

河口三角洲地区洪水沉积研究进展

胡 刚

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;
青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘 要:洪水事件沉积的研究对古洪水系列的重建和洪水沉积模式的建立具有重要意义, 它还是古气候变化的一种响应。概述了国内外洪水事件沉积研究的最新进展, 提出了洪水事件的判别标志, 并对当前洪水事件研究存在的问题进行了探讨, 提出了应该在沉积环境相对稳定的、沉积速率相对较低的河口三角洲地区开展高分辨洪水事件研究。

关键词:河口三角洲; 洪水; 事件层

中图分类号: P736.21 文献标识码: A

洪水事件对于地质历史来说是频发的, 而对于人类而言却是一种常见的危及生命、财产安全的主要自然灾害。由于洪灾具有骤发性、不可避免性和区域性等特点, 今天人类仍然在遭受洪水灾害的威胁, 承受严重的生命、财产损失, 20 世纪的 3 次大洪水(1931、1954、1998 年)造成的人员伤亡和经济损失已经广为人知。水下三角洲由于人类活动破坏相对较少而具有稳定的沉积序列, 相比河流来说, 对于洪水事件沉积研究具有更好的优势。

1 研究意义

海岸带陆海相互作用研究是国际地圈生物圈计划(IGBP)的核心内容之一。受人类活动剧烈影响的内陆架以内浅海物质循环过程及其在自然环境、生态环境变化中的意义已经成为研究的热点。陆架浅海洪水沉积作用是流域暴发洪水携带

大量物质和海洋相互作用过程, 洪水挟带巨量的陆源碎屑物质, 进入河口三角洲地区汇积下来, 将形成不同于平时的沉积物质和沉积过程, 对此进行研究将有助于认识地质时期的古洪水, 为人类进行洪水预测分析提供可靠的样本资料系列, 加之实测洪水资料, 利用现代数学方法寻找洪水频率计算的新途径, 因此, 对洪水事件的研究具有重要的现实意义。

对现代洪水事件沉积过程和沉积特征的研究, 是识别历史时期的古洪水事件的基础, 而古洪水事件是对古气候变化的一种响应。古洪水多发生在不同气候状况演变的过渡时期, 尤其是在气候转型时期的突变阶段。研究古洪水有助于反演古气候变化的历史, 重建流域洪水发生的序列, 分析洪水发生的周期, 从而对预测气候变化提供佐证。而且洪水是一种紊流水与沉积物混合形成的一种高密度浊流, 洪水泛滥的河流产生了高密度悬浮沉积物和连续的增速水流(洪峰到来之前)及减速水流(洪峰过后), 洪水造成的沉积层序单元底部沉积对应着洪水事件上升期的沉积, 层序单元顶部对应洪水事件减弱期的沉积。所以, 对洪水沉积研究从沉积学角度也具有一定的理论意义。

收稿日期: 2012-09-24

基金项目: 国家自然科学基金(41206073); 中国地质调查局地质调查项目(GZH200900501)

作者简介: 胡 刚(1979—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事海洋地质与海洋沉积研究工作。E-mail: hg-jinan@163.com

