

长江下游南京-镇江河段河漫滩粒度特征

张凌华, 张振克, 符跃鑫, 陈影影, 蒋大亮, 张志荣, 蒋松柳

(南京大学地理与海洋科学学院/南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

摘要:分析长江南京-镇江河段3个现代河漫滩沉积孔上部100 cm的粒度特征,探讨宁镇河段现代河漫滩的沉积环境。结果表明:GB孔、ZR孔和ZH孔沉积水动力较小,沉积物颗粒较细,均以粉砂为主;ZR孔的砂含量最多、沉积粒径最大、粒径和砂含量由底层向表层增加;ZH孔分选系数呈明显的阶段性特征。研究认为:河流比降、河势、分汊河床演变以及滩面植被是影响宁镇河段河漫滩粒度特征的重要因素。

关键词:河漫滩;粒度特征;长江下游;沉积环境

中图分类号:K903 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2015)09-1183-08

河漫滩沉积是重要的河流地貌类型和沉积单元,河漫滩形成发育过程、河岸冲淤变化是河流地貌研究的重要内容^[1,2]。洪水是影响河漫滩侵蚀和堆积过程的重要因素,在美国密西西比河和英国欧塞河河漫滩的研究表明,洪水事件往往在河漫滩上形成大量的洪水沉积物,是河漫滩垂向加积的重要贡献者^[1,3],而在澳大利亚西南部河流的研究则表明洪水事件会引起河漫滩沉积的侵蚀^[4]。粒度分析是沉积环境研究的重要方法,粒度特征是洪水沉积研究的重要内容^[5-7]。近十几年来,河漫滩沉积的粒度特征及其指示的洪水信息逐渐受到重视^[8-12],探讨河漫滩沉积的粒度特征有助于进一步研究河漫滩沉积对洪水事件的响应机制。国内研究者探讨了黄河流域^[5,7,12]、长江上游^[13]、长江中游及其支流^[14,15]河漫滩沉积的粒度特征,在广泛发育河漫滩沉积的长江下游地区,相关的研究则比较少。

本文选择长江南京-镇江段的3个河漫滩钻孔岩芯作为研究对象,对河漫滩沉积粒度特征进行了系统的研究,长江南京-镇江段位于长江下游,受河口区潮流界以上顶托作用的影响,该河段河漫滩沉积发育。研究南京-镇江河段3个河漫滩沉积粒度特征可以加深对长江河口区感潮河段在潮流顶托作用下的河漫滩沉积粒度特征、空间差异变化及

其相关影响因素的认识,也有助于对长江等大河河口地区洪水事件的河漫滩沉积记录的理解。

1 区域概况和采样分析

长江下游南京-镇江河段(简称宁镇河段)位于江苏境内(图1),为长江下游的感潮河段,河水水流受潮水顶托影响^[16]。宁镇河段河谷除少数的石灰岩、砂岩构成的岸段外,大部分为新生代第四纪松散沉积层组成。宁镇河段全长约150 km,由于该河段水沙输移量大、河床比降小、江面宽等特点,在感潮河段潮流顶托作用下河床和河漫滩淤积过程加强,发育了新生洲、新济洲、江心洲、潜洲、八卦洲、世业洲和畅洲等一系列江心洲与浅滩^[17,18]。宁镇河段是长江下游河道弯曲、沙洲众多、河床冲淤变化最活跃的河段,河势演化剧烈^[19]。

2012年4月,利用岩芯管长100 cm的重力采样器在长江南京-镇江段采集了3个100 cm的现代河漫滩沉积孔,分别命名为GB孔、ZR孔和ZH孔。GB孔位于长江大桥北桥头堡下游的河流左岸的河漫滩上(32°8'N, 118°44'58"E),河道比较顺直,该采样点附近河漫滩发育,多是最近50 a来不断淤涨的河漫滩;ZR孔位于世业洲洲尾的龙门口一带(32°13'45"N, 119°23'41"E),采样点距河床较近,有石块护岸,滩面边缘有柳树和芦苇生长;ZH孔位

