

基于磁组构特征的江汉平原全新世古洪水事件

张玉芬¹, 李长安^{2,3}, 陈亮^{1,4}, 王辉¹

1. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

4. 国家海洋局南海工程勘察中心, 广东广州 510300

摘要: 在对江汉平原江陵剖面全新世沉积物的沉积环境和年代学分析的基础上, 利用由现代洪水沉积所建立的洪泛沉积物磁组构参数标志, 对江汉平原全新世以来的古洪水事件进行了初步研究. 结果表明: (1) 江汉平原全新世以来(有史料记载前), 共有 55 个特大洪水沉积层(事件). (2) 全新世以来特大洪水(期)演化可分为两个大的阶段: 第一阶段(9 875~3 000 aBP)低频期, 该阶段洪水发生频率不高, 且洪水周期比较稳定, 主要以近千年和 500~625 a 周期为主; 第二阶段(3 000 aBP~现在)为洪水频发期. 洪水发生的周期以 300~200 a 为主, 反映出洪水发生的频率具有加快的趋势.

关键词: 江汉平原; 全新世; 洪水事件; 磁组构参数; 磁化率.

中图分类号: P584; X143

文章编号: 1000-2383(2009)06-0985-08

收稿日期: 2008-12-12

Magnetic Fabric of Holocene Palaeo-Floods Events in Jianghan Plain

ZHANG Yu-fen¹, LI Chang-an^{2,3}, CHEN Liang^{1,4}, WANG Hui¹

1. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074 China

2. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. South China Sea Marine Engineering Surveying Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China

Abstract: Based on the study of sedimentary environment and chronology for Holocene sediments from Jiangling profile, Jianghan plain, this paper studies these events on palaeo-flood which took place in Jianghan plain since Holocene, using some marks of magnetic fabric parameters of flood sediment. The main results are as follows: (1) There are 55 large events of flood sediment since Holocene in Jianghan plain (excluding record data in history). (2) According to evolution, these events are divided into the stage of low frequency (9 875-3 000 a BP), which is more stable and has an approximate period of mainly one thousand year and 500-625 a, and the stage of high frequency (3 000 aBP~now), which is more frequent than the former, showing an increasing tendency and has a period of frequent occurrence of mainly 300-200 a.

Key words: Jianghan plain; Holocene; palaeo-flood; magnetic fabric parameters; magnetic susceptibility.

古洪水研究对延长洪水记录、建立洪水发生的序列、探讨洪水的发生周期等具有十分重要的意义. 地处长江中游的江汉平原是我国洪水灾害最为严重的地区之一. 研究区位于江汉平原腹地的湖北省江陵县(图 1), 是江汉平原沉降速率最大的区域之一. 第四纪以来, 特别是全新世地层连续沉积, 属于典型的河间洼地洪泛沉积(李长安等, 2003. 长江中游主

要水患区第四纪地质及新构造运动对水患形成的影响), 是基于沉积物研究长江中游古洪水序列最为理想的地区. 目前基于沉积物的古洪水研究, 主要依据是结合古河道切割、堆积充填物标志(Patriage and Baker, 1987; Ely *et al.*, 1993; Donna and Cullione, 1994; 李长安等, 2002; 夏正楷和杨晓燕, 2003)和洪水沉积构造(洪水楔、洪水冲痕等)标志(Burrin,

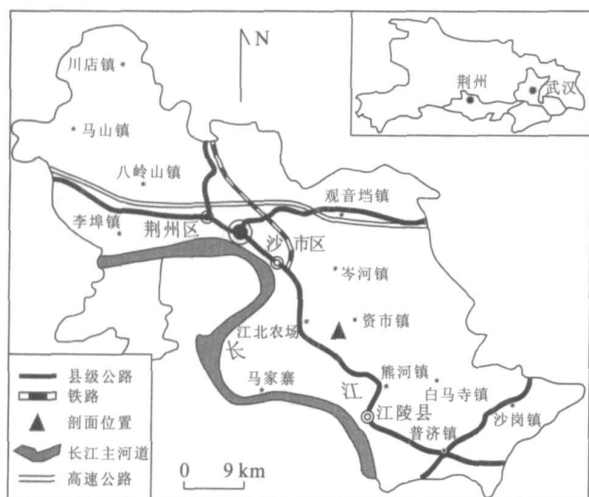


图 1 研究区交通及剖面位置图

Fig. 1 The transportation and section position of the research area

1985; Yang *et al.*, 2000; 李长安和张玉芬, 2004), 而这些沉积构造标志在开阔的洪泛平原并不发育. 本文根据笔者等在对 1998 年长江大洪水期间该区洪水沉积所建立的环境磁学标志(张玉芬等, 2004c; Zhang *et al.*, 2004a, 2004b), 结合沉积学研究, 对江陵剖面的全新世古洪水沉积进行了揭示. 在精确测年的基础上, 重建了江汉平原近 10 kaBP 以来古洪水发生的历史和序列, 分析了洪水发生的周期和变化规律.

