

文章编号:1000-0550(2011)03-0561-11

泾河泾阳段高河漫滩沉积与洪水事件^①

顾静^{1,2} 周杰¹ 赵景波^{3,1} 杨林海^{1,2} 张昌盛^{1,2}

(1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710075;

2. 中国科学院研究生院 北京 100000; 3. 陕西师范大学地旅游与环境学院 西安 710062)

摘要 根据泾阳泾河高漫滩 JYa 沉积剖面的野外观察,128 个样品的粒度、元素与化合物含量实验分析,以及历史文献对该区洪水的记载,研究了泾阳泾河高漫滩剖面沉积特征与洪水变化。结果表明,泾阳泾河高漫滩沉积物发育良好,以粗粉砂、极细砂为主,各组分在整个剖面上变化明显,分辨率高,能够清晰地指示各次的洪水以及降水量的变化。JYa 剖面分为 18 个沉积阶段,指示了 18 次大小不同的洪水和 18 个降水较多的年份。JYa 剖面 18 个洪水沉积阶段的规模由大到小的变化顺序为:第 14 层 > 12 层 > 13 层 > 8 层 > 5 层 > 1 层 > 2 层 > 4 层 > 9 层 > 3 层 > 7 层 > 6 层 > 11 层 > 10 层 > 18 层 > 15 层 > 16 层 > 17 层。JYa 剖面最上部第 1 层形成时的河床洪水深度约为 4.56 m,流量为 4 010 m³/s。第 14、12、13、8、5 层形成时的河床洪水深度大于 4.56 m,流量大于 4 010 m³/s。其余各层形成时的河床洪水深度应等于或小于 4.56 m,流量等于或小于 4 010 m³/s。第 14 层推断为 1841 年的特大洪水沉积层,代表了高河漫滩沉积过程中洪水动力与洪水规模最大一次特大洪水事件,当时张家山水文站洪峰流量为 18 700 m³/s。沉积物粒度细,元素 Mn、Cu 和化合物 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O 含量高,元素 Ba 含量低,指示沉积时洪水强度小,洪水水位低,降雨量少。沉积物粒度粗,元素 Mn、Cu 和化合物 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O 含量低,元素 Ba 含量高,指示沉积时洪水强度大,洪水水位高,降雨量多。在这 18 次洪水中,同一次洪水沉积层内形成了两个以上薄层的元素和化合物含量、粒度成分的微小变化,指示多数期次的洪水发生时期可能有两个以上洪峰出现。泾阳泾河高漫滩第 14、12、13、8、5、1 层洪水沉积反映了泾河全流域性的年降水增加或较大范围年降水量增加,且年降水量至少达到 800 多毫米。

关键词 河漫滩沉积 洪水规模 洪水事件 气候意义 泾河 泾阳

第一作者简介 顾静 女 1981 年出生 博士研究生 第四纪地质学 E-mail: gujing@ieecas.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

泾河是黄河的二级支流,发源于宁夏六盘山东麓,在泾阳县张家山界入关,于高陵陈家滩与渭河汇合。泾河以洪水猛烈、输沙量大著称,是渭河和黄河的主要洪水、泥沙来源之一。关中泾河段地处新构造运动微弱上升区,与华北平原区的河流相比,该区河流阶地与多级河漫滩发育很好,是研究泾河洪水演变的非常理想的河段。此外,该区历史文献记载资料较为丰富,可为定量研究洪水发生的年代、洪水发生规模提供宝贵资料。因此,研究泾河流域洪水对查明黄土高原泾河流域历史时期气候变化、土壤与植被演变有重要作用。在国内,人们对现代洪水进行了大量的研究,认识到洪水发生的原因、类型、特点和造成的危害^[1~5],并注意到了人类活动对河道变化和洪水发生的影响^[6,7]。国内对历史时期的洪水研究较少,主要对长江、黄河与渭河历史时期洪水进行了一定研究^[8~12],以历史文献为依据较多,对洪水沉积物

研究相当少。在国外,对河流洪水变化开展了许多研究,近年来得到了广泛的重视。国外目前关于洪水研究的主要内容是洪水和气候变化的关系^[13~15],洪水流速和人类活动对河流泥沙含量及洪水的影响等^[16~18]。河流搬运、堆积与河道变迁主要发生在洪水期,所研究河流洪水演变的研究具有重要的理论意义。洪水常造成严重灾害,并导致经济上的巨大损失,危及人们的财产和生命安全,所以对它的研究也有重要实际意义。根据野外考察和室内颗粒、元素分析及历史文献资料分析,探讨泾阳泾河段洪水的特点、发生频次及其发生原因。

1 研究地区自然地理概况、剖面选择与采样

1.1 泾河泾阳地区自然地理概况

泾阳县地处陕西省关中平原中部,泾河下游。县

^①中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(编号:SKLLQGOB14),黄土与第四纪地质国家重点实验室自主部署项目(编号:LQ0705),国家自然科学基金项目(批准号:40672108)。

收稿日期:2009-07-31;收修改稿日期:2009-10-19

境介于东经 $108^{\circ}29'40'' \sim 108^{\circ}58'23''$,北纬 $34^{\circ}26'37'' \sim 34^{\circ}44'57''$,总面积 780 km^2 。境内地势西北高、东南低,海拔 $361 \sim 1614 \text{ m}$,属暖温带大陆性季风气候,四季冷暖、干湿分明。年平均气温 13°C ,冬季(1月)最冷为 -20.8°C ,夏季最热(7月)为 41.4°C 。年均降水量 548.7 mm ,最多降水量 829.7 mm ,最少为 349.2 mm 。

1.2 泾阳 JYa 剖面选择与采样

泾河在泾阳县内自西向东流,水深约 $1 \sim 1.7 \text{ m}$,河宽约 50 m 。受泾河南移的影响,在其北侧发育了宽广的河漫滩,漫滩宽约 $0.5 \sim 1 \text{ km}$ 。在泾河泾阳段距泾河大桥东侧大约 500 m 处的高漫滩选择 JYa 剖面作为研究对象,该剖面顶部高出水面约 4.56 m ,具有明显的二元结构,剖面下层为河床相砂砾石沉积,出露厚度约为 1.5 m ,砾石为主,为最典型的河床洪水沉积,其中砾石含量 $>50\%$ 。砾石直径多为 $5 \sim 8 \text{ cm}$,小的砾石直径为 $3 \sim 5 \text{ mm}$,中粗砂含量为 30% 左右。该层分选较差,磨圆较好,多呈圆状或次圆状,层里略显砾石略有定向排列,向上游西北方向倾斜。河床相沉积底部基座为第三系泥岩,出露水面厚度为 0.5 m ,剖面为河漫滩相粉砂沉积,厚约 2.56 m 。剖面顶部是该地区 2003 年形成的洪水沉积,顶部之下的其它各层为过去洪水形成的沉积。对剖面进行全断面刻槽和施行连续取样,取样间隔为 2 cm ,共采集样品 128 个,每样约 100 g 左右。所采样品装在塑料袋中,密封,带回实验室,在通风条件好的实验室经自