收稿日期:2014-03-26;修订日期:2014-06-20

基金项目:国家自然科学基金项目(41371024)、国家理科人才培养基地项目(J1103408)资助。

作者简介:张凌华(1986-),女,四川安岳人,博士研究生,主要从事河流沉积环境研究。E-mail:zhanglinghua86@sina.com

通讯作者:张振克,教授。E-mail:zhangzk@nju.edu.cn

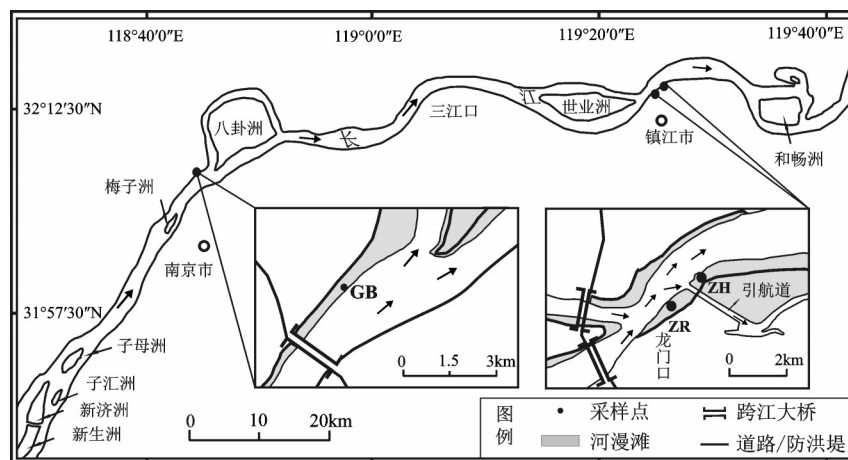


图1 研究区及采样位置

Fig.1 Sketch of study area and sampling sites

于ZR孔下游约1 500 m处,ZH孔西面为镇江港引航道,附近河漫滩是最近十几年来快速淤涨形成,随着河漫滩的不断淤高,芦苇快速生长,采样点位于芦苇中心区域(32°14'35.64"N,119°24'39.71"E)。3个钻孔均按2 cm间隔分样,共获得150个样品用于室内粒度分析。

将每个沉积物样品充分混合,取少量样品(约1 g)放入10 ml的烧杯,加蒸馏水用玻璃棒搅拌后静置24 h,然后加入浓度为1%的六偏磷酸钠溶液,浸泡24 h,使沉积物颗粒充分分散。利用英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000型激光粒度仪进行粒度分析,粒径测试范围为0.02~2 000 μm ,粒径分辨率为0.1 ϕ ,按1/4 ϕ 间隔导出粒度分布数据。重复测量相对误差小于2%。粒度参数的计算采用布洛特(Blott)等提供的GRADISTAT软件^[20],并根据Logarithmic Method of Moments的计算公式,计算了GB、ZR和ZH孔上部100 cm的50个沉积样品的平均粒径、分选系数、偏态和峰态。

2 分析结果

2.1 河漫滩沉积物沉积特征和粒度参数特征

本文研究的3个钻孔岩芯沉积物暗棕色(GB孔、ZR孔)或者灰色(ZH孔),由于河漫滩地表芦苇和杂草丛生,采集的钻孔岩芯中含有较多的有机质碎屑和根系,因此,钻孔获得岩芯的水平层理并不显著;但在GB孔附近河床边缘冲刷的剖面露头中可看到清楚的河漫滩沉积特征:有明显的水平层理,层厚1~2 mm,主要是砂质粉砂和粘土质粉砂互

层,也可以看到明显的细砂层,厚度在3~5 mm(图2)。在野外观测到的砂层是典型的洪水事件的产物,代表洪水在河漫滩上流速最大时候的沉积。

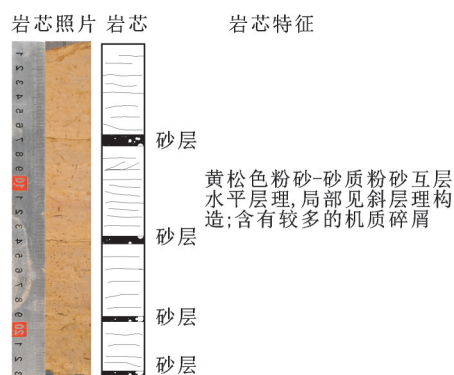


图2 GB孔附近自然剖面的沉积特征

Fig.2 Sedimentary feature of the outcrop close to the GB Core

3个钻孔沉积物粒度以粉砂质为主(图3),其中GB孔粒度组成为粉砂(74.41%)>粘土(17.65%)>砂(7.95%);ZR孔粒度组成为粉砂(63.66%)>砂(24.91%)>粘土(11.43%);ZH孔粒度组成为粉砂(76.14%)>粘土(17.44%)>砂(6.42%)。按照粒度组成的三角分类法(Folk, 1970),GB和ZH孔以粉砂为主,部分为砂质粉砂,而ZR孔主要以砂质粉砂为主,部分为粉砂,还含有少量的粉砂质砂(图4)。在垂向上,3孔沉积物粘土含量比较稳定,在10%~20%间,GB孔和ZH孔砂含量较少(低于20%),变幅较小,ZR孔中的砂含量由底层到表层呈增加趋

