

湖光岩玛珥湖全新世气候波动的周期性

刘嘉麒^① 吕厚远^① J. Negendank^② J. Mingram^② 骆祥君^①
王文远^① 储国强^①

(^①中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; ^② GeoForschungsZentrum Potsdam D-14473 Potsdam, Germany.
Email: liujq@igcas.igcas.ac.cn)

摘要 对全新世以来湖光岩玛珥湖沉积物干密度高分辨率(10~15 a 间距)时间序列的能谱分析和滤波分析表明: 气候变化存在明显的 2 930, 1 140, 490, 250 和 220 a 的主周期。2 930 a 周期所对应的 3 次降温期, 其峰值分别发生在 7 300, 4 250 和 1 200 Cal aBP 左右。1 140 a 主周期变化, 在全新世早期波动幅度最大, 到中、晚全新世其幅度逐渐减小, 所对应的明显的降温期有 7~8 次。全新世千年尺度的气候变化, 有可能是通过岁差周期(23 070 a)的谐波周期对全球水循环的调整, 驱动温盐环流强度的变化, 进一步影响了全球气候变化。

关键词 玛珥湖 全新世 周期

自海洋、陆地、冰芯等沉积物中陆续发现全新世千年尺度的气候波动以来^[1~7], 如何认识这类无法用 Milankovitch 理论解释的气候波动现象, 成为深入了解气候系统演化过程的关键。许多学者试图利用“亚轨道周期”^[8]、盐度振荡机制^[9,10]等假说来解释, 但 12 000~6 000 a 左右的“亚轨道周期”^[8]与目前发现的千年尺度的气候波动在时间尺度有很大的差别; 在全新世期间北大西洋北部由于缺少大的冰盖的包围, 基本上可以排除由于冰盖不稳定性导致的全新世盐度环流千年尺度的变化^[11]。部分学者试图用太阳活动^[12]、火山活动^[13]等机制来解释全新世气候变化的周期性特点, 但由于缺少对不同地区全新世高分辨率气候波动周期、频率、相位等方面的详细研究, 目前对全新世气候不稳定性的机制、原因仍然没有统一的认识^[14]。

本文试图通过对广东湛江湖光岩玛珥湖^[15]沉积物干密度高分辨率(10~15 a 间距)时间序列的能谱分析和滤波分析, 重点介绍全新世以来我国南方热带地区气候变化的主要周期。为探讨全新世气候波动的影响因素提供新的证据。

1 研究材料和方法

湖光岩玛珥湖 B 孔共完成 2 550 个样品的干密度测量。用直径 7.6 cm 的圆形薄钢片以 1 cm 间距分切冷藏的岩芯样品, 然后用直径 7 cm、厚 1 cm 固定容积的开口玻璃器皿刮去样品外围的沉积物, 因为这些外围的物质可能被周围的岩芯管或储藏塑料管污染。然后放入已称重的塑料盒中, 称取总的重量, 放入冰柜中至少冰冻 12 h, 然后放入冷冻干燥器, 在低温条件下真空干燥 48 h, 对干燥后的样品称重, 减去塑料盒的重量, 除以样品的体积得到样品的干密度。并对其测量精度进行了两方面的重复检验: (1) 利用特别钻取的 1 m 长的 B 孔平行检验岩芯, 用切口的一次性注射器, 定量获取样品, 用同样冷冻、干燥的方法测量干密度。共获得 200 个平行(对比)样品的干密度数据, 平均误差是 0.022 g/cm³, 标准偏差为 0.036; (2) 选择 100 个经 48 h 冷冻干燥的样品, 称重后重新放入冷冻干燥器中, 再冷冻干燥 48 h, 样品重量几乎没有变化, 说明经 48 h 的冷冻干燥后, 已可以使样品充分干燥。

