

长江三角洲晚更新世暗绿色硬粘土的 早期成岩作用

李萍 陈刚

(同济大学海洋地质与地球物理系, 上海 200092)

长江三角洲晚更新世暗绿色硬粘土层是一个埋藏的古土壤层。它具有土壤的基本性质:(1)具植物根孔、植物碎屑及网状黑色腐殖质;(2)具粘土化作用;(3)存在淋溶、淀积作用;(4)缺乏层理。但与一般土壤却又有明显的区别:(1)上部致密、坚硬,超固结比2.1~2.2,下部则固结程度较差,与一般土壤剖面正好相反;(2)呈绿色和黄绿色;(3)普遍含形态各异的结核,其成分由上至下为黄铁矿→菱铁矿、菱锰矿→褐铁矿、软锰矿,反映由还原-氧化环境的过渡。原因在于早期成岩作用的改造使其特征发生了变化。富氧的海水在细菌的作用下,使古土壤中的有机质被分解,从而使其具备了早期成岩作用的条件。伴随着游离氧的消耗以及氧化离子的还原作用,形成硫化氢、低价铁、低价锰等,使古土壤的颜色、硬度、结核和粘土矿物发生了明显的变化,从而改变了古土壤的整体面貌。

关键词 长江三角洲 晚更新世 绿色硬粘土 古土壤 成岩作用

第一作者简介 李萍 女 58岁 副教授 沉积学

长江三角洲两翼地区晚第四纪地层中,广泛埋藏有多层暗绿色硬粘土,特别是位于全新统以下的第一层硬粘土,在地质上被看作是划分全新统和更新统的标志层^[1],前人曾经作过研究,提出过湖沼说和风成说^[2,3],并认为这一硬粘土是末次冰期低海面时期的古地面。笔者曾确认该层为古土壤,并讨论了其形成过程^[4,5]。在最近的研究中,我们发现这一硬粘土层除了具有古土壤性质外,还具有早期成岩作用的特点。

1 古土壤与一般土壤的比较

暗绿色硬粘土层是一个埋藏古土壤层。笔者通过对长江三角洲两翼地区的15个钻孔(图1)原状土的观察和分析,揭示了硬粘土层所具有的土壤性质,它们主要表现在以下几点:(1)剖面中可见植物根孔、植物碎屑及网状分布的黑色腐殖质;(2)存在着明显的粘化作用,这是成壤的重要标志之一;(3)存在着成壤过程普遍出现的淋溶、淀积作用;(4)缺乏层理

