



巢湖湖泊沉积记录的早-中全新世环境演化研究

王心源^{①②}, 张广胜^{①②}, 张恩楼^③, 肖霞云^③, 蒋庆丰^③, 吴立^{①②}, 王官勇^{①②}, 张生根^{①②}

① 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241000;

② 安徽遥感考古工作站, 芜湖 241000;

③ 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境重点实验室, 南京 210008.

E-mail: xinyuanw57@vip.sina.com

2007-06-03 收稿, 2007-10-12 接受

国家自然科学基金项目(批准号: 40571162)、国家自然科学基金重大项目(批准号: 90411015)和安徽省自然科学基金项目(批准号: 050450401)资助

摘要 采用 AMS¹⁴C 对岩芯的年代的精确测定与校正, 以及孢粉、粒度等环境代用指标的分析研究, 提取早中全新世环境演变信息, 重建了研究区 9870~2170 aBP(cal)期间的环境演变序列: (1) 9870~6040 aBP(cal)时期, 气候在晚更新世干冷向温和干燥发展. 在 8910 aBP(cal)左右, 以及 6060~6030 aBP(cal)时期气候变干冷, 湖面有缩小的波动变化现象; (2) 6040~4860 aBP(cal)时期, 气候温和湿润但有波动较大的时段. 在 5840~5500 aBP(cal), 本区达到最盛的暖湿期, 之后进入 5375~4930 aBP(cal)的 Elm Decline 事件期; (3) 4860~2170 aBP(cal)气候温度、湿度皆下降, 是一个温和略干期. 3760 aBP(cal)出现一次干旱, 2170 aBP(cal)是巢湖全新世历史上干旱程度较高的一次, 巢湖湖盆的局部地区可能出露水面以上.

关键词
湖泊沉积
环境演变
孢粉
粒度
早中全新世
巢湖流域

湖泊沉积记录与环境演变是过去全球变化研究的重要领域之一. 湖泊沉积具有沉积连续性好、储存信息量大、沉积速率快、时间分辨率高等优势, 是记录过去气候环境变化的一种重要的地质档案^[1~6], 从而成为古环境演变研究非常有价值的材料, 其各种生物、理化指标及湖泊本身的演变是恢复古气候状况的重要资料. 也使得湖泊沉积记录在重建陆地古气候、古环境演化序列, 进行区域和全球环境对比研究中具有不可替代的优势^[7~14]. 全新世是与人类关系最为密切的一个时段, 对其气候变化机制的深入研究有助于了解未来全球变暖的趋势, 因而成为近年来地学家们关注的焦点^[15,16].

巢湖的入湖河流较多, 水系相对较为发达, 但巢湖只有惟一出水通道裕溪河与长江相连, 这使得巢湖构成一个相对封闭的湖泊, 湖泊沉积物保存连续完好, 记录了区域环境演化的信息, 为区域环境演变研究提供了很好的素材. 巢湖近年来许多学者专家

从湖泊污染、湖泊形成、水土流失以及古环境等多方面进行研究, 其中第四纪特别是全新世以来环境变化进行了较为深入的研究. 杨则东等人^[17,1]对包括巢湖在内的安徽长江段的第四纪、特别是对全新世地层进行较为系统的研究; 范斌等人^[18]以巢湖湖泊沉积物植硅体化石为环境变化代用指标, 对中全新世以来古气候与古环境进行研究; 贾铁飞等人^[19]通过对巢湖全新世地层对比以及 ACN 钻孔沉积物研究, 划分出自中全新世以来巢湖显著的 3 次湖泊收缩过程; 王心源等人^[20]从环境考古角度对历史文献记载的古居巢国存疑进行研究; 羊向东等人^[21]对位于巢湖西南 200 km 的龙感湖进行 3~15 ka 间的环境变化分析^[22].

本研究通过研究与选择, 采集得到理想的湖泊沉积样品. 通过对样品 AMS¹⁴C 测年与校正, 用孢粉、粒度、磁化率等环境代用指标的分析与区域比较方法, 从连续、完整且具较高分辨率的湖泊沉积中获

1) 安徽省地质调查院. 长江中游安徽江段及巢湖水患区环境地质调查评价报告. 2002, 12

取全新世早中期环境演变的有关信息,建立该区全新世以来的气候环境演变的序列和标志特征.

1 研究区概况

巢湖位于安徽省中部(30°25′28″~31°43′28″N, 117°16′54″~117°51′46″E), 处于长江、淮河之间, 属长江下游左岸水系, 是中国著名的五大淡水湖之一. 在 8 m 水位时湖泊面积为 778 km², 呈“凹”字形. 流域面积 13349 km², 有 12 条主要河流流入湖泊, 现仅由惟一出水通道裕溪河(全长 60.4 km)在巢湖东端于裕溪口注入长江.

