

湖北江汉平原 JZ-2010 剖面沉积物粒度特征与环境演变*

王晓翠¹, 朱 诚^{1**}, 吴 立¹, 孙 伟¹, 李 枫¹, 周凤琴², 齐士峥³, 龚琪岚³

(1: 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093)

(2: 长江水利委员会荆江水文水资源勘测局, 荆州 434000)

(3: 国立高雄师范大学地理系, 高雄 80201)

摘 要: 通过对江汉平原 JZ-2010 湖相沉积剖面 AMS¹⁴C 年代的精确测定与校正, 以及代用指标粒度、磁化率的分析和研究, 重建了研究区 12.76 cal ka BP 以来的环境演变过程: 1) 12.76—6.70 cal ka BP, 区域环境处于偏干的晚冰期向湿润的早全新世发展阶段。2) 6.70—4.47 cal ka BP, 区域环境湿润, 为湿度配置最佳的全新世适宜期, 这是大溪文化向屈家岭文化转变时期自然背景。3) 4.47—3.67 cal ka BP, 区域气候环境偏干, 其中经历了明显的 4.2 cal ka BP 干旱事件。4) 3.67—1.22 cal ka BP 时期, 环境向湿润发展; 在 2.5 cal ka BP 左右水动力条件明显变强, 此时正对应于古云梦泽扩张时期。5) 1.22 cal ka BP 后, 研究区处于湖泊面积减小的干旱时期; 人类活动带来的影响达到高峰, 围湖造田等农业活动也是江汉平原湖群趋于衰退的重要原因之一。

关键词: 江汉平原; 湖泊沉积; 沉积环境; 粒度; 磁化率

Grain-size characteristics and sedimentary environment change of JZ-2010 section in Jianghan Plain, Hubei Province

WANG Xiaocui¹, ZHU Cheng¹, WU Li¹, SUN Wei¹, LI Feng¹, ZHOU Fengqin², QI Shizheng³ & GONG Qilan³

(1: *School of Geographic and Oceanographic Sciences of Nanjing University, Nanjing 210093, P. R. China*)

(2: *The Investigation and Surveying Bureau of Hydrology and Water Resources of Jingjiang, CWRC, Jingzhou 434000, P. R. China*)

(3: *Department of Geography, National Kaoshiung Normal University, Kaoshiung 80201, P. R. China*)

Abstract: Based on the precise measurement and correction of AMS¹⁴C dating ages combined with the analysis and research of environmental proxies such as grain-size, magnetic susceptibility from the lake sedimentary records of JZ-2010 section in the Jianghan Plain of Hubei Province, this paper reconstructs the sedimentary paleoenvironment of the study area during last 12.76 cal ka BP: 1) 12.76—6.70 cal ka BP. All the proxies show that sedimentary grain size gradually turned fine, which reflects a period of high water level and extended lake area. The regional environment turned from dry Late Glacial to fairly wet Early Holocene, characterized with transition and fluctuation. 2) 6.70—4.47 cal ka BP. The regional environment is moist in the whole phase, which is the Holocene Optimum with optimal moist. The regional environment is the natural background of Daxi Culture transitioning to Qujialing Culture, moreover human settling into the heart area of Jianghan Plain. 3) 4.47—3.67 cal ka BP. The regional environment is in dry conditions. Among this stage, all the proxies distinctively figured out the global 4.2 cal ka BP dry event in the Jianghan Plain. 4) 3.67—1.22 cal ka BP. Regional environment became wet again and hydrodynamic conditions obviously stronger around 2.5 cal ka BP which correspondence to the ancient Yunmeng Marsh expansion recorded in Pre-Qin historical documents. 5) Since 1.22 cal ka BP, lakes in Jianghan Plain have shrunk showing relatively dry environment conditions. These environmental changes ap-

* 国家自然科学基金项目(40971115, 41171163)、国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20090091110036)、教育部“985工程”专项南京大学研究生科研创新基金项目(2011CL11)、国家科技支撑计划项目(2010BAK67B02)和南京大学现代分析中心测试基金项目(0209001309)联合资助。2011-10-08 收稿; 2011-11-28 收修改稿。王晓翠, 女, 1986年生, 硕士研究生; E-mail: wangxiaocui0808@163.com.

** 通信作者; E-mail: zhuchengnj@yahoo.com.cn.

peared to be largely caused by anthropogenic factor and reached its peak during the Tang and Song Dynasty. Settlement development and agricultural activities such as reclaiming farmland has also been one of the important reasons reduced the lakes area of Jiangnan Plain.

