

长江三角洲晚第四纪古土壤与古环境初探^①

陈庆强 李从先

(同济大学海洋地质与地球物理系, 上海, 200092)

提 要 长江三角洲地区第一硬粘土层中有植物根、植屑、裂隙、粘粒胶膜、土壤结构体、结核等古土壤特征, 系古土壤。粒度、化学分析及磁组构分析揭示它为多期成土作用形成的复合古土壤层。根据硬粘土层与南京下蜀土、黄土高原黄土—古土壤系列及上海亚近代潮坪沉积的磁性参数对比, 推断该古土壤的母质系河流冲积物。硬粘土层中裂隙的广泛发育及充填, 软锰矿的分布表明当时地下水位波动较大, 干湿季节分明, 古季风的影响较强。

关键词 古土壤 长江三角洲 晚第四纪 古环境

第一作者简介 陈庆强 男 25岁 博士生 沉积学与海洋地质学

长江三角洲晚第四纪地层中广泛存在多层硬粘土, 而位于全新统之下的第一硬粘土层研究较详, 其成因有风成说^[1-3]、湖成说^[4]和河流说^[5], 尽管在具体成因上存在上述分歧, 但倾向性意见认为这层硬粘土是末次冰期低海面时的古地面^[6]。沉积之后的改造, 有人把它视为古土壤剖面^[7], 对顶部的暗绿色层, 有的认为是土壤发生层, 有的认为是海水渗透于陆相层所致^[7]。本文主要依据长江三角洲若干钻孔资料(图1), 除部分涉及上述问题外, 将着重讨论硬粘土层的古土壤特征及其与古环境的关系。

1 硬粘土层的古土壤特征

本区硬粘土层上覆全新统滨浅海相沉积, 二者呈突变, 向下过渡为砂、泥互层沉积。该层自上而下由灰橄榄色(7.5Y 4/2), 渐变为黄橙(10YR 5/8)、浊棕(7.5YR 5/4)、淡黄橙(10YR 8/4)和黄灰色(2.5Y 6/1)。硬粘土层显示如下古土壤特征。

1.1 宏观及微观特征

1.1.1 植物根和植物碎屑

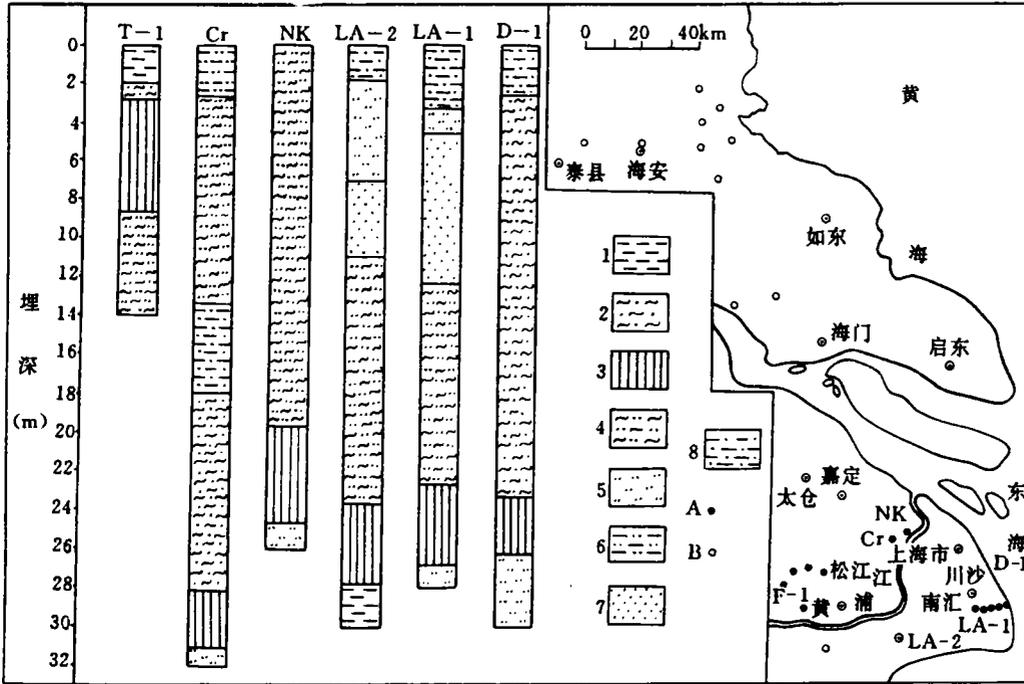
植根、植屑通常存在于硬粘土层上部, 最深可达2.0—2.5m, 在此之下, 则发现有网纹状分布的腐殖质。硬粘土中植屑含量约为1%, 向下逐渐减少, 植屑长度为2—4mm, 主要呈长条状, 少量板片状, 多已炭化。植根多呈竖直状, 上粗下细, 外表常附有菱铁矿、菱锰矿与粘土的混合物, 呈棕灰色。植根与植屑共存说明它们是原地自生的, 并且从形态、大小判断, 当时可能以草本植物为主, 与植物硅酸体的分析结果基本吻合^②。