流域气候属北亚热带和暖温带过渡性季风气候, 气候温和, 四季分明. 巢湖年平均降雨量 1000 mm. 流域内地带性植被类型为北亚热带混交林夹少数耐寒常绿阔叶林, 原生植被不复存在, 绝大部分为人工栽培林、次生林及灌木丛、草类, 包括低山丘陵植被群落、平原岗地植被群落和水生植被群落等三类植被群落.

巢湖及其流域的构造与地貌的主要轮廓是燕山运动奠定、喜马拉雅运动所造成的. 区内褶皱和断裂构造发育, 在湖东北部, 尤其向湖倾伏的背、向斜为典型, 断裂主要有北北东—南南西、北北西—南南东和东—西向三组断裂控制今天的湖泊形状, 于是形成了巢湖四周山地、中间相对凹陷的格局^[22~25], 并把整个巢湖划分为东湖区、西湖区. 巢湖全新世构造运动, 主要受郯庐断裂带南段中部(淮河-庐江段)深断裂带的控制活动; 全新世该区地层主要为河湖相的冲积、淤积层, 表现为黄色的砂砾沉积或青灰色淤泥质黏土沉积, 它们分布于长江两岸的河谷及湖泊地区^[26~30].

2 研究的材料与方法

2.1 样品的采集与分析

在中国东部湿润区, 获取理想的湖泊沉积来提取有效的古环境信息并非易事. 巢湖与洞庭湖、鄱阳湖等沿江湖泊相比, 受到长江江水的直接影响相对要小, 特别是西湖区形成了一个准封闭性湖泊. 2006 年 4 月, 通过调查与分析比较, 用荷兰 Eijkelpamp 公

司生产的 Becker 型沉积物采样器在巢湖的西湖区(31°33′44.6″N, 117°23′39.4″E)(见图 1), 获得 800 cm 长的连续沉积湖芯(编号 CH-1)(未见底). 湖芯柱样样品总体上为青灰色淤泥质粉质黏土或含粉砂质黏土, 少量为青灰色泥夹 3 mm 的细砂层(见粒度分析), 为湖泊相沉积物. 样品采集后运抵中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境重点实验室, 采取低温保存.

对 CH-1 孔柱样样品实验室处理. 以 1 cm 间隔分割, 共获得 800 个样品. 首批实验分析主要包括 7 个 AMS¹⁴C 测年、160 样的孢粉鉴定和碳屑、400 样的粒度和 400 样的磁化率的实验室分析. 根据研究需要, 本文样品取自 490~117 cm 段的青灰色连续湖泊沉积, 主要从孢粉和粒度环境代用指标进行环境演化分析.

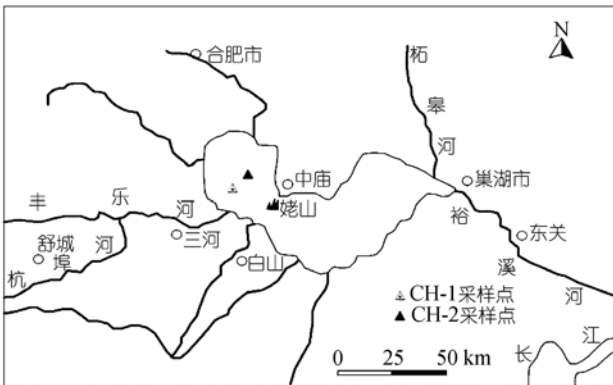


图 1 巢湖主要河流及湖泊沉积钻孔采样点位置示意图

2.2 年代框架的建立

巢湖 CH-1 样品年代测定, 由北京大学重离子物理教育部重点实验室完成. 在 490~117 cm 段, 有 6 个 AMS¹⁴C 测年数据, 其与深度呈很好的线性关系($R^2 = 0.968$). 结合巢湖年代与深度关系的特征研究及结合前人的研究方法^[31~33], 建立巢湖湖泊沉积物年代的线性回归校正方程, 得到巢湖湖泊沉积物 6 个年代与深度的对应关系, 见表 1.