Keywords: Jiangnan Plain; lake sediment; sedimentary environment; grain-size; magnetic susceptibility

晚冰期是与人类联系最为紧密的一个地质时段,这一阶段是国际 PAGES 研究的热点,对其时段内沉积环境及人类活动规律的研究有助于揭示人类活动与环境之间的关系,近年来这一研究已受到国际学术界的众多关注^[1-3]. 其中,湖泊沉积是过去全球变化(PAGES)研究的重要信息载体^[4-6],使其在重建陆地古气候环境演化演变过程,进行区域和全球环境对比研究中具有不可替代的优势.

江汉平原位于湖北省中南部,地处长江中游和汉江下游,是典型的由河间洼地组成的洪泛平原,从上游地区带来的泥沙淤积在平原洼地,不断改变着江汉平原的水系格局. 在河湖交替演化的过程中,河床相、洪泛相、湖相及沼泽相沉积交替出现,这些河湖沉积物便成为研究江汉平原晚冰期以来气候环境变迁的良好地质载体. 近年来,已有学者对江汉平原从古环境重建角度进行了研究. 朱诚等^[7]通过对新石器文化遗址的分布、文化层、自然地层和埋藏古树的研究,并结合历史文献资料的分析,揭示了江汉平原全新世异常洪涝灾害发生规律. 谢远云等^[8]通过对江汉平原江陵湖泊沉积物的粒度特征进行分析,并对湖泊流域的气候环境变迁进行了初步探讨. 羊向东等^[9]基于孢粉分析结果,结合主成分分析、AMS¹⁴C 年代测定,重建了江汉平原沔阳地区一万多年来的古季风气候变迁历史,同时对人与自然环境的关系进行了探讨. 然而,对江汉平原地区晚冰期以来高分辨率的沉积环境变化与重建研究尚显不足.

在湖泊沉积研究中,粒度可以反映沉积环境及水动力的变化过程^[10-13],磁化率在一定程度上可表征沉积环境特征并反映人类活动的影响^[14-17]. 本文通过研究与选择,采集得到理想的湖泊沉积样品,通过对样品的 AMS¹⁴C 测年与树轮校正及粒度、磁化率环境代用指标的分析与区域对比,从具较高分辨率的湖泊沉积中获取晚冰期以来江汉平原沉积环境演变的有关信息,并探讨相关人类活动影响的标志特征.

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

研究样品采自湖北省荆州市江北农场二砖厂(30°11'01"N, 112°22'02"E, 图 1)的自然剖面(JZ-2010),海拔 42.32 m. 剖面厚 637 cm(未见底),依据对岩性特征的野外观察,由上至下划分为 7 个层位:

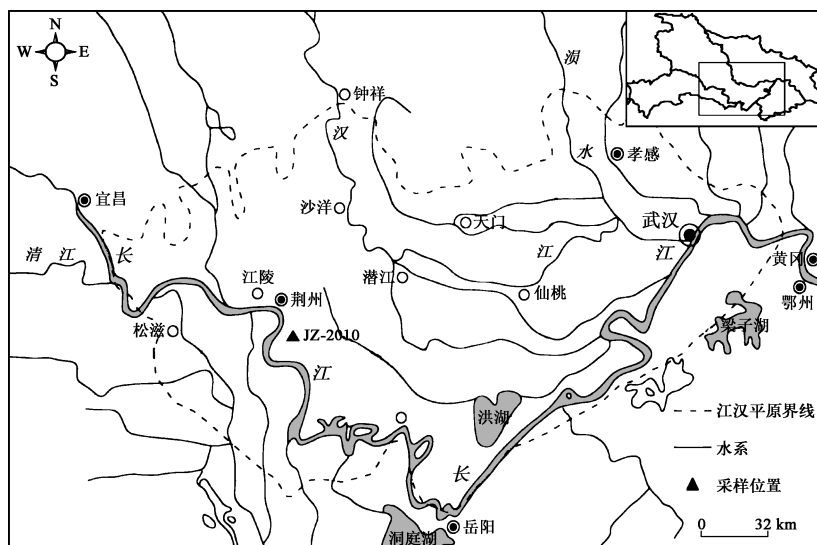
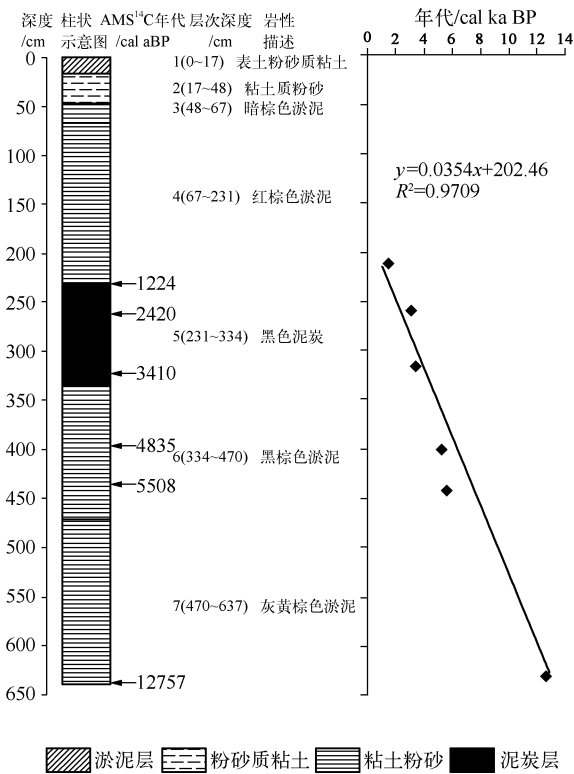