1.1 沉积物干密度变化所反映的气候意义

利用沉积物干密度研究古气候变化已经在海洋、湖泊中得到很好的应用. 在意大利 Monticchio 玛珥湖沉积物中^[16], 通过对干密度和植物花粉含量关系的研究表明, 沉积物中干密度降低对应着气候温度的增高. 众所周知, 影响湖泊沉积物干密度的因素是多种多样的, 并且不同湖泊沉积物干密度的气候意义可能是不同的. 研究同一剖面中气候意义明确的气候指标与干密度的对应关系, 是判别干密度环境意义的最有效的手段, 湖泊中孢粉记录是反映气候变化最明确的指标之一, 在湖光岩沉积物分析中, 沉积物干密度的变化与不同植物种属的花粉含量变化有密切的关系, 在低纬度地区适应相对凉湿气候的阔叶植物 *Fagus*(山毛榉)和相对寒冷气候的草本植物 Gramineae(禾本科)的花粉含量与沉积物干密度呈显著的正相关关系, 相关系数分别是 0.58 和 0.62, 而热带-亚热带的 *Castanopsis*(栲属)和 Hamamelidaceae(金缕梅科)的花粉含量与沉积物的干密度呈显著的负相关关系, 相关系数分别是-0.46 和-0.61. 图 1 显示了两种典型的孢粉类型(Gramineae 和 Hamamelidaceae)含量与干密度变化的对应关系, 可以看出随着气候的变冷干密度是逐渐增加的, 而随着热带-亚热带森林植物花粉的增多干密度是减少的. 另外湖光岩干密度变化还具有下面的趋势^{1), 2)}: (1) 随有机质含量的增高而减少; (2) 随陆源岩石碎屑物质含量的增加而增加. 这种对应关系说明了在湖光岩地区, 气候温暖期, 植被繁盛, 覆盖度高, 地表有机质丰厚, 被搬运到湖泊中的陆源岩石碎屑物质减少, 沉积物干密度低; 当气候寒冷时, 木本植被减少, 草本植物增多, 植被稀疏, 地表有机质生产量降低, 季节性降水使搬运到湖泊中的陆源岩石碎屑物质相对增多, 沉积物干密度增加. 干密度的变化直观地反映了气候变化的过程.

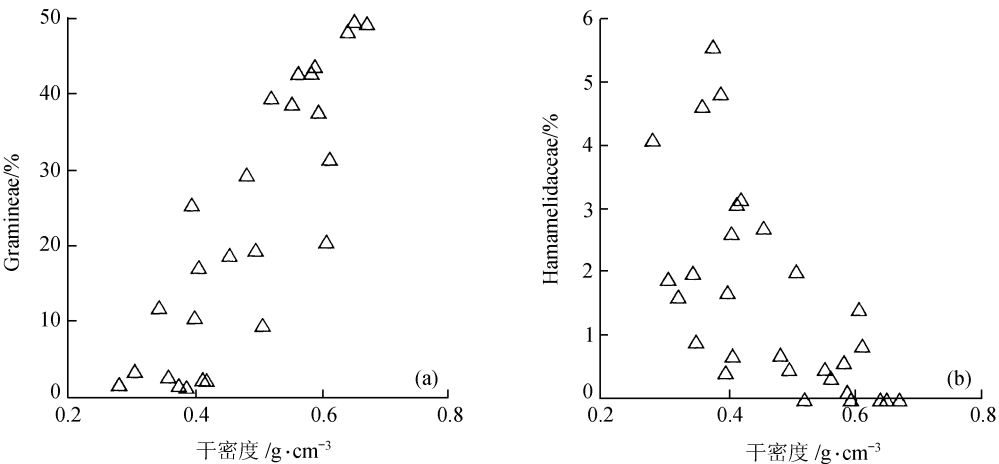


图 1 湖光岩玛珥湖沉积物孢粉含量变化与干密度变化的对应关系
(a) Gramineae(禾本科)花粉含量与干密度变化的对应关系; (b) Hamamelidaceae(金缕梅科)花粉含量与干密度变化的对应关系

1) 王文远. 中国南方湖光岩玛珥湖高分辨率的古气候记录. 中国科学院地质研究所博士学位论文, 1998
2) 张国平. 广东湖光岩玛珥湖沉积物粒度特征及其所记录的二万年来古环境变迁. 中国科学院地质研究所硕士学位论文, 1999