然风干后,使用 Mastersize—S 型粒度仪进行颗粒成分分析。元素含量采用荷兰帕纳科公司生产的 X—Ray 荧光光谱仪(PW2403)测定。取 4 g 在玛瑙研钵中研至 200 目以下的样品,加入硼酸在 YY60 型压力机上压成用于测量的圆片。

2 泾阳 JYa 剖面的粒度组成、分布特征和粒度参数的变化

2.1 泾阳 JYa 剖面的粒度组成和分布特征

根据泾阳泾河高漫滩沉积物粒度数据分析可知,泾阳 JYa 剖面粒度组成以粗粉砂($0.01 \sim 0.05 \text{ mm}$)和极细砂($0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$)含量占首位,其中粗粉砂含量最高,是泾阳 JYa 剖面的众数粒级,变化规律明显。极细砂较高,是泾阳 JYa 剖面的次众数粒级。胶粒($<0.002 \text{ mm}$)、细砂($0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$)、粘粒($0.002 \sim 0.005 \text{ mm}$)、细粉砂($0.005 \sim 0.01 \text{ mm}$)含量占第二位,其中胶粒、粘粒、细粉砂这三个粒级的变化趋势基本一致;中砂($0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$)含量占第三位,平均含量为 4.95% ;剖面中砾石($>2 \text{ mm}$)和粗砂($0.5 \sim 2 \text{ mm}$)的含量最少,其缺失的层位也较多。剖面上部和中部细砂、中砂等粗粒物质含量较多,下部最少,各层粒度成分也有明显不同,具有粗细变化的规律(图 2)。根据 JYa 剖面粒度粗细变化,可划分为 19 个层次,由老到新,各层主要组分的分布及特征如下(表 1)。

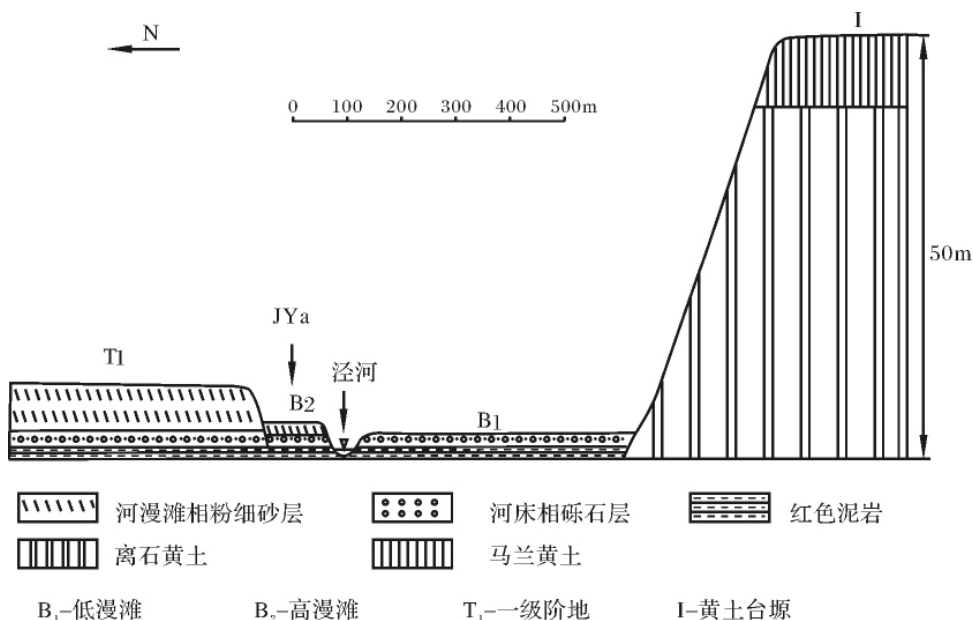


图 1 泾阳泾河河谷地貌与洪水沉积剖面图

Fig. 1 Valley geomorphology and flood sediment in Jingyang section of Jing River

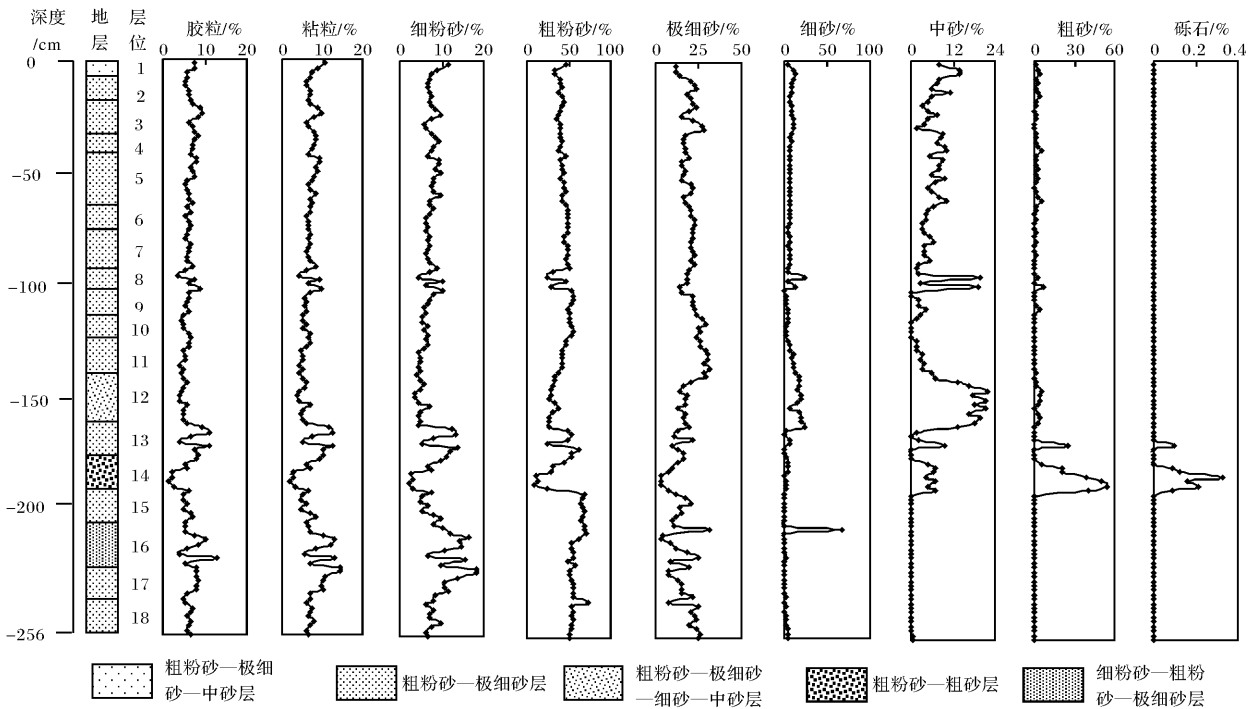


图 2 泾阳泾河 JYa 剖面粒度各级百分含量变化曲线

Fig. 2 Content change curve of different grain sizes of JYa in Jingyang section of Jing River

