

# 湘江衡阳段河漫滩沉积物粒度特征与历史洪水事件

熊平生, 刘亮, 张楚楚, 郝丽婷, 黄临娟

(衡阳师范学院 地理与旅游学院, 湖南 衡阳 421002)

**摘要:** [目的] 分析河漫滩沉积记录的历史时期洪水信息, 揭示极端洪水事件和洪水发生规律, 为防洪减灾提供指导。[方法] 根据湘江河漫滩沉积剖面 91 个样品的粒度分析, 结合 AMS  $^{14}\text{C}$  精确测年, 分析湘江衡阳段河漫滩剖面粒度特征与洪水事件。[结果] ① 河漫滩沉积物粒度组成以粗粉砂、粗砂、极细砂为主。粒度参数显示, 剖面洪水沉积动力较强, 分选系数极好, 宽型峰态居多。② 吉祥剖面 5 个阶段洪水规模大小顺序依次为: B 阶段 > D 阶段 > A 阶段 > C 阶段 > E 阶段。此外, 剖面 B 阶段 34~40, 44~46 cm 区间和 D 阶段中 130~134 cm 区间粗砂的含量异常的增高, 粗粉砂和细粉砂含量极少, 中值粒径值为最低值范围, 洪水沉积动力异常强大, 为衡阳特大洪水事件发生时期。③ 沉积剖面中值粒径值与平均粒径值、粗粉砂+细粉砂的含量成显著正相关; 粗砂含量与平均粒径值、中值粒径值、粗粉砂+细粉砂含量成显著负相关性。[结论] 6 390 aBP 以来, 衡阳洪水规模整体上呈现增大增多的趋势, 沉积阶段 A 和阶段 B 均为洪水多发时期; 粗砂含量、平均粒径值、中值粒径值、粗粉砂+细粉砂含量 4 个指标能很好地用来识别洪水事件。

**关键词:** 河漫滩沉积; 湘江; 洪水事件; 粒度特征; 衡阳市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2022)01-0297-06

**中图分类号:** X43, K903

**文献参数:** 熊平生, 刘亮, 张楚楚, 等. 湘江衡阳段河漫滩沉积物粒度特征与历史洪水事件[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 297-302. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.039; Xiong Pingsheng, Liu Liang, Zhang Chuchu, et al. Particle size characteristics of flood sediments in floodplain and historical flood events of Hengyang reach of Xiangjiang River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 297-302.

## Particle Size Characteristics of Flood Sediments in Floodplain and Historical Flood Events of Hengyang Reach of Xiangjiang River

Xiong Pingsheng, Liu Liang, Zhang Chuchu, Hao Liting, Huang Linjuan

(College of Geography and Tourism, Hengyang Normal University, Hengyang, Hu'nan 421002, China)

**Abstract:** [Objective] The flood information recorded in floodplain sediments during the historical period was analyzed in order to reveal the extreme flood events and the regularity of flood occurrence, and to provide guidance for flood control and disaster reduction. [Methods] Particle size characteristics and flood events for the floodplain profile of Hengyang Reach of the Xiangjiang River in Hu'nan Province were studied based on particle size analysis of 91 samples from the flood plain combined with AMS  $^{14}\text{C}$  dating. [Results] ① The composition of floodplain sediments mainly included coarse silt, coarse sand, and fine sand. The grain size parameters showed that the profile flood sedimentary power was strong, the sorting coefficient was excellent, and the wide peak was in majority; ② The flood scale of the five flood stages of the Jixiang profile followed the order of stage B > stage D > stage A > stage C > stage E. In addition, between 34—40, 44—46 cm in stage B, and between 130 and 134 cm in stage D, the content of coarse sand increased abnormally, the content of coarse silt and fine silt was very small, and the median particle size value was in the lowest range. Flood sedimentary power was extremely strong. The flood events were all in periods when Hengyang catastrophic flood events occurred; ③ The median particle size values were positively correlated with the average

收稿日期: 2021-07-25

修回日期: 2021-10-01

资助项目: 湖南省教育厅重点项目“湘江流域多级河漫滩沉积记录解译及古洪水反演”(19A075); 湖南省社会科学成果评审委员会课题(XSP20YBC419); 湖南省自然科学基金资助项目(2021JJ30063)

第一作者: 熊平生(1972—), 男(瑶族), 湖南省永州市人, 博士, 教授, 主要从事第四纪地质学研究。Email: xps19721010@163.com。

通信作者: 刘亮(1999—), 女(汉族), 湖南省耒阳市人, 硕士研究生, 研究方向为自然地理学。Email: 2513330827@qq.com。

particle size values and the content of coarse silt + fine silt. There was a significant negative correlation between the content of coarse sand and average particle size values, the median particle size values, and the content of coarse silt + fine silt. [Conclusion] The flood scale of the Hengyang reach has, on the whole, shown an increasing trend since 6 390 B P Both sedimentary stage A and stage B are flood prone periods. The four indicators (content of coarse sand, average particle size values, median particle size values, and content of coarse silt + fine silt) could well identify flood events.