1.2 湖光岩玛珥湖沉积物时间序列的建立

湖光岩玛珥湖 B 孔共采集到 44 个保存完好的陆生植物的茎、叶和果实样品，部分样品由北京大学 AMS¹⁴C 实验室进行测年，另外部分 B 孔样品和 C 孔样品由德国国家地球科学研究中心负责测年. 图 2 是已完成的 17 个测年数据的年代学校正结果及随沉积厚度变化的曲线. 其中，小于 20 000 aBP 的 AMS¹⁴C 数据是根据文献[17]校正的，大于 20 000 aBP 的 AMS¹⁴C 数据是根据文献[18]校正的，校正年龄随沉积物深度变化的拟合方程为： $Y = -94.872 + 4.78879X + 0.0174769X^2 - 3.94772 \times 10^{-6}X^3$ ，其中 Y: 校正年龄(日历年，Cal aBP)，X: 深度(cm). 在全新世沉积层，每个样品(1 cm)代表的沉积时间大致在 10 ~ 15 a.

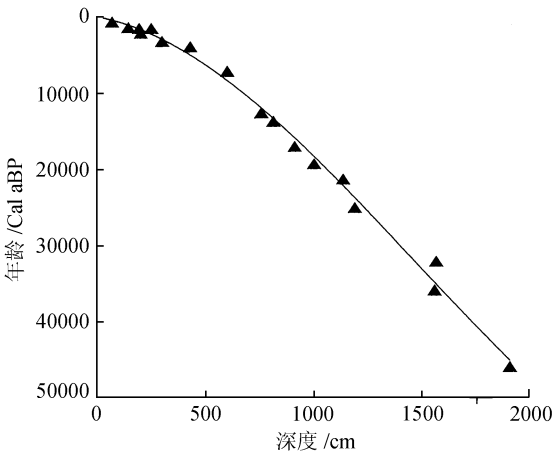


图 2 湖光岩玛珥湖沉积深度随 AMS¹⁴C 测年的年代校正结果变化曲线

2 全新世气候变化的周期分析结果

对插值后的 1 024 个等时间间距(10 a)干密度时间序列数据做能谱分析，结果表明：落后一个自相关系数 $r_1 = 0.92(r_1 = R_1/R_0)$ ，说明序列有很好的持续性. 在 90%和 75%的信度界限下，通过红噪声检验的周期成分主要有 220, 250, 490 和 2 930 a，通过白噪声检验(75%的信度界限)的周期成分为 1 140 和 2 930 a(图 3).