1.1.2 裂隙

① 国家自然科学基金与高等学校博士学科点专项科研基金资助的项目

② 刘宝柱, 1993, 长江三角洲地区晚第四纪古土壤研究, 博士论文。

裂隙主要发育在硬粘土层的中上部,以中部最好。在钻径10.8cm的岩芯中往往可见6—8条垂向树枝状裂隙,裂隙上宽下窄,宽度一般3—5mm,最宽1cm,长度2—20mm。裂隙充填物中、上部为粘土、有机质及菱铁矿、菱锰矿的混合物,中部为灰白色粘土,充填物与基质的边界明显。薄片可见微裂隙,充填有棕褐色铁锰物质与粘土的混合物。



1. 黄褐色粘土 2. 灰色粉砂质淤泥 3. 硬粘土层 4. 灰色粘土质粉砂 5. 粉细砂 6. 黄色粘土质粉砂
7. 灰褐色细砂 8. 黄褐色粉砂质粘土 A. 本文研究钻孔 B. 资料参考钻孔

图1 钻孔位置及硬粘土层垂向分布

Fig. 1 Drilling location and vertical distribution of stiff clay

1.1.3 粘粒胶膜

硬粘土中的粘粒胶膜中部最多,可占截面积的20%,向上向下递减。主要分布于土壤结构体表面,少部分存在于裂隙内壁,在一些树枝状裂隙中可见多层叠置的粘粒胶膜,指示了多世代成因,是暴露成土期间长期淋滤淀积的结果。粘粒胶膜常伴有铁的氧化物和氢氧化物,单偏光下呈黄棕、褐黄色。

1.1.4 土壤结构体

硬粘土层中土壤结构体的发育,上部较弱,向下增强,中部最强,向下逐渐变弱。土壤结构体多呈粒状—屑粒状,粒径2—7mm。在薄片,土壤微结构体常被微裂隙及孔洞分开。

1.1.5 铁锰结核

硬粘土上部结核小(粒径<1mm)而稀少,X射线衍射分析表明其主要成分为铁、锰^[7],多为球形菱铁矿、菱锰矿。向下菱铁矿和菱锰矿减少,褐铁矿和赤铁矿逐渐增多,硬粘土层中部主要为褐铁矿、赤铁矿,且结核总量增多。另外,中层部分结核具多圈层。向下褐铁矿、赤铁矿减

