

全新世东亚季风变化的百年尺度周期

Centurial Cycles of Variation of the Holocene East Asian Monsoon

肖尚斌/XIAO Shang-bin^{1,2}, 李安春/LI An-chun², 陈木宏/CHEN Mu-hong¹, 谢 强/XIE Qiang¹,
张丽丽/ZHANG Li-li¹, 张兰兰/ZHANG Lan-lan¹

1. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

2. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071

1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, Shandong Province, China

[摘要] 对位于东海内陆架闽浙沿岸泥质沉积区中部的 PC-6 孔进行了 AMS¹⁴C 年龄测试和粒度分析, 综合该孔的岩性、颜色、沉积构造以及沉积物垂向上的叠加方式等特征, 将该孔以 450 cm 和 540 cm 为界分为 3 段, 其中上段(450 cm 以上)以灰褐色、灰色粘土质粉砂为主, 岩性较均一, 测年表明其形成于近 7.64 ka 以来, 此期间海平面变化只有约 3~4 m, 对应的沉积动力条件与沉积环境应该与现今基本一致, 为海侵结束后高海平面以来主要受沿岸流控制的浅海沉积。通过计算 PC-6 孔 450 cm 以上 225 个样品陆源碎屑组分中每个粒级组分标准偏差随粒级组分的变化, 分离出对沉积环境敏感的粒级约为 6 μm 和 56 μm , 2 个粒度组分的分界线约在 28 μm 。细粒组分(<28 μm)为东海冬季沿岸流携带悬浮体所沉积, 而>28 μm 粗粒组分对应的沉积动力条件为波浪。本文采用 28 μm 以下的细粒级组分的平均粒径作为替代指标, 来揭示东亚冬季风的变化周期。使用功率谱分析软件 REDFIT35 对<28 μm 组分的平均粒径进行分析, PC-6 孔揭示出 70~72、78、89、102、112、123、154 a 等百年尺度的强周期信号。与世界其它地区进行综合对比分析表明, 全新世东亚季风的变化在百年尺度以 Gleissberg 周期和约 70 a 的周期为主, 且它们都是太阳辐射变化的结果。

[关键词] 东亚季风; 全新世; 太阳辐射; 东海; 粒度

[中图分类号] P534.63, P736.21

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)04-0040-04

Abstract: AMS¹⁴C dating and grain-size analysis for Core PC-6, located in the middle of a mud area on the inner shelf of the East China Sea (ECS), were used to rebuild the Holocene history of the East Asian winter monsoon (EAWM). The 7.5-m core recorded the history of environmental changes during the postglacial transgression. The core was divided into three sections with boundaries at 450 cm and 540 cm, according to its lithology, color, sedimentary structure, and vertical stacking pattern of its sediment. The core's mud section (the upper 450 cm) has been formed mainly by suspended sediment delivered from the Yangtze River mouth by the ECS Winter Coastal Current (ECSWCC) since 7.6 kyr BP. Using a mathematical method called "grain size vs. standard deviation", we can divide the Core PC-6's grain-size distribution into two populations at about 28 μm . The fine population (<28 μm) is considered to be transported by the ECSWCC as suspended loads. Content of the fine population changes little and represents a stable sedimentary environment in accord with the present situation. Thus, variation of mean grain-size from the fine population would reflect the strength of ECSWCC, which is mainly controlled by the EAWM. Spectral analyses of the mean grain-size time series of Core PC-6 show statistically significant centurial periodicities centering on 70~72, 78,

收稿日期: 2005-08-09

基金项目: 中国科学院王宽诚博士后基金项目(20040921123415), 中国博士后科学基金项目(2005037177), 国家自然科学基金项目(2005037177)

作者简介: 肖尚斌, 男, 广州市海珠区新港西路 164 号中国科学院南海海洋研究所, 博士后, 主要从事海洋沉积学研究;

E-mail: shangbinx@163.com

[4] 王绍武, 翟盘茂, 龚道溢, 等. 2002 年是近百年来中国第二个最暖年[J]. 气候变化通讯, 2003, 2(3): 11-12.