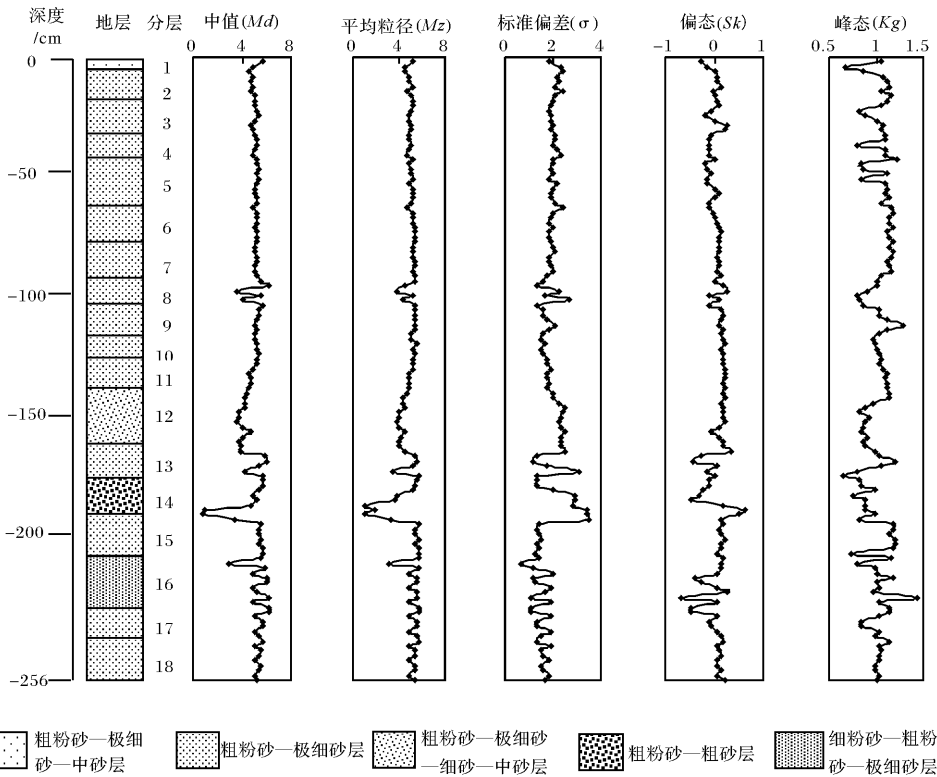


图 3 泾阳泾河 JYa 剖面粒度参数变化曲线

Fig. 3 Change curve of grain size parameter of JYa in Jingyang section of Jing River

表1 泾阳泾河 JYa 剖面各层岩性特征

Table 1 The characteristics of each layer grain size of JYa section in Jingyang reach of Jing River

层	各层名称	厚度/cm	各层岩性特征
1	中砂、极细砂、粗粉砂层	6	棕黄色,水平层状构造;中砂、极细砂和粗粉砂为主,其次为粗砂、胶粒、粘粒、细粉砂,砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好,有机质含量高。
2	极细砂、粗粉砂层	12	灰黄色,水平层状构造,该层与上层间存在明显分界面;极细砂和粗粉砂为主,其次为粗砂、胶粒、粘粒、细粉砂、中砂、细砂,砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好,有机质含量较高。
3	极细砂、粗粉砂层	12	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为中砂、粘粒、细粉砂、胶粒、细砂,粗砂最少,砾石缺失。颗粒为次原状,磨圆度较好,有机质含量高。
4	极细砂、粗粉砂层	10	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为粗砂、胶粒、细砂、粘粒、中砂,砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
5	极细砂、粗粉砂层	22	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为粗砂、细砂、胶粒、中砂、粘粒、细粉砂,砾石缺失。颗粒为次原状,磨圆度较好。
6	极细砂、粗粉砂层	14	灰黄色,微斜层理构造,层理倾向指向水流的下游方向;极细砂和粗粉砂为主,其次为中砂、细砂、胶粒、粘粒、细粉砂,粗砂含量最少,砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
7	极细砂、粗粉砂层	14	灰黄色,微斜层理构造,层理倾向指向水流的下游方向;极细砂和粗粉砂为主,其次为中砂、胶粒、细砂、粘粒、细粉砂,粗砂含量最少,砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
8	极细砂、粗粉砂层	12	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为粗砂、胶粒、粘粒、中砂、细粉砂、细砂,砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
9	极细砂、粗粉砂层	12	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为中砂、细砂、胶粒、粘粒,砾石含量小于1%;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好,有机质含量较高。
10	极细砂、粗粉砂层	10	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为细砂、胶粒、粘粒、细粉砂,中砂最少;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
11	极细砂、粗粉砂层	14	灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为中砂、细粉砂、粘粒、胶粒、细砂,砾石很少;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
12	中砂、细砂、极细砂、粗粉砂层	24	浅棕黄色,水平层状构造,该层与上一层间存在较明显的分界面;粗粉砂、极细砂、细砂、中砂为主,其次为粗砂、细粉砂、胶粒、粘粒,该层砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
13	极细砂、粗粉砂层	14	灰黄色,水平层状构造,该层与上一层间存在较明显的分界面;极细砂、粗粉砂为主,其次为中砂、细砂、粗砂、胶粒、粘粒、细粉砂,砾石含量最少;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好,有机质含量较高。
14	粗粉砂、粗砂层	14	棕褐色,水平层状构造,该层与上一层间存在明显分界面;粗粉砂和粗砂为主,其次为细砂、胶粒、粘粒、细粉砂、中砂、极细砂,突出特点是粒度最粗,并有少量砾石出现。颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
15	极细砂、粗粉砂层	18	灰黄色,水平层状构造,该层与上一层间存在明显分界面;极细砂和粗粉砂为主,其次为胶粒、粘粒、细粉砂和细砂,中砂、粗砂和砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
16	极细砂、细粉砂和粗粉砂层	22	浅灰黄色,水平层状构造,该层与上一层间存在较明显的分界面;细粉砂、粗粉砂和极细砂为主,其中粗粉砂含量最高,细粉砂和极细砂,其次为胶粒和粘粒,细砂含量最少,中砂、粗砂和砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好,有机质含量高。
17	极细砂、粗粉砂层	12	浅灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为胶粒、粘粒和细粉砂,细砂含量最少,该层中砂、粗砂和砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。
18	极细砂、粗粉砂层	14	浅灰黄色,水平层状构造;极细砂和粗粉砂为主,其次为细砂层、胶粒、粘粒、细粉砂,中砂含量最少,粗砂和砾石缺失;颗粒为次圆状,分选较差,磨圆度较好。

2.3 泾阳 JYa 剖面粒度参数 M_d 、 M_z 、 σ 、 S_k 和 K_g 变化

为查明泾阳 JYa 剖面粒度分布规律与洪水动力变化。我们对 JYa 剖面的中值粒径 (M_d)、平均粒径

(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(S_k)和峰态(K_g)进行了计算,并将渭南 JYa 剖面的粒度参数绘制成图(图 3)。图 3 表明,泾阳 JYa 剖面 M_d 和 M_z 的平均值分别为 5.02 和 4.95,分布范围分别为 0.83~6.25 和 1.09~5.82; σ 、 S_k 、 K_g 的平均值分别为 1.89、0.05、1.02,分布范围分别为 0.7~3.52, -0.68~0.62, 0.64~1.43。剖面第 17、14、8、7、6、5、3、2 层偏度为近对称,第 18、15、12、11、10、9 层偏度为正偏,反映其沉积物偏于粗粒级,第 16、13、4、1 层为负偏,反映其沉积物偏于细粒级,各层分选差。

