

近代湖泊沉积物球状碳颗粒(SCP)定年

吴艳宏 王苏民 夏威岚 刘 健

(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: yhwu@niglas.ac.cn)

摘要 通过事件性沉积的发现和判断确定沉积物年代, 是对传统的放射性核素定年的补充和检验. 根据湖泊沉积物中球状碳颗粒(SCP)的分布, 确定近代湖泊沉积物年代序列是事件性沉积定年的方法之一. SCP 是高温燃烧化石燃料的产物, 能扩散到距源区数百公里的范围内, 并随降水或干沉降被保存于沉积物中. 由于是高温形成, 且其主要成分为单质碳, 球状碳颗粒在沉积物中非常稳定, 不易迁移. 通过简单处理, SCP 很容易被提取、鉴定和统计. 尽管中国对化石燃料利用较早, 但真正的高温燃烧是伴随着发电工业的出现而开始的. 目前中国 75%左右的煤炭消耗是用于发电, SCP 产出量与发电量成正比, 反映到湖泊沉积物中为 SCP 的浓度变化随区域发电量的增长而增长, 因此湖泊沉积物中 SCP 的浓度变化就具备了时标意义. 龙感湖所在的安徽省有火电发电记录始于 1952 年, 其后的发展过程与龙感湖沉积物中 SCP 的浓度变化的过程相对照, 提供了该地区 SCP 时标, 以此为据, 本文确定了龙感湖 LH 孔和 LL-4 孔湖泊沉积物的 SCP 年代序列. 这一年代序列对 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 测年结果进行了检验.

关键词 球状碳颗粒(SCP) 时标 年代序列 湖泊沉积物 龙感湖

目前, 在近代湖泊沉积与环境变化研究中一般通过 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 等放射性核素的方法定年. 由于 Cs 为碱金属元素, 化学性质比较活跃, 在沉积物中易于迁移; Pb 同位素受到半衰期的限制, 定年的精确性和测量范围受到一定影响^[1~3]. 近年来通过对事件性沉积的发现和判断, 一定程度上弥补了放射性核素定年的不足, 对近代沉积物定年更准确可靠^[4~10]. 通过对沉积物中球状碳颗粒(SCP)的鉴定和统计, 是通过事件性沉积定年的方法之一^[9,10].

煤和石油等化石染料高温燃烧用于发电等工业, 当温度达到 1750 且升温速率达到 10^4 /s 时, 会形成一些多孔的以单质碳为主的球形颗粒(Spheroidal carbonaceous particle). 这些 SCP 随烟尘扩散到距物源区数百公里的范围内, 并随降水或干沉降被保存于沉积物中^[11].

SCP 不是木材、木炭燃烧形成的, 不是天然产物, 而是工业高温燃烧化石燃料形成的, 它在沉积物中的出现及累积量的变化显然与工业的发展紧密联系, 因此具有区域时标意义.

SCP 沉降量随离开源区的距离成几何级数的递减, 离源区越远, 沉降的量越少^[12], 这一明显的区域分布特点, 给 SCP 时标的全球范围推广带来困难. 中国对化石燃料的利用历史以及火电工业史相对于英国等欧洲国家来说是完全不同的, 因此在中国 SCP 的出现及在湖泊沉积物中的沉积特征完全不同于欧洲

及其它地区, 有必要建立中国 SCP 年代标尺.

本文将通过龙感湖沉积环境稳定的湖湾沉积物中 SCP 分布特征的分析, 结合 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 结果, 探讨 SCP 定年的可能性和方法.

1 研究区概况及采样

龙感湖(29°52'~30°05'N, 115°55'~116°17'E)位于安徽宿松和湖北黄梅境内, 20 世纪 50 年代初, 湖泊面积 578.95 km², 后由于围垦湖泊面积缩小到 316.2 km². 现湖面高程 12.1 m 时, 平均水深 3.78 m, 该湖为过水性湖泊, 湖泊主要靠湖北面的河流补给. 该湖的北部为两个湖湾, 西面的湖湾为大源湖, 东面为龙感湖的部分(图 1).

