 50 m deep are analyzed, including the origin, time, composition and the physical mechanics properties. The terminology table of the soil layers is made, according to the demand of the foundation engineering. The distribution maps of engineering geologic condition for natural foundation and for pile foundation are compiled in light of spatial distribution and structural characteristics of soil layers. The study is of great signification for engineering construction of Suzhou urban district and the southern part of the Changjiang River delta.

Key words: Suzhou urban district; late Quaternary; paleo-geography; engineering geological condition

---

《中国地理科学》(英文版) 征稿启事

CHINESE GEOGRAPHICAL SCIENCE《中国地理科学》(英文版) 是我国综合性英文地理学术期刊, 由中国科学院主管, 中国科学院长春地理研究所主办, 科学出版社出版, 国内外公开发行。本刊主要刊登自然地理学及其分支学科、人文地理学及其分支学科、地图学、遥感应用及地理信息系统等学科具有先进水平的学术论文和研究成果, 各学科的新理论、新观点、新方法, 侧重刊登当前世界共同关注的重大问题, 如人口、资源、环境等, 注意国家攻关课题, 国家自然科学基金项目的最新研究成果。

本刊已得到国内外地理学界同行专家的好评, 成为国内外有较大影响的学术期刊。目前, 本刊已被国际知名的检索刊物 Current Geographical Publication、Elsevier/Geo Abstracts 等收录; 美国国会图书馆已将本刊列为馆藏期刊; 美国、德国、法国、加拿大、日本等国家的许多研究机构已同本刊建立了交换关系。在国内, 本刊为《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊; 《中国期刊评价数据库》来源期刊; 《中国科学引文数据库》(CSCD) 来源期刊。

本刊设有学术论文、研究报导、综述、教学研究、学术活动等栏目, 内容翔实, 图文并茂, 能让您了解中国地理学界的研究成果与动向, 将您的学术成果推向世界。

为进一步提高刊物的国际影响, 从 2003 年起本刊的文章首发率将达到 100%, 即不再刊发已在国内中文期刊上发表过的文章。

欢迎国内外同行专家踊跃赐稿, 稿件直接投到编辑部。

编辑部地址: 长春市高新路 3195 号

《中国地理科学》(英文版) 编辑部

Tel: 0431- 5542243 Fax: 0431- 5542298 E-mail: egeoscien@ mail. neigae. ac. cn