3 泾阳 JYa 剖面的元素、化合物含量和分布特征变化

对实验结果进行整理分析可知,所采剖面元素和化合物含量变化明显,可分为 18 层,各层中元素和化合物含量有较大波动(图 4)。剖面中元素 Mn、Cu、Ba 平均含量分别为 516 mg/kg、17 mg/kg、522 mg/kg,含量变化范围分别为 410.5~715 mg/kg、12~24.7 mg/kg、440.1~662.7 mg/kg; 化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 平均含量分别为 9.9%、3.4%、2%,含量变化范围分别为 7.4%~12.4%、2.3%~4.9%、1.8%~2.4%。这些元素与化合物含量在剖面

各层中变化明显。

根据剖面中的元素与化合物含量分析结果(表 2),可以看出各元素与化合物含量在剖面的 18 层中变化明显。在剖面的第 1、12、14 层中元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量最高,元素 Ba 含量最低,在剖面的第 16 层中 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量最低,元素 Ba 含量最高,其他各层中各元素与化合物含量均有明显波动。

4 讨论

4.1 河漫滩沉积物粒度成分与洪水动力的关系

洪水沉积物粒度成分主要取决于流水的水动力条件,而水动力条件又受到气候、地形和构造运动的影响。对同一河段而言,流量大小受降水量多少的影响,降水量多,流量大,降水量少,则流量小。流速既取决于流量变化,同时又受构造运动引起的地形变化影响,流量多,地形坡度大,流速快,坡度小则流速慢。洪水深度也影响沉积物粒度成分,河漫滩上的洪水深度越大,搬运的颗粒越粗,沉积物的粒径越大。河漫滩高度的变化是影响粒度成分的重要因素。随沉积层的增多、加厚,河漫滩高度增加,这会造成河漫滩上洪水沉积物粒径变小。河漫滩上形成的河流沉积物

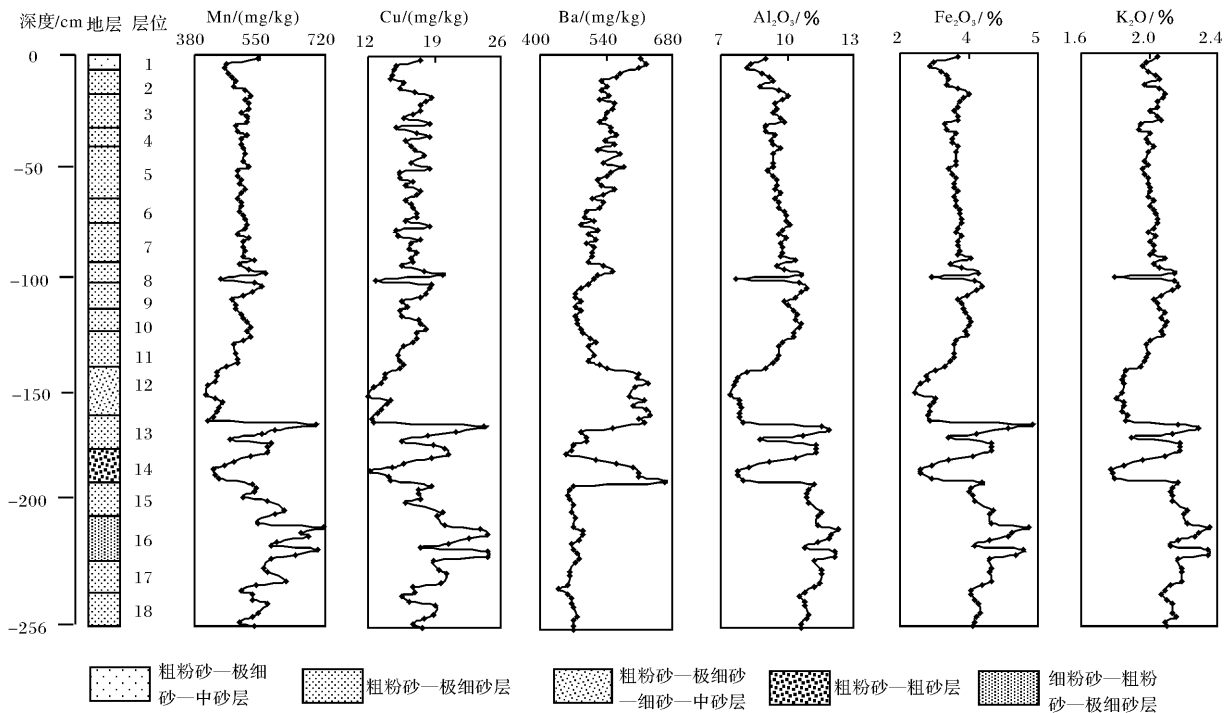


图 4 泾阳泾河 JYa 剖面元素与化合物含量变化曲线

Fig. 4 Content curves of elements and compounds of JYa in Jingyang section of Jing River

表2 泾阳泾河 JYa 剖面元素与化合物含量分析结果

Table 2 Analytic result of elements and compounds of JYa in Jingyang section of Jing River

层	厚度/cm	Mn/(mg/kg)		Cu/(mg/kg)		Ba/(mg/kg)	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值
1	6	458.7~542.8	487.6	14.8~17.5	15.7	609.6~626.3	616.8
2	12	467~526.5	492	14.3~18.7	15.9	529.1~569.2	546.5
3	12	502.9~523	515.1	15.7~18.6	17.4	524.6~555.8	539.7
4	10	487.3~517.1	499.6	14.9~18.4	16.5	538.7~562.3	551.9
5	22	491.5~518.5	503.4	15.3~18.6	16.8	521.8~579	543.9
6	14	492.8~518	503.4	15.9~18.6	16.9	486.8~533.1	509
7	14	489.6~519.2	507.4	15~17.6	16.3	499.6~523	510.6
8	12	448.8~563.1	516.8	12.8~19.8	16.9	503.1~754.4	561.5
9	12	478.8~552.6	507.7	15.3~18.4	16.8	474.1~488.4	480.9
10	10	499.5~526.9	512.8	15.6~18.2	17.2	476.5~492	483.2
+11	14	482.9~527	497.6	15.2~17.1	16	503.1~527.3	512.4
12	24	410.5~463.5	435.4	12~15.4	13.5	543.4~631.7	605.3
13	14	414.6~695.4	552.6	12.6~24.2	18.7	467.6~603.6	533
14	14	429.5~569.3	477.1	12.2~20.6	15.8	454.1~662.7	573.3
15	18	506.7~612.9	555.2	15.9~20	18	459.3~474.7	467.3
16	22	544.9~715	625.1	17.5~24.7	21.7	461.9~492.3	477.5
17	12	502.4~617.9	553	15.6~20.3	17.9	440.1~468.1	457.7
18	14	497.7~570.3	535.2	16.3~19.1	17.8	465.2~480.6	471.6

