

气候环境变化的河流响应^{*}

周厚云¹, 高全洲², 朱照宇¹, 郭国章¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

2. 中山大学地理学系, 广东 广州 510275)

摘要: 通过综述前人及笔者的已有研究工作, 指出气候环境变化可能引发各种河流地貌过程, 如河流的侵蚀与加积、河口的溯源侵蚀与溯源堆积等; 流域气候环境变化在河口沉积物的矿物和元素组成上也得以反映, 如 SX 97 孔中的粘土矿物和石英的含量变化都与该孔孢粉资料所揭示的气候环境演化规律相吻合, 也与早期对华南海岸沙丘和海滩岩的研究所揭示的区域气候环境演化一致. 但由于局部因素的干扰, 气候环境变化的河流响应体系可能变得较为复杂, 在研究工作中应对此予以足够注意.

关键词: 气候环境变化; 河流响应体系; 河流地貌过程; 河流沉积物

中图分类号: P931 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 06-0081-05

研究过去全球气候环境变化, 深海沉积、冰芯和黄土堆积是理想的对象. 国内外不少学者在这些方面已做了大量工作^[1~3]. 对某些特定地区而言, 气候环境的变化虽然受统一因素如地球轨道参数的制约^[4], 但局部因素的影响也不容忽视. 例如, 青藏高原及周边地区的古气候环境除受全球统一因素控制外, 还受高原本身隆升过程的影响^[5]. 在不同地区间, 影响气候环境变化的局部因素存在较大差异, 各种地质、地貌过程对气候变化的响应也往往不同. 如何应用沉积记录来研究局部地区过去的气候环境演化, 探讨气候环境变化的区域响应特征, 这是值得古气候和古环境工作者大量探索的一个领域.

河流遍布地球的陆地部分, 气候环境变化对各种河流过程有着重要影响, 而且相对于深海沉积、冰芯和黄土堆积来说, 各种河流过程及相关沉积对局部地区气候环境变化的响应可能更为显著. 因此, 河流体系是研究气候环境变化区域响应的理想对象. 同时, 正是由于局部因素对各种河流地貌过程及相关沉积的显著影响, 使得气候环境变化的河流响应体系更加复杂.

1 气候环境变化引发河流侵蚀与堆积

对气候环境变化影响最明显的河流地貌过程就是河流的侵蚀与堆积. 例如, May^[6] 根据对美

国内布拉斯加 South Loup 河中冲积物的研究, 发现 4 个充填期, 且这 4 个充填期在大平原地区 (Great Plain) 基本同步, 显示了受到气候控制的特点. 而李有利等^[7] 则根据河西走廊一些全新世河流阶地的研究, 发现在 8~6 ka BP 的气候稳定湿热时期河西走廊的河流普遍发生下切, 而在气候向干冷方向转化时则河流发生加积, 其中第一级阶地形成于 5.57~3.15 ka BP, 此时气候由暖湿向干冷转变, 且波动剧烈. 第二级阶地形成于 12~8 ka BP, 此时气候由冷向暖转变, 波动也比较剧烈. Brakenridge^[8] 根据 Pomme de Terre 河的晚第四纪沿河冲洪积物的研究也指出, 140 000 a BP 以前、27 480~23 000 a BP 和 10 200~8 100 a BP 为河道加积时期, 其中 27 480~23 000 a BP 对应于晚威斯康星冰期; 140 000~31 800, 13 550~10 200, 8 100~7 490, 5 000, 2 900, 1 500 和 350 a BP 为侵蚀阶段; 而 23 000~13 550 和 7 490~5 000 a BP 两个阶段为相对蚀积平衡阶段. 冲洪积平原演化的各个阶段, 包括加积、侵蚀和蚀积平衡等阶段, 都可能受气候控制. 2 个稳定时期似乎与大气上层环流加强的时间吻合, 大气环流加强使得大规模洪水的频率减小, 而中小规模的洪水发生频率却增加.

由上可见, 气候环境变化引发河流的侵蚀或加积的响应模式可能是不尽相同的. 同样的气候

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49702031)

收稿日期: 2001-02-20; 作者简介: 周厚云 (1967—), 男, 副研究员, 在职博士研究生.