2001 年 12 月在龙感湖湖湾用重力采样器于水深

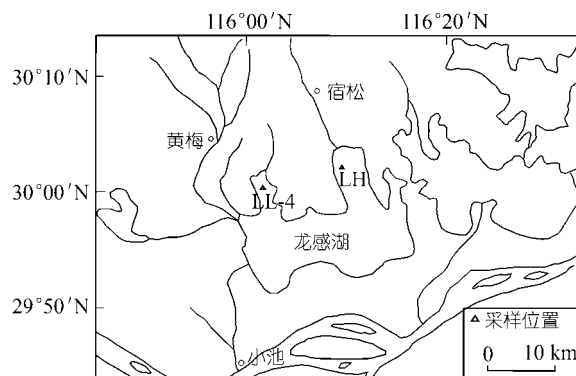


图 1 采样位置图

1.5 m 处采沉积物柱状样 21 cm(LH), 主要为粉砂质泥. 2002 年 6 月在大源湖用重力采样器在水深 2.2 m 处采沉积物柱状样 42 cm(LL-4), 同样为粉砂质泥. 对 LH 和 LL-4 柱状样, 均按 1 cm 间隔分样, 进行 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 以及 SCP 等指标分析.

2 实验方法

^{137}Cs 和 ^{210}Pb 测定采用 EG&G Ortec 公司生产高纯锗低本底 γ 谱分析测定系统.

SCP 形成于高温下, 主要是单质碳组成^[11], 化学性质相当稳定, 因此可以利用强酸、强碱等试剂去除沉积物中其他组分而保留下 SCP 并不被破坏^[13]. 取 0.15 g 左右干样, 置于聚四氟乙烯试管中, 先后加入硝酸、氢氟酸和盐酸, 水浴 50 °C 各 6 h 分别去除有机质、硅酸盐和碳酸盐物质, 后用蒸馏水洗致中性, 剩余物制成薄片, 在 400 倍显微镜下鉴定、统计大于 20 μm 的 SCP, 除底部样品外每个样品统计 100 粒左右, 最后计算其浓度即单位重量沉积物中 SCP 的颗粒数, 计量单位为粒/g^[13].

3 结果

() LH 孔的结果. LH 孔在 14.5 cm 处开始检测出 ^{137}Cs , 此后出现了 3 次峰值, 分别在 10.5, 6.5 和 3.5 cm, 对应于 1963, 1974 和 1986 年(图 2). ^{210}Pb 结果由于所采样品的深度限制, 未获该孔非补偿 ^{210}Pb 总量, 无法据 ^{210}Pb 比度计算沉积速率和沉积通量.

LH 孔 SCP 出现于 14 ~ 15 cm, 但浓度非常低, 在 4 ~ 5 cm 迅速增加并在表层达到峰值(图 2).

() LL-4 孔的结果. LL-4 孔 ^{137}Cs 在 30~31 cm

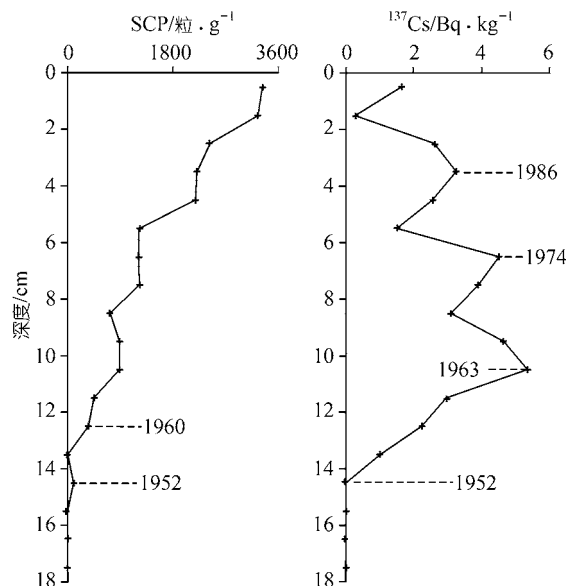


图 2 LH 孔 SCP 和 ^{137}Cs 结果

处首次检测到, 在 24~25 cm 处出现第一个峰值, 其后有小峰值出现, 但不明显(图 3). $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 波动幅度交大, 没有明显的规律性, 没有呈现出指数分布的特点, 因此不适宜用 CIC 模式计算平均沉积速率. 用 CRS 模式计算沉积物质量累积速率随深度变化如图 3, 确定表层沉积时间为 2002 年, 根据质量累积速率的变化确定 LL-4 孔的 ^{210}Pb CRS 年代序列(图 3). 沉积物质量累积速率很好的反映了人类活动和主要的气候事件, 始于上世纪 50 年代的大规模围垦龙感湖使大量的碎屑物质入湖, 沉积物累积速率不断升高, 而 1991 和 1998 年的洪水, 也反映为累积速率的峰值.