图 1 JZ-2010 剖面采样点位置

Fig. 1 Sampling location of JZ-2010 section

图2 JZ-2010剖面及 AMS¹⁴C 测年结果Fig. 2 JZ-2010 section and results of AMS¹⁴C dating ages

KLY-3(卡帕桥)型磁化率仪测定. 年代样品测定由中国科学院广州地球化学研究所 AMS¹⁴C 制样实验室和北京大学核物理与核技术国家重点实验室联合完成.

1.2 年代标尺的建立

JZ-2010剖面6个年代学样品测年完成后,所得年龄均经国际最新通用的校正程序 CALIB 6.0 版本进行日历年校正(表1).测年数据与深度呈很好的线性关系(图2).考虑到沉积速率的变化,对6个 AMS¹⁴C 测年数据的日历年校正结果结合剖面深度进行分段线性拟合^[18-20],从而得到剖面其它样品的年代.

2 粒度、磁化率数据分析

2.1 沉积物粒度分析结果及特征

根据 Udden-Wentworth 标准,江汉平原 JZ-2010 剖面沉积物按粒级划分为粘土($< 4 \mu\text{m}$)、粉砂($4 \sim 64 \mu\text{m}$)和砂($> 64 \mu\text{m}$)三个级别(图2).其中,粘土含量为 9.43%~70.04%,平均含量为 32.29%;粉砂含量为 28.53%~86.78%,平均含量为 65.47%;砂含量为 0~38.8%,平均含量为 2.24%.按国际制三角图图解法命名^[21],JZ-2010 剖面沉积物整体属粘土质粉砂.其中粒径值 $4.62 \sim 9.06 \Phi$,平均为 7.01Φ .分选系数 σ_1 在 1.11~3.02 之间,属分选较差至分选差.偏态 SK_1 在 $-0.39 \sim 0.47$ 之间,为极负偏到极正偏.峰态 KG 为 0.67~1.72 之间,从宽到很窄.

2.2 沉积物磁化率的变化特征

根据质量磁化率的测试结果,JZ-2010 剖面沉积物样品的磁化率值为 46.53~440.63 SI,平均值为 141.13 SI.其值明显高于邻近的神农架大九湖泥炭^[22],而低于岱海等^[23]半干旱区湖泊,但与洪湖^[24]较为相近,反映出亚热带湿润区长江中游沿江湖泊的磁化率特点.磁化率曲线在 375 cm 以下都比较平稳,呈现小幅

第1层:表土层,棕色粉砂质粘土,厚约 17 cm;

第2层:暗红棕色粘土质粉砂,具水平层理,夹杂黑色有机质,厚约 31 cm;

第3层:暗棕色淤泥,具水平层理,厚约 19 cm;

第4层:红棕色淤泥,具水平层理,夹数条带状黑色有机质、少量黄色铁锈斑点,厚约 164 cm;

第5层:黑色泥炭,具水平层理,夹棕灰色薄层及斑块,并夹杂较多植物茎叶及少量黑色有机质,粘性强,水分多,厚约 103 cm;

第6层:黑棕色夹棕色淤泥,含较多植物及黑色有机质团块,结构非常不均匀,厚约 136 cm;

第7层:灰黄棕色淤泥,含少量植物、黑色有机质团块及锈斑,水分较多,粘性较强,厚约 167 cm.