[5] GISS Surface Temperature Analysis: Global Temperature Trends: 2005 Summation[EB/OL]. <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2005/>.

[6] Global Temperature for 2005: second warmest year on record [EB/OL]. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/press/2005-12-WMO.pdf>.

[7] 中国气象局, 中央气象局编定. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1979.

[8] LI Q, LIU X, ZHANG H, et al. Detecting and Adjusting on Temporal Inhomogeneities in Chinese Mean Surface Air Temperature Datasets [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2004, 21: 260-268.

[9] OLIVER M, WEBSTER A, KRIGING R. Method of interpolation for geographical information system [J]. Int J Geographical Information Systems, 1990, 4: 313-332.

[10] LI Q, ZHANG H, LIU X, et al. UHI Effect on Annual Mean Temperature during Recent 50 Years in China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2004, 79: 165-174.

[11] ZHOU L, DICKINSON RE, TIAN Y, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China[J]. Proceedings National Academy of Sciences USA, 2004, 101: 9 540-9 544.

[12] 李庆祥, 刘小宁, 李小泉. 近半个世纪华北地区干旱化趋势研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 11(3): 50-56.

(责任编辑 胡春华)

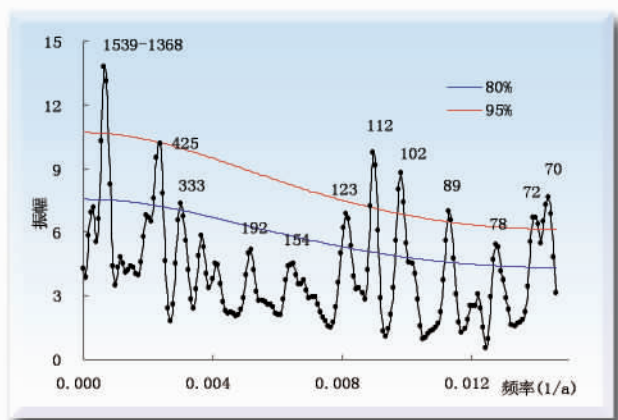


图2 PC-6孔粒度序列功率谱分析结果

(注:红线和兰线分别代表80%、95%表示置信水平)

Fig. 2 Frequency analysis of Core PC-6 mean grain-size (Red and blue lines are confident levels of 80% and 95%, respectively)

由PC-6孔得到的结果约为1454a(即1539-1369a的中值),这与先前认为的全新世气候准周期约1500a基本一致。在太平洋海区,冲绳海槽黑潮暖流在全新世约1500a变化一次^[30];在北大西洋和格陵兰冰心^[33]中,该准周期更为明显。然而,对南海北部陆坡17940-2研究却发现,东亚夏季风千年尺度的周期为775a^[19];Schulz等^[34]在对北大西洋区的古气候记录进行再分析后指出,全新世的气候波动“准周期”以约900a为主。后者与本文分析GISP2氧同位素所得结果(994a)相近(图3)。剪知等^[35]系统地评述了第四纪冰期旋回和全新世内部千年尺度的气候波动,并指出热带过程的变化在其中起着举足轻重的作用。

3.2 百年尺度的周期

3.2.1 Gleissberg 周期

约80a的周期称为Gleissberg周期,其值大多数情况下被认为是78a,变化范围是72~83a(即6.07~7个木星年)之间。它由木星围绕太阳公转,诱发太阳黑子而产生。也有人认为,Gleissberg周期的长度可以达到120a^[36]。PC-6孔揭示的78、89、102、112、123、154a的强周期信号,与近5000a以来金川泥炭氧同位素变化揭示出的86、93、101、110、127、140、155a等一系列百年尺度的气候变化周期大部分一致,都是对太阳活动周期的响应^[9,11]。由于金川所位于的地区冬季漫长,光、热、水资源在时间分布上主要集中在6-9月份,具有雨热同季的特点,因此该泥炭氧同位素变化指示的温度变化^[8],我们认为反映的主要是夏季。南海17940-2孔揭示出全新世以来的东亚夏季风变化呈现出102a和84a的百年尺度周期^[19],在金川泥炭中得到了证实。因此,可以认为东亚冬季风和夏季风的活动周期基本一致,这说明了东亚冬、夏季风百年尺度的变化受控于相同的因素。