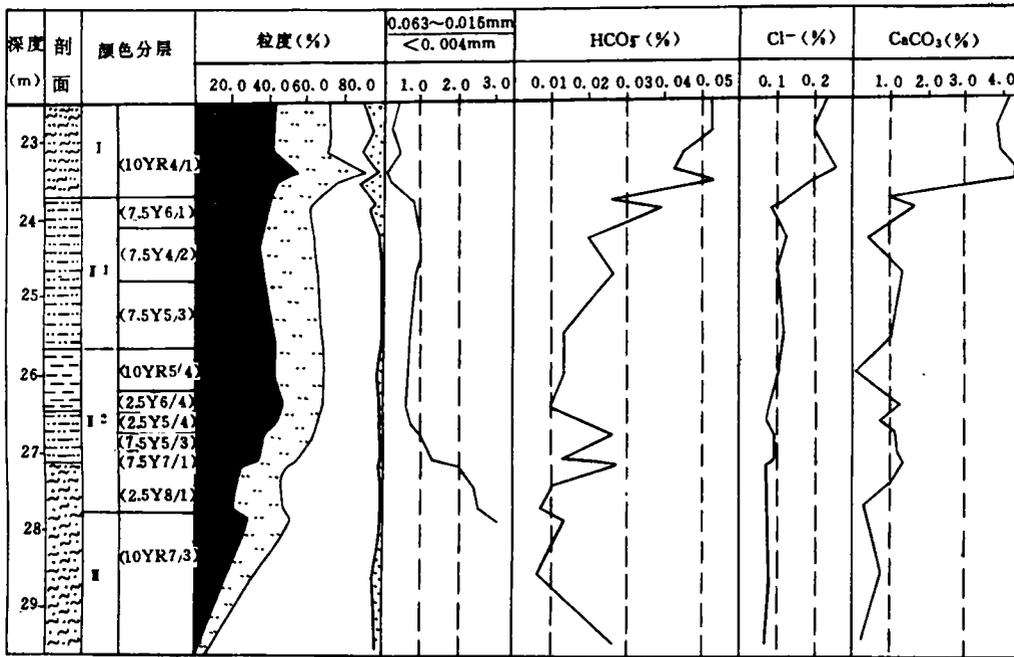
少,棕黑色软锰矿随之增多,下部几乎全为软锰矿。

硬粘土层自上而下结核种类及数量的变化反映由还原环境过渡到氧化环境,且 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 发生了垂向迁移。

1.2 化学特征

1.2.1 易溶物质的分布

硬粘土层与上覆层的 Cl^- 、 $CaCO_3$ 、 HCO_3^- 含量呈突变,与下伏层为渐变关系(图2)。硬粘土层中 HCO_3^- 含量最小值为 60×10^6 ,而出现在中上部的两个峰值分别为 250×10^6 、 280×10^6 ,约为最小值的4—5倍。 Cl^- 自上而下有减少趋势。 $CaCO_3$ 含量最小为0.1%,峰值为1.2%—1.3%,而在两个高值段均大于1.0%,层位与 HCO_3^- 的两个高值段基本吻合。



I, 海相沉积 I', 暗绿色层

I'', 黄褐/黄棕色层 II, 河流冲积物

clay. 粘粒 (>8Φ) fs. 细粉砂 (6—8Φ) cs. 粗粉砂 (4—6Φ) s. 中、细砂 (1—4Φ)

图2 LA-2孔硬粘土粒度及化学分析

Fig. 2 Grain size and chemical analyses of stiff clays in LA-2 Core

1.2.2 成壤强度

硬粘土的硅铝率在2.80—3.37之间(图3、4),而发育于长江冲积物母质的现代潮土的硅铝率为3.0或更高些⁽⁸⁾,可见,硬粘土已经受一定强度的成土作用。相对母质,硅铝率增大反映成土过程中有脱铝现象(酸性淋溶),反之,则有富铝化作用⁽⁹⁾,黄褐色层的硅铝率自上而下呈减小趋势(图3),反映存在富铝化过程,但相对母质层的硅铝率(平均3.0)存在两个明显低值

段,最低为 2.80,厚度都在 0.5m 以上。暗绿色层的硅铝率均较低(图 3、4),而 CY 孔层(厚约 2.7m)近 73% 的连续层段硅铝率小于 3.0,明显低于下伏层,与黄褐色层也很不同。此外,黄褐色层云母类粘土矿物的 I(001)/I(002) 比值为 1.0—2.8,平均 2.0(图 3),而暗绿色层的这一比值均小于 2.0(图 4),说明暗绿色层的成壤强度总体上较黄褐色层弱。