在新鲜剖面上以 2 cm 间距采样,共获得粒度、磁化率有效样品各 259 个.并于不同层位采集测年样品 6 个.粒度样品分析在南京师范大学地理科学学院完成,粒度分析仪器为英国产 Malvern Mastersizer 2000 型激光粒度仪;磁化率测定在南京大学区域环境演变研究所环境磁学实验室用捷克 AGICO 公司生产的

度的高低振荡,仅在 470 ~ 480 cm 出现明显的峰谷值交替变化;375 cm 以上磁化率开始出现若干较大幅度的峰值,特别是在深度 203 cm 左右出现该剖面最大值 404.63 SI,此后磁化率便处在一个有波动但较为稳定的高值阶段(图 3)。

表 1 JZ-2010 剖面 AMS ¹⁴C 测年结果
Tab.1 AMS ¹⁴C dating of samples from JZ-2010 section

样品编号	测年材料	深度/cm	实验室编号	AMS ¹⁴ C 年代/a BP	2σ 校正年代/a BP	日历年代/cal a BP
AMS ¹⁴ C-9	泥炭	231 ~ 232	GZ4100	1270 ± 20	678AD(100%) 775 AD	1224
AMS ¹⁴ C-8	泥炭	262 ~ 264	GZ4099	2405 ± 20	539 BC(98.1865%) 401BC	2420
AMS ¹⁴ C-6	泥炭	318 ~ 320	GZ4098	3185 ± 20	1497BC(100%) 1422BC	3410
AMS ¹⁴ C-4	淤泥	395 ~ 397	GZ4096	4235 ± 20	2903BC(85.9137%) 2867BC	4835
AMS ¹⁴ C-2	淤泥	435 ~ 437	GZ4095	4815 ± 25	3588BC(67.242%) 3528BC	5508
AMS ¹⁴ C-1	淤泥	635 ~ 637	GZ4094	10870 ± 35	10943BC(100%) 10670BC	12757

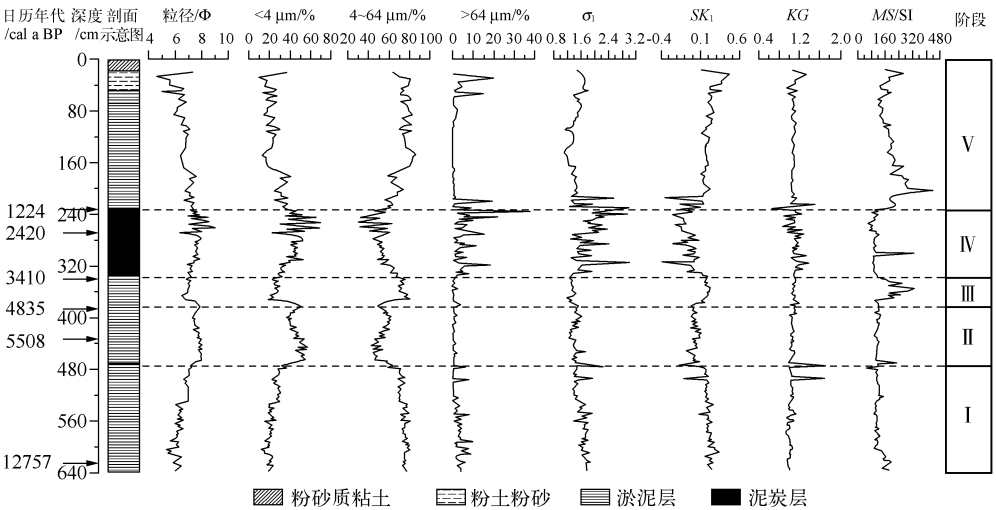


图 3 粒度各参数及磁化率随深度变化图

Fig. 3 Grain size parameters and magnetic susceptibility vertical changes with depth

3 讨论

通过分析比较,本研究湖泊沉积物的各粒度参数可从不同侧面反映沉积环境的变化.粘土、粉砂、砂含量等参数的变化反映沉积物颗粒的粗细,细粒沉积物代表了湖水物理能量较强的水位较高阶段,其原因是高水位时同一采样点距离湖岸的距离变远,陆源颗粒必须经过长距离的搬运才能到达采样点,而沉积物中粗颗粒物难以长距离搬运,导致平均粒径减小;反之,粗粒沉积物则代表低水位阶段^[11].分选系数 σ_1 代表沉积物的分选程度,分选系数 σ_1 越小分选程度越好;长距离的搬运对颗粒也起到了很好的分选作用,对应湖泊高水位时期^[25-29].偏态 SK_1 表示沉积物粗细分布的对称程度,可判别分布的对称性,并表示平均值与中位数的相对位置.如为负偏,沉积物偏粗,平均值将向中位数的较粗方向移动;正偏则是细偏,平均值向中位数的较细方向移动.峰态 KG 是用来衡量粒度分布曲线的尖锐或钝圆的程度,正态曲线的峰态值 1.00,峰态正值说明颗粒分布集中,负值时则为宽峰态,说明颗粒分布分散^[30].