1 剖面特征和样品的采集测量

研究剖面位于湖北省荆州市江陵县江北农场砖厂, 剖面地点原为一面积较小的积水洼地, 后经挖掘为人工剖面, 剖面厚约 7.4 m, 未见底, 其中地表至 1.4 m 已被人工扰动, 未采样. 剖面地层主要为青灰色泥质粉砂、黑色淤质黏土(泥炭层)、浅黄褐色泥质粉砂等, 剖面沉积连续, 成层好. 在野外根据岩性特点, 将地层剖面共分为 20 单层, 室内合并为 8 层, 各层特征自上而下分别为:

0~1.4 m 为已被扰动过的褐黄色黏土层, 未采样.

1 (1.4~2.5 m) 可以进一步划分为 8 个小层. 第 1 层为灰褐色—褐灰色黏土交互层; 第 2 层为灰褐色黏土; 第 3 层为青灰色黏土; 第 4 层为浅红褐色—黄褐色黏土, 泥质成分高; 第 5 层为浅红褐色亚黏土; 第 6 层为青灰色亚黏土; 第 7 层为浅红褐色亚黏土, 水平纹层清楚; 第 8 层为黄褐色—铁锈色泥质粉砂层, 见云母碎片, 厚 6 cm.

2 (2.5~3.7 m) 浅黄褐色—青灰色黏土, 水平纹层发育, 见

植物残片. 在距该层底部 38 cm 处夹厚约 4 cm 的薄层黄色粉砂层, 底部是厚约 1 cm 的黄褐色泥质粉砂层, 见白色云母片, 该粉砂层水平延伸较远, 下部见明显的颜色韵律.

3 (3.7~4.51 m) 红褐色黏土层, 见植物残体, 最大植物残体: 1 cm×13 cm.

4 (4.51~4.82 m) 可以细分为 2 个小层. 第 1 小层为红褐色黏土与黑色炭屑黏土层互层, 见植物残体, 见 3 个薄的黑色炭质黏土层, 三层黑色炭质黏土层的厚度自下而上依次为: 2.1, 3.1, 5 cm; 第 2 小层为灰黑色粉砂质黏土(泥炭层), 向下颜色变浅, 为青灰色, 具较强粘性, 污手, 见植物残体.

5 (4.82~5.26 m) 可以细分为 4 个小层. 第 1 小层为青灰色粉砂质黏土; 第 2 小层为黑色泥炭层, 泥炭层呈波浪状, 厚度不等, 最厚达 3 cm, 最薄 0.8 cm, 一般 1.2 cm; 第 3 小层为青灰色砂质黏土; 第 4 小层为灰黑色黏土, 向上颜色变浅, 为深灰色, 含较多的泥炭屑.

6 (5.26~5.68 m) 青灰色泥质粉砂, 植物根系发育.

7 (5.68~6.14 m) 青灰色碳质黏土层.

8 (6.14~7.72 m) 浅灰色—青灰色泥质, 未见底. 上部夹黄褐色团粒, 团粒成分为粉砂泥或泥质粉砂. 可见云母团粒, 具粘性, 手搓摸具明显砂感, 向下颜色变深.

为了获得沉积地层较精确可靠的年代学资料, 在剖面中共取得 7 个 ^{14}C 测年样品, 分别在国家地震局地质所国家重点实验室新生代年代室和兰州大学教育部重点实验室 ^{14}C 年代学室测试, 经树轮校正后得到了校正后的年龄(表 1). 在每两个测年数据之间采用线性内插的方法, 求出了每个样品所在深度的年龄值(图略), 据此推测该剖面 7.4 m 处年龄 10 kaBP 左右.

磁组构分析样品从 1.4 m 深度开始, 以 2.5 cm 间隔连续取样, 共采集定向样品 258 个. 样品采集方法: 用直径 2.5 cm、高 2.2 cm 圆柱状无磁性塑料样品盒取样, 并用胶布密封, 以防样品失水和变形. 样

表 1 ^{14}C 测年数据

Table 1 Dating data of the radiocarbon age

样品编号	取样位置(m)	取样材料(岩性)	树轮校正后年龄(aBP)
1	2.11	青灰色亚黏土	1 026±100
2	3.57	青灰色黏土	2 110±190
3	4.65	含炭屑的灰黑色泥炭层	2 660±160
4	5.24	含泥炭屑的灰黑色黏土	3 416±190
5	6.01	含炭的深青灰色泥	5 530±80
6	6.75	青灰—褐灰色淤泥	7 345±85
7	7.33	青灰—褐灰色淤泥	8 850±100

注: 1、2、3、4 样品 ^{14}C 年龄由国家地震局地质所测定, 所用 ^{14}C 半衰期 5 730±40 a. 取样位置为距地表的深度.