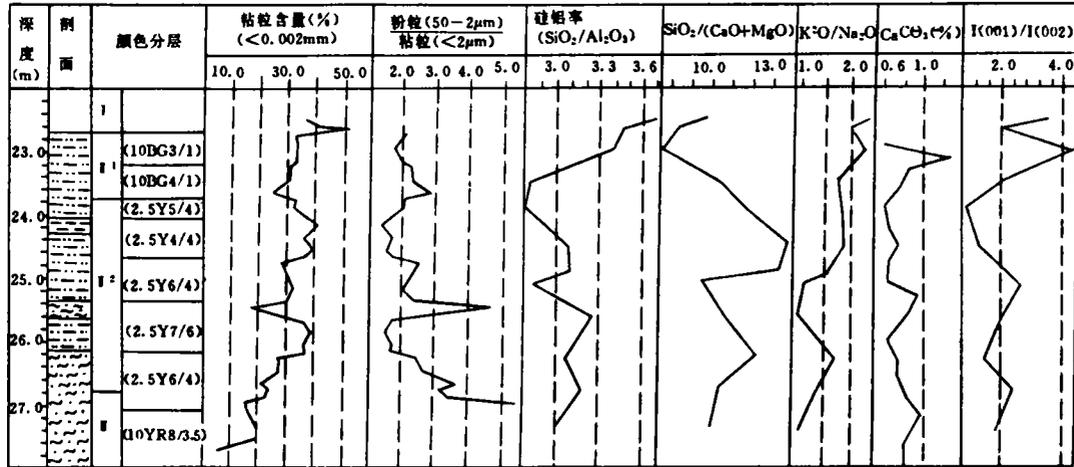


图 3 LA-1 孔硬粘土层粘粒含量及胶体化学分析(分层代号同图 2)

Fig. 3 Contents and chemical analyses of clay fraction of stiff clays in LA-1 Core

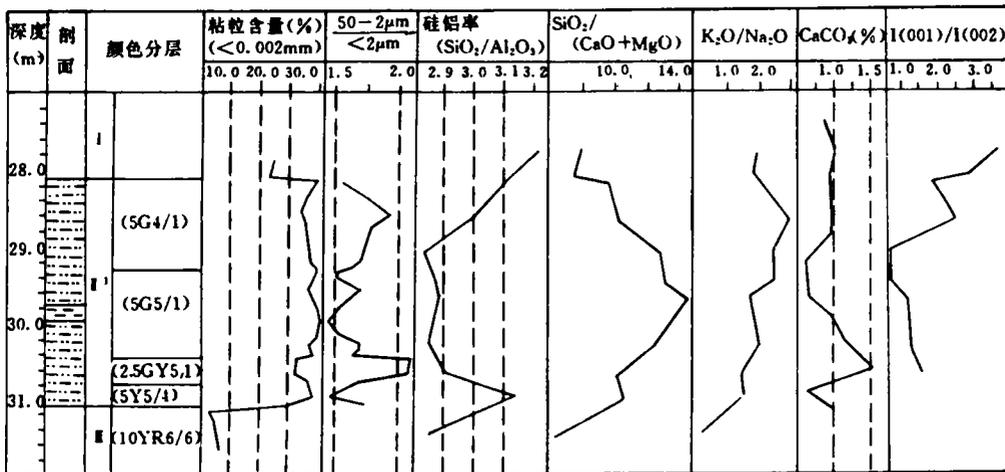


图 4 CY 孔硬粘土层粘粒含量及胶体化学分析(分层代号同图 2)

Fig. 4 Contents and chemical analyses of clay fraction of stiff clays in CY Core

1.2.3 淋溶强度

土壤中 $SiO_2/(MgO+CaO)$ 和 K_2O/Na_2O 比值说明淋溶程度^[10],在本区硬粘土层中自上

而下二者均有增大的趋势(图 3),反映淋溶增强,而暗绿色层的这两个比值不太一致,淋溶作用较弱。

1.3 粘粒分布

硬粘土的粘粒含量多在 20%以上,比下伏层高得多(图 2、3、4),而有些层位高达 50%(图 2)。硬粘土中存在明显的粘粒含量高值段(图 3),有的为 1 个(CY 孔),有的为 2 个(LA-2 孔),有的为 3 个(LA-1 孔),钻孔之间相距 20—30km,有的甚至几公里,粘粒含量高值段的个数不等,且所在层位难以相互对比,推测硬粘土层中的粘粒含量高值段并非成土作用的直接产物,而是母质沉积时产生的,虽经成土作用的改造,但仍反映了原始沉积的烙印。