2 研究现状

2.1 国外研究现状

国外学者通过综合物探及钻探取样,对不同三角洲类型的沉积环境和沉积演化进行了详细的研究,对于大尺度背景下河口三角洲古环境演化、沉积地貌和沉积层序研究得较为透彻,得到了比较明确的沉积地貌体系和沉积相划分,对沉积规律和沉积机制都进行了较为深入的探讨^[1-7]。在此基础上,国外部分学者渐渐将自己的兴趣集中到了事件沉积研究上,而古洪水研究对于现代洪水事件的预测具有很大的帮助,很多科学家也进行了古洪水事件的研究,对晚更新世和全新世以来不同地区的古洪水事件和古洪水沉积记录进行了较为详尽的论述。因为洪水事件的发生常常伴随气候的变化,将这种极端事件与古气候研究联系起来,取得了一定的成果^[8-14]。“以古论今,以今溯古”,现代洪水事件沉积过程及沉积层序是认识古洪水的钥匙,美国学者对 Eel 河的研究认为,该河水沙量的变化具有很强的季节性,强输沙过程出现在每年的冬季^[15]。并且发现与 Eel 河口邻近的中陆架对 Eel 河水沙通量有着灵敏的响应,一个洪水过程即可以在中陆架上沉积长数十千米、宽数千米、厚度几厘米到十几厘米的洪水期沉积层^[15,16]。对于该河的洪水沉积研究^[17],Sommerfield 利用⁷Be 作为 Eel 河洪水沉积的示踪剂,认为洪水过后的河流陆源输入是大陆架沉积物中⁷Be 的主要来源,半衰期为 53 d 的⁷Be 在河床沉积物中的含量高于平水期的 3~5 倍。洪水过程形成的沉积物中有机碳总量和稳定碳同位素与平水期有明显不同,反应了河流陆源沉积物输入的影响。而且,²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 沉积物测年显示,这种季节性沉积速率通常 2~6 倍于长周期平均沉积速率^[18]。而欧洲学者对于注入亚得里亚海的 Po 河的洪水过程研究^[19]认为,洪水过程可以在河口地区存在不同于常时的沉积单元和沉积过程。

2.2 国内研究现状

国内河口三角洲洪水沉积作用研究主要以长

江三角洲、黄河三角洲为主。长江三角洲是世界上最早引起学术界注意的三角洲之一,在 19 世纪 70 年代, Mosseman 就曾专题研究过长江三角洲^[20]。

由于长江口沉积变化规律受到多种因素的共同影响,对入海物质通量有不同时间尺度的沉积记录响应。有长时间尺度的海侵、海退事件在地层中留下的沉积记录,也有较小时间尺度的千年级别的地质事件,如 11 000 a BP 左右新仙女木事件^[21]、8 200 a BP 降温事件、4 000 a BP 降温事件、小冰期降温事件^[22]等等,另外还有百年或百年以内的洪水、风暴潮、海平面波动和潮汐^[23]等地质事件的沉积记录。随着人类改造社会程度的进一步加大,加之由此引发的自然环境变异,发生重大环境事件的频率越来越高。比如,近百来长江全流域的洪水暴发就有至少 3 次(1931、1954、1998 年),三峡工程的建设引起入河口地区泥沙锐减,在 2004 年仅为平均入海泥沙量的 35%,另外气候波动影响大通站的含沙量和输沙量的变化具有 10 a 以上、7~8 a 以及 3~4 a 的周期性变化,且在此情况下产生了不同的年际水沙组合^[24-31],这些不同入海物质通量的变化都将引起河口地区沉积记录的改变,但是相比洪水过程造成的水沙通量的巨大变化,这些水沙组合的变化很不容易在沉积记录中有所体现。而洪水沉积就会相对容易保存下来,1998 年大洪水对河口区泥沙运动的影响和造床作用是显而易见的^[32,33],通过对 1998 年水体悬浮物的地球化学分析表明,在洪水期发生的最高潮时与平水期有明显的不同,当悬浮体沉积之后,附着在上面的地球化学信息则可以表明特有的洪水沉积层^[34]。Hao 对东海泥质区 150 年来的 Pb 含量进行了高分辨率研究,²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 有 6 个显著降低期,分析认为对应于 1870 年、1931 年、1954 年、1981 年、1998 年等的几次大洪水事件,Pb 的含量与同位素组成是识别人类活动影响的有效代用指标^[35]。Liu 根据黏土矿物、碎屑矿物和稀土元素等分析方法阐述了过去 13 000 a 来长江口外的沉积记录与环境演化,尤其是最近 600 a 来黄河沉积物对长江口外沉积过程的影响^[36]。对于长江流域的古洪水研究,有人利用水下三角洲地区钻孔资料和历史文献资料,分别对应了历史时期的几次大洪水,并对

全新世古洪水进行了判别,但判别的有效替代指标尚待进一步挖掘^[37]。不仅如此,由于洪水行洪期间会带来大量的流域有机质,根据沉积物粒度、TOC/TN特征也可以指示洪水事件沉积^[38]。