品测量是在中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院实验室捷克产的 HKB-3 型卡帕桥上进行的,其灵敏度高达 2×10^{-8} (SI),部分样品进行了重复测量,重复测量误差 $\leq \pm 0.5\%$

2 古洪水沉积研究

冲湖积平原的洪水沉积识别一直是一个难度较大的科学问题. 1998 年长江大洪水发生后,笔者等在对洪水沉积的调查中发现,洪水沉积物的磁组构参数较正常水文条件下的河湖相沉积有着较明显的不同(张玉芬和李长安, 2003; Zhang *et al.*, 2004b), 可作为古洪水沉积的一种识别标志.

2.1 古洪水沉积的磁组构参数判识标准及依据

2.1.1 磁组构参数定义及环境意义 磁组构又称磁化率各向异性,起源于各向异性磁性矿物晶体颗粒的定向排列.而沉积物的磁化率各向异性的产生主要是由流水对沉积物的搬运引起的.因此,通过对沉积物磁化率各向异性(磁组构)特征的研究,可以了解沉积作用时的水动力条件和沉积物沉积时的沉积环境,对古洪水沉积的研究具有重要作用.常用磁组构参数用磁化率椭球体 3 个主轴 (κ_{\max} 、 κ_{int} 、 κ_{\min}) 的量值来表示,参照大多数学者的观点(Hrouda, 1982; 阎桂林, 1996; 陈庆强等, 1998),将本文使用的磁组构参数定义为:①平均(体积)磁化率 $\kappa = (\kappa_{\max} + \kappa_{\text{int}} + \kappa_{\min}) / 3$; ②磁化率各向异性度 $P = \kappa_{\max} / \kappa_{\min}$; ③磁面理度 $F = \kappa_{\text{int}} / \kappa_{\min}$; ④磁基质颗粒度 $q = 2(\kappa_{\max} - \kappa_{\text{int}}) / (\kappa_{\max} + \kappa_{\text{int}} - 2\kappa_{\min})$; ⑤磁化率椭球体的形状因子 $T = (2\ln\kappa_{\text{int}} - \ln\kappa_{\max} - \ln\kappa_{\min}) / (\ln\kappa_{\max} - \ln\kappa_{\min})$. 研究表明,磁组构参数 P 、 F 均是水动力条件强弱和沉积环境稳定性的反映, P 、 F 相对较大,表示沉积物沉积时的水动力条件较强,且水流方向和沉积环境均较稳定.

2.1.2 古洪水判识标准的建立及依据 由于体积磁化率 κ 值的大小与沉积时的物源和沉积水动力强弱因素有关(张玉芬等, 2004c),洪水发生时一般会携带上游流域更大范围泥沙进入中下游沉积区域.由于物源的改变,会使 κ 值发生较大的波动,因此可以将同一时期 κ 值的变动作为判定为古洪水的一个依据.在本文中主要将 κ 值同一时期的高值或低值作为判定依据.由于 q 值大小一般与沉积物颗粒度的均一状况及颗粒排列的有序化程度有关,当搬运介质动能衰减快时,颗粒在非正常重力分异作用下

快速沉积(即事件沉积,如洪水事件沉积、海洋风暴事件等),粗细混杂,则 q 值高;反之,介质能量衰减缓慢,颗粒分选好,则 q 值低.一般认为当 q 值大于 0.5 时,就可能是一次(期)洪水事件沉积,但因为 q 值的大小还与沉积物的物源的颗粒大小和混杂程度有关,因此在不同地区和不同物源情况下, q 值也是变化的(阎桂林, 1996; 张玉芬和李长安, 2003). 鉴于此,本文将磁组构参数 q 值的大小和异常作为古洪水沉积识别的一个标志,即在同一沉积时期,将 q 值的突然升高或变化率增大时作为洪水发生的一个依据.研究表明一般在水流不太强时,磁化率椭球体主方向与水流方向具有一致性(阎桂林, 1996; 吴能友等, 1998; Zhang *et al.*, 2004b).当洪水发生时,水动力条件会发生变化,这种变化除了流量的改变,很多时候还会偏离原有河道,发生溃堤及漫堤等,由此引起水流方向的改变,部分积水区甚至会发生回流现象.因此本文将椭球体长轴主方向的大范围波动也作为判定古洪水的依据之一.