* 国家教委基金资助课题

收稿日期:1994-03-22 改回日期:1994-09-12

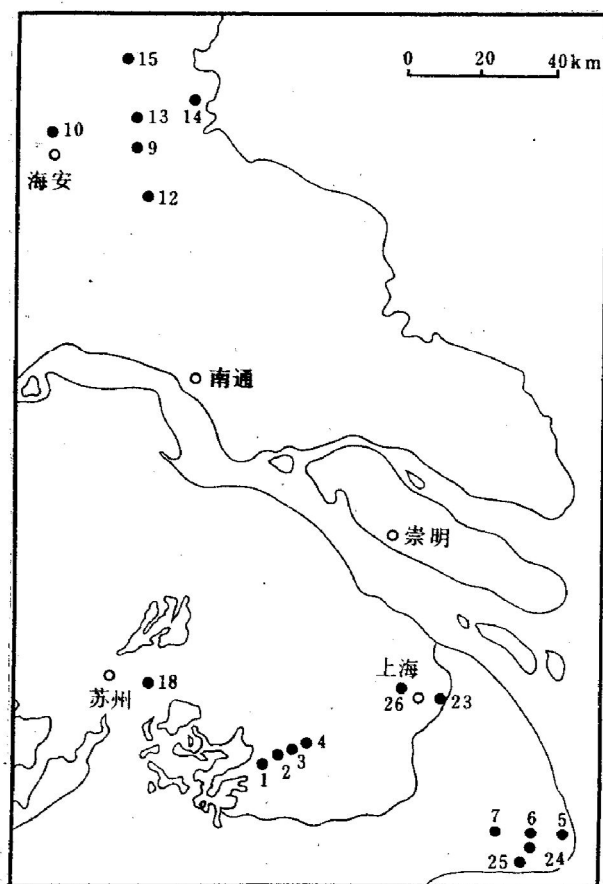


图1 钻孔分布图

构造,这是植物生长、细菌活动、淋溶淀积作用、粘化作用等过程使原始层理遭到破坏的结果^[4]。但硬土层与一般土壤又有某些明显的区别,主要表现在以下几方面:

1.1 硬度

一般土壤剖面的上部往往因风化和生物作用而比较疏松,遇水易潮解,下部则比上部致密、坚硬。然而本区古土壤剖面则是上部虽无层理,但却致密、坚硬,故有“硬粘土”之称。超固结比(指土的先期固结压力与土的自重压力之比)可以反映土的固结程度,该古土壤层上部的超固结比为2.1~2.2,属超固结土^[6],而位于它下部靠近母质层的土壤,其固结程度反而很差,在水中很易松散。虽然有些土壤剖面中也有固结度很高的层,但它们往往是淋溶作用或蒸发作用所形成的铁质层或钙质层,然而本区古土壤层中的高硬度却不是这种原因造成的。

1.2 颜色

土壤的颜色与成土母质及成土过程有关。一般完整的土壤剖面有几个层次,往往第一层为有机质层,也称A层,颜色一般呈褐色至灰黑色。第二层为淋溶淀积层,以B表示,颜色变化较为复杂,如为酸性淋溶,则会使钙、镁、钾、钠、铁、铝、锰等盐基被淋溶至下层,从而形成密实的棕褐色淀积层,其上层则因 SiO_2 残留而呈白色至灰白色;如为碱性淋溶,则会使硅酸和盐基离子不断淋失,而铝、铁、锰则相对富集残留在上部形成红色或黄红色^[7]。第三层为母质层即C层,其颜色因母质岩性而变化。

土壤的颜色除受上述三个主要层位控制外,还与土壤发生过程有关,如潜育化过程中的还原作用会使土壤成为蓝灰色或青灰色;潜育化过程会使土壤形成锈纹、锈斑及含铁、锰结核的黄褐色;钙化过程则使土壤中的碳酸盐淋溶,淀积成灰白色钙积层。

总之,土壤层的颜色有褐色、灰黑色、灰白色、棕褐色、红色、黄红色,甚至蓝灰色或青灰色,而很难见到显示绿色和黄绿色。

本区古土壤统称暗绿色硬粘土,实际上可以细分为灰绿、暗绿、黄绿和黄褐等几种颜色。由于其颜色是渐变的,又可大致分为两种颜色即不同程度的绿色及黄褐色。本区绝大部分钻孔的古土壤中这两种颜色的土层都有,少数钻孔缺失绿色层,而是黄褐色层直接与上覆海相层接触(表1)。各钻孔的古土壤层厚度不同,变化范围在1.6~4.9 m之间,大部分为2.5~4.0 m。其中绿色层占整个剖面的17%~90%,就是说绿色层厚度在各钻孔中变化很大,其绝对厚度变化在0.36~3.38 m之间。该古土壤层所具有的绿色,以及它们厚度变化之大,在一般土壤剖面中是很难找到的,用任何一个土壤发生层都是难以解释的。