有意义的是,红原泥炭氧同位素^[12]揭示出的79、88、110、127-123a周期与由PC-6孔粒度变化得到的周期极其吻合。然而,红原地区温度的变化受太阳辐射、东亚季风和印度季风等多因素影响。对近千年来印度季风变化的高分辨率研究表明,其活动的百年尺度周期为54、67、71、80、89、105、120、151等^[37]。这表明,东亚季风与印度季风在百年尺度具有极其相似的变化规律,且二者百年尺度的周期与树轮放射性碳所表征的太阳辐射的周期变化都非常吻合^[38],说明它们均是由于太阳辐射的变化而引起的。

尽管GISP2揭示出的全新世气候变化百年尺度的周期数相对东亚季风和印度季风要少,但是其变化仍是以Gleissberg周期

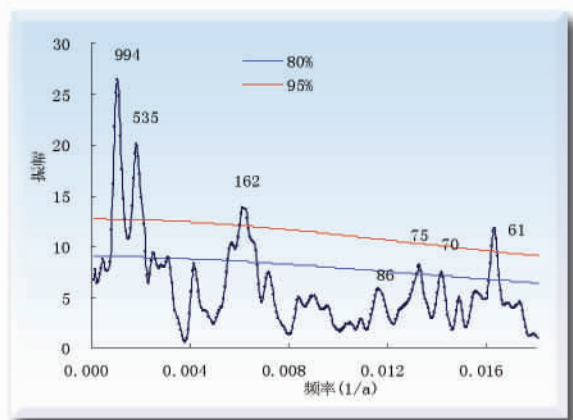


图3 GISP2氧同位素全新世序列功率谱分析结果

(注:红线和兰线分别代表80%、95%表示置信水平)

Fig. 3 Frequency analysis of the Holocene oxygen isotope of GISP2 (Red and blue lines are confident levels of 80% and 95%, respectively)

为主(75、86a;162a为二级周期)。这说明Gleissberg周期在全新世百年尺度的全球气候变化中占有重要地位。

3.2.2 70a 周期

Michael和Navin^[39]基于全球11个地区近150年来温度变化资料的谱分析,发现北半球气候波动存在约65~70a的周期(65~70a为统计学上的数值,实际变化于50~80a),但该周期既不是全球性的,也不是全海洋性的,它将该波动解释为大气-海洋体系的内部振动,而不是太阳驱动或者海洋范围内“白噪音”(white noise)的响应。

最近,李弋林等^[40]利用敦德、古里雅冰川积累量和华山、乌鲁木齐河、伊犁河树木年轮代用资料,分析了中国西部地区近300年来气候干湿变化的时空特征,认为中国西部气候干湿变化存在显著的准70年尺度的周期变化。PC-6孔粒度序列揭示出与其相对应的东亚季风变化的显著周期,即70~72a。我们从全新世GISP2氧同位素变化中也发现了70a周期的存在,该周期也存在于印度季风的变化之中^[37],这与Michael和Navin^[39]的结论不同。我们认为,原因可能在于气候代用指标或者(和)时间区间的不同。

70a周期可能是亚洲季风乃至全新世全球气候变化的基本周期之一,PC-6孔以及其它气候代用指标分别揭示出了70a周期不同级数的周期(表2)。其中3级周期(210a)表现相当普遍,如红原泥炭 $\delta^{18}O$ 序列在该处为一很明显的峰型(213a)^[14],在红原泥炭总有机碳序列中表现更为显著^[41],与本文的192a成极好的对应关系。金川泥炭¹⁹氧同位素序列中记录到一个207a的显著周期,与之基本对应。另外,沉积物中Al含量的变化也记录到印度季风变化的210a周期^[37]。70a周期的10级周期,即约770a,也比较普遍地被发现,如东亚夏季风^[19]和印度季风^[37]的变化等。红原温度序列中包含的752a周期,也被认为可能是来源于由东南季风携带的南中国海海洋信号^[12]。从阿曼Hoti石笋氧同位素中也发现有770a周期的存在^[42]。