**Keywords:** sediments in floodplain; Xiangjiang River; flood event; particle size feature; Hengyang City

河漫滩是指洪水泛滥在河岸形成的具有独特二元结构的地质体,是河流地貌的重要类型。河漫滩沉积与环境作为一个跨学科的热点研究,在全球环境变化研究中受到广大学者们的关注<sup>[1]</sup>。有关河漫滩沉积物相关的研究涉及古洪水重建、物质来源、环境污染等领域。如周岳等<sup>[2]</sup>研究了渭河河漫滩沉积剖面粒度组合特征,揭示了渭河 230 a 来的 21 次洪水事件;曹向明等<sup>[3]</sup>研究了赣江河漫滩沉积物粒度特征发现,粒度的分维值对古洪水重建有重要指示意义;马鹏飞等<sup>[4]</sup>研究了雅鲁藏布江中游江心洲、河漫滩分布特征及其指示的沙源特征;张凌华等<sup>[5]</sup>研究了南京一镇江河段 3 个现代河漫滩的粒度变化认为,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;冷勇辉等<sup>[6]</sup>研究了长江松滋段江心洲剖面的粒度特征,揭示了其历史变迁及其沉积环境演化。赵东杰等<sup>[7]</sup>研究了滇黔桂岩溶区河漫滩表土重金属含量,揭示了沉积物重金属来源和污染状况;王鑫等<sup>[8]</sup>结合磁化率分析方法揭示了长江下游镇江—扬州河段河漫滩重金属污染分布特征。目前的研究存在如下主要问题:如河漫滩沉积洪水识别的代用指标存在分歧,需要进一步探索;国内关于流域洪水灾害的研究分布不平衡,主要集中在长江流域和黄河流域,其他而对于一些小的流域和地区的洪水事件研究较为薄弱。本文基于 AMS<sup>14</sup>C 高精测年基础上,通过对湘江吉祥河漫滩剖面高密度采样和粒度测定结果,揭示河漫滩沉积物洪水记录的代用指标,探究湘江河漫滩沉积时期所记录的洪水事件,揭示极端洪水事件和洪水发生规律,为防洪减灾提供指导。

## 1 研究区概况与方法

湘江是长江中游南岸重要支流,干流总长 856 km,流域面积  $9.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,沿途接纳大小支流 1 300 多条,耒水是湘江主要支流之一。吉祥剖面(简称 JX)位于衡阳市城区以北湘江和耒水交汇附近(图 1),地理坐标为  $112.644^\circ\text{E}, 26.915^\circ\text{N}$ 。该剖面位于耒水河道转弯的地方,该河段河道向左岸弯曲,河漫滩宽约 60~80 m,为中低位漫滩。研究区域属于中亚热带季风性湿润气候,热量充足,冬寒夏热,年均气温

18.5~20.2 °C,降雨量较多充沛,春夏多雨水,年均降水量为 1 005~1 836.2 mm。

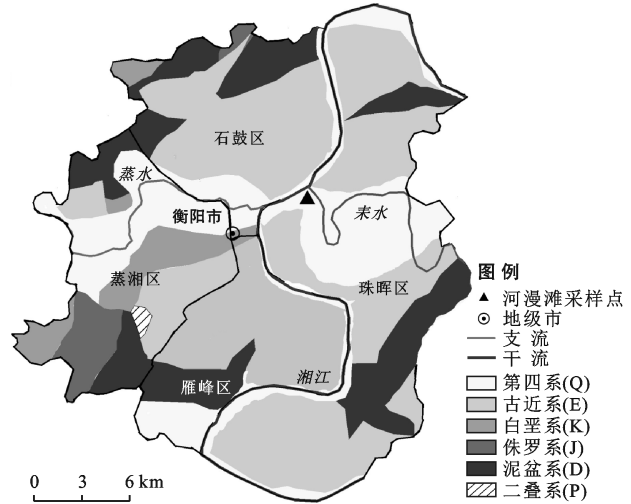


图 1 吉祥剖面位置和研究区地质图

经过野外调查和剖面反复比较,在湘江和耒水交汇附近,距离耒水入湘江口约 1 km 处的左岸漫滩上选择一个保存完整的代表性剖面作为研究对象,该剖面具有明显的二元结构,厚度约 183 cm。2020 年 10 月 18 日,课题组以 2 cm 为间隔距离,从上往下依次进行采样,共采集样品 91 件。测试工作在衡阳师范学院第四纪实验室完成,仪器为 Masterizer-3000 型激光粒度仪。