环境变化背景下,不同地区可能引发不同的河流地貌过程;相同地区但不同时期也可能引发不同的河流地貌过程。此外,相同的河流地貌过程也并不一定反映相同的气候环境变化方式。例如,前面提到在河西地区全新世的河流切割与稳定的湿热气候相关,而河流的加积则与气候环境的变干冷有关。Chatters 等^[9]对哥伦比亚河(Columbia River) 10 ka BP 以来的侵蚀与冲积过程的研究结果也表明,河流主要的加积阶段发生在气候转变时期。Martin^[10]也指出,美国内布拉斯加中南部共和谷地河流的切割与气候的转变有关,其中发生在 4 500 ~ 3 700 a BP 的切割期与气候从中全新世干旱向温湿转化有关,而发生在 1 800 ~ 1 100 a BP 的切割期则与气候转向更加干旱的时期一致。此外, Bryan 和 Antevs 也都认为,气候向干旱转化足以导致河流的侵蚀^[11]。Martin^[10]指出,不同的气候变化往往导致相同的河流响应。因此,在将河流的冲积过程与气候联系以来时应该持谨慎态度。Hall^[11]根据地层、¹⁴C 年龄及其它大量资料,对美国南部大平原及邻近地区河流侵蚀沉积过程及与气候的关系进行了研究,指出,在中全新世之前的干热气候条件下河流形成了宽阔深切的河谷,气候自 5 ka BP 开始变冷变湿,伴随着河流的加速沉积; 2 ~ 1 ka BP 气候最湿润,但由于流域植被覆盖度增加,河谷中河流沉积的速度比较缓慢;自 1 ka BP 以来气候变干,开始时由于植被覆盖度减少和径流增加,以及降水产生的洪水导致许多河流加宽和深切,但不久河流又在干旱气候环境下发生加积。Hall^[11]认为,由于区域地貌和气候历史的不同,大平原地区在 1 ka BP 左右的河流侵蚀在其他地区不一定存在。

2 气候环境变化在河口的响应

河口是河流和海洋两系统的交汇处,两者在水动力和其他物理化学性质上的差异,使河流带来的许多物质在河口段发生沉积。由于能量的骤减,河流所携带的相对较粗的物质先沉淀下来,而较细的物质,如悬浮在河流中的粘土矿物,则通过絮凝作用在较远的地方沉积下来,从而形成河流三角洲体系。影响三角洲体系的因素包括汇流区域和受水盆地的特征。汇流区域是沉积物的供应区,其特征主要反映在沉积物的性质和河流

体系上;受水盆地是容纳沉积物的场所,盆地最重要的性质是争夺输入的河流沉积物的能量体制。盆地体制取决于诸如盆地的形状、大小、深度和气候背景等几个主要因素间的相互关系。由携带沉积物的河流过程与受水盆地过程之间的相互关系共同确定了河流三角洲的发育^[12]。如果汇流区域没有因为构造因素或其他因素(如气候因素造成的河流劫夺而使得汇流区域发生变化)造成的变化,且河口地区构造活动又相对稳定,则河口沉积物的发育将主要受气候环境的影响,气候环境的变化将在这些沉积物的一些指标上留下烙印。因此,河口沉积物是研究气候环境变化河流响应的理想地区。

2.1 河口的溯源侵蚀与溯源堆积

海平面的升降对河口地区河流的溯源侵蚀和溯源堆积起着重要作用^[13],而气候环境的变化又对海面升降和海岸线的进退有很大影响^[14]。在末次冰盛期,海平面大幅度下降,侵蚀基准面也随着大幅度下降。因此,气候环境的变化对河口地区的侵蚀和堆积过程无疑有着重要的影响。但也应该注意到,相同的气候环境变化中河口的地貌响应过程可能不同,如王庆^[15]、王庆和夏东兴^[16]对山东半岛东北部全新世以来河流地貌过程的研究指出:大沽夹河在末次冰期气候寒冷海平面下降时溯源侵蚀形成深切河谷,全新世气候回暖海平面上升时发生溯源堆积,而相邻的黄水河则在末次冰期气候干冷时发生洪积化,在全新世早期气候回暖海平面上升时发生溯源侵蚀。

2.2 河口及附近海岸地区的洪流沉积

气候环境的变化影响着流域的植被和径流特征。暴雨频度和规模都将在河口和附近海岸地区的冲洪积物上有所反映。这一点,在对 El Niño 现象及相关的河流沉积物的研究中得到充分证实^[17, 18]。例如 Wells 指出,在 El Niño 影响期间,秘鲁中北部地区降雨量大增,有更多的冲洪积物进入滨海地区,冲洪积物成为探索 El Niño 现象的替代性指标^[17]。Wells^[18]利用秘鲁北部沿海地区的泛滥沉积建立了该地区晚第四纪 El Niño 现象的年代序列,并指出 El Niño 事件贯穿于整个晚第四纪,其中在全新世至少发生了 15 次,在晚更新世至少发生了 21 次。