2.2 江陵剖面古洪水沉积判识

根据上述的磁组构判识古洪水的思路,我们对江陵剖面的古洪水沉积记录进行了判识,初步识别出特大洪水 55 期次(图 2). 这里所说洪水期次,是指造成洪泛沉积层厚度在 2 cm 以上的特大型洪水,它可以是一(年)次大洪水所为,也可以是连续两年或多年的大洪水沉积产物.从 1998 年簰洲湾溃口在簰洲湾民垸内洪水沉积厚度平均约 1 cm 来看,考虑到当时尚无围垸存在,若在距河道 10 km 以外的空旷平原上形成 2 cm 的洪泛沉积,更大的可能应该是连续数次(年)大洪水沉积叠加的结果.由图 2 可见,在剖面不同沉积层位段磁组构参数有较大的差异,这是因不同沉积层位段的岩性组合和沉积环境的不同所造成的.现以岩性组合和沉积环境分段,对江陵剖面的古洪水期次的判识结果分析如下:

(1)第一沉积阶段(7.70 ~ 6.45 m, 相应年代约为 9874 ~ 6610 ± 100 aBP): 该阶段以浅灰色—青灰色泥质粉砂、青灰色碳质粘土层、向下颜色变深的湖相沉积为主.在该阶段磁化率(κ)值和磁组构参数 P 、 F 、 T 的平均值均为本剖面的较低值,但 q 平均值却为本剖面的较高值段,且 q 变化幅度较大(0.031 ~ 1.265),反映了不太稳定的沉积环境.磁组构特征较清晰地反映了该阶段的水动力强弱变化及水流方向的改变,据古洪水判识标准在该阶段共划分出十个洪水期(图 3a).该阶段相当于全新世的第一个暖湿期,强降水增多,大洪水事件发生较多

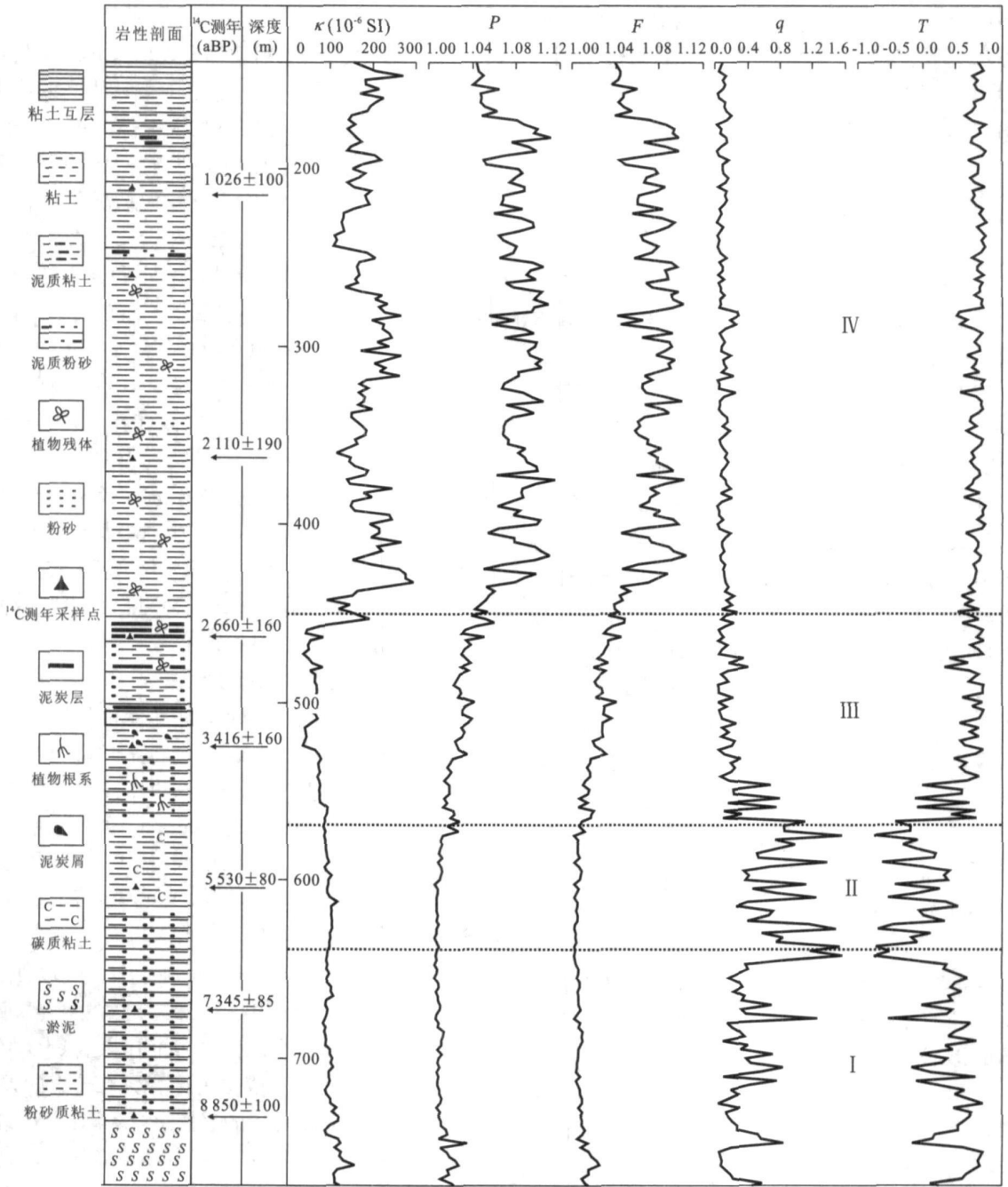


图 2 江陵剖面岩性柱及部分磁组构参数变化曲线

Fig. 2 Lithology column and variation curves of magnetic susceptibility parameters along with depth for Jiangling profile in Hubei Province