## 2 结果与分析

### 2.1 AMS<sup>14</sup>C 测年

在吉祥剖面距离地表 182 cm 处取样约 10 g。样品在美国 Beta 实验室完成 AMS<sup>14</sup>C 测年,近低界 AMS<sup>14</sup>C 年龄为  $6\,390 \pm 30 \text{ aBP}$ 。根据河漫滩平均沉积速率,并结合插值法推算出各个沉积阶段的形成年龄。

### 2.2 粒度组分

由表 1 可知,吉祥(JX)河漫滩沉积物粒度组成以粗粉砂、粗砂和极细砂为主。粗粉砂(0.01~0.05 mm)含量最高平均值为 27.58%,分布范围介于 0%~96.31%之间;粗砂(0.5~3.5 mm)居第二位平均值为 21.53%,分布范围为 0%~100%;极细砂(0.05~0.1 mm)和

细砂(0.1~0.25 mm)平均值分别为 17.18%,15.02%,分布范围分别为 0%~96%,0%~79.75%之间。细粉砂(0.005~0.01 mm)、中砂(0.25~0.5 mm)和黏

粒(0.002~0.005 mm)含量相对较少。根据 JX 剖面的颜色和粒度组分特征,可将该剖面划分为 5 层(图 2),剖面 5 个层位粒度组成特征如下:

表 1 吉祥剖面部分样品粒度测试结果

样品编号	深度/cm	不同粒度组分含量/%							
		粗砂	中砂	细砂	极细砂	粗粉砂	细粉砂	黏粒	胶粒
JX-1	2	2.77	4.55	14.93	18.99	43.45	12.36	2.94	0
JX-8	18	1.73	5.17	21.32	20.37	37.74	10.35	3.33	0
JX-16	34	1.07	5.01	17.30	17.29	38.88	11.91	7.46	1.08
JX-24	72	87.51	12.49	0	0	0	0	0	0
JX-32	90	0	84.21	15.79	0	0	0	0	0
JX-40	112	0.45	3.41	12.73	13.75	42.42	13.92	13.32	0
JX-48	126	1.25	5.03	16.3	15.35	38.59	11.75	11.22	0.5
JX-56	150	0	0	9.15	24.19	0	53.63	13.04	0
JX-64	172	30.02	7.13	15.62	19.39	22.03	5.16	0.64	0
JX-72	144	43.53	6.67	13.06	15.54	17.53	3.34	0.33	0
JX-80	160	0	0.9	17.42	28.82	42.96	8.76	1.13	0
JX-90	180	0	1.33	13.84	23.63	43.15	15.17	2.87	0
全剖面 (n=91)	最大值	100	84.21	79.75	96	96.31	53.63	78.46	21.53
	最小值	0	0	0	0	0	0	0	0
	平均值	21.53	6.67	15.02	17.18	27.58	9.09	6.43	0.88

