

## 上海马桥地区全新世中晚期气候变化、海面变化和古洪水\*

张芸 朱诚 史威

(南京大学城市与资源学系 210093)

**提要** 研究了上海马桥遗址,分析气候变化、海面变化对古洪水的影响和控制作用。整个马桥遗址剖面有3个文化断层:良渚文化层之下、马桥文化层下部与良渚文化层之间,唐宋文化层与马桥文化层之间,代表了3个洪水泛滥和海侵过程。第1次洪水发生在6 150 a B.P. 与4 400 a B.P. 之间,此时气候温暖湿润,海面为最高海面;第2次洪水发生在3 900~3 250 a B.P. 期间,气温较高且为高海面;马桥文化后的第3次洪水期(2 450~2 000 a B.P.),气候干燥且为低海面。

**关键词** 马桥遗址,气候变化,海面变化,古洪水

长江三角洲地处我国亚热带,气候温暖湿润,四季分明,属亚热带季风气候,地表植被为亚热带常绿-落叶阔叶混交林。本区是一个水灾多发敏感区。全新世以来的气候变化和海面变化对本区水灾的发生起了重要的影响作用,而全新世的不同发展阶段,其水灾发生的影响因素和主导因素是有差别的。上海马桥遗址作为一个典型剖面,笔者曾对其反映的文化间断进行过探讨,以及从粒度、孢粉和微体古生物的角度来分析当时的环境演变<sup>[1]</sup>,本文主要研究该区全新世中晚期气候变化和海岸线变迁、海面变化及其古洪水之间的耦合关系。马桥遗址位于上海市上海县马桥镇东1 km处(图1),海拔4.46~6.29 m,该遗址在

1959年12月调查时发现,迄今已发掘了4次。1993年发掘的结果是该遗址剖面自上而下划分为8层。其中马桥文化层陶器热释光年代为 $3\,250 \pm 250$  a B.P.,良渚文化层陶片的热释光年代为 $4\,410 \pm 110$  a B.P.,良渚文化层下含大量砂粒的青灰色生土层以及一条南北向延伸数里的贝壳砂带的 $^{14}\text{C}$ 测年年代为 $6\,150 \pm 120$  a B.P.,为古海岸遗迹竹冈冈身,底部灰黄色淤泥层的 $^{14}\text{C}$ 年代为 $7\,240 \pm 85$  a B.P.(实验室编号:ND 96024)<sup>[1]</sup>。

## 1 地球化学分析结果及其气候意义

利用氧化物和微量元素来阐明古气候古地理环境的演变规律是地球化学在古环境研究应用中的一个重要方面。对马桥遗址T1011探方各层地层采样并进行地球化学分析。

## 1.1 主要化学成分的含量

由表1可知,马桥遗址与许多碎屑类型沉积物一样,主要化学成分为 $\text{SiO}_2$ ,含量范围在58.62%~69.55%,平均值为63.04%;第2位为 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,含量在12.50%~14.94%,平均值为14.06%;第3位是

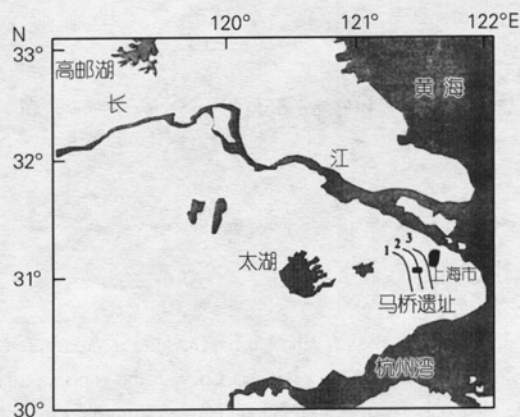


图1 研究区位置

1. 7.0~6.0 ka B.P. 的冈身(竹冈)及岸线; 2. 5.8~5.7 ka B.P. 的冈身(紫冈)及岸线; 3. 4.3~3.2 ka B.P. 的冈身(沙冈)及岸线