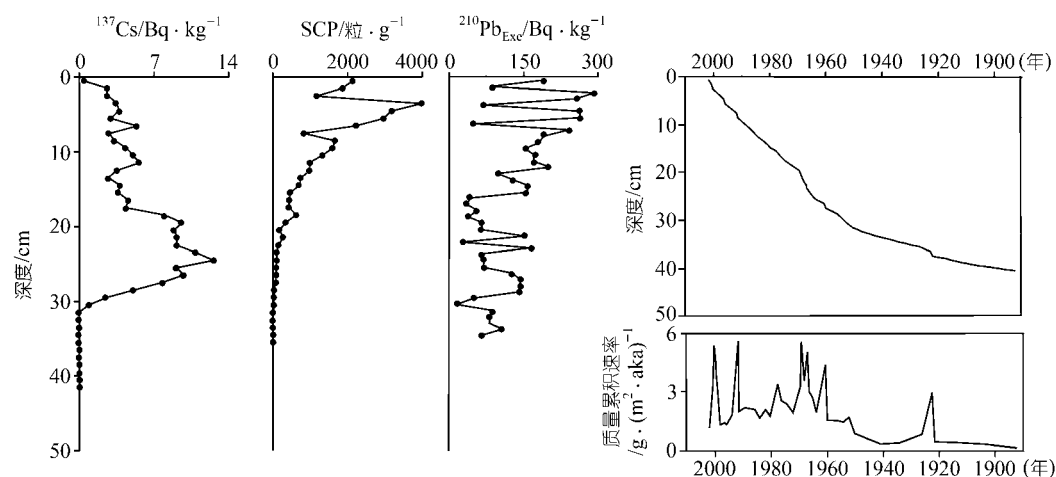


图 3 LL-4 孔 SCP, ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 结果

LL-4 SCP 首次出现于 30~31 cm(浓度较低), 后由下而上呈增加趋势, 14~15 cm 处快速增加. 表层沉积物中 SCP 浓度是整个剖面最高值, 但在上升的趋势中, 出现两次低值异常(图 3). 这两次浓度异常低值可能与洪水沉积的稀释作用有关.

4 讨论

尽管中国对煤炭和石油等化石燃料的利用较早, 但多是民用的低温燃烧, 直到火力发电在中国出现, 才开始高温燃烧化石燃料的历史. 目前中国 75% 以上的煤炭用于火力发电^[14,15], 因此可以说中国火力发电的历史, 就是中国高温燃烧化石燃料的历史.

中国的火电史可追溯到 1882 年, 英国商人在上海创办了一个发电仅为 12 kW 的电灯厂, 此后由于战乱, 电力工业没有得到应有的发展. 1949 年全国装机容量仅为 184.86×10^4 kW, 年发电量仅 43.1×10^8 kW·h, 仅相当于现在 1 天多的发电量. 1952 年 9 月, 解放后第一台 2.5×10^4 kW 机组在东北阜新投产后, 电力工业逐年成倍发展^[16]. 1956 年 2 月中国第一台 6000 kW 机组在淮南投产发电, 这是距龙感湖最近的大型发电厂. 文革期间电力发展并没有受到影响, 装机容量和发电量仍逐年有所增长, 改革开放后, 用电需求急增, 在大力发展火电, 因地制宜发展小火电的指导思想下, 火电发电量急速增长^[16]. 到 2000 年火电发电总量 12045×10^8 kW·h, 占总发电量的 81%. (图 4)

安徽省 1949 年后在安庆、芜湖都建有小型火电厂, 据统计资料, 1952 年才开始发电, 当年发电量仅

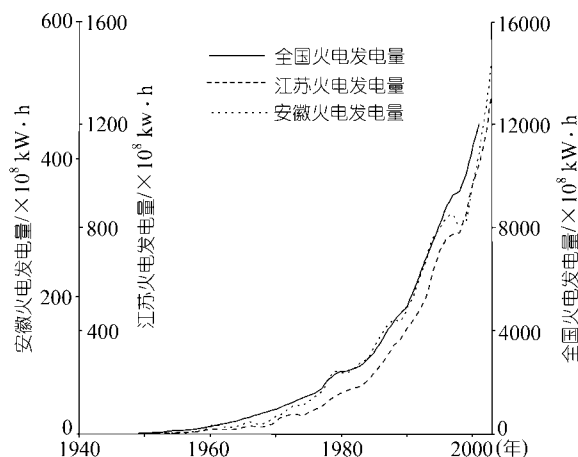


图 4 全国、江苏及安徽火电年发电量变化

1949~2000 年资料据国家电力公司战略规划部统计资料, 2001 年~2003 年数据来自江苏及安徽电力公司年度报表

为 0.53×10^8 kW·h. 1956 年在淮南相继建成投产淮南洛河电厂和田家庵电厂, 现已成为华东电网的主力发电厂. 安徽省火电发电量变化情况总体趋势与全国一致(图 4), 在不断增长的基础上略有起伏. 在邻近的江苏省, 1949 年以来火电发电量与安徽省及全国发电量的变化亦有相似的趋势(图 4), 但起伏较少.