表1 各钻孔中硬土层的颜色及厚度变化

单位: m

钻 孔	上覆地层 岩相	灰绿及黄绿色层		黄褐色层		下伏地层 岩性
		埋 深	厚 度	埋 深	厚 度	
赵港-4	滨岸相	11.35~13.70	2.35	13.70~14.90	1.20	黄褐色粉砂与粘土
朱家角-2	滨岸相	5.70~16.13	0.43	6.13~8.20	2.07	黄褐色粉砂与粘土
东海-5	浅海相			24.50~26.10	1.60	黄褐色粉砂与粘土
长安-7	浅海相	25.8~26.26	0.46	26.26~28.50	2.24	黄褐色粉砂与粘土
万祥-6	浅海相			25.20~27.30	2.10	黄褐色粉砂与粘土
里安-24	浅海相	22.70~24.70	2.0	24.70~27.60	2.90	黄褐色粉砂与粘土
果园-25	浅海相	23.70~25.80	2.10	25.80~27.25	1.72	黄褐色粉砂与粘土
曹阳-26	浅海相	28.10~30.80	2.70	30.80~31.10	0.30	黄褐色粉砂与粘土
场中-23	浅海相	19.65~22.65	3.0	22.65~24.75	2.05	黄褐色粉砂与粘土
三仓-15	滨海相	21.50~21.86	0.36	21.86~22.70	0.84	黄褐色粉砂与粘土
新街-14	浅海相			24.16~26.30	2.14	黄褐色粉砂与粘土
唐洋-13	浅海相	19.54~21.10	1.46	21.10~23.75	2.65	黄褐色粉砂与粘土
沿南-12	浅海相	25.31~27.90	2.59	27.90~30.0	>2.10	未 穿
丹凤-10	浅海相	23.0~25.40	2.40	25.40~26.40	1.0	黄褐色砂泥互层
李堡-9	浅海相	25.87~29.25	3.38	29.50~30.18	>0.68	未 穿

1.3 结 核

古土壤中普遍含有结核, 直径一般为 0.1~0.3 mm, 大者可达 4~5 mm。形状各异, 有圆粒状、哑铃状、葡萄状和莓状。结构成分复杂, 有黄铁矿、菱铁矿、菱锰矿、褐铁矿, 锰方解石和软锰矿等 (图版 I-1, 2, 3, 4)。它们在钻孔中的分布有一定规律, 最上层大多是反映还原环境的黄铁矿; 其下是亚还原条件下形成的菱铁矿和菱锰矿; 再下是反映氧化条件的褐铁矿及含锰较高的方解石、软锰矿等。上层结核含量普遍比下层高 (表 2)。从各钻孔中的结核成分、含量变化情况可以看出, 自上而下所反映出的环境有从还原条件向氧化条件转化的趋势, 其转化是逐渐的, 似乎是一个连续的剖面。然而, 最新的研究成果表明, 该古土壤是边沉积、边发育而成的, 其间经历了几次暖湿和冷干的变化*, 实际上是数个土壤剖面的叠加, 其中的结核种类和含量分布的变化理应是跳跃式的、不连续的。然而, 上述古土壤剖面中结核成分和含量所反映出的连续变化和多层叠加是相互矛盾的。这种现象恰恰说明, 后来海水的覆盖及早期成岩作用对多层古土壤剖面的整体改造。

以上颜色、硬度、结核三方面的特征说明, 本区古土壤剖面与一般土壤剖面存在着明显的区别, 这些区别只能用古土壤形成后的改造和变化来解释。

* 刘宝柱, 长江三角洲地区晚第四纪古土壤研究, 同济大学博士论文

表2 几个钻孔中古土壤的颜色及其所含的结核

钻 孔	埋深/m	颜 色	结核成分及含量 (在 >0.063 mm 级别内)
场中-23	19.65	灰绿色	黄铁矿 0.5%~2%
	20.40	暗绿—黄绿色	菱铁矿和菱锰矿 20%~60%
	22.65		褐铁矿 10%~30%
	24.75	黄褐色	褐铁矿 6%~60% 软锰矿 10%~20%
唐洋-13	19.54	灰绿色	菱铁矿和菱锰矿 3%
	21.10	黄褐色	褐铁矿 $>6\%$
	23.75		
李堡-9	25.87	灰绿—黄绿色	菱铁矿、菱锰矿 $>80\%$
	29.25	黄褐色	褐铁矿 2%~3%
赵巷-4	11.35	暗绿—黄绿色	菱铁矿、菱锰矿 $>90\%$
	13.70		褐铁矿 0~1.5%
	14.90	黄褐色	褐铁矿 25%
里安-24	22.70	暗绿色	菱铁矿 15%~80%
	23.80		褐铁矿 3%~5%
	24.70	黄绿色	褐铁矿 80%~90%，锰方解石 1%~7%
	27.0	黄褐色	褐铁矿 3%~90%，软锰矿 3%~40%
东海-5	24.50	黄褐色	褐铁矿 16%~45%，锰方解石 1%
	25.10		
新街-14	24.16	黄褐色	褐铁矿 2%~3%
	26.30		