Fig. 1 Location of study area

\* 国家自然科学基金资助项目40071083号;南京大学现代分析中心测试基金资助项目以及南京大学“985”基金资助项目。

第一作者:张芸,出生于1974年,南京大学城市与资源学系博士研究生。主要从事全球变化和環境演变研究。

E-mail: Zhangygl@263.net。

收稿日期:2000-12-28;修回日期:2001-01-11

表 1 马桥遗址 T1011 探方主要化学成分

Tab.1 Main chemical elements of Maqiao site

样品	分层情况	深度 (cm)	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	表土		1.50	1.56	12.50	67.33	0.27	2.30	1.26	0.85	0.06	2.76	1.63
2	2a 唐宋层	30.25	1.46	1.60	13.16	67.57	0.18	2.40	1.23	0.90	0.19	1.30	3.81
3	2b 自然层	40.25	1.57	1.52	12.50	69.50	0.18	2.31	1.29	0.91	0.17	0.95	3.48
4	3 马桥文化层	51.50	1.06	2.12	14.94	61.40	0.41	2.58	1.65	0.82	0.09	0.74	5.38
5	4 自然层	63.00	1.13	2.10	14.38	62.89	0.53	2.53	1.82	0.85	0.12	0.88	5.01
6	5 良渚文化层	74.25	1.12	2.23	14.30	61.90	0.67	2.56	2.00	0.83	0.19	0.80	5.21
7			1.10	2.05	14.30	62.90	0.48	2.59	1.71	0.83	0.09	0.92	4.84
8	6 自然层		1.12	2.08	14.35	63.74	0.34	2.65	1.40	0.85	0.08	1.03	4.78
9		120.00	1.20	2.20	14.61	63.57	0.31	2.70	1.38	0.88	0.20	0.97	5.03
10			1.10	2.70	14.89	61.18	0.33	2.72	2.07	0.87	0.17	0.92	5.20
11		152.00	1.13	2.70	14.92	61.0	0.24	2.75	1.93	0.87	0.12	1.20	4.93
12	7 贝壳砂	164.75	1.09	2.76	14.08	58.62	0.29	2.65	4.27	0.82	0.08	1.03	4.59
13			1.20	2.30	13.95	60.41	0.25	2.66	3.40	0.84	0.10	0.94	4.66
14	8 淤泥层	188.00	1.19	2.71	14.01	60.93	0.22	2.65	3.12	0.85	0.12	1.07	4.65

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 含量在 1.63%~5.38%, 平均值 4.50%; 余下依次为 K<sub>2</sub>O, 含量 1.23%~4.27%, 平均值为 2.58%; CaO 含量为 1.23%~4.27%, 平均值为 2.04%; MgO 为 1.52%~2.76%, 平均值 2.21%; Na<sub>2</sub>O 含量在 1.06%~1.57%, 平均值 1.21%; FeO, 0.74%~2.76%, 平均值 1.11%; TiO<sub>2</sub>, 0.82%~0.91%, 平均值 0.86%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.18%~0.67%, 平均值 0.34%; MnO, 0.08%~0.2%, 平均值 0.13%。各组分在剖面上的分布明显分为两部分: 以马桥文化层, 即第 3 层

(约 3 500 a B.P.) 为界线发生明显分异。从该层往上, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, FeO 含量明显增多; 而 MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量明显减少。这说明马桥文化期前后, 气候发生了明显变化。3 500 a B.P. 前后气候虽有波动, 但其幅度不大, 这与竺可桢先生的 5 000 年中国气候变迁大趋势分析结果基本吻合。为更加充分反映气候波动特性, 本文采用了 FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等氧化物比值的变化趋势分析 (图 2)。FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 能反映氧化还原环境的变迁, 气温越高,