层	厚度/cm	Al ₂ O ₃ /%		Fe ₂ O ₃ /%		K ₂ O/%	
		均值	范围	均值	范围	均值	范围
1	6	8.2~9	8.5	2.6~3.2	2.9	2~2	2
2	12	8.8~10	9.3	2.9~3.5	3.1	2~2.1	2
3	12	9.4~9.9	9.6	3.2~3.4	3.3	2~2.1	2
4	10	9~9.5	9.2	3~3.2	3.1	1.9~2	2
5	22	9.1~9.7	9.5	3.1~3.3	3.2	2~2	2
6	14	9.5~10.1	9.8	3.2~3.3	3.3	2~2	2
7	14	9.6~9.9	9.8	3.2~3.3	3.3	2~2	2
8	12	7.7~10.7	9.8	2.7~3.7	3.3	1.8~2.1	2
9	12	9.9~10.9	10.4	3.3~3.8	3.5	2~2.2	2.1
10	10	10.3~10.6	10.5	3.4~3.6	3.5	2.1~2.1	2.1
11	14	9.3~10.3	9.7	3.1~3.5	3.2	2~2.1	2
12	24	7.4~9	7.9	2.3~3	2.6	1.8~1.9	1.9
13	14	8~11.9	10.5	2.6~4.9	3.8	1.9~2.3	2.1
14	14	7.7~11.3	9	2.5~4	3	1.8~2.2	1.9
15	18	10.8~11.5	11.1	3.5~4	3.7	2.1~2.2	2.2
16	22	10.8~12.4	11.7	3.6~4.8	4.2	2.1~2.4	2.2
17	12	10.6~11.5	11.1	3.5~4	3.8	2.1~2.2	2.1
18	14	10.6~10.9	10.8	3.6~3.7	3.7	2.1~2.2	2.1

能够指示洪水的变化,当河漫滩处于较大的高度之后,只有大洪水才能将其淹没并带来沉积物,所以在较高的河漫滩上形成的河流沉积物能够指示大洪水的存在。影响河漫滩水动力的因素有多种,但最终都要通过影响河漫滩洪水沉积物粒度成分的洪水动力表现出来,所以根据河漫滩沉积物粒度成分能够确定洪水动力。根据河流动能计算公式 $E = \frac{1}{2}MV^2$ 的知,河流动能(E)与流速(V)的二次方成正比,与流量(M)的一次方成正比,故洪水动力受到流速和流量

的控制。同时洪水动力又决定每次洪水发生时的规模,所以根据河漫滩沉积物粒度成分能够确定洪水规模。

4.2 泾河洪水沉积物指示的洪水深度及洪水规模

由于受到北山构造抬升的影响,泾河河床整体是向南迁移的,但河床宽度不大,这是因为河的南侧是黄土台塬,较高的黄土台塬限制了河床向南迁移,使研究剖面的面积不大,这也就决定了河床南迁对洪水深度的影响较小。这种影响会使相同流量的洪水在

漫滩上淹没的高度较小些,在确定洪水的规模大小时,必须考虑这种影响。也就是说,在确定相邻层位的洪水规模时,相邻下层的粒径要明显比上层大,才能够确定下层洪水比上层规模要大。由于受河床南迁的影响,使得规模小的洪水不能够在河漫滩上发生沉积,所以在这种高漫滩上发生的洪水沉积一般代表较大洪水或特大洪水。由于河床是单一方向的南迁,而且是逐渐对相同流量的洪水产生降低水位的作用,所以根据相邻层位的粒径变化能够确定洪水的规模大小,特别是能够根据河漫滩上的粒度确定洪水的深度。根据河漫滩上的水深加上河床水深能够确定洪水的规模。参考以往根据沉积学原理提出的确定洪水深度的6条标准^[12],可以确定洪水的大小:(1)如相邻层位的下层粒径比上层略大,则两层形成时的水深相近;(2)在地形高度相近的情况下(如薄层沉积)相邻的粗粒层比细粒层代表的洪水深度大;(3)如相邻的上层粒径比下层略大或明显大,则上层形成时的水深比下层大;(4)如相邻层位的下部层位粒径比上部层位显著大,而且由沉积作用造成的地形高度差别不太大,那么下层沉积物代表的水深通常比上层大;(5)如是非相邻的层位,那么在粒径相近或上层粒径大于下层时,上层比下层形成时的水深大;(6)如要确定非相邻层位的洪水深度差别,最好先进行相邻层位的判别,然后通过逐层对比来确定洪水的深度。虽然这些判别标准是定性的,但确定的结果还是可靠的。这些标准是我们确定洪水的相对深度和规模的重要依据。根据上述标准,我们确定JYa剖面18个洪水沉积阶段的规模由大到小的变化顺序为:第14层>12层>13层>8层>5层>1层>2层>4层>9层>3层>7层>6层>11层>10层>18层>15层>16层>17层。

2003年夏季,受年降水量显著增加的影响,黄河支流泾河发生了近年来最大的洪水,泾河下游泾阳县张家山水文站8月26日出现流量 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰,超过警戒流量 $1\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ (张家山水文站)。2003年渭河与泾河都发生了特大洪水,根据我们对渭河下游高陵地区2003年洪水沉积剖面的调查^[19],高陵渭河河漫滩之上洪水深度达到了2 m,其沉积层粒度与比2003年泾阳泾河2003年漫滩洪水沉积略细一些,而且两处河床坡度基本相同,由此可判断2003年泾阳泾河河漫滩之上的洪水深度至少可达2 m,我们确定约为2.2 m。2003年泾阳泾河漫滩之上的洪水深度和流量是我们定量确定古洪水深度的重要依据。

因为JYa剖面最上部第1层顶面距下部的河床沉积砾石层顶面的高度约为2.56 m,所以该层形成时的河床洪水深度约为4.76 m,且该层形成时的流量为 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。如上述,第14、12、13、8、5层形成时的河床洪水深度和流量大于第1层,显然这5层形成时的河床洪水深度大于4.76 m,流量大于 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。其余各层洪水深度和流量比第1层小,它们形成时的河床洪水深度应等于或小于4.76 m,流量等于或小于 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