相比来说,国内对于河流洪水沉积的研究相对较多,概因陆上实施工作相对河口三角洲较为容易,河流古洪水沉积在沉积层理、沉积体形状、颜色等沉积构造和粒度、分选性、矿物组合等沉积结构方面具有不同之处^[39-43]。

3 洪水沉积判别标志

3.1 考古学的证据

人类的起源与发展都与江河湖海有密切的联系,江河湖海的灾害性事件常常会严重影响人类的生产与生活。在洪水泛滥过后,往往能够形成洪水发生过的地质遗迹,如在古文物上会留下洪水泛滥的痕迹。更有甚者,洪水暴发形成灾难性事件,造成某地区人类的大规模灭亡、居住地迁移,形成一定时间的文化中断。

3.2 沉积学证据

洪水期形成的洪水沉积物研究是揭示古洪水信息的重要方法。由于洪水沉积物的来源与河流两岸的坡积物存在来源不同,因此,洪水沉积物的颜色、构造、粒度、磁化率和孢粉等物理、化学、生物特征都与平水期沉积物不同。①如在构造方面,洪水往往能够形成平流沉积,它是在洪水期河流两岸达到最高水位且流速近乎为零的状态下逐渐沉积下来的,具有独特的沉积特征,重矿物组合规律可以有助于识别古洪水平流沉积。由于平流沉积物是在流速极低时形成的,因此,与正常河流沉积物相比,平流沉积物中的重矿物含量偏低、且重矿物的种类较单调。②磁化率的大小也可以反映沉积环境的变化,当洪水发生时会将表层土壤中丰富的含铁矿物被带入河流,会使河流沉积物的磁化率有所上升,但是在低洼地区因为洪水长期淤积而成还原环境又会使磁化率变低。③在沉积物粒度判别上,从粒度参数图可以看出,悬移质成分多,在偏态系数上可能较多地出现负偏现象,在累积概率曲线图上也具有多悬移质的特征。

4 问题与建议

(1)开展古洪水研究的流域还不多。在中国古洪水研究主要集中在黄河流域和长江流域的部分地区,而中国河流众多,南方地区更是如此,但在大部分地区尚未见古洪水的研究报道,对于河口三角洲的洪水沉积研究更少。河口三角洲地区储存了大量洪水信息,而且不易受到人类和陆表环境的影响,更容易准确揭示洪水历史信息。

(2)对古洪水沉积物的识别还存在困难。由于流域水文条件复杂,河道变化较大等原因,古洪水沉积的识别较困难,尽管在这方面已有不少有意义的突破,但在实际工作中还是不尽人意。在河口三角洲地区尽管会存在比较连续稳定的洪水沉积信息,但是海陆相互作用造成洪水沉积识别的有效替代指标较难寻找,许多参数变化具有多解性。

(3)对古洪水系列和沉积模式的建立尚有难度。对于一条河流,通过现有的研究方法,是否能够较全面地揭示古洪水发生次数的准确信息还是一个未知数。从目前的研究看,同一条河流之于不同研究者或不同研究方法所建立的古洪水系列并不具有很好的一致性。对河口三角洲洪水系列的研究和建立将是对河流洪水系列的一种补充和佐证。

(4)目前的研究分辨率不太高,对古洪水和气候变化之间的关系研究也不多。由于河口三角洲地区是流域末端,本身到达河口地区的沉积物有限,沉积速率相比来说会较低,因此,对洪水沉积层的剥离和分析就需要高分辨率的手段和方法,从而达到洪水沉积层的判别和分析,进而研究古洪水与气候变化之间的关系。

(5)影响事件层保存潜力的主要因素有纯粹的沉积速率、生物成因的混合速率以及机械改造的规模。河口三角洲地区能够保存长时间序列的沉积记录,当然也包括洪水沉积信息。但在河口地区存在海陆相互作用的多环境影响,外界环境对沉积层的侵蚀改造将会是进行洪水事件研究的一大障碍,因此,建议进行该研究选择的区域应该是沉积环境稳定、沉积层连续的地方。