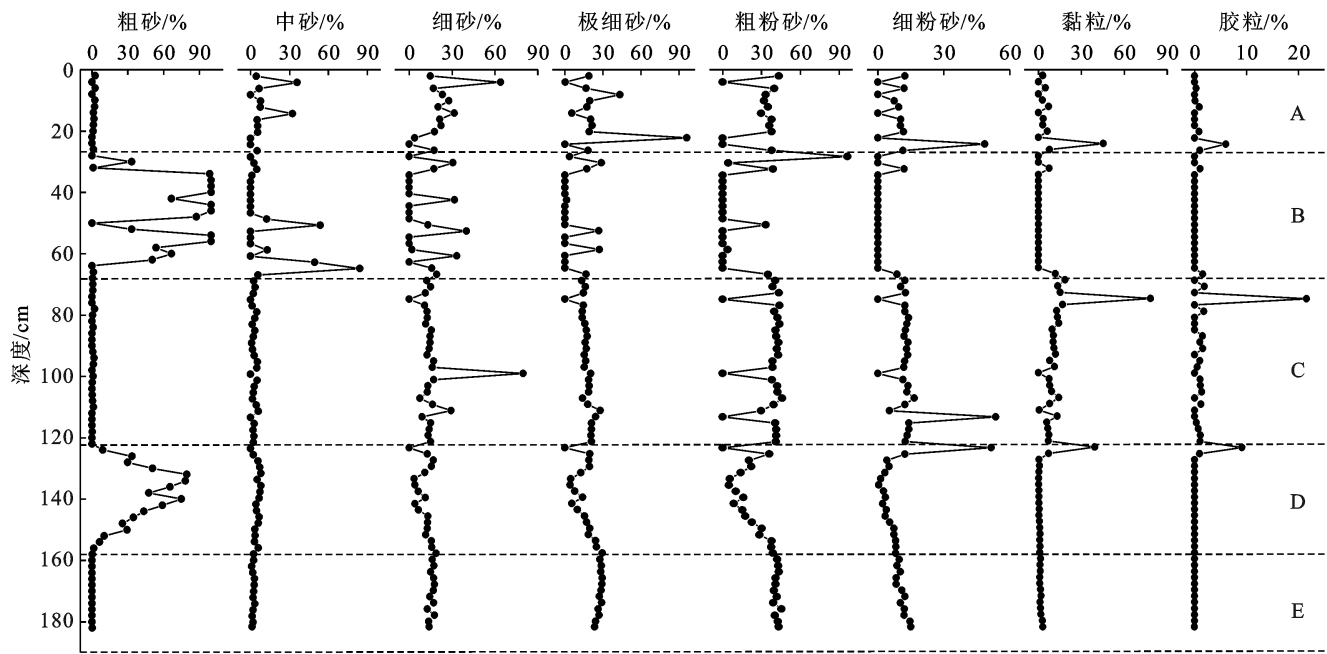


图 2 吉祥剖面粒度分布曲线

第 A 层为粗粉砂、极细砂、细砂层,厚 28 cm。粗粉砂(0.01~0.05 mm)含量最高,平均值为 32.81%,其次是极细砂、细砂组分,平均值含量分别 21.47%,20.14%。粉砂、中砂、黏粒组分平均含量分别为 9.53%,8.32%,5.92%。粗砂含量很少为 1.15%,胶粒含量不到 1%。粗粉砂、极细砂、黏粒和细粉砂曲线呈波动递减的变化趋势,而中砂和细砂曲线呈波动递增的变化。

第 B 层为粗砂、中砂、细砂层,厚 39 cm。粗砂

(0.5~3.5 mm)平均含量为 59.66%,为全剖面最高阶段,粗砂曲线波动变化显著。中砂、细砂、粗粉砂和极细砂组分,平均含量分别为 11.49%,10.78%,7.82%,6.57%。黏粒、细粉砂和胶粒含量很少。

第 C 层为粗粉砂、极细砂、细砂层,厚 53 cm。粗粉砂(0.01~0.05 mm)平均含量最高为 34.90%,分布范围介于 0%~45.86%之间。极细砂、细砂、细粉砂和黏粒,平均含量分别为 16.58%,15.62%,14.63%,13.41%,分布范围分别为 0%~27.93%,0%~79.75%,

0%~53.33%, 0%~78.46%。中粒、粗砂组分含量极少。

第 D 层为粗砂、粗粉砂、极细砂、细砂层, 厚 35 cm。粗砂(0.5~3.5 mm)组分平均含量最高为 37.78%, 分布范围介于 0.12%~79.61%之间, 粗砂曲线由下往上呈现先增后减的变化趋势。其次是粗粉砂、极细砂和细砂, 其平均含量分别为 22.72%, 16.32%, 11.62%。细粉砂、中砂、黏粒、胶粒的含量较少, 平均值分别 5.34%, 5.19%, 0.96%, 0.054%。

第 E 层为粗粉砂、极细砂、细砂层, 厚 23 cm。粗粉砂(0.01~0.05 mm)平均含量为 41.85%, 分布范围介于 39.06%~45.43%之间, 其次是极细砂平均含量为 27.39%, 分布范围介于 23.63%~29.42%之间。细砂和细粉砂平均含量分别为 15.74%, 11.25%。粗

砂、中砂、黏粒和胶粒组分含量较少, 平均含量分别为 0.03%, 2.12%, 1.59%, 0。

### 2.3 粒度参数

对衡阳 JX 剖面平均粒径( $M_z$ )、中值粒径( $M_d$ )、峰态( $K_g$ )、分选系数( $\sigma_1$ )、偏度( $S_k$ )进行计算, 并绘制成图 3。由图 3 可知, JX 剖面平均粒径( $M_z$ )为  $-0.94\Phi\sim 8.58\Phi$ , 总平均值为  $3.74\Phi$ , 显示沉积动力总体较强; 分选系数( $\sigma_1$ )值为  $-2.74\sim -0.16$ , 平均值为  $-1.55$ , 表明分选性极好; 偏度值( $S_k$ )为  $-0.82\sim 0.88$ , 平均值为  $-0.10$ , 负偏和对称型居多, 偏向粗粒度一侧; 峰态( $K_g$ )值为  $0.32\sim 2.13$ , 平均值为  $0.88$ , 宽型峰态居多。中值粒径曲线和平均粒径曲线变化近似同步。