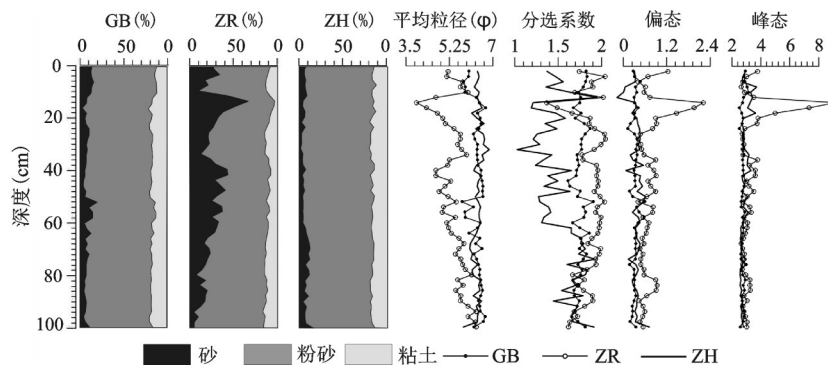


图3 GB、ZR、ZH孔沉积物粒度分布

Fig.3 Distribution of sedimentary grain size in GB Core, ZR Core and ZH Core

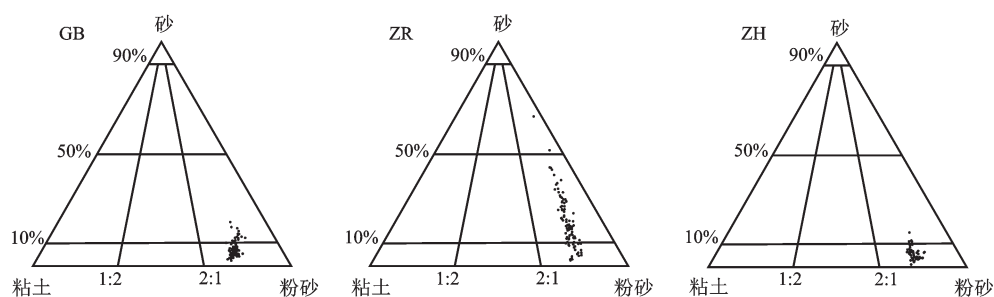


图4 GB、ZR、ZH孔沉积物

Fig.4 Triangular diagram of sediments of GB Core, ZR Core and ZH Core

势,最大砂含量66.73%。

图3所示,GB孔平均粒径在5.75~6.71 ϕ 间,均值为6.36 ϕ ;ZH孔平均粒径在5.81~6.86 ϕ 间,均值约为6.39 ϕ ;ZR孔平均粒径在3.92~6.33 ϕ 之间,均值为5.44 ϕ ,明显比ZH孔和GB孔粗,GB孔和ZH孔平均粒径在垂向上变幅较小,ZR孔平均粒径由底层到表层逐渐变粗。GB孔和ZH孔的分选系数相似,均值分别是1.75和1.71;而ZR孔分选系数在1.37~2.05之间,均值为1.86,分选性较差;ZH沉积物的分选性具有明显的阶段性特征:0~60 cm的分选系数明显小于60~100 cm的分选系数。GB孔的偏态在0.12~0.6间,ZH孔的偏态在-0.17~0.72间,而ZR孔偏态最大,在0.41~2.21间;GB孔和ZH孔偏态特征相似,在垂向上均保持稳定,ZR孔偏态在18 cm附近明显增大。GB孔的峰态在2.52~3.14间,均值2.77;ZR孔的峰态在2.66~9.14之间,均值为3.31;ZH孔的峰态在2.58~3.72间,均值2.87;GB孔和ZH孔峰态在垂向上均保持稳定,ZR孔峰态在18 cm附近明显增大。

综上所述,可以进一步总结出GB孔、ZR孔和ZH孔沉积物粒度变化的特点:① 宁镇河段河漫

滩沉积物平均粒径较小,沉积物中的粘土含量比较稳定,含量为11.43%~17.65%。② GB孔、ZR孔和ZH孔中,以ZR孔平均粒径和砂含量最大,其最大砂含量约为66.73%。③ 在垂向上,GB孔和ZR孔各项参数在各孔内的分布特征基本一致,其中ZR孔的砂含量和平均粒径由底层向表层增加,而ZH孔沉积物分选系数与其他粒度参数分布特征不一致,呈明显的阶段性特征。

2.2 沉积物概率累积曲线特征和C-M图

为了更好地反映GB孔、ZR孔和ZH孔的沉积环境和沉积水动力条件,判断其沉积环境特征,在3个沉积孔中选择具有代表性的沉积物样品绘制概率累积曲线图和C-M图。概率累积曲线可以反映沉积物的搬运方式,如图5所示,3个钻孔沉积物均由跃移组分和悬移组分组成,且各组分呈现多段式的特征。GB孔沉积物悬移组分的粗截点在3.5和3.8 ϕ 左右,跃移组分含量约5%,悬移组分约占95%。ZR孔悬移组分的细截点分别在2.5、3.0和3.5 ϕ 左右,跃移组分含量分别为5%,19%和4%,悬移组分占81%以上。ZH孔沉积物悬移组分的细截点在3.2和2.8 ϕ 左右,跃移组分的含量约