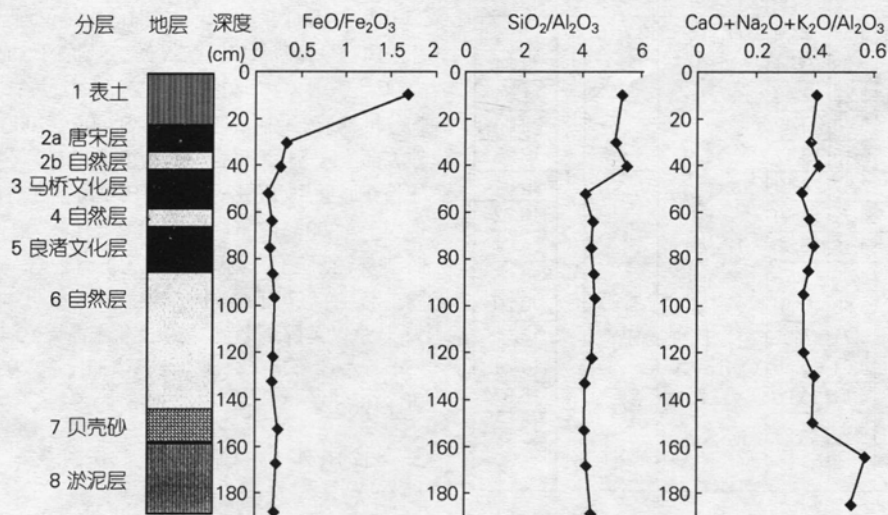


图 2 马桥遗址剖面氧化物相关比值垂向分布

Fig.2 Vertical distribution of oxide correlate ration of maqiao profile

氧化作用越明显, 比值越小, 反之比值越大;  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  是自然环境水热结构的重要标志, 能反映某些矿物的含量关系、气候条件和风化条件, 该比值越小, 表明环境越冷湿, 反之环境趋于干冷;  $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  反映活性组分和惰性组分之间的关系, 气候越湿热, 该值越小。分析结果也大致以第 3 层为界线分为两大部分。从该层往上,  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  均有增大的趋势, 这与剖面上化学元素的变化比较一致, 表明了马桥文化前后, 该区气候发生变化, 从马桥文化以后, 气候有变冷的趋势。可以看出, 并非所有化学成分具有上述反映,  $\text{P}_2\text{O}_5$  只在 5 层, 即良渚文化层 (4 500 a B.P.) 有一显著峰值, 在剖面其他处并无明显特征。 $\text{P}_2\text{O}_5$  于 5 层有明显峰值, 这正说明马桥在良渚文化中期时是先民繁衍和兴旺时期。这是因为该文化层中含大量磷, 为先民在此生存的标志, 从而使文化层在整个剖面中出现异常值。 $\text{CaO}$  含量在 7 层、8 层 (自然层) 中含量大增, 使  $\text{CaO}$  曲线反映的气候波动特性遭到破坏, 究其原因是贝壳砂碎片所致。因为  $\text{CaO}$  含量大增, 遂使上述  $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  也无法正确反映气候波动特性。

### 1.2 马桥剖面 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 周期性波动和古温度值的推算

赤铁矿的矿化程度, 一般来说, 与气候冷暖变化呈线形关系, 即赤铁矿的矿化程度越高, 反映的气候愈加

炎热湿润; 相反赤铁矿矿化程度越低, 反映气候干燥和凉爽。用  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  推算第四纪地层古温度, 需先用实验分析手段获得地层中各取样点的  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  值, 然后再求出地层中的  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  的平均值, 最后, 将各剖面的  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  值与地层中  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  相比较, 小于其平均值的测点, 则表明此点的沉积时年平均气温比现代年平均气温要低, 相反则反映该测点沉积时的平均气温比现代年平均气温偏高。推算古温度公式如下:  $t = T + TM/m$ , 其中  $t$ : 推算古温度的值,  $T$ : 某地现代年平均温度,  $M$ : 某样品  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  与平均值之差,  $m$ : 各样品  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  的平均值。图 3 中虚线为修订值, 因唐宋中晚期为一历史时期的高温期, 这已为大家所公认。表层或接近表层数据的误差较大, 故而订正之。经订正后其曲线能较好地反映气候的相对波动。

## 2 海面变化与海岸变迁

从前人的大量研究来看, 末次冰期结束后, 海面迅速上升, 大约在距今 7 000~6 500 a 间, 海侵达到最大范围, 海面接近现代。谢志仁认为在距今 5 200, 3 800, 2 300, 1 050 a 有 4 次高海面, 而 6 100~5 300 a B.P. 间海面较低。根据笔者 1995 年的研究, 认为 7 000~6 500 a B.P. 海面较高; 6 300~5 600 a B.P., 海面较低; 5 200~4 900 a B.P. 为最高海面; 4500~4 000 a B.P. 为低海面期; 3 800~3 500 a B.P. 为高海面; 此后 3 000~2 400 a B.P. 为低海面; 1 300~1 000 a B.P. 为高海面。