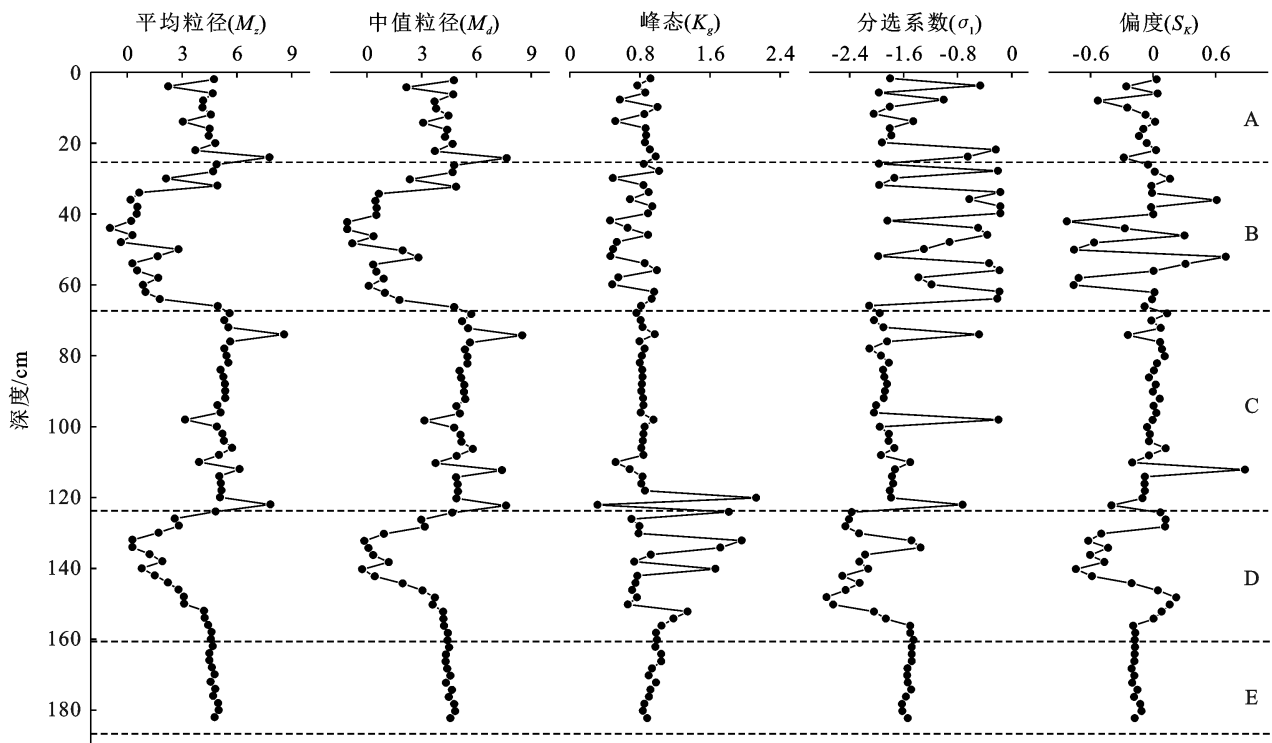


图 3 吉祥剖面粒度参数分布特征

### 2.4 河漫滩沉积物粒度组分的影响因素

研究表明, 水流动力条件是影响河漫滩沉积物粒度组分的关键因素, 水动力越强, 携带的颗粒越大, 反之越小<sup>[9]</sup>。河漫滩高度的变化也会影响沉积物粒度组分结构, 随着河漫滩厚度的增高, 造成漫滩上洪水沉积物粒度颗粒变细。水流动力条件的影响因素有气候、地形和人类活动等。湘江流域属于中亚热带季风性湿热气候区, 降水集中在 4—6 月, 夏季高温、强对流、副热带高压、台风等天气现象叠加, 春夏季为暴雨多发季节, 容易发生大洪水。洪水强度越大, 河流搬运动力越大, 沉积物粒度组分中粗粒比重增大, 湘江河漫滩沉积颗粒以粗粉砂、粗砂为主。近代以来,

随着湘江流域水利设施的建设、土地利用方式的改变等人类活动影响增强, 也会影响河漫滩沉积物的粒度组分。

### 2.5 河漫滩沉积物对洪水规模、沉积动力的指示

洪水代用指标是河漫滩沉积物研究的重要问题之一, 学者们做了大量的探索。如连丽聪等<sup>[10]</sup>研究发现, 平均粒径和 SS(分选系数×粒径跨度)能很好的检验异常洪水事件。万智巍等<sup>[11]</sup>研究指出, 粒度组分和粒度参数指标能很好的揭示洪水事件; 罗淑元等<sup>[12]</sup>研究提出, 平均粒径、砂粒、(粗粉砂+砂粒)/(细粉砂+黏粒)、中值粒径和粒度频数分维值等指标能区别各类洪水事件。对吉祥剖面粗砂、中值粒径、平