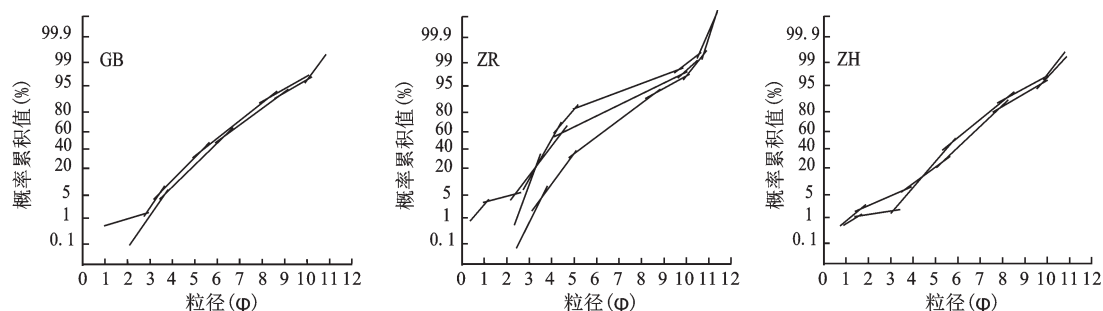


图5 GB、ZR、ZH孔沉积物典型样品概率累积曲线

Fig.5 Cumulative probability curves of typical sediment samples of GB Core, ZR Core and ZH Core

5%,悬移组分约占95%以上。

C-M图是研究搬运营力的最大动能与平均动能关系的图像,以微米为单位在双对数纵横坐标纸上投点,分别表示营力的最大动能与平均动能。图6中,GB孔投影点主要分布在静水悬浮沉积区VIII,少量分布在递变悬浮沉积VII区,部分分布在均匀悬浮沉积VI区(跳跃沉积);ZH孔投影点绝大部分分布在静水悬浮沉积区VIII,少量分布在均匀悬浮沉积VI区(跳跃沉积);ZR孔投影点的分布范围较广,主要分布在递变悬浮沉积VII区和均匀悬浮沉积VI区(跳跃沉积),少量分布在静水悬浮沉积区VIII。

通过对GB孔、ZR孔和ZH孔沉积物概率累积曲线图和C-M图的分析可以看出:宁镇河段河漫滩沉积水动力较弱,3个钻孔中ZR孔位置河漫滩的沉积水动力强于GB孔和ZH孔。

3 讨论

前人大量研究表明:在河流上中游的河漫滩沉积粒度变化显著,粗颗粒的沉积层对应于洪水事件^[8,11,13]。本文研究发现,在长江河口地区南京-

镇江段的3个河漫滩沉积岩芯记录的粒度组成相对稳定,以粉砂为主,对洪水事件的响应似乎并不明显。考虑到本文设计的采样间距为2 cm,包含了河漫滩露头剖面中的细砂层(3~5 mm)或多个粗细交互的薄沉积层(1~2 mm),因此,推断采样间隔对河漫滩粒度的分析结果有较大影响,较大采样间距采集的沉积物样品虽然反映了河漫滩沉积的总体特点,但对河漫滩沉积薄层交替的微小变化以及薄砂层的反映并不明显。所以,开展河口区河漫滩沉积的研究应该重视采样间距的设计,尽量与沉积层的厚度一致。采样间距的缩小、加密,可以揭示河漫滩沉积过程中更多的沉积环境变化信息和流域洪水事件。本文涉及的3个钻孔岩芯的沉积物粒度仍有一些共性和个性差异特征,有必要做进一步的分析和讨论。

3.1 河流比降对河漫滩沉积粒度的影响

沉积物粒度是衡量沉积介质能量和沉积环境能量的重要指标,一般而言,高能沉积动力环境下形成的沉积物粒度较粗,而低能沉积动力环境下形成的沉积物粒度较细^[21]。分析表明,宁镇河段现代河漫滩沉积平均粒径较小,沉积水动力总体较