参考文献:

- [1] Alongi D M, Christoffersen P, Tirendi F, et al. The influence of freshwater and material export on sedimentary facies and benthic processes within the Fly Delta and adjacent Gulf of Papua (Papua New Guinea)[J]. *Continental Shelf Research*, 1992, 12(2): 287-326.
- [2] Boyd R, Dalrymple R W, Zaitlin B A. Classification of coastal sedimentary environments[J]. *Sedimentary Geology*, 1992, 80: 139-150.
- [3] Shanley K W, McCabe P J, Hettinger R D. Tidal influence in Cretaceous fluvial strata from Utah, USA: a key to sequence stratigraphic interpretation[J]. *Sedimentology*, 1992, 39(5): 905-930.
- [4] Woodroffe C D. Deltaic and estuarine environments and their Late Quaternary dynamics on the Sunda and Sahul shelves [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, 18(4): 393-413.
- [5] Dalrymple R W, Choi K. Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation[J]. *Earth Science Reviews*, 2007, 81(3-4): 135-174.
- [6] Amorosi A, Dinelli E, Rossi V, et al. Late Quaternary palaeoenvironmental evolution of the Adriatic coastal plain and the onset of Po River Delta[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, 268(1-2): 80-90.
- [7] Gouw M J P, Autin W J. Alluvial architecture of the Holocene Lower Mississippi Valley (USA) and a comparison with the Rhine-Meuse delta (The Netherlands)[J]. *Sedimentary Geology*, 2008, 204(3-4): 106-121.
- [8] Kochel R C, Baker V R. Paleoflood hydrology [J]. *Science*, 1982, 215: 353-361.
- [9] Ely L L, Enzel Y. A 5 000 year record of extreme floods and climate change in the southwestern United States [J]. *Science*, 1993, 262: 410-412.
- [10] Knox J C. Large increases in flood magnitude in response to modest changes in climate [J]. *Nature*, 1993, 361: 430-432.
- [11] Kerr R A. A Victim of the Black Sea Flood Found[J]. *Science*, 2000, 289: 2 021-2 022.
- [12] Brown S L, Bierman P R, Andrea L, et al. 10000 yr record of extreme hydrologic events[J]. *Geology*, 2000, 28(4): 335-338.
- [13] Benito G, Sopenab A, Snchez Moyac Y, et al. Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2003, 22(15-17): 1 737-1 756.
- [14] Baker V R. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects[J]. *Geomorphology*, 2008, 101, (1-2): 1-13.
- [15] Wheatcroft R A, Sommerfield C K, Drake D E, et al. Rapid and widespread dispersal of flood sediment on the northern California margin [J]. *Geology*, 1997, 25(2): 163.
- [16] Wheatcroft R A, Borgeld J C. Oceanic flood deposits on the northern California shelf: large-scale distribution and small-scale physical properties [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, 20(16): 2 163-2 190.
- [17] Sommerfield C K, Nittrouer C A, Alexander C R. ⁷Be as a tracer of flood sedimentation on the northern California continental margin[J]. *Continental Shelf Research*, 1999, 19(3): 335-361.
- [18] Allison M A, Kineke G C, Gordon E S, et al. Development and reworking of a seasonal flood deposit on the inner continental shelf off the Atchafalaya River[J]. *Continental Shelf Research*, 2000, 20(16): 2 267-2 294.
- [19] Boldrin A, Langone L, Miserocchi S, et al. Po River plume on the Adriatic continental shelf: Dispersion and sedimentation of dissolved and suspended matter during different river discharge rates[J]. *Marine Geology*, 2005, 222: 135-158.
- [20] Mosseman S. Delta of the Yangtze Delta[J]. *Geography Magazine*, 1877, 1(1): 25-35.
- [21] 闵秋宝. 上海地区新仙女木期的气候与环境[J]. *上海地质*, 1997, 1: 18-21.
- [22] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 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, 21: 2 233-2 238.
- [23] 范代读, 陈美发. 潮汐周期在潮坪沉积中的记录[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2002, 30(3): 281-285.
- [24] 沈焕庭. 长江河口物质通量[M]. 北京: 海洋出版社, 2001.
- [25] 贺松林, 王盼成. 长江大通站水沙过程的基本特征 II. 输沙过程分析[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2004(2): 81-86.
- [26] 王盼成, 贺松林. 长江大通站水沙过程的基本特征 I. 径流过程分析[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2004(2): 72-80.
- [27] 应 铭, 李九发, 万新宁, 等. 长江大通站输沙量时间序列分析研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(1): 83-87.
- [28] Fan D J, Qi H Y, Sun X X, et al. Annual lamination and its sedimentary implications in the Yangtze River delta inferred from High-resolution biogenic silica and sensitive grain-size records[J]. *Continental Shelf Research*, 2011, 31: 129-137.
- [29] 范德江, 齐红艳, 孙晓霞, 等. 长江水下三角洲现代沉积速率厘定的新途径: 季节性 Bio-Si 记录[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(5): 1 025-1 028.
- [30] 郭志刚, 杨作升, 范德江, 等. 长江口泥质区的季节性沉积