2 早期成岩作用对古土壤剖面的改造

沉积物被埋藏以后的成岩过程中,起主要作用的因素是厌氧细菌^[8]。本区埋藏的第一硬土层是末次冰期低海面时的古地面^[2,3],其上有厚达 10 m 以上的浅海相或滨海相地层。当含氧的海水覆盖古地面时,在细菌的参与下土壤上层有机质必然发生分解^[9]。当海相层的沉积速率较快或者古土壤中有机质含量较高时,则缺乏足够的氧使有机质达到充分分解。这时,首先是孔隙水中的硝酸盐,然后是固相的高价铁和锰,最终是孔隙水中的硫酸盐都能作为氧化剂使有机质分解^[9]。由于有机质的分解、氧化,伴随着游离氧的消耗以及氧化离子(SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Mn^{4+} 、 Fe^{3+} 等)的还原作用形成硫化氢、低价铁、低价锰等。正是这种还原作用改变了古土壤的面貌,使其颜色、结核成分、含量,以及固结度都有了明显变化。

2.1 结核的形成

在还原条件下 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 离子移动性很大,在适宜的 pH 和 Eh 条件下,它们和硫酸盐分解出的 H_2S 反应,形成 FeS (黄铁矿) 和 MnS 等结核。但因 MnS 的稳定范围很小,在自然界十分罕见,一般都是形成 MnCO_3 ^[10]。同时, Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 离子还能交代方解石中的钙、镁,形成 FeCO_3 (菱铁矿) 和 MnCO_3 (菱锰矿)。此外,还原条件下赤铁矿也可以还原成菱铁矿^[11]。

因此, 本区古土壤上部普遍出现黄铁矿、菱铁矿、菱锰矿结核, 这正是早期成岩作用的标志之一, 而且莓状黄铁矿乃是成岩阶段的特征形成物^[8]。

当古土壤发育不太成熟, 其上层有机质含量极少时, 有机质分解消耗的游离氧或氧化态离子较少, 可以使古土壤仍保持其氧化环境。此时古土壤中不会出现反映还原或亚还原环境的黄铁矿、菱铁矿、菱锰矿等结核, 而是会出现一些含锰较高的方解石、褐铁矿等结核, 这就使古土壤仍然保持黄褐色。

2.2 粘土矿物的变化

本区古土壤中的粘土矿物主要为水云母、绿泥石、蒙皂石、高岭石和蛭石等。其中水云母含量最高, 其他几种粘土矿物在不同层段其含量又有不同, 上层以蒙皂石和绿泥石为主, 下层乃至母岩则以蛭石、高岭石为主。根据对广西南流江三角洲地区及长江口地区绿色颗粒的研究^[12,13]表明, 蒙皂石和绿泥石类矿物往往和海绿石矿物共生, 是海相条件下的产物。因此, 本区古土壤上层的粘土矿物以蒙皂石、绿泥石为主, 正说明它们的存在与后来海水的覆盖有密切关系, 是古土壤被海相层埋藏后的早期成岩作用所致。

2.3 颜色变化

本区古土壤被海水覆盖后, 在还原条件下, 高价铁、锰还原为低价铁、锰, 它们或者作为粘土本身的主要组分, 或者以薄膜形式和粘土矿物结合在一起搬运或沉积^[8]。正是这些低价铁、锰在古土壤中的存在, 才使其颜色变为绿色或黄绿色。而那些有机质含量较少的未成熟的古土壤层, 有机质的分解无须消耗太多的氧, 故未达到还原环境, 没有出现大量低价铁、锰。因此, 在那些地方的钻孔中, 海相层下面直接出现黄褐色古土壤层, 而缺少绿色或黄绿色层。