(Zhang *et al.*, 2006), 这与国内有些学者的研究结果也是一致的(羊向东等, 1998; 张玉芬等, 2005)。

(2)第二沉积阶段(6.45 ~ 5.68 m 相应时段为 6610 ~ 4600 ± 80 aBP): 该阶段为湖泊—湖沼相沉积, 其上部以青灰色碳质粘土层为主, 下部以浅灰色—青灰色泥质粉砂为主, 夹有黄褐色团粒。通过粒度分析认为, 该地区在发育过程中不断接收来自于河

道洪水漫堤的冲积物, 在沼泽沉积中形成一些粗粒的粉砂或粗粉砂沉积层。此阶段的 q 和 T 值都为本剖面的最高值段, 且变化幅度较前一阶段都明显增强, 磁化率椭球体的形态发生较大的变形, 其最小轴的倾角仅为 58.17° (正常环境应近于垂直)。上述特点均表明, 该阶段沉积环境很不稳定, 这一时期相当于全新世第一个暖湿期后的干旱期(Zhang *et al.*,

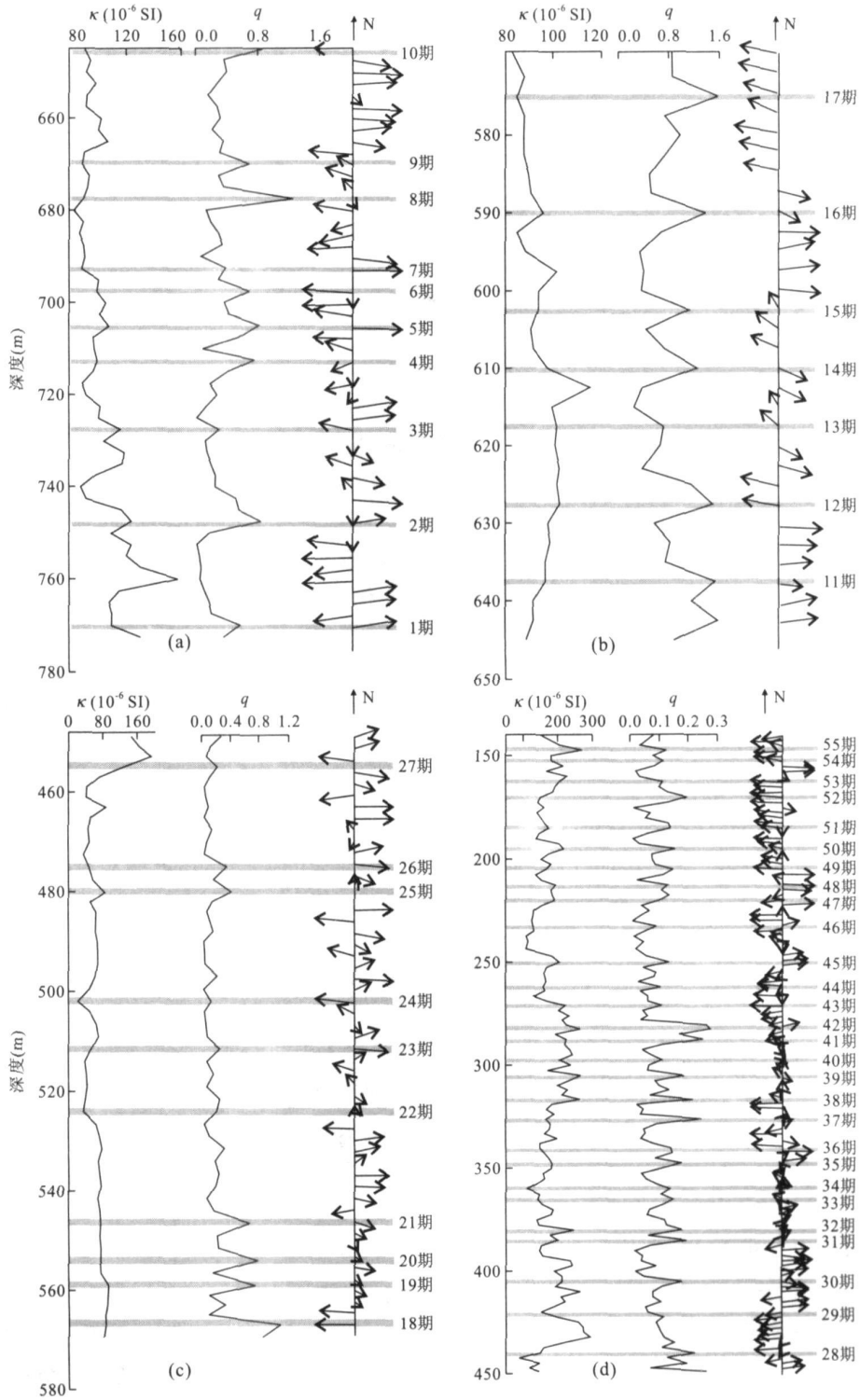


图 3 江陵剖面古洪水事件(期)的识别结果

Fig. 3 Palaeo-floods events (period) distinguished from sediment of Jiangling section

图中以箭头方向代表长轴主方向倾向即长轴的偏角方向, 箭头长短代表长轴主方向倾角大小

2006). 虽然此阶段降水并不大, 但由于气候偏干冷, 植被不发育, 物理风化作用明显, 往往是不太强的降水, 也容易发生大洪水(事件), 故该阶段是长江流域

地区全新世中一个洪水事件频发时期(张强等, 2003). 利用磁组构分析在该阶段识别出七期洪水(图 3b).

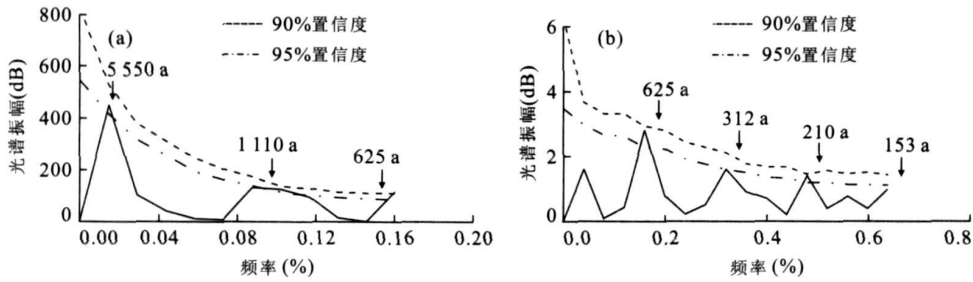


图 4 江汉平原近 1 万年来洪水频率曲线图

Fig. 4 Late 10 000 a floodwater frequency curve map in Jiangnan plain

a 图为 9 875~3 000 aBP 时段; b 图为 3 000~639 aBP 时段