均粒径、粗粉砂+细粉砂指标进行了线性回归分析发现,中值粒径值与平均粒径值、粗粉砂+细粉砂的含量成显著正相关性,相关系数分别为 0.985 6,0.792 13;粗砂含量与平均粒径值、中值粒径值、粗粉砂+细粉砂含量成显著负相关性,相关系数分别为-0.878 7,-0.862 3;-0.770 7。如图 4 所示,粗砂曲线与平均粒径曲线、中值粒径曲线、粗粉砂+细粉砂曲线波动趋势相反;平均粒径曲线、中值粒径曲线、粗粉砂+细

粉砂曲线波动趋势相近似。研究发现,吉祥剖面粗砂含量、中值粒径值、粗粉砂+细粉砂含量、平均粒径值在洪水发生过程中表现出的相似性和差异性,这 4 个指标能够很好的指示洪水变化。粗砾组分含量高,粗粉砂+细粉砂含量少,平均粒径值低,指示沉积时期水动力大,洪水规模大;粗砾组分含量少,粗粉砂+细粉砂含量多,平均粒径值高,指示沉积时期洪水动力小,洪水规模小。

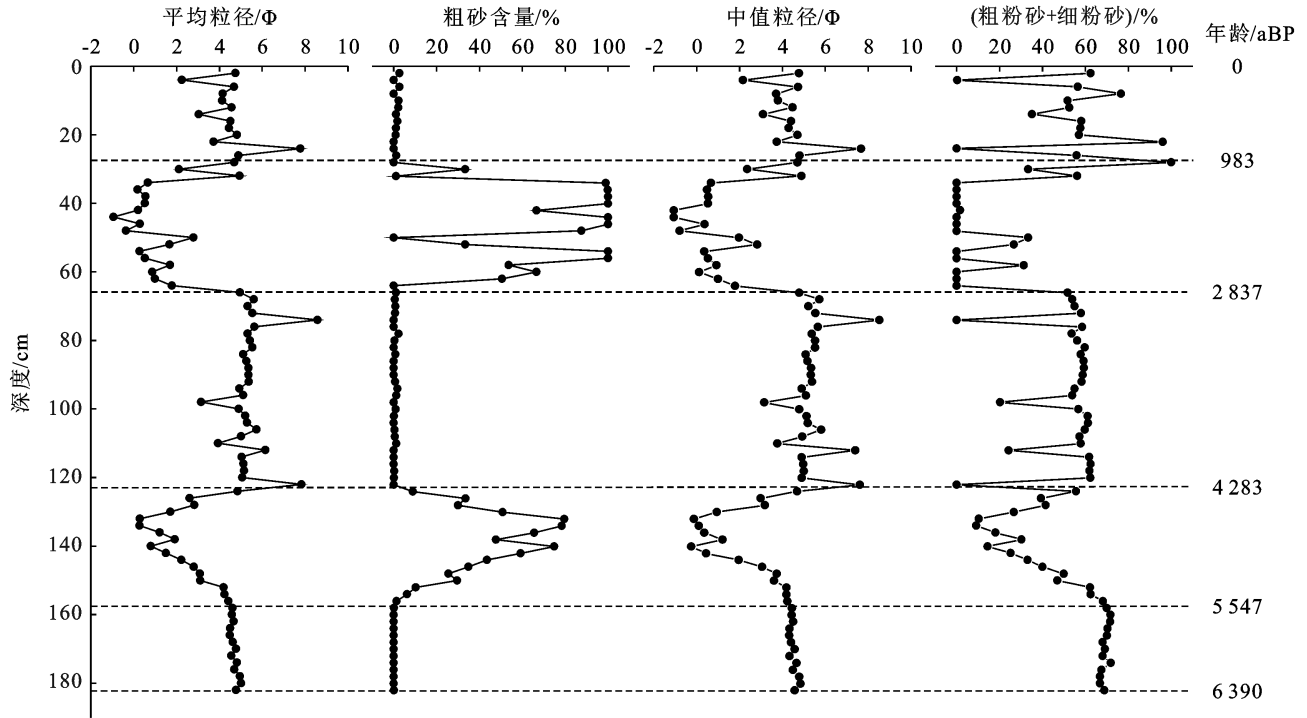


图 4 吉祥剖面平均粒、粗砂含量、中值粒径和粗粉砂+细粉砂含量对比

## 2.6 河漫滩沉积物粒度特征与洪水的关系

洪水沉积物粒度组分和粒度参数能反映沉积环境和洪水动力强弱,水动力越强,携带颗粒的粒径越大,反之越小<sup>[13]</sup>。基于野外剖面观测记录的基础上,结合粒度曲线(图 2)和粒度参数曲线(图 3)及其粒度组合曲线(图 4)的变化特征,将 JX 河漫滩沉积剖面划分为 5 个阶段。