基于此,以粒度分析结果及其曲线变化特征为基础,结合磁化率分析结果,并综合历史文献等相关资料,得到江汉平原 12.76 ka BP 以来湖泊沉积环境的演化过程,分段分析如下:

I 阶段: 637 ~ 470 cm (12.76—6.70 cal ka BP), 灰黄棕色淤泥. 这一阶段 $< 4 \mu\text{m}$ 的粘土含量在波动中逐渐增多, 4 ~ 64 μm 的粉砂含量在波动中逐渐减少, $> 64 \mu\text{m}$ 的砂含量虽出现多次波动但整体平稳; 中值粒径 Md 曲线在波动中逐渐向粒径偏细变化; 分选系数 σ_1 平均值为 1.63, 总体分选较差, 但向分选性好变化, 说明沉积物颗粒的搬运距离变远; 偏度 SK_1 平均值为 0.20, 属正偏, 沉积物偏细; 峰态 KG 平均值为 1.04, 属中等. 本阶段磁化率平均值为 124.48 SI, 低于平均值, 说明此阶段沉积物颗粒较粗. 且该阶段磁化率变化不大, 说明沉积物环境为磁性矿物来源较为稳定的较低湖面时期. 以上综合分析表明该时期气候总体向湿润发展, 湖泊水域面积逐渐扩大, 但水动力条件不强, 对应于晚冰期以来至早全新世气候由偏干向湿润发展的阶段, 这可能是城背溪文化向大溪文化转变的自然背景. 沔阳地区 M1 孔孢粉组合特征^[9]、江汉平原江陵剖面的粒度、孢粉、有机碳同位素记录^[8, 31-32] 以及江汉平原 47 号钻孔的化石硅藻资料^[33] 均显示在晚冰期至全新世中期江汉平原及其周边区域气候向湿润方向发展.

II 阶段: 470 ~ 377 cm (6.70—4.47 cal ka BP), 黑棕色夹棕色淤泥, 含较多植物及黑色有机质团块. 该阶段前期 (470 ~ 452 cm, 日历年代 6.70—6.05 cal ka BP), 各粒度参数均出现较明显转折, 主要表现在 $< 4 \mu\text{m}$ 的粘土含量迅速上升而 4 ~ 64 μm 的粉砂含量大幅度下降, 磁化率也出现一次明显的峰谷交替变化, 表明该段在上一阶段的湿润基础上湖面经历了一次较快速的扩张, 这可能与发生在 7.0 cal ka BP 左右的夏季风降水增强事件有关^[34].

这一阶段 $< 4 \mu\text{m}$ 的粘土百分含量达到全剖面最高, 平均为 46.80%, 但趋势是波动变小, 4 ~ 64 μm 的粉砂含量则为极小值, 说明采样点此时离岸较远, 可能进入湖泊生成期, 故沉积物颗粒相对较细; $> 64 \mu\text{m}$ 的砂含量虽出现多次小波动但整体平稳, 是该剖面中最为平直阶段, 反映水动力条件很弱; 中值粒径 Md 为该剖面最细阶段, 但曲线在波动中逐渐向粒径偏粗变化; 分选系数 σ_1 平均值为 1.43, 总体分选较差; 偏度 SK_1 平均值为 0.04, 接近于对称分布, 该剖面对称性最好阶段; 本阶段磁化率平均值为 120.42 SI, 为低值阶段, 且该阶段磁化率变化不大, 说明沉积物中磁性矿物来源较为稳定, 说明在江汉平原成湖时期大量有机质进入该淤泥层. 以上综合分析表明, 该时期趋于环境比前一阶段更为湿润, 湖泊水域面积扩大, 对应本区为水热配置最佳的全新世适宜期, 这可能是大溪文化向屈家岭文化转变的自然背景. 这与研究区周边沔阳 M1 孔孢粉组合特征^[9] 以及巢湖 ACN 钻孔的沉积记录研究^[29] 所得结论相一致.