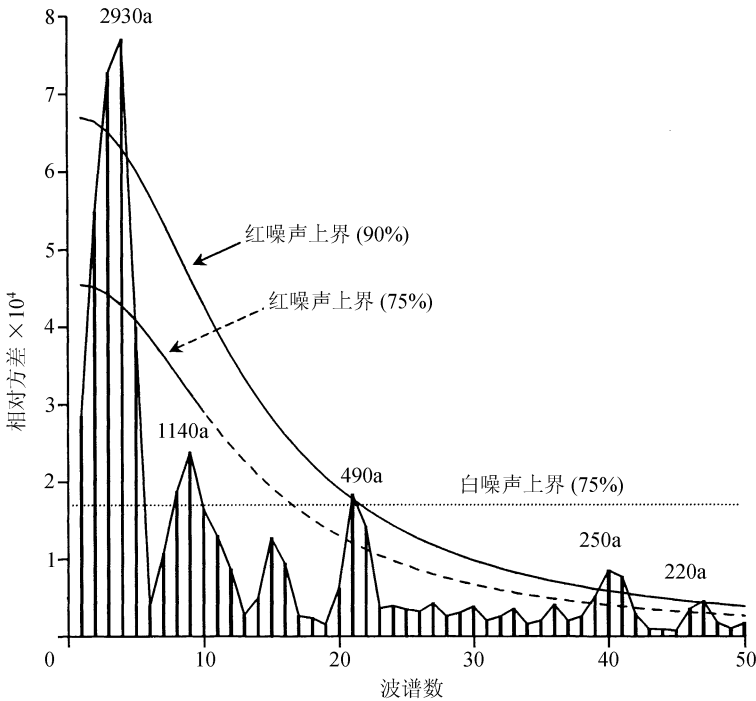


图 3 湖光岩玛珥湖全新世以来干密度变化的能谱曲线图

利用快速 Fourier 变换(FFT)的方法^[19]从气候曲线中分离出 2 930, 1 140, 490, 250 和 220 a 中心周期成分(图 4). 全新世以来 2 930 a 的主周期变化对应 3 次明显的降温期, 其峰值大约发生在 7 300, 4 250 和 1 200 Cal aBP. 1 140 a 的主周期变化, 在全新世早期波动幅度最大, 到中、晚全新世其幅度逐渐减小. 所对应的明显的降温期有 7~8 次, 分别发生在 9 830, 8 680, 7 530, 6 290, 5 040, 3 830, 2 680, 1 640 和 680 Cal aBP. 另外 3 个短周期(490, 250 和 220 a)的总体变化都呈现出在全新世早期(约 8 500~6 000 Cal aBP)波动幅度较小而后期波动幅度逐渐增加的趋势.

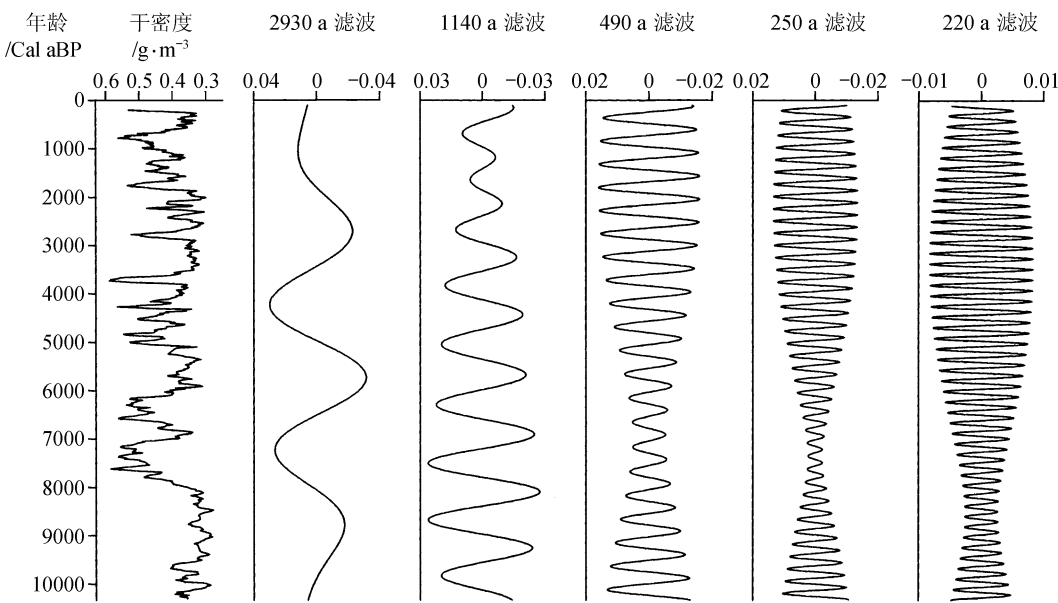


图 4 湖光岩玛珥湖全新世以来的气候变化及其主周期成分的波动趋势

3 讨论与结论

湖光岩玛珥湖气候变化的 2 930 和 1 140 a 主周期成分, 与在阿拉伯海 74kl 孔高分辨率古气候记录中发现的 1 450 和 1 150 a 的周期^[20]有一定的相似性, 2 930 a 周期基本上是 1 450 a 的倍周期. 在格陵兰冰芯^[2]和北大西洋^[6]全新世和冰期的气候记录中, 1 470 和 1 500 a 的周期变化表明全新世的气候波动似乎是冰期气候千年尺度气候波动的延续, 只是在全新世期间这种波动的幅度(信号)被减弱.