火电发展形成的 SCP 量的变化应当服从火电力工业的发展过程, SCP 随烟尘扩散, 最终随降水或干沉降被保存于沉积物中. 将沉积物中 SCP 出现时间定为 1952 年, 对比龙感湖沉积物中 SCP 浓度变化与龙感湖所在的安徽省火电发电量的变化, 赋予了湖泊沉积物中的 SCP 浓度变化以时标意义(图 5).

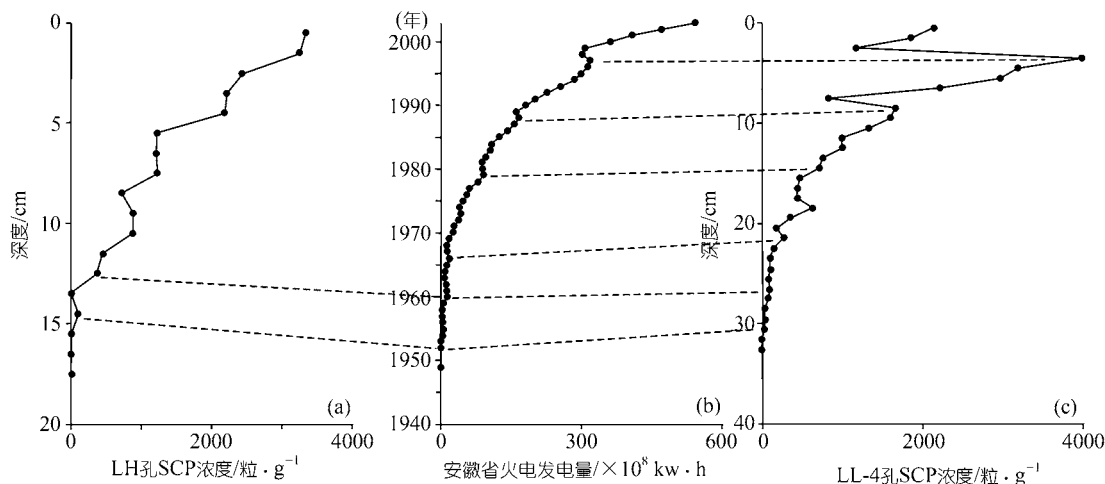


图 5 LH、LL-4 沉积物碳球粒浓度与安徽省火电发电量变化曲线对照

(a) LH 孔碳球粒浓度变化; (b) 安徽省火电发电量变化曲线; (c) LL-4 孔碳球粒浓度变化

LH孔与LL-4孔SCP浓度变化有相似的趋势, LH孔SCP浓度波动不如LL-4明显, 特别是在上部, LL-4孔表现出了大幅度的波动, 而LH孔呈持续上升趋势, 其原因是LH孔分辨率没有LL-4孔高, SCP浓度变化没完全捕捉到。

LH孔中(图2和图5), 14~15 cm出现的SCP, 确定为1952年时标, 这与 ^{137}Cs 较一致, 但这时SCP的浓度较低, 甚至在13~14 cm的样品中未检测到SCP。此后SCP浓度增大, 但因分辨率不高, 只能与安徽省火电增长趋势大致进行对比, 随后迅速上升的12.5 cm可对应于发电量第一次翻番的1960年, 这一时间与 ^{137}Cs 1963年的时标较为一致。

LL-4孔SCP浓度变化与安徽省火电发电量变化有较为一致的趋势(图5)。LL-4孔SCP 1952年时标出现于30~31 cm处, 此后根据SCP浓度与安徽省发电量变化对应拐点的深度与时间, 建立起LL-4孔SCP浓度变化的时间序列(图5和图6)。根据这一年代序列, 上部SCP浓度的谷值, 对应于1991和1998年, 在这两年中, 龙感湖流域发生大规模的洪水, 碎屑沉积物输入量增加, 根据 ^{210}Pb CRS模式计算的质量累积速率为峰值, 丰富的洪水碎屑沉积物稀释了SCP的浓度。