III 阶段: 377 ~ 334 cm (4.47—3.67 cal ka BP). 该阶段沉积物 $< 4 \mu\text{m}$ 的粘土百分含量较上一阶段明显变少, 而 4 ~ 64 μm 的粉砂含量急剧增加, 说明采样点此时离岸较近, 湖泊处于较低水位; $> 64 \mu\text{m}$ 砂含量波动很小, 反映水动力条件很弱, 综合说明湖泊处于稳定的低水位阶段; 分选系数为全剖面最好; 磁化率为全剖面高值, 平均值为 198.05 SI, 可能是石家河文化时期人类活动加强造成流域侵蚀加剧所引起的; 综合分析该时期区域环境逐渐向偏干的方向发展, 并经历了一次较长时间的湖面收缩 (377 ~ 361 cm, 日历年代 4.47 ~ 4.20 cal ka BP), 表现为 $< 4 \mu\text{m}$ 的粘土含量由 50% 急剧下降到 20%, 而 4 ~ 64 μm 的粉砂含量则由 50% 上升到 80%, 磁化率值开始急剧升高, 说明该阶段末期特别是在 4.2 cal ka BP 左右气候环境急剧向干旱化发展, 这应是亚欧大陆范围内 4.2 cal ka BP 干旱事件在江汉平原地区的表现, 与研究区相邻的北部神农架山宝洞 SB10 石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录也揭示出 4.3 ka BP 前后季风降水的突然减少^[34-35].

IV 阶段: 334 ~ 231 cm (3.67—1.22 cal ka BP), 黑色泥炭, 具水平层理, 夹棕灰色薄层及斑块, 并夹杂较多植物茎叶及少量黑色有机质.

该阶段前期 (334 ~ 264 cm, 日历年代 3.67—2.42 cal ka BP), $< 4 \mu\text{m}$ 的粘土含量在波动中逐渐增加, 而 4 ~ 64 μm 的粉砂含量在波动中逐渐减少, 说明沉积物逐渐变细, $> 64 \mu\text{m}$ 的砂含量出现多次大幅度波动, 中值粒径 Md 不断增大, 反映江汉平原地区向湖泊水位较高、水动力条件增强的沉积环境发展, 此阶段对应于先秦史籍记载的古云梦泽扩张和稳定时期^[36]. 该阶段磁化率平均值为本剖面最低值 (106.71 SI), 同时也是全剖面最低值, 分析认为该阶段植物多, 有机物堆积使磁化率值降低. 由于农业的进一步发展, 这个时期沉积物中的有机质含量增加, 其在一定程度上降低了磁化率值^[37]. 邻近的沔阳地区孢粉记录表明该时期水生植物增多, 湿度增多接近于全新世适宜期^[9]; 江汉平原江陵剖面的沉积记录也显示该地区在该阶段为暖湿气候时期^[8]. 竺可桢^[38] 对中国近五千年来气候变迁的研究也说明该阶段为湿润阶段.

该阶段后期 (264 ~ 231 cm, 日历年代 2.42—1.22 cal ka BP), 各粒度参数均出现大幅度剧烈波动,

<4 μm 的粘土含量在波动中逐渐减少,而 4~64 μm 的粉砂含量在波动中逐渐增加,沉积物逐渐变粗,环境向偏干方向发展,湖面逐渐收缩,对应于古云梦泽的收缩时期^[37]。但该时期水动力条件很强,>64 μm 的砂含量出现数次峰值,沉积环境不稳定,历史记载表明经历过若干次较大的洪水事件^[36]。

V 阶段:231~0 cm(1.22~0 cal ka BP),下部为淤泥层,并夹黑色有机质及少量黄色铁锈斑点,上部为粘土质粉砂及粉砂质粘土。该阶段沉积物分选系数 σ_1 平均值为 1.82,总体分选较差,说明沉积物呈粗颗粒增加而细颗粒减少的趋势;<4 μm 的粘土含量逐渐减少,而 4~64 μm 的粉砂含量逐渐增加,>64 μm 砂含量波动很小,反映沉积物进一步变粗,湖面收缩变小,水动力条件不强,气候继续向偏干的方向发展。江汉平原江陵剖面的沉积记录也显示,在 1.2 cal ka BP 后该地区为偏干气候时期^[8]。磁化率曲线在该阶段出现若干次波动,平均值为 197.91 SI,且总体维持在较高的磁化率值水平上,在特定流域内,高磁化率被当作侵蚀作用标志^[29],磁化率值异常升高反映流域内由于耕作和森林砍伐而导致基岩侵蚀加剧,流域内磁性矿物输入量大。历史时期中国两次北方人口大量南迁至江汉平原地区^[36],人类活动引起的垦荒和土地开发不断加剧,水土流失严重,入湖的磁性物质含量自然也增加很快,磁化率值也因人类干扰较大而异常升高。据史书记载该阶段对应于唐宋时期以来古云梦泽的瓦解阶段^[35,39]。同时,唐宋时期以来人类活动带来的影响也达到了高峰,围湖造田等农业活动是江汉平原湖群趋于减少的重要原因之一。