2 磁组构特征与母质类型

2.1 磁化率

硬粘土的平均磁化率量值较小,约为黄土的($8.94 \times 10^{-4} \text{SI}$)⁽¹¹⁾1/3—1/4,较黄土中的古土壤几乎低一个数量级。硬粘土的磁化率(K)集中于 $230—240 \times 10^{-6} \text{SI}$,除个别处,上下变化幅度极小(图 5、6),明显地不同于南京下蜀土和西北黄土—古土壤系列⁽¹²⁾;而潮坪沉积的磁化率为 $150—400 \times 10^{-6} \text{SI}$,且自上而下由大到小再变大,以至平稳,反映从高潮坪→低潮坪→潮下带的变化(图 7),可见硬粘土的磁化率特征与之区别明显,二者的最大磁化率 K_{max} 也反映了这一点。

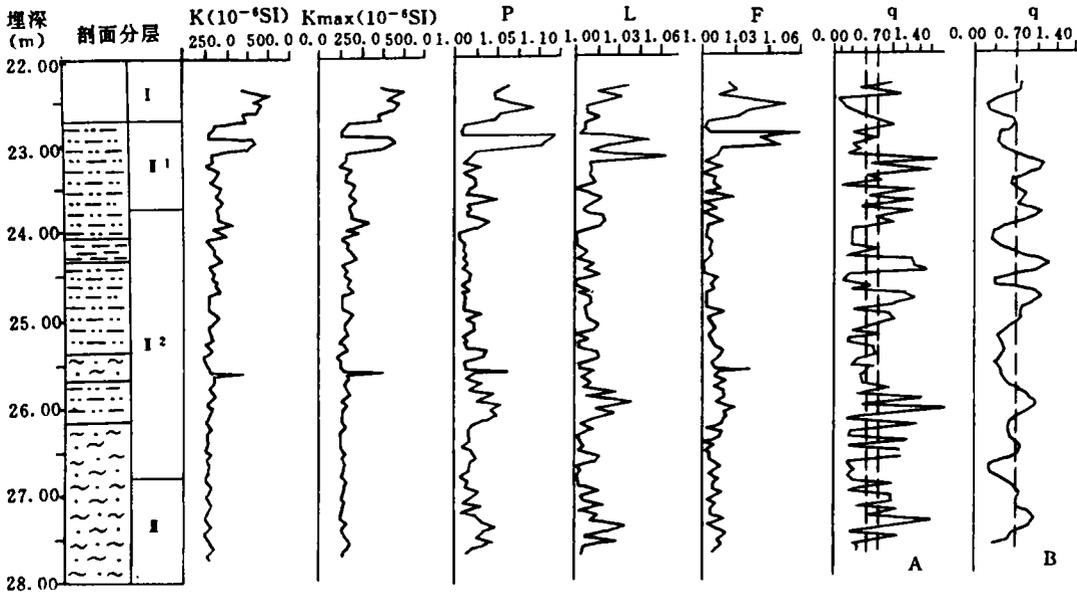


图 5 LA-1 孔磁组构组合分析(图例同图 1,分层代号同图 2)

Fig. 5 Magnetic Fabrics Analyses of LA-1 Core

2.2 磁组构参数

磁组构参数往往能够反映沉积作用与沉积过程。基质颗粒度(q)小于0.5表示沉积物是正常情况下沉积的, q 大于0.7表示沉积物是快速沉积的^[13],这或者是事件造成的,或者是能量骤然减低所致。磁化率各向异性度(P)的高低与不同形态颗粒的有序化程度成正比,在强动力环境下,颗粒的有序化程度高, P 值大,反之亦然^[14]。磁线理(L)的高低代表矿物颗粒呈线性排列程度的高低,如果在较长时间内沉积搬运动力强而稳定,则 L 值较大^[13]。磁面理(F)代表沉积物颗粒粗细的成层性及微层理的结构发育程度。

硬粘土中 q 大于0.7的峰值众多(图5、6),说明存在相当数量的非正常沉积,然而 P 、 F 、 L 均小而平稳,可以推断 q 峰值是在低能情况下快速沉积的,这既不同于黄土沉积,也有别于潮坪沉积,那里 q 大于0.7的峰值, P 、 F 、 L 相应地为明显高值(图7),说明这些层位是强动力条件下发生的快速沉积。