E 阶段 182—158 cm(约 6 390—5 547 aBP):该段沉积以粗粉砂为主,其次是极细砂,平均粒径值为 4.71 $\Phi$ ,沉积水动力作用较强,平均粒径、中值粒径、峰态、偏度曲线平稳,指示该沉积段环境较稳定。粒度组合特征揭示了该沉积段流水动力作用较强,水流量较大,与当时河漫滩高度较低有关。

D 阶段 158—122 cm(约 5 547—4 283 aBP):以粗砂含量最高,细粉砂、黏粒和胶粒含量极少。平均粒径值为 2.59 $\Phi$ ,中值粒径、峰态、偏度、分选系数曲线有明显波动,反映了这阶段的沉积环境不稳定,沉积动力呈现先增后减的趋势,流水沉积动力比 E 阶段显著

增强,河水流量增大。该阶段中 130—134 cm 区间,粗砾组分含量为第二峰区间,沉积动力异常,可能发生过大洪水事件。

C 阶段 122—68 cm(约 4 283—2 837 aBP):以粗粉砂含量最高,其次为极细砂、细砂、细粉砂和黏粒,粗砂含量极少,粗砂曲线变化平稳,平均粒径值为 5.38 $\Phi$ ,中值粒径、峰态、偏度曲线比较平稳,揭示沉积环境较为稳定,流水动力作用比 D 阶段显著减弱,洪水水量减少。

B 阶段 68—28 cm(约 2 837—983 aBP):粗砂含量为剖面最高层位,黏粒、细粉砂和胶粒含量极少,平均粒径值为 1.47 $\Phi$ ,中值粒径、峰态、偏度、粗粉砂+细粉砂平均含量曲线波动较大,分选系数为全剖面最大值区域。指示了该沉积阶段为洪水动力最强劲、洪水流量最大时期,为衡阳市 6 390 aBP 以来洪水高发、规模宏大时期,B 阶段中剖面 B 阶段 34—40 cm 和 44—46 cm 区间,粗砂的含量高达 99% 以上,中值粒径值为最低值范围,指示沉积动力异常强大,为特

大洪水事件多发时期。根据《衡阳市志》<sup>[14]</sup>对衡阳大洪水的记录,最早见于记载为西晋咸宁二年(公元 276 年),发生在 B 沉积段。

A 阶段 28—0 cm(至今约 983 a):粗粉砂含量最高,平均粒径、中值粒径、粗粉砂+细粉砂平均含量曲线波动较大,指示该沉积阶段环境不稳定,沉积动力逐渐增强的趋势。流水动力和洪水量比 B 阶段有所减弱,可能与河漫滩处于最高位置有关。与阶段 A、阶段 C 和阶段 E 粒径大小相近,根据赵景波等<sup>[15]</sup>的洪水规模和深度原则推测,A 阶段洪水规模大于阶段 E,C,与 B 阶段相近似。根据《衡阳市志》<sup>[14]</sup>对衡阳洪水的记录,近 1 000 a 里发生过 19 次特大洪水灾害,分别出现在公元 1454,1593,1656,1711,1906,1924,1931,1949,1954,1962,1968,1976,1978,1982,1984,1994,1996,1998,2006 年。A 阶段的粒度记录与历史时期大洪水多发较为一致。

综上所述,河漫滩发育较早的 E 和 D 阶段,河漫滩高度相对较低,洪水发生的频率较高,其中 D 阶段粒度较粗代表发生的是大洪水。在河漫滩发育较晚的阶段 A 和 B 阶段,河漫滩变高,为衡阳市大洪水多发时期,这可能与中世纪暖期长江及其以南地区降水偏多<sup>[16-17]</sup>有关,或与厄尔尼诺事件频繁发生有关。

### 3 结论

(1) 河漫滩沉积物粒度组成以粗粉砂、粗砂、极细砂为主。粗粉砂含量最高平均值为 27.58%;粗砂居第二位平均值为 21.53%;极细砂、细砂平均值分别为 17.18%,15.02%。细粉砂、中砂和黏粒含量相对较少。粒度参数显示,平均粒径( $M_z$ )为  $-0.94-8.58\Phi$ ,总体平均值为  $3.74\Phi$ ,沉积动力强;分选系数( $\sigma_1$  值为  $-2.74-(-0.16)$ ,平均值为  $-1.55$ ,粒度分选极好;偏态值( $S_K$ )为  $-0.82-0.88$ ,平均值为  $-0.10$ ,负偏和对称型居多;峰态( $K_g$ )值为  $0.32\sim 2.13$ ,平均值为  $0.88$ ,宽型峰态居多。