2.4 硬度变化

在未受海水覆盖前, 古土壤上部因植物根孔和粒度组分中粉砂粒级占 50% 左右, 而孔隙发育比较疏松, 这就有利于水的渗漏交替和自生矿物的沉淀。水的长期渗漏交替则使古土壤孔隙中的自生矿物不断积累。当海水覆盖古土壤层时, 海水的渗入和长期作用, 使土壤孔隙中形成菱铁矿、菱锰矿等自生结核以及绿泥石、蒙皂石等粘土矿物。所有这些都使古土壤层变硬。换言之, 古土壤的变硬是早期成岩综合作用的结果。

参 考 文 献

- 1 李从先, 闵秋宝, 孙和平. 长江三角洲南翼全新世地层和海侵. 科学通报, 1986, 31 (21): 1650~1653
- 2 郑祥民, 严钦尚, 郭蓄民. 长江三角洲南部晚更新世晚期风成黄土与地层. 见: 长江三角洲现代沉积研究. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 76~91
- 3 吴标云, 李从先. 岩相古地理与三角洲的发育. 见: 长江三角洲第四纪地质. 北京: 海洋出版社, 1987. 127~151
- 4 李萍, 孙和平. 长江三角洲地区晚更新世地层中的古土壤特征. 上海地质, 1991, (1): 16~24
- 5 李萍, 田卫军. 长江三角洲地区晚更新世地层中的古土壤形成过程. 见: 土壤与环境变化. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 79~85
- 6 孙永福. 上海地区“暗绿色硬土层”地质及其工程地质特征. 上海地质, 1982, (2): 37~38
- 7 朱祖祥. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1983. 288~293
- 8 刘宝珺. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1980. 61~62, 243~244
- 9 Delaage G J. Middle and Late Quaternary depositional sequences and cycles in the eastern Mediterranean. *Sedimentology*,

- 1989, 36 (1): 151~158
- 10 赵伦山, 张本仁. 地球化学. 北京: 地质出版社, 1988. 235
- 11 陈志明, 杨培基, 侯奎. 中国东部若干外生菱铁矿矿床形成条件的探讨. 见: 岩石学研究, 第4辑. 北京: 地质出版社, 1984. 15~22
- 12 孙和平, Curtis C D. 广西南流江三角洲地区绿色自生矿物颗粒的透射电镜初步研究. 矿物学报, 1988, 8 (2): 97~104
- 13 张桂甲, 孙和平, 李从先等. 长江口地区绿色颗粒的矿物学研究. 矿物学报, 1991, 11 (1): 39~44

EARLY DIAGENESIS OF LATE PLEISTOCENE DARK-GREEN STIFF CLAY IN THE YANGZI RIVER DELTA

Li Ping Chen Gang

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

Abstract

Dark-green stiff clay of Late Pleistocene in the Yangzi River Delta is a buried paleosol bed. It possesses the basic property of soil: 1. contains root holes, fragments and dark network humus of plants; 2. underwent clayization; 3. eluviation and illuviation could be found; 4. lacking of lamination. The distinct differences between the paleosol and ordinary soil are: 1. The upper part of the paleosol is light, stiff, and the ratio of hyperconsolidation is 2.1~2.2, but the lower part is less consolidated. This is contrary to ordinary soil; 2. The paleosol is green and yellow-green; 3. The paleosol contains various types of nodules. They are mainly pyrite→siderite→diallogite→limonite and pyrolusite from top to bottom, reflecting a transition process of reducing-oxidizing environment. Oxygen-rich sea-water resolved the organic matter in the paleosol through the action of bacteria. With the consumption of free oxygen and the reduction of oxidized ions, HS^- , Fe^{+2} , Mn^{+2} thus formed. This results in distinct changes of the colour, the hardness, the nodules and the clay minerals of the paleosol, thus changing the whole of the soil's property.