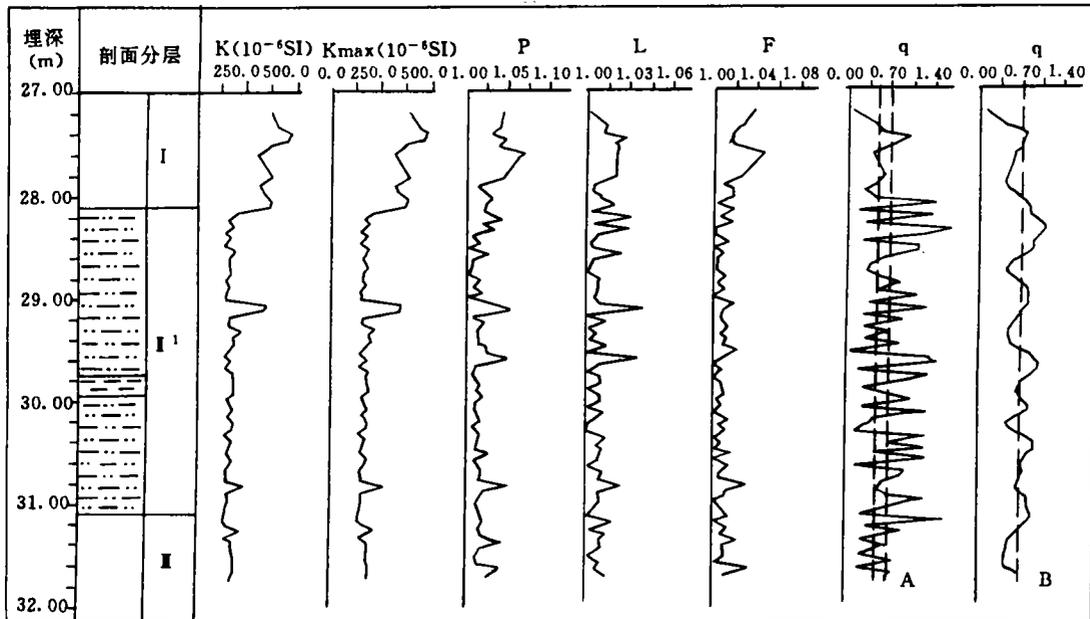


图6 CY孔磁组构组合分析(图例同图1,分层代号同图2)

Fig. 6 Magnetic Fabrics Analyses of CY Core

硬粘土的磁组构参数表明它可能是低能条件下的快速沉积,这可能是洪水期间高含沙量的水流漫越河漫滩流速减弱,大量悬移质快速沉积,故 q 值增大。因此,推断硬粘土的原始沉积环境可能是河漫滩,古土壤的母质主要是冲积物。

3 硬粘土与古环境

硬粘土层长期暴露于地表经受成土作用,记录了发育过程中丰富的古环境信息。

3.1 成土的多期性

硬粘土层的厚度多在3—10m,远大于现代土壤剖面的厚度,故不可能是单一的土壤剖面。

粒度分析(图 3)表明它具有多个粘粒富集段,此处硅铝率相应增大, $SiO_2/(CaO+MgO)$ 与 K_2O/Na_2O 亦为高值, $I(001)/I(002)$ 为低值。故多个淋滤淀积层的存在说明成土作用的多期性。

沉积磁组构中众多的 q 峰值记录了沉积物的不断叠加,而硬土层的古土壤特征表明其经受了明显的成土改造,可见,长江三角洲第一硬粘土层是河漫滩不断接受沉积和成土作用持续进行的产物。由于洪水泛滥持续的时间远小于暴露成土的时间,沉积作用只造成成土作用短期内中断,多期小规模沉积往往受到近似连续的统一成土作用的改造。

3.2 古地下水位

软锰矿通常在近地下水位处沉淀^[9],根据硬粘土中大量软锰矿结核的出现部位得出古地下水位约在地面以下 2—3m,波幅在 0.5m 以内,而上海地区现今的地下水埋深不足 1.0m,这可能与本区的海拔高度有关。上海现今的海拔只有 2—3m,而在距今 1.5 万年前晚玉木冰期最盛时,海平面在现今海面以下 150—160m 处^[15],成土之时本区海拔当长期在百米以上,较大海拔高程造成地下水位较低说明硬粘土确实是在冰期低海面时经受成土作用的。