2.3 河口沉积的矿物特征变化

在研究河口地区沉积物对气候环境变化的矿

物学方面的响应时，以前更多注意到的是粘土矿物及其比值关系^[19, 20]。但笔者根据对珠江北岸 SX97 孔的矿物特征研究发现^[21]，除粘土矿物以外，石英含量也与孢粉及其它指标揭示的气候环境演化能很好地对应。如图 1 所示，可以看到，SX97 孔 7 000 a BP 以来的石英含量与粘土矿物总量呈现刚好相反的变化，因而石英也具有很好的气候环境变化指示意义：石英含量较低的时期对应气候环境相对偏暖偏湿的时期，而石英含量较高的时期对应气候环境相对偏冷偏干的时期。而且这不仅与 SX97 孔的孢粉资料和其它气候环

境指标相对应，也与华南沿海地区第四纪以来的海岸沙丘^[22, 23]、海滩岩等地貌发育的阶段能很好对应(图 1)。这种石英含量与华南沿海全新世以来气候环境演化之间的良好对应关系的原因在于：

(1) 气候环境相对偏暖偏湿时，一方面由于流域植被更加发育，对降水侵蚀的缓冲作用更加显著，被侵蚀的物质的平均粒径会更小并更多粘粒级物质；另一方面，由于风化作用加强，风化蚀余物质颗粒会更细，其中的石英含量会更低，而在风化过程中产生的次生粘土矿物含量会很