由于整个岩芯皆为湖相沉积, 故根据各段沉积速率并参考整段的平均沉积速率, 使用外推内插法计算出岩芯其他位置的年代, 从而建立该段巢湖湖

表 1 CH-1 湖泊钻孔岩芯 AMS¹⁴C 测年结果

深度/cm	127	189	227	287	387	487
年代/aBP(cal)	2550 ± 40	3720 ± 130	4565 ± 55	5475 ± 95	6590 ± 130	9770 ± 40

泊沉积物的年代框架。

3 环境代用指标分析

3.1 孢粉分析

CH-1 钻孔 4.90 m 以上岩芯已鉴定的 98 个孢粉样品中, 共鉴定出 86 个孢粉(科)属, 其中包括乔木花粉 24 个(科)属, 灌木花粉 20 个(科)属, 旱生草本花粉 23 个(科)属, 水生(包括湿生)草本花粉 5 个(科)属和蕨类孢子 14 个(科)属以及 2 个藻类。所有样品含有丰富的孢粉, 平均每个样品统计 429 粒, 最多统计了 539 粒/样, 最少为 310 粒/样, 满足分析的需要。

孢粉组合以乔木花粉为主, 含量平均达 59.5% (以陆生植物花粉总数为基数), 最高为 75.3%; 其次为旱生草本花粉, 平均为 35.0%, 灌木花粉、水生草本花粉和蕨类孢子均较少。

在乔木花粉中, 落叶栎类(*Quercus*)含量最高, 平均为 25.2%, 其次栲/石栎(*Castanopsis/Lithocarpus*)、青冈属(*Cyclobalanopsis*)、常绿栎类(*Quercus (evergreen)*)、松属(*Pinus*)、栗属(*Castanea*)等含量较高, 桦属(*Betula*)、榆属(*Ulmus*)、胡桃属(*Juglans*)、化香树属(*Platycarya*)、枫香属(*Liquidambar*)和悬铃木属(*Platanus*)等有一定含量。灌木花粉主要有桑科(*Moraceae*)、柳属(*Salix*)、接骨木属(*Sambucus*)、蔷薇属(*Rosa*)、绣线菊属(*Spiraea*)、麻黄属(*Ephedra*)和芸香科(*Rutaceae*)等。旱生草本花粉以禾本科(*Gramineae*)为主, 其次有较多的蒿属(*Artemisia*)、蓼属(*Polygonum*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、百合科(*Liliaceae*)等, 毛茛科(*Ranunculaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、菊科(*Compositae*)、苦苣苔科(*Gesneriaceae*)等有一定含量。水生草本(包括湿生)主要是莎草科(*Cyperaceae*), 另有少量荇菜属(*Nymphoides*)和香蒲/黑三棱属(*Typha/Sparganium*)。蕨类孢子中单裂缝孢子以水龙骨科(*Polypodiaceae*)为主, 三裂缝孢子以凤丫蕨属(*Coniogramme*)为主。另外, 在孢粉组合中还发现盘星藻属(*Pediastrum*)和环纹藻(*Concentricystes*)两个藻类。

选择剖面中孢粉百分比含量(以陆生植物花粉总数为基数)大于 1%、生态意义较大的孢粉属种, 绘制主要孢粉属种百分比图(图 2)。

3.2 粒度分析

本研究的样品粒度测试分析, 用英国马尔文(Malvern)公司生产的 Mastersizer2000 激光粒度仪进

行粒度分析完成。巢湖湖泊沉积物柱样的粒度组成的粒级划分按照 Udden-Wentworth 标准分成黏土($<4\ \mu\text{m}$)、粉砂($4\sim 64\ \mu\text{m}$)和砂($>64\ \mu\text{m}$) 3 个级别^[34], 反映了沉积物粒度的变化。在粒度测试结果中, 选择了沉积物颗粒分布在 $<4\ \mu\text{m}$ 的黏土; $4\sim 64\ \mu\text{m}$ 的粉砂; $>64\ \mu\text{m}$ 的砂的以及中值粒径分别作出粒径曲线图(见图 3)。

4 巢湖湖泊沉积记录的早中全新世环境演化

植物孢子花粉作为一种重建古植被、古环境的重要代用指标, 是衡量环境变化的最重要的依据之一, 在古环境研究中起着重要的作用^[35~40]。湖泊沉积物粒度也是重建古环境的重要指标之一^[5, 41~45]。依据 CH-1 孔孢粉组合, 对 490~217 cm 岩芯划分为 3 个以千年尺度的一级孢粉带和 7 个亚带, 辅之以粒度变化分析以及磁化率变化特征进行百年至十年尺度的环境变化分析。

第一阶段 9870~6040 aBP(cal)(490~337 cm)期间。这一阶段孢粉组合中以乔木花粉为主, 落叶阔叶属种含量高于常绿阔叶属种。落叶阔叶属种的主要成分是落叶栎类, 另有一定量的栗属; 常绿阔叶属种主要是栲/石栎属, 有一定量的青冈属和常绿栎类。说明该阶段植被是以落叶、常绿属种为主的落叶阔叶、常绿阔叶混交林。从该段总体看, 常绿落叶阔叶栲/石栎在减少、落叶阔叶栎类在增加, 为含量最高段, 而喜阴的青冈属含量相对稳定。表明气温在减小, 但相对湿度则变化不大。