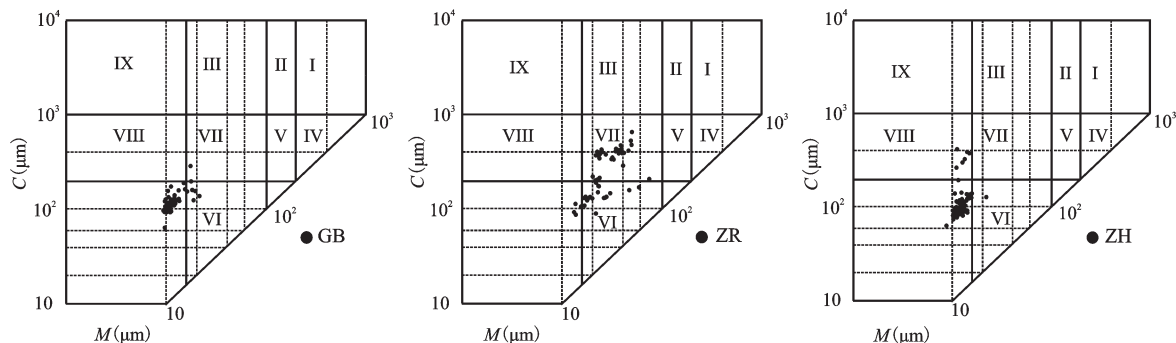


图6 GB、ZR、ZH孔沉积物C-M

Fig.6 C-M maps of typical sediment samples of GB Core, ZR Core and ZH Core

弱。长江上游位于中国第一、二级阶梯,地形坡度大,水动力强,水流中携带大量粗颗粒沉积物,进入第三级阶梯后,由于地势平缓,河流比降小。宁镇河段沉积水动力环境与长江下游河流比降有密不可分的联系。据统计,长江南京至镇江段1980~2002年高潮期间的平均比降为0.085 44(‰),低潮期间平均比降为0.142 27(‰)^[22]。因此在宁镇河段,水流平缓,河流携带主要是偏细颗粒物质。研究表明,1984年大洪水在长江上游重庆段中坝遗址处形成洪水漫滩沉积,其平均粒径为4.33 ϕ ^[23],2004年洪水在玉溪遗址处形成洪水漫滩沉积,其平均粒径为4.41 ϕ ^[24]。进入长江中游段,河漫滩沉积物颗粒变细,在长江宜昌段,1998年大洪水时期形成的漫滩沉积平均粒径为5.15 ϕ ^[13],而对长江中游1998、1999和2002年洪水沉积的调查也发现,漫滩洪水沉积的颗粒较细且十分均匀,以粉细砂和粘土组成的亚砂土为主^[14]。长江口泥质区沉积物颗粒更细,平均粒径为6.82 ϕ ,沉积物组分以粉砂为主,其次为粘土^[25],与本研究区河漫滩沉积物的粒度特征相似。可见,与流域地形相关的河流比降是影响河漫滩沉积物组成的重要因素。长江宁镇河段位于长江河口区近口段,地势平坦,河流比降小,河漫滩沉积水动力较弱,形成的河漫滩沉积颗粒较细。

3.2 河势对河漫滩沉积粒度特征的影响

研究表明,沉积物粒径大小与水流动力条件密切相关^[26,27]。从河漫滩粒度特征反映的动力信息看,ZR孔沉积水动力大于ZH孔,这主要是受河势影响。世业洲汉道左、右汉汇合后,主流在龙门口一带顶冲征润州上形成的沉积物^[28],ZR孔采样点在镇江河段世业洲下游龙门口附近(见图1),受汇流顶冲影响,沉积水动力较大,洪水期在河漫滩上形成的沉积物砂含量较多。ZH孔位于ZR孔下游约1 500 m,其沉积水动力较ZR孔小,这主要是受其西侧镇江港引航道分流的影响。根据河流动能计算公式 $E=1/2 mv^2$ 可知,河流动能(E)与流量(m)和流速(v)的平方呈正比,流量越大,河水动能越大^[29]。长江在世业洲洲尾汇流后,在镇江港引航道处再次分流,使得ZH孔来水量较ZR孔减少,沉积水动力较ZR孔减弱,形成的沉积物粒径较小。

3.3 分汊河床演变对河漫滩沉积滩粒度组成的影响

在3个沉积孔中,ZR孔沉积物中的砂含量由底部往上部明显增高,显示了沉积动力的增强,GB

孔和ZH孔沉积物中的砂含量则相对平稳,显示了相对稳定的沉积水动力环境。ZR孔位于龙门口一带,为世业洲下方分汊河道汇流处。世业洲河段为准稳定江心洲的分汊河型,主泓有摆动^[30]。近百年来世业洲右汉一直保持主汉地位,1975年后,汉道的形势发生了缓慢的变化:1976年以前左右汉分流比稳定在20%以内,1997年为26.4%,2010年为38.5%,随着左兴右衰的发展,汉道平面形态变化加剧,两汉出口汇流的龙门口附近动力增强,冲刷加剧^[31]。ZR孔位于龙门口,其洪水期沉积水动力随着冲刷的加剧而增强,沉积物中的砂含量随之增加。ZH孔在世业洲下游约4 km的右岸,其沉积水动力受分汊河床演变的影响较小;GB孔位于浦口-下关河流束窄段,近40 a来,该河段河势基本稳定^[19],故GB孔河漫滩沉积水动力环境也比较稳定。

3.4 滩面植被对河漫滩沉积分选性的影响

GB孔、ZR孔和ZH孔沉积物的分选系数分别在1.61~1.91、1.37~2.05、1.51~1.88之间,分选性均为较差或差,与汉江下游高河漫滩沉积物分选性特征基本一致^[15]。主要是由于洪水期含沙量较高的洪水在河漫滩上流动过程中流速具有脉动性,使得粗细颗粒的泥沙交替沉积,形成薄层(1~2 mm)的粗、细交互层,因此,按2 cm间隔采集的河漫滩沉积物的粒度分析结果显示分选性较差。