新近,Marcus^[43]对20世纪90年代末木星上层大气中2个“白色卵形目标”的突然事件以及当前正在发生的事件做了数值模拟,认为在木星上同样存在着周期约为70a的“气候变化”,且其平均温度有可能变化高达10℃。

因此,本文认为70a周期同样应是来自太阳辐射变化的结果,但是导致其形成的深层次因素,还需要进一步的研究。

(致谢:感谢边缘海地质重点实验室开放基金(MSGL0507)、中科院南海所博士基金(50601-65)和中科院海洋所创新基金(L61022811)对本论文研究的资助。)

参考文献 (References)

- [1] 施雅风,孔昭宸,王苏民. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. 中国科学(B), 1992, 12: 1 300-1 308.
- [2] 安芷生, PORTER S C, 吴锡浩, 等. 中国中东部全新世气候适宜期与东亚夏季风变迁[J]. 科学通报, 1993, 38: 1 302-1 305.
- [3] 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[J]. 第四纪研究, 1994, 1: 24-37.
- [4] 谭明, 刘东生, 钟华, 等. 季风条件下全新世洞穴碳酸钙稳定同位素气候信息初步研究[J]. 科学通报, 1997, 42(12): 1 302-1 306.
- [5] TAN M, LIU T, HOU J, et al. Cyclic rapid warming on centennial-scale revealed by a 2650-year stalagmite record of warm season temperature [J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30 (12): 1 617-1 620.
- [6] 沈吉, 王苏民, MATSUMOTO R, 等. 内蒙古岱海古水温定量恢复及其古气候意义[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(12): 1 017-1 023.
- [7] 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 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (6): 563-568.
- [8] 洪业汤, 姜洪波, 陶发祥, 等. 近 5 ka 温度的金川泥炭 $\delta^{18}\text{O}$ 记录[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(6): 525-530.
- [9] 洪业汤, 姜洪波, 洪冰, 等. 近 5 000 a 气候波动与太阳变化[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28 (6): 492-497.
- [10] 洪业汤, 刘东生, 姜洪波, 等. 太阳辐射驱动气候变化的泥炭氧同位素证据[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29 (6): 527-531.
- [11] HONG Y T, JIANG H B, LIU T S, et al. Response of climate to solar forcing recorded in a 6000 year $\delta^{18}\text{O}$ time-series of Chinese peat cellulose[J]. The Holocene, 2000, 10 (1): 1-7.
- [12] 徐海, 洪业汤, 林庆华, 等. 红原泥炭纤维素氧同位素指示的距今 6 ka 温度变化[J]. 科学通报, 2002, 47(15): 1 181-1 186.
- [13] 王奉瑜, 孙湘君. 内蒙古察素齐泥炭剖面全新世古环境变迁的初步研究[J]. 科学通报, 1997, 42(5): 514-518.
- [14] 董国榜, 石英, 吴瑞金. 龙感湖地区近 3 000 年以来的植被及其气候定量重建[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(2): 53-60.
- [15] 姚檀栋, THOMPSON L G. 敦德冰芯记录与过去 5 ka 温度变化[J]. 中国科学(B 辑), 1992, 10: 1 089-1 093.
- [16] 姚檀栋, THOMPSON L G, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 447-452.
- [17] FENG X, EPSTEIN S. Climatic implications of an 8 000-year hydrogen isotope time series from Bristlecone Pine trees [J]. Science, 1994, 265: 1 079-1 081.
- [18] 钱君龙, 邓自旺, 屠其璞, 等. 天目山柳杉树轮 δD 年序列及其气候含义[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(5): 372-376.
- [19] 王律江, SARNTHEIN M. 南海北部陆坡近四万年的高分辨率古海洋学记录[J]. 第四纪研究, 1999, (1): 27-31.
- [20] JIAN Z, WANG P, SAITO Y, et al. Holocene Variability of the Kuroshio current Trough, northwestern Pacific ocean [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2000, 184(1): 305-319.
- [21] 金元欢. 我国入海河口的基本特点[J]. 东海海洋, 1988, 6(3): 1-11.
- [22] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 7.
- [23] 杨作升, 郭志刚, 王兆祥, 等. 黄东海陆架悬浮体及其向东部深海区输送的宏观格局[J]. 海洋学报, 1992, 14(2): 81-90.
- [24] 孙效功, 方明, 黄伟. 黄东海陆架区悬浮体运输的时空变化规律[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 581-587.