通过海面变化和该区贝壳堤的分布来推测该区全新世中晚期以来的海岸线变迁。松江故道以南共有 3 条贝壳堤, 自西向东依次为竹冈、紫冈、沙冈 (见图 1), 具有海积成因, 因而可大致代表当时的岸线位置<sup>[1]</sup>。从现有的几个冈身贝壳砂 <sup>14</sup>C 年代看 (表 2), 竹冈形成于 7 200~6 000 a B.P., 马桥地区当时应为滨海环境; 这与微体生物分析结果一致。紫冈形成于 5 800~5 700 a B.P., 根据地貌部位, 马桥地区当时应为滨岸潮上带环境; 样品中陆相介形虫开始增多, 也反映出了海水逐渐东退。沙冈形成于 4 300~3 200 a B.P., 当时气候转为干暖。马桥地区已完全摆脱了海侵环境, 成为滨海平原。以后海水继续东退, 在经历了一次规模较大的洪水期, 良渚文化消失, 代之以马桥文化。在马桥文化末商周 (2 450~2 000 a B.P.) 初, 又经历了一次洪水泛滥期, 演变为三角洲平原沼泽环境<sup>[1]</sup>。

## 3 古洪水与气候变化、海面变化的耦合关系

整个马桥遗址剖面有 3 个文化断层: 良渚文化层之下、马桥文化层下部与良渚文化层之间, 唐宋文

深度 (cm)	样号	序号	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	推测古温度 (°C)	推测古温度曲线	古温度曲线 (除表土)	推测古温度 (除表土, °C)
24	1	表土	0.53	2.00	2 7	16 25	27 16 25
36.5	2	2a	2.63	9.94			9.34
44	3	2b	3.28	12.40	3		11.64
59	4	3	6.48	20.49			23.00
67	5	4	5.15	19.47	2		18.28
	6	5	5.87	22.19			20.84
96	7		4.71	17.80			16.72
	8	6	4.18	15.80	1		14.84
	9		4.69	17.73			16.65
	10		5.59	21.51			20.20
150	11		3.71	14.02	1		13.17
	12	7	4.01	15.16			14.24
	13		4.47	16.90			15.87
169	14	8	3.80	14.36	凉	暖	凉
187							13.49
190							

图 3 由  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  比值推测的马桥遗址古温度曲线

Fig. 3 Ancient temperature change from  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  of Maqiao site

表 2 贝壳砂堤年代数据表

Tab.2 Dating data of shell sand bank

冈身	序号	采样地点	试剂	深度(m)	年代(a B.P.)	实验室编号
沙冈	1	上海县马桥沙脊	贝壳	0.7-1.0	5 890 ± 75	SH45
	2	金山漕径见龙	贝壳	0.2-0.4	6 080 ± 75	SH50
	3	金山漕径沙脊	贝壳	0.8	6 590 ± 100	HL81005
	4	金山漕径高宅基	蓝蛤	0.5-0.6	6 805 ± 65	SH65
紫冈	5	上海颀桥陈家塘	贝壳	0.5-1.0	5 880 ± 80	SH40
	6	上海颀桥陈家塘	贝壳	0.4-0.5	5 870 ± 80	SH39
竹冈	7	奉贤县拓林储家庄	贝壳砂	0.7-1.1	5 725 ± 75	SH48
	8	奉贤县拓林储家庄	贝壳砂	0.5	5 665 ± 70	CH68
	9	奉贤县拓林储家庄			3 820 ± 110	CG-234
	10	奉贤县拓林储家庄			6 835 ± 80	CG-235
	11	奉贤县江海漕径	贝壳	0.6-0.7	4 285 ± 70	SH51
	12	上海马桥俞塘			3 670 ± 105	CG-243
	13	上海马桥俞塘			5 520 ± 180	2K-344-I
	14	上海马桥俞塘			6 150 ± 120	CG-244