3个河漫滩沉积孔中仅ZH孔分选系数的变化特征在垂向上与偏态和峰态的变化特征不一致,可以明显的分为上段(0~60 cm)和下段(60~100 cm),上段平均分选系数为1.66,下段平均分选系数为1.79,上段沉积物分选性较下段分选性好,推测这主要是受植被的影响。植被具有明显的消能作用^[32,33],伴随河漫滩的淤高,采样点生长了茂密的芦苇,植物往往造成稳定的弱能环境^[32],ZH孔位置河漫滩芦苇丛的核心地带,携带泥沙的洪水水流在到达芦苇丛前缘时,由于芦苇的阻挡使流速减缓,水流挟带能力减弱,部分相对较粗的颗粒物质在芦苇边缘带,而芦苇核心区域洪水携带的是更细颗粒的物质,形成的河漫滩沉积物会比较细而均匀。ZH孔河漫滩下部分选性略差,可能是芦苇尚未覆盖,造成粗细颗粒的泥沙沉积在采样点附近。因而,ZH孔分选性的变化,受采样点附近芦苇群落生长发育和覆盖度变化过程的影响。

3.5 宁镇河段河漫滩沉积特征对古洪水研究启示

近 10 a 来,中国古洪水沉积与环境研究十分活跃,沉积物粒度特征被广泛用于现代和古代洪水事件的识别^[23,34,35]。许多研究表明,在河漫滩上的洪水漫滩初期,水动力较强,随着水面拓宽,水流速度变缓,洪水挟带的泥沙快速沉积,形成粒度相对较粗的沉积层^[36,37],因此,河漫滩沉积中的粗颗粒物可视作河流古洪水事件的沉积证据。宁镇河段不同位置河漫滩沉积物粒度特征具有明显的差异性,其沉积物粒度特征除了受洪水事件的影响外,还受河漫滩地形、河势、河床演变以及河漫滩植被等因素的影响,洪水期的沉积显示出多样性和复杂性。以 ZR 孔为例,受河势特征影响,ZR 孔沉积物具有较多的砂含量;受分汊河床演变影响,分汊汇流造成的动力增强,使得沉积物中砂含量不断增加。因此,河漫滩沉积的粒度不仅与洪水的强度有关,也与沉积环境有联系,探讨河漫滩沉积记录的洪水信息,在研究粒度、沉积年代的基础上,应重视探索河漫滩沉积物形成过程中的沉积环境,更好地揭示河流的洪水事件和环境变化。

4 结 论

通过对长江宁镇河段现 3 个 100 cm 现代河漫滩钻孔沉积物的粒度特征进行分析,可以得出以下结论:河漫滩粒度的变化不仅与洪水的强度有关,也与沉积环境有关,探索河漫滩记录的洪水信息应重视沉积环境的研究。

1) 宁镇河段河漫滩沉积水动力较弱,沉积物粒径偏细,沉积物中的粘土含量比较稳定,含量为 11.43%~17.65%;相对来说,3 孔中以 ZR 孔附近沉积水动力最大,形成的沉积物平均粒径和砂含量最大,其最大砂含量为 66.73%;就各项粒度参数的垂向分布而言,GB 孔和 ZR 孔各项参数在各孔内的分布特征基本一致,其中 ZR 孔的砂含量和平均粒径由底层向表层增加,而 ZH 孔沉积物分选系数与其他粒度参数分布特征不一致,呈明显的阶段性特征。

2) 宁镇河段河漫滩露头沉积记录以薄层的粗(含砂的粉砂)和细(含粘土的粉砂)交互为主,局部含有薄的细砂层,反映了河漫滩上洪水流过期间的时强时弱的脉动性,细砂层是洪水强度最大时候的沉积;此外,河流比降、河势、分汊河床演变以及滩面植被是影响宁镇河段河漫滩沉积粒度

特征的重要因素。受宁镇河段比降小的影响,河漫滩沉积平均粒径较小。ZR 孔处于分汊河道的汇流冲刷处,沉积水动力较强,形成的沉积物颗粒较粗;受引航道分流影响,ZH 孔河漫滩洪水期来水量较 ZR 孔少,沉积水动力较 ZR 孔弱,形成的沉积物粒径较 ZR 孔小。受世业洲左右汊道左兴右衰的发展,ZR 孔附近冲刷加剧,沉积动力增强,形成的沉积物粒径由底层到表层增大;ZH 孔位于世业洲下游约 4 km 的右岸,其沉积水动力及沉积物粒度受分汊河床演变的影响较小;GB 孔位于稳定河段,沉积水动力变幅小,沉积物粒度相对稳定。ZH 孔上段沉积时期的芦苇面积较下段沉积时期显著扩大,植物对沉积物的分选作用相应增强,使得 ZH 孔 0~60 cm 的沉积物分选性好于 60~100 cm 的分选性。

致 谢:参加野外调研和采样的有李升峰副教授以及杨海飞、张云峰、徐华夏、杨梦皎、曾琳、王鑫等同学,在此一并表示谢忱。

参考文献:

- [1] Knox J C. Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: Natural versus human accelerated[J]. *Geomorphology*, 2006, **79**(3): 286-310.
- [2] Berner Z A, Bleeck-Schmidt S, Stüben D, et al. Floodplain deposits: A geochemical archive of flood history—A case study on the River Rhine, Germany[J]. *Applied Geochemistry*, 2012, **27**(3): 543-561.
- [3] Owens P N, Walling D E. Changes in sediment sources and floodplain deposition rates in the catchment of the River Tweed, Scotland, over the last 100 years: the impact of climate and land use change[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2002, **27**(4): 403-423.
- [4] Nanson G C. Episodes of vertical accretion and catastrophic stripping: a model of disequilibrium flood-plain development[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1986, **97**(12): 1467-1475.
- [5] Yang D, Yu G, Xie Y, et al. Sedimentary records of large Holocene floods from the middle reaches of the Yellow River, China[J]. *Geomorphology*, 2000, **33**(1): 73-88.
- [6] Benito G, Sánchez-Moya Y, Sopeña A. Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, Central Spain[J]. *Sedimentary Geology*, 2003, **157**(1): 107-132.
- [7] Huang C C, Pang J, Zha X, et al. Impact of monsoonal climatic change on Holocene overbank flooding along Sushui River, middle reach of the Yellow River, China[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2007, **26**(17): 2247-2264.
- [8] Knox J C, Daniels J M. Watered scale and the stratigraphic record

- of large floods[M]//House P K, Webb R H, Baker V R, et al. Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology. Water Science and Application Series, vol. 5. Washington, DC, American Geophysical Union, 2002: 237-255.
- [9] Vis G J, Kasse C, Kroon D, et al. Late Holocene sedimentary changes in floodplain and shelf environments of the Tagus River (Portugal) [J]. Proceedings of the Geologists Association, 2010, **121**(2): 203-217.
- [10] 王 军, 高红山, 潘保田, 等. 早全新世沙沟河古洪水沉积及其对气候变化的响应[J]. 地理科学, 2010, **30**(6): 943-949.
- [11] 赵景波, 王长燕. 兰州黄河高漫滩沉积与洪水变化研究[J]. 地理科学, 2009, (3): 409-414.
- [12] 赵景波, 蔡晓薇, 王长燕. 西安高陵渭河近 120 年来的洪水演变[J]. 地理科学, 2007, **27**(2): 225-230.
- [13] 葛兆帅, 杨达源, 李徐生, 等. 晚更新世晚期以来的长江上游古洪水记录[J]. 第四纪研究, 2004, **24**(5): 555-560.
- [14] 李长安, 张玉芬. 长江中游洪水沉积特征与标志初步研究[J]. 水科学进展, 2004, **15**(4): 485-488.
- [15] 李长安, 张玉芬, 袁胜元, 等. 江汉平原洪水沉积物的粒度特征及环境意义——以 2005 年汉江大洪水为例[J]. 第四纪研究, 2009, **29**(3): 276-281.
- [16] 芮孝芳. 长江下游感潮河段大洪水和特大洪水的形成及趋势[J]. 水科学进展, 1996, (3): 38-42.
- [17] 何华春, 王 颖, 李书恒. 长江南京段历史洪水位追溯[J]. 地理学报, 2004, **59**(6): 938-947.
- [18] 张增发, 杭建国, 窦 臻. 长江镇扬河段世业洲汉道近期演变与整治对策[J]. 中国水利, 2011, (4): 32-34.
- [19] 黄家柱. 遥感与地理信息系统技术在长江下游江岸稳定性评价中的应用[J]. 地理科学, 1999, **19**(6): 521-524.
- [20] Blott S, Pye K. GRADISTAT: grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2001, **26**(11): 1237-1248.
- [21] H E 赖内克, I B 辛格. 陆源碎屑沉积环境[M]. 陈昌明, 李继亮, 译. 北京: 石油工业出版社, 1979: 111.
- [22] 姚允龙. 长江下游干流南京至镇江河段水面比降分析[J]. 水文, 2008, **28**(2): 78-79.
- [23] 朱 诚, 郑朝贵, 马春梅, 等. 长江三峡库区中坝遗址地层古洪水沉积判别研究[J]. 科学通报, 2005, **50**(20): 58-68.
- [24] 朱 诚, 马春梅, 王慧麟, 等. 长江三峡库区玉溪遗址 T0403 探方古洪水沉积特征研究[J]. 科学通报, 2008, **53**(S1): 1-16.
- [25] 张 瑞, 汪亚平, 高建华, 等. 长江口泥质区垂向沉积结构及其环境指示意义[J]. 海洋学报, 2008, **30**(2): 80-91.
- [26] 徐晓君, 杨世纶, 张 珍. 三峡水库蓄水以来长江中下游干流河床沉积物粒度变化的初步研究[J]. 地理科学, 2010, **30**(1): 103-107.
- [27] 陈志清. 黄河龙门-三门峡段河漫滩组成物质的粒度特征[J]. 地理学报, 1997, **52**(04): 22-29.
- [28] 陈宝冲. 长江镇扬河段六圩弯道凹岸建港的河流地貌条件分析[J]. 南京大学学报, 1991, **27**(4): 765-774.
- [29] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995: 47.
- [30] 黄建维, 高正荣. 长江近河口段河型规律与桥位选择[J]. 泥沙研究, 2007, (6): 1-7.
- [31] 张增发, 杭建国, 窦 臻. 长江镇扬河段世业洲汉道近期演变与整治对策[J]. 中国水利, 2011, (4): 32-34.
- [32] 杨世纶, 徐海根. 长江口长兴、横沙岛潮滩沉积特征及其影响机制[J]. 地理学报, 1994, **49**(5): 449-456.
- [33] 王爱军, 高 抒, 贾建军. 互花米草对江苏潮滩沉积和地貌演化的影响[J]. 海洋学报, 2006, **28**(1): 92-99.
- [34] 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): 1908-1913.
- [35] 李晓刚, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游白河段万年尺度洪水水文学研究[J]. 地理科学, 2012, **32**(8): 971-978.
- [36] 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.
- [37] 李长安, 黄俊华, 张玉芬, 等. 黄河上游末次冰盛期古洪水事件的初步研究[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, **27**(4): 456-458.