是什么因素造成了全新世千年尺度的气候变化, 目前并没有一致的认识. Sirocko 等人^[20]认为这些周期实际上是地球岁差周期(23 070 a)的谐波周期(harmonic tones)($2\,930 \times 8 = 23\,440$; $1\,450 \times 16 = 23\,200$; $1\,150 \times 20 = 23\,000$), 是低纬度季风系统对太阳辐射岁差周期的非线性响应. 许多高分辨率非线性响应模型也显示出, 气候变化是经常以岁差周期的谐波周期形式演化的^[21]. Bianchi^[6]则认为大洋环流传送带强度(conveyor strength)的变化可能是全新世千年尺度气候变化的主要因素, 同时认为由于在格陵兰冰芯记录中没有发现 ^{14}C 或 ^{10}Be 呈现 1 500 a 的周期性变化, 太阳活动的变化不像是驱动全新世千年尺度气候变化的主要因素. 但是由于全新世期间北大西洋周围缺少大冰盖(原)的存在, 利用冰盖冰融水驱动大洋环流传送带强度变

化的机制受到了限制^[11]。然而,根据对现代北大西洋地区温盐环流的研究表明,10年/年代际的温盐环流的内部振荡同样是存在的^[22],是由于全球水循环的调整造成的^[23,24],并不是起因于冰盖淡水的融化和注入。全新世千年尺度的气候变化,有可能是通过岁差周期(23 070 a)的谐波周期对全球水循环的调整,驱动温盐环流的变化,进一步影响了全球气候变化。湖光岩玛珥湖所记录的2 930和1 140 a主周期变化,是全球千年尺度的气候变化在我国南方热带地区的反应。但在其他地区海洋、冰芯记录中普遍存在的1 450 a周期在湖光岩地区则是以它的倍数(2 930 a)周期出现的。是什么原因造成了这种区域性特征,目前尚不清楚。

湖光岩玛珥湖所记录的全新世百年尺度的变化周期(490, 250和220 a)与南海17940孔的775和102/84 a周期有所不同, Wang^[4]认为102/84 a很可能是反映了太阳活动的变化。另外,末次冰消期湖光岩玛珥湖沉积物中生物硅等有机地球化学指标也指示了百年尺度的气候变化^[25]。因此,经对湖光岩所记录的百年尺度气候变化机制有待于进一步的研究。

全新世以来2 930 a的主周期变化对应3次明显的干旱、降温期,其峰值大约发生在7 300, 4 250和1 200 Cal aBP。与目前我国东部主要的气候降温事件是一致的^[7,26,27],特别是发生在4 250 Cal aBP左右的干旱、降温事件,不仅记录在亚洲和非洲陆地的沉积环境记录中^[7],而且与我国边缘海环境记录中的*Pulleniatina*降温事件也有很好的对应关系^[27],甚至影响到我国北方古人类文化的演替和发展¹⁾。7 300 Cal aBP左右的降温事件,位于2 930 a周期和1 140 a周期同时降温的相位上,这次降温事件在我国的许多陆相沉积物中都有很好的显示^[7,28]。通过对湖光岩古气候记录的能谱和滤波分析,可以进一步了解到发生在全新世的某次降温事件可能由哪个主周期控制,这为了解气候变化的过程和机制提供了重要的基础资料。

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49894172, 49772173, 49971077)和中国科学院“九五”重大(批准号:KZ951-A1-402)资助项目。

参 考 文 献

- 1 Denton G H, Karlen W. Holocene climatic variations: Their pattern and caus. *Quaternary Research*, 1973, 3: 155 ~ 205
- 2 Bond G, Showers W, Cheseby M, et al. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 1997, 278(14): 1257 ~ 1266
- 3 Grafenstein U, Erlenkeuser H, Muller J. The cold event 8 200 years ago documented in oxygen isotope records of precipitation in Europe and Greenland. *Climate Dynamics*, 1998, 14: 73 ~ 81
- 4 Wang L, Sarnthein M, Erlenkeuser H, et al. East Asian monsoon climate during the late Pleistocene: High-resolution sediment records from the South China sea. *Marine Geology*, 1999, 156: 245 ~ 284
- 5 Rodbell D T, Seltaer G O, Anderson D M, et al. An-15 000-year record of El Niño-driven alluviation in Southwestern Ecuador. *Science*, 1999, 283: 516 ~ 520
- 6 Bianchi G G, Mccave I N. Holocene periodicity in North atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland. *Nature*, 1999, 397: 515 ~ 517
- 7 郭正堂, Petit-Maire N, 刘东生. 全新世期间亚洲和非洲干旱区环境的短尺度变化. *古地理学报*, 1999, 1(1): 68 ~ 74
- 8 McIntyre A, Molfino B. Forcing of Atlantic equatorial and subpolar millennial cycles by precession. *Science*, 1996, 274: 1867 ~ 1870
- 9 Mikolajewicz U, Crowley T J, Schiller A, et al. Modeling teleconnections between the North Atlantic and North Pacific during the Younger Dryas. *Nature*, 1997, 387: 384 ~ 387