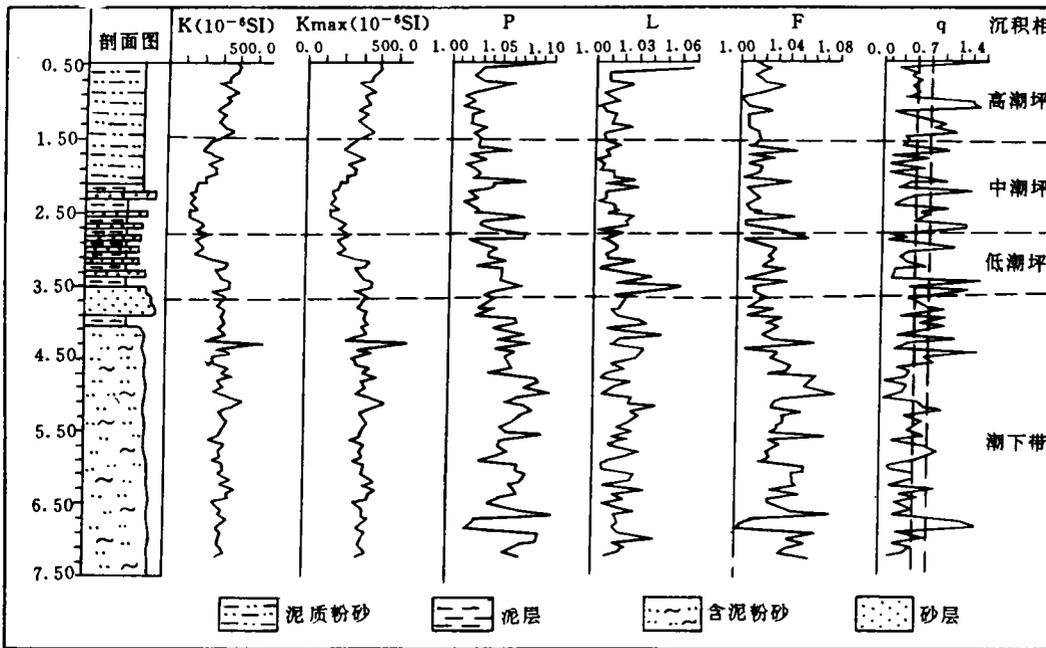


图 7 CY 孔亚近代潮坪沉积磁组构组合分析(相带的划分据李铁松,1993^①;分层代号同图 2)

Fig. 7 Magnetic Fabrics Analyses of Tidal Flat Sediments of CY Core

3.3 海侵海退与古土壤层的厚度

从沿海向陆地,硬粘土层厚逐渐增加,东部沿海地区一般为 3—5m,西部淀山湖附近为 6—10m,平均 7.2m。硬粘土厚度的这种变化与成土时间有关。冰后期海侵,东部地区先被海水淹没,尔后西部地区被淹没,如 D-1 孔所在地区在距今约 12000 年时被淹没,而 T-1 孔所在

① 李铁松,1993,浙西和长江三角洲南翼潮坪层序与风暴沉积的对比研究,硕士论文。

西部地区被淹没的时间距今约 7064 ± 300 年^[16],东、西部相差近 5000 年,在末次冰期前海退时,西部地区先出露水面,东部地区较晚,时间会相差数千年,因此,西部古土壤发育的时间至少较东部长达数万年,从而形成长江三角洲东、西部古土壤厚度的差别。这也说明当时地势西高东低、地形起伏不大,与现代长江三角洲类似。

3.4 古气候

硬粘土层中部及中上部树枝状裂隙的广泛发育及充填说明当时干、湿季节分明。软锰矿结核在垂向上的分布范围指示古地下水位波动幅度在 0.5 米左右,很可能是干、湿季节交替所致。本区现代土壤中裂隙及充填发育甚差,说明硬粘土成土期间干、湿季节的对比要比现在强烈,而干、湿季节明显、差异较大的地区往往是受季风影响较强的地区,故硬粘土成土期间本区所受季风的影响比现在强烈。