粒度指标总体上在这一段中值粒径逐步减小, $<4\ \mu\text{m}$ 的黏土含量逐步增加, $4\sim 64\ \mu\text{m}$ 的粉砂含量逐步降低, 但有波动。粒度显示在 460 cm 的 8910 aBP 时, 以及在 400 cm(7000 aBP)和 337~340 cm (6030~6060 aBP)时, 细砂含量有突然升高现象。 $>125\ \mu\text{m}$ 碳屑含量在 460 cm(8910 aBP)和 370 cm(6400 aBP)等处有突然升高的现象。

综合分析可以得出早中全新世的 9870~6040 aBP (cal)之间, 该地区的气候由晚更新世的干冷向温和干燥发展, 因此时有火灾发生。粒度显示在 8910 aBP 时, 细砂含量有突然升高现象, 反映钻孔位置距离河口变近, 湖面缩小。这时, 青冈属含量迅速减少, 是冷干期。在 337~340 cm 即 6030~6060 aBP 时, 又是一次粉沙含量波动, 仍为冷干事件。落叶栎类有反映, 乔木花粉在减少, 旱生草本在增加, 有火情发生。

第二阶段 6040~4860 aBP(cal)(337~247 cm)期间。

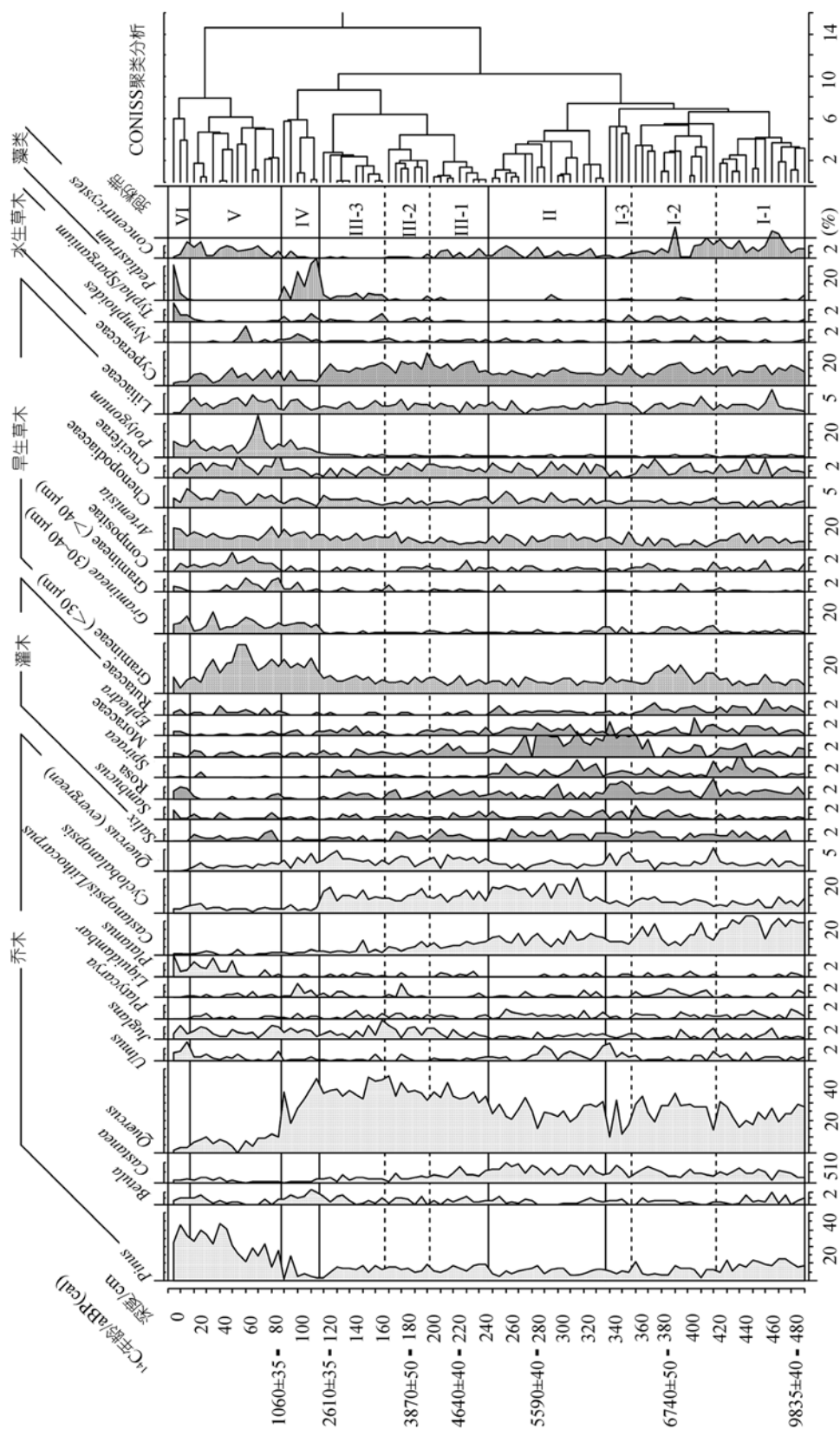