4.3 泾河洪水沉积物元素、化合物与粒度关系分析

将样品的粒度成分与元素含量做分析后发现二者有一定的关系,体现为沉积物粒度越细,元素Mn、Cu和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量越高,元素Ba含量越低;沉积物粒度越粗,元素Mn、Cu和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量越低,Ba含量越高。JYa剖面第14阶段粒度成分最粗,以粗粉砂和粗砂为主,对应该阶段元素Mn、Cu和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量低,元素Ba含量高。剖面第17阶段粒度成分最细,以粗粉砂和极细砂为主,对应该阶段元素Mn、Cu和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量高,元素Ba含量低。剖面粒度成分与元素含量呈这种分布趋势的原因如下。泾阳泾河段洪水沉积物主要是来自于泾河上游黄土高原的黄土,由于黄土的矿物组成主要是石英、长石、粘土矿物和碳酸盐^[20],其化学风化过程主要是碳酸盐的淋失,硅酸盐矿物没有发生明显的迁移^[21]。Al是硅酸盐矿物的主要组成部分,在风化过程中属于相对稳定的元素。Al在表生环境中,即使经风化作用被解析出来,大部分Al也只是转变为次生的粘土矿物而不会淋失^[22],因此Al主要以 Al_2O_3 的胶体形式存在于细粒的沉积物中,粗粒沉积物中含量较少。Fe在黄土形成过程中表现出稳定的表生行为,它只有在酸性条件下,才发生淋溶迁移^[22],而黄土高原黄土堆积环境基本处于弱碱性氧化环境,不利于Fe的迁移,所以Fe也主要以 Fe_2O_3 的胶体形式存在于细粒的沉积物中,粗粒沉积物中含量较少。K不仅是黄土中主要粘土矿物伊利石的组成元素之一,也更易于为粘粒吸附^[23],其变化趋势受到粘粒含量的影响,因此粒度细的洪水沉积层中, K_2O 含量高,粒度粗的层位, K_2O 含量低。Mn、Cu易被粘土矿物和有机质吸附,因此它们富集于粒度偏细的沉积物中,在粒度偏粗的沉积物中含量较少。因为元素Ba的载体矿物为钾长石和黑云母等粗粒矿物,因此它富集于粗粒的沉积物中。

4.4 元素与化合物反映的洪水变化

由于河漫滩沉积物的元素含量变化主要取决于沉积时洪水规模的大小,因此元素含量的变化可以反映当时洪水的大小。我们研究发现,元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量高,元素 Ba 含量低的层位,对应为细粒沉积物,指示沉积时洪水强度小,洪水位低,降雨量小。元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量低,元素 Ba 含量高的层位,指示沉积时洪水强度大,洪水位高,降雨量大。本文研究剖面元素含量分为 18 层,说明沉积过程中可能发生过 18 次大的洪水,18 层元素和化合物含量的节律变化反映这 18 次大的洪水在规模、强弱上有较大差异。剖面第 16 层以极细砂、细粉砂和粗粉砂为主,这一层是整个剖面中粒度最细的层位,该层中元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量普遍达到最高,元素 Ba 含量也近于最低值,指示该层沉积时洪水动力最弱、洪水规模和流量最小。剖面第 2、3、4、5、6、7、8、9、11、13、15、17、18 层以极细砂和粗粉砂为主,粒度成分较细,元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量较高,仅个别元素在剖面第 13 层偏低,元素 Ba 含量较低,指示沉积时洪水动力较弱、洪水规模和流量较小。剖面第 1 层以中砂、极细砂和粗粉砂为主,对应元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量较低,元素 Ba 含量较高,指示沉积时洪水动力较强、规模大、洪水流量较大。剖面第 12 层以中砂、极细砂和粗粉砂为主,是剖面中粒度比较粗的层位,仅次于粒度最粗的第 14 层,该层中元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量很多达到最低,元素 Ba 含量很高,指示该层沉积时洪水动力很强,洪水规模和流量很大。剖面第 14 层以粗粉砂和粗砂为主,是整个剖面中粒度最粗的层位,该层中元素 Mn、Cu 和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量接近最低,元素 Ba 含量接近最高,指示该层沉积时洪水动力最强、洪水规模和流量最大的层位。

4.5 不同期次洪水的识别与洪峰的变化

我们划分洪水期次是根据洪水沉积层分界面的变化、结构与构造的差异。不同期次的洪水常有明显的分界面,原因是该区不同期次的洪水发生的时间间隔较长。根据历史时期洪水的统计^[24],该区较大的洪水发生周期一般为 10~20 a,较长时间的间断和植物的生长等造成了各期次洪水沉积层之间具有明显的分界,主要表现为各层之间颜色的差别,层面的存在,层间缝隙的存在,有机物与矿物含量的不同等。

不同期次的洪水还存在层理构造的不同,如有的是水平层理,有的是波状层理。这些是确定不同期次洪水的可靠证据。然而在上、下分层界面之间的同一次洪水沉积层内的变化显然是不同洪峰的沉积,代表了不同的洪峰阶段。根据 JYa 剖面各层内粒度、元素和化合物含量的变化(图 2 和图 3)可知,除剖面的个别层位外,大部分层位内存在不同粒度、元素和化合物含量微小变化,这代表了不同洪水阶段内不同洪峰的变化,其中第 5、12、14、15、16 层内洪峰次数最多,可达 3~5 次,反映了当时各次洪水内洪峰是不同的。

4.6 泾河洪水沉积物指示的沉积年代

根据史料记载^[25,26],明清民国时期是泾河流域洪涝最多,河道变迁最为频繁的时期,河道淤溢冲崩,下切侵蚀,其规模和程度是前代少有的。清道光二十一年(公元 1841 年),泾河流域发生了历史上有记载的最大洪水。暴雨中心位于蒲河、马莲河及泾河中游一带,洪水主要发生在这 3 条河及其支流范围。根据调查资料记载^[27],蒲河巴家咀站洪峰流量为 $13\,900\text{ m}^3/\text{s}$,马莲河雨落坪站洪峰流量为 $19\,500\text{ m}^3/\text{s}$,泾河张家山站洪峰流量为 $18\,700\text{ m}^3/\text{s}$,这是蒲河、马莲河、泾河的最大历史洪水,从发生到现在已有 160 多年。从整个剖面的粒度特征可知,剖面第 14 层粒度最粗,且含有其他层位没有的较多的粗砂和砾石组分,由此我们推测剖面第 14 层为 1841 年形成的洪水沉积,第 14 层以上层位代表 1841 年至 2003 年的洪水沉积。2003 年黄河支流泾河发生了近年来最大的洪水,泾河下游泾阳县张家山水文站流量达到 $4\,010\text{ m}^3/\text{s}$ 。比较剖面第 14 层以上层位和以下层位的剖面粒度组成特征,考虑河漫滩增高的影响,可以推测剖面第 15、16、17、18 层洪水规模都要小于 2003 年。根据《泾阳县志》^[28]和《西北灾荒史》^[26]中对泾阳泾河洪水的记录,在 1841 年前发生的洪水中,从剖面第 14 层向前核查,剖面底部第 15、16、17、18 层大约对应 1823、1821、1806、1751 年的洪水,由此我们可以初步确定研究剖面沉积开始时间可能为距今约 250 a。另外,从关中泾河大洪水发生时间为 10~20 a 左右分析,研究剖面开始沉积的年代大致为距今 200 余年。当然准确的年代需要测定后确定。

4.7 泾阳泾河洪水与气候变化的关系

泾阳县的洪水灾害,有的属于泾河流域洪水灾害的一部分,有的与关中渭河流域的洪水灾害相关联,有的局限于咸阳市所辖范围内。例如 2003 年泾河流域发生的洪水灾害^[28],2003 年 8 月黄河流域山陕区