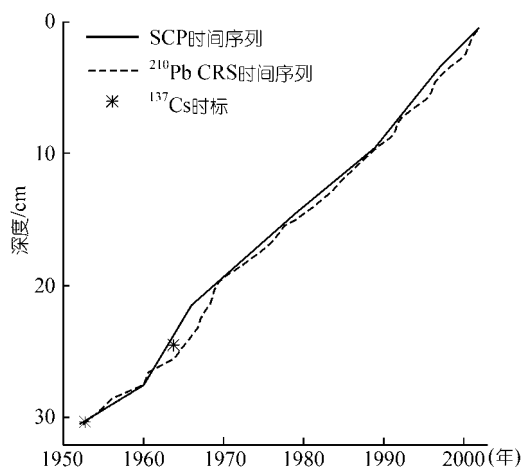


图6 LL-4孔SCP时间序列、 ^{137}Cs 时标及 ^{210}Pb CRS年龄的比较

SCP 1952年时标在LL-4孔中出现的位置与 ^{137}Cs 时标一致, 而相应深度 ^{210}Pb CRS模式年龄为1952.4年(图3), 三者在这一深度的结果是一致的。 ^{137}Cs 1963年时标与SCP及 ^{210}Pb 结果不一致, 其后 ^{137}Cs 峰值不明显, 无法根据 ^{137}Cs 时标进行对比; 而SCP

年代序列及 ^{210}Pb CRS年龄对应良好(表1, 图6), 除1966年外, 其他SCP时标出现的深度与 ^{210}Pb CRS年龄深度完全相同。

表1 LL-4孔 ^{137}Cs 时标、SCP时标及 ^{210}Pb CRS年龄深度对照

年份	^{137}Cs 时标深度 /cm	SCP 时标深度 /cm	^{210}Pb CRS 年龄深度 /cm
1952	30.5	30.5	30.5
1960		27.5	27.5
1963	24.5		
1966		21.5	23.5
1979		14.5	14.5
1989		9.5	9.5
1997		3.5	4

根据SCP时标只能获得不同时段平均沉积速率(图6), 不能像 ^{210}Pb CRS模式那样能反映出沉积速率的变化。尽管如此, SCP、 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 三者互为补充、互相印证, 使沉积物年代序列更为可靠。LH孔无法获得 ^{210}Pb 年代序列, SCP结果验证了 ^{137}Cs 的结果是可用的。LL-4孔, 3种方法认定的1952年的沉积层位是基本一致的。1963年 ^{137}Cs 时标介于SCP和 ^{210}Pb 的结果之间(图6), 表明Cs在龙感湖沉积物中虽有垂向迁移, 但不显著。如果 ^{137}Cs 峰值明显, 可以作为可靠的定年手段, 这也表明在LH孔中可以用 ^{137}Cs 进行沉积物定年。而LL-4孔此后 ^{137}Cs 的峰并不明显, 难以捕捉可靠的时标位置, 更不能用于验证 ^{210}Pb 的结果。LL-4 SCP浓度变化所给出的时标弥补了 ^{137}Cs 的不足, 对 ^{210}Pb 结果进行了检验, 表明 ^{210}Pb CRS方法适合于龙感湖近代湖泊沉积物定年, 反之, ^{210}Pb CRS年龄也证明了SCP作为事件性定年的方法在龙感湖是适用和可信的。

5 结论

湖泊沉积物中SCP来自高温燃烧化石燃料, 主要与火力发电相关。由于火力发电的历史有很强的区域性, SCP在世界各地湖泊中出现的时间并不一致, 这给利用SCP作为时标进行全球对比带来一定困难。但SCP稳定的化学性质, 易于提取、鉴定的特点, 使其作为简便易行的近代湖泊沉积物定年手段, 将对现有的放射性核素定年提供检验和补充。

龙感湖所在的安徽省最早开始火力发电记录始于1952年, 因此将沉积物中开始出现SCP的层位确定为1952年, 这是一个可信的时标, 在LH和LL-4

孔中都得到了 ^{137}Cs 时标的应证. LL-4 孔 SCP 浓度变化与安徽省的火电发电量的变化有相同的变化趋势, 根据二者的对应关系, 确定 LL-4 的 SCP 时标, 并建立年代序列, 这一结果得到了 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 的验证.