图 2 巢湖主要孢粉属种百分比图

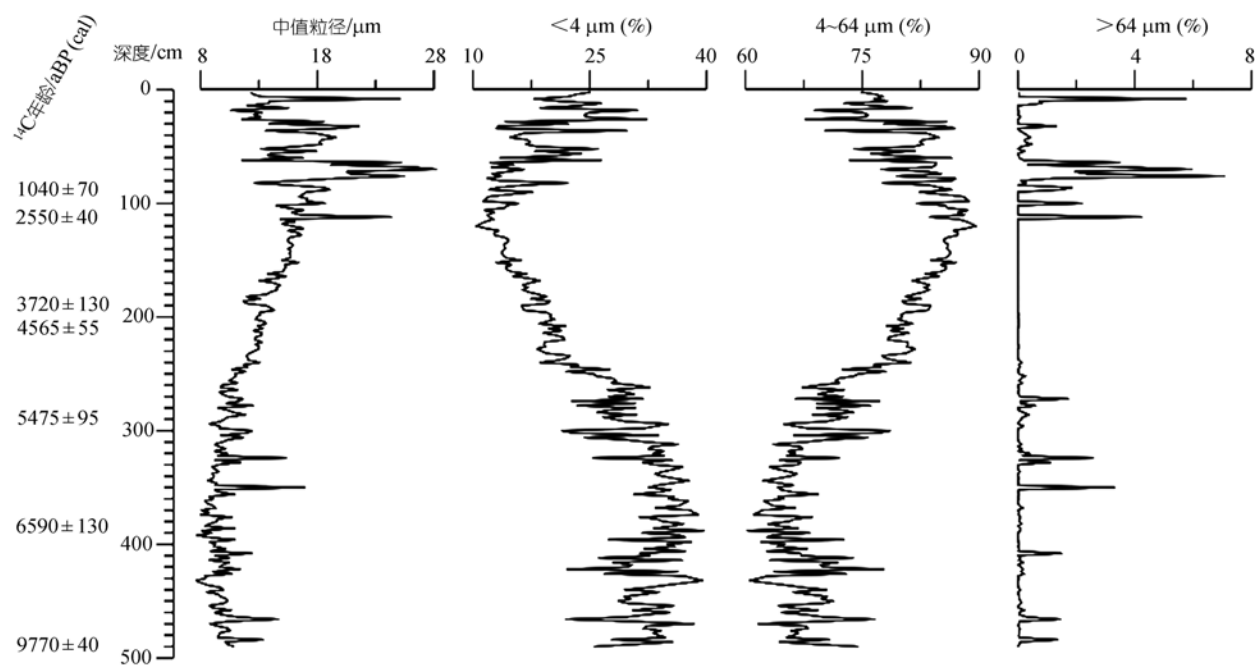


图3 巢湖沉积物样品粒度曲线图

这一阶段孢粉组合仍以乔木花粉占优势,其中落叶阔叶属种和常绿阔叶属种含量都有增加,落叶阔叶属种含量增加主要表现为落叶栎类和栗属的增加,榆属含量也稍有增加;而常绿阔叶属种含量增加表现为青冈属含量增加较多和栲/石栎属的明显减少,灌木花粉中桑科含量整体较高,说明此阶段植被是以落叶栎类、栗属、青冈属和栲/石栎属为主的落叶阔叶、常绿阔叶混交林。相对于上一阶段,林中常绿属种青冈的比例增加、混生有一定量的榆树,且研究区周边地区出现较多以桑树为主的灌木,反映此时段气候暖湿。从整个剖面看,喜阴湿的青冈属在此时段孢粉含量达最大值 13.2%。

粒度指标中值粒径总体上有增大的趋势,但 $<4\ \mu\text{m}$ 黏土物质含量开始持续降低, $4\sim64\ \mu\text{m}$ 的粉砂含量开始逐步增加。这一阶段粒度波动较为明显,有数次细砂含量的峰值。而 $<4\ \mu\text{m}$ 粒度在此段变化频繁,在 280 和 256 cm 处均是变化拐点处,反映水动力环境的变化。