间、北洛河、泾河普降大到暴雨,其中庆阳水文站24日日降水量达到182 mm,贾桥水文站196 mm,分别超过该站历史最大降水量。马莲河庆阳水文站26日1时6分出现 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量,为该站设站以来第三大洪水。26日8时42分时雨落坪水文站出现 $4\ 280\ \text{m}^3/\text{s}$ 洪峰流量,为设站以来第二大洪峰。26日14时48分泾河景村站出现 $5\ 220\ \text{m}^3/\text{s}$ 洪峰流量,为设站以来第四大洪峰流量。陕西省泾河段26日也出现了继1977年以来的最大洪水,泾阳县张家山水文站8月26日出现流量 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰,超过警戒流量 $1\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。由于泾河流域属于大陆性季风气候,冬季干燥寒冷,夏季高温多雨,降水量分配不均,在年降水量不增加甚至略有减少的情况下偶尔也会有洪水灾害发生,这种洪水灾害规模较小,仅限于咸阳市所辖范围内。在天气过程和下垫面因素综合影响下,泾阳地区洪水灾害可分为暴雨型和连阴雨型两个基本类型,但有时这两个类型迭加出现。即连阴雨天气中加有强度很大的暴雨过程,或是暴雨之后又伴有连阴雨天气。现代洪水发生时的降水条件表明,较低等级的中小规模的洪水的发生一般是由短时间的大雨或短时间暴雨造成的,而大洪水和特大洪水的发生一般都不是短暂的降雨造成的,而是由于这两种类型的降雨迭加,造成夏秋季降雨持续较长,甚至在春季也出现霖雨而导致全年降水量明显增加造成的。例如,2003年渭河流域与泾河流域均发生特大洪水,关中平原几次大的降雨过程共持续了近50 d,这一年关中平原的降水量由正常的600 mm左右增加到了880 mm。历史记载中持续降雨达50 d或更长的年份,当年的降水量至少达到了800多mm^[29]。由于泾阳泾河高漫滩第14、12、13、8、5层洪水沉积物粒度、元素和化合物含量、洪水规模以及沉积厚度都大于剖面第1层的2003年洪水沉积,因此我们可以推断,泾阳泾河高漫滩第14、12、13、8、5、1层洪水沉积反映了泾河泾阳段全流域性的年降水增加,且年降水量至少达到800多mm。

5 结论

(1) 泾阳泾河高漫滩沉积物发育良好,以粗粉砂、极细砂为主,各组分在整个剖面上变化明显,分辨率高,能够清晰地指示洪水以及降水量的变化。

(2) JYa剖面分为18个沉积阶段,指示了18次大小不同的洪水和18个降水增多或暴雨发生的年份。

(3) 泾阳泾河高漫滩剖面中的18个洪水沉积阶段的规模由大到小的变化顺序为:第14层>12层>13层>8层>5层>1层>2层>4层>9层>3层>7层>6层>11层>10层>18层>15层>16层>17层。在这18次洪水中,在同一次洪水沉积层内形成了两个以上薄层的粒度成分的微小变化,指示多数期次的洪水发生时期可能有两个以上洪峰出现。

(4) JYa剖面最上部第1层洪水沉积形成时的河床洪水深度约为4.76 m,流量为 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。第14、12、13、8、5层形成时的河床洪水深度大于4.76 m,流量大于 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。其余各层形成时的河床洪水深度应等于或小于4.76 m,流量等于或小于 $4\ 010\ \text{m}^3/\text{s}$ 。第14层是JYa剖面最粗的一层,代表了高漫滩剖面中洪水动力与洪水规模最大一次特大洪水事件。

(5) 泾阳泾河高漫滩沉积物粒度细,元素Mn、Cu和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量高,元素Ba含量低,指示沉积时洪水强度小,洪水位低,降雨量小。沉积物粒度粗,元素Mn、Cu和化合物 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 含量低,元素Ba含量高,指示沉积时洪水强度大,降雨量大,洪水位高。

(6) 泾阳泾河高漫滩第14、12、13、8、5、1层洪水沉积反映了泾河泾阳段全流域性的年降水增加,且年降水量至少达到800多mm。

参考文献 (References)