(3)第三沉积阶段(5.68~4.50 m, 相应时段为 4 600~2 537±160 aBP): 该阶段为湖沼相沉积, 上部以红褐色粘土与黑色碳屑粘土互层为主, 含植物残体, 见三层薄层黑色碳质粘土层. 下部以青灰色粉砂质粘土为主, 夹有黑色泥炭层, 植物根系发育. 该阶段磁组构参数的统计平均值 P 、 F 比阶段 1 和 2 都有所增大, 但 q 值却较阶段 1 和 2 有所减小, 其变化幅度较前一阶段也明显减弱. 磁化率椭球体变形较小. 上述特点均表明, 该阶段水动力条件较强且沉积环境较阶段 2 要稳定. 本层中泥炭层发育, 反映该阶段比阶段 1 和 2 气候都温暖湿润, 温度偏高, 降水量充沛, 此期是全新世的第二个暖湿期. 但其间曾出现多次大幅度的冷暖气候波动, 致使磁化率曲线较前 2 个阶段波动强烈 (Zhang *et al.*, 2006). 通过对该阶段磁组构分析共识别出十期古洪水(图 3c).

(4)第四沉积阶段(4.50~1.40 m, 相应时段为 2 537~693±100 aBP): 该阶段沉积物以红褐色粘土、浅黄褐色—青灰色粘土和浅红褐色亚粘土为主, 见植物残片, 水平纹层发育. 在剖面中夹有薄的黄褐色泥质粉砂层, 这可能系洪水漫滩沉积. 在该阶段磁化率(κ)值为剖面中的高值段, 且磁化率曲线波动较大. 磁组构参数的平均值 P 、 F 、 T 均为本剖面的最高值, q 值为本剖面的最低值, 但 q 值的变化率(用 q 最大值与最小值之差去除以 q 平均值)却较大. 磁化率椭球体的变形较小. 上述特点均反映该阶段为一个水动力较强、水流方向较稳定的沉积环境. 但在该段磁组构参数曲线上波动幅度较大, 并且偏红和黄褐色亚粘土、粘土层和青灰色亚粘土、粘土层交替出现, 有较大的 q 变化率, 说明洪水漫滩事件经常发生. 此阶段气候仍比较偏暖(竺可桢, 1973; 吴宏歧和党安荣, 1998; 何报寅等, 2003), 雨水充沛, 但气温较上阶段略有降低. 在近地表磁化率值总体比较偏高, 这可能与人类活动有关. 通过磁组构分析, 在该阶段

识别出 28 个洪水期(图 3d).