综合分析 6040~4860 aBP(cal)期间,该区域环境由前一时期的温和稍湿向着更加温暖湿润转化。此期气候更加温暖湿润,雨量丰富,但气候不稳定,是气候波动相对频繁的一个阶段,也是巢湖湖面张缩变化大的一个时期。在 5840~5500 aBP 达到最盛的暖

湿期,之后即进入到 5375~4930 aBP 期间的 Elm Decline 榆树衰退期,湖面缩小。

第三阶段 4860~2170 aBP(cal)(247~117 cm)期间。这一阶段孢粉组合中乔木花粉含量是整个剖面中含量最高的,主要表现为落叶阔叶属种含量(主要是落叶栎类)是整个剖面的最高值,且出现相对较多的胡桃属,而常绿阔叶属种含量总体有所降低。其中青冈属含量较上阶段有所降低,而栲/石栎属含量降低明显,湿生草本莎草科增加至 11.0%,说明此阶段植被是以落叶栎类占绝对优势的落叶阔叶、常绿阔叶混交林,在常绿成份中青冈属比例较大,其次是常绿栎类。

该时段沉积物中值粒度总体上持续加大, $<4\ \mu\text{m}$ 的黏土物质含量呈持续下降趋势,最低达到仅 10% 左右; $4\sim64\ \mu\text{m}$ 的粉砂物质含量持续上升,最大达到 90% 左右;但 $>64\ \mu\text{m}$ 的细砂物质含量却在整个这一阶段达到最低值,说明这个时期水动力下降,携带能力减弱,环境向着干旱变化,此段粒度变化走势非常明显。在 3760~3360 和 3360~2980 aBP(cal)两个时段,粒度曲线起伏变化以及走势转折变化明显,反映湖水位乃至水动力情况的强烈变化。

综合分析推测中晚全新世的 4860~2170 aBP(cal)期间研究区气温逐渐降低,湿度下降,是巢湖流域一个温和略干的时期。3760 aBP(cal)(深度 189 cm)前后,

沉积物 $<4\text{ }\mu\text{m}$ 以及 $4\sim 64\text{ }\mu\text{m}$ 粒度的转折点之一,反映可能对应一次大的干旱时期,环境波动大约持续到2980 aBP(cal)前后。后期的2980~2170 aBP(cal)期间,环境整体上继续向着干旱转化,湖面继续收缩,2170 aBP(cal)左右可能是巢湖历史上湖面最小的一个时期,巢湖湖盆的局部地区可能出露水面以上。

5 结论与讨论

(i) 巢湖 CH-1 样柱具有典型代表性。巢湖独特的地形与位置,使其成为在东部湖泊中能连续而完整地记录全新世环境变化信息的少有湖泊之一。本次钻孔岩芯,由均一青灰色淤泥质粉质黏土或青灰色含粉砂质黏土偶夹青灰色含泥细砂层湖相沉积构成。样品分辨率高,所含信息量大。对本文所研究的490~117 cm岩芯样柱,采用6个AMS ^{14}C 测年数据。在深度与测年结果呈现很好的线性相关($R^2 = 0.982$),保证了环境变化的年代划分的精准性,也证明了上文所说这是一个连续而完整的样柱。

(ii) 孢粉带划分清晰信息明确。通过孢粉生态组合分析,辅之以粒度、磁化率指标分析,并与周边区域对比验证,本钻孔所显示的环境变化信息是:

第一孢粉带9870~6040 aBP(cal)显示该时期气候在晚更新世干冷向温和干燥发展。在8910 aBP(cal)左右,以及6060~6030 aBP(cal)时期气候变干冷,湖面有缩小的波动变化现象。前段情况可能与全新世早期9.6~9.2 kaBP降温事件和古里雅冰川记录发生在8.4~8.0 kaBP时期的降温事件有关^[46,47]。

第二孢粉带6040~4860 aBP(cal)是温和湿润但是气候波动较大的时期。在5840~5500 aBP(cal),本区达到最盛的暖湿期,也是长江洪水位高发生时的

期^[48],之后进入5375~4930 aBP(cal)的Elm Decline事件期^[49],湖面缩小。该期事件与欧洲的相比却有本区域的特征,将另文论述。

第三孢粉带4860~2170 aBP(cal)气候温度、湿度皆大降,是一个温和略干期。3760 aBP(cal)出现一次干旱,2170 aBP(cal)是巢湖全新世历史上干旱程度较高的一次,湖面又一次缩小。作者的前期对巢湖唐嘴汉代遗址研究^[21]以及文献[20]对沉积相的分析均证明在2000 aBP前后巢湖湖面的广泛缩小。