- 1 王春丽,邢俊江,王明洁. 暴雨山洪灾害成因及预报方法[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 65-70 [Wang Chunli, Xing Junjiang, Wang Mingjie. Cause and forecast of mountain flood from rainstorm[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 65-70]
- 2 王旭仙,杜继稳,武麦凤,等. “03.08”渭河下游特大洪涝灾害的“三情”分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 44-50 [Wang Xuxian, Du Jiwen, Wu Maifeng, et al. Situation analysis of rain, water and disaster for catastrophic flood and waterlogging in lower reaches of Weihe River in August 2003[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 44-50]
- 3 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 [Yang Xiaoyan, Xia Zhengkai, Cui Zhijiu. Holocene extreme floods and its sedimentary characteristic in the upper reaches of the Yellow River[J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(1): 80-85]
- 4 周魁一. 大规模人类活动与洪水灾害——从历史到现在[J]. 第四纪研究, 1999, 19(5): 423-427 [Zhou Kuiyi. Large scale human activities and flood calamities[J]. Quaternary Sciences, 1999, 19(5): 423-427]
- 5 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: 1-16 [Zhu Cheng, Ma Chunmei, Wang Huilin, *et al.* The paleoflood sediment characteristic study of Yuxi Site-40403 in Three Gorges of Changjiang River [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53: 1-16]
- 6 王若柏. 黄河北流河道变迁与史前的灾害事件[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 294-298 [Wang Ruobai. Northward removal channels of the Yellow River and prehistoric disaster event: Discussion with Mr. Ren Mei-e [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 294-298.]
- 7 李茂田, 丁霞, 陈中原. 40年来长江九江河段河道演变及其趋势预测[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 76-82 [Li Maotian, Ding Xia, Chen Zhongyuan. Evolution and developing trend of the Jiujiang River course of the Yangtze River in recent forty years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(1): 76-82]
- 8 夏正楷, 王赞红, 赵青春. 我国中原地区3500 a BP前后的异常洪水事件及其气候背景[J]. 中国科学: D辑, 2003, 33(9): 881-888 [Xia Zhengkai, Wang Zanhong, Zhao Qingchun. The abnormal flood events and climatic background of the central plain in China in 3500 a BP [J]. Science in China: Series D, 2003, 33(9): 881-888]
- 9 张强, 杨达源, 施雅风, 等. 川江中坝遗址5000年来洪水事件研究[J]. 地理科学, 2004, 24(6): 715-720 [Zhang Qiang, Yang Dayuan, Shi Yafeng, *et al.* Flood events since 5000 a BP recorded in natural sediments of Zhongba Site, Chuanjiang River [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(6): 715-720]
- 10 朱诚, 于世永, 卢春成. 三峡及汉江平原地区全新世环境考古与异常洪水灾害研究[J]. 地理学报, 1997, 52(3): 268-278 [Zhu Cheng, Yu Shiyong, Lu Chuncheng. The study of Holocene environmental archaeology and extreme flood disaster in the three gorges of the Changjiang River and the Jiangnan Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(3): 268-278]
- 11 甘枝茂, 桑广书, 甘瑞. 晚全新世渭河西安段河道变迁与土壤侵蚀[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 129-132 [Gan Zhimao, Sang Guangshu, Gu Rui. Water course changes and soil erosion of Weihe River along Xi'an reaches in the Late Holocene [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2002, 16(2): 129-132]
- 12 赵景波, 李胜利. 西安高陵马坊渭河洪水变化研究[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 857-863 [Zhao Jingbo, Li Shengli. Study on flood changes of Weihe River at Mafangtan in Gaoling [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 857-863]
- 13 Lario J. Particle size characterization of Holocene back-barrier sequences from North Atlantic coasts (SW Spain and SE England) [J]. Geomorphology, 2002, 42: 25-42
- 14 Trnstrum N, Page M. Palaeoenvironmental signals of land use and climate change in the lake Tutira and Waipaoa sedimentary system, New Zealand, Abstract Presented at LUCIFS Workshop, 20-22 April, 2000, Bonn, Germany
- 15 Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis Cambridge [M]. Cambridge University Press, 1991: 368
- 16 Michael J. Large floods and climatic change during the Holocene on the Ara River, Central Japan [J]. Geomorphology, 2001, 39: 21-37
- 17 James C. Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change [J]. Quaternary Science Review, 2000, 19: 439-457
- 18 Macklin M G, Benito G, Gregory K J, *et al.* Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe [J]. Catena, 2006, 66: 145-154
- 19 赵景波, 周晓红, 顾静. 西安草滩渭河古河漫滩沉积与洪水变化[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 36-42 [Zhao Jingbo, Zhou Xiaohong, Gu Jing. The sediment on floodplain and flood changes of Weihe River at Caotan in Xi'an [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(3): 36-42]
- 20 Pecs M. Loess is not just the accumulation of the dust [J]. Quaternary International, 1990, 7/8: 1-21
- 21 陈骏, 李骏峰, 仇纲, 等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J]. 中国科学: D辑, 1997, 27(5): 531-536 [Chen Jun, Li Junfeng, Qiu Gang, *et al.* Luochuan, Shaanxi loess chemical weathering degree of geochemical studies. The geochemical study of the loess in Luochuan, Shaanxi Province [J]. Science in China: Series D, 1997, 27(5): 531-536]
- 22 刘英俊. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 12-49, 50-101 [Lui Yingjun. Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1984: 12-49, 50-101]
- 23 赵锦慧, 王丹, 樊宝生, 等. 延安地区黄土堆积的地球化学特征与最近13万年东亚夏季风气候的波动[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 495-500 [Zhao Jinhui, Wang Dan, Fan Baosheng, *et al.* Geochemical characteristics of the loess deposit at Yan'an and its implication to changes of East Asia summer monsoon during the past 130 ka [J]. Geochimica, 2004, 33(5): 495-500]
- 24 赵景波, 郁耀闯, 周旗. 渭河渭南段高漫滩沉积记录的洪水研究[J]. 地质论评, 55(2): 231-241 [Zhao Jingbo, Yu Yaochuang, Zhou Qi. A study on great floods recorded by sediments on the high alluvial flat of Weihe River in Weinan, Shaanxi [J]. Geological Review, 55(2): 231-241]
- 25 王元林. 泾河流域自然环境变迁研究[M]. 北京: 中华书局, 2005: 120-130 [Wang Yuanlin. The Study of the Natural Environmental Change in Jing River and Luo River [M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2005: 120-130]
- 26 袁林. 西北灾荒史[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1994: 676-951 [Yuan Lin. Famine History of the Northwest in China [M]. Lanzhou: People's Publishing House of Gansu, 1994: 676-951]
- 27 郑自宽. 泾河流域暴雨洪水特征[J]. 水文, 2003, 23(5): 57-60 [Zheng Zikuan. The characteristics of storm floods in Jing River basin [J]. Hydrology, 2003, 23(5): 57-60]
- 28 中国地方志丛书. 陕西省泾阳县志[M]. 成都: 成文出版社, 1969: 137-142 [Chinese Local Records Series. The History of Jingyang County in Shaanxi Province [M]. Chengdu: Chenwen Publishing House, 1969: 137-142]
- 29 赵景波, 王娜, 龙腾文. 唐代泾河流域洪涝灾害研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(3): 109-113 [Zhao Jingbo, Wang Na, Long Tengwen. Research on flood disasters of Jing River valley in Tang Dynasty [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2008, 28(3): 109-113]

Flood Sediments in Floodplain and Flood Events of Jingyang Reach in Jing River

GU Jing^{1,2} ZHOU Jie¹ ZHAO Jing-bo^{3,1} YANG Lin-hai^{1,2} ZHANG Chang-sheng^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100000;

3. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract According to the field observation, the grain size, the element and compound analysis of 128 samples, and historical flood records of this area, we studied flood variation indicated by sediments in floodplain of the Jing River in Jingyang reach during deposit of floodplain. The result shows that the sediments which developed well on floodplain of the Jing River in Jingyang reach are mainly of coarse silt and very fine sand. Each component changes obviously in the entire profile, which can clearly reflect the variations of flood and precipitation with high resolving power. The profile is divided into 18 sediment stages, indicating 18 floods of different scales and 18 years with much precipitation. The order of depth and scale of floods of JYa from big to small is 14th, 12th, 13th, 8th, 5th, 1st, 2nd, 4th, 9th, 3rd, 7th, 6th, 11th, 10th, 18th, 15th, 16th, 17th. The flood depth of 1st is about 4.56 m, of which discharge is 4 010 m³/s. The flood depth of 14th, 12th, 13th, 8th, 5th are more than 4.56 m, of which discharge are more than 4 010 m³/s. The other flood depth are equal to or less than 4.56 m, of which discharge are equal to or less than 4 010 m³/s. The 14th flood sediment is the most thick layer of JYa, which should be the extreme flood sediment in 1841, and on the behalf of the largest flood dynamic and scale of the extreme flood event during deposit of floodplain. When the flood peak flow was 18 700 m³/s in Zhangjiashan hydrological station. The fine grain size is, the high contents of Mn, Cu, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O are, and the low content of Ba is, which indicates small flood intensity, low flood level and less precipitation at deposition. In contrast, The coarse grain size is, the low contents of Mn, Cu, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O are, and the high content of Ba is, which indicates big flood intensity, high flood level and more precipitation at deposition. The small changes of two or more elements, compounds and grain size in the thin layer was formed in the same sedimentary layer in this 18 floods indicates two or more flood peaks often appeared in the period of most floods. The sediments of 14th, 12th, 13th, 8th, 5th, 1st in floodplain of the Jing River in Jingyang reach reflect annual precipitation increase in the whole basin or large-scale, and annual rainfall is more than 800 mm.

Key words sediments in floodplain; flood scale; flood events; climatic significance; Jing River; Jingyang