4 初步结论

综上所述,可以得出以下初步结论:

1) 从江汉平原 JZ-2010 剖面粒度、磁化率记录的沉积环境变化信息来看,该剖面具有典型性,能较好地反映江汉平原的环境演变。晚冰期以来,本区气候环境总体上经历了偏干向湿润发展阶段—湿润阶段—偏干阶段—湿润阶段—偏干阶段的变化过程。江汉平原的环境演变一方面受到全球变化的影响,尤其是东亚季风演化对本区的影响;另一方面,由于江汉平原独特的地理位置以及流域地形特征等,都使该区环境演变有着自身的特点和复杂性。同时中晚全新世以来,人类活动的影响不容忽视。

2) 在江汉平原湖泊沉积物的研究中,作为反映环境演变的代用指标——粒度的环境信息清晰明确,很好地反映了湖泊水位和水动力条件变化,进而说明气候干湿变化。湖泊沉积物细粒物质增多一般指示湿润气候,而粗粒物质增多则指示干旱的气候,砂组分含量变化则有效指示了水动力条件的变化。综合文献资料反映的历史时期人类活动,我们也相互验证了江汉平原流域气候环境演变的历史。

3) JZ-2010 剖面中磁化率值的异常升高与人类活动的增强相对应,说明它们之间可能存在一定联系。但是,这种异常变化与人类活动、沉积环境之间联系的机理还不清楚,需进一步研究。同时,还需进一步研究磁化率在反映湖泊沉积环境信息上的机制。

致谢:衷心感谢湖北省文物考古研究所孟华平所长、刘辉队长,南京大学田晓四博士后、欧阳杰博士、李兰博士,在野外、实验室工作中给予的支持与帮助;感谢南京师范大学陈晔老师在粒度测试中提供的帮助,在此表示衷心的感谢。两位匿名审稿专家给予论文许多具体的意见,在论文修改过程中得到中国科学院南京地理与湖泊研究所薛滨研究员的悉心指导,表示真挚的感谢!

5 参考文献

- [1] Wei LY, Lu YC, Yin JH. Environmental changes recorded in lake sediments for 13000 - 1000 aB. P. in Beijing area. *Chinese Science Bulletin*, 1998, **43**(13): 1095-1100.
- [2] Han YL, Tan XD, Chen Z *et al.* Magnetic granulometry of recent sediments from the Huguang Maar and its implication for provenience. *Chinese Science Bulletin*, 2010, **55**(Z1): 418-424.
- [3] Van Geel B, Guthrie RD, Altmann JG. Mycological evidence of coprophagy from the feces of an Alaskan Late Glacial mammoth. *Quaternary Science Reviews*, 2011, **30**(17/18): 2220-2237.
- [4] Jin ZD, Wang SM, Shen J *et al.* Weak chemical weathering during the Little Ice Age recorded by lake sediments. *Science in China: Series D*, 2001, **44**(7): 652-658.
- [5] Pini R, Ravazzi C, Reimer PJ. The vegetation and climate history of the last glacial cycle in a new pollen record from Lake Fimon (southern Alpine foreland, N-Italy). *Quaternary Science Reviews*, 2010, **29**(23/24): 3115-3137.