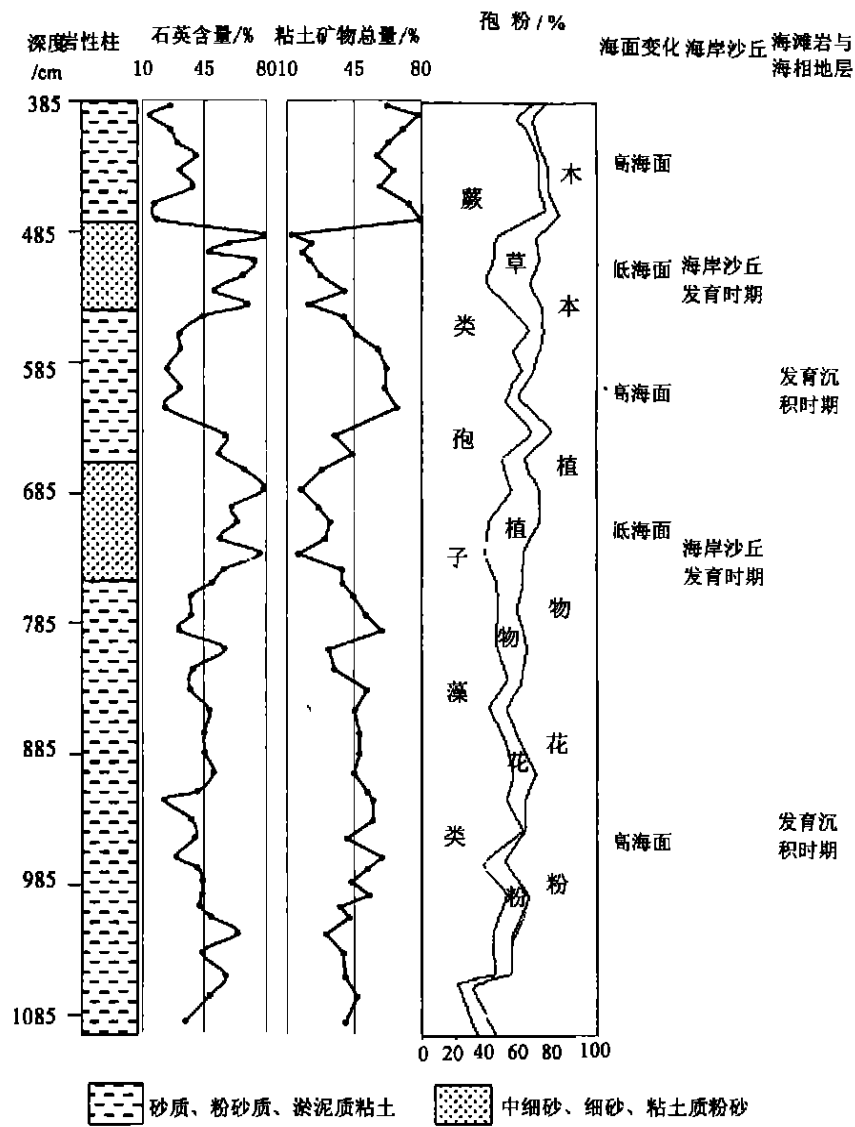


图 1 珠江口北岸 SX97 孔的石英含量、粘土矿物总量及其与气候环境变化的关系（孢粉资料根据文 [21] 图 1）

Fig. 1 Content variation of quartz and total clay minerals and their relationship with climatic and environmental changes in core SX97 on the northeast of Pearl River mouth

高, 这种现象从风化壳的剖面特征上得到反映^[24 25]。如果气候环境相对偏冷偏干, 情况则向相反方向发展;

(2) 华南沿海地区, 气候相对偏暖偏湿时对应海平面相对偏高的时期^[14], 而海平面的上升又使得河口更向内陆迁移, 河口沉积区整体上也向陆迁移。这样, 当气候环境相对偏暖偏湿时, 同一钻孔剖面上揭示的河口沉积物则是粒度更细, 含有更多的粘土矿物和更少的石英。

2.4 河口沉积的地球化学记录

气候环境变化引起的河口沉积过程的变化, 也会反映在一些地球化学指标上。如郑洪汉等^[26]根据对珠江口地区深圳湾北岸福田钻孔的研究指出, 沉积物中微量元素钒(V)的含量可以作为反映气候环境变化的良好指标: 在温暖时期, 由于来源于陆源的物质增多, 具有稀释作用, 使得沉积物中的V含量相对较低; 而在寒冷时期则相反, V的含量相对较高。

3 结 语

气候环境变化通过对流域植被发育、降水量和降水季节分配、风化、侵蚀过程以及侵蚀基准面等因素的调控, 对各种河流地貌过程与河流沉积物(包括河道的侵蚀和加积过程、河口地区的溯源侵蚀与溯源堆积、以及河口沉积物的粒度和一些矿物、元素指标等)具有重要影响, 因而河流地貌过程与河流沉积物成为研究气候环境变化尤其是气候变化区域响应的重要介质。Fuller等^[27]根据在西班牙东北部地区建立的20万a来河流体系对气候变化的年代响应序列指出, 河流沉积地层可以与高精度的冰芯和海洋沉积氧同位素气候序列对比。对于华南沿海地区, 缺少黄土等研究气候环境变化的理想对象, 应该更多注重河流地貌过程及其沉积物与气候环境关系的研究。华南沿海山地在第四纪时期虽然有一定的构造活动^[28], 但抬升速率并不很高^[29], 对河流地貌过程和河流沉积物的影响可能不如气候显著, 尤其是在第四纪冰期气候波动的时间尺度上, 如作者^[2]在珠江口的研究就显示沉积物的各种物理化学特征主要受气候变化控制。只要认真细致地工作, 河流地貌过程和河流沉积物将在气候环境变化的研究中发挥巨大作用。

参考文献:

- [1] SHACKLETON N J, OPDYKE N D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V 28-239[J]. *Quaternary Research*, 1973, 3: 39—55.
- [2] JOUZEL J, LORIUS C, PETIT J R, et al. Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160 000 years)[J]. *Nature*, 1987, 329: 403—408.
- [3] LIU T S, AN Z S, YUAN B Y, et al. The loess-paleosol sequence in China and climatic history[J]. *Epidodes*, 1985, 18: 21—28.
- [4] IMBRIE J, HAYS J D, MARTINSON D G, et al. The orbital theory of pleistocene climate: support from a revised chronology of marine $\delta^{18}\text{O}$ Record[A]. In: Berger A G, et al, eds. *Milankovitch and Climate* [M]. Boston: Reidel Publishing Co, 1984. 169—205.
- [5] 施雅风, 李吉均, 李炳元. 青藏高原晚新生代隆升与气候变化[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 98—110.
- [6] MAY C W. Holocene alluvial fills in the South Loup River valley, Nebraska [J]. *Quaternary Research*, 1989, 32: 117—120.
- [7] 李有利, 杨景春. 河西走廊平原区全新世河流阶地对气候变化的响应[J]. *地理科学*, 1997, 17(3): 248—252.
- [8] BRAKENRIDGE G R. Late quaternary floodplain sedimentation along the Pomme de Terre River, Southern Missouri[J]. *Quaternary Research*, 1981, 15: 62—76.
- [9] CHATTER J C, HOOVER K A. Response of the Columbia River fluvial system to Holocene climatic change[J]. *Quaternary Research*, 1992, 37: 42—59.
- [10] MARTIN C W. Late Holocene alluvial chronology and climate change in the Central Great Plain[J]. *Quaternary Research*, 1992, 37: 315—322.
- [11] HALL S A. Channel trenching and climate change in the Southern U S Great Plain[J]. *Geology*, 1990, 18: 342—345.
- [12] H G 里丁. 沉积环境和相[M]. 周名鉴等译. 北京: 科学出版社, 1985. 127—178.
- [13] SCHUMM S A. River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy[J]. *J Geology*, 1993, 101: 279—294.
- [14] 李平日. 珠江三角洲一万年来环境演变[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 1—78

[15] 王庆. 全新世以来山东半岛东北部海面变化的河流地貌响应[J] . 地理科学, 1999, 19(3): 225—231.

[16] 王庆, 夏东兴. 山东半岛北岸与南岸现代岸线差异及其影响因素[J] . 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 109—115.

[17] WELLS L E. Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Peru[J] . Geology, 1990, 18(11): 1134—1137.

[18] WELLS L E. An alluvial record of El Niño event from Northern Coastal Peru[J] . J Geophysical Research, 1987, 92(C13): 14463—14472.

[19] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学特征及其物源区气候环境的关系[J] . 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336—346.

[20] 蓝先洪. 珠江三角洲△22 孔的沉积特征及地层划分[J] . 海洋与湖沼, 1991, 22(2): 148—154.

[21] 周厚云, 余素华. 珠江口北岸 SX97 孔 7000 aBP 以来的矿物分析[J] . 热带地理, 2000, 20(3): 222—227.

[22] 吴正, 吴克刚, 黄山, 等. 华南沿海全新世海岸沙丘研究[J] . 中国科学(B), 1995, 25(2): 211—218.

[23] 李平日. 华南全新世海滩岩及其古地理意义[J] . 海洋地质与第四纪地质, 1988, 8(4): 21—29.

[24] 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿, 等. 中国南方红色风化壳[M] . 北京: 海洋出版社, 1996, 38—57, 127—165.

[25] 吴志峰. 华南花岗岩红色风化壳崩岗侵蚀研究[J] . 热带地貌, 1997, 12(2): 23—52.

[26] 郑洪汉, 黄宝林. 南极冰退与深圳湾北岸海平面变化的地质记录[J] . 热带海洋, 1996, 15(4): 1—8.

[27] FULLER I C, MACKLIN M G, LEWIN J, et al. River response to high-frequency climate oscillations in Southern Europe over the past 200 ka[J] . Geology, 1998, 26(3): 275—278.

[28] 刘尚仁. 晚更新世以来北江和西江阶地地壳运动及其生产利用[J] . 中山大学学报(自然科学版), 1984(4): 135—141.

[29] 陈华堂, 丘世钧, 黄山, 等. 揭西、丰顺“冰臼群”成因商榷[J] . 热带地理, 1999, 19(4): 376—380.

River Response to Climatic and Environmental Change

ZHOU Hou-yun¹, GAO Quan-zhou², ZHU Zhao-yu¹, GUO Guo-zhang¹

- (1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Department of Geography, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on the summary of other researchers’ achievements and analysis by the authors to the sediments since 7 000 a BP from core SX97 on the northeast of Pearl River mouth, it is found that climatic and environmental changes may probably lead to various fluvial processes, such as incision and accumulation in the valley, and the upstream incision and accumulation at the river mouth. Climatic and environmental changes may also leave footprints in the mineralogy and elements in the fluvial sediments. For example, both total clay mineral and quartz from core SX97 vary correspondingly with the climatic and environmental evolution revealed by pollen data of this core, and all these proxies correlate well with the local climatic and environmental evolution suggested by previous work on coastal dune and beachrock of South China.

Keywords: climatic and environmental change; river response system; fluvial process; fluvial sediment