利用 SCP 定年, 所获得的是各时段的沉积物平均沉积速率, 对 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 结果提供补充和检验. 在由于采样限制, 不能获取总的非补偿沉积 ^{210}Pb , 而 ^{137}Cs 由于自身的易迁移性以及 ^{137}Cs 峰值不明显, 不能满足近代沉积物测年需要时, SCP 定年将会发挥巨大的作用.

利用 SCP 定年, 在中国尚未开展, 尚须在不同区域进行更多的工作, 以便最终确定适合中国不同区域特点的准确的 SCP 时标, 使其得到广泛推广和应用. 国外利用 SCP 开展环境污染、人类活动等方面的研究, 都值得借鉴和在中国开展. 另外, SCP 从源到汇的输送过程是有待深入研究的问题, 对研究大气环流及水汽输送变化研究提供新的依据.

致谢 N. L. Rose 博士和 Yang Handong 博士指导提取和鉴定 SCP, 并对 SCP 的解释提供指导; 江苏省电力公司广源集团总工程师单红宇高级工程师提供安徽、江苏两省电力统计资料, 作者在此一并表示衷心感谢. 本工作受国家自然科学基金项目(批准号: 40302022)、国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412303)和中国科学院知识创新工程重点项目(KZCX1-SW-12)资助.

参 考 文 献

- 1 项亮. ^{137}Cs 湖泊沉积年代方法应用的局限性——以 Crawford 湖为例. 湖泊科学, 1995, 7(4): 307~313
- 2 Abril J M. Constraints on the use of ^{137}Cs as a time-marker to support CRS and SIT chronologies. Environmental Pollution, 2004, 129: 31~37[DOI]
- 3 Davis R B. ^{137}Cs and ^{210}Pb dating of sediments from soft-water lakes in New England (USA) and Scandinavia, a failure of ^{137}Cs dating. Chem Geol, 1984, 44:151~185[DOI]
- 4 Yang Xiangdong, Wang Sumin, Shen Ji, et al. Lacustrine environment responses to human activities in the past 300 years in Longganhu Lake catchment, southeast China. Sciences in China (D), 2002, 45(8):709~718

- 5 Santschi P H, Presley B J, Wade T L, et al. Historical contamination of PAHs, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi River Delta, Galveston Bay and Tampa Bay sediment cores. Marine Environmental Research, 2001, 52:51~79[DOI]
- 6 Pan Yangdong, Richard B. Human disturbance and Tropic status change s in Crystal Lake, McHenry County, Illinois, USA. Journal of Paleolimnology, 1997, 17:369~376
- 7 Olsson S, Regnell J, Persson A, et al. Sediment-chemistry response to land-use change and pollutant loading in a hypertrophic lake, Southern Sweden. Journal of Paleolimnology, 1994, 17: 275~294[DOI]
- 8 Rose N L, Harlock S, Appleby P G. Within-basin profile variability and cross-correlation of lake sediment cores using the Spheroidal carbonaceous particle record. Journal of Paleolimnology, 1999, 21: 85~92[DOI]
- 9 Yang Handong, Rose Neil L, Battarbee Richard W. Dating of recent catchment peats using spheroidal carbonaceous particle (SCP) concentration profiles with particular reference to Lochnagar, Scotland. The Holocene, 2001, 11(5):593~597[DOI]
- 10 Rose N L, Harlock S, Appleby P G, et al. The dating of recent lake sediments in the United Kingdom and Ireland using spheroidal carbonaceous particle concentration profiles. The Holocene, 1995, 5: 328~335
- 11 Rose N L. Characterisation of carbonaceous particles from lake sediments. Proceedings of the international symposium "limnology of mountain lakes" stara Lesna, Czechoslovakia. July 1-7, 1991. Hydrobiologia, 1994, 274: 127~132
- 12 Boyle J F, Rose N L, Bennion H, et al. Environmental impacts in the Jiangnan Plain: evidence from lake sediments. Water Air and Soil Pollution, 1999, 112: 21~40[DOI]
- 13 Rose N L. A note on further refinements to a procedure for the extraction of carbonaceous fly-ash particles from sediments. Journal of Paleolimnology, 1994, 11: 201~204[DOI]
- 14 王庆一. 中国煤炭工业: 演变及前景(上). 中国煤炭, 2001, 27(1): 6~17
- 15 王庆一. 中国煤炭工业: 演变及前景(下). 中国煤炭, 2001, 27(2): 5~18
- 16 杨勤明. 腾飞的新中国电力建设. 电力建设, 1995, 16(9): 2~7

(2004-09-16 收稿, 2005-01-11 收修改稿)