- [6] Conroy JL, Overpeck JT, Cole JE *et al.* Holocene changes in eastern tropical Pacific climate inferred from a Galapagos lake sediment record. *Quaternary Science Reviews*, 2008, **27**(11/12):1166-1180.
- [7] 朱 诚,于世永,卢春成等. 长江三峡及江汉平原地区全新世环境考古与异常洪涝灾害研究. *地理学报*, 1997, **52**(3):268-278.
- [8] 谢远云,李长安,王秋良等. 江汉平原江陵湖泊沉积物粒度特征及气候环境意义. *吉林大学学报*, 2007, **37**(3):570-577.
- [9] 羊向东,朱育新,蒋雪中等. 沔阳地区一万多年来孢粉记录的环境演变. *湖泊科学*, 1998, **10**(3):23-29.
- [10] 张建新,申志军,顾海滨等. 洞庭湖区第四纪环境地球化学. 北京:地质出版社, 2007:124-127.
- [11] 于 革,刘 健,薛 滨等. 古气候动力模拟. 北京:高等教育出版社, 2007:137-139.
- [12] 王心源,吴 立,张广胜等. 安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义. *地理科学*, 2008, **28**(4):548-553.
- [13] 史 凯,戴雪荣,师育新等. 苏州澄湖 SC7 孔沉积物粒度特征及其古环境意义. *湖泊科学*, 2009, **21**(5):741-748.
- [14] Thomson R, Old F. *Environmental magnetism*. London: George Allen & Unwin, 1986: 1-83.
- [15] 杨小强,李华梅. 泥河湾盆地沉积物粒度组分与磁化率变化相关性研究. *沉积学报*, 2002, **20**(4):675-678.
- [16] 张俊辉,杨太保,李永国等. 柴达木盆地察尔汗盐湖 CH0310 钻孔沉积物磁化率及其影响因素分析. *沉积学报*, 2010, **28**(4):790-797.
- [17] 吴 健,沈 吉. 兴凯湖沉积物磁化率和色度反映的 28 ka BP 以来区域古气候环境演化. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, **29**(3):123-131.
- [18] Stuiver M, Reimer PJ. Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 super(14) C age calibration program. *Radiocarbon*, 1993, **35**(1): 215-230.
- [19] Stuiver M, Reimer PJ, Bard E *et al.* INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000 -0 cal BP. *Radiocarbon*, 1998, **40**(3): 1041-1083.
- [20] Reimer PJ, Baillie MGL, Bard E *et al.* IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0 -50000 years cal BP. *Radiocarbon*, 2009, **51**(4): 1111-1150.
- [21] 徐 馨,何才华,沈志达等. 第四纪环境研究方法. 贵阳:贵州科技出版社, 1992.
- [22] 马春梅. 近 1.6 万年来神农架大九湖泥炭高分辨率环境演变记录研究[学位论文]. 南京:南京大学, 2006.
- [23] 朱艳明,于永涛,周力平等. 岱海湖泊沉积岩芯高分辨率磁性测量——U 型槽与常规方法之比较. *第四纪研究*, 2007, **27**(6):983-988.
- [24] 曹希强,郑祥民,周立旻. 洪湖沉积物的磁性特征及其环境意义. *湖泊科学*, 2004, **16**(3):227-232.
- [25] 罗建育,陈振东. 台湾高原湖泊沉积记录指示的近 4000a 气候与环境变化. *中国科学:D 辑*, 1997, **27**(4):366-372.
- [26] 王苏民,李建仁. 湖泊沉积——研究历史气候的有效手段. *科学通报*, 1991, **36**(1):54-56.
- [27] 陈敬安,万国江,徐经意. 洱海沉积物粒度记录与气候干湿变迁. *沉积学报*, 2000, **18**(3):341-345.
- [28] 陈敬安,万国江,黄荣贵. 云南程海沉积物粒度研究. *环境科学进展*, 1999, **7**(4):76-82.
- [29] 贾铁飞,戴雪荣,张卫国等. 全新世巢湖沉积记录及其环境变化意义. *地理科学*, 2006, **26**(6):706-711.
- [30] 戴东林,陈庸勋. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京:地质出版社, 1976.
- [31] 谢远云,李长安,王秋良等. 江汉平原 6000 年以来的古降水变化:江陵剖面沉积物粒度记录. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, **25**(3):119-124.
- [32] 谢远云,李长安,王秋良等. 江汉平原 9.0 ka BP 以来的气候演化:来自江陵剖面沉积物记录. *地理科学*, 2006, **26**(2):199-204.
- [33] 施之新. 江汉平原 47 号钻孔中的化石硅藻及其在古环境分析上的意义. *植物学报*, 1997, **39**(1):68-76.
- [34] Shao XH, Wang YJ, Cheng H *et al.* Long-term trend and abrupt events of the Holocene Asian monsoon inferred from a stalagmite $\delta^{18}O$ record from Shennongjia in Central China. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(2): 221-228.
- [35] 吴锡浩,安芷生,王苏民等. 中国全新世气候适宜期东亚夏季风时空变迁. *第四纪研究*, 1994, (1):24-37.
- [36] 蓝 勇. *中国历史地理学*. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [37] 张振克,吴瑞金,王苏民. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映. *地理研究*, 1998, **17**(3):297-302.
- [38] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. *中国科学*, 1973, **16**(2):226-256.
- [39] 周凤琴. 云梦泽与荆州三角洲的历史变迁. *湖泊科学*, 1994, **6**(1):22-32.