注:SH:华东师范大学河口海岸研究所;HL:国家海洋局第二海洋研究所;CG:国家地震局地质研究所;2K:中国社会科学院考古研究所实验室。

化层与马桥文化层之间,代表了3个洪水泛滥和海侵过程。粒度、微体古生物和孢粉分析结果表明本区成陆后曾经历了3次明显不利于人类发展的环境。海岸线研究表明该区在全新世7 200~6 000 ka B.P. 为滨海环境,当时是高海面期,所以马桥剖面第一个文化断层是与海侵有关的。而良渚文化末期是该时期长江三角洲出现的大规模洪灾所致。史料记载中的鲧、禹治水也在这一时期<sup>[3]</sup>。该层粒度分析表明,其平均粒径为 $\Phi 7.03$ ,在正态概率累积曲线图上,该层推移质组分为 $\Phi 1\sim 5$ ,跃移质 $\Phi 5\sim 9$ ,悬移质 $\Phi 9\sim 10$ ;推移与跃移组分交点斜率为 $30^\circ$ 左右,跃移和悬移组分交点斜率为 $60^\circ$ 左右,这一特征证实当时发生洪灾,还表明该区处于地势开阔平缓的三角洲平原,洪水搬运动力减弱,不仅悬移质增多且沉积物粒径普遍较细,应属于长期积水的淡水湖沼环境。分析认为马桥类型文化层至唐宋层之间的2b层亦与洪水灾害有关。据资料<sup>[4]</sup>统计,仅自秦始皇元年至唐代中期(公元982年),长江流域在此1 200多年间遭遇的洪水灾害达201次,其中大部分发生在长江中下游地区,而同时期遭受的旱灾只有51次记载。该层样品粒度及正态概率曲线与第3层样品具有类似的特征证实了其洪灾引起的积水湖沼环境。由此可以看出,后两期洪水与海侵无关。

把3次洪水发生期与马桥遗址古温度变化和海面变化特征进行对比,可以发现古洪水与海面变化、气候变化之间的耦合性。

### 3.1 第1次洪水期的气候和海面变化

第1次洪水发生在6 150 a B.P. 与4 400 a B.P.,此时气候处于大西洋期,气候温暖湿润,温度比现在年均温度高 $4^\circ\text{C}$ 左右,而海面为最高海面,比现在约高2 m。因海面上升涌水的影响,这一时期在太湖沿岸、镇江地区、苏北平原西部及沿海高低形成沼泽相堆积,包括“上树木层”和草本泥炭。在长江三角洲很多地区和河谷中都有这类埋藏古树的存在,说明当时洪水具有较大规模和较大地域。

### 3.2 第2次洪水期的气候和海面变化

第2次洪水发生在3 900~3 250 a B.P. 期间,此时气候虽比第1次洪水期的气候温度低,但仍比现在年平均温高 $2^\circ\text{C}$ 左右,此时为高海面。

### 3.3 第3次洪水期的气候和海面变化

马桥文化后的第3次洪水期,该区气温比现在低,大约低 $4\sim 5^\circ\text{C}$ 左右,而此时为低海面。气候干凉且为低海面,在这种气候下产生洪水原因何在?作者认为:在我国历史上总的来说往往寒冷对应于干旱。然而干湿与冷暖的对应也会出现相反状况。如根据陈家其1989年的研究,认为太湖流域公元1431~1520年为冷湿时期,而1521~1560年间为暖干时期,但这两时段均处于相对寒冷期,造成这种现象的原因在于,气候寒冷期天气系统会出现不稳定状态,副热带高压位置也会向北移动,此时有利于暖湿空气北上且冷空气频频南下,冷暖空气稳定交绥于长江中下游,则会形成持续时间长且强度大的降水。

### 参考文献

- 于世永、朱 诚、史 威.上海马桥地区全新世中晚期环

## 研究报告 *REPORTS*

- 境演变, 海洋学报, 1998, 20(1): 58~64
- 2 章申民、严钦尚、郭蕃民. 上海滨海平原贝壳砂堤. 见: 严钦尚. 长江三角洲现代沉积研究. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 37~47
- 3 谭其骧. 长水集(下). 北京: 北京人民出版社, 1987. 1~185
- 4 陈高庸、杜左周、郑振铎. 中国历代天灾人祸表. 上海: 上海书店, 1939. 5~10

# MIDDLE AND LATE HOLOCENE CLIMATIC CHANGES AND SEA LEVEL CHANGES AND PALEO-FLOODS OF MAQIAO, SHANGHAI

ZHANG Yun ZHU Cheng SHI Wei

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

**Received:** Dec. 28, 2000

**Key Words:** Maqiao site, Climatic change, Sea level change, Paleo-flood

## Abstract

The Yangtze Delta is a frequent flood area. By study on Maqiao site in Shanghai, the authors researched on the influence of climate and sea level changes on floods. There were three cultural interruptions. The first was under Liangzhu culture layer, the second was between Liangzhu and Maqiao culture layers and the last was on the Maqiao culture layer. They reflected three-floods and sea transgression processes. The first flood occurred from 6 150 a B.P. to 4 400 a B.P. with the highest sea level and warm and humid climate. The second flood took place from 3 900 a B.P. to 3 250 a B.P. with warm climate and high sea level. The last flood happened during 2 450 a B.P. to 2 000 a B.P. with dry and cold climate and low sea level.

(本文编辑: 李本川)