- [25] 肖尚斌, 李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 27-34.
- [26] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2 ka 闽浙沿岸泥质沉积物物源分析[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 268-274.
- [27] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2000 年来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义[J]. 科学通报, 2004, 49(21): 2 233-2 238.
- [28] 肖尚斌, 李安春, 陈木宏, 等. 近 8 ka 东亚季风变化的东海内陆架泥质沉积记录 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2005, 30 (5): 573-581.
- [29] 胡敦欣, 杨作升. 东海海洋通量关键过程 [M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 3-13.
- [30] STUIVER M, REIMER PJ, BARD E, et al. INTCAL98 Radiocarbon age calibration 24 000-0 cal aBP [J]. Radiocarbon, 1998, 40: 1 041-1 083.
- [31] SCHULZ M, MUDELSEE M. REDFIT: Estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series [J]. Computers and Geoscience, 2002, 28(3): 421-426.
- [32] STUIVER M, GROOTES P M, BRAZIUNAS T F. The GISP2 $\delta^{18}\text{O}$ climate record of the past 16 500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes [J]. Quaternary Research, 1995, 44: 341-354.
- [33] BOND G, SHOWERS W, CHESEBY M, et al. A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates [J]. Science, 1997, 278: 1 257-1 266.
- [34] SCHULZ M, PAUL A. Holocene climate variability on centennial-millennial time scales: 1. Climate records from the north-Atlantic realm [M]//WETER G, BERGER W, BEHRE K E, et al, eds. Climate Development and History of the North Atlantic Realm. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002, 41-54.
- [35] 翦知潜, 黄维. 快速气候变化与高分辨率的深海沉积记录[J]. 地球科学进展, 2003, 18(5): 673-680.
- [36] LANDSCHEIDT T. Long-range forecast of sunspot cycles[M]//SIMON, P A, HECKMAN, G. & SHEA, M A. Solar-terrestrial predictions. Proceedings of a workshop at Meudon, 18-22 Juni 1984. Boulder, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1986, 53-55.
- [37] AGNIHOTRI R, DUTTA K, BHUSHAN R. Evidence for solar forcing on the Indian monsoon during the last millennium [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002 (198) : 521-527.
- [38] STUIVER M, BRAZIUNAS T F, BECKER B, et al. Climatic, Solar, Oceanic, and geomagnetic influence on late-glacial and Holocene atmospheric $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ change [J]. Quaternary Research, 1991, 35: 1-24.
- [39] SCHLESINGER M E, RAMANKUTY N. An oscillation of global climate system of period 65-70 years [J]. Nature, 1994, 367 : 723-726.
- [40] 李弋林, 徐袁, 钱维宏. 近 300 年来中国西部气候的干湿变化[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 371-376.
- [41] 周卫建, 卢雪峰, 武振坤, 等. 若尔盖高原全新世气候变化的泥炭记录与加速器放射性碳测年[J]. 科学通报, 2001, 46(12): 1 040-1 044.
- [42] NEFF U, BURNS S J, MANGINI A, et al. Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago[J]. Nature, 2001, 411: 290-293.
- [43] MARCUS P S. Prediction on a global climate change on Jupiter [J]. Nature, 1994, 428: 723-726.

(责任编辑 胡春华)