(2) 河漫滩沉积物粒度组合特征显示,自 6 390 a BP 以来,衡阳湘江洪水规模上呈增大的变化,洪水发生的频次呈增多的趋势。吉祥剖面揭示的 5 个阶段洪水规模大小顺序依次为:B 阶段>D 阶段>A 阶段>C 阶段>E 阶段。此外,剖面 B 阶段中 34—40 cm 和 44—46 cm 区间,沉积 D 阶段中 130—134 cm 区间,粗砂的含量异常的增高,粗粉砂和细粉砂含量极少,中值粒径值为最低值范围,洪水沉积动力异常强大,为衡阳特大洪水事件发生时期。沉积阶段 A 和阶段 B 为洪水多发时期,沉积 B 阶段和 D 阶段期间均发生过特大洪水。

(3) 吉祥河漫滩剖面中值粒径值与平均粒径值、粗粉砂+细粉砂的含量成显著正相关性。粗砂含量与平均粒径值、中值粒径值、粗粉砂+细粉砂含量成显著负相关性。粗砂含量、中值粒径值、粗粉砂+细粉砂含量、平均粒径值 4 个指标能够很好的指示洪水变化。粗砾组分含量高,粗粉砂+细粉砂含量少,平均粒径值低,指示沉积时期水动力大,洪水规模大;粗砾组分含量少,粗粉砂+细粉砂含量多,平均粒径值高,指示沉积时期洪水动力小,洪水规模小。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张凌华,张振克.河漫滩沉积与环境研究进展[J].海洋地质与第四纪地质,2015,35(5):153-163.
- [2] 周岳,赵景波,穆珍珍.西安市东郊渭河河漫滩沉积与洪水变化[J].水土保持通报,2015,35(1):73-78.
- [3] 曹向明,万智巍,贾玉连,等.赣江河漫滩沉积物的粒度分形特征及其对洪水的指示水[J].水电能源科学,2019,37(11):83-86.
- [4] 马鹏飞,论珠群培,张焱,等.雅鲁藏布江中游江心洲、河漫滩面积及其指示的沙源特征[J].中国沙漠,2021,41(3):25-33.
- [5] 张凌华,张振克,符跃鑫,等.长江下游南京一镇江河段河漫滩粒度特征[J].地理科学,2015,35(9):1183-1190.
- [6] 冷勇辉,李长安,刘辉,等.湖北松滋美洲遗址沉积环境演化及长江河道变迁[J].地球科学,2020,45(3):764-775.
- [7] 赵东杰,王学求.滇黔桂岩溶区河漫滩土壤重金属含量、来源及潜在生态风险[J].中国环境科学,2020,40(4):1609-1619.
- [8] 王鑫,刘存丽,张振克,等.长江镇扬河段不同时期河漫滩沉积物磁化率及其环境污染指示意义[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(6):499-506.
- [9] 冯婉竹,毛龙江,谭志海.澧水下游漫滩沉积物粒度特征及其环境指示意义[J].河南科学,2018,36(2):251-256.
- [10] 连丽聪,凌超豪,李晓峰,等.河漫滩沉积体系对洪水事件的指示[J].沉积学报,2019,37(1):136-142.
- [11] 万智巍,周岩,贾玉连,等.近 130 年来赣江洪水灾害事件重建与特征诊断[J].灾害学,2018,33(1):96-101.
- [12] 罗淑元,郑丽匀,曹向明,等.长江中游河漫滩沉积序列对洪水事件的指示[J].人民长江,2021,52(1):6-12.
- [13] 赵景波,温震军,马延东,等.西安北郊草店村河漫滩沉积与洪水变化[J].地质论评,2017,63(2):326-336.
- [14] 衡阳市地方志编纂委员会.衡阳市志(中册)[M].湖南长沙:湖南人民出版社,2001.
- [15] 赵景波,罗小庆,黄小刚,等.西安周至渭河漫滩沉积特征与洪水变化[J].灾害学,2017,32(3):23-28.
- [16] 郑景云,郝志新,张学珍,等.中国东部过去 2 000 年百年冷暖旱涝格局[J].科学通报,2014,59(30):2964-2971.
- [17] 葛全胜,朱会议.两千年来中国自然与人文地理环境变迁及启示[J].地理学报,2021,76(1):3-14.