2.3 洪水发生周期和规律分析

通过对采集到的江陵剖面沉积物样品的磁组构参数特征分析, 我们初步识别出江汉平原在近 1 万年来(不包括有史料记载的)共发生特大洪水约 55 期次. 大致以 3 000 aBP 为界, 洪水的发生频次可分为两个大的阶段: 第一阶段(9 875~3 000 aBP)低频期, 该阶段洪水发生频率并不高, 而且时间分布也较为均匀, 而该阶段又可细分为(9 875~6 600 aBP)低频高强度期和(6 600~3 000 aBP)低频低强度期; 第二阶段(3 000 aBP~现在), 该阶段为洪水频发期. 这一时期的洪水频发可能与越来越强的人类活动有关.

为了探讨江汉平原古洪水发生的周期和变化规律, 我们利用 REDFIT35 (Schulz and Mudelsee, 2002)分别对两个阶段洪水发生的周期进行了分析(图 4a、4b), 发现 95%置信度上发生洪水时第一阶段的周期约为 625 a, 第二阶段的周期约为 210 a. 在 90%置信度上发生洪水时第一阶段的周期分别约为 625 a、1 110 a 和 5 550 a, 第二阶段的周期分别约为 153 a、210 a、312 a 和 625 a.

3 讨论与结论

采取本文建立的利用磁组构组合特征识别洪水沉积的方法对江汉平原近 1 万年以来的洪水进行了初步研究, 得到了如下结论: (1)江汉平原近 1 万年来(有史料记载前)共发生特大洪水约 55 期次. (2)在不同阶段洪水发生的规律有所不同. 大约以 3 000 aBP 为界, 分为两个阶段: 第一阶段(9 875~3 000 aBP)为低频期, 此阶段又可细分为低频高强度期(9 875~6 600 aBP)和低频低强度期(6 600~

3 000 aBP); 第二阶段(3 000 aBP ~ 现在)为洪水频发期。(3)江汉平原近 1 万年以来发生的特大洪水事件主要有 1 110 a、625 a、312 a、210 a 和 153 a 左右的周期, 其中 625 a 和 210 a 周期的可信度最高(图 4)。在 3 000 aB. P. 以前特大洪水发生的周期以近千年和 500 ~ 625 a 尺度为主, 3 000 aB. P. 以后以 300 ~ 200 a 周期为主, 反映出特大洪水发生的频率具有加快的趋势。

References

- Burrin, P. J., 1985. Holocene alluviation in Southeast England and some implications for palaeohydrological studies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10(3): 257—271.
- Chen, Q. Q., Li C. X., Cong Y. Z., 1998. The study of relation between magnetic fabric of sediment and character of dynamic deposit. *Chinese Science Bulletin*, 43(10): 1106—1109 (in Chinese).
- Donna, A. P., Cullione, M. J., 1994. Deglacial flood origin of the Charleston alluvial fan Lower Mississippi alluvial valley. *Quaternary Research*, 41(3): 278—284.
- Ely, L. L., Enzel Y., Baker V. R., et al., 1993. A 5 000-year record of extreme floods and climate change in the southwestern United States. *Science*, 262(5132): 410—412.
- He, B. Y., Zhang, S., Cai S. M., 2003. Climatic changes recorded in peat from the Dajiu lake basin in Shennongjia since the last 2 600 years. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 23(2): 109—115 (in Chinese with English abstract).
- Hrouda, F., 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophysical Surveys*, 5(17): 37—82.
- Li C. A., Huang J. H., Zhang Y. F., et al., 2002. Preliminary study of paleoflood of last glacial maximum in upper reaches of the Yellow River. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(4): 456—458 (in Chinese with English abstract).
- Li C. A., Zhang, Y. F., 2004. Flood sedimental characteristic and its mark on the middle reaches of Yangtze River. *Advances in Water Science*, 15(4): 485—488 (in Chinese with English abstract).
- Partridge, J., Baker V. R., 1987. Palaeoflood hydrology of the salt river, Arizona. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(2): 109—125.
- Schulz, M., Mudelsee, M., 2002. Redfit: Estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. *Computers Geosciences*, 28(3): 421—426.
- Wu H. Q., Dang A. R., 1998. Fluctuation and characteristics of climate change in temperature of Sui-Tang times in China. *Quaternary Sciences*, 25(1): 31—38 (in Chinese with English abstract).
- Wu N. Y., Duan W. W., Liu, J., 1998. Preliminary discussion on Late Quaternary paleocurrent and paleoclimate history of the bransfield strait, Antarctica; The magnetic fabric method. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 18(1): 77—88 (in Chinese with English abstract).
- Xia, Z. K., Yang X. Y., 2003. Preliminary study on the flood events about 4 kaB. P. in North China. *Quaternary Sciences*, 23(6): 667—674 (in Chinese with English abstract).
- Yan G. L., 1996. The application of magnetic susceptibility anisotropy of rocks in geology. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Yang, D., Yu, G., Xie, Y., et al., 2000. Sedimentary records of large Holocene floods from the middle reaches of the Yellow River, China. *Geomorphology*, 33(1—2): 73—88.
- Yang, X. D., Zhu Y. X., Jiang, X. Z., et al., 1998. Environmental changes from spore-pollen record of Mianyang region over the past 10 000 years. *Journal of Lake Sciences*, 10(2): 23—29 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q., Jiang T., Shi Y. F., et al., 2003. Relationship between climatic changes and the flooding occurrence since the Holocene in the Yangtze River delta region. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 23(3): 11—15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y. F., Li C. A., 2003. Magnetic fabric parameter character of modern fluvial deposit in the middle reaches of Yangtze River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 12(4): 370—376 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y. F., Li C. A., Chen, G. J., et al., 2005. Characteristics and paleoclimatic significance of magnetic susceptibility and stable organic carbon isotopes from a bore in Zhoulao Town, Jiangnan Plain. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 114—120 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y. F., Li C. A., Dong X. H., et al., 2006. Magnetic fabric characters and its climatic environmental significance from a sediment section in Jiangling of Hubei Province. In: Wang, J. Y., ed., *Geophysical solution for environment and engineering*. Science Press, Beijing and Science Press USA Inc., 833—838.