Grain-size Characteristics of Overbank Sediments in the Lower Reaches of the Changjiang River and Its Environmental Implication

ZHANG Ling-hua, ZHANG Zhen-ke, FU Yue-xin, CHEN Ying-ying,
JIANG Da-liang, ZHANG Zhi-rong, JIANG Song-liu

(Key Laboratory of Coast & Island Development of Ministry of Education/School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

Abstract: River floodplains are constructional features of the fluvial landscape, and the overbank deposition on floodplain represent the geomorphological and hydrological conditions of a certain river. This article analyzed grain-size characteristics of three 100 centimeters long overbank cores sampled at Nanjing-Zhenjiang Reach in

the downstream of the Changjiang River and its environment implication. The results indicate that the grain size results of overbank cores are not only controlled by the floods but also genesisly related to sedimentary environment. Both the floods intensity and the depositional environment of the overbank should be considered during the research of the overbank sediments feature and its influence factors. Along the Nanjing-Zhenjiang Reach, the grain size analysis of the three cores indicated the hydrodynamics on the overbank during the floods was weak and the whole cores were mainly composed of the fine sediments. The relatively stable part of the sediments was clay, varying between 11.43%-17.65%. Among the three cores, the ZR Core was located at the highest depositional hydrodynamics condition, the coarser grain size was obvious and the highest sand content was 66.73%. The vertical distributions of the grain size parameters of the GB Core were varied in the same way, and it was also the same in the ZR Core, furthermore, the sand contents increased upward in the ZR Core. The sorting of the ZH core had two obvious stages, the upper part with the much better sorting than the lower part of the core, which was different from the vertical distributions of the other parameters. Along the Nanjing-Zhenjiang Reach, the outcrop of the overbank sediments was composed of the thin layers of fine and coarser silts, corresponding with the alternation of weak and strong hydrodynamics during the flooding on the overbank. The obvious fine sand layers of the outcrop indicated the strongest period of flooding. The other factors influenced the grain size features included the following factors: the river channel gradient, river channel regimes, the evolution of the braided river and the vegetation conditions on the overbanks. As Nanjing-Zhenjiang Reach is located in the downstream of the Changjiang River with a small channel gradient, the water velocity on the overbank is slow resulting in the fine overbank sediments mostly composed of silts. The ZR Core is located at the junction of two channels where it is scoured. During the flooding time the hydrodynamics was strong on the sampling site and the deposition were composed of coarser sand, or sandy silts. The ZH Core is located in the downstream of the approach channel of the Zhenjiang Port. As the approach channel diverting the water, the runoff of the ZH Core is decreased, thus the depositional hydrodynamic is weak corresponding with the fine deposits. The sand contents increase upward in the ZR Core with the evolution of the braided river, while the grain size composition of ZH Core is little influenced for it is located in the downstream right bank 4 km from the braided river. In addition, as located at a stable straight reach, the grain size composition of the GB Core is stable. The ZH Core site is surrounded by the reed plant expanding rapidly in the past decade. In front of the reed, the deposition is quick trapped the coarser and fine sediments and in the central part of the reed covered overbank the deposition is mainly composed of fine sediments. So the variation of the sorting parameter of the ZH Core indicated the changes of the reed cover evolution in the past decade. Furthermore, thin-bedded strata is developed in the overbank located in the estuary of Changjiang River. During flood deposit research, the sampling interval should be designed in accordance with the deposit thickness of the thin bed.

Key words: overbank; grain size features; lower reaches of the Changjiang River; depositional environment