硬粘土中丰富的植物硅酸体可提供植被类型、多寡及气候冷暖的信息。根据对硅酸体的数理统计分析,推测 LA-1 孔硬粘土在距今 25000—10000 年间曾经历 4 次冷暖变化(刘宝柱,1993,博士论文),最后一次是由冷转暖,与冰后期气候由冷向暖转变的大趋势一致。因此,硬粘土的古土壤特征及植物硅酸体弥补了冰期低海面时我国东部地区缺乏气候记录的不足。

致谢:感谢李萍副教授及孙和平博士在实验分析中给予的悉心指导;部分粒度及粘粒氧化物含量的原始数据取自刘宝柱博士论文,国家海洋局第一海洋研究所丛友滋研究员协助磁组构分析,在此一并表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1]郑祥民、严钦尚、郭蕃民,1987,长江三角洲南部晚更新世晚期风成黄土与地层,长江三角洲现代沉积研究,华东师范大学出版社,76—91。
- [2]郑祥民、俞立中,1991,上海地区晚更新世晚期暗绿色硬土层风积黄土成因说,上海地质,(2):13—21。
- [3]郑祥民、彭加亮、郑玉龙,1993,东海海底末次冰期埋藏风尘黄土地层初步研究,海洋地质与第四纪地质,13(3):49—56。
- [4]竹淑贞等,1987,上海地区第四纪地层与古气候,长江三角洲现代沉积研究,华东师范大学出版社,158—173。
- [5]郭蕃民,1987,长江河口地区晚更新世晚期以来沉积环境的变迁,长江三角洲现代沉积研究,华东师范大学出版社,232—237。
- [6]吴标云、李从先主编,1987,长江三角洲第四纪地质,北京:海洋出版社,34—36,127—151。
- [7]李萍、孙和平,1991,长江三角洲地区晚更新世地层中的古土壤特征,上海地质,(1):16—20。
- [8]杜国华等,1990,潮土和砂姜黑土,中国土壤,科学出版社,164—179。
- [9]朱祖祥主编,1989,土壤学,北京:农业出版社,23—26,387—389。
- [10]文启忠等,1985,中国黄土地球化学若干问题,中国第四纪研究,6(1):149—157。
- [11]刘东生等,1985,黄土与环境,北京:科学出版社,78—82。
- [12]许峰宇,1993,下蜀土的岩石磁学特征,南京师范大学报(自然科学版),V. 16,增刊,44—50。
- [13]丛友滋等,1990,用磁组构研究底层流流向的初步探讨,海洋学报,12(3):347—351。
- [14]Hrouda, F., 1982, Magnetic Anisotropy of rocks and Its Application in Geology and Geophysics. Geophysical Surveys, 5:37—82。
- [15]朱永其等,1979,关于东海大陆架晚更新世最低海面,科学通报,(7):317—320。
- [16]李从先、闵钦宝、孙和平,1986,长江三角洲南翼全新世地层和海侵,科学通报,(21):1650—1653。

Preliminary Study on Late Quaternary Paleosols and Paleoenvironments of the Yangtze Delta

Chen Qingqiang and Li Congxian

(Department of Marine Geology and Geophysics of Tongji University, Shanghai, 200092)

Abstract

The first stiff clays at the Yangtze Delta are considered to be paleosols by their characteristics, such as plant debris and roots, clay-filled cracks, cutans, peds, and nodules, etc. It is learned from the clay contents, chemical and magnetic fabrics analyses that the stiff clays are complex polygenetic paleosols. The parent material of the paleosols are inferred to be alluvium based on the comparisons of their magnetic parameters with those of Xiashu Loess, Loess-Paleosol Series of Central China and tidal flat sediments of Shanghai.

It is learned from the concentration of $MnO_2 \cdot nH_2O$ that the depth of groundwater was about three meters, which was due to the higher elevation of this area during the period of glacial low stand of sea level. The well-developed and clay-filled cracks, along with the fluctuations of groundwater, indicate that the dry and wet seasons were distinctive and the effects of monsoon were stronger than nowadays.

Paleosols are thicker than modern soils, and are thinner in the east than in the west of this area, which relates to the different time spans of pedogenesis caused by transgression and regression.

Key words: Paleosol Yangtze Delta Late Quaternary Paleoenvironment