1) 靳桂云. 中全新世华北地区环境演化及其对人类文化的影响. 中国科学院地质研究所博士学位论文, 1999

- 10 Broecker W S. What drives glacial cycles? *Sci Amer*, 1990, 262: 49 ~ 56
- 11 Oppo D. Millennial climate oscillations. *Science*, 1997, 278(14): 1244 ~ 1246
- 12 Wigley T M L, Kelly P M. Holocene climate change, ^{14}C wiggles and variations in solar irradiance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1990, 330A: 547 ~ 560
- 13 Rampino M P, Self S. Volcanic winter and accelerated glaciation following the Toba super-eruption. *Nature*, 1992, 359: 50 ~ 52
- 14 汪品先, 翦知湑. 寻找高分辨率的古环境记录. *第四纪研究*, 1999, (1): 1 ~ 17
- 15 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 ~ 296
- 16 Zolitschka B, Negendak J F W. Sedimentology, dating and palaeoclimatic interpretation of a 76.3 ka record from Lago Grande di monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews*, 1996, 15: 101 ~ 102
- 17 Stuiver M, Reimer P J. Radiocarbon calibration program rev 3.0.3. *Radiocarbon*, 1993, 35: 215 ~ 230
- 18 Bard E, Arnold M, Hamelin B. Present status of the radiocarbon calibration for the late Pleistocene (Abstract). *GEOMAR Rep*, 1992, 15: 52 ~ 53
- 19 徐萃薇. 计算方法引论. 北京: 高等教育出版社, 1985. 79 ~ 87
- 20 Sirocko F, Garbe-Schonberg D, McIntyre A, et al. Teleconnection between the subtropic monsoon and high-latitude climate during the last deglaciation. *Science*, 1996, 272: 526 ~ 529
- 21 Hageberg T K, Bond G, deMenocal P. Milankovitch band forcing of sub-Milankovitch climate variability during the Pleistocene. *Paleoceanography*, 1994, 9: 545 ~ 558
- 22 Bjerknes J. Atlantic air-sea interaction. *Adv Geophys*, 1964, 10: 1 ~ 82
- 23 Wijffels S E, Schmitt R W, Bryden H L. Transport of freshwater by the oceans. *J Phys Oceanogr*, 1992, 22: 155 ~ 162
- 24 Zauker F, Broecker W S. The influence of atmospheric moisture transport on the fresh water balance of the Atlantic drainage basin: General circulation model simulation and observations. *J Geophys Res*, 1992, 97(D3): 2765 ~ 2773
- 25 王文远, 刘嘉麒, Negendank J, 等. 热带湖光岩玛珥湖记录的末次冰消期东亚夏季风两步式的变化. *科学通报*, 2000, 45(8): 860 ~ 864
- 26 吕厚远. 新石器以来的北温带草原文化与气候变迁. *文物保护与考古科学*, 1991, 3(2): 43 ~ 50
- 27 翦知湑, 李保华, Pflaumann U, 等. 西太平洋晚全新世变冷事件. *中国科学, D 辑*, 1996, 26(5): 461 ~ 473
- 28 吕厚远, 王永吉. 中国 20 kaBP 来世纪气候波动周期与天体运行关系初探. 见: 梁名胜, 张吉林主编. *中国海陆第四纪对比研究*. 北京: 科学出版社, 1991. 173 ~ 187

(1999-12-14 收稿, 2000-02-21 收修改稿)