- Zhang, Y. F., Li, C. A., Yan, G. L., 2004a. Study of magnetic fabric of dam-break sediment in 1998' s in Paizhouwan area Yangtze River. In: Progress in Environmental and Engineering Geophysics. Science Press, Beijing and Science Press USA Inc., 519—524.
- Zhang, Y. F., Li, C. A., Yan, G. L., et al., 2004b. A comparative study of magnetic fabric characters between flooded sediments and normal river sediments. *Chinese Journal of Geophysics*, 47(4): 728—735.
- Zhang, Y. F., Li, C. A., Yan, G. L., 2004c. Magnetic fabric characteristics of flooded sediments in the middle reaches of the Yangtze River. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 428—432 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, K. Z., 1973. Climatic change on China since the last 5 000 years. *Science in China (Series A)*, 16(2): 168—189 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 陈庆强, 李从先, 丛友滋, 1998. 沉积物磁组构与其动力沉积特征对应关系研究. *科学通报*, 43(10): 1106—1109.
- 何报寅, 张穗, 蔡述明, 2003. 近 2 600 年神农架大九湖泥炭的气候变化记录. *海洋地质与第四纪地质*, 23(2): 109—115.
- 李长安, 黄俊华, 张玉芬, 等, 2002. 黄河上游末次冰盛期古洪水事件的初步研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(4): 456—458.
- 李长安, 张玉芬, 2004. 长江中游洪水沉积特征与标志初步研究. *水科学进展*, 15(4): 485—488.
- 吴宏歧, 党安荣, 1998. 隋唐时期气候冷暖特征与气候波动. *第四纪研究*, 25(1): 31—38.
- 吴能友, 段威武, 刘坚, 1998. 南极布兰斯菲尔德海峡晚第四纪沉积物磁组构特征及其古环境学意义. *海洋地质与第四纪地质*, 18(1): 77—88.
- 夏正楷, 杨晓燕, 2003. 我国北方 4 kaBP 前后异常洪水事件的初步研究. *第四纪研究*, 23(6): 667—674.
- 阎桂林, 1996. 岩石磁化率各向异性在地学中的应用. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 羊向东, 朱育新, 蒋雪中, 等, 1998. 沔阳地区一万多年来孢粉记录的环境演变. *湖泊科学*, 10(2): 23—29.
- 张强, 姜彤, 施雅风, 等, 2003. 长江三角洲地区 1 万年以来洪水与气候变化的关系. *海洋地质与第四纪地质*, 23(3): 11—15.
- 张玉芬, 李长安, 2003. 长江中游现代河流沉积物磁组构参数值特征研究. *长江流域资源与环境(学报)*, 12(4): 370—376.
- 张玉芬, 李长安, 陈国金, 等, 2005. 江汉平原湖区周老镇钻孔磁化率和有机碳稳定同位素特征及其古气候意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(1): 114—120.
- 张玉芬, 李长安, 阎桂林, 等, 2004c. 长江中游堤防溃口沉积物的磁组构特征. *地质学报*, 78(3): 428—432.
- 竺可桢, 1973. 中国近五千年气候变迁的初步研究. *中国科学(A 辑)*, 16(2): 168—189.