(iii) CH-1 样柱综合地反映了本区域的气候变化,与前人对周围的研究有很好的相关性。从9070~2170 aBP(cal)段,温度在呈倒U型(或呈弓型)的变化趋势。与洞庭湖及江汉地区的变化趋势一致^[50],所不同的是洞庭湖与江汉区在5500~5000 aBP(cal)为转折点,而巢湖在5840~5500 aBP(cal)为转折点。之后进入5375~4930 aBP(cal)的干冷期,与江苏建湖庆丰剖面记录的情况相似^[51,52]。羊向东等人^[21]对龙感湖研究表明,15.0~10.0 kaBP 龙感湖首次成湖;10.0~6.3 kaBP 龙感湖发育河流沉积;6.3~3.7 kaBP 为河漫滩沉积,3.7 kaBP 后为湖相沉积。表明由于龙感湖紧邻长江,受长江水位影响很大,故长江高水位时该处为河流相;气候相对干旱,低水位时则成湖之特点,与巢湖 CH-1 所提取的气候变化信息有许多对应之处。特别在6.6~6.0与3.7 kaBP 关键点段上可以相互验证。王秋良等人^[53]对江汉平原江陵地区湖相沉积的9 kaBP 以来气候演化划分为8900~6070,6070~4600和4600~2500 aBP 的划分,与本文 CH-1 孔划分的相当一致。

(iv) 高低湖面明确信息及其标志的识别,以及气候环境及湖泊对人类活动的影响尚需要进一步研究。

致谢 作者对贾玉连教授在湖泊沉积物取样给予的帮助,以及审稿专家提出的宝贵意见表示衷心的感谢。

参考文献

- Kelts K, 丁仲礼. 湖泊沉积—过去变化的信息库. 第四纪研究, 1992, (2): 138—143
- Ding Z L, Yu Z, Rutter N W, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposit s. Quat Sci Rev, 1994, 13: 39—70
- 王苏民, 李建仁. 湖泊沉积——研究历史气候的有效手段: 以青海湖、岱海为例. 科学通报, 1991, 36(1): 54—56
- 王苏民, 冯敏. 内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱变化的关系. 中国科学 B 辑, 1991, (7): 759—768
- 王苏民, 张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展. 科学通报, 1999, 44(6): 579—587
- 吉磊. 中国过去2000年湖泊沉积记录的高分辨率研究: 现状与问题. 地球科学进展, 1995, 10(2): 169—175
- 刘东生, 刘嘉麒, 吕厚远. 玛珥湖高分辨率古环境研究的新进展. 第四纪研究, 1998, (4): 289—295
- Pu P M, Tu Q Y, Wang S M. Progress of limnology in China. Chin J Oceanol Limnol, 1991, 9(3): 193—206
- Bjorck S, Olsson S, Ellis-Evans C, et al. Late Holocene palaeoclimatic records from lake sediments on James Rose Island, Antarctica.

- Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 1996, 121: 195—220
- 10 周德全.湖泊沉积记录与过去全球变化. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(3): 262—265.
- 11 陈敬安, 万国江, 唐德贵, 等. 洱海近代气候变化的粒度与同位素记录. 自然科学进展, 2000, 10(2): 1—7
- 12 段丽萍, 王兰生, 董孝璧. 湖泊记录中的古气候和古环境指标及其地质灾害信息. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 25—32
- 13 张志强, 孙成权. 全球变化研究十年新进展. 科学通报, 1999, 44(5): 464—477
- 14 Mayer B, Schwark L. A 15000-year stable isotope record from sediment s of Lake Steisslingen, southwest Germany. Chem Geol, 1999, 161: 315—337
- 15 Zhang H C, Ma Y Z, Wünnemann B, et al. A Holocene climatic record from arid northwestern China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2000, 162: 389—401
- 16 蒋庆丰, 沈吉, 刘兴起, 等. 西风区全新世以来湖泊沉积记录的高分辨率古气候演化. 科学通报, 2007, 52(9): 1042—1049
- 17 杨则东, 徐小磊, 谷丰. 巢湖湖岸崩塌及淤积现状遥感分析. 国土资源遥感, 1999, 42(4): 1—7
- 18 范斌, 许世远, 俞立中, 等. 巢湖沉积物植硅体组合及中全新世以来的环境演变. 湖泊科学, 2006, 18(3): 273—279
- 19 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
- 20 王心源, 何慧, 钱玉春, 等. 从环境考古角度对古居巢国的蠡测. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(1): 97—102
- 21 羊向东, 吴艳宏, 朱育新, 等. 龙感湖钻孔揭示的末次盛冰期以来的环境演化. 湖泊科学, 2002, 14(2): 106—110
- 22 张崇岱, 潘宝林. 巢湖湖盆及其变迁研究. 安徽师范大学学报(自然科学版), 1990, (1): 48—56
- 23 朱光, 徐嘉炜, 刘国生, 等. 下扬子地区沿江前陆盆地形成的构造控制. 地质论评, 1998, 44(2): 120—129
- 24 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1987
- 25 朱君星. 安徽巢湖煤田控矿构造论. 煤田地质与勘探, 2004, 32(2): 4—6
- 26 方鸿琪. 长江中下游地区的新构造运动. 地质学报, 1959, 39(3): 328—343
- 27 方鸿琪. 长江中下游地区的第四纪沉积. 地质学报, 1961, 41(3-4): 354—366
- 28 安徽省地质矿产局区域地质调查队. 安徽地层志——第四系. 合肥: 安徽科技出版社, 1990
- 29 杨达源, 李徐生, 张振克. 长江中下游湖泊的成因与演化. 湖泊科学, 2000, 12(3): 226—232
- 30 杨达源. 长江中下游地区的新构造运动与第四纪沉积的基本特征. 见: 中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会, 编. 第四纪冰川与第四纪地质论文集, 第八集. 北京: 地质出版社, 1995. 37—45
- 31 张成君, 曹洁, 类延斌, 等. 中国新疆博斯腾湖全新世沉积环境年代学特征. 沉积学报, 2004, 22(3): 494—499
- 32 任国玉. 内蒙古湖相沉积 ^{14}C 年代测定中“硬水”影响的发现. 湖泊科学, 1998, 10(3): 80—82
- 33 Regnell J. Preparing pollen concentrations for AMS dating—A methodological study from a hard-water lake in southern Sweden. Boreas, 1992, 21: 373—377
- 34 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 1978. 31—66
- 35 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社, 1983
- 36 姜立征. 孢粉分析与环境考古. 生物学通报, 1998, 33(7): 2—4
- 37 张玉兰, 张敏斌, 宋健. 从广富林遗址中的植硅体组合特征看先民农耕发展. 科学通报, 2003, 48(1): 196—199
- 38 Peyron P, Jolly D, Bonnefille R, et al. Climate of East Africa 6000 ^{14}C yr B.P. as inferred from pollen data. Quat Res, 2000, 54: 90—101
- 39 Parshall T, Calcote R. Effect of pollen from regional vegetation on stand-scale forest reconstruction. Holocene, 2001, 11(1): 81—87
- 40 Seppa H, Bennett K D. Quaternary pollen analysis: Recent progress in palaeoclimatology. Prog Phys Geogr, 2003, 27(4): 548—579
- 41 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 93—95
- 42 刘兴起, 王苏民, 沈吉. 青海湖 QH22000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义. 湖泊科学, 2003, 15(2): 112—117
- 43 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
- 44 陈敬安, 万国江, 张峰, 等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录——以沉积物粒度为例. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(6): 563—568
- 45 沈吉, 汪勇, 羊向东, 等. 湖泊沉积记录的区域风沙特征及湖泊演化历史: 以陕西红碱淖湖泊为例. 科学通报, 2006, 51(1): 87—92
- 46 姚檀栋, Thompson L G. 敦煌冰芯记录与过去 5 ka 温度变化. 中国科学 B 辑, 1992, 10: 1089—1093
- 47 王宁练, 姚檀栋, Thompson L G, 等. 全新世早期强降温事件的古里雅冰芯记录证据. 科学通报, 2002, 47(11): 818—823
- 48 何华春, 王颖, 李书恒. 长江南京段历史洪水位追溯. 地理学报, 2004, 159(6): 938—947
- 49 Iversen J. The development of Denmark's nature since the last glacial. Danmarks Geologiske Undersogelse V Raekke, 1973, 7-C: 1—126
- 50 施雅风, 张丕远. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996
- 51 唐领余, 沈才明, 赵希涛, 等. 江苏建湖庆丰剖面 1 万年来的植被与气候. 中国科学 B 辑, 1993, 23(6): 637—643
- 52 赵希涛, 唐领余, 沈才明, 等. 江苏建湖庆丰剖面全新世气候变迁和海面变化. 海洋学报, 1994, 16(1): 78—88
- 53 王秋良, 李长安, 谢远云. 江汉平原江陵地区 9Ka 以来古气候演化的记录. 湖泊科学, 2006, 18(3): 280—284