- 效应[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 591-597.
- [31] 王 昕, 石学法, 刘升发, 等. 近百年来长江口外泥质区高分辨率的沉积记录及影响因素探讨[J]. 沉积学报, 2012, 30(2): 65-74.
- [32] 程和琴, 李茂田. 1998 长江全流域特大洪水期河口区床面泥沙运动特征[J]. 泥沙研究, 2002(1): 6-42.
- [33] 巩彩兰, 恽才兴. 长江河口洪水造床作用[J]. 海洋工程, 2002, 20(3): 94-97.
- [34] Hsu S C, Lin F J. Elemental characteristics of surface suspended particulates off the Changjiang estuary during the 1998 flood [J]. Journal of Marine Systems, 2010, 81: 323-334.
- [35] Hao Y C, Guo Z G, Yang Z S, et al. Tracking historical lead pollution in the coastal area adjacent to the Yangtze River Estuary using lead isotopic compositions [J]. Environmental Pollution, 2008, 156(3): 1 325-1 331.
- [36] Liu J, Saito Y, Kong X H, et al. Sedimentary record of environmental evolution off the Yangtze River estuary, East China Sea, during the last ~13,000 years, with special reference to the influence of the Yellow River on the Yangtze River delta during the last 600 years[J]. Quaternary Science Reviews, 2010, 29: 2 424-2 438.
- [37] 王敏杰. 长江流域全新世古洪水研究: 来自水下三角洲的沉积记录[D]. 上海: 同济大学, 2011.
- [38] 展 望, 杨守业, 刘晓理, 等. 长江下游近代洪水事件重建的新证据[J]. 科学通报, 2010, 55(19): 1 908-1 913.
- [39] 杨达源, 谢悦波. 古洪水平流沉积[J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 29-32.
- [40] 杨晓燕, 夏正楷, 崔之久. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征[J]. 第四纪研究, 2005, 25(1): 80-85.
- [41] 叶先仁, 任建国, 陶明信, 等. 事件沉积及其周期性的氮同位素指示[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 640-647.
- [42] 袁胜元, 赵新军, 李长安. 古洪水事件的判别标志[J]. 地质科技情报, 2006, 25(4): 55-58.
- [43] 谢远云, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原近 3 000 年来古洪水事件的沉积记录[J]. 地理学报, 2007, 27(1): 81-84.

PROBLEMS AND SUGGESTIONS FOR STUDYING FLOOD DEPOSITS IN ESTUARINE AND DELTAIC AREAS

HU Gang

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: To study flood deposits in modern estuarine and deltaic areas is not only a contribution to the recognition of the paleoflood events in the geologic period, but also an endeavor to understand more about density current in the offshore area. In this paper, we briefed the latest progress of flood event study over the world and discussed the depositional proxies which may be used for identifying paleoflooding events. Problems were raised for further study. It is suggested that high resolution research of flooding events and their deposits be launched in a relatively stable deltaic area with low sedimentation rate.

Key